

CROW-CUR Aanbeveling 124:2019

Constructieve veiligheid

bestaande bruggen en viaducten
van decentrale overheden

Met aanvullingen van de gemeente Utrecht
(TUB-leidraad 2)

CROW

Postbus 37, 6710 BA Ede
Telefoon (0318) 69 5300
E-mail klantenservice@crow.nl
Website www.crow.nl

September 2019 - [Aanvullingen gemeente Utrecht versie 1.0, d.d. 30-08-2022](#)

ISBN: 978 90 6628 671 9

CROW en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan.

CROW sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van de gegevens.

De inhoud van deze publicatie valt onder bescherming van de auteurswet.

De auteursrechten berusten bij CROW.

Voorwoord

Deze CROW-CUR Aanbeveling is opgesteld door SBRCURnet commissie/CROW-werkgroep *“Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden”* en geeft richting om bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden aantoonbaar aan de eisen van de vigerende regelgeving omtrent de constructieve veiligheid te laten voldoen. De materialen in bestaande bruggen kunnen zijn aangetast en het verkeer over de bruggen kan qua aantallen en gewicht in de afgelopen decennia zijn toegenomen. De kennis over de regelgeving, of de bruggen nog voldoen aan de gestelde eisen met betrekking tot de constructieve veiligheid, is bij de decentrale overheden niet of slechts versnipperd beschikbaar. Samen met de introductie van de Eurocodes in 2012 en de aanvullingen in de NEN 8700-serie maakt dit dat de bruggen veelal op basis van onbekendheid preventief worden versterkt of vervangen of juist in een mogelijk onveilige staat worden gehandhaafd.

De vraag naar een CROW-CUR Aanbeveling met een helder overzicht voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van kunstwerken is juist nu actueel omdat veel bruggen hun theoretische levensduur bereikt hebben of binnenkort gaan bereiken. Er zijn naar schatting 55.000 bruggen en viaducten in Nederland waarvan het grootste deel in beheer en/of eigendom is van decentrale overheden. Het mogelijk moeten treffen van instandhoudingsmaatregelen kost naar verwachting miljarden euro's. Daarnaast leveren de afsluitingen die hiermee gepaard gaan verkeershinder op, hetgeen met maatschappelijke kosten en imago-schade gepaard gaat.

De inhoud van deze CROW-CUR Aanbeveling is voorafgaand aan het verschijnen, gedeeld met de verschillende vertegenwoordigers van relevante normcommissies van NEN. De daaruit volgende reacties en commentaren zijn voor zover als mogelijk verwerkt in deze versie.

Deze CROW-CUR Aanbeveling is in het bijzonder bedoeld voor bruggen en viaducten van decentrale overheden. In dat kader wordt opgemerkt, dat de wijzigingsbladen NEN 8700:2011/A1: 2019 en NEN 8701:2011/A1: 2019, die hier speciaal voor zijn opgesteld, ten tijde van het verschijnen van deze CROW-CUR Aanbeveling, nog niet zijn gepubliceerd. Om die reden zijn de betreffende wijzigingsbladen niet meegenomen in deze Aanbeveling. In het hoofdstuk, waar de wijzigingsbladen vooral betrekking op hebben (hoofdstuk 7, wordt wel een toelichting gegeven op de strekking ervan.

Voor het programma 'herijken bruggen' heeft de gemeente Utrecht aanvullende eisen in voorliggende CROW/CUR-Aanbeveling 124 opgenomen, genoemd TUB-leidraad 2. In blauw zijn per hoofdstuk commentaar of aanvullingen opgenomen. Deze aangepaste versie heeft voorrang op de originele CROW/CUR-Aanbeveling 124 ten aanzien van het herberekenen van bestaande kunstwerken.

Op het moment van het verschijnen van deze CROW-CUR Aanbeveling was de samenstelling van de commissie als volgt:

ing. M. (Marc) Bruchner (lid), *Gemeente Amsterdam*
ir. K. (Kambiz) Elmi Anaraki (lid), *Gemeente Rotterdam*
S.P. (Sjoerd) Klompmaker MSc BSc (lid), *Gemeente Den Haag*
ing. C. (Kees) Köhler (lid), *Provincie Noord-Brabant*
ing. P.J. (John) van der Laarse (lid), *Gemeente Rotterdam*
ir. M. (Marten) van der Plaat (lid), *Gemeente Amsterdam*
ing. E. (Eef) Uiterwijk (voorzitter), *Provincie Overijssel*
drs.E. (Erwin) Vega (secretaris), *CROW*
dr.ir. A.H.J.M. (Adri) Vervuurt (rapporteur), *TNO*
dr.ir. P.H. (Paul) Waarts (vice-voorzitter), *Provincie Noord-Holland*
ir. P.A.J.A.T. (Patrick) Willemen (lid), *BWT Rotterdam, namens COBc*
ing. M. (Marcel) Willemse (lid), *Provincie Noord-Holland*

Inhoudelijke bijdragen aan de CROW-CUR Aanbeveling zijn geleverd door:

dr.ir. A. (Ane) de Boer, *Ane de Boer Technisch Advies*
ing. W.G.M.(Wim) Freriks MSc, *Movares*
F.G.A. (Frank) Linthorst, *Witteveen+Bos*
ing. E. (Elly) Romme-van Wingerden MScEng, *Witteveen+Bos*
dr.ir. N.P.M. (Nico) Scholten, *Stichting Expertisecentrum Regelgeving Bouw*
ir. R.P.H. (Rob) Vergoossen, *Royal HaskoningDHV*

Inhoud

Voorwoord	3
Inhoud	5
1 Inleiding	8
1.1 Onderwerp	8
1.2 Doelstelling	8
1.3 Toepassingsgebied	8
1.4 Leeshulp	9
2 Termen en definities	10
3 Beoordelingskader	12
3.1 Inleiding	12
3.2 Wettelijk kader	13
3.2.1 Algemeen	13
3.2.2 Restlevensduur	15
3.2.3 Rechtsens verkregen niveau	16
3.3 Veiligheidsfilosofie bestaande bouw	16
3.3.1 Veiligheidseisen bestaande bouw	16
3.3.2 Kostenaspect en menselijke veiligheid	16
3.3.3 Beoordeling zonder dat het kunstwerk wordt veranderd	17
3.3.4 Gedeeltelijk vernieuwen, veranderen of vergroten (verbouw) van een kunstwerk	18
3.3.5 Gevolgklassen	18
3.3.6 Toetsing	19
3.4 Beweegbare bruggen	21
4 Beoordelingsproces	22
4.1 Inleiding	22
4.2 Risicogestuurde prioritering	22
4.2.1 Objectrisicoanalyse	22
4.2.2 Beoordelingsaspecten	24
4.2.3 Risicoscore	25
4.3 Verificatieberekening constructieve veiligheid	27
4.3.1 Inleiding	27
4.3.2 Uitgangspuntennotitie	27
4.3.3 Kwantificeren conservatismes	28
4.3.4 Vervolgstappen	28
4.4 Proefbelasten	29
5 Informatie en archief	30
5.1 Inleiding	30
5.2 Archiefgegevens	30
5.3 Archiefonderzoek	31
5.3.1 Doel	31
5.3.2 Brongegevens	31
5.3.3 Analyse en aandachtspunten	32
5.4 Verificatie van gegevens	33
5.5 Onderzoek op locatie	33
5.5.1 Onderzoek en diepgang	33
5.5.2 Constructieve inspectie	34
5.5.3 Onderzoek aan de fundering	34

6	Materiaaleigenschappen	36
6.1	Inleiding	36
6.2	Beton	36
6.3	Betonstaal	38
6.4	Voorspanstaal	40
6.5	Constructiestaal	41
6.6	Metselwerk	43
6.7	Hout	45
6.8	Ondergrond	46
7	Belastingen	48
7.1	Inleiding	48
7.2	Vigerende belastingnormen	48
7.3	Rekenwaarde van de verkeersbelastingen	49
7.3.1	Inleiding	49
7.3.2	De belastingfactor	49
7.3.3	Aantallen vrachtwagenpassages	49
7.3.4	Referentieperiode en trendfactor	50
7.3.5	De rijstrookindeling	50
7.4	Wisselende verkeersbelastingen (vermoeiing)	51
7.4.1	Algemeen	51
7.4.2	Instandhouding op basis van inspecties	51
7.5	Alternatieve bepaling van de verkeersbelasting	52
7.5.1	Inleiding	52
7.5.2	Verkeersbelastingmodel voor bruggen met een ontheffingsbeperking	52
7.5.3	Ontwerpwaarde afgeleid van belastingmetingen	52
8	Rekenmethodiek	54
8.1	Inleiding	54
8.2	Introductie voor de beheerder	55
8.2.1	Berekenen en toetsen	55
8.2.2	Modellering	55
8.2.3	Aanvangsniveau	60
8.2.4	Conservatismes	60
8.3	Modelverfijningen	60
8.3.1	Inleiding	60
8.3.2	Modeltype	62
8.3.3	Geometrie	62
8.3.4	Materiaalmodellering	64
8.3.5	Belastingen	66
8.3.6	Opleggingen	66
8.3.7	Schade	67
8.4	Analysemethoden	67
8.4.1	Inleiding	67
8.4.2	Fysisch niet-lineair gedrag	67
8.4.3	Geometrisch niet-lineair gedrag	69
8.4.4	Tijdsafhankelijk gedrag	69
8.4.5	Probabilistische analysemethode	70

Referenties	71
Literatuur	73
Bijlagen	
1 Duurzame beschikbaarheid informatie bruggen	75
2 Object Informatie Document Eisen	78
3 Registratie constructieve schades	82
4 Mogelijke materiaalonderzoeken	90

1.1 Onderwerp

Deze CROW-CUR Aanbeveling sluit aan op bestaande regelgeving en geeft richtlijnen en procedures voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden. Dit heeft enerzijds betrekking op de prioritering voor de beoordeling van een areaal aan kunstwerken (bruggen en viaducten) en anderzijds de beoordeling van de constructieve veiligheid van individuele objecten.

De CROW-CUR Aanbeveling geeft hiertoe een toelichting op de bepaling van de eigenschappen van de verschillende van toepassing zijnde materialen, de aan te houden verkeersbelastingen en het te hanteren betrouwbaarheidsniveau. De basis hierbij is dat op verantwoorde wijze het maximale uit de constructie wordt gehaald, dat wil zeggen dat eventueel aanwezige conservatieve aannames in een beoordeling zo veel als mogelijk worden geïdentificeerd en vermeden waar nodig en mogelijk.

Verder wordt in de CROW-CUR Aanbeveling ingegaan op de bepaling van de krachtswerking voor de beoordeling van de constructieve veiligheid. Ook voor de krachtswerking is het uitgangspunt dat deze, indien nodig, zo nauwkeurig mogelijk wordt bepaald met als doel om het werkelijke gedrag van een constructie zo goed mogelijk te benaderen.

Gezien het grote aantal aspecten dat bij de beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande constructies moet worden beschouwd en de grote verscheidenheid aan constructies is het niet mogelijk om volledig te zijn. De focus van deze CROW-CUR Aanbeveling ligt daarom op de veiligheidsfilosofie, het beoordelingsproces, verkeersbelastingen, materiaaleigenschappen en het constructief gedrag.

1.2 Doelstelling

Deze CROW-CUR Aanbeveling heeft als doel te voorzien in een informatiebehoefte voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande bruggen en viaducten die in het beheer en/of eigendom zijn van decentrale overheden. Hierbij wordt in het bijzonder aandacht besteed aan de mogelijkheden die er zijn om de rekenkundige veiligheid (positief) te beïnvloeden. Dit varieert van het gebruik van materiaalonderzoeken, het toepassen van alternatieve verkeersbelastingmodellen voor bruggen in het onderliggende wegennet tot het gebruik van geavanceerdere rekenmethoden.

Deze aanbeveling is bedoeld voor beheerders en eigenaren van bruggen die verantwoordelijk zijn voor de constructieve veiligheid van hun kunstwerken. Daarnaast is de CROW-CUR Aanbeveling bedoeld voor constructeurs en technisch adviseurs die de constructieve veiligheid van bestaande bruggen en viaducten moeten beoordelen.

De aanbeveling is gebaseerd op best-practices en bestaande kennis. Voor de beheerder is het vooral van belang om wetenschap te hebben van de aspecten waar rekening mee moet worden gehouden bij de beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande bruggen en viaducten, of hoe prioriteiten kunnen worden gesteld voor het beheren van het areaal aan kunstwerken. Voor de technisch adviseur is het vooral van belang om inzicht te krijgen in de wijze waarop rekening kan worden gehouden met conservatismes binnen de vigerende regelgeving.

1.3 Toepassingsgebied

Deze CROW-CUR Aanbeveling is bedoeld om te worden gebruikt bij het beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande bruggen en viaducten die in het beheer en/of eigendom zijn van decentrale overheden. De CROW-CUR Aanbeveling is bedoeld om te worden gebruikt in

combinatie met de Eurocodes en de NEN 8700-serie aangaande de beoordeling van bestaande constructies.

Behalve de beoordeling van de constructieve veiligheid door middel van berekeningen en het bepalen van de actuele eigenschappen van de verschillende gebruikte materialen, wordt ook aandacht besteed aan de prioritering van bestaande constructies aan de hand van een risico-gebaseerde beoordeling. In dat opzicht is het toepassingsgebied van deze aanbeveling dus niet beperkt tot individuele objecten maar is deze ook bedoeld voor een areaal aan bruggen en viaducten.

1.4 Leeshulp

De CROW-CUR Aanbeveling omvat de volgende hoofdstukken:

- 1 Inleiding (inclusief doelstellingen toepassingsgebied)
- 2 Termen en definities
- 3 Beoordelingskader
- 4 Beoordelingsproces
- 5 Informatie en archief
- 6 Materiaaleigenschappen
- 7 Belastingen
- 8 Rekenmethodiek

Het kader voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van bruggen en viaducten volgens het Bouwbesluit 2012 is gegeven in hoofdstuk 3 (*Beoordelingskader*). Daarnaast is het proces voor de beoordeling toegelicht in hoofdstuk 4.

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van individuele objecten zijn vooral de hoofdstukken *Informatievergaring* (hoofdstuk 5), *Materiaaleigenschappen* (hoofdstuk 6) *Belastingen* (hoofdstuk 7), en *Rekenmethoden* (hoofdstuk 8) relevant.

In de aanbeveling wordt niet ingegaan op de bepaling van de sterkte van constructies en onderdelen van constructies. Daarvoor wordt verwezen naar de materiaalgebonden normen uit de Eurocode in combinatie met de Nationale bijlages en de Nederlandse aanvullingen voor bestaande constructies hierop zoals vastgelegd in de NEN 8700-serie.

Voor de termen en definities wordt in deze CROW-CUR Aanbeveling zo veel als mogelijk aangesloten op de bestaande normen en Aanbevelingen (NEN-EN 1990, NEN 8700). Aansluitend is daarom alleen een overzicht gegeven van specifieke termen en definities en voor zover die afwijken van bestaande richtlijnen en normen. In een aantal gevallen zijn bepaalde (algemeen bekend veronderstelde termen en definities) nader toegelicht.

Term	Definitie
Afkeurniveau (conform NEN 8700)	Wettelijk minimumniveau van constructieve veiligheid, op het onderschrijden waarvan (voor) aanschrijving en handhaving door het bevoegd gezag moet volgen.
Archiefonderzoek	Het inventariseren, raadplegen en/of bestuderen van tekeningen, berekeningen en rapportages, bestekken of andere documenten betreffende ontwerp, bouw, reparaties, renovaties of modificaties.
Areaal	Een set van meerdere constructies. Dit kunnen alle kunstwerken van één beheerder of eigenaar zijn, maar ook alle kunstwerken in een gemeente of een provincie of alle kunstwerken op nationaal of internationaal niveau.
Belastingeffect	Het effect dat belasting heeft op het gedrag van de constructie in termen van spanningen, rekken of afgeleide (snede) grootheden zoals normaalkracht, dwarskracht, moment, krommingen, et cetera.
Belasting	Externe druk, kracht, opgelegde verplaatsing of milieu-invloeden waar de constructie of elementen van de constructie aan worden onderworpen.
Beheerder	De instantie die gemandateerd is door de onderhoudsplichtige instantie (meestal is dit de eigenaar) om het beheer te voeren van een of meerdere kunstwerken.
Belastingspreiding	Ruimtelijke spreiding van een belasting waardoor de spanning op het aangrijpingsvlak van de belasting evenredig wordt verlaagd.
Beoordeling constructieve veiligheid	Het controleren of vaststellen of een constructie al dan niet voldoet aan de eisen die worden gesteld aan de constructieve veiligheid, bijvoorbeeld aan de hand van eerder uitgevoerde berekeningen of een verificatieberekening.
Betrouwbaarheid (conform NEN-EN 1990)	Geschiktheid van een constructie of een constructief element om te voldoen aan de voorgeschreven eisen, met inbegrip van de ontwerplevensduur, waarvoor zij is ontworpen. Betrouwbaarheid is meestal uitgedrukt in probabilistische termen.
Betrouwbaarheidsindex	Maat voor de constructieve veiligheid, afhankelijk van de gevolgklasse.
Bevoegd gezag	Het orgaan dat toeziet op de handhaving van het minimum veiligheidsniveau.
Bezwijken	Het manifesteren van een bezwijkmechanisme van een deel of het geheel van een constructie waardoor het haar functies niet meer kan vervullen.
Bezwijkmechanisme	Wijze waarop bezwijken van een constructie plaatsvindt, bijvoorbeeld afschuiving onder invloed van dwarskracht of buiging onder invloed van moment.
Bros bezwijkmechanisme	Een bezwijkmechanisme dat optreedt zonder dat de constructie waarschuwt, door bijvoorbeeld optredende scheurvorming of grote vervormingen.
Constitutieve vergelijking	In de constitutieve vergelijking wordt de relatie weergegeven tussen twee fysische grootheden. Voor de bepaling van de krachtwerking betreft dit de relatie tussen de optredende spanning en de rek.
Constructieve schade	Schade aan een kunstwerk die een negatief effect heeft op het constructieve draagvermogen van de constructie.
Constructie(onder)deel	Deel van een constructie die als losstaand onderdeel te schematiseren is afhankelijk van de geometrie van het constructieonderdeel. Voor definities van verschillende constructiedelen zie NEN 6720 par. 2.3.
Constructieve inspectie	Een onderzoek aan een kunstwerk waarbij geïntermediate risico's uit de objectrisicoanalyse, de constructie staat en de bruikbaarheid van het kunstwerk worden geverifieerd.
Degradatie	Achteruitgang in de tijd van de sterkte van een materiaal, een constructie of een onderdeel daarvan.
Ductiliteit	Energie-absorberend vermogen (vervormingscapaciteit) van een constructie bij bezwijken of falen. Naarmate meer energie wordt opgenomen (bijvoorbeeld door plastisch gedrag), is er sprake van meer ductiliteit.
EEM/FEM	Eindige Elementen Methode (EEM) of Finite Element Method (FEM). Rekenmethode voor het schematiseren van een constructie ten behoeve van het numeriek bepalen van het belastingeffect.
Falen	Het niet meer kunnen voldoen aan de functies waarvoor de constructie bedoeld is. Bij de beoordeling van constructies wordt met falen bedoeld dat de veiligheid van de constructie of onderdelen daarvan, niet voldoet aan de eisen die daaraan worden gesteld.

Term	Definitie
Grenstoestanden (conform NEN-EN 1990))	Toestanden waarboven de constructie niet langer aan de van toepassing zijnde ontwerp- en berekeningscriteria voldoet. Toelichting: onderscheid wordt gemaakt in uiterste grenstoestanden (UGT of ULS) en bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT of SLS).
Gebruikniveau	Het gebruikniveau is het minimum niveau van constructieve veiligheid voor de openbare kunstwerken die in eigendom zijn van de gemeente Utrecht.
Hoofdwegenet	Het hoofdwegenet Utrecht is vastgelegd in het document 'Mobiliteitsplan 2040'
Jaarontheffing	Ook wel genoemd 'permanente ontheffing'; een ontheffing van de Rijksdienst voor het wegverkeer aan vrachtoertuigen om zwaarder te worden beladen dan de wettelijke eisen hieromtrent, met een maximum van 100 ton.
Kunstwerk	In deze CROW-CUR Aanbeveling bruggen en viaducten. In het Bouwbesluit 2012 wordt een kunstwerk aangeduid als een bouwwerk geen gebouw zijnde.
Lastbeperking	Limitering van het maximale voertuiggewicht of aslast op een brug/viaduct middels het plaatsen van een verkeersbord of middels fysieke maatregelen.
Modelleur	Opsteller van het rekenmodel (EEM) ten behoeve van de verificatieberekening en de toetsing. Het opstellen van het rekenmodel gebeurt onder verantwoordelijkheid van de constructeur (de constructeur en de modelleur kunnen dezelfde persoon zijn).
Nieuwbouwniveau	Het betrouwbaarheidsniveau dat van toepassing is bij het realiseren van een nieuwe brug of bij het geheel vervangen van een constructie.
Objectrisicoanalyse (ORA)	Een kwalitatieve risicoanalyse
Ontwerplevensduur	Tijdshorizon waarover bij het ontwerpen van een constructie aan het nieuwbouwniveau moet zijn voldaan.
Orthotroop gedrag	Gedrag van een materiaal dat in twee of drie onderling loodrechte richtingen anders is (verschillende stijfheid in verschillende richtingen).
Probabilistische analyse	Berekeningen voor de bepaling van de betrouwbaarheidsindex waarbij onzekerheden in de analyses expliciet in rekening worden gebracht door de introductie van stochasten.
Referentieperiode (conform NEN-EN 1990)	Tijdperiode gekozen en gebruikt als grondslag voor de statistische waardebepaling van veranderlijke belastingen en eventueel voor buitengewone belastingen.
Restlevensduur (conform NEN 8700)	Veronderstelde periode gedurende welke een bestaande of verbouwde constructie of een deel ervan is te gebruiken voor het beoogde doel.
Risicobeoordeling	Het aan de hand van kansen en gevolgen inschatten van het risico (= kans x gevolg) voor het maken van een gefundeerde prioritering van kunstwerken voor het beoordelen ervan.
Technisch Adviseur	Adviseur met specialistische technische kennis over de beoordeling van bestaande constructies die de beheerder adviseert over te nemen stappen (constructeur, inspecteur, modelleur of vergelijkbaar).
Toetsen	Vergelijking van de rekenkundige waarde van het belastingeffect met de rekenkundige waarde van de sterkte van de constructie of het beschouwde onderdeel binnen de kaders van NEN-EN 1990 en NEN 8700.
Uiterste grenstoestanden (conform NEN-EN 1990)	Toestanden samengaan met instortingen of met andere soortgelijke vormen van constructief bezwijken (uiterste grenstoestanden komen in het algemeen overeen met het uiterste draagvermogen van een constructie of een constructief element).
Uitgangspuntennotitie	Document waarin alle uitgangspunten zijn opgenomen om tot een beoordeling van de constructie te komen.
Unity Check (UC)	Verhouding tussen de rekenwaarde van het belastingeffect (S) en de rekenwaarde van de sterkte (R) van het beschouwde constructieonderdeel ($UC = S_d/R_d$).
Verbouwniveau	Het betrouwbaarheidsniveau dat van toepassing is indien een bestaande constructie gedeeltelijk wordt vernieuwd, versterkt, veranderd of vergroot.
Verificatieberekening	Het (opnieuw) bepalen van de krachtswerking in de constructie en, aan de hand daarvan, beoordelen of voldaan wordt aan de eisen die aan de constructieve veiligheid worden gesteld.
WIM	Weigh in Motion: een meetsysteem waarmee de belastingkarakteristieken van passerende vrachtwagens kunnen worden gemeten (aslasten, asafstanden, et cetera).
Bridge-WIM	Generieke benaming voor het meten van het effect van de verkeersbelasting op bruggen en viaducten (veelal uitgedrukt in een rek of vervorming).

3.1 Inleiding

Op grond van de Woningwet en de Wabo moet de eigenaar van een bouwwerk (kunstwerk) zorgdragen dat het bouwwerk aan de eisen van het Bouwbesluit 2012 voldoet (paragraaf 3.2). In de Woningwet is geregeld dat een gebruiker geen gebruik mag maken van een bouwwerk dat niet aan de wettelijke eisen voldoet.

Voor de wettelijke eisen aangaande de constructieve veiligheid van constructies worden in de wetgeving verder een drietal veiligheidsniveaus onderscheiden. [Daarnaast wordt het beoordelingsniveau 'gebruikniveau' overgenomen van RBK, tezamen worden er vier niveaus behandeld, namelijk:](#)

- a. Nieuwbouwniveau (voor nieuw te bouwen kunstwerken en voor het geheel vernieuwen van kunstwerken);
- b. Verbouwniveau (voor het gedeeltelijk vernieuwen, veranderen of vergroten van een kunstwerk);
- c. [Gebruikniveau \(door RWS is geïntroduceerd in de RBK 1.1, par 1.5\);](#)
- d. Afkeurniveau (ondergrens, bij overschrijding moeten voorzieningen worden getroffen)

[Het gebruikniveau is het minimum niveau van constructieve veiligheid voor de openbare kunstwerken die in eigendom zijn van de gemeente Utrecht. Het gebruikniveau mag gehanteerd worden onder een aantal voorwaarden, hiervoor verwijzen wij naar de RBK.](#)

[De niveaus nieuwbouw en verbouw gelden voor nieuwe delen of delen welke verbouwd worden. De niveaus gebruik en afkeur gelden voor bestaande \(delen van\) kunstwerken welke niet verbouwd worden.](#)

Het verbouwniveau is het gevolg van keuzes van de wetgever die per 1 april 2012 in het Bouwbesluit 2012 zijn geïntroduceerd. Dat betekende een doorbreking van de systematiek die tot dat moment altijd heeft gegolden, namelijk dat bij verbouw het nieuwbouwniveau van toepassing was en dat daar alleen gemotiveerd en alleen met toestemming van het bevoegd gezag van mocht worden afgeweken. De nieuwe systematiek brengt met zich mee dat, als het verbouwniveau bij een verbouwing wordt aangehouden, de betrouwbaarheidsindex lager is dan die welke geldt voor nieuwbouw. Om die reden heeft de normcommissie in NEN 8700 op diverse plaatsen de aanbeveling opgenomen om van een hoger veiligheidsniveau uit te gaan dan het verbouwniveau. In informatieve teksten is daarom in NEN 8700 geduid om voor verbouw als dat proportioneel is, een hoger veiligheidsniveau te realiseren.

Bevoegd gezag

Het bevoegd gezag is het orgaan dat op basis van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) en de op grond van die wet gegeven wettelijke voorschriften toeziet op de handhaving van het vereiste veiligheidsniveau. Voor bouwwerken, waaronder bruggen en viaducten, is dat in het algemeen de gemeente. Het college van B&W kan op grond van de Algemene wet bestuursrecht (Awb) mandaat verlenen aan daartoe bevoegde ambtenaren namens het college de handhavende rol in te vullen. Het gaat dan om de dienst die belast is met vergunningverlening, toezicht en handhaving. De gemeente als opdrachtgever c.q. eigenaar/beheerder van een kunstwerk heeft een andere rol.

Gevolgklasseindeling

In de praktijk worden regelmatig discussies gevoerd over de bij de beoordeling van een bouwwerk of constructieve onderdelen daarvan aan te houden gevolgklasse. Dit begrip is gedefinieerd in NEN-EN 1990 en voor Nederland nader uitgewerkt in tabel NB.20 van de Nationale bijlage bij NEN-EN 1990. Onderscheid wordt gemaakt in vier klassen: CC1a, CC1b, CC2 en CC3, waarbij de klasse het onderscheid aangeeft in ernst van het aantal slachtoffers en de economische schade bij het falen van een constructief onderdeel of een set aan constructieve onderdelen, dan wel de gehele constructie. Het onderscheid in die klassen is niet zwart-wit. Daarnaast is in de Nationale bijlage bij NEN-EN 1990 aangegeven dat het toegestaan is dat als de constructie van een bouw- werk in een bepaalde gevolgklasse valt, afzonderlijke constructieve onderdelen in een lagere klasse mogen worden ingedeeld. Steeds gaat het er om dat de gevolgen van bezwijken van dat onderdeel moeten worden afgezet tegen de bedoeling van de tekst van voornoemde tabel NB.20. Aan de nadrukkelijke wens om hiervoor scherpe scheidslijnen aan te geven kan niet worden voldaan omdat de indeling in gevolgklassen per geval moet worden bepaald.

In paragraaf 3.3.5 wordt in detail ingegaan op de verschillende gevolgklassen. De technisch adviseur speelt een belangrijke rol in de interpretatie van de normen en adviseert de beheerder ten aanzien van de bepaling van het aan te houden betrouwbaarheidsniveau en de daarmee verbonden stichtings- en exploitatiekosten. Verder adviseert de technisch adviseur over de aan te houden restlevensduur bij het beoordelen van het afkeurniveau, de aan te houden ontwerplevens- duur bij verbouw, de aan te houden gevolgklasse en de daarvan afgeleide factoren alsook de aan te houden verkeersbelasting.

3.2 Wettelijk kader

3.2.1 Algemeen

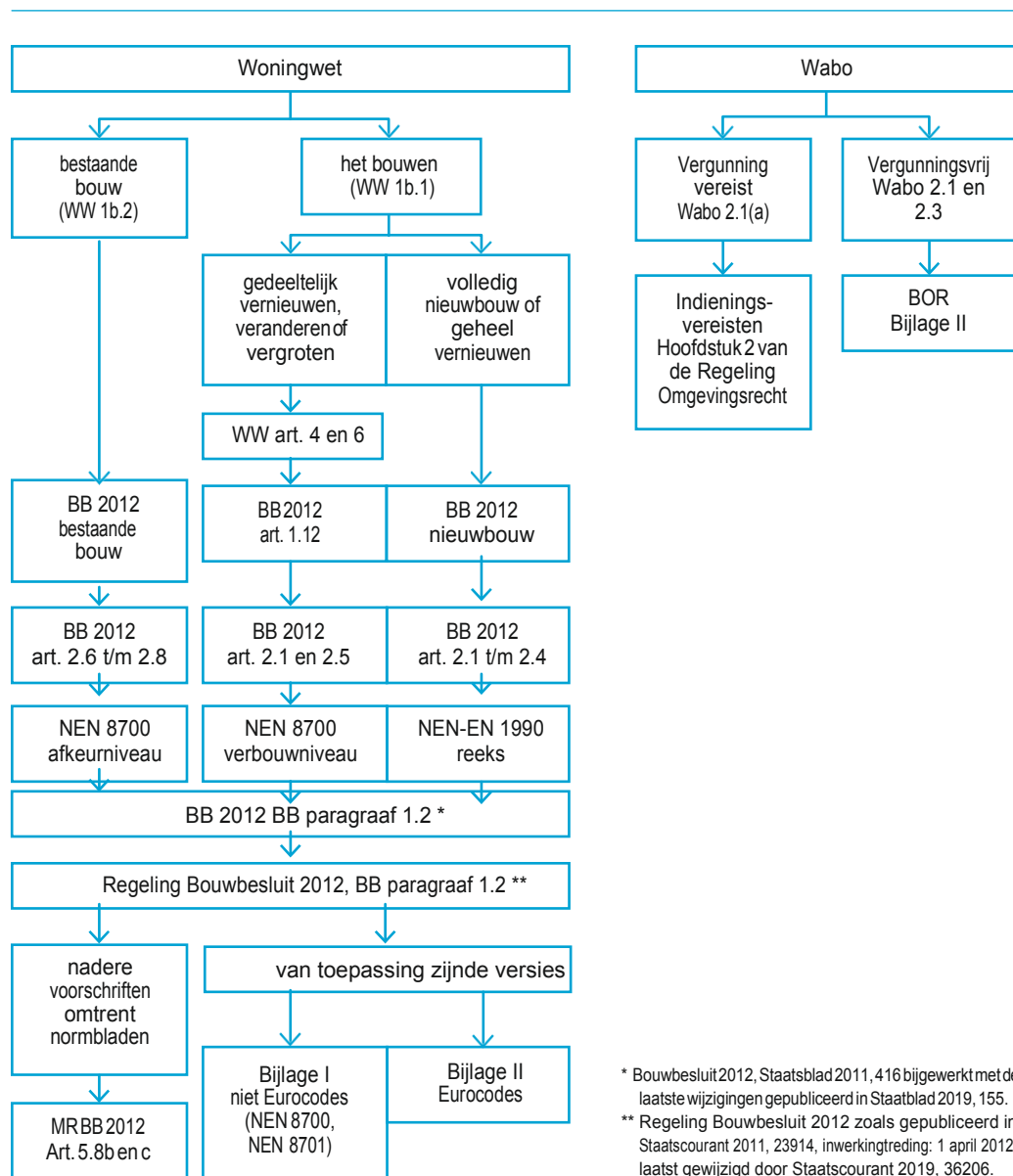
Onderscheid is te maken tussen publiekrecht (vergunningverlening, toezicht en handhaving op het voldoen aan wettelijke eisen) en civielrecht (zoals aansprakelijkheid jegens derden). Het bevoegd gezag heeft alleen te maken met het publiekrecht. De eigenaar van een kunstwerk heeft zowel te maken met publiekrecht als met het civiele recht.

De civielrechtelijke aansprakelijkheid, ook wel geduid als privaatrechtelijke aansprakelijkheid, is vastgelegd in boek 6 van het Burgerlijk Wetboek, waarin uiteengezet is wanneer de eigenaar van een kunstwerk aansprakelijk is. Het is uiteindelijk de rechter die bepaalt wat er uit de aansprakelijkheid voor de eigenaar voortvloeit. In de Wegenwet (artikel 15) is bepaald dat het Rijk, de provincie, de gemeente en het waterschap verplicht zijn een weg te onderhouden, wanneer dat openbare lichaam die tot openbare weg heeft bestemd. Voor de onderhoudsverplichtingen hebben overheden doorgaans beheerders gemandateerd, zij dragen zorg voor de inspanningen volgende uit deze wettelijke verplichting.

Om aan de aansprakelijkheid en het verplichte onderhoud te voldoen zal ten minste het gestelde in de Woningwet, de Wabo en voor het verbouwen van beweegbare bruggen ook het Warenwetbesluit machines in acht moeten worden genomen. Een overzicht van de belangrijkste voorschriften uit de Woningwet en de Wabo bij het beheer van bestaande bruggen zijn in schemavorm gegeven in figuur 3-1. Voor beweegbare bruggen wordt verwezen naar paragraaf 3.4.

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van bruggen en viaducten onderscheidt de publiekrechtelijke regelgeving de drie in paragraaf 3.1 genoemde veiligheidsniveaus (nieuwbouw, verbouw en afkeur).

Bij het nieuwbouwniveau wordt in de Nationale bijlage bij NEN-EN 1990 voor de beoordeling van de veiligheid in CC3 een ontwerplevensduur (de tijdshorizon waarover aan het nieuwbouwniveau moet zijn voldaan) gehanteerd van ten minste honderd jaar (sterkte moet voldoende zijn bij belastingen die de eerstkomende honderd jaar worden verwacht). Bij afkeur is de te beschouwen restlevensduur (tijdshorizon) voor de beoordeling maar één jaar, maar voor de belastingen gaan we uit van een referentieperiode (tijdshorizon voor aan te houden belastingen) van ten minste vijftien jaar. Bij een verbouwplan is de ontwerplevensduur (tijdshorizon) niet lager dan honderd jaar minus de reeds verstreken levensduur van het kunstwerk, met een minimum van vijftien jaar.



Figuur 3-1. Primair van belang zijnde voorschriften uit de Woningwet en de Wabo bij het beheer van bestaande kunstwerken.

Bedacht moet worden dat een in gebruik zijnd kunstwerk een bestaand kunstwerk is waarop de voorschriften die gelden voor bestaande bouwwerken van toepassing zijn. Een bestaand kunstwerk mag zich niet in een toestand bevinden of in een toestand worden gebracht waarbij niet aan de voorschriften is voldaan die in het Bouwbesluit 2012 voor bestaande kunstwerken zijn opgenomen. In de (informatieve) bijlage E van NEN 8700 zijn de volgende aanleidingen gegeven voor het vaststellen van de toestand van een constructie en het uitvoeren van een daaraan gekoppelde beoordeling van de constructieve veiligheid:

a. Routinematige beoordeling

Deze zal in het algemeen zonder directe aanleiding gebeuren. De gedachte achter een periodieke routinematige beoordeling is, dat in de loop van de tijd veel ongemerkt kan zijn veranderd, zowel met betrekking tot de constructie en zijn gebruik als met betrekking tot regelgeving, kennis en inzichten.

b. Einde planduur

Zodra de ontwerplevensduur of restlevensduur van een constructie is verstreken, is er om constructieve redenen meestal geen reden de constructie direct af te breken of te versterken. Dit behoort echter wel te worden aangetoond.

c. Geconstateerde en/of vermoede schade

Indien bij inspectie of anderszins schade is geconstateerd, zal dit meestal aanleiding zijn de constructie nader te beoordelen. Repareren of accepteren van schade zonder inzicht in oorzaken en consequenties wordt afgeraden. Verder kan schade worden vermoed om verschillende redenen, bijvoorbeeld een uitzonderlijk hoge belasting of schade aan andere vergelijkbare onderdelen of constructies.

d. Verandering van gebruik

Zodra expliciet sprake is van een ander gebruik van de constructie en een daarmee samenhangende verandering (vergroting) van de belastingen en andere inwerkingen, is een beoordeling noodzakelijk.

e. Herontwerp

Bij plannen de constructie aan te passen in verband met nieuwe eisen of ander gebruik, behoren onderdelen die ook een rol zullen spelen in het herontwerp als bestaande constructie te worden beoordeeld.

f. Veranderde ontwerpregels

Aanpassingen van voorschriften zijn vaak gebaseerd op nieuwe inzichten in belastingen of mechanismes. Nagegaan zal moeten worden hoe dit uitwerkt voor een bestaande constructie, bijvoorbeeld bij toename van de verkeersbelasting.

