

**10 KWALITEIT**

Hoewel het woord 'kwaliteit' algemeen gebruikt wordt, is het maar de vraag of iedereen er hetzelfde mee bedoelt. Wat verstaan we nu eigenlijk onder kwaliteit?

Het woord kwaliteit is ontleend aan het Latijnse woord *Qualitas*, wat betekent het geheel van eigenschappen van een product, persoon of dienst. Bij de aanleg van een betonconstructie zijn onder meer de eigenschappen “verwerkbaarheid van de betonspecie” en “sterkteontwikkeling” van belang. Maar een prettig verwerkbaar betonspecie hoeft niet zondermeer te leiden tot een hoog duurzaam beton.

In de loop der jaren is al een heel aantal definities van het begrip kwaliteit gepubliceerd zoals:

- fitness for use ofwel: geschiktheid voor gebruik;
- voldoen aan specificaties;
- het geheel van eigenschappen en kenmerken van een product of dienst dat van belang is voor het voldoen aan vastgestelde eisen of vanzelfsprekende behoeften;
- voldoen aan de verwachtingen van de klant.

Om na te gaan of een product bij het verlaten van de fabriek de juiste kwaliteit heeft, hebben alle bedrijven wel een vorm van kwaliteitsbewaking en/of kwaliteitszorg ingevoerd. Om afkeur van het product te voorkomen zal de leverancier in eerste instantie goede afspraken hebben gemaakt met de afnemer inzake hetgeen hij mag verwachten. Vervolgens zal de producent door regelmatige controles gedurende het productieproces zich ervan willen vergewissen dat er sprake is van een beheerst productieproces en dat hij producten maakt die aan gestelde eisen voldoen. Dit levert de producent onvermijdelijk een aantal voordelen op:

- minder uitval en afval;
- minder reparatie;
- kortere wachttijden;
- minder klachten en claims;
- verbetering van de bedrijfszekerheid en concurrentiepositie.

## INHOUDSOPGAVE

Pag.

10.1	Kwaliteitszorg .....	10-4
10.2	Meten van de productkwaliteit .....	10-5
10.2.1	Beoordelen.....	10-5
10.2.1.1	Visuele beoordeling .....	10-5
10.2.1.2	Meten .....	10-6
10.2.2	Representativiteit.....	10-6
10.2.3	Betrouwbaarheid van meetresultaten.....	10-6
10.2.4	Meetmethode .....	10-7
10.2.4.1	Herhaalbaarheid .....	10-7
10.2.4.2	Reproduceerbaarheid.....	10-7
10.2.5	Meetnauwkeurigheid .....	10-7
10.2.6	Meetfouten.....	10-8
10.2.6.1	Toevallige meetfout .....	10-8
10.2.6.2	Systematische meetfout.....	10-8
10.3	Verwerken van meetresultaten .....	10-9
10.3.1	Tabellen .....	10-9
10.3.2	Grafieken .....	10-10
10.3.3	Trends .....	10-11
10.3.4	Verband tussen twee grootheden .....	10-12
10.3.5	Frequentieverdelingen .....	10-13
10.3.5.1	Variabelen .....	10-13
10.3.5.2	Discrete variabelen.....	10-14
10.3.5.3	Continue variabelen .....	10-14
10.3.6	Frequentietabellen, histogrammen.....	10-14
10.3.7	Verdeling van meetresultaten .....	10-14
10.3.8	Normale verdeling .....	10-16
10.3.8.1	Kromme van Gauss .....	10-16
10.3.8.2	Populatie.....	10-17
10.3.8.3	Steekproef .....	10-18
10.4	Statistische procescontrole .....	10-18
10.5	Keuren en controle van beton.....	10-18
10.5.1	Monsterneming.....	10-19
10.5.1.1	Aantal en afmeting van de monsters .....	10-19
10.5.1.2	Plaats van monsterneming.....	10-20
10.5.2	Keuring en controle van de grondstoffen .....	10-21
10.5.3	Keuring en controle van betonspecie.....	10-21
10.5.3.1	Meting van de verwerkbaarheid.....	10-21
10.5.3.2	Meting van andere verwerkbaarheidseigenschappen .....	10-23
10.5.3.3	Meting van het luchtgehalte .....	10-25
10.5.3.4	Meting van de water-cementfactor.....	10-27
10.5.4	Controle van verhardend beton.....	10-27
10.5.4.1	Verhardingsproef.....	10-28
10.5.4.2	Verhardingsproef met temperatuursregeling.....	10-28
10.5.4.3	Methode gewogen rijpheid.....	10-28
10.5.4.4	Meting met terugslaghamer.....	10-29
10.5.5	Keuring en controle van verhard beton gemeten aan proefstukken.....	10-29
10.5.5.1	Bepaling kubusdruksterkte.....	10-31

10.5.5.2	Bepaling van de volumieke massa ( $\rho_{td}$ ) .....	10-31
10.5.5.3	Bepaling van de buigtreksterkte $f_{ct}$ .....	10-32
10.5.5.4	Bepaling van de splijttreksterkte .....	10-32
10.5.5.5	Bepaling van elasticiteitsmodulus .....	10-33
10.5.5.6	Versnelde chloride-indringing in beton (RCM-methode) .....	10-33
10.5.6	Keuring en controle van betonnen producten.....	10-34

## 10.1 Kwaliteitszorg

Bedrijven die met succes markt- en klantgericht willen opereren, zullen op systematische wijze aandacht moeten besteden aan kwaliteit. Het betreft dan niet alleen de kwaliteit van de producten en/of diensten, maar ook de kwaliteit van de organisatie waarmee deze producten en/of diensten worden ontwikkeld, vorgebracht en geleverd. De zorg voor kwaliteit moet onderdeel worden van de gehele bedrijfsvoering, van strategisch niveau tot dagelijkse gang van zaken. Belangrijk is daarbij dat het bedrijf al deze activiteiten vastlegt, waardoor sprake is van een beheerst kwaliteitssysteem. Kwaliteitssystemen, zoals bijvoorbeeld die zijn gebaseerd op de NEN-EN-ISO 9000 serie normen, zijn erop gericht de aandacht voor kwaliteit in te bedden in de organisatie. Grote aandacht gaat daarbij uit naar het continu verbeteren van de effectiviteit van het kwaliteitssysteem en de klanttevredenheid. Indien een bedrijf een kwaliteitssysteem heeft opgezet dat voldoet aan NEN-EN-ISO 9001 kan het daarmee aantonen dat het in staat is om te voldoen aan de eisen van de klant, de van toepassing zijnde wet- en regelgeving en de eisen van de organisatie zelf. In die zin is deze norm een aanvulling op productnormen waarin specifieke eisen aan een product zijn vastgelegd.

Belangrijke onderdelen van een kwaliteitssysteem zijn:

### **Het vastgelegde kwaliteitssysteem**

Het bedrijf moet een kwaliteitssysteem ontwikkelen, documenteren, uitvoeren en onderhouden, waarbij rekening moet worden gehouden met een continue verbetering van de effectiviteit van dat kwaliteitssysteem.

Het kwaliteitssysteem omvat de organisatorische structuur die voorziet in processen, procedures, verantwoordelijkheden en voorzieningen voor het uitvoeren van de gewenste kwaliteitszorg.

### **Directieverantwoordelijkheid**

De directie van het bedrijf moet aantonen dat zij betrokken is bij de ontwikkeling en uitvoering van het kwaliteitssysteem. De directie moet het in concrete doelstellingen uitgewerkte kwaliteitsbeleid hebben vastgesteld. Zij moet het kwaliteitssysteem regelmatig volgens plan beoordelen om na te gaan of:

- de verschillende onderdelen van het systeem nog steeds doeltreffend zijn om de gestelde kwaliteitsdoelstellingen te realiseren;
- dat aanpassingen noodzakelijk zijn om zo een continue verbetering te garanderen.

### **Management van middelen**

Om effectief een kwaliteitssysteem te ontwikkelen, uit te voeren en te onderhouden zal het bedrijf moeten beschikken over de juiste middelen en mensen. Personeel op alle functies zal moeten beschikken over de juiste opleiding, training, ervaring en vakkundigheid.

### **Realisatie van producten**

Alvorens producten te maken en te leveren, zullen de specificaties en eisen moeten worden overeengekomen met de klant. Bij de ontwikkeling van producten moet rekening gehouden worden met eisen van de klant, productnormen en geldende regelgeving. De organisatie moet grondstoffen inkopen die voldoen aan gespecificeerde inkoop-eisen. Producten komen tot stand in een fabricageproces dat plaatsheeft onder beheerste omstandigheden. Daarvoor is het noodzakelijk procedures, werkvoorschriften en werkinstructies vast te leggen in het kwaliteitssysteem.

**Meting, analyse en verbetering**

Bij voortdurende zal het bedrijf de processen met geschikte middelen moeten bewaken en eventueel verbeteren om ervoor te zorgen dat het eindproduct voldoet aan alle gestelde eisen. Belangrijk hierbij is dat de resultaten van uitgevoerde metingen en beoordelingen worden geregistreerd (dat is: vastgelegd op papier dan wel digitaal). Interne audits worden uitgevoerd om vast te stellen of het kwaliteitssysteem nog steeds effectief is en wordt onderhouden.

Ook de uiteindelijke tevredenheid van de klant moet worden gemeten, waarbij natuurlijk een rol speelt of het product voldoet aan de eisen en vanzelfsprekende behoefte van de klant.

Voor de betontechnoloog zullen in het kader van het functioneren van het kwaliteitssysteem de werkzaamheden vooral liggen op het terrein van het uitvoeren van metingen, het beoordelen van de resultaten en het op basis daarvan bijsturen van het productieproces.

**10.2 Meten van de productkwaliteit**

We definiëren in deze cursus kwaliteit als de mate waarin een product voldoet aan de gewenste eigenschappen.

Hoe beoordelen we de mate waarin een product voldoet aan de gewenste eigenschappen?

**10.2.1 Beoordelen**

Om te kunnen beoordelen of een product aan gestelde eisen voldoet zullen in de eerste plaats deze eigenschappen duidelijk gespecificeerd moeten zijn. Voorts moet men het eens zijn over de te volgen beoordelingsmethodiek en welke afwijkingen van de vereiste waarden nog zijn toegestaan. De afgesproken eisen aan de verschillende eigenschappen moeten dus meetbaar zijn.

Kwaliteit is een relatief begrip: indien bijvoorbeeld de uiteindelijke sterkte van beton ver uitgaat boven dat wat is gevraagd, is dat in principe niet goed. Ook al presteert beton beter dan gevraagd, de constructeur heeft in een dergelijk geval mogelijk onvoldoende rekening gehouden met de veranderde mechanische eigenschappen (zoals krimp, kruip en de elasticiteitsmodulus) van het beton en dientengevolge de wapening daar niet op afgestemd.

