

De overwinning van de kleine materialen.

ongewapend beton voor vestingwerken 1878-1914

Inleiding

Verspreid over de bedekte weg van de vesting Naarden liggen twaalf schuilplaatsen van ongewapend beton. Stichting Monumentenbezit is eigenaar van de vestingwerken van Naarden en daarmee dus ook van die twaalf betonnen bouwwerkjes. Toen er in 2022 een kleinschalige restauratie van één van de schuilplaatsen op de planning stond, was dat voor de stichting een goede reden om onderzoek te gaan doen naar de

geschiedenis van de schuilplaatsen en het beton dat voor ze gebruikt was. Uit dat onderzoek kwam een beeld naar voren van ongewapend beton als een veelzijdig bouw materiaal dat tussen 1878 en 1914 volop in ontwikkeling was.¹ In die periode groeide het uit tot het belangrijkste bouw materiaal voor vestingwerken in Nederland, tot het aan de vooravond van de Eerste Wereldoorlog die rol af moest staan aan het gewapende beton. Dit artikel gaat in op de ontwikkeling van beton in voornoemde periode en hoe de militaire ingenieurs probeerden om via de betonreceptuur tot een optimale constructie te komen.

Militaire architectuur ontwikkelt zich aan de hand van aanvalsmethodes en -middelen. Veranderen deze, dan veranderen ook de verdedigingswerken en de daarvoor gebruikte bouwmaterialen. De geschiedenis van de vestingbouw moet dan ook gezien worden als een constante wedloop tussen aanvallers en verdedigers. Dit proces kwam in een stroomversnelling in de tweede helft van de negentiende eeuw. De ontwikkeling van beton moet tegen die achtergrond worden bekeken.

Twee soorten beton

Er komen twee soorten ongewapend beton voor. De meest bekende is kalk-trasbeton. In Nederland ook vaak aangeduid als bakstenbeton. Dit beton bestaat uit een kalk-trasmortel, vermengd met grove stukken steen. Meestal is dat baksteen (vandaar de naam) maar soms heeft men stukken hardsteen gebruikt.² Het is een vrij zacht soort



1) Plattegrond van de vesting Naarden rond 1880. De bedekte weg is de zigzaggende buitenste verdedigingswal. (beeldbank Nationaal Archief)

beton, poreus en met veel holle ruimtes tussen de steenstukken. In dit beton functioneert hydraulische kalk als bindmiddel. De tweede soort is cementbeton. Dit beton bestaat uit een cementmortel, vermengd met kleine stukken harde natuursteen, zoals bijvoorbeeld hardsteen of porfier. Later worden de steenstukken vervangen door grind. Dit is een hard, compact en dicht beton met weinig holtes. In dit geval is Portlandcement het bindmiddel. Dit type beton is gebruikt voor de twaalf schuilplaatsen in Naarden.

De toepassing van cementbeton werd voor het eerst in 1865 overwogen. Aanleiding hiervoor waren schietproeven, die vijf jaar eerder in Kopenhagen waren gehouden.³ Hierbij werd onder meer een constructie van cementbeton beproefd en die proef werd bijgewoond door de Nederlandse majoor Ernst. De testresultaten waren gunstig en hij bracht er een rapport over uit.⁴ Het leidde tot de volgende filosofische gedachte van M. D. Van Limburg Stirum, op dat moment inspecteur der fortificatiën, en voorstander van cementbeton: 'Met zekerheid weet ik niet waarom steenblokken het voorrecht genieten meer indruk te maken dan kleine materialen, maar zoo is het. Groote hardstenen boezemen eene mate van ontzag in die geen betonwerk kan teweegbrengen, en echter kan het niet voor een oogenblik twijfelachtig zijn dat de kleine materialen in alle opzichten voor alle werken de voorkeur genieten.'⁵

Hoewel het rapport in goede aarde viel en de sterkte van een constructie van cementbeton werd onderkend, werd toch besloten om het materiaal niet toe te gaan passen. Cement was erg duur, het moest immers geïmporteerd worden, en



2) Twee bomvrije gebouwen op ravelijn 6 in Naarden. Ze werden in 1875 gebouwd. (foto Monumentenbezit)

er was geen directe noodzaak om cementbeton te gaan gebruiken.⁶ De bestaande militaire bouwwerken waren voldoende sterk om een aanval met de nieuwste wapens te kunnen weerstaan. Ze

3) Plattegrond en doorsnede van een van de doelwitten in Schoorl. Deze constructie is geheel in beton uitgevoerd. Opvallend is het gebruik van twee soorten beton. (Nationaal Archief 2.13.210-153)

