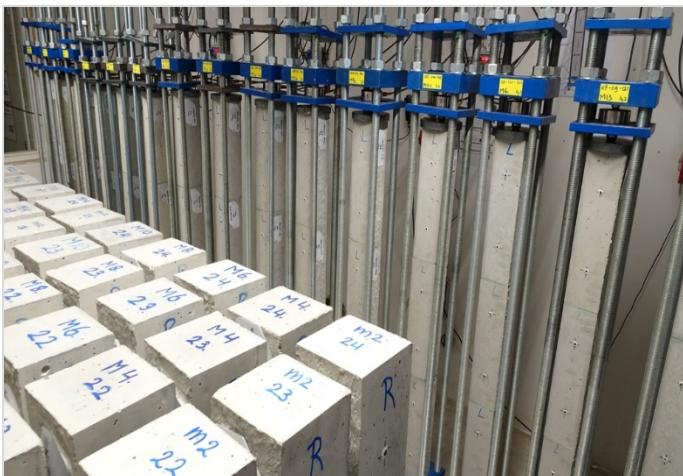
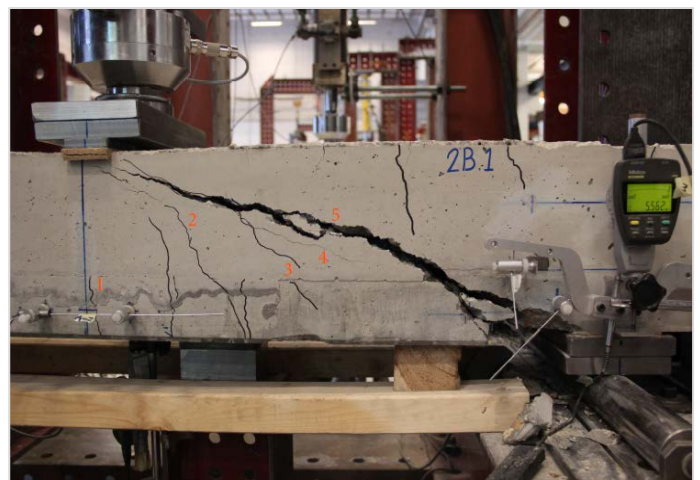
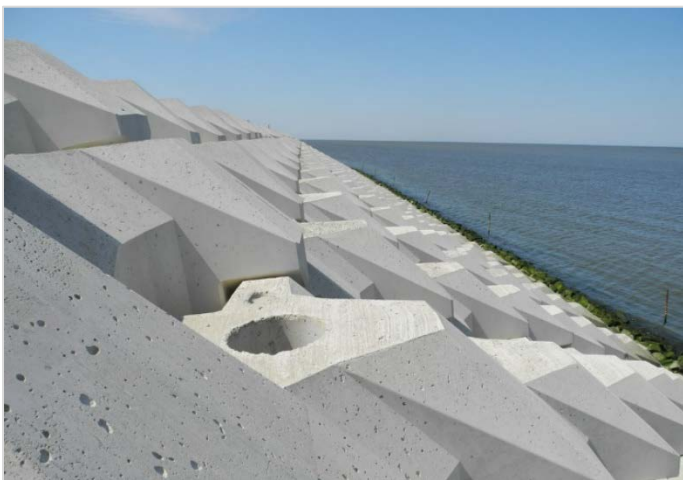




RTD 1034 Leidraad voor de beoordeling van nieuwe betonmengsels

Rijkswaterstaat Technisch Document

Versie	1.0
Datum vastgesteld	13 juli 2021
Status	Definitief
Werkwijzer RWS Nummer	6177



Colofon

Titel	RTD 1034 Leidraad voor de beoordeling van nieuwe betonmengsels
Verantwoordelijke afdeling	RWS / GPO / TTM / BVI
Proces / proceseigenaar	AenO / Jean Luc Beguin
Inhoudelijk Beheerders	Sonja Fennis Hans de Vries
Informatie	ROK-info@rws.nl
Datum	13 juli 2021
Status	Definitief
Versienummer	1.0
Vervangen versie	n.v.t.
Datum vervangen versie	n.v.t.
Werkwijzer RWS Nummer	6177
RWS document type	Best Practice

Foto's voorblad:

linksboven:	Levvelblokken proeftuin Afsluitdijk (RWS-GPO)
rechtsboven:	Dwarskrachtproef (TU-Eindhoven)
linksonder:	Opstellingen krimp/kruipproeven (SGS Intron)
rechtsonder:	Monsters chloridenmigratietest, carbonatatieproef en vorstdooizoutbestandheid (SGS Intron)

DISCLAIMER/AANSPRAKELIJKHEID

Bij het opstellen en samenstellen van deze RTD is een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht. Desondanks moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten, onvolkomenheden en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Voor ieder gebruik van deze uitgave wordt er van uit gegaan dat de gebruiker voldoende kennis van zaken, ervaring en deskundigheid bezit om oordeelkundig en kritisch met deze RTD om te gaan. Rijkswaterstaat is niet verantwoordelijk en aansprakelijk voor onjuist en/of ondeskundig gebruik van deze RTD. Vragen, opmerkingen en suggesties ten aanzien van de inhoud van deze RTD kunnen worden gecommuniceerd via rok-info@rws.nl.

Voorwoord

Het Nederlandse beleid is er op gericht om te komen tot een circulaire economie en een vermindering van de CO₂-emissie om klimaatverandering te beperken. Dat geldt ook voor de bouw. Beton is wereldwijd het meest toegepaste bouw materiaal en heeft een grote invloed op het gebruik van grondstoffen en de CO₂-emissie. Nederland neemt al decennia lang wereldwijd een vooraanstaande positie in met betrekking tot recycling van bouw- en sloopafval en het gebruik van cementen met een lage milieubelasting (volgens MKI = MilieuKostenIndicator). Vanwege nog veel verder gaande ambities op het gebied van klimaatneutraliteit, is het beleid sterk gericht op het nog verder verbeteren van de circulariteit en verlagen van de CO₂-emissie van beton, zoals onder meer vastgelegd in het Betonakkoord [1].

Om de circulariteit van beton te bevorderen en de CO₂-emissie ervan te verlagen, vinden veel innovaties plaats in de betonsector. Voorbeelden hiervan zijn de ontwikkeling en toepassing van nieuwe recyclingtechnieken, nieuwe cementsoorten en alkalisch geactiveerde bindmiddelen (geopolymeren), maar ook het gebruik van doorgaande sterkte-ontwikkeling waardoor met een lager cementgehalte kan worden volstaan.

Betonnormen zijn gebaseerd op langdurige praktijkervaringen en bieden daardoor weinig ruimte voor innovaties. In het gunstigste geval bevat het een algemeen artikel waarin wordt gesteld dat gelijkwaardigheid aan toegestane betonmengsels en/of geschiktheid voor de betreffende toepassing moet worden aangetoond. Echter, in veel gevallen is dan niet aangegeven hoe dat moet worden gedaan.

In de Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK) van Rijkswaterstaat zijn aanvullende eisen op de vigerende normen gesteld. Daarbij is ook ruimte ingebouwd om innovaties mogelijk te maken (gelijkwaardigheidsprincipe/aantonen geschiktheid). Echter, hoe je die gelijkwaardigheid/geschiktheid aantoont, is niet aangegeven. Zowel voor de partij die een innovatie wil toepassen als voor Rijkswaterstaat, die een dergelijk voorstel wil toetsen op gelijkwaardigheid/geschiktheid, is een transparante leidraad hiervoor van groot belang.

De opgestelde leidraad geeft invulling aan de hiervoor beschreven behoefte, met als uitgangspunt dat zowel de constructieve veiligheid als de technische levensduur van de constructie in combinatie met het bijbehorende onderhoud, tijdens deze levensduur gewaarborgd moeten zijn.

Hoewel de leidraad met zorg is samengesteld, wordt feedback van gebruikers op prijs gesteld ter verbetering van de leidraad. Na circa 1 jaar zal een evaluatie van de leidraad plaatsvinden. Voorstellen voor verbetering en/of wijziging kunnen worden gestuurd aan rok-info@rws.nl.

Inhoudsopgave

	Colofon	2
	Voorwoord	3
1	Inleiding	5
1.1	Onderwerp	5
1.2	Toepassingsgebied	6
1.3	Leeswijzer	7
1.4	Relatie met andere normen en richtlijnen	7
1.5	Terminologie	8
2	Beoordelingsprocedure	10
2.1	Algemene procedure	10
2.2	Stap 1: Inventarisatie van de beoogde toepassing(en)	12
2.3	Stap 2: Beschrijving van de betonsamenstelling	12
2.4	Stap 3: Beoordeling geschiktheid alternatieve grondstoffen	13
2.5	Stap 4: Vaststellen van bijzonderheden m.b.t. de uitvoering	16
2.6	Stap 5: Vaststellen relevante eigenschappen en bepalingsmethoden	16
2.7	Stap 6: Beoordelen/aantonen geschiktheid	20
3	Praktijkvoorbeelden	23
3.1	Algemeen	23
3.2	AEC-vulstof voor ongewapende, niet-constructieve betonproducten	23
3.3	Beton met innovatieve recyclinggranulaten voor gewapend beton	24
4	Tot slot	25
Bijlage A	Lijst van referenties	
Bijlage B	Inhoud van beoordelingsdossier	
Bijlage C	Expansieproef voor beoordeling nieuw bindmiddel en vulstof	
Bijlage D	Beoordeling constructieve eigenschappen	
Bijlage E	Aantastingsmechanismen en expansieve bestanddelen	

1 Inleiding

1.1 Onderwerp

Deze leidraad geeft een procedure waarmee kan worden beoordeeld of een nieuw betonmengsel geschikt is voor toepassing in constructies van Rijkswaterstaat. De leidraad beperkt zich tot de geschiktheid met betrekking tot de technische prestaties c.q. eigenschappen van het nieuwe mengsel.

De aard en diepgang van een beoordeling is in grote mate afhankelijk van de samenstelling van het nieuwe betonmengsel, maar ook van de beoogde toepassing. Voor ongewapende betonproducten met een betonmengsel dat slechts beperkt verschilt van traditioneel beton, hoeft minder te worden aangetoond en beoordeeld dan bijvoorbeeld voor een brugdek uitgevoerd in geopolymerbeton. De leidraad is bedoeld als hulpmiddel om vast te stellen welke aspecten in de beoordeling aan bod moeten komen en op welke wijze geschiktheid kan worden aangetoond.

De leidraad geeft een overzicht van eigenschappen die relevant kunnen zijn, maar niet voor elke eigenschap is aangegeven wat de bepalingsmethode is en welke eis geldt. De reden is dat niet altijd een bepalingsmethode en/of eis voorhanden is in de regelgeving of literatuur. Wel is in de leidraad voor die gevallen een algemene procedure gegeven waarmee de beoordeling kan plaatsvinden.

Hoewel getracht is om een compleet overzicht te geven van eigenschappen die relevant kunnen zijn, zal bij een nieuw mengsel altijd moeten worden nagegaan of eigenschappen moeten worden onderzocht die niet zijn genoemd in de leidraad. Uit bestudering van het gedrag bij de diverse experimenten die worden uitgevoerd, kan bijvoorbeeld blijken dat eigenschappen relevant zijn, die normaal niet wordt onderzocht. Enkele voorbeelden uit het verleden zijn:

- de breukenergie, die is onderzocht voor onder meer lichtbeton;
- gedrag van zwavelbeton bij hogere temperaturen, namelijk een sterke toename van de kruip bij temperaturen boven 60°C en het smelten van het bindmiddel zwavel bij temperaturen boven 115°C;
- afname van de sterkte van beton vervaardigd met calciumaluminaatcement als gevolg van een toename van de porositeit in de loop der tijd door conversie van gevormde calciumaluminaathydraten.

