

Problematiek, materialen en vooronderzoek

Versnelde rijping en immobilisatie van baggerspecie (1)

ir. B. Krikke, dr.ir. H.J.H. Brouwers en dr.ir. D.C.M. Augustijn, Universiteit Twente, Faculteit CTW, afdeling Civiele Techniek

dr. A. Honders, Bodem+/Senter Novem

ing. J. van der Plicht, Waterschap Rijn en IJssel

Een groot deel van de baggerspecie in de Nederlandse wateren is verontreinigd. De overheid heeft als doel gesteld minimaal 20% hiervan te verwerken of waar mogelijk nuttig toe te passen. Een mogelijkheid van verwerking is de baggerspecie te hergebruiken als bouwstof, waardoor tevens andere schaarse grondstoffen worden ontzien. Dit sluit aan op het ketendenken: 'niet storten maar nuttig toepassen'. Daarbij wordt bij de verwerking van baggerspecie tot bouwstof bespaard op zowel primaire grondstoffen als op ruimtebeslag van depots.

Aan de Universiteit Twente is onderzoek uitgevoerd om de technische en economische haalbaarheid vast te kunnen stellen van de behandeling van baggerspecie met additieven (cement, kalk, hulpstoffen), zodat onder normale atmosferische omstandigheden een snellere rijping en een als bouwstof toepasbaar product ontstaan. In drie artikelen in achtereenvolgende nummers van Cement wordt hiervan verslaggedaan. In het eerste artikel worden de problematiek en het vooronderzoek beschreven. In deel 2 zullen de droging en rijpingsresultaten van het hoofdexperiment worden behandeld. Deel 3 ten slotte zal ingaan op de uitloging en proctordichtheid van het immobilisaat.



Het totale, landelijke aanbod van baggerspecie in de periode 2002-2011 wordt geschat op bijna 400 miljoen m³. Daarvan is de helft (195 miljoen m³) baggerspecie uit zoetwater [1]. Van deze zoete baggerspecie is circa 75 miljoen m³ zwaar verontreinigd. Verreweg het grootste deel van de specie wordt gebaggerd ten behoeve van onderhoud.

De schone en licht verontreinigde specie kan momenteel worden verspreid op land en in oppervlaktewater. Van de totale hoeveelheid zoete baggerspecie is slechts circa 30% verspreidbaar. De overige baggerspecie moet vanwege verontreinigingen of een gebrek aan ruimte langs de waterwegen worden verwerkt. De bouwstof moet zowel aan milieutechnische

(Bouwstoffenbesluit) en civieltechnische (RAW) eisen voldoen.

Rijping van baggerspecie

De afgelopen jaren heeft Waterschap Rijn en IJssel een grootschalig project afgerond in de Oude IJssel. Eén miljoen kubieke meter baggerspecie is gebaggerd, wat door zandafscheiding ongeveer een kwart aan schoon tot verontreinigd zand opleverde. Om de grote stroom vervuilde baggerspecie te kunnen verwerken tot een als bouwstof toepasbaar product heeft het waterschap verscheidene methodes uitgeprobeerd, zoals landfarming en immobilisatie [2]. De meest gebruikte techniek op dit moment is het rijpingsproces, ook wel extensieve reiniging genoemd. Rijping van baggerspecie is het natuurlijke proces waarbij de baggerspecie in een depot door indrogen en oxidatie overgaat in een compacter, meer luchtdoorlatend materiaal. De baggerspecie verandert hierdoor geleidelijk van een natte substantie in steekvast grond. Deze werkwijze wordt verreweg het meest gevolgd voor de verschillende klassen baggerspecie.

