

Onderwaterbeton in vloerconstructies
de stand van zaken 1997

Ontwerp-aspecten Vorbereidingsfase Uitvoering

Stubeco studiecél C06 'Onderwaterbeton'
Utrecht juni 1997

De Studievereniging Uitvoering Betonconstructies Stubeco en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in de publicatie vervatte gegevens. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten, dat zich toch onjuistheden in deze publicatie kunnen bevinden.

Degene die van deze publicatie gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico.

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

Gehele of gedeeltelijke overname van de inhoud is alleen toegestaan met schriftelijke toestemming van het Stubeco-bestuur.

INHOUDSOPGAVE

		Blz.
	VOORWOORD	4
	SAMENVATTING EN CONCLUSIE	5
Hoofdstuk	1 INLEIDING	6
Hoofdstuk	2 ONTWERP	
	2.1 <u>Constructieve aspecten</u>	7
	2.1.1 Functie van onderwaterbeton	
	2.1.2 Onderwaterbeton en zijn constructieve omgeving	
	2.2 <u>Te definiëren prestatie-eisen</u>	9
	2.2.1 Ondergrond	
	2.2.2 Toepassing trekelementen	
	2.2.3 Verhardings- en eindsterkte	
	2.2.4 Duurzaamheid	
	2.2.5 Maatkwaliteit	
	2.2.6 Waterdichtheid	
Hoofdstuk	3 VOORBEREIDING VAN DE UITVOERING	
	3.1 <u>Aanvullende uitvoeringsvoorwaarden</u>	15
	3.1.1 Bouwput	
	3.1.2 Ondergrond	
	3.1.3 Funderingselementen	
	3.1.4 Betonmengselsamenstelling (zie ook §3.3)	
	3.2 <u>Keuze van de stortmethode</u>	18
	3.2.1 Contractormethode	
	3.2.2 Ventielmethode	
	3.2.3 Dobbermethoden	
	3.2.4 Colloïdaal beton	
	3.2.5 Overige methoden	
	3.3 <u>Betonmengselsamenstelling</u> (zie ook §3.1.4)	21
	3.3.1 Ontwerpcriteria	
	3.3.2 Uitvoeringsvoorwaarden aan de betonspecie	
	3.3.3 Geschiktheidsonderzoek	

	3.4	<u>Overige overwegingen</u>	23
	3.4.1	Aanvullende technieken	
	3.4.2	Hellende vloervelden	
	3.4.3	Wapening onder water	
	3.4.4	Risico's en schadebeelden	
	3.5	<u>Inpassing in de kwaliteitszorg</u>	25
Hoofdstuk	4	UITVOERINGSFASE	
	4.1	<u>Vorbereidende activiteiten</u>	27
	4.1.1	Prepareren van de bouwput	
	4.1.2	Prepareren van de ondergrond	
	4.1.3	Reinigen van funderingselementen	
	4.2	<u>Procescontrole van het stortproces</u>	28
	4.2.1	Controles bij het prepareren van de stortlocatie	
	4.2.2	Controles in het leveringstraject	
	4.2.3	Controles tijdens verwerken van betonspecie	
	4.2.4	Controles na het stortproces	
	4.3	<u>Afwikkelingsactiviteiten</u>	29
	5	NIEUWE ONTWIKKELINGEN	
	5.1	<u>Mengselsamenstellingen</u>	30
	5.2	<u>Werkmethoden</u>	
	5.3	<u>Overig</u>	31
		BIJLAGEN	
	A	Tabel samenvatting aspecten onderwaterbeton	
	B	Voorbeeld LKO/LKE-lijst bouwputten met onderwaterbeton	
	C	Voorbeeld risico-analyse bouwputten met onderwaterbeton	
	D	Voorbeeld risico-analyse stortproces onderwaterbeton	

VOORWOORD

Medio '93 is vanuit de coördinatiecommissie (KOKO) van de Studievereniging Betonconstructies (STUBECO) het initiatief ontstaan, om de gestaakte werkzaamheden van de gelijknamige eerdere studiecel voort te zetten.

De werkzaamheden van de studiecel hebben zich sindsdien afgespeeld in een twee- tot driemaandelijksse cyclus van samenspraak, lezing van het besprokene en (soms forse) discussie. Incidenteel incompleet door wisselende prioriteiten is vanuit een vaste kern in een relatief laag doch gestaag tempo gewerkt aan de voortgang van het eindrapport.

Als resultaat is er naar gestreefd om de meeste informatie over onderwaterbeton in deze rapportage op te nemen of terugvindbaar te maken.

De studiecel is als volgt samengesteld:

Voorzitter	L. Leeuw (Bouwdienst RWS, uitvoering)
Lid	P.C. Prins (HBW, kwaliteitstechnologie)
Lid	J.J.M. de Graaff (NS Railinfrabeheer)
Lid	T. Kuppens (Welling Didam, bedrijfsleider)
Secretaris	J. Haarman (HBW, kwaliteitstechnologie)
Ad hoc lid	H. Leenknecht (Bouwdienst RWS, uitvoering / KOKO-vertegenwoordiging)
Ad hoc lid	L. de Jong (VHB, uitvoering)
Ad hoc lid	E. Freriks (VHB, uitvoering)
Ad hoc lid	M. Woering (voorheen Bouwdienst RWS, ontwerp)

SAMENVATTING EN CONCLUSIE

Het realiseren van een vloervormige onderwaterbetonconstructie kenmerkt zich onder meer door het feit dat men, duikers nagelaten, niet ziet wat men maakt. Bovendien zou onderbreking van het stortproces de kwaliteit van de onderwaterbetonconstructie niet altijd ten goede komen.

Het zijn onder andere deze facetten die grondige overdenkingen van tevoren noodzakelijk maken.

De ontwerper zal zich rekenschap moeten geven van de omgeving waarin de onderwaterbetonconstructie zich zal bevinden in al zijn bestaansfasen, alsmede de functie die moet worden vervuld. Het resultaat hiervan zal de ondubbelzinnige formulering moeten zijn van enkele eisen waaraan de onderwaterbetonconstructie moet voldoen.

De voorbereiders van het stortproces zullen binnen deze eisen nadere keuzen moeten maken en het stortproces stap voor stap in gedachten moeten doorlopen. Ook hier zal het resultaat bestaan uit een aantal voorwaarden.

De uitvoerenden van het stortproces zullen zich na het voorgaande en enkele voorbereidende activiteiten volledig kunnen richten op het stortproces en de bijbehorende controles volgens plan.

Relevante aspecten uit de bovenstaande bouwfasen zijn samengevat op bijlage A.

Geconcludeerd kan worden dat voor onderwaterbeton nog sterker dan voor bovengrondse bouwprocessen geldt dat een gedegen voorbereiding leidt tot het gewenste resultaat. Dit rapport hoopt hierin te kunnen bijdragen.

1 **INLEIDING**

De studiecél "Onderwaterbeton" heeft zich als doel gesteld om de huidige praktische kennis van en ervaring met onderwaterbeton samenvattend vast te leggen. Dit geldt ook voor enkele nieuwe ontwikkelingen.

Hoewel onderwaterbeton in meerdere toepassingen voorkomt heeft de studiecél zich beperkt tot de toepassing van onderwaterbeton als (hulp)vloeren.

Leidraad tijdens de studie zijn de verschillende achtereenvolgende hoofdfasen in het bouwproces, waarin het aspect 'onderwaterbeton' naar voren komt; ontwerp, voorbereiding en uitvoering. Het accent is hierbij doelbewust gelegd op de voorbereidings- en uitvoeringsfase, vanwege het 'praktijkgevoelige' karakter van onderwaterbeton. Niets ten nadele van ontwerp-activiteiten in deze is het risico voor de pretentie als ontwerp-leidraad vermeden. Vanwege de sterke samenhang tussen deze bouwfases zijn in hoofdstuk 2 wel de aspecten vertegenwoordigd, die in de ontwerpfase van belang zijn en tot keuzen leiden voor de later uitvoeringsfase.

In hoofdstuk 3 zijn de aanvullende voorwaarden vertegenwoordigd, die worden gesteld om het ontwerp uitvoerbaar te maken. Deze voorwaarden grijpen sterk in bij de keuzen voor stortmethode en mengselsamenstelling.

Hoofdstuk 4 gaat in op de uitvoerings-activiteiten en controles die voor en tijdens het stortproces de eindkwaliteit van onderwaterbeton als vloerconstructie bepalen.

2 **ONTWERP**

In dit hoofdstuk wordt beoogd aan te geven welke aspecten voor de constructeur dienen te worden meegewogen in de uiteindelijke dimensionering van onderwaterbeton als constructieonderdeel. Hiertoe behoren zeker ook zaken die in de fase van uitvoering het eindresultaat kunnen bepalen. Anders gezegd moeten ontwerpfilosofie en uitvoeringstechniek voldoende op elkaar worden afgestemd.

2.1 **Constructieve aspecten**

2.1.1 **Functie van onderwaterbeton**

Als eerste kan het onderscheid tussen tijdelijk of definitief worden gemaakt. Anders gezegd zou onderscheiden moeten worden of onderwaterbeton een functie heeft als hulpconstructie of een definitieve functie in het gebruiksstadium. Van de basiseisen sterkte (veiligheid) en duurzaamheid kan de laatstgenoemde bij tijdelijke constructies vervallen. Hiermee wordt meteen het arbitraire karakter van het onderscheid aangehaald. Wanneer men spreekt van tijdelijk gaat het meestal om enkele jaren, afhankelijk van de situatie. Voor deze periode moet dan wel voldoende duurzaamheid bestaan.

Veelal zullen bij definitieve vloeren nog afwegingen plaatsvinden over het wel of niet aanbrengen van wapening of watervoerend zijn. Aan vlakheid en waterdichtheid worden bij definitieve vloeren vaak strengere eisen gesteld. Met betrekking tot de beheersing van waterdichtheid is de toepassing van scheurinleiders bekend. De in meer of mindere mate voorziene watervoerendheid (scheuren) kan worden ondervangen door drainage, injectie of anderszins.

In geval van een tijdelijke functie speelt de duurzaamheid een kleinere rol. Bij de sterkte-eis zal dit zeker niet altijd het geval zijn. In bouwputten heeft de onderwaterbetonvloer meestal een stempelfunctie en moet zij de opwaartse druk van grondwater opvangen. Vaak verkeert een onderwaterbetonvloer met een definitieve functie ook eerst in een tijdelijke fase, die echter in veel gevallen maatgevend blijkt voor de dimensionering.

Het komt voor dat de sterkte-eis ondergeschikt is aan andere eisen. Hiervan is sprake bijvoorbeeld bij onderwaterbeton als gewichtsvloer, als waterafsluitende laag, als waterscheidende laag (milieutechniek bij slib of veenlagen) of als bodembescherming. Ook kan het voorkomen dat de belangrijkste eigenschap de vlakheid of waterdichtheid is.

De meest voorkomende verschijningsvormen van onderwaterbeton zijn te rangschikken volgens **tabel 2.1**.

Zoals in de inleiding reeds vermeld heeft onderwaterbeton, zoals dit wordt toegepast in diepwanden, buispaalvullingen en andere funderingstechnieken, een geheel eigen functie en vallen deze toepassingen buiten het kader van deze studie.

Functie onderwaterbetonvloer	Duurzaamheidsbelang	Sterktebelang	Wapening
Bouwputten tijdelijk	Laag	(Relatief) hoog	Soms
Bouwputten definitief (constructief)	Hoog	Hoog	Niet ongebruikelijk
Waterafsluiting	Hoog	Lager	Mogelijk
Scheiding van lagen	Hoog	Lager	Mogelijk
Bodembescherming	Hoog	Lager	Niet gebruikelijk
Gewichtsvloer	Laag	Laag	Niet gebruikelijk

Tabel 2.1. Functies van onderwaterbeton

2.1.2 Onderwaterbeton en zijn constructieve omgeving

De constructeur dient zich rekenschap te geven van een aantal zaken, die van belang kunnen zijn bij het ontwerp van onderwaterbeton in vloerconstructies;

Grondkerende constructies, waartussen een onderwaterbetonvloer komt, kunnen onderhevig zijn aan gefaseerde of *wisselende belastingen* (bijvoorbeeld bij getijden). Dit kan bij de aansluiting van onderwaterbeton en grondkerende constructie leiden tot lekkages ofwel een detaillering waarbij onderwaterbeton en damwand met elkaar zijn verbonden (bijvoorbeeld stift-ankers).

Tijdens verharding (maar ook bij een drooggezet bouwdoek) zal een onderwaterbetonvloer van enige omvang c.q. lengte onderhevig zijn aan *thermische krimp- en uitzettingsverschijnselen*, die kunnen leiden tot *scheurvorming*. Dilateren van de onderwaterbetonvloer (naast bijvoorbeeld de bovenliggende constructievloer) kan dan constructief noodzakelijk zijn. Bedacht moet worden dat de uitvoeringstechniek hiertoe het gewenste doel zal moeten opleveren. Scheurinleiders in de vorm van een speciale wapeningskorf zijn bijvoorbeeld qua uitvoering niet altijd wenselijk, omdat zij tijdens het stortproces meer problemen opleveren dan voorkomen ná het stort. In de praktijk wordt dilatatie van onderwaterbeton dan ook niet uitgevoerd om temperatuurtechnische redenen, maar hooguit in geval van specifieke samenwerking tussen onderwaterbeton en constructieve vloer in de gebruiksfase.

Een gebruikelijk alternatief is het aanbrengen van zaagsneden direct na droogvallen. Afhankelijk van de lay-out van de bouwput en dikte van het onderwaterbeton worden dan zaagsneden tot ca. 40% van de vloerdikte aangebracht op een onderlinge afstand van ofwel 1½ à 2½ keer de *breedte* van de bouwput, ofwel ter plaatse van dilataties in de latere constructievloer. Voorwaarde blijft in elk geval de beheersbaarheid van lekkage.

Eventuele scheuren dienen wel beheersbaar te blijven door draineren, injecteren of overige. Deze afweging geldt eveneens voor compartimentering door middel van stalen damwanden, dat alleen in geval van een bepaalde bouwcyclus of -planning zal worden overwogen. Een compartimenteringsscherm is immers een potentieel lek. In de winterperiode noopt overmatige krimp bij de schermen tot extra afstroomvoorzieningen.

Van belang bij thermische uitzetting in de gebruiksfase kan tevens een *drainagelaag* tussen onderwaterbeton en een latere constructievloer zijn. De constructievloer kan nu, in mindere mate gehinderd, aan de onderzijde vervormen, afhankelijk van bijvoorbeeld in de vloer stekende palen en profiel van de bouwputwand. Een drainagelaag impliceert geen extra waterdruk tussen onderwaterbeton en constructievloer, omdat die in principe altijd tussen beide aanwezig is. De drainagelaag heeft, behalve drainage, ook een functie als uitvlaklaag. Beide komen de uitvoerbaarheid en daarmee de uiteindelijke waterdichtheid van de constructievloer ten goede.

Sterk afhankelijk van het resultaat in de praktijk is de samenwerking tussen palen of andere *trekelementen* en het onderwaterbeton. Paalhoogte en onderlinge paalafstand, maar vooral de werkelijk haalbare praktijktoleranties vormen hierbij belangrijke parameters voor de constructeur.

Hoewel niet veelvuldig voorkomend kunnen sommige ontwerpparameters als bijvoorbeeld waterspanning en deformatie van de onderwaterbetonconstructie na verharding in het werk worden getoetst aan de aannames.

2.2 Te definiëren prestatie-eisen

Bij het definiëren van prestatie-eisen zal de ontwerper zoeken naar kwantificering van functionele eisen als bijvoorbeeld sterkte en duurzaamheid. Bij niet voldoen aan deze eisen zal het functioneren van de onderwaterbetonconstructie gevaar lopen of kan zelfs sprake zijn van calamiteiten. Bedacht moet worden dat de scheidslijn hiertussen geen scherpe *hoeft* te zijn. Als voorbeeld zal een verstoring in het stortproces, een kleine 'calamiteit', kunnen leiden tot overmatige lekkage door een gebrekkige samenhang in de betonspecie. De lekkage is op zichzelf een calamiteit maar hoeft niet tot bezwijken te leiden.

2.2.1 **Ondergrond**

Qua ondergrond kunnen naast het fenomeen slib eisen worden geformuleerd met betrekking tot de ontgravingsdiepte en de ontgravingsmethode. Beide in relatie tot de aanwezige grondslag. Voor de controle op de kwaliteit van de ondergrond worden doorgaans duikers ingezet.

Slib mag zich niet op de bodem of bij de aansluiting op damwandprofielen en trekelementen bevinden vlak voor het stort. In dat geval bestaat namelijk gevaar voor insluiting in en/of vermenging met het onderwaterbeton. Hiertoe wordt vaak het zogenaamde slibzuigen voorgeschreven in verschillende fasen (bijvoorbeeld tijdens en na ontgraven, in ieder geval vlak voor en tijdens storten). Omdat slib of zwevende delen altijd aanwezig zijn is het zinvol om 'slib' te definiëren. Bij een soortelijke massa < 1.05 kg/l spreekt men nog van 'dik water', tussen 1.05 en 1.10 kg/l is de substantie yoghurt-achtig en bij > 1.20 kg/l heeft slib een vaste 'aangekoekte' vorm.

