

Scriptie bachelorafsluiting agrotechnologie (FTE-80812)

Onderzoek naar druppelvorming onder een vloerelement in een koeienstal

Jeroen Straver

Januari 2011



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGEN **UR**

BSc-Scriptie: Onderzoek naar druppelvorming onder een vloerelement in een koeienstal

Naam vak : Bachelorafsluiting agrotechnologie
Nummer : FTE-80812
Omvang : 12 credits
Datum : Oktober 2010 – januari 2010

Student : J. Straver
Registratienummer : 88-10-05-811-010
Opleiding : BSc Agrotechnologie

Begeleider(s) : J.W. Snoek MSc.
Examinator : Prof. Dr. ir. P.W.G. Koerkamp
Leerstoelgroep : Agrarische bedrijfstechnologie
Bornse Weilanden 9
6708 WG Wageningen
Tel: (0317) 48 2980
Fax: (0317) 48 4819
E-mail: webmaster.fte@wur.nl



Disclaimer

Dit verslag het eindproduct van een bachelorafsluiting van de opleiding Agrotechnologie aan Wageningen Universiteit.

De hoofddoelstelling van het vak is dat studenten laten zien door middel van o.a. dit rapport dat ze de competenties van het bachelorprogramma beheersen.

De student werkt gedurende een beperkte tijd (netto acht weken) aan een eigen opdracht, begeleid door een van de docenten. De beperkte tijd brengt ook beperkingen mee ten aanzien van de uitvoering van het onderzoek.

De aard van het studieonderdeel brengt met zich mee dat het naar buiten brengen van resultaten en verder verspreiden van het rapport alleen kan geschieden in overleg met de verantwoordelijke docent(en).

Wageningen Universiteit is nimmer aansprakelijk voor de gevolgen die voortvloeien uit het gebruiken van de informatie uit dit rapport.

Het is niet toegestaan gegevens of resultaten uit dit onderzoeksverslag te kopiëren, te publiceren of anderszins naar buiten te brengen zonder toestemming van:

Leerstoelgroep Agrarische bedrijfstechnologie

Wageningen Universiteit

Bornse Weilanden 9

6708 WG Wageningen

Tel: (0317) 482980

Voorwoord

Dit verslag is gemaakt voor het vak Bachelorafsluiting Agrotechnologie (FTE-80812) voor de bachelor Agrotechnologie aan de Wageningen University. Dit is een verslag van het onderzoek wat ik heb gedaan naar waterophoping onder betonnen stalvloerelementen. Eerdere onderzoeken van Snoek (2009), Haesen (2010) en De Jong (2010) gaven aanbevelingen om de meetresultaten om stalvloerelementen te vergelijken op de snelheid van urineafvoer, nauwkeuriger te maken. Ik hoop met mijn onderzoek hiertoe aan bij te kunnen dragen.

Verder wil ik mijn begeleider Dennis Snoek bedanken voor het begeleiden van mijn onderzoek. Daarnaast wil ik Roelof de Jong en Sam Blaauw bedanken voor hun hulp tijdens opstarten van de metingen.

Samenvatting

Dit onderzoek is een vervolgonderzoek, waarbij koe-urinaties gesimuleerd worden door een storting van een vaste hoeveelheid water op een stalvloerelement. Uit deze onderzoeken kwamen verschillende problemen naar voren die de nauwkeurigheid van de resultaten zouden kunnen beïnvloeden. In dit onderzoek is gekeken naar druppelvorming onder het vloerelement en hoe de invloed hiervan op de meetresultaten kan worden uitgesloten. Het doel van dit onderzoek is om te bepalen hoe water onder een betonnen vloerelement ophoopt, om zo een betere vergelijking tussen de afvoersnelheid van urine van verschillende vloerelementen te kunnen maken. Hiertoe is een theoretisch onderzoek gedaan naar de waterophoping en zijn experimenten uitgevoerd.