Wanneer de baggerspecie toepasbaar is, hangt af van een aantal factoren. Als eerste moet de baggerspecie de bruikbaarheid van steekvast materiaal hebben. Er is echter ook verdere structuurvorming nodig (rijping). Dit is veelal bij een droge-stof gehalte (%ds) van 50-55%. Verder spelen de concentraties van de verontreiniging een rol. Afhankelijk van de concentraties in de oorspronkelijke specie en de toepassingseisen zijn er verschillende verblijftijden nodig in het depot. Door het rijpingsproces verandert

1 | Baggerwerkzaamheden

Tabel 1 | Resultaten zeefproef (in %ds)

fractie	grootte (μm)	verdeling (%)	cumulatief (%)
lutum/klei	< 2	22,0	100,0
silt/leem	2 – 16	15,0	78,0
	16 – 63	34,0	63,0
	63 – 90	1,1	29,0
	90 – 125	1,3	27,9
zand	125 – 180	2,3	26,6
	180 – 250	3,3	24,3
	250 – 355	4,7	21,0
	355 – 500	4,2	16,3
	500 – 1000	5,4	12,1
grind	1000 – 2000	6,7	6,7
	> 2000	0,0	0,0

de baggerspecie veelal in een Categorie 2 Bouwstof [3]. Door versoepeling van de regelgeving in februari van 2004 komt het tegenwoordig steeds vaker voor dat de immissiewaarden aan de eisen van Categorie 1 voldoen. Het toepassen van gerijpte baggerspecie is tevens afhankelijk van de samenstelling. Gerijpte baggerspecie grotendeels bestaande uit lutum zal hoofdzakelijk worden gebruikt als ophoging, geluidswallen of bermgrond. Bestaat de baggerspecie grotendeels uit zand dan kan het eventueel worden toegepast als wegfundering.

Eerdere onderzoeken

In Nederland zijn al verschillende onderzoeken gedaan naar toevoeging van cement en immobilisatie van verontreinigingen. Veelal hebben deze projecten als doel een *Vormgegeven Bouwstof* te verkrijgen [4]; dit is een bouwstof met een volume per kleinste eenheid van ten minste 50 cm^3 , die onder normale omstandigheden een duurzame vastheid heeft [3]. In Groningen is enkele jaren geleden met behulp van cement een mengsel van klasse 4 baggerspecie en rioolzand verwerkt tot een *Vormgegeven Categorie 1 Bouwstof*. Bij dit proces werd eerst de baggerspecie zes maanden gerijpt, en daarna verwerkt [5, 6]. In dit onderzoek worden de additieven al tijdens de rijping gedoseerd en wordt gestreefd naar een *Niet-Vormgegeven Bouwstof*. In Singapore is onderzoek gedaan

naar toevoeging van baggerspecie in bakstenen en beton [7]. Bij de fabricage van bakstenen gebruikt men ze 30 tot 40% gedroogde 'sludge' in combinatie met klei. Bij beton werd slechts maximaal 10% slib toegevoegd; dit om de druk- en treksterkte te waarborgen en scheuring of vochtabsorptie te voorkomen. In Frankrijk is onderzoek gedaan naar immobilisatie van baggerspecie door toevoeging van cement en vliegias [8]. In Spanje is ditzelfde gedaan met zuiveringsslib [9]. Hier is een mix gemaakt van 25-35% slib in combinatie met 65-75% cement en/of vliegias. De traagheid van de reactie werd opgelost door calciumchloride toe te voegen. De mengsels bereiken echter al gauw een pH van 13 met negatieve gevolgen voor verontreinigingen, zoals verhoging van sulfaatuitloging. Deze effecten zijn verklaarbaar door de grote hoeveelheid cement die werd toegevoegd.

Dit onderzoek zal ingaan op het versneld rijpen door toevoeging van een geringe hoeveelheid additieven onder normale atmosferische omstandigheden. Hierdoor worden grote investeringskosten, een hoog energieverbruik en hoge materiaalkosten vermeden. Tevens wordt verwacht door toevoeging en binding van de additieven zowel een snellere toename van %ds als verminderde uitloging te bewerkstelligen.