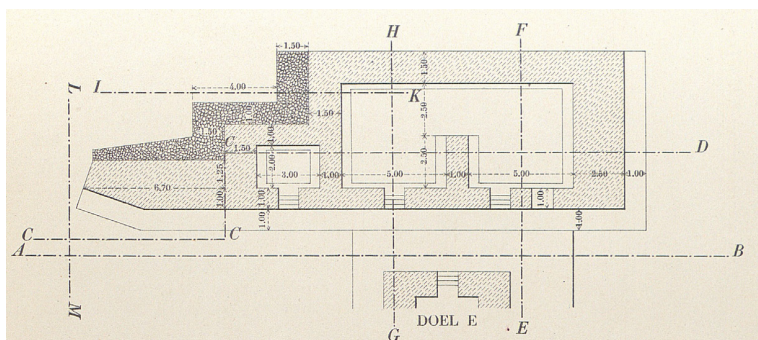
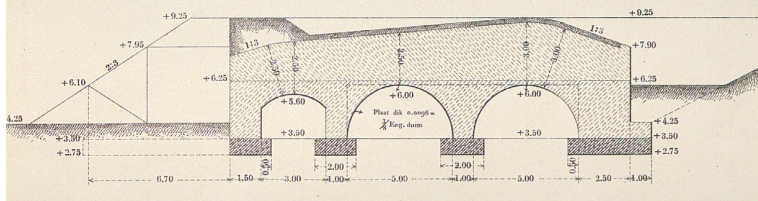
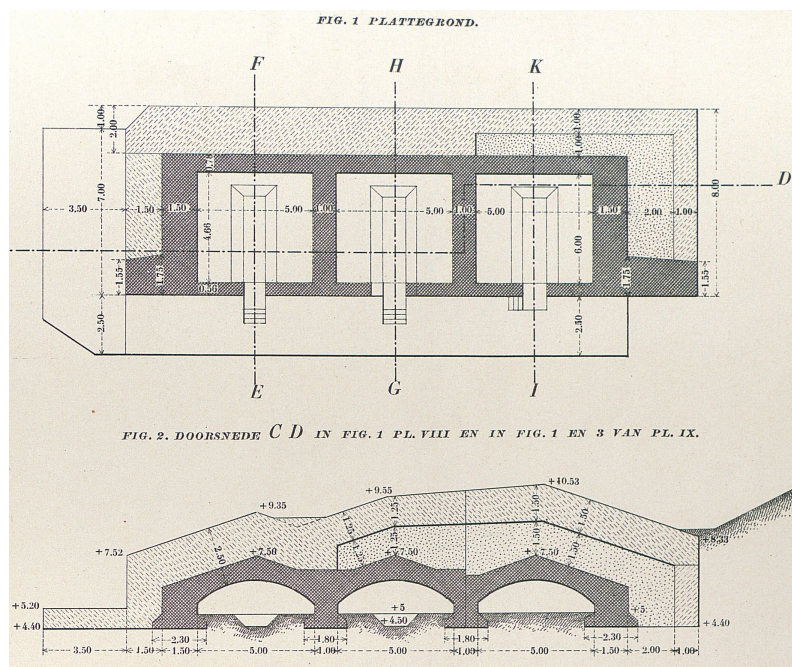


FIG. 2. STANDGEZICHT EN DOORSNEDEN C D IN FIG. 1 PL. II EN FIG. 1 PL. III.





4) Plattegrond en doorsnede van een ander doelwit in Schoorl. Deze constructie bestaat uit metselwerk dat versterkt is met een betondekking. Hier valt op dat de betondekkingen op twee verschillende manieren zijn uitgevoerd. (Nationaal Archief 2.13.210-153)

waren *bomvrij*, zoals dat zo mooi heet.⁷ Bomvrije gebouwen bestonden uit een dikke gemetselde constructie, bedekt door een nog dikkere laag aarde. Slechts één gevel van het gebouw bleef zichtbaar, dit was de gevel die het minst bloot zou staan aan een beschieting.

De Frans-Duitse Oorlog (1870-1871) bracht een schok teweeg in heel Europa en leidde in Nederland tot een totale revisie van de landsverdediging.⁸ Dit ging gepaard met een modernisering van alle forten en vestingsteden die nog een militaire functie hadden. Er werden daar, vanaf 1873, volop nieuwe bomvrije gebouwen neergezet van het hierboven beschreven type. Vanaf 1878 koos men steeds vaker om die nieuwe gebouwen niet te metselen, maar ze uit te voeren in brik-

kenbeton. Het was namelijk gebleken dat een gebouw van brikkenbeton even sterk was als een gelijk gebouw van metselwerk, mits het natuurlijk eenzelfde dikke aardende dekking zou krijgen.⁹ Met brikkenbeton kon snel en goedkoop worden gebouwd. Rond 1885 was dat bouw materiaal dan ook niet meer weg te denken uit de militaire architectuur. Bijna elk gemoderniseerd fort uit die tijd heeft wel een of meer gebouwen van brikkenbeton. Dit in tegenstelling tot cementbeton, dat kwam toen nog altijd niet of nauwelijks voor. Hier kwam echter snel verandering in.

De brisantgranaat

Rond 1885 werd de brisantgranaat gemeengoed in de Europese legers. Deze granaten waren gevuld met springstoffen die twaalf tot zestien keer sterker waren dan het traditionele buskruit, en ze konden bovendien meer van die springstoffen bevatten.¹⁰ Daarnaast werd het door steeds geraffineerder wordende ontstekingsmechanismen, mogelijk om de explosie van de granaten te timen. Een granaat gevuld met kleine kogels kon bijvoorbeeld zo worden ingesteld dat die in de lucht explodeerde en zo een dodelijke regen van kogels veroorzaakte. Andere granaten explodeerden pas als ze na de inslag dieper in een constructie waren doorgedrongen. De combinatie van de grotere explosieve kracht en de beter wordende timing, maakte dat de bomvrije gebouwen, ook die van brikkenbeton, plotsklaps verouderd waren. Ze konden met de nieuwe granaten eenvoudig vernietigd worden. Het was een groot dilemma. Moesten alle bestaande forten en bomvrije gebouwen gemoderniseerd worden? Welke materialen en constructies moesten daar dan voor worden gebruikt?



Cementbeton kwam weer in beeld en er werden in 1887 de nodige testen mee gedaan.¹¹ Ook duikt het materiaal in verschillende forten op, zoals Fort Pampus en Fort Pannerden.¹² De ontwikkeling van cementbeton kwam vervolgens in een stroomversnelling door het ontwerpproces van de Stelling van Amsterdam.

Het Nationaal Reduit

De Stelling van Amsterdam moest het sluitstuk op de Nederlandse landsverdediging worden.¹³ De stelling moest geheel nieuw worden aangelegd en bestond uit een 135 kilometer lange ring van vijftien tot twintig kilometer buiten het hart van de hoofdstad en onderling lagen de forten zo'n drie kilometer uit elkaar. Het gebied dat door de fortenring werd omsloten ging dienen als Nationaal Reduit: de plek waar de regering, het leger en een deel van de bevolking zich terug konden trekken als de rest van het land onder de voet was gelopen. Vanuit de stelling zou de strijd met de vijand worden voortgezet in afwachting van een bevrijding door een bevriende buurmacht.



