

2013•2014
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Glaconiet in beton

Promotor :
ir. Jan GOFFA

Promotor :
ing. HENRI DE KREM

Jo Vanzeer

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2013•2014

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Glaucóniet in beton

Promotor :
ir. Jan GOFFA

Promotor :
ing. HENRI DE KREM

Jo Vanzeer

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Dankwoord

Met deze thesis wil ik graag bewijzen wat voor een leerrijke en creatieve opleiding ik heb mogen genieten aan de UHasselt. Voor het tot een goed einde brengen van een thesis zijn er tal van voorwaarden die moeten vervuld worden waarvan ik de belangrijkste even wil aankaarten. Een goede inzet van mezelf is uiteraard in eerste instantie vereist maar ook een goede begeleiding van de school en een aantal personen in het bedrijfsleven zijn een must. Ook is 'steun' een belangrijke pilaar die deze thesis tot stand heeft gebracht. De mensen die hiervoor verantwoordelijk zijn en een bedrage geleverd hebben om deze thesis tot een goed einde te brengen wil ik graag bedanken. Een thesis schrijf je immers niet alleen.

Mijn promotoren; Jan Goffa en Henri De Krem, twee rotten in het vak, dat is zeker. Mits hun enorme kennis maar toch beperkte tijd hebben zij vaak een gaatje weten te vinden in hun drukke bestaan, en dit om mij verder te helpen. Ze waren altijd razendsnel in het beantwoorden van mijn vragen; altijd aanwezig op de afgesproken vergaderingen en goed bij de pinken om mijn bevindingen te verbeteren. Waarvoor dank.

Al diegene die soms maar een klein deeltje uitmaken van deze thesis maar toch onmisbaar zijn tot het uiteindelijk resultaat van deze thesis. Bedankt

Mijn familie, mijn vrienden en vooral mijn vriendin; bedankt, jullie hebben mij tijdens deze stressvolle periode enorm gesteund en mij moed ingepreacht in de tijden dat ik het even niet zag zitten.

Abstract

Beton is 's werelds meest gangbare concept in de bouwindustrie. Overal ter wereld kom je beton tegen, denk ook maar aan de talloze presentaties, artikels, boeken en thesissen.

Glaucaniet daarentegen, een mineraal vindbaar in het noordoosten van ons land, heeft de dag van vandaag nog steeds een slechte naam. Weinigen onder ons kennen het überhaupt en dan nog vaak in slechte zin. Ik noem het graag het "two-face" mineraal. Is het nu klei of is het zand? Namelijk iedereen die een sondeerdiagram kan analyseren weet dat klei en zand duidelijk te onderscheiden zijn door de eerder hoge conusweerstand van zand en de hoge kleefwaarde van klei. Maar wanneer men sondeergegevens van glauconiethoudende lagen analyseert, ondervindt men voor beide gegevens een hoge waarde.

Wanneer men glauconietkorrels mechanisch bewerkt zullen ze verbrijzelen en zal de kleefwaarde van het zand stijgen. Dit heeft een negatief gevolg voor alle belastingen van bovenaf, denk maar aan de vastgelopen tunnelboormachines in het Antwerpse. Het indringen van heipalen lukt al evenmin.

Heeft dit mineraal ons dan niets positief te bieden?

In de wegebouw maakt men wel eens beton met het op de site ontgonnen zand. Dit heeft, wat de druksterkte betreft, al tot uitzonderlijk positieve resultaten geleid terwijl er duidelijk glauconietkorrels aanwezig waren in het zand.

In deze thesis wordt een hypothese opgesteld over de werking van glauconiethoudend zand in beton. In de conclusie wordt deze hypothese geanalyseerd aan de hand van de resultaten van de uitgevoerde proeven.

We sluiten af met een nieuwe gedachtegang en hopelijk een positieve toekomst voor het mineraal in kwestie.

Abstract

Concrete is world's most common concept in the construction industry. It is used all over the world, just think about the many presentations, articles, books and thesises.

Glaucinite, a mineral which can be found in the northeast of the country, currently still has a negative reputation. Few among us know glauconite, and then it often has a negative connotation. I like to call it the "two-face" mineral. Is it clay or sand? Anyone who can analyze a probing diagram knows for a fact that clay and sand can be clearly distinguished by the rather high cone resistance of sand and high adherent value of clay. But when analyzing test data of glauconite containing layers, we find a rather high result for both data.

When glauconite grains encounter a mechanical stress, they will shatter and the adhesive value of the sand will rise. This means that when penetrating into the ground for a certain reason, thinking of the tunnel drills in Antwerp, there is a fair chance the penetration cannot be fully completed. Another example from the past; The unsuccessful penetration of concrete piles, which are used for foundations.

Does this mineral have nothing positive to offer us?

While constructing roads, concrete is occasionally made of “at the site” excavated sand. In terms of pressure tests, this has already led to extraordinary positive results, knowing there were glauconite grains present in the sand.

In this thesis a hypothesis is made about how glauconite behaves in concrete. A conclusion is formed from the analyses of this hypothesis, with help of testing results.

We conclude with a new mindset and hopefully a positive future for the mineral itself.

Inhoudsopgave

Dankwoord	I
Abstract	III
Abstract	V
Inhoudsopgave.....	VII
Lijst van afkortingen en symbolen	XI
Lijst van figuren	XIII
Lijst van tabellen.....	XV
1. Inleiding.....	17
1.1 Beton	17
1.1.1 Wat maakt beton zo duur?.....	17
1.2 Cement.....	17
1.2.1 Wat is cement?	17
1.2.2 De soorten cement	17
1.2.3 Wat maakt cement zo duur?	17
1.3 Mogelijkheid tot kostprijsverlaging	18
1.4 Onderzoeksvraag	19
1.5 Methodiek	19
2 De mineralogie.....	21
2.1 Proloog	21
2.2 Zand	21
2.2.1 Kwarts	22
2.2.2 Chemische structuur.....	23
2.3 Klei.....	24
2.3.1 Fylosilicaten	24
2.3.2 oorzaak klei-eigenschappen	27
2.4 Glauconiet	28
2.4.1 Chemische formule en kristalstructuur van glauconiet.....	28
2.4.2 Ontstaan.....	29
2.4.3 Voorkomen.....	29
3 Cement	33
3.1 Werking van cement in beton.....	35
3.1.1 Binding	35

3.1.2	Verharding	35
3.2	Chemische reacties door het toevoegen van water	35
3.2.1	Hydratatie	36
3.2.2	Hydrolyse.....	36
3.2.3	De zouten.....	36
3.3	Reacties tijdens de binding.....	37
3.3.1	Fase 1	37
3.3.2	Fase 2	38
3.3.3	Fase 3	38
3.4	Gehydrateerde componenten.....	38
3.4.1	Tobermoriet.....	38
3.4.2	Portlandiet.....	39
3.4.3	Ettringiet.....	39
3.4.4	Tetracalciumaluminaat.....	39
3.5	Structuur en uitzicht van de cementbrij.....	39
4	Glauconiet als toevoegsel aan beton	41
4.1	Hoogovenslak.....	41
4.1.1	Toevoeging aan cement.....	42
4.1.2	Latent hydraulisch bindmiddel	42
4.2	Vergelijking van hoogovenslak met glauconiet.....	43
4.2.1	Hypothese 1.....	43
4.3	Vliegas.....	43
4.3.1	Puzzolaniciteit.....	43
4.3.2	Ontstaan.....	45
4.3.3	Invloed op de puzzolaniciteit	45
4.3.4	Samenstelling.....	46
4.3.5	Fysische eigenschappen	46
4.4	Vergelijking van vliegas met glauconiet	46
4.4.1	Hypothese twee	47
5	De analyse van de granulaten	49
5.1	Proloog	49
5.2	Verwerking van de onderzoeksvraag	49
5.3	Zeefanalyse	49
5.3.1	Materieel [4]	50

5.3.2	Materiaal.....	51
5.4	Bepaling van het vochtgehalte	53
5.4.1	Te weinig water.....	53
5.4.2	Teveel water	54
5.4.3	De droogstoof methode.....	56
5.5	De werkelijke zeefproef	58
5.5.1	Resultaat	60
5.5.2	Resultaten analyse	60
5.6	Identificatie van de granulaten.....	63
5.6.1	De korrelgroep.....	63
5.6.2	Continu of discontinu.....	63
5.6.3	Fijnheidsmodulus.....	64
5.6.4	De grootste korreldiameter.....	64
5.6.5	Glauconiet in het zand.....	69
6	De Fullerstudie	71
6.1	De hypothesen.....	71
6.2	Aanpassing 1.....	72
6.3	Aanpassing 2.....	74
6.4	Toepassing van de Fullertheorie	74
6.4.1	Voorbeeld oefening: zand 0/4	75
7	Een optimaal betonmengsel.....	79
7.1	De methode van de fijnheidsmodulus	79
7.2	Voorbeeld oefening: zand 0/4 en kalksteen 6,3/14	81
8	Drukproef	85
8.1	Proloog	85
8.2	Beschrijving van de proef.....	86
8.3	Uitvoering van de proef	88
8.3.1	Aannames.....	88
8.3.2	Vorbereidingen	89
8.3.3	De samenstellingen.....	89
8.3.4	De resultaten.....	90
8.4	Statistische verwerking van de proefresultaten	91
8.4.1	De normaalverdeling van Gauss.....	92
8.4.2	De analyse van een Gausscurve	92

8.4.3	De karakteristieke druksterkte f_{ck}	93
8.4.4	Toepassing van de curve van Gauss	94
8.5	Resultaten analyse	95
9	Mortelproef	97
9.1	proloog.....	97
9.2	De proef.....	97
9.2.1	Benodigdheden en werking van de proef.....	97
9.2.2	Aanpassing van de proef.....	99
10	Conclusie en toekomstvisie	101
Appendices		105
11	Bibliografie	107

Lijst van afkortingen en symbolen

H	H ₂ O; Water
C	C _a O; Kalk
S	SiO ₂ ; kiezelzuur
A	Al ₂ O ₃ ; Aluminiumoxide
F	Fe ₂ O ₃ ; ijzeroxide
M	MgO; Magnesiumoxide
Su	CaSO ₄ ; Anhydriet
Su	CaSO ₄ ·2H ₂ O; Gips
C ₃ A	3CaO·Al ₂ O ₃ ; Tricalciumaluminaat
C ₄ AF	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃ ; Tetracalciumaluminoferriet
C ₄ AH ₁₃	4CaO·Al ₂ O ₃ ·13H ₂ O; Gehydrateerd calciumaluminaat
C ₃ AH ₆	3CaO·Al ₂ O ₃ ·6H ₂ O; Gehydrateerd calciumaluminaat
C ₂ AS	Dicalciumaluminosilicaat; gehleniet.
C ₃ ASu ₃ H ₃₁	3CaO·Al ₂ O ₃ ·3CaSO ₄ ·31H ₂ O; Gehydrateerd calcium-sulfoaluminaat
C ₃ S	3CaO·SiO ₂ ; Tricalciumsilicaat
C ₂ S	2CaO·SiO ₂ ; Dicalciumsilicaat
C ₃ S ₂ H ₃	3CaO·SiO ₂ ·3H ₂ O; Tobermoriet
adsorberen	aantrekken, aan de oppervlakte binden
agglomeraat	samenklevend mengsel (van samengevoegde stoffen)
alluviaal	Heeft betrekking op sedimenten die afgezet zijn door een rivier of een beek, dus aarde of bodemmateriaal dat is afgezet door aanslibbing, zoals rivierbedden, delta's en stroomvlaktes
anion	negatief geladen ion
cumulatief	opstapelend, gesommeerd over alle bijdragen tot heden
d.m.v.	door middel van
de facto	in feite
falsifieerbaar	openstaand voor ontkrachting
f _{cm,gl}	het gemiddelde van de drukproefresultaten, uitgevoerd met het glauconiethoudend zand
f _{cm,ws}	het gemiddelde van de drukproefresultaten, uitgevoerd met het Westerschelde zand
kiezelzuur	een zwak zuur dat is afgeleid van siliciumdioxide SiO ₂
tetraëder	een viervlak, een ruimtelijke figuur met vier driehoekige

	vlakken, vier hoekpunten en zes ribben.
i.h.	in het
ion	een ion is een elektrisch geladen atoom, molecule of andere groep gebonden atomen. Een ion kan positief of negatief geladen zijn door respectievelijk een gebrek of een overschot aan een of meer elektronen.
kation	Positief geladen ion
m.b.v.	Met behulp van
methodisch	op een vaste manier waarover je hebt nagedacht
s	standaardafwijking
s _{gl}	standaardafwijking van de proefresultaten, gemaakt met glauconiethoudend zand
s _{ws}	standaardafwijking van de betonproefresultaten, gemaakt met Westerschelde zand
f _{ck,gl}	karacteristieke druksterkte van de betonproefresultaten, gemaakt met glauconiethoudend zand
f _{ck,ws}	karacteristieke druksterkte van de betonproefresultaten, gemaakt met Westerschelde zand
t.o.v.	ten opzichte van
μ	gemiddelde

Lijst van figuren

Figuur 1: microscopische foto glauconiet- en kwartskorrels.....	21
Figuur 2: kwartsdeeltjes en veldspaten	22
Figuur 3: bergkristal.....	22
Figuur 4: melkkwarts	22
Figuur 5: SiO ₄ -tetraëder	23
Figuur 6: schematische weergave van kwarts	23
Figuur 7: drie soorten fylosilicaten.....	24
Figuur 8: kristalstructuur kaoliniet.....	25
Figuur 9: kristalstructuur structuur montmorrilloniet.....	25
Figuur 10: kristalstructuur illiet.....	26
Figuur 11: fysische structuur klei	28
Figuur 12: kristalstructuur glauconiet.....	28
Figuur 13: gelobde vorm glauconiet	29
Figuur 14: oppervlaktedelfstoffenkaart Vlaanderen	30
Figuur 15: kaart glauconietgehalte	31
Figuur 16: gloeiendhete klinker	34
Figuur 17: slijpplaat van klinker.....	37
Figuur 18: hydraten van de cementpasta	39
Figuur 19: tabel hydraulische componenten van cement	40
Figuur 20: uitzicht tobermoriet	40
Figuur 21: tabel met chemische componenten glauconiet	41
Figuur 22: vermalen slak.....	42
Figuur 23: chemische componenten hoogovenslak	43
Figuur 24: microscopische foto vliegas.....	45
Figuur 25: tabel chemische componenten vliegas.....	46
Figuur 26: zeefstoren.....	50
Figuur 27: elektronische weegschaal	50
Figuur 28: droogstoofoven	51
Figuur 29: elektronisch zeefapparaat	51
Figuur 30: monsternamen glauconiethoudend zand.....	52
Figuur 31: mengen van het grondmonster.....	52
Figuur 32: grindnesten	53
Figuur 33: betonrot	54
Figuur 34: grafiek druksterkte i.f.v. W/C-factor	54
Figuur 35: grafiek druksterkte i.f.v. cementdosering.....	56
Figuur 36: verbetering zeefnauwkeurigheid.....	59
Figuur 37: grafiek zeefanalyse glauconiethoudend zand.....	62
Figuur 38: grafische bepaling van D	65
Figuur 39: zeefanalyse voorbeeldzand 0/4.....	67
Figuur 40: glauconiethoudend zand (Paal)	69
Figuur 41: illustratie Fullerhypothesen	72
Figuur 42: Fullerhypothese; verhoging van de vullingsgraad.....	72
Figuur 43: Fullerhypothese; aanpassing 1.....	73

Figuur 44: Fullerhypothese; Aanpassing 2	74
Figuur 45: grafiek Fullerkromme vs zeefkromme	77
Figuur 46: grafiek zeefanalyse kalksteen 6,3/14.....	82
Figuur 47: Frantz Magnetic Separator	85
Figuur 48: drukbank.....	86
Figuur 49: mal betonkubus.....	87
Figuur 50: watertank betonproef	87
Figuur 51: geteste betonkubus	88
Figuur 52: opslagplaats granulaten	89
Figuur 53: drogen van de granulaten.....	89
Figuur 54: mengen van de granulaten	90
Figuur 55: gedrukt betonkubus; glauconiethoudend zand	91
Figuur 56: Gauss-curve	92
Figuur 58: mortelmenger.....	98
Figuur 59: mal mortelbalkjes	98
Figuur 60: schudtafel.....	98
Figuur 61: driepuntsbuigproef mortelbalkje.....	99
Figuur 62: drukproef mortelbalkje.....	99
Figuur 63: standaardmortelproef links aangepaste proef rechts	100

Lijst van tabellen

Tabel 1: zeefanalyse glauconiethoudend zand	60
Tabel 2: verschillende korrelgroepen	63
Tabel 3: zeefanalyse voorbeeldzand 0/4.....	66
Tabel 4: voorbeeldzand 0/4 met Fuller zeefresten.	76
Tabel 5: zeefanalyse voorbeeld kalksteen 6,3/14.....	81
Tabel 6: kalksteen 6,3/14 met Fuller zeefresten.	83
Tabel 7: resultaten drukproef Westerschelde zand	90
Tabel 8: resultaten betondrukproef glauconiethoudend zand	91
Tabel 9: waarschijnlijkheid van onderschreiden	94
Tabel 10: zeefanalyse CEN standard sand	100

1. Inleiding

1.1 Beton

Bouwen is nog steeds iets wat de meerderheid van de bevolking minsten eenmaal in haar leven doet. Daarmee is de bouwwereld dan ook een groot stuk van de draaischijf van onze economie. Wanneer we aan bouwen denken komen er meestal dure materialen bij kijken. Door het dreigend plaatsgebrek in ons klein maar toch vrij dichtbevolkt land is de hedendaagse betontechnologie en meer specifiek de prefab wereld erop vooruit gegaan om zo hoog mogelijk te kunnen bouwen en dan nog binnen een acceptabele tijd. Beton is daarmee één van de grootste kosten in een project.

1.1.1 Wat maakt beton zo duur?

Beton is een kunstmatig vervaardigd agglomeraat dat bestaat uit meerdere granulaten, een bindmiddel en water. Het bindmiddel is tot de dag van vandaag nog altijd cement. Dit cement is het onderdeel wat beton zo hard maar ook zo duur maakt.

1.2 Cement

1.2.1 Wat is cement?

Cement bestaat uit een mengsel van fijne poeders. Wanneer deze fijne poeders in contact komen met water krijg je een specie die, na een bepaalde droogtijd, hard wordt. Omdat het cement water nodig heeft behoort dit bindmiddel tot de hydraulische bindmiddelen.

1.2.2 De soorten cement

Wanneer men de dag van vandaag over cement praat is dit niet over zomaar één en dezelfde soort. Er zijn namelijk verschillende cementsoorten met verschillende doeleinden. Om nog maar te zwijgen over de diverse hulpstoffen en toevoegsels.

1.2.3 Wat maakt cement zo duur?

Cement op zich is niet iets wat natuurlijk voorkomt, het is samengesteld uit een aantal mineralen die een bepaald proces ondergaan in een fabriek. Door het vervaardigen van cement in een fabriek kunnen de kosten vrij hoog oplopen door onder andere dure machines en onderdelen, hoge loonkosten, dure transportkosten, hoge brandstofkosten, enz...

1.3 Mogelijkheid tot kostprijsverlaging

Cement zal men nooit kunnen wegdenken uit de betonindustrie. Wat men wel kan blijven doen is het verbeteren en of aanpassen van het cement of het mengsel waarin cement gebruikt wordt. Dat heeft men door de jaren heen al altijd geprobeerd en men is er vaak ook in geslaagd, denkende aan de tal van toevoegsels en hulpstoffen voor het uiteindelijke mengsel, het aanpassen van het productieproces, aangepaste transportmiddelen.

Het uitvinden van een nieuw soort toevoegsel of hulpmiddel gebeurt bijna nooit spontaan, men heeft een probleem en zoekt een oplossing. In een aantal zuiderse landen, waar men tracht beton zo hoog mogelijk te verplaatsen door het gebruik van pompen, slaagt men er tot op de dag van vandaag in om een mengsel tot over afstand van 500 meter te verpompen. Dit kon onmogelijk zonder een stof toe te voegen tegen ontmenging door de hoge druk in de buizen. Kalksteenpoeder wordt hier gebruikt als smeermiddel om het probleem op te lossen. Zo zie je maar dat er nog steeds nieuwe middelen worden uitgevonden of gekende middelen worden gebruikt en aangepast om bepaalde problemen op te lossen.

In deze masterproef trachten we een bepaald mineraal, glauconiet genaamd, dat op natuurlijke wijze voorkomt in delen van onze Vlaamse bodem, te onderzoeken in een betonmengsel.

De aanleiding tot dit onderzoek komt voort uit een onverwacht positief resultaat van betondrukproeven gemaakt van zand uit een uitgraving van een project waar er geen hogesterktebeton met strikte criteria nodig was. Vandaar dat men lokaal uitgegraven zand gebruikte. Na het onverwacht resultaat geanalyseerd te hebben werd glauconiet in het zand aangeduid als de mogelijk oorzaak van de positieve wending.

Verder in deze paper zal blijken dat glauconiet een aantal moleculestructuren bevat die zich ook voordoen in een veelgebruikt toevoegsel aan een betonmengsel.

Dit toevoegsel speelt een aanzienlijke rol in kostprijs zeker als de hoeveelheid beton voor een bepaald project hoog is.

1.4 Onderzoeksvraag

De vragen die wij ons kunnen stellen zijn de volgende:

- Heeft glauconiet daadwerkelijk een positief effect op de betondruksterkte?
- Zoja, zijn er grenswaarden voor de hoeveelheid glauconiet in beton?
- Glauconiet komt voor in zand; is dat zand altijd rechtstreeks geschikt voor het maken van een betonmengsel?
- Indien men het zand dient te zuiveren, wat dan met de kostprijs?
- Is het mogelijk om glauconiet uit het zand te halen, om dit zo in combinatie met cement te testen?
- Indien het glauconiet in zijn zuivere vorm kan toegediend worden en de resultaten positief uitdraaien is dit dan verantwoord voor de kostprijs van beton?
- Welke proeven kunnen we uitvoeren?