In algemene zin geldt dat bij een nieuw mengsel sprake kan zijn van onbekend gedrag. Hoewel getracht is om de procedure in de leidraad zodanig vorm te geven dat dit gedrag in de beoordeling wordt opgemerkt, bijvoorbeeld door eigenschappen over een langere periode te beoordelen, zal ook altijd oordeelkundig moeten worden nagegaan of nader onderzoek naar een specifieke eigenschap noodzakelijk is.

Het is belangrijk om bij een beoordeling voldoende expertise te betrekken, bijvoorbeeld in de vorm van een commissie van deskundigen. Met Rijkswaterstaat moet worden overeengekomen op welke wijze dit moet gebeuren.

1.2 Toepassingsgebied

In deze leidraad wordt onder een nieuw betonmengsel verstaan:

- een mengsel waarvan de samenstelling niet voldoet aan één of meerdere eisen in NEN-EN 206 + NEN 8005, inclusief de onderliggende normen voor grondstoffen, en de aanvullende eisen in hoofdstuk 6 van RTD 1001 (ROK);
- een mengsel dat wel, vanwege de samenstelling en/of het gedrag, als beton¹ kan worden gekwalificeerd.

Met de procedure in deze leidraad worden de volgende aspecten beoordeeld:

- betontechnologische eigenschappen (o.a. specie-eigenschappen);
- constructieve eigenschappen (druksterkte, E-modulus, etc.);
- technische duurzaamheid (carbonatatie, chloridenpenetratie, etc.).

Enkele voorbeelden waarvoor deze leidraad zou kunnen worden gebruikt, zijn:

- nieuwe cementen (CSA-beliet, cement o.b.v gecalcineerde klei, etc.);
- alternatieve bindmiddelen (bv. zoals in geopolymeerbeton), toeslagmaterialen (bv. mechanische recycling), hulpstoffen en/of vulstoffen;
- toepassing van minder cement dan het minimum volgens NEN 8005 door optimalisatie van de korrelverdeling.

Tevens wordt aangegeven hoe het risico op onbekende aantastings- of degradatiemechanismen kan worden beheerst.

Een voorwaarde voor de toepassing van een nieuw betonmengsel in constructies van RWS, en ook voor het gebruik van de leidraad, is dat minimaal wordt voldaan aan TRL 6, dat wil zeggen dat demonstratie onder relevante omstandigheden succesvol heeft plaatsgevonden (definitie volgens Horizon 2020).

In deze leidraad is verondersteld dat het nieuwe betonmengsel wordt toegepast met gangbare wapening en/of voorspanning. Wapening die buiten het toepassingsgebied van Eurocode 2 valt, zoals bijvoorbeeld basaltwapening, koolstofvezelwapening of staalvezels, valt ook buiten de scope van deze leidraad.

Aspecten die buiten de scope van de leidraad vallen, maar wel relevant zijn bij de beoordeling van de geschiktheid van een nieuw mengsel, zijn onder meer:

- Milieuaspecten en MKI-berekening;
- Circulariteit/hergebruik;
- Beschikbaarheid en kosten van grondstof(fen).

Hoewel milieuaspecten en circulariteit/hergebruik niet in deze leidraad zijn behandeld, moet uiteraard wel worden voldaan aan de daarvoor geldende wet- en regelgeving (Besluit Bodemkwaliteit [2]) en aan de eisen die op deze aspecten door Rijkswaterstaat worden gesteld. CROW-CUR Aanbeveling 126 kan worden gebruikt om na te gaan of bij een nieuwe grondstof in beton ('1^e leven') ook de grondstoffen die ontstaan door recycling van dat beton op een verantwoorde wijze weer kunnen worden toegepast in beton in een volgende levenscyclus ('2^e leven').

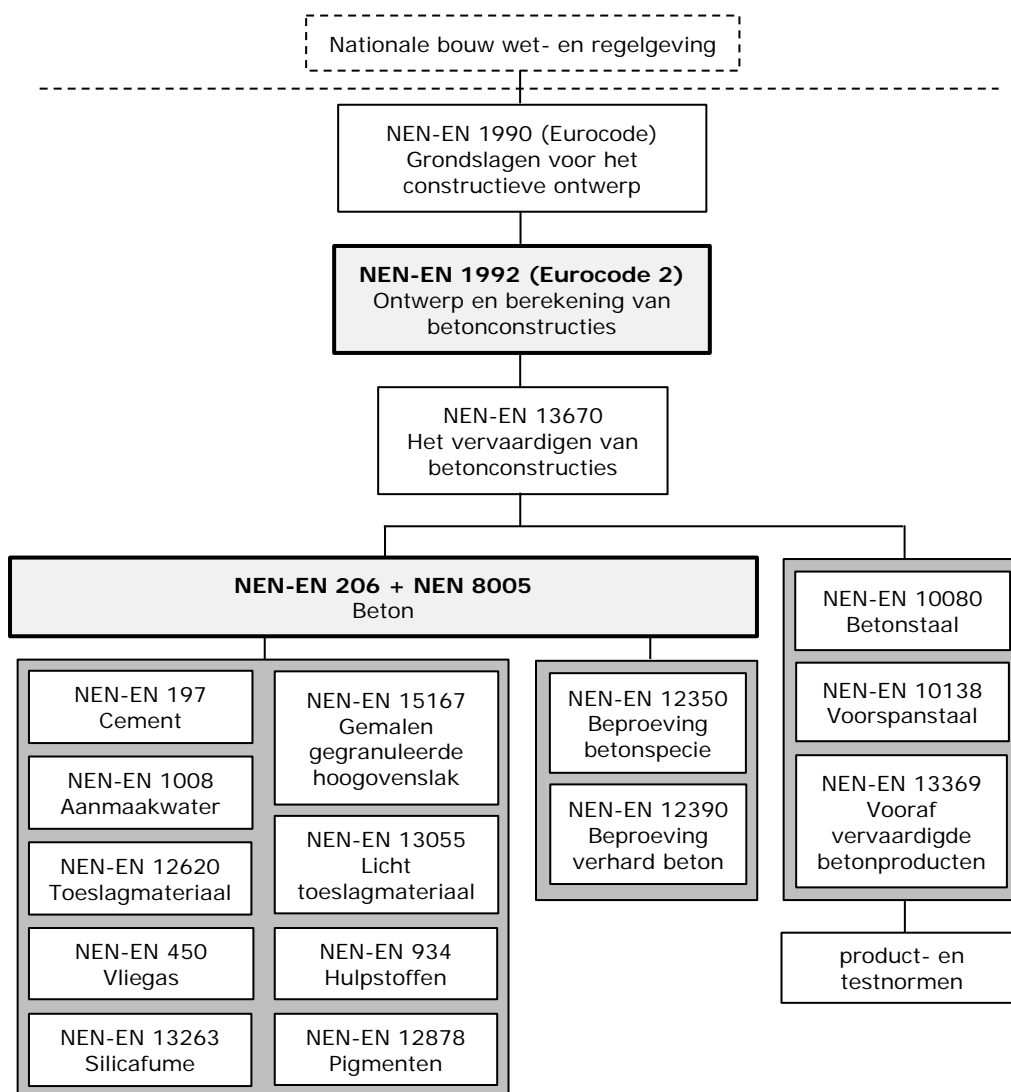
¹ Er kan niet precies worden aangegeven wanneer een mengsel nog als beton kan worden gekwalificeerd. Van belang is om te beseffen dat niet ieder willekeurig mengsel c.q. materiaal met deze leidraad kan worden beoordeeld, maar dat de leidraad is bedoeld voor een materiaal dat overeenkomsten vertoont met beton en daar niet te ver vanaf staat. Hier moet oordeelkundig worden omgegaan.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is, behalve op het onderwerp en toepassingsgebied, ingegaan op de relatie met andere normen/richtlijnen en is een lijst met definities van gebruikte termen opgenomen. De beoordelingsprocedure is opgenomen in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 zijn twee praktijkvoorbeelden behandeld als toelichting op het gebruik van de leidraad en hoofdstuk 4 bevat een slotwoord. In de bijlagen zijn onder meer een referentielijst opgenomen en nadere uitwerkingen van enkele onderwerpen.

1.4 Relatie met andere normen en richtlijnen

Betonconstructies worden in Nederland ontworpen en berekend met de regels in Eurocode 2 (NEN-EN 1992). De positie van deze norm binnen het stelsel van regelgeving voor betonconstructies is gegeven in figuur 1. Bij constructies voor Rijkswaterstaat zijn tevens de aanvullende eisen in RTD 1001 (ROK) van toepassing.



Figuur 1: Stelsel van regelgeving voor betonconstructies

Het uitgangspunt van deze leidraad is dat bij een constructie met een nieuw betonmengsel gebruik wordt gemaakt van Eurocode 2 en de aanverwante normen, inclusief de aanvullingen in RTD 1001 bij RWS constructies.

Bij de beoordeling van een nieuw betonmengsel kan blijken dat aanvullende en/of afwijkende regels nodig zijn ten opzichte van Eurocode 2 en aanverwante normen. Van geopolymerbeton is bijvoorbeeld bekend dat de relatie tussen druksterkte en elasticiteitsmodulus volgens Eurocode 2 meestal niet geldt. Als aanvullingen en/of afwijkende regels noodzakelijk zijn, moet in overleg met Rijkswaterstaat voldoende deskundigheid bij het opstellen van deze regels worden betrokken.

Als er vanuit de markt behoefte is om voor een bepaalde groep van betonmengsels algemene regels op te stellen, zou dit eventueel kunnen worden opgenomen in een CROW-CUR Aanbeveling. Dit valt echter buiten de scope van deze leidraad.

In Nederland zijn al diverse documenten beschikbaar, waarin is ingegaan op de beoordeling van betonmengsels die buiten NEN-EN 206 + NEN 8005 en/of de onderliggende normen voor grondstoffen vallen. In het kader van deze leidraad worden specifiek de volgende documenten genoemd, omdat de procedure in deze leidraad aansluit bij hetgeen in deze documenten is beschreven:

1. SBRCURnet Kennispaper, Beoordelingsmethodiek geschiktheid alternatieve grondstoffen voor beton, SBRCURnet, 2015;
2. CUR-Aanbeveling 48: Procedures, criteria en beproevingsmethoden voor de toetsing van de geschiktheid van nieuwe cementen voor toepassing in beton en voor de gelijkwaardige prestatie van beton met vulstoffen, CUR, 2010;
3. CUR-Rapport 94-12: Beoordeling van de constructieve consequenties van het toepassen van grindvervangende toeslagmaterialen in beton, CUR, 1994.

Behalve deze documenten, zijn veel meer normen, richtlijnen en aanbevelingen mogelijk nuttig bij de beoordeling van de geschiktheid van een nieuw mengsel. Een overzicht van mogelijk bruikbare documenten is opgenomen in bijlage A.

1.5

Terminologie

Voor de terminologie wordt aangesloten bij NEN-EN 206 + NEN 8005. In de navolgende tabel zijn aanvullende termen opgenomen.