5) links:
De resultaten van de schietproeven in Schoorl werden op foto vastgelegd. Hier een zwaar beschadigd doelwit.
(Artilleriemuseum Oldebroek)

6) Een ander voorbeeld van een foto van de schietproeven.
(Artilleriemuseum Oldebroek)

Men rekende hierbij vooral op Engeland.

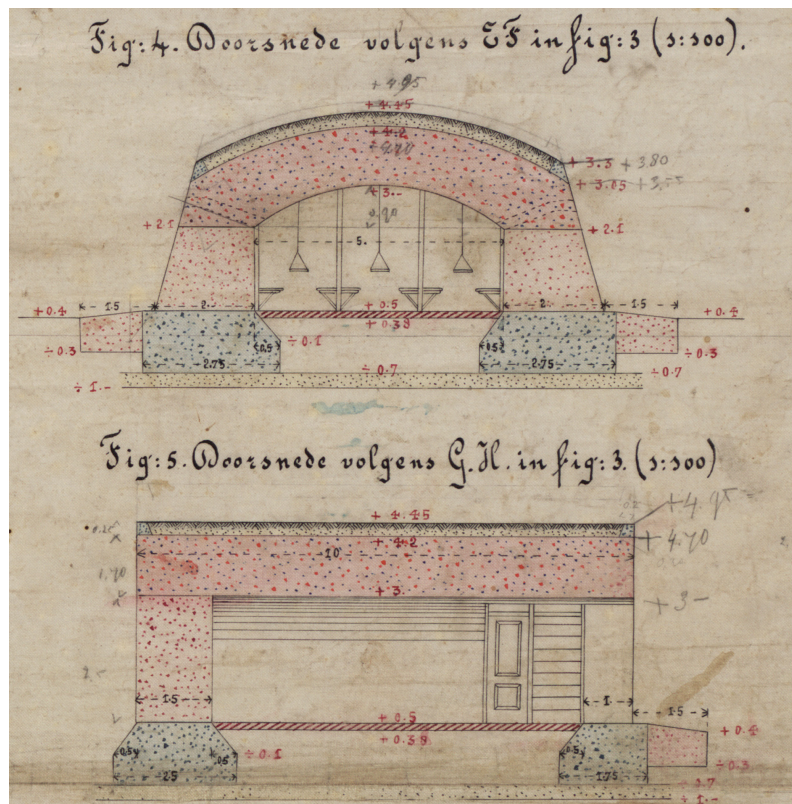
In 1883 werd het definitief ontwerp van de stelling vastgesteld en men begon toen meteen met de bouw van het eerste fort: het Fort Abcoude. Het werd in 1887 opgeleverd en was, door de komst van de brisantgranaat, meteen verouderd. Het bestond namelijk uit bomvrije gebouwen van metselwerk en bakstenen met dikke aarden dekkingen.

De vraag of alle bestaande forten en bomvrije gebouwen, en dus ook het Fort Abcoude, nu weer direct gemoderniseerd moesten worden, werd met nee beantwoord. Het besluit viel om de bestaande forten en vestingsteden voorlopig te laten voor wat ze waren en alle aandacht en financiële middelen te richten op de Stelling van Amsterdam.¹⁴ De bouw ervan werd tijdelijk stilgelegd zodat men kon gaan werken aan een nieuw ontwerp voor de rest van de forten van de stelling. Om vast te stellen of cementbeton het geëigende bouw materiaal voor deze nieuwe forten was, werd besloten om een serie schietproeven te houden in de duinen van Schoorl. De Nederlandse Staat had hier een perceel in eigen-

7) Een van de twee schuilplaatsen uit 1895 op de bedekte weg in Naarden.
(foto J. van der Werf)



8) Fragment van de bouwtekening uit 1895. Zichtbaar is dat het dak en de wanden werden uitgevoerd in verschillende soorten beton.
(Noord-Hollands Archief 548-120)



dom van enkele vierkante kilometers groot en dat was zeer geschikt voor dit doel.¹⁵

De schietproeven van Schoorl. Het werk aan de stelling hervat

Op het perceel zouden vijf doelwitten gebouwd moeten worden. Het waren verkleinde, schematische versies van bomvrije gebouwen in verschillende vormen.¹⁶ Het was de bedoeling om met de proeven uit te vinden wat de beste constructie was voor een nieuw gebouw, maar ook om uit te vinden hoe een bestaand gebouw, van metselwerk of bakstenen, versterkt zou moeten worden.

Op 4 november 1889 was het bestek voor de doelwitten gereed. In maart 1890 begon de bouw en in oktober van datzelfde jaar werden de doelwitten opgeleverd. Nadat ze een klein jaar de tijd hadden gekregen om uit te harden, begonnen in mei 1891 de eerste proeven. De laatste proeven werden in oktober 1892 afgerond. Hieruit werden de volgende conclusies getrokken:¹⁷

1. Nieuwe gebouwen moeten worden opgetrokken in cementbeton.
2. Bestaande gebouwen moeten worden versterkt met een laag cementbeton.
3. De verhouding van dat beton is: cement : zand : steenstukken, 1:1:3
4. Steenstukken moeten van hardsteen zijn met een maat van minimaal vijf millimeter en maximaal drie centimeter.
5. De dikte van de betondekking op nieuwe gebouwen moet 2,2 meter zijn.¹⁸ Die op bestaande gebouwen 1,5 meter op de bovenzijde en 1,5 tot 2 meter tegen de verticale buitenwanden.¹⁹

6. De aarddekking boven op het gebouw moet worden teruggebracht naar dertig centimeter. Tegen de verticale buitenwanden mag de aarddekking wel enkele meters dik blijven.