In principe streeft men naar 100% slibvrij. In de praktijk dient een criterium tussen aannemer en opdrachtgever met grote zorgvuldigheid te worden afgewogen en overeengekomen, geënt op de situatie. Verder moeten ook afspraken worden vastgelegd over de absoluut maximale soortelijke massa en de frequentie van de monsternamen.

De samenhang van slappe bodemlagen kan worden bepaald met de Vane-proef. Dit is een meetmethode waarmee op iedere diepte het risico voor 'squeezing' (het onderuitpersen van een deel van veenlagen onder het gewicht van het zand en de nog plastische onderwaterbeton) kan worden bepaald, op basis van de weerstand van een propeller. De visuele beoordeling van steekmonsters speelt hierin evenzeer een belangrijke rol.

De grondslag is van belang in verband met de haalbaarheid van tolerantie-eisen van het peil onderkant-onderwaterbeton. Veenhoudende grond wil men het liefst kwijt, maar als dit niet mogelijk is wordt vaak een zuiveringslaag van zand opgebracht. De laagdikte van het zand wordt dan bepaald door het gevaar voor 'squeezing'. Verder dient het mogelijke optreden van zettingen van de ondergrond, onder het gewicht van de betonspecie in de verhardingsfase, te worden beschouwd. Grondmechanische adviezen zijn in deze gevallen op hun plaats. Het komt ook voor dat een laag onderwaterbeton zelf als aanvul- of zuiveringslaag wordt toegepast.

2.2.2 Toepassing trekelementen

Trekelementen worden vaak in bouwputten toegepast om de opwaartse kracht van grondwater te keren. Er zijn verschillende toepassingen mogelijk, die in alle gevallen bij voorkeur ná ontgraven worden aangebracht. Ontgraven wordt immers gecompliceerder *tussen* trekelementen (die tot in het onderwaterbeton moeten reiken), waardoor schaderisico's worden vergroot.

Afhankelijk van de situatie (belasting, bouwputgrootte vs. bijvoorbeeld materieelmobilisatie e.d.) kunnen worden toegepast groutankers, prefab betonpalen of staalprofielen. De paalkoppen van prefab betonpalen worden ten behoeve van hun krachtsoverdracht in de onderwaterbetonvloer gestraald, gebouchardeerd en/of voorzien van ribbels. Zoals gesteld in §2.1.2 bestaan over de hoogte en type van het oppervlak waar deze krachtsoverdracht plaatsvindt enkele overwegingen mede in relatie tot de heitoleranties van de palen (extra ribbels of overhoogte, uniforme ribbels).

Haalbaar voor de paalpositie in horizontaal vlak zijn 5 à 10 centimeter, voor de paalhoogte een verticale tolerantie van enkele centimeters, afhankelijk van het paalsysteem en de uitvoeringswijze. Het laatste is van belang voor het contactoppervlak paal-onderwaterbeton. De lengte van dit oppervlak, gestraald of voorzien van ribbelprofielen of dergelijke moet zeker niet te krap worden gedimensioneerd. De meerkosten hiervan zijn verwaarloosbaar en wegen niet op tegen de benodigde corrigerende maatregelen bij een te hoog of te diep geslagen paal.

De uiteindelijke keuze dient door de constructeur te worden onderbouwd, met het oog op het bezwijkmechanisme (schuifspanning in de paal of in het onderwaterbeton, ribbelgrootte). Het latere 'koppensnellen' geschiedt in geval van constructieve noodzaak voor vervlechting in de constructievloer.

Staalprofielen hebben het nadeel van een groter gevaar voor slibinsluitingen, omdat slib tussen flenzen makkelijker wordt ingesloten én moeilijker te verwijderen is (dit geldt overigens ook voor bouwputhoeken, gevormd door damwandprofielen). De betonvulling tussen de flenzen gaat moeizamer.

Omdat ook de aanhechting met het staalvlak kleiner is, zijn opgelaste nokken en extra wapening in verband met ponswerking noodzakelijk. Staalprofielen worden ook toegepast in combinatie met groutmortel (bijvoorbeeld MortelVerdringings-palen). De combinatie met grout is ook bekend bij prefab-betonpalen (Vibro-Combinatiepalen) en stalen boorpalen.

De keuze van het toe te passen trekelement hangt samen met de specifieke situatie. Bij grotere lengtes kiest men al gauw voor MV-palen, die bovendien overigens net als VC-palen, een grote trekkracht kunnen genereren door het in de grond gevormde groutlichaam. De grotere lengte en het staal veroorzaken wel een grotere vervorming bij MV-palen. Het voordeel van VC-palen (prefab-betonpaal in een geheide casing ingebracht) is, dat na aanbrengen een gaaf en ongescheurd trekelement aanwezig is in tegenstelling tot geheide betonpalen.

Bij situaties met beperkte werkhoogte, ongewenst zijn van (geluids)trillingen en/of fasering met latere ontgraving, bieden stalen boorpalen en/of groutinjectie-palen uitkomst. Bij stalen boorpalen is echter sprake van een verminderde samenwerking van staal en grout door het (normaliter) niet toepassen van nokken. Er bestaan ook 'inwendige' systemen waarbij de stalen buis wordt geheid door een valgewicht op een grindprop onderin de buis.

2.2.3 Verhardings- en eindsterkte

De benodigde *eindsterkte* van de onderwaterbetonconstructie wordt door de constructeur bepaald. Meestal gaat het om sterkteklasse B25 of B35; B45 komt ook voor.

Bij de reguliere productiecontrole op de druksterkte (de karakteristieke sterkte van 12 kubussen, 28 dagen verhard bij 20°C) dient te worden bedacht, dat het verschil tussen de sterkte in het werk en het laboratorium anders ligt dan bij normale constructiebeton. Niet alleen is nu immers de verhardingstemperatuur anders, ook vindt er geen verdichting plaats, anders dan door de hydrostatische druk op de betonmassa. Behalve verpompbaarheid is dit ook een reden voor levering in consistentiegebied 4 of eventueel 3. Voor de verhardingssterkte, de in het werk ontwikkelde sterkte op enig moment, dient eveneens met dit grotere verschil rekening te worden gehouden.

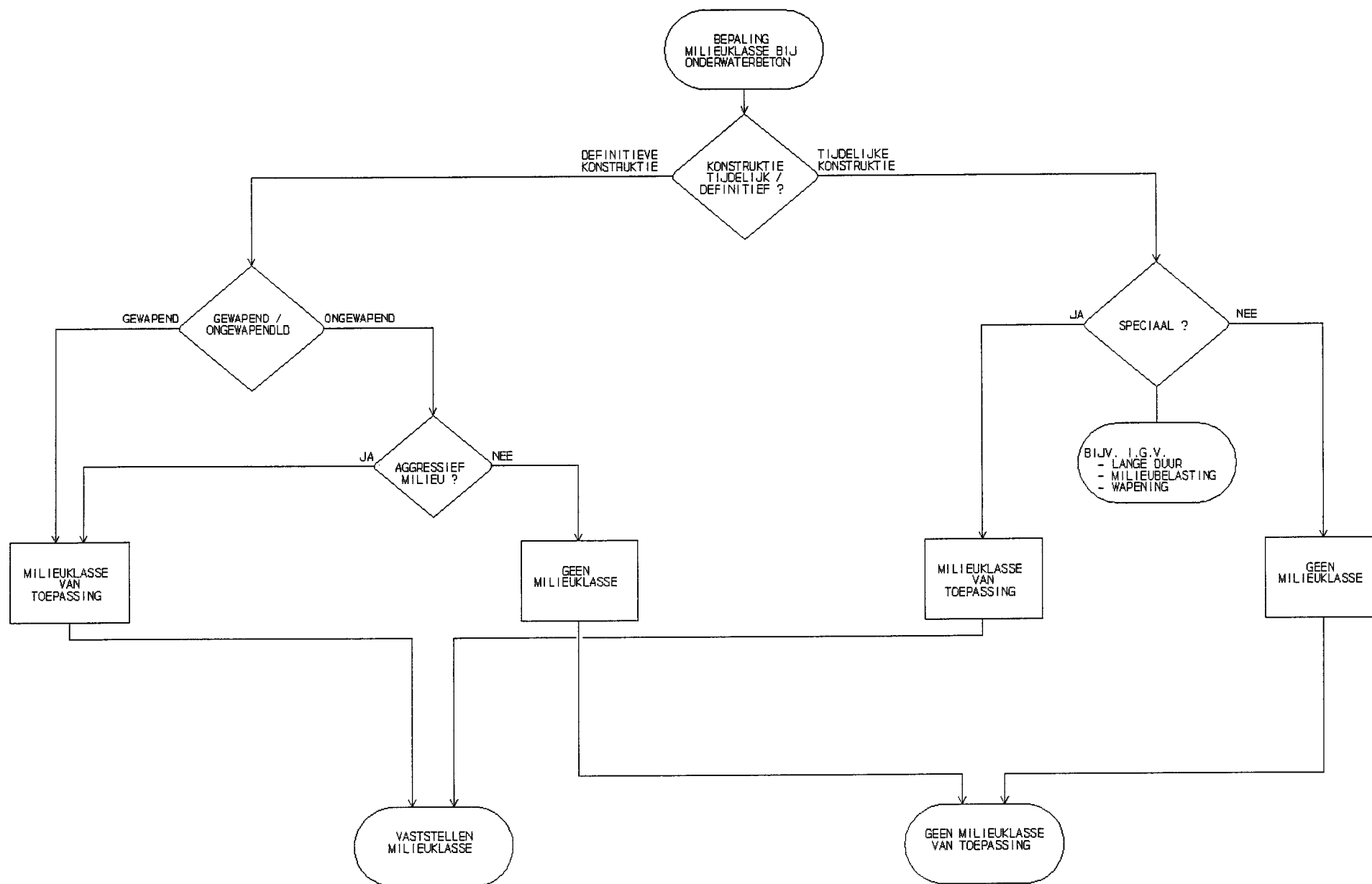
Doorgaans is de belasting in de bouwphase (bouwput leeggepompt, maximale waterdruk) maatgevend. De belastingen in de gebruiks- of eindfase zijn vaak minder groot. Volledig afgepompt geldt dan ook meestal de eindsterkte als maatgevend. Tijdens verharding kan een criterium voor minimale verhardingssterkte vóór de aanvang van het afpompen worden gehanteerd. In principe kan ook worden uitgegaan van afpompen, zonder de vloer te belasten, na enige verharding van de eerste meters zonder tussentijds criterium (anders dan benodigde sterkte voor stempeldruk en waterdichtheid van de beton). Voor elke meter dikte onderwaterbeton kan immers ca. 1,4m (2,4-1,0) worden afgepompt, omdat deze wordt gecompenseerd door het eigen gewicht van het onderwaterbeton. Verder kan een vertrager het risico afdekken voor mogelijke zettingen van de ondergrond in de eerste uren als gevolg van de betonmassa (bijvoorbeeld bij veenlagen).

De *verhardingssterkte* in het werk kan worden bepaald met diverse meetmethoden. De methode gewogen rijpheid en de verhardingsproef met temperatuurregeling benaderen de werkelijke verhardingssterkte in het werk het dichtst. Beide zijn equivalent aan elkaar. Afgezien van normale leveringscontroles als zet- en schudmaat, kan bij gewogen rijpheid de praktische uitvoering van proefkubussen aan de centrale worden uitbesteed met inachtneming van vergelijkbare omstandigheden. Hiermee wordt bedoeld op de verdichting van de proefkubus, die bij de centrale plaats zou moeten vinden door porren als equivalent van de hydrostatische druk op de betonmassa in plaats van door een trilnaald.

Bedacht moet worden dat 5 verhardingskubussen van één charge feitelijk één proefresultaat, gesplitst in de tijd, vertegenwoordigen. Het is raadzaam om een ijkgrafiek met proefresultaten uit minimaal drie charges samen te stellen. Ook is de meetplaats van de thermokoppels, waarmee de gewogen rijpheid wordt bepaald, een punt van overleg. Het is aannemelijk om de 'zwakste schakel' als maatgevend te beschouwen. De bovenste laag onderwaterbeton zal minder warm worden en daarmee minder snel verharden t.o.v. de middenlaag. Tussen begin en einde van het stort kan soms langer dan één etmaal zitten, hetgeen het eindpunt maatgevend maakt. Thermokoppels boven, midden, onder en in het water zelf zijn gebruikelijk per meetplaats.

2.2.4 Duurzaamheid

Bij het begrip duurzaamheid komt het onderscheid tijdelijk / niet-tijdelijk naar boven. Voor het vaststellen van de parameter voor duurzaamheid, de milieuklasse (en daarmee de watercementfactor), dient men zich af te vragen of deze wel als eis moet worden gesteld.



Figuur 2.2. Bepaling milieuklasse bij onderwaterbeton

Deze afweging kan dus, behalve door potentiële schademechanismen, eveneens worden geleid door het karakter van de onderwaterbetonconstructie;

- is sprake van een tijdelijke (bijvoorbeeld bouwdoek) of een definitieve functie met als criterium het gebruiksstadium
- is sprake van gewapende of ongewapende onderwaterbeton; heeft de wapening een blijvende of tijdelijke functie

Deze afweging kan gemaakt worden volgens het schema in **figuur 2.2**.

Bij het aspect duurzaamheid spelen mogelijke schademechanismen een rol. Een aantal van hen kunnen worden verwaarloosd c.q. uitgesloten omdat de constructie zich impliciet onder water bevindt.

Uiteindelijk blijven als potentieel over chemisch/fysische schademechanismen; door inwendige oorzaken (ongeschikt cement, sulfaathoudende of reactieve toeslag), sulfaten of zuren.

Een fysisch mechanisme als temperatuurkrimp zal echter het meest reële gevolg opleveren; scheurvorming. Andere duurzaamheidsproblemen als ontmenging en luchtopsluiting hebben een uitvoeringstechnische oorsprong en worden hoofdzakelijk ondervangen in uitvoeringstechniek (stortmethode) en mengselvoorwaarden. De keuzen die hierin gemaakt moeten worden komen aan de orde in hoofdstuk 3 over de voorbereidingsfase.

Als géén milieuklasse (en watercementfactor) van toepassing is lijkt grenzen stellen aan de watercementfactor niet altijd nodig of in sommige gevallen overbodig. Wel moet worden bedacht dat de watercementfactor niet onbegrensd hoog kan zijn. Bij een watercementfactor van 0.65 à 0.70 bestaat een reëel gevaar voor sedimentatie, uitzakken van de grindkorrels, door een tekort aan samenhang. Bij toepassing van vlieg-as wordt deze samenhang weer verhoogd en kan men spreken van een 'waterbindmiddelfactor' tot mogelijk 0.9.

De watercementfactor kan worden beschouwd als de belangrijkste mengselparameter die de duurzaamheid van de definitieve onderwaterbetonconstructie bepaald, naast onder meer samenhang en permeabiliteit of uitspoelweerstand. Ook bij tijdelijke constructies, die enkele jaren moeten overstaan, kunnen eisen gelden (bijvoorbeeld gewapend onderwaterbeton). Bij een pure gewichtsvloer is een watercementfactor-eis overbodig in tegenstelling tot eisen met betrekking tot samenhang (vlieg-as of hydrocrete), permeabiliteit en soortelijk gewicht. Voor iedere toepassing zijn in dit licht mengsel-aanbevelingen denkbaar.

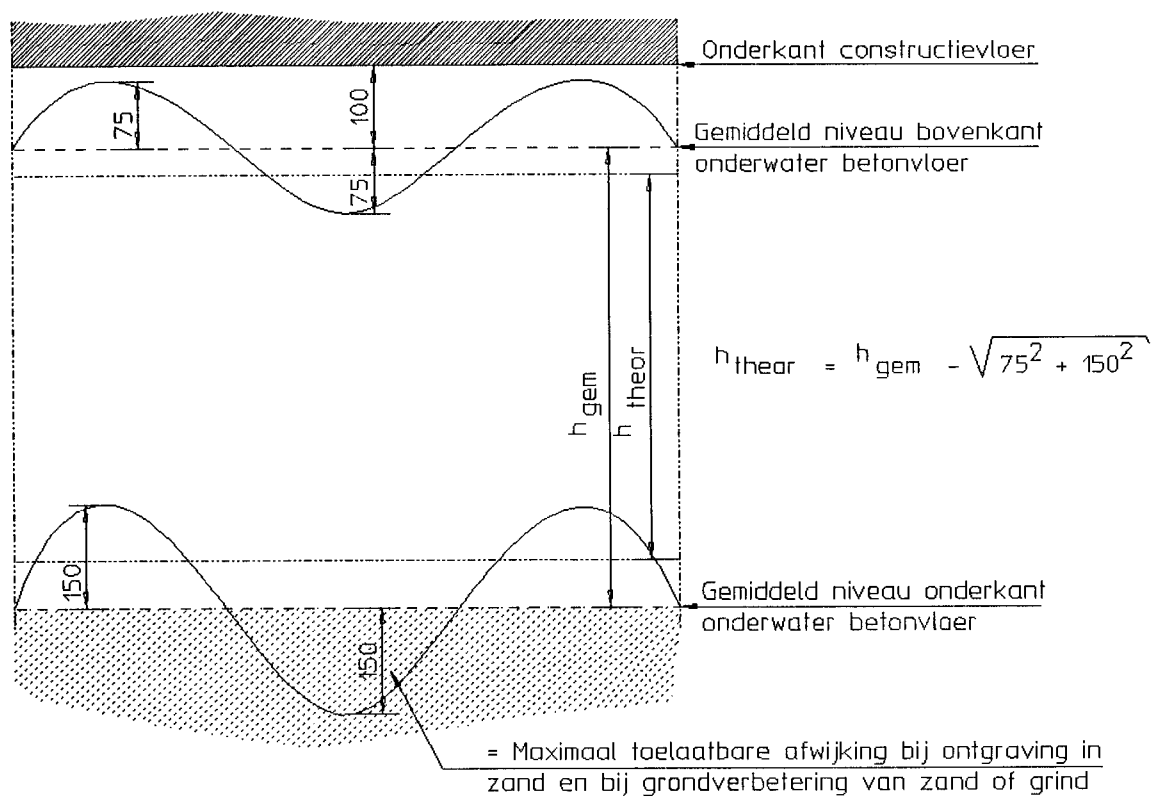
In relatie tot de sterkte-eis kan worden opgemerkt dat ook bij lage milieuklassen (= hoge watercementfactoren bijvoorbeeld 0.65) reeds een normale sterkte als B25 haalbaar is. Dit afgezien van de gewenste (snelheid van de) *sterkteontwikkeling*.