1.5 Methodiek

Men kan simpelweg, naar aanleiding van een positief resultaat, lukraak een aantal proeven uitvoeren die stuiten op een resultaat, dat dan toevallig positief maar ook toevallig negatief kan zijn. Het woord ‘toeval’ wordt amper aanvaard in het “wetenschappelijk woordenboek”. Er blijft op die manier steeds één vraag onbeantwoord, ‘waarom is het resultaat positief of negatief’. Dat kan enkel verklaard worden door voorafgaand een stel hypotheses op te stellen, deze nader te bestuderen en indien nodig te verwerpen. In dit wetenschappelijk kader bekomt men een hypothese door een studie te verrichten waar men de nodige vakliteratuur voor dient te lezen en aan de hand daarvan diverse mogelijke antwoorden voorstelt die op methodische wijzen worden geanalyseerd. Een wetenschappelijk hypothese moet falsifieerbaar zijn. Dit houdt in dat men een tegentheorie, of/en een tegenexperiment moet kunnen opstellen om de hypothese onderuit te halen. Deze theorieën en experimenten zijn jammer genoeg makkelijk te vinden en zijn vaak met veel meer.

In deze masterproef worden twee hypotheses opgesteld waarvan één wordt verworpen en het ander, na enkele proeven, onbeantwoord blijft. De hypotheses zijn tot stand gekomen door het idee “een nieuw toevoegsel”. Beton heeft er al vele en vaak zijn dit bestaande producten of stoffen die een nevenproduct zijn van een bepaald industrieel proces waar men, door louter toeval, op een positief resultaat stuit.

2 De mineralogie

2.1 Proloog

Glaucaniet is een mineraal dat behoort tot de groep van de mica's en heeft zijn naam van het Griekse woord, 'glaukos'. Glaukos betekent blauw, blinkend of groenig blinkend.

De mica's of glimmers, is een subgroep van de fylosilicaten. Vele kleisoorten bestaan uit fylosilicaten. Opmerkelijk genoeg komt glaucaniet vaak voor in zand.

Doordat we toch spreken van zowel klei, waar glaucaniet tot behoort, en zand, waar glaucaniet in voorkomt, is het geschikt deze twee zeer verschillende mineralen te bespreken.

Hieronder ziet u een microscopische foto van glaucanietkorrels(groen) samen met kwartskorrels(wit) van een alluviale afzetting in Frankrijk. De reële breedte van deze foto is 7mm. [21]



Figuur 1: microscopische foto glaucaniet- en kwartskorrels

2.2 Zand

Zand bestaat uit kleine korrels, deze kleine korrels waren ooit groter, zelfs een deel van een vast gesteente. Deze vaste gesteentes krijgen door de tand des tijds heel wat te verduren zoals temperatuurverschillen, wind, regen, plantengroei, enz... Dit zorgt ervoor dat de vaste gesteentes stukken rots verliezen. Deze rotsblokken komen terecht in rivieren en/of zeeën. Door de reeds aanwezige stenen en de voortbeweging van het water ontstaat er een soort slijpen van de gesteentes, waardoor de rotsblokken evolueren tot

keien, na verdere slijtage grind en zo verder tot zand. In de volgende afbeelding zie je de glasheldere deeltjes, dit zijn de kwartsdeeltjes, de andere deeltjes zijn veldspaten. [3], [23]



Figuur 2: kwartsdeeltjes en veldspaten

2.2.1 Kwarts

Het zand zoals wij dat kennen aan onze stranden bestaat uit zandkorrels waarvan ongeveer 85% kwarts. Dit komt doordat kwarts één van de enige mineralen is met voldoende hardheid om het slijtproces te doorstaan en alsnog macroscopische diameter te behouden. Kwarts kan op een aantal manieren voorkomen en dus verschillen in kleur en vorm maar bezit altijd dezelfde structuur. In de volgende afbeeldingen zie je telkens kwarts maar met een andere kleur en vorm. [1]



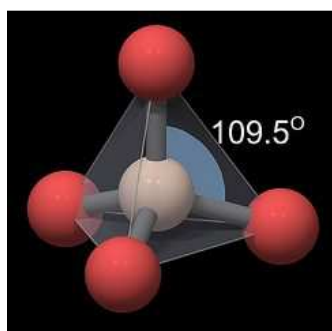
Figuur 3: bergkristal



Figuur 4: melkkwarts

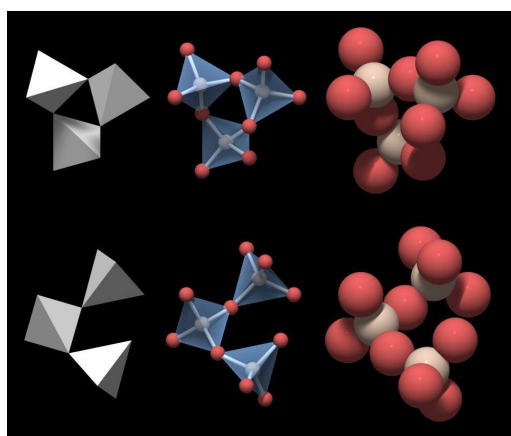
2.2.2 Chemische structuur

Het mineraal kwarts is samengesteld uit de verbinding van silicium en zuurstof, het heeft dus de chemische verhouding: SiO_2 . Macroscopisch gezien kan men de grotere kwartskristallen herkennen aan de zeshoekige vorm. Microscopisch gezien is een kwartskristal structureel opgebouwd uit een driedimensionaal netwerk van SiO_4 -tetraëders. Simplistisch vertaald kan je jezelf dit het best voorstellen door een siliciumatoom dat omringd is door vier zuurstof atomen die op hun beurt zijn opgedeeld in twee siliciumatomen.



Figuur 5: SiO_4 -tetraëder

Het heeft door deze opbouw zijn zeer hoge hardheid, namelijk 7 op de schaal van Mohs. Daardoor kan het glas en staal bekrassen. In de vorige afbeelding heeft het siliciumatoom een witte kleur en de vier zuurstofatomen een rode kleur. In bijna alle natuurlijke vormen waarin silicium voorkomt kan je deze structuur van tetraëders terugvinden.



Figuur 6: schematische weergave van kwarts

In een echt kristal zal er aan de zuurstofatomen, die zich aan het buitenoppervlak van het kristal bevinden, ook een waterstof atoom vastzitten. Deze negeren we omdat we enkel geïnteresseerd zijn in de structuur van de tetraëders. [3], [23]

2.3 Klei

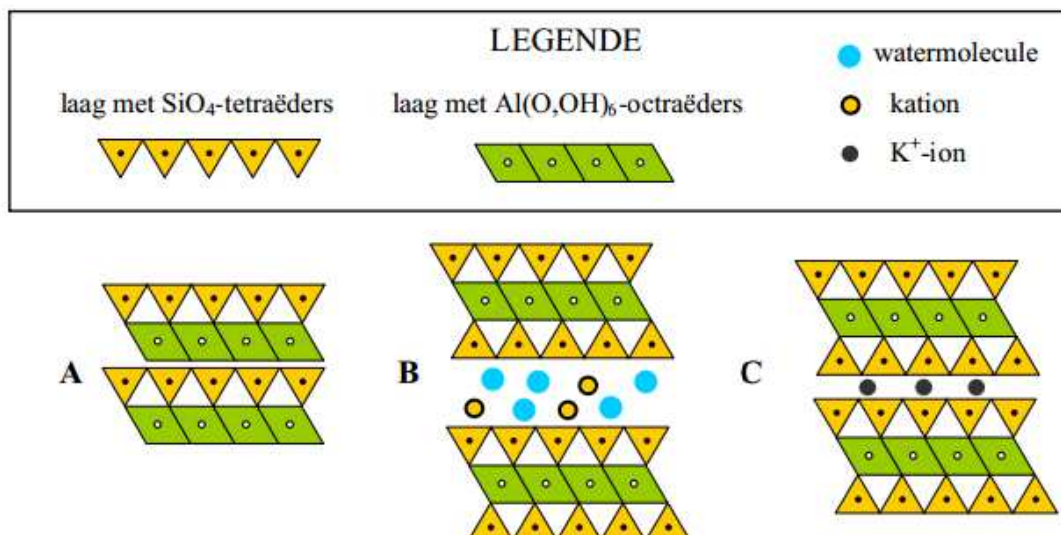
Zand, dat voornamelijk uit kwarts bestaat, bezit een 3D-structuur terwijl we met klei spreken van een 2D-structuur. Klei bestaat uit fylosilicaten, vandaar de 2D-gelaagde structuur. Het is vanzelfsprekend dat een kleigrond andere eigenschappen bezit dan een zandgrond. Een grond met een kleigehalte rond de 40% geven de grond eigenschappen als cohesie, plasticiteit en een slechte doorlatendheid.

2.3.1 Fylosilicaten

Fylosilicaten bestaan uit lagen van SiO_4 -tetraëders, (zoals in de paragraaf hierboven vermeld vinden we deze structuur dus ook terug in klei), en $\text{Al}(\text{O},\text{OH})_6$ -octaëders. De ordegrrootte van deze mineralen is micrometer. De typische eigenschappen zijn een gevolg van de gelaagde structuur van de mineralen en de wijze waarop ze met elkaar verbonden zijn. [23], [25]

Er zijn drie soorten fylosilicaten te onderscheiden waarvan één zeer sterk op glauconiet lijkt en deze behoort ook tot dezelfde subgroep, namelijk illiet.

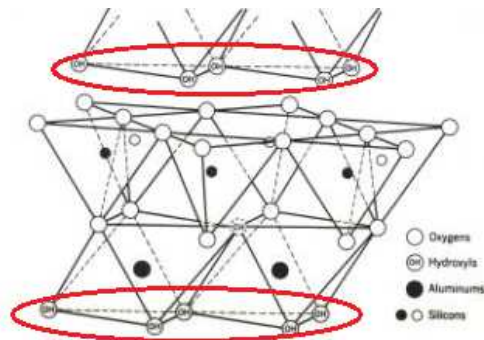
Van links naar rechts: kaolinite, montmorilloniet en illiet.



Figuur 7: drie soorten fylosilicaten

2.3.1.1 Kaoliniet

Kaoliniet bestaat uit een laag SiO_4 -tetraëders gebonden aan een laag $\text{Al}(\text{O},\text{OH})_6$ -octaëders. De hydroxyl-ionen vormen de oppervlaktes van de octaëderlagen, en de zuurstofionen verbinden de octaëderlagen met de tetraëderlagen. De mineralen zijn dus onderling sterk verbonden door waterstofbruggen dit is een intermoleculaire aantrekkingskracht tussen een zuurstofatoom en een hydroxylgroep.



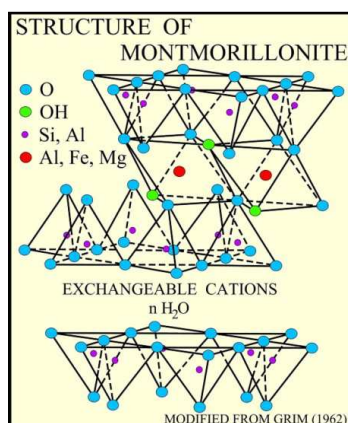
Figuur 8: kristalstructuur kaoliniet

Hierdoor ontstaat een zeer vaste binding en dit geeft kaoliniet de volgende eigenschappen:

- weinig plastisch
- weinig zwellen
- weinig krimpen

2.3.1.2 Montmorilloniet

Hier zijn de twee lagen SiO_4 -tetraëders chemisch verbonden met één laag $\text{Al}(\text{O},\text{OH})_6$ -octaëders. Dit doen ze door de zuurstofatomen te delen, dit is een covalente binding. Waterstofbruggen zijn hier dus niet meer mogelijk!



Figuur 9: kristalstructuur structuur montmorrilloniet

Montmorilloniet is van structuur veel zwakker, de verbinding tussen de deeltjes onderling gebeurt namelijk door gemeenschappelijk geadsorbeerde kationen en watermoleculen. [24]

De eigenschappen:

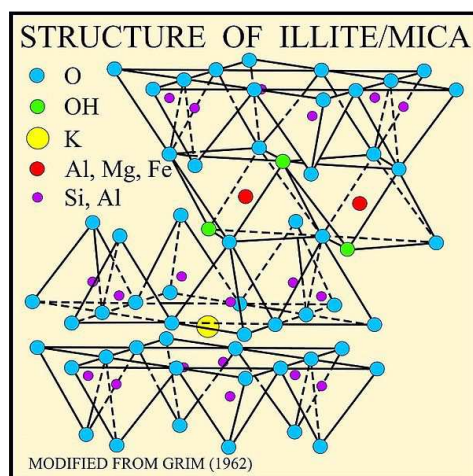
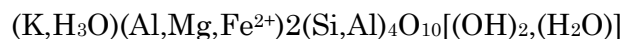
- zeer plastisch
- grote zwelcapaciteit
- grote krimpcapaciteit

2.3.1.3 Illiet

Bij illiet is de verbinding veel sterker als bij montmorilloniet, dit is door de koppeling van net één specifiek kation, namelijk kalium. Deze zorgt voor de sterke binding tussen de mineralen onderling, zij past er namelijk bijna perfect tussen.

Wanneer je illiet door de vele zoekmachines haalt zal je hem niet dadelijk vinden als lid van de mica-groep, glauconiet daarentegen wel. Maar volgens Engelstalige literatuur behoort een mineraal tot de groep van mica's wanneer de koppeling van mineralen onderling plaatsvindt d.m.v. het kation 'kalium'. Hierbij zouden we toch kunnen besluiten dat Illiet in sommige opzichten dezelfde eigenschappen bezit als glauconiet. Grondmechanisch gezien kan je dit zeker aannemen.

2.3.1.3.1 Chemische formule en kristalstructuur van illiet



Figuur 10: kristalstructuur illiet

Hier zie je duidelijk de structuur van een illietmineraal. Het eerste deeltje is opnieuw verbonden met een tweede deeltje d.m.v. het kalium-ion. [22]

In de afbeelding zie je onderaan slechts het begin van een nieuw deeltje:

Van boven naar beneden:

- [tetraëder, octaëder, tetraëder] → één deeltje illiet
- kalium-ion in het geel → zorgt voor de binding
- tetraëder → begin van het tweede deeltje

2.3.2 oorzaak klei-eigenschappen

De reden waarom klei zijn specifieke eigenschappen bezit vinden we terug in de kristalstructuur, hierin zitten namelijk een aantal onvolmaaktheden. Kleimineralen absorberen namelijk watermoleculen. Bij de vorming van de mineralen kan het gebeuren dat bepaalde ionen met elkaar van plaats wisselen. Bijvoorbeeld:

Al^{3+} -ion neemt de plaats in van een Si^{4+} -ion

of,

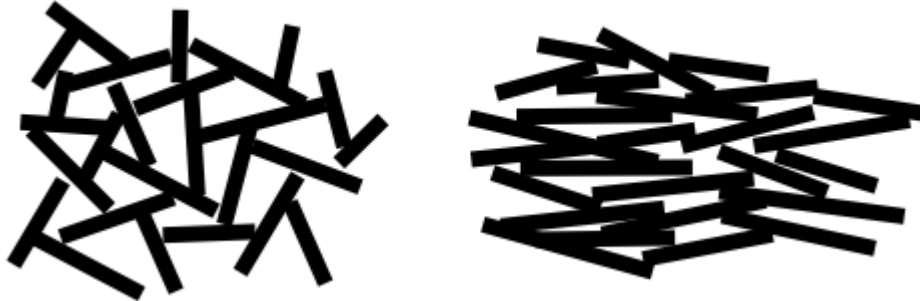
Mg^{2+} - of Ca^{2+} -ion de plaats van een Al^{3+} -ion

Je kan hieruit besluiten dat het aantal positieve ladingen dalen en in totaliteit het mineraal negatief geladen wordt. Chemisch gezien zal er altijd een kracht aanwezig zijn die het evenwicht probeert te behouden. In dit geval wordt de negatieve lading gecompenseerd door kationen zoals hierboven bij het voorbeeld van montmorilloniet en illiet. Deze worden geadsorbeerd aan het oppervlakte van de kleimineralen, maar maken de facto geen deel uit van de originele kristalstructuur van het kleimineraal en zijn dus uitwisselbaar. Watermoleculen bezitten een tweepolig karakter en worden dus ook aangetrokken, dit is duidelijk het geval bij montmorilloniet.

Het kan ook gebeuren dat de kleimineralen een positieve lading krijgen, dit doordat er hydroxylgroepen ontbreken aan de randen.

Hierdoor kunnen er dan weer anionen kunnen geadsorbeerd worden ofwel andere negatief geladen kleimineralen.

Dit heeft als gevolg dat men een onderscheidt kan maken in twee soorten structuur namelijk vlokkig of verspreid. Zoals voorheen al gezegd bezit klei een 2D-gelaagde structuur, dit kan je zien in de volgende afbeeldingen; links vlokkig rechts, verspreid.



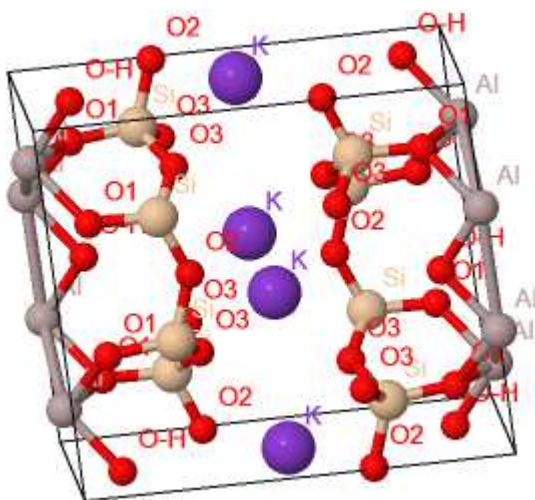
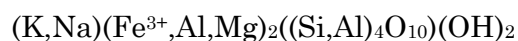
Figuur 11: fysische structuur klei

Men kan dus concluderen dat de eigenschappen van de kleigrond kunnen wijzigen door de verandering van de waterstand in de grond of door de aanpassing van de kristalstructuur en dus door de in de omgeving aanwezig zijnde mineralen met hun polair gedrag. [23]

2.4 Glaucaniet

Zoals al eerder aangehaald kan je glauconiet het best vergelijken met illiet. De chemische structuur als ook de formule is vergelijkbaar. Ze behoren namelijk tot dezelfde groep.

2.4.1 Chemische formule en kristalstructuur van glauconiet



Figuur 12: kristalstructuur glauconiet

Op de vorige bladzijde zie je een voorbeeld van de kristalstructuur van glauconiet. Je ziet hier hoe twee glauconietdeeltjes met elkaar verbonden zijn d.m.v. het kaliumion i.h. midden. De rode en witte bollen, links en rechts van de paarse bollen, zijn de tetraëders. De grijze bollen aan het uiteinde zijn stukken van de octaëders van de rest twee glauconietdeeltjes.

2.4.2 Ontstaan

Tijdens het tertiaire tijdperk onderging onze streek ten noorden van Vlaanderen diverse transgressies en regressies van de Noordzee. Vooral de regressies waren belangrijk voor de vorming van het mineraal glauconiet. Bij het terugtrekken van de kustlijn bleef er telkens een bepaald sediment achter. In dit sediment van kleimineralen, mica's of veldspaten zaten zeer kleine schaaldiertjes. In de holten van deze schaaldiertjes rotte het levend weefsel weg wat zorgde voor microlocaties met een zuurstofarm en zuur milieu. Glauconiet slaat neer als een soort gelklontje van aluminosilicaten in deze holtes, wanneer de gel verhardt, neemt het dusdanig dan ook dezelfde vorm aan als de binnenkant van de fosielen. Daardoor heeft de glauconietkorrel zijn gelobde vorm zoals duidelijk zichtbaar op de foto hieronder. [21]



Figuur 13: gelobde vorm glauconiet

2.4.3 Voorkomen

Glauconiet komt voor op verschillende plaatsen in ons Vlaams gewest, vooral in de provincies Antwerpen en Limburg. Onze Vlaamse bodem is tot stand gekomen door tertiaire en quataire sedimenten.

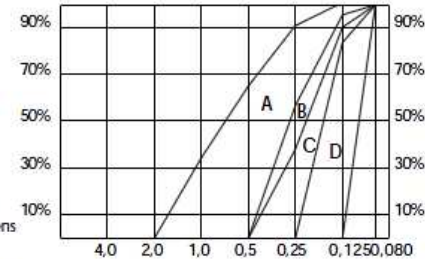
Het glauconiet zou gevormd zijn in het tertiaire en dit geologisch tijdperk begon 65,5 miljoen jaar geleden en eindigde 2,588 miljoen jaar geleden. [2], [10]

OPPERVLAKTEDELFSTOFFEN IN VLAANDEREN

GESTEENTETYPE



ZANDSOORTEN : GRANULOMETRISCHE GRENZEN volgens typebestek 200



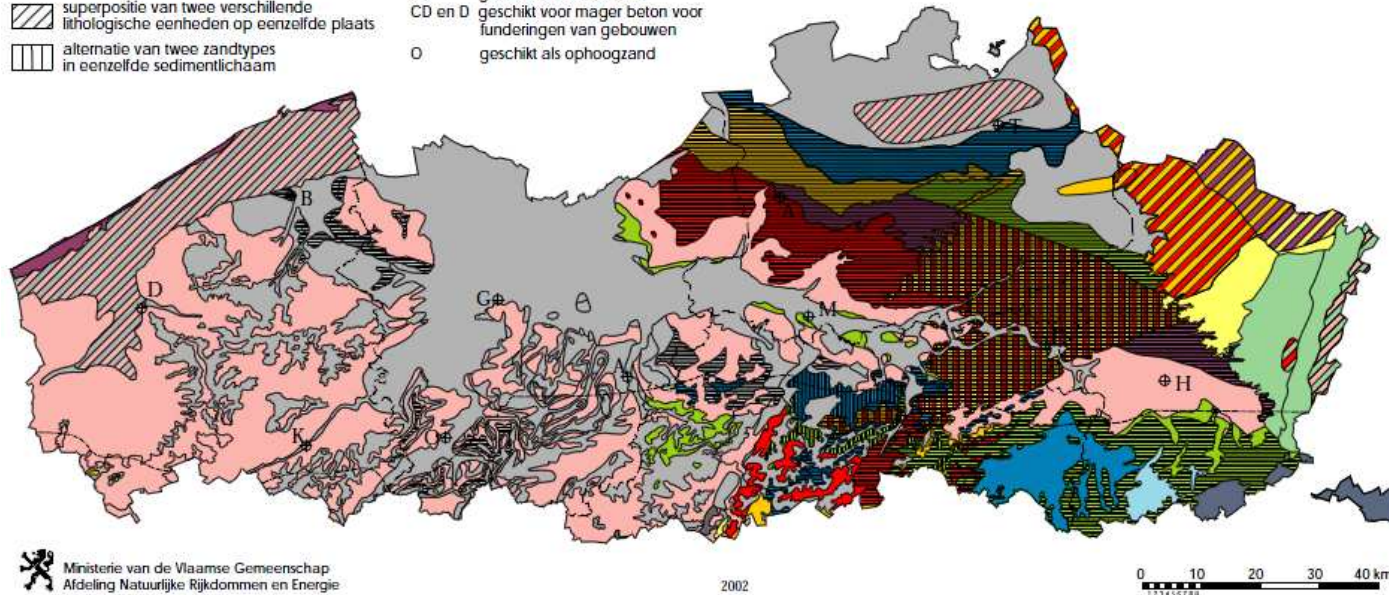
De kaart stelt de minerale grondstoffen voor, hoofdzakelijk losse gesteenten, die in Vlaanderen aan of dicht bij de oppervlakte voorkomen. De kaart houdt echter geen rekening met diktes van de gesteentelagen zodat ze geen inzicht geeft in de plaatselijke economische waarde ervan. Daar waar de Quartaire afzettingen minder dan 10 meter dik zijn werden ze op de kaart niet in rekening gebracht of afgebeeld.

