



BUILDING MATERIALS

NIEUWE ONDERZOEKSMETHODEN BOUWMATERIALEN Relevant voor circulair gebruik door Rijkswaterstaat

Status **eindrapport**
Datum **22-12-2016**
Rapportnr. **A890200/R20160335**

SGS INTRON

COLOFON

Opdrachtgever / Customer	Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) t.a.v. de heer E. Schut Postbus 5044 2600 GA DELFT	E-mail: evert.schut@rws.nl
Titel rapport / Titel report	Nieuwe onderzoeksmethoden bouwmaterialen relevant voor circulair gebruik door Rijkswaterstaat	
Offerte / Quotation	A890200-BO20160663	Datum / Date 22-09-2016
Opdracht / Purchase order	4117834-0100	Datum / Date 04-10-2016
Opdrachtnemer / Contractor	SGS INTRON B.V. Postbus 5187 6130 PD SITTARD	Kantoor / Office Dr. Nolenslaan 126 6136 GV SITTARD
Contactpersoon / Contactperson	dr. U. Hofstra	Tel.: +31 46 4204204 Mob.: +31 6 51 56 58 98 E-mail: ulbert.hofstra@sgs.com
Auteur / Author	W. Klarenaar dr. U. Hofstra	Autorisatie / Authorisation dr. ir. G.J.L. van der Wegen
Handtekening / Autograph		Handtekening / Autograph
Datum / Date	Rapportnr. / Reportnr. A890200/R20160335/ILa	Reden revisie / Reason revision
22-12-2016		

Disclaimer

Tenzij anders overeengekomen worden de opdrachten uitgevoerd op basis van de meest recente versie van de algemene voorwaarden van SGS INTRON B.V. Op eenvoudig verzoek worden deze voorwaarden opnieuw aan u toegezonden. Uw aandacht wordt gevraagd voor de beperking van aansprakelijkheid en de vergoedings- en bevoegdheidskwesties bepaald door deze voorwaarden.

Elke houder van dit document dient te weten dat de informatie vervat in dit document uitsluitend is gebaseerd op de bevindingen van SGS INTRON B.V. op het ogenblik van haar tussenkomst en binnen de grenzen van de eventuele instructies van de opdrachtgever. SGS INTRON B.V. kan enkel aansprakelijk zijn jegens haar opdrachtgever. Dit document stelt de bij een handelstransactie betrokken partijen niet vrij van hun plicht al hun rechten en verplichtingen uit te oefenen voortspuitend uit de bij die transactie betrokken documenten. Elke niet toegestane wijziging, evenals de namaak of vervalsing van de inhoud of het uiterlijk van dit document, is onrechtmatig en overtreders zullen worden vervolgd.

© SGS INTRON BV

INHOUDSOPGAVE

	Pagina
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING.....	5
2. MATERIALEN EN EIGENSCHAPPEN.....	5
2.1. Algemeen	5
2.2. Beton	5
2.3. Metalen.....	6
2.4. Kunststoffen	6
3. SAMENSTELLING	6
3.1. Röntgen fluorescentie (XRF).....	6
3.2. Infrarood spectrometrie (FTIR).....	7
3.3. Raman spectrometrie	8
3.4. Laser ablatie spectrometrie (LIBS).....	8
3.5. Radar.....	8
3.6. Ferro-scan	8
4. MATERIAALEIGENSCHAPPEN	9
4.1. Fysische eigenschappen.....	9
4.2. Mechanische eigenschappen.....	9
5. MICROCHIPS IN HET BOUWMATERIAAL	10

SAMENVATTING

In dit rapport worden een aantal nieuwe onderzoeksmethoden in beeld gebracht die mogelijk relevant zijn voor hergebruik en recycling van bouwproducten van Rijkswaterstaat aan het eind van hun levensduur. Relevante bouwmaterialen die hier aan bod komen zijn beton, metalen en composieten.

Voor hoogwaardig hergebruik en recycling is kennis over de bouwmaterialen aan het eind van hun levensduur essentieel. De kennis over de samenstelling en relevante eigenschappen van toegepaste bouwmaterialen kan worden opgeslagen in een database aan het begin van hun levensduur en dan later worden geraadpleegd. Tevens kunnen met bepaalde technieken de samenstelling en de eigenschappen aan het eind van hun levensduur bepaald worden. Een aantal van deze technieken is in dit rapport geïnventariseerd.