Beheerder en bevoegd gezag hebben in deze een eigen verantwoordelijkheid en zijn niet gehouden aan de hiervoor genoemde aanwijzingen. Er kunnen voor een beheerder ook andere overwegingen aanleiding zijn om tot een beoordeling van een kunstwerk of een set van kunstwerken over te gaan, zoals kostenoptimalisatie van het onderhoud en beheer.

3.2.2 Restlevensduur

Het publiekrechtelijk wettelijk kader voor het afkeuren van een kunstwerk vormt een absolute ondergrens voor het veilig gebruik van een kunstwerk. Bij deze beoordeling op afkeurniveau wordt een restlevensduur van één jaar gehanteerd (en een minimale referentieperiode van vijftien jaar). Bij het beoordelen of een kunstwerk nog voldoende sterkte heeft moet daarbij rekening worden gehouden met degradatiemechanismen die binnen een jaar zullen optreden.

Als een beoordeling heeft plaatsgevonden om vast te stellen of een kunstwerk voldoet aan de wettelijk vereiste betrouwbaarheid op afkeurniveau en dit het geval is, betekent dit niet per definitie dat over een jaar weer een volledig nieuwe verificatieberekening moet plaatsvinden, met name indien de uitgangspunten voor een eerdere beoordeling niet zijn gewijzigd en er in de tussentijd niets is veranderd aan de toestand van het kunstwerk (geen degradatie). Dit is ter beoordeling door de beheerder in samenspraak met de technisch adviseur.

Wanneer constructieve onderdelen van een kunstwerk worden aangepast, is er sprake van verbouw. De beoordeling of dan sprake is van een voldoende veilige situatie is gekoppeld aan de "ontwerplevensduur". Dat is de periode waarover het kunstwerk nog geacht wordt te functioneren. Deze mag bij verbouw publiekrechtelijke gezien niet lager zijn gekozen dan de oorspronkelijke ontwerplevensduur bij de bouw van het kunstwerk minus de reeds verstreken tijd, met een minimum van vijftien jaar.

Het voorgaande betreft de toe te passen regels, indien er geen duidelijke toekomstvisie is voor een kunstwerk. Een dergelijke visie kan aanleiding zijn waarom het niet proportioneel is van de ontwerplevensduur uit te gaan. In dat geval zal door de beheerder gemotiveerd en concreet onderbouwd moeten worden waarom bij afwijking van de regels toch van een gelijkwaardig veilige situatie sprake is. Bijvoorbeeld als bekend is dat een kunstwerk over tien jaar zal worden vervangen of een weg zal worden verlegd.

Voor een visuele verbeelding van het voorgaande, zie het schema in figuur 3-2.

3.2.3 Rechtens verkregen niveau

Het begrip rechtens verkregen niveau is vastgelegd in het Bouwbesluit 2012 en is kort samengevat het niveau dat bij een rechtmatig verkregen vergunning eertijds is vergund. Dit niveau mag echter niet lager zijn dan het afkeurniveau en hoeft niet hoger te zijn dan het nieuwbouwniveau. Het rechtens verkregen niveau heeft geen betrekking op te hanteren betrouwbaarheidsniveaus, karakteristieke belastingen en/of partiële factoren. Bij constructieve veiligheid wordt het alleen gebruikt in relatie tot buitengewone belastingen, zoals aanrijdingen of aanvaringen van pijlers of brugdekken, ijsdruk op een pijler of het bezwijken van een tui. Afwijkend van andere constructies mag bij bruggen ook de brandbelasting gehanteerd worden overeenkomstig het oorspronkelijk vergunde ontwerpniveau. Bij een verbouwsituatie hoeft publiekrechtelijk gezien alleen rekening te worden gehouden met die buitengewone belastingen die ook in het verleden zijn beschouwd. Bij de beoordeling op afkeuren wordt in het geheel geen rekening gehouden met buitengewone belastingen. Dit is toegelicht in artikel 4.4.2 van NEN 8701 en 4.2.1(8) van NEN 8700.

In tegenstelling tot hierbovenstaande moeten alle relevante bijzondere belastingen worden. Voor de Utrechtse situatie m.b.t. bijzondere belasting, zie TUB Leidraad 1 §3.4. Aanvullend wordt gesteld dat een toetsing op aardbeving niet hoeft plaats te vinden omdat het risico op een aardbeving klein is in Utrecht.

3.3 Veiligheidsfilosofie bestaande bouw

3.3.1 Veiligheidseisen bestaande bouw

In figuur 3-2 is schematisch weergegeven hoe de publiekrechtelijke bouwregelgeving moet worden gelezen en toegepast.

Uit de figuur blijkt dat de veiligheidsbeoordeling van een bestaande constructie op een aantal punten afwijkt van die van nieuwbouw. De reden hiervoor is:

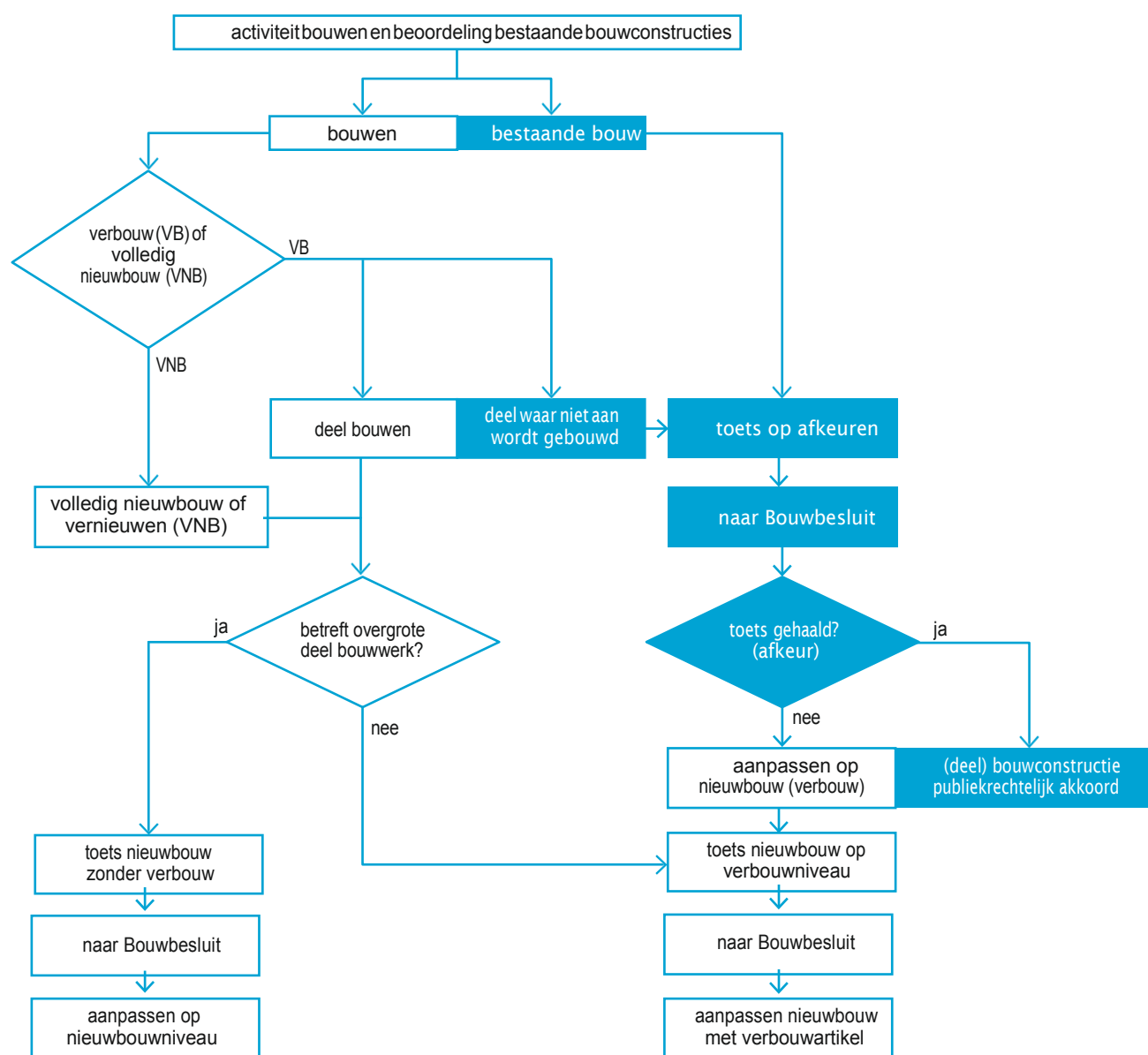
1. het verhogen van het veiligheidsniveau brengt meestal relatief meer kosten met zich mee voor bestaande bouwwerken dan voor bouwwerken in het ontwerpstadium;
2. de periode dat de constructie nog mee moet is vaak anders dan de standaard ontwerplevensduur;
3. de mogelijkheid bestaat om via metingen mogelijk meer over een constructie te weten te komen en zodoende onzekerheden te verkleinen.

In de hierna volgende paragrafen zijn de eerste twee punten toegelicht, zie [1] voor de achtergronden.

3.3.2 Kostenaspect en menselijke veiligheid

Er zijn in principe twee overwegingen om een afwijkende betrouwbaarheidseis aan een bestaande constructie op te leggen [2]:

- Ten eerste een economische overweging. Dit leidt tot een optimalisering van de som van de bouwkosten en het product van schade en kans op falen.
- Ten tweede een veiligheidsoverweging, omdat onevenredig grote risico's voor mensen niet worden geaccepteerd. Deze overweging tracht het risico voor verlies aan mensenlevens te beperken tot een niveau dat (significant) lager is dan andere risico's die mensen in het dagelijks leven ondervinden.



Figuur 3-2. Visuele verbeelding van het beoordelingsschema. [35]

Van beide overwegingen moet steeds de strengste veiligheidsnorm worden aangehouden. Dit is nader uitgewerkt in NEN 8700:2011. In dat normblad is onderscheid gemaakt tussen het verbouwniveau en het afkeurniveau.

3.3.3 Beoordeling zonder dat het kunstwerk wordt veranderd

Een uiterste grenstoestand zoals aangegeven in NEN 8700 mag gedurende de restlevensduur niet zijn overschreden bij het in dat normblad opgenomen afkeurniveau. NEN 8700 geeft enerzijds de in rekening te brengen belastingcombinaties en de daarin te hanteren partiële factoren en anderzijds de methoden om te bepalen of de respons (belastingeffect) in de verschillende onderdelen

van het kunstwerk kleiner is dan de constructieve sterkte (weerstand). Om te voldoen aan de achterliggende doelstelling (minimumniveau van constructieve veiligheid) dat het individueel risico van een persoon per jaar kleiner is dan 10^{-5} om (dodelijk) slachtoffer te worden van constructief falen, moeten constructies en delen van constructies worden ingedeeld in gevolgklassen (zie paragraaf 3.3.5). De vier onderscheiden gevolgklassen bepalen het aan te tonen veiligheidsniveau en leiden tot verschillen in de getalswaarden van de belastingfactoren.

3.3.4 Gedeeltelijk vernieuwen, veranderen of vergroten (verbouw) van een kunstwerk

Zodra verplicht dan wel vrijwillig wordt besloten tot het geheel of gedeeltelijk vernieuwen, veranderen of vergroten van een kunstwerk is sprake van bouwen in de zin van de Woningwet en de Wabo en gelden dientengevolge alle voorschriften die horen bij “het bouwen” en in beginsel ook de vergunningsvereisten uit de Wabo.

De keuzes die zijn gemaakt houden verband met die welke de wetgever heeft gehanteerd voor het Bouwbesluit 2012. Sinds 1 april 2012 geldt niet langer voor verbouw van een kunstwerk het nieuwbouwniveau, waarvan het bevoegd gezag gemotiveerd vrijstelling kon verlenen. Met het Bouwbesluit 2012 is een vast verbouwniveau geïntroduceerd.

Wanneer het gaat om het beoordelen van een constructie, dan gelden voor de te verbouwen onderdelen (onderdelen die fysiek worden gewijzigd) de eisen die in NEN 8700 zijn opgenomen voor het verbouwniveau en voor de onderdelen die niet worden verbouwd (geen fysieke wijziging ondergaan) ten minste de eisen die gelden voor het afkeurniveau. Dat betekent dat voor de toetsing van bestaande onderdelen mag worden uitgegaan van lagere partiële factoren dan voor de toetsing van de te verbouwen onderdelen.

Wanneer het gaat om het geheel of gedeeltelijk vernieuwen, veranderen of vergroten van een beweegbare brug kan naast de Woningwet en de Wabo ook het Warenwetbesluit machines een rol gaan spelen. Dat besluit bevat de implementatie van Europese machinerichtlijn [3]. In het Warenwetbesluit in samenhang met de Europese machinerichtlijn is bepaald wanneer deze eisen, waaronder ook eisen met betrekking tot constructieve veiligheid, van toepassing zijn. In de richtlijn is in detail geregeld wat onder een machine wordt volstaan, zie paragraaf 3.4.

3.3.5 Gevolgklassen

Om te voldoen aan het uitgangspunt van een individueel risico per persoon per jaar van 10^{-5} zijn bouwwerken ingedeeld in gevolgklassen. De gevolgklasse waarin een bestaande constructie wordt ingedeeld, heeft direct effect op de belastingfactor die dient te worden gehanteerd (zie paragraaf 7.3.2).

Die indeling van de gevolgklassen heeft een relatie met het aantal personen dat slachtoffer kan worden van een incident en de maatschappelijke schade die falen tot gevolg heeft. Voorheen werd in de TGB-reeks daarvoor de indeling in veiligheidsklassen gehanteerd. De voor Nederland te hanteren indeling is neergelegd in de Nationale bijlage bij NEN-EN 1990. De NEN 8700 verwijst naar de indeling in NEN-EN 1990.

Het overzicht van de gevolgklassen, inclusief voorbeelden van toepassingen, is gegeven in tabel 3-1. De tabel is gebaseerd op de tabel NB.21 uit NEN 8700. Een bouwwerk kan overigens ook onderdelen bevatten waarvan het bezwijken minder ernstige gevolgen heeft dan op grond van de gevolgklasse van het gehele bouwwerk aan de orde zal zijn. Daarom mogen dergelijke constructieve onderdelen in een andere (lagere) gevolgklasse worden ingedeeld. Bijvoorbeeld:

- Een hekwerk langs een fietspad dat over een brug voert zou een voorbeeld kunnen zijn van een bouwconstructie die in een lagere gevolgklasse wordt ingedeeld dan de gevolgklasse voor de brug als geheel.

- Afhankelijk van de wijze van funderen en de gevolgen van het bezwijken van een funderings-element, gerelateerd aan de gevolgklasse-omschrijving in tabel NB.20 – B1 van de Nationale bijlage bij NEN-EN 1990, kan een funderingselement ook in een lagere gevolgklasse worden ingedeeld dan waarin het kunstwerk als geheel moet worden ingedeeld. Een risicoanalyse moet uitwijzen of dat aan de orde is.

Tabel 3-1. Overzicht gevolgklassen

Gevolg- klasse ^a	Definitie van gevolgklassen	Voorbeelden van toepassingen
	Tabel NB.20 – B1: normatief	Tabel NB.21 – B1: informatief
CC3	Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens ^b , of zeer grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving	Bruggen en viaducten in en over hoofdwegen, hoofdvaarwegen en landelijke spoorwegen Dit betreft bruggen: ■ in en over de hoofdinfrastructuur of over hoofdvaarwegen met intensieve industriële (zee)vaart; of ■ waarbij het instorten maatschappij-ontwrichtende gevolgen heeft; ■ met extreem risico op grote maatschappelijke of letselschade.
CC2	Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of aanzienlijke economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving	Bruggen die niet zijn ingedeeld in CC 1 of CC 3
CC1b	Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving	Bruggen waarvoor gedurende de gehele ontwerplevensduur geldt: ■ de brug ligt niet in een economisch belangrijke route; ■ het aantal vrachtwagens is minder dan 2.000 per jaar per rijstrook; en ■ er is een beperkt risico op grote maatschappelijke of letselschade. Bruggen in landwegen, woonwijken, enzovoort
CC1a	Nagenoeg uitgesloten verlies van mensenlevens en zeer kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving	

a Voorbeelden voor de toepassing van de gevolgklassen staan in tabel NB.21 – B1 en zijn informatief.

b Bedoeld zijn situaties van bouwwerken, waarin zich tegelijkertijd veel mensen kunnen ophouden en waarbij bij bezwijken van een essentieel onderdeel ineens een groot aantal mensen kan worden getroffen.

3.3.6 Toetsing

Bij het toetsen (het beoordelen) van de constructieve veiligheid van een kunstwerk moet worden nagegaan of voldaan is aan de vergelijking:

$$S_d < R_d \quad (3.1)$$

waarin:

S_d is de rekenwaarde van het belastingseffect;
 R_d is de rekenwaarde van de weerstand (sterkte).

Voor de beoordeling of een constructief element al dan niet moet worden afgekeurd moet daarbij zijn uitgegaan van de redelijkerwijze meest geavanceerde bepalingmethode.

Belasting

Voor de bepaling van de belasting mogen de in NEN 8700 voorgeschreven belastingcombinaties worden beschouwd, waarbij de grootte van de belastingen moet worden ontleend aan NEN 8701. Bij het bepalen van die combinaties wordt voor de grootte van de partiële factoren onderscheid gemaakt naar het afkeur- en het verbouwniveau. De factoren verschillen evenzo afhankelijk van de gevolgklasse. Voor de grootte van de karakteristieke waarde van de belastingen speelt daarnaast de referentieperiode een rol die niet kleiner mag worden gekozen dan de rest- respectievelijk de ontwerplevensduur met een minimum van 15 jaar.

Sterkte

Voor de bepaling van de rekenwaarde van de sterkte moet toepassing worden gegeven aan de materiaalgebonden normen uit de Eurocode in combinatie met de Nationale bijlages en de Nederlandse aanvullingen voor bestaande constructies hierop zoals vastgelegd in de NEN 8700-serie.

Beoordeling

Bij de beoordeling van een bestaande constructie dient in beginsel te worden uitgegaan van de materiaaleigenschappen die werkelijk in het bouwwerk aanwezig zijn en bijvoorbeeld uit metingen zijn verkregen. Ook dient te worden uitgegaan van de feitelijk aanwezige afmetingen. Daarnaast moet rekening worden gehouden met de actuele staat van het bouwwerk (dus inclusief schade door vermoeiing, aantastingen, beschadigingen, et cetera).

De sterkte mag ook proefondervindelijk vastgesteld worden, rekening houdend met de eisen die daarvoor in NEN 8700 zijn beschreven (zie ook paragraaf 4.4). Dit wordt gedaan in situaties waarbij het vermoeden bestaat dat dit zich loont en de indruk bestaat dat rekenregels tekortschieten om de veiligheid voldoende nauwkeurig vast te stellen.

Verder mag rekening worden gehouden met de actuele verkeerssituatie en eventueel geldende en handhaafbare beheersmaatregelen, zoals bebording om bepaalde zware verkeerslasten te verbieden (zie hoofdstuk 7).

Bedacht moet worden dat als rekenkundig wordt vastgesteld dat het afkeurniveau is onderschreden dat dit niet betekent dat delen van het kunstwerk moeten zijn ingestort. Rekenkundig geldt dat op dat moment het betrouwbaarheidsniveau lager is dan wettelijk vereist. In dat geval kan nog steeds worden aangetoond dat de veiligheid voldoende is, bijvoorbeeld door nauwkeuriger rekenen, aanvullende metingen of middels proefbelasten (paragraaf 4.4). Eventueel kunnen beheersmaatregelen worden getroffen.

Indien van een bestaand kunstwerk wordt vastgesteld dat de actuele staat zich boven afkeurniveau bevindt, betekent dit niet dat er gedurende de restlevensduur geen aandacht meer hoeft te zijn voor het kunstwerk. De beoordeling is direct gerelateerd aan de actuele staat van de (draag-) constructie, daarmee blijft de beoordeling alleen staande als mogelijkheden tot (toename van) degradatie worden voorkomen.

Versterkingsmaatregelen en monitoring

De eigenaar van een constructie heeft de verplichting het minimum veiligheidsniveau van kunstwerken te bewaken, de normbladen regelen dit niet. Wanneer het bevoegd gezag kennis draagt van een te laag betrouwbaarheidsniveau, zal dat gezag een termijn stellen waarbinnen maatregelen moeten zijn genomen. Als reeds een omgevingsvergunning voor het bouwen of verbouwen is aangevraagd kan zij bij die vergunning via het stellen van voorwaarden invulling geven aan haar wettelijke taak de voorschriften te handhaven.

Versterkingsmaatregelen zijn in beginsel vergunningplichtig waardoor het bevoegd gezag op dat moment gekend wordt in het te onveilige niveau van een kunstwerk en maatregelen kan vorderen als ze dat nodig acht om de veiligheid voldoende te waarborgen tot het moment dat de versterkingsmaatregelen zijn uitgevoerd. Het feit dat met een restlevensduur van 1 jaar moet worden gerekend, betekent dat binnen afzienbare tijd maatregelen moeten worden getroffen. De exacte periode is afhankelijk van de ernst van hetgeen wordt aangetroffen. Dat kan dus korter zijn, maar mogelijk ook langer.

Wanneer wordt berekend dat de sterkte van constructieve onderdelen nog juist boven het afkeur-niveau ligt, dan is het van belang dat de beheerder alert is op de snelheid waarmee de sterkte in de tijd afneemt. Afhankelijk van dat gegeven kan door de beheerder worden besloten toch maatregelen te treffen zoals vervangen, versterken, beperken van het gebruik (bijvoorbeeld door het aantal rijstroken te verminderen of belastingrestricties aan te brengen door bebording of fysieke beperkingen). De technisch adviseur kan hierbij adviseren.

In de navolgende hoofdstukken van deze CROW-CUR Aanbeveling wordt het bovenstaande nader uitgewerkt.

3.4 Beweegbare bruggen

Wanneer sprake is van een beweegbare brug gelden er nog een aantal specifieke voorschriften. Voor bruggen geldt dat deze in aanvulling op constructieve veiligheid voorts ook geen ander gevaar voor personen mogen opleveren. Dat is een voortvloeisel uit de aansprakelijkheidswetgeving uit het Burgerlijk wetboek. Dat wordt in deze CROW-CUR Aanbeveling niet verder beschreven.

Wanneer onderhoud wordt gepleegd aan het mechaniek, moet tevens zijn voldaan aan het Warenwetbesluit machines. Het mechaniek van een beweegbare brug is immers een machine en moet daarom voldoen aan het Warenwetbesluit machines.

De beweegbare brug is daarnaast in zijn geheel een bouwwerk in de zin van de Woningwet en moet dan ook voldoen aan het Bouwbesluit 2012. Het Warenwetbesluit is niet van hogere orde dan het Bouwbesluit 2012 en aan beiden moet zijn voldaan bij de verbouwing van een beweegbare brug waarbij ook de machine onderdeel is van deze verbouwing. In beide besluiten komt constructieve veiligheid aan de orde.

NEN 6787 kan de beheerder, ontwerper of bouwer van een brug behulpzaam zijn bij het voldoen aan de dubbele wettelijke verplichting. Het voldoen aan NEN 6787 leidt echter niet tot de conclusie dat in zijn volle omvang aan het Warenwetbesluit machines is voldaan. Het voldoen aan NEN 6787 vrijwaart de beheerder ook niet volledig van eventuele aansprakelijkstelling in geval zich een calamiteit heeft voorgedaan.

Voor de eisen t.a.v. de beweegbare bruggen in Utrecht wordt verwezen naar de TUB Leidraad 1 §3.6.

4.1 Inleiding

De beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande objecten (bruggen en viaducten) wordt in de basis geregeld door de beschikbare norm- en regelgeving (hoofdstuk 3).

Voor deze beoordeling moeten beheerders van een areaal aan bruggen en viaducten een keuze maken welke bruggen en viaducten prioriteit behoeven. Een goede prioritering is er op gericht dat de meest urgente (meest risicovolle) constructies als eerste worden beoordeeld.

Indien uit een rekenkundige beoordeling blijkt dat een object niet voldoet aan de eisen die aan de constructieve veiligheid worden gesteld, betekent dat niet per definitie dat een constructie onveilig is. De veiligheid kan namelijk ook nog op een andere, nauwkeurigere manier worden bepaald waaruit kan blijken dat de constructie toch voldoet. Hiervoor is het van belang om een beeld te hebben van de mogelijkheden om de rekenkundige veiligheid beter (nauwkeuriger) te bepalen door het verkleinen van onzekerheden. Dit kan betrekking hebben op de na te streven gevolgklasse, maar ook op de belasting, het effect daarvan op de constructie (het belastingeffect) en de sterkte van een constructie.

Het hierboven genoemde proces is schematisch weergegeven in het schema van figuur 4-1. In dit schema wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds het prioriteren van een areaal aan constructies voor de beoordeling van de constructieve veiligheid (bovenste gedeelte van het schema) en anderzijds het kwantitatief beoordelen van een individueel object (onderste gedeelte van het schema). Beide aspecten worden aansluitend toegelicht (paragraaf 4.2 en 4.3).

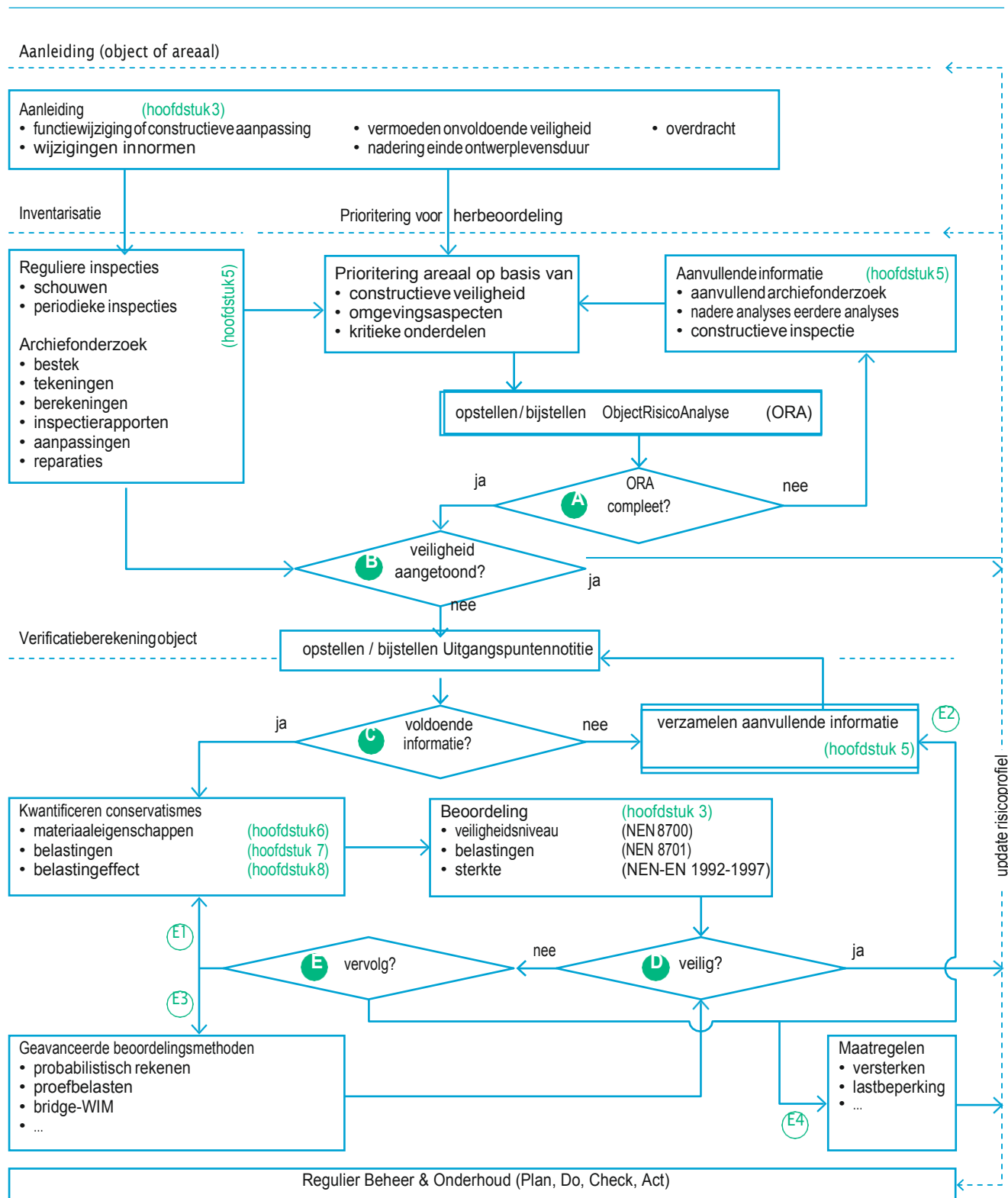
In het schema staan verschillende beslispunten benoemd (A tot en met E). In het schema zijn (in groen) verwijzingen gegeven naar de hoofdstukken waar de genoemde onderdelen in detail zijn toegelicht. De beslissingen die bij de beslispunten moeten worden genomen zijn de verantwoordelijkheid van de beheerder. Voor de technische argumentatie wordt de beheerder hierin geadviseerd door de technisch adviseur. De beheerder dient zich ervan bewust te zijn dat er sprake kan zijn van tegenstrijdige belangen indien de technisch adviseur ook betrokken is bij andere delen in het beoordelingsproces (bijvoorbeeld als uitvoerder van de verificatieberekeningen). Aanbevolen wordt om dergelijke dubbele belangen te vermijden.

4.2 Risicogestuurde prioritering

4.2.1 Objectrisicoanalyse

Om een keuze te maken welke kunstwerk(en) als eerste in aanmerking komen om te worden herbeoordeeld, kan een risicogestuurde prioritering worden uitgevoerd. Per object wordt hiertoe een objectrisicoanalyse (ORA) opgesteld (zie figuur 4-1) die resulteert in een totaalscore van een object (prioriteringsscore). Hoe hoger deze prioriteringsscore ten opzichte van andere kunstwerken, hoe hoger de prioriteit om constructieve veiligheid van het desbetreffende kunstwerk kwantitatief te beoordelen. De wijze waarop de objectrisicoanalyse dient te worden uitgevoerd en de aspecten die daarbij een rol spelen, zijn in detail toegelicht in de volgende paragrafen.

Vaak blijkt een hoog risico voort te komen uit een gebrek aan informatie omdat daarmee niet kan worden aangetoond dat de constructieve veiligheid voldoende is. Omdat het verkrijgen van informatie echter arbeids- en tijdsintensief is, is het vergaren van informatie veelal een iteratief proces. Desondanks loont het vaak voor kunstwerken met een hoog risicoprofiel om meer informatie te vergaren en daarmee de kans op afkeuren te verlagen. In het schema in figuur 4-1 is de keuze waarmee wordt aangegeven of de objectrisicoanalyse (voldoende) compleet is, aangeduid als *keuzemoment A*.



Figuur 4-1. Stappenplan voor de prioritering en beoordeling van bestaande bruggen en viaducten.

Indien blijkt dat de constructieve veiligheid voldoende is aangetoond (bijvoorbeeld op basis van een recente constructieve beoordeling), dan kan het kunstwerk worden opgenomen in het reguliere beheer- en onderhoudsproces (*keuzemoment B*). Indien de constructieve veiligheid daarentegen niet is aangetoond, dan moet het object worden beoordeeld aan de hand van een verificatieberekening of dienen maatregelen te worden getroffen. De resultaten van de object-risicoanalyse vormen daarbij de basis voor de uitgangspuntennotitie ten behoeve van de verificatieberekening. De beoordeling van de constructieve veiligheid aan de hand van een verificatieberekening is toegelicht in paragraaf 4.3.

4.2.2 Beoordelingsaspecten

In een risicogestuurde prioritering van de beoordeling van kunstwerken dient naast het aspect constructieve veiligheid ook rekening te worden gehouden met de gevolgen van eventueel niet-voldoen. Deze gevolgen richten zich in het bijzonder op het effect voor de weggebruikers en de omgeving in geval het kunstwerk haar functies niet meer kan vervullen. Deze gevolgen worden gevat in het aspect omgeving en komen in NEN-EN 1990 tot uitdrukking in de gevolgklasse (CC), zie paragraaf 3.1.

Daarmee wordt de risicoscore per object bepaald door twee componenten, te weten:

- Technische aspecten, welke bepalend zijn voor de kans van falen;
- De omgevingsaspecten van het object, vertaald in de gevolgklasse (CC) behorende bij het object, welke bepalend zijn voor de gevolgen van falen.

Technische aspecten

Voor de kans op falen is het enerzijds van belang om inzicht te hebben in de bezwijkmechanismes die een rol kunnen spelen (falen van delen van de constructie of de fundering) en anderzijds de veranderingen die in de loop der tijd zijn opgetreden en hierop van invloed zijn (toename van de belasting of ander afwijkend gebruik, schade, degradatie, et cetera). Om deze risico's te identificeren, dienen in ieder geval onderstaande aspecten te worden beschouwd. Voor het achterhalen van informatie om inzicht hierin te verkrijgen, wordt verwezen naar hoofdstuk 5 en kan worden gedacht aan ontwerpdocumenten, as-built documentatie, opgetreden veranderingen en inspectierapporten (al dan niet van constructieve inspecties).

Belastingen

- Permanente belastingen (aanwezigheid van (nieuwe) overlagingen, uitbreiding van het kunstwerk, geluidsschermen of andere randbelastingen);
- Veranderlijke verkeersbelasting (ontwerpwaarde, belastingklasse en verkeersintensiteit);
- Veranderingen in gebruik (toename van het aantal rijstroken, wijziging van de rijbaanindeling, aanwezigheid van bijzondere industrie die effect heeft op de verkeersbelasting, et cetera).

Draagvermogen

- Voortschrijdend inzicht in draagkracht van het constructief systeem;
- Aanwezigheid gevoelige en/of kritische details, detaillering van de voorspanning en de wapening;
- Bijzonderheden bij specifieke constructietypes en/of de slankheid van de constructie;
- Toepassing van (onbekende) materialen;
- Wijzigingen in de omgeving (ontgravingen, grondaanvullingen, ongelijkmatige zettingen en verplaatsingen).

Schades en degradatie

- Schadebeelden en de oorzaak daarvan. De oorzaak van de schade is medebepalend voor de risico-inschatting en kan bijvoorbeeld voortkomen uit ontwerp- of uitvoeringsfouten maar ook door het reguliere gebruik (vermoeiing) of juist foutief gebruik (ongevallen, overbelasting). Ook veranderingen die van invloed zijn op het constructief gedrag kunnen hierbij een rol spelen;

- Kwaliteitscontrole tijdens bouw;
- Aanwezigheid oorlogsschade of herbouw op restanten.

Omgevingsaspecten

De gevolgklasse waarin een kunstwerk wordt ingedeeld wordt bepaald door de gevolgen van falen in termen van economische gevolgen en slachtoffers, zie paragraaf 3.3. Het effect van buiten-gebruikstellingen of lastbeperkingen en de aanwezigheid van eventuele alternatieve routes wordt hierin ook meegenomen. Aandachtspunten die hierbij kunnen worden meegewogen hebben betrekking op de bereikbaarheid (of verminderde toegankelijkheid door een gebruiksbeperking) en het effect op:

- veranderde functie van het object of infrastructuur ten opzichte van de aanlegsituatie;
- woongebieden (inclusief toekomstige gebiedsontwikkeling);
- bedrijventerreinen;
- noodzaak voor hulpdiensten om gebruik van het kunstwerk te maken;
- bijzondere transporten (zware transporten).

Voor de bereikbaarheid is het van belang rekening te houden met de mogelijkheid en het effect van de aanwezigheid van alternatieven (of juist niet) en het anders inrichten van het kunstwerk (rijbaanbeperkingen).

Op basis van bovenstaande dient goed beschouwd te worden in welke gevolgklasse het te beschouwen object moet worden ingeschaald.

4.2.3 Risicoscore

Om een inschatting te kunnen maken van de risicoverhoudingen tussen de objecten onderling kan een methodiek worden toegepast waarbij een risicoscore per object wordt bepaald. De risicoscore van elk object wordt bepaald door het product van de kans (technische aspecten) en het gevolg (omgevingsaspecten). Beheerders en technisch adviseurs kunnen daarbij gezamenlijk de waardering toekennen aan de individuele aspecten. In navolgend voorbeeld (betonconstructie) is deze opgebouwd uit de op groepsniveau genoemde aspecten belastingen, draagvermogen, schades en degradatie en de omgevingsgevolgen:

- *De technische aspecten, belastingen, draagvermogen, schades en degradatie.* Deze worden vertaald naar het aanwezig zijn hiervan in de constructie (uitgedrukt in A_i). In deze fase van de risicobeoordeling worden de aspecten alle qua zwaarte hetzelfde meegeteld. Voor de maat van A_i die betrekking heeft op de oorspronkelijke ontwerpverkeersklasse geldt:

Oude verkeersklasse (VOSB 1963 resp. VOSB 1933/1938)	A_i
Klasse 60, VK A	1
Klasse 45, VK B	3
Klasse 30, VK C	9

Verder geldt dat bij schade, zoals scheurvorming, de waarde A dient te worden opgehoogd, afhankelijk van de oorzaak van de schade. Voor buigscheuren geldt $A_i = 2$ terwijl voor scheuren die duiden op een te grote dwarskracht een waarde $A_i = 4$ toepasselijk is. Deze waarden zijn bepaald uit de verschillen tussen vloei en breuk van de wapening. Bij dwarskrachtscheuren is deze kans groter dan bij buiging, daarom wordt de waarde $A_i = 4$ gehanteerd. Voor scheuren zonder constructieve gevolgen (krimpscheuren) dient de waarde A niet te worden opgehoogd (mits de scheuren geen kans op gevolgschade hebben zoals corrosie van de wapening).