In gebieden waar meer dan één delfstof een effectieve rol spelen, is dit op de kaart met een arc ring aangegeven.

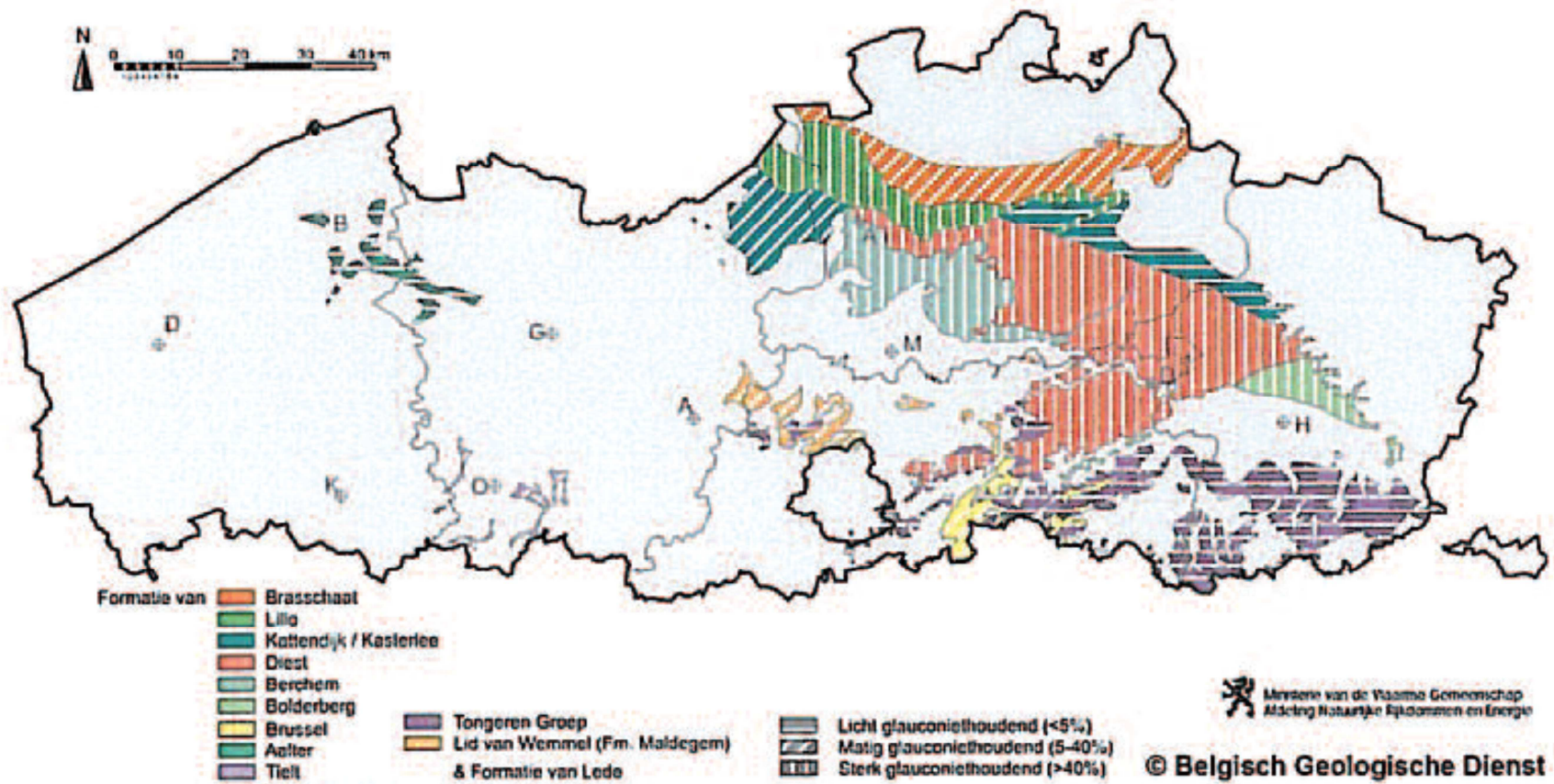
Het typebestek 200 van de administratie Wegen en Verkeer van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap vermeldt de diverse toepassingsmogelijkheden van zand en de granulometrische eigenschappen waaraan dit moet voldoen om voor een bepaalde toepassing geschikt te zijn. Uit de verschillende vereiste granulometrische bandbreedtes kunnen vier velden geabstraheerd worden : A, B, C en D. Zanden waarvan de granulometrische kenmerken binnen één of meerdere van deze velden vallen worden als dusdanig benoemd en afgebeeld.

Zanden die volgens deze normen te fijn zijn worden als ophoogzand geklasseerd. Glauconiethoudende zanden kunnen hooguit als ophoogzanden aangewend worden. Indien de glauconietgehaltes vrij hoog zijn kunnen ze zelfs niet als ophoogzand geschikt bevonden worden. Grindafzettingen bevatten eveneens grof zand dat als beton- en metselzand kan aangewend worden.

Dit wordt echter niet expliciet op de kaart aangeduid.



Figuur 14: oppervlakedelfstoffenkaart Vlaanderen



Figuur 15: kaart glauconietgehalte

3 Cement

Zoals eerder verteld zijn er enkele cementsoorten; portlandcement, samengestelde portlandcement, composietcement, hoogovencement, enz...

Maar al deze cementsoorten vloeien volledig of deels voort uit portlandklinker. De naam is afkomstig van de Engelse steenbakker die in 1824 uit een mengsel van krijt en klei 'cement' maakte en vond dat het leek op een portlandsteen uit Dorsetshire. Hierbij werd de naam van de meest voorkomende cementsoort gedoopt.

De klinker bestaat grotendeels uit vier minerale oxides:

- kalk: CaO
- silica: SiO_2
- aluminiumoxide: Al_2O_3
- ijzeroxide: Fe_2O_3

De klinker ontstaat uit vijf processen:

- ontginnen van de grondstoffen
- nat of droog procédé
- branden
- koelen
- vermalen

Het ontginnen van de grondstoffen gebeurt meestal naast of in buurt van de fabriek, de grondstoffen bestaan voornamelijk uit krijtsteen, mergel, klei of kalksteen.

De eerste drie ondergaan nadien het nat procédé omdat deze van nature waterhoudend zijn. Hier creëert men dus een brij die nadien vermalen wordt met een kogelmolen. Kalksteen ondergaat het droog procédé omdat dit in zijn natuurlijke staat waterarm is. Nadien zal men deze steen ook vermalen, dit om de homogeniteit in de rest van het proces te verzekeren.

Het brandproces, dit is het belangrijkste deel van de fabricage met als doel het verklinkeren of sinteren van de aanwezige hoofdbestanddelen. Het gemalen poeder wordt via een transportband naar de cementoven geleid.

Deze oven is een stalen trommel onder een hellende as. Aan het laagste punt wordt een heet gasmengsel de trommel ingeblazen. Doordat de trommel draait, glijden de grondstoffen geleidelijk aan naar het warmste punt onderaan in de oven.

Het brandingproces bestaat chemisch gezien uit drie onderdelen:

- dehydrateren
- decarbonateren en calcineren
- sinteren

In het eerste deel wordt de grondstof gedroogd bij een temperatuur tussen de 100°C en 500°C

Het tweede deel doet zich voor in het midden van de oven met temperaturen tussen de 800°C en 1100°C. Hier start het decarbonateren, het vrij maken van CO_2 tot er enkel $\text{CaO}(\text{C})$ overblijft. Gelijktijdig begint ook het calcineren. Dit is het verbinden van kalk met $\text{SiO}_2(\text{S})$, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{A})$ en $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{F})$. Dit proces duurt tot de stoffen een temperatuur van 1500°C hebben bereikt.

Tijdens het laatste deel van het brandproces komen de stoffen terecht in de sinterzone en wordt de 'klinker' gevormd. Dit gebeurt met een temperatuur van 1450°C. Op dit punt beginnen de korreltjes aan elkaar te klitten tot ronde knikkers met een diameter gaande van 0,5 tot 3mm.



Figuur 16: gloeiendhete klinker

De klinker wordt gevormd door het sinteren van een mengsel van oxiden(C,S,A en F)

Het sinterproces brengt tevens een aantal samengestelde zouten voort die de hoofdbestanddelen van het portlandcement vormen en van groot belang zijn voor de uiteindelijke hydratatiereactie van het cement met water. Deze reactie wordt verder in deze paper beschreven.

Nadien wordt de klinker afgekoeld tot een temperatuur van 100°C in een koelmantel of op een rooster waar koude lucht doorheen wordt geblazen.

Het laatste proces is het malen van deze klinker tot portlandcement. Aan dit poeder wordt dan een klein gedeelte calciumsulfaat toegevoegd als bindingsregulator. [6]

3.1 Werking van cement in beton

Wanneer cement wordt toegevoegd aan het mengsel van granulaten en water zal het cement hydrateren. Dit is een exotherme reactie van het cement dat in contact komt met water. Er zijn binnen dit proces twee stadia die doorlopen worden. Namelijk de binding en de verharding.

3.1.1 Binding

Hier wordt een kristalachtige neerslag gevormd waardoor de specie zijn plasticiteit verliest. Dit gebeurt al na enkele minuten. De plasticiteit beïnvloedt de verwerkbaarheid. Om de verwerkbaarheid te behouden wordt deze bindingsreactie onder controle gehouden door calciumsulfaat(CaSO_4) toe te voegen. Calciumsulfaat is een soort gips die de binding vertraagt waardoor de verwerkbaarheid langer behouden blijft gedurende het transport en storten van het mengsel.

3.1.2 Verharding

Dit proces volgt meteen na de binding en vooral hier worden de uiteindelijke eigenschappen van het mengsel bepaald. Wanneer men over eigenschappen spreekt, bedoelt men meestal de druk- en treksterktes. Beton bezit een relatief hoge druksterkte ten opzichte van een lage treksterkte. Om deze lage treksterkte te verhogen wordt beton uiteindelijk gewapend met wapeningsstaal. In deze thesis gaat het over de druksterkte, vandaar dat we niet verder ingaan op 'het wapenen van beton'. In het verhardingsproces wordt ook het uiteindelijke gesteente, namelijk 'cementsteen' gevormd.[6]

3.2 Chemische reacties door het toevoegen van water

Wanneer cement in contact komt met water start de binding van cement. De twee belangrijkste reacties zijn de hydrolyse en de hydratatie van samengestelde zouten.

3.2.1 Hydratatie

Hydratatie is niet meer of niet minder dan het toevoegen van water aan een bepaalde stof die deze watermoleculen zal opnemen. Hier wordt dus een verbinding gecreëerd. In het geval van cement is dit een vaste stof, namelijk een zout waarop een watermolecule zich vastbindt.

3.2.2 Hydrolyse

Hydrolyse verschilt van hydratatie doordat deze in een bepaald middel een verbinding oplost in plaats van creëert. In het geval van cement ontbindt het een zout. De uitkomst van een hydrolyse is altijd een zuur en een base of een metaalarmer zout en een base.

3.2.3 De zouten

Wanneer de aanwezige zouten de watermoleculen opnemen in hun kristalstructuur zal er zich een vaste verbinding vormen met gekristalliseerde watermoleculen, d.i. kristalwater. Deze nieuwe verbinding noemt men een hydraat en is een sterke verbinding.

Om deze reacties tot stand te brengen, hebben we behoefte aan samengestelde zouten, deze komen voort uit het sinterproces en zijn de volgende:

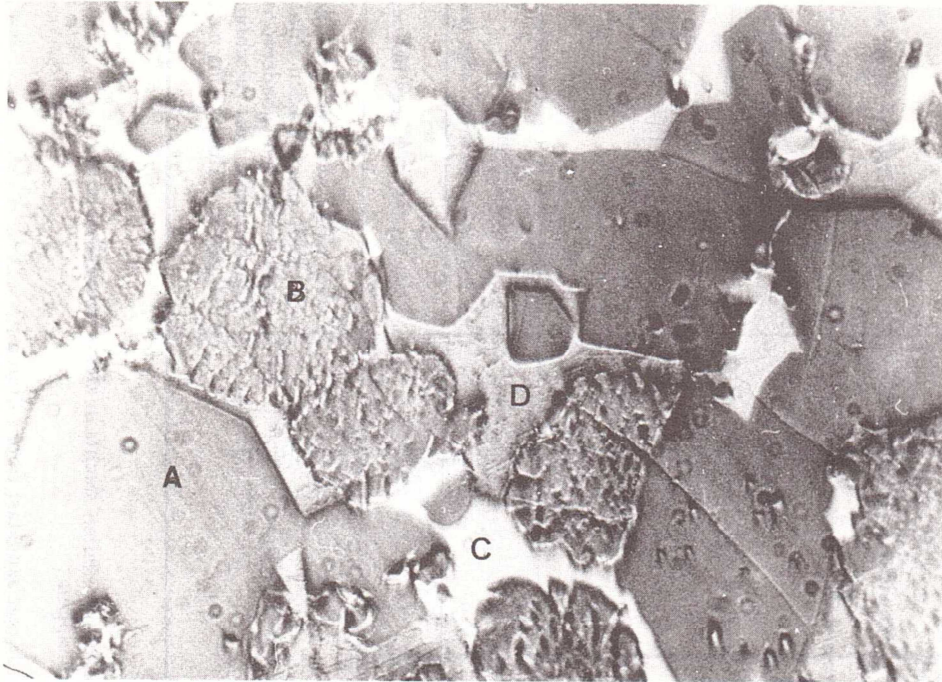
3.2.3.1 *Kalksilicaten*

- C_3S : Aliet
- C_2S : Beliet

3.2.3.2 *Kalkaluminiaten*

- C_3A : Celiet
- C_4AF : /

Deze zouten bevinden zich allemaal in de klinker. Hieronder ziet u een uitvergroot slijpplaatje van klinker. [6],[7]

A = C_3S B = C_2S C = C_3A D = C_4AF

Figuur 17: slijpplaat van klinker

3.3 Reacties tijdens de binding

Hoe fijner het cement, hoe groter het contactoppervlak, hoe sneller de hydratatie plaatsvindt. De chemische reacties vinden dus voornamelijk plaats tussen de contactoppervlakten van de cementkorrels en dit zijn er een paar. We concentreren ons op de voornaamste reacties. We delen de reacties op in fases om een overzicht te krijgen van de verschillende reacties. Men dient wel te onthouden dat deze fases gelijktijdig kunnen verlopen.

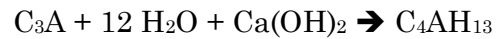
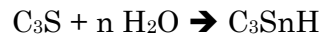
3.3.1 Fase 1

In eerste instantie reageert de klinker (CaO), aanwezig in aliet (C_3S), met het water (H_2O). Dit geeft ons gebluste of vette kalk ($Ca(OH)_2$). Dit is een hydrolysereactie.



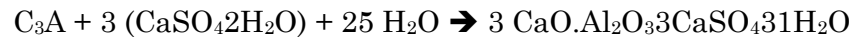
3.3.2 Fase 2

Na fase 1 volgen twee belangrijke hydratatiereacties.



De vette kalk van fase 1 reageert onmiddellijk met het kalkaluminaat, Celiet(C_3A) van zodra dit in contact komt met water.

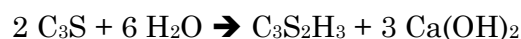
Dit gebeurt zeer snel, en dient afgeremd te worden. Dit kan door de toevoeging van gips(calciumsulfaat; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Deze reageert met calciumaluminaat(C_3A) en geeft ons ettringiet.



Wanneer men dit niet doet zou de binding zo snel optreden dat de beton te moeilijk bewerkbaar wordt. Ettringiet heeft dan een fysische functie, namelijk een beschermend vlies dat zich rond C_3A vormt en daarmee de hydratatie afremt.

3.3.3 Fase 3

Alsnog loopt de eerder vermelde reactie van fase 1 verder samen met ongeveer dezelfde reactie van C_2S met water. [6],[7]



3.4 Gehydrateerde componenten

Deze gehydrateerde componenten hebben elk hun functie die hieronder wordt beschreven. Onthoudt dat dit slechts belangrijkste of de meeste voorkomende componenten zijn.

3.4.1 Tobermoriet

Tobermoriet, ofwel $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ zorgt voor de sterkte van het gehydrateerde portlandcement, dit op zowel lange als korte termijn.

3.4.2 Portlandiet

Portlandiet, ofwel $\text{Ca}(\text{OH})_2$, is afkomstig van de reactie tussen C_3S en C_2S met H. Deze kalk heeft geen invloed op de sterkte en noemt men daarom een nevenproduct van de hydratatiereactie. Per kilogram klinker komt er ongeveer 1/4kg van deze kalk vrij.

3.4.3 Ettringiet

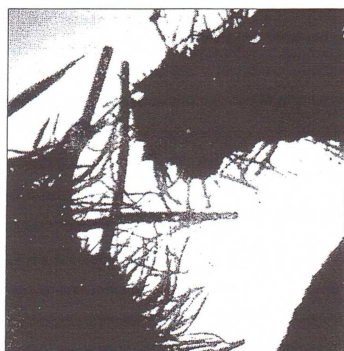
Ettringiet, ofwel $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ is een bindingsregulator en voorkomt dat C_3A te snel zal hydrateren.

3.4.4 Tetracalciumaluminaat

Tetracalciumaluminaat, ofwel C_4AH_{13} is afkomstig van de binding van C_3A met H. Deze binding komt tot stand wanneer er overschot van CaSO_4 aanwezig is. Deze binding geeft als resultaat een zeer hoge beginsterkte. Maar zorgt tevens voor een te snelle binding. [6],[7]

3.5 Structuur en uitzicht van de cementbrij

De structuur van de cementbrij wordt bepaald door de gevormde hydraten. Er zijn twee soorten hydraten aanwezig die elk hun typische vorm hebben. In de afbeelding hieronder zie je de twee hydraten verwekteld met elkaar.



Figuur 18: hydraten van de cementpasta

De naaldachtige vormen zijn naaldkristallen van kalkaluminaten. De korte haartjes zijn vezels die gevormd worden door microkristallen afkomstig van de kalksilicaten. Je kan zien dat deze door elkaar verweven zitten, dit is een bewijs van binding van de cementkorrels. Op macroniveau wordt deze fase beschreven als 'het opstijven van de specie'.

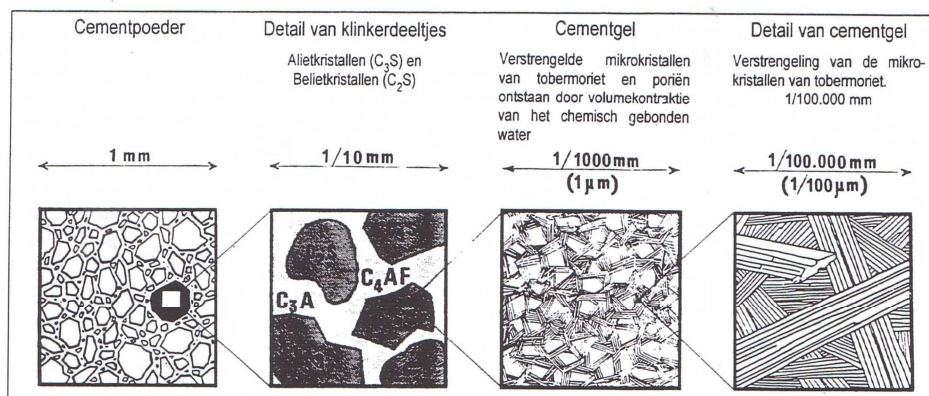
Naarmate de hydratatie vordert zal de specie stijver worden en de cementkorrels raken meer en meer in elkaar verweven. Ook de hechting met de granulaten gaat van start. De reacties aan het oppervlakte verlopen snel, de reacties dieper in de massa verlopen trager. Deze fase noemen we 'de verharding van de betonsteen' en duurt veel langer dan de bindingsfase. Deze termijnen zijn afhankelijk van de maalfijnheid van het cement.

De tabel hieronder toont aan dat het cement voor 75% uit de silicaten bestaat dat na de hydratatie tobermormoriet vormt.

Hydraulische componenten				Gewichtsverhouding in %	Invloed op de sterkte
	Volledige formule	Korte formule	Gewone benaming		
Hoofd componenten	3CaOSiO_2 Aliet	C_3S	Calciumsilikaten	40 tot 65	Grote begin en uiteindelijke sterkte
	2CaOSiO_2 Beliet	C_2S		10 tot 35	Grote uiteindelijke sterkte
				Totaal silikaten ≈ 75	
Sekundaire componenten (1)	$3\text{CaOA1}_2\text{O}_3$ Celiet	C_3A	Calciumaluminaten	0 tot 15	Zeer grote beginsterkte Aangetast door sulfaten (zie 7.1)
	$4\text{CaOA1}_2\text{O}_3$ Fe_2O_3	C_4AF	Calciumaluminoferriet	1 tot 20	Heeft praktisch geen invloed op de sterkte
Niet gebonden	MgO	M		< 5	Gevaarlijk wanneer bepaalde drempelwaarden overschreden worden omdat ze geblust worden (poedervorming), vooral MgO en omdat dit verschijnsel zeer langzaam verloopt (nog na 1 jaar)
	CaO	C		< 3	

Figuur 19: tabel hydraulische componenten van cement

Tobermoriet ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) is wellicht het meest aanwezig gehydrateerd component. Het bestaat uit zeer dicht verweven microkristallen van kalksilicaten (C_3S en C_2S). de microkristallen kan men beschrijven als 'lamellen' van 10 picometer lang. Hieronder ziet u de plaats waar tobermoriet zich bevindt t.o.v. de andere hydraulische componenten als ook de structuur van de lamellen. [6],[7]



Figuur 20: uitzicht tobermoriet

4 Glaucioniet als toevoegsel aan beton

Dit is wellicht het belangrijkste hoofdstuk van het theoretisch gedeelte van de thesis. Hier maken we de connectie tussen een bepaald toevoegsel en het mineraal glaucioniet.