Technieken om de samenstelling van bouwmaterialen vast te stellen

Dit zijn vooral spectrometrische technieken:

Techniek	Wat	Materialen
XRF	Element samenstelling	Metalen, beton, coatings
FT-IR	Molecuul samenstelling	Composieten, coatings, beton
Raman spectrometrie	Molecuul samenstelling	Composieten, coatings, beton
LIBS	Element samenstelling	Coatings, metalen

In beton is van belang om de hoeveelheid en de dikte van de wapening vast te stellen in verband met hergebruik van betonelementen. Hiervoor zijn geschikte niet-destructieve technieken:

- Radar
- Ferro-scan

Naast de samenstelling zijn de fysische en mechanische eigenschappen van de bouwmaterialen aan het eind van hun levensduur gewenst. Hierin zijn ontwikkelingen in niet-destructieve methoden en minder destructieve methoden. Om de restkwaliteit van een gebruikt bouw materiaal zinvol vast te kunnen stellen, is nodig om de koppeling te leggen tussen de gewenste toepassing en de hiervoor relevante materiaaleigenschappen.

1. INLEIDING

Rijkswaterstaat zet in op de circulaire economie. Dit betekent, dat bouwwerken van Rijkswaterstaat aan het eind van hun levensduur niet als afval verdwijnen, maar dat de materialen opnieuw worden gebruikt. Om het bouwdeel of het materiaal nuttig te kunnen inzetten is informatie nodig over deze materialen. Een methode om deze informatie te verkrijgen, is om bij de start van het project de informatie over samenstelling en eigenschappen vast te leggen in een database. Deze database kan dan bij het selectief slopen/demonteren van het materiaal worden geraadpleegd, zodat het optimale hergebruik kan worden bepaald.

Een alternatief is om aan het eind van de levensduur de samenstelling en eigenschappen zo veel mogelijk te bepalen, zodat op deze wijze de informatie wordt verkregen voor optimaal circulair gebruik.

In dit rapport geven we informatie over een aantal recente technieken, die toegepast kunnen worden bij het vaststellen van samenstelling en eigenschappen aan het eind van de levensduur van materialen.

2. MATERIALEN EN EIGENSCHAPPEN

2.1. Algemeen

Om aan te kunnen geven welke technieken relevant zijn nu en in de toekomst voor de karakterisering van materialen met het oog op een volgende levenscyclusfase is het relevant te weten welke eigenschappen van belang zijn. De materialen die we beschouwen zijn beton, staal en kunststoffen.

2.2. Beton

Beton kan goed in een volgende levensfase gebruikt worden. Betonnen elementen kunnen opnieuw als betonnen elementen gebruikt worden. In veel gevallen gebeurt dit al. Denk aan betonnen waterbouwstenen of elementen voor wegafzetting. In dat geval moet de restlevensduur van de elementen vastgesteld worden. De beoordeling van de restlevensduur hangt af van de toepassing.

De huidige afvalverwerking van beton is breken tot recyclinggranulaat en het opnieuw inzetten van dit product. In een circulaire economie moet het hergebruik in beton gerealiseerd worden. De eisen voor betongranulaat voor toepassing als toeslagmateriaal in nieuw beton worden gegeven in EN 12620 en CUR-Aanbeveling 112. Een deel van de eisen hangt af van de wijze van breken (korrelgradering, gehalte zeer fijn, vlakheidsindex). De intrinsieke materiaaleigenschappen zouden bij voorkeur vooraf bekend moeten zijn. Dit zijn: de hardheid (LA- coëfficiënt), de deeltjesdichtheid, de samenstelling, de waterabsorptie, de alkali-silica activiteit, het gehalte in zuur oplosbare chloriden, het gehalte in zuur oplosbare sulfaten, het gehalte in water oplosbare sulfaten. In aanvulling op de EN 12620 moeten ook de milieuhygiënische eigenschappen bekend zijn.