Met deze conclusies ging men aan de slag met de nieuwe forten voor de Stelling van Amsterdam. Het ontwerp dat destijds voor Fort Abcoude was gemaakt werd volledig herzien en het eerste nieuwe fort werd in 1897 gebouwd. Dit was het Fort Vijfhuizen. Kort daarvoor waren de eerste twee betonnen schuilplaatsen op de bedekte weg van Naarden aangelegd. Het is interessant om daar nu wat uitgebreider naar te kijken.

De schuilplaatsen in Naarden

De twaalf schuilplaatsen op de bedekte weg in Naarden werden in vijf fases aangelegd. De eerste twee verrezen in 1895. Dat is dus korte tijd na de proeven in Schoorl en kort voor de bouw van de nieuwe forten in de Stelling van Amsterdam. Deze twee schuilplaatsen kenmerken zich door hun gebogen dak en schuin lopende zijwanden. In 1902 volgden drie nieuwe schuilplaatsen. Twee jaar later, in 1904, kwamen er twee bij. In 1905 en 1906 werd dat ensemble uitgebreid met twee, respectievelijk drie schuilplaatsen. Deze tien schuilplaatsen zijn van een ander model dan die van 1895, ze zijn compact en rechthoekig. Van al deze schuilplaatsen, behalve die uit 1904, zijn bestekken bewaard gebleven in het Nationaal Archief.²⁰ Opvallend is, dat in deze bestekken in totaal vier verschillende betonrecepten staan. Ze zijn aangegeven in het onderstaande overzicht, maar het is interessant om hier een paar zaken specifiek te noemen. Voor de schuilplaatsen uit 1895 schrijft het bestek voor het dak een ander



betonrecept voor dan voor de wanden. Voor het dak worden de richtlijnen van Schoorl gebruikt, voor de wanden wordt een beton met meer zand en steenstukken voorgeschreven. In het recept van 1902 is de hoeveelheid zand verhoogd en is de verdeling van het formaat van de steenstukken gewijzigd. In 1905 zijn dezelfde verhoudingen van toepassing tussen cement, zand en steenstukken, alleen is de verdeling van het steenstukkenformaat wederom veranderd. Bovendien is in dit recept aangegeven dat vijf procent van de



- 9) Een van de tien schuilplaatsen op de bedekte weg in Naarden uit de periode 1902-1906. (foto P. van Schaik)

- 10) Drie boorkernen van beton in Naarden. Rechts brikkenbeton uit 1878, genomen uit gebouw B op bastion Katten. In het midden beton uit de wanden van de schuilplaatsen uit 1895. Links cementbeton uit de wand van een schuilplaats uit 1906. Dit is een beduidend dichter en harder type beton. (foto J. van der Werf)

Overzicht betonrecepten:

De mengverhoudingen zijn steeds in de volgorde
cement: zand: steenstukken weergegeven

1895:

- 1. Verschillende mengverhoudingen voor dak en wand.
- 2. Mengverhouding: daken 1:1:3, wanden 1:2:5
- 3. Steenstukken, porfier, tussen 0,5 en 3 cm.
- 4. Zand: korrels < 0,5cm, 25% blijft achter op een zeef van 6 mazen/cm²
- 5. Cement: langzaam bindend, 2 tot 8 uur

1902:

- 1. Voor de gehele constructie dezelfde mengverhouding
- 2. Mengverhouding: 1:1:3
- 3. Steenstukken, porfier, < 4 cm, 40% > 2 cm en 90% > 1 cm
- 4. Zand: korrels < 0,5 cm, tussen de 20% en 40% blijft achter op een zeef van 6 mazen/cm²
- 5. Cement: langzaam bindend, 3 tot 10 uur

1905:

- 1. Voor de gehele constructie dezelfde mengverhouding
- 2. Mengverhouding: 1:1 :3
- 3. Steenstukken, porfier, < 4cm, 25% > 2 cm en 70% > 1 cm
- 4. Zand: korrels 95% < 0,5cm, tussen de 20% en 40% blijft achter op een zeef van 6 mazen/cm². De draden van de zeef moeten 0,38 mm dik zijn
- 5. Cement: langzaam bindend, 3 tot 10 uur

zandkorrels groter mag zijn dan vijf millimeter. Voorheen mocht dat niet. Een andere factor die verandert, is de bindtijd van het cement. Dit moet in alle gevallen langzaam bindend zijn, maar door de jaren heen veranderen de bindingstijden. Hardsteen komt in dit beton niet voor, de steenstukken zijn van porfier.²¹ Dat is een harde steensoort, familie van graniet.

Het betonrecept in het bestek van 1906, is exact hetzelfde als dat in het bestek van 1905.

Waarom heeft men op deze manier geschoven in de receptuur? Wat probeerden de militaire ingenieurs hier te bereiken?

Hardheid, dichtheid en massa

Het antwoord op die vragen staat niet expliciet in de stukken vermeld, maar een uitleg is desalniettemin goed mogelijk. De betonconstructie moet bestand zijn tegen een beschieting met brisantgranaten. De granaten slaan in, dringen door in de constructie en exploderen daar. Tijdens alle drie die stappen richten de granaten schade aan. Door een hard, ondoordringbaar (dicht) beton te maken, kan dit worden voorkomen.²² Daarnaast telt uiteraard de massa van de constructie mee. Een zware, dikke constructie zal beter tegen de granaten bestand zijn. Dit laatste is te bereiken door simpelweg veel beton te storten. Hardheid en dichtheid moeten echter uit het betonrecept komen. Het schuiven met de ingrediënten moet vanuit die optiek bekeken worden.