Term	Uitleg
alkali-geactiveerd bindmiddel	bindmiddel dat bestaat uit reactieve aluminiumsilicaten en alkalische activator(en), niet zijnde portlandklinker
alkalische activator	chemische stof(fen), zoals bijvoorbeeld natriumhydroxide, natriumsilicaat en natrium carbonaat, die opgelost in water een hoge pH-waarde hebben waardoor reactieve aluminiumsilicaten worden opgelost
alternatieve grondstof	grondstof (bindmiddel, vulstof, hulpstof, toeslagmateriaal) die niet voorkomt in NEN-EN 206 + NEN 8005 en de onderliggende normen
bindmiddel	cement of een combinatie van cement met één of meerdere vulstoffen waaraan een bindmiddelfunctie wordt toegekend
nieuw cement	cement dat niet voorkomt in NEN-EN 197-1 of NEN-EN 14216
geopolymerbeton	generieke naam voor beton vervaardigd met alkalisch geactiveerde, maar niet op Portlandklinker gebaseerde bindmiddelen

Term	Uitleg
referentiebeton	beton dat voldoet aan NEN-EN 206 + NEN 8005, vervaardigd uit rivierzand en -grind, water, eventueel hulpstof en referentiecement. De chlorideklasse is Cl 0,20 en de samenstelling voldoet aan de eisen in tabel E van NEN 8005 voor de van toepassing zijnde milieuklasse
referentiecement	cement, dat conform 5.2.2 van NEN 8005 generiek toepasbaar is en aantoonbaar voldoet aan NEN-EN 197-1
hulpstoffen	bestanddeel dat in kleine hoeveelheden bij het mengen van betonspecie wordt toegevoegd met als doel de eigenschappen van betonspecie of verhard beton te wijzigen

2 Beoordelingsprocedure

2.1 Algemene procedure

De procedure voor de beoordeling van een nieuw betonmengsel wordt in deze paragraaf eerst op hoofdlijnen beschreven. Vervolgens wordt in de volgende paragrafen dieper ingegaan op de verschillende onderdelen van de procedure.

De beoordelingsprocedure bestaat uit de volgende stappen, zie figuur 2:

1. Inventariseren van de beoogde toepassing(en);
2. Beschrijven van de betonsamenstelling;
3. Beoordelen geschiktheid alternatieve grondstoffen (indien van toepassing);
4. Vaststellen van bijzonderheden met betrekking tot de uitvoering;
5. Bepalen welke aspecten ("wat") moeten worden beoordeeld en op welke wijze dat moet gebeuren ("hoe");
6. Beoordelen/aantonen van de geschiktheid.

De stappen worden nader toegelicht in paragraaf 2.2 tot en met 2.7.

Na het doorlopen van de stappen blijkt of een betonsamenstelling wel of niet geschikt is voor de beoogde toepassing(en). Bij geschiktheid kunnen aanvullende en/of afwijkende regels ten opzichte van Eurocode 2 en aanverwante normen nodig zijn. Daarnaast kan een afbakening van het toepassingsgebied nodig zijn.

Hoewel de leidraad niet gaat over het ontwikkeltraject van een nieuw mengsel, wordt opgemerkt dat bij de ontwikkeling niet alleen kan worden gedacht vanuit de materiaalkundige aspecten, maar ook vanuit de gewenste prestaties voor de beoogde toepassingen. Met de leidraad kan vervolgens, ongeacht het gekozen ontwikkeltraject, de geschiktheid worden beoordeeld.

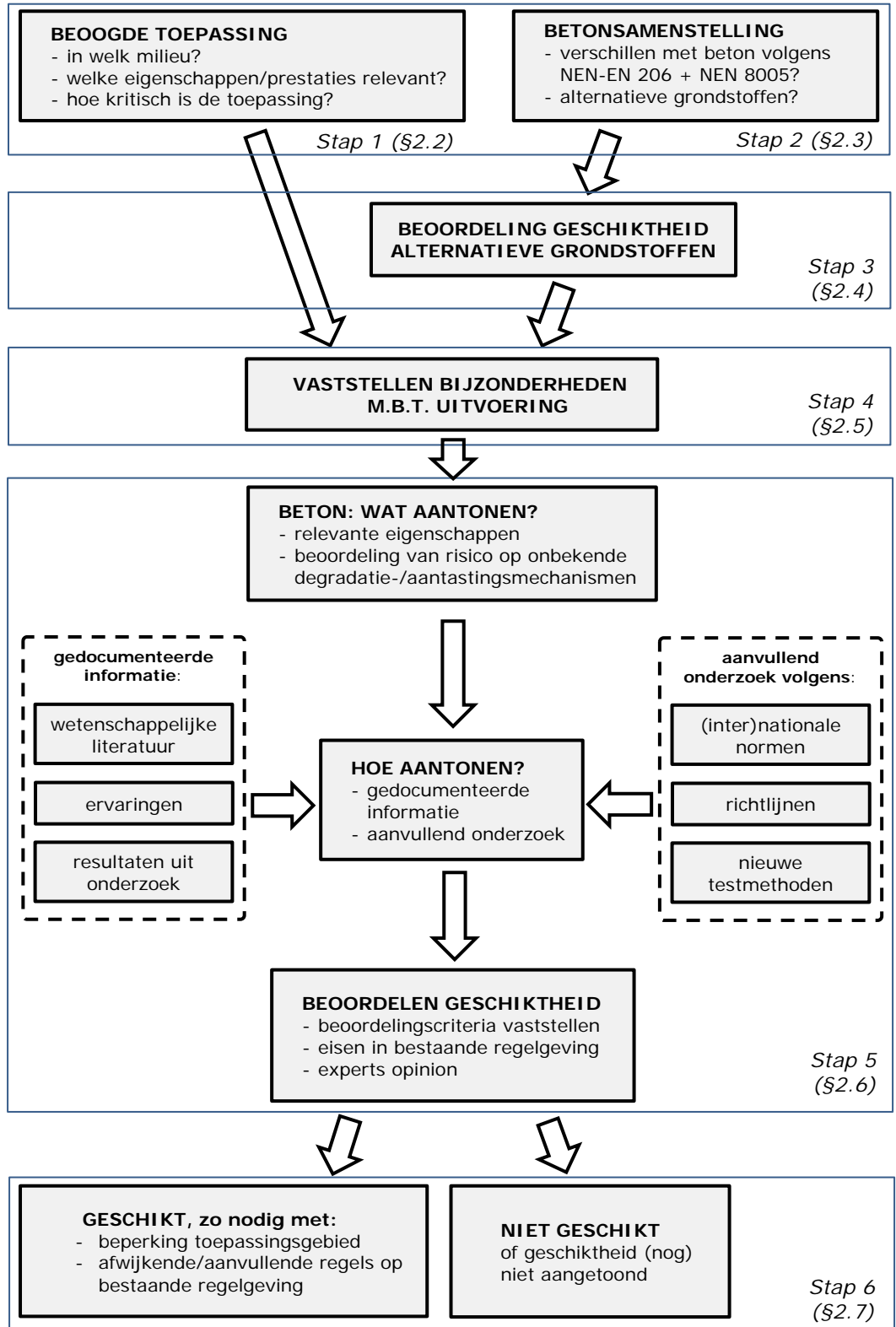
Het is noodzakelijk om een nieuw betonmengsel eerst in een pilotproject toe te passen, voordat vrijgave voor een bredere toepassing mogelijk is. Op deze manier kunnen relevante eigenschappen in de praktijk (anders dan condities in het laboratorium) worden beoordeeld over een bepaalde periode. De noodzaak en invulling van een pilotproject vallen buiten de scope van deze leidraad. Wel wordt herhaald dat het betonmengsel minimaal moet voldoen aan TRL 6.

De omvang en de diepgang van de beoordeling worden bepaald door:

- de beoogde toepassing(en)
 - o welke aantastingsmechanismen spelen een rol?
 - o welke constructieve eigenschappen en prestaties zijn relevant?
 - o hoe kritisch is de toepassing?

Opmerking: Een grote verandering in betonsamenstelling kan eerder in een constructie in gevolgklasse 1 dan in gevolgklasse 3 worden toegestaan.
- de betonsamenstelling
 - o wat zijn de verschillen met beton volgens NEN-EN 206 + NEN 8005?
 - o is er sprake van alternatieve grondstoffen?

Het is daarom belangrijk dat de beoogde toepassing(en) en de betonsamenstelling eenduidig worden vastgelegd. Hierop is nader ingegaan in de paragrafen 2.2 en 2.3.



Figuur 2: Stappenplan beoordeling nieuw betonmengsel

Bij de toepassing van een alternatieve grondstof moet, alvorens het beton met deze alternatieve grondstof kan worden beoordeeld, eerst worden nagegaan of de grondstof geschikt is voor gebruik in beton. Hiermee wordt bedoeld de algemene geschiktheid, onafhankelijk van de specifieke toepassing. De wijze waarop dit kan worden beoordeeld, is behandeld in paragraaf 2.4.

Op basis van de betonsamenstelling en de beoogde toepassing(en) dient te worden vastgesteld welke eigenschappen en prestaties relevant zijn. Vervolgens moet worden nagegaan op welke wijze deze relevante eigenschappen en prestaties kunnen worden bepaald. In paragraaf 2.6 is hierop ingegaan. De wijze waarop geschiktheid van een nieuw betonmengsel vervolgens kan worden beoordeeld c.q. aangetoond, is behandeld in paragraaf 2.7.

Dossiervorming is een belangrijk onderdeel bij de beoordeling van een nieuw betonmengsel, niet alleen voor een marktpartij die betrokken is bij de ontwikkeling van een nieuw mengsel, maar ook voor de verifieerbaarheid door Rijkswaterstaat en/of door andere partijen. In bijlage B is aangegeven welke onderdelen minimaal in het dossier moeten zijn opgenomen.

2.2 **Stap 1: Inventarisatie van de beoogde toepassing(en)**

Van de beoogde toepassing(en) moeten alle relevante benodigde prestaties, zowel op betontechnologisch gebied als qua constructieve eigenschappen en technische levensduur, bekend zijn. Daartoe is het noodzakelijk om de beoogde toepassing(en) eenduidig vast te leggen. Daarbij kan gedacht worden aan:

- milieuklassen, consistentieklassen, druksterkteklassen, etc.;
- ongewapend, gewapend en/of voorgespannen beton;
- wel/geen constructieve toepassingen en gevolgklasse;
- beoogd constructiedeel (fundering, wand, balk etc.).

2.3 **Stap 2: Beschrijving van de betonsamenstelling**

De tweede stap in de beoordelingsprocedure is het eenduidig vastleggen van de samenstelling van het betonmengsel.

Van het betonmengsel moeten minimaal de volgende gegevens worden vastgelegd:

- Bindmiddel:
 - o bij klinkergebaseerde cementen: specifieke cementsoort, samenstelling en sterkteklasse, cementgehalte(n) in het beton, herkomst/leverancier;
 - o bij alkali-geactiveerde bindmiddelen: specifieke type en dosering van precursor(en) + type en dosering van activator(en), herkomst/leverancier.
- Vulstoffen: specifieke soort, type (I-inert of II-reactief), herkomst en dosering;
- Toeslagmaterialen: specifieke soort, herkomst en dosering (fijn/grof);
- Hulpstoffen: specifieke soort en dosering;
- Certificaten indien aanwezig.

Hoeveelheden moeten aangegeven zijn met bandbreedte in massa van alle grondstoffen per menghoeveelheid of lading.

Beschreven moet worden wat de verschillen zijn met beton volgens NEN-EN 206 + NEN 8005, met andere woorden op welke punten de betonsamenstelling buiten deze normen valt. Veelal zal dat komen doordat een alternatieve grondstof wordt toegepast, maar het kan ook zijn dat wordt afgeweken van de eisen ten aanzien van bijvoorbeeld dosering van een bepaalde grondstof.

Hoewel het beoordelen van milieuaspecten en circulariteit geen onderdeel uitmaakt van deze leidraad, wordt opgemerkt dat ten behoeve van deze beoordeling ook de volgende gegevens van een alternatieve grondstof moeten worden vastgelegd:

- LCA-profiel voor de berekening van de MKI-waarde van het beton [2];
- invloed op de uitloging van het beton in het 2^e leven als betongranulaat [3];
- Circulariteits-Index, invloed op de circulariteit van het beton [4];
- Material Safety Data Sheet (MSDS);
- aanwezigheid van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) [5].