Hieronder bevindt zich de tabel met diverse glaucionietmonsters die chemisch geanalyseerd werden om zo de verhoudingen van de aanwezige elementen weer te geven.

Deze hebben we nodig om een vergelijking te maken met de voorgestelde hulpstoffen die zo kunnen leiden tot een hypothese.

Table 3. Chemical analyses of glaucionite specimens in weight per cent of oxide (water-free)

	GT8-66	G294	GT6-69	G1392	FGS1x	G3585	Moody b
SiO ₂	53.13	56.98	54.94	53.91	57.49	59.31	53.51
TiO ₂	0.17	0.08	0.08	0.18	0.20	0.36	0.97
Al ₂ O ₃	10.35	13.33	9.53	13.34	9.37	14.40	13.61
Fe ₂ O ₃	21.70	8.78	17.86	21.08	17.46	12.05	16.67
FeO	1.74	7.05	1.97	0.61	4.62	1.38	3.17
MgO	3.43	5.35	4.77	3.61	1.79	6.93	5.56
CaO	0.15	0.05	0.72	0.07	0.08	0.19	0.31
Na ₂ O	0.20	0.23	0.18	0.39	0.13	0.19	0.13
K ₂ O	8.50	8.21	7.82	7.62	7.16	6.68	5.60
Total Percentage	99.56	100.84	98.09	100.18	98.81	101.64	99.88
Percent Smectite Layers	5-10	5	10	10	10	15	15-20

Figuur 21: tabel met chemische componenten glaucioniet

4.1 Hoogovenslak

Hoogovenslak is een restproduct van een hulpmiddel voor het smelten van ijzererts op hoge temperaturen. Dat hulpmiddel is een ganggesteente dat kiezelzuur en aluminiumoxide bevat en zorgt voor de temperatuurregeling in de oven.

Bij het verlaten van de hoogoven wordt de slak plots afgeschrikt door onderdompeling met water. Hierdoor ontstaan korrels van 1 tot 5mm met een glasachtige structuur en een basisch karakter doordat ze voldoende kalk en magnesium bevatten. [6],[7]

4.1.1 Toevoeging aan cement

Wanneer men de slak toegevoegd aan cement wordt hij eerst volledig gedroogd om nadien te vermalen tot fijn poeder. Dit noemt men dan hoogovencement. [6],[11]



Figuur 22: vermalen slak

Het voordeel van hoogovencement is de grote bestandheid tegen sulfaten en zuren.

4.1.2 Latent hydraulisch bindmiddel

Als we het cement samen met de slak bevochtigen zal het aanwezige kiezelzuur neerslaan in een soort gel. Deze gel(C_2SA) vormt zich als een vlies rond de cementkorrels zodat ze niet langer in aanraking komen met water. Hierdoor valt de reactie stil. Er is dus een activator nodig om de reactie weer op gang te brengen. Deze activator is kalk($Ca(OH)_2$). Deze kalk komt voort uit de hydratiereactie van portlandklinker met water.

Doordat de reactie trager op gang komt spreken we van 'latent hydraulisch'.

De reacties van slak en portlandcement zijn zeer complex doordat ze simultaan verlopen en met elkaar interageren. [6],[7]

4.2 Vergelijking van hoogovenslak met glauconiet

Wanneer we hoogovenslak vergelijken met glauconiet, zien we een groot deel van de bestanddelen van de slak terugkomen in glauconiet. In de onderstaande tabel zijn de aanwezige componenten van hoogovenslak zichtbaar. Zoals je kan zien is er voor beide stoffen een grote hoeveelheid SiO_2 aanwezig. Er is ook ongeveer een gelijke hoeveelheid Al_2O_3 aanwezig.

Komponenten				Gehalte in gewichtspercenten	
Groep	Volledige formule	Korte formule	Gewone benaming	Grenswaarden	Veel voork. gemiddelde
Voornaamste oxyden	CaO	C	Kalk	35 tot 45	40
	SiO_2	S	Kiezelzuur	30 tot 40	35
	Al_2O_3	A	Aluminiumoxyde	10 tot 20	15
	MgO	M	Magnesiumoxyde	5 tot 15	10
Secundaire oxyden	MnO	-	Mangaanoxyde	Minder dan 1%	
	FeO	F	Ijzeroxyden	Minder dan 1%	
	Fe_2O_3				
Sulfiden	CaS	-	Calciumsulfide en mangaansulfide	Minder dan 1%	
	MnS				

Figuur 23: chemische componenten hoogovenslak

4.2.1 Hypothese 1

‘Glauconiet als latent hydraulisch bindmiddel’

Jammer genoeg kan deze hypothese dadelijk verworpen worden doordat hoogovenslak een grote hoeveelheid kalk(CaO) bevat in tegenstelling tot glauconiet, waar zo goed als geen kalk aanwezig is. Ook het ijzeroxide(Fe_2O_3) is in andere maten aanwezig. De reacties zullen dus wellicht verschillen.

4.3 Vliegas

Vliegas is een puzzolanen stof afkomstig van de rookgassen van elektriciteitscentrales. Voordat ze de schoorsteen verlaten worden deze deeltjes opgevangen door een filter.

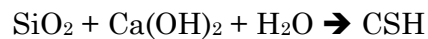
4.3.1 Puzzolaniteit

Een puzzolaan is een kunstmatige of natuurlijke stof, bestaande uit enkel SiO_2 of SiO_2 en Al_2O_3 , die geen enkele hydraulische eigenschappen bezitten.

Het heeft dus geen invloed op de hydratatie van het cement in de eerste fase maar na binding, met bijvoorbeeld het in fase 3 vrijgekomen Ca(OH)_2 , wordt er een stof gevormd die wel hydraulische eigenschappen bezit namelijk het sterkte tobermoriet (CSH).

Een ander voorbeeld van een puzzolanenstof is microsilica, een restproduct van de productie van het element silicium.

Een voorbeeld van een puzzolane reactie;



Bij de puzzolaanreactie wordt Ca(OH)_2 verbruikt. Dit is in tegenstelling met de hydratatiereactie van het portlandcement dewelke kalk voortbrengt. De verhouding van het CSH is afhankelijk van het gebruikte puzzolaan.

4.3.1.1 Vliegias als gedeeltelijke cementvervanger

Door de puzzolaniteit wordt de uiteindelijke sterkte op lange termijn verhoogt en verbetert de dichtheid van het cement. Door deze eigenschappen kan het vliegias een deel van de functie van het cement overnemen om dezelfde eindsterkte te bekomen. Dit wordt uitvoerig besproken in de normteksten NBN EN 206-1 en NBN B15-001.

4.3.1.2 Grenswaardes van vliegias

Het vliegiasgehalte moet kleiner zijn dan 25% van het aanwezige cementgehalte in het beton. Voor de berekening van het vliegiasgehalte heeft men een formule ontworpen. Men neemt een rendementscoëfficiënt 'k' aan voor het vliegiasgehalte. Deze is afhankelijk van het soort cement. Voor bijvoorbeeld CEM I $\geq 42,5$ is $k = 0,4$. [7]

$$\text{Cement} * \text{Vliegias} \leq 0,25 * \text{Cement}$$

Als we rekeninghouden met de watercement-factor geeft dit ons de volgende formule;

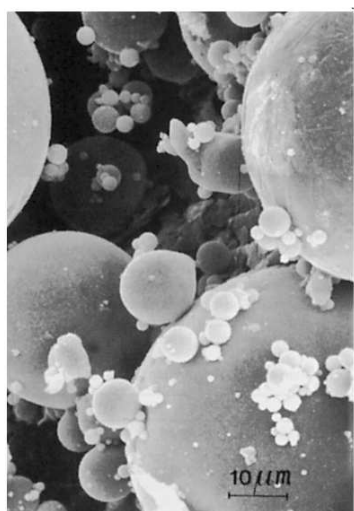
$$\frac{\text{water}}{\text{cement}} = \frac{\text{water}}{(\text{cement} - x) + k * x}$$

Waarbij 'x' de hoeveelheid vliegias is.

4.3.2 Ontstaan

Vliegas ontstaat in de poederkoolmolens van de centrales. Daar wordt ruwe kool gemalen tot fijne deeltjes van $75\mu\text{m}$. Dit fijne poeder wordt in de vuurhaard van de centrales geblazen om zo op een snelle manier een temperatuur van 1600°C te bereiken. Dit is slechts van korte duur. Na een tweetal seconden verlaten de vluchtige componenten het poeder.

Tijdens de tweede fase zullen de koolstofhoudende materialen oxideren. Hier zal ook een klein deel van het poeder niet kunnen verbranden en blijft in het anorganische as achter. Een deel van het as bevindt zich in de koolpoederketel in gesmolten toestand. Een ander deel valt door het samenklitten aan elkaar op de bodem van de ketel. Het grootste deel verlaat de haard als vliegas en wordt meegevoerd met de rookgassen. Door de snelle afkoeling van 1600°C naar 140°C zet een deel van de vluchtige componenten zich vast op de vliegasdeeltjes in gasvorm. [9]



Figuur 24: microscopische foto vliegas

4.3.3 Invloed op de puzzolaniteit

De maalfijnheid en het gehalte van reactieve bestanddelen beïnvloeden de puzzolane activiteit. In onze streek vinden we voornamelijk silicium houdend vliegas, de siliciumoxides in dit vliegas dienen voor minsten 25% aanwezig te zijn om de puzzolaniteit te garanderen. [7]

4.3.4 Samenstelling

Vliegas bestaat voornamelijk uit aluminiumsilicaten, ijzer, alkali- en aardalkalimetalen. Hieronder zie je een tabel van de samenstelling van het in Nederland geproduceerd vliegas. [9]

Gemiddelde samenstelling van in Nederland geproduceerde poederkoolvliegas

verbinding	Nederlandse vliegas
siliciumoxide (SiO_2)	50% (43-70)
aluminiumoxide (Al_2O_3)	25% (19-31)
ijzer(III)oxide(Fe_2O_3)	7% (2-11)
calciumoxide (CaO)	3% (0,3- 7)
magnesiumoxide (MgO)	2% (0,2- 4)
kalium- en natriumoxide (K_2O , Na_2O)	3% (0,1- 4)
zwaveldioxide, titaandioxide, fosforpentoxide (SO_2 , TiO_2 , P_2O_5)	2,5% (1- 3)
koolstof (C)	5% (3-11)

Figuur 25: tabel chemische componenten vliegas

4.3.5 Fysische eigenschappen

De eigenschappen van het vliegas zijn afhankelijk van de eigenschappen van de gebruikte kool, de maalfijnheid, de verbrandingstemperatuur en de tijd gespendeerd in de vuurhaard. [6]

- Massadichtheid: 2000 – 2400kg/m³
- Grootte van de deeltjes: kleiner dan 40µm
- T°smelt: 1200 – 1600°C
- Ph: 8 - 10

4.4 Vergelijking van vliegas met glauconiet

Het voorgaande deel geeft aanleiding naar de tweede hypothese. Zoals reeds werd aangehaald, bestaat vliegas uit diverse metalen, net zoals glauconiet.

Als je de tabel aan het begin van het vorig deel vergelijkt met deze van vliegas, zie je duidelijk dezelfde elementen terugkomen. Op het eerste zicht lijken de verhoudingen ook sterk op elkaar. Zoals je in de tabel van glauconiet kan zien, fluctueren deze verhoudingen wel. Dit zal wellicht bij vliegas ook zo zijn.

Het voornaamste element bij vliegas is SiO_2 met een gehalte van ongeveer 50%. Opmerkelijk is dat ook voor glauconiet, het siliciumoxide in goede mate aanwezig is.

Dit zal de puzzolaniteit verzekeren zoals beschreven in deel “4.1.2 Puzzolane activiteit”. Hierdoor kunnen we tevens ook concluderen dat men glauconiet niet kan vergelijken met silicafume, waar de hoeveelheid siliciumoxide rond de 90% valt.

Daardoor kan, zoals beschreven in deel “4.1.3 vliegias als gedeeltelijke cementvervanger”, hopelijk ook glauconiet deze taak vervullen.

4.4.1 Hypothese twee

Dit geeft de tweede hypothese: “glauconiet als vervanger van cement in beton”.

Aan de hand van de verworven theoretische kennis kan deze hypothese niet dadelijk worden tegengesproken. Er is geen voor de hand liggend theoretisch bewijs dat deze hypothese kan tegenspreken.

Natuurlijk, een hypothese blijft maar een hypothese zolang er geen harde bewijzen op tafel komen. Met deze harde bewijzen worden concrete proeven met stand vaste resultaten bedoelt. In het volgende gedeelte van de thesis wordt hier naartoe gewerkt.

Vooraleer je de concluderende proef uitvoert dien je best voorafgaande informatie van het te testen materiaal te bekomen. Dit zijn vaak eenvoudige proeven die in eerste instantie weinig bijdragen leveren voor het staven of verwerpen van de theorie.

Ook moet er rekening mee gehouden worden dat wanneer men een hypothese wil staven, er niet altijd de ‘juiste’ proeven voor handen zijn. Om een hypothese te verwerpen is er vaak meer kennis en materieel voor handen.

Bijvoorbeeld;

Wanneer men, zoals in dit geval, een nieuw soort toevoegsels wil testen in beton, is er altijd de alom bekende drukproef die de doorslag zal geven of het een goed of slecht toevoegsel zal zijn. Maar hoe je de werking van dat nieuwe toevoegsel in beton kan analyseren, verbeteren en nadien verklaren, is niet altijd mogelijk met een bestaande proefopstelling. Dus wanneer het resultaat van de reeds bestaande ‘concluderende proef’ negatief mocht blijken, dient er altijd verder onderzoek te worden geleverd.

5 De analyse van de granulaten

5.1 Proloog

De hier voorgaande titels zijn tot stand gekomen door het lezen en verwerken van literatuur omtrent het onderwerp, vaak in een breed maar toch diepgaand spectrum. Na de verwerking van literatuur dient er terug een leidraad gevonden te worden om tot een resultaat te komen. In dit hoofdstuk worden de uitgevoerde proeven beschreven en de resultaten geanalyseerd. Ook wordt er de nodige theorie besproken.

5.2 Verwerking van de onderzoeksvraag

Wanneer we terugkeren naar de onderzoeksvraag en deze analyseren is het vanzelfsprekend dat we beton gaan maken met een zand dat we ontginnen uit de bouwput van een willekeurige werf in de buurt waar het mineraal glauconiet mogelijk aanwezig kan zijn.

Bij het openslaan van gelijk welk boek over betontechnologie zal je zien dat het deel over granulaten minder omvangrijk is dan dat van cement. Desalniettemin hebben de granulaten een zeer belangrijke rol, zij zijn namelijk de 'backbone' van het betonskelet. Ze bevatten ongeveer 80% van elk soort betonmengsel.

Het is dus vanzelfsprekend dat wanneer we glauconiethoudend zand gebruiken om een betonmengsel te maken, we de eigenschappen van dit zand dienen te kennen. Deze eigenschappen dienen we optimaal te benutten en indien nodig afstemmen in combinatie met andere granulaten. In zowat elk betonmengsel dat je zal vinden zijn meerdere soorten granulaten aanwezig.

Om de eigenschappen van het glauconiethoudend zand te leren kennen is de eerste stap altijd een zeefanalyse.

5.3 Zeefanalyse

Bij het zeven van granulaten kom je de korrelverdeling te weten. Deze korrelverdeling geeft een idee van de afmetingen van de korrels in het zand en hoeveel percent er van elke maat aanwezig is. Daarmee kan je het zand al classificeren in fijn, middelmatig of grof zand.

5.3.1 Materieel [4]

De zeefproef bestaat uit een reeks van 7 genormeerde zeven. Dit zijn ronde bakjes met verschillende vierkante maaswijdtes:

6,3 mm - 4 mm - 2 mm - 1 mm - 0,5 mm - 0,25 mm - 0,125 mm - 0,080 mm.



Figuur 26: zeeftoeren

De zeefmaten; 0,5 mm en 0,125 zijn ter behoeve van de fijnheidsmodulus waar we later op terugkomen.

Een elektronische weegschaal is nodig om de zeven en granulaten te wegen.



Figuur 27: elektronische weegschaal

De granulaten bezitten een bepaald vochtgehalte doordat ze wellicht ontgonnen zijn uit een buitenomgeving. Dit vochtgehalte dient men te kennen voor het maken van beton, dit komt in het volgende hoofdstuk aan bod. Om dit vochtgehalte te bepalen hebben we een droogstoofoven nodig.



Figuur 28: droogstoofoven

Hieronder zie je een foto van een elektronische zeefmachine, deze werd gebruikt in het labo van LEB, waar de proeven werden uitgevoerd.



Figuur 29: elektronisch zeefapparaat

5.3.2 Materiaal

De betreffende granulaten werden ontgonnen uit een sleuf van ongeveer 10 meter diep. De kraanmachinist heeft ongeveer een kubieke meter materiaal met zijn laadbak uit de sleuf gegraven en deze in twee halen op een hoop gestockeerd. Daar werden 10 emmers van 10 liter inhoud, uitgehaald op verspreide plaatsen bovenaan, in het midden en onderaan in de hoop. Doordat de wegenwerken aan een strak schema verliepen was er niet de mogelijkheid om op andere plaatsen hetzelfde te doen.



Figuur 30: monsternamen glauconiethoudend zand

In het labo werden de emmers weer op een hoop gestockeerd en goed gemengd in een kuip.



Figuur 31: mengen van het grondmonster

Van deze hoop werden vier ongeveer gelijke delen gemaakt. Men neemt de twee tegenovergestelde kwarten en mengt ze door elkaar. Vervolgens neemt men opnieuw de twee tegenovergestelde kwarten en zo bekom je een representatief staal om te zeven. De hoeveelheid van dit staal is beschreven in de norm. In het labo van LEB daarentegen, werd een hoeveelheid genomen gebaseerd op ervaring. Deze mensen kennen hun materieel en weten dan ook de juiste hoeveelheden goed in te schatten bij gelijk welk materiaal. Dit kan wel lichtelijk afwijken van de norm maar aangezien zij een erkend labo zijn en met regelmaat controle krijgen kan dit niet anders als juist zijn.

5.4 Bepaling van het vochtgehalte

De bepaling van het vochtgehalte behoort tot een zijproef van de zeefanalyse, deze twee worden vaak samen uitgevoerd. Het vochtgehalte van een granulaatsoort heeft men nodig wanneer men dit granulaat gaat gebruiken in een beton, mortel of gelijk welk kunstmatig vervaardigd agglomeraat. De vochtgehaltes van deze granulaten dient men mee te rekenen bij de berekening van het watergehalte dat men dient toe te voegen, in dit geval, aan het beton. [6], [18]

Er zijn een tweetal gevolgen mogelijk wanneer men hier geen rekening mee houdt.

5.4.1 Te weinig water

Te weinig water kan zorgen voor droge beton, en geeft grindnesten.



Figuur 32: grindnesten

Grindnesten zijn zeer nadelig voor beton, het beton is niet langer waterdicht. Het grind is namelijk niet omringd door de specie, hierdoor kunnen lekken ontstaan. Rond grindnesten zie je dan ook vaak vochtplekken zoals op de foto hierboven. Een mogelijk negatief resultaat is dat de wapening gaat corroderen en uitzetten waardoor het beton van de wapening gaat afspringen. Dit is een vorm van betonrot.

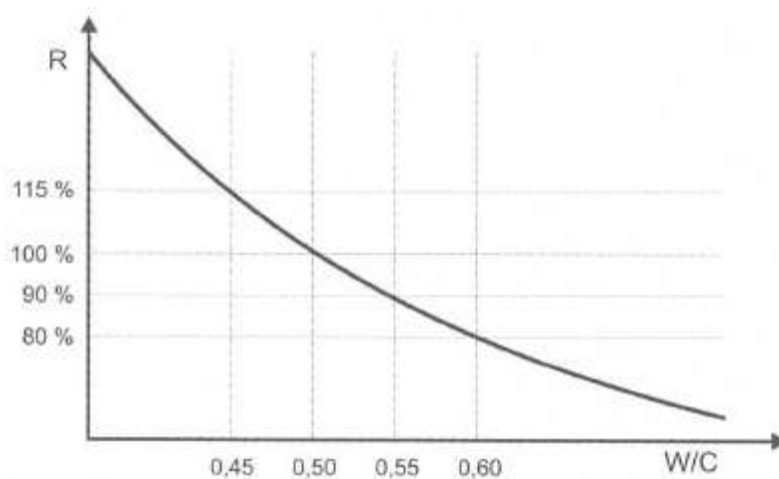
Wapeningsstaal bezit namelijk een ijzeroxidelag die het staal beschermt, maar van zodra dit in contact komt met de buitenste laag, schilfert de laag af. In het basisch milieu van beton blijft de laag echter continue maar door de carbonatatie-reactie van beton met het CO_2 dat aanwezig is in de lucht, zal de pH-waarde dalen in het beton en de beschermlaag verdwijnen. [18]



Figuur 33: betonrot

5.4.2 Teveel water

De wetenschapper, Feret, heeft in een studie bewezen dat de druksterkte daalt als de water/cement verhouding stijgt.



Figuur VII/1 : Formule van Feret ($R = f_{c,cub}$)

Figuur 34: grafiek druksterkte i.f.v. W/C-factor

$$f_{c,cub} = K^* \left(\frac{1}{1 + \frac{w}{c}} \right)^2$$

met;

$f_{c,cub}$: De druksterkte gemeten in N/mm² op kubussen na 28 dagen.

K: Een factor afhankelijk van de cementkwaliteit.

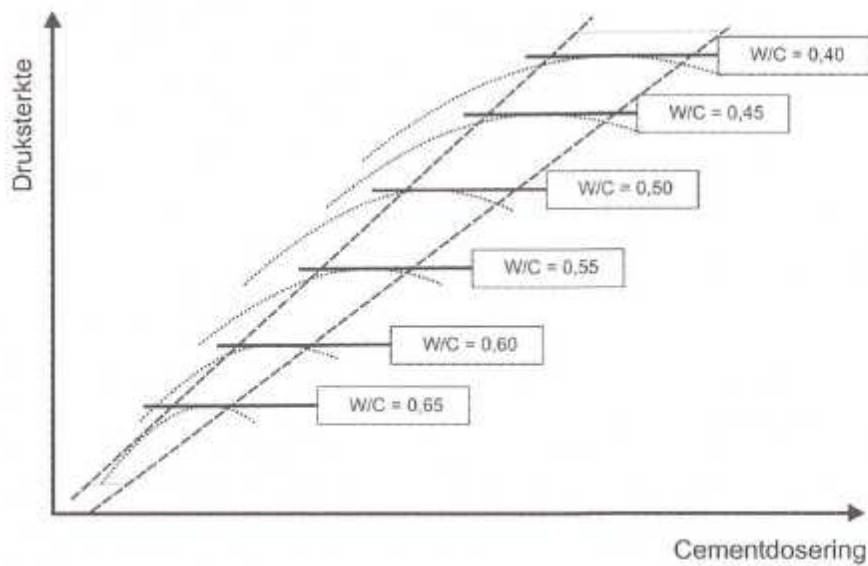
c: Het absoluut volume van cement.

w: Het totale volume water.