- Voor andere aspecten zoals beschadigde opleggingen, steunpuntzakkingen, scheuren corrosie, en dergelijke kan op een analoge wijze de waarde voor A_i worden bepaald zodanig dat deze de toename van de kans representeert gegeven het waargenomen fenomeen.

De omgevingsgevolgen welke worden uitgedrukt in de betrouwbaarheidsindex van de gevolgklasse bij afkeurniveau (respectievelijk CC1b, CC2 en CC3). Uitgangspunt is dat het risico gelijk blijft. Dus kans maal gevolg is een constante (gelijk risico). Het relatieve gevolg kan dan worden uitgedrukt in het relatieve gevolg ten opzichte van het niveau CC1b.

Gevolgklasse	Betrouwbaarheidsindex	Relatief gevolg (C)
CC1b	1,5	1
CC2	2,5	10
CC3	3,5	70

De totaalscore voor het risico per object wordt in dat geval bepaald door:

$$R_{object} = C \sum A_i \quad (4.2)$$

Een voorbeelduitwerking voor eenzelfde kunstwerk ontworpen in een verschillende gevolgklasse, is gegeven in tabel 4-1. In het voorbeeld wordt het volgende onderscheid voor de beschouwde bruggen gemaakt:

brug	gevolgklasse	verkeersklasse bij ontwerp	tandoplegging	waargenomen scheuren
A	CC3	klasse 60	ja	geen
B	CC2	klasse 60	ja	geen
C	CC1b	klasse 30	nee	geen
D	CC1b	klasse 30	ja	moment en buiging

In het voorbeeld wordt zichtbaar dat de gevolgklasse zeer bepalend is voor de risicoprioritering. Alleen bij veel technische aspecten kan het risico zodanig zijn dat bijvoorbeeld een brug in CC1b een hogere totaalscore krijgt dan een brug in CC2. In tabel 4-1 is te zien dat brug A de hoogste prioriteit heeft. Dit komt door het hoge risico veroorzaakt door het zeer grote gevolg.

Zoals eerder aangegeven betreft de risicobeoordeling een kwalitatieve vergelijking. Er kan om die reden geen oordeel worden gegeven over het al dan niet voldoen aan de eisen die worden gesteld aan de constructieve veiligheid van de objecten. Een uitspraak op basis van *expert judgement*, over de score waarbij kunstwerken veilig zijn of niet, wordt niet mogelijk geacht. Voor de kwantitatieve beoordeling van de constructieve veiligheid wordt verwezen naar de volgende paragraaf (paragraaf 4.3).

Tabel 4-1. Voorbeelduitwerking voor de bepaling van de risicoscore voor een betonnen kunstwerk

Aspect	Kunstwerk							
	A		B		C		D	
Omgevingsgevolgen C:	C		C		C		C _i	
gevolgklasse	CC3	70	CC2	6	CC1b	1	CC1b	1
Totaal C	70		10		1		1	
Technische aspecten A:	A _i		A _i		A _i		A _i	
Ontw.verkeerskl. anders dan vk60 of vkA:	vk60	1	vk60	1	vk30	9	vk30	9
Constructiedetails:								
tandoplegging	ja	1	ja	1	nee	0	ja	1
dwarskrachtscheuren	nee	0	nee	0	nee	0	ja	4
momentscheuren	nee	0	nee	0	ja	2	ja	2
Totaal A (ΣA_i)	2		2		11		16	
Totaalscore (CxA):	140		20		11		16	

4.3 Verificatieberekening constructieve veiligheid

4.3.1 Inleiding

Zodra op basis van de prioritering (paragraaf 4.2) wordt besloten dat een object dient te worden herbeoordeeld, wordt een kwantitatieve beschouwing van de constructieve veiligheid op basis van de vigerende regelgeving uitgevoerd. In het schema van figuur 4-1 is het proces hiervoor in het onderste gedeelte toegelicht (*Verificatieberekening object*). In de praktijk kenmerkt dit moment zich door het besluit dat wordt genomen om een verificatieberekening van de constructie uit te voeren. Voor de beheerder betekent dit veelal het inschakelen van een kundig extern bureau voor de uitvoering daarvan.

4.3.2 Uitgangspuntennotitie

Als resultaat van de objectrisicoanalyse en als startpunt van de herbeoordeling van een object dient een uitgangspuntennotitie te worden opgesteld. In de uitgangspuntennotitie wordt de informatie (die mede door de beheerder wordt aangeleverd) vastgelegd die wordt gebruikt voor de beoordeling van het kunstwerk waarbij rekening is gehouden met resultaten uit de verschillende onderzoeken uit paragraaf 4.2. De uitgangspuntennotitie dient gedurende het proces van herbeoordeling actueel te worden gehouden en wordt door de beheerder vastgesteld.

De uitgangspuntennotitie dient minimaal de volgende aspecten te bevatten:

- Aanleiding van de herbeoordeling;
- Bestaande, tijdelijke en toekomstige situatie (aantal rijstroken, taludaanpassingen, geluidsschermen, gebruik bij noodsituaties of onderhoudswerkzaamheden);
- Afspraken met gemeentelijke diensten over de aanwezigheid van openbaar vervoer en voertuigen voor gladheidsbestrijding, als ook met de Rijksdienst voor het wegverkeer (RDW) over toelaatbare voertuiggewichten en aslasten;
- Resultaten van de objectrisicoanalyse (zie paragraaf 4.2.1);
- Constructieberekening uit het archief (getoetst op duidelijkheid en volledigheid);
- Benodigde gegevens voor de berekeningen waarbij is aangegeven of deze zijn geverifieerd oftewel dat dit aannames betreft;

- Resultaten van uitgevoerd archiefonderzoek en inspectieresultaten (hoofdstuk 5), inclusief geraadpleegde archiefgegevens en bronnen en gegevens ten behoeve van de berekening;
- Eventueel aanwezige schades uit inspectiegegevens uit het archief en resultaten van de inspecties; De oorzaak van eventueel aanwezige schades.

- Aanpak en strategie voor de uitvoering van eventuele verificatieberekeningen (hoofdstuk 8). Hierbij dient tevens rekening te worden gehouden met de verwachte diepgang van de analyses en de wijze waarop de resultaten dienen te worden gevalideerd. Indien tijdens het opstellen van de uitgangspuntennotitie blijkt dat onvoldoende gegevens beschikbaar zijn voor het uitvoeren van de beoordeling, dient deze informatie alsnog te worden verzameld en dient de uitgangspuntennotitie te worden bijgesteld. In het schema in figuur 4-1 is dit moment aangeduid als *keuzemoment C*.

In de uitgangspuntennotitie moet een apart hoofdstuk worden opgenomen over de schades bij een brug, met minimaal de volgende inhoud:

- In schetsen duidelijk maken waar constructieve schade aanwezig is;
- Verklaring/oorzaak van deze schade beschrijven;
- Wat de gevolgen zijn van de schade;
- Hoe de schade in de berekening wordt geschematiseerd/verwerkt?

4.3.3 Kwantificeren conservatismes

Voor het uitvoeren van de constructieve beoordeling is het van belang dat door de technisch adviseur een duidelijk beeld wordt geschetst van de mogelijkheden tot het verhogen van de rekenkundige veiligheid indien de constructie niet blijkt te voldoen aan de gestelde eisen. Hiermee wordt voorkomen dat een constructie mogelijk onterecht wordt afgekeurd. In het schema uit figuur 4-1 is dit aangeduid als het *kwantificeren van de conservatismes*. In dit kader spelen vooral beter inzicht in de materiaaleigenschappen, de gehanteerde verkeersbelasting en de mogelijkheden tot het nauwkeuriger bepalen van de krachtsverdeling een rol. Hier wordt nader op ingegaan in hoofdstuk 6, 7 en 8.

Zoals eerder aangegeven richt deze CROW-CUR Aanbeveling zich niet op de bepaling van de sterkte van constructies en onderdelen daarvan, maar wordt daarvoor verwezen naar de verschillende Eurocodes en de NEN 8700-serie voor de beoordeling van bestaande constructies. Dit betreffen in het bijzonder NEN-EN 1992 t/m NEN-EN 1997 en de in voorbereiding zijnde aanvullingen daarop voor bestaande constructies. Voor het te hanteren veiligheidsniveau en gevolgklasse wordt verwezen naar NEN 8700. Een toelichting hierop is gegeven in hoofdstuk 3 van deze CROW-CUR Aanbeveling. NEN 8701 en het daarbij behorende wijzigingsblad voor bruggen in het onderliggende wegennet gaat in op de aan te houden verkeersbelasting (zie ook hoofdstuk 7).

4.3.4 Vervolgstappen

Indien uit de beoordeling van de constructieve veiligheid blijkt dat de constructie voldoet aan de gestelde eisen, dan kan het risicoprofiel van het desbetreffende object worden bijgesteld en kan dit object in het reguliere beheer- en onderhoudsproces worden opgenomen (*keuzemoment D* in figuur 4-1).

Indien blijkt dat de constructie niet voldoet aan de gestelde eisen, dan dient een vervolgaanpak te worden gekozen. Hierbij zijn verschillende mogelijkheden. In het schema in figuur 4-1 zijn deze bij *keuzemoment E* aangeduid met E1 tot en met E4. De keuze die hierbij wordt gemaakt is een kosten-batenafweging en wordt mede ingegeven door de resultaten van de eerder uitgevoerde beoordeling(en), de kans dat een nieuwe herbeoordeling onterechte afkeur voorkomt en de inspanningen die dit vraagt.

- E1** *Verfijnde verificatieberekening. Indien bij het kwantificeren van de mogelijke conservatieve aannames (paragraaf 4.3.3) de mogelijkheden, binnen de kaders van de materiaalgebonden normen, nog niet zijn uitgeput dan kan de constructieve beoordeling opnieuw worden uitgevoerd waarin deze alsnog worden meegenomen. Eén van de redenen kan zijn dat een relatief eenvoudig model voor de bepaling van de krachtswerking is gebruikt. Het gebruik van een meer geavanceerd model kost meer inspanning maar vergroot de kans dat de veiligheid van de constructie wordt aangetoond (goedkeuren).*
- E2** *Additionele informatie. Ook bestaat de mogelijkheid dat het verzamelen van extra informatie, zoals extra materiaalproeven, de kans op goedkeuren vergroot. Om die reden kan het zinvol zijn om extra informatie te verzamelen. Vervolgens dient de uitgangspuntennotitie te worden bijgesteld waarna opnieuw de constructieve veiligheid kan worden beoordeeld.*
- E3** *Geavanceerde beoordelingsmethoden. Behalve de hiervoor genoemde mogelijkheden zijn er ook nog meer geavanceerde methoden die kunnen worden gebruikt om de constructieve veiligheid aan te tonen. In het schema van figuur 4-1 zijn deze apart benoemd omdat die methoden specialistisch zijn en (daardoor) relatief weinig worden toegepast.*
- E4** *Maatregelen. Tot slot bestaat de mogelijkheid om maatregelen te treffen waarmee tegemoet wordt gekomen aan de eisen die aan de constructieve veiligheid worden gesteld. In de regel hebben maatregelen betrekking op het stellen van beperkingen aan het gebruik of het versterken van de constructie.*

4.4 Proefbelasten

Een bijzondere wijze voor het aantonen van het vereiste betrouwbaarheidsniveau is proefbelasten. Bij het aanbrengen van een proefbelasting kan de sterkte van de feitelijke constructie worden getoetst waardoor geen onzekerheden met betrekking tot de sterkte in rekening behoeven te worden gebracht. Alle onzekerheden horen derhalve toe aan de belastingconfiguratie en het mechanisme waarvoor de proefbelasting wordt uitgevoerd. Belastingen zoals remkrachten en windbelastingen vallen hier dus buiten.

Voor bestaande kunstwerken is proefbelasten vooral interessant indien het aantonen van de constructieve veiligheid rekenkundig niet mogelijk is, bijvoorbeeld door het ontbreken van constructieve ontwerpgegevens of vanwege aanwezige schades waarvan het effect moeilijk te kwantificeren is. Tevens biedt proefbelasten de mogelijkheid om een eventueel hogere belastbaarheid van de constructie vast te stellen dan rekenkundig wordt bepaald als de normen worden gevolgd. In Nederland zijn diverse ervaringen met pilots van proefbelastingen. Een state-of-the art is gegeven in [4] en [5].

Op dit moment wordt er gewerkt aan een richtlijn voor het proefbelasten, waarmee op termijn de uitvoering van proefbelastingen en de interpretatie van resultaten op een eenduidige wijze tot stand kan komen [6]. Proefbelasten kan met diverse lastvormen worden uitgevoerd, waarbij de constructie stapsgewijs wordt belast en ontlast. Uitgangspunt bij het proefbelasten is dat de minimale sterkte van de constructie wordt herleid uit de belasting die maximaal wordt aangebracht op het desbetreffende kunstwerk. Uitgangspunt hierbij is dat de maximale aan te brengen belasting de constructie niet ontoelaatbaar beschadigt.

Om op basis van een proefbelasting aan te tonen dat de constructie voldoet aan de gestelde eisen dient de toe te passen proefbelasting hoger te zijn dan de rekenwaarde van de belasting [7]. Het percentage van deze opslag zal in de richtlijn waar momenteel aan wordt gewerkt, dienen te worden gespecificeerd.

5.1 Inleiding

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaande constructie is het beschikbaar hebben van (relevante) informatie, essentieel. Voor inspecteerbare en waarneembare karakteristieken van een kunstwerk is een onderzoek op locatie veruit het meest effectief omdat dit de meest betrouwbare informatie levert. Daarnaast is vaak ook informatie beschikbaar in diverse archieven. In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de gegevens die relevant zijn bij een beoordeling van de constructieve veiligheid (paragraaf 5.2) en waar deze informatie kan worden verkregen.

Nadere informatie over het archiefonderzoek en inspectie/materiaalonderzoek is ook te vinden in CROW-CUR Aanbeveling 117 [8] en de bijbehorende Inspectiehandboeken Beton, Hout, Metselwerk, Staal, Voegovergangen en Opleggingen. Voor onderzoek aan funderingen zijn behalve de genoemde documenten ook richtlijnen van de Organisatie Onafhankelijk Onderzoek Funderingen [9] en het handboek Binnenstedelijke kademuren [10] aan te bevelen.

In de Archiefwet 1995 wordt op hoofdlijnen geregeld hoe er omgegaan moet worden met archieven. In de wet wordt met name ingegaan op de verantwoordelijkheden omtrent de kaders, het dagelijks beheer van de informatie en het beschikbaar stellen van de archieven. Technische gegevens omtrent de bouw van een constructie of een (grote) verbouwing moeten permanent bewaard blijven. Deze gegevens worden volgens de regelgeving na twintig jaar overgedragen aan een archiefbewaarplaats, waarmee de informatie openbaar wordt. Aanbevolen wordt om de archiefgegevens in een database op te nemen. Door kenmerken van kunstwerken en resultaten van archiefonderzoek en inspecties vast te leggen, vereenvoudigt dit toekomstig archiefonderzoek. In bijlage 1 (Duurzame beschikbaarheid informatie bruggen) is een aanzet gegeven voor beheersmaatregelen voor het duurzaam beschikbaar houden van digitale data.

5.2 Archiefgegevens

Aansluitend is een richtinggevend (maar niet uitputtend) overzicht gegeven van de te archiveren gegevens van kunstwerken. Opgenomen zijn die aspecten die betrekking hebben op de beoordeling van de constructieve veiligheid van een areaal of een individueel kunstwerk.

Algemene gegevens:

- Bouwjaar
- Aslastbeperkingen
- Ontwerpverkeersbelastingklasse
- Ontwerpveiligheidsklasse, gevolgklasse
- Functie kunstwerk
- Categorie weg
- Rijbaanindeling
- Inrichting kunstwerk (geleiderail, leuningen, abri's, lichtmasten et cetera)
- Geometrie: breedte, constructiehoogte, aantal overspanningen, overspanningslengtes
- Kruisingshoek
- Gebruikte materialen
- Ontwerpende en/of opdrachtgevende partij en/of uitvoerende partij
- Type fundering
- Type voegovergang en oplegging
- Aanwezigheid en details van voorspanning
- Locatie
- Naam (officieel en volksnaam)
- Code
- Foto

Afspraken met derden:

- Rijksdienst voor het wegverkeer betreffende toelaatbare voertuiggewichten en aslasten
- Openbaar vervoersbedrijven
- Gladheidsbestrijdingen
- Dagelijks en periodiek groot onderhoud

Vastlegging inspectieresultaten:

- Resultaten inspecties
- Schades (inspectieresultaten)
- Uitgevoerde hersteladviezen

Overige gegevens:

- Bestekken
- Tekeningen (bij voorkeur as-built)
- Ontwerpberekeningen
- Wijzigingen ten opzichte van het ontwerp
- Type constructie met specifieke risico's (bijvoorbeeld tandopleggingen)
- Materiaal certificaten
- Geotechnische gegevens
- Verkeerstellingen

5.3 Archiefonderzoek

5.3.1 Doel

Het doel van het archiefonderzoek is informatie ophalen voor de beoordeling van de constructieve veiligheid door het verkrijgen van inzicht in de constructie op de volgende aspecten:

- Samenstelling
- Afmetingen
- Toegepaste materialen
- Statisch systeem van de constructie
- Ontwerpfilosofie
- Ontwerpuitgangspunten

Intensiteit archiefonderzoek

Bij het opstellen van een prioritering voor de beoordeling van de constructieve veiligheid wordt in eerste instantie geadviseerd archiefonderzoek op hoofdlijnen uit te voeren omdat geen detailgegevens nodig zijn. Daarnaast kan op een later moment in het proces (bijvoorbeeld in het kader van de objectrisicoanalyse of bij de beoordeling van de constructieve veiligheid) nodig zijn om een uitgebreider archiefonderzoek uit te voeren.

5.3.2 Brongegevens

In bijlage 2 (Object Informatie Document Eisen) is per kunstwerktype aangegeven in welk document de benodigde gegevens gevonden kunnen worden. Naast het archief van de beheerder en/of de eigenaar zijn mogelijk gegevens bij andere overheden (Rijkswaterstaat, Prorail, Provincie, Gemeente, Waterschap), de gemeentelijke dienst belast met vergunningverlening, toezicht en handhaving (VTH), aannemers, ingenieursbureaus of prefab-leveranciers te vinden. Ook in oude normen, richtlijnen, vakliteratuur, studieboeken en beeldbanken kan waardevolle informatie gevonden worden. Een samenvatting is gegeven in tabel 5-1.

Tabel 5-1. Overzicht parameters met bijbehorende normen en onderzoeksmethodieken voor de vaste gegevens.

Categorie	Parameters	Normen en richtlijnen
Specificaties kunstwerk	Type, bouwjaar(en) bij uitbreiding, aantal en lengte overspanningen, kruisingshoek, afmetingen van dek, type liggers, oplegbalk, verharding, relatie tot weg, statisch systeem gevolgklasse	Archiefonderzoek noodzakelijk
Gebruik	Theoretische en huidige indeling van de weg, verkeerstellingen voor bepaling aantal zware voertuigen	NEN 8701
Kadersberekening	Beoordelingsniveau	NEN 8700 voorwoord
	Restlevensduuren referentieperiode	NEN 8700, par. 2.3
	Gevolgklasse	NEN 8700 tabel NB.20 en NB.21-B1
Opleggingen	Type en aantal blokken, afmetingen, materiaal, hart-op-hart-afstanden, geometrie, bewegingsmogelijkheden	Archiefonderzoek noodzakelijk
Belastingen	Statische en dynamische belasting	NEN-EN 1991-2 NEN 8701
Constructieve staat kunstwerk	Mogelijke beperking verschillende parameters n.a.v. reeds opgetreden schadegevallen of aanwezige constructieve schade, eerder uitgevoerde inspecties, reparaties en aanpassingen	CROW-CUR Aanbeveling 117

5.3.3 Analyse en aandachtspunten

Bij de analyse van de archiefgegevens worden op aangeven van de technisch adviseur gegevens verzameld en beoordeeld welke noodzakelijk zijn om de constructieve veiligheid te beoordelen. De beoordeling van de archiefgegevens vindt plaats op volledigheid, bruikbaarheid en kwaliteit aan de hand van de aanwezige situatie. Indien gegevens ontbreken of met onvoldoende zekerheid zijn vast te stellen, dient afgewogen te worden of deze met onderzoek aan de constructie kunnen worden bepaald.

Aandachtspunten bij het archiefonderzoek zijn:

- 1) Berekeningsresultaten uit eerder uitgevoerde berekeningen mogen alleen gebruikt worden indien deze nog actueel en betrouwbaar zijn (inclusief de uitgangspunten en gehanteerde ontwerpgegevens);
- 2) Voor de correcte interpretatie van ontwerpgegevens van oude tekeningen en berekeningen is aantoonbare kennis van oude normen en richtlijnen noodzakelijk;
- 3) Speciale aandacht bij de beoordeling zijn bezwijksituaties die naar de huidige inzichten van belang zijn maar in de oorspronkelijke berekening niet beschouwd zijn;
- 4) Indien verschillende archiefdocumenten tegenstrijdige informatie geven, zal een inventarisatie uitgevoerd moeten worden om de juiste gegevens vast te stellen (zie paragraaf 5.4);
- 5) Er dient een inventarisatie conform CROW-CUR Aanbeveling 117 [8] te worden uitgevoerd om na te gaan of eventuele wijzigingen of aanpassing op of aan de constructie op tekening(en) is verwerkt.

5.4 Verificatie van gegevens

De resultaten uit het archiefonderzoek kunnen afwijken van de werkelijke situatie omdat de mogelijkheid bestaat dat wijzigingen of aanpassingen aan de constructie niet verwerkt zijn op de tekeningen. Daarom moet buiten het kunstwerk geïnspecteerd worden om deze mogelijke afwijkingen te verifiëren, zie CROW-CUR Aanbeveling 117 – Inventarisatie [8].

Tabel 5-2. Algemene gegevens ten behoeve van een inventarisatie

Aspect	Reden inspectie	Waarneming	Registratie	Foto
Dikte verharding (beton of asfalt)	Mogelijke afwijking rustende belasting	Waarneembaar bij schamprand of voegovergang, meten schamprandhoogte op minimaal twee locaties. Indien het kunstwerk op één oorlicht, zowel aan de hoge als aan de lage zijde meten	Bepalen type en opbouw verharding, meten dwarsprofiel, inschatten aanwezige verhardingsdikte op rijdek, gegevens vastleggen op tekening	Detail en overzicht
Rijbaanindeling	Positie van het verkeer voor huidig gebruik	Opmeten rijbaanbreedte en positie	Opmeten van de benodigde afmetingen en vastleggen op tekening	Detail en overzicht
Positie geleideconstructie (indien aanwezig)	Positie van het verkeer voor huidig gebruik	Opmeten positie en hoogte t.o.v. aanwezige gootconstructie in het kader van constructieveiligheid is alleen de plaats nodig	Opmeten en vastleggen op tekening	Detail en overzicht
Verplaatsing of verschilzetting	In rekening kunnen brengen van opgelegde vervormingen	Visueel in combinatie met meten van maatgevende verplaatsing in X, Y en Z	Opnemen verplaatsing rijdek nabij voegovergang, opnemen verplaatsing nabij oplegging, en dilatatie verplaatsing/zetting fundering vastleggen op tekening	Detail en overzicht
Dilataties	Modelleren constructie	Opmeten positie, voegprofiel en voegbreedte	Vastleggen op tekening	Detail en overzicht
Oplegsysteem	Bepalen oplegpunten	Type oplegsysteem en waar deze uit bestaat (beton/staal/rubber enzovoort), inclusief geblokkeerde richtingen, betonscharnier	Op tekening aangeven welk oplegsysteem is toegepast	Vorm verschillende opleggingen en bewegingsrichting
Verhoogde belasting	Mogelijke afwijkingen meenemen in berekening	Aanwezigheid van geluidschermen of grondpakket door visuele inspectie of ontgraven	Opmeten verhoogde belasting en vastleggen op tekening	Detail en overzicht

5.5 Onderzoek op locatie

5.5.1 Onderzoek en diepgang

Het onderzoek op locatie richt zich op ontbrekende of aanvullende gegevens dan wel op de verificatie van gegevens die nodig zijn voor de beoordeling van de constructieveiligheid van het kunstwerk. Deze onderzoeken kunnen bijvoorbeeld bestaan uit:

1. Het inmeten van de geometrie (zie paragraaf 5.4);
2. Het uitvoeren van een constructieve inspectie (zie paragraaf 5.5.2);
3. Het bepalen van materiaaleigenschappen (zie hoofdstuk 6);
4. Het bepalen van de rustende belasting op de constructie.

Wanneer in de objectrisicoanalyse is bepaald dat ook de fundering onderzocht dient te worden, zijn de in paragraaf 5.5.3 genoemde inspecties en onderzoeken mogelijk van toepassing.

De kwaliteit van en zekerheid over de actuele situatie bepaalt het maximaal te bereiken resultaat van de verificatieberekening. Om het optimale uit een constructie te (kunnen) halen, dient de bestaande situatie zo goed mogelijk bekend te zijn.

5.5.2 Constructieve inspectie

Bij de constructieve inspectie worden de in de objectrisicoanalyse geïnventariseerde risico's, de constructieve staat en bruikbaarheid geverifieerd. Van de constructieve schades die geconstateerd zijn bij de inspectie moet beoordeeld worden wat de oorzaak is en wat de mogelijke gevolgen zijn voor de constructieve veiligheid. In de CUR 117 [8] is geen beschrijving van een constructieve inspectie aanwezig. Wel wordt daar een toestandsinspectie beschreven waarbij de huidige functionele toestand van de constructie wordt vastgelegd. Een dergelijke inspectie is voor een constructieve beoordeling van een kunstwerk onvoldoende toereikend.

De constructieve inspectie dient in teamverband (hoofdinspecteur en constructeur en onder begeleiding van de technisch adviseur te worden uitgevoerd waarbij de resultaten op een inspectietekening en op basis van bijlage 3 (Registratie constructieve schades worden vastgelegd. De bijlage geeft een overzicht van constructieve schades die per materiaal kunnen worden waargenomen. In de bijlage is aangegeven wat nodig is om de waarneming te doen en op welke manier het resultaat effect heeft op de constructieve veiligheid. Met de informatie uit de constructieve inspectie kan de objectrisicoanalyse worden bijgesteld.

[Gesteld wordt dat de constructieve inspectie kan worden uitgevoerd zonder bijzijn van de constructeur die de herberekening uitvoert \(zie TUB-1, § 4.1.2.\).](#)

5.5.3 Onderzoek aan de fundering

Voor houten funderingen is aantasting een belangrijk degradatiemechanisme waar zonder aanvullend onderzoek weinig informatie over bekend is. Om deze reden wordt bij houten paalfunderingen aanbevolen om houtmonsteronderzoek uit te voeren en een inventarisatie door middel van duikonderzoek.

Merk op dat deformatie(schade in een fundering niet per definitie impliceert dat de fundering slecht functioneert. Het is namelijk van belang om te weten of de schade recent is opgetreden (bijvoorbeeld door veranderde omstandigheden of dat de schade al geruime tijd geleden is ontstaan, waarna de fundering zich opnieuw heeft "gezet").

Eventueel kan met metingen gedurende langere tijd worden bepaald of de situatie stabiel is. Bij statisch onbepaalde constructies is het aan te raden eerst een nulmeting te laten uitvoeren. De deformatiemetingen hebben zowel betrekking op brugdek, pijlers, landhoofden en funderingen. Periodieke herhalingsmetingen (iedere vijf à zes jaar, afhankelijk van de verwachtingen omtrent de zettingen kunnen dan worden gebruikt om eventuele toekomstige schade of voortschrijdende schade aan funderingen, pijlers, landhoofden en/of brugdek te verklaren. Zowel Rijkswaterstaat [11] als de G4-gemeentes hebben protocollen, die aangeven hoe een deformatiemeting ingericht kan worden bij een kunstwerk.

Aan de hand van funderingsonderzoeken kunnen mogelijke verbanden met vervormingen, scheurvorming en stabiliteit onderbouwd worden, waarbij tevens de staat van het metselwerk en beton in de funderingsconstructie (onder maaiveld en/of de waterspiegel bepaald wordt. Hierbij kunnen de volgende onderzoeken uitgevoerd worden:

Funderingsinspectie in den droge

Om inzicht te krijgen in het functioneren van de fundering en de mate van degradatie van de funderingselementen dienen inspectieput(ten) gegraven te worden. Het aantal inspectieputten en het aantal steekproeven wordt bepaald in overleg met de technisch adviseur.

Funderingsinspectie in den natte

Voor duikonderzoek zie Inspectiehandboek Hout bij CROW-CUR Aanbeveling 117 en het Handboek Binnenstedelijke Kademuren [10].

Kernboringen

Indien de materiaalopbouw van de funderingsconstructie niet zeker is, kunnen kernboringen meer duidelijkheid geven. Kernboringen zijn boringen met een grote holle boor om de opbouw van een constructie te kunnen nagaan. Daarnaast kunnen met een kleine holle boor kernen geboord worden om een indicatie te krijgen van de mate van aantasting en druksterkte van de houten paalkop (dit is dus op een kleinerschaalniveau).

Zettingsmetingen constructie

Door middel van een nulmeting en periodieke herhalingsmeting kan de zetting van een kunstwerk gecontroleerd worden. Eventueel kunnen satellietdata hiervoor worden gebruikt. Hiermee kan tien tot twintig jaar terug in de tijd inzicht worden verkregen in de zettingen. Opgemerkt wordt dat deze data niet voor ieder object geschikt zijn, soms omdat de relevante onderdelen niet zichtbaar zijn of omdat de nauwkeurigheid onvoldoende is.

Lintvoegmetingen

Lintvoegmetingen worden uitgevoerd wanneer er duidelijke symptomen van scheefstand van het onderdeel zijn waargenomen. De scheefstand is een indicatie van het zettingsverschil.

(Grond)waterstandmeting en grondwaterstroming

Er moet onderzoek naar de (grond)waterstand en grondwaterstroming uitgevoerd worden indien variaties hierin invloed hebben op de standzekerheid van de funderingsconstructie.

6.1 Inleiding

Voor de beoordeling van bestaande constructies is het hebben van inzicht in accurate materiaal-eigenschappen een belangrijk aspect. In de volgende paragrafen wordt aangegeven op welke wijze materiaaleigenschappen ten behoeve van een herbeoordeling bepaald kunnen worden. Hierbij wordt het globale onderscheid gemaakt dat voldoende dan wel onvoldoende gegevens bekend zijn. Voor veel kunstwerken geldt dat als het bouwjaar bekend is, via de toen geldige norm, de laagst mogelijke materiaalkwaliteit kan worden vastgesteld die vervolgens voor beoordelingen kan worden aangehouden. Bij niet voldoen aan de eis van de constructieve veiligheid of om de impact van degradatie van materialen te bepalen kan materiaalonderzoek worden uitgevoerd. Verdere toelichting kan worden gevonden in de navolgende paragrafen over de van toepassing zijnde constructiematerialen.

Bij onderzoek naar materiaaleigenschappen gelden de volgende algemene uitgangspunten en aandachtspunten:

1. Conform NEN 8700 art. 4.2 mogen de eigenschappen (zonder onderzoek) worden ontleend aan de destijds tijdens de bouw geldende voorschriften, mits geen degradatie is opgetreden.
2. Het onderzoek moet representatief voor het object zijn. Indien delen van een kunstwerk bijvoorbeeld in verschillende bouwfasen en/of contracten zijn gerealiseerd, dan dient het materiaalonderzoek per bouwfase/contract te worden uitgevoerd.
3. Meer detailinformatie over de materialen, inspectie en (niet-destructief) onderzoek zijn te vinden in de Inspectiehandboeken bij CROW-CUR Aanbeveling 117 (beton, staal, hout, metselwerk, voegovergangen en opleggingen).
4. De keuze van de materiaalgegevens verdient extra aandacht bij kunstwerken die in overbruggingsjaren van twee normen zijn gerealiseerd, met name indien sprake is van een andere veiligheidsfilosofie of wijze van ontwerpen. Dit geldt onder andere bij de overgang van de GBV 1962 naar de VB 74.
5. Bij het herstel van de schade gedurende de oorlog (1940-1945) zijn materialen van wisselende kwaliteiten in het werk toegepast.

Verandering van materiaaleigenschappen

Door interne en externe factoren, zoals chemische en biologische aantasting, weersinvloeden en wijziging aan de constructie of belasting, kunnen verschillende schademechanismes optreden. De schadebeelden die bij deze mechanismes horen, worden beschreven in bijlage 3. In de bijlage is per schadebeeld aangegeven op welke manier dit moet worden vastgelegd, hoe dit moet worden beoordeeld en op welke wijze dit moeten worden meegenomen in de berekening.

6.2 Beton

Een samenvatting van de relevante materiaaleigenschappen die van belang zijn voor beton en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald, zijn gegeven in tabel 6-1.

Tevens zijn de relevante normen en richtlijnen voor elk van de parameters aangegeven.

Geen gegevens bekend

Op basis van archiefgegevens van beproefde kernen uit kunstwerken van decentrale overheden, is een beschouwing uitgevoerd om te bepalen of het mogelijk is op basis van type kunstwerk en jaartal een minimale betonsterkte aan te houden. Door de grote spreiding van de gegevens van de onderzochte constructies is geen betrouwbare materiaalsterkte te bepalen van kunstwerken waaraan geen onderzoek is uitgevoerd. Op basis van het hieraan ten grondslag liggende onderzoek [14] dient voor kunstwerken waarvan geen gegevens bekend zijn, te worden uitgegaan van een sterkte behorend bij betonsterkteklasse C16/20, mits er geen schade aan de betonconstructie is.

Tabel 6-1. Materiaaleigenschappen voor de berekening voor beton

Parameters	Resultaat	Bepaling met	Wat kun je met het resultaat
Karakteristieke kubusdruksterkte	$f_{ck,cube}^{*)}$	Op basis van ontwerpwaarde: RTD-1006 tabel 2.2 [12] Op basis van materiaalonderzoek: NEN-EN 12390-3, RTD-1021 (boorprotocol [13]. RTD-1006, par. 2.6.1 art. 3.1.2 (11) [12] Op basis van de NEN8702	Uitvoeren doorsnedecontrole van (gewapend) betonnen doorsnede
Betondekking	Dekking c	Scanmeting en archiefonderzoek	
Splijttreksterkte	$f_{ct,sp}$	Op basis van materiaalonderzoek: NEN-EN 12390-6 en RTD-1006, par. 2.6.1 art. 3.1.2 (11) [12] Op basis van de NEN8702	Verifiëren verhouding druk- en treksterkte

*) De druksterkte gemeten aan een cilinder met een hoogte en een diameter gelijk aan 100 mm is equivalent aan de druksterkte van een kubus met een ribbe van 150 mm [13].

Bouwjaar bekend of onbekend

Wanneer het bouwjaar bekend is, dient de laagste druksterkte volgende uit de oorspronkelijke destijds vigerende norm te worden aangehouden, mits er geen sprake is van degradatie.

Voldoende gegevens in het archief

Voor het omrekenen van oude naar vigerende betonsterkteklassen kan tabel 2.2 van de RTD-1006 1.1 art. 3.1.2 (10) worden aangehouden [12].

Materiaalonderzoek

Op basis van onderzoek van Rijkswaterstaat aan betonnen kunstwerken is geconcludeerd dat de betondruksterkte van de onderzochte kunstwerken in de loop der jaren is toegenomen en aanzienlijk hoger kan zijn dan aangenomen in het ontwerp [15]. Het onderzoek is weliswaar niet representatief voor kunstwerken van decentrale overheden maar het geeft wel aan dat materiaalonderzoek een toegevoegde waarde kan hebben, ook wanneer uit archiefstukken reeds materiaaleigenschappen zijn afgeleid. Vooral wanneer verwacht wordt dat het afschuifdraagvermogen maatgevend is, is materiaalonderzoek naar betontreksterkte over het algemeen aan te bevelen.

Bij het boren van kernen wordt aanbevolen het boorprotocol Rijkswaterstaat [13] te volgen. De plaatsen waar de kernen worden uitgenomen moeten representatief zijn voor het object. Indien delen van een kunstwerk bijvoorbeeld in verschillende bouwfasen en/of contracten zijn gerealiseerd, dan dient het materiaalonderzoek per bouwfase/contract uitgevoerd te worden.

Met betrekking tot de bepaling van de karakteristieke waarde van de druksterkte wordt opgemerkt dat deze moet worden bepaald op basis van zes kernen of een veelvoud daarvan die zijn geboord uit een representatief deel van de constructie (zie bijlage 4). In overleg met de technisch adviseur kan gekozen worden voor minder dan zes kernen met een minimum van drie kernen. In [16] is aangetoond dat de relaties voor de bepaling van het afschuifdraagvermogen ook gelden voor bestaande constructies, voor opgesteld dat ook de relatie tussen de druk- en splijttreksterkte niet is veranderd. Wanneer er geen aanleiding is om een afwijkende relatie te veronderstellen, kan worden volstaan met uitsluitend drukproeven. Indien er wel aanleiding is te denken dat de relatie tussen trek- en druksterkte is veranderd, dan moet deze relatie experimenteel worden gecontroleerd door ook splijttrekproeven uit te voeren [12].

Het uitvoeren van éénassige trekproeven wordt afgeraden, omdat deze proeven uitermate gevoelig zijn voor de beproevingsomstandigheden en andere factoren zoals lokale materiaaldefecten. De druksterktebepaling met behulp van een terugslaghamer wordt afgeraden omdat de relatie tussen de terugslaghamerwaarde en de druksterkte voor bestaande constructies niet eenduidig kan worden vastgesteld zonder dat ook drukproeven worden uitgevoerd.