Verschiede krachten zorgen ervoor dat water aan een betonnen vloerelement kan hechten. Adhesie, cohesie en hydrogene bindingen zorgen voor binding tussen de vloeistof en vaste stof, zodat druppels vormen waardoor deze ook onder het vloerelement kunnen blijven hangen. De grootte van deze binding is afhankelijk van de energiewaarde van de vaste stof. De moleculaire binding tussen beton en het water kan verzwakt worden door het implementeren van hydrofobe bindingen bij het contactoppervlak van het beton.

Tijdens de stortingen wordt het water, op het vloerelement, via de gleuven afgevoerd. Een gedeelte hiervan valt niet rechtstreeks de opvangbak in, maar loopt via de zijkanten onder de vloer door. De middelste gleuven op de vloer voeren het meeste water af. De onderkant van de vloer wordt vervolgens ook het meest bevochtigd in het midden, hier loopt het water het verst door. Het bevochtigde oppervlak wordt bij de eerste stortingen telkens groter, maar na verloop van stortingen wordt dit oppervlak constant.

De meetwaarden voor de afvoersnelheid van de vloer worden beïnvloedt door het aantal stortingen dat voorafgaand is uitgevoerd. Om dit uit te sluiten dienen minimaal 19 stortingen uitgevoerd te worden indien de vloer niet na elke storting wordt drooggeblazen, als dit wel gebeurt dienen minimaal 8 stortingen uitgevoerd te worden. Onder het vloerelement ontstaat hierna een evenwichtsituatie van het aantal druppels en na dit aantal stortingen is significant aangetoond dat de hoeveelheid waterophoping gelijk blijft. Doordat de opvangbak na 11 of 12 stortingen gelegeerd dient te worden, kan het vloerelement kan opdrogen waardoor het aantal benodigde stortingen voor niet droogblazen hoger uitvalt.

Inhoudsopgave

Disclaimer	2
Voorwoord	3
Samenvatting	4
Inhoudsopgave.....	5
1. Inleiding	6
1.1 Huidige situatie	6
1.2 Gewenste situatie	6
1.3 Probleemstelling	6
1.4 Doel van het onderzoek	7
1.5 Onderzoeksvragen.....	7
2. Achtergrond theorie.....	8
2.1 Hoe kunnen druppels vormen onder een materiaal?	8
2.2 Wat is bij dit proces de invloed van het materiaal?	9
3. Materialen en methoden.....	12
3.1 Proefopstelling	12
3.2 Vloerelement.....	13
3.3 Meetmethode.....	14
3.4 Meetprotocol	15
3.5 Dataverwerking.....	15
3.6 Data analyse	15
4. Resultaten	17
4.1 Serie 1, metingen zonder droogblazen na storting.....	17
4.2 Serie 2, metingen met droogblazen na storting.....	17
4.3 Patroon van waterophoping onder vloerelement	19
4.4 Statistische vergelijking tussen de stortingen afzonderlijk.....	21
4.5 Statistische vergelijking tussen de gehele rondes onderling.....	22
4.6 Statistische vergelijking tussen subrondes onderling.....	23
5. Discussie	25
5.1 Verklaring grafieken zonder droogblazen	25
5.2 Verklaring grafieken met droogblazen	25
5.3 Verloopt de ontwikkeling van het aantal druppels volgens een bepaald patroon?	26
5.4 Ontstaat er een evenwichtstoestand (van het aantal druppels onder het vloerelement) na verloop van een aantal stortingen?.....	26
6. Conclusie.....	28
7. Aanbevelingen	29
8. Referenties	30
9. Bijlagen	31