Materialen

Gekozen is voor de meest verontreinigde baggerspecie (klasse 4) om zo goed te kunnen beoordelen wat voor uitwerking het additief heeft op de verschillende verontreinigingen. De gebruikte baggerspecie is afkomstig uit stedelijk gebied rondom Arnhem. De verschillende bindmiddelen en additieven die zijn bekeken, zijn cement, kalk en hulpstoffen. Al deze additieven hebben een vochtbindende werking, een uitstekende eigenschap om baggerspecie geschikt te maken voor hergebruik. De korrelopbouw van de

behandelde baggerspecie bepaalt uiteindelijk in welke RAW-categorie de bouwstof kan worden toegepast.

De baggerspecie bevat, bepaald op basis van het gloeiverlies bij $550 \text{ }^\circ\text{C}$, 13,6% m/m ds organische stof. Het gloeiverlies bij $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ is 18,9% m/m ds. De korrelverdeling van de specie is bepaald door een zeefproef, aangevuld met de pipetmethode voor de fracties kleiner dan $63 \mu\text{m}$ [10]. Bij deze proeven worden de fracties gesorteerd op verschillende groottes. In tabel 1 staan de verschillende fracties met daarachter de verdeling in percentage van de droge stof en cumulatieve verdeling. Naar verwachting zullen door de binding met cement grovere korrels worden gevormd, en door deze korrelvorming is de inmenging van een grovere fractie niet nodig. In tabel 2 is de mineralogische samenstelling van de baggerspecie gegeven. Van de geleverde baggerspecie is direct een monster naar een laboratorium gestuurd om daarop een kolomproef uit te voeren volgens NEN 7343 en NVN 7344 [3]. In tabel 3 zijn de waarden voor de concentratie (c_i) van de verschillende eluaten te vinden. Bij deze proef is geen waarde voor de concentratie van chloride gegeven, omdat dit

Tabel 2 | Chemische samenstelling

	symbool	verdeling
silicaat	SiO_2	58,3
aluminiumoxide	Al_2O_3	8,8
ijzeroxide	Fe_2O_3	3,6
calciumoxide	CaO	14,7
magnesiumoxide	MgO	2,6
natriumoxide	Na_2O	1,3
kaliumoxide	K_2O	1,5
titaanoxide	TiO_2	0,5
fosforoxide	P_2O_5	0,3
sulfaat	SO_3	2,2
chloride	Cl^-	0,1
mangaanoxide	MnO_2	0,2
zinkoxide	ZnO	0,09
koperoxide	CuO	0,01
loodoxide	PbO	0,04
rubidiumoxide	Rb_2O	0,01
strontiumoxide	SrO	0,04
zirkoonoxide	ZrO_2	0,03
totaal		96,9%

niet relevant wordt geacht.

Aan de hand van de gevonden concentraties (c_i) uit de kolomproef zijn de emissiewaarden (E_i) berekend [11]. Deze zijn eveneens opgenomen in tabel 3. In de laatste kolom zijn de correctiefactoren (a) gezet. Door vergelijking van E_i met a is, door inkleuring, zichtbaar gemaakt dat bij onbehandelde baggerspecie de concentraties van fluoride, sulfaat en de vier exoten (molybdeen, antimoon, seleen en vanadium) de correctiefactor overschrijden. De emissiewaarden van de onbehandelde baggerspecie zijn nog vrij laag, maar tijdens de rijping wordt de organische stof geoxideerd, wat leidt tot grotere emissiewaarden.

Vooronderzoek

Voorafgaand aan de hoofdexperimenten zijn er verschillende kleine experimenten gedaan om te bepalen welke uitgangspunten de uiteindelijke opzet moet hebben. Zo is gekeken naar welke hoeveelheid additief de beste resultaten geeft en in welke klimaatomstandigheden het proces het meest de werkelijkheid benadert. Bij beide experimenten zijn twee verschillende beginwaarden van drogestofgehalte toegepast. Uit literatuuronderzoek [12, 13] blijkt dat 0,5-1% ongebluste kalk voldoende is voor de beoogde verbetering. In dit beknopte vooronderzoek zijn echter alleen nog cement en een hulpstof gebruikt.