Als de betonsterkte bepaald wordt met betonmonsters dan moet deze volgens de Aanbeveling 124 representatief te zijn. In Utrecht komen bruggen voor die in de jaren zijn verbouwd en uitgebreid waarbij de brugdelen dus verschillende stichtingsjaren hebben. Elk stichtingsjaar kan een ander betonmengsel hebben. De betonmonsters dienen op de diverse stichtingsjaren te worden afgestemd.

Toelichting met betrekking tot beton met lichte toeslagmaterialen (lichtbeton)

In de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw zijn veelvuldig betonsoorten toegepast met een licht (grof) toeslagmateriaal waardoor beton met een lagere soortelijke massa (lichtbeton) ontstaat. Deze soorten komen voornamelijk voor in constructies met een grote overspanning. Door schadegevallen (tijdens ontwerp, uitvoering en gebruik) worden deze betonsoorten (in Nederland vrijwel) niet meer constructief toegepast. Bij de constructeurs is hierdoor tegenwoordig nauwelijks ervaring met deze betonsoorten. Ook in de huidige normen en richtlijnen is beperkt informatie aanwezig. Het soort toeslagmateriaal heeft een grote invloed op de aan te houden sterkte van het beton. Tijdens de bouw van deze constructies zijn vaak extra betonkubussen gestort en beproefd. Indien deze nog aanwezig zijn kan hier bruikbare informatie met betrekking tot het soort toeslagmateriaal en aan te houden sterktes uit gehaald worden. Aanbevolen wordt om altijd materiaalonderzoek naar zowel de beton druk- als treksterkte en het soort toeslagmateriaal en de soortelijke massa uit te voeren. In Eurocode 2 zijn in hoofdstuk 11 specifieke aanvullende bepalingen gegeven voor beton met lichte toeslagmaterialen. Ook bepalingen uit oude normen en richtlijnen kunnen een zinvolle bijdrage leveren in de bepaling van de sterkte. Het lichte grove toeslagmateriaal heeft meestal een lagere sterkte dan de cementmatrix. Hierdoor ontstaat bij scheurvorming/bezwijken een gladder scheurvlak, hetgeen het bezwijkmechanisme en daarmee de sterkte/vervorming beïnvloedt. Ook de vochtcondities spelen hierbij een belangrijke rol. In de te beschouwen bezwijkmechanismen dient hier rekening mee gehouden te worden, zie hoofdstuk 11 van NEN-EN 1992.

Toelichting met betrekking tot beton met hoge sterkte (hoge sterkte beton)

Ook is beton met een hoge sterkte (hoge sterkte beton vanaf C53/65 tot C90/105) in het verleden toegepast. Destijds was daarvoor een aparte CROW-CUR Aanbeveling (CROW-CUR Aanbeveling 37 en later CROW-CUR Aanbeveling 97) beschikbaar. In de huidige Eurocode 2 is hoge sterkte beton opgenomen onder 'normaal' beton. Uit onderzoek naar de actuele sterkte van beton kan een sterkte volgen die (destijds) onder hoge sterkte beton viel. In Eurocode 2 zijn diverse afwijkende parameters gegeven voor beton met een druksterkte groter dan C50/60 en lager dan C90/105. Eventueel kunnen (tot C110/130) op basis van de *fib* Modelcode 2010 [17] ook voor hogere sterkten de rekenwaarden voor materiaaleigenschappen bepaald worden. Door de hogere sterkte van de cementmatrix kan bezwijken van het grove toeslagmateriaal optreden. Hierdoor ontstaat net als bij lichtbeton een gladder scheurvlak, hetgeen het bezwijkmechanisme en daarmee de sterkte en vervorming beïnvloedt.

Overige materiaalgegevens

Nadat de druksterkte is bepaald, kunnen de corresponderende mechanische eigenschappen die nodig zijn voor de berekening, worden berekend met de relaties in tabel 3.1 van NEN-EN 1992-1-1. Daarnaast is de kubusdruksterkte van belang voor de bepaling van onder andere het afschuifdraagvermogen. Voor de relatie tussen de karakteristieke cilindersterkte en de karakteristieke kubusdruksterkte wordt voor de gangbare betonsterkteklassen verwezen naar tabel 7 uit NEN-EN 206-1.

6.3 Betonstaal

Een samenvatting van de relevante materiaaleigenschappen die van belang zijn voor betonstaal en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald, is gegeven in tabel 6-2.

Tabel 6-2. Materiaaleigenschappen voor de berekening voor het betonstaal

Parameters	Resultaat	Bepaling met	Wat kun je met het resultaat
Vloegrens/vloeispanning	f_{yk}	Archiefonderzoek, op basis van ontwerpwaarde: RTD-1006 tabel 2.6 [12]	Uitvoeren doorsnedecontrole van gewapend betonnen doorsnede en opzet EEM
Treksterkte	f_{tk}	Opbasis van materiaalonderzoek:	
Rek bij maximale belasting	ϵ_{uk}	RTD-1006, par. 2.6.1 art. 3.2.2 (8) [12],	
Rek bij breuk	ϵ_u	NEN-EN-ISO 15630-1 en	
Elasticiteitsmodulus	E_s	NEN-EN-ISO 6892-1 NEN-EN 1992-1-1	
Diameter wapenings-staven en wapeningsconfiguratie Geometrie, toepassing beugels	ligging en diameter wapeningsstaven	Archiefonderzoek tekeningen, scan-onderzoek en destructief onderzoek	

Bouwjaar bekend of onbekend

Indien het bouwjaar bekend is, dient de staalkwaliteit te worden ontleend aan tabel 2.6 uit RTD-1006 [12]. Indien het bouwjaar onbekend is dient er materiaalonderzoek uitgevoerd te worden. RTD-1006 [12] meldt hierover het volgende:

Voor f_{yd} heeft voor constructies met een bouwjaar voor 1964 nooit een lagere waarde dan 191 N/mm² in rekening gebracht te worden.

Voor constructies met een bouwjaar 1964 of later hoeft geen lagere waarde dan 209 N/mm² in rekening gebracht te worden.

Zonder onderzoek aan de constructie dient voor de berekening uitgegaan te worden van de materiaalsterkte zoals die bij het ontwerp is aangehouden. Voor de uit de oude beton-normen bekende oude staalsoorten zijn in tabel 2.6 de belangrijkste materiaalparameters aangegeven.

Indien vanuit beschikbare gegevens niet achterhaald kan worden welke betonstaalsoort in de constructie is toegepast dient de laagste betonstaalsoort volgend uit de oorspronkelijke ontwerpnorm aangehouden te worden.

Bij de introductie van FeB 500 is niet altijd gebruik gemaakt van de hogere kwaliteit ten opzichte van FeB 400.

Ligging en diameter wapening onbekend

Wanneer er geen gegevens van de wapening bekend zijn, zal onderzoek nodig zijn. Dit is mogelijk met een scanner waarmee bepaald kan worden waar welke wapening (diameter en h.o.h.) ligt. Dit onderzoek moet worden uitgevoerd op die plaatsen waar de grootste trekspanningen in de wapening worden verwacht. Tijdens het onderzoek moet inzicht verkregen worden over het aantal lagen wapening, de lengte waarover de wapening aanwezig is, of laslengtes voldoende zijn en/of ter plaatse van het maximale moment bijlegwapening aanwezig is. Eventueel (lokaal) destructief onderzoek dat hiervoor wordt uitgevoerd (bijvoorbeeld vrij hakken van de wapening), mag niet uitgevoerd worden op de plaatsen waar het moment of de dwarskracht maximaal is.

Hierbij kan van het volgende worden uitgegaan:

- QR40 en QR48 zijn geribd;
- QR22 en QR24 zijn glad (rond 1965 is ook korte tijd geribd staal toegepast);
- Verankering met haakvormig staafende = glad staal;
- Verankering met rechtlopend staafende = geribd staal.

Materiaalonderzoek

Met het materiaalonderzoek dient minimaal bepaald te worden welke vloeigrens (f_{yk} en/of $f_{0,2k}$) en welke ductiliteitseigenschappen mogen worden aangehouden. Betonstaal in bestaande bouw behoeft overeenkomstig RTD-1006 [12] art. 3.2.1 (4) niet te voldoen aan de eisen uit EN 10080. Wel geldt NEN-EN 1992-1-1 art. 3.2.2 tot en met 3.2.6, zoals aangeduid in art. 3.2.1 (3)P voor de definitie van betonstaal en hoe hier rekenkundig mee om te gaan.

6.4 Voorspanstaal

Een samenvatting van de relevante materiaaleigenschappen die van belang zijn voor voorspanstaal en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald, is gegeven in tabel 6-3.

Tabel 6-3. Materiaaleigenschappen voor de berekening bij voorspanstaal

Parameters	Resultaat	Bepaling met	Wat kun je met het resultaat
Vloeigrens/vloeispanning	f_{pk}	Op basis van ontwerpwaarde:	Uitvoeren doorsnedecontrole
Treksterkte	f_{tk}	RTD-1006 tabel 2.7 [12] op basis van materiaalonderzoek:	van gewapend betonnen doorsnede en opzet EEM
Rek bij maximale belasting	ϵ_{uk}	RTD-1006 par. 2.6.1 art. 3.2.2(8) [12],	
Rek bij breuk	ϵ_u	NEN-EN-ISO 15630-1 en	
Elasticiteitsmodulus	E_s	NEN-EN-ISO 6892-1	
Voorspanstelsysteem en kwaliteit		Archiefonderzoek	Bepalen voorspankrachten en
- Aantal kabels, strengen, draden, staven		Op basis van ontwerpwaarde:	uitvoeren doorsnedecontrole
- Diameter draden, staven		RTD-1006 tabel 2.7 [12] en NEN-EN	van voorgespannen betonnen
- Diameter en materiaal omhullingsbuis		1992-1-1 par. 3.3	doorsnede en opzet EEM
- Verloop voorspanning		Op basis van onderzoek: RTD-1006	
- Kabelverloop		bijlage B4 [12]	

Onvoldoende gegevens bekend

Wanneer geen gegevens bekend zijn of kunnen worden ingeschat van het voorspanstaal wat betreft ligging, aantal kabels, aantal strengen en staalkwaliteit kan er geen berekening worden uitgevoerd en is dus nader onderzoek noodzakelijk. Omdat voorspanstaal niet alleen belasting opneemt, maar zelf ook belasting veroorzaakt is het onvoldoende om een bepaalde (minimale) staalkwaliteit aan te nemen.

Indien ervan uit wordt gegaan dat de constructie is ontworpen en uitgevoerd conform de toenmalige voorschriften, dan kan de minimaal noodzakelijke voorspanwapening en voorspanning worden berekend.

In geprefabriceerde liggers is bijna altijd de kwaliteit QR 190/FeP 1860 toegepast als strengen. Alleen bij oude liggers (van voor circa 1965) is de kans groot dat staven (Dywidag QP105) of draden ($\emptyset 5/\emptyset 6/\emptyset 7$ in kwaliteit QP150 of QP160) zijn toegepast. De toelaatbare aanvangs- en werkvoorspankracht is per ontwerpnormanders.

Wanneer geprefabriceerde liggers zijn toegepast, kan een vergelijking gemaakt worden met liggers van dezelfde leverancier, hetzelfde type en dezelfde bouwperiode. Wanneer gebruikgemaakt wordt van deze gegevens uit indirecte bron, dient met extra zorgvuldigheid naar de gegevens gekeken te worden door een specialist. Tevens is het aan te bevelen om een variatiestudie uit te voeren.

Voldoende gegevens in het archief

Indien de ontwerpberekening andere waarden geeft voor de aanvangs- en werkvoorspanning dan in RTD-1006 [12] staat, dan is de ontwerpberekening leidend. Indien in het verleden QP200 is toegepast dient volgens RTD-1006 art. 3.3.2 (10) [12] in de berekening voor de materiaaleigenschappen uitgegaan te worden van FeP 1860.

Naast de berekening kunnen de spanprotocollen en spanresultaten bruikbare informatie geven over voorspanstaalsoorten en aanvangs- en werkvoorspanning. Bij het toepassen van voorspanning was het gebruikelijk dat het te gebruiken voorspansysteem door de aannemer werd bepaald.

Gecontroleerd dient te worden of er rekening is gehouden met de excentrische ligging van de voorspankabel in de omhullingsbuis.

Materiaalonderzoek

Destructief onderzoek aan de materiaalsterkte van voorspanstaal is niet aan te bevelen omdat daar materiaal voor moet worden uitgenomen. Dit is ongebruikelijk, risicovol en kostbaar omdat dit destructieve onderzoek een grote invloed heeft op de capaciteit van de constructie.

Van het voorspanstaal dient minimaal bekend te zijn: de karakteristieke treksterkte van voorspanstaal (f_{pk} en/of $f_{p0,1k}$), het voorspansysteem, het aantal kabels, strengen en draden, het verloop en de (verschillende) diameter(s). Het verloop van de voorspankabel is van belang voor het bepalen van de voorspankrachten.

Overige materiaalgegevens

Als aanvulling op art. 3.1.4 van NEN-EN 1992-1-1 geldt dat bij het bepalen van optredende voorspanverliezen dient te worden uitgegaan van verliezen zoals deze ten tijde van de bouw in rekening zijn gebracht. Indien deze niet bekend zijn, moeten deze verliezen berekend worden. Voor de werkvoorspanning kan daarbij worden uitgegaan van de formules in paragraaf 3.3 van RTD-1006 [12]. De rekenregels voor de voorspanning in oude normen zijn in bijlage B1 van RTD-1006 toegelicht [12]. In bijlage B4 van RTD-1006 [12] zijn de aanvangs- en werkvoorspankracht voor de meest toegepaste voorspansystemen opgenomen. Deze waarden gelden voor het midden van kabels tot 35 meter.

6.5 Constructiestaal

Een overzicht van de relevante eigenschappen en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald die van belang zijn voor constructiestaal, is gegeven in tabel 6-4. Tevens zijn de relevante normen en richtlijnen voor elk van de parameters aangegeven.

Voor staal zijn (nog) geen omzettingstabellen van oude gegevens beschikbaar. Er zal daarom een beroep gedaan moeten worden op oude normen of op materiaalonderzoek voor het bepalen van materiaaleigenschappen. Behalve het materiaal zelf dient ook aandacht te worden besteed aan de verbindingsmiddelen zoals (span)bouten, lassen en klinknagels.

Tabel 6-4. Materiaaleigenschappen voor de berekening van constructiestaal

Parameters	Resultaat	Bepaling met	Wat kun je met het resultaat
Vloegrens/vloeispanning	f_y	NEN-EN 1993-1-1	Toetsing van de weerstand van de doorsneden; toetsing van de stabiliteit van de staaf en opzet EEM
Treksterkte	f_u	NEN-EN-ISO 6892-1 en Metalen – Trekproef – Deel 1: Beproevingmethode bij kamertemperatuur	
Vloei-rek	ϵ_y		
Brek-rek	ϵ_u		
Elasticiteitsmodulus	E		
Kerfslagwaarde	Energie	NEN-EN-ISO 148-1 Metalen – Kerfslagproef volgens Charpy – Deel 1: Beproevingmethode	Toetsing van de breuktaaiheid (scheurgroeianalyses)
Chemische samenstelling	CEV	NEN-EN 10351 Chemische analyse van ijzeren staal – Optische emissie spectrometrie met inductief gekoppeld plasma van laag-gelegeerd staal – Bepaling van Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Co, Al (totaal) en Sn (Routine-methode)	Lasbaarheid
Staaldikte		Inmeten, diktemetingen tekeningen	Toetsing van de weerstand van de doorsneden; toetsing van de stabiliteit van het element en sterkte van het element
Hoeklas		Metten	Bepaling keeldoorsnede
Doorlassing aanwezig		Metten	Toetsing van de lassen
Vloegrens verbindingsmiddelen	f_y	NEN-EN-ISO 6892-1 en Metalen – Trekproef – Deel 1: Beproevingmethode bij kamertemperatuur	Toetsing van de verbindingen
Treksterkte verbindingsmiddelen	f_u	NEN-EN-ISO 6892-1 en Metalen – Trekproef – Deel 1: Beproevingmethode bij kamertemperatuur	Toetsing van de verbindingen

Geen gegevens bekend

Indien geen gegevens bekend zijn, dient materiaalonderzoek uitgevoerd te worden.

Bouwjaar bekend of onbekend

Indien het bouwjaar bekend is dan dient de laagste staalkwaliteit volgend uit de oorspronkelijke ontwerpnorm te worden aangehouden.

Productie van staal is in de loop van de eeuwen gewijzigd. Bij oude bruggen dient daarom rekening gehouden te worden met de eventuele toepassing van andere staalsoorten en/of staal van verschillende walsingen. Aanvankelijk werd gietijzer, smeedstaal en welijzer gebruikt terwijl later gebruik werd gemaakt van gewalst en gegoten staal waarbij onderscheid is te maken naar Bessemerprocedé (vanaf 1855), Siemens-Martin (na 1860), vlamboogoven (na 1900) en het oxystaalprocedé vanaf 1950. Gietijzer komt rechtstreeks uit de hoogoven en heeft een hoog koolstofgehalte (2,5%-6,67%). Het is een bros materiaal met een zeer lage treksterkte (200 N/mm² tot 300 N/mm²), maar wel een redelijke druksterkte.

Voor andere staalsoorten en staal van verschillende walsingen dient daar naar bevinding rekening mee te worden gehouden.

Voldoende gegevens in het archief

Indien voldoende gegevens in het archief aanwezig zijn, dient een herinterpretatie uitgevoerd te worden van de destijds gebruikte normen, bestelspecificaties en testresultaten naar de huidige regelgeving.

Materiaalonderzoek

Trekproeven met rekmetingen en vloeigrensbepaling moeten worden uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 6892-1. Uit het materiaalonderzoek dient minimaal de vloeigrens (f_{yk} en/of $f_{0,2k}$) te worden bepaald als ook de benodigde andere eigenschappen uit tabel 6-4.

Bij constructies waarbij vermoeiingsaspecten een rol spelen is naast de rek tot breuk van de trekproef ook de kerfslagwaarde van belang. Dit is een maat voor de breuktaaiheid van het materiaal. Kerfslagproeven dienen te worden uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 148-1.

Wanneer laswerkzaamheden uitgevoerd gaan worden is het tevens noodzakelijk de chemische eigenschappen te bepalen. Op basis hiervan kan de koolstofequivalentwaarde (CEV) worden berekend welke een maat is voor de lasbaarheid van het materiaal.

Er zijn inmiddels ook niet-destructieve methodieken om de sterkte van staal in het werk te bepalen, zoals door het bepalen van Vickers hardheid in relatie tot de sterkte [18].

6.6 Metselwerk

Een overzicht van de relevante materiaaleigenschappen die van belang zijn voor metselwerk en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald is gegeven in tabel 6-5. Tevens zijn de relevante normen en richtlijnen voor elk van de parameters aangegeven.

Tabel 6-5. Materiaaleigenschappen voor de berekening van metselwerk

Parameters	Resultaat	Bepaling met	Wat kun je met het resultaat
Karakteristieke druksterkte	f_k	NEN-EN 1052-1 CUR-rapport 193/ CUR-rapport 171	Uitvoeren van doorsnede controles en opzetten rekenmodel
Buigtreksterktes	f_{xk1} en f_{xk2}	NEN-EN 1052-2, of op basis van hechtsterkte CUR-rapport 193	
Schuifsterkte	f_{vk}	NEN-EN 1052-3 Initiële schuifsterkte of op basis van hechtsterkte CUR-rapport 193/ CUR-rapport 171	
Hechtsterkte	$f_{bw,k}$	NEN-EN 1052-5/hefboomproef	
Elasticiteitsmodulus	E	Laboratoriumproef of op basis van druksterkte NEN-EN 1052-1 CUR-rapport 193/ CUR-rapport 171	

Er is een zeer brede variatie aan types metselwerk bekend. In de CROW-CUR Aanbeveling 117 wordt alleen metselwerk behandeld met een primaire draagfunctie. Bij kunstwerken is in dit kader vaak sprake van metselwerk van bakstenen. Indien er sprake is van wapening in het metselwerk, dan wordt voor de bepaling van de eigenschappen van de wapening verwezen naar de NEN-EN 1996-1-1.

Voor de situatie in de gemeente Utrecht, zie TUB Leidraad 1 §3.5.2.

Geen of onvoldoende gegevens bekend

Wanneer geen gegevens bekend zijn, is het van belang in ieder geval middels een visuele inspectie te bepalen van welk type metselwerk er sprake is en in welke conditie het metselwerk verkeert. Op basis van beschikbare gegevens (bijvoorbeeld materiaalgegevens van steenleveranciers) kan een

inschatting gemaakt worden van een minimaal verwachte druksterkte, E-modulus, (buig)treksterkte, hechtsterkte en schuifsterkte:

- De druksterkte van de steen en van de mortel. Hiervoor kan op basis van artikel 3 van NEN-EN 1996-1-1 een aanname worden gedaan.
- De afschuifsterkte en (buig)treksterkte. Voor de materiaaleigenschappen vlg. NEN-EN 1996-1-1 wordt uitgegaan van **nieuw metselwerk!** Voor bestaand metselwerk zijn dit niet de juiste eigenschappen, maar deze kunnen dienen als onderbouwing van de aannames bij het inschatten van eigenschappen van bestaand metselwerk.
- De hechtsterkte hangt af van het type mortel dat gebruikt is. Een aanname voor de hechtsterkte kan worden gemaakt met behulp van de waarden gegeven in CUR-Rapport 193 [19] of NEN-EN 1996-1-1 (zie opmerking bij vorige punt).

De eigenschappen van metselwerk met een hoge leeftijd variëren veelal in dezelfde constructie, afhankelijk van de mate van aantasting, de spanningsverdeling in de constructie en eventuele reeds aanwezige scheurvorming.

Voor bestaand metselwerk gelden de volgende uitgangspunten:

Bestaand metselwerk moet worden ingedeeld in Categorie II – steen conform NEN-EN 1996 1-1. Bij een categorie II steen is de betrouwbaarheid waarmee de druksterkte wordt bepaald niet bekend en is het productiecontrolesysteem niet gecertificeerd. De onzekerheid omtrent de betrouwbaarheid komt tot uitdrukking in de partiële factor voor de materiaaleigenschappen. Deze is voor metselwerk met een categorie II steen aanzienlijk hoger dan met een categorie I steen.

In tabel NB-1 van de nationale bijlage bij EN1996-1-1 worden de partiële factoren vermeld die in Nederland moeten worden gebruikt. Voor metselwerk vervaardigd met categorie II stenen is dit voor gevolgklasse CC1: $\gamma_M=2,0$ en gevolgklasse CC2: $\gamma_M=2,2$.

- Als ondergrens voor de karakteristieke druksterkte van bestaand metselwerk moet, conform tabel 1 NPR 9096-1-1, $f_k = 5,0 \text{ N/mm}^2$ worden toegepast.
 - Uitgaande van stenen met een perforatievolume <25% en baksteendruksterkte = 15 N/mm^2
 - metselmortel M5
- Voor de karakteristieke waarde van de initiële afschuifsterkte (vergelijkbaar met karakteristieke waarde) van bestaand metselwerk moet conform tabel 3 NPR 9096-1-1 $f_{v,ko} = 2,0 \text{ N/mm}^2$ toegepast worden. Rekening moet worden gehouden met een conversiefactor voor de afname ten gevolge van de levensduur (vergelijkbaar met kruip van beton).

Voldoende gegevens in het archief

Wanneer in het archief voldoende gegevens bekend zijn, kan de sterkte van het metselwerk worden bepaald in overeenstemming met NEN-EN 1996-1-1+C1/NB. Voor de druksterkte biedt de formule welke in de NEN-EN 1996-1-1+C1/NB wordt gegeven een goed handvat: $f_k = K \cdot f \cdot \alpha \cdot \beta$. De bepaling de druksterkte van de steen f_t en van de mortel f_m kan op basis van de tabellen in artikel 3 van de NEN-EN 1996-1-1+C1/NB plaatsvinden. De factoren α en β hangen af van het type metselwerk conform artikel 3.6 van NEN-EN 1996-1-1+C1/NB. De E-modulus hangt af van de druksterkte en kan uit de druksterkte worden afgeleid volgens artikel 3.7.2 van de NEN-EN 1052-1. Hierbij wordt de E-modulus (voor korte duur) bepaald volgens $E = K_E \cdot f_k$. Voor de lange duur dient het kruipeffect te worden meegenomen. De afschuifsterkte en (buig)treksterkte kunnen worden bepaald op basis van de hechtsterkte. De Nationale bijlage bij NEN-EN 1996 geeft hier regels voor.

Materiaalonderzoek

In de normen NEN-EN 1052-1, NEN-EN 1052-2 en NEN-EN 1052-3 en NEN-EN 1052-5 worden respectievelijk proeven ter bepaling van de druksterkte (en E-modulus), buigtreksterkte en initiële schuifsterkte en hechtsterkte besproken. De proeven resulteren in karakteristieke waarden welke vervolgens kunnen worden gebruikt voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van de constructie. De proeven uit de NEN-EN 1052-serie zijn van toepassing voor nieuwbouw metselwerkconstructies.

De proeven uit de NEN-EN 1052-serie zijn van toepassing voor nieuwbouw metselwerk constructies. Ten aanzien van proeven uitgevoerd op metselwerk boorkernen, afkomstig van bestaande constructies, dienen andere afmetingen te worden gehanteerd (in overleg met de opdrachtgever).

6.7 Hout

Een overzicht van de relevante materiaaleigenschappen die van belang zijn voor hout en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald zijn gegeven in tabel 6-6. Tevens zijn de relevante normen en richtlijnen voor elk van de parameters aangegeven. Het natuurproduct hout is een materiaal waarvan de eigenschappen zeer uiteenlopen. Tevens is de wijze van kwaliteitssterktesortering in de loop van de tijd sterk gewijzigd. Hiervoor wordt verwezen naar het Inspectiehandboek Hout van de CROW-CUR Aanbeveling 117.

Tabel 6-6. Overzicht parameters met bijbehorende normen en onderzoeksmethodieken voor hout en gelamineerde constructies

Categorie	Parameters	Normen en richtlijnen	Resultaat	Onderzoeksmethodiek
Hout	Sterkteklasse	NEN-EN 338, NEN-EN 1912		Archiefonderzoek, locatie bezoek t.b.v. registratie van onvolkomenheden, labora- torium onderzoek
	Kwaliteit (t.b.v. sterkte- sortering)	NEN 5466 (NEN 5461, NEN 5493, NEN 5499)	T0, T1, T2, T3, C3 STH	
	Houtsoort (en dichtheid)	Anatomisch onderzoek	Naaldhout of loofhout	
	Volumieke massa (bij 12%- 15% houtvochtgehalte)	Monsternamen	ρ	
	C-waarde of D-waarde	Houtsoort en kwaliteits- klasse: NEN-EN 1912	Rekenparameters volgens tabel 1 van NEN-EN 338	
	Diepte en oppervlak van eventuele aantastingen	Onderzoek noodzakelijk		
Gelamineerde constructies	Sterkteklasse	NEN-EN 14080, NEN-EN 1912		Archiefonderzoek, locatie bezoek t.b.v. registratie van onvolkomenheden, labora- torium onderzoek
	Kwaliteit	NEN 5466 (NEN 5461, NEN 5493, NEN 5499)		
	Houtsoort (en dichtheid)	Anatomisch onderzoek		
	Schuifsterkte lijmmaad	Monsternamen en testen volgens NEN-EN 14080	Schuifsterkte f_v en het percentage bezwaken hout	
	Diepte en oppervlak van eventuele aantastingen	Onderzoek noodzakelijk		

Geen gegevens bekend

Indien er geen gegevens bekend zijn ten aanzien van sterkteklasse, houtsoort en sterktesortering, dient onderzoek plaats te vinden.

Houtsoort bekend

Indien de houtsoort bekend is, dan kan de huidige C- of D-waarde met inachtneming van de kwaliteitsklasse worden ontleend aan NEN-EN 1912. Hierin wordt per houtsoort per land een kwaliteitsklasse gedefinieerd.

Kwaliteitsklasse bekend

De kwaliteits- en sterktesortering bij naaldhout is gestart met de komst van KVH 1958. De relatie met de huidige sterkteklassen kan pas vanaf 1980 worden gelegd. Zonder aanvullend onderzoek moet worden uitgegaan van de sterkte behorende bij de laagste sterkteklasse.

Wanneer een brug na 1980 is ontworpen, is hoogstwaarschijnlijk gebruikgemaakt van de KVH 1980. Indien uit de gegevens de gehanteerde kwaliteitsklasse is te herleiden, kan deze worden omgerekend naar de huidige kwaliteitsklassen waarbij geldt dat bij naaldhout in kwaliteitsklasse C de huidige sterkteklasse C18 kan worden aangehouden (klasse T1) en bij naaldhout in kwaliteitsklasse B de huidige sterkteklasse C24 (klasse T2). Wanneer een brug na 1991 is ontworpen volgens TGB 1990 en de sterkteklasse (K-waarde, C-waarde of D-waarde) uit archiefgegevens bekend is, dan kunnen hiervan direct de sterkte-eigenschappen op basis van de huidige voorschriften worden bepaald.

Materiaalonderzoek

Voor het houtonderzoek van constructie- en GWW-hout zoals funderingen wordt verwezen naar het Inspectiehandboek Hout van de CROW-CUR Aanbeveling 117 [8].

Voor alle houten constructieonderdelen wordt aanbevolen ook onderzoek uit te voeren om de mate van aantasting en het effect daarvan op de materiaaleigenschappen te bepalen. Voor de onderzoeken wordt verwezen naar bijlage 4 waarbij wordt opgemerkt dat onder water geen slaghamer moet worden toegepast vanwege de beperkte indringing en onbetrouwbaarheid van de resultaten.

Voor de situatie in de gemeente Utrecht, zie TUB Leidraad 1 §3.5.3.

6.8 Ondergrond

Samenvatting van de relevante materiaaleigenschappen en de wijze waarop deze dienen te worden bepaald, is gegeven in tabel 6-7. Tevens zijn de relevante normen en richtlijnen voor elk van de parameters aangegeven. De materiaaleigenschappen kunnen bepaald worden door middel van archiefonderzoek, uit sonderingen en laboratoriumonderzoek.

Tabel 6-7. Materiaaleigenschappen voor grondberekeningen

Parameters	Resultaat	Normen en richtlijnen	Bepaling met	Wat kun je met het resultaat
Beddingsconstante	$K_{h,d}$ $K_{h,rep}$	NEN-EN 1997-2 Eurocode 7 Overige geotechniek normen	Pressiometer proef (Ménard) of d.m.v. correlatie met de conusweerstand q_c en rheologische factoren volgens Ménard	Grondgedrag t.b.v. modellering van de constructie
Draagvermogen van de grond	$Q_{b,max}$	NEN-EN 1997-1 Eurocode 7 NPR 7201	Conusweerstand q_c d.m.v. sonderingen	
Inwendig wrijvingshoek	φ	Eurocode 7	Tabellen in Eurocode 7	Gronddrukken op constructies bepalen

Geen gegevens bekend

Via bijvoorbeeld www.dinoloket.nl of www.pdok.nl kunnen sonderingen, grondboringen en grondwaterstandgegevens gevonden worden.

Per 1 januari 2017 is de BRO (Basisregistratie Ondergrond) van kracht. Op termijn wordt het DINOloket vervangen door de BRO. Sinds 1 januari 2019 geldt een verplicht gebruik en terug-meldplicht voor afnemers bij uitvoering publiekrechtelijke taken.

Grondonderzoek

Mogelijke grondonderzoeken zijn:

- Sonderingen
- Boormonsters
- Samendrukwaardes
- Beddingsconstante

Bij de beschrijving van het bodemprofiel kan gebruik worden gemaakt van de definities uit NEN-ISO-14688-1. Om de samenstelling van de bodem te bepalen onder het aanlegniveau van de fundering is het aan te bevelen om vanuit de inspectieput een grondboring uit te voeren, eventueel in combinatie met een handsondering. Om variatie in de bodemopbouw in kaart te brengen, kunnen meerdere grondboringen op verschillende locaties worden uitgevoerd.

Bodemvreemde stoffen als puin, asphalt of slakken dienen eveneens in de beschrijving van het bodemprofiel te zijn opgenomen. Het maaiveldniveau en de laagscheidingen moeten worden ingemeten ten opzichte van NAP.

Op basis van archiefonderzoek kan worden nagegaan of er mogelijk samendrukbare lagen onder de fundering te verwachten zijn. Het is aan te bevelen om zeker in deze gevallen, een handboring uit te voeren tot minimaal 1,5 meter onder de aanleghoogte van de fundering om te onderzoeken of de samendrukbare laag onder de fundering aanwezig is of dat deze door middel van een grondverbetering is verwijderd.

Het is wenselijk om het bodemprofiel bij een funderingsdetail vanaf maaiveld tot minimaal constructief aanlegniveau van de fundering en de funderingsgrondslag inzichtelijk te hebben.

7.1 Inleiding

Ten aanzien van de in rekening te brengen ontwerpwaarde van de verkeersbelasting bieden de vigerende normen mogelijkheden om deze meer specifiek af te stemmen op de omstandigheden bij individuele kunstwerken. De ontwerpwaarde is een geschematiseerde weergave van de verkeersbelasting, gerelateerd aan de beoogde functionaliteit, voor het ontwerp van een nieuwe constructie alsmede de beoordeling van een specifieke bestaande constructie. Dit hoofdstuk beoogt de optimale benutting van bestaande kunstwerken binnen de vigerende norm- en regelgeving te bevorderen.

De vigerende regelgeving (vertaald in Eurocodes, Nationale bijlagen en NEN-normen) is gebaseerd op de (verkeers-)situatie op autosnelwegen, met de Moerdijkbrug in Rijksweg A16 als referentie voor de Nederlandse Nationale bijlage bij NEN-EN 1991 [20]. Deze komt niet per definitie overeen met de lokale omstandigheden in het kunstwerkenareaal van decentrale overheden. In de regelgeving zijn daarvoor een aantal factoren, gekoppeld aan kunstwerk-specifieke kenmerken, opgenomen. Deze (reducerende) factoren worden op de ontwerpwaarde van de verkeersbelasting toegepast, zie hiervoor paragraaf 7.3.

In het (recente) verleden zijn veel kunstwerken van decentrale overheden ontworpen op een beoogde gebruiksfunctie, welke werd vertaald via de gehanteerde verkeersklasse (A t/m D, resp. 30/45/60). Alleen de hoogste ontwerpklassen (A resp. 60) zijn van dezelfde orde/grootte als de huidige (niet gereduceerde) belastingmodellen in de Eurocode, waarbij de configuratie van de bijbehorende voertuigen in de Eurocode geconcentreerder aangrijpt op de constructie. In de keuze van de gevolgklasse per kunstwerk zit de differentiatie besloten in de aan te houden belastingfactoren. Samen met de factoren volgens paragraaf 7.3 leidt dit tot een ontwerpwaarde van de verkeersbelasting die is afgestemd op het feitelijk gebruik, waarmee beoogd is om kunstwerken op realistische wijze te kunnen toetsen.

Het leidende motief voor de verkeersbelasting volgens de Eurocode is dat ieder voertuig volledig vrij gebruik kan maken van de openbare wegen en daarin opgenomen kunstwerken, tenzij hieraan zichtbare restricties zijn opgelegd. Restricties kunnen kunstwerk-specifiek zijn en door middel van lokale bebording kenbaar worden gemaakt conform bijlage B uit NEN 8701, maar ook generiek via restricties aan het door wegeigenaren gehanteerde ontheffingsbeleid. Voor het ontheffingsvrij gebruik van het (lokale) wegennet kunnen decentrale overheden een lagere grenswaarde van toegestane voertuigbelastingen hanteren dan de rijksoverheid op haar rijkswegen: dit vertaalt zich in een lagere rekenwaarde van de verkeersbelasting voor de beoordeling van de constructie (zie paragraaf 7.5).

7.2 Vigerende belastingnormen

Voor het ontwerpen van nieuwe kunstwerken en het beoordelen van bestaande kunstwerken worden de te hanteren belastingen omschreven in NEN-EN 1991. De belastingfactoren en belastingcombinaties staan in NEN-EN 1990. Deze normen en de bijbehorende Nationale bijlagen geven de ontwerpregels alsmede de te hanteren belastingen voor nieuw te bouwen constructies.

Voor bestaande kunstwerken zijn aanvullend daarop NEN 8700 en NEN 8701 van toepassing (respectievelijk op NEN-EN 1990 en NEN-EN 1991). NEN 8700 beschrijft daarbij het beoordelingskader en situaties waarin deze beoordeling nodig wordt geacht, NEN 8701 schrijft de daarvoor te gebruiken belastingen, belasting-combinaties en -factoren voor. De wettelijke status alsmede het toepassingsgebied van al deze normen is in hoofdstuk 3 nader beschreven.

De te hanteren verkeersbelastingmodellen en de grootte van de belasting voor de beoordeling van de constructieve veiligheid (de rekenwaarde van de verkeersbelasting) worden in de NEN 8700 en NEN 8701 geregeld.

7.3 Rekenwaarde van de verkeersbelastingen

7.3.1 Inleiding

In de vigerende normen is, behalve het belastingmodel en de ontwerpwaarde van de verkeersbelasting, ook een aantal factoren gedefinieerd die objectspecifieke karakteristieken verdisconteren. Hiermee kan voor elk object specifiek bepaald worden welke ontwerpwaarde van de verkeersbelasting en welke belastingfactor gehanteerd moet worden. Voor de bepaling van deze objectspecifieke variabelen is de kennis van de wegbeheerder met betrekking tot de volgende aspecten, onontbeerlijk:

- De indeling in gevolgklasse; zie paragraaf 7.3.2 en hoofdstuk 3;
- De aantallen vrachtwagenpassages; zie paragraaf 7.3.3;
- De referentieperiode; zie hoofdstuk 3;
- De trendfactor; zie paragraaf 7.3.4;
- De (rijstrook)indeling van het kunstwerk; zie paragraaf 7.3.5.