De toepassing van betongranulaat in nieuw beton kan nog hoogwaardiger, indien gebruik gemaakt wordt van de resterende hydraulische eigenschappen van de cementsteen. Bij nieuwe breekprocessen ("slim breken") worden cementsteen, zand en grind separaat verkregen en kan de fijngebroken cementsteen opnieuw als vulstof met bindmiddelfunctie ingezet worden. Een belangrijke eigenschap van beton voor optimaal slim

breken is de resthydrauliciteit van het beton. Dit hangt af van de hydratatiegraad van het cement in het beton en van de mate van carbonatatie tijdens de levensduur van het beton.

2.3. Metalen

Metalen in de GWW kunnen hergebruikt worden als component of het metaal kan worden omgesmolten en dan als nieuwe metaal worden ingezet. Omsmelten van metalen gebeurt al voor bijna 100%, omdat restmetalen al een positieve waarde hebben.

De belangrijkste eigenschap voor restmetalen is hun elementsamenstelling (het type legering) en hun zuiverheid. De zuiverheid verandert in de toepassing door het aanbrengen van coatings, door verontreinigingen die vanuit de omgeving van het product komen en door oxydatieprocessen van het metaal.

2.4. Kunststoffen

De toepassing van kunststoffen in de infrastructuur neemt toe, met name door het toepassen van composietmaterialen (bruggen, sluisdeuren). Composiet bestaat uit twee hoofdcomponenten: een kunsthars en een vezel van glas, kunststof of koolstof. In hoofdlijnen zorgt de vezel daarbij voor de sterkte en stijfheid van het materiaal, de hars voor de taaiheid en de chemische resistentie. Er is nog weinig bekend over de eigenschappen van composieten die de mate van hergebruik bepalen.

3. SAMENSTELLING

Voor het meten van de samenstelling van materialen op locatie zijn al enige tijd mobiele meetinstrumenten beschikbaar. Door verdergaande optimalisatie en miniaturisering zijn deze instrumenten steeds beter geschikt gemaakt voor hun toepassing en in bereik voor routinematige keuring van bouwmaterialen. Dit betreft mobiele (zogenaamde *hand held*) instrumenten op basis van verschillende spectrometrische technieken zoals röntgen fluorescentie (XRF), infrarood spectrometrie (FTIR en Raman) en laser ablatie spectrometrie (LIBS) en ferro-scan en radar. De spectrometrische technieken zijn oppervlaktetechnieken. Hiermee worden alleen gegevens over de bulksamenstelling verkregen, als die gelijk is aan de oppervlaktesamenstelling. Ferro-scan en radar zijn invasieve technieken, waarmee vooral wapeningsstaal in beton wordt gedetecteerd.

3.1. Röntgen fluorescentie (XRF)

Hand held XRF instrumenten worden al enige tijd routinematig ingezet voor zogenaamde *Positive Material Identification* (PMI) werkzaamheden. Hierbij wordt normaliter binnen enkele tientallen seconden het type legering van een metalen voorwerp vastgesteld. Dit type toepassing betreft vaak een industriële omgeving waarbij de verkregen informatie wordt gebruikt voor het vaststellen van bijvoorbeeld de lasbaarheid van pijpen en buizen. Het instrument heeft ook al zijn toepassing gevonden bij de inzameling van (rest)metalen waarmee op betrekkelijk simpele wijze de aard van de aangeboden metalen wordt vastgesteld. Een nadeel van deze techniek is dat het meetprincipe is gebaseerd op de emissie van (een lage dosis) röntgenstraling. Hierdoor is het noodzakelijk dat het onderzoeksbedrijf voldoet aan de eis om een stralingsdeskundige in dienst te hebben.

Een meer recente toepassing van het XRF instrument is om op locatie de aanwezigheid van zware metalen in coatings en oude verflagen vast te stellen. Door met een inventariserend onderzoek in een gebouw bijvoorbeeld de aanwezigheid van loodmenie vast te stellen, kan worden voorkomen dat lood zich in de recyclestream verspreid of dat met lood gecontamineerde materialen op een verkeerde wijze voor hergebruik of verwerking worden aangeboden.