2.2.5 Maatkwaliteit

Bij onderwaterbeton zijn twee typen maatkwaliteit denkbaar:

- Macro maatkwaliteit; golving in het bovenpeil van het onderwaterbeton over grotere afstand. Deze kan bepalend zijn voor bijvoorbeeld de dikte van uitvullagen
- Micro maatkwaliteit: plaatselijke over- of onderschreiding van de peilmaat bovenkant onderwaterbeton.

Bij het ontwerp wordt rekening gehouden met de maaktoleranties van ontgraving en stortproces.



h_{gem} = te hanteren bij het bepalen van de belasting

h_{theor} = te hanteren bij het bepalen van de doorsnede en het traagheidsmoment van de onderwaterbetonvloer

Figuur 2.3. VOORBEELD-definitie van maatkwiteit

Eén benadering is die zonder uitvullaag. Het is raadzaam voldoende duidelijkheid te scheppen over rekenwaarde (theoretische hoogte, $h_{\text{theor.}}$) en praktijkwaarde (gemiddelde hoogte, $h_{\text{gem.}}$) van de hoogte van de betonconstructie. In dit geval gelden *bijvoorbeeld figuren 2.3 of 2.4*.

De ontwerper maakt zelf zijn afweging ten aanzien van de rekenwaarde van de vloerdikte; het absolute minimum, ofwel de vloerdikte afgeleid uit gemiddelde boven- en onderkant. Belangrijk is dat ontwerpers én uitvoerders zich realiseren welke meest ongunstige situatie als zwakke schakel kan ontstaan. Soms wordt de minimale dikte bepaald door de stortmethode. Het stortventiel, dat in de betonspecie moet steken, kan door het verpompen enige decimeters op en neer gaan, hetgeen een minimale dikte van ca. 75 centimeter noodzakelijk maakt. Het niveau van de ontgraving en een eventuele aanvulling (meestal grind) bepaalt het peil onderkant onderwaterbeton.

Zand kan worden gegraven op 10 à 15 centimeter nauwkeurig (top-dal dus 20 à 30 centimeter, zie ook **figuur 2.3**) terwijl bij klei en veen meer sprake is van enkele decimeters tot een halve meter. Klei wordt in de regel iets dieper gegraven en afgewerkt met grind (is immers goedkoper dan beton) met een tolerantie van 15 à 25 centimeter (bij afstrijken 5 centimeter).

Bij gebruik van een laag onderwaterbeton als aanvul- of zuiveringslaag c.q. 'werkvloer', in diktes van 10 à 15 centimeter is sprake van enkele centimeter maak-tolerantie. Handloding ten behoeve van de inpeiling voor het stort is op dit moment de betrouwbaarste methode. Aanvullend bestaan computersystemen, waarmee positie en diepte in een bouwdok snel kunnen worden gevisualiseerd tot een hoogtekaart.

Het niveau van de bovenkant onderwaterbeton wordt in belangrijke mate bepaald door de stortmethode en het vakmanschap van de stortploeg. Meestal wordt gewerkt met een maatverdeling op stortbuis of dergelijke met als back-up een peilingscontrole door handloding tijdens stort. Naast het peil zelf is de vlakheid afhankelijk van de stortmethode. De dichtheid van de controlepeilingen kan bijvoorbeeld bij dobbermethoden lager liggen dan bij ventielen. Uiteraard bepaalt de consistentie van het mengsel ook in hoge mate de vlakheid. De afwerktoleranties komen verder aan de orde in §3.2 bij de keuze van de stortmethode. Te laag gestort beton kan problemen opleveren voor de minimale vloerdikte, te hoog gestort moet toch vaak worden verwijderd vanwege minimale drainlaagdikte of ongewenste onderwaterbeton-kwaliteit in de constructievloer.

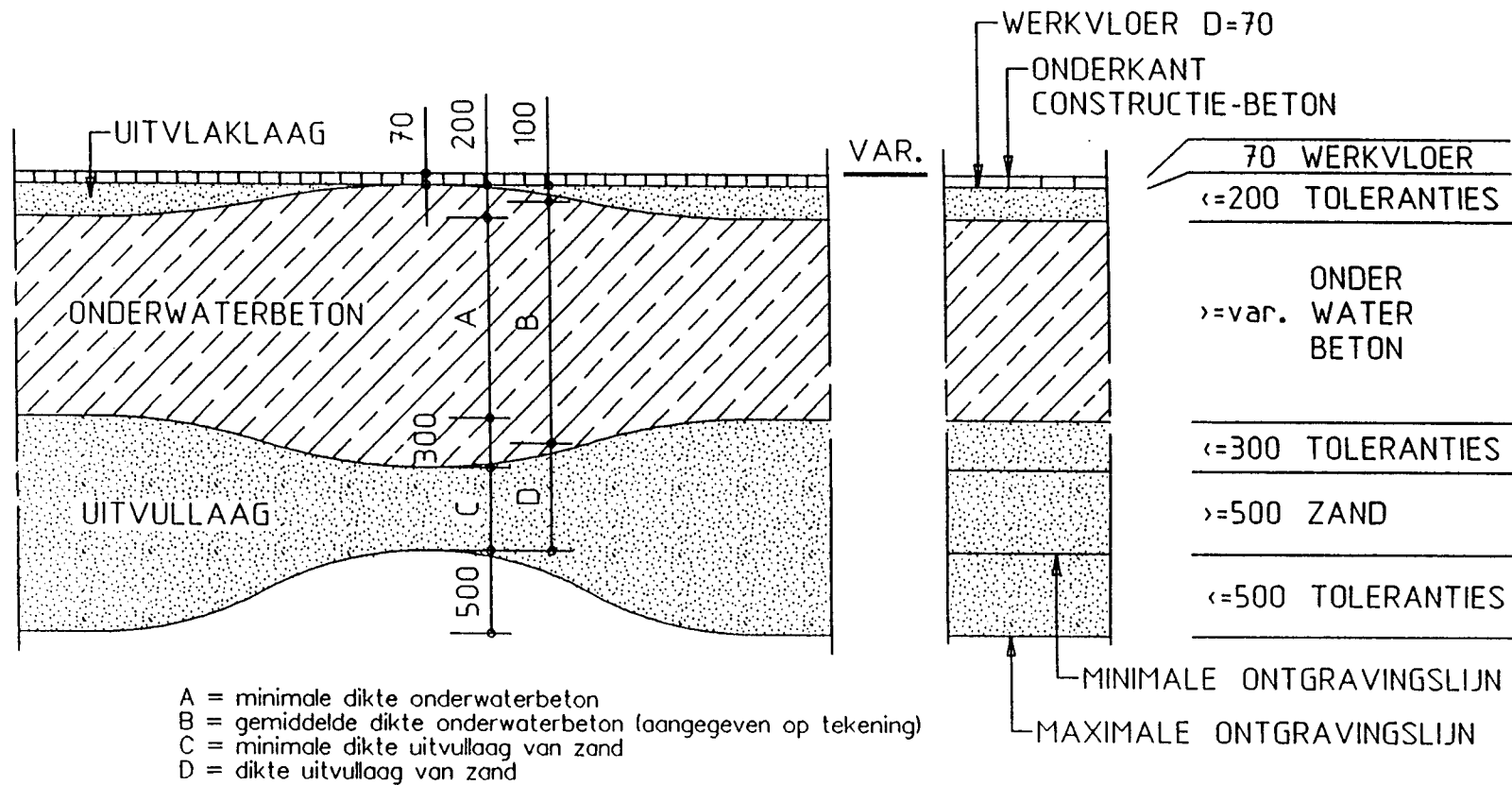
Er kan gesteld worden dat een nauwkeuriger maatkwaliteit in de uitvoeringsfase haalbaar is met aanvullende technieken, die echter tot onevenredig hogere kosten kunnen leiden. Tijdens of vlak na het stort gaat het dan om verdichting (leidend tot uitvloeiing) of een vorm van afreien (zie §3.4.1). Na verharding zal men moeten aanstorten en/of frezen.

De maatkwaliteit in de voorbereidingsfase kan worden beïnvloed door mengselsamenstelling en maatbeheersingstechnieken (meetmethoden).

De maatkwaliteit van eventuele trekelementen is reeds besproken in §2.2.2. Van belang is het raakvlak met de bovenkant onderwaterbeton. Een te lage paal en te hoge onderwaterbeton leveren mogelijk een te klein overdrachtsbereik met de constructievloer op.

2.2.6 Waterdichtheid

Lekkage van een onderwaterbetonvloer tijdens of na verharding is niet per definitie ernstig. Het ligt zelfs binnen het verwachtingspatroon. Verschijnselen als slotlekkage, het 'werken' van een damwand (door tij of grondmechanische vervorming) en thermische uitzetting en/of inkrimping van onderwaterbeton (leidend tot lekkage langs damwand of scheuren in beton) zijn in beginsel *niet vermijdbaar*.



TOLERANTIES ONDERWATERBETONVLOER

Fig. 2.4 VOORBEELD-definitie van maatkwaliteit

Daarom wordt voor de 'dok-droog'-situatie vaak in een afwateringscapaciteit (pompen, goten) voorzien. Verder kunnen bovengenoemde verschijnselen als volgt *beheersbaar* gemaakt worden;

- Damwandsloten worden ten behoeve van de waterdichtheid vaak gevuld met PUR of een bitumen- (fabriekssloten) of vet/bitumenemulsie (heislotten, het vet is namelijk gunstig voor het heiwerk als 'smering' en voorkomt inlopen van zand waardoor weer kans bestaat op uit 't slot lopen). Het komt ook voor dat U-profielen over de sloten worden gelast als afvoerleiding.
- Wisselende vervorming van een damwand door eb en vloed kan met name bij de aansluiting met verhardende onderwaterbeton grote lekkages veroorzaken langs deze aansluiting. Zanduitloop is altijd alarmerend, in dat geval zullen altijd maatregelen nodig zijn (injectie of dergelijke). Waterstandsbeheersing in het bouwdok kan hier van betekenis zijn.
- In verband met het risico voor stroming als gevolg van hydrostatische drukverschillen tijdens de eerste verhardingsfase wordt het (grond)waterpeil binnen en buiten het dok zo gelijk mogelijk gehouden. Een hoger waterpeil in het dok gaat stroming door de verse betonspecie omhoog tegen, maar kan lekkage bij de aansluiting damwand - onderwaterbeton veroorzaken door uitdrukken hiervan. Een lager waterpeil in het dok veroorzaakt het omgekeerde. In beide gevallen kan dus een ongewenst effect optreden. De afweging welk peil hoger of absoluut niet lager mag zijn, wordt per situatie gemaakt. Meestal wordt een tolerantie van enkele centimeters aangehouden.
- De mengselsamenhang zelf. Een sterk samenhangend mengsel is minder gevoelig voor stroming als gevolg van hydrostatische drukverschillen en/of ontmenging tijdens storten.
- Het 'schoon' zijn van de damwand (inclusief slib voor/tijdens stort). Grondresten of vervuiling in damwandkassen vergemakkelijken het ontstaan van lekstromen.

Een laatste overweging kan gemaakt worden ten aanzien van compartimentering als hier in verband met een planning sprake van is. Het is raadzaam de compartimenten achter elkaar te storten. Door thermische krimp zal een ingesloten compartiment namelijk altijd gaan lekken bij minimaal één van beide compartimenteringsschermen.

3 VOORBEREIDING VAN DE UITVOERING

3.1 Aanvullende uitvoeringsvoorwaarden

Aanvullend op de eisen en randvoorwaarden uit de ontwerpfase worden doorgaans voorwaarden gesteld met betrekking tot de uitvoeringsfase. Hierin worden keuzen en maatregelen onderkend, die nodig zijn om de ontwerpeisen te bereiken. Een en ander dient uiteraard te worden afgewogen tegen de functie van de onderwaterbetonconstructie (zie ook §2.1.1). Zo zullen aan een gewichtsvloer andere eisen worden gesteld dan aan een bouwputvloer die later een integraal onderdeel vormt van een definitieve constructie. In de volgende paragrafen wordt een aantal mogelijke uitvoeringsvoorwaarden genoemd ter overweging, afhankelijk van de specifieke situatie.

Bij de formulering van uitvoeringsvoorwaarden zal gestreefd worden naar vermijden van calamiteiten met inachtneming van het gestelde in de aanhef van §2.2.

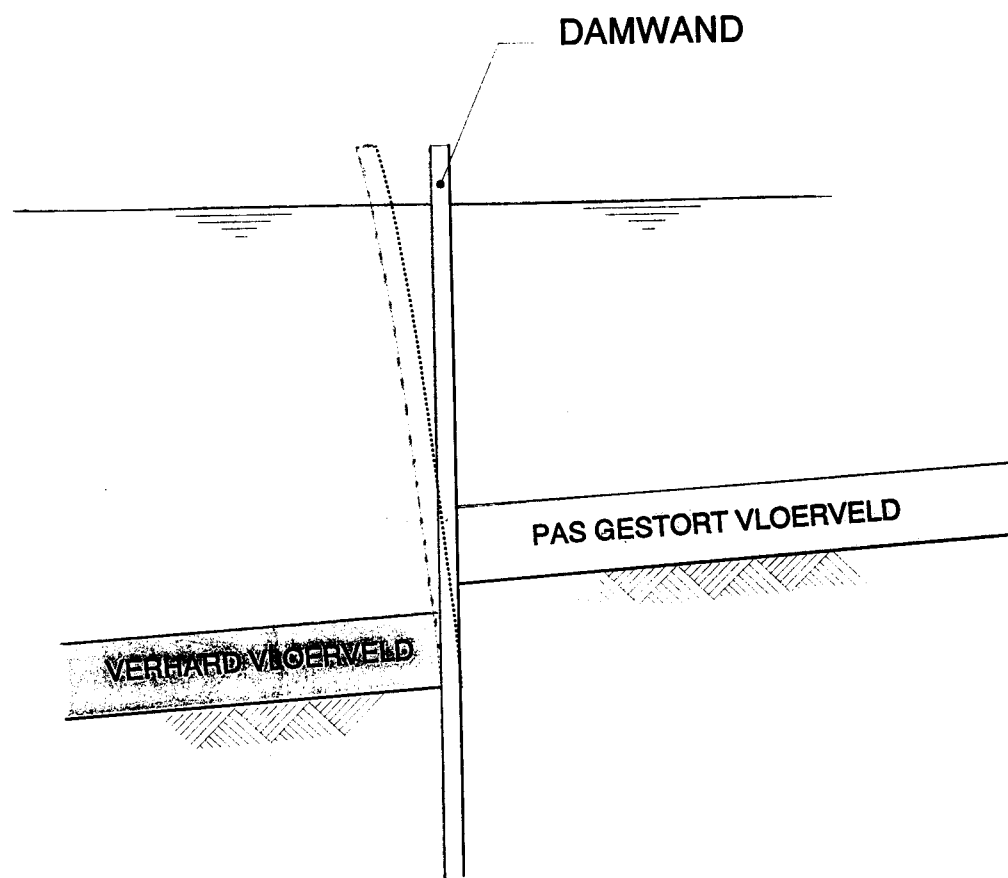
Enkele algemene uitvoeringsvoorwaarden zijn bijvoorbeeld de levering van een detailplanning (tot na afmalen) en een draaiboek. In het draaiboek dienen alle gemaakte keuzen binnen de ontwerpeisen tot uiting komen, zoals de werkmethoden voor ontgraven en storten alsmede de betonmengselsamenstelling (zie §3.1.4 en §3.3). Hiertoe is het verstandig om interne en externe kennis- en ervaringsbronnen aan te boren. Feitelijk is het draaiboek een vorm van 'bewijs van volledige en gedegen voorbereiding', die mogelijke risico's en onvoorziene situaties tot een minimum beperkt. Immers als er *tijdens* het stortproces iets fout gaat is er grote kans dat dit ingrijpende en/of blijvende, dus kostbare, gevolgen heeft. Een goed draaiboek is dan ook voorzien van alle benodigde informatie (telefoonnummers, namen, data, werktijden, alarm- procedure etc.), om in geval van calamiteiten het stortproces gaande te houden. Men kan nog verder gaan, afhankelijk van de omvang van het project, en een vorm van risico-analyse toevoegen aan het draaiboek, opdat men op een maximaal aantal situaties is voorbereid.