Kort door de bocht genomen kan je dit verklaren doordat het cement een bepaalde hoeveelheid water nodig heeft om te hydrateren, wanneer je teveel aan water toevoegt zal de verwerkbaarheid stijgen maar uiteindelijk zal het teveel aan water, doordat het niet mee hydrateert met de hydratatiereactie van het cement maar uit het beton transpireert, te grote holtes nalaten in het beton wat de druksterkte negatief beïnvloedt.

Opgelet! Er zijn natuurlijk beperkingen, je zou a.d.h.v. de formule kunnen besluiten dat het cementgehalte zo hoog mogelijk mag zijn. De cementhoeveelheid is echter beperkt door de verwerkbaarheid want cement slurpt het water op. Als we rekening houden met een bepaalde water/cement factor zal deze ook het watergehalte bepalen en zal uiteindelijk er meer water in het beton zitten dan nodig voor de verschillende componenten wat de cirkel weer rond maakt.

Hieronder zie je de grafiek die de druksterkte uitdrukt i.f.v. de cementdosering;



Figuur 35: grafiek druksterkte i.f.v. cementdosering

In de grafiek zie je het reële verband als de kromme lijnen, de theoretische benadering wordt gegeven door de rechte lijnen, dit is daarbij wel beperkt door het gebied tussen de rechte lijnen.

Een goede richtwaarde geven van een water/cementfactor is bij deze niet evident. Men dient altijd een studie te doen a.d.h.v. de gebruikte materialen.

5.4.3 De droogstoof methode

Het glauconiethoudend zand wordt in dit geval dus ontgonnen uit de grond en bezit een bepaald vochtgehalte. Het vochtgehalte kan daarbij nooit op de site zelf bepaald worden. Er moet daardoor rekening mee gehouden worden dat wanneer je het zand transporteert, in en naar een warmere omgeving dan waar de ontginning plaatsvond, het vochtgehalte zal gaan variëren. Afdekken van de emmers met plasticfolie is een optie.

Voor alle duidelijkheid te behouden in de volgende formules, spreken we van nat zand als we het hebben over 'nat', en droog zand als we het hebben over 'droog'. Het vochtgehalte wordt uitgedrukt in percenten zodat we bij gelijk welke hoeveelheid zand het vochtgehalte makkelijk kunnen verrekenen.

De naam van deze proef is 'de droogstoofmethode'. Zoals de naam ons vertelt maken we hier gebruik van een oven, er zijn buiten deze nog methodes om het vochtgehalte te bepalen.

We starten met het wegen van de pan waar we het monster in gaan wegen.

$$pan = 305,74g$$

Nadien doen we een deel van het zand in de pan, waarna we ze opnieuw wegen.

$$pan + nat = 1149,04g$$

Wanneer we het gewicht van de pan aftrekken van deze waarde krijgen we het gewicht van het nat monster.

$$nat = (pan + nat) - pan = 1149,04 - 305,74 = 843,3g$$

Nadien hebben we het materiaal in diezelfde pan 24u te drogen gelegd in de droogstoofoven, op een temperatuur van 110 ± 5 °C. Na het wegen van de pan met het droge monster kregen we het volgende gewicht.

$$pan + droog = 1120,20g$$

Na het monster 10 minuten te laten afkoelen had het een ander gewicht, de temperatuur werd elke minuut gemeten tot de afwijking van het totale gewicht kleiner was dan 0,1%. Dit geeft ons het volgende resultaat.

$$pan + droog = 1121,04g$$

Als we het gewicht van de pan er nu van aftrekken hebben we het gewicht van het droge monster.

$$droog = (pan + droog) - pan = 1121,04 - 305,74 = 815,3g$$

Nu kunnen we het vochtgehalte aan de hand van de vorige waardes bepalen.

$$vocht = nat - droog = 843,3 - 815,3 = 28g$$

Dit betekent dat er in het natte monster van 843,3g, 28g vocht aanwezig was. Aan de hand van de deze waardes kunnen we het vochtpercentage van het zand in het algemeen bepalen.

$$\frac{\text{vocht}}{\text{droog}} = \frac{28}{815,3} * 100 = 3,43\%$$

Met dit vochtgehalte zullen we rekening moeten houden voor de vervaardiging van beton wanneer we het betreffende zand toevoegen.

Er is nog een mogelijkheid om de wateropname te bepalen. Namelijk met de pyknometer methode, deze methode wordt beschreven op het formulier dat je vindt in de bijlage.

5.5 De werkelijke zeefproef

We starten met het stapelen van de zeven in de juiste volgorde.

De zeven worden op elkaar gestapeld van boven naar beneden in de volgorde zoals in het deel “4.3.1 materieel” en dit op een elektronische zeefmachine. Bijkomend is de pan die onderaan wordt geplaatst om het materiaal, dat fijner is als de kleinste zeef, op te vangen. Boven op de toren komt er een deksel zodat de fijne partikels zeker in de toren blijven zitten.

Hier kunnen we het droge monster gebruiken uit het deel “4.3.3.3 de droogstoof methode”. Dit monster plaatsen we bovenaan in de toren, meer bepaald in de eerste en grootste zeef.

De elektronische zeefmachine doorloopt twee programma’s. Deze programma’s zijn ingesteld door het LEB en zijn afhankelijk van het soort granulaat dat er gezeefd dient te worden. Tijdens deze programma’s doorloopt de zeefstoren trillingen gedurende bepaalde tijden met verschillende frequenties.

Hoe langer men zeeft hoe meer fijn materiaal er tussen de zeven kan doorvallen. In ons geval zal het zeven langer duren dan bij grove granulaten.

Na het zeven mag men de toren zeef per zeef demonteren. Wat er nu op de zeven blijft liggen noemt men de residu- of restwaarde. Men dient per zeef het gewicht van de restwaarde te bepalen.

Tijdens het zeven is het onvermijdelijk dat er korrels in de mazen van de zeven vast komen te zitten. Wanneer men de zeefresten bepaalt moet men rekening houden met dit ‘verlies’.

In het labo gebeurt het volgende:

De zeef werd leeggemaakt in een pan waarin het residu werd gewogen. De zeef werd omgekeerd boven een wit blad gehouden waarna twee stevige tikken op de zeef werden gegeven. Het resultaat was aanzienlijk voor sommige zeven. Deze beperkte hoeveelheid werd dan bij het desbetreffende hoopje meegewogen om de afwijkingen te minimaliseren.

Nadien werd er met een borstel in de zeef over de mazen gewreven, in dezelfde volgorde zoals deze op de toren stonden. En ook dit boven een wit blad.



Figuur 36: verbetering zeefnauwkeurigheid

Opgelet! Deze korrels behoren tot de onderliggende zeef.

Deze stappen hebben we herhaald voor alle zeven.

Op de volgende bladzijde vindt u het resultaat in tabelvorm. Niet alle kolommen zijn nodig voor de bepaling van de zeefkromme, sommige zijn een helpende tussenstap.

5.5.1 Resultaat

Tabel 1: zeefanalyse glauconiethoudend zand

zeef	Maaswijdte	Zeefrest		zeefrest		doorval	
		fractie		cumulatief		cumulatief	
Nr	(mm)	(gram)	(%)	(gram)	(%)	(gram)	(%)
8	6,3	2,73	0,33	2,73	0,33	812,41	99,97
7	4	5,4	0,66	8,13	1,00	807,01	99,00
6	2	8,15	1,00	16,28	2,00	798,86	98,00
5	1	4,78	0,59	21,06	2,58	794,08	97,42
4	0,5	27,89	3,42	48,95	6,01	766,19	93,99
3	0,25	349,45	42,87	398,4	48,88	416,74	51,12
2	0,125	329,34	40,40	727,74	89,28	87,14	10,72
1	0,063	61,48	7,54	789,22	96,82	25,92	3,18
0	0	25,92	3,18	815,14	100	0,00	0,00
totaal		815,14	100				

5.5.2 Resultaten analyse

Met ‘fractie’ bedoelen we de zeefrest per zeef in gram uitgedrukt en in % t.o.v. het totale gewicht.

De doorval is de totale hoeveelheid granulaten die door de betreffende zeef gevallen zijn.

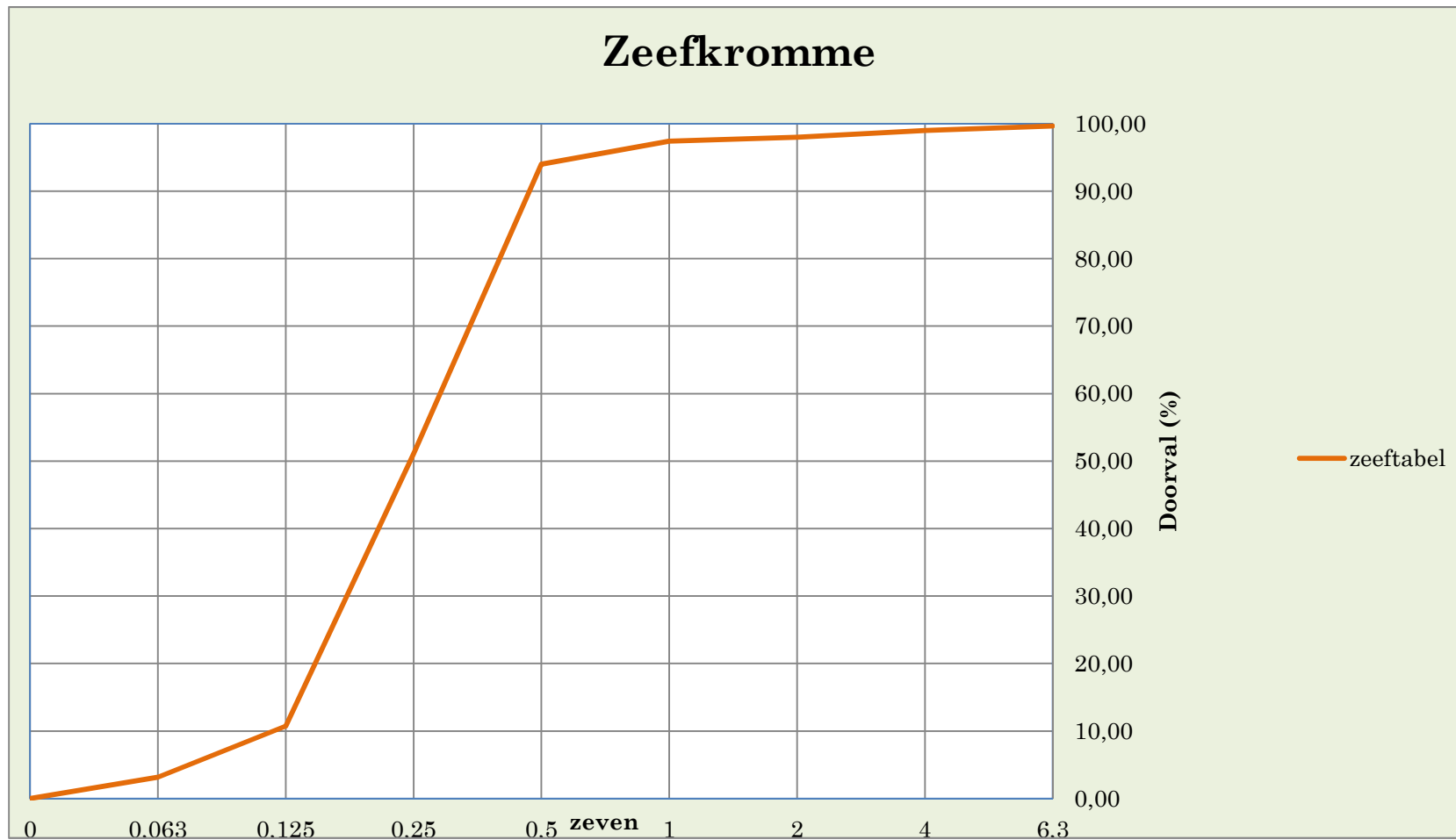
Wanneer we de maaswijdtes(mm) uitzetten t.o.v. de doorval(%) krijgen we een zeefkromme. Deze kromme geeft een idee van de korrelverdeling van het betreffend zand. De korrelverdeling geeft een beeld hoe de verschillende groepen van korrelafmetingen (korrelgroepen) in een mengsel voorkomen.

Het woord ‘zand’ en ‘grind’ vormen in mensentaal een onderscheid tussen een ‘fijn’ en een ‘grof’ mengsel van granulaten. In de literatuur bedoelt men vaak met een mengsel, een verzameling van granulaten met verschillende korrelafmetingen.

Zand met een uiteenlopende korrelverdeling is ook een mengsel van diverse fijne granulaten.

Wanneer we spreken van een betonmengsel is dit ook een verzameling van zeer uiteenlopende korreldiameters, hier kan je dus letterlijk spreken van een mengeling van zand- en grindmengsels.

Op de volgende pagina vindt u de kromme van het betreffende glauconiethoudend zand.



Figuur 37: grafiek zeefanalyse glauconiethoudend zand

5.6 Identificatie van de granulaten

5.6.1 De korrelgroep

Zowel in de handels- maar ook zeker in de betonwereld, moet het zand een naam krijgen. Een eerste onderscheid ligt tussen grof en fijn toeslagmateriaal. Natuurlijk is zand een fijn toeslagmateriaal. Verder wordt er een onderscheid gemaakt door de indeling in korrelgroepen. Korrelgroepen worden aangeduid met een ondergrens (d) en een bovengrens (D). Het zijn de korrelafmetingen van de kleinste en de grootste korrel. De verhouding D/d moet groter of gelijk zijn aan 1,4. [12]

Enkele voorbeelden van korrelgroepen:

Tabel 2: verschillende korrelgroepen

Fijn		grof		
0/1	2/5	4/8	8/11	16/22
0/2	2/8	4/16	8/16	16/32
0/4		4/22		16/63
		4/32		

Wanneer we deze redenering toepassen voor het betreffende glauconiethoudend zand zullen we aanpassingen moet treffen.

Aangezien de kleinste korrelmaat(0,063mm) in onze zevenset nog voor ongeveer 8% aanwezig is kan men deze als ondergrens nemen. Gemakkelijkheidshalve wordt deze waarde afgerond naar 0mm. De bovengrens zou in dit geval op 0,5mm gesteld moeten worden. Jammer genoeg is dit geen courante maat voor zand en moeten we de kortst bijliggende maaswijdte nemen. De kleinste 'D' die je in de handel kan vinden is 1mm.

Het zou in het geval van dit glauconiethoudend zand dan gaan om een 'fijn zand 0/1'

5.6.2 Continu of discontinu

Om het zand de naam '0/1' te geven ontbreken echter een aantal fracties in de korrelverdeling. Je kan dit zien waar de kromme naar het horizontale toegaat. Als je kijkt naar de kromme van het glauconiethoudend zand, kan je een zeer steil verloop zien tussen twee maaswijdtes, namelijk tussen 0,125 en 0,5.

Dit wil zeggen dat het merendeel van de korrels door de zeef van 0,5 is gevallen en gestopt is met vallen op de zeef van 0,125. Als we gaan kijken in de tabel zie je bij de kolom ‘zeefrest – fractie’ dat er 42,87% en 40,40% van het totaal is blijven liggen op de zeven 0,125 en 0,25.

We spreken hier dus van een ‘discontinu fijn zand 0/1’.

5.6.3 Fijnheidsmodulus

Men kan het zand ook indelen naargelang de fijnheidsmoduli. Dit zegt iets over de fijnheid van de granulaten. De fijnheidsmodulus wordt bepaald door de som van de gecumuleerde zeefresten, gerekend in percenten, van alle zeven die een waarde geven, behalve de zeef van 0,063mm. Deze som dienen we te delen door honderd.

Dit doen we als volgt;

We maken de som van de gecumuleerde zeefresten, in percent, uit “tabel 1: resultaat van de zeefanalyse” en dit van de volgende zeven: 4mm - 2mm – 1mm – 0,5mm – 0,250mm – 0,125mm.

$$1 + 2 + 2,58 + 6,01 + 48,88 + 89,28 = 149,75g$$

Deze som dienen we te delen door 100 en als uitkomst krijgen we dan de fijnheidsmodulus van het zand.

$$Fz = \frac{149,75}{100} = 1,49$$

De fijnheidsmodulus hebben we nodig voor een optimaal betonmengsel te maken.

5.6.4 De grootste korreldiameter

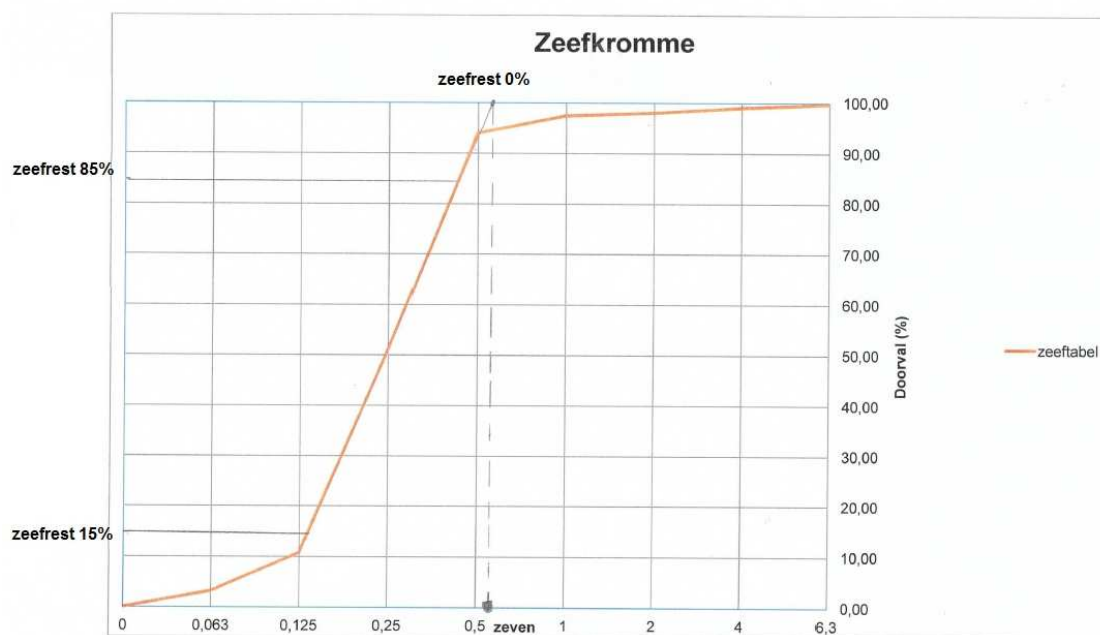
De werkelijke grootste aanwezige korreldiameter wordt bepaald m.b.v. de zeefkromme, dit kan zowel grafisch als analytisch. De grootste aanwezige korreldiameter hebben we nodig voor het betonmengsel te optimaliseren.

5.6.4.1 Grafische methode

Deze methode is de makkelijkste maar niet de meest correcte.

- Stap1: Zoek de snijpunten met de zeefresten van 15% en 85%.
- Stap2: Verbind de snijpunten en trek deze rechte lijn door tot zeefrest 0%.
- Stap3: Trek een lijn loodrecht naar beneden vanuit het punt waar je gestopt bent in stap2.
- Stap4: Lees de grootste korreldiameter 'D' af en interpoleer indien nodig.

Hier wordt het grafisch aangetoond met het glauconiethoudend zand als voorbeeld.



Figuur 38: grafische bepaling van D

5.6.4.2 Analytische methode

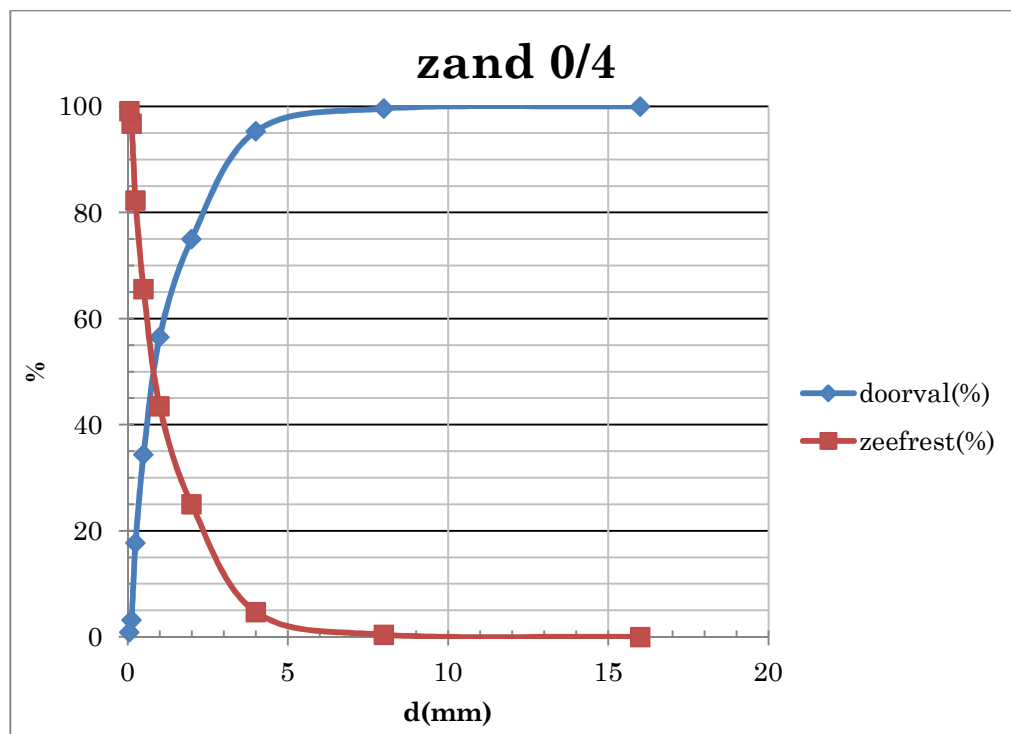
Het kan ook exact bepaald worden via een simpele wiskundige omvorming van het functievoorschrift van een rechte lijn. In de volgende regels wordt dit geïllustreerd aan de hand van een nieuw voorbeeld van een zand 0/4.