**10.2.1.1 Visuele beoordeling**

Bij een visuele beoordeling vergelijken we duidelijk zichtbare eigenschappen van een product met die van een referentie of op basis van ervaring. Kleur van een betonoppervlak laat zich uitstekend vergelijken met een referentiemonster. Moeilijker is het om vervolgens bij afwijkingen te bepalen of deze afwijkingen nog binnen gestelde grenzen vallen. Nog moeilijker en vooral subjectiever wordt het als men de verwerkbaarheid van betonspecie op het oog gaat beoordelen. Wat er goed uitziet voor de één (een medewerker van een stortploeg) zal heel anders geïnterpreteerd worden door de ander (een afwerker van vloeren). Beoordelingen op deze manier worden vooral toegepast als voor de beschouwde eigenschap geen deugdelijke meetmethode kan worden gevonden. Een visuele beoordeling zal daarom geen meetwaarde opleveren, maar een beoordeling zoals “goed / niet goed”.

### 10.2.1.2 *Meten*

Een objectieve methode van beoordelen is het verrichten van metingen. Zoals al eerder opgemerkt kunnen we de kwaliteit van een product beschouwen als de mate waarin dit product voldoet aan vooraf opgestelde meetbare specificaties. We hoeven dan alleen een meetwaarde te vergelijken met een vooraf overeengekomen waarde. We kunnen tevens vooraf in onderling overleg bepalen in hoeverre de meetwaarde mag afwijken van de gewenste waarde. Belangrijk is daarbij vast te leggen op basis van welke meetmethode dit gebeurt.

Er zijn twee redenen om de voorkeur te geven aan meten boven een visuele beoordeling:

- een meting geeft een meer exacte beoordeling van de eigenschap en is daardoor betrouwbaarder;
- op basis van het resultaat van de uitgevoerde meting kan de afnemer ervan worden overtuigd dat het geleverde product of dienst inderdaad voldoet aan de gestelde eisen.

Ten slotte: METEN = WETEN!

Maar als we gaan meten, krijgen we te maken met een aantal voorwaarden waaraan moet worden voldaan om te komen tot meetresultaten waarmee daadwerkelijk op overtuigende wijze kan worden aangetoond dat het betreffende product aan de eisen voldoet. We moeten rekening houden met de:

- representativiteit van onderzochte monsters;
- betrouwbaarheid van een meetresultaat.

### 10.2.2 Representativiteit

Willen we de eigenschappen van een product beoordelen met behulp van een meting, dan moeten we eerst en vooral zeker zijn dat het monster dat ter beoordeling is aangeboden, representatief is. Het product moet onderdeel zijn van de verzameling producten die we willen onderzoeken. Een monster betonspecie moet op een geschikt moment worden genomen en men moet maatregelen treffen zodat het monster niet vervuult of uitdroogt.

Nadat betonspecie is gemaakt, veranderen daarvan de eigenschappen in de tijd. Het is belangrijk daar rekening mee te houden. Verwerkbaarheid van een betonspecie kan men meten na productie op de centrale, maar onder invloed van tijd en temperatuur loopt de aanvankelijke verwerkbaarheid meer of minder snel terug. Toch zal een afnemer verwachten dat de betonspecie op het werk aan de opgegeven specificaties voldoet, ongeacht of de betoncentrale zich om de hoek of op 50 km afstand bevindt. Bij de beoordeling van het meetresultaat van de verwerkbaarheid bij de betoncentrale zal hiermee dus terdege rekening moeten worden gehouden.

### 10.2.3 Betrouwbaarheid van meetresultaten

Hoe betrouwbaar zijn meetresultaten eigenlijk? Vaak worden meetresultaten die afkomstig zijn van computers of digitale apparatuur als hoogst betrouwbaar ervaren. Ook de nauwkeurigheid van de gevonden meetwaarden wordt niet betwijfeld. Maar is dit wel zo? Zijn we met de geavanceerde meetapparatuur nog wel in staat het resultaat voldoende te doorgronden? Alleen voldoende deskundigheid en uitgebreide ervaring zijn vaak de enige garantie voor een juiste interpretatie van de meetresultaten.

We zijn in de meeste gevallen wel in staat de lengte van een balk op betrouwbare wijze te meten. Maar om de diameter van de as van een motor te kunnen bepalen met

gespecialiseerde apparatuur binnen geaccepteerde toleranties, is werk voor vaklui. Het vereist gespecialiseerde deskundigen en geavanceerde apparatuur om achteraf het cementgehalte van een verhard monster beton te bepalen, als dat al mogelijk is.

Om een eigenschap van een product te kunnen meten, moeten we ervan op aankunnen dat de gevolgde meetmethode daadwerkelijk een goede maatstaf is waarlangs de variaties in beschouwde eigenschap kunnen worden gelegd. De betreffende meetmethode zal daarom altijd moeten worden gecontroleerd op juistheid van het meetresultaat. We noemen dat het kalibreren van de meetmethode.

#### 10.2.4 Meetmethode

Dat er voor alle denkbare eigenschappen van een product een geschikte meetmethode bestaat, is een utopie. De manier waarop een metselaar zijn specie beoordeelt is nauwelijks te vangen in een set van testmethoden. Het meten van luchtgehalte, vloeimaat en waterretentie vormen een goede poging, maar schieten te kort om het "Fingerspitzengefühl" van een metselaar te vervangen. Dat gevoel van de metselaar is eigenlijk een vorm van een visuele beoordeling.

Is men het eens over een geschikte meetmethode dan moet de wijze van uitvoering in detail worden vastgelegd en gevolgd tijdens de uitvoering om te voorkomen dat we onbetrouwbare en daardoor onbruikbare resultaten krijgen. Niet alleen moet de meetmethode onder dezelfde omstandigheden dezelfde resultaten opleveren, maar ook als deze meetmethode elders wordt uitgevoerd door een andere persoon, moeten de resultaten hetzelfde zijn. De methode moet niet alleen herhaalbaar zijn, maar ook reproduceerbaar.

##### 10.2.4.1 *Herhaalbaarheid*

Herhaalbaarheid is de manier waarop men de precisie van een serie metingen kan uitdrukken. Het geeft tevens een indruk van de spreiding van de meetresultaten die onder dezelfde omstandigheden worden uitgevoerd. Onder dezelfde omstandigheden verstaat men: door dezelfde persoon, op hetzelfde product, met dezelfde meetprocedure, met dezelfde meetapparatuur en binnen een kort tijdsbestek.

##### 10.2.4.2 *Reproduceerbaarheid*

De spreiding van de meetresultaten zal toenemen als de metingen onder verschillende omstandigheden worden uitgevoerd. Als, bijvoorbeeld, de metingen zullen worden uitgevoerd in verschillende laboratoria. Niet alleen de interpretatie van de voorgeschreven meetprocedure door een andere persoon kan anders zijn, maar ook de afstelling van meetapparatuur en de omstandigheden zoals temperatuur en luchtvochtigheid.

De meetmethode moet zodanig gedetailleerd omschreven zijn en worden uitgevoerd, dat metingen op verschillende plaats en tijd dezelfde resultaten opleveren. Het streven moet zijn appels met appels te vergelijken!

#### 10.2.5 Meetnauwkeurigheid

Om de gewenste nauwkeurigheid van een meting te realiseren moet men in eerste instantie de juiste meetapparatuur kiezen. De lengte van een houten balk opmeten kan uitstekend gedaan worden met een duimstok. Maar om de diameter van de as van een motor op te meten, binnen voorgeschreven nauwe toleranties, volstaat een duimstok niet. Daarvoor hebben we andere apparatuur nodig die wel in staat is met de gewenste precisie te meten.

Bij het uitvoeren van metingen worden ook onherroepelijk meetfouten gemaakt.

Verwerking van meetresultaten in onderzoeksverslagen betekent dat ook meetfouten mee zullen wegen in de uitkomst of conclusie. Meetresultaten worden bij voorkeur in een bepaald aantal significante cijfers opgegeven. Hoe groter het aantal significante cijfers is, hoe nauwkeuriger de meting is geweest. Een gemeten temperatuur van 25 °C betekent eigenlijk dat de werkelijke temperatuur zich ergens tussen de waarden 24,5 en 25,5 °C zal bevinden. Een temperatuur van 25,0 °C betekent dat de werkelijke temperatuur tussen de waarden 24,95 en 25,05 °C zal liggen. De metingen zijn vergelijkbaar (beide geven een temperatuur aan van ongeveer 25 °C), maar de meetnauwkeurigheid in de tweede meting ( $T = 25,0$  °C) is groter omdat de foutenmarge hier slechts 0,05 °C bedraagt (in tegenstelling tot een foutenmarge van 0,5 °C in de eerste meting).

#### 10.2.6 Meetfouten

Het doen van metingen heeft dus onmiddellijk tot gevolg dat meetfouten de kop op gaan steken. Bij de uitvoering van een onderzoek en het verwerken van de resultaten in een meetrapport of verslag moet daarmee terdege rekening worden gehouden. Naast mogelijke afleesfouten die tijdens metingen worden gemaakt, kunnen we meetfouten indelen in toevallige en systematische fouten.

##### 10.2.6.1 *Toevallige meetfout*

Toevallige meetfouten zijn meetfouten die bij herhaalde metingen zowel toevallig positief als negatief kunnen zijn en in grootte kunnen variëren. De meetwaarden zijn variabel en schommelen rond de werkelijke waarde. Met andere woorden: er zit een zekere spreiding in de meetwaarden.

Een voorbeeld hiervan is de bepaling van de temperatuur van het waterbad waarin de kubussen voor de controleproef worden bewaard. Metingen door het hele bad zullen een zekere schommeling laten zien rond de gewenste 20 °C. Een voldoende aantal meetwaarden is noodzakelijk om een betrouwbaar beeld te krijgen van de werkelijke gemiddelde temperatuur in het waterbad.

Toevallige fouten staan los van de kwaliteit van de gebruikte meetapparatuur. Zowel goedkope, onnauwkeurige als dure, gevoelige meetinstrumenten ontkomen niet aan dit fenomeen.

##### 10.2.6.2 *Systematische meetfout*

Systematische fouten zijn wel degelijk afhankelijk van de aard van de meetinstrumenten en vooral of deze regelmatig zijn gekalibreerd. Een systematische meetfout maken we als we consequent gebruik maken van een en hetzelfde meetinstrument dat, indien vergeleken met een ander instrument, stevast een andere meetwaarde oplevert. Welk van de instrumenten heeft het dan bij het rechte eind? De oplossing is beide instrumenten te vergelijken met een geijkt meetinstrument van betere kwaliteit en nauwkeurigheid en dat daarmee geen afwijking van de afgesproken meeteenheid heeft.