Inherent aan het onderwerp is de eveneens veel voorkomende uitvoeringsvoorwaarde tot de inzet van duikers bij inspecties voor en tijdens het stortproces. Duikwerkzaamheden vormen een essentiële activiteit tijdens het stortproces, zowel wat betreft voortgang als de controle van het proces. Duikers zijn, onder andere in verband met het veiligheidsaspect, onderhevig aan het 'Besluit arbeid onder overdruk'.

3.1.1 **Bouwput**

Een aantal andere aspecten kan leiden tot bepaalde keuzen om de beoogde onderwaterbetonconstructie te realiseren. De bouwput zelf bijvoorbeeld, of liever de bouwput*configuratie*. Wordt het één bouwput of is compartimentering te overwegen (anders dan om planningsredenen)? Welke specifieke gevaren worden gelopen bij onderwaterbetonvelden op verschillende niveaus? De vervorming van de tussengelegen damwand (aan een ondergelegen verhard vloerveld door toename van de hydrostatische druk vanuit de verse betonspecie in het hogergelegen vloerveld) is hiervan een voorbeeld en noopt tot een fasering in samenhang met de toelaatbare vervormingen (zie fig. 3.1).

Zo hangt ook de keuze voor de stortmethode samen met de keuze voor (vorm en plaats van) stempelingen of verankering van de bouwputwand. De bereikbaarheid voor materiaal en materieel is een voor de hand liggende uitvoeringsvoorwaarde bij het ontgravings- en stortproces.



Figuur 3.1

Overwogen moet worden welke gevaren aanwezig zijn met betrekking tot de waterstandsbeheersing in en om de bouwput. Waterstandsverschillen tussen het waterpeil in de bouwput en het (grond)water rondom, kunnen leiden tot stroming van water door de verse betonspecie of in de aansluiting tussen verse specie en damwand. Men zal dus moeten streven naar minimale verschillen van enkele centimeters of beter (lees veiliger) een iets hogere waterstand in de bouwput, omdat eventuele neerwaartse stroming te prefereren is boven opwaartse stroming (de fijne fractie zal de ondergrond doen 'dichtslaan'). Zelfs veranderingen in de grondwaterstand tijdens het, soms meerdaags, stort door bijv. regenval kunnen van invloed zijn. Waterstandsbeheersing door hevels, peilschalen en -buizen e.d. is hiermee een reële uitvoeringsvoorwaarde (hiermee hangt bijv. weer de lozingsvergunning samen). Een andere invalshoek voor de waterstandsbeheersing is de toepassing van open bemaling als ontlastingsbron.

Stroming tussen de aansluiting van verse specie en damwand wordt versterkt als de damwand onderhevig is aan vervorming, bijvoorbeeld bij locaties in getijdewateren. De stabiliteit van de damwanden kan derhalve leiden tot uitvoeringsvoorwaarden.

3.1.2 Ondergrond

Zoals reeds aangegeven in §2.2.1 is de keuze voor de ontgravingsmethode zeer bepalend voor de maakwaliteit (waaronder vlakheid) van de ondergrond. Ook de grondsoort is bepalend, hoewel dit natuurlijk een gegeven is, dat slechts kan leiden tot aanvullende maatregelen.

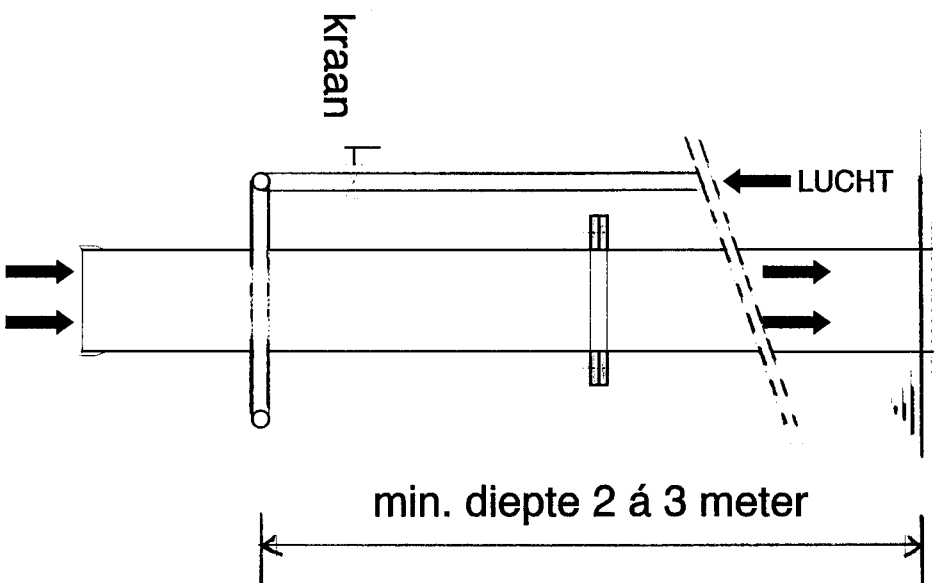
Bij onstabiele en/of veenhoudende grond (veen wordt onstabiel door 'ontspanning' als gevolg van ontgraven) dient bijvoorbeeld een zuiveringslaag van zand of grind als grondverbetering te worden toegepast. Grondmechanisch advies is hier op zijn plaats. De keuze voor zand of grind hangt af van de aanwezige grondslag; in beginsel zal men kiezen voor zand uit economische motieven (zand is goedkoper dan grind) tenzij er redenen zijn om met grind aan te vullen. Grind wordt bijvoorbeeld toegepast bij risico voor overmatig resterende slib of (bijv. bij kleigrond) vanwege de betere doseerbaarheid in dunnere lagen. Bij veenhoudende grond is grind géén optie en wordt vaak grof zand toegepast omdat grind het veen onvoldoende af kan dichten.

Kleigrond wordt dikwijls gefaseerd gegraven (van grove naar fijne slagen) en/of gecombineerd met een uitvullaag. Hoge vlakheidseisen nopen soms tot de toepassing van een egaliserende sleepbak. In dit geval moet de egalisatie voldoende stabiliseren om te voorkomen dat het door het stortfront wordt weggeschoven.

Bij toepassing van de techniek van airliften (verticaal grondtransport door opstijgende, eerst ingebrachte lucht, zie fig. 3.2) moet bedacht worden dat hiervoor voldoende diepte benodigd is ($> \text{ca. } 5\text{m}$) vanwege het benodigde stuwende vermogen van ontwijkende lucht.

Een andere bron voor aanvullende uitvoeringsvoorwaarden is het gevaar van slibvorming (zie §2.2.1), bijvoorbeeld leidend tot slibschermen of compartimentering tijdens ontgraven ofwel tussentijdse grove opschoonslagen. Verder dient een bepaald aantal opschoonslagen en een maximum-duur tussen de laatste opschoonslag en de aanvang van het stort (c.q. aankomst van het stortfront) te worden overwogen.

Zowel maakwaliteit en stabiliteit van de ondergrond als het slibprobleem kunnen leiden tot extra controles als uitvoeringsvoorwaarden (bijvoorbeeld frequentie van peilingen en Vane-proef)



Principe airlift

Figuur 3.2

3.1.3 Funderingselementen

Ten aanzien van funderingselementen in onderwaterbetonconstructies is een aantal uitvoeringsvoorwaarden denkbaar. Een van de eerste afwegingen kan zijn het heien voor of na ontgraving. Voordeel van eerst heien is dat dit in den droge kan gebeuren en daarmee een meer eenvoudig heimaterieel en -maatvoering mogelijk is. Ook bestaat bij de keuze voor de plaats van eventuele latere bouwputstempeling meer vrijheid (deze zou anders immers afgestemd moeten worden op de latere paalposities). Later moet echter om de palen heen worden gegraven, waarbij een reële kans op beschadigingen of zelfs afbreken van de paal bestaat.

Een ander nadeel is het risico voor te hoog grouten (bij vibro-combinatie-palen). Bij heien na ontgraving is al snel een traverse of ponton nodig (nadelig), maar kan eenvoudiger worden ontgraven.

Bij palen met ribbelvlakken is extra aandacht geboden bij slibafzetting op de ribbels. Ook kan bij bijvoorbeeld de vibro-combinatie-palen een te groot volume grout een 'pannekoek' vormen op de bodem en de maakwaliteit verstoren. Bij een zandbodem hoeft dit geen bezwaar te zijn; bij een veenlaag uitgevuld met zand kan de groutkorst echter breken tijdens het onderwaterbetonstort. Het verdient daarom aanbeveling te streven naar een groutniveau onder bodemniveau. In geval van H-profielen geldt het gevaar voor slib nog sterker; de kans op insluiting is hier groot.

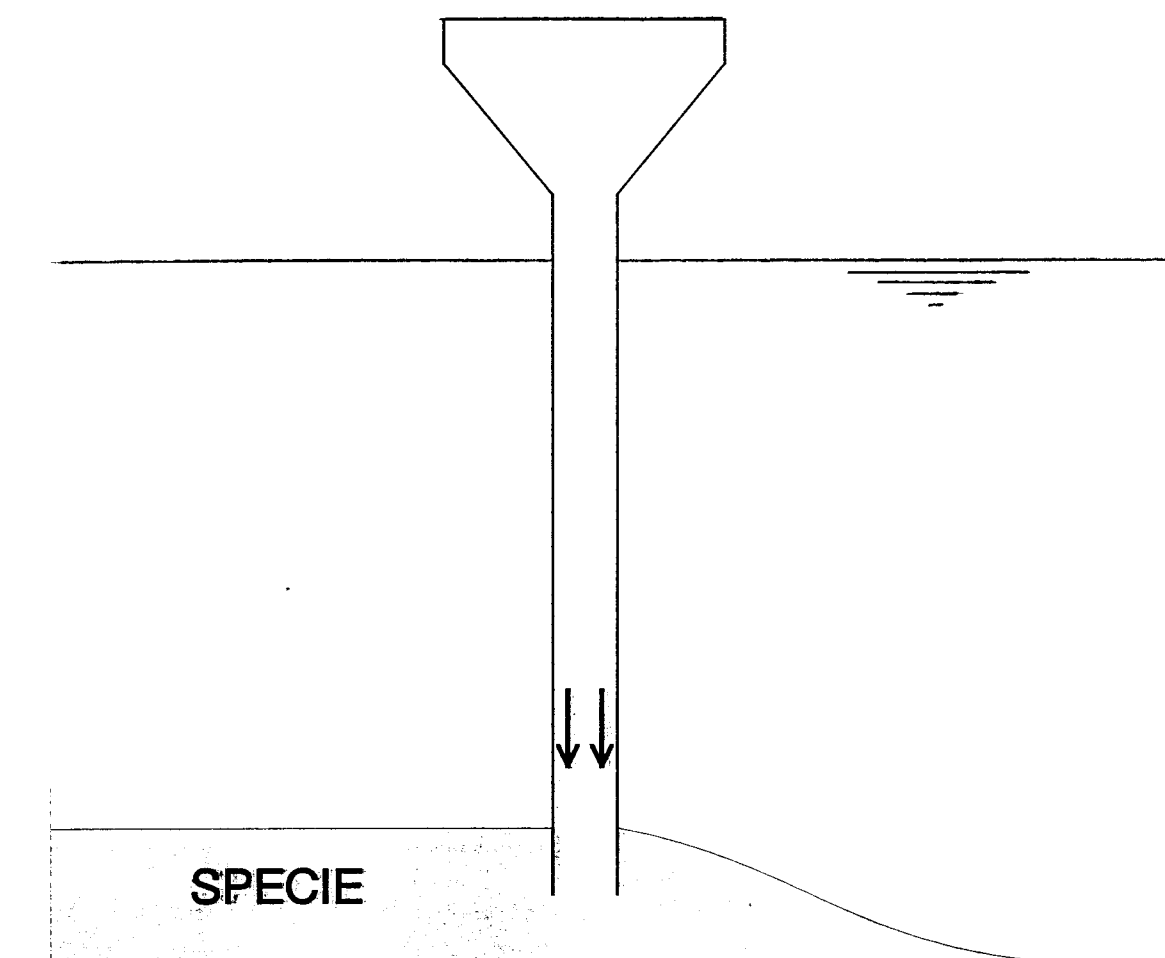
De horizontale en verticale paalpositie is in principe een resultaat van de ontwerpfase. De haalbaarheid van bijbehorende toleranties moet echter wel worden afgewogen in relatie tot de toe te passen hei- en stortmethode. Verder kan de mogelijkheid voor het plaatsen van te stellen eventuele extra palen worden opgehouden.

3.1.4 Betonmengselsamenstelling (zie ook §3.3)

Ten aanzien van de betonmengselsamenstelling zullen vanuit de ontwerpfase eisen worden gesteld aan sterkte en/of duurzaamheid (zie §2.2.3 en §2.2.4). Om deze prestatie-eisen te realiseren zal de uitvoerende partij zich rekenschap geven van een aantal voorwaarden aan de betonspecie met betrekking tot onder meer consistentie (verwerkbaarheid), samenhang en sterkteontwikkeling. Op het ontwerp en toetsing van de betonsamenstelling zélf wordt in §3.3 gedetailleerd ingegaan.

Bij alle beton en dus ook bij onderwaterbeton is de **verwerkbaarheid** van de specie van belang. Als deze niet goed verwerkt (ofwel gemengd, getransporteerd en -zelf-verdichtend gestort) kan worden zal het eindproduct niet voldoen. Productietechnisch is eveneens voldoende behoud van verwerkbaarheid van belang. Kleine storingen en wisselingen tijdens het aanvoertraject van centrale tot onderin de stortbuis mogen niet leiden tot een te stugge specie in het werk. Ook moet de betonspecie een voldoende uitvloeigedrag vertonen in verband met de vlakheid van het eindresultaat, de vulling van damwandnissen en de omhulling van funderingselementen. Deze laatste zijn immers essentieel voor de krachtsoverdracht tussen funderingselement en onderwaterbetonvloer. Een relatief lage consistentie met bijvoorbeeld een zetmaat van ca. 140mm kan wellicht echter niet worden uitgesloten bij bijvoorbeeld hellende vloervlakken.

Minstens van even groot belang is voldoende **samenhang**, ofwel weerstand tegen ontmenging, van de betonspecie. Onder water zal immers de samenhang sneller verstoord kunnen worden dan normaal in de buitenlucht. Ook overmatige ingesloten lucht (door de betonpomp ingeslagen bij gesloten stortmethoden als ventielen en tremie-pijpen), die immers zal neigen te ontwijken, is een potentiële veroorzaker van lokale ontmenging, zie §3.2. Verder is bij de voorhanden stortmethoden geen controle bij de uitstroom -anders dan door duikers- mogelijk.



PRINCIPE TREMIEPIJP

Figuur 3.3

Na het stort zal men geïnteresseerd zijn in de **sterkteontwikkeling** van het onderwaterbeton. Bij bouwputten is meestal een periode ingepland waarna kan worden afgemalen. Zekerheid over de aanwezige sterkte in het werk, de verhardingssterkte, is echter gewenst en ook vast te stellen met huidige meetmethoden als bijvoorbeeld de gewogen rijpheid (zie §2.2.3). Het komt voor dat om planningsredenen voorwaarden worden gesteld aan de *verhardingssterkte* na een periode kleiner dan 28 dagen (de voorwaarde wordt hiermee een *uitvoeringsvoorwaarde*).

Om voldoende inzicht in deze eigenschappen van de betonspecie te verkrijgen zal altijd een **geschiktheidsonderzoek** (zie §3.3.3) moeten worden (of reeds zijn) uitgevoerd als aanvullende uitvoeringsvoorwaarde. Hulpstoffen zijn nodig om de gewenste consistentie en samenhang te krijgen en moeten op hun werking worden onderzocht. Bij beproefde mengsels kan men terugvallen op onderzoeken niet ouder dan een jaar, ofwel wordt een beperkt onderzoek uitgevoerd. Bij nieuwe betonmengselsamenstellingen zal een onderzoek nodig zijn naar minimaal; de verwerkbaarheid, de duurzaamheid, de sterkte(-ontwikkeling) en de samenhang.

3.2 Keuze van de stortmethode

In deze paragraaf worden in kort bestek de meeste hedendaagse methoden genoemd om onderwaterbeton op zijn plaats te krijgen, met hun specifieke kenmerken en toepassingsmogelijkheden. Duikers vormen een rode draad bij alle methoden. Zij voeren verschillende controles uit tijdens het stort; de ene methode vergt meer duikerinzet dan de andere.

Bij de keuze van de uitvoeringsmethoden staat het voorkomen van ontmenging en/of uitspoeling centraal naast de vereiste maaktolerantie in relatie tot eventuele benodigde en/of gewenste nabewerkingen (zoals slopen van overhoogte, schoonmaken e.d.).

3.2.1 **Contractormethode**

Bij deze methode wordt de betonspecie door een hangende stalen pijp op diepte gebracht. Het is een open systeem; eventueel door de betonpomp ingeslagen lucht ontlucht bij de trechter boven op de pijp. De eerste charge wordt met behulp van een schuimrubber bal gestort om het opstarten met een niet uitgespoelde betoncharge te realiseren. Hierbij blijft het onderste deel van de pijp in de reeds gestorte specie steken, met minimaal ca. 0.75m tot enkele meters (zie **fig. 3.3**). De betonspecie in de pijp is in evenwicht met de hydrostatische druk van het water, de gestorte specie en de wrijving tussen specie en pijp. De methode is ook bekend als de 'Tremie'-methode (men spreekt ook wel van tremie-pijp).