De marge van de hoeveelheid van de verschillende additieven is vooraf met een korte economische berekening bepaald. De hoeveelheden cement zullen daarom tussen de 5 en de 15% van de massa van de baggerspecie liggen (ds + water). De codering van het eerste experiment is zo gekozen dat snel duidelijk is om welk mengsel het gaat (tabel 4). Het eerste getal geeft aan welk drogestofgehalte de baggerspecie inclusief toegevoegd water (%ds BS + W) voor inmenging heeft. Het tweede getal is de hoeveelheid cement (CEM)

in percentage van de baggerspecie (BS) en water (W). Bij de monsters 27/X is voorafgaand aan het experiment water toegevoegd aan de baggerspecie, zodat een drogestofgehalte van ongeveer 27% werd verkregen. Elke verhouding is in drievoud opgezet. In tabel 4 zijn de massa's van de monsters weergegeven zoals is ingemengd. In de laatste kolom staan de drogestofgehalten van de mengsels (%ds M) na inmenging van cement.

Bij deze eerste proeven zijn alle monsters in open plastic bakjes in het lab neergezet. In het lab heerst een relatieve luchtvochtigheid van (slechts) 25% bij een (hoge) temperatuur van 23 °C. In tabel 5 is het %mv (massaverlies) van de verschillende monsters in de loop van de tijd weergegeven. De spreiding van het %mv van de gemiddelde waarden van de in drievoud opgezette monsters is na 21 dagen maximaal $\pm 0,2\%$. In figuur 2 zijn deze waarden grafisch uitgezet. Men kan zien dat de verdamping bij monsters met gelijk drogestofgehalte ongeveer even groot is. Eveneens is te zien dat van de monsters met een kleiner drogestofgehalte in de eerste twee weken meer water verdamppt, rond de 3% mv per dag tegenover 2,5% mv per dag bij de monsters met 36% ds. In de laatste week lopen de percentages weer naar

Tabel 3 | Concentraties vóór behandeling (c_i), emissiewaarden eluaat (E_i) en correctiefactor a volgens het Bouwstoffenbesluit [3]

eluaat	symbool	c_i ($\mu\text{g/l}$)	E_i (mg/kg)	a
fluoride	F	370	3,7	3,0
chloride	Cl	-	-	51
bromide	Br	50	0,5	2,6
sulfaat	SO ₄	220000	2200	354
arseen	As	17	0,17	0,7
kwik	Hg	0,03	0,0003	0,016
cadmium	Cd	0,1	0,001	0,021
chromium	Cr	2	0,02	0,09
koper	Cu	2	0,02	0,25
nikkel	Ni	5	0,05	0,63
lood	Pb	5	0,05	0,8
zink	Zn	21	0,21	2
molybdeen	Mo	8000	80	0,45
antimoon	Sb	500	5	0,06
seleen	Se	1000	10	0,09
vanadium	V	7000	70	1,2