1. Inleiding

“De melkveehouderij in Nederland is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de nationale ammoniakuitstoot uit de agrarische sector. De ammoniakemissie van melkvee in Nederland is voor ruim 40% afkomstig uit stallen” (Smits, Huis in 't Veld, 2006). In de huidige huisvesting van melkkoeien ontstaat veel ammoniak vanwege de urine en mest in de stal en hierdoor worden veel broeikasgassen uitgestoten. De overheid heeft voor de melkveehouderij reductiedoelen voor ammoniak ingesteld. Sinds 2007 geldt voor nieuwgebouwde stallen het ‘Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij’, waardoor de maximale ammoniakemissie 9.5 kg NH₃ per dierplaats per jaar mag zijn (overheid.nl). Ammoniakvorming op de vloerelementen is een belangrijk onderdeel. Koeienmest fungeert als katalysator bij ammoniakvorming in urine. Door urine en mest te scheiden kan de ammoniakvorming verminderd worden (Monteny et al. 1998). Om onderzoek te doen naar afvoer(snelheid) van urine van stalvloerelementen is een proefopstelling gebouwd door J.W. Snoek, 2009. De resultaten hiervan waren echter niet bruikbaar, omdat de hoeveelheid water die bij elke storting op het vloerelement gestort werd niet constant bleek. Hiertoe heeft Haessen, 2009, de opstelling aangepast door de stortbak te vervangen door een waterreservoir met overloop. De Jong, 2010, heeft tenslotte onnauwkeurigheid in de metingen getracht te verkleinen door opspattend water op te vangen wat naast de opvangbak terecht komt. Tevens heeft hij strips op de zijwanden van het vloerelement geplaatst om te voorkomen dat druppels zich onder het vloerelement gaan ophopen.

1.1 Huidige situatie

Tot nu toe is met de proefopstelling gekeken naar de afvoer(snelheid) van water op de verschillende stalvloertypen. De keuze voor water in plaats van urine is genomen omdat dit eenvoudiger werkt en vergelijkbaar is (Snoek 2009, De Jong, 2010). Om de urinatie van een koe te simuleren wordt een vaste hoeveelheid water op het vloerelement gestort en vervolgens wordt door het toenemend gewicht van de opvangbak op de weegschaal de hoeveelheid afgestroomd water gemeten. In de huidige situatie spat tijdens het experiment water op vanaf de vloerelementen tot buiten de opvangbak. Tevens blijft water onder het element ‘hangen’. Het water loopt via de zijkanten naar de onderkant van het vloerelement en hoopt zich dan op. Hierbij is geen rekening gehouden met verschil van de hoeveelheid waterophoping onder de vloeren in een reeks van metingen. Hierdoor wijken de meetwaarden af van de werkelijke situatie.

1.2 Gewenste situatie

In de gewenste situatie heeft druppelvorming onder de vloerelementen op de metingen geen invloed. Hierdoor is een betere vergelijking tussen de vloerelementen te maken die gebruikt worden in de proefopstelling, zodat de afvoersnelheid van bovenoppervlak niet wordt beïnvloed door druppelvorming onder het vloerelement. €

1.3 Probleemstelling

De vorming van druppels onder de vloerelementen beïnvloedt de meetwaarden van de afvoer van het water op het vloerelement. Dit komt doordat niet al het water (direct) in

de opvangbak terechtkomt. De hoeveelheid druppels die onder het vloerelement blijft hangen zou afhankelijk kunnen zijn van de hoeveelheid stortingen die al plaats hebben gevonden in een reeks. Bij de eerste storting op de droge vloer kunnen wellicht meer druppels onder het vloerelement vormen dan bij latere stortingen in de reeks, omdat het oppervlak dan al bedekt is met druppels. Het is op dit moment nog niet bekend wat de invloed van het water onder het vloerelement is.

1.4 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om te meten hoe water onder het vloerelement ophoopt, om zo een betere vergelijking van de afvoersnelheid van urine tussen de vloerelementen te kunnen maken. Het uiteindelijke doel van deze proefopstelling is vloerelementen te testen en te vergelijken op de snelheid van urineafvoer. Hierdoor kan de urine sneller gescheiden worden en kan zo de ammoniakemissie in de koeienhuisvesting verlaagd worden, om zo te kunnen voldoen aan ‘Het besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij’.

1.5 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag:

Hoe verloopt de vorming van druppels onder een vloerelement in een huisvestingsstelsel voor melkkoeien, en wat zijn de gevolgen hiervan voor de hoeveelheid water die achterblijft op dit element?

Deelvragen:

- Hoe kunnen druppels zich vormen onder een materiaal?
- Wat is bij druppelvorming de invloed van het materiaal?
- Verloopt de ontwikkeling van het aantal druppels volgens een bepaald patroon?
- Ontstaat er een evenwichtstoestand (van het aantal druppels onder het vloerelement) na verloop van een aantal stortingen?