Deze onderzoekstechniek kan ook voor het vaststellen van andere zware metalen worden toegepast. In dit verband is het actueel om onderzoek naar zeswaardig chroom te noemen. Chroom VI kan een belasting zijn bij hergebruik van hiermee gecontamineerde bouwmaterialen maar het is ook van belang om chroom VI te identificeren wanneer bouwmaterialen worden bewerkt of bouwmaterialen worden gesloopt. Chroom VI is vaak als corrosiebescherming in coatings op staal toegepast. Persoonlijke blootstelling aan stof met chroom VI is ongewenst. Chroom VI kan niet eenduidig met XRF worden geïdentificeerd, omdat het niet kan worden onderscheiden van metallisch chroom (bijvoorbeeld chroom in roestvast staal) en van driewaardige chroomverbindingen. Wanneer echter de aanwezigheid van chroom positief met XRF wordt aangetoond, dan kan met een testkit ter plaatse de aanwezigheid van zeswaardig chroom worden gecontroleerd. Het exacte chroom VI gehalte kan dan vervolgens op het lab doelgericht worden onderzocht aan daarvoor geselecteerde monsters.

Er is tot nu nog maar weinig ervaring opgedaan met de toepassing van hand held XRF op steenachtige bouwmaterialen. Deze toepassing kan nuttig zijn om bijvoorbeeld de aard van beton vast te stellen (betreft het een hoogoven- of portlandcement?) of om blootstelling aan chloride te beoordelen. Nader onderzoek naar de mogelijkheden van deze techniek zal meer duidelijkheid bieden. Hand held instrumenten die geoptimaliseerd zijn voor het doen van metingen aan minerale monsters zijn hiervoor het meest geschikt.

3.2. Infrarood spectrometrie (FTIR)

De identificatie van bouwmaterialen met hand held infrarood spectrometers is mogelijk. Binnen de kunstwereld is het heel gebruikelijk om deze techniek toe te passen voor de identificatie van materialen. Anders dan bij XRF instrumenten is FTIR-techniek niet gebaseerd op het meten van de elementaire samenstelling van het bouw materiaal maar geeft FTIR informatie over de moleculaire samenstelling van het bouw materiaal. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de eigenschap dat materialen infraroodstraling absorberen. Een voordeel vergeleken met XRF is dat dit voor FTIR geen deskundigheid op het gebied van straling is voorgeschreven.

FTIR is in principe geschikt voor de identificatie van allerlei bouwmaterialen met uitzondering van metalen. De techniek is in het bijzonder geschikt voor de identificatie van kunststoffen. Op locatie kan zo het type coating of composietmateriaal worden geïdentificeerd.

In theorie is FTIR ook geschikt voor de identificatie van bijvoorbeeld asbesthoudende materialen. Eerste praktijktesten hebben echter aangetoond dat dit niet in alle gevallen al naar tevredenheid werkt. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat FTIR een oppervlaktetechniek is en dat de meting kan worden gestoord door oppervlakkige vervuiling en door vocht. Nader onderzoek kan hierover meer duidelijkheid bieden.

3.3. Raman spectrometrie

Raman spectrometrie is een techniek die complementair is met FTIR en eveneens gebruik maakt van absorptie van energie door trillingen in de moleculen van het monster. Raman spectrometrie geeft andere (aanvullende) resultaten dan FTIR en de techniek is vrij specialistisch. Het is nog niet heel gebruikelijk om Raman spectrometrie in te zetten voor onderzoek aan bouwmaterialen. In principe kan dit echter wel: de methode is geschikt voor alle materialen uitgezonderd metalen. Met hand held Raman spectrometrie is op materiaalgebied vooral ervaring opgedaan in de kunstwereld.

3.4. Laser ablatie spectrometrie (LIBS)

Laser ablatie spectrometrie (LIBS) is een veelbelovende techniek die gebaseerd is op het verdampen van een beetje monstermateriaal om vervolgens in de hete damp (een plasma) de elementaire samenstelling te meten. Om een microscopisch kleine hoeveelheid monstermateriaal te laten verdampen wordt gebruik gemaakt van een korte laserpuls. Hiervoor worden geen eisen gesteld aan stralingsdeskundigheid van de operator. De toepassing van deze techniek is interessant maar er is nog weinig praktijkervaring mee opgedaan in het kader van keuring van bouwmaterialen in het veld. LIBS is geschikt voor het meten van de elementaire samenstelling van heel uiteenlopende bouwmaterialen zoals metalen, steenachtige materialen, kunststoffen etc. LIBS is eveneens geschikt voor het meten van lichte elementen zoals natrium en kalium die niet bereikbaar zijn voor analyse met XRF.