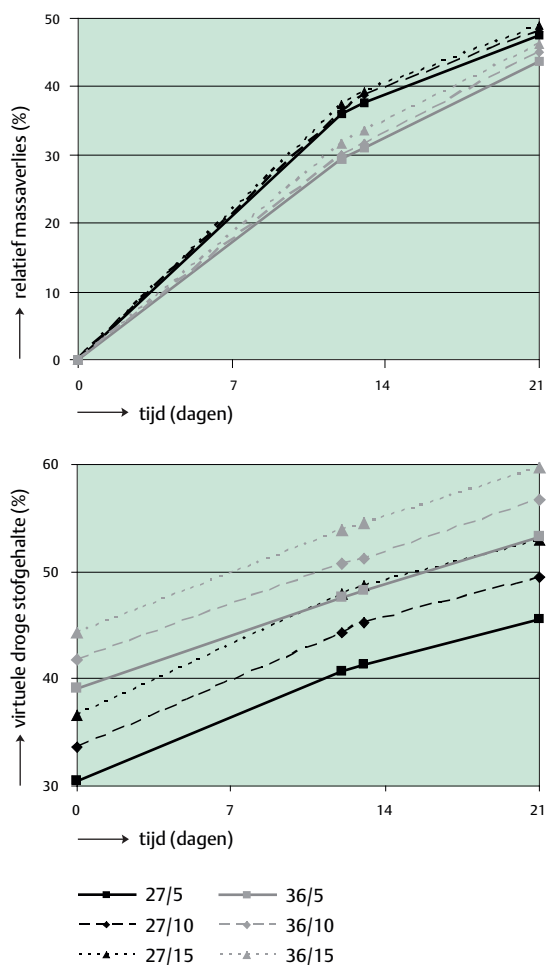
elkaar toe, met een verdampingsnelheid van 1,3% mv per dag voor de monsters met 27% ds en 1,6% mv per dag voor de andere monsters. In de eerste weken verdampen de monsters met een hoog watergehalte bij de start van het experiment sneller. In de loop van het experiment wordt het %ds van deze monsters steeds hoger en gaat de verdampingssnelheid van het water omlaag. Dit gebeurt bij de monsters met minder water ook, echter in mindere mate, omdat de beginhoeveelheid water een stuk lager ligt. Het virtuele drogestofgehalte wordt verkregen aan de hand van

Tabel 4 | Samenstelling mengsels (in grammen)

codering	%ds BS+W	%CEM	BS	W	CEM	M	%ds M
27/5		5%	375	125	25	525	30,5%
27/10	27%	10%	375	125	50	550	33,6%
27/15		15%	375	125	75	575	36,5%
36/5		5%	500	0	25	525	39,0%
36/10	36%	10%	500	0	50	550	41,8%
36/15		15%	500	0	75	575	44,3%

Tabel 5 | Hoeveelheden (in grammen) en relatief massaverlies water (in %) versus de tijd (in dagen)

codering	BS	W	CEM	$t = 0$	$t = 12$	$t = 13$	$t = 21$
27/5	500	365	25	0,0%	35,9%	37,7%	47,5%
27/10	500	365	50	0,0%	36,4%	38,6%	48,1%
27/15	500	365	75	0,0%	37,5%	39,3%	48,8%
36/5	500	320	25	0,0%	29,3%	31,2%	43,6%
36/10	500	320	50	0,0%	30,0%	31,6%	45,2%
36/15	500	320	75	0,0%	31,7%	33,6%	46,1%



Tabel 6 | Virtueel droge-stofgehalte (in %) versus de tijd (in dagen)

codering	t = 0	t = 12	t = 13	t = 21	toename
27/5	30,5	40,6	41,3	45,5	15,0
27/10	33,6	44,3	45,2	49,4	15,8
27/15	36,5	47,9	48,7	52,9	16,4
36/5	39,0	47,5	48,2	53,2	14,1
36/10	41,8	50,7	51,2	56,7	14,9
36/15	44,3	53,9	54,5	59,6	15,3

Tabel 7 | Werkelijk droge-stofgehalte (in %) versus de tijd (in dagen)

codering	t = 0	t = 12	t = 13	t = 21	toename
27/5	30,5	41,5	42,3	46,7	16,2
27/10	33,6	46,2	47,4	52,9	19,3
27/15	36,5	51,3	52,6	59,6	23,1
36/5	39,0	49,7	50,5	56,5	17,5
36/10	41,8	55,4	56,5	63,8	22,0
36/15	44,3	61,5	62,7	71,1	26,8