Tabel 3: zeefanalyse voorbeeldzand 0/4.

zeef	Maaswijdte	Zeefrest	Doorval
		cumulatie f	cumulatie f
nr	(mm)	(%)	(%)
9	16	0,0	100
8	8	0,4	99,6
7	4	4,7	95,3
6	2	25,0	75,0
5	1	43,5	56,5
4	0,5	65,6	34,4
3	0,25	82,3	17,7
2	0,125	96,8	3,2
1	0,063	99,0	0,9
0	0	100,0	0

Als je deze tabel vergelijkt met de tabel van de zeefanalyse van het glauconiethoudend zand, dan valt het duidelijk op dat er een aantal gegevens ontbreken. Dit is echter om de eenvoud en overzichtelijkheid te kunnen behouden. Meer gegevens hebben we hier niet nodig.

In de onderstaande figuur zie je het resultaat weergegeven in een grafiek. Deze grafiek toont de cumulatieve zeefrest alsook de cumulatieve zeefdoorval. Dit zijn elkaars tegenpolen en is simpelweg een andere manier om de grafiek te lezen.



Figuur 39: zeefanalyse voorbeeldzand 0/4

Zoals hierboven vermeld trachten we het de korrelmaat 'D' op een analytische manier te bepalen. Hiervoor hebben we het standaard voorschrift van een rechte lijn nodig.

Het standaardvoorschrift van een rechte lijn is het volgende:

$$y = a * x + b$$

zoals je ziet zijn hier twee variabelen aanwezig namelijk 'a' en 'b'. Zij bepalen hoe de rechte lijn er uit ziet in het x- en y-vlak.

Een rechte lijn kan worden bepaald aan de hand van minstens twee gekende punten gelegen op de rechte lijn. Aan de hand van deze twee punten kunnen we de variabelen 'a' en 'b' vinden.

In het betreffende voorbeeld van de zeefkromme kunnen we de coördinaten van twee punten aflezen zoals in het grafisch voorbeeld.

Dit is op een snijpunt met horizontale lijn op 85% en 15% doorval. Door de gegevens af te lezen van de grafiek daalt weer de precisie. De coördinaten van de betreffende punten zijn in dit geval echter afgelezen van een grafisch telmachine waar de functie 'intersect' gebruikt werd en dit geeft een zeer exacte waarde.

$$(y_1, x_1) = (85, 2.7)$$

$$(y_2, x_2) = (15, 0.2)$$

De eerste stap is het bepalen van de richtingscoëfficiënt, 'a'. Deze bereken je door het hoogteverschil te delen door het lengteverschil:

$$a = \frac{\text{hoogteverschil}}{\text{lengteverschil}}$$

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Met als regel dat $x_2 > x_1$ en $y_2 = f(x_2)$. Dit geeft ons:

$$a = \frac{85 - 15}{2.7 - 0.2} = 28$$

Om nu 'b' te bepalen mag je de gevonden richtingscoëfficiënt invullen als ook een willekeurig coördinatenkoppel.

We vullen $(y_1, x_1) = (85, 2.7)$ in de formule in;

$$85 = 28 * 2.7 + b$$

En halen 'b' eruit;

$$b = 85 - (28 * 2.7) = 9.4$$

Nu we beide variabelen kennen is het functievoorschrift van onze rechte lijn compleet en kunnen we de coördinaten van gelijk welk ander punt op de lijn bepalen.

$$y = 28 * x + 9.4$$

Nu kunnen we de x-coördinaat bepalen van het punt op de lijn waarvan het y-coördinaat gelijk is aan 100.

$$100 = 28 * x + 9.4$$

$$x = \frac{100 - 9.4}{28} = 3.23$$

Deze x-waarde is de 'D' die we zoeken en dus de grootst aanwezige korreldiameter.

$$D = 3.23$$

5.6.5 Glauconiet in het zand

Het zand is ontgonnen uit een sleuf van wegenwerken gelegen te Paal in Limburg. In deel "2.4.3 voorkomen" kan men zien dat Paal zich begeeft in de formatie van Diest. Deze formatie bestaat uit groenig tot bruinig grof zand, wat sterk glauconiethoudend is. Het glauconietgehalte zal rond de 50% bedragen.

Hieronder zie je een microscopische foto van het ontgonnen zand waar je de glauconietkorrels duidelijk kan zien als de groene korrels en de doorzichtige witte korrels zijn kwartskorrels.



Figuur 40: glauconiethoudend zand (Paal)

6 De Fullerstudie

Wanneer we bepaalde granulaten, zoals het glauconiethoudend zand, willen gebruiken in beton moeten we ze telkens combineren met andere granulaatsoorten om een zo compact mogelijk beton te bekomen. 80% van de sterkte van het beton is namelijk afhankelijk van een goed opgebouwd granulaatskelet.

Met een compact beton wordt een beton bedoeld waar de holle ruimtes tussen de granulaatkorrels gereduceerd worden tot het haalbare minimum. Deze holle ruimtes worden tijdens de vervaardiging van beton opgevuld door cement en water.

Wanneer men twee of meer granulaatsoorten wil combineren om tot één betonmengsel te komen dient men de hoeveelheden van elke soort optimaal te bepalen. Dit is mogelijk door de bepaling van de ideale korrelkromme.

Fuller was de eerste wetenschapper die deze benadering heeft gemaakt. Hij heeft een wiskundig model gemaakt voor de meest compacte stapeling van granulaten. Dit heeft hij gedaan door geometrische vormen te bestuderen. [27]

6.1 De hypothesen

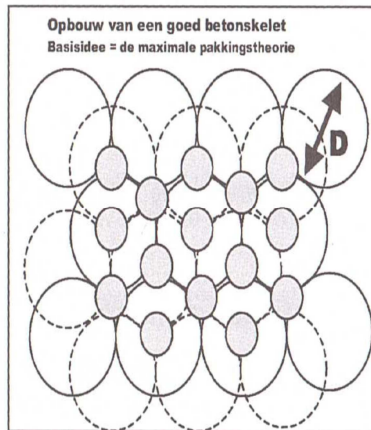
Hij ging uit van een drietal hypothesen om deze studie te vergemakkelijken.

- Alle granulaten zijn perfect rond.
- Ze hebben allen dezelfde diameter 'D'.
- Ze zitten allen op hun ideale plaats.

Hij wist te achterhalen dat de meest perfecte compacte vulling wordt behaald door de granulaten te stapelen volgens een tetraedrisch patroon. Hij berekende volgens een wiskundig model de vullingsgraad. Deze bleek 80% van het totale volume te bedragen. Dit is met bollen van één en dezelfde diameter vrij veel.

De overige 20% vulde hij op met bollen die kleiner waren. Om de maat van de kleinere bol optimaal te bepalen, zodoende dat de opvulling maximaal was, leidde hij een wiskundige formule af. [27]

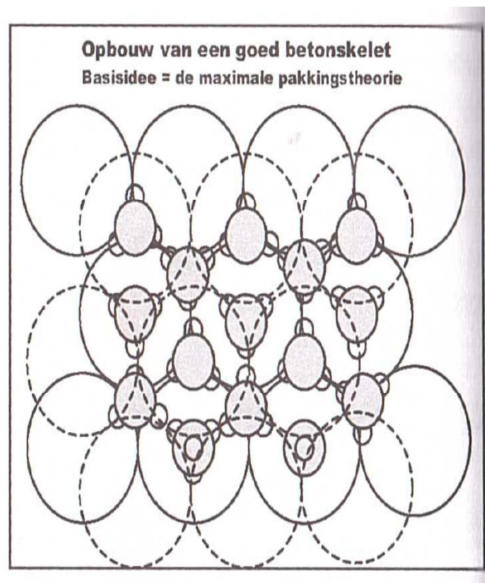
$$d = 0,224 * D$$



Figuur 41: illustratie Fullerhypothesen

Hij leidde nadien nog een formule af om het nodige aantal van elke diameter te bepalen.

Hij herhaalde zijn berekeningen telkens opnieuw voor kleinere diameters om zo de vullingsgraad te laten stijgen.



Figuur 42: Fullerhypothese; verhoging van de vullingsgraad

Natuurlijk zijn deze hypothesen voor beton nooit waar en daarom werden er nadien nog twee aanpassingen verricht.

6.2 Aanpassing 1

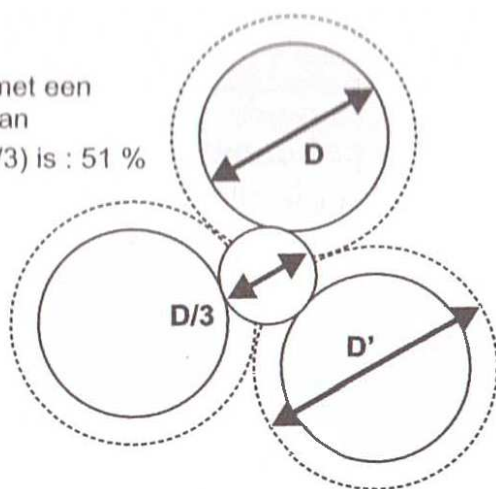
Fuller ging er van uit dat alle bollen op hun perfecte plaats kwamen te zitten. Om dit te verwezenlijken moet de afstand tussen de bollen met diameter 'D' minstens even groot zijn als de bollen met diameter 'd' zodat zij tussen de bollen met diameter 'D' door kunnen.

Hij verandert zijn randvoorwaarde door te starten met een bol met een fictieve diameter.
In formulevorm uitgedrukt:

$$D' = D + d$$

Wanneer men deze bollen tegen elkaar stapelt volgens het tetraedrisch patroon en vanuit het middelpunt van elke van deze bol ook een bol met kleinere diameter 'D' tekent, kan men zien dat de bol met diameter 'd' er net tussen past en de bollen met diameter 'D' net raakt.

De vullingsgraad met een
fictieve diameter van
 $D' = 0,87 \times (D + D/3)$ is : 51 %

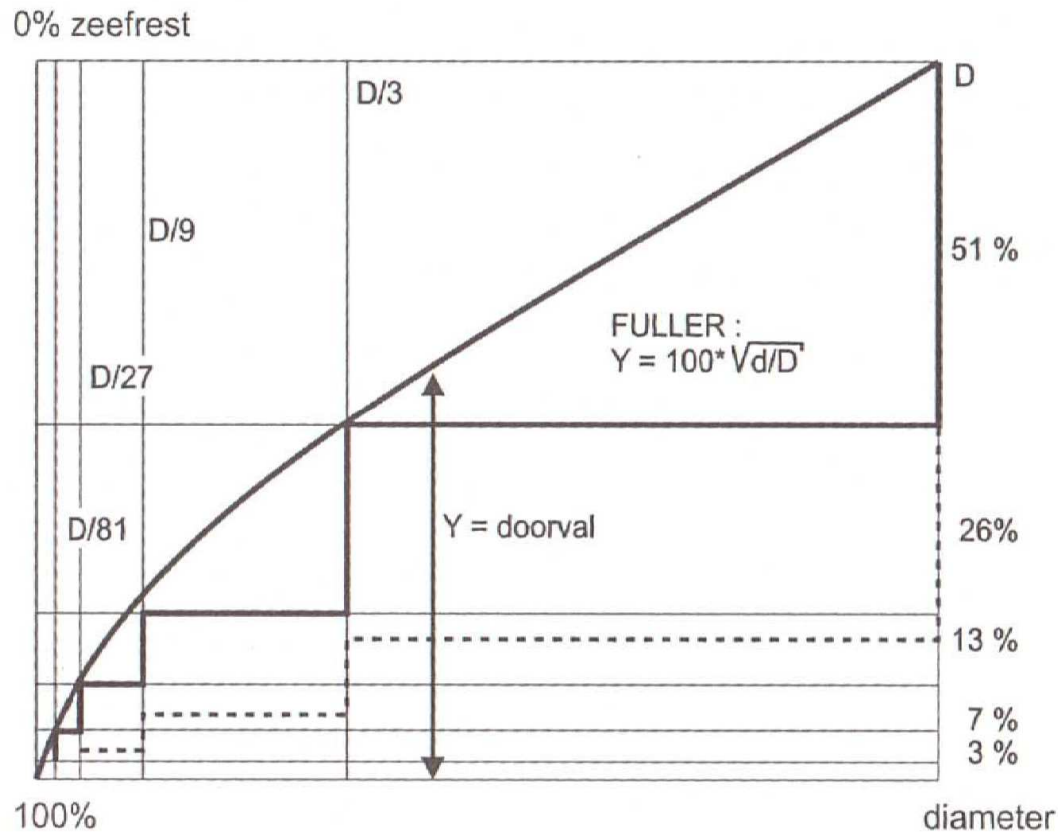


Figuur 43: Fullerhypothese; aanpassing 1

Hij heeft zijn huidige formule aangepast om de vullingsgraad te berekenen en kwam zo op een vullingsgraad van 51% voor diameter 'D' en diameter 'd' nam dan 26% in.

6.3 Aanpassing 2

Het lastigste wat hij dan deed was de diameter van de bollen continu laten variëren. Dit gaf hem een continue kromme waar hij tevens ook een benaderende formule voor vond.



Figuur 44: Fullerrhypothese; Aanpassing 2

Deze kromme noemt men 'de ideale Fullerkromme' want deze houdt rekening met de maximaal haalbare vullingsgraad. Dit geeft ons dus de ideale korrelverdeling.

6.4 Toepassing van de Fullertheorie

Zoals je ziet kan je de optimale kromme van Fuller vergelijken met de krommen van een zeefanalyse en zo je mengsel optimaliseren. Op de x-as is de diameter uitgezet, op de y-as links de zeefrest en rechts de doorval.

Om de optimale kromme van je mengsel op te stellen heb je de formule nodig.

$$Y = 100 * \sqrt{\frac{d}{D}}$$

met:

Y: De doorval door zeef met maaswijdte d.

100: De vermenigvuldigingsfactor voor een uitdrukking in %.

d: De maaswijdte van de gebruikte zeven.

D: De grootste korreldiameter van de granulaten .

Omdat we ook de fijnheidmodulus van de optimale kromme nodig hebben voor het mengsel te optimaliseren passen we de formule nog aan zodat we de gecumuleerde zeefresten krijgen i.p.v. de gecumuleerde doorval.

$$Y = 100 - (100 * \sqrt{\frac{d}{D}}) = 100 * (1 - \sqrt{\frac{d}{D}})$$

6.4.1 Voorbeeld oefening: zand 0/4

Het meest duidelijke is het maken van een oefening. We gebruiken de zeefanalyse van het zand 0/4 uit “5.6.4 de grootste korreldiameter”.

Stap 1: Aan deze tabel voegen we een kolom toe waar we de cumulatieve ideale zeefresten per maaswijdte in neerschrijven.

Stap 2: we bepalen ‘D’ via de zeefanalyse. Dit hebben we reeds gedaan in het hierboven vermelde deel.

$$D = 3,23$$

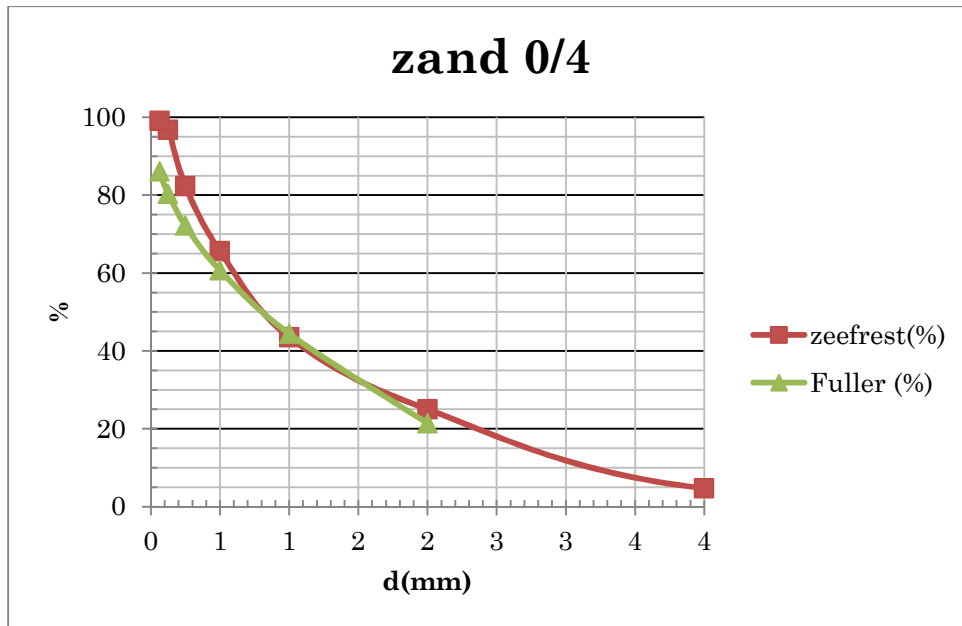
Stap 3: We passen de formule voor elke maaswijdte toe. De enige variabele is natuurlijk de maaswijdte zelf.

Dit geeft ons de ideale gecumuleerde zeefwaardes of m.a.w. de ideale korrelverdeling. Uitgedrukt in tabelvorm:

Tabel 4: voorbeeldzand 0/4 met Fuller zeefresten.

zeef	Maaswijdte	Zeefrest cumulatie f	Doorval cumulatie f	Fuller zeefrest
nr	(mm)	(%)	(%)	(%)
9	16	0,0	100	/
8	8	0,4	99,6	/
7	4	4,7	95,3	/
6	2	25,0	75,0	21,4
5	1	43,5	56,5	44,4
4	0,5	65,6	34,4	60,7
3	0,25	82,3	17,7	72,2
2	0,125	96,8	3,2	80,4
1	0,063	99,0	0,9	86,1
0	0	100,0	0	/

Wanneer we dit weergeven in dezelfde grafiek als in het vorige hoofdstuk kan je er weinig uit afleiden. Omdat de Fullerkromme gelegen is tussen maaswijdte 0,063 en 2. Daarom is de x-as aangepast en loopt deze slechts tot 4mm, om een passend beeld te geven. Zo kan je de ideale Fullerkromme vergelijken met de originele zeefkromme.



Figuur 45: grafiek Fullerkrumme vs zeefkrumme

Zoals je ziet benadert de Fullerkrumme de originele krumme vrij goed. Behalve tussen de maaswijdte 2 en 4 is er geen Fullerkrumme meer te bespeuren. Dit is zo omdat er weinig korrels met diameter 4 of groter aanwezig zijn in het zand 0/4, namelijk slechts 4,7%.

7 Een optimaal betonmengsel

Met de voorgaande theorie hebben we de ideale korrelkromme bepaald van een bepaalde granulaatsoort. Het is nu de bedoeling om met de ideale krommes van een aantal granulaatsoorten een optimaal mengsel te bekomen, m.a.w. de optimale mengverhoudingen van de verschillende granulaatsoorten.

Dit doen we met ‘de methode van de fijnheidsmodulus’.

7.1 De methode van de fijnheidsmodulus

In hoofdstuk 4 hebben we de fijnheidsmodulus van één granulaatsoort bepaald. Om tot een goed compact betonmengsel te komen moeten we van een aantal granulaatsoorten mengen. We kunnen van al deze granulaatsoorten de fijnheidsmodulus bepalen. We kunnen ook van elk soort de ideale kromme bepalen. Maar daarom hebben we nog niet een optimaal mengsel.

Wiskundig is het makkelijk aan te tonen dat de fijnheidsmodulus van het betonmengsel gelijk is aan het mengsel van de fijnheidsmoduli.

Via deze regel kunnen we een wiskundig verband opstellen waar we een som maken van de fijnheidsmoduli van de toe te passen granulaatsoorten die gelijk moet zijn aan de ideale fijnheidsmodulus van het mengsel.

$$fm1 + fm2 + \dots + fmz = fmi$$

Met;

fm1 – fmz: De individuele fijnheidsmoduli.

fmi: De ideale fijnheidsmodulus afgeleid van de Fullerzeefrezen.

Wanneer we dan als variabele de mengverhouding beschouwen, en deze vermenigvuldigen met de individuele fijnheidsmodulus, is het logisch dat de som van de mengverhouding gelijk is aan één en dit aan de kant van de ideale fijnheidsmodulus wordt vermenigvuldigd.

In formule vorm is dit zo:

$$fm1 * x1 + fm2 * x2 = fmi * 1$$

met;

x_1 : Het aanwezige percentage van granulaatsoort 1.

x_2 : Het aanwezige percentage van granulaatsoort 2

zodat;

$$x1 + x2 = 1$$

Hieruit volgt;

$$fm1 * x1 + fm2 * (1 - x1) = fmi$$

$$fm1 * x1 + fm2 - x1 * fm2 = fmi$$

$$(fm1 - fm2) * x1 = fmi - fm2$$

Dit geeft ons de mengverhoudingen als volgt;

$$x1 = \frac{fmi - fm2}{fm1 - fm2}$$

$$x2 = 1 - x1$$

Opgelet! Het nadeel van deze methode is dat het mengsel telkens maar uit twee bestanddelen mag bestaan.

Wanneer we een derde granulaatsoort willen toevoegen kan dit door de mengeling van de eerste twee granulaatsoorten als bijvoorbeeld ' x_1 ' te beschouwen en de derde granulaatsoort als ' x_2 '. Hierna kan je gewoon het proces zoals hierboven herhalen. Je start met de twee fijnste granulaatsoorten en voegt de eerstvolgende grovere toe.

Het resultaat wordt enerzijds bepaald door de keuze van de juiste zeven maar voornamelijk door de waarde van 'D'.

Hoe beter de keuze van de zeven hoe correcter de ideale korrelkromme kan worden benaderd. 'D' heeft vooral invloed op de juiste mengverhouding.