In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe deze variabelen bijdragen aan een passende beoordeling van het object.

7.3.2 De belastingfactor

De belastingfactor wordt bepaald door de gevolgklasse. [De te hanteren gevolgklasse voor de gemeente Utrecht is beschreven in §3.2.2 van TUB Leidraad 1](#). Bruggen die in een economisch niet belangrijke route zijn gelegen met een beperkt risico op grote maatschappelijke of letselschade in geval van bezwijken kunnen worden ingedeeld in gevolgklasse CC1b en CC2 (zie ook tabel 3-1 in paragraaf 3.3.5). In de praktijk betreft dit vooral bruggen in woonwijken met een beperkte overspanning en bruggen buiten de hoofdverkeersroutes in gemeentes en provincies. Het indelen van een brug in CC1b geeft een substantiële reductie in de te hanteren rekenwaarde van de belasting ten opzichte van indeling in CC2 of CC3. Opgemerkt wordt dat gevolgklasse CC1b in NEN-EN 1990 is geïntroduceerd om aansluiting te vinden bij de voorschriften die golden tot de invoering van de Eurocodes. Aanbevolen wordt dan ook om bestaande kunstwerken, ontworpen op een lagere belastingklasse, in CC1b in te delen waarbij rekening moet worden gehouden met NEN 8700 met betrekking tot de voorwaarden voor plaatsing van de belasting. In de norm is dit terug te vinden in:

- NEN 8700, art. A2.3.1 tabel A2.2. B en C: te hanteren partiële belastingfactoren bij vastgestelde gevolgklasse (zie ook hoofdstuk 3 van deze aanbeveling);
- NEN 8700, art. B.3.1 tabel NB.21-B1: definities en voorbeelden gevolgklassen.

[Hieronder de belastingfactoren voor gebruikniveau.](#)

Tabel 7-1. Belastingfactor gebruikniveau voor CC3, CC2 en CC1

Gebruiksniveau	Blijvend 6.10a	Blijvend 6.10b	Verkeer	Wind	Overig veranderlijk	
β	$V_{Gj,sup}$	$V_{Gj,sup}$	$V_{Q,1}$	$V_{Q,1}$	$V_{Q,1}$	
CC3	3,3	1,25	1,15	1,25	1,50	1,30
CC2	3,3 (2,8)	1,15	1,15 (1,10)	1,10 (1,15)	1,30	1,15
CC1	2,5	1,05	1,05	1,00	1,10	1,05

Verder geldt $V_{Gj,inf} = 0,9$ voor 6.10a en 6.10b voor alle niveaus.

De waarden tussen haakjes mogen alleen zijn toegepast bij bruggen waarvoor een omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend onder Bouwbesluit 2003 of daarvoor.

7.3.3 Aantallen vrachtwagenpassages

Evenals de gevolgklasse heeft het aantal vrachtwagenpassages op een kunstwerk een directe invloed door middel van een reducerende factor op de ontwerpwaarde van de verkeersbelasting. Indien geen betrouwbare gegevens over het aantal vrachtwagenpassages bekend zijn, dient te worden uitgegaan van het maximale aantal passages voor het desbetreffende type wegvak. Het maximale aantal van twee miljoen passages per jaar is voor decentrale wegen erg hoog. Het aantal vrachtwagenpassages is eenvoudig nauwkeuriger te bepalen uit metingen met bijvoorbeeld radar, verkeerscamera's, visuele verkeerstellingen of tellussen.

Een tellus registreert de volledige lengte van een voertuig, meestal in een klasse kleiner dan 5,5 meter, tussen 5,5 en 11,5 meter en groter dan 11,5 meter. Deze klassen komen respectievelijk overeen met de classificaties licht, middelzwaar en zwaar verkeer. Dergelijke meetgegevens zijn veelal vrij beschikbaar, zie bijvoorbeeld www.ndw.nu en www.basec.nl. Voor wegen van decentrale overheden kan het in rekening brengen van het werkelijke aantal vrachtwagenpassages tot een reductie van de ontwerpwaarde van de verkeersbelastingen leiden. Bij een aantal van 20.000 passages per jaar is de reductie bijvoorbeeld omstreeks 5%. In de NEN-EN 1991-2 is dit terug te vinden in:

- NEN-EN 1991-2, art. 4.3.2 tabel NB1: reductiefactor voor een verkeersaanbod, aantal vrachtwagenpassages, afwijkend van het referentieaanbod.

7.3.4 Referentieperiode en trendfactor

De keuze van de referentieperiode is bepalend voor de te hanteren waarde voor de trendfactor. Daarmee ligt er een belangrijke afweging in de keuze van de referentieperiode, met name omdat een verdubbeling van de referentieperiode naar dertig jaar een toename van circa 7% betekent op de ontwerpwaarde van de verkeersbelasting. Deze toename is hoofdzakelijk toe te schrijven aan de te hanteren factor voor de trendontwikkeling.

Op basis van art. 2.3.2. van NEN 8700 moet voor de beoordeling van kunstwerken in CC1b, CC2 en CC3 op afkeurniveau een referentieperiode van minimaal vijftien jaar worden gehanteerd. Afgezet tegen de huidige ontwerplevensduur met een referentieperiode van honderd jaar levert dit bij een overspanning van twintig meter een reductie op de ontwerpwaarde van de verkeersbelasting en op van in totaal 8,9%. Deze is opgebouwd uit het product van de volgende reducties:

- Aangaande de referentieperiode: 0,98 volgens tabel 1 van NEN 8701 en
- Aangaande de trend: 0,93 volgens tabel 2 van NEN 8701.

Voor de referentieperiode en restlevensduur geldt tabel 7.2. Voor verbouw en gebruik kan projectspecifiek een langere restlevensduur (en referentieperiode) worden overeengekomen.

Tabel 7-2. Referentieperiode en restlevensduur

	Referentieperiode	Restlevensduur
Nieuwbouw	100 jaar	100 jaar
Verbouw	30 jaar	30 jaar*
Gebruik	30 jaar	30 jaar*
Afkeur	15 jaar	1 - 15 jaar*

Uitgaande van het feit dat er ooit met nieuwbouw is ontworpen volgt, in combinatie met de reductiefactor α voor een lager aantal vrachtwagens, een reductie in rekenwaarde voor de verkeersbelasting die ongeveer gelijk is aan het verschil tussen verkeersklasse 45 en 60. In de norm is een en ander terug te vinden in:

- NEN 8700, art. 2.3.2: reductiefactor voor een referentieduur afwijkend van de ontwerplevensduur;
- NEN 8701, art. 5.1.2 tabel 1: reductiefactor voor een referentieduur afwijkend van de ontwerplevensduur;
- NEN 8701, art. 5.1.3 tabel 2: reductiefactor voor de trendontwikkeling afwijkend van de voorziene ontwikkeling tot 2060.

7.3.5 De rijstrookindeling

Bij het ontwerpen van nieuwe kunstwerken dient het volledige dwarsprofiel tussen voertuiggeleiderails of leuningen, "vrij" ingedeeld te worden met (fictieve) rijstroken van een voorgeschreven breedte van 3,0 meter. NEN 8701 biedt voor bestaande kunstwerken de mogelijkheid om de werkelijk aanwezige rijstrookindeling te hanteren bij de verdeling van de verkeersbelasting. Dit levert een reductie van het berekende belastingeffect. Belangrijke voorwaarde hierbij is dat de rijstrookindeling daadwerkelijk op het kunstwerk is gemarkeerd. Dit betekent dus een belastingverlaging als de feitelijke rijstroken slechts een beperkt gedeelte van het dwarsprofiel beslaan of breder zijn dan de te hanteren rijstrookbreedte van 3,0 meter. In dat geval hoeft de belasting namelijk slechts op een breedte van 3 meter in de desbetreffende rijstrook te worden gepositioneerd.

De restrictie bij het gebruik van de werkelijke indeling is uiteraard dat de beoordeling opnieuw moet worden uitgevoerd indien de inrichting van het dwarsprofiel op het kunstwerk wijzigt. Als een bestaand kunstwerk voldoet bij de actuele indeling is het zinvol om daar een toetsing bij "vrije indeling" op te laten volgen. Voldoet het kunstwerk bij deze laatste toets niet dan betekent dit dat het kunstwerk alleen voldoet voor de bestaande indeling van de rijstroken. Toekomstige wijziging in het dwarsprofiel dienen in dat geval opnieuw te worden beoordeeld. Bij een positieve beoordeling is er geen restrictie ten aanzien van eventuele toekomstige herindelingen in het dwarsprofiel van het kunstwerk waardoor het onder andere bij onderhoud mogelijk is om gebruik te maken van verschoven rijstroken (zonder dat hiervoor een aanvullende beoordeling nodig is). In de norm is dit terug te vinden in:

NEN 8701, art. 5.1.5: belastingverdeling op basis van werkelijke rijstrookverdeling afwijkend van een volledig vrije theoretische indeling.

Bovenstaande tekst t.a.v. de rijstrookindeling vervalt en wordt vervangen door. In navolging van de RBK 1.1 moeten t.a.v. de rijstrookindeling onderstaande stappen doorlopen te worden;

1. Berekening waarbij de het volledige dwarsprofiel tussen voertuig- geleiderails of leuningen, "vrij" ingedeeld is met (fictieve) rijstroken van 3,0 meter, zie de NEN-EN 1991-2;
2. Wanneer deze toetsing niet wordt gehaald moet worden beoordeeld of de toetsing voldoet op basis van de huidige aanwezige rijstrookindeling;
3. Wanneer deze toets niet wordt gehaald moet het kunstwerk op alle veiligheidsniveaus worden beoordeeld, tot de toetsing voldoet, op basis van de huidige aanwezige rijstrookindeling.

Indien bovenstaande toetsing niet voldoet dan dient deze opgenomen te worden in de rapportage. Als er voet- /fietspaden aanwezig zijn, dient een toetsing conform § 4.7.3.1 en § 5.3.2.2 uit de NEN-EN 1991-2 te worden gedaan.

Deze toetsing zal niet leiden tot afkeuren van de brug maar is bedoeld om te bepalen of aanvullende maatregelen benodigd om te voorkomen dat voorgeschreven belastingen kunnen optreden.

7.4 Wisselende verkeersbelastingen (vermoeiing)

7.4.1 Algemeen

In NEN 8700 (art. 3.3) wordt aangegeven dat, waar van toepassing, de uiterste grenstoestand "bezwijken door vermoeiing of andere tijdsafhankelijke effecten" moet worden getoetst. Het bepalen van de belastingen voor deze toetsing is opgenomen in hoofdstuk 4 van NEN-EN 1991-2.

De voorgaande paragrafen van dit document zijn eveneens van toepassing op wisselende verkeersbelastingen maar de daarin gegeven vergelijkingen van de reducties zijn vanuit het perspectief van statische verkeersbelastingen op een bestaand kunstwerk opgesteld. In afwijking van paragraaf 7.3.3 is voor het bepalen van wisselende verkeersbelastingen in NEN-EN 1991-2 (tabel NB5 in art. 4.6.1) een indeling in wegcategorieën opgenomen, waardoor voor het maximale aantal vrachtwagenpassages een lagere standaard referentiewaarde dan twee miljoen passages kan worden gehanteerd.

Analoog aan paragraaf 7.3.4 kan de trendfactor voor de belastinggrootte worden verdisconteerd. Aanvullend geeft NEN 8701 (art. 5.2) de mogelijkheid om het aantal wisselingen gedurende de levensduur te reduceren met een trend van 0,2% per jaar of zelfs meer als dit door waarnemingen aannemelijk kan worden gemaakt.

Bij toepassen van het verbodsbord voor vrachtwagens (C07) mag voor vermoeiingsbeschouwingen het aantal passages op nul worden gesteld, vanaf het moment van plaatsing. Aandachtspunt hierbij is de complexiteit van het aantonen van het betrouwbaarheidsniveau van de scheurgroeberekening in combinatie met de te hanteren monitoringsmethodiek. Het vereist dan ook specifieke kennis om op deze wijze hoofd draagconstructies en onderdelen daarvan in stand te houden.

Voor de Utrechtse situatie zie TUB Leidraad 1 §3.7

7.4.2 Instandhouding op basis van inspecties

Voor wisselende belastingen bestaat volgens art. 3.1, lid 6 van NEN 8700 voor inspecteerbare onderdelen van stalen bruggen de mogelijkheid om, na het verstrijken van de theoretische vermoeiingslevensduur van het desbetreffende onderdeel, levensduurverlenging toe te laten op basis van een inspectieregime. Hierbij moet het maximale inspectie-interval rekenkundig zodanig zijn bepaald, dat een initiërende scheur binnen dat interval onder de vastgestelde kritische lengte blijft.

Daarbij moet voor de kritische scheurlengte zijn uitgegaan van de lengte die rekenkundig leidt tot bezwijken van de restdoorsnede ten aanzien van de statische weerstand. Bij scheurgroei-berekeningen moeten de voor het desbetreffende onderdeel toepasselijke partiële factoren zijn aangehouden.

Gezien de complexiteit van het aantonen van het betrouwbaarheidsniveau aan de hand van scheurgroei-berekeningen in combinatie met de te hanteren monitoringsmethodiek, is deze wijze van instandhouding weliswaar mogelijk maar niet algemeen geaccepteerd voor hoofddraag constructies en onderdelen daarvan.

7.5 Alternatieve bepaling van de verkeersbelasting

7.5.1 Inleiding

De vigerende normen zijn bedoeld om het wettelijk vereiste betrouwbaarheidsniveau van bestaande kunstwerken aan te tonen. De NEN-EN 1990 en NEN 8700 bieden de mogelijkheid om gebruik te maken van alternatieve ontwerp- en berekeningsregels (art. 1.3, sub 5). Bij toepassing van dit artikel moet worden aangetoond dat deze wat betreft de constructieve veiligheid minstens gelijkwaardig zijn aan het betrouwbaarheidsniveau overeenkomstig NEN-EN 1990 en NEN 8700. Hiermee kunnen eigenaren op basis van kunstwerk-specifieke onderzoeken en -beschouwingen ook aantonen dat het betrouwbaarheidsniveau van de constructieve veiligheid gewaarborgd is.

Navolgend worden aanvullende mogelijkheden aangedragen voor dergelijke specifieke beoordelingen. Bij de afweging om deze toe te passen is het belangrijk om bewust te zijn dat de genoemde methoden een extra investering vragen, specialistisch van aard zijn en doorgaans alleen representatieve uitkomsten geven voor het te beoordelen kunstwerk en/of wegvak.

De huidige regelgeving is gebaseerd op de verkeersstroom op rijkswegen, daarmee direct gerelateerd aan de mandatering (maximaal voertuiggewicht van 100 ton (1.000 kN)) die Rijkswaterstaat daarop heeft gegeven aan de Rijksdienst voor het Wegverkeer voor het afgeven van jaarlijkse ontheffingen. Er zijn decentrale overheden, met name gemeentes maar ook provincies, die een lagere ontheffingsdrempel hanteren. Daarom is, parallel aan deze CROW-CUR Aanbeveling, ingezet op nader onderzoek naar een mogelijk aangepaste normmatig vereiste belasting voor kunstwerken die onder een dergelijk lokaal beleid in gebruik zijn (paragraaf 7.5.2). Tevens is het mogelijk om door middel van belastingmetingen voor wegvakken en individuele kunstwerken de lokale verkeersbelastingen te meten en een daarvan afgeleide ontwerpwaarde van de verkeersbelasting vast te laten stellen, waarmee het mogelijk is om de wettelijk vereiste betrouwbaarheid voldoende te borgen (paragraaf 7.5.3). Ook is het mogelijk om middels een proefbelasting aan te tonen dat een constructie voldoet aan de gestelde constructieve eisen (paragraaf 4.4).

7.5.2 Verkeersbelastingmodel voor bruggen met een ontheffingsbeperking

De verkeersbelastingmodellen in NEN-EN 1991-2 zijn primair afgeleid en gevalideerd voor het rijkswegennet waarbij het voertuiggewicht wordt gedomineerd door voertuigen met een jaar- ontheffing tot 100 ton (1.000 kN). Voor veel bruggen en viaducten in het onderliggende wegennet geldt echter dat dergelijke ontheffingsvoertuigen niet zijn toegestaan. Voor bruggen en viaducten waar dit voor geldt is door TNO een speciaal belastingmodel ontwikkeld [21].

Het verkeersbelastingmodel voor bruggen met ontheffingsbeperking is opgenomen in de wijzigingsbladen NEN 8700:2011/A1:2019 (grondslagen) en NEN 8701:2011/A1:2019 (belastingen). Dit speciale belastingmodel geldt voor bruggen en viaducten met een invloedslengte niet groter dan twintig meter waarbij het jaarlijkse aantal zware voertuigen gedurende de referentieperiode in geen enkel jaar groter is dan 125.000. Verder geldt dat er geen frequente belasting mag zijn van voertuigen met een ongunstig afwijkende belading (zoals bij ontsluitingswegen van industrieterreinen of locaties waar zware goederen worden overgeslagen). Tot slot geldt dat voor de route in de toekomst geen wijzigingen worden voorzien in het gebruik.

7.5.3 Ontwerpwaarde afgeleid van belastingmetingen

Er kan een verband gelegd worden tussen de aanwezige verkeersbelastingen op een bepaald wegvak c.q. kunstwerk en de te hanteren ontwerpwaarde van de verkeersbelasting waarmee wordt voldaan aan de wettelijk vereiste betrouwbaarheid van deze kunstwerken. Hiervoor is het nodig om het aantal passerende aslasten en voertuigen vast te stellen. Dit kan op verschillende manieren.

WIM-metingen

Ten behoeve van het direct meten van de verkeersbelasting (aslasten en asafstanden per voertuig) worden diverse Weigh-In-Motion (WIM)-systemen door verschillende leveranciers aangeboden. Van belang bij de keuze van het systeem is een minimale betrouwbaarheidseis, referentie is B(10) volgens de Europese WIM-specificatie COST 323/01, om de metingen te kunnen valideren. Daarnaast biedt ook het NMI een richtlijn voor WIM-meetsystemen [22].

In de praktijk is gebleken, dat behoudens deze voorwaarde, eveneens een goede afstemming tussen het meetsysteem en de lokale verkeersomstandigheden nodig is. Ervaringen in Rotterdam tijdens kalibraties met bekende aslast-configuratie, hebben geleerd dat de meest betrouwbare meetresultaten werden behaald bij passages onder constante snelheden. Snelheidsveranderingen op de locatie hadden doorgaans afwijkingen tot gevolg. Het is daarom aan te bevelen om de meetlocatie tevens te voorzien van een cameraopstelling, zodat de dataset hieraan kan worden geverifieerd. Zeker als de gemeten lasten onwaarschijnlijke waarden of configuraties opleveren.

Het resultaat van de WIM-metingen is een dataset met gemeten aslasten en onderlinge afstanden, de zogenoemde ruwe dataset. Met deze dataset kan op basis van een probabilistische analyse de bijbehorende ontwerpwaarde van de verkeersbelasting worden bepaald, gerelateerd aan de wettelijk vereiste betrouwbaarheid. De belasting voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande kunstwerken kan vervolgens worden bepaald op basis van de beoogde gevolgs-klasse van de desbetreffende kunstwerken. Voor de wijze waarop de ontwerpwaarde van de belasting dient te worden bepaald, wordt verwezen naar het achtergrondrapport bij NEN-EN 1991 [20].

Belastingeffectmetingen aan bruggen

Behalve van directe voertuigbelastingmetingen (WIM) kunnen ook metingen aan een brug worden uitgevoerd. Hierbij wordt de respons van de brug gemeten onder invloed van verkeersbelasting (belastingeffectmetingen). Dit zijn veelal rekmetingen die kunnen worden omgerekend naar spanningen en eventueel naar snedegrootheden zoals het buigende moment. Het voordeel hiervan is dat de onzekerheden die te maken hebben met het bepalen van het belastingeffect gegeven een (ontwerp)belasting niet aanwezig zijn. Op basis van de metingen kan voor de desbetreffende brug de ontwerpwaarde van het belastingeffect worden afgeleid behorende bij het verkeer dat over de brug en/of het desbetreffende wegvak gaat. Indien de metingen worden gebruikt voor de bepaling van de ontwerpwaarde van het belastingeffect is het daarom van belang dat de meetlocatie ter plaatse van de maatgevende doorsnede wordt ingericht. De beperking van dergelijke metingen is dat de ontwerpwaarde object- en doorsnedegebonden is, waardoor een generiek ontwerp-verkeersbelastingmodel dat ook kan worden gebruikt voor andere bruggen en viaducten, niet eenduidig kan worden afgeleid op basis van de meetresultaten.

Bridge-WIM

Opgemerkt wordt dat bovenstaande is gericht op het belastingeffect onder invloed van het verkeer en dus niet op de belasting van het verkeer. Om op basis van het belastingeffect op een bepaalde positie een uitspraak te kunnen doen over de verkeersbelasting, dient voor de desbetreffende punten de as- en voertuigbelasting te worden bepaald. Dit kan met behulp van de bekende invloedslijnen of -vlakken voor die punten. Invloedslijnen of -vlakken geven de relatie tussen de belasting op een bepaalde positie en het belastingeffect in een bepaald punt. Hierbij dient er rekening mee te worden gehouden dat het belastingeffect door meerdere aslasten kan worden veroorzaakt (met name bij langere invloedslengtes). De ontwerpwaarde van de verkeersbelasting moet hierbij worden gerelateerd aan de ontwerpwaarde van het belastingeffect. In het geval dat de metingen aan het belastingeffect worden gebruikt voor de bepaling van de verkeersbelasting, is sprake van een Bridge-WIM systeem.

8.1 Inleiding

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid is het van belang dat de krachtsverdeling onder invloed van de optredende belastingen voldoende nauwkeurig wordt bepaald. Het gebruik van eindige elementenmodellen is hiervoor gemeengoed waarbij de nauwkeurigheid van de resultaten van dergelijke berekeningen in belangrijke mate worden bepaald door de mate waarin het model van het beschouwde object overeenstemt met de werkelijkheid.

Dit hoofdstuk geeft inzicht in een aantal relevante aspecten bij het uitvoeren van eindige elementenberekeningen. Ten einde onterecht afkeuren of goedkeuren te voorkomen kan het wenselijk zijn om de krachtswerking nauwkeuriger te beschrijven dan aanvankelijk bedacht. Dit hoofdstuk geeft met name op dat punt aan welke mogelijkheden er zijn.

Het grootste deel van dit hoofdstuk heeft betrekking op de verfijningen in modellering en methoden van analyseren die mogelijk zijn (paragraaf 8.3 en 8.4). De richtlijnen die worden gegeven zijn toegespitst op de technisch adviseur. Ten behoeve van de beheerder/[constructeur](#) is daarnaast in paragraaf 8.2 een toelichting gegeven op verificatieberekeningen en modelleren in het algemeen en verfijningsmogelijkheden die daarbij mogelijk zijn.

Modellering

Een accurate rekenkundige beschouwing en toetsing vereist een rekenmodel dat de krachtsverdeling die bepalend is voor het optreden van het beschouwde bezwijkmechanisme voldoende accuraat beschrijft. In algemene zin kunnen rekenmodellen variëren van eenvoudige relaties tot zeer geavanceerde (numerieke) modellen. Voor het uitvoeren van een rekenkundige beoordeling is het van belang om inzicht te hebben in de volgende aspecten:

- De gevolgklasse van het beschouwde object, ter bepaling van de partiële factoren voor de belasting (hoofdstuk 3);
- De geometrie en opbouw van het object dat wordt beschouwd (afmetingen, oplettingen, indeling en dergelijke, zie hoofdstuk 5);
- Eigenschappen van de toegepaste materialen (hoofdstuk 6);
- Informatie over de aan te houden belastingen, waaronder de verkeersbelasting (hoofdstuk 7).

Daarnaast is het van belang om beschikking te hebben over geschikte programmatuur (software) en een ervaringsniveau dat passend is voor het gebruik daarvan. Voor de modellering moeten verder keuzes worden gemaakt over een aantal van belang zijnde aspecten:

- Geometrische modellering van het object (van liggermodel tot volumemodel);
- Soort analyse (geometrisch- en fysisch lineair of niet-lineair gedrag);
- Detaillering van de belastingen en oplegcondities (randvoorwaarden);
- De wijze waarop schades, degradatie en scheurvorming worden meegenomen.

Tot slot wordt opgemerkt dat dit hoofdstuk niet tot doel heeft om een receptuur te beschrijven waarmee een object gemodelleerd moet worden. De strategie en aanpak van de modellering dient te worden beschreven in de vooraf opgestelde uitgangspuntennotitie (zie paragraaf 4.3.2) waarin wordt ingegaan op de verwachte noodzakelijke diepgang van de modellering, en de resultaten, als ook op de verwachte kosten van dergelijke analyses. Speciale aandacht moet besteed worden aan de validatie van het rekenmodel waarmee wordt aangetoond dat de gekozen modellering toepasbaar is voor de constructie en het mechanisme dat wordt onderzocht. Resultaten van de EEM-analyses zullen minimaal de COBc-richtlijnen moeten volgen [23].

8.2 Introductie voor de beheerder

8.2.1 Berekenen en toetsen

Het uitvoeren van een (verificatie)berekening heeft betrekking op het bepalen van de krachtsverdeling in een constructie of onderdelen van deze, onder invloed van de optredende belastingen en combinaties daarvan. Voor de bepaling van dit zogenoemde belastingeffect wordt gebruik gemaakt van een rekenmodel. Bij de toetsing van de constructieve veiligheid wordt de berekende krachtsverdeling vergeleken met de aanwezige capaciteit van de constructie.

In art. 3.3 van NEN 8700 is hierover aangegeven dat de beoordeling betrekking moet hebben op onderstaande grenstoestanden.

- verlies van evenwicht van de constructie of een onderdeel daarvan, beschouwd als star lichaam;
- bezwijken door buitensporige vervorming, verandering van de constructie of een onderdeel ervan in een mechanisme, breuk, verlies van stabiliteit van de constructie of een deel ervan, met inbegrip van steunpunten en funderingen;
- bezwijken door wisselende belastingen (vermoeiing) of andere tijdsafhankelijke effecten.

Uit bovenstaande blijkt dat het voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van belang is dat het object als geheel wordt beschouwd en niet beperkt is tot het toetsen van de Unity Checks (UC) van de verschillende doorsneden.

Bij het beoordelen van de constructieve veiligheid van een bestaande constructie volgens NEN 8700 behoeft de bruikbaarheidsgrenstoestand niet te worden beoordeeld. Voorwaarde is wel dat de sterkte van de constructie gedurende de restlevensduur van de constructie niet (verder) afneemt, bijvoorbeeld door chemische of mechanische degradatie.

Zoals eerder aangegeven wordt voor de bepaling van de sterkte van constructies en onderdelen daarvan, verwezen naar de materiaalgebonden normen uit de Eurocode (NEN-EN 1992 tot en met NEN-EN 1997) in combinatie met de Nationale bijlages. Voor bestaande constructies gelden daarnaast aanvullingen zoals vastgelegd in NEN 8702 tot en met NEN 8707. In deze delen is beschreven hoe de weerstand (sterkte) kan worden bepaald en welke restricties en/of aanvullende voorwaarden voor de modellering van de constructie van toepassing zijn. Opgemerkt wordt dat ten tijde van het schrijven van deze aanbeveling niet al deze normen beschikbaar zijn. Het is de verwachting dat een belangrijk deel van de aanvullende bepalingen zoals opgenomen in [12] tevens zal worden opgenomen in de desbetreffende materiaalgebonden normen.

8.2.2 Modellering

Het niet voldoen van een constructie aan de eisen met betrekking tot de constructieve veiligheid kan er toe leiden dat een constructie moet worden versterkt of dat anderszins maatregelen moeten worden getroffen. Om onterecht afkeuren van bestaande constructies te voorkomen is het vaak lonend om de krachtsverdeling in de constructie nauwkeuriger te bepalen.

Bij de schematisatie van een (bestaande) constructie dient rekening te worden gehouden met de volgende basisuitgangspunten:

- Het rekenmodel geeft representatieve resultaten voor het gedrag van de constructie, rekening houdend met eventuele degradatie van de materialen, defecten, schades aan de constructie en de aanwezige vervormings- of rotatiecapaciteit;
- Het rekenmodel moet eventuele constructieve schades kunnen verklaren;
- De resultaten van het rekenmodel zijn van voldoende detailniveau voor de beoordeling van de te beschouwen aspecten (mechanismes).

Eenvoudige modellen zijn simpel in het gebruik (zowel qua modellering als qua toetsing) maar zijn vaak een conservatieve benadering (verborgen reserves) van de werkelijkheid. Het nastreven van een hogere nauwkeurigheid door het gebruik van een geavanceerd model heeft als voordeel dat de werkelijkheid beter wordt benaderd en de verborgen reserves beter worden benut. Daar staat tegenover dat berekeningen met dergelijke modellen, een langere doorlooptijd kennen, een beter begrip van de constructie vragen en dat de interpretatie van de resultaten lastiger wordt en duurder is. Vooral de laatste twee aspecten vragen, evenals de validatie geavanceerde modellen, kennis van de materie bij de modelleur. De validatie van geavanceerdere rekenmodellen is over het algemeen eveneens bewerklijker.

Opgemerkt wordt dat een aantal rekenprogramma's een scala aan methodes biedt om belasting-effecten automatisch te laten bepalen. In sommige gevallen bieden deze rekenprogramma's zelfs een module om de resultaten te toetsen volgens de vigerende normen. Nieuwe ontwikkelingen, inzichten en/of zaken uit de NEN 8700-serie zijn hierbij veelal niet inbegrepen, waarmee het gebruik van dergelijke modules afgeraden wordt. Omdat veel rekenprogramma's daarbij een relatief eenvoudig gebruikersinterface hebben, zijn deze rekenprogramma's ook voor minder ervaren gebruikers toegankelijk. Dit vergroot de kans op fouten, vooral bij minder ervaren gebruikers. Het onjuist modelleren van het te beoordelen object en onjuist gebruik van ingebouwde toetsmodules kan als vanzelfsprekend leiden tot een evident verkeerde beoordeling. Een dergelijke automatisering van de procesgang vraagt daarom specifieke aandacht en kennis van de modelleur.

In de uitgangspuntennotitie (paragraaf 4.3.2) dient te worden aangegeven op welke wijze de constructie wordt gemodelleerd en welke verfijningen mogelijk zijn indien een hogere nauwkeurigheid gewenst is. Tevens dient in de uitgangspuntennotitie te worden aangegeven op welke wijze de resultaten moeten worden gevalideerd. In de afweging om bepaalde geavanceerdere analyses uit te voeren dient rekening te worden gehouden met de verwachte kosten en effectiviteit. Het uitvoeren van eenvoudige analyses om het gedrag van de constructie en de mogelijkheden tot verfijning te analyseren, behoort hier ook toe. Om de kwaliteit van de modelleur te waarborgen kan ervoor worden gekozen om in de uitgangspuntennotitie eisen aan de modelleur te stellen. Hierbij kan gedacht worden aan eisen met betrekking tot het denk- en werkniveau van de modelleur, het track record van de modelleur en aantoonbare ervaring, in het bijzonder met betrekking tot het beoordelen van bestaande constructies en met de apparatuur die gebruikt wordt voor de analyses.

De afweging voor het toe te passen niveau van diepgang voor het beoordelen van bestaande constructies hangt onder meer af van:

- de verwachte effectiviteit van een verdiepingsslag in de uitgevoerde berekening (afhankelijk van de mate van conservatisme in de eerder gebruikte modellen en het maatgevende faalmechanisme);
- de kosten die een rekenkundige verdiepingsslag met zich mee brengt;
- de kosten van eventuele maatregelen om het object te laten voldoen (zoals vervangingsinvestering, versterkingen of restrictief gebruik).

Modelverfijningen

In deze aanbeveling wordt generiek gesproken over rekenmodellen. Met betrekking tot de mogelijkheden voor verfijningen in het model is het van belang onderscheid te maken naar de verschillende componenten waar het rekenmodel uit is opgebouwd:

- het geometrische model
- materiaalmodel(len)
- de belastingen die op het model aangrijpen
- opleggingen en andere randvoorwaarden

Verfijningen binnen een rekenmodel vinden altijd plaats binnen één van de hierboven genoemde componenten. Verdere uitwerking hiervan is gegeven in paragraaf 8.3. In de uitgangspuntennotitie kan uit praktische overwegingen worden aangegeven dat op voorhand rekening wordt gehouden met bepaalde verfijningen.

In de praktijk wordt bij het modelleren meestal gestart met een relatief eenvoudig model en worden, naarmate de resultaten daarom vragen, verfijningen in de modellering aangebracht. In figuur 8-1 is een stroomschema gegeven waar de verschillende niveaus van modelleren zijn geïllustreerd, inclusief de mogelijke verfijningsstappen en de volgorde daarvan. Merk op dat als gevolg van voortschrijdend inzicht het schema in figuur 8-1 anders is dan het rekenschema in [8]. Er is een duidelijkere groepering en meer detail aangebracht. De lineair elastische analyses en de niet-lineaire analyses zijn in figuur 8-1 als groep gescheiden waardoor de nummering van de rekenniveaus anders is dan in [8].

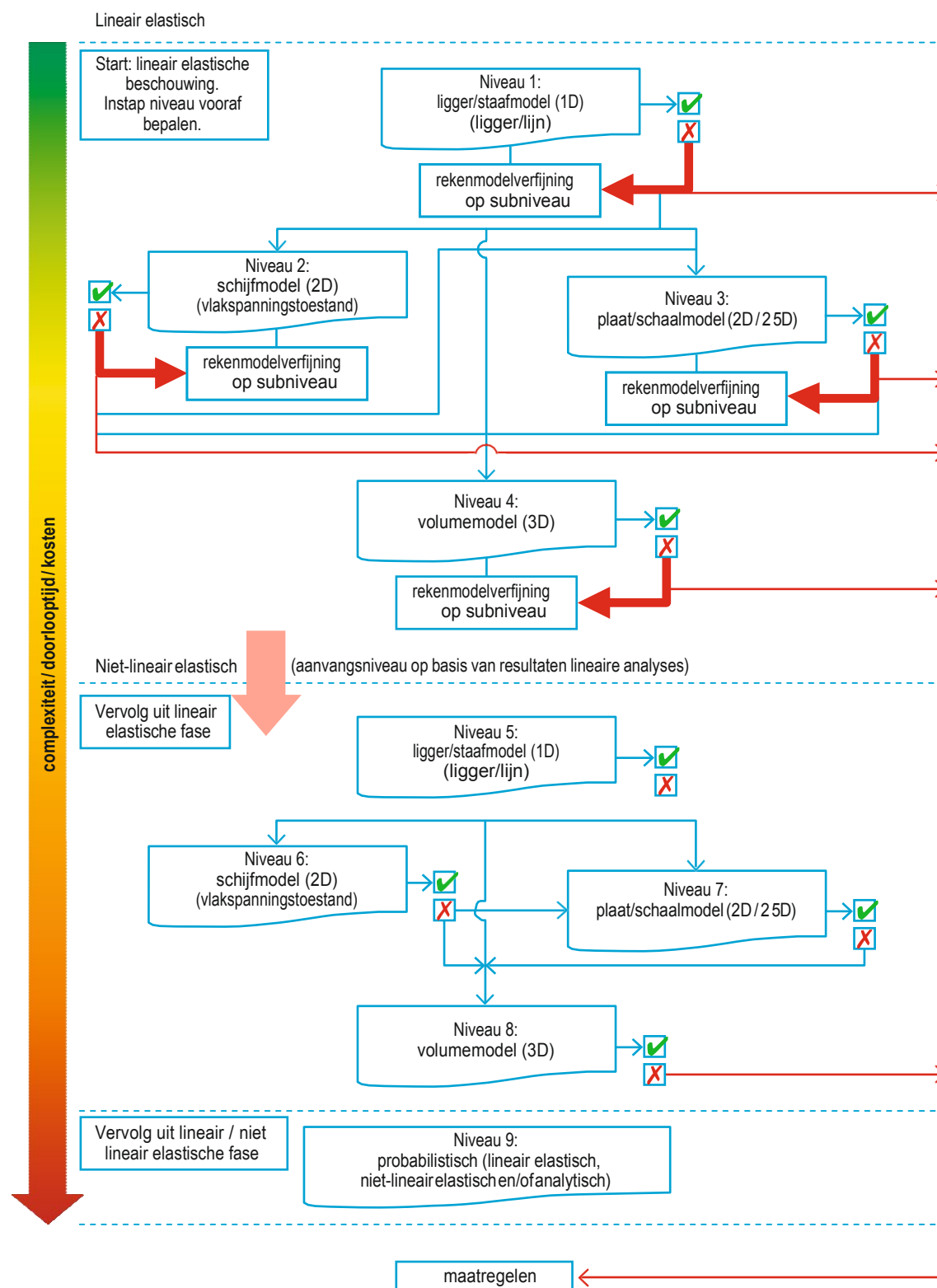
Over het algemeen geeft het meest eenvoudige niveau (niveau 1) een conservatieve benadering van de krachtsverdeling op basis waarvan de beoordeling kan worden uitgevoerd. Naarmate een meer realistische inschatting wordt gevraagd, kunnen de andere modelleerniveaus worden gebruikt. Voor de mogelijke modelverfijningen is het niet noodzakelijk om de verschillende modelleerniveaus uit figuur 8-1 sequentieel af te lopen. Wel kan het effectief zijn om in de modellering van tevoren rekening te houden met bepaalde verfijningen. Voor de overstap van lineair elastisch naar niet-lineair zijn in principe geen modelwijzigingen nodig, met uitzondering van een aanpassing van de materiaaleigenschappen en eventueel het toevoegen van wapenings- en voorpanelementen.