De observaties van de Delftse professor J.A. van der Kloes geven een indruk van de bedoeling van de veranderende receptuur. Van der Kloes werkte aan de Technische Hogeschool in Delft (tegenwoordig de TU Delft). Hij voerde er experimenten uit op allerlei bouwmaterialen en schreef

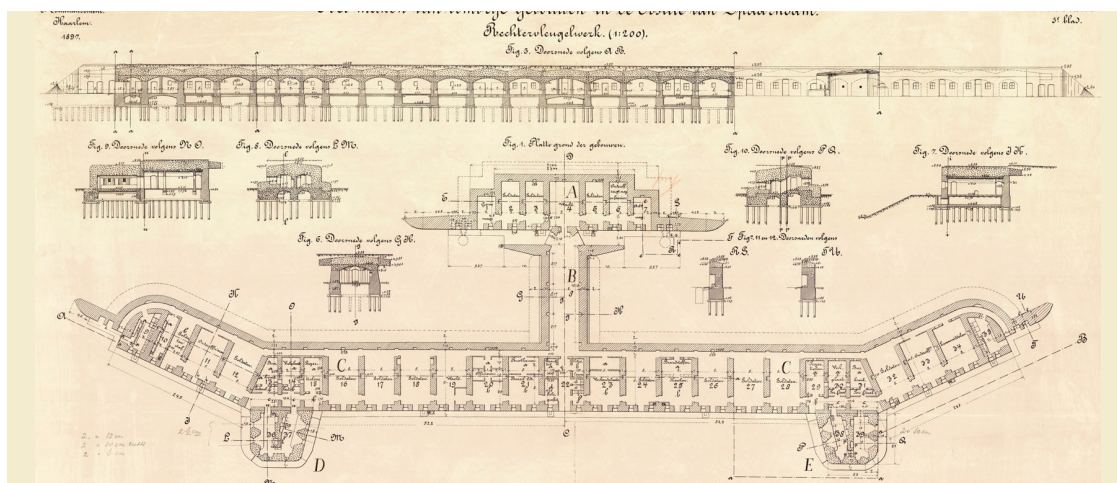
daarover. In 1893 verscheen zijn boek *Onze Bouwmaterialen*. In 1908 werd er een herziene versie van uitgebracht.²³ In deze boeken merkt hij over beton onder meer op: ²⁴

1. Dat een hoog gehalte aan cement voor een harder beton zorgt.²⁵
2. Dat de hoeveelheid mortel in het beton zodanig moet zijn dat de steenstukken goed, rondom bedekt worden met mortel. Er is dan geen contact tussen de steenstukken onderling en er ontstaan geen ophopingen van steenstukken.
3. Dat door het afstemmen van de korrelgrootte van de verschillende componenten een grotere homogeniteit ontstaat. Samen met de goede vermenging (punt 2) zorgt dit voor een grote dichtheid van het beton.
4. Dat hardere steensoorten voor een harder beton zorgen.
5. Dat langzaam bindend cement voor een harder beton zorgt.²⁶

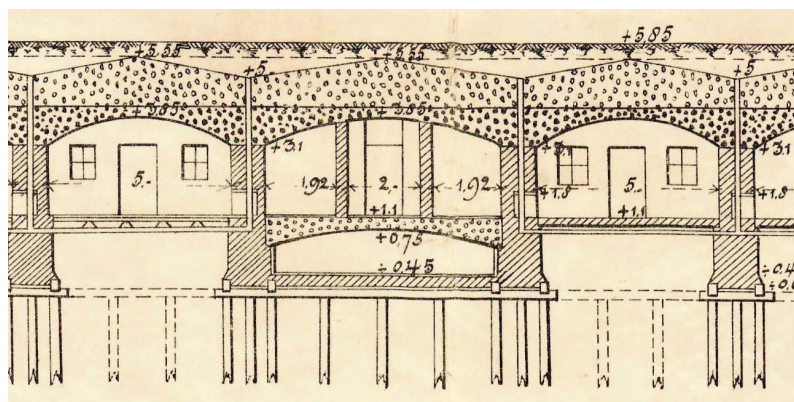


Een vergelijking van de vier verschillende betonrecepten met deze vijf punten laat zien dat de militaire ingenieurs zochten naar een manier om hard en dicht beton te maken.²⁷ De formaten van de steenstukken worden kleiner en komen dichter bij elkaar te liggen. Door vervolgens toe te staan dat een deel van het zand wat grover is, worden de korrelgroottes van steenstukken en

11) Luchtfoto van een fort in de Stelling van Amsterdam, genomen rond 1930. (beeldbank NIMH)



12) Fragment van een bouwtekening van het fort bij Spaarndam uit 1897. (beeldbank Noord-Hollands Archief)



13) Detail van diezelfde bouwtekening. Hierop is goed te zien dat de dakconstructie bestaat uit twee verschillende soorten beton, waarvan de bovenste het meeste cement bevat. De tussenwanden in het fort zijn gemetseld. (beeldbank Noord-Hollands Archief)

zand geharmoniseerd en kunnen ze tot een dichtere massa vermengd worden. De tussenruimtes worden immers minder. Door ook de hoeveelheid zand te verhogen (recept 1902) ontstaat er meer mortel, en kunnen de ruimtes tussen de steenstukken beter gevuld worden. Het vergroot de dichtheid alleen maar verder (opm. 2 en 3). Ondertussen werd ook de bindingstijd van het cement geoptimaliseerd waardoor de hardheid van het beton verder werd verhoogd. Porfier zal vooral om praktische redenen zijn gekozen, het was makkelijk te krijgen in de groeves van Quenast bij Brussel, maar het is wellicht ook iets harder dan hardsteen.

Boorkernen die in Naarden genomen zijn laten het resultaat van het spel tussen de verhoudingen goed zien. Een van de boorkernen is genomen uit de wand van een schuilplaats uit 1906. Deze heeft de verhouding 1:1¼:3. Door het relatief hoge mortelgehalte, raken de holtes tussen de steenstukken goed opgevuld. Dit beton is homogeen en ziet er dicht en hard uit.

Een andere boorkern is genomen uit de wand van een schuilplaats uit 1895. Dit beton had een ver-

houding van 1:2:5. Dus een groot aandeel steenstukken en minder mortel. Dat is goed zichtbaar in de boorkern. Er zijn meer holle ruimtes aanwezig. Het is een minder dicht en homogeen beton. Waarom is het dan toegepast? Dat komt omdat het schuiven met de verhoudingen niet alleen gericht was op het maken van hard beton. Het was ook de bedoeling om minder cement te gebruiken.