2.4 **Stap 3: Beoordeling geschiktheid alternatieve grondstoffen**

Indien sprake is van een alternatieve grondstof, dat wil zeggen een grondstof die valt buiten NEN-EN 206 + NEN 8005 en de ondergelegen normen, moeten aanvullend de volgende gegevens worden vastgelegd en beoordeeld:

- eenduidige definitie door het specificeren van de herkomst en kenmerkende bewerkingsprocessen;
- karakterisering van de alternatieve grondstof, waarbij de eigenschappen worden bepaald zoals opgenomen in tabel 1 voor bindmiddel, vulstof en toeslagmateriaal, en volgens NEN-EN 934-1 en NEN-EN 934-2 voor hulpstoffen;
- spreiding in kwaliteit van de alternatieve grondstof door van een serie (ten minste 5) onafhankelijke monsters enkele kenmerkende eigenschappen (bijvoorbeeld XRF, Q-XRD en/of dichtheid) te bepalen.

In tabel 2 is voor een deel van de eigenschappen uit tabel 1 aangegeven welk criterium kan worden aangehouden voor een eerste beoordeling van de geschiktheid van een alternatieve grondstof voor toepassing in beton. Indien een criterium afkomstig is uit een norm of ander document, dan is dat met een voetnoot aangegeven. De overige criteria zijn richtwaarden die alleen in deze leidraad zijn genoemd en zijn bedoeld als signaalwaarden voor nader onderzoek naar een eigenschap.

Voor sommige eigenschappen zijn geen criteria gegeven, maar levert het gemeten resultaat in samenhang met de andere gemeten eigenschappen wel inzicht op en kan op basis daarvan worden bepaald of nader onderzoek nodig is. Net als tabel 1, heeft tabel 2 uitsluitend betrekking op alternatieve bindmiddel, vulstof en toeslagmateriaal. De eigenschappen van een alternatieve hulpstof dienen te voldoen aan de eisen gesteld aan de specifieke categorie hulpstof in NEN-EN 934-1 en 2. In geval van hulpstoffen met een nieuwe functionaliteit die niet is opgenomen in voorgenoemde normen, dient een beoordeling te geschieden door een expert.

Uit de XRF en Q-XRD analyses mogen geen bestanddelen naar voren komen die bij de gemeten gehalten kunnen leiden tot een destructieve expansie van het daarmee vervaardigd beton, of tot onacceptabele milieuhygiënische consequenties.

Indien van een nieuw bindmiddel of vulstof bepaalde mineralogische bestanddelen niet kunnen worden geïdentificeerd of het expansiegedrag in beton onbekend is, dient nader onderzoek plaats te vinden met een expansieproef bij 40°C, zoals beschreven in bijlage C. De expansie dient na 3 maanden geringer te zijn dan 0,04% of geringer dan die van het referentiemengsel.

In bijlage E is een overzicht gegeven van bekende degradatiemechanismen voor beton. Met betrekking tot mogelijk destructieve expansie is een aantal componenten genoemd waarvan bekend is dat die daar een bijdrage aan kunnen leveren.

Indien het gehalte aan één of meerdere zware metalen in de alternatieve grondstof, bepaald met een XRF analyse, meer dan 1% bedraagt, dient nader onderzoek naar het uitloggedrag ervan plaats te vinden met een kolomproef volgens NEN 7383. Aan grondstoffen worden geen uitloogeisen gesteld, dit is meer als signaalfunctie gedacht. De uitloging dient dan te voldoen aan de eisen gesteld in het Besluit Bodemkwaliteit voor niet-vormgegeven bouwstoffen.

Tabel 1: Eigenschappen en bepalingmethoden voor karakterisering alternatief bindmiddel, vulstof en toeslagmateriaal

Eigenschap	Bindmiddel	Vulstof	Toeslagmateriaal	Bepalingsmethode (CA = CUR Aanbeveling)
Elementsamenstelling	•	•		XRF (uitgebreid)
Mineralogische samenstelling	•	•	•	Q-XRD (Rietveld)
Chloride-, Sulfaat- en $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ -gehalte	•	•	•	NEN-EN 196-2 NEN-EN 1744-1
Gloeiverlies	•	•	•	NEN-EN 196-2
TOC	•	•		NEN-EN 13639
Dichtheid	•	•	•	NEN-EN 196-6 NEN-EN 1097-6
Waterabsorptie			•	NEN-EN 1097-6
Korrelsterkte			•	NEN-EN 1097-11
Fijnheid (specifiek oppervlak)	•	•		NEN-EN 196-6
Hydratatiewarmte	•	•		NEN-EN 196-8
Druk- en treksterkte-ontwikkeling	•	•		NEN-EN 196-1
Activiteitenindex		•		NEN-EN 450-1
Bindtijd	•	•	•	NEN-EN 196-3 NEN-EN 1744-6
Vormhoudendheid: Chatelier Autoclaaf Beton	• •	• •	•	NEN-EN 196-3 ASTM C151 CA 89: CPT test
Korrelverdeling			•	NEN-EN 933-1
Sterk zwellende bestanddelen			•	NEN-EN 933-9
Korrelsterkte (LA-waarde)			•	NEN-EN 1097-2
Alkali-silicareactie		•	•	CA 89

Tabel 2: Criteria voor alternatief bindmiddel, vulstof of toeslagmateriaal

Eigenschap (eenheid)	bindmiddel	vulstof	toeslagmateriaal	Opmerking
Elementsamenstelling (%)	<1	<1		richtwaarden m.b.t. zware metalen
Mineralogische samenstelling (%)	<1	<1	<1	richtwaarden m.b.t. onbekende of expansieve bestanddelen
Chloridegehalte (%m/m)	<0,1 ²⁾	<0,2	<0,05	criterium/richtwaarden om te kunnen voldoen aan eis betonspecie
Sulfaatgehalte (%m/m)	<3 ^{1,2)}	<4 ³⁾	<0,2 ⁴⁾	bij toeslagmateriaal op totaal
Na ₂ O _{eq} -gehalte (%m/m)	<1 ¹⁾	<5 ³⁾	<0,2	bij toeslagmateriaal op totaal
Gloeiverlies (%m/m)	-	-	-	indien > 1: welk bestanddeel veroorzaakt dit?
TOC (%m/m)	-	-	-	indien > 0,5, dan invloed op vorstdooi(zout)bestandheid nader onderzoeken
Dichtheid (kg/m ³)	-	-	-	
Waterabsorptie (%m/m)	-	-	<2	indien > 2, dan invloed op relevante betoneigenschappen nader onderzoeken ⁵⁾
Fijnheid (spec. oppervlak; m ² /kg)	-	-		
Hydratatiewarmte (J/g)	-			
Druksterkte-ontwikkeling (MPa)	-			normsterkte; geen afname in de tijd
Activiteitenindex (%)		>65 ³⁾		
Bindtijd (invloed op; min)	-	<120 ³⁾	<120 ⁴⁾	
Vormhoudendheid:				
Chatelier (mm)	<10 ²⁾	<10 ³⁾		
Autoclaaf (%)	<0,4 ³⁾	<0,4 ³⁾		
Beton (%)			<0,04 ⁶⁾	
Korrelverdeling	-	-	-	
Sterk zwellende bestanddelen			<2 ⁴⁾	
Korrelsterkte (LA-waarde)			<40 ⁴⁾	
Alkali-silicareactie		-	-	CUR-Aanbeveling 89

¹⁾ bij speciale cementen is deze eis niet van toepassing (bijv. alkali-geactiveerde bindmiddelen); de geschiktheid moet dan wel zijn aangetoond.

²⁾ NEN-EN 197-1 ³⁾ BRL 1804 ⁴⁾ NEN-EN 12620

⁵⁾ voor betongranulaten geldt een eis van <7%_{m/m}, zie CA 127 ⁶⁾ CA 89

Indien de alternatieve grondstof voldoet aan de eisen gesteld in tabel 2 van de leidraad of in NEN-EN 934-1 en NEN-EN 934-2 en de beoordeling geen aanleiding

geeft om specifieke aspecten nader te onderzoeken, dan is de geschiktheid van deze alternatieve grondstof voor toepassing in beton aangetoond en kan de verdere beoordeling van het nieuwe beton volgens paragraaf 2.5 plaatsvinden. Voldoen aan de eisen betekent overigens niet dat de grondstof leidt tot geschiktheid van het eindproduct. Er kunnen namelijk ongewenste neveneffecten optreden. Deze neveneffecten worden verderop in paragraaf 2.5 beoordeeld. Indien op een bepaalde eigenschap niet aan bovengenoemde eisen wordt voldaan, maar op een andere wijze kan worden aangetoond dat de alternatieve grondstof toch geschikt is voor toepassing in beton, dan kan de beoordelingsprocedure eveneens worden vervolgd. In andere gevallen is nader onderzoek noodzakelijk.

2.5 Stap 4: Vaststellen van bijzonderheden m.b.t. de uitvoering

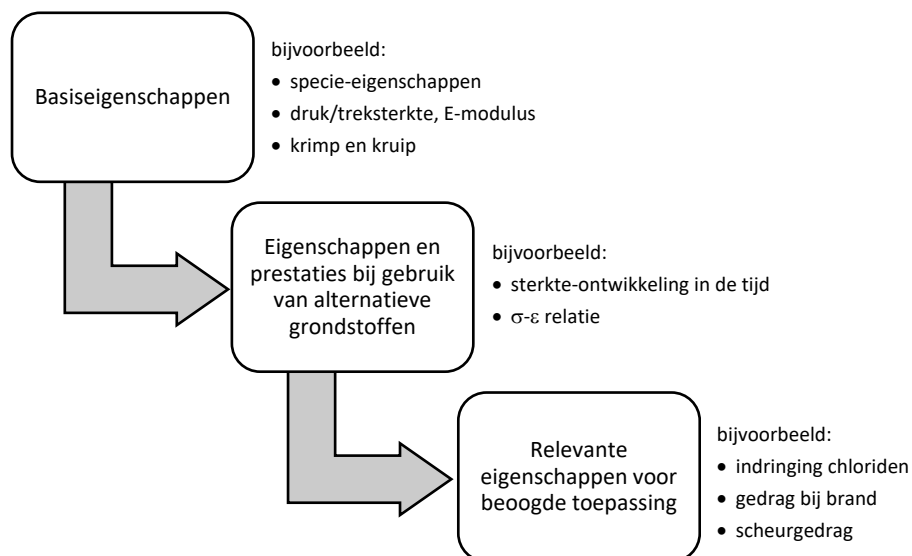
Bij het vaststellen van de beoogde toepassing(en) en het toepassingsgebied van een nieuw betonmengsel, is het van belang om risico's met betrekking tot ontbrekende kennis te beoordelen. Daarbij is het belangrijk om ook het verschil tussen laboratoriumomstandigheden en de praktijk te onderkennen. Gevoeligheden met betrekking tot de uitvoering moeten zijn onderzocht. Indien de prestaties van een nieuw betonmengsel, zoals bijvoorbeeld het opstijfgedrag, de sterkte-ontwikkeling en behoefte aan nabehandeling, gevoelig zijn voor de uitvoeringsomstandigheden (temperatuur, vochtigheid, e.d.) dient dit duidelijk te worden aangegeven. De invloed van temperatuur en nabehandeling op de prestaties van het nieuwe betonmengsel moet bekend zijn. Door de toepassing in eerste instantie te beperken tot minder kritische constructies en/of alleen in een pilotproject, kan meer kennis en ervaring met het nieuwe betonmengsel worden opgebouwd waarna het toepassingsgebied kan worden uitgebreid.

2.6 Stap 5: Vaststellen relevante eigenschappen en bepalingmethoden

De betoneigenschappen die moeten worden beoordeeld (in figuur 2: "wat aantonen"), zijn afhankelijk van de betonsamenstelling en van de beoogde toepassing. Daarbij wordt in deze leidraad onderscheid gemaakt tussen 3 groepen van betoneigenschappen:

1. Basiseigenschappen, die altijd moeten worden beoordeeld;
2. Eigenschappen en prestaties, die alleen moeten worden beoordeeld als een alternatieve grondstof wordt toegepast;
3. Specifieke eigenschappen, die moeten worden beoordeeld afhankelijk van de beoogde toepassing(en).