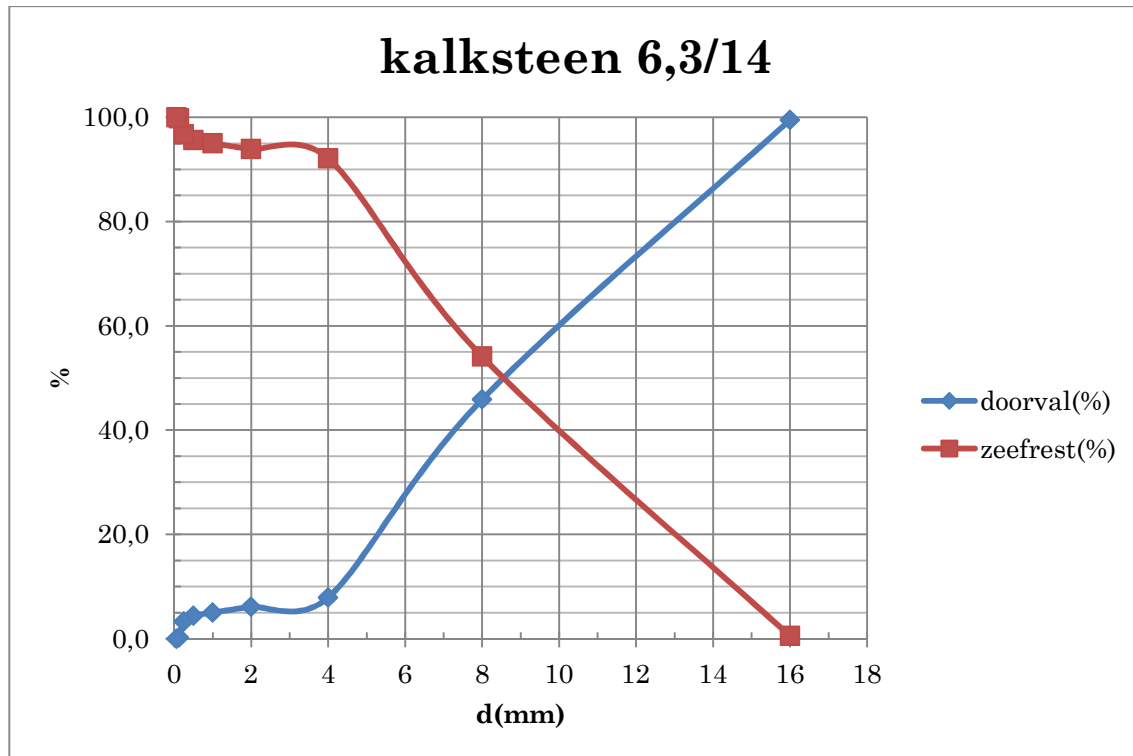
7.2 Voorbeeld oefening: zand 0/4 en kalksteen 6,3/14

Als voorbeeld nemen we het zand 0/4 vanuit deel: "5.4 Toepassing van de Fullertheorie" samen met een kalksteen. De kalksteen is de grofste van de twee en hieruit bepalen we dus de 'D'.

Tabel 5: zeefanalyse voorbeeld kalksteen 6,3/14

zeef	Maaswijdte	Zeefrest	Doorval
		cumulatief	cumulatief
nr	(mm)	(%)	(%)
9	16	0,5	99,5
8	8	54,1	45,9
7	4	92,1	7,9
6	2	93,9	6,1
5	1	95	5,0
4	0,5	95,6	4,4
3	0,25	96,7	3,3
2	0,125	99,8	0,2
1	0,063	100,0	0,0
0	0	100,0	0,0

We bepalen 'd' bij Zeefrest 85%= 13,8mm en bij 15%= 4,8mm. Hieruit kunnen we 'D' halen. We doen dit volgens de analytische methode.



Figuur 46: grafiek zeefanalyse kalksteen 6,3/14

De richtingscoëfficiënt:

$$a = \frac{85 - 15}{13,8 - 4,8} = 7,78$$

Voor 'b' vinden we:

We vullen $(y_1, x_1) = (85, 13,8)$ in de formule in:

$$85 = 7,78 * 13,8 + b$$

En halen 'b' eruit:

$$b = 85 - (7,78 * 13,8) = -22,364$$

Nu we beide variabelen kennen is het functievoorschrift van onze rechte lijn compleet en kunnen we de coördinaten van gelijk welk ander punt op de lijn bepalen.

$$y = 7,78 * x - 22,36$$

Nu kunnen we de x-coördinaat bepalen van het punt op de lijn waarvan het y-coördinaat gelijk is aan 100.

$$100 = 7.78 * x - 22.36$$

$$x = \frac{100 + 22.36}{7.78} = 15.72$$

Deze x-waarde is de 'D' die we zoeken en dus de grootst aanwezige korreldiameter.

$$D = 15.72$$

Deze waarde wordt ingevuld in de formule van Fuller.

$$Y = 100 * (1 - \sqrt{\frac{d}{15.72}})$$

De uitkomsten worden uitgedrukt in tabelvorm.

Tabel 6: kalksteen 6,3/14 met Fuller zeefresten.

zeef	Maaswijdte	Zeefrest cumulatief	Doorval cumulatief	Fuller zeefrest
nr	(mm)	(%)	(%)	(%)
9	16	0,5	99,5	/
8	8	54,1	45,9	28,68
7	4	92,1	7,9	49,57
6	2	93,9	6,1	64,34
5	1	95	5,0	74,79
4	0,5	95,6	4,4	82,17
3	0,25	96,7	3,3	87,39
2	0,125	99,8	0,2	91,09
1	0,063	100,0	0,0	93,67
0	0	100,0	0,0	/

De volgende stap is de fijnheidmoduli bepalen. De fijnheidsmodulus is de som van de gecumuleerde zeefresten van de zeven gedeeld door honderd. Voor zand gaat dit van de zeef van 4mm – 0.125mm en voor het kalksteen van zeef 8mm – 0,125mm. Voor de ideale Fullerkromme gaat is dit zeef 8mm – 0.125mm.

Voor zand 0/4:

$$fm1 = \frac{4,7 + 25 + 43,5 + 65,6 + 82,3 + 96,8}{100} = 3,179$$

Voor Kalksteen 6,3/14:

$$fm2 = \frac{54,1 + 92,1 + 93,9 + 95 + 95,6 + 96,7 + 99,85}{100} = 6,272$$

Voor de ideale Fullerkromme:

$$fmi = \frac{28,68 + 49,57 + 64,34 + 74,79 + 82,17 + 87,39 + 91,09}{100} = 4,78$$

De laatste stap is de mengverhoudingen bepalen:

$$x1 = \frac{fmi - fm2}{fm1 - fm2}$$

$$x2 = 1 - x1$$

$$x1 = \frac{4,78 - 6,272}{3,179 - 6,272} = 0,48$$

$$x2 = 1 - x1 = 0,52$$

De mengverhoudingen zijn dus:

$$x1 = 48\%$$

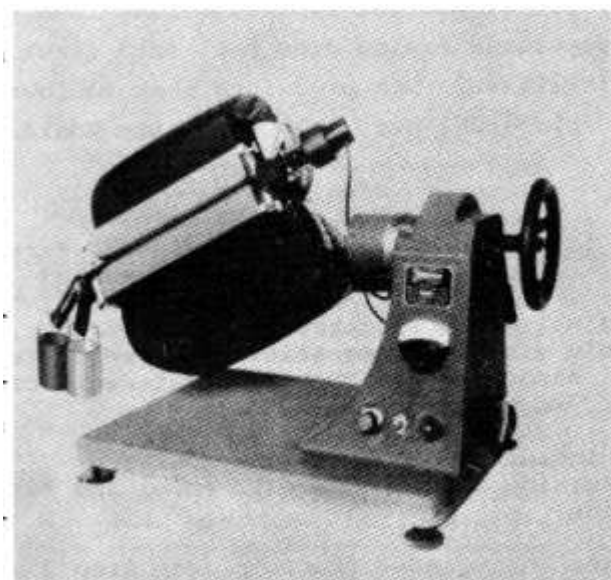
$$x2 = 52\%$$

8 Drukproef

8.1 Proloog

Bij deze proef is het de bedoeling om beton te maken met het ontgonnen glauconiethoudend zand. Om een conclusie te trekken uit de resultaten van de drukproeven van beton met glauconiethoudend zand, moeten we een vergelijking kunnen maken. Dit is geen makkelijke opgave want in principe moeten we net hetzelfde zand toevoegen zonder het glauconiet gehalte. [13]

Men kan de glauconietkorrels fysisch scheiden van het zand d.m.v. de Frantz Magnetic Separator. Dit is een apparaat dat deeltjes d.m.v. magnetisme scheidt. Aangezien glauconiet vol metalen zit vormt dit geen probleem.



Figuur 47: Frantz Magnetic Separator

Jammer genoeg is dit apparaat niet in elk labo voorhanden en hebben we een alternatieve oplossing moeten aanwenden. We zijn opzoek gegaan naar een vergelijkbaar zand. Om tijd te besparen en de proeven op de juiste manier uit te voeren zijn de proeven uitgevoerd in het labo van de betoncentrale van Interbeton gelegen te Genk. Daar hebben we dan ook een vrij vergelijkbaar zand gevonden.

De betonsamenstelling is ook opgemaakt met het programma dat daar wordt toegepast. Het programma is gebaseerd op een gelijkaardige ideale kromme als Fuller. Er werd wel geëist dat er geen document of foto's worden gedeeld die te maken hebben met dat programma.

8.2 Beschrijving van de proef

Bij een drukproef wordt de druksterkte van beton getest. Het beton staat onder druk wanneer het een belasting langs boven ondervindt. We testen de druksterkte van beton door de breukspanning te meten van een door enkelvoudige druk belast betonnen proefstuk.

De belasting wordt aangewend door een elektronisch aangestuurde drukpers. Hieronder zie je een foto van een drukpers. De drukkracht neemt toe volgens een in de norm voorgeschreven snelheid. De drukpers oefent een kracht uit op het proefstuk totdat het begeeft. De kracht daarvoor nodig is de breukbelasting. De meest gebruikte vormen voor de proefstukken zijn kubussen en cilinders. [6], [7], [27]



Figuur 48: drukbank

De druksterkte wordt berekend volgens de volgende formule;

$$f_{c, cub} = \frac{F_{max}}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

met;

$f_{c, cub}$: kubusdruksterkte (N/mm²)

F_{max} : breukbelasting (N)

A : dwarsdoorsnede van het proefstuk (mm²)

De waarde is voornamelijk afhankelijk van de betonsamenstelling en de ouderdom van het beton. Met de betonsamenstelling bedoelen we de aanhechtingskracht tussen het cementsteen en de granulaten. En de sterkte van beide materialen afzonderlijk.

Bijkomende invloeden zijn:

- De omstandigheden waarin het beton bewaard wordt.
- De vorm en de afmetingen van het proefstuk.
- De effenheid van het contactoppervlak van de persplaat.
- De effenheid van het contactoppervlak van het proefstuk.
- De snelheid waarmee de belasting wordt aangebracht.

Het beton voor het proefstuk wordt gestort in een mal waarvan de binnenzijde 150mm meten.



Figuur 49: mal betonkubus

Het betonnen proefstuk wordt 24 uur na het storten uit de mal ontkist en opgeslagen in een watertank waar het proefstuk wordt ondergedompeld in water met een constante temperatuur van $18 \pm 3^\circ\text{C}$.



Figuur 50: watertank betonproef

Na 7, 14 of 28 dagen worden de proefstukken getest. Op 28 dagen wordt de eindsterkte bereikt.

Hieronder is een foto zichtbaar van een getest proefstuk. De zichtbare breukvlakken vallen bij benadering onder een hoek van 45° naar het centrum van de kubus toe. Dit wijst op een hoge homogeniteit wat de sterkte optimaal beïnvloed heeft.



Figuur 51: geteste betonkubus

De richtlijnen omtrent een drukproef worden uitgelegd in de NBN EN 12390-2

De sterkteklasse van beton wordt uitgedrukt als bijvoorbeeld C25/30. Waar het eerste getal de karakteristieke druksterkte uitgeoefend op een cilindrisch proefstuk uitdruk, en het tweede getal de karakteristieke druksterkte uitgeoefend op een kubusvormig proefstuk. De waardes zijn uitgedrukt in N/mm^2 . [6], [27]

8.3 Uitvoering van de proef

Binnen het programma van Interbeton kan je een keuze maken tussen verschillende samenstellingen. Hier wordt dan telkens ook een proefstaal van gemaakt. Het programma vormt de nodige hoeveelheden om naar een testmengsel van 40liter waar proeven mee kunnen uitgevoerd worden. Aangezien de materialen buiten gestockeerd worden houdt het programma rekening met de in te geven vochtpercentages van de te gebruiken materialen.

8.3.1 Aannames

De eerste stap was het bepalen van de toe te passen materialen. Er werd een samenstelling opgebouwd waarmee het glauconiethoudend zand een maximaal gehalte kon aannemen in het mengsel rekening houdend met de optimale homogeniteit en sterkte-eigenschappen.

Ook was het wijselijk om als cement de CEM I 52,5 R LA te kiezen, dit is zuiver portlandcement zonder slak of vliegash. Hieruit zal de werking van het glauconiet het duidelijkst blijken.

8.3.2 Voorbereidingen

De gebruikte materialen worden aangevoerd naar het labo d.m.v. een kruiwagen. Van deze materialen wordt dan een staal genomen waar het vochtgehalte van wordt bepaald zoals in deel “5.4 bepaling van het vochtgehalte”.



Figuur 52: opslagplaats granulaten

Het drogen gebeurde a.d.h.v. een gasbrander in een gietijzeren plaat.



Figuur 53: drogen van de granulaten

8.3.3 De samenstellingen

De betonsamenstelling met het westerschelde zand bevatte de volgende componenten:

- 14kg CEM I 52,5 R LA
- 16,073kg Westerschelde zand 0/1
- 15,765kg Grensmaas 0/4
- 42,44kg Kalksteen 2/16
- 5,602kg water

De betonsamenstelling met het glauconiethoudend zand bevatte de volgende componenten:

- 14kg CEM I 52,5 R LA
- 15,686kg glauconiethoudendzand 0/1
- 15,396kg Grensmaas 0/4
- 42,377kg Kalksteen 2/16
- 6,421kg water

Het mengsel wordt geleidelijk aan toegevoegd aan een horizontale betonmolen.



Figuur 54: mengen van de granulaten

8.3.4 De resultaten

Hieruit hebben we zes proefstukken gemaakt die we hebben gewogen en gedrukt met de volgende resultaten;

Tabel 7: resultaten drukproef Westerschelde zand

proefstuk	Gewicht	oppervlak	breukspan ning	Fmax
nr	(kg)	(mm ²)	(N/mm ²)	(kN)
1	8,34	2,25*10 ⁴	63,19	1421,77
2	8,36	2,25*10 ⁴	62,85	1414,13
3	8,38	2,25*10 ⁴	63,79	1435,28
4	8,42	2,25*10 ⁴	58,64	1319,40
5	8,43	2,25*10 ⁴	60,37	1358,33
6	8,37	2,25*10 ⁴	64,36	1448,10

We hebben hetzelfde gedaan voor het glauconiethoudend zand met een aangepaste samenstelling.

Tabel 8: resultaten betondrukproef glauconiethoudend zand

proefstuk	Gewicht	oppervlak	breukspanning	Fmax
nr	(kg)	(mm ²)	(N/mm ²)	(kN)
1	8,2	2,25*10 ⁴	57,94	1303,65
2	8,17	2,25*10 ⁴	59,69	1343,03
3	8,18	2,25*10 ⁴	59,89	1347,53
4	8,21	2,25*10 ⁴	60,41	1359,23
5	8,23	2,25*10 ⁴	60,37	1358,33
6	8,19	2,25*10 ⁴	58,75	1321,88

Op de volgende foto ziet u het getest proefstuk. Dit kan beschouwd worden als een ‘normaal’ breukpatroon



Figuur 55: gedrukt betonkubus; glauconiethoudend zand

8.4 Statistische verwerking van de proefresultaten

Wanneer men breukspanningen van beide betonsoorten vergelijkt zou men kunnen besluiten dat het ‘standaard beton’ sterker is. Deze conclusie kan worden gerelativeerd door een statistische analyse.

De bedoeling is om de zes resultaten tot één resultaat te herleiden en dit per betonsoort.

In de betonindustrie worden er dagelijks enorme hoeveelheden beton geproduceerd met telkens dezelfde materialen. Om de kwaliteit van die bepaalde betonsoort te garanderen worden er dagelijks proeven uitgevoerd. Deze proeven zullen natuurlijk onderling afwijken. Om één betonproductie, met verschillende drukproeven, tot één bepaalde sterkteklasse te benoemen werd de ‘karakteristieke druksterkte’ in het leven geroepen.

Deze karakteristieke waarde wordt bepaald door een analyse van de proefresultaten in een curve van Gauss.

8.4.1 De normaalverdeling van Gauss

Wanneer men meerdere malen beton maakt, met telkens dezelfde materialen, dan wordt telkens dezelfde kwaliteit nagestreefd. Doordat we telkens dezelfde kwaliteit verwachten, verwachten we natuurlijk ook een normale verdeling en mag het principe van Gauss worden toegepast.

Gauss richtte volgende functievoorschrift op;

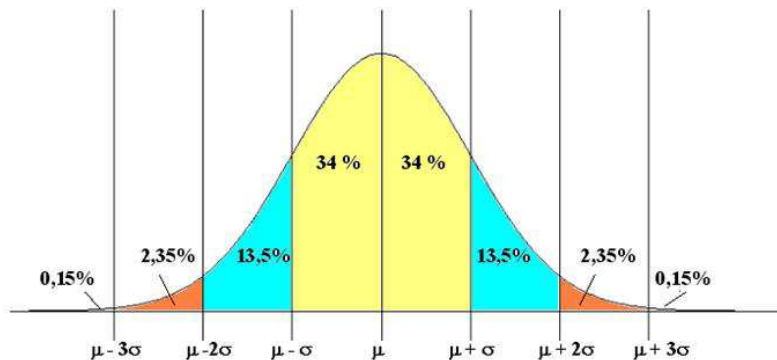
$$y = \frac{1}{s \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2s^2}}$$

Deze vergelijking stelt de verdeling van een bepaalde meting voor in een curve, rekening houdend met twee parameters, namelijk het gemiddelde en de standaardafwijking.

De standaardafwijking geeft een beeld van de spreiding van de verdeling en is een maat voor de afstand tussen onderlinge waarden. [26]

8.4.2 De analyse van een Gausscurve

De Gauss-curve zegt dat voor elk soort meting, waarvan men een normale verdeling verwacht, het resultaat met zijn gemiddelde en zijn standaard afwijking altijd dezelfde verdeling zal hebben. In figuur 56 ziet men dat $\pm 68\%$ van de metingen ligt tussen de grenzen van $+$ en $-$ één standaard afwijking t.o.v. het gemiddelde. [26]



Figuur 56: Gauss-curve

Wanneer we deze analyse willen toepassen op de betondruksterkte worden de variabelen ingevuld en ziet het functievoorschrift er als volgt uit:

$$y = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(fci-fcm)^2}{2s^2}}$$

Met:

y: de kansdichtheid

s: de spreiding;

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (fci - fcm)^2}{n - 1}}$$

fcm: de gemiddelde betondruksterkte

$$fcm = \frac{\sum_{i=1}^n fci}{n}$$

n: het aantal proeven

fci: één individueel resultaat

8.4.3 De karakteristieke druksterkte f_{ck}

Dankzij de Gauss-curve is het eenvoudig om een grens van aanvaardbaarheid in te stellen. De Belgische norm schrijft voor dat slechts 5% van de resultaten van de drukproeven lager mag zijn als de karakteristieke drukwaarde.

De voorwaarde wordt een vraag: ‘Wat is de karakteristieke druksterkte wanneer men rekening houdt met de 5%-grens, als men het gemiddelde en de standaardafwijking kent’.[26]

In formule vorm:

$$f_{ck} = f_{cm} + k s$$

Met:

f_{ck} : De karakteristieke druksterke van beton na 28 dagen.

f_{cm} : De gemiddelde druksterkte van beton na 28 dagen.

s : de standaardafwijking

k : de k-waarde

Deze waarde ligt vast in tabelvorm en is afhankelijk van de waarschijnlijkheid P . Hij komt overeen met een bepaalde oppervlakte onder de Gauss-curve.

Tabel 9: waarschijnlijkheid van onderschreiden

	Onderschrijdingskans										
Waarschijnlijkheid P (%)	0,1	1	5	16	20	50	80	84	95	99	99,9
k-waarde	-3,10	-2,33	-1,64	-1	-0,84	0	0,84	1	1,64	2,33	3,10

Wanneer een waarschijnlijkheid van onderschreiden van 5% wordt geëist geeft dit ons de volgende k-waarde.

$$k = -1,64$$

Wanneer men deze formules zou toepassen voor de reeds bekomen betondrukproeven, en men ze nadien zorgvuldig analyseert, kan men de eerder gemaakte conclusie misschien relativiseren.

8.4.4 Toepassing van de curve van Gauss

We starten met het bepalen van het gemiddelde voor beide betonsoorten $f_{cm,ws}$ en $f_{cm,gl}$.

$$f_{cm,ws} = \frac{63,19 + 62,85 + 63,79 + 58,64 + 60,37 + 64,36}{6} = 62,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm, gl} = \frac{57,94 + 59,69 + 59,89 + 60,41 + 60,37 + 58,75}{6} = 59,51 \text{ N/mm}^2$$

Het verschil tussen de twee gemiddelden is $\pm 3 \text{ N/mm}^2$. Nu Dienen we de spreiding voor beide te bepalen.

$$S_{ws} = \sqrt{\frac{(63,19-62,6)^2 + (62,85-62,6)^2 + (63,79-62,6)^2 + (58,64-62,6)^2 + (60,37-62,6)^2 + (64,36-62,6)^2}{6-1}} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{gl} = \sqrt{\frac{(57,94-59,51)^2 + (59,69-59,51)^2 + (59,89-59,51)^2 + (60,41-59,51)^2 + (60,37-59,51)^2 + (58,75-59,51)^2}{6-1}} = 0,98 \text{ N/mm}^2$$

De laatste stap is het bepalen van de karakteristieke waarde;

$$f_{ck, ws} = 62,6 - 1,64 * 2,22 = 58,96 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck, gl} = 59,51 - 1,64 * 0,98 = 57,9 \text{ N/mm}^2$$

8.5 Resultaten analyse

Wanneer men de resultaten vergelijkt ziet men dat de resultaten van het ‘standaard’ beton lichtelijk hoger liggen. Het verschil bedraagt ongeveer 1 N/mm^2 . Uiteindelijk, als er nog meer drukproeven zouden uitgevoerd zijn, kan het verschil zelfs nog kleiner worden.

Op zich is dit zeker geen slecht resultaat. Men moet er ook rekening mee houden dat het beton met een zand gemaakt is wat lijkt op het westerschelde zand. Dit westerschelde zand wordt na het ontginnen ontdaan van alle onzuiverheden. Het glauconiethoudend zand komt uit een sleuf van wegenwerken en hier kunnen altijd afwijkingen inzitten zoals organische materialen, kleideeltjes, onzuiverheden in het aanwezige grondwater en het zand zelf kan natuurlijk wat de korrelopbouw betreft ook afwijken.