Zo kunnen we dus een balk van één meter opmeten met een willekeurige duimstok. Als kalibratie voor deze duimstok volstaat een willekeurige staaf van één meter niet. Daarvoor heeft men in het verleden op verschillende wijzen gedefinieerd wat de lengte van één meter is. In 1889 werd de meter gedefinieerd als de afstand tussen twee inkepingen op een staaf van 90% platina en 10% iridium, bewaard in Sévres in Frankrijk. Sinds 1983 wordt in



laboratoria de meter gezien als 1.579.800,298.728(39) golflengtes van helium-neonlaserlicht in vacuüm.

Het bepalen van de systematische fout die een consequent toegepast meetinstrument maakt ten opzichte van de wereldwijd overeengekomen standaard voor die grootte, noemen we kalibreren. Bij een wettelijk verplichte kalibratie spreekt men van ijking.

### 10.3 Verwerken van meetresultaten

Bij elke meting of andere vorm van onderzoek (bijvoorbeeld een enquête) komen gegevens ter beschikking. Deze waarnemingen moeten we van meet af aan beknopt, overzichtelijk en geordend vastleggen, zodat we het later op een efficiënte wijze kunnen verwerken en analyseren. Tabellen en grafieken lenen zich bij uitstek om dit te doen.

#### 10.3.1 Tabellen

Tabellen moeten we zodanig inrichten dat deze op zichzelf zonder verdere toelichting begrijpelijk zijn en niet anders geïnterpreteerd kunnen worden dan dat ze bedoeld zijn. Daarom is het belangrijk een aantal basisregels in acht te nemen.

- Maak aan de hand van opschriften en verklarende bijschriften duidelijk hoe de tabel gelezen moet worden.
- Zorg voor een logische rangschikking van gegevens in een overzichtelijke indeling van de tabel.
- Vermeld de juiste eenheden.

Tabel 10.1 De controle resultaten van beton C30/37, XC4, XA2, S3.

Controle resultaten Beton C30/37 XC4 XA2 S3		
Produktiedatum	Kubusdruksterkte na 7 dagen N/mm <sup>2</sup>	Kubusdruksterkte na 28 dagen N/mm <sup>2</sup>
4-jan	26,3	45,1
5-jan	26,8	44,2
6-jan	25,2	44
10-jan	26,4	42
11-jan	26,2	44,2
13-jan	28,9	43,6
16-jan	30,7	45,6
17-jan	28,2	41,3
18-jan	29,1	42,9
19-jan		46,4
19-jan		47,8
19-jan		48,7
19-jan	28,9	46,2
20-jan	27,6	43,6
23-jan	28,9	44,7
26-jan	26,7	44,2
27-jan	34,7	53,6
30-jan	26,4	41,6
31-jan	29,8	44,9

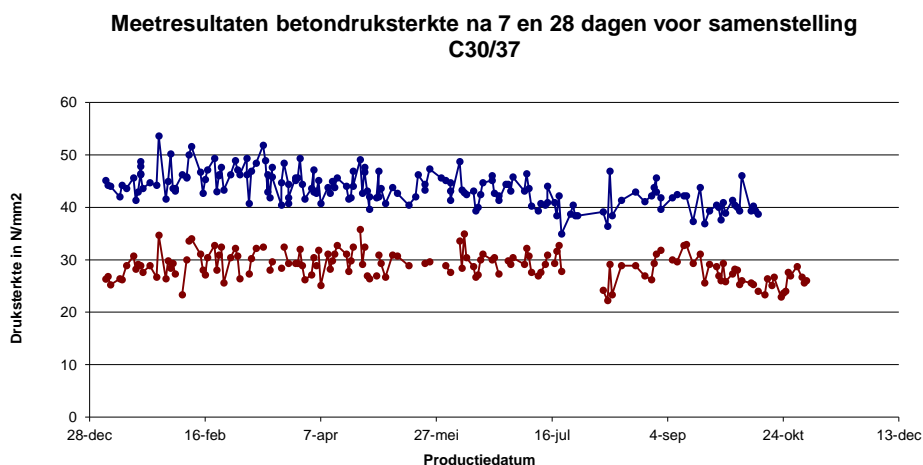
### 10.3.2 Grafieken

Met een correct ingerichte tabel kunnen we een goed inzicht verkrijgen in resultaten van een onderzoek of enquête. Desondanks hebben toch nog veel mensen moeite met het lezen van tabellen en missen soms het onderlinge verband van de gepresenteerde getallen, zeker als het om veel cijfermateriaal gaat. Grafische voorstellingen (plaatjes) zijn in veel gevallen beter geschikt om cijfers te interpreteren (conclusies te trekken).

Er bestaan veel soorten grafieken of diagrammen. Veel toegepast zijn lijn- en staafdiagrammen. Maar er is veel meer mogelijk, wat ook blijkt uit de opties die we hebben in software zoals Excel.

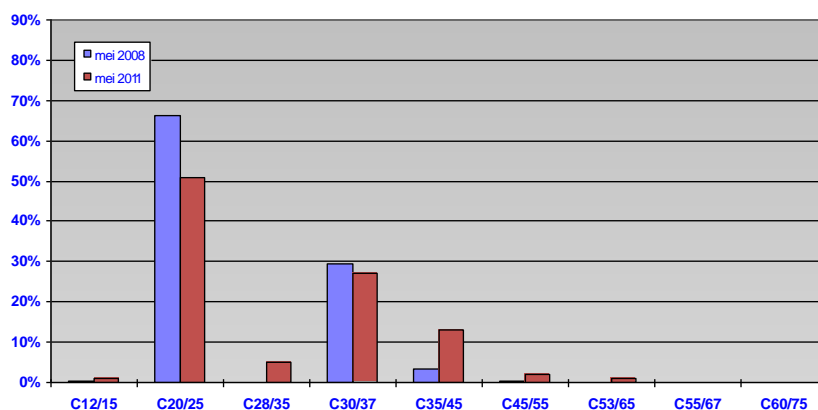
Onderstaand een aantal voorbeelden hoe we op verschillende manieren cijfers door middel van grafieken kunnen presenteren.

#### Lijndiagram



Figuur 10.1 Meetresultaten betonsterkte weergegeven in een lijndiagram.

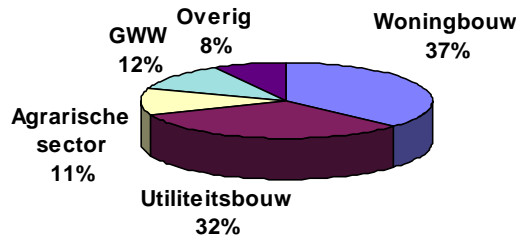
#### Staafdiagram



Figuur 10.2 Levering Betonspecie ingedeeld in sterkteklassen in Nederland van mei 2008 en 2011. Bron: Betonmortelonderzoek Cement & BetonCentrum

**Taartdiagram**

**2011**

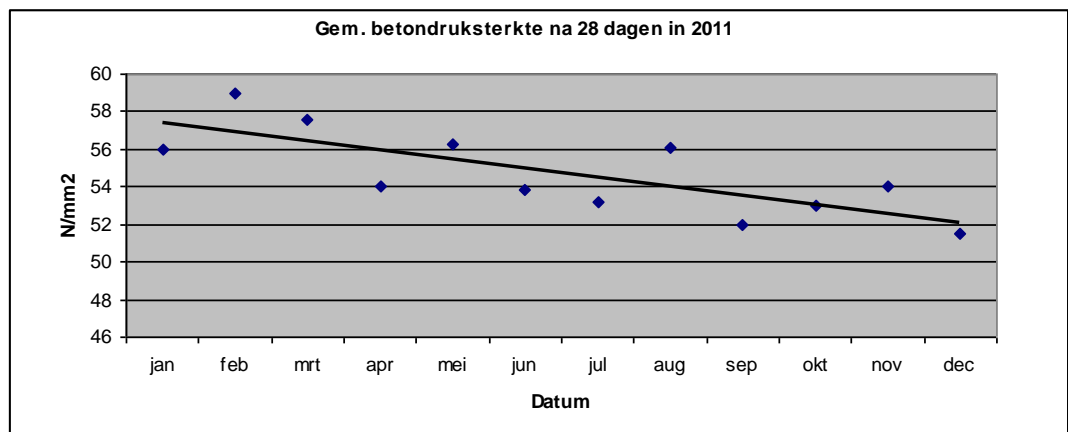


Bron: Betonmortelonderzoek Cement & BetonCentrum

*Figuur 10.3 Betonverbruik in Nederland naar verschillende sectoren in 2011.*

10.3.3 Trends

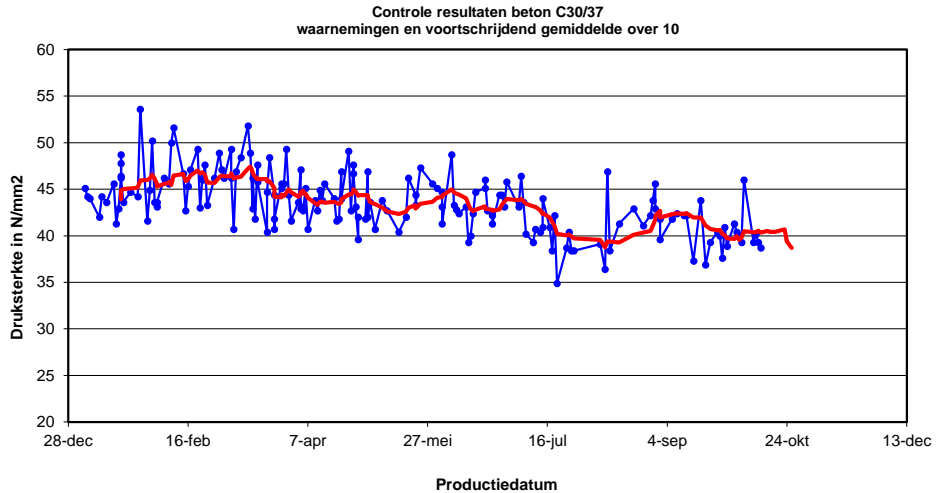
Door waarnemingen in de tijd te beschouwen, kunnen we grafieken samenstellen die met behulp van trendlijnen een ontwikkeling duidelijk maken. De ontwikkeling van een eigenschap op langere termijn noemen we een trend. De grafiek geeft in een oogopslag aan of een trend zich gunstig of ongunstig ontwikkelt. Als een trendlijn wordt gemaakt van de ontwikkeling van de 28 daagse betonsterkte (controleproef) zien we idealiter een trend die het gewenste sterkteniveau aanhoudt. Volgt de trendlijn een opgaande of aflopende tendens, dan is er sprake van een successievelijke verandering van het productieproces dat er vroeg of laat toe kan leiden dat we niet meer aan de gestelde eisen voldoen. Ook zijn er, met behulp van trendlijnen, terugkerende patronen te onderscheiden zoals seizoensinvloeden. Hiermee kunnen we dan in de toekomst rekening houden.