2 | Relatief massaverlies water versus de tijd

het gewogen massaverlies water en de hoeveelheid ds aan het begin van het experiment [11]. Dit is in tabel 6 en figuur 3 weergegeven. Tabel en figuur laten zien dat het virtuele %ds bij alle monsters met zelfde begin ds een ongeveer gelijkmatige toename hebben. Er zijn echter wel kleine systemati-

3 | Virtueel droge-stofgehalte versus de tijd

sche verschillen waarneembaar bij de verschillende hoeveelheden additief. Deze kleine verschillen zijn verklaarbaar met het feit dat in een met cement gemengd monster korrelvorming ontstaat [11]. Dit verhoogt de luchtdoorlating, waardoor de verdamping van water wordt bevorderd.

Geconcludeerd kan worden dat met meer additief de verdampingssnelheid toeneemt en daarmee ook een licht snellere stijging van het virtuele %ds zichtbaar is. Het droge-stofgehalte is ook bepaald door droging bij 105 °C (werkelijke ds). Dan komen heel andere waarden naar voren (tabel 7). De waarden bij $t = 0$ zijn berekend aan de hand van de gegevens zoals ingemengd.

Door de toevoeging van 5% additief stijgt het %ds in eerste instantie met 3 procentpunten (zie $t = 0$ in tabellen 6 en 7). Door de reactie van het additief met het aanwezige water stijgt het droge-stofgehalte na 21 dagen met 1 tot 12 procentpunt ($t = 21$ in tabel 6 versus tabel 7). Het toegevoegde cement reageert met water. Het chemisch gebonden water (cgw) verdampt niet bij droging met 105 °C gedurende 24 uur [14]. Dit chemisch gebonden water verklaart waarom bij droging een hoger %ds wordt gevonden dan op basis van het waterverlies wordt gemeten. Vandaar dat dit laatste hier het 'virtuele %ds' is genoemd.

In figuur 4 zijn de werkelijk gemeten droge-stofgehalten van de monsters uitgezet. Bij de monsters 27/X werden na afloop van de proef brokken van uitgehard cement op de bodem van de bakjes gevonden. Dit wordt veroorzaakt door een te hoog watergehalte (te lage ds) waardoor het cement naar de bodem is gespoeld, en daar uitsluitend met het water is gereageerd in plaats van zich te binden aan de baggerspecie. Tevens was bij de monsters met grotere hoeveelheden cement schimmel gevormd. Door de toename van de pH door toe-

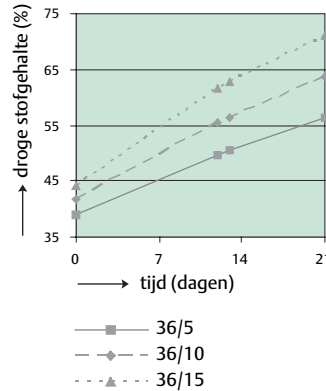
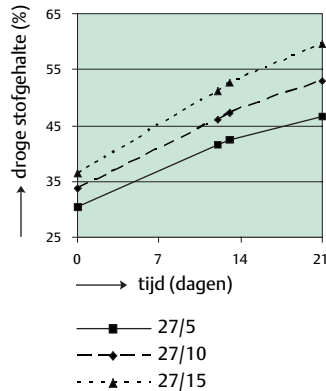
voeging van cement en de warmteontwikkeling, zijn er in de baggerspecie ideale omstandigheden voor schimmelgroei gecreëerd. Bij deze eerste proeven waren alle monsters open in het lab neergezet (met lage RV en hoge temperatuur), resulterend in een zeer snel drogingproces. Om het effect van het cement op het rijpingsproces beter te kunnen volgen en om de realiteit beter na te bootsen is een aantal monsters in een bak met water gezet en afgedicht door middel van plastic met flappen om fluctuaties van buiten te kunnen compenseren. Hierdoor werd een relatieve vochtigheid van rond de 70% gecreëerd. Diverse rijpingsproeven leerden dat de droging nu langzamer en in een voor de praktijk realistischer tempo verliepen. Voor het hoofdexperiment (zie volgend artikel) wordt daarom ook van de laatste opzet uitgegaan met een relatieve vochtigheid van circa 70%.