Er bestaat een potentieel gevaar voor ontmengen door ontsnapping van lucht in de vers gestorte specie buiten de pijp, afkomstig van 'meegesleurde' opgesloten lucht tussen oude en nieuwe lading in de pijp. Dit verschijnsel wordt zichtbaar als een cementwaas in het water, die later neerslaat als cementslib op het betonoppervlak.

De toepassing is minder geschikt voor gestempelde bouwputten. De pijp moet dan nl. telkens opnieuw worden 'ingestoken' over de stempeling en herstart met de schuimrubber bal. Het gevolg is ontmenging door de nieuw ingesloten waterkolom die alleen via de betonspecie kan worden weggeperst. In zo'n geval kiest men dan doorgaans de afsluitbare ventielmethoden. De methode is het meest geschikt voor ononderbroken, meestal kleine omsloten storts (zoals bijvoorbeeld diepwandpanelen of buispaalvullingen, die buiten de studie vallen). Voordelen zijn de relatief eenvoudige opzet en daarmee lagere kosten. De maaktolerantie is 0,1 à 0,2 m, uitgaande van consistentiegebied 4.

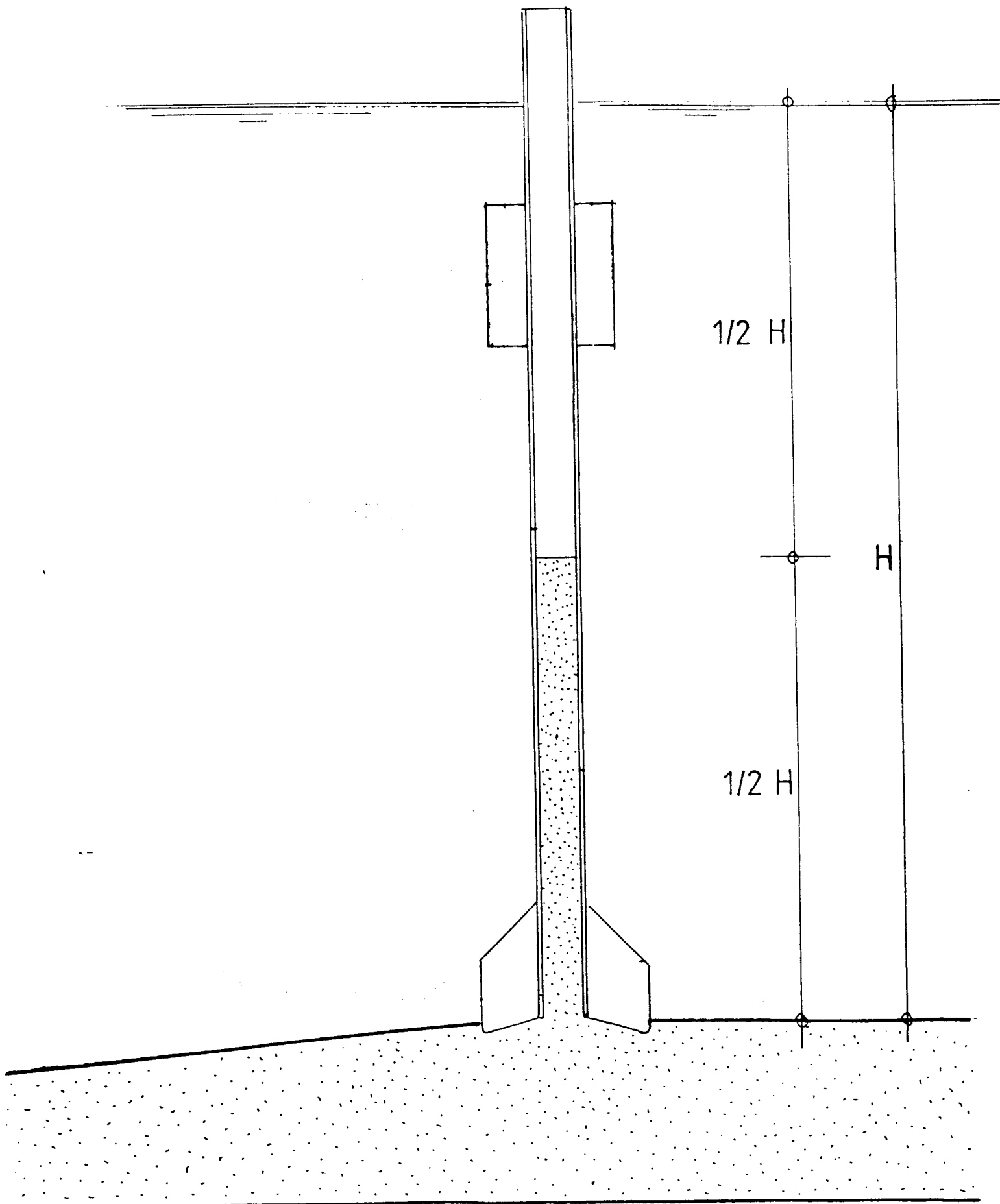


Figure 3.4

3.2.2 Ventielmethoden

In tegenstelling tot de contractormethode zijn ventielen gesloten systemen. Bij het verouderde zogeheten hydroventiel werd de betonspecie door een wijde, flexibele en waterdichte 'manchet'pijp, in een hangend buisvormig frame, op diepte gebracht. Onder de pijp bevond zich een vormvaste stalen ring, het schild, dat over de gestorte specie werd bewogen. Transport van de specie ontstond door het toenemen van gewicht bij toevoegen van specie. Hier bedroeg de maaktolerantie 0,1 à 0,2 m uitgaande van consistentiegebied 4.

Meer courant zijn ventiel-varianten bij mortelproducerende en -verwerkende bedrijven waarbij een flexibel buisdeel nagenoeg onderin de stortpijp van een betonpomp door perslucht kan worden dichtgeperst. De speciestroom wordt zo onderbroken ter plaatse van de uitstroomopening, zodat geen noemenswaardig gevaar voor ontmenging door ingeloten waterkolom optreedt bij een herstart (hydraulisch ventiel). Onder het ventiel resteert vaak nog een kort pijpdeel dat door de betonspecie sleept om storingen aan het ventiel zelf te voorkomen.

Deze ventielen zijn daarmee geschikt voor kleinere vloerconstructies, moeilijk bereikbare locaties en bouwputten met stempeling (waardoor herhaaldelijk insteken en herstarten). Ook hier is de maaktolerantie 1 à 2 decimeter, uitgaande van consistentiegebied 4. De methode vereist veel ervaring van de betrokken pompmachinist en peilpersoneel. Aandachtspunten hierbij zijn;

- de verdeling van de insteekpunten
- een insteekdiepte van driekwart à één meter;
- insteekdiepte door of boven aanwezige wapening (met een dekking van doorgaans 200 à 300mm)
- verticaal bewegen van de stortpijp door betonpomp ('dansen')
- vooruit peilen (in verband met uitloop specie en voorkomen van extra overhalen en insteken)
- benodigde kraanhulp voor overhalen en insteken
- eenduidige instructies m.b.t. duikerhulp
- een star eindstuk aan de beton(pomp)leiding; een flexibele leiding zou zich kunnen 'neervlijen' bovenop de gestorte betonspecie

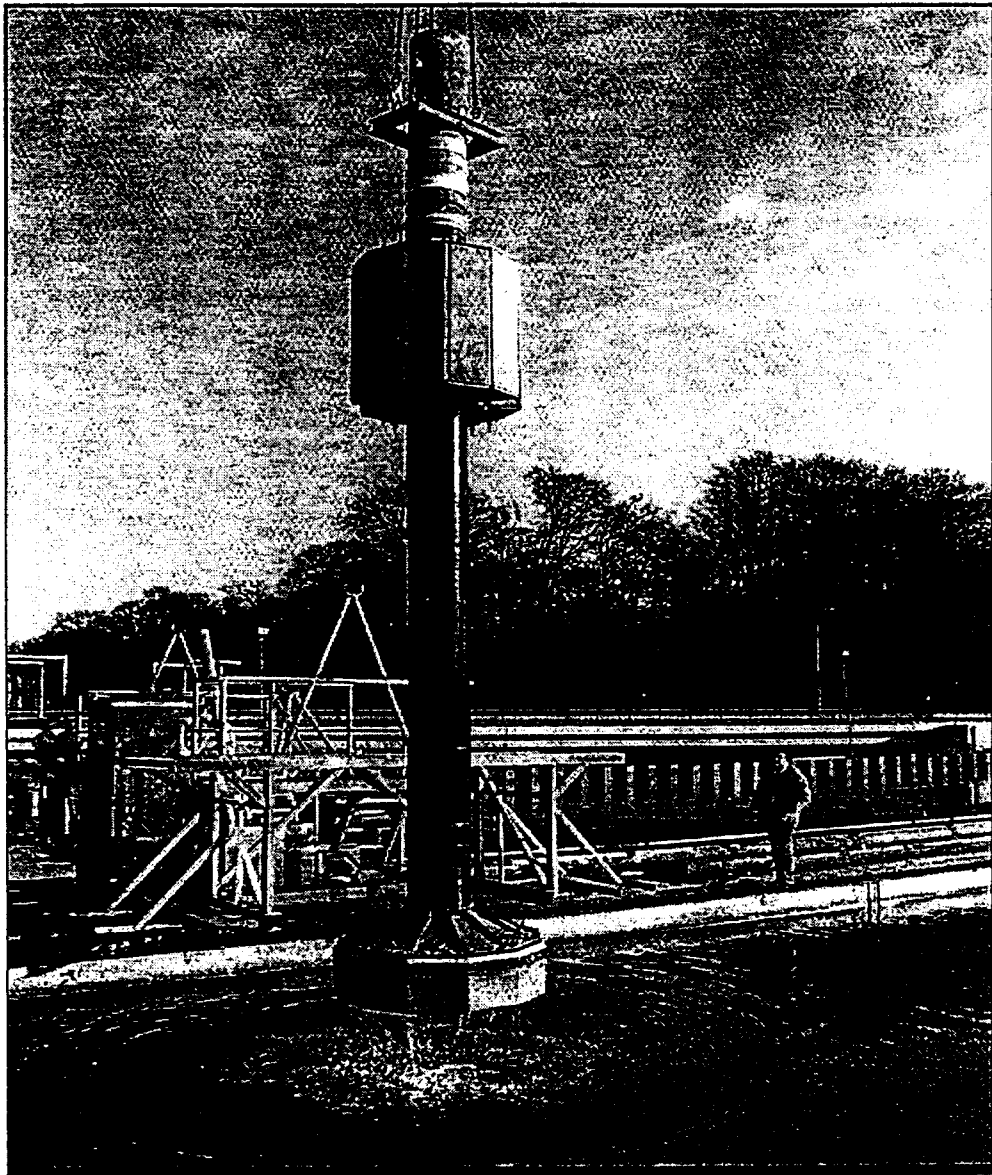
3.2.3 Dobbermethoden

Het bekendst binnen deze categorie is de Hopdobber (octrooi in *Nederland* tot 2008). Het is een open systeem.

De specie wordt gelost door een stalen pijp waaraan zich onder een schotel bevindt, die met zijn rand enkele centimeters in de gestorte betonspecie steekt. Boven aan de pijp is een in hoogte stelbaar drijflichaam (de 'dobber') bevestigd. Deze geeft het geheel opdrijvend vermogen (zie **fig. 3.4** en **fig. 3.5**).

Ook hier is sprake van evenwicht, en wel tussen;

- de betonspecie in de pijp
 - de wrijving tussen specie en pijp
 - het gewicht van de pijp + schotel
- en
- de hydrostatische druk van het water,
 - de gestorte specie



Figuur 3.5 Hopdobber

Het geheel van pijp, dobber en specie wordt zo in drijfvermogen gesteld, dat de rand van de schotel enkele centimeters in de gestorte specie steekt en ontmenging wordt voorkomen. De wrijving tussen specie en pijp zorgt voor extra neerwaartse druk in de gestorte betonspecie

Deze insteek vormt als het ware een waterslot voor het genoemde evenwicht. Bij dit evenwicht speelt ook de diameter van de schotel een rol. De diameterverhouding met de stortbuis is bepalend voor de diepte van de indringing in het stortfront, maar wordt voornamelijk bepaald door de aanwezigheid van funderingselementen of andere obstakels. Een te geringe indringing kan tot storing en daarmee tot ontmenging leiden.

De uitvoering vindt plaats met behulp van een werkponton of een traverse-constructie over de bouwput. Zeker bij deze laatste is de toepassing alleen rendabel bij relatief grote (langere of repeterende) bouwputten. Een maaktolerantie tot 50mm is haalbaar, uitgaande van consistentiegebied 4. De voordelen van de Hopdobber zijn gelegen in;

- een eenvoudig zeker te stellen hoogteligging (referentie onderkant schotel naar afleesschaal)
- nauwelijks optredende ontmenging en successievelijk afzetting van cementslib
- de uiteindelijk bereikte vlakheid is minder gevoelig voor fluctuaties in de geleverde specie.
- door specialisatie een beter voorspelbaar resultaat

Tevens bestaat een dobbermethode, waarbij het drijflichaam dient als stortponton en referentie voor de storthoogte. De schotel onder bestaat deels uit beton als gewicht, om een diepere indringing in de verse onderwaterbeton te realiseren. De pijp kan door het ponton verticaal verplaatsen met behulp van lieren (de 'hangende Pellegrin'-dobber). De horizontale verplaatsing geschiedt eveneens met behulp van lieren.

Met de Pellegrin-dobber kan een diepere indringing in het stortfront worden geforceerd. Een te geringe indringing kan immers tot ontmenging leiden bij storingen. De verticale maatvoering is bij grotere indringing bewerkelijker.

3.2.4 Colloïdaal beton

Colloïdaal beton is feitelijk geen stortmethode maar een sterk samenhangend betonmengsel dat nagenoeg geen ontmenging vertoont. Dergelijke betonspecie kan bijvoorbeeld zonder ingrijpende voorzieningen tot beperkte valhoogte vrij in water gestort worden (overigens is geleiding tot onder de waterlijn altijd raadzaam), of in combinatie met onderlossing (zie §3.2.5) of stortpijpen worden toegepast. Behalve de zeer sterke samenhang (als richtlijn wordt een maximale uitspoeling van 5% gewichtsverlies gehanteerd) kenmerkt dit soort betonmengsels zich door een zeer grote vloeibaarheid, waardoor bijv. schuine bouwputvloeren niet uitvoerbaar zijn met colloïdaal beton.

Colloïdaal beton wordt toegepast bij relatief kleinere storten, waar de toepassing van uitgebreid materieel niet opweegt tegen de hogere kosten van de betonspecie.

Voor colloïdaal beton kan worden gekozen vanwege de hoge vloeibaarheid, nodig bij toepassing van gewapend onderwaterbeton, waar enige garantie gewenst is voor voldoende omhulling van de wapeningsstaven.

De colloïdale beton kan worden toegepast in specifieke gevallen met beperkingen (bijv. situaties met stromingen van water, kleinschalige reparaties etc.). Ze is echter minder goed verpompbaar bij hogere dosering door plakwerking. Dit nadeel wordt versterkt als ook de consistentie terug loopt in de tijd. Hydrocrete heeft overigens ook een sterk uitvloeigedrag.

	Voorwaarde	Specificatie
Ontwerp	Eindsterkte - sterkteklasse Duurzaamheid - milieuklasse - cementsoort	betonkwaliteit watercementfactor I t/m V (hoogoven, portland etc.)
Uitvoering	Verwerkbaarheid - terugloop - superplastificeerder Samenhang - korrelgradering - min. fijn - vulstoffen Verhardingssterkte - cementklasse Overig - temperatuur-ontwikkeling - materialen - vertraging	consistentiegebied, zetmaat, schudmaat m/m-% dosering t.o.v. cementgewicht AB, AC (VBT, §6.3) liter/m³ kg/m³ dosering t.o.v. cementgewicht (voorheen A,B,C) 32,5 t/m 52,5 / R cementgehalte Dmax referentie geschiktheidsonderzoek

Tabel 3.6. Overzicht ontwerp- en uitvoeringsvoorwaarden

3.2.5 Overige methoden

Kubelmethode

Bij deze methode wordt een bak met onderlossing ('knijperbak') op gestorte specie geplaatst en gelost. Het gevaar voor overmatige ontmenging is groot. Om deze reden vindt toepassing in combinatie met colloïdaal beton nog emplot. De methode wordt praktisch niet meer toegepast in Nederland, anders dan bijv. kleine hulpconstructies met ruime toleranties, laagwaardig beton (bijv. gewichtsconstructies) of noodgevallen.

Injectiemethoden

Volgens deze reeds oude methode wordt een onder water aangebracht grindbed met een groutmortel geïnjecteerd. Hier moet worden bedacht dat een relatief groot volumepercentage wordt ingenomen door het toeslagmateriaal, hetgeen van invloed is op de mechanische eigenschappen van het eindproduct. Toepassingen bijv. bij uitvulling van gaten, vergelijkbaar met groutzakken ('prebagged' beton)

3.3 Betonmengselsamenstelling (zie ook §3.1.4)

Een overzicht van voorwaarden vanuit ontwerp- en uitvoeringsspecificaties is aangegeven in **tabel 3.6**.

3.3.1 **Ontwerpcriteria**

Bij de bepaling van de mengselspecificaties moet worden uitgaan van de prestatie-eisen uit de ontwerpfase, te weten

- voldoende eindsterkte (met name in geval van definitief werk, zie §2.2.3)
- voldoende duurzaamheid (*indien van toepassing*, zie §2.2.4 en schema figuur 2.3).