*Figuur 10.4 Trendlijn ontwikkeling 28-daagse betondruksterkte waarbij steeds het gemiddelde over één maand in de grafiek wordt weergegeven.*

Een trendlijn kan ook worden samengesteld op basis van een voortschrijdend gemiddelde van een aantal waarnemingen. Bij het berekenen van het voortschrijdend gemiddelde over een aantal waarnemingen wordt bij elke nieuwe waarneming de oudste waarneming weggelaten voordat opnieuw het gemiddelde wordt berekend.

Nemen we bijvoorbeeld 10 waarnemingen waarover we het voortschrijdend gemiddelde berekenen dan ziet de grafiek van het eerder weergegeven lijndiagram er als volgt uit:



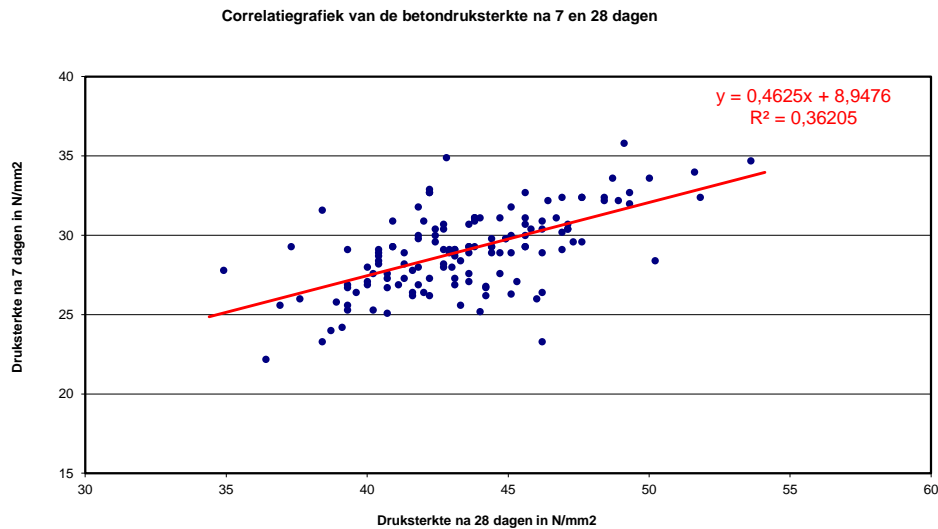
*Figuur 10.5 Trendlijn op basis van het voortschrijdend gemiddelde van 10 resultaten*

#### 10.3.4 Verband tussen twee grootheden

In de dagelijkse betonpraktijk zijn er legio voorbeelden van een verband tussen twee meetbare grootheden. De relatie tussen de druksterkte en (spleit)treksterkte van eenzelfde betonsamenstelling is hier een goed voorbeeld van. Maar ook:

- De relatie tussen volumieke massa en druksterkte van lichtbeton;
- De relatie tussen de terugslagwaarde van een terugslaghamer en de druksterkte van grindbeton in de beproefde constructie;
- De relatie tussen zetmaat en schudmaat van eenzelfde betonsamenstelling;
- De relatie tussen de druksterkte van een betonsamenstelling na 7 dagen en die na 28 dagen.

Het verband wordt weergegeven in een correlatiegrafiek met behulp van een berekende regressielijn. De betrouwbaarheid waarmee de relatie tussen beide grootheden werd vastgesteld komt tot uiting in de correlatiecoëfficiënt ( $r^2$ ). De  $r^2$  kan een waarde aannemen tussen 0 en 1. Een  $r^2$  in de buurt van 1 duidt op een sterke relatie tussen beide parameters. Een waarde in de buurt van 0 duidt erop dat de beide parameters onafhankelijk zijn van elkaar. Onderstaand is in een grafiek de relatie weergegeven tussen de betonsterkte na 7 dagen en die na 28 dagen zoals vermeld in bovenstaande tabel. Een betrouwbare relatie tussen de sterkte na 7 dagen en 28 dagen zou in het kader van de procescontrole duidelijke tijdwinst betekenen.



*Figuur 10.6 Correlatiegrafiek van betondruksterkten van 7 in relatie tot 28 dagen*

De correlatiecoëfficiënt  $r^2$  in deze relatie, tussen 7- en 28- daagse betondruksterkte, bedraagt 0,36 en geeft aan dat er tussen beide grootheden geen sterke afhankelijkheid bestaat voor deze onderzochte samenstelling. De in dit geval vastgestelde relatie tussen 7 en 28 dagen is gebaseerd op een beperkt deel van de waarnemingen. Zou een betrouwbare relatie zijn vastgesteld, dan kan deze worden toegepast om de 28 daagse druksterkte te voorspellen op basis van een meetwaarde van de druksterkte gemeten na 7 dagen. De puntenwolk in de figuur geeft echter aan dat bijvoorbeeld bij een 7 dagen sterkte van 25 N/mm<sup>2</sup> een sterkte na 28 dagen tussen ongeveer 37 en 47 N/mm<sup>2</sup> kan worden verwacht. Dat is veel te onnauwkeurig om het productieproces op te kunnen sturen.

De figuur geeft tevens de vergelijking van de regressielijn (dat is de best passende lijn door de puntenwolk).

### 10.3.5 Frequentieverdelingen

Het woord frequentie laat zich vertalen als het aantal keer dat een waarde of verschijnsel zich voordoet. Betrokken op de betontechnologie zijn dit bijvoorbeeld de verschillende kubusdruksterkten die we door het jaar heen in het kader van de controleproef meten.

De frequentieverdeling geeft een systematische rangschikking van alle voorkomende waarden met hun respectievelijke frequentie (het aantal keer dat ze voorkomen). Simpel gezegd geeft een frequentieverdeling weer hoe vaak elke mogelijke waarde voorkomt.

#### 10.3.5.1 Variabelen

Een variabele is een meetwaarde die kan variëren, dat wil zeggen: dat iets verschillende waarden kan aannemen.

Een voor betontechnologen vertrouwde variabele is de kubusdruksterkte na 28 dagen.

31,8 N/mm<sup>2</sup> is een reële waarde die we kunnen vinden voor de kubusdruksterkte na 28 dagen voor een beton dat moet voldoen aan de sterkteklasse C20/25.

### 10.3.5.2 *Discrete variabelen*

Een discrete variabele is een variabele waarvan slechts bepaalde waarden kunnen voorkomen. Bijvoorbeeld alleen hele getallen. Een goed voorbeeld is het resultaat van het werpen met een dobbelsteen. De uitkomsten zijn toevallig, maar kunnen alleen de waarde 1, 2, 3, 4, 5 of 6 hebben.

De tussenliggende waarden bestaan niet.

### 10.3.5.3 *Continue variabelen*

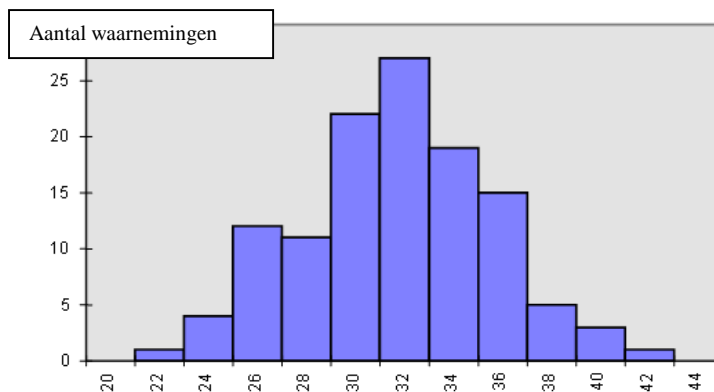
Daarentegen zijn continue variabelen, variabelen die binnen een bepaald interval elke denkbare waarde kunnen aannemen. Tussen twee willekeurige waarden ligt dus altijd nog een tussenliggende waarde. De consequentie daarvan is dat er tussen twee gegeven waarden altijd oneindig veel andere waarden liggen.

De verzameling mogelijke 28-daagse kubusdruksterkten die we door het jaar heen in het kader van de controleproef meten vormen een verzameling continue variabelen. De waarden van de variabelen kunnen we in frequentie tabellen of histogrammen opnemen om een overzicht te verkrijgen van de verdeling.

## 10.3.6 Frequentietabellen, histogrammen

De frequentietabel bevat de frequentieverdeling als een beknopte, overzichtelijke samenvatting van de uitkomsten van een onderzoek. Een frequentieverdeling weergegeven in tabelvorm is soms toch lastig te interpreteren. Veel overzichtelijker wordt het als de informatie grafisch wordt weergegeven in de vorm van een histogram.

De resultaten van de 28-daagse druksterkte gemeten aan kubussen kunnen worden weergegeven in een histogram. Om daarvan een histogram te maken moeten we alle voorkomende meetwaarden onderbrengen in klassen met vooraf gedefinieerde klassebreedte. Figuur 10.7 geeft daarvan een voorbeeld.



*Figuur 10.7 Histogram 28-daagse betondruksterkten verdeeld in klassen met een klassebreedte van 2 N/mm<sup>2</sup>.*

## 10.3.7 Verdeling van meetresultaten

Als we naar het histogram in figuur 10.7 kijken, zien we dat de meeste meetresultaten in de klasse 32 worden aangetroffen. Zowel naar links als naar rechts in de figuur neemt het

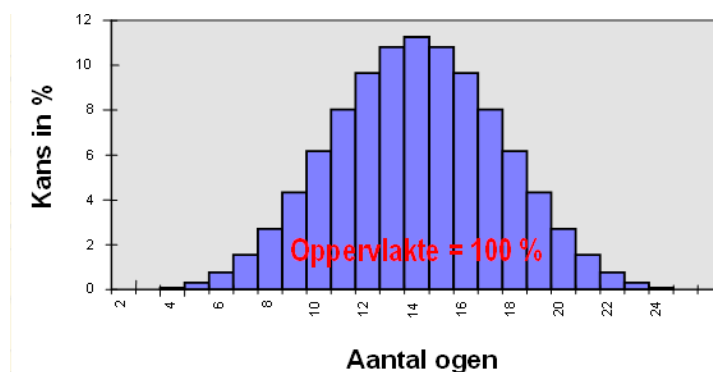
aantal meetresultaten geleidelijk af. We noemen zo'n figuur ook wel de verdeling van de meetresultaten. Eén van de oorzaken van dat meer waarden in het midden en afnemend naar links en rechts (in dit geval naar beneden naar boven) worden gevonden, is de invloed van het toeval.