Dankwoord

De auteurs danken de UT-medewerkers ing. G.H. Snellink en H.M. Menkehorst voor hun technische assistentie en ondersteuning van dit onderzoek. Dit onderzoek is financieel ondersteund door de Cornelis Lely Stichting, Delta Marine Consultants, Betoncentrale Twenthe, Rokramix, Jaartsveld Groen en Milieu, Bodem+/Senter Novem en de Bouwdienst Rijkswaterstaat. ■

Referenties

1. TJS, 2001, Basisdocument Tienjarensceenario Waterbodems. Provinciale werkgroepen, Advies en Kenniscentrum Waterbodems; AKWA rapportnummer 01.014; Utrecht, december 2001.
2. Waterschap Rijn en IJssel, Waterbodems, milieuprobleem onder de waterspiegel. Unit BJCE; Doetinchem, september 1999.
3. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Bouwstoffenbe-



- sluit. 1995-1999; o.a. Staatsblad 1995.
- Centrum voor Immobilisatie, Bouwstoffen door immobilisatie. CUR-rapport 2002-5, Stichting CUR, Gouda, september 2002.
 - Bos, S.C., H.J. Delemarre, J.W. Frénay en L. Feenstra, Proefproject wil onbekendheid met koude immobilisatie doorbreken. *Land en Water*, 2003 nr. 12.
 - Frénay, J.W., L. Feenstra, S.C. Bos en S. Drenth, Proefproject

- toont inzetbaarheid koude immobilisatie aan (2). *Land en Water*, 2004 nr. 1/2.
- Tay, J.H., Constructive approach for sludge management, New resource from sludge. Division of Environmental & Water Resource of Engineering, School of Civil & Environmental Engineering, Nanyang Technical University, Singapore, 2002.
 - Levacher, D., Sludge treated by cements and additives; Characterisation and treatment of

sediments. 12th International Harbour Congress, Antwerpen, september 1999.

- Valls, S., Stabilisation and solidification of sewage sludges with Portland cement. Cement and Concrete Research, Barcelona, juli 2000.
- Rationalisatie en Automatisering in de Grond-, Water- en Wegenbouw (RAW). CROW, Standaard 2000, Ede.
- Krikke, B., Onderzoek naar een nieuwe behandelingsmethode van baggerspecie. Universiteit Twente, Afstudeerverslag Civiele Techniek, Enschede, 2005.
- Lhoist Nederland NV., Verbetering uiterwaardenklei met kalk. Breda, september 2004.
- Kalk, 2004, www.kalk.nl.
- Reinhardt, H.W., Beton als constructiemateriaal, eigenschappen en duurzaamheid. Delftse Universitaire Pers, Delft, 1998.

4 | Werkelijk droge-stofgehalte versus de tijd

HET BETON-INFORMATIECENTRUM

ALLE ANTWOORDEN VOOR DE PROFESSIONAL

Het Beton-Informatiecentrum van ENCI staat open voor iedere professional die zich bezighoudt met cement en beton. Het Beton-Informatiecentrum is gevestigd in het Cementum in 's-Hertogenbosch. Het beschikt over een grote nationale en internationale collectie technische vakinformatie op het gebied van cement- en betontoepassingen. Deze actuele collectie is op een professionele manier ontsloten, waardoor snel en efficiënt een antwoord op uw vragen kan worden gegeven.

U kunt het Beton-Informatiecentrum bereiken via:
de Beton-Info-Fax: (073) 640 12 84
e-mail: betoninfo@enci.nl
telefoon: (073) 640 12 87

Veel informatie kunt u ook vinden op www.enci.nl



HEIDELBERGCEMENTGroup

ENCI, MEER DAN CEMENT ALLEEN