Deze prestatie eisen hangen sterk samen met de uiteindelijke functie van het onderwaterbeton in het gebruiksstadium (zie §2.1.1 en **tabellen 2.1 en 3.7**)

Mengselspecificaties zullen gedefinieerd worden resp. als een sterkteklasse (-> betonkwaliteit, 'B-waarde') en milieuklasse (-> maximale watercementfactor en evt. maximale scheurwijdte).

3.3.2 **Uitvoeringsvoorwaarden aan de betonspecie**

De betonklasse en milieuklasse als *ontwerpspecificaties* kunnen op hun beurt leiden tot uitvoeringsvoorwaarden ten aanzien van watercementfactor en cementsoort.

Uitvoeringsvoorwaarden worden vastgesteld om de uitvoerbaarheid, de 'maakbaarheid' van de onderwaterbetonconstructie als ontworpen, zeker te stellen. Zij komen tot uiting in uitvoeringsspecificaties.

Als eerste kan genoemd worden de **consistentie**, een maat voor de verwerkbaarheid. Onder verwerkbaarheid wordt doorgaans verstaan mate waarin de betonspecie kan worden gemengd, getransporteerd (incl. verpompt) en verdicht. De laatste is niet aan de orde bij onderwaterbeton.

Functie onderwaterbetonvloer	Prestatie-eis
Bouwputten tijdelijk	Sterkte Dichtheid
Bouwputten definitief (constructief)	Sterkte Duurzaamheid Dichtheid
Waterafsluiting	Dichtheid
Scheiding van lagen	Sterkte Duurzaamheid Dichtheid
Bodembescherming	Sterkte
Gewichtsvloer	Volumieke massa

Tabel 3.7. Functie versus prestatie-eisen

De verwerkbaarheid wordt gespecificeerd als het consistentiegebied (met bijbehorende zet- en schudmaten) en moet in eerste instantie worden afgestemd op de stortmethode, naast transportafstand e.d. (terugloop).

Elke consistentie is te realiseren door de toepassing van hulpstoffen (-super- plastificeerders, vertragers) en/of vulstoffen. De zet- en schudmaat geven, mits correct uitgevoerd, een *indicatie* van de verwerkbaarheid.

Een gangbaar criterium is consistentiegebied 4 (zetmaat > 160mm, schudmaat > 490mm), meestal een zetmaat van 180mm à 200mm bij aankomst op het werk. Voor de terugloop van de verwerkbaarheid is het behoud van de minimale zetmaat binnen 1 uur een redelijke eis. Consistentiegebied 4 wordt vaak gesteld om verschillende redenen. Eén hiervan is de noodzaak tot voldoende horizontaal vloeigedrag met het oog op de maattolerantie. Op de consistentie wordt onder meer de stortmethode afgestemd.

Verder gelden als overwegingen ten aanzien van de verdichting van onderwaterbeton, dat de hydrostatische druk op de betonmassa een relatief geringe verdichtende werking heeft, doordat als gevolg van schilwerking de druk van de waterkolom op een luchtbel in de betonspecie ongelijk (nl. kleiner) is dan de druk die een luchtbel in vrij water zou ondergaan. Daarentegen echter is de factor verdicht / onverdicht (verdichtingsmaat) nagenoeg 1, vanwege een grote zelfverdichtende werking van onderwaterbetonspecies

Het vloeibare karakter van consistentiegebied 4 werkt ook positief op de vlakheid van het eindresultaat, met als gunstige bijwerking een voldoende vulling van damwandnissen en omhulling van funderingselementen. Deze laatste zijn immers essentieel voor de krachtoverdracht tussen funderingselement en onderwaterbetonvloer.

Toch mag een lagere consistentie niet worden uitgesloten. Bij bijvoorbeeld hellende vloervlakken is consistentiegebied 4 mogelijk tot 1:10 en zal men al bij steilere hellingen (tot 1:5) naar consistentiegebied 3 moeten teruggrijpen al of niet gecombineerd met tijdtechnische maatregelen (zie §3.4.2).

Ten tweede geldt voldoende **samenhang** als een essentiële voorwaarde. Parameters die de samenhang in de betonspecie kunnen verhogen zijn de korrelverdeling c.q. de hoeveelheid fijn materiaal en/of vulstoffen. De samenhang aan het einde van de teenhelling moet in ieder geval worden gecontroleerd, omdat de samenhang daar het meest op de proef wordt gesteld.

Bij het verhogen van de samenhang door een vulstof is vliegas een voor de hand liggende optie; betoncentrales zijn ingericht op een dosering van een extra ingrediënt en vliegas heeft (behalve het 'kogellager'-effect, vloeibaar gedrag bij beweging) puzzolane eigenschappen onder een lage warmteontwikkeling. Naast de fijne fractie van de toeslag kan vliegas in de samenhang én in de binding daarmee een zekere bijdrage leveren. De plastificerende werking van vliegas door het kogellagereffect bij verdichten door trillen is hier dan niet aan de orde.

Alternatieve vulstoffen zijn steenmeel of cement zelf. Tevens bestaan colloïdale hulpstoffen. Deze zijn overigens dermate specifiek, dat sprake is van een geheel eigen stortmethode.

Als derde kunnen voorwaarden worden gesteld aan de **sterkteontwikkeling** (ofwel de verhardingssterkte op een bepaald gepland moment) ondervangen en samenhangend met de specificaties m.b.t. eindsterkte, watercementfactor, cementsoort en cementgehalte. Dergelijke voorwaarden hangen dikwijls samen met de planning binnen een project. Binnen deze categorie valt eveneens het opstijfgedrag (bijv. bij hellingen) of vertragende (bij)werking. Deze laatste in samenhang met bijvoorbeeld de lengte c.q. overstaan-tijd van het stortfront of zettingsgevaar in de eerste uren.

De aanvangsterkte zelf kan behalve de watercementfactor en cementsoort (hoogoven/portland) eveneens worden beïnvloed door de specificatie ten aanzien van cement*klasse* en via temperatuurontwikkeling door cement*gehalte*.

Verder zijn voorwaarden en *vrijheden* denkbaar op het gebied van temperatuurontwikkeling (in verband met latere krimpverschijnselen) en materiaaleisen (bijv. verplichte toepassing betongranulaat).

3.3.3 Geschiktheidsonderzoek

Behalve de gangbare verplichting om de voorbereiding van het onderwaterbetonstort te vatten in een draaiboek of dergelijke geldt voor het betonmengsel, conform de VBT-eis om de geschiktheid van het betonmengsel aan te tonen in een geschiktheidsonderzoek, ofwel de toepasbaarheid te kwalificeren.

In veel gevallen kan op een eerder toegepast mengsel worden teruggevallen. Soms zal nieuw onderzoek nodig zijn. De vraag welke eigenschappen dan moeten worden onderzocht moet worden afgewogen tegen de omvang van het stort, de transporttijd etc.

Een aantal eigenschappen wordt altijd 'meegenomen' in een onderzoek, een aantal moet altijd worden onderzocht en een aantal zaken moet als aanvullend/specifiek worden beschouwd, zie **tabel 3.8**.

3.4 Overige overwegingen

3.4.1 Aanvullende technieken

Trekbanken

Trekbanken kunnen als aanvullende techniek worden toegepast om een ontgravings- of stortmethode met onvoldoende verticale maatnauwkeurigheid te compenseren. Hierbij moet gedacht worden aan een soort forse afwerkrei, die nauwelijks nog wordt toegepast.

Verdichtingstechnieken

Hoewel onderwaterbetonspecie weinig verdichting behoeft zijn technieken bekend om met name het bovenvlak van het onderwaterbeton te verdichten, echter met voornaamste doel het verhogen van de vlakheid (onderwater-trilplaat).

Verder kan worden gedacht aan het gebruik van een trilnaald om maximale vulling in damwandkassen te forceren (minimaliseren lekkage damwand- vloer). De 'verdichting' wordt dan eigenlijk gebruikt als 'verplaatsings'techniek (trilplaat, vlakheid) -technieken onderwater.

In te betonneren elementen

In principe kunnen geprefabriceerde betonelementen worden aan- of ingestort voor specifieke situaties. Meestal is sprake van ankers aan het element, al of niet gecombineerd met wapening. Het komt niet veel voor. Bekend zijn bijv. de eerder genoemde scheurinleiders, doorvoeringen, sparingen prefab-kolomvoeten, maar ook later in te steken stekeinden komen voor.

ONDERZOEKS-ITEM		
Minimaal onderzoeken VBT	Aanvullend	Specifiek
Verwerkbaarheid	Volumieke massa	Temperatuur betonspecie
Druksterkte	Terugloop verwerkbaarheid	Adiabatische warmte-ontwikkeling
Watercementfactor	Luchtgehalte	Uitspoelvermogen
	IJkgrafiek (gewogen rijpheid)	Splijttreksterkte
		C-waarde cement
		Elasticiteitsmodulus
		Effecten hulpstoffen

Tabel 3.8. Onderzoeks-items geschiktheids-onderzoek

Voor deze elementen gelden als trefwoord;

- voldoende fixatie, op z'n plaats blijven onder het betongeweld
- voldoende omhulling, goed ingepakt worden, evt. later injecteren door aanbrengen injectieslangen vooraf

Slooptechnieken

Incidenteel komt het voor dat met betrekking tot de (toekomstige) onderwaterbetonconstructie sloopwerk moet worden uitgevoerd, bijvoorbeeld het frezen van te hoog gestort onderwaterbeton. Een andere situatie zijn te hoog ge- of omgroute vibro-combinatie-palen als 'pannenkoek' (geheid na ontgraven) of als ongewenste paalomhulling (bij vooraf heien). Het laatstgenoemde voorkomen als de groutkolom van de zojuist gegroute paal omhoog wordt gedrukt in de nog aanwezige grond door opheien en/of indrukken/verdringen van het grondpakket door de naburige palen. Bij later ontgraven is het groutlichaam tot een te hoog peil aanwezig om de paal. Op dit gevaar kan weer worden geanticipeerd door gebruik van een soort 'condoom' over de VC-paal (later makkelijker sloopwerk) of gefaseerd heien in geval van opheien.

3.4.2 Hellende vloervelden

Bij het storten van hellende vloervelden is de helling van de constructie een vast gegeven en een zeer bepalende factor voor de zijde waar het stort wordt aangevangen.

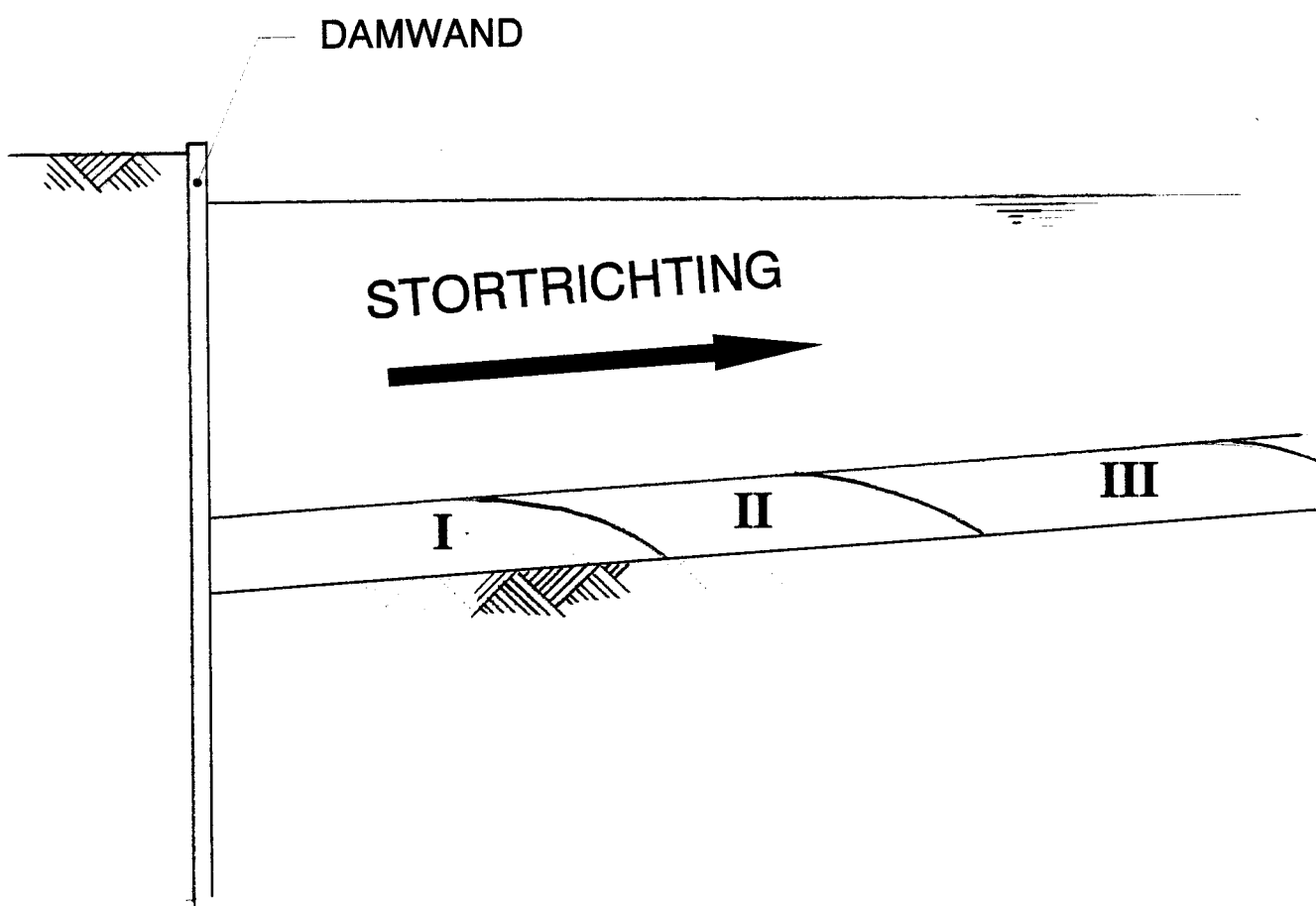
De verwachte natuurlijke helling van de betonspecie ligt doorgaans tussen 1:10 en 1:20. Bij steilere hellingen zal gekozen moeten worden voor;

- Ofwel een betonspecie met lagere consistentie (daarmee een natuurlijke helling, die relevant steiler is dan de helling van de constructie) bij stort die men 'boven' wil beginnen. Dit om te voorkomen dat alles direct doorloopt naar het einde van het stort.
- Ofwel het stort beginnen aan de 'beneden'zijde (zie fig. 3.9).

De omslag voor deze keuze ligt bij constructies onder ca. 1:20, waar nog betonspecies van 1:15 mogelijk zijn.

In beide gevallen geldt echter het risico van 'onderuitgaan' van de beneden liggende pas gestorte delen als gevolg van het hydrostatische drukverschil tussen hoger en lager gelegen betonspecie. Dit risico neemt uiteraard toe bij steilere hellingen. Het risico kan worden beheerst door de stortcapaciteit zodanig te beperken dat voldoende opstijving van onderliggende delen kan plaatsvinden. Zelfs kan gekozen worden voor het telkens één stramien verder, doch aansluitend, storten en zo nodig later het tussenliggend stramien te storten, om te anticiperen op eventueel opgedrukte betonspecie in het tussenstramien. Dit navullen moet echter in principe worden voorkomen. Verder zou een vertragende hulpstof zoveel mogelijk vermeden moeten worden. Als bewaking tijdens het stort is controle van eerder gepeilde maten (bovenzijde beton) onontbeerlijk.

Bij een keuze voor storten van bovenaf moet bedacht worden dat het stortfront behoorlijk langer zal worden. Dit kan van belang zijn als het stortfront op enige plaats ouder dan ca. 2 uur wordt en een vertrager weer noodzakelijk zou maken. Verder geldt hoe langer het stortfront hoe meer cementslib.



Figuur 3.9

3.4.3 Wapening onder water

In CUR-rapport 102 staat het nodige omschreven omtrent wapening in onderwater-betonconstructies. Hoewel deze wapening geen grote vlucht heeft genomen (men is geneigd dit in principe te vermijden) is dit CUR-rapport nog steeds geldig.

Indien in het ontwerp is gekozen voor wapening in de onderwaterbetonconstructie (afgewogen tegen een te bereiken kwaliteit wapening - beton) kan dit tot een aantal implicaties leiden voor de uitvoerende fase;

- Veelal zal van geprefabriceerde netten gebruik moeten worden gemaakt
- Slib zuigen is niet meer zo optimaal mogelijk als zonder wapening, zodat een 'schone put' voor aanbrengen en/of een korte overstaan-tijd van de wapening nodig is. Eventueel nadien bezonken slib op de wapening is bovendien moeilijker te verwijderen.
- Bovenstaande geldt ook ten aanzien van algen en corrosie van de wapening.
- Wapening kan bepalend zijn voor de keuze van de stortmethode. Bij de Hopdobber kan geen startfront worden opgebouwd en zal bijv. het ventiel te hulp moeten schieten of de wapening lokaal tijdelijk moeten worden verwijderd. Als de schotel op de wapening blijft leunen of steken kan in combinatie met een (te) schuin startfront het waterslot worden verbroken (zie §3.2.3) en een plotse leegloop optreden, waardoor een herstart nodig is. Om die reden kan bijv. een betonspecie gevraagd worden met een zodanige zetmaat, dat een minimale helling van 1:20 optreedt.
- Om voldoende dekking aan de onderzijde te krijgen zullen hogere eisen nodig kunnen zijn aan de ondergrond; vlakker, harder, schoner.
- De grootte van dekking zal afgewogen moeten worden tegen reële en haalbare verticale toleranties voor ondergrond, wapening én beton. De ontwerper zal een ruime dekking moeten kiezen, afhankelijk van de maaktoleranties van wapening vloerhoogte en stortmethode (bij de Hopdobber in de orde grootte 0.15 à 0.25m)
- De stijfheid en stabiliteit van een wapeningsnet moeten worden afgewogen tegen de krachten tijdens het storten van de betonspecie, waardoor fixatie nodig is.