Over het algemeen is het de verwachting dat verfijningen van het rekenmodel waarbij steeds wordt uitgegaan van lineair elastisch materiaalgedrag leiden tot een voldoende nauwkeurige modellering van de werkelijkheid. Dit betreft verfijningen van het type model (liggers, schalen, et cetera) of het realistischer modelleren van de belasting en/of de opleggingen waarmee lokale spanningsconcentraties worden vermeden. Deze verfijningen zijn in detail toegelicht in paragraaf 8.3.

Verfijningen in analysemethode

Berekeningen worden in basis gestart op lineair elastisch niveau. Deze analysewijze is relatief eenvoudig (en snel) doordat de spannings-rekrelaties lineair zijn. Nadeel is dat de berekende krachtsverdeling in essentie conservatief van aard is waardoor aanwezige verborgen reserves niet (direct) inzichtelijk zijn. Deze conservatismen kunnen worden verbeterd door verfijningen (benutten van de verborgen reserves) binnen de analysemethodes toe te passen. Indien het lineair elastische rekenmodel niet tot het gewenste resultaat (aantonen van de veiligheid) leidt, dan kan worden overwogen om gebruik te maken van meer geavanceerde verfijningen om deze verborgen reserves zichtbaar te maken met methoden zoals het meenemen van tijdsafhankelijke effecten of het gebruik van geometrisch of fysisch niet-lineaire effecten (paragraaf 8.4).

Quasi niet-lineaire analyses zijn een eenvoudig alternatief voor fysisch niet-lineaire analyses. In een dergelijke analyse worden de (materiaal)eigenschappen aangepast op basis van bepaalde niet-lineaire effecten, zoals scheurvorming waarbij de (buig)stijfheid afneemt. Een dergelijke aanpak sluit aan op de huidige ingenieurspraktijk. Omdat de analyse lineair elastisch blijft, blijft de berekening robuust en stabiel. Quasi niet-lineaire methoden geven een goede indicatie voor de verwachte resultaten bij een (fysisch) niet-lineaire analyse. De quasi niet-lineaire analysemethoden zijn niet als zodanig in figuur 8-1 aangegeven maar kunnen worden opgevat als een modelverfijning van de lineair elastische niveaus (zie paragraaf 8.3).



Figuur 8-1. Stroomschema berekeningswijzen verificatieberekeningen.

De verwachte effectiviteit van de analysemethode als ook de te verwachten doorlooptijd en de daarmee gepaard gaande financiën spelen een belangrijke rol bij de keuzes die moeten worden gemaakt in de te volgen modelleringsstrategie. Deze keuzes zijn de verantwoordelijkheid van de beheerder die hierin wordt geadviseerd door de technisch adviseur.

De geschiktheid van het modelleerniveau waarbij wordt overgestapt naar een niet-lineair model wordt bepaald door het type object, het materiaal waaruit het object is opgebouwd en het bezwijkmechanisme dat wordt beschouwd. Indien bij betonconstructies bijvoorbeeld het buigend moment maatgevend is, kan vaak worden volstaan met een eenvoudig liggermodel, of eventueel een schaalmodel indien de krachtsafdracht in meerdere richtingen plaatsvindt. Indien daarentegen dwarskracht het maatgevende mechanisme is, dan is het meer voor de hand liggend om een schijfmodel of volumemodel te gebruiken.

De diepgang wordt daarmee ook bepaald door het materiaalgebruik in de constructie. Op hoofdlijnen kan gesteld worden dat:

- Staalconstructies (algemener metalen) zich bij verfijndere diepgang minder voor het gebruik van volumemodellen lenen;
- Steen en houtachtige materialen zich bij verfijndere diepgang daarentegen wel meer lenen voor volumemodellen.

Bij gecombineerd materiaalgebruik ontstaan dan ook bij verfijndere diepgang modellen met zowel volume als schaal/plaat modellen.

De vervolgstap waarbij fysisch niet-lineair elastisch materiaalgedrag wordt meegenomen in de modellering (niveau 5 tot en met 8) behoeft speciale aandacht en kennis gezien de complexiteit van dergelijke berekeningen. Bij een niet-lineaire analyse wordt uitgegaan van niet-lineaire spanning-rek-relaties voor het materiaalgedrag en is de lineaire elasticiteitstheorie (dus) niet meer van toepassing is. Hierdoor is ook de relatie tussen de optredende snedekrachten en de vervormingen van de constructie niet-lineair en zijn de resultaten van de verschillende belastinggevallen niet meer superponeerbaar.

Voor niet-lineaire berekeningen is het dus van belang dat de niet-lineaire spanning-rek relaties juist worden meegenomen in het model. Voor staal is dit meestal een plasticiteitsmodel. Voor het meenemen van het scheurgedrag van beton dienen de eigenschappen van het toegepaste scheurmodel te worden bepaald. Voor wapeningstaal en voorspanstaal is vloeï met eventueel hardening van toepassing. Bij opleggingen is gebruikelijk een niet-lineair kracht-verplaatsing-diagram met eventueel slip van toepassing. Bij het meenemen van krimp en kruip van beton zal naast het niet-lineaire materiaalgedrag ook nog een tijdsafhankelijke analyse nodig zijn.

Omdat in niet-lineaire analyses falen van het materiaal (scheuren, vloeïen) direct wordt mee gemodelleerd, wordt impliciet het bezwijken (en dus de toetsing) van de constructie gesimuleerd. Toetsing heeft in dat geval dus betrekking op het gedrag van de constructie of van het gemodelleerde deel van de constructie volgens een *Safety Format* dat afwijkt van het *Safety Format* met partiële factoren zoals dat normaliter wordt gehanteerd. Aanwijzingen hiervoor zijn onder andere gegeven in de *fib ModelCode 2010* [17], zie ook paragraaf 8.4.2. Opgemerkt wordt dat deze *Safety Formats* nog beperkt zijn gedocumenteerd. De eisen die worden gesteld aan de constructeur aangaande de interpretatie van de resultaten in relatie tot het al dan niet voldoen aan de eisen met betrekking tot de constructieve veiligheid, behoeven hierdoor extra aandacht.

Tot slot kan de betrouwbaarheid van een constructie ook worden bepaald met behulp van een probabilistische analyse, waarvan de beginselen zijn beschreven in CUR-rapport 190 [24], aangevuld met voorbeelden uit de praktijk [25]. De toepassing van dergelijke analyses is echter nog geen gangbare ingenieurspraktijk. In een probabilistische analyse worden geen

deterministische (constante) waarden voor de verschillende invoerparameters gebruikt, maar wordt gebruikgemaakt van verdelingsfuncties, zoals van de materiaalsterkte, de (verkeers)belasting of het eigen gewicht. Deze verdelingen kunnen bijvoorbeeld worden bepaald aan de hand van materiaalproeven of via het meten van het passerende verkeer. Ook kunnen deze verdelingsfuncties worden gebaseerd op waarden uit de desbetreffende NEN-normen. In dat geval zijn deze waarden echter vaak conservatief en komen deze niet overeen met de actuele situatie.

Op basis van een probabilistische analyse wordt tevens inzicht verkregen in hoeverre de verschillende aspecten (parameters) bepalend zijn voor het ontwerp punt. Een korte toelichting op het gebruik van deze specialistische analysetechniek voor het beoordelen van de constructieve veiligheid is gegeven in paragraaf 8.4.5.

8.2.3 Aanvangsniveau

De technisch adviseur kan (in overleg met de modelleur) op basis van praktijkervaring en eventueel op basis van beschikbare ontwerpberekeningen, een inschatting maken van het beste aanvangsniveau van modelleren. Met een eenvoudige lineair elastische berekening (modelleerniveau 1) wordt relatief eenvoudig inzicht verkregen in de respons van de constructie en de eventueel kritische onderdelen (en mechanismes) in de beoordeling. Daarom wordt aanbevolen om met een berekening op niveau 1 te beginnen. Op basis van deze informatie kan vervolgens een inschatting worden gemaakt over de eventueel benodigde vervolgstappen en de daarbij behorende niveaus van modellering.

Voor constructies waarbij de belasting in meerdere richtingen wordt afgedragen of waarbij spreiding van de belasting een belangrijke rol speelt, wordt aanbevolen om te beginnen met modelleerniveau 3. Modelleerniveau 4 leent zich (net als niveau 8) vooral voor mechanismes waarbij de spanningsverdelingen in het vlak dominant zijn zoals bij dwarskracht. Een eerste indicatie bij dergelijke mechanismes kan worden verkregen met een modellering volgens niveau 1. Gedrongen constructies zoals bij de onderbouw vragen om een aanpak in niveau 1, 2 of 4, afhankelijk van het dominante bezwijkmechanisme.

8.2.4 Conservatismes

Ervaringen met verificatieberekeningen in de huidige praktijk laten vaak een aanpak zien waarbij wordt uitgegaan van relatief conservatieve uitgangspunten zoals die ook bij het ontwerp van nieuwe constructies worden gehanteerd. Dit betekent onder andere dat wordt uitgegaan van lineair elastisch materiaalgedrag waarbij weinig of geen rekening wordt gehouden met herverdeling van spanningen door scheurvorming waardoor de afdracht van belastingen anders (gunstiger) kan worden. Hiermee kan rekening worden gehouden door gebruik te maken van (lineaire) materiaaleigenschappen waarin dit niet-lineaire gedrag wordt verdisconteerd (lagere stijfheid, lagere dwarscontractiecoëfficiënt). Het gebruik van een dergelijke quasi niet-lineaire aanpak is toegelicht in paragraaf 8.3.4.

Eventuele verfijningen in de modellering dienen indien mogelijk al in de uitgangspuntennotitie te worden benoemd waarmee duidelijk wordt gemaakt dat er nog ruimte zit in de beoordeling (zie ook paragraaf 4.3.3). Het overschrijden van de rekenwaarde van de sterkte van een doorsnede betekent namelijk niet per definitie dat de veiligheid onvoldoende is.

8.3 Modelverfijningen

8.3.1 Inleiding

In tabel 8-1 zijn de modelleerniveaus uit figuur 8-1 in tabelvorm uitgewerkt. Ieder niveau kan worden opgesplitst worden in een aantal subniveaus met meer diepgang. Binnen ieder subniveau kan

Tabel 8-1. Toelichting op stroomschema berekeningswijzen verificatieberekeningen (figuur 8-1)

Modelleerniveau	Geschiktheid	Toepassing	Verfijning/Opmmerking
Niveau 1 (LE) Ligger- of staafmodel	Bijna elke (deel)constructie. De dwarsdoorsnede van ieder element is uitgedrukt in een doorsnedegrootheid.	Staalconstructies, betonconstructies, constructies van hout of steenachtig materiaal, prefab Liggers, T-liggers, plaatvelden, balkroosters, één- of meercellige kokers, tunneldoorsnedes, onderdoorgangen, duikers, etcetera.	Verfijning mogelijk voor geometrie, belasting, oplegging. Verfijning mogelijk door quasi niet-lineair rekenen.
Niveau 2 (LE) Schijfmodel (vlakke vervormings- of spanningstoestand)	Zie niveau 1 maar nu met een realistische hoogte en eventueel een variabele van de elementen. Hiermee wordt een meer realistische krachtsverdeling over de hoogte van de constructie bewerkstelligd.	Zie niveau 1, met name indien een meer realistische krachtsverdeling over de hoogte is gewenst zoals bij geometrische variaties in de dwarsdoorsnede en/of de aanwezigheid van voorspanning.	Verfijning mogelijk bij belasting en oplegging. Specifiek geschikt voor gedrongen (deel)constructies, zoals consoles of onderlagbalken, tand/nok detail. Verfijning mogelijk door quasi niet-lineair rekenen.
Niveau 3 (LE) Plaat- of schaalmodel	Naast de krachtsverdeling in lengterichting van de constructie wordt ook het buigend momenten en de dwarskracht in breedterichting meegenomen	Slanke plaatconstructies, balkroosters, één- of meercellige kokerconstructies, tunnelmoten, duikerlengte, onderdoorganglengte	Verfijning mogelijk bij geometrie, belasting en oplegging. Aansluiting plaatveld met langs- en dwarsliggers of aansluiting lijf-flens één- of meercellige kokerconstructies verdienen aandacht. Verfijning mogelijk door quasi niet-lineair rekenen.
Niveau 4 (LE) Volumemodel	Geometrie constructie wordt zo realistisch mogelijk meegenomen	Constructies van steen, steenachtige materialen en hout waar het betondeel volumineus (gedrongen) is ten opzichte van andere constructiedelen, zoals bij staalbeton-bruggen	Zie niveau 3
Niveau 5 (NL) Liggermodel	Zie niveau 1	Zie niveau 1	Bij niet voldoen aan eisen bij corresponderend lineaire niveau. Modelverfijningen zijn binnen het corresponderende lineair elastische niveau verwerkt.
Niveau 6 (NL) Schijfmodel	Zie niveau 2	Zie niveau 2	
Niveau 7 (NL) Plaat- of schaalmodel	Zie niveau 3	Zie niveau 3	
Niveau 8 (NL) Volumemodel	Zie niveau 4	Zie niveau 4	
Niveau 9 Probabilistische analyse	Directe bepaling van de betrouwbaarheidsindex aan de hand van een model van de constructie waarbij het stochastische karakter van het gedrag wordt meegenomen in het model door uit te gaan van verdelingsfuncties voor de verschillende invoerparameters. Deze kunnen betrekking hebben op de geometrie, de belasting en de sterkte.		

daarnaast gebruik worden gemaakt van een vereenvoudigde of meer realistische schematisering (modelverfijningen). Deze modelverfijningen hebben tot doel om het gedrag van de constructie nauwkeuriger te beschrijven waardoor de werkelijkheid beter wordt benaderd en verborgen reserves worden benut. Omdat bestaande constructies minder eenvoudig kunnen worden aangepast dan een constructie die zich nog in het ontwerp stadium bevindt, zijn meer realistische modellering en modelverfijningen juist van belang voor bestaande constructies. Dit verkleint de kans dat een constructie onterecht wordt afgekeurd. Modelverfijningen hebben betrekking op de geometrie, de materiaaleigenschappen (constitutief gedrag), belastingen en/of opleggingen en randvoorwaarden. Het gebruik van verschillende analysemethoden is toegelicht in paragraaf 8.4.

8.3.2 Modeltype

Staaf- of liggermodellen

Op het meest eenvoudige modelleerniveau (niveau 1 in figuur 8-1) wordt aan de hand van analytische vergelijkingen of een eenvoudige (staaf- of ligger)modellering de maatgevende doorsnede van ieder constructie-element getoetst waarbij per bezwijkmechanisme beoordeeld wordt of de optredende snedekracht door de doorsnede kan worden opgenomen.

In het verleden zijn onder invloed van de beperkte rekenkracht specifieke liggermodellen ontwikkeld waarbij op basis van de methode van Guyon-Massonet belastingspreiding in dwarsrichting van plaatvelden in rekening wordt gebracht. Dergelijke modellen zijn geschikt om snel inzicht te krijgen in de krachtswerking. In sommige gevallen zijn dergelijke modellen zelfs voldoende nauwkeurig voor de constructieve beoordeling. Indien dit niet het geval is, dan kan eventueel naar een ander type, nauwkeuriger model worden overgegaan.

Schijf-, plaat- en schaalmodellen

Om de krachtsafdracht in langsrichting realistischer in rekening te brengen kan, als alternatief voor het liggermodel, een schijfmodel worden gebruikt (modelleerniveau 2). Dit is bijvoorbeeld van belang bij directe (interne) krachtsafdracht naar de oplegging bij liggers. Om de spreiding van de belasting in dwarsrichting realistischer mee te nemen in de constructieve beschouwing, kan een plaat- of schaalmodel worden gebruikt (modelleerniveau 3).

De resultaten van plaat- en schaalmodellen omvatten, net als bij een liggermodellering, snedekrachten, die kunnen worden vergeleken met de sterkte van de desbetreffende snede. Afhankelijk van het gebruikte rekenprogramma kunnen bij schijfmodellen snedekrachten (normaalkracht, moment en dwarskracht) automatisch worden gegenereerd op basis van referentielijnen.

Een verdere verfijning bij constructies die in de twee hoofdrichtingen verschillende geometrische eigenschappen hebben, is mogelijk door gebruik te maken van orthotrope eigenschappen.

Volumemodellen

Ten einde volumeverandering in lengte- en/of breedterichting zo realistisch mogelijk te modelleren kan gebruik worden gemaakt van een volumemodel (modelleerniveau 4). Dergelijke modellen vinden vooral hun toepassing bij gedrongen constructies of onderdelen daarvan waarbij de interne krachtsafdracht de spanningstoestand in de constructie bepaalt.

De resultaten van een volumemodel laten zich beschrijven door spannings- en rekverdelingen. De vergelijking van de optredende snedekracht met de sterkte van die snede zoals bepaald met conventionele snedemethoden is daardoor minder eenduidig. Wel kan in sommige rekenprogramma's, net als bij schijfmodellen, de snedekracht automatisch worden berekend op basis van een vooraf opgegeven referentievlak. Merk op dat dit alleen recht doet aan de situatie indien sprake is van zuivere buiging of afschuiving.

Voor aanwijzingen bij het modelleren van een eindige elementen model wordt verwezen naar RTD-1016 (deel 1) van Rijkswaterstaat [26].

8.3.3 Geometrie

Voor geometrische verfijningen binnen de modelleerniveaus uit figuur 8-1 bestaan er verschillende mogelijkheden, afhankelijk van de daadwerkelijke geometrie van de constructie.

Niveau 1: Liggermodellen

- a) Overgangen van lijf naar flens waar in de praktijk vaak gebruik wordt gemaakt van een afschuining, worden in liggermodellen veelal verwaarloosd. De indirecte krachtsafdracht wordt daarvoor echter ongunstig beïnvloed. Aanbevolen wordt derhalve om deze mee te nemen in de bepaling van de doorsnedegrootheden van het liggermodel. Hier kan rekening mee worden gehouden door bij de eerste opzet de dwarsdoorsnede in zones te verdelen. Deze opsplitsing vooraf vergt bijna geen extra inspanning, terwijl ook de verfijning in een later stadium vervolgens in beperkte mate extra tijd vergt.
- b) De variatie in verlopende hoogte wordt bij een liggermodel vaak stapsgewijs in lengterichting in het rekenmodel meegenomen met als gevolg dat de dikte sprongsgewijs varieert en (in sommige gevallen) de neutrale lijn van de doorsnede niet conform de werkelijkheid is. Wanneer deze realistisch en als functie van de lengte wordt meegenomen in het model, dan levert dat een gunstigere krachtsafdracht. Ook hierop kan vooraf al worden ingespeeld door variabele diktes in lengterichting van secties van het liggermodel mee te nemen. Ook dit vergt weinig extra tijd.
- c) Indien de dwarsdoorsnede excentriciteiten met zich meebrengt, dan verdient het aanbeveling om hier rekening mee te houden in het model. Een voorbeeld hiervan is de aansluiting van een randbalk aan het minder hoge brugdek. Door de randbalk als separate zone mee te nemen in de totale dwarsdoorsnede van het liggermodel is de extra inspanning om met deze excentriciteiten rekening te houden zeer beperkt.

Niveau 2: Schijfmodellen

Ook voor de schijfmodellering geldt dat details zoals afschuiningen veelal worden verwaarloosd. Het fysiek modelleren van deze details verdient aanbeveling (zie ook punt a bij niveau 1). Bij schijfmodellen spreekt men dan niet meer over zones maar over rijen elementen. Is er sprake van een variabele hoogte over de lengte waarin deze afschuining zich bevindt dan geldt dit voor meerdere rijen elementen. Een dergelijke verfijning is relatief eenvoudig en met beperkte extra inspanning te realiseren.

Niveau 3: Plaat- en schaalmodellen

- a) Bij het gebruik van schaalementen voor het modelleren van de doorsnede van constructie-elementen (bijvoorbeeld een I-profiel) spelen afschuiningen bij de aansluiting tussen de flens en het lijf een belangrijke rol ten aanzien van de indirecte krachtsafdracht. Het systeemvlak zal zich in dat geval van het horizontaal gelegen schalenvlak afbuigen. Dit betekent dat per aansluiting een aanpassing nodig is. Afhankelijk van het aantal aansluitingen kost dit de nodige inspanning. Uitgaande van een viaduct met vier velden zal er bij elk steunpunt een aanpassing moeten plaatsvinden. Als de aanpassing ook consequenties heeft voor de modelvorming in breedterichting kost dit als vanzelfsprekend extra inspanning, welke tevens afhankelijk is van het gebruikte rekenprogramma.
- b) Plaat- en schaalementen zijn op de systeemlijnen met elkaar verbonden. Het gevolg is dat bij elementen die niet in een rechte lijn zijn verbonden, er sprake is van een overlap aan materiaal. Het extreme geval doet zich voor bij haakse aansluitingen van elementen waarbij over de helft van de dikte een overlap aan materiaal is. Hiervoor kan worden gecompenseerd door voor de overlappende delen uit te gaan van een lagere stijfheid. Door van tevoren de verticale delen door te trekken tot de bovenste vezel van het horizontale deel én tot de onderste vezel van het horizontale deel wordt de overlap eenduidig. Doordat de stijfheid van het overlappende deel er nu dubbel in zit dient de stijfheid te worden gehalveerd. Dit type modellering is vooral een kwestie van bijhouden welke delen er dubbel in zitten en welke enkel. De extra inspanning hiervoor is beperkt tot maximaal een dag werk.
- c) Voor het modelleren van constructies met een variërende hoogte wordt aanbevolen hiermee vooraf rekening te houden in de modellering (zie punt b bij niveau 1). Bij een noodzakelijke verfijningsfase is het dan achteraf eenvoudig om de variërende hoogte of breedte mee te nemen in de geometrie van de constructie.

Niveau 4: Volumemodellen

Bij het gebruik van een volumemodel geldt in algemene zin dat de geometrische vorm van een constructie realistisch wordt gemodelleerd en dat er geometrisch geen verfijningen nodig zijn. Desondanks is het ook voor volumemodellen van belang om aandacht te besteden aan de details in het model waarbij discontinuïteiten en singulariteiten (zoals haakse hoeken) worden voorkomen.

Niveau 5 t/m 8: Niet-lineaire modellen

De geometrische modellering bij het gebruik van niet-lineaire materiaaleigenschappen is in principe hetzelfde als bij lineaire modellen (modelleerniveau 1 tot en met 4, zie hiervoor). Echter, onderdelen die in een lineaire analyse geen effect hebben op de krachtsverdeling en om die reden normaliter niet worden meegenomen in het eindige elementen model (bijvoorbeeld wapening in beton), verdienen in niet-lineaire analyses aandacht. Dit betreft onder andere de detaillering van wapeningselementen in beton, zoals opgebogen afschuifwapening, de verankeringslengte (en de daarmee samenhangende gemodelleerde lengte van de wapeningsstaven) en voorspankabels met hun eigen variabele voorspanning over de lengte van de kabel.

Wapeningsstaven worden meestal als ingebedde wapeningselementen opgenomen in het model. Vanuit gebruikersgemak kan bij schijf-, plaat-, schaal- en volumemodellen ook gebruik worden gemaakt van wapeningsnetten waarbij de staafdiameter wordt vertaald in een equivalente dwarsdoorsnede (in mm^2/mm). Voor de boven- en onderwapening betekent dit in zijn algemeenheid dat vier hoekpunten met daar aan gekoppeld twee equivalente diktes per net moeten worden gedefinieerd. Ter plaatse van het tussensteunpunt en het veldmidden zal veelal nog een extra wapening toegevoegd moeten worden.

Hierbij dient er rekening mee te worden gehouden dat het gebruik van gemodelleerde wapeningsnetten effect heeft op de berekende scheurwijdte (te klein), vooral bij grote hart-op-hart-afstanden van de wapeningsstaven.

Bij een ligger- en een schijfmodel kunnen de wapeningsstaven per wapeningslaag over de dwarsdoorsnede worden gebundeld in de invoer. Dit vergt dus beperkte inspanning. Indien bij een schijfmodel ook nog de beugelwapening toegevoegd moet worden, vergt dat meer inspanning. Afhankelijk van de hart-op-hart-afstand van de beugels en de vorm van de beugels (meerdere secties die open of gesloten zijn) zijn er herhalingen in de invoer mogelijk.

Plaat- en schaalmodellen kennen alleen boven- en onderwapening. In de invoer van wapeningsstaven is sprake van herhaling bij een regelmatige hart-op-hart-afstand. Bij opgebogen wapening zullen er secties in een wapeningsstaaf aangebracht moeten worden. Ook bij meerdere lagen kan de laaghoogte over de constructiehoogte ingedeeld worden.

Bij volumemodellen kunnen ook haarspelden nog een rol spelen bij het bepalen van het bezwijkgedrag van de constructie. De inspanning bij de invoer van wapening in een volumemodel is substantieel, maar daarmee kan wel extra bezwijkcapaciteit gecreëerd worden.

Niveau 9: Probabilistische modellen

Aangezien probabilistische modellen onafhankelijk zijn van het gebruikte type model, wordt voor geometrische verfijningen verwezen naar voorgaande modelleerniveaus.

8.3.4 Materiaalmodellering

De relatie tussen de spanning en de vervorming van een materiaal wordt weergegeven in de constitutieve relatie van het materiaal. Indien hierbij sprake is van een lineair verband geldt de wet van Hooke. Groot voordeel daarvan is dat de resultaten van verschillende belastinggevallen kunnen worden gesuperponeerd. Aandacht voor het nauwkeuriger beschrijven van het materiaalgedrag is

vooral van belang voor situaties waarbij fysisch niet-lineaire effecten in rekening worden gebracht en de wet van Hooke dus niet van toepassing is.

Bij lineair elastische analyses zijn vooral de elasticiteitsmodulus en de poisson-ratio bepalend voor de krachtsverdeling in de constructie. De meest relevante niet-lineaire materiaaleigenschappen hebben betrekking op scheurvorming in beton en het vloeien van het wapenings- en constructiestaal.

Indien niet-lineaire effecten in een lineaire analyse worden meegenomen dan is sprake van een quasi niet-lineaire analyse. Vooral voor betonconstructies is dit een gangbare methode om de krachtsverdeling na herverdeling door scheurvorming te bepalen. Vanwege de robuustheid van lineaire berekeningen geniet een dergelijke aanpak vaak een voordeel ten opzichte van niet-lineaire berekeningen (paragraaf 8.4.2). Ook de relatief beperkte benodigde rekenkracht kan een voordeel zijn. Quasi niet-lineaire methodes kunnen binnen ieder lineair modelleerniveau worden gebruikt en bieden vaak een voldoende nauwkeurige benadering van de werkelijkheid.

Bij quasi niet-lineaire analyses wordt in die delen van de constructie waar de treksterkte wordt overschreden en scheurvorming verwacht mag worden, de poisson-ratio (afhankelijk van de geconstateerde scheurwijdte) gereduceerd tot een minimum waarde van 0. In de ingenieurspraktijk is het gebruikelijk dat dit toegepast wordt voor een volledig veld, overspanning of doorsnede. Een alternatief is om dit over een beperkte hoogte van de doorsnede toe te passen (liggermodel met zones, gelaagd schaalement of een rij elementen in een schijf- of volumemodel). Het gevolg is dat de krachtsverdeling verandert waardoor mogelijk in andere delen van de constructie de treksterkte wordt overschreden. Het aanpassen van de materiaaleigenschappen is hierdoor een iteratief proces. Ondanks dat scheurvorming een niet-lineair fenomeen is, kan het effect hiervan in een quasi niet-lineaire berekening worden benaderd door in de richting loodrecht op de scheuren uit te gaan van een lagere elasticiteitsmodulus (afhankelijk van de scheurwijdte).

Ook bij orthotrope materiaalmodellen kan een quasi niet-lineaire analyse worden uitgevoerd door een lagere elasticiteitsmodulus toe te passen indien een bepaald deel als gescheurd mag worden verondersteld. Indien in een volgende (lineaire) stap blijkt dat ook andere delen als gescheurd mogen of moeten worden verondersteld, dan kan in een iteratief proces ook voor die delen een lagere elasticiteitsmodulus worden aangenomen. Eenzelfde werkwijze kan worden toegepast bij aanhechting (slippen) tussen staal en beton bij staalbetonliggers.

Een andere vorm van quasi niet-lineaire analyses is een orthotroop opgebouwde constructie, bijvoorbeeld een balkrooster of een samenspel van staalbeton liggers, in een eerste fase lineair elastisch met als enige belasting een tandemstelsel te beschouwen. Het resultaat van deze eerste fase analyse is het optredende buigende moment per langsliggerlengte of dwarsliggerlengte. Bij het overschrijden van de treksterkte kan vervolgens op dwarsdoorsnedeniveau worden bekeken welk deel van de dwarsdoorsnede is gescheurd. Dat deel krijgt binnen de volgende dwarsdoorsnede analyse een lagere waarde van de elasticiteitsmodulus en de poisson-ratio. Deze tweede analyse levert vervolgens weer extra gescheurde gebieden op, waar de elasticiteitsmodulus wederom gereduceerd kan worden. Dit proces herhaalt zich totdat de trekspanning overal lager dan de treksterkte is. De aangepaste normaalstijfheid (EA) en buigstijfheid (EI) kunnen vervolgens weer als invoer in de constructie analyse geplaatst worden, waarmee een nieuw resultaat op constructieniveau wordt verkregen. Mocht dit vervolgens weer leiden tot aanpassing van de buigende momenten per langsligger of dwarsliggerniveau dan herhaalt dit proces zich eveneens weer totdat er evenwicht gevonden is.

Vergelijkbaar is de staalbeton-ligger, waarbij het betondeel gescheurd kan zijn en er vaak onduidelijkheid is over de aanhechtsterkte tussen het staal en het beton in de trekzone van de staalbeton-

ligger. Met het hierboven beschreven proces kan ook de stijfheid van de aanhechtvlakken iteratief worden gereduceerd. Met deze manier van quasi niet-lineair rekenen kunnen volledige niet-lineaire analyses worden vermeden en wordt op een eenvoudige wijze een realistischer beeld van de herverdeling van spanningen tussen beton en staal verkregen.

Indien een constructieonderdeel is opgebouwd uit verschillende materialen, zoals bij geprefabriceerde liggers met een ter plaatse gestorte druklaag of een gewapend plaatveld met geprefabriceerde randelementen, dan kan hier rekening mee worden gehouden door aan verschillende onderdelen andere materiaaleigenschappen toe te wijzen.

8.3.5 Belastingen

Geconcentreerde belastingen worden afgedragen in breedte- en lengterichting van de overspanning. De meest eenvoudige wijze is om een geconcentreerde belasting als puntlast te modelleren. Nadeel hiervan is dat piekspanningen ontstaan op de plaats waar de belasting aangrijpt. Door de belasting als een vlak met een verdeelde belasting aan te brengen worden deze lokale spanningen voorkomen en wordt de werkelijkheid beter benaderd. Merk op dat de verdeelde belasting in werkelijkheid kan variëren in grootte over de lengte en/of breedte van het belastingvlak, terwijl normaliter wordt uitgegaan van een uniform verdeelde belasting over het belastingvlak. Bij het aanbrengen van de belasting is het daarnaast van belang dat deze op de meest ongunstige positie voor de maatgevende snede wordt geplaatst. Aangeraden wordt om hier vooraf rekening mee te houden bij het opstellen van het model.

Bij het gebruik van een ligger, schaal- of plaatmodel wordt de belasting aangebracht op de systeemlijn van het element. Het belastingoppervlak in het model mag daarom worden vergroot door rekening te houden met een spreiding van 45° vanaf het oppervlak van het element tot de systeemlijn. Dit geldt vanzelfsprekend niet voor een schijf- en volumemodel omdat de dikte van het constructieonderdeel daar geometrisch in wordt meegenomen. Om piekspanningen ter plaatse van het belastingvlak te voorkomen kunnen daarnaast interface-elementen worden aangebracht tussen het belastingvlak en de constructie [27]. De geconcentreerde verkeersbelasting dient voor de beoordeling op de maatgevende positie voor de beschouwde snede te worden aangebracht. Spreiding in dwarsrichting wordt in plaat- en volumemodellen bepaald door de geometrie van het model. Bij ligger- en schijfmodellen moet een aanname worden gedaan over de spreiding in de beschouwde langsdoorsnede. Voor de bepaling van het belastingeffect in langsrichting kan eventueel gebruik worden gemaakt van de Franse spreidingsmethode [28].

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid worden in de praktijk vaak de omhullende resultaten (maxima van snedekrachten van alle belastingcombinaties) gebruikt. Dit is een conservatieve benadering. Gunstiger is het om bij de toetsing uit te gaan van de resultaten van de individuele belastingcombinaties. Het gebruik van omhullende resultaten wordt voor de beoordeling van bestaande constructies daarom afgeraden.

8.3.6 Opleggingen

Net als geconcentreerde belastingen bestaan ook opleggingen in werkelijkheid meestal uit een vlak en niet uit een punt. Door dit in het rekenmodel fysiek mee te nemen worden spanningsconcentraties voorkomen waardoor de werkelijkheid beter wordt benaderd. Voor een ligger en schijfmodel betekent dit dat er over een bepaalde lengte veren of een beddingelement opgenomen kunnen worden. Voor een plaat-, schaal- en volumemodel kan het volledige opleggingsvlak worden meegenomen in het rekenmodel.

Door bij opleggingen daarnaast uit te gaan van de werkelijke veerstijfheid van de oplegging wordt een realistischer krachtsverdeling verkregen. Indien de veerstijfheid van de oplegging onbekend is, wordt aanbevolen om deze bij een stalen oplegging zodanig te kiezen dat de indrukking van de

oplegging onder invloed van de permanente belasting 0.1 mm bedraagt. Voor staal-rubber-opleggingen mag worden uitgegaan van 1 mm [12].

8.3.7 Schade

Bij het inspecteren van een constructie kan schade worden geconstateerd waarmee rekening dient te worden gehouden in de beoordeling van de constructie, afhankelijk van de oorzaak van de schade en de mogelijke gevolgen die deze schade kan hebben. Een overzicht van mogelijke schademechanismen is gegeven in bijlage 3.

In geval van geconstateerde scheurvorming (in langs- of dwarsrichting) mag de stijfheid loodrecht op de scheurrichting op die plaatsen worden gereduceerd, afhankelijk van de scheurwijdte. In dat geval is dus sprake van orthotropie in een deel van de constructie. De glijdingsmodulus (G) blijft afhankelijk van $E_{\text{ongescheurd}}$ onder de voorwaarde dat de scheurwijdte beperkt is tot maximaal 0,3 mm.

Door bij het opstellen van het model al rekening te houden met constructiedelen, die mogelijk of waarschijnlijk een aanpassing nodig hebben om rekening te houden met geconstateerde schade, kunnen bij die delen in een vervolgfase de nodige aanpassing eenvoudig worden doorgevoerd. Bij liggermodellen betreft dit een aanpassing in de elasticiteitsmodulus in de verschillende zones, lagen of elementen.

8.4 Analysemethoden

8.4.1 Inleiding

Behalve de modelmatige verfijningen zoals uiteengezet in paragraaf 8.3, kunnen ook andere analysemethoden worden gebruikt om een realistischer beeld te krijgen van de krachtswerking in een constructie, wat vooral bij bestaande constructies van belang kan zijn. Binnen dit kader is in paragraaf 8.3.4 al gesproken over het gebruik zogenoemde quasi niet-lineaire methoden. Aansluitend wordt in paragraaf 8.4.2 ingegaan op fysisch niet-lineaire analyses. Verder wordt ingegaan op het rekenen met tijdsafhankelijke effecten (paragraaf 8.4.4) en geometrisch niet-lineair materiaal gedrag (paragraaf 8.4.3). Tot slot wordt in paragraaf 8.4.5 ingegaan op de mogelijkheden met betrekking tot het uitvoeren van probabilistische analyses waarmee een voorspelling van de betrouwbaarheid kan worden gemaakt.

8.4.2 Fysisch niet-lineair gedrag

De in paragraaf 8.3 genoemde verfijningen hebben vooral betrekking op aanpassingen van het model waarbij wordt uitgegaan van lineair elastisch materiaalgedrag. Bij een lineair elastische berekening wordt uitgegaan van een lineaire relatie tussen de optredende rek en de spanning waardoor de (sne)krachten dus ook lineair afhankelijk zijn van de berekende vervormingen. Het grote voordeel hiervan is dat spanningen door verschillende belastingen kunnen worden opgeteld (superpositiebeginsel). Nadeel is dat lineair elastische analyses een conservatieve krachtsverdeling tot gevolg hebben. In werkelijkheid gedragen materialen zich echter niet-lineair waarbij de relatie tussen de spanning en de rek niet-lineair van karakter is. Het in rekening brengen van deze fysisch niet-lineaire effecten leidt tot meer realistische en minder conservatieve resultaten. Opgemerkt wordt dat de materiaalgebonden Eurocodes in sommige gevallen gebruiksrestricties of aanvullende voorwaarden geven voor de modellering van tweede orde-effecten.

De doorlooptijd van niet-lineaire berekeningen is aanzienlijk groter dan bij lineaire berekeningen, met name bij het bepalen van de bezwijkbelasting. De doorlooptijd kan variëren van enkele minuten of uren bij liggermodellen tot meerdere uren bij schijf-, plaat- en schaalmodellen of zelfs dagen bij volumemodellen. Opgemerkt wordt dat voor de verschillende onderdelen van de constructie, de belasting op verschillende posities kan staan. In dit geval is het dus nodig dat voor iedere positie van de belasting een aparte berekening wordt uitgevoerd. De inzet van meerdere computers versnelt uiteraard de totale doorlooptijd.