2. Achtergrond theorie

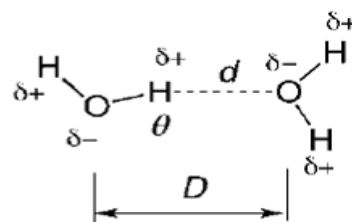
2.1 Hoe kunnen druppels vormen onder een materiaal?

Wanneer een druppel van een vloeistof in contact komt met een vaste stof, bindt de vloeistof zich aan het contactoppervlak. Dit komt door de aantrekkingskracht van de materialen, waardoor oppervlaktespanning ontstaat. Door de kracht kunnen insecten bijvoorbeeld op het water 'lopen'. Deze aantrekkingskracht is mogelijk in twee verschillende vormen, adhesie en cohesie (Marshall, Bayne et al. 2009).

De kracht tussen de moleculen van de twee verschillende stoffen, wordt adhesie of de Keesom Forces genoemd. Adhesie bestaat in verschillende vormen, zoals chemische en mechanische adhesie bijvoorbeeld, maar in het geval van de druppelvorming onder het vloerelement is alleen de fysieke adhesie van belang. Hierbij hechten negatief geladen deeltjes van moleculen zich aan positief geladen deeltjes van de andere moleculen. Op dit proces is bijvoorbeeld ook het printen gebaseerd, de vloeistof inkt hecht aan de vaste stof papier (Marshall, Bayne et al. 2009).

Behalve de kracht tussen deze twee verschillende moleculen, is ook een inter-moleculaire binding binnen de vloeistof aanwezig. Dit wordt cohesie of London Forces genoemd en is onderdeel van de Van der Waals krachten. Deze inter-moleculaire binding is meestal zwakker dan de Keesom binding (Kinloch,1980).

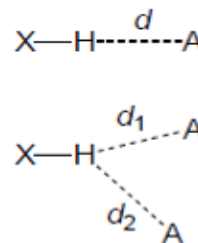
Bij sommige vloeistoffen, zoals water, is sprake van een sterkere inter-moleculaire polaire binding. Bij water bijvoorbeeld binden positief geladen waterstofatomen (H-atomen) zich aan negatief geladen zuurstofatomen (O-atomen) van andere watermoleculen, zoals te zien in figuur 1. Dit wordt een hydrogene binding genoemd (Emsley,1980).



Figuur 1: Hydrogene bindingen in water(Steiner, 2002)

De H-atomen van de vloeistof kunnen zich echter ook binden aan positief geladen atomen zoals fluor (F), stikstof (N), zuurstof (O) of chloor (Cl) (Emsley,1980) in de vaste stof. Hierdoor ontstaat een extra sterke moleculaire binding, dit is te zien in figuur 2. X-H staat voor de donormolecuul, waarbij X in het geval van een watermolecuul voor O-H staat, en A is de acceptor, bijvoorbeeld een chloormolecuul(Cl). Ook dit zijn hydrogene bindingen.

De donor kan meerdere acceptoren aan zich binden, en hierdoor ontstaat een netwerk van bindingen. Een H-atoom van een molecuul van de vaste stof kan ook als donor fungeren, en zich zo binden met een O-atoom van de watermolecuul. Volgens Steiner, 2002, zijn er 47 soorten hydrogene verbindingen met watermoleculen als acceptors, A in figuur 2, en 63 soorten hydrogene verbindingen met watermoleculen als donoren, de X-H in figuur 2.



Figuur 2: : Hydrogene bindingen, acceptor A en donor X-H (Steiner,2002)

In tabel 1 zijn de energiewaarden van een aantal van deze bindingen gegeven. Deze waarden geven de kracht van de binding tussen de moleculen aan. De energiewaarden van hydrogene bindingen variëren van ongeveer 0,2 tot 40 kcal per mol (Steiner, 2002). De hydrogene binding binnen watermoleculen is ongeveer 5 kcal per mol, maar deze kunnen nog vele bindingen maken met bepaalde atomen in de moleculen in de vaste stof, in dit onderzoek dus met beton. De theoretisch maximale sterkte van de bindingen van de watermoleculen en het beton kan dus 42 kJ/mol zijn. De waarden van deze hydrogene bindingen zijn ongeveer een factor 10 tot 100 kleiner dan de waarden van ionische (bijvoorbeeld Na-Cl) of covalente (bijvoorbeeld methaan, CH₄).