3.4.4 Risico's en schadebeelden

In de voorbereidende fase van een onderwaterbetonstort zullen de risico's voor storingen tijdens het proces moeten worden onderkend om schade's aan het eindresultaat te voorkomen. Vele hiervan zijn vertegenwoordigd in de voorgaande en komende paragrafen.

Genoemd kunnen worden extreme verticale maatafwijkingen (te hoog, te laag, maanlandschap), slibinsluitingen, grindnesten, scheuren, fouten in de aansluiting, damwandvervorming etc., etc.

Een hulpmiddel om deze risico's en schadebeelden te onderkennen is een lijst met kritische onderdelen en kritische eigenschappen (resp. LKO en LKE). Een voorbeeld hiervan is opgenomen als bijlage B. Uit deze lijst kan een risico-analyse worden afgeleid, bijvoorbeeld zoals aangegeven op bijlage C. Ook deze risico-analyse kan (deels) nader uitgewerkt worden. Een voorbeeld voor de uitwerking van het stortproces zelf is weergegeven op bijlage D.

3.5 Inpassing in kwaliteitszorg

De intrede van kwaliteitszorg in de civiele bouw uit zich onder meer in;

- a) De gedetailleerde beschrijving vooraf van alle stappen in het bouwproces (uitvoerings- of werkplannen, projectwerkinstructies) en de controles die hierbij worden uitgevoerd (keuringsplannen). Ook een risico-analyse, genoemd in § 3.4, is een uiting hiervan.

- b) Uitvoering, waarbij de vooraf bepaalde controles door de uitvoerenden zélf worden uitgevoerd
- c) Aantoonbaarheid achteraf van het uitgevoerde werk conform het vooraf op schrift gestelde (specificaties en de diverse plannen)

Bij een onderwaterbetonstort was men eigenlijk al gewend om alle voorbereidingen van het onderwaterbetonstort zélf te vatten in een draaiboek o.d. met telefoonnrs., data en tijden, routings etc. In de moderne kwaliteitszorg komen daar dus de fasen vóór het stort (prepareren voor het stort) en de aparte beschrijving van controles bij

Een tegenwoordig draaiboek zou daarom minimaal moeten bevatten;

- identificatie (titel documentnummer, datum etc.)
- organisatieschema (wie doet wat, benoemen sleutelfuncties met namen, telefoonnummers)
- gedetailleerd tijdschema (ploegen bij grotere stort)
- beschrijving voorbereidingsactiviteiten
- beschrijving stortproces (startpunt, routing, mixer- en kraanopstelling)
- etc.

De volgende controles zouden minimaal moeten worden beschreven (wie, hoe, wanneer / hoe vaak, criterium, wijze van vastleggen):

- inpeiling bodem voor stort
- reinheid bodem + evt. funderingselementen voor stort
- waterstandsbeheersing
- leveringscontrole betonspecie (juistheid mengsel + consistentie)
- uitpeiling betonspecie voor, tijdens en na stort
- verhardingssterkte
- eindsterkte / duurzaamheid beton (gegevens centrale).

Een tweede aspect is dat de opdrachtgever en/of een andere toetsende partij, bijvoorbeeld de hoofdaannemer of een eigen afdeling, steekproefkeuringen verricht gedurende alle uitvoeringsfasen door middel van;

- documentcontrole (bijv. inzage in peilingen of betonbonnen)
- visuele inspecties (bijv. steekmonster slib voor stort)
- metingen (bijv. eigen peilingen of zetmaat)

Het zwaartepunt van de respectievelijke steekproefkeuringen zal vanzelfsprekend gericht variëren bij a), b) en c) dat wil zeggen meer visuele inspecties vlak voor en tijdens het stort, meer documentcontroles met betrekking tot de aantoonbaarheid). De frequentie van de steekproeven zal evenredig zijn met het aantal geconstateerde relevante 'non-conformances'.

4 **UITVOERINGSFASE**

4.1 **Vorbereidende activiteiten**

4.1.1 **Prepareren van bouwput**

Bij het prepareren van de bouwput wordt hier bedoeld op de wandconstructie en eventuele stempelingen. Een rode draad is de reiniging van bijvoorbeeld damwandkassen. Onvoldoende aansluiting van onderwaterbeton aan de damwand, met name bij de sloten, kan tot grote problemen leiden, waaronder oncontroleerbare lekkages. Vooral waar in kleiachtige grond is gegraven zal met hoge waterdruk moeten worden nagereinigd. Bij zandgronden die door heiwerk verdicht zijn kan dit ook nodig zijn. Bij het reinigen van damwandkassen is het raadzaam om deze uit te steken tot ontgravingsniveau vanaf de bovenzijde; achtergebleven brokken grond boven het latere betonniveau kunnen voor of tijdens het stort alsnog loslaten en ingesloten worden, met als gevolg latere overmatige lekkage.

Behalve reiniging is een adequate waterstandsbeheersing een belangrijke voorwaarde die in de voorbereidingen zal moeten worden meegenomen (zie §3.1.1) in de vorm van peilschalen, ontwateringsgaten (ten behoeve van maximumpeil), (reserve-)pompen, niveau-schakelaars (bijv. bij getijden. Bij pompen moet de pompcapaciteit worden afgestemd op stortcapaciteit (m³/h).

4.1.2 **Prepareren van de ondergrond**

Ook bij de ondergrond speelt reiniging een hoofdrol. Eventuele overmatige insluiting van slib moet absoluut vermeden worden (zie §2.2.1). Dit kan betekenen dat een wachttijd voor het bezinken van slib (door activiteiten als bijv. graven en grondverbetering immers in suspensie) moet worden ingepland, voordat dit met bijv. een vuilwaterpomp kan worden verwijderd. Ook kan de toepassing van slibschermen worden overwogen. Afhankelijk van de (slib-)korreldiameter kan dit tot een flink aantal dagen oplopen. Vastgekoekte slib op palen en/of damwanden (op de bodem vastgekoekt geen probleem) is eveneens ongewenst en kan in combinatie met 'jet'-equipment worden aangepakt. Voor de hardnekkigste vaste slib is er dan nog de airlift-techniek. De mate van slibverontreiniging wordt vaak bepaald met soortelijk-gewicht-metingen en/of visueel met steekmonsters.

Als tweede preparatie moeten de acties om voldoende matekwaliteit van de ondergrond (zie §2.2.5) te bereiken genoemd worden (uitvullingen, trek- sleepbalken etc.)

4.1.3 **Reinigen van funderingselementen**

Nogmaals is reiniging een bepalende factor bij funderingselementen. Om hun functie als (meestal trek-)element te kunnen vervullen is nagenoeg volledige omhulling / insluiting een voorwaarde, zowel bij H- of paalprofielen (met of zonder nokken) als betonpalen. Bij heien voor graven zal aanhangende grond aan de paal achterblijven na het graafwerk. Neergedwarreld slib op de bovenzijden van de ribbels van vibro-combinatie-palen doet de paal later een belangrijk aandeel van zijn krachswerking missen, nl. de schuifweerstand over de ribbelvlakken. De vorm van H-profielen werkt insluitingen in de hand en behoeft zorgvuldige reiniging.

4.2 Procescontrole van het stortproces

4.2.1 Controles bij het prepareren van de stortlocatie

Uit de voorgaande paragrafen mag blijken dat controles zinvol zijn ten aanzien van;

- het bodempeil
- de bodemvlakheid
- de reinheid van de bouwput + eventuele funderingselementen
- de waterstand

Ook zal de stabiliteit van de bouwput (hulpconstructies/stempeling, bodem grondmechanisch) door de tijdelijke en definitieve veranderingen in krachten door constructeur en uitvoerder onder de loep moeten worden genomen.

4.2.2 Controles in het leveringstraject

Een (product-)certificaat van de leverende betoncentrale(s) ondervangt de meeste controles (mengen en transporteren van de betonspecie) voor de uitvoerenden, maar ontslaat hen niet van de verantwoordelijkheid zich te overtuigen van de juistheid van bijvoorbeeld;

- de geleverde betonspecie (geleverd als besteld, met behulp van betonbon)
- de ouderdom van de betonspecie (bijv. max. 2 uur)
- de consistentie van de betonspecie (visueel en/of zet- en schudmaat)

Verder zijn een aantal praktische controles denkbaar met betrekking tot de aanvoer van de betonspecie (lengte, duur en hindernissen van de transportroute, vergunningen bij nachtwerk e.d.)

4.2.3 Controles tijdens verwerken van de betonspecie

Bij de start van een onderwaterbetonstort is kortstondige en plaatselijke vermenging van water en betonspecie onvermijdelijk en in principe bezwaarlijk. Bij de meeste stortmethoden is daarna direct contact tussen uitstromende betonspecie en water niet meer aan de orde, bijv. door de uitstroom onder het betonniveau te houden. Een herstart, om wat voor reden dan ook, wordt na de opbouw van het stortfront het liefst vermeden. De aanwezigheid van wapening verdient in de startfase veel aandacht.

Verder blijft de reinheid een continue factor tijdens het stort. Een stortfront zal het weinige restslib op de bodem deels voor zich uitschuiven. Het bewegende stortfront zal zich aan de oppervlakte vermengen met water tot een cementslib. Beide effecten zijn reden om bij de teen van het stortfront te blijven slibzuigen.

De maatregelen ten behoeve van de waterstand kunnen afdoende genomen zijn om alleen visuele controle nodig te maken. Ook zal men attent moeten blijven ten aanzien van stromend water, bijvoorbeeld bij getijden of ongecompartimenteerde stort in rivieren.

Als laatste maar voor de hand liggende kan de voortgangscontrole worden genoemd. Via peilingen en raaien kan bepaald worden;

- of overal de juiste laagdikte wordt gerealiseerd (bij hellingen: deze niet toeneemt)
- of de voortgang loopt als gepland

4.2.4 Controles na het stortproces

De controles na het stort hebben vaak een accent op de sterkte-ontwikkeling ('kan de put al droog'). Hiertoe wordt doorgaans de verhardingssterkte gemeten. Een moderne toepassing hiervoor is de methode met gewogen rijpheid (ref. CUR 9 en §2.2.3). Gelet moet worden op de maatgevende horizontale en verticale meetplaats; de laatst gestorte charges in de bovenste delen van het onderwaterbeton zullen het laatst met hun sterkte-ontwikkeling beginnen en maatgevend kunnen zijn voor het tijdstip van belasten (door bijv. afmalen).

Een tweede onderwerp van controle kan de dichtheid van de bouwput zijn na afpompen bij de aansluiting damwand-onderwaterbeton of bij al of niet voorziene scheuren. Voorziene scheuren (door bijvoorbeeld zaagsneden direct na afpompen of temperatuurscheuren) zijn geen aanleiding tot zorg (zeker niet als een drainage laag tussen onderwaterbeton en constructievloer is ontworpen), tenzij de lekkage overlast geeft voor de vervolgactiviteiten of -erger- de scheuren zandvoerend zijn. In dat geval moet altijd worden overgegaan tot injecteren. Bij zandvoerendheid is de noodzaak acuut. In overige gevallen moet bedacht worden dat de waterdruk altijd de 'zwakke schakel' zal vinden (dikwijls in de aansluiting wand - vloer) en de injectie op een zinvol moment gepland moet worden.

Na afpompen is tevens een maatvoeringscontrole in den droge mogelijk op bovenzijde beton en evt. funderingselementen. Gecombineerd met de ontgravingspeilingen geeft eerstgenoemde nauwere informatie over de bereikte laagdikte van de onderwaterbetonconstructie, tenzij relevante vervorming van de onderwaterbetonvloer in verticale zin niet kan worden uitgesloten.

4.3 Afwikkelingsactiviteiten

Als laatste controle-activiteiten kunnen de gegevenscontrole bij de leverende centrale worden genoemd. Het betreft hier dan een documentcontrole (zie §3.5) om de eisen ten aanzien van bijvoorbeeld eindsterkte (28-daagse druksterkte) en duurzaamheid (watercementfactor uit doseringsgegevens) formeel vast te stellen.

Overige afwikkeling kan de aanpassing van betonhoogte (2e maatvoeringscontrole na sloopwerk) of afdoende injecteren van scheuren betreffen als corrigerende maatregel op dergelijke 'non-conformance's'.

5 NIEUWE ONTWIKKELINGEN

In deze paragraaf worden enkele aspecten van onderwaterbeton aangehaald die in enige mate onderhevig zijn aan nieuwe ontwikkelingen. Dergelijke ontwikkelingen worden sinds meerdere jaren gesignaleerd.

5.1 Mengselsamenstellingen

Ten aanzien van de mengselsamenstelling zijn in voorkomende gevallen alternatieve **vulstoffen** aan de orde, zoals steenmeel en silica-fume, mogelijk ingegeven door prijsontwikkeling van het gebruikelijke vlieg-as (tot ca. 3/4 van de cementprijs) vlieg-as.

Ook hebben mengsels met hoge doseringen superplastificeerders hun intrede gedaan ten behoeve van **vloeibeton**. Hoewel in eerste instantie niet onder water bedoeld is toepassing hier niet uitgesloten.

Wat betreft de **toeslag** kan recentelijk sprake zijn van grindvervanging door kalksteen, ingegeven door lokale situatie (beschikbaarheid op de markt) of ontwerp-technische (hogere elasticiteitsmodulus)

Het gebruik van meng- en/of betongranulaten past voor sommige partijen in het tijdperk van milieu, recycling (veelal opdrachtgevers) en/of marktsituatie (betoncentrales)

Verder is toepassing van staal- of kunststofvezels in onderwaterbeton niet meer ongebruikelijk. Het doel van deze toevoeging is ongetwijfeld van ontwerp-technische aard; het verbeteren van de mechanische (sterkte, scheurvrij) en/of fysische (dilatatie-vrij) eigenschappen. Hierbij verdient de dosering in kg/m³ de aandacht in verband met de verwerkbaarheid c.q. de verpompbaarheid.

Als laatste zijn de ontwikkelingen op het gebied van hogesterktebeton als toepassing voor onderwaterbetonstort niet uit te sluiten.

5.2 Werkmethoden

Behoudens vele kleine slimme verbeteringen binnen bestaande methoden is op hoofdlijnen een aantal zaken vermeldenswaardig.

De groeiende invloed van de computer lijkt ook inzetbaar in de praktijk van het onderwaterbeton. Automatisering van maatvoering en peilmethoden (sonartechnieken) vindt plaats. Ook een vorm van 'robotisering' van de reiniging van de bouwput is wenselijk. Het meten van verhardingssterkte via gewogen rijpheid en computer (in plaats van kubussen met temperatuurregeling) is inmiddels zeer gebruikelijk.

Van de basis-stortmethoden is in begin 90'-er jaren variant van de Hopdobber ontwikkeld waarbij verplaatsing geleidelijk en zelfaandrijvend geschiedt, waardoor nauwere toleranties in vlakheid kunnen worden gerealiseerd en derhalve dunnere vloeren kunnen worden ontworpen (het 'strijkijzer').

5.3 Overig

Op het gebied van wetgeving en normering zijn vele aspecten te noemen die hun weerslag hebben op ontwerp, voorbereiding en uitvoering van onderwaterbeton. Zo zijn lekkage en lozing vanuit de bouwput op omliggend water sterk onderhevig aan de huidige normen en verhoogde aandacht ten aanzien van het milieu. Ook het Bouwstoffenbesluit, van kracht sinds enkele jaren, kan hier niet onvernoemd blijven.

Duikwerkzaamheden, essentieel voor en tijdens het stortproces, zijn onder andere in verband met het veiligheidsaspect, sinds 1995 onderhevig aan het 'Besluit arbeid onder overdruk'. Een en ander heeft geleid tot het zgn. brevet civiele onderwaterbouw.

Ook qua organisatie van het stortproces van onderwaterbeton speelt duikwerk een veranderende rol. Traden duikers voorheen veelal op als onderaannemer voor prepareren van de bouwput en procescontrole alleen, tegenwoordig wordt meer en meer het gehele stort aangenomen. Verschil is dat hierbij dan tevens het *volledige* risico voor het geleverde werk wordt overgenomen. Keuzen in de uitvoering worden nu door de duikers ter acceptatie van de hoofdaannemer gemaakt.