Als naar de bepaling van de kubusdruksterkte kijken, zien we dat daarvoor monsters betonspecie worden getrokken waarvan vervolgens kubusvormige proefstukken worden gemaakt. Op het oog zien die er allemaal hetzelfde uit. Als we echter in de kubus zouden kunnen kijken, dan zien we dat ze niet echt gelijk zijn. Ze zijn samengesteld uit verschillende materialen, waaronder grind, zand, cement en water. Niet elke grindkorrel heeft dezelfde afmeting en niet op elke plek van de kubus zit precies dezelfde hoeveelheid cement en water. Al die kleine verschillen zorgen elk voor een positief dan wel negatief effect op de gemeten kubusdruksterkte. Die verschillen tussen kubussen zijn toevallig en verschillen van kubus tot kubus. In de tijd gezien kunnen ook de eigenschappen van de gebruikte grondstoffen wat veranderen. Ook dat heeft invloed op de gevonden sterkte. Ook bij de monsterneming van de betonspecie kan het zijn dat het monster niet helemaal representatief is voor de gemiddelde samenstelling van de betonspecie. Ook dat heeft weer positieve of negatieve invloed op de gemeten sterkte.

De som van al die invloeden zorgt er voor dat de gevonden sterkte bij de ene kubus afwijkt van die van de andere. En dat leidt tot een verdeling van de meetresultaten waarin veel waarnemingen in het midden (het gemiddelde) en een afnemend aantal waarnemingen worden gevonden naarmate men verder van dat gemiddelde verwijderd is.

De bovenbeschreven invloed van het toeval kan met een aardig proefje worden aangetoond. We gaan met dobbelstenen aan de gang. De uitkomst van een worp met een dobbelsteen is toevallig (als we tenminste een 'eerlijke' dobbelsteen gebruiken). Als we de uitkomsten van bijvoorbeeld 4 worpen met een dobbelsteen bij elkaar tellen (dus de som van vier toevalligheden) dan kunnen we discrete uitkomsten krijgen tussen 4 (4 x een 1) en 24 (4 x een 6). Alleen zullen die twee uitkomsten niet vaak voorkomen. De kans dat je 4 x een 1 of 4 x een 6 achter elkaar gooit is niet zo groot.

Je kunt voor elke uitkomst tussen 4 en 24 berekenen met welke combinaties van worpen die kan worden verkregen. Als je dat doet en de resultaten daarvan in een histogram weergeeft, krijg je onderstaande figuur 10.8. Daarbij is op de y-as niet meer het aantal metingen (zoals in figuur 10.7) weergegeven maar het percentage metingen in elke klasse, uitgedrukt in de kans dat de som van vier worpen (aantal ogen) precies gelijk is aan de betreffende klasse.



Figuur 10.8 Histogram van de som van een worp met 4 dobbelstenen.

In deze figuur zie je dat het midden (het gemiddelde) wordt aangetroffen in de klasse '14' en zowel naar links als rechts komen de uitkomsten steeds minder vaak voor. Dit lijkt een beetje op het histogram van de kubusdruksterkten in figuur 10.7. Toevallige 'fouten' zorgen er dus voor dat niet steeds dezelfde waarde wordt gevonden maar waarden die in afnemende aantallen van dat gemiddelde afwijken en daarmee een karakteristieke verdeling van waarnemingen vormen. Die verdelingen van waarnemingen zijn vaak rekenkundig te beschrijven. Eén van de bekendste verdelingen van waarnemingen die ook rekenkundig beschreven is, is de 'normale verdeling'.

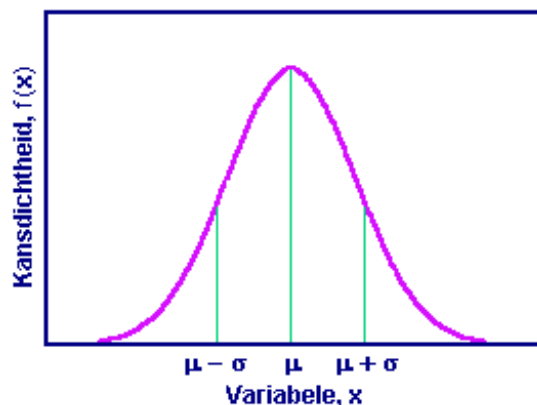
### 10.3.8 Normale verdeling

Voor heel veel, natuurlijk voorkomende verschijnselen is een normale verdeling een goede beschrijving van de frequentie waarmee bepaalde meetwaarden kunnen voorkomen. Zo is de lengte van mannen in Nederland normaal verdeeld rond een gemiddelde van 1,81 m (bron CBS 2006). Deze specifieke symmetrische frequentieverdeling, die we ook in de betontechnologie regelmatig tegenkomen, geldt voor de continue kansverdeling. De bijbehorende kansdichtheid is hoog in het midden, en wordt naar de lage en hoge waarden steeds kleiner zonder ooit nul te worden. De verzameling 28-daagse kubusdruksterkten is daar een voorbeeld van, mits het aantal individuele druksterkten groter is dan op zijn minst 120 waarnemingen. De frequentieverdeling kenmerkt zich door de typische klokvorm en werd als eerste door de Duitse wiskundige Carl Friederich Gauss beschreven in een wiskundige formule.

#### 10.3.8.1 *Kromme van Gauss*

De kromme van Gauss is een wiskundig model voor de theoretische kansverdeling van meetbare eigenschappen.

Deze klokvormige kromme gaat in principe op voor een continue frequentieverdeling van een zeer groot aantal waarnemingen en wordt gekenmerkt door een gemiddelde en de standaardafwijking, aangeduid met respectievelijk de Griekse letters  $\mu$  en  $\sigma$ .



*Figuur 10.9 Kromme van Gauss.*

Deze parameters geven respectievelijk de ligging van de centrale waarde en een maat voor de spreiding in de populatie aan. Bij aandachtig beschouwen van de bovenstaande figuur zijn de volgende zaken kenmerkend voor een normale verdeling:

- Ten opzichte van  $\mu$  is de figuur symmetrisch, 50% van de waarnemingen is groter dan het gemiddelde en 50% kleiner.



- Links en rechts van  $\mu$  vertoont de kromme een buigpunt (het punt waarin een 'holle' lijn overgaat in een 'bolle' lijn). De afstand van het buigpunt tot  $\mu$  wordt de standaardafwijking  $\sigma$  genoemd.

Omdat de normale verdeling wiskundig is beschreven, kan van een populatie, waarvan  $\mu$  en  $\sigma$  bekend zijn, exact worden berekend hoeveel procent van die populatie zich binnen een bepaald gebied of boven of onder een bepaalde waarde bevindt.

#### 10.3.8.2 Populatie

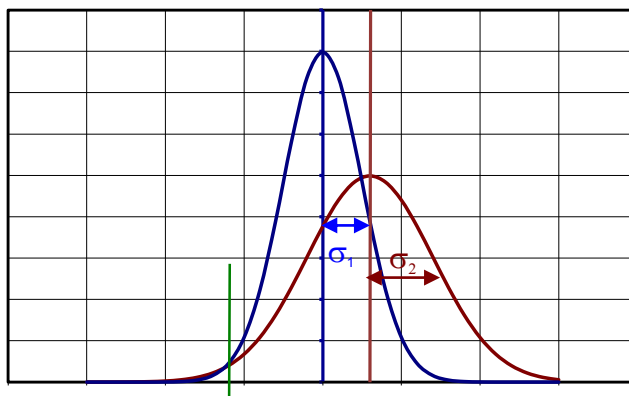
De algemene omschrijving van een populatie is de verzameling van alle theoretisch te verwachten meetwaarden waarop een onderzoek zich richt. Het is belangrijk de populatie duidelijk te omschrijven. Zo kan een populatie de verzameling zijn van alle betonspecie C20/25, XC4, S3 die een bepaalde betoncentrale door het jaar heen produceert. Maar men kan ook een populatie definiëren als de hoeveelheid betonspecie in een bepaalde truckmixer.

Afhankelijk van de mate waarin een producent zijn productieproces beheerst, zal hij producten fabriceren die meer of minder afwijken van het gewenste resultaat. Dit heeft gevolgen voor het beeld dat ontstaat van de populatie. Een grotere spreiding op de resultaten vertaalt zich in een plattere kromme.

Als eenmaal een goed beeld van de populatie is verkregen, kan de informatie die hieruit volgt, zinvol worden gebruikt om de ontwerpwaarde voor een procesparameter vast te stellen.

Een voorbeeld hiervan is de gemiddelde 28-daagse kubusdruksterkte die wordt nagestreefd in een proces om met voldoende zekerheid te voldoen aan de eisen van de sterkteklasse waarvoor de betonsamenstelling is ontworpen. Zoals bekend is de karakteristieke sterkte van beton gedefinieerd als de grenswaarde waarboven tenminste 95% van alle druksterkte resultaten moet liggen.

Bij een grote spreiding op de waarnemingen zal ook een grotere marge moeten worden aanhouden tussen de gemiddelde ontwerpsterkte en de karakteristieke sterkte.



Figuur 10.10 Twee populaties met verschillende  $\mu$  en  $\sigma$  die verschillende na te streven gemiddelde betonsterkte op leveren om dezelfde karakteristieke sterkte te verkrijgen.

Het is niet altijd mogelijk alle theoretisch te verwachten meetresultaten in het onderzoek te betrekken. Het is tenslotte niet de bedoeling van een truckmixer betonspecie alleen maar betonkubussen te maken om de karakteristieke druksterkte vast te stellen van die ene vracht. In een dergelijk geval beperken we ons tot een steekproef.

### 10.3.8.3 *Steekproef*

De term 'steekproef' is afkomstig uit de kaasindustrie waar het keuren van kaas met een bijzonder steekmes plaatsvond. In de dagelijkse praktijk staat het voor een representatief deelonderzoek aan een populatie die onmogelijk volledig onderzocht kan worden. De keuze voor een meting met behulp van een steekproef in plaats van de totale populatie wordt bepaald door de volgende overwegingen:

- bij een populatie van grote omvang is het praktisch ondoenlijk alle elementen te meten;
- men zal slechts een beperkt aantal metingen willen doen als deze zeer kostbaar zijn;
- in geval van destructief onderzoek zou de hele populatie opgeofferd worden, wat niet de bedoeling kan zijn;
- indien snelheid gewenst is.