Deze onderverdeling is, inclusief enkele voorbeelden, schematisch weergegeven in figuur 3. De gedachte achter het onderscheid is dat bij een nieuw betonmengsel altijd bepaalde basiseigenschappen (punt 1) bekend moeten zijn en beoordeeld moeten worden, ongeacht de betonsamenstelling en ongeacht de beoogde toepassing. Bij gebruik van alternatieve grondstoffen moeten aanvullend meer eigenschappen en prestaties worden onderzocht (punt 2), omdat de samenstelling dan verder af staat van beton met "bekende" grondstoffen en daardoor het verschil in gedrag ook groter kan zijn. Tot slot zijn er diverse specifieke eigenschappen (punt 3) die niet voor elke toepassing relevant zijn en daarom niet altijd beoordeeld hoeven te worden. Bij een tunnel is bijvoorbeeld het brandgedrag relevant, terwijl dit bij een brugdek geen rol speelt. Een ander voorbeeld is dat niet altijd sprake hoeft te zijn van een belasting door chloriden, zodat het bijbehorende aantastingsmechanisme niet altijd hoeft te worden beoordeeld.



Figuur 3: Indeling van betoneigenschappen

In tabel 3 is een overzicht gegeven van eigenschappen, waarbij voor elke eigenschap is aangegeven in welke groep deze is ingedeeld. Voor de basiseigenschappen is uitgegaan van constructieve toepassingen. Bij niet constructieve toepassingen, bijvoorbeeld ongewapende betonproducten, kan in overleg met Rijkswaterstaat worden bepaald welke basiseigenschappen eventueel niet hoeven te worden beoordeeld.

Als een norm of richtlijn beschikbaar is waarin een bepalingsmethode en eventueel een criterium is opgenomen, dan is dat in de laatste kolom van tabel 3 vermeld. Het kan zijn dat tijdens de beoordeling blijkt dat een bepalingsmethode in een norm niet geschikt is, zoals bijvoorbeeld conditionering van geopolymerbeton onder water. In dat geval zal moeten worden nagegaan op welke wijze de eigenschappen moeten worden bepaald, dat wil zeggen dat een nieuwe test-/bepalingsmethode moet worden ontwikkeld. In dit kader kan in geval van alkali-geactiveerde bindmiddelen worden verwezen naar CUR Aanbeveling 123, waarin voor betonwaren vervaardigd met geopolymer als bindmiddel is aangegeven welke aanpassingen en aanvullingen op bestaande bepalingsmethoden en criteria nodig zijn. Tevens dient te worden bedacht dat voorgeschreven bepalingsmethoden, zelfs indien genormeerd, voor bepaalde eigenschappen niet altijd een betrouwbare voorspelling van het gedrag in de praktijk opleveren, zoals bijvoorbeeld de methode voor bepaling van vorstdooizoutbestandheid. Dergelijke proeven hebben dus enkel een indicatief karakter en dienen door een expert te worden beoordeeld op hun betekenis.

Voor de constructieve eigenschappen die zijn vermeld in de kolom "afhankelijk van toepassing" geldt dat oordeelkundig moet worden nagegaan in hoeverre onderzoek naar deze eigenschappen en prestaties nodig is en op welke wijze dit onderzoek moet worden uitgevoerd. De invulling van dit onderzoek is mede afhankelijk van het gedrag dat wordt waargenomen bij de beoordeling van de overige constructieve (basis)eigenschappen. Als daaruit bijvoorbeeld volgt dat het gedrag niet of nauwelijks verschilt van bekend gedrag voor normaal beton volgens NEN-EN 206 + NEN 8005, kan dat een reden zijn om geen of slechts beperkt aanvullend onderzoek

uit te voeren. Het gedrag kan echter ook juist aanleiding geven om aanvullend onderzoek naar specifieke eigenschappen uit te voeren. Voor de bedoelde constructieve eigenschappen zijn geen normen of richtlijnen beschikbaar, waarin is aangegeven op welke wijze de eigenschap kan worden bepaald en welk criterium geldt. Hoewel op voorhand niet kan worden aangegeven welk onderzoek precies nodig is, is in de volgende paragraaf wel op hoofdlijnen ingegaan op de wijze waarop een beoordeling in dat geval zou kunnen plaatsvinden.

Bij gebruik van een alternatieve grondstof is het niet alleen van belang om de eigenschappen volgens tabel 3 vast te stellen, maar om ook na te gaan of sprake kan zijn van onbekende aantastings- en/of degradatiemechanismen. Hoewel het risico daarop niet geheel kan worden uitgesloten, kan dit worden beperkt door:

1. De geschiktheid van de alternatieve grondstof voor toepassing in beton te beoordelen, zoals aangegeven in de voorgaande paragraaf, waarbij onder meer wordt onderzocht of sprake is van destructieve expansie;
2. Na te gaan wat de ontwikkeling in de tijd is van kenmerkende constructieve eigenschappen over een periode van 1 jaar, dat wil zeggen niet alleen de krimp en kruip, waarvoor een beoordeling over een langere periode gebruikelijk is, maar ook de ontwikkeling van de druk- en treksterkte.

Met betrekking tot de ontwikkeling van kenmerkende eigenschappen in de tijd wordt opgemerkt dat de verhardingscondities een belangrijke rol kunnen spelen. In dat kader moet aandacht worden besteed aan de verschillen tussen verharding van proefstukken onder geconditioneerde omstandigheden ten behoeve van experimenten en verharding (inclusief nabehandeling) in de praktijk (bij bijvoorbeeld lagere temperaturen), bijvoorbeeld in een pilotproject.

2.7 **Stap 6: Beoordelen/aantonen geschiktheid**

Geschiktheid van een nieuw betonmengsel kan op verschillende manieren worden beoordeeld en aangetoond. Op hoofdlijnen zijn er 3 methoden voorhanden:

1. Toetsen aan bestaande eisen/criteria (als die beschikbaar zijn)
2. Vergelijken met referentiebeton (gelijkwaardigheid)
3. Toetsen aan gewenste prestaties (prestatie-eisen)

De algemeen toepasbare methoden 1 en 2 passen bij het uitgangspunt van deze leidraad dat voor het ontwerp van een constructie met een nieuw betonmengsel gebruik wordt gemaakt van Eurocode 2 en aanverwante normen, zo nodig met aanvullende en/of afwijkende regels.

Methode 3 betreft een specifiek toepasbare insteek, waarbij eerst wordt nagegaan welke prestaties nodig zijn voor een specifieke toepassing en vervolgens wordt beoordeeld of aan deze prestaties wordt voldaan. Deze aanpak wordt verder niet behandeld in deze leidraad. Methode 3 mag alleen worden toegepast in overleg met Rijkswaterstaat.

Betontechnologische eigenschappen en levensduur

Voor betontechnologische eigenschappen en eigenschappen met betrekking tot de technische levensduur zijn veelal bepalingsmethoden in normen beschikbaar en zijn ook de eisen vaak bekend. In dat geval kan methode 1 voor de beoordeling worden aangehouden. Ook voor de beoordeling van een alternatieve grondstof zijn diverse normen beschikbaar. Enkele normen zijn hiervoor aangegeven in tabel 1 en tabel 3. Als geen eisen bekend zijn, zouden de eigenschappen kunnen worden vergeleken met "referentiebeton" en kan op basis daarvan de geschiktheid worden beoordeeld, op de wijze zoals dat voor diverse eigenschappen ook in CUR Aanbeveling 48 per milieuklasse is gedaan. Er zijn geen concrete prestatie-eisen maar wel beproevingsnormen voor. Beoordeling vindt dan plaats volgens methode 2: vergelijken met referentiebeton. Indien niet vooraf anders wordt overeengekomen met Rijkswaterstaat, moet als referentiebeton worden uitgegaan van betonsterkteklasse C35/45 en als cement CEM III met een percentage gegranuleerde hoogovenslak $\geq 50\%$ m/m en een gehalte aan Portlandcementklinker van ten minste 25% m/m. Dit komt overeen met een percentage gegranuleerde hoogovenslak van $\leq 75\%$ m/m.

Bij het beoordelen van een nieuw betonmengsel kan het zo zijn dat methode 1 voor een deel van de eigenschappen geschikt is en dat methode 2 voor de overige eigenschappen wordt gehanteerd. Zowel bij methode 1 als 2 kan gebruik worden gemaakt van reeds beschikbare kennis uit (internationale) normen, (wetenschappelijke) literatuur en eerdere ervaringen en experimenten.

Indien bij methode 2 de prestaties van een mengsel voor een bepaalde eigenschap minder zijn dan de referentie, kan in overleg met Rijkswaterstaat wordt nagegaan of methode 3 (toetsen aan gewenste prestaties) kan worden gebruikt en zo ja, op welke wijze dit dan zou moeten gebeuren.

Constructieve eigenschappen

Voor de beoordeling van de constructieve eigenschappen is het allereerst van belang om de basiseigenschappen te bepalen en vervolgens na te gaan of de relaties volgens Eurocode 2 ook gelden voor het nieuwe mengsel. Dit betreffen de relaties tussen enerzijds de druksterkte en anderzijds de treksterkte, E-modulus,

krimpcoëfficiënt en kruipfactor. Op basis van een vergelijkbare wijze zoals is aangegeven in CUR 94-12 voor grindvervangende toeslagmaterialen, is in bijlage D aangegeven hoe deze relaties kunnen worden beoordeeld. Indien deze relaties niet blijken op te gaan, moet worden onderzocht welke gevolgen dit heeft voor de rekenregels in Eurocode 2. Als bijvoorbeeld de treksterkte veel lager is dan hetgeen op basis van de relatie volgens Eurocode 2 wordt verwacht, zou dit invloed kunnen hebben op afgeleide eigenschappen zoals het hechtgedrag van wapening of de dwarskrachtcapaciteit. Nader onderzoek is dan nodig om vast te stellen of, en zo ja welke afwijkingen of aanvullingen nodig zijn op de rekenregels in Eurocode 2. Daarnaast kunnen ook andere aspecten aanleiding zijn om nader onderzoek uit te voeren naar een specifieke constructieve eigenschap. Zo kan bijvoorbeeld een afwijkende korrelgradering (kleinere maximale korrel) reden zijn om de dwarskrachtcapaciteit nader te onderzoeken in verband met de invloed op het aandeel aggregate interlock.

Als tijdens de beoordeling blijkt dat het constructieve gedrag van een nieuw mengsel afwijkt van de relaties volgens NEN-EN 1992, dan kan een mengsel niet worden toegepast zonder A) aanvullende en/of afwijkende rekenregels of B) op basis van een alternatieve beoordeling, zoals bijvoorbeeld methode 3 (prestatie beoordeling), eventueel in combinatie met monitoring. Dit is belangrijk omdat alle ervaring met 'traditioneel' beton en de spreiding van de eigenschappen impliciet is opgenomen in de veiligheidsfilosofie (belastingfactoren, materiaalfactoren, etc.) van NEN-EN 1992. Afwijken daarvan vraagt om een zeer goede onderbouwing en 'expert judgement'. Een dergelijke aanpak (A of B) zou, afhankelijk van de testresultaten, aanvullend nodig kunnen zijn, bovenop de in deze leidraad beschreven uit te voeren testen. Dit valt verder buiten de scope van deze leidraad.

Nieuw mengsel met bekende grondstoffen

Bij een nieuw betonmengsel met bekende grondstoffen² kan in principe worden aangenomen dat het mengsel voor wat betreft constructieve eigenschappen geschikt is als uit proeven blijkt dat de relaties volgens Eurocode 2 opgaan (getest en vastgelegd). Nader onderzoek naar de constructieve eigenschappen is dan in beginsel niet nodig en Eurocode 2 kan dan zonder aanpassingen worden gebruikt voor het ontwerp en de berekening van constructies met dit mengsel. Hoewel voorgaande meestal zal gelden, zal altijd moeten worden nagegaan of deze benadering terecht is voor het beoogde mengsel. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat de relaties volgens Eurocode 2 opgaan, maar dat toch nader onderzoek naar een specifieke eigenschap nodig is, bijvoorbeeld naar de dwarskrachtcapaciteit bij een afwijkende korrelgradering, zoals hiervoor genoemd.