Het gebruik van niet-lineaire analysemethoden heeft vooral voordelen bij inwendig of uitwendig statisch onbepaalde constructies waarbij herverdeling van de krachtsverdeling kan optreden. Bij statisch bepaalde constructies is de toegevoegde waarde over het algemeen beperkt. Modellen voor de bepaling van de weerstand (sterkte) van een inwendig statisch onbepaalde doorsnede onder invloed van een snedekracht (N , M , Q) zijn overigens meestal eveneens niet-lineair van karakter.

Als het risico op bros bezwijken bij constructies kan worden geconstateerd bij een verificatieberekening dan moet dit nadrukkelijk gerapporteerd worden bij de conclusie en samenvatting van de verificatieberekening.

Vooraf moet overlegd worden of het zinvol is om een niet-lineaire berekening te maken, zie §8.2.

Constitutief model

In de constitutieve vergelijking wordt de relatie weergegeven tussen twee fysische grootheden. Bij fysisch niet-lineair materiaalgedrag betreft dit de relatie tussen de optredende spanning en de rek. Het gevolg is dat de resultaten van de verschillende belastinggevallen derhalve niet kunnen worden gesuperponeerd.

Voor niet-lineaire analyses is het van belang dat de materiaalrelaties (constitutief gedrag) overeenkomstig het bezwijkgedrag van het materiaal worden gemodelleerd. Voor staal dient hiervoor uit te worden gegaan van een plasticiteitsmodel (al dan niet in combinatie met hardening). Voor het meenemen van het scheurgedrag van beton zijn diverse scheurmodellen met bijbehorende eigenschappen beschikbaar. Bij opleggingen is gebruikelijk een niet-lineair kracht-verplaatsingsdiagram al dan niet in combinatie met eventueel slip toe te passen. Bij het meenemen van krimp en kruip van beton zal naast het niet-lineaire materiaalgedrag ook nog een tijdsafhankelijke analyse nodig zijn.

Opgemerkt wordt dat met name de treksterkte van het beton en de waarde voor de breukenergie bepalend kunnen zijn voor de dwarskrachtcapaciteit en het buigdraagvermogen van een constructie. Met name bij een laag wapeningspercentage waarbij het scheurmoment relatief hoog is ten opzichte van het vloeimoment, bestaat de kans dat door de bijdrage van de breukenergie aan het moment, het maximale moment groter is dan het vloeimoment. Het gevolg is dat bij dat moment bros bezwijken wordt geïnitieerd. Hierbij dient voor ogen te worden gehouden dat de bijdrage van de treksterkte van het beton in het moment-krommingsgedrag (M - N -kappadiagram), volgens de geldende regelgeving dient te worden verwaarloosd. Ook het hardeningsgedrag en de uiterst opneembare rek van de plastische tak van staal kan een dominante bijdrage leveren. Het verdient aanbeveling om het effect van de gevoeligheid van deze parameters in de beoordeling van de constructie mee te nemen.

Toetsing

Doordat bij niet-lineaire analyses de sterkte van een constructie of constructie-element wordt bepaald door de constitutieve relaties die in de analyse worden gebruikt, is indirect sprake van een gecombineerde bepaling van de krachtsverdeling en toetsing aan de sterkte. Toetsing vindt in dat geval namelijk niet plaats aan de hand van het vergelijken van een snedekracht met de capaciteit van die snede, maar door het overschrijden van een criterium dat is gerelateerd aan de constitutieve relatie en aan de vervormingscapaciteit van de constructie. Meestal betreft dit een rekriterium (uiterste stuijk- of vloeirek). In de numerieke berekening manifesteert falen zich door het overschrijden van dit rekriterium of door numerieke instabiliteit van het systeem (divergentie), wat kan duiden op een verlies aan samenhang van de constructie. De belasting die op dat moment door de constructie wordt gedragen, bepaalt in combinatie met de gebruikte materiaaleigenschappen of voldaan wordt aan de gestelde eisen.

Omdat de toetsing direct afhankelijk is van het verloop van de (numerieke) berekening, is het tevens van belang dat ook geometrische niet-lineaire effecten worden meegenomen bij de bepaling van de krachtsverdeling in de constructie (zie ook paragraaf 8.4.3), mits deze een rol spelen.

Veiligheidsfilosofie

Doordat de evaluatie van de sterkte bij een niet-lineaire analyse in essentie anders is dan bij een lineaire analyse waarbij snedekrachten worden vergeleken met de sterkte (capaciteit) van een snede, is ook de gehanteerde veiligheidsfilosofie (paragraaf 3.3) anders. Het al dan niet voldoen van de constructie aan de eisen die eraan worden gesteld, wordt namelijk impliciet bepaald door het constitutieve model dat voor de verschillende materialen wordt gebruikt, de bijbehorende bezwijkcriteria voor die materialen en de wijze en volgorde waarin de belastingen worden aan- gebracht op de constructie.

Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid bij het gebruik van niet-lineaire analyses zijn daarom aparte *Safety Formats* in ontwikkeling als alternatief voor de gangbare methode met partiële factoren. Handvatten voor deze *Safety Formats* zijn gegeven in de *fib* Modelcode [17], *fib*-bulletin 80 [29], de Eurocode en RTD-1016, deel 1 [26]. Hierbij is sprake van drie *Safety Formats* welke zijn gebaseerd op respectievelijk GRF (*Global Resistance Factor*), ECOV (*Estimation of a COefficient of Variation of resistance*) en PF (*Partial Factor*). De genoemde *Safety Formats* zijn op onderdelen gevalideerd en gerapporteerd in RTD-1016, deel 2 [26]. Voorbeelden zijn gegeven in RTD-1016 [26] deel 3A (voor experimenten met gewapend beton), deel 3B (voorgespannen liggers) en deel 3C (gewapende plaatvelden). Bij het gebruik van deze formats is het dus van belang om na te gaan of de methodiek bruikbaar is voor de beschouwde situatie en toepassing.

8.4.3 Geometrisch niet-lineair gedrag

Bij een eerste ordeberekening wordt uitgegaan van geometrisch lineair gedrag en wordt in de analyse geen rekening gehouden met zogenoemde tweede orde-effecten door excentriciteiten waarbij de krachtswerking wordt beïnvloed door de belastingen zoals die op de vervormde constructie aangrijpen. In veel situaties kunnen tweede orde-effecten worden verwaarloosd. Bij op druk, knik en lokale of globale plooi belaste constructieonderdelen kan het echter wel nodig zijn om hiermee rekening te houden. Tweede orde-effecten worden geïnitieerd door imperfecties zoals uitvoeringstoleranties en vervormingen door de belastingen. De extra inspanning van een dergelijke analyse is beperkt aangezien hier alleen sprake is van een andere aanstuurprocedure van het rekenproces van de berekening zoals uitgevoerd in niveau 1 t/m 4.

De eenvoudigste en meest toegepaste manier om rekening te houden met geometrisch niet-lineair gedrag is door de krachtsverdeling te bepalen met een eerste ordeberekening en de berekende snedekrachten vervolgens te vergroten met een vergrotingsfactor voor tweede orde-effecten. De gangbare vergrotingsfactoren zijn meestal conservatief van aard. Mocht de constructie niet voldoen dan kan als alternatief het geometrisch gedrag direct in de analyse worden meegenomen door uit te gaan van geometrisch niet-lineair gedrag. Hierdoor wordt de werkelijke krachtsverdeling beter benaderd.

8.4.4 Tijdsafhankelijk gedrag

De meest voor de hand liggende voorbeelden waarbij tijdsafhankelijke effecten een rol spelen zijn krimp, kruip en (chemische) degradatie in de tijd. De eenvoudigste manier om hier in eindige elementenberekeningen rekening mee te houden is door de situatie aan het einde van de (rest) levensduur te beschouwen. In geval van kruip kan in dat geval bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een constante waarde voor de kruip die een lagere elasticiteitsmodulus impliceert. Als alternatief kunnen tijdsafhankelijke effecten worden meegenomen door de constitutieve relaties tijdsafhankelijk te maken. In feite wordt hiermee niet-lineair materiaalgedrag in de tijd verondersteld, waardoor deze methode moet worden geschaard onder niet-lineaire berekeningen (paragraaf 8.4.2).

Bij een gefaseerde bouwwijze kan tijdsafhankelijk materiaalgedrag een grote invloed hebben op de krachtswerking in de tijd, vooral in combinatie met kruip- en krimpeffecten waarbij gedurende de uitvoering telkens sprake is van een andere geometrie en belastingsituatie maar ook van andere eigenschappen. Dit soort analyses is vooral van belang bij uitbouwbruggen, maar ook bij brugdekken met geprefabriceerde liggers die pas na enige tijd (een aantal weken) in dwarsverband voorzien zijn van dwarsbalken, terwijl in een nog later stadium het dek is aangebracht. Ook voor gevallen waarbij een constructie wordt verbreed, kunnen tijdsafhankelijke effecten een rol spelen. Daarnaast kunnen initiële spanningen na het weghalen van tijdelijke ondersteuning een rol spelen. Dit kan van toepassing zijn bij maatregelen, bijvoorbeeld als er een extra steunpunt bij geplaatst moet worden en of dit extra steunpunt in hout, staal of rubber gemaakt moet worden.

Daarnaast kunnen ook bij het spannen in meerdere fasen (bij voorgespannen constructies) tijdsafhankelijke effecten een rol spelen, met name indien er sprake is van voorspankabels die aanvankelijk gedeeltelijk worden aangespannen en vervolgens bij het gereedkomen van de constructie verder worden voorgespannen. Ook de voorspanning bij dwarsvoorspanning in brugdekken is vaak pas na gereedkomen van de volledige constructie aangebracht.

Een laatste voorbeeld zijn de zogenoemde Preflex liggers waarbij van het stalen voorgevormde profiel één stalen flens in de fabriek is aangestort en omhuld met beton, terwijl de andere stalen flens plus het stalen lijf later in de tijd is aangestort of in-situ is aangebracht. Ook in dergelijke gevallen kunnen tijdsafhankelijke effecten zoals krimp en kruip een rol spelen.

8.4.5 Probabilistische analysemethode

Met een probabilistische analyse wordt de betrouwbaarheid (faalkans) van een constructie bepaald waarbij expliciet rekening wordt gehouden met de aanwezige variaties van invoerparameters in de vorm van stochasten (geometrie, belastingen, materiaaleigenschappen, stijfheid van opleggingen, et cetera). De eigenschappen zijn in dat geval dus niet deterministisch van aard, maar worden meegenomen in een verdelingsfunctie. Vervolgens wordt nagegaan wat de kans is dat de sterkte van de constructie wordt overschreden. De beginselen van probabilistische beoordelingsmethoden zijn beschreven in CUR-rapport 190 [24], aangevuld met voorbeelden uit de praktijk [25].

De meest elementaire vorm voor probabilistische analyses zijn zogenoemde Monte Carlo-analyses waarbij willekeurige trekkingen worden gedaan van de stochasten en wordt nagegaan of de sterkte bij die combinatie van parameters wordt overschreden. Om de betrouwbaarheid vast te stellen via een Monte Carlo-analyse zijn echter zeer veel berekeningen nodig (een orde hoger dan de reciproke van de faalkans). Met het doel om de betrouwbaarheid met minder berekeningen te bepalen zijn methoden ontwikkeld waarbij een schatting wordt gemaakt van het "Response Surface" en falen van de constructie. Aanwijzingen omtrent het gebruik van dergelijke methoden en het type verdeling van verschillende parameters is gegeven in de Probabilistische Model Code [30] van de organisatie Joint Committee Structural Safety (JCSS).

Het gebruik van probabilistische beoordelingsmethoden is geen alledaagse praktijk en vraagt deskundigheid voor het identificeren van de (dominante) stochasten, het bepalen van de verdelingsfuncties daarvan en het kwantificeren van de modelonzekerheden vragen specialistische kennis. Daarnaast vraagt ook de uitvoering, validatie en interpretatie van de resultaten van dergelijke berekeningen kennis van de gebruikte probabilistische methoden.

Inmiddels zijn er verschillende rekenprogramma's die probabilistische analyses faciliteren, soms alleen in de vorm van Monte Carlo, soms door het aanbieden van meer geavanceerde methoden. De toepassing van probabilistische methoden voor de beoordeling van de constructieve veiligheid is daarentegen nog vooral beperkt tot voorbeelden van kleinschalige constructies zoals gedemonstreerd in [31]-[34].

Referenties

Gebruikte normen

GBV 1950	Gewapend-Betonvoorschriften GBV 1950 (NEN 1009:1950)
GBV 1962	Gewapend-Betonvoorschriften GBV 1962 (NEN 1009:1962)
NEN-EN 206-1	Beton – Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit, 2014
NEN-EN 338	Hout voor constructieve toepassingen – Sterkteklassen Beproevingsmethoden – Deel 1: Wapeningsstaven en -draden, 2016
NEN-EN 384	Hout voor constructieve toepassingen – Bepaling van karakteristieke waarden van mechanische kenmerken en dichtheid, 2016
NEN-EN 583-6	Niet-destructief onderzoek – Ultrasoon onderzoek – Deel 6: TOFD-techniek als een methode om onvolkomenheden op te sporen en de grootte ervan te bepalen, 2009
NEN-EN 1052-1	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 1: Bepaling van de druksterkte, 1998
NEN-EN 1052-2	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 2: Bepaling van de buigtreksterkte, 1999
NEN-EN 1052-3	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 3: Bepaling van de initiële schuifsterkte, 2007.
NEN-EN 1052-5	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 5: Bepaling van de hechtsterkte met de hefboomproef, 2005
NEN-EN 1330-8	Niet-destructief onderzoek – Termen en definities – Deel 8: Termen gebruikt bij de beproeving op lektheid, 1998
NEN-EN 1912	Hout voor constructieve toepassingen – Sterkteklassen – Toewijzing van visuele sorteringsklassen en houtsoorten, 2012
NEN-EN 1990	Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Eurocode 1: Belastingen op constructies.
NEN-EN 1992	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies
NEN-EN 1993	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies
NEN-EN 1994	Eurocode 4: Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies
NEN-EN 1995	Eurocode 5: Ontwerpen berekening van houtconstructies
NEN-EN 1996	Eurocode 6: Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk
NEN-EN 1997	Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp
NEN-EN 10351	Elektronenstraaloscilloscopen – Uitdrukingswijze voor de eigenschappen – Deel 1: Algemeen, 2011
NEN-EN 12504-1	Beproeving van beton in constructies – Deel 1: Boorkernen – Monsterneming, onderzoek en bepaling van de druksterkte, 2009
NEN-EN 12390-3	Beproeving van verhard beton – Deel 3: Druksterkte van proefstukken. 2009
NEN-EN 12390-6	Beproeving van verhard beton – Deel 6: Splijttreksterkte van proefstukken. 2009
NEN-EN 14080	Houtconstructies – Gelijmd gelamineerd hout en gelijmd massief hout, 2013
NEN-EN 15617	Niet-destructief onderzoek van lassen – Gebruik van time-of-flight diffractie techniek (TOFD) – Aanvaardbaarheidsniveaus, 2009
NEN 2767-4	Conditiemeting. Deel 4: Infrastructuur, 2011
NEN 3237	Cement en kalk – Chemisch onderzoek, 1959
NEN 5461	Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2000) – Gezaagd hout en rondhout – Algemeen gedeelte, 1999
NEN 5466	Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2010) – Op uiterlijke kenmerken gesorteerd Europees naaldhout, 2010

NEN 5493	Kwaliteitseisen voor loofhout in grond-, weg- en waterbouwkundige werken en andere constructieve toepassingen, 2010
NEN 5499	Kwaliteitseisen voor visueel gesorteerd naaldhout voor constructieve toepassingen, 2007
NEN 6720	Voorschriften Beton Constructies 1995 (VBC 1995), 2012
NEN 6787	Het ontwerpen van beweegbare bruggen – veiligheid, 2003
NEN 8700	Grondslagen van de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk, 2011
NEN 8701	Beoordeling van de constructieve veiligheid een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren – Belastingen, 2011
NEN 8707	Geotechnisch ontwerp – Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk, 2018
NEN-EN-ISO 148-1	Metallische materialen – Kerfslagproef volgens Charpy – Deel 1: Beproevingsmethode, 2010
NEN-EN-ISO 3452-4	Niet-destructief onderzoek – Penetrantonderzoek – Deel 4: Apparatuur, 1999
NEN-EN-ISO 6506-1	Metallische materialen – Hardheidsmeting volgens Brinell – Deel 1: Beproevingsmethode, 2014
NEN-EN-ISO 6892-1	Metalen – Trekproef – Deel 1: Beproevingsmethode bij kamertemperatuur, 2009
NEN-EN-ISO 10863	Niet-destructief onderzoek van lassen – Ultrasoon onderzoek – Gebruik van time-of-flight diffractie techniek (TOFD), 2011
NEN-EN-ISO 14688-1	Geotechnisch onderzoek en beproeving – Identificatie en classificatie van grond – Deel 1: Identificatie en beschrijving, 2013
NEN-EN-ISO 15630-1	Staal voor de wapening en voorspanning van beton – Beproevingsmethoden – Deel 1: Wapeningsstaven en -draden, 2010

Literatuur

Nummers tussen vierkante haken in de tekst – bijvoorbeeld [1] – verwijzen naar de nummers in onderstaande literatuurlijst.

Literatuur

- [1] [Richtlijn Beoordeling Kunstwerken \(RBK 1.2\) : RTD 1006 Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken versie 1.2, datum vastgesteld 15-06-2022](#)
<https://standaarden.rws.nl/link/set/S0005>
- [2] Vrouwenvelder, A.C.W.M., Scholten, N.P.M. en Steenbergen, R.D.J.M. Veiligheidsbeoordeling
bestaande bouw: achtergrondrapport bij NEN 8700. TNO rapport TNO-060-DTM-2011-03086, december 2011.
- [3] Steenbergen, R., Scholten, N. en Vrouwenvelder, T. Veiligheidsfilosofie bestaande bouw. Cement 2012(4), pp. 8-16.
- [4] Richtlijn 2006/42/EG van het Europees Parlement en de Raad, van 17 mei 2006 betreffende machines en tot wijziging van de Richtlijn 95/16/EG (herschikking).
- [5] Lantsoght, E., van der Veen, C. de Boer, A. Hordijk, D.A. Proof load testing of reinforced concrete slab bridges in the Netherlands. Structural Concrete, volume 18(4), 2017.
- [6] Lantsoght, E.O.L. van der Veen, C. de Boer, A. en Hordijk, D.A.. State-of-the-art on load testing of concrete bridges. Engineering Structures, 150, pp. 231-241, 2017.
- [7] Lantsoght, E.O.L., van der Veen, C. Hordijk, D.A. en de Boer, A. Development of recommendations for proof load testing of reinforced concrete slab bridges. Engineering Structures, volume 152, pp. 202-210, 2017.
- [8] Hordijk, D., Waarts, P., Fennis, S. en Steenbergen, R. Proefbelasten van viaducten. Cement 2015(5), pp. 58-64, 2015.
- [9] CROW-CUR Aanbeveling 117: 2015 Inspectie en advies kunstwerken – Voor instandhouding civiel-technische constructies incl. mechanisch-elektrotechnische installaties en besturing (inclusief bijbehorende Inspectiehandboeken).
- [10] CURnet/SBR/F3O (Organisatie Onafhankelijk Onderzoek Funderingen). Richtlijn onderzoek en beoordeling van houten paalfunderingen onder gebouwen, oktober 2016 (derde herziene uitgave).
- [11] Roubos, A. en Grotegoed, D.. Handboek Binnenstedelijke kademuren. SBRCURnet publicatie, 2014.
- [12] Productspecificaties Deformatiemeting Kunstwerken, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 15 februari, 2018. (<http://publicaties.minienm.nl/documenten/deformatiemetingen-kunstwerken>)
- [13] Rijkswaterstaat Technisch Document (RTD). Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken –Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand kunstwerk bij verbouw, gebruik en afkeur (RBK). RTD-1006:2013, versie 1.1, d.d. 27 mei 2013.
- [14] Rijkswaterstaat Technisch Document (RTD). Richtlijnen voor boren, transporteren en beproeven van betonkernen en het bepalen van druk- en splijttreksterkte, RTD-1021:2016, conceptversie 0.12, d.d. 21 januari 2016.
- [15] Vervuurt, A.H.J.M. Analyse materiaalgegevens van betonconstructies van kunstwerken van decentrale overheden. TNO-rapport TNO-2015-R10473, d.d. 11 juni 2016.
- [16] Vervuurt, A.H.J.M. en Steenbergen, R.D.J.M. Analyse van de materiaaleigenschappen voor de bepaling van het afschuifdraagvermogen van bestaande betonnen kunstwerken. TNO-rapport TNO-060-DTM-2011-01450, oktober 2012.
- [17] Uijl, J.A. den, Yang, Y., Dieteren, G. en Boer, A. de. Afschuifdraagvermogen plaatviaducten: Cement 2012/4.
- [18] *fib*. Model Code 2010 for Concrete Structures, 2010.
- [19] Brak, C.A. Inleiding in de materiaalkunde. Collegedictaat Hogeschool Utrecht, mei 2010.
- [20] Vermeltfoort, A.Th. en Pluijm, R. van der. Materiaalparameters voor constructief metselwerk. CUR-Rapport 193. 1999.

- [21] Steenbergen, R.D.J.M., Morales Napoles, O. en Vrouwenvelder, A.C.W.M. Algemene veiligheidsbeschouwing en modellering van wegverkeerbelasting voor brugconstructies (update van TNO Rapport 98-CON-R1813). TNO rapport TNO-060-DTM-2011-03695-1814, 17 juli 2012.
- [22] Steenbergen, R.D.J.M., Allaix, D.L., Gasse, L.C. la en Vervuurt, A.H.J.M. Verkeersbelastingmodel voor wegverkeersbruggen in het onderliggend wegennet zonder jaarontheffingen. TNO-rapport TNO-2017-R10614, januari 2018
- [23] Guide to the NMI International WIM Standard, NMI Certin Dordrecht, The Netherlands.
- [24] Uitwerking indieningsvereisten EEM. Centraal Overleg Bouwconstructies (COBc), april 2011.
- [25] CUR Rapport 190. Kansen in de civiele techniek. Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in theorie.
- [26] CUR Rapport 209. Kansen in de civiele techniek. Deel 2: voorbeelden uit de praktijk.
- [27] Rijkswaterstaat Technisch Document (RTD). Guidelines for Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures. RTD-1016 (deel 1 tot en met 3).
- [28] Prandtl, L. Hauptaufsätze: Ueber die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, Band 1, 1921. p.15-20.
- [29] Lantsoght, E., Veen, Cor van der, Walraven, J.C., Boer, A. de. Spreiding puntlasten plaatviaducten. Cement, 2012(4), pp. 46-50, 2012.
- [30] *fib*-Taskgroup 3.1. Partial factor method for existing structures (eds. R. Caspeele, R. Steenbergen and M. Sykora). *fib*-Bulletin 80, december 2016.
- [31] Joint Committee of Structural Engineering (JCSS). Probabilistic Model Code part I (Basis of Design), part II (Load Models), part III (Resistance Models) en part IV (Examples). ISBN 978-3-909386-79-6, 2002.
- [32] Waarts, P.H. Structural reliability using Finite Element Analysis – an appraisal of DARS: Directional Adaptive Response surface Sampling. PhD thesis, 2000.
- [33] De Boer, A. and Waarts, P.H. Design of a cable stayed composite bridge using a probabilistic FE analysis. In proceedings *fib* symposium Prague, 1999.
- [34] Waarts P.H. and Boer A. de, Level III Reliability Methods Feasible for Complex Structures, in proceedings ESREL, 2001.
- [35] Evangeliou, P. Probabilistic nonlinear finite element analysis of reinforced concrete beams without shear reinforcement. Master thesis TU Delft, 2016.
- [36] Scholten, N., Vries, A. de, Vrouwenvelder, T., Lurvink, M. NEN 8700 Nader Belicht. Cement 2016(3), pp 40-48, 2016.

Bijlage 1 Duurzame beschikbaarheid informatie bruggen

In deze bijlage zijn aanbevelingen gedaan voor beheerders en/of eigenaren voor een duurzame beschikbaarheid van informatie over bruggen.

Uit de archiefwet volgt dat de volgende informatie blijvend te bewaren is:

1. het bouwrijp maken;
2. het daadwerkelijk bouwen van een brug;
3. het onderhoud aan een brug is te bewaren tot vijf jaar na sloop van de brug;
4. Grootschalig onderhoud waarbij de brug geherstructureerd wordt.

De vraag hierbij is op welke wijze informatie over bruggen gedurende de levensduur van een brug (soms honderden jaren) blijvend bewaard kan en moet worden. Tegenwoordig wordt steeds meer digitaal gewerkt waarbij geen afdrucken van tekeningen meer worden bewaard, maar bijvoorbeeld pdf-bestanden of een BIM-model. Dit betekent dat er een nieuwe visie ontwikkeld moet worden met betrekking tot hoe deze informatie opgeslagen moet worden en hoe deze informatie duurzaam toegankelijk is.

Aanbeveling duurzame toegankelijkheid informatie

Aansluitend zijn aanbevelingen gegeven om te zorgen dat informatie over een kunstwerk gedurende de levensduur van de brug duurzaam toegankelijk is.

1. Opstellen van een zogenoemde doelarchitectuur. Een doelarchitectuur beschrijft een toekomstig gewenste situatie (SOLL) en wordt met name opgesteld om bestuurders binnen de Rijksdienst zicht te bieden op de situatie zoals die over een paar jaar ontstaat. Uitgangspunt is dat de applicaties duurzaam toegankelijk zijn: de beheerapplicaties zijn zodanig dat ze informatie kunnen bewaren gedurende de gehele bewaartermijn waardoor de informatie bruikbaar is gedurende de gehele levenscyclus van het desbetreffende object. Dit kan worden bewerkstelligd door het inrichten van een losse data-laag, waarin gegevens duurzaam kunnen worden beheerd. Applicaties voor verschillende doeleinden kunnen dan gegevens putten uit deze data-laag.
2. Opstellen van functionele eisen ten aanzien van duurzame toegankelijkheid aan applicaties die tijdens beheer/projecten worden gebruikt. Hierbij kan een systeem worden toegepast waarbij data en applicatie gescheiden zijn. Hiermee wordt voorkomen dat gegevens door de leverancier van een applicatie worden 'geijzeld' (een zogenoemd venderlock-systeem).
3. Het gebruik van duurzame formats. Hiertoe dient allereerst een overzichtlijst van duurzame formats die zijn toegestaan te worden opgesteld en dient in contracten te worden vastgelegd dat alleen in deze formats mag worden aangeleverd. Als speciale formats alleen door bepaalde leveranciers van rekenprogramma's worden gebruikt (venderlock), maar wel cruciaal zijn om goed te kunnen werken, dan dienen afspraken te worden gemaakt om naast dit format de data ook in een open format beschikbaar te hebben.
4. Opstellen van een eerste presentatie-laag (centrale toegang) op basis van geografie. De verantwoording hiervoor dient bij een specialistische afdeling binnen de organisatie te worden belegd (veelal GIS experts) waarbij samen wordt gewerkt met andere assetsverantwoordelijken. Tevens wordt aanbevolen om gebruik te maken van landelijke voorschriften voor wat betreft naamgeving, geo-referentie et cetera.
5. Toegang tot een e-depot kan tot stand worden gebracht door samen te werken met een archiefinstelling die de beschikking heeft tot een e-depot. Voor de ontsluiting van informatie is het van belang dat dit e-depot aansluit op de onder punt 4 genoemde centrale toegang (presentatie-laag).
6. De gegevens in de verschillende formats dienen toegankelijk te zijn voor zogenoemde viewers. Dit voorkomt dat informatie die tijdens projecten met geavanceerde tekenprogramma's gegenereerd wordt, leesbaar is voor beheerders.
7. Opstellen van een informatiemodel op basis van een beschrijving van het informatieobject. Dit kan een onderdeel zijn van een kunstwerk met de desbetreffende informatie (tekening, berekening, foto, tekstdocument, et cetera).

8. Zorg dragen voor duurzame verwijzingen of links (Persistente Identifier – PID) waarmee wordt voorkomen dat bij het kopiëren van een link naar een andere schijf de koppeling aangepast moet worden. Assets, waaronder bruggen, worden steeds vaker ontworpen in een Bouw Informatie Model (BIM). Deze modellen zijn vaak sets van samengestelde data die naar elkaar verwijzen en gekoppeld zijn. Deze modellen kunnen alleen duurzaam beschikbaar blijven als de koppelingen duurzaam zijn, door gebruik te maken van een PID.
9. Opnemen van geo-metadata waarbij van elk informatieobject een verwijzing wordt opgenomen naar de geo-objecten waar de informatie bij hoort.
10. Toegang tot beheerapplicatie. Als de informatie in een projectapplicatie duurzaam toegankelijk is (voldoet aan de functionele eisen, zoals onder punt 2 geformuleerd, en lang genoeg in bedrijf is), sluit de applicatie aan op de centrale toegang.
11. Overzetten naar het e-depot. Als de informatie in een projectapplicatie niet duurzaam toegankelijk is (niet voldoet aan de functionele eisen zoals onder punt 2 geformuleerd of niet lang genoeg in bedrijf is) of niet aangesloten kan worden op de centrale toegang, dan dient alle informatie uit de applicaties na afloop van een project over te worden gezet naar het e-depot.

Samenwerking tussen techniek en informatie

Om bovengenoemde aanbevelingen te kunnen realiseren, is een samenwerkingsverband noodzakelijk tussen de archipel van de techniek en de archipel van de informatiespecialisten. Binnen deze archipels dient samen te worden gewerkt tussen de verschillende disciplines (bijvoorbeeld Electrotechniek, Werktuigbouw, Civiel (met al zijn onderdelen) maar ook de beheerder).

Met betrekking tot de archipel van de techniek, functioneren enerzijds de projectmatige technici en anderzijds technici die vooral als beheerder actief zijn. Met betrekking tot het eilandenrijk van de informatiespecialisten, opereren enerzijds de mensen die een centrale toegang kunnen organiseren en anderzijds archiefspecialisten die met name een e-depot kunnen organiseren, en alle grijsschakeringen daartussen.

Om dit goed te kunnen organiseren is een gedeeld bewustzijn van urgentie nodig en zullen de verschillende noodzakelijke disciplines met elkaar moeten willen samenwerken.

Achtergrondinformatie:

Formele richtlijnen en wetgeving

De archiefwet uit 1995 regelt op hoofdlijnen hoe om te gaan met archieven. In deze kaderwet wordt met name ingegaan op de verantwoordelijkheden. Wie is er verantwoordelijk voor dat de kaders goed zijn en wie is verantwoordelijk voor het dagelijks beheer, beschikbaar stellen en de vernietiging van de informatie.

Selectie en vernietiging

In de archiefwet is niet geregeld op welke wijze en wat er vernietigd moet worden. In artikel 12 van de archiefwet is omschreven dat zogenoemde vernietigingslijsten en selectielijsten moeten worden opgesteld. Deze lijsten worden door de minister, na overleg met de betrokken organisaties, vastgesteld en zijn generiek van toepassing voor alle niet rijksoverheidsorganen (onder andere provincies, waterschappen en gemeentes). Deze lijsten hebben een bepaalde geldigheidsduur, namelijk vanaf het jaar van acceptatie van de lijst tot het moment dat de lijst wordt vervangen door een nieuwe lijst. Hierbij gelden de oude lijsten voor de documenten die tot de datum van vervanging zijn geproduceerd en gelden de nieuwe lijsten voor de documenten die na de datum van ingang zijn geproduceerd.

Vernietigingslijst 1983 (geldig tot 1996)

De gemeentelijke vernietigingslijst van 1983 regelt de vernietiging van alle gemeentelijke informatie die is ontstaan tussen 1851 en 1996. Per categorie (onderwerp) wordt in de vernietigingslijst bepaald of informatie permanent bewaard of tijdelijk bewaard wordt. In de lijst van 1983 werd alleen vermeld als iets vernietigbaar was. Als iets niet op de lijst stond moest het bewaard worden. De gegevens omtrent de bouw of een grote verbouwing staan niet op de vernietigingslijst en moeten dus permanent bewaard blijven. Maar bijvoorbeeld de financiële bescheiden zoals facturen die zijn geleverd bij de bouw of periodiek onderhoud moeten conform de belastingwet zeven jaar beschikbaar blijven en zijn dus na zeven jaar vernietigbaar. Projectgegevens die alleen tijdens het project van belang zijn, moeten tien jaar bewaard worden en worden dan vernietigd. Gegevens over onderhoud aan de brug mogen vijf jaar na de sloop van de brug vernietigd worden. Gegevens die permanent bewaard moeten worden, worden volgens de Archiefwet 1995 artikel 12 na twintig jaar overgedragen naar een archiefbewaarplaats, waarmee de informatie openbaar wordt.

Selectielijst 1995

Na vaststelling van de nieuwe archiefwet in 1995 bleek de vernietigingslijst daterend uit 1983 niet meer aan te sluiten en werd deze vervangen door een nieuwe selectielijst. Hierbij werden ook de te bewaren documenten expliciet benoemd. Deze selectielijst uit 1995 is formeel nog steeds van kracht.

Een voorbeeld

Een gemeentelijke brug is gebouwd in 1984. Alle informatie die ontstaan is bij de bouw in 1984 valt dus onder de vernietigingslijst van 1983. Alle bouwgegevens moeten permanent bewaard blijven en deze zijn in 2004 overgedragen naar een archiefbewaarplaats. De financiële gegevens zijn vernietigd na 1991 (zeven jaar na 1984). De projectgegevens alleen van belang bij de bouw van 1984 zijn in 1994 vernietigd.

De brug is vergroot in 2014: voor de te bewaren documenten geldt de selectielijst van 1995: de gegevens van de verbouwing worden in 2034 overgedragen aan een archiefbewaarplaats. Financiële gegevens worden vernietigd in 2022 (belastingwet). Projectgegevens alleen van belang bij de bouw worden vernietigd in 2024.

Organisatie volgens processen

Er wordt echter gewerkt aan een actualisatie, waarbij de informatie georganiseerd wordt volgens processen. Per proces wordt aangegeven of de informatie die in dat proces wordt gegenereerd, bewaard moet worden of vernietigbaar is. Immers, op een object, in dit voorbeeld de brug uit 1984, kunnen verschillende processen betrekking hebben.

Bijlage 2 Object Informatie Document Eisen

Objecttype											Gegevens	Indien we de informatie niet uit documenten kunnen halen?
Samengestelde rijdekken												
Metselwerk	Hout	Stalen liggers met houten rijdek	Stalen liggers met orthotroop rijdek	Stalen liggers met betondek	Rijdek samengesteld uit hout	Betonnen plaatconstructies	Ge refabriceerde betonnen liggers	Orthodoorgangen in beton	Betonnen kokers	Overige objecttypes		
											OBJECTDELEN	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Aantal overspanningen	Tijdens inspectie opnemen
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Aantal overspanningen	Tijdens inspectie opnemen
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Kruisingshoek	Tijdens inspectie opnemen
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Lengte dek	Tijdens inspectie opnemen
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Maximale constructiebreedte	Tijdens inspectie opnemen
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Stichtingsjaar	Inschatten t.o.v. omringende objecten
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Afmetingen Overspanning	Opnemen tijdens inspectie
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Afmetingen/opbouw rijdek	Opnemen tijdens inspectie
						X	X	X	X	X	Ontwerp: Soort wapening	Aanname vanuit bouwjaar of zichtbare schade inspectie
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Rijstrookbreedte	Opnemen tijdens inspectie
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Vluchtstrook aanwezig	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Breedte vluchtstrook	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Asfaltdikte/slijtlaag/ elementverharding	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Verzwaarde belasting	Aanname doen/tijdens inspectie vaststellen
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Grondpakket op kunstwerk	Aanname doen
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Dek verbreed	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Breedte verbreding	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Spitsstrook aanwezig	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Breedte spitsstrook	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Locatie geleiderail/barrier, randafstand	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp: Aslast/gewichtbeperking toegepast	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerpnorm	Aanname doen/ontbrekende gegevens accepteren
						X	X	X	X	X	Betonkwaliteit	Aanname doen/NO betonkwaliteit/ ontbrekende gegevens accepteren
	X	X	X	X		X	X	X	X	X	Staalsoort	Aanname doen/staalsoort NO/ ontbrekende gegevens accepteren
				X		X	X	X	X	X	Staal kwaliteit betonstaal	Aanname doen/staalkwaliteit/ ontbrekende gegevens accepteren
				X		X	X		X	X	Staal kwaliteit voorspanning	Aanname doen/ontbrekende gegevens accepteren
				X		X	X	X	X	X	Geometrie betonstaal	Aanname doen/NO geometrie bepalen betonstaal/ ontbrekende gegevens accepteren
				X		X	X		X	X	Geometrie voorspanning	Aanname doen/NO ligging VSP bepalen (erg lastig)/ ontbrekende gegevens accepteren



Standaarddocument 1	Standaarddocument 2
As-built-tekeningen – uitvoeringstekeningen (origineel/revisie)	Bestekstekening
As-built-tekeningen – uitvoeringstekeningen (origineel/revisie)	Bestekstekening
As-built-tekeningen – uitvoeringstekeningen (origineel/revisie)	Bestekstekening
As-built-tekeningen – uitvoeringstekeningen (origineel/revisie)	Bestekstekening
As-built-tekeningen – uitvoeringstekeningen (origineel/revisie)	Bestekstekening
As-built-tekeningen – uitvoeringstekeningen (origineel/revisie)	Bestekstekening
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
(wapenings)tekening HDC	Bestek (revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Constructieve berekeningobject	
Tekeningen	Constructieve berekeningobject
Bestek (revisie)soverzichtstekening (revisie)	Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)	Bestek (revisie)
Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)	Bestek (revisie)
Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)	Bestek (revisie)
Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)	Bestek (revisie)
Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)	Bestek (revisie)



vervolg

Objecttype		Gegevens										Indien we de informatie niet uit documenten kunnen halen?
Samengestelde rijdekken												
Metselwerk	Hout/Staal	Stalen liggers met houten rijdek	Stalen liggers met orthotroop rijdek	Stalen liggers met betondek	Rijdek samengesteld uit hout	Betonnen plaatconstructies	Geïsoleerde betonnen liggers	Orthotrope betonnen liggers	Betonnen kokers	Overige objecttypes		
	X	X	X		X					X	Houtkwaliteit	Met onderzoek vaststellen
	X	X	X		X					X	Hout soort	Met onderzoek vaststellen
X										X	Opbouw metselwerk	Met onderzoek vaststellen
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerpberekening object	Aanname doen
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Ontwerp uitgangspunten	Aanname doen
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Functie uitgangspunten	Aanname doen
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Minimale randbreedte	Opnemen tijdens inspectie
	X	X	X	X	X	X	X		X	X	Aantal oplegblokken	Opnemen tijdens inspectie
	X	X	X	X	X	X	X		X	X	Oplegsysteem bekend	Opnemen tijdens inspectie
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Type fundering (palen of staal)	Aanname op basis van ervaring of soortgelijk type object in de buurt



Standaarddocument 1	Standaarddocument 2
---------------------	---------------------

Bestek (revisie)soverzichtstekening (revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Bestek (revisie)soverzichtstekening (revisie)	Detailtekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)
Bestek (revisie)soverzichtstekening (revisie)	Bestekstekening
Wapeningstekeningen dek [HDC] (origineel/revisie)	Bestek (revisie)
Constructieve berekening object	Constructieve verificatieberekeningobject
Constructieve berekening object	Constructieve verificatieberekeningobject
Bestek (revisie)soverzichtstekening (revisie)	Detailtekening schampkant (origineel/revisie)
Constructieve tekening Steunpunten/Landhoofden (origineel/revisie)	Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)
Constructieve tekening Steunpunten/Landhoofden (origineel/revisie)	Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie)
Constructieve tekening Steunpunten/Landhoofden (origineel/revisie)	Constructieve overzichtstekeningen (origineel/revisie) of door onderzoek d.m.v. duikinspectie of ontgraving



Bijlage 3 Registratie constructieve schades

Algemene opmerking:

De geconstateerde constructieve schade aan een onderdeel dient bij de conclusie van de berekening geverifieerd te worden: zijn er overeenkomsten in de uitkomsten van de berekening?