Indien men op basis van een steekproef een betrouwbare uitspraak wil doen over een populatie is het van belang dat monsters voor de steekproef aselekt worden genomen. Dit betekent dat alle elementen van de populatie dezelfde kans moeten hebben om in de steekproef te worden opgenomen. Ook moet de steekproef representatief zijn voor de populatie die men wil onderzoeken. Als men bijvoorbeeld de gemiddelde lengte van volwassenen wil vaststellen dan zal de verhouding mannen en vrouwen in de steekproef gelijk moeten zijn aan de bevolkingsopbouw.

In een productieproces is het over het algemeen een ondoenlijke zaak om alle theoretisch mogelijke producten te onderzoeken. We leveren betonspecie voor de constructie van huizen, kantoren, bruggen. e.d.

Om het productieproces op de voet te kunnen volgen, zal met enige regelmaat een representatief monster moeten worden genomen en daarvan de eigenschappen gemeten. De frequentie en plaats moeten zodanig zijn gekozen dat erop kan worden vertrouwd dat de resultaten een juist beeld geven van hetgeen wordt geproduceerd. Een goed beeld van de gerealiseerde kwaliteit wordt verkregen door de individuele resultaten statistisch te verwerken tot kengetallen of overzichtelijke tabellen en/of grafieken.

## 10.4 **Statistische procescontrole**

Statistische procescontrole (SPC) is de toepassing van statistische technieken bij het volgen en controleren van een proces, bedoeld om er voor te zorgen dat er zo efficiënt mogelijk een zo goed mogelijk product gemaakt wordt. Met behulp van SPC kan worden vastgesteld of een proces binnen de specificaties blijft of dat de mogelijkheid bestaat dat het proces binnenkort producten gaat opleveren die niet meer aan de eisen voldoen. Een reeks van statistische technieken kunnen hierbij behulpzaam zijn.

Deze worden in de vervolgcursus voor Betontechnoloog besproken.

## 10.5 **Keuren en controle van beton**

Keuringen worden uitgevoerd om na te gaan of een product de gewenste eigenschappen bezit. Naast keuringen voert de producent gedurende het productieproces ook regelmatig controles uit om zeker te zijn dat het proces op de gewenste wijze verloopt.

Gedurende vele jaren is de keuring van beton de taak geweest van de afnemer. De regelgeving was daarop ingericht. In de normen stond aangegeven hoeveel en met welke frequentie keuringen moesten worden uitgevoerd om vast te stellen of het product aan de kwaliteitseisen voldeed.

Zo werden de controlekubussen op de bouwplaats door (of in opdracht van) de afnemer gemaakt, bewaard en beproefd. Het product werd dus pas gekeurd en beoordeeld bij afname van het beton. We spreken daarom van een afnamekeuring.

De afnamekeuring heeft daarna plaatsgemaakt voor keuring door de leverancier. In de huidige regelgeving is de procesbeheersing en de door de leverancier uitgevoerde onderzoeken van het product het uitgangspunt. Dat houdt in dat de keuringen en controles door de leverancier worden uitgevoerd, vastgelegd en voor zover daaraan behoefte is overhandigd aan de afnemer.

De onderstaande kwaliteitsregelkring geeft aan op welke wijze de producent het productieproces per deelproces controleert. Als de meting bijvoorbeeld betrekking heeft op de grondstoffen kan hij zodoende tijdig ingrijpen wanneer eigenschappen van de grondstoffen zodanig af gaan wijken dat dit gevolgen heeft voor het eindproduct. Op deze manier kan de producent de kwaliteit van het eindproduct waarborgen. Uiteraard is een vergelijkbare kwaliteitsregelkring ook van toepassing op de eigenschappen van het eindproduct zelf.



Figuur 10.11 Kwaliteitsregelkring

### 10.5.1 Monsterneming

Voor een juiste beoordeling van de producten is het in eerste instantie vooral belangrijk over de juiste, representatieve monsters te beschikken. Een televisiescherm dat van de band loopt, is duidelijk genoeg voor een visuele beoordeling. Maar hoe zit dat met een grindmonster uit een berg van 50 m x 50 m en 10 m hoog? Afhankelijk van hetgeen we willen onderzoeken, moeten we de juiste procedure en maatregelen, zoals het voorkomen van vervuiling, in acht nemen als we monsters nemen. Om verwarring te voorkomen is het raadzaam de genomen monsters zorgvuldig te markeren. Daarbij zijn gegevens als tijdstip, plaats en omstandigheden waaronder de monsters genomen zijn, belangrijk om vast te leggen. Een procedure voor het nemen van diverse monsters zoals zand, grind, water en betonspecie is gedetailleerd omschreven in de daarvoor geldende beproevingsnormen.

#### 10.5.1.1 Aantal en afmeting van de monsters

In de betonindustrie hebben alle onderzoeken overwegend plaats met beperkte steekproefgrootte. Om een zo betrouwbaar mogelijk beeld te verkrijgen van de eigenschappen van het product kunnen we niet volstaan met maar één monster. Willen we bijvoorbeeld een beeld krijgen van de sterkte van een constructieonderdeel in het werk, dan moet men vaak meer betoncilinders boren en het resultaat beoordelen in combinatie met aanvullende, afgeleide eigenschappen zoals ultrasoon- en terugslaghamermetingen.

Datzelfde geldt voor het aantal monsters dat moet worden onderzocht door de producent om vast te stellen of de door hem geleverde producten aan de afgesproken eisen voldoen.

#### 10.5.1.2 *Plaats van monsterneming*

De plek waar monsterneming moet plaatshebben, moet zorgvuldig worden gekozen om te komen tot een representatief monster. Neem bijvoorbeeld een berg toeslagmateriaal voor betonspecie op een betoncentrale. Om een goed monster te verkrijgen zou eigenlijk bij het lossen van het schip waarmee het werd aangevoerd, een aantal deelmonsters van de transportbanden moeten worden genomen. Die deelmonsters worden vervolgens met elkaar gemengd en het mengsel wordt verkleind tot een monster waarmee het betreffende onderzoek kan plaatshebben. Als dat niet zo heeft plaatsgevonden, moet monsternaming van de berg zelf plaatshebben. Hier komt het erop aan weloverwogen op een geschikte plaats monsters te nemen. En dat is bij voorkeur niet aan de teen van de berg, waar veel grof, van de berg afrollend materiaal zich verzamelt. Op die manier wordt geen representatief monster verkregen. Ook voor een monster betonspecie gelden vergelijkbare overwegingen. Eigenlijk zou de stroom betonspecie naar de truckmixer moeten worden bemonsterd. Maar dat is niet zo eenvoudig uitvoerbaar. Daarom wordt een monster uit de truckmixer zelf genomen. Ook daaruit zouden enkele deelmonsters moeten worden genomen. Maar ook dat stuit op uitvoeringsproblemen. Noodgedwongen wordt daarom vaak na intensief mengen door de truckmixer een kruiwagen vanuit de truckmixer gevuld. Omdat ook bij het lossen in de kruiwagen ontmenging kan optreden, wordt dat monster vaak nog handmatig 'omgezet' om vervolgens daaruit steekmonsters te nemen voor het onderzoek.

#### 10.5.1.3 *Prepareren van monsters*

Prepareren van monsters houdt in dat de monsters geschikt moeten worden gemaakt en gehouden voor de gekozen onderzoeksmethode. Een simpel voorbeeld hiervan is het maken van kubussen voor de controleproef. Minder simpel is het als geboorde cilinders uit een betonconstructie geschikt moeten worden gemaakt voor sterkteonderzoek of als betonstraatstenen op vorst-/dooizoutbestandheid moeten worden onderzocht. Bij de monsterneming moet terdege rekening worden gehouden dat dergelijke monsters nog bewerkingen moeten ondergaan alvorens ze getest kunnen worden.

#### 10.5.1.4 *Ouderdom*

De eigenschappen van betonspecie en beton wijzigen zich naarmate de tijd verstrijkt. Een aanvankelijke verwerkbaarheid van betonspecie zal in meer of mindere mate snel teruglopen als gevolg van de eigenschappen van de samenstellende bestanddelen en omstandigheden (bijvoorbeeld temperatuur). Ook de mechanische eigenschappen van beton veranderen in de tijd. Zo zal de sterkte van beton bij aanvang, afhankelijk van de omstandigheden (temperatuur), snel toenemen en zelfs na 28 dagen nog doorgroeien. Daarmee veranderen ook andere eigenschappen zoals de elasticiteitsmodulus van het materiaal.

Als aan de hand van geboorde cilinders een beeld van de betonsterkte in een constructie wordt verkregen, moeten we ons neerleggen bij het feit dat we nooit meer met zekerheid kunnen zeggen in hoeverre we deze resultaten kunnen vergelijken met de karakteristieke betonsterkte zoals die tijdens de productiefase van het betreffende beton is verkregen.

### 10.5.2 Keuring en controle van de grondstoffen

De grondstoffen moeten voldoen aan de desbetreffende normen om er zeker van te kunnen zijn dat het eindproduct ook aan de eisen zal voldoen. Vrijwel alle grondstoffen voor beton worden met CE-markering geleverd. Op basis daarvan mag worden geconcludeerd dat deze grondstoffen door de desbetreffende producent zijn beoordeeld en akkoord bevonden, een en ander zoals vereist in de Europese regelgeving.

Desondanks is het noodzakelijk dat de afnemer nagaat of de juiste grondstof is geleverd en of deze grondstof overeenkomt met eerder door hem gebruikte grondstoffen, met name omdat de productnormen voor deze grondstoffen nog een ruime marge laten voor de variatie in de producteigenschappen.

Door grondstoffen te gebruiken die tevens voorzien zijn van een KOMO-productcertificaat kan het grootste deel van de proeven door de afnemer achterwege blijven en beperkt zich de controle meestal tot de beoordeling van de afleverdocumenten ('is geleverd wat werd besteld?') en uiteraard altijd een visuele controle als dat mogelijk is. Dit laatste geldt met name voor toeslagmaterialen.

### 10.5.3 Keuring en controle van betonspecie

De controle van betonspecie omvat een aantal proeven die moeten aantonen dat de betonspecie aan de gestelde eisen voldoet, maar ook dat het hiermee verkregen verharde beton met voldoende zekerheid zal gaan voldoen aan de gestelde eisen.