3.5. Radar

Bij radaronderzoek wordt een elektromagnetische golf in de betonconstructie "gestuurd". De aanwezige wapeningstaven, voorspankabels en leidingen zullen de straling reflecteren. Met een meetsonde worden in het meetgebied van deze elektromagnetische golven zogenaamde "radarprofielen" opgenomen. De verkregen radarprofielen tonen een (gedeeltelijke) dwarsdoorsnede van de betonconstructie. Reflecties van wapeningsstaven hebben in een radarprofiel altijd de vorm van een parabool. Het hart van de parabool komt hierbij overeen met de werkelijke positie van het reflectie vlak in de constructie ten opzichte van het beton-meetoppervlak. De ligging van de wapening kan met deze radarprofielen, door herkenning van de paraboolkleuren worden vastgesteld, op basis van ervaring dan wel softwarematig. De exacte diepte kan na ijking, in de vorm van beperkt destructief onderzoek, worden vastgesteld.

Met radar kan tot ca. 0,3 m à 0,5 m diep in beton "gekeken" worden. De indringdiepte van radargolven is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid boven- en onderwapening en de frequentie van de antenne. Zodoende is het mogelijk dat bij een hoge wapeningsdichtheid (doorgaans h-o-h < 100 mm) niet dieper dan de eerste laag wapening kan worden "gekeken". Staven die te dicht tegen elkaar liggen (doorgaans h.o.h. < 40mm) kunnen niet afzonderlijk onderscheiden worden. Staven die achter andere staven liggen worden niet gesignaleerd. De wapeningsdiameter kan met radar niet gemeten worden.

3.6. Ferro-scan

Deze techniek is gebaseerd op het opwekken en detecteren van verstoring van het magnetische veld, waardoor wapeningsstaven in beton kunnen worden gedetecteerd. De sterkte van de verstoring is

afhankelijk van de diameter en de dekking van de wapening. Door analyse van de meetgegevens wordt het aantal wapeningsstaven, hun positie en de (indicatieve) diameter van de wapeningsstaven bepaald.

Met de Ferroskan kan tot ongeveer 10 cm diep de wapening worden vastgesteld. Het is echter vaak niet mogelijk alle wapening tot deze diepte vast te stellen. Wanneer wapeningsstaven in de onderliggende laag worden "afgeschermd" door staven erboven, worden deze staven met de Ferroskan niet gesignaleerd. Wanneer wapeningsstaven onderling een kleinere h-o-h afstand hebben dan 2 keer de dekking dan is het mogelijk dat de diameter en dekking van de wapening onvoldoende nauwkeurig bepaald kunnen worden. In deze gevallen kan met aanvullend, gericht en beperkt, destructief onderzoek de ontbrekende gegevens worden verkregen. Staven die dicht tegen elkaar liggen (doorgaans h.o.h. < 40 mm) kunnen niet afzonderlijk worden onderscheiden.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de diameter is afhankelijk van de staafdiameter, de diepte van de wapening en de eventuele aanwezigheid van andere wapening. In gunstige gevallen moet nog altijd rekening worden gehouden met een spreiding van ± 1 handelsmaat. Bij gelaste netten of wapeningskorven en kleinere diameters kan dit onnauwkeuriger zijn. Bij veel omringende wapening en/of grote dekkingen zijn deze nauwkeurigheden niet of nauwelijks haalbaar en wordt afgezien van een diameterbepaling. Om alleen de betondekking op wapeningsstaven en/of beugels te bepalen heeft de Ferroskan nog een meetmodus, de zogenaamde "linescan". Met deze meetmodus kan de betondekking relatief snel worden bepaald.