Het besparen van cement

Cement was namelijk een duur product, en als daarop bespaard kon worden, dan werd dat gedaan. De schuilplaatsen uit 1895 zijn daar een heel mooi voorbeeld van. De daken van de schuilplaatsen waren kwetsbaar. Tijdens een aanval zouden deze het meest blootstaan aan een beschieting. Hier werd dan ook het hardste beton toegepast, met een groot aandeel cement (1:1:3). De wanden daarentegen zouden veel minder snel blootstaan aan vijandelijk vuur. Hier kon het gehalte aan cement dan ook gerust naar beneden. Vandaar het beton met de verhouding 1:2:5. Het reduceren van cement mocht niet leiden tot een minder goed gemengd beton. In de evaluatie van de schietproeven bij Schoorl werd hier een opmerking over gemaakt. Volgens de schrijvers kon 'zonder bezwaar voor het gedeelte der dekking tot gemiddeld 1,5M beneden het bovenvlak cementbeton van minder prijs gebezigd worden, door het aannemen eener verhouding tusschen de samenstellende deelen cement, zand en steenstukken, waarbij minder cement dan voor de harde bovenlaag van 1:1:3 gebezigd wordt, mits steeds gezorgd worde zooveel cement en zand te gebruiken dat de holten tusschen de steenstukken volledig worden aangevuld'.²⁸



Kijkend naar de boorkern van de wanden van de schuilplaats uit 1895, is het maar de vraag of de 'holten tusschen de steenstukken' werkelijk volledig en goed zijn gevuld. Op bouwtekeningen van forten van de Stelling van Amsterdam, uit 1897, is echter zichtbaar dat er toch in deze mengverhoudingen werd doorgewerkt. Het bovenste deel van de daken van het fort wordt volgens de tekening uitgevoerd met beton van 1:1:3, en het onderste deel met beton van 1:2:5.²⁹ De kazematten aan de achterzijde van het gebouw zijn geheel uitgevoerd in beton 1:1:3. De binnenwanden van het fort worden daarentegen volledig van metselwerk gemaakt. Zie ook de afbeeldingen 12 en 13. Met andere woorden, ook hier komen de hardste en dichtste constructies op de plekken die het meest

vitaal zijn en het meest bloot zullen staan aan vijandelijk vuur; de kazematten en de bovenzijden van de daken. Op de andere plekken volston den zachter beton en metselwerk. Zo werd veel cement bespaard.³⁰

Grind en wapening, het einde van ongewapend beton

Tijdens de proeven in Schoorl (1891-1892) werden er naast de vijf doelwitten ook vier blokken beton gemaakt van verschillende samenstelling.³¹ Dit om te kijken welk type beton het beste resultaat opleverde wat betreft homogeniteit, uitharding en verwerkbaarheid. Naast basalt, graniet en stukken baksteen (klinker ovenpuin) werd er ook gewerkt met grind. De stukken baksteen vormden geen goed alternatief voor hardsteen. Basalt en graniet wel, maar waren te duur en kwalitatief niet echt beter. Grind maakte een goede indruk, was makkelijk verwerkbaar en goed te verkrijgen. Nadeel van dit materiaal was echter dat er door het gladde oppervlak slechts heel langzaam (het rapport spreekt of vier tot vijf jaar) een goede hechting tussen steen en mortel zou ontstaan.³² De hechting op het ruwe oppervlak van de gebroken steenstukken was beter. Daarom werd het gebruik van grind toch afgewezen.

Later veranderde men hierover van gedachten. Naar aanleiding van een schietproef in Oldebroek, in 1909, besloot men namelijk om toch grind te gaan gebruiken. Wat precies de reden voor deze verandering van mening is, is niet duidelijk.³³ Dat grind goedkoper is en lokaal makkelijk te verkrijgen zal zeker een rol hebben gespeeld. Cementbeton met een samenstelling van 1:1¼:3½ voor constructies met een dikte van twee meter en cementbeton met een samenstelling

14) Een Franse soldaat poseert bij een 42cm. granaat in de Eerste Wereldoorlog. Het laat de enorme evolutie zien die munitie doormaakte in die tijd.
(ansichtkaart, collectie J van der Werf)

15) Het betonnen Fort Kessel uit de fortenring rond Antwerpen werd in 1914 door een 42cm. granaat geraakt met dit als resultaat. De forten van ongewapend beton hadden definitief afgedaan.
(foto J. van der Werf)



van 1:2:4½ voor constructies van 2,5 meter dik. Op deze basis zouden de gebouwen in de stelling afgemaakt moeten worden. De getallen 3½ en 4½ geven het grindgehalte aan.

Het is een interessant voorschrift. Het laat niet alleen zien dat er een overstap wordt gemaakt naar grind, het laat ook zien dat men een lager gehalte aan cement, en dus een geringere hardheid, wilde compenseren door de constructie dikker te maken.

Er werd bij deze schietproef nog meer besloten, namelijk om door te gaan met het beproeven van constructies van gewapend beton.³⁴ Men had daar bij deze schietproeven een begin mee gemaakt en de eerste resultaten waren veelbelovend.

Het was de verwachting dat wapening in de toekomst veelvuldig zou worden toegepast. Terecht. De ontwikkeling van wapens en munitie ging immers onverminderd voort. Het zware geschut dat enkele jaren later, tijdens de Eerste Wereldoorlog, werd gebruikt vernietigde de forten van ongewapend beton in België en Frankrijk eenvoudig. De forten van de Stelling van Amsterdam hadden afgedaan. De stelling werd nooit volledig afgemaakt en werd nooit gebruikt. Na de Eerste Wereldoorlog werd de Nederlandse landsverdediging gebaseerd op linies van loopgraven met kleine schuilplaatsen en kazematten van gewapend beton. Tanks kregen de rol van rijdende forten. Het verhaal van ongewapend beton in de vestingbouw was definitief afgelopen.