Voor beoordeling van betonspecie kennen we de volgende proeven:

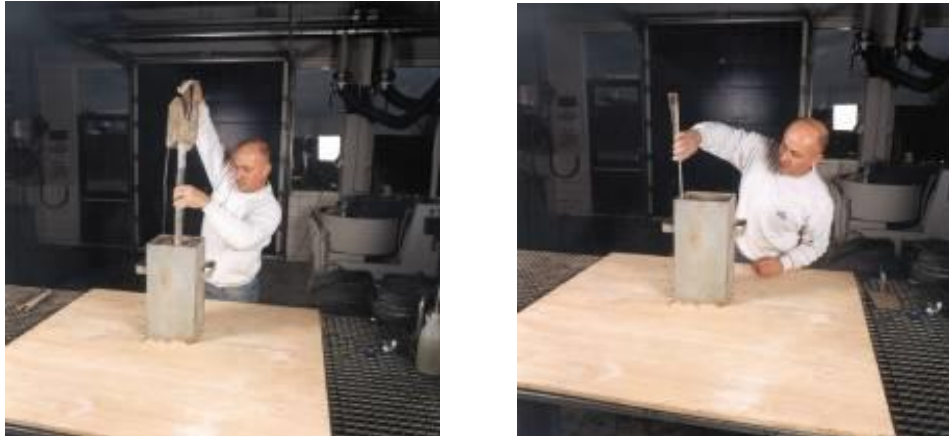
- Meting van de verwerkbaarheid traditionele betonsamenstellingen;
  - verdichtingsmaat;
  - zetmaat;
  - schudmaat.
- Meting van andere verwerkbaarheidseigenschappen;
  - vloeimaat;
  - trechtertijd;
  - zeefsegregatietest;
  - L-box;
  - blokkeringsmaat met J-ring.
- Meting luchtgehalte;
  - drukvatmethode;
  - verdringingsmethode.
- Meting van de water-cementfactor.

#### 10.5.3.1 *Meting van de verwerkbaarheid*

De meetmethoden voor bepaling van de verwerkbaarheid zijn alle gebaseerd op de bepaling van het vloeigedrag van een betonspecie waarbij een zekere hoeveelheid verdichtingsenergie wordt gebruikt. Deze kan afkomstig zijn van de zwaartekracht (verdichtingsmaat, zetmaat en vloeimaat) of van een gecontroleerde hoeveelheid toegevoegde verdichtingsenergie, bijvoorbeeld door een aantal schokken (schudmaat). Elke meetmethode heeft een eigen toepassingsgebied.

Onderstaande figuren geven globaal aan hoe de metingen van de verwerkbaarheid plaatshebben.

### Verdichtingsmaat



*Figuur 10.12 De verdichtingsmaat: een vat met hoogte  $h$  (40 cm) wordt van verschillende kanten gevuld met een troffel. Vervolgens wordt het vat geplaatst op een triltafel waarna de inklinking  $s$  wordt gemeten.*

*Verdichtingsmaat  $\frac{h}{h-s}$ , zonder dimensie, en varieert van 1 ( $s = 0$ ) tot oneindig ( $s = h$ ). Beproeving volgens NEN-EN 12350-4.*

### Zetmaat



*Figuur 10.13 De zetmaat: een kegel van 30 cm hoogte wordt in 3 lagen gevuld en per laag met een porstaaf verdicht. Na schoonmaken van de tafel wordt de kegel omhoog geheven en wordt de inzakking  $h$  gemeten nadat de kegel is verwijderd. De zetmaat is  $h$  (mm). Beproeving volgens NEN-EN 12350-2.*

### Schudmaat



*Figuur 10.14 De schudmaat: een kegel van 20 cm hoogte wordt in 2 lagen gevuld en per laag verdicht met een stamper. Na het schokken van de tafel worden de diameters  $d_1$  en  $d_2$  van de 'speciekoek' in twee, loodrecht op elkaar staande richtingen gemeten. De schudmaat is het gemiddelde van  $d_1$  en  $d_2$  (mm). Beproeving volgens NEN-EN 12350-5.*

#### 10.5.3.2

#### *Meting van andere verwerkbaarheidseigenschappen*

Voor zelfverdichtend beton is een serie aanvullende meetmethoden voor het vaststellen van de verwerkbaarheid ontwikkeld. De metingen geven informatie over de vloeieigenschappen, de taatheid en de stabiliteit van de betonspecie.

### Vloeimaat



*Figuur 10.15 De vloeimaat: een kegel van 30 cm hoogte wordt in een keer gevuld. Na schoonmaken van de tafel wordt de kegel geheven. Zonder verder energie toe te voeren worden ook hier de diameters  $d_1$  en  $d_2$  van de 'speciekoek' in twee, loodrecht op elkaar staande richtingen gemeten. De vloeimaat is het gemiddelde van  $d_1$  en  $d_2$  (mm). Beproeving volgens NEN-EN 12350-8.*

### Trechtertijd



*Figuur 10.16 De trechtertijd: Hiervoor wordt na het vullen van de trechter met zelfverdichtende betonspecie de tijd (t) gemeten die verstrijkt tussen het moment dat de klep onder wordt geopend en het moment dat het reservoir volledig leeg is. Beproeving volgens NEN-EN 12350-9.*

### Zeefsegregatietest



*Figuur 10.18 Zeefsegregatietest: met deze test wordt bepaald hoeveel specie, nadat deze specie gedurende 15 minuten is weggezet in een emmer, er door een zeef van 5 millimeter zakt in een tijdsbestek van 120 seconden. Beproeving volgens NEN-EN 12350-11.*



### Blokkeringsmaat met J ring



*Figuur 10.19 Blokkeringsmaat met J-ring: op het moment dat de kegel geheven wordt, wordt de uitstroming geleid door een ring van stalen spijlen. Vervolgens wordt de hoogte van de betonspecie ten opzichte van de bovenkant ring in het midden en op vier punten buiten de ring gemeten. Bj is de gemiddelde hoogte buiten de ring minus de hoogte in het midden. Beproeving volgens NEN-EN 12350-12.*

#### 10.5.3.3 *Meting van het luchtgehalte*

Om aan de vorst/dooizoutbestandheid te voldoen, kan het zijn dat de betonspecie (en daarmee het beton) een voorgeschreven luchtgehalte moet bevatten. De meting van het luchtgehalte in de betonspecie moet vaststellen of het vereiste luchtgehalte is gerealiseerd. Anderzijds kan men ook met deze meetmethoden aantonen dat er geen lucht is ingebracht als gevolg van een ongewenst neveneffect van een toegepaste hulpstof.

Indien men het luchtgehalte wil bepalen van een betonspecie op basis van licht toeslagmateriaal dan wel met menggranulaat, lukt dat niet met de drukvatmethode maar moet men uitwijken naar de verdringingsmethode.

### Drukvatmethode



*Figuur 10.20 De drukvatmethode: voor bepaling van het luchtgehalte met het drukvat wordt het vat met betonspecie gevuld die vervolgens wordt verdicht. Daarna wordt de drukkamer onder druk gebracht. Vervolgens wordt de drukkamer in verbinding gebracht met het meetvat. Het percentage lucht kan nu op de meter worden afgelezen. Beproeving volgens NEN-EN 12350-7 voor betonspecie met niet-poreus toeslagmateriaal.*

### Verdringingsmethode



*Figuur 10.21 Vul het vat met betonspecie. Bevestig daarna het bovenstuk en vul dit tot het waterpeil op de nulstreep staat. Schroef de hals dicht en schud de meter totdat alle lucht vrij gekomen is. Lees dan het luchtgehalte af. Beproeving volgens ASTM C 173 voor betonspecie met poreus toeslagmateriaal en/of beton- en menggranulaat.*

#### 10.5.3.4 *Meting van de water-cementfactor*

Er zijn verschillende methoden om de water-cementfactor te bepalen. De eenvoudigste manier is de water-cementfactor te berekenen uit de hoeveelheid afgewogen materialen en het gemeten vochtgehalte van het toeslagmateriaal.



*Figuur 10.22 Droogstoof.*

Een andere veel gebruikte methode is de droogmethode, waarbij een monster betonspecie binnen 30 minuten na aanmaak in de droogstoof moet worden gezet. Van dit monster kan het vochtgehalte worden bepaald door het verschil in massa voor en na het drogen.

Als we dit vochtgehalte uitdrukken t.o.v. de natte massa van het monster kan aan de hand van de afweegstaat van het beton de hoeveelheid water van het betonmengsel worden berekend. Hiermee kan vervolgens de water-cementfactor van het betonmengsel worden berekend. Beproeving volgens NEN 5960.

#### 10.5.4 Controle van verhardend beton

Deze controle wordt uitgevoerd indien men er zich van wil vergewissen dat het beton op een zeker moment na aanmaak een vooraf vastgestelde, minimum sterkte bereikt heeft. Deze minimum sterkte moet bijvoorbeeld een betonconstructie hebben, om de constructie veilig te ontkisten of voor te spannen.

Voor de beoordeling van de sterkteontwikkeling beschikken we over een aantal methoden die een beeld geven van de werkelijke sterkte:

- meting van de druksterkte van kubussen die verhard zijn naast de constructie (de verhardingsproef);
- meting van druksterkte aan kubussen die verhard zijn in een temperatuurgestuurd waterbad (de verhardingsproef met temperatuursregeling genoemd);
- meting van de gewogen rijpheid;
- meting van de oppervlaktehardheid met behulp van een terugslaghamer.

Uiteraard hebben al deze methoden een specifieke toepassing en betrouwbaarheid.

#### 10.5.4.1 *Verhardingsproef*

Kubussen worden tijdens het storten van een constructie ter plaatse gevuld en verharden naast of op de constructie onder min of meer dezelfde omstandigheden. Na een bepaald aantal uren wordt de sterkte van de kubus bepaald en dit is een maat voor de sterkte van het beton in die constructie.

#### 10.5.4.2 *Verhardingsproef met temperatuursregeling*

Kubussen worden tijdens het storten van een constructie ter plaatse gevuld en verharden naast de constructie in een waterbad dat de temperatuur volgt die in de constructie optreedt. Na een bepaald aantal uren wordt de sterkte van de kubus bepaald en is dat een maat voor de sterkte van beton in de constructie rekening houdend met het temperatuurtraject dat het beton tijdens verharding heeft doorlopen.