9 Mortelproef

9.1 proloog

Deze proef is uitgevoerd na overleg met de promotor(en). Het idee achter deze proef is dat het aandeel van het zand groter wordt, het glauconiethoudend zand bedraagt slechts 17% van het betonmengsel. Met behulp van de oppervlaktedelfstoffenkaart zou dit zand tussen de 40 en 50 % glauconiet bevatten. Er zal dus maximaal 8,5% glauconiet aanwezig kunnen zijn in het beton.

Met de mortelproef zijn er buiten zand geen andere granulaten aanwezig. Hierdoor kunnen we de invloed van het glauconiet hopelijk beter analyseren.

9.2 De proef

Het opzet van deze proeven is het testen van mortelbalkjes. De mortel bestaat uit cement, water en zand. Hier is slechts één variabele en dat is het cement. De proef wordt steeds uitgevoerd met een standaard zand, namelijk 'CEN standard sand'.

Dit zand is een zeer rond zand wat voor 98% uit kwarts bestaat. Het wordt verpakt in plastic zakken van 1350g, dit gewicht is zo bepaald om net één mengsel te kunnen maken. [5]

9.2.1 Benodigheden en werking van de proef

De exacte richtlijnen worden uitgelegd in de norm EN 196-1 en de Belgische norm NBN EN 1015-11.

Het mengsel wordt gemaakt in een kom die plaatsvindt in een mixer. Deze mixer is beschreven in de norm EN 196-1. De mixer moet beschikken over twee snelheden. De kom moet een maximale inhoud hebben van 5l. Het mengsel van mortel en water wordt eerst gemengd op een lage snelheid waarna men de snelheid verhoogt en geleidelijk aan het zand toevoegt. [5], [19]



Figuur 57: mortelmenger

Het mengsel bestaat uit:

- 450g cement
- 1350g standaard zand
- 225g water

Na het mengen worden de mallen gevuld. De mallen zijn uit staal vervaardigd, met plaats voor drie mortelbalkjes van 40x40x160mm. Alle delen van de mal zijn afneembaar om de proefopstelling zo zuiver mogelijk te houden. Tijdens de proef worden de balkjes wel sterk aangedrukt door een ingebouwde bankschroef.



Figuur 58: mal mortelbalkjes

De mal wordt op een schudtafel geplaatst en zorgvuldig gevuld in vier lagen. Elke laag wordt afgestreaken met een afstrijkplaatje dat als breedte precies de binnen afmeting van de mal heeft. Na elke laag wordt er ook verdicht d.m.v. de schudtafel.



Figuur 59: schudtafel

Wanneer de mal volledig gevuld is plaatst men de met-mortel-gevulde-mal in een vochtige ruimte met een gewaarborgde vochtigheid van 90% en een temperatuur van 20°C.

Na 28 dagen wordt de mal uit de vochtige ruimte gehaald en worden de mortelbalkjes van de mal ontdaan, klaar om te testen.

Het testen gebeurt op een elektronisch gestuurde drukbank. Hier worden de balkjes eerst onderworpen aan de driepuntsbuigproef waardoor er twee helften ontstaan het resultaat hiervan is de haalbare trekkracht van de mortel. Deze twee helften worden nadien gedrukt aan de vlakke zijden met als resultaat de haalbare drukkracht van de mortel. [5], [19]



Figuur 60: driepuntsbuigproef mortelbalkje



Figuur 61: drukproef mortelbalkje

9.2.2 Aanpassing van de proef

Zoals reeds aangehaald is het niet de bedoeling om de sterktes van verschillende cementsoorten te vergelijken, maar de invloed van het glauconiethoudend zand te bepalen. We hebben daarmee het standaard zand vervangen door het glauconiethoudend zand en hiermee proefstukken gemaakt.

Bij het maken van het mengsel bleek snel duidelijk dat het mengsel veel te droog bleef.

De reden hiervan is, naar alle waarschijnlijkheid, dat het glauconiethoudend zand veel meer water opneemt dan het standaard zand. De mogelijke reden hiervan is dat het glauconiethoudend zand veel fijner is van opbouw dan het standaard zand.

Hieronder zie je een tabel met de vereiste zeefspecificaties van het standaard zand.

Tabel 1010: zeefanalyse CEN standard sand

Maaswijdte(mm)	2	1,6	1	0,5	0,16	0,08
Cummulatieve zeefrest (%)	/	7 ±5	33±5	67±5	87±5	99±1

Als we dit vergelijken met “tabel 1: zeefanalyse glauconiethoudend zand” dan zien we dat er boven de zeef van 1mm bij het glauconiethoudend zand slechts 2,58% ligt en boven de zeef van 0,5mm slechts 6% ligt. Bij het standaardzand ligt er respectievelijk 33% en 67%. Dit is natuurlijk veel meer, wat er op wijst dat er in het glauconiethoudend materiaal veel meer fijn materiaal aanwezig is. Een groter gehalte aan fijne granulaten voor dezelfde totale hoeveelheid zorgt voor een verhoging van de totale buitenoppervlakte van de granulaten wat leidt tot meer wateropname.

Doordat het mengsel te droog is zijn de balkjes te poreus en is de aanhechting van de materialen te beperkt. Dit heeft negatieve invloed op de sterkte van de mortel. Op de volgende foto zie je het verschil tussen een normaal mortelbalkje en het aangepaste.



Figuur 62: standaardmortelproef links aangepaste proef rechts

De aangepaste mortel was zelfs zo poreus dat er bij de driepuntbuigproef geen waarde van de machine afleesbaar was. Ook de drukproef resulteerde negatief.

Deze proef kan men dus als ‘mislukt’ beschouwen.

10 Conclusie en toekomstvisie

Om een conclusie te treffen is het logisch dat er wordt teruggekeken naar de onderzoeksvragen die op het begin van deze thesis zijn opgesteld.

- Heeft glauconiet daadwerkelijk een positief effect op de betondruksterkte?

Antwoord: Hier is nog geen eenduidig antwoord voorhanden. Als we de karakteristieke sterkte van beide betonmengsels met elkaar vergelijken, is er weinig verschil. Dit spreekt voor zich dat het alleszins geen negatief effect heeft. De theoretische vergelijking met vliegas lijkt ook gegrond maar er is nog geen praktisch bewijs dat het daadwerkelijk een positief effect teweeg brengt.

- Zoja, zijn er grenswaarden voor de hoeveelheid glauconiet in beton?

Antwoord: voor vliegas zijn er in de normen grenswaarden opgegeven dus wellicht zal dit voor het glauconietgehalte ook zo zijn. Het vliegas vervangt cement maar cement is natuurlijk nooit volledig vervangbaar. Zie ook “4.3.1.2 vliegas als gedeeltelijke cementvervanger”

- Glauconiet komt voor in zand; is dat zand altijd rechtstreeks geschikt voor het maken van een betonmengsel?

Antwoord: neen, wanneer men gelijk welk boek over betontechnologie openslaat wordt er aangewezen dat de granulaten moeten ontdaan worden van alle onzuiverheden. Wanneer er geen specifieke eisen zijn voor het beton, zoals voor bepaalde funderingen of onderfunderingen van wegeniswerken, komt het voor dat ter plaatse ontgonnen zand hergebruikt wordt in beton. Of dit zand dan geschikt is voor het gewenste beton wordt dan puur op oordeelkundigheid bepaald.

- Indien men het zand dient te zuiveren, wat dan met de kostprijs?

Antwoord: tot op deze hoogte is deze thesis niet geraakt. Deze berekening zal pas van toepassing zijn wanneer er geconcludeerd wordt dat glauconiet effectief een positief effect heeft op het beton

- Is het mogelijk glauconiet uit het zand te halen, om dit zo in combinatie met cement te testen?

Antwoord: Ja, dit kan door middel van de Frantz Magnetic Separator. Dit kan jammer genoeg niet op grote schaal. De Separator verwerkt slechts enkele honderden grammen per keer. Om een grote hoeveelheid glauconiet te scheiden van zand om dan aan grote hoeveelheden mengsels toe te voegen is nog niet mogelijk maar de techniek bestaat er dus wel voor.

- Indien het glauconiet in zijn zuivere vorm kan toegediend worden en de resultaten positief uitdraaien is dit dan verantwoord voor de kostprijs van beton?

Antwoord: Hiervoor zal een kostprijsberekening nodig zijn die de vergelijking maakt tussen het scheiden van het glauconiet uit het zand en de kostprijs van het te vervangen cement.

- Welke proeven kunnen we uitvoeren?

Het antwoord op deze onderzoeksvraag geeft ook een zicht op de toekomst van deze thesis maar ook van het mineraal zelf.

Antwoord 1: Tot hiertoe is er slechts één zandsort getest, in de toekomst zouden er proeven kunnen volgen waar men zanden van andere plaatsen ontgint. Als we refereren naar de oppervlaktedelfstoffenkaart in deel “4.2.3 Voorkomen”, dan zien we, afhankelijk van waar men het zand ontgint, dat het glauconietgehalte zelf fluctueert.

Antwoord 2: Om de invloed van het glauconiet gehalte in beton te testen, is het wellicht noodzakelijk om een grove zandsort met een bepaald glauconiet gehalte te combineren met een, zoals in deze thesis, fijne zandsort. Hier kan men dan ook weer verschillende combinaties van verschillende zandsorten uitvoeren om zo het totale glauconietgehalte in het beton stelselmatig te laten stijgen en hiervan het effect te bestuderen. Zo bekomt men hopelijk de grenzen zoals dat voor vliegas reeds voor handen is.

Antwoord 3: Er zijn nog geen proeven uitgevoerd waar er zuivere glauconiet werd toegevoegd aan het beton. Om het effect te testen en om rekening te houden met de

aanwezige onzuiverheden in het ontgonnen zand, lijkt het me toch het meest verantwoord om zuiver glauconiet toe te voegen aan het standaard zand van de mortelproef. De nodige hoeveelheid zal daarbij niet zo onoverkomelijk zijn wat de moeilijkheidsgraad bevordert. Tevens zou men ook mortelbalkjes kunnen maken met variërende hoeveelheden glauconiet. Zo kan er wellicht ook een antwoord komen op de tweede onderzoeksvraag.

Zoals je in deel “4.3.3 invloed op de puzzolaniciteit” kan lezen heeft de fijnheid van het vliegassand invloed op de puzzolaniciteit. Het glauconiet heeft als eigenschap dat het te verpulveren is, waardoor de fijnheid stijgt. Hier hebben we in de uitgevoerde proeven geen rekening mee gehouden. Dit kan men ook als variabele beschouwen tijdens de proeven met mortelbalkjes.

Men zou nadien ook een onderzoek kunnen uitvoeren naar de gevormde chemische verbindingen. Dit kan door het maken van slijpplaatjes die men dan onder een elektronenmicroscop kan plaatsen.

Appendices

A. Bepaling van het vochtgehalte met behulp van de Pyknometer.

BEPALING VAN DE DICHTHEID VAN DE DEELTJES EN DE WATEROPNAME

(NBN EN 1097-6 (1e uitg. 2000 en A1 1e uitg. 2006))

Nr. Inschrijving	:	Aannemer	:
Datum in	:	Werf	:
Datum proef	:	Aanvraag	:
Type	:	Verslag	:
Opmerkingen	:		

Het delen van laboratoriummonsters (NBN EN 932-2) is niet uitgevoerd., volgens §8. met de spleetverdeler. §10. door kwartering.

§ 9. Methode met de pyknometer voor granulaten tussen 0,063 mm en 4 mm.

Alg. I.v.m. de wateropsorping is het aangeraden om het monster vooraf niet te drogen. Indien dit toch is gebeurt, vermelden op rapport. Granulaten samengesteld uit verschillende klassen, voor de proef opdelen (% per deel vermelden op rapport) en beproeven in deze klassen. Voor granulaten door de 4mm en geheel op de 2mm (2/4) mag de methode §8. voor granulaten van 4mm tot 31,5mm gebruikt worden. (Contr.: $\rho_{ssd} = 1 + \rho_{rd} - \rho_a$)

Proef: Was het monster op 4 mm en 0,063 mm en verwijder also het fijner en grover deel. Dompel het monster (min. 1kg) onder in een pyknometer met gezuiverd water van $22 \pm 3^\circ\text{C}$ en zorg dat er geen luchtbelletjes meer aanwezig zijn (door roeren/draaien en vacuüm gedurende 5 min. bij $\leq 0,3$ bar). Plaats de pyknometer gedurende $24 \pm 0,5$ u in een waterbad van $22 \pm 3^\circ\text{C}$. Hierna op ev. luchtbelletjes nazien en deze verwijderen door voorzichtig roeren/draaien. Afhankelijk van de pyknometer: vul met gezuiverd water op temperatuur, plaats stop en droog de buitenzijde. Weeg nu (M2) en noteer de temperatuur van het water. Decanteer (dit indien mogelijk zonder materiaalverlies) het water en ledig de pyknometer op een plateau en spreidt het doorweekte monster. Laat het monster drogen (frequent opmengen en ev. onderworpen aan een zwakke warme luchtstroom zoals van een haardroger of geventileerde oven op $\leq 30^\circ\text{C}$) tot er geen oppervlakkig vocht meer waarneembaar is en de korrels niet meer kleven. Indien nodig al mengend afkoelen tot omgevingstemperatuur. Ter controle of het monster oppervlakkig droog is, plaats de metalen conus met zijn grootste opening op de bodem van de plateau. Vul de conus via de kleinste opening, stijk gelijk af en verdicht 25 maal zachtjes (zonder de conus van plaats te duwen) met de stamper. Hef nu de conus langzaam recht omhoog. Indien de kegel niet ineensinkt, ga verder met drogen. Is er geen top meer zichtbaar en het oppervlakte gebogen, dan is het monster reeds te droog (terug licht bevochtigen door verstuiwen van gezuiverd water en goed omroeren, hierbij opletten dat oppervlakkig het vocht niet waarneembaar is=mat). Het monster is voldoende oppervlakkig droog indien de kegel bijna totaal ineensinkt, maar de top toch nog goed zichtbaar blijft en de zijvlakken regelmatig lineair zijn (M1). Droog nu verder bij $110 \pm 5^\circ\text{C}$ tot cst. massa (M4) (per 1u, < 0,1% verschil).

Resultaat

Watertemperatuur ($^\circ\text{C}$) : Vol.massa water (Mg/m³) :

Proef	Nr.Pyk.	Vol.Pyk. (ml)	Mas.Pyk. (g)	Pyk+dr.aggr. (g)	Pyk.uit bad M2 (g)	Aggr.luchtdr. M1 (g)	Aggr.droog M4(g)	
1							1e weg.	2e weg.
2								
3								
4								

Proef	ρ_a (Mg/m ³)	ρ_{rd} (Mg/m ³)	ρ_{ssd} (Mg/m ³)	WA ₂₄ (%)	droge massa	
1						
2						
3						
4						
Gem.						

Monster voorafgaand aan de proef gedroogd : Ja / Neen

Monster voor de proef opgedeeld in klassen :

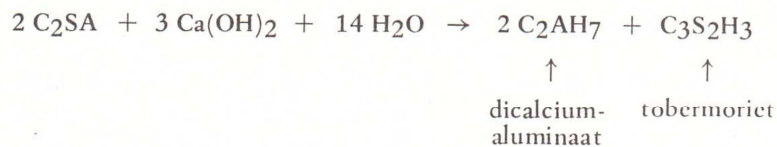
ρ_a = Absolute Volumemassa
 ρ_{rd} = Reële Volumemassa na volledige droging
 ρ_{ssd} = Absolute Volumemassa na oppervlakkige droging
 WA₂₄ = Wateropname na 24u onderdompeling

In water (d/t)	
Uit water (d/t)	
Thermometer	
Oven	
Balans	

Uitvoerder :

Resultaat-
kontrolle :

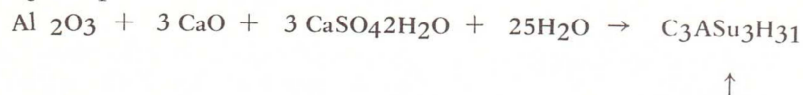
B. Chemische reacties van hoogovenslak.



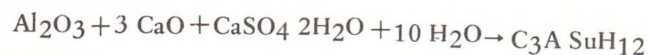
Er ontstaan ook ten dele hydro-granaten C_2SAnH .

Wanneer metaalcement een aanzienlijk gehalte portlandklinker bevat, wordt eveneens C_4AH_{13} gevormd zoals bij portlandcement.

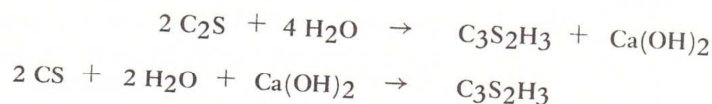
- Het calciumsulfaat (CaSO_4) reageert met Al_2O_3 en CaO om het stabiele Ettringiet te vormen volgens dezelfde reactie als bij het portlandcement :



Er kan monosulfaat gevormd worden naar gelang van de wederzijdse verhouding calciumsulfaat en aluminiumoxyde overeenkomstig de reactie :



- Het di- (C_2S) en monocalciumsilikaat (CS) hydrateren en vormen gehydrateerde kalksilikaten volgens de volgende reacties :



Is het gehalte aan portlandklinker laag, dan wordt niet genoeg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vrijgemaakt om alleen maar tobermoriet ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) te vormen en er kan ook CnSH ontstaan ($1 < n < 1,5$).

- Bij overgesulfateerd cement wordt er een grotere hoeveelheid Ettringiet gevormd door het grotere gehalte aan Su.

C.

Zie referenties "Gespecialiseerde cursus betontechnologie".

11 Bibliografie

1. Akhaven, A. (2012, december). *Quartz Structure*. Opgeroepen op september 11, 2013, van Quartzpage: http://www.quartzpage.de/gen_struct.html
2. Alboom, G. v., Dupont, H., Maertens, J., & Haelterma, K. (2012, april). *Glaucioniethoudende zanden*. Opgeroepen op december 20, 2012, van vakblad geotechniek: http://www.vakbladgeotechniek.nl/sites/default/files/pdf/archief/artikelen/Geotechniek.april2012_Glaucioniethoudende.Zanden.pdf
3. Andries, G. v. (2011, mei 25). *Zand*. Opgeroepen op februari 9, 2012, van Hona: http://www.hona.be/?page_id=131
4. archivision. (sd). *labo zeefproeven op diverse steenslag soorten*. Opgeroepen op december 17, 2013, van Archinfo blogspot: <http://arch-info.blogspot.be/2010/04/labo-zeefproeven-op-diverse.html>
5. bbri. (1999). *beproevingsmethoden voor metselmortel deel11*. Opgeroepen op januari 20, 2014, van antenne norm: http://www.bbri.be/antenne_norm/beton/nl/fiches/1015-11.pdf
6. Belgische betongroepering. (2006). *Betontechnologie*. Brussel: Rober Gheysens.
7. Beroepsvormingcentrum voor betontechnologie v.z.w. (1972). *Gespecialiseerde cursus betontechnologie*. Merksem: N. Lepoutre.
8. Bhat, G. (2009, augustus). *structure and properties of nanoclay*. Opgeroepen op maart 2013, van trace tennessee: http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1069&context=utk_graddiss
9. Bolt, A. S. (1985, mei). *Vliegass*. Opgeroepen op december 23, 2013, van chemische feitelijkheden: <http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/h028.pdf>
10. Broothaers, D. L. (2010, september 8). *Geologie van Vlaanderen een schet*. Opgeroepen op mei 1, 2012, van dov vlaanderen: <https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/pdf/geologieSchetsWeb.pdf>
11. Cement en beton centrum. (sd). *cement en beton*. Opgeroepen op januari 10, 2014, van hoogovenslak: <http://www.cementenbeton.nl/h/1193-hoogovenslak>
12. cementbeton. (2010). *korrelgroepen*. Opgeroepen op januari 2, 2014, van cementbeton: <http://www.cementenbeton.nl/k/1216-korrelgroepen>
13. Ebey, N. (2013, november). *Using mineralogy to identify the source of a sample*. Opgehaald van http://faculty.uml.edu/nelson_eby/Forensic%20Geology/Exercises/Heavy%20Minerals%20and%20Magnetic%20Separation.pdf

14. Fonds voor vakopleiding in de bouwnijverheid, (. (1994). *Betontechnologie*. Brussel: J. JACKERS.
15. Hower, G. R. (1975, februari 6). *The mineralogy of glauconite*. Opgeroepen op december 28, 2012, van clays:
<http://www.clays.org/journal/archive/volume%2023/23-4-289.pdf>
16. Janssens, M. (sd). *Geologie van Nederland*. Opgeroepen op oktober 11, 2013, van <http://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/zand>
17. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap; Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie. (2002). *oppervlakedelfstoffen vlaanderen*. Opgeroepen op november 28, 2013, van lne.
18. multibouwssystemen. (sd). *kelderbouw*. Opgeroepen op januari 2, 2014, van multibouwssystemen:
<http://multibouwssystemen.nl/producten.asp?section=kelderbouw>
19. newa. (2014). *labo materiaal*. Opgeroepen op januari 18, 2014, van newa:
<http://www.newa.nl/>
20. P.Nadeau, G. a. (1984). *Crystalstructures of clay minerals and related phyllosilicates*. Opgeroepen op december 15, 2012, van Royal society publishing:
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/311/1517/221.full.pdf+html>
21. Ralph, J. (2012, oktober 22). *Glauconite*. Opgeroepen op november 18, 2012, van Mindat: <http://www.mindat.org/min-1710.html>
22. Schorn, S. (2012). *glaukonit*. Opgeroepen op oktober 8, 2012, van mineralienatlas:
<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Glauconite>
23. Smedt, p. (sd). *grondmechanica*. Opgehaald van Vrije Universiteitbrussel:
<http://ftp.vub.ac.be/~fdesmedt/Grondmechanica.pdf>
24. survey, U. G. (2001). *Smectitegroup*. Opgeroepen op december 10, 2013, van USGS: <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/html/docs/clays/smc.htm>
25. Thomas, E. (sd). *sheet silicates (phyllosilicates): clays, micas and serpentine*. Opgeroepen op november 10, 2012, van <http://ethomas.web.wesleyan.edu/ees123/sheet04.htm>
26. Vanhooymissen, L. S. (2002). *Gewapend beton - berekening volgens NBN B15-002(1999)*. Gent: Academia Press.
27. Ritzen, J. (2004). *Betonbouw: Deel4: Materiaalstudie, Technologie, Duurzaamheid, Renovatie*. P. Vanduyseplein 8 Gent: Academia press.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Glauconiet in beton

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Vanzeer, Jo

Datum: **7/06/2014**