Verantwoording Noten

- 1 Dit onderzoek resulteerde in het artikel: 'Between practice and rule: codification, testing and use of plain concrete in Dutch military architecture (1870's – 1910's)', geschreven door F. Marulo en J. van der Werf. Het werd gepubliceerd in: *Construction Matters, proceedings of the 8th international congress on construction history*, Holzer S. et al (eds), Zurich, 2024, p. 627-634.
- 2 Grote delen van de constructie van Fort Pampus zijn bijvoorbeeld van beton met hardsteen gemaakt.
- 3 Bij een schietproef wordt een doelwit, vaak een nieuw gebouwde constructie, maar soms ook een bestaand fort, beschoten om de uitwerking van die beschieting op de constructie te bekijken. Het kan dienen als test voor het bouw materiaal, de constructie(methode), het geschut of de munitie.
- 4 Nationaal Archief archiefnummer 2.13.01 inv. nummer 3523-39A

- 5 Nationaal Archief archiefnummer 2.13.01 inv. nummer 3523-39A. Dit archiefstuk bestaat uit het rapport van majoor Ernst en verschillende reacties daarop. Onder meer een uitgebreide reactie van Van Limburg Stirum. Daar komt dit citaat uit.
- 6 Portlandcement werd eerst uit Engeland geïmporteerd, later uit Duitsland.
- 7 De noodzaak om dit soort bomvrije gebouwen neer te zetten kwam voort uit de introductie van geschut met een getrokken loop. Artillerie won door deze innovatie enorm aan kracht en precisie. Vrijstaande gemetselde gebouwen, zoals bijvoorbeeld het torenfort van Honswijk, konden er eenvoudig mee worden vernietigd. In eerste instantie werden alleen nieuwe forten bomvrij aangelegd. Vanaf 1873 werden ook de bestaande forten bomvrij gemaakt door aanaarding van de bestaande gebouwen en de bouw van nieuwe bomvrije gebouwen. In 1885 was dit overigens alweer achterhaald.
- 8 Er werd in 1874 definitief gekozen voor de geconcentreerde landsverdediging, een discussie die al sinds 1840 liep. Dit werd vastgelegd in de Vestingwet. Alleen een klein aantal linies rondom Holland werd behouden. Overige vestingwerken konden worden afgebroken. Het leidde tot een golf van stadsvernieuwing in Nederland. Steden waren eindelijk verlost van de beklemmende vestingwallen en braken die enthousiast af.
- 9 Koninklijk Instituut 1897, p. 200.
- 10 De explosieven die in de granaten zaten zorgden voor de grotere explosieve kracht bij inslag. Er werden in verschillende landen dezelfde soort explosieven uitgevonden en naast elkaar gebruikt. Bijvoorbeeld Mélinite in Frankrijk, Lyddite in Engeland en TNT in Duitsland. Daarnaast zijn er de explosieven die gebruikt werden om de granaat weg te schieten, schietkatoen of Cordite is daar een belangrijk voorbeeld van. Sommige nieuw ontwikkelde explosieven waren te krachtig om voor vuurwapens te gebruiken, bijvoorbeeld Nitroglycerine (zie Hogg 1985, p. 46 en 47). In de voor dit artikel bestudeerde documenten wordt alleen gesproken over schietkatoen en brisante springladingen, dat kunnen alle van de bovenstaande types zijn.
- 11 Er werden in 1887 schietproeven gedaan op cement-beton constructies in Oldebroek. Er is één document van bewaard in het Nationaal Archief (archiefnummer 4.OGT inv. nummer 197), maar dit geeft geen duidelijke informatie over hoe en wat ze toen precies getest hebben.
- 12 Voor Fort Pampus is dat bij inspectie op locatie gebleken. Voor Fort Panterden blijkt dat uit bouwtekeningen van rond 1890 uit het Gelders Archief. Deze tekeningen staan op de beeldbank.
- 13 Dit was zo in de Vestingwet van 1874 vastgelegd. Zie noot 8.
- 14 Het feit dat er in Naarden 12 moderne, betonnen schuilplaatsen werden aangelegd laat zien dat er op kleine schaal toch modernisering en buiten de Stelling van Amsterdam werden doorgevoerd.
- 15 Boer 2004, p. 12 en 13.
- 16 Het bestek voor de doelwitten is te vinden in Nationaal Archief archiefnummer 2.13.45 inv. nummer 961. De doelwitten zijn vastgelegd in een boekwerkje. Dit is te vinden in Nationaal Archief archiefnummer 2.13.210 inv. nummer 153.
- 17 Kant 1988, p. 119 en Nationaal Archief archiefnummer 2.13.210 inv. nummer 153 en 2.13.61 inv. nummer 528. De drie bronnen laten dezelfde conclusies zien. Er is alleen verschil in de dikte van de betonconstructies (conclusie 5). Dit wordt nader gespecificeerd in noot 18.
- 18 De maat van 2,2 m komt uit Kant 1988, p. 119. Volgens dit boek was het een compromis dat uit

een discussie was gekomen. Deze discussie blijkt inderdaad uit de archiefstukken. Hierin wordt enerzijds 2,5 m voorgeschreven (Nationaal Archief archiefnummer 2.13.210 inv. nummer 153 en archiefnummer 2.13.61 inv. nummer 528) terwijl in de marge van laatstgenoemd archiefstuk 1,5 m staat voorgeschreven. Dat zou volgens datzelfde schrijven eventueel naar 2 m kunnen om wat marge te houden voor toekomstige ontwikkelingen. De redenatie bij de dikte van 1,5 m was dat een granaat niet ver zou doordringen in een hard beton of hier zelfs op kon afketsen. Een hele dikke constructie was dan niet nodig. Interessant genoeg blijkt uit bouwtekeningen op de beeldbank van het Noord-Hollands Archief (bijv. van Fort Vijfhuizen of Sint Aagtendijk) dat de constructie op het hoogste punt van de gewelven 1,7 m dik is.