Nieuw mengsel met alternatieve grondstoffen

Bij nieuwe betonmengsels met alternatieve grondstoffen ligt dit anders en is altijd meer onderzoek nodig naar het constructief gedrag, ongeacht of de relaties volgens Eurocode 2 gelden. Daarbij moeten in ieder geval de $\sigma\varepsilon$ -relatie en de sterkte-ontwikkeling in de tijd worden onderzocht. Voor zover bekend, zijn er geen normen of richtlijnen beschikbaar waarin is aangegeven hoe deze punten moeten worden beoordeeld. Belangrijke aspecten zijn onder meer:

- is de $\sigma\varepsilon$ -relatie vergelijkbaar met beton volgens NEN-EN 206 + NEN 8005 of is sprake van een duidelijk ander gedrag?

² Grondstoffen die vallen binnen NEN-EN 206 + NEN 8005 of de onderliggende normen

- is sprake van een sterktoename gedurende de tijd, ook na 28 dagen, vergelijkbaar met beton volgens NEN-EN 206 + NEN 8005, of is sprake van een duidelijk ander gedrag?

Vanwege het ontbreken van criteria, kan dergelijk onderzoek alleen plaatsvinden volgens methode 2, dat wil zeggen dat het gedrag wordt vergeleken met het gedrag van "referentiebeton". In analogie met CUR 94-12, moeten ten minste twee betonsterkteklassen als referentie worden aangehouden, waarbij in ieder geval de hiervoor genoemde referentie moet worden beschouwd (C35/45, CEMIII). De tweede betonsterkteklasse moet in overleg met Rijkswaterstaat worden vastgesteld. Indien de beoogde toepassing wordt beperkt tot slechts één betonsterkteklasse, is het toegestaan om alleen die sterkteklasse als referentie aan te houden.

Afhankelijk van de beoogde toepassing en van het gedrag dat wordt waargenomen bij het bepalen van de hiervoor genoemde constructieve eigenschappen, kan het noodzakelijk zijn om ook nog andere eigenschappen te beoordelen, zoals is aangegeven in tabel 3. Dit betreft bijvoorbeeld het hechtgedrag van wapening, het scheurgedrag en de dwarskrachtcapaciteit. Een nieuw betonmengsel kan namelijk, vooral bij toepassing van een alternatieve grondstof, ander constructief gedrag vertonen dan waar vanuit is gegaan in Eurocode 2, ook als de relaties tussen de basiseigenschappen blijken op te gaan. Beoordeling van een eigenschap is alleen nodig als het voor de beoogde toepassing relevant is. Veelal zal experimenteel onderzoek noodzakelijk zijn om een eigenschap te beoordelen, zoals buigproeven op een gewapende of voorgespannen ligger en/of dwarskrachtproeven. De aard en omvang van dergelijk onderzoek moet oordeelkundig worden bepaald. Bij het beoordelen van eigenschappen is het ook mogelijk om gebruik te maken van eerdere ervaringen en (wetenschappelijke) literatuur, voor zover deze gegevens representatief zijn voor het nieuwe betonmengsel dat wordt beoordeeld. Het beoordelen van deze eigenschappen kan alleen plaatsvinden volgens methode 2, omdat geen standaard bepalingmethoden en criteria beschikbaar zijn. Daarbij wordt erop gewezen dat het niet altijd gunstig is als een nieuw betonmengsel op een bepaalde eigenschap beter presteert dan het referentiebeton. Als het hechtgedrag met wapening bijvoorbeeld beter is, neemt de verankeringslengte van de wapening af en kan dit te grote splijtspanningen in het inleidingsgebied tot gevolg hebben. In algemene zin geldt dat als het nieuwe betonmengsel zich significant anders gedraagt dan de referentie, dat moet worden beoordeeld wat daarvan de consequenties zijn.

Zoals eerder in deze leidraad is aangegeven, hangt de wijze van beoordelen en de diepgang af van de samenstelling van het nieuwe mengsel en van de beoogde toepassing. Bij bekende grondstoffen en een toepassing waaraan niet veel eisen worden gesteld, kan de beoordeling relatief eenvoudig en beperkt zijn. Bij het gebruik van alternatieve grondstoffen en meer kritische toepassingen kan omvangrijk en fundamenteel onderzoek nodig zijn naar het gedrag. In het volgende hoofdstuk is dit aan de hand van 2 praktijkvoorbeelden nader toegelicht (informatief).

3 Praktijkvoorbeelden

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk is het gebruik van de beoordelingsprocedure uit hoofdstuk 2 toegelicht aan de hand van twee praktijkvoorbeelden. Bij beide voorbeelden is gekozen voor een mengsel met een alternatieve grondstof, maar is onderscheid gemaakt tussen de beoogde toepassing. De volgende voorbeelden zijn behandeld:

1. Beton met AEC-vulstof voor ongewapende betonproducten;
2. Beton met innovatieve recyclinggranulaten voor gewapend beton.

Bij elk voorbeeld is op hoofdlijnen aangegeven welk onderzoek in het verleden heeft plaatsgevonden en is dit vergeleken met de procedure volgens deze leidraad. De voorbeelden zijn bedoeld ter informatie, als extra toelichting op het gebruik van deze leidraad.

3.2 AEC-vulstof voor ongewapende, niet-constructieve betonproducten

Er is een CROW-CUR Aanbeveling 128 opgesteld voor gemalen AVI-bodemas (AEC-vulstof) als vulstof voor ongewapende, niet-constructieve betonproducten vervaardigd met aardvochtige betonspecie (straatstenen, tegels, banden). Deze aanbeveling is gebaseerd op een uitgebreid onderzoek, vastgelegd in een achtergrondrapport. Dit onderzoek bestond uit:

- Karakterisering analoog aan tabel 1 van deze leidraad (van 3 gemalen monsters van verschillende herkomst AVI-bodemas voor een indruk van de spreiding). Op basis van de elementsamenstelling van de grondstof AVI-bodemas is het gehalte aan metallisch aluminium en zink aanvullend onderzocht. Om zeker te zijn dat deze vulstof geen destructieve expansie kan veroorzaken, is tevens een expansieproef bij 40 °C uitgevoerd (zie bijlage C van deze leidraad). Het uitgevoerde karakteriseringsonderzoek heeft aangegeven dat de betreffende AEC-vulstof in principe geschikt is voor de beoogde toepassing in beton.
- Vervolgens zijn alle relevante eigenschappen van betonmengsels vervaardigd met deze AEC-vulstoffen bepaald ('1^e leven'), zoals: druksterkte, buigtreksterkte, waterabsorptie, vorstdooizoutbestandheid en invloed op alkali-silicareactie. Als referenties zijn dezelfde betonmengsels zonder vulstof en met kalksteenmeel als vulstof in het onderzoek meegenomen. Omdat het een niet-constructieve toepassing betreft, zijn niet alle genoemde basis- en aanvullende eigenschappen genoemd in tabel 3 relevant, zoals krimp, kruip en $\sigma\epsilon$ -relatie. Tabel 3 is gebaseerd op constructieve toepassingen.
- De 2^e leven grondstoffen (betongranulaat en vulstoffractie), teruggewonnen uit 1^e leven betonproefstukken, zijn onderzocht op betontechnologische en milieuhygiënische aspecten om hergebruik in nieuw beton (circulariteit) te kunnen beoordelen. Deze aspecten vallen buiten het kader van deze leidraad.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de leidraad geschikt is om de toepassing van een nieuwe vulstof in beton te beoordelen. Aangezien het toepassingsgebied van deze specifieke vulstof ongewapend, niet-constructief beton betreft, zijn bepaalde constructieve eigenschappen genoemd in tabel 2 onder 'basiseigenschappen' en 'bij alternatieve grondstof' niet relevant en daarom ook niet onderzocht in het CROW-onderzoek. Tabel 3 is gebaseerd op constructieve toepassingen en kan daarom te uitgebreid zijn voor niet-constructieve toepassingen.

3.3 **Beton met innovatieve recyclinggranulaten voor gewapend beton**

In CUR Aanbeveling 106 en CUR Aanbeveling 112 is geregeld in welke mate en onder welke voorwaarden fijn en grof toeslagmateriaal in beton mogen worden vervangen door respectievelijk fijne en grove fractie betongranulaat. Bij het gebruik van de fijne fractie betongranulaat moeten altijd correctiefactoren voor de constructieve eigenschappen worden toegepast. Bij toepassing van de grove fractie betongranulaat enkel boven 50% vervanging van grind.

In CROW-CUR Aanbeveling 127 is geregeld in welke mate fijn en grof betongranulaat mogen worden toegepast in beton zonder aanpassing van de constructieve rekenregels. Deze CROW-CUR Aanbeveling is gebaseerd op uitgebreid onderzoek, vastgelegd in een achtergrondrapport. Dit onderzoek bestond uit:

- Karakterisering analoog aan tabel 1 van deze leidraad van zowel fijne als grove fracties betongranulaat (afkomstig van 2 innovatieve recyclingmethoden), waarbij tevens rivierzand en -grind als referenties zijn meegenomen. Vanwege de bekende herkomst (betonpuin) is mineralogische samenstelling, vormhoudendheid en expansieve reacties (ASR) niet onderzocht. In het uitgevoerde karakteriseringsonderzoek bleek één monster betongranulaat een zeer hoog gehalte aan zeer fijne bestanddelen te bevatten als gevolg van het waterverzadigd zijn van het betonpuin tijdens het recyclingproces. Na droging en opnieuw bewerken bleek dat monster, evenals de andere betongranulaten, wel geschikt te zijn voor de beoogde toepassing in beton.
- De invloed van verschillende vervangingspercentages zand en/of grind door fijn en/of grof betongranulaat is onderzocht op zowel betontechnologische, constructieve als duurzaamheids(levensduur)eigenschappen van beton. Daarbij zijn alle constructieve basiseigenschappen genoemd in tabel 2 van deze leidraad onderzocht behalve thermische uitzetting omdat die al bekend is van betongranulaten. Uit de resultaten van het uitgevoerde onderzoek blijkt dat de invloed van het betongranulaat het sterkst is op de krimp van het daarmee vervaardigd beton. Omdat is gebleken dat de krimp is gerelateerd aan de hoeveelheid geabsorbeerd water van de betongranulaten in het betonmengsel, is een criterium voor het maximaal vervangingspercentage zand en/of grind door fijn en/of grof betongranulaat opgesteld.

De toepassing van deze leidraad zou tot een vergelijkbare opzet van het onderzoek hebben geleid als het hiervoor beschreven onderzoek voor het opstellen van CROW-CUR Aanbeveling 127.

4 Tot slot

Deze leidraad is bedoeld als hulpmiddel om de geschiktheid van een nieuw, innovatief betonmengsel te beoordelen voor toepassing in constructies van Rijkswaterstaat. Belangrijke redenen voor het opstellen van de leidraad zijn geweest dat met de leidraad ruimte wordt gegeven voor innovaties en dat voor zowel medewerkers van Rijkswaterstaat als voor marktpartijen meer duidelijkheid wordt geboden op welke wijze geschiktheid moet worden aangetoond.