#### 10.5.4.3 *Methode gewogen rijpheid*



*Figuur 10.23 De methode gewogen rijpheid: met behulp van sensoren in het verhardend beton wordt het temperatuurverloop in de constructie gevolgd en de gewogen rijpheid van beton daaruit uitgerekend. Op basis van een ijkgrafiek waarin de relatie tussen rijpheid en sterkte is weergegeven, kan een inschatting van momentane betonsterkte worden gemaakt. Beproeving volgens NEN 5970. (op de foto is een rijpheidscomputer afgebeeld)*

#### 10.5.4.4 Meting met terugslaghamer



*Figuur 10.24 De terugslaghamer: met een terugslaghamer wordt de mate van terugveren bepaald van een massa die door een gespannen veer tegen het betonoppervlak geschoten wordt. De mate van terugveren is een maat voor de sterkte-eigenschappen van het betonoppervlak. Beproeving volgens NEN-EN 12504-2.*

#### 10.5.5 Keuring en controle van verhard beton gemeten aan proefstukken.

De belangrijkste eis die aan beton wordt gesteld, is de druksterkte na 28 dagen verharden onder geconditioneerde omstandigheden (20 °C en 100% relatieve vochtigheid; dit wordt ook wel de ‘controleproefomstandigheden’ genoemd). De druksterkte kan worden bepaald met proefstukken in de vorm van cilinders of kubussen. In Nederland (en veel andere Europese landen) wordt de voorkeur gegeven aan het werken met kubussen. De verkregen sterkte wordt daarom kubusdruksterkte genoemd en is de bezwijkbelasting van de kubus gedeeld door het belaste oppervlak. In Nederland is gekozen voor kubussen met een riblengte van 150 mm (standaard).

Als gebruik wordt gemaakt van kubussen met andere afmetingen moeten correctiefactoren worden toegepast. Vergelijken we drie kubussen met een riblengte van resp. 100 mm, 150 mm en 200 mm, dan zal de druksterkte van de kleinere kubus hoger zijn dan die van de standaardkubus. De sterkte van de grotere kubus zal daarentegen juist lager zijn.

Reden: een hogere kubus kan eerder bezwijken onder drukbelasting omdat hij gemakkelijker in dwarsrichting kan vervormen, dit in tegenstelling tot een kleinere kubus waar het effect juist is dat hij moeilijker kan vervormen.

Voor afwijkende afmetingen van kubussen zijn omrekeningwaarden gegeven in de volgende tabel.

*Tabel 10.2 Omrekeningsfactoren van kubusdruksterkten op basis van riblengte 150 mm*

<b>riblengte [mm]</b>	<b>omrekeningsfactor [-]</b>
100	0,91
200	1,05
300	1,10

De gevonden druksterkte van een kubus met afwijkende riblengte moet worden vermenigvuldigd met de factor zoals vermeld in tabel 10.2 om de sterkte te verkrijgen behorend bij een kubus met een riblengte van 150 mm.

De onder bovengenoemde standaard omstandigheden (20 °C en 100% relatieve vochtigheid) bepaalde eigenschappen geven aan welke eigenschappen van het beton in de constructie verwacht mogen worden. Deze proeven geven echter slechts globale informatie van de eigenschappen van het beton in de constructie op een bepaald moment. Dat beton verhardt meestal niet bij 20 °C en zal daarom een andere sterkteontwikkeling hebben. Uiteraard gaat die sterkteontwikkeling ook nog na 28 dagen door, onder voorwaarde dat het beton niet uitdroogt en er voldoende water beschikbaar is voor verdere hydratatie.

De onder controleproefomstandigheden verkregen kubusdruksterkten worden gebruikt om na te gaan of de producent beton(specie) heeft geleverd dat aan de afgesproken eisen voldoet. In NEN-EN 206 / NEN 8005 is een aantal beoordelingssystemen beschreven. Zowel voor de sterkte van individuele kubussen, het gemiddelde van 3 opeenvolgende kubussen als het gemiddelde van 15 opeenvolgende kubussen wordt daarin betrokken. Ook wordt rekening gehouden met de gevonden spreiding (standaardafwijking) in de meetresultaten. Hierop wordt verder in deze cursus niet ingegaan, maar vormt onderdeel van de vervolgopleiding voor Betontechnoloog.

Naast de druksterkte zijn nog andere eigenschappen van belang voor het gedrag van een betonconstructie in de praktijk. De eigenschappen kunnen op verschillende tijdstippen na aanmaak van het beton worden bepaald.

De volgende meetmethoden geven een indruk van verhard beton zoals dat tot uiting komt in de constructie:

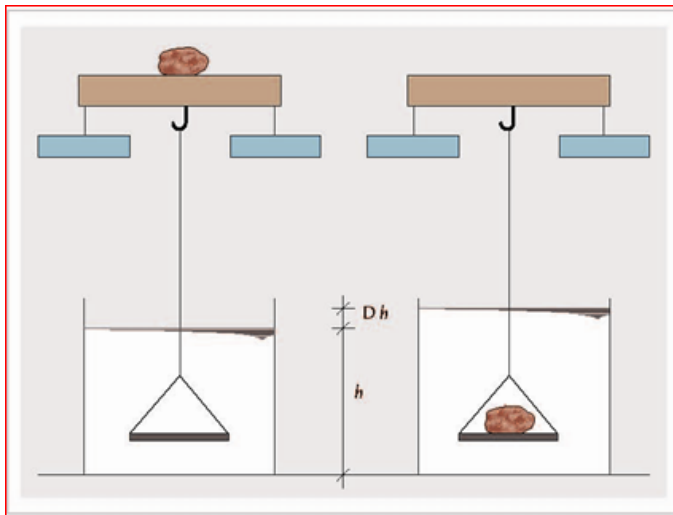
- bepaling van de kubusdruksterkte (controleproef);
- bepaling van de volumieke massa;
- bepaling van buigtreksterkte;
- bepaling splijttreksterkte;
- bepaling van elasticiteitsmodulus;
- bepaling van de versnelde chloride-indringing in beton.

### 10.5.5.1 Bepaling kubusdruksterkte



*Figuur 10.25 De kubusdruksterkte: wordt gemeten aan eerder, volgens een omschreven procedure (NEN-EN 12390-2), vervaardigde kubussen met meestal afmetingen van 150 mm x 150 mm x 150 mm. Door de kubus te belasten in een pers kunnen we de kracht meten die nodig is om de kubus te laten bezwijken. De druksterkte ( $N/mm^2$ ) wordt vervolgens berekend door de bezwijkbelasting ( $N$ ) te delen door het belaste oppervlak ( $mm^2$ ). Beproeving volgens NEN-EN 12390-3. De snelheid van belasten is voorgeschreven:  $0,6 \pm 0,2$  MPa/s.*

### 10.5.5.2 Bepaling van de volumieke massa ( $\rho_{vd}$ )



*Figuur 10.26 Volumieke massa: de volumieke massa van onregelmatig gevormde proefstukken kan bepaald worden door het wegen van de proefstukken boven en onder water. Onder water ondervindt het proefstuk een opwaartse kracht die gelijk is aan de massa van de verplaatste hoeveelheid water. Met het verschil in massa boven en onder water kan het volume van het proefstuk worden berekend. Beproeving volgens NEN-EN 12390-7.*

### 10.5.5.3 Bepaling van de buigtreksterkte $f_{ct}$



*Figuur 10.27 De buigtreksterkte: kan worden bepaald aan prisma's met verschillende afmetingen. We onderscheiden daarbij tevens twee manieren van belasten. De zogenoemde driepunts- en de vierpuntsbuigproef. In sommige gevallen wordt bij de driepuntsbuigproef midden-onder in de balk een zaagsnede aangebracht.*

$$f_{ct} = \frac{\frac{1}{4}Fl}{\frac{1}{6}b \cdot h^2}$$

### 10.5.5.4 Bepaling van de splijttreksterkte



*Figuur 10.28 De splijttreksterkte: wordt bepaald aan kubussen zoals die ook voor bepaling van de druksterkte worden toegepast. De kubussen worden in een drukpers geplaatst met tussen de vlakken van de kubus en de drukpersplaten een houten latje. De kubus wordt zodoende gespleten waarmee de splijttreksterkte kan worden berekend door de bezwijkbelasting te delen door het belaste oppervlak aan de hand van de volgende formule:  $f_{ct} = \frac{2F}{\pi \cdot l \cdot d}$*

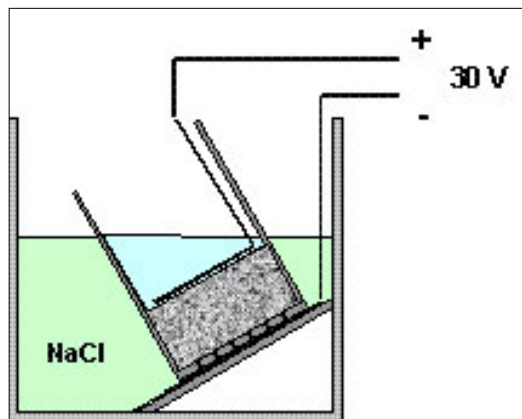


### 10.5.5.5 Bepaling van elasticiteitsmodulus



*Figuur 10.29* Voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus wordt een betonnen cilinderproefstuk langzaam belast tot maximaal 33% van zijn bezwijkkracht. Tijdens het aanbrengen van deze belasting wordt de vervorming van de cilinder gemeten. Uit de mate van vervorming in relatie tot de belasting die is aangebracht, wordt de E-modulus berekend.

### 10.5.5.6 Versnelde chloride-indringing in beton (RCM-methode)



*Figuur 10.30* Voor het bepalen van de RCM wordt over een betonproefstuk een spanningsverschil aangebracht. Het proefstuk staat met één zijde in een chloride-oplossing. Door het spanningsverschil worden de chloride-ionen geforceerd het beton in getrokken. Op basis van de mate van indringing van de chloriden, de tijdsduur van de meting en de hoogte van het spanningsverschil kan de weerstand van het beton tegen indringing van chloriden (RCM) worden berekend.

### 10.5.6 Keuring en controle van betonnen producten

Naast dat we methoden hebben om verhard beton te testen, komt het in de dagelijkse praktijk voor dat betonnen eindproducten worden onderzocht. Betonstraatstenen leveren daarbij handzame monsters op die ook redelijkerwijs te testen zijn. Het wordt anders als de te onderzoeken elementen grotere afmetingen krijgen, zoals rioolbuizen of verdiepingsvloerplaten. Toch wordt incidenteel van dergelijke elementen een monster onderzocht en tot bezwijken belast.

Onderstaand is een aantal voorbeelden gegeven van keuring aan het gereede product:



*Figuur 10.31 Bepaling van de splijttreksterkte van betonstraatstenen.*



*Figuur 10.32 Bepaling van de kruindruksterkte van een rioolbuis.*



*Figuur 10.33 Bepaling van de buigtreksterkte van een kanaalplaatvloer.*

In het kader van deze cursus wordt niet verder op de uitvoering van deze proeven ingegaan. Bestudering van de in het overzicht genoemde normen geeft over het algemeen voldoende informatie over de betreffende proeven. De cursussen 'Betonlaborant BV' en 'Practicum Betontechnologie' geven uitgebreide informatie over de uitvoering van een aantal van hierboven genoemde proeven.