4. MATERIAALEIGENSCHAPPEN

Er zijn verschillende ontwikkelingen gaande om op onconventionele wijze op locatie snel en efficiënt de fysische en mechanische eigenschappen van steenachtige bouwmaterialen te onderzoeken. Dit betreft voor sommige eigenschappen in principe destructief onderzoek maar wel op een wijze waarmee heel weinig schade aan het bouwwerk wordt veroorzaakt. Andere eigenschappen kunnen zelfs geheel op niet-destructieve wijze worden vastgesteld. Het doel van dit type onderzoek is om de restkwaliteit van het bouw materiaal vast te stellen. Deze wijze van onderzoek kan ook worden toegepast als kwaliteitscontrole van uitgevoerd werk, ook tijdens de bouw fase. Het betreft vernieuwende technieken die aan slechts heel weinig monster materiaal kunnen worden uitgevoerd.

4.1. Fysische eigenschappen

Het gedrag van het steenachtige bouw materiaal in contact met water en meer specifiek de dichtheid, de porositeit en permeabiliteit van steenachtige materialen kunnen snel en relatief eenvoudig aan kleine boorkernen worden onderzocht met behulp van gas permeometrie. Boorkernen met een diameter van slechts 1 cm en een lengte van slechts 2 cm zijn al geschikt om met deze techniek te onderzoeken. Aan dezelfde boorkernen kan met daarvoor ontwikkelde apparatuur ook de e-modulus worden vastgesteld.

4.2. Mechanische eigenschappen

Kleine boorkernen met een diameter van 1 cm en een lengte van slechts enkele cm zijn tegenwoordig ook geschikt voor onderzoek naar sterkte. Met hiervoor ontwikkelde apparatuur wordt de druksterkte en de splijttreksterkte onderzocht. Hoe de mechanische eigenschappen in het bouw materiaal veranderen

naarmate we dichterbij het steenoppervlak komen, kan worden onderzocht met DRMS. Dit betreft een micro-boorsysteem waarbij de weerstand die de boor in het materiaal ondervindt wordt gemeten en nauwkeurig met de locatie in het monster wordt gekoppeld. Enigszins vergelijkbaar kan met mechanische krastesten op locatie ook de hardheid van het steenoppervlak worden onderzocht.

De hardheid van bijvoorbeeld natuursteen kan met niet destructieve technieken op locatie worden onderzocht.

5. MICROCHIPS IN HET BOUWMATERIAAL

In plaats van de opslag van de gegevens van een bouw materiaal in een aparte database kunnen deze data ook worden opgeslagen in het materiaal zelf.

Gezien de lange levensduur van bouwmaterialen gaat het dan in eerste instantie om passieve systemen (RFID-chips) die geen energietoevoer met bv batterijen nodig hebben. RFID chips kunnen gebruikt worden voor sensor systemen en voor dataopslag. Uitlezen gebeurt van buitenaf met een detector.

Sensorsystemen die al bestaan zijn sensoren voor het chloridegehalte in beton. Hiermee wordt gemonitord of de chloride concentratie een bepaalde waarde overschrijdt, zodat het risico op wapeningscorrosie kan optreden. Tevens kunnen sensoren pH (carbonatatie), na, K en temperatuur meten.

De microchips kunnen ook gebruikt worden om de gegevens van het materiaal vast te leggen, zodat ze voorafgaand aan hergebruik uitgelezen kunnen worden. In materialen als beton, asfalt en composiet kan dan de samenstelling en andere relevante gegevens van het materiaal worden vastgelegd. De vraag is natuurlijk wel of de microchips nog functioneren na tientallen jaren in bouwmaterialen.

WWW.SGS.COM/INTRON

ABOUT SGS

SGS is the world's leading inspection, verification, testing and certification company and is recognized as the global benchmark for quality and integrity. With more than 70.000 employees, SGS operates a network of over 1.000 offices and laboratories around the world.

SGS INTRON B.V.

Dr. Nolenslaan 126
P.O. Box 5187
NL-6130 PD Sittard
t +31 (0)46 420 42 04
f +31 (0)46 452 90 60

SGS INTRON B.V.

Venusstraat 2
P.O.Box 267
NL-4100 AG Culemborg
t +31 (0)345 585 170
f +31 (0)345 585 171

SGS NETHERLANDS

Malledijk 18
P.O. Box 200
NL-3200 AE Spijkenisse
t +31 (0)181 693 333
f +31 (0)181 623 566

SGS BELGIUM

SGS House
Noorderlaan 87
B-2030 Antwerpen
t +32 (0)3 545 44 00
f +32 (0)3 545 44 99

WHEN YOU NEED TO BE SURE