In de leidraad is niet in detail aangegeven welke proeven moeten worden gedaan en welke eisen gelden. Dit is helaas niet mogelijk, omdat bepalingsmethoden en criteria in bestaande normen mogelijk ongeschikt zijn voor een nieuw betonmengsel. Ook geldt dat tijdens het onderzoek kan blijken dat een nadere beoordeling van specifiek gedrag nodig is of dat eigenschappen moeten worden onderzocht, waar normaliter niet of nauwelijks aandacht aan wordt besteed. De leidraad kan daarom uitsluitend als handvat c.q. procedure voor de beoordeling worden gezien en niet als afvinklijst van proeven die moeten worden gedaan.

Vanwege het feit dat gedrag in de praktijk kan afwijken van het gedrag dat wordt waargenomen bij experimenten in het lab, geldt voor toepassing in constructies van Rijkswaterstaat dat minimaal moet worden voldaan aan TRL 6 (TRL = Technology Readiness Level), dat wil zeggen dat demonstratie onder relevante omstandigheden reeds succesvol heeft plaatsgevonden. Daarnaast kan het, afhankelijk van de toepassing en in overleg met Rijkswaterstaat, wenselijk zijn om het nieuwe mengsel eerst uitsluitend in een pilotproject toe te passen.

Tot slot wordt opgemerkt dat, gezien de vele aspecten die een rol spelen bij de beoordeling van geschiktheid van een nieuw betonmengsel, het van belang is dat in overleg met Rijkswaterstaat voldoende deskundigheid bij de beoordeling wordt betrokken en dat de beoordeling in overleg met Rijkswaterstaat plaatsvindt.

Bijlage A

Lijst van referenties

1. Betonakkoord, www.betonakkoord.nl
2. Nationale milieudatabase, www.milieudatabase.nl
3. Besluit bodemkwaliteit, www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bbk/
4. Meetmethode circulariteit in klimaatenvelop beton, SGS INTRON rapport A110030-R20190323
5. Zeer Zorgwekkende stoffen, <https://rvs.rivm.nl/stoffenlijsten/Zeere-Zorgwekkende-Stoffen>

Lijst van normen

NEN-EN 1990	Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1992	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies
NEN-EN 196	Beproevingmethoden voor cement
NEN-EN 196-1	Deel 1: Bepaling van de sterkte
NEN-EN 196-2	Deel 2: Chemische analyse van cement
NEN-EN 196-3	Deel 3: Bepaling van begin en einde van de binding en bepaling van de vormhoudendheid
NEN-EN 196-6	Deel 6: Bepaling van de fijnheid
NEN-EN 196-8	Deel 8: Hydratatiewarmte - Oplosmethode
NEN-EN 197	Cement
NEN-EN 197-1	Deel 1: Samenstelling, specificaties en conformiteitscriteria voor gewone cementsoorten
NEN-EN 206 + NEN 8005	Beton – Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit + Nederlandse invulling van NEN-EN 206
NEN-EN 450	Vliegashoudendheid voor beton
NEN-EN 450-1	Deel 1: Definitie, specificaties en conformiteitscriteria
NEN-EN 480-4	Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingmethoden – Deel 4: Bepaling van de waterafscheiding van beton
NEN-EN 933	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen
NEN-EN 933-1	Deel 1: Bepaling van de korrelgrootteverdeling - Zeefmethode
NEN-EN 933-9	Deel 9: Beoordeling van fijn materiaal - Methyleenblauwproef
NEN-EN 934	Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel
NEN-EN 934-1	Deel 1: Algemene eisen
NEN-EN 934-2	Deel 2: Hulpstoffen voor beton – Definities, eisen, conformiteit, markering en aanduiding
NEN-EN 1008	Aanmaakwater voor beton – Specificatie voor monsterneming, beproeving en beoordeling van de geschiktheid van water, inclusief spoelwater van reinigingsinstallaties in de betonindustrie, als aanmaakwater voor beton
NEN-EN 1097	Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen
NEN-EN 1097-2	Deel 2: Methoden voor de bepaling van de weerstand tegen verbrijzeling
NEN-EN 1097-6	Deel 6: Bepaling van de deeltjesdichtheid en de wateropname
NEN-EN 1097-11	Deel 11: Bepaling van de verdichtbaarheid en korrelsterkte van lichtgewicht toeslagmaterialen
NEN-EN 1744	Beproevingmethoden voor de chemische eigenschappen van toeslagmaterialen

NEN-EN 1744-1	Deel 1: Chemische analyse
NEN-EN 1744-6	Deel 6: Bepaling van de invloed van een extract van gerecycled toeslagmateriaal op het begin van de binding van cement
NEN-EN 1770	Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies – Beproevingmethoden – Bepaling van de thermische uitzettingscoëfficiënt
NEN-EN 10080	Staal voor het wapenen van beton – Lasbaar betonstaal
NEN-EN 10138	Voorspanstaal
NEN-EN 12350	Beproeving van betonspecie
NEN-EN 12350-2	Deel 2: Zetmaat
NEN-EN 12350-3	Deel 3: Vebe-proef
NEN-EN 12350-4	Deel 4: Verdichtingsmaat
NEN-EN 12350-5	Deel 5: Schudmaat
NEN-EN 12350-6	Deel 6: Volumieke dichtheid
NEN-EN 12350-7	Deel 7: Luchtgehalte – Drukmethoden
NEN-EN 12350-8	Deel 8: Zelfverdichtend beton – Vloeimaat
NEN-EN 12350-9	Deel 9: Zelfverdichtend beton – Trechertijd
NEN-EN 12350-10	Deel 10: Zelfverdichtend beton – Blokkeringsmaat – L-box
NEN-EN 12350-11	Deel 11: Zelfverdichtend beton – Beproeving op ontmenging
NEN-EN 12350-12	Deel 12: Zelfverdichtend beton – Blokkeringsmaat – J-ring
NEN-EN 12390	Beproeving van verhard beton
NEN-EN 12390-1	Deel 1: Vorm, afmetingen en verdere eisen voor proefstukken en mallen
NEN-EN 12390-2	Deel 2: Vervaardiging en bewaring van proefstukken voor sterkteproeven
NEN-EN 12390-3	Deel 3: Druksterkte van proefstukken
NEN-EN 12390-4	Deel 4: Druksterkte – Specificatie voor drukbanken
NEN-EN 12390-5	Deel 5: Buigsterkte van proefstukken
NEN-EN 12390-6	Deel 6: Splettreksterkte van proefstukken
NEN-EN 12390-7	Deel 7: Volumieke massa van verhard beton
NEN-EN 12390-8	Deel 8: Indringingsdiepte van water onder druk
NEN-EN 12390-9	Deel 9: Vorst/dooi-bestandheid - afschilfering
NEN-EN 12390-10	Deel 10: Bepaling van de relatieve weerstand tegen carbonatatie van beton bij atmosferische koolstofdioxidegehalte
NEN-EN 12390-11	Deel 11: Bepaling van de weerstand van beton tegen chloriden, eenzijdige indringing
NEN-EN 12390-12	Deel 12: Bepaling van de potentiële carbonatati weerstand van beton: Versnelde carbonatatiemethode
NEN-EN 12390-13	Deel 13: Bepaling van de secans-elasticiteitsmodulus onder druk
NEN-EN 12390-14	Deel 14: Semi-adiabatische methode voor de bepaling van warmteafgifte tijdens het verhardingsproces van beton
NEN-EN 12390-15	Deel 15: Adiabatische methode voor de bepaling van warmteafgifte tijdens het verhardingsproces van beton
NEN-EN 12390-16	Deel 16: Bepaling van de krimp van beton
NEN-EN 12390-17	Deel 17: Bepaling van de kruip van beton onder drukspanning
NEN-EN 12620	Toeslagmateriaal voor beton
NEN-EN 12878	Pigmenten voor het kleuren van bouwmaterialen gebaseerd op cement en/of kalk – Specificaties en beproevingsmethoden
NEN-EN 13055	Lichte toeslagmaterialen

NEN-EN 13263	Silicafume voor beton
NEN-EN 13369	Algemene bepalingen voor vooraf vervaardigde betonproducten
NEN-EN 13639	Bepaling van het totale gehalte aan organische stof in kalksteen
NEN-EN 13670	Het vervaardigen van betonconstructies
NEN-EN 14216	Cement – Samenstelling, specificaties en conformiteitscriteria voor bijzondere cementsoorten met erg lage hydratatiewarmte
NEN-EN 15167	Gemalen gegraneerd hoogovenslak voor gebruik in beton, mortel en injectiemortel
ASTM C151	Standard test method for autoclave expansion of hydraulic cement
ASTM C403	Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance

Lijst van CUR en CUR/CROW documenten:

SBRCURnet kennispaper	Beoordelingmethodiek geschiktheid alternatieve grondstoffen voor beton
CUR Aanbeveling 48	Procedures, criteria en beproevingsmethoden voor de toetsing van de geschiktheid van nieuwe cementen voor toepassing in beton en voor de gelijkwaardige prestatie van beton met vulstoffen
CUR Aanbeveling 67	Bepaling adiabatische temperatuurontwikkeling van een verhardend beton
CUR Aanbeveling 80	Beton met menggranulaten als grof toeslagmateriaal
CUR Aanbeveling 89	Maatregelen ter voorkoming van betonschade door alkali-silicareactie (ASR)
CUR Aanbeveling 94	Toepassing van poederkoolvliegias in mortel, beton en grout
CUR Aanbeveling 106	Beton met fijne fracties uit recyclinggranulaten als fijn toeslagmateriaal
CUR Aanbeveling 112	Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal
CUR Aanbeveling 123	Betonwaren vervaardigd met geopolymer als bindmiddel
CUR Aanbeveling 116	AEC-granulaat als toeslagmateriaal voor beton
CUR Rapport 94-12	Beoordeling van de constructieve consequenties van het toepassen van grindvervangende toeslagmaterialen in beton
CROW-CUR Aanbeveling 126	Beoordeling grondstoffen op geschiktheid voor circulair beton
CROW-CUR Aanbeveling 127	Beton met betongranulaat als fijn en/of grof toeslagmateriaal. Toelaatbare vervangingspercentages zonder aanpassing van de constructieve rekenregels
CROW-CUR Aanbeveling 128	AEC-vulstof in ongewapend aardvochtig beton

Bijlage B

Inhoud van beoordelingsdossier

Voor toepassing van een nieuw betonmengsel in constructies van Rijkswaterstaat, moet een dossier met alle relevante gegevens door de aanvrager worden samengesteld, op basis waarvan beoordeeld kan worden of de geschiktheid voor de beoogde toepassing(en) voldoende is aangetoond.

Dit dossier moet ten minste de volgende onderdelen bevatten:

- A. Eenduidige beschrijving van de beoogde toepassing(en) conform par. 2.2:
 - Milieuklassen, consistentieclassen, druksterkteklassen, ongewapend/gewapend/voorgespannen beton, wel/niet constructief, etc.
 - Eventuele beperkingen met betrekking tot het toepassingsgebied;
 - Indien aan de uitvoering bijzondere voorwaarden worden gesteld, dan dienen die specifiek te worden vermeld.
- B. Beschrijving van de betonsamenstelling conform par. 2.3:
 - Gegevens over bindmiddel, vul- en hulpstoffen (soort, dosering, herkomst);
 - Beschrijving van verschil(len) met beton volgens NEN-EN 206 + NEN 8005;
 - Gegevens met betrekking tot milieuaspecten en circulariteit.
- C. Karakterisering en beoordeling alternatieve grondstof:
 - Eenduidige definitie en uitgebreide karakterisering conform par. 2.4;
 - Eerste beoordeling aan de hand van criteria in par. 2.4 en zo nodig een nadere beoordeling aan de hand van aanvullend onderzoek.
- D. Bijzonderheden met betrekking tot de uitvoering conform par 2.5.
- E. Onderbouwing van geschiktheid:
 - Vaststelling van relevante eigenschappen conform part. 2.6.
 - Inventarisatie van alle relevante normen, kennis en praktijkervaringen. Deze informatie dient dusdanig gedetailleerd en volledig te zijn dat een duidelijke relatie kan worden gelegd met het nieuwe betonmengsel in de beoogde toepassing;
 - Resultaten van onderzoek, waarmee wordt aangetoond dat het nieuwe betonmengsel, voor wat betreft alle voor de beoogde toepassing relevante eigenschappen, voldoet aan de gestelde eisen, zie par. 2.7.
- F. Alle overige gegevens die van belang zijn voor de beoordeling van de geschiktheid van het mengsel voor de beoogde toepassingen.