- 19 Nationaal Archief archiefnummer 2.13.210 inv. nummer 153.
- 20 Alle bestekken zijn te vinden in Nationaal Archief archiefnummer 2.13.02. Voor 1895 inv. nummer 162, voor 1902 inv. nummer 185, voor 1905 inv. nummer 196, voor 1906 inv. nummer 200.
- 21 In de bestekken wordt de keuze gegeven tussen porfier, graniet en hardsteen. Dat er in Naarden porfier is gebruikt is in-situ vastgesteld. Porfier is ook in de Stelling van Amsterdam heel veel gebruikt.
- 22 In dit licht moet ook de opmerking over de dikte die in noot 18 staat worden gezien.
- 23 In 1923 volgde nog een druk. Die is in dit artikel buiten beschouwing gelaten.
- 24 Van der Kloes 1893, p. 389-393 voor de eerste vier opmerkingen.
- 25 Hij toont dit aan door een drukproef uit te voeren op een mortel van cement en zand, vervolgens doet hij een drukproef op een kubus van dezelfde mortel waaraan steenstukken zijn toegevoegd. De

druksterkte blijkt verlaagd te zijn. Van der Kloes 1893, p. 391-392.

- 26 Van der Kloes 1908, p. 60.

27 Over de rol van water in de betonrecepten: In het bestek van 1895 staat hiervoor genoemd dat er 0,37 delen water moeten worden toegevoegd aan het beton voor het dak en 0,6 voor de wanden. In latere bestekken wordt geen hoeveelheid water meer genoemd en moet die worden vastgesteld door de directie. Het toepassen van te veel water kan de vastheid van het werk nadelig beïnvloeden (Van Der Kloes 1893, p. 391). Hoewel wat meer water het mengen en storten in eerste instantie vergemakkelijkt, zorgt de verwerking ervan (het opeen stampen van het beton) voor een groot risico op ontmengen en de vorming van grindnesten. Later, met de introductie van de trilnaald, wordt dit anders en kan het beton vloeibaarder zijn.

De recepten uit de periode 1895-1906 resulteren in een vrij droge, plastische massa. Het verwerkt moeizaam.

Tijdens de restauratie in 2022 heeft Monumentenbezit reparaties uitgevoerd op basis van de recepten uit de bestekken. Het beton was een plastische bal, die met de hand in de reparatievlakken kon worden gedrukt en vervolgens worden aange-stampt. Hier was veel kracht voor nodig.

- 28 Nationaal Archief archiefnummer 2.13.61 inv. nummer 528. Het is een opmerking die ook helemaal bij de observaties van Van der Kloes past.
- 29 Zie bijvoorbeeld de tekeningen van Fort Vijfhuizen, Spaarndam en Sint Aagtendijk die op de beeldbank van het Noord-Hollands Archief te vinden zijn. De aangegeven verhoudingen zijn die van cement : zand : steenstukken.
- 30 Men bleef dit ook bij de latere forten doen. Sterker nog, de diversiteit van beton werd alleen maar

groter. Op een tekening van Fort Uithoorn van 1914 zijn bijvoorbeeld zes soorten beton te aangegeven. Zie: <https://www.stelling-amsterdam.nl/stelling/documenten/situatieplan/index.php>

31 Nationaal Archief archiefnummer 2.13.210 inv. nummer 153, op de overzichtsplattegrond in het boekje met tekeningen van de doelwitten.

32 Nationaal Archief archiefnummer 2.13.210 inv. nummer 153. Rapport met adviezen en conclusies.

33 Nationaal Archief archiefnummer 3.09.23 inv. nummer 23. Brief met conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van schietproeven. De conclusies en aanbevelingen worden in dit document niet verder beargumenteerd.

34 De militair ingenieur Pieter Wilhelmus Scharroo (1883-1963), zal in de jaren die volgen uitgroeien tot een van de meest vooraanstaande constructeurs op het gebied van gewapend beton.

Literatuur

Boer R., 2004, 'Het belang van de Schoorlse schietproeven voor 's lands verdediging', in: *Cultuurhistorische Vereniging Scoronlo, April 2004*, local historic magazine, page 11-16.

Hogg, I. V., *The Illustrated History of Ammunition*, London 1985.

Kant, P. et al. *De Stelling van Amsterdam, vestingwerken rond de hoofdstad (1880-1920)*, Beesterwaag 1988.

Kloes, J. A. van der, *Onze bouwmaterialen*, Maassluis 1893 (twee delen).

Kloes, J.A. van der, *Onze bouwmaterialen, deel: Mortels en Beton*, Maassluis 1908 (tweede druk). Koninklijk Instituut van Ingenieurs, *Gedenkboek uitgegeven ter gelegenheid van het vijftigjarig bestaan van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, Den Haag 1897.

Verder lezen:

Heinemann, H. A., *Historic Concrete, From Concrete Repair to Concrete Conservation*, Delft 2013 (diss.).

Scharroo, P.W., *Cement en Beton Oud en Nieuw: Geschiedkundig overzicht van de ontwikkeling van de betontechniek van de oudste tijden tot heden*, Amsterdam 1946.

Over de auteur

Jeroen van der Werf (1973) is bouwkundig ingenieur en bouwhistoricus. Hij is gespecialiseerd in vestingwerken. Sinds 2016 organiseert hij voor Stichting Monumentenbezit het onderhoud en beheer van de vestingwerken van Naarden. Daarnaast doet hij voor de stichting (bouwhistorisch) onderzoek. Hij is actief in diverse buitenlandse organisaties op het gebied van de studie naar vestingbouw. Sinds 2021 is hij de secretaris van de International Fortress Council.