Constructieve schades	Waarneming	Vastlegging
1. Beton		
Scheuren zonder uitbloei (Alkali-silica reactie gel)	■ Langs- en/of dwarsscheuren ■ Craquelé scheuren ■ Droge scheuren ■ Scheuren met vocht uittrekking ■ Uitbloei uit scheuren (corrosieproducten)	■ Scheurwijdte in mm bij langs- dwarsscheuren 1 meting per meter. ■ Scheurwijdte in mm bij craquelé scheuren 4 per m² ■ Hoogteverschil aanwezig in scheurvlak ■ Afbrokkeling scheurvlak ■ Scheur droog/nat/uitbloeiingen aanwezig ■ Bij monitoring scheurvorming scheuren op constructie vastleggen begin en einde scheur met datum vermelding (vooraf afstemmen OG indien hiervoor geen bezwaar voor is) ■ Klinkt het beton hol rond de scheur ■ Aanwezigheid reparatiemaatregelen rond de scheur(-en) ■ Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail) ■ Vastlegging schadelocatie op inspectie- /constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm zodat schade herleidbaar is ■ Scheurrichting, lengte scheur, scheurdiepte, aantal scheuren, hart-op-hart afstand van de scheuren ■ Is de scheur watervoerend of niet? ■ Scheurwijdte op drie locaties per scheur bepalen ■ Welke rijstroken bevinden zich boven de scheurlocaties ■ Is het asfalt over een doorgaand dek boven de steunpunten gescheurd? ■ Maximale wijdte scheuren ■ Temperatuur oppervlakken (aangeschenen oppervlak) Ja/Nee en lucht aangeven
Scheuren met uitbloei (Alkali-silica reactie)	■ Landkaartvormigescheuren of gelaagde geometrie, al dan niet met witte uitbloei (ASR-gel); ■ Scheuren die door het toeslagmateriaal lopen; ■ Aftekening van wapening en/of voorspanning in het scheurenpatroon; ■ Uittreden van gel uit de scheuren ■ Vervorming t.g.v. uitzetting	■ Scheurwijdte in mm bij langs- dwarsscheuren 1 meting per meter. ■ Scheurwijdte in mm bij craquelé scheuren 4 per m² ■ Hoogteverschil aanwezig in scheurvlak ■ Afbrokkeling scheurvlak ■ Scheur droog/nat/uitbloeiingen aanwezig ■ Op constructie vastleggen begin en einde scheur met datum vermelding (vooraf afstemmen OG indien hiervoor geen bezwaar is) ■ Hol klinken van het beton rond de scheur ■ Aanwezigheid reparatiemaatregelen rond de scheur(-en) ■ Grote afwijking oplegging t.g.v. zettingen aanliggen rijdek tegen frontwand ■ Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). ■ Vastlegging schadelocatie op inspectie- /constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm zodat schade herleidbaar is ■ Scheurrichting, lengte scheur, scheurdiepte, aantal scheuren, hart-op-hart afstand van de scheuren ■ Is de scheur watervoerend of niet? ■ Scheurwijdte op drie locaties per scheur bepalen ■ Welke rijstroken bevinden zich boven de scheurlocaties? ■ Asfalt doorgaand dek boven de steunpunten gescheurd? ■ Maximale wijdte scheuren ■ Versheid van de scheur ■ Temperatuur oppervlakken (aangeschenen oppervlak) Ja/Nee en lucht aangeven
Corrosie wapening geribd/glad	■ Afgedrukte/holklinkende betondekking ■ Roestuitbloeiing uit scheuren ■ Generieke corrosie of putcorrosie	■ Corrosie langwapening en/of dwarswapening en aantal met oppervlak. ■ Betreft het generieke corrosie of putcorrosie ■ Diameter van de wapening type glad/geribd ■ Diameterafname meten in 'mm' bij generieke corrosie 4 metingen per m² en putcorrosie locatie grootste doorsnede vermindering twee locaties per staaf ■ Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). ■ Vastlegging schadelocatie op inspectie- /constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm



Benodigheden	Gewenst resultaat voor constructieve beoordeling	Achtergrondinfo/ normverwijzing
■ Scheurenloep/scheurenkaart ■ markeerstift voor vastlegging begin en einde scheur voor eventuele monitoring in toekomst ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie- /constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie ■ Scheurdiepte bepalen met een betonboring	■ Weergave van alle scheuren onafhankelijk van de Scheurwijdte, dus ook kleine scheuren <0,1 mm ■ Indien er wapeningscorrosie is ontstaan tgv de scheur moet de afname van de staaloppervlak meegenomen worden in de constructieve toetsingen ■ De scheuren kunnen als orthotropie eigenschappen worden meegenomen bij de modellering ■ In de berekeningen uitgaan van een gescheurde elasticiteitsmodulus ■ Aangeven of de scheurvorming zich bevindt in een betonreparatie ■ Uitspraak of de aangetroffen scheur ook niet in het verleden reeds is geconstateerd	RTD-1006 [12], bijl. B2 NEN-EN 1992-1-1
■ Scheurenloep/scheurenkaart ■ markeerstift voor vastlegging begin en einde scheur voor eventuele monitoring in toekomst ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie- /constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie.	■ De buig-treksterkte loopt sterk terug ■ dwarskrachtdraagvermogen neemt af, vooral als er geen of beperkt dwarskrachtwapening aanwezig is ■ Doordat het schademechanisme nooit helemaal weggenomen kan worden, heeft dit ook negatieve gevolgen voor de duurzaamheid van de constructie ■ Er moet worden nagegaan of door de vervorming van de constructie sprake is of kan zijn van: - wijzigingen in de inwendige krachtsverdeling; - wijzigingen in de excentriciteit van normaalkrachten; - extra externe belastingen op de constructie door verandering van de zwelvervorming, bijvoorbeeld het aanlopen van een brugdek. ■ De éénassige treksterkte moet uit proefstukken worden bepaald. ASR veroorzaakt een reductie bij de éénassige treksterkte ■ Aangeven of de scheurvorming zich bevindt in een betonreparatie ■ Uitspraak of de aangetroffen scheur ook niet in het verleden reeds is geconstateerd	CUR102, CUR117, Inspectiehandboek beton
■ Schuifmaat ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie- /constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie	Het corrosiepercentage van het staal en/of de gereduceerde staafdiameter. Deze gereduceerde waarde van het staaloppervlak (A_s) moet gebruikt worden bij de bepaling van moment- en afschuifcapaciteit. Voor geribd staal wordt met een aanhechtingsfactor 1,0 gerekend. Ten gevolge van het corrosieproduct en de toename van het volume komt het beton los van de wapening (afgedrukt beton). In dat geval is er geen aanhechting tussen wapening en beton.	NEN-EN 1992-1-1



vervolg

Constructieve schades	Waarneming	Vastlegging
Corrosie voorspanstaal (strengen en/of staven)	- Scheuren onder voorspankanaal - Roestuitbloeiing uitscheur (laagste punt voorspankanaal) - Afgedrukte prop/conus aan spanzijde/wigzijde afdichting voorspankanaal - Bij VZA systemen olie uit voorspankanalen	- Corrosie lang- en/of dwarsvoorspanning en aantal - Type strengen of staven - Type voorspansysteem - Met of zonder aanhechting - Voorspankanaal geïnjecteerd? Zo ja? is deze geheel gevuld? - Diameterafname meten in 'mm'/% - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm. - Vastleggen locatie destructief onderzoek vullingsgraad voorspankanalen
Grindnesten	Concentratietoeslagmateriaal op één locatie	- Betreft het een lokaal of een generiek beeld - Is de wapening aan het corroderen (indien JA registratie bij corrosie wapening opnemen) - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm.
Brandschade	- Afgedrukte betondekking - Verkleuring cementsteen/ betonoppervlak	- Kleuren verloop betonoppervlak - Oppervlak afgedrukte beton zonder blootliggende wapening - Oppervlak afgedrukte betondekking op het wapening - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm.
Vervorming	- Aanliggen rijdek tegen frontwand t.g.v. zetting - Ongewone voegopening t.p.v. voegovergang - Grote vervorming opleggingen - Blokkering bewegingsrichting oplegging - Corrosie stalen opleggingen - Betonwegen aandacht voor weggedruken landhoofd	- Voegopening voegconstructie rondom de voegovergang - Scheefstand opleggingen t.o.v. verwachte stand jaargetijde (zomer/winter) - Locatie blokkering vastleggen; - Locatie van de vervorming/opdrukking vastleggen op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm.
Aanrijding	- Afgedrukt beton - Zichtbare wapeningen/of voorspanning - Ontbrekende en/of loshangende delen - Schade op andere onderdelen zoals oplegblokken, schampkanten, dwarsbalken, et cetera	- Beschadigde langswapening en/of dwarswapening en aantal met oppervlak. - verlies aan voorspanstrengen/draden in bundel - Hol klinkende delen - Diameter van de wapening en type (glad/geribd/voorspanning). - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm - Stand stand opleggingen
2. Staal		
Corrosie	- Uniforme corrosie - Putvormige corrosie; - Microbiologisch geïnduceerde corrosie; - Spleetcorrosie; - Spannings- en vermoeiingscorrosie - Contactcorrosie; - Zwerfstroomcorrosie	- Welke type corrosie betreft het - Betreft het generieke corrosie of lokale corrosie - Overeenkomstige patronen aanwezig - Lokale of generieke afname staaldikte (metingen vastleggen) - betreft het een kritiek onderdeel of constructievorm - Type staal (RVS, verzinkt, corten, gecoat, onbeschermd et cetera) - Eventueel combinatie aanwezige materialen - Constructie vorm (samengestelde profielen/onderdelen) - Hoeveelheid corrosieoppervlak (m² en % van het oppervlak) - Object geaard aan spoor/omgeving - Aanwezigheid biofilm/sponsachtige bacteriën - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail) - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
Scheurvorming	- Spannings- en vermoeiingsscheuren; - Visueel zichtbare scheuren (slijtlaag); - Delaminatie;	- Overeenkomstige patronen aanwezig - Betreft het een kritiek onderdeel of constructievorm - Type staal (RVS, verzinkt, corten, gecoat, onbeschermd et cetera) - Constructie vorm (samengestelde profielen/onderdelen) - Hoeveelheid corrosieoppervlak (m² en % van het oppervlak) - Afname staaldikte t.g.v. corrosie/delaminatie - Welke type scheuren (langs, dwars, brossebreuk, plastische breuk) - Betreft het generieke of lokaal effect - Scheurwijdte, scheurlengte (meting vastleggen) - Locatie scheurvorming - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail) - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm.



Benodigheden	Gewenst resultaat voor constructieve beoordeling	Achtergrondinfo/ normverwijzing
■ Endoscoop ■ Scheurenloep/scheurenkaart ■ markeerstift voor vastlegging begin en einde scheur voor eventuele monitoring in toekomst ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie en afkloppen betonoppervlak. ■ Destructief onderzoek om vullingsgraad te bepalen van de voorspankanalen ■ Wapening en voorspanning revisietekeningen	■ Het corrosiepercentage van het staal. De gereduceerde waarde van het staaloppervlak (Ap) moet gebruikt worden bij de constructieve toetsingen. Hierdoor neemt ook de voorspandruk af ■ Bepalen vullingsgraad van de voorspankanalen	NEN-EN 1992-1-1
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie en afkloppen betonoppervlak ■ Revisietekeningen	■ Indien er een grote hoeveelheid grindnesten in het beton voorkomen, kan dit eventueel constructieve gevolgen hebben voor de sterkte van de constructie. Het is daarom van belang om scheuren in de buurt van dit schadebeeld vast te leggen en bij twijfel materiaalonderzoek uit te voeren ■ Ter plaatse van diepe grindnesten kan wapeningscorrosie door carbonatatie of chloride-indringing ontstaan	CUR 117, Inspectiehandboek beton
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie en afkloppen betonoppervlak	■ Brandtemperatuur op basis van de waargenomen verkleuring ■ De sterkte van beton en staal neemt af door de verhoogde temperaturen. Deze sterkteafname moet worden meegenomen in de constructieve toetsingen	NEN-EN 1992-1-2
■ Waterpas ■ Rolmaat ■ Afstandmeter ■ Hoekmeter ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen.	■ Grootte en richting van de verplaatsing ■ Steunpuntzetting bij de statisch onbepaalde constructies beïnvloedt de krachtwerving in de constructie ■ In beeld brengen of de corrosie van de stalen opleggingen heeft geleid tot het opdrukken/spanningen van het rijdek	
■ Schuifmaat ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de losse delen en afkloppen aanrijtschade(s) ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen	■ Aanrijtschade bij prefab liggers heeft meer aandacht nodig door het hoge risico op lokaal bezwijken dan bij massieve platen ■ Bij voorspanning moet het verlies aan voorspandraden specifiek worden bepaald	CUR 117, Inspectiehandboek beton
■ Schuifmaat ■ Ultrasone diktemeter ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen	■ Locatieoverzicht van alle corrosie (locatie, type, omvang) ■ Per locatie beschrijving van de materiaalafname in dikte en volume	CUR 117, Inspectiehandboek staal
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Niet-Destructief (indicatie aanwezigheid scheuren): - Crack-pec onderzoek - NDO: magnetisch/penetrant en ultrasoon onderzoek - TOFD onderzoek (wel plaatselijk slijtlaag verwijderen)	■ Locatieoverzicht van alle scheuren ■ Scheurwijdte en -lengte ■ Oriëntatierichting scheur ■ Uitspraak of de aangetroffen scheur ook in het verleden reeds is geconstateerd	CUR 117, Inspectiehandboek staal



vervolg

Constructieve schades	Waarneming	Vastlegging
Mechanische belasting	Visuele vervorming beschadiging oppervlak;	- Overeenkomstige patronen aanwezig - Betreft het een kritiek onderdeel of constructievorm - Typestaal (RVS, verzinkt, corten, gecoat, onbeschermd et cetera) - Constructie vorm (samengestelde profielen/onderdelen) - Hoeveelheid beschadigde oppervlak (m² en % van het oppervlak) - Scheurvorming aanwezig (langs, dwars, craquelé) - Betreft het generieke of lokaal effect - Scheurwijdte, scheurlengte (meting vastleggen) - Locatie beschadiging - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail) - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
3. Metselwerk		
Scheuren metselwerk	Visueel zichtbare vervormingen in het vlak en loodrecht op het vlak	- Aanwezige scheuren in oppervlak (scheurpatroon) - Vastlegging schadelocaties en reparaties op inspectie-/constructietekening inclusief relevante detaillering en doorsnede - vastlegging diepte scheuren in constructie - Locatie aanwezige bomen en beplating vastleggen - Mogelijke lekkagepunten vastleggen - Is metselboogconstructie goed opgesloten? - Is metselwerkconstructie verankering? - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm - Is metselwerkboog volledig aanwezig en ononderbroken (geen doorsnijding door bv K&L) t.b.v. krachtsoverdracht - vastleggen op foto's (onderdeel algemeen + overzicht + detail)
Vervorming metselwerk	- Visueel zichtbare vervormingen (uitbuiken) - Afkloppen oppervlak rondom mogelijke scheurvorming parallel aan het oppervlak - Optreden lekkage - Losdrukken aanwezige wand op toogconstructie	- Oppervlak afgedrukte metselwerk - Locatie aanwezige bomen en beplating vastleggen - Mogelijke lekkagepunten vastleggen - Is metselboogconstructie goed opgesloten - is metselwerkconstructie verankerd - vervorming vaststellen - aanwezigheid reparaties in metselwerk - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocaties en reparaties op inspectie-/constructietekening inclusief relevante detaillering en doorsneden
Oppervlakteschade metselsteen	- Afschilvering/afpoederen en afgebrokkeld metselwerk - Aanwezigheid mossen/planten et cetera	- Oppervlak aangetast metselwerk - Mogelijke lekkagepunten vastleggen - Vervorming vaststellen van afgedrukt/verplaats metselwerk - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vervorming vaststellen vervangen door oppervlakteschade vaststellen.
Desintegratie mortel	- Afgedrukte voegmortel - Afgedrukte metselmortel - Overige schadebeelden/ reactieproducten specifiek voor mortel - Aanwezigheid kalkuitbloei	- Oppervlak en diepte afgedrukte voegmortel/metselmortel - Locatie aanwezige bomen en beplating vastleggen - Mogelijke lekkagepunten vastleggen - Aanwezigheid reactieproducten (kalk, etringietvorming) - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
4. Hout		
Onvolkomenheden	- Kwasten - Draadverloop - Groeiringbreedte - Ringscheuren, langsscheuren; et cetera	- Locatie en afmetingen van de onvolkomenheden - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail) - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
Bacteriële aantasting	- Aantasting volledig onder water aanwezig - Generiek beeld over constructie - Zachte schil buitenzijde houtconstructie - Aangetast hout is vaak iets oranje verkleurd en heeft een specifiek olie-terachtige geur	- Diepte van aantasting - Oppervlak aantasting - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schadelocatie + detail) - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm



Benodigheden	Gewenst resultaat voor constructieve beoordeling	Achtergrondinfo/ normverwijzing
■ Schuifmaat ■ Ultrasonische diktemeter ■ Afstandmeter/rolmaat ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van de corrosie ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen	■ Vastleggen soort vervorming plooi, knik en kip et cetera ■ Inmeting plastische vervormingen zodat ze expliciet in de berekening kunnen worden meegenomen	CUR 117, Inspectiehandboek staal
■ Afstandmeter/rolmaat/schuifmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart/scheurenloep ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van metselwerk	Groote scheuren, scheurwijdte, locaties scheuren, patroon, mogelijke indicaties oorzaak. Samenhang metselwerk	CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat/schuifmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart/scheurenloep ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van metselwerk	Locaties en groote vervormingen vastleggen	CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat/schuifmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart/scheurenloep ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van metselwerk	Mate van oppervlakteschade, locaties	CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat/schuifmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart/scheurenloep ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van metselwerk	Plaatsbepaling en groote oppervlak waar mortel ontbreekt/zichtbaar is aangetast	CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van ■ NEN 5461 (kwaliteitseisen voor hout algemeen) ■ NEN 5493 (kwaliteitseisen voor loofhout) ■ NEN 5499 (kwaliteitseisen voor naaldhout)	Vaststellen van de kwaliteitsklasse	NEN 5461 NEN 5493 NEN 5499
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout ■ NEN 5461 (kwaliteitseisen voor hout algemeen) ■ NEN 5493 (kwaliteitseisen voor loofhout) ■ NEN 5499 (kwaliteitseisen voor naaldhout)	Materiaalafname in beeld brengen t.o.v. het oorspronkelijke ontwerp	F30 richtlijn CUR 117



vervolg

Constructieve schades	Waarneming	Vastlegging
Aantasting door schimmels	- Aantasting volledig boven water aanwezig; - Type schimmel vaststellen (verblauwing, softrot, witrot, bruinrot)	- Achterhalen welk type schimmel actief; - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie en afmetingen op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm.
Dierlijke aantasting (insecten, paalworm, gribbel)	Gaatjes en gangetjes (boorgangen)	- Aantasting droge delen, onder water, boven de waterbodem et cetera - Locatie uitvliegopeningen - Vorm uitvliegopening (ovaal of rond) en de grootte (in mm) - Verwijderd houtoppervlak vastleggen of gangen gevuld zijn met boormeel - Is er zout of brak water aanwezig (paalworm) - Kalkplaatjes aanwezig bij gaatjes/uitvliegopening/boorgangen - Verloop van de gangen (evenwijdig vezel et cetera) - Zoutgehalte vaststellen - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
Zuren en logen, zonlicht	- Afname t.g.v. verwerking buitenste laag hout - Vervezelen en bleker worden van het hout	- Diameter verlies afschatten/opmeten - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
Begroeiing	Overmatige begroeiing op constructie (mossen, algen et cetera)	- Locatie eventuele planten groei (algen, mossen, kruiden en bomen) - Schade (scheuren, rot et cetera) die door plantengroei is ontstaan - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
Brand	- Verkoolt oppervlak - Insnoering oppervlak door verwijdering verkoolde hout	- Bepaal smalste dikte van de gezonde restdiameter - Beoordeling aantasting ter plaatste van de details/verbindingen - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm
Overbelasting/mechanische beschadigingen	- Grote scheuren aanwezig in houtconstructie - Aanwezigheid van gestuikt hout - Grote vervorming zoals overmatige doorbuiging	- Opgetreden vervorming in de constructie (mm) - Vastleggen locatie scheuren, scheurwijdte, et cetera - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail) - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm - Vervorming langshout (platen) - Mate van inknijsing van de kessen - Optreden van eventuele indrukking van de palen in de kesp - Vervorming kesp tussen de palen - Kespbreuk - Vermelden van overige bijzonderheden zoals aanwezigheid van spaarbogen, wisselingen in het niveau van de bovenkant van het funderingshout
Open lamelnamen bij gelamineerd hout	- Open lijmvoegen - Hout/lijmbreuk - Bodemspeling bij vingerlassen	- Vastleggen scheurwijdte, et cetera - Vastleggen op foto (onderdeel algemeen + overzicht schade + detail). - Vastlegging schadelocatie op inspectie-/constructietekening met een nauwkeurigheid van 10 cm



Benodigheden	Gewenst resultaat voor constructieve beoordeling	Achtergrondinfo/ normverwijzing
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout ■ NEN 5461 (kwaliteitseisen voor hout algemeen) ■ NEN 5493 (kwaliteitseisen voor loofhout) ■ NEN 5499 (kwaliteitseisen voor naaldhout)	■ Materiaalafname in beeld brengen t.o.v. het oorspronkelijke ontwerp ■ Vaststellen van de kwaliteitsklasse	NEN 5461 NEN 5493 NEN 5499
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout ■ NEN 5461 (kwaliteitseisen voor hout algemeen) ■ NEN 5493 (kwaliteitseisen voor loofhout) ■ NEN 5499 (kwaliteitseisen voor naaldhout)	■ Vaststellen omvang aantasting ■ Vaststellen materiaalafname t.o.v. oorspronkelijke ontwerp	NEN 5461 NEN 5493 NEN 5499 CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout	Materiaalafname in beeld brengen t.o.v. het oorspronkelijke ontwerp	CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout	Materiaalafname in beeld brengen t.o.v. het oorspronkelijke ontwerp	CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout ■ NEN-EN 1995-1-2 + NB	Afmetingen van de resterende netto doorsnede/inbranddieptes in beeld brengen	NEN-EN 1995-1-2 CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout ■ NEN 5461 (kwaliteitseisen voor hout algemeen) ■ NEN 5493 (kwaliteitseisen voor loofhout)\NEN 5499 (kwaliteitseisen voor naaldhout)	■ Controle of de beschadigingen toelaatbaar zijn binnen een kwaliteitsklasse ■ Vastlegging van de beschadigde gebieden als informatie voor het dimensioneren van eventuele versterkingen	NEN 5461 NEN 5493 NEN 5499 CUR 117
■ Afstandmeter/rolmaat ■ Fototoestel ■ Scheurenkaart ■ Inspectie-/constructietekening om schades vast te leggen. ■ Bikhamer voor het plaatselijk verwijderen van rot hout ■ Resistograaf t.b.v. het maken van een dichtheidsprofiel op kritische locaties	■ Overzicht van aanwezige onthechtingen en breuken	CUR 117 NEN-EN 14080



Bijlage 4 Mogelijke materiaalonderzoeken

Algemene opmerking:

- Bij zichtbare constructieve schade dient de hoeveelheid monsters en de locatie van de monsters vooraf te worden afgestemd met OG
- Een boorkern van beton mag gesplit worden in een drukproef en een splijttrekproef
- Onderdeel van een materiaalonderzoek is de uitvoering van een toestandsinspectie volgens de CUR aanbeveling Constructieve veiligheid kunstwerken decentrale overheden!
- Afwijken van de minimaal voorgeschreven aantal monsters kan leiden tot een minder betrouwbare resultaat wat kan resulteren in een lagere parameter/resultaat!
- Indien monsters worden uitgenomen moet de monsterlocatie hersteld worden overeenkomstig kwaliteit en afmetingen van het uitgenomen materiaal zodat er minimale verzwakking optreedt

Type onderzoek	Aantal	Eis hoeveelheid monsters/locaties	Monstername/onderzoekswijze volgens
1. Beton			
Betondruksterkte	___ kernen	Basis onderzoek minimaal zes kernen. Bij > drie overspanningen, uitbouw/verbouw/verschillende bouwjaren en verschillende constructietypen in overleg met OG aantal kernen vermeerderen verspreid over bestaande overspanningen in sets van zes kernen! Bij zichtbare constructieve schade afstemming onderzoek met OG!	Boorprotocol RTD-1021 [13] of NEN-EN 12504-1
Splijttreksterkte beton	___ kernen.	Indien er gereede twijfel bestaat dat er een verstoring aanwezig is in de relatie tussen druk- en treksterkte op basis van waargenomen schadebeelden zoals ASR/delaminatiescheuren moet de splijttreksterkte met minimaal zes kernen worden vastgesteld volgens RTD-1006 [12]. Bij > drie overspanningen, uitbouw/verbouw/verschillende bouwjaren en verschillende constructietypen in overleg met OG aantal kernen vermeerderen verspreid over bestaande overspanningen!	Boorprotocol RTD-1021 [13] of NEN-EN 12504-1
Wapeningskwaliteit	___ staven.	Methode 1: min. drie staven conform tab. 2.6 RTD-1006 [12] Methode 2: toepassen hogere vloeigrens conform tab. 2.6 dan min. vijf staven conform RTD-1006 [12] volgens eis 3.2.2 (8)	NEN-EN-ISO 15630-1 en NEN-EN-ISO 6892-1: B60
ASR onderzoek	___ kernen.	CUR 102 schrijft voor wanneer welk type onderzoek benodigd is: ■ Technisch onderzoek: mini. drie kernen voor PFM onderzoek ■ Gericht onderzoek: zes kernen per aangewezen gebied ■ Constructief onderzoek: afhankelijk van invulling onderzoek	CUR 102
2. Constructiefstaal			
Materiaaldikte	___ locaties.	Min. negen meetwaarden per locatie (CUR 117 Inspectiehandboek staal)	Ultrasone staaldiktemeter Indien spreiding > 15% van mediaan meetwaarde aantal vergroten tot 25 meetwaarden.
Chemische samenstelling	___ locaties.	Min. vijf meetwaarden per locatie (CUR 117 Inspectiehandboek staal)	Onderzoek met Optische Emissie Spectrograaf (EOS)
Sterkte	___ monsters.	Min. vijf monsters (CUR 117 Inspectiehandboek staal)	Trekproef



Laboratoriumonderzoek volgens	Gewenste resultaat
RTD-1006[12] of NEN-EN 12390-3	Karakteristieke cilinderdruksterkte (fck) conform RTD-1006 [12] of NEN-EN 1992 Bij brandschade de afname van de betondruksterkte uitgedrukt in de karakteristieke waarden conform NEN-EN1992-1-2 art. 2.3 en art. 3.2.2.1 Voor normaal grindbeton kan de treksterkte afgeleid worden uit de druksterkte tenzij gereede twijfel bestaat dat er een verstoring is van de relatie tussen druk en treksterkte op basis van waargenomen schadebeelden zoals ASR/delaminatiescheuren moet de splijttreksterkte worden bepaald!
RTD-1006[12] of NEN-EN 12390-6	Representatieve waarde treksterkte fbrep conform RTD-1006 [12] of NEN-EN 1992 Bij brandschade de afname van de betontreksterkte uitgedrukt in de karakteristieke waarden conform NEN-EN1992-1-2 art. 2.3 en art. 3.2.2.1
NEN-EN-ISO 15630-1 en NEN-EN-ISO 6892-1	Vloeigrens (fyk en/of f0,2k) en ductaliteitseigenschappen (treksterkte, rek bij maximale belasting, rek bij breuk, elasticiteitsmodulus) conform NEN-EN 1992 Bij brandschade de afname van de wapeningskwaliteit uitgedrukt in de karakteristieke waarden conform EN1992-1-2 art. 2.3 en art. 3.2.2.1
CUR102	Vaststellen het object te maken heeft met schadelijke ASR! Bij schadelijke ASR invloed bepalen op parameters in berekening.
n.v.t. Onderzoek op locatie	Eén gemiddelde waarde van de staaldikte per locatie
Onderzoek met Optische Emissie Spectrograaf (EOS)	Vaststellen metaalsoort en daarmee de lasbaarheid
NEN-EN-ISO 6892-1 en Metalen – Trekproef – Deel 1: Beproevingsmethode bij kamertemperatuur	Werkelijke vloeigrens, treksterkte, vloeirek, breukrek



vervolg

Type onderzoek	Aantal	Eis hoeveelheid monsters/locaties	Monstername/onderzoekswijze volgens
Hardheid	___ locaties.	Min. twee meetwaarden per locatie (CUR 117 Inspectiehandboek staal)	Draagbare Brinell hardheidsmeter of Vickershardheidsmeter
Taaheid	___ monsters.	Min. twee monsters (CUR 117 Inspectiehandboek staal)	Kerfslagproef
Penetrant onderzoek	___ locaties.	Locaties afhankelijk van toestand, betreft lokalisering van mogelijke scheurvorming met penetratievloeistof	Penetrant onderzoek (PT)
Destructief lokalisering scheurvorming	___ locaties.	Per locatie moet één raai worden gemeten waarbij het oppervlak vrij moet zijn van slijtlaag en conservering. Betreft een specifiek vaststellen van de scheurlocatie, diepte en lengte et cetera	Time of Flight Diffraction (TOFD)
Non-destructief lokalisering scheurvorming	___ locaties.	Per locatie moet één raai worden gemeten waarbij het oppervlak een slijtlaag/conservering mag bevatten. Betreft een indicatieve bepaling van mogelijke aanwezige scheuren in bovenzijde rijvloeren	Pulsed eddy current (Crack-Pec), RWS gebruikt "InsPECTeur"
3. Metselwerk			
Hechtsterkte	___ locaties.	minimaal drie locaties per vlak of minimaal zes metingen per constructieonderdeel per zijde per locatie	URL 4003/NEN-EN 1052-5:2005, ingeval van gevelvlakken kan hefboomproef worden gehanteerd
Voeghardheid	___ locaties.	negen meetpunten in een m ²	Voeghardheidsmeter
Vaststellen metsel- en/of voegmortel	___ locaties.	minimaal zes metingen per constructieonderdeel per zijde per locatie	CUR 117, Inspectiehandboek metselwerk bijlage 3.1
Druksterkte kernen	___ locaties.	minimaal drie bij voorkeur meer monsters per constructieonderdeel per zijde per locatie	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 2: Bepaling van de druksterkte
Buigtreksterkte	___ locaties.	minimaal drie bij voorkeur meer monsters per constructieonderdeel per zijde per locatie	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 2: Bepaling van de buigtreksterkte
Lintvoegmetingen	___ locaties.	één meting per 0,5 m lintvoeg	waterpasinstrument en beoordeling met F3O richtlijn
Bepaling samenhang	___ locaties.	Minimaal twee boringen per onderdeel Bij > drie overspanningen, verschillende bouwjaren in overleg met OG aantal boringen vermeerderen verspreid over bestaande overspanningen in sets van twee boringen!	archiefonderzoek en/of verificatie tijdens toestandinspectie
Schuifsterkte	___ locaties.	minimaal drie bij voorkeur meer monsters per constructieonderdeel per zijde per locatie	Beproevingsmethoden voor metselwerk – Deel 2: Bepaling van de initiële schuifsterkte
4. Hout			
Indringingsmeting (pilodyn, specht- of slaghamer)	___ locaties	Per locatie minimaal zes metingen	F3O richtlijn (alleen boven water **))
Aantasting door schimmels/bacteriën Dichtheidsprofiel Bepaling houtsoort	___ locaties	Minimaal twee metingen met een diameter van 9 mm ■ Bij balken/planken de volledige breedte en dikte ■ Bij ronde elementen de volledige diameter in twee onderling loodrechte richtingen	BGS 007/F3O richtlijn



Laboratoriumonderzoek volgens	Gewenste resultaat
NEN-EN-ISO 6506-1:2014 en Metallische materialen – Hardheidsmeting volgens Brinell – Deel 1: Beproevingsmethode	Hardheid volgens Brinell op basis waarvan een globale indicatie van de treksterkte en daarmee de staalsoort kan worden verkregen
Vickershardheid volgens NEN-EN-ISO-18265	Vickershardheid bepalen volgens bijlage VII van de EN ISO 18265
NEN-EN-ISO 148-1 Metalen – Kerfslagproef volgens Charpy – Deel 1: Beproevingsmethode	Staalkwaliteit: kerfslagwaarde
NEN-EN-ISO 3452-4:1999 en NEN-EN 1330-8	Vaststellen mogelijke scheurvorming in lassen
NEN-EN-ISO 10863 of NEN-EN 583-6 en NEN-EN 15617	Vaststellen mogelijke scheurvorming
in-situ	Indicatief vaststellen mogelijke scheurvorming
NEN-EN 1052-5:2005	Hechtsterkte
CUR61 bijlage 1	Voeghardheid
NEN3237	Samenstelling mortel
NEN-EN 1052-1:1998	karacteristieke treksterkte
NEN-EN 1052-2:1999	karacteristieke (buig)treksterktes
n.v.t.	bepaling scheefstand onderdeel
n.v.t.	Bepalen samenhang en opbouw metselwerk
NEN-EN 1052-3/A1:2007 Initiële schuifsterkte	karacteristieke schuifsterkte
locatieonderzoek	materiaalafname per locatie als gevolg van schimmels/bacteriën
BGS 007/F3O richtlijn	■ interne aantasting (afname dichtheid en type aantasting) ■ dikte van niet zichtbare delen ■ houtsoort ■ vochtgehalte



vervolg

Type onderzoek	Aantal	Eis hoeveelheid monsters/locaties	Monstername/onderzoekswijze volgens
Dichtheidsprofiel (resistograaf)	___ locaties	Minimaal twee metingen met een diameter van 3 mm	BGS 007/F3 Richtlijn
Bepaling houtsoort	___ locaties	Per locatie één monster van 20x20x20 mm	BGS 007/F3 Richtlijn
Lijm kwaliteit (gelamineerde en gevingerlaste constructies)	___ locaties	Per locatie minimaal zes metingen	NEN-EN 14080
Lijm kwaliteit (gelamineerde en gevingerlaste constructies)	___ locaties	■ Boorproppen met een uitwendige netto diameter van minimaal 35 mm en een lengte van minimaal 100 mm loodrecht op het lijmvlak. ■ Minimaal drie lijmvlakken te beschouwen voor zowel de onderzijde, de bovenzijde als het midden.	NEN-EN 14080

*) Inclusief onderdeel: landhoofd/tussensteunpunt, dek

**) Onder water worden door de beperkte indringing onbetrouwbare resultaten verkregen.



Laboratoriumonderzoek volgens	Gewenste resultaat
locatieonderzoek	betreft indicatiefonderzoek ■ interne aantasting (afname dichtheid) ■ dikte van niet zichtbare delen
NEN-EN 384	■ houtsoort (niet de kwaliteit!) ■ dichtheid ■ vochtgehalte
NEN-EN 14080	■ afschuifsterkte ■ vochtgehalte
NEN-EN 14080	■ afschuifsterkte en relatie met percentage bezwaken hout ■ vochtgehalte