Ontwerp-aspecten
Vorbereidingsfase Uitvoering

Onderwaterbeton in vloerkonstrukties

ONTWERPFASE			VOORBEREIDINGSFASE		UITVOERINGSFASE	
CONSTRUCTIEVE ASPECTEN (bouwkuip)	PRESTATIE-EISEN (OW-betonvloer)	BESTEKS-EISEN (OW-betonvloer)	MENGSELONTWERP	UITVOERINGS-EISEN	STORTMETHODEN	PROCESKONTROLE
Functie OW-beton - Tijdelijk - Definitief werk - Gewichtsvloer Configuratie - Ondergrond / bodemsoort - Dimensies - vloerdikte - overspanning - helling - (On-/)gewapend - Stempeling - Waterstand - Palen - paalkop (ribbel/-vorm) - schachtlengte - ponswerking	Palen - Paalpositie - Paalhoogte - Ruwheid paalkop Eindsterkte - Referentie mengselontwerp Verhardingssterkte - Tijdstip verlagen waterstand - Tijdstip volledig afmalen Duurzaamheid - Watercementfactor in enkele gevallen van toepassing (referentie schema) - Voorkomen insluitingen - bodem slibvrij - damwand schoon Dimensies OW-beton - Voerdikte - Helling - Wapering Vlakheid OW-beton - Consistentie Aansluiting OW-beton - Vulling damwandnissen - Omhulling palen	Palen - Toleranties X,Y - Toleranties Z Betonmengsel - Gecertificeerde levering - Sterkteklasse - Cementsoort - Cementgehalte - Toeslagmaterialen - korrelfracties - zandpercentage - gehalte fijn - (evt.) betonpuin-granulaat - Hulp-/vulstoffen - superplastificeerder - vliegias - vertrager - In enkele gevallen - watercementfactor - volumegewicht - Tegengaan uitspoelen - ontmenging Vloerdikte - Toleranties bodem - Toleranties bovenkant OW-beton Normen/richtlijnen , relevante delen uit: - CUR 56 (rapport) - CUR 102 (rapport) - CUR 9 (aanbeveling) Uitvoering - Draaiboek/werkplan/ foutenboom - Duikerinzet - Peilen voor en tijdens stort - Afmaaltijdstip - Afmaalsnelheid	Ontwerpkriteria - Sterkteklasse - (EVT) Milieuklasse - Volumegewicht Uitvoerings-specificaties - Consistentiegebied - Cementsoort - Cementklasse - Hulpstoffen - Vulstoffen - Gehalte fijn - Korrelgradering Geschiktheids-onderzoek - Voorhanden of Aanbevelingen: - Sterkte-ontwikkeling - druksterkte - splijttreksterkte - ijkgrafiek - Verwerkbaarheid - terugloop - Temperatuur-ontwikkeling - specie / seizoen - adiabatisch - Uitspoelvermogen - Luchtgehalte - Volumieke massa - E-modulus - Waterindringing - Effecten hulpstoffen	Ondergrond - Ontgravings-methode - Bodemsoort vs. aanvulling - Slibvrij Palen - Heitoleranties - Paalkop - Schoon Damwand - Lekdicht - Schoon OW-beton - Dikte - Vlakheid - Consistentie - Aansluiting/vulling Draaiboek/werkplan - Bovenstaande en - Tijden/data - Ploegen/namen - Telefoonnummers - Routing - Foutenboom - VGW-aspekten	Contractormethode Hydro-ventiel - Varianten (ZHBC / Mebin) Dobbermethode - Hopdobber - HBW-dobber - Pellegrimdobber Colloidaal beton - Hydrocrete Ontwikkelingen - Innovaties, nieuwe/ verbeterde methoden - Optimalisatie ontwerpparameters vs. uitvoerings-parameters	Voorbereiding - Slibzuigen bodem - Vlakken bodem - Reinigen palen Levering specie - Mengen - mengtype - dosering - doseervolgorde - mengweerstand - mengtijd - Transporteren - transportduur - type mixer - transportweg (vlakheid) Afname-controle - Leveringsbon - Zetmaat - Schudmaat Verwerking specie - Referentie stortmethode - Ontmenging - Luchtopsluiting - Slibzuigen / front - Rijpheidsmeting

Lijst van kritieke eigenschappen & onderdelen uitvoeringsaspecten bouwkuip met onderwaterbetonvloer								
LKE	LKO	WAT BEHEERSEN	HOE BEHEERSEN		EIS	controle methode	actie	
			METHODE	REFER.				
1 beton samenstelling G.O = geschiktheids onderzoek	sterkte	B25	cementhoev.	bestek	> B 25	rijpheid/kuberen	G.O	
	0 agressiviteit		beoordeling	bestek	bepaal wcf	zie schema bijlage		
	0 wcf		dosering water	G.O	< 0.65	berek/ meten		
	2 wcf		dosering water	G.O	< 0.55	berek/ meten		
	3 wcf		dosering water	G.O	< 0.55	berek/ meten		
	vloeibaarheid	c.g/zetmaat	water ivm toeslag	bestek	3 of 4	controle		laborant
	verwerkbaarheid	c.g /tijd	hulpstoffen	G.O	1 uur	stortplek		
	bindmiddel	cementgehalte	> 280 kg/m3	bestek	> 280	G.O		
		cementsoort	HO-A / PC-A	bestek	HO-A			afh. tijd/ B
		hydratatiewarmte	hoogovencement		< Joule			
		sulfaatbestand	slakgehalte	bestek	slak > 65 %	analyse		leveranc. Cem
	toeslagstof	zand/grind	VBT 1986		A-B lijn	toets		
		vliegias	dosering kg	G.O	> 20 kg	toets		geen wbf
		betonpuingran	gecertificeerd	bestek	< 20 %	toets		
	hulpstof	plastificeerder	dosering	G.O	c.g	toets		uitvoeringsplan
		vertrager	dosering		tijd	toets		
		hydrocrete	dosering		dichtheid	toets		
		(colloidaal beton)	uitspoeling			G.O		
2 verharding betonmortel	tijdsduur	> 3 weken	tijd/temperatuur		sterkte	rijpheid		uitvoeringsplan
	sterkte	B waarde bepalen	rijpheid/kuberen	bestek	> B25	rijph/boorkern		uitvoeringsplan
	afmaaltijdstip	sterkte	rijpheid/kuberen	bestek	> B25	rijph/boork		
	rijpheidsmeting	temperatuur	thermokoppels	plan	> B 25	rijph/boorkern		uitvoeringsplan
3 beton centrale op het werk	opslag zand/grind	minimum tonnage	depotvoorraad		grootste storthoeveel heid	gecertificeerde betoncentrale		
	voorraad (vorst)	minimum	aanvoer scheepvaart					
	cement	voorraad			aanwezig	toezicht		
	mengertype	mengtijd	meten			controle op werkplek		
	dosering	hulpstoffen	toezicht			min T op werk meten		
4 Transport	route / rijtijden	dag/ nacht	uitvoeringsplan			toezicht		controle
	0 rusttijden	dagindeling						uitvoeringsplan
	lostijd	verwerkingscap.						
	afnamecontrole	c.g /zetmaat	meten		G.O	toezicht		betonlaborant
		bon	toezicht		B / locatie	toezicht		
	mixergrootte	verwerken beton	uitvoeringsplan		vers houden	toezicht		uitvoeringsplan
5 stortmethode betonmortel (meest gangbare) (stortmethoden)	aantal mixers				stort			
	pompen	dikte	peilen	bestek	tekening	peilen		uitvoeringsplan
		vlakheid	peilen		bestek	peilen		
	dobber	routing	routeplan	bestek		toezicht		uitvoeringsplan
		hoogte dobber	peilen		dikte vloer	peilen		
	hydroventiel	routing	routeplan	bestek		toezicht		uitvoeringsplan
6 stortuitvoering onderwaterbeton		betonhoogte	peilen			peilen		
	trilplaat	ruimte palen	uitvoeringsplan			toezicht		uitvoeringsplan
	afmeting	triltijd	peilen			peilen		
	wapening	start betonstort	start met pompen		geen ontmenging			uitvoeringsplan
	stortfront	helling	c.g/zetmaat	GD	> 1:10	duiker		uitvoeringsplan
	slibvorming	ophoping	duiker/pomp/airlift		< 10 cm	duiker		uitvoeringsplan
7 wapening in onderwaterbeton	stortonderbreking	betonaansluiting	duiker		kwaliteit	slib		uitvoeringsplan
	obstakels	betonaansluiting	duiker		geen slib	duiker		uitvoeringsplan
	vlakheid	stortmethode	peilen	stortplan	bestek	toezicht		uitvoeringsplan
		afwerking	trilplaat	palentek		triltijd		uitvoeringsplan
	dekking	bevestiging	prefab wapening	tol.	> 10 cm	wap.tekening		ontwerp
	bevestiging	binden/lassen	duiker		bestand tegen betondruk tijdens stort			
8 water in bouwkuip t.b.v stortproces	start storten	stortproces	stortplan		start pomp	toezicht / duiker		
	prefab	lasverbindingen	wapeningplan		laslengte	ontwerp		
	aanhechting	tijd voor storten	planning	< tijd	geen slib	duiker		uitvoeringsplan
	stroming	waternivo	pompen	bestek	nivo gelijk	peilschaal		toezicht
		opwaartse druk	waternivo	bestek	voorkomen	grondwaterpeil		
	slib	baggeren/ rusttijd	uitvoering		voorkomen	meetglas		slibscherm
9 weersverwachting tijdens betonstorten	veenbal / kleibal	baggeren	slibscherm/duiker	schoon	verwijderen	duiker		
	vorst (beevriezing)	betonmortel	verwarmen water		> 7 grC	waterketel		
	(weersvoorspelling)	grinddepot	afdekken		geen kluiten	vorstdiepte		dekzeilen
		transportbanden	overkappen/ geen stilstand		beevriezing	prefentieve maatregelen		
10 Bekisting	lekage betonmortel	dichtheid kist	bekistingsplan		dicht	duiker		uitvoeringsplan

RISICO – ANALYSE UITVOERING
opsteller L.LEEUW
datum 31 januari 1994

GEFO Gebeurtenissen en Foutenboom
maken bouwputten met onderwaterbetonvloer

	Ongewenste gebeurtenis	Gevolg	Maatregelen
	DAMWANDEN BOUWKUIP		
1	plank krom/ lengte > 2 %	uit slot slaan	meten, warm stoken, afkeuren
2	slot beschadigd	uit slot slaan	richten, kaliber
3	Uit lood heien > 1% lengte	uit slot slaan	heitolanties opstellen
4	Te lang trillen bij geen zakking	slot verbrand, uit slot lopen	overgaan op heien, staffelen
5	Obstakels, geen zakking	uit slot slaan	gestaffeld heien
6	Watertransport door sloten	lekkage	slotvullingsmassa in slot
7	geen standvastige geleiding	uit slot lopen	vaste makelaar
8	geen bout in slot	zand in slot, kans uit slot lopen	bout aan o.k slot
9	damwand uit het slot	niet grond / waterdicht	duikerreparatie
10	geen passende heimuts	stuk slaan kop plank	passende tanden op heimuts
	COMBI – WANDEN BOUWKUIP		
	Buispalen met vulplanken		
1	stand slot aan buispaal	slot vulplank past niet	controle stand slot
2	slotlengten niet in een lijn	uit slot lopen vulplank	richten voor lassen
3	buispaal kromming te groot	niet te lood heien, uit slot slaan	inmeten, corrigeren, opslag
4	waterstroming door slot	lekkage, extra bemaling	slotvullingsmassa
5	scheefstand buispaal bij heien	passing vulplanken, uit slot	tolerantie, elektr.meten
6	richting slot buispaal bij heien	geen passing vulplank	heien met heiframe
7	h.o.h afstand buispaal bij heien	geen passing vulplank	heien met heiframe
8	kromming vulplank te groot	uit slot heien	meten, branden, afkeuren
9	breedte vulplank past niet	geen passing	meten, richten
10	damwand uit het slot	niet grond / waterdicht	duikerreparatie
11	conservering applicatie	duurzaamheid onvoldoende	applicatie draaiboek
	BETONTREKPALEN	VERANKERING OWABETON VLOER	
1	paal niet op diepte geheid	te weinig ribbels in owabeton	extra ontgraving rondom paal
2	paal te diep geheid	te weinig ribbels in owabeton	extra ontgraving rondom paal
3	paalkop stuk en paal niet op diepte	geen krachtsoverdracht mog.	nieuwe paal heien
4	paal gebroken bij heien	geen krachtsoverdracht mog.	nieuwe paal heien
5	onvoldoende ribbel(structuur)	geen krachtsoverdracht mog.	herstellen, toleranties, afkeur
	MV – PALEN	VERANKERING OWABETON VLOER	
1	lasverb + koppeln groutldng onvd	groutleiding breekt	dikte koppeling/lassen contr.
2	aansluiting slang groutleiding stuk	onderbreken groutproces	controle aansluitingen
3	druk/groutmeters defect	geen controle groutproces	controle vooraf
4	retourstroom grout stagneert	geen drukopbouw grouting	duikercontrole
5	groutdruk te groot	groutschollen op de bodem	controle groutproces
6	groutsamenstelling	zie combi – vibropalen	
	COMBI – VIBROPALEN	VERANKERING OWABETON VLOER	
1	betonpaal niet op diepte	zie betontrekpaal 1	
2	betonpaal staat te diep	zie betontrekpaal 2	
3	water in buispaal	minder kwaliteit grout	water afpompen uit buispaal
4	kwaliteit grout onvoldoende	onvold. kracht grond – paal	vooraf geschiktheidsonderzk
5	vloeibaarheid grout te hoog	kwaliteit onvoldoende (WCF)	afkeuren
	ONDERWATERBETON	GRONDWERK / BETON / STORTEN OWABETON	
	GRONDWERK		
1	ontgraven niet op diepte	owabeton wordt te dun	peilen, baggeren
2	onvlakheden te groot	extra verbruik beton	vlakken, opvullen zand/grind
3	aanhang grond in damwandkas	grond in owabeton	peilen, duikercontrole
4	grond aan damwand tpv owabeton	onvold. aanhechting, lekkage	schrapschoon, duikercontrole
5	grond onvoldoende draagkracht	instabiliteit, squeezing bodem	dikte zandlaag, vanproef
	BETON		
6	betonsamenst. onvold. project	onvoldoende kwaliteit	vooraf geschiktheidsonderzk
7	zetmt/ cg te hoog/ te laag	onvold. betonaansluiting	controle bij uitvoering
	STORTEN ONDERWATERBETON	(met dobbermethode)	
8	opstarten dobbermethode	ontmenging beton	stempelloze bouwput
9	onderwaterbetonvloer te laag	onvold. sterkte vloer	peilen bk vloer bij storten
10	onderwaterbetonvloer te hoog	slopen voor constructievloer	peilen bk vloer bij storten
11	onvold aansluiting betonpalen	sterkte, lekkage	duikercontrole
12	onvold aansluiting damwandkas	lekkage	duikercontrole
13	slibophoping voor "obstakels"	onvold kwal. owabeton, lekkage	airlift, duikercontrole
14	slib voor stortfront	onvold. kwal. owabeton	airlift, duikercontrole
15	slib op ribbels betonpaal	lekkage door beton	controle, verwijderen duikers
16	waterstand in kuip te laag	lekkage door beton	controle waterstand
17	storing levering betonmortel	stagnatie voortgang stort	reserve centrale

BIJLAGE D

VOOR VLOEREN IN BOUWKUIPEN OERING BETONSTORTEN

R Reeel
K Klein
Z Zeer Klein

T Tijd
G Geld
K Kwaliteit

Omschrijving	Gevolg	kans			gevolg			Aktie	Wie
		R	K	Z	T	G	K		
n kassen an	slechte aansluiting	X					X	schrapschoon	uitvoeringsplan
	kans op lekkage	X				X	X	duikercontrole	
	vermenging met onderwaterbeton	X					X	grindlaag aanbrengen betonlaag aanbrengen	duikercontrole
anwezig?)	instabiliteit	X				X	X	controle min dikte	steekmonster
ig	slibinsluiting bij obstakels	X				X	X	duikercontrole	steekmonster
p bodem	lekkage bij obstakels	X				X	X	duikercontrole	
en tol)	krachtsoverdracht minder	X					X	bodem paal verdiepen	controle z
en tol)	krachtsoverdracht minder	X					X	bodem paal verdiepen	controle z
iteit	krachtsoverdracht minder	X					X	keuring fabricage	keuringsplan
	kans op lekkage, onv. kwaliteit	X					X	duikercontrole	uitvoeringsplan
	wateroverdruk, lekkage	X				X	X	peilschaal	uitvoeringsplan
	Wateronderdruk, lekkage	X				X	X	peilschaal	uitvoeringsplan
l te laag	onvoldoende vloeibaarheid	X					X	controle c.g/zetmaat	uitvoeringsplan
l te hoog	kwaliteit betonmortel minder	X					X	controle c.g/zetmaat	uitvoeringsplan
mortel	vers houden stortfront	X					X	reserve auto/centrale	uitvoeringsplan
	onderbreking stort	X				X	X	reserve pomp stand by	uitvoeringsplan
en onvold.	kans op lekkage, onv. kwaliteit	X					X	duikercontrole	uitvoeringsplan
aal onvold.	kans op lekkage, onv. kwaliteit	X					X	duikercontrole	uitvoeringsplan
	kans op lekkage, onv. kwaliteit	X					X	duikercontrole	uitvoeringsplan
ls	kans op lekkage, onv. kwaliteit	X					X	duikercontrole	uitvoeringsplan
	vloer te kwalitatief te dun,	X					X	peilen	uitvoeringsplan
	bevriezing grinddepot	X			X			afdekken	uitvoeringsplan
	bevriezing transportbanden	X			X			overkappen, draaien	uitvoeringsplan
	scheurvorming, lekkage	X					X	sterktebepaling	uitvoeringsplan
	bij zandtransport/ lekkage	X				X	X	injecteren	uitvoeringsplan