Bijlage C

Expansieproef voor beoordeling nieuw bindmiddel en vulstof

Dit onderzoek wordt uitgevoerd op normmortel conform NEN-EN 196-1 met CEM I als bindmiddel (referentiemengsel) en op dezelfde normmortel met 100%*m/m* nieuw bindmiddel of 75%*m/m* CEM I + 25%*m/m* nieuwe vulstof (testmengsels).

Per mengsel worden 3 prisma's (40 x 40 x 160 mm) aangemaakt conform NEN-EN 196-1 bij 20°C. Na aanmaak worden de prisma's 23,5 uur afgedekt onder glas en vervolgens uit de mal genomen voor preparatie van de meetpunten. Hierbij wordt zorg gedragen dat de prisma's niet kunnen uitdrogen.

De eerste lengtemeting (0 meting) wordt 24 uur na aanmaak bij 20°C uitgevoerd met een nauwkeurigheid van 0,01 mm/*m*. Deze waarden worden rekenkundig gecorrigeerd met de uitzettingscoëfficiënt ($10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) naar een temperatuur van 40 °C. Vervolgens worden de prisma's onder water opgeslagen bij 40 °C voor de overige lengtemetingen. Gelijktijdig met de lengtemetingen worden ook de massa's bepaald van de proefstukken, waaruit de waterabsorptie wordt afgeleid. Beide metingen dienen binnen een tijdsbestek van 15 minuten te worden uitgevoerd.

De metingen dienen te worden uitgevoerd op een ouderdom van de proefstukken van 1, 3, 7, 14, 28, 42, 56 en 91 dagen. Vermeld bij iedere meting tevens elke visueel waarneembare degradatie van de proefstukken.

Bijlage D

Beoordeling van constructieve eigenschappen

Deze bijlage hoort bij paragraaf 2.7 van de leidraad. Voor de beoordeling van de constructieve eigenschappen is het van belang om de basiseigenschappen te bepalen en om vervolgens na te gaan of de relaties volgens Eurocode 2 gelden voor het nieuwe mengsel. In deze bijlage is aangegeven op welke wijze de volgende eigenschappen en relaties kunnen worden beoordeeld, analoog aan de wijze zoals die is beschreven in CUR 94-12:

- relatie tussen druksterkte en splijttreksterkte;
- relatie tussen druksterkte en E-modulus;
- krimp en kruip.

Overeenkomstig CUR 94-12 moeten per betonsamenstelling de volgende proefstukken uit 3 molenmengsels worden vervaardigd:

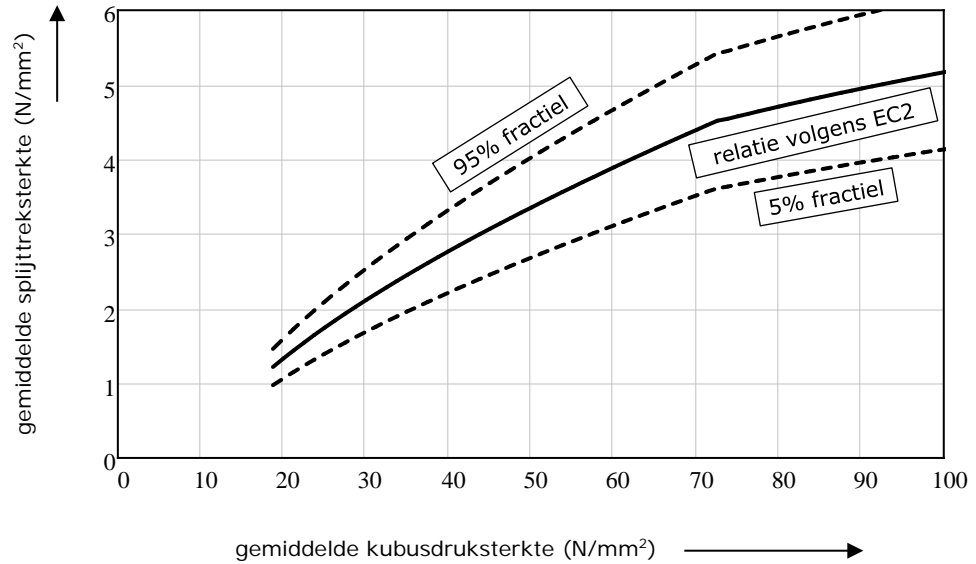
- 3 × 2 proefstukken voor de bepaling van de druksterkte
- 3 × 2 proefstukken voor de bepaling van de splijttreksterkte
- 3 × 1 proefstuk voor de bepaling van de elasticiteitsmodulus
- 3 × 1 proefstuk voor de bepaling van de krimp
- 3 × 1 proefstuk voor de bepaling van de kruip

Bij gebruik van alternatieve grondstoffen moeten de eigenschappen over een periode van 1 jaar worden beoordeeld (zie paragraaf 2.6). Om een goed beeld te verkrijgen van de ontwikkeling over deze periode, wordt aanbevolen om de eigenschappen te bepalen op 2, 7, 28, 56, 90 en 365 dagen. De voorgaande serie proefstukken moet dan in principe voor elk tijdstip worden vervaardigd.

Relatie tussen kubusdruksterkte en splijttreksterkte

Voor de beoordeling van de relatie tussen de kubusdruksterkte en de splijttreksterkte kan worden uitgegaan van figuur D.1. In deze figuur is de relatie tussen de gemiddelde kubusdruksterkte en de gemiddelde splijttreksterkte gegeven, samen met de 5% en 95% fractiel als spreidingsband. Overeenkomstig CUR 94-12 is voor de spreidingsband van de splijttreksterkte $\pm 20\%$ aangehouden³.

³ Uit Eurocode 2 volgt een spreidingsband van $\pm 30\%$ voor de axiale treksterkte. Deze spreidingsband komt overeen met CUR 94-12. Voor de splijttreksterkte geldt echter volgens CUR 94-12 een smallere spreidingsband van $\pm 20\%$.



Figuur D.1: Relatie tussen kubusdruksterkte en splijttreksterkte

De figuur is gebaseerd op de volgende relaties in Eurocode 2:

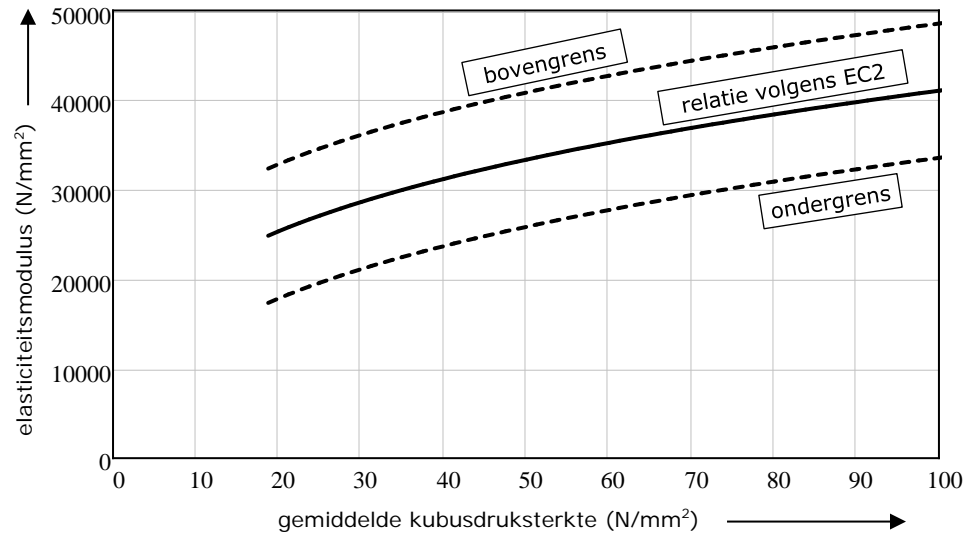
karakteristieke kubusdruksterkte	$f_{ck,cube}$
karakteristieke cilinderdruksterkte	$f_{ck} = 0,8 f_{ck,cube}$ (benadering)
gemiddelde cilinderdruksterkte	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (N/mm ²)
gemiddelde axiale treksterkte	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$
	$f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
relatie axiale - en splijttreksterkte	$f_{ct} = 0,9 f_{ct,sp}$

Relatie tussen kubusdruksterkte en E-modulus

De relatie tussen de gemiddelde kubusdruksterkte f_{cm} en de elasticiteitsmodulus volgens Eurocode 2 is:

$$E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)^{0,3}$$

Voor de beoordeling kan worden uitgegaan van figuur D.2, waarin deze relatie is opgenomen met een spreidingsband van ± 7500 N/mm² conform CUR 94-12.



Figuur D.2: Relatie tussen kubusdruksterkte en E-modulus

Krimp en kruip

De grootte van de krimp en kruip moeten worden bepaald over een periode van 52 weken volgens NEN-EN 12390-16 en 17 en worden vergeleken met de grootte volgens Eurocode 2. Deze vergelijking dient uitsluitend om de orde grootte van de krimp en kruip te beoordelen. Bij de interpretatie moet rekening gehouden worden met een grote spreiding.

Bijlage E

Aantastingsmechanismen en expansieve bestanddelen

In deze bijlage zijn een aantal bekende aantastingsmechanismen van beton en wapeningsstaal/voorspanstaal opgesomd. Tevens zijn een aantal bekende expansie-veroorzakende bestanddelen in beton genoemd. Dit is geen volledig overzicht, ook andere, minder bekende, aantastingsmechanismen en expansie-veroorzakende bestanddelen kunnen relevant zijn.

Bekende aantastingsmechanismen (gewapend) beton

Met betrekking tot corrosie/aantasting van de wapening/voorspanstaal:

- Carbonatatie, indien het carbonatatiefront de diepte van de wapening/voorspanstaal heeft bereikt en de vochtcondities de initiële corrosie bevorderen
- Chloriden, indien het gehalte aan chloride ter plaatse van de wapening/voorspanstaal het kritisch gehalte overschrijdt en de vochtcondities de initiële corrosie bevorderen
- Bij voorspanstaal kunnen ook andere stoffen dan chloride corrosie veroorzaken, zoals bijvoorbeeld waterstof en sulfiden (spanningscorrosie) en koolstof (galvanische corrosie)
- pH-waarden (bijvoorbeeld Geopolymeer – indien $\text{pH} > 14$)

Met betrekking tot aantasting van het beton:

- Vorstdooi(zout) belasting (eventueel in combinatie met carbonatatie)
- Chemische aantasting, door met name sulfaten, zuren, (agressief) CO_2 -houdend water, ammonium en magnesium (tabel 2 van NEN-EN 206). In tabel AA.2 van NEN 8005 is een uitgebreide lijst van chemicaliën met een globale indicatie van de agressiviteit voor beton opgenomen. Biogene zwavelzuuraantasting is een bijzondere aantastingvorm die met name in rioolmilieus en mestopslagsystemen kan optreden.
- Alkali-silicareactie (CUR Aanbeveling 89)
- Secundaire ettringietvorming
- Thaumasiëtvorming
- Interne kristallisatie van zouten door verdamping van poriewater nabij het betonoppervlak

Bestanddelen die kunnen leiden tot (destructieve) expansiemechanismen:

- Reactief CaO ('vrije' kalk)
- Reactief MgO (Periklaas)
- Calciumsulfaat
- Dubbelzouten zoals ettringiet en thaumasiet
- Metallisch aluminium en zink
- Poreuze vuursteen, chalcedoon en opaal (ASR)