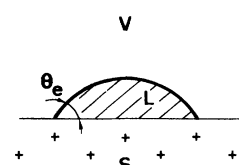
Tabel 1: Energiewaarde van verschillende bindingen (Kinloch, 1980)

Binding	Energiewaarde (kJ/mol)
Ionische binding	590-1050
Covalente binding	63-710
Metaalbinding	133-347
Hydrogene bindingen met fluorine	tot 42
Hydrogene bindingen zonder fluoride	10-26
Dipole-dipole (Keesom Forces)	4-21
Dipole-induced dipole	<2
London Forces	0,08-42

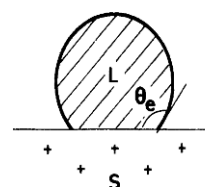
2.2 Wat is bij dit proces de invloed van het materiaal?

De grootte van de binding tussen de vloeistof en vaste stof is afhankelijk van de samenstelling van de beide stoffen. Het materiaal van de vaste stof, het vloerelement, is dus van invloed op de bindingskracht met de vloeistof. De sterkte van deze binding is te bepalen door de contacthoek te meten. Uit deze waarde kan de capaciteit van vaste stof om de vloeistof vast te houden worden bepaald (Marshall, Bayne et al. 2009).

De grootte van de binding met water is afhankelijk van de energiewaarde van de vaste stof (De Gennes, 1985). De samenstelling van de vaste stof bepaald de energiewaarde. In figuur 3, 4 & 5 zijn de drie verschillende categorieën van de energiewaarden te zien. Als de cohesie binnen de vaste stof groot is, moet er veel energie ingestopt worden voordat de molecuulverbindingen breken. Deze materialen hebben dus ook een hoog smeltpunt en hoge energiewaarde. Voorbeelden hiervan zijn metalen en glas. Deze sterke cohesie in de vaste stof breekt de cohesie van de vloeistof en contactoppervlak van de vaste stof. Hierdoor ontstaat een kleine contacthoek θ_e (figuur 3), tussen de 0° en 90°. Dit wordt high-wetting genoemd.



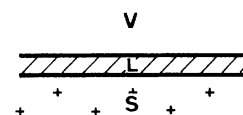
Figuur 3: high-wetting, (De Gennes, 1985)



Figuur 4: low-wetting (De Gennes, 1985)

Bij figuur 4 is sprake van low-wetting. De contacthoek θ_e is tussen de 90 en 180 graden. De binding tussen de vloeistof en de vaste stof is klein, omdat de cohesie binnen de vaste stof te klein is om de cohesie in de vloeistof te breken.

Een speciaal geval is complete-wetting (figuur 5). De contacthoek θ_c is 0 graden. De kracht van de cohesie in de vaste stof is dan zo groot dat helemaal geen druppels meer aanwezig zijn en het complete oppervlak bedekt is.



Figuur 5: complete-wetting (De Gennes, 1985)

In tabel 2 zijn de contacthoeken van enkele vaste stoffen met vloeistoffen gegeven. Teflon, een fluorpolymeer, vooral bekend als antiaanbaklaag voor pannen, heeft als eigenschap dat het heel weinig frictie met vloeistoffen heeft. De Van der Waals krachten hebben bijna geen effect op Teflon. Hierdoor heeft het een grote contacthoek en is dus sprake van low-wetting. Materialen met een hoge energiewaarde, zoals goud of platina, hebben een kleine contacthoek en kunnen veel vloeistof vasthouden. Ook rubber heeft een kleine contacthoek. In het geval van glas kan er sprake zijn van complete-wetting.

Tabel 2: contacthoeken van verschillende combinaties van materialen (Marshall, 2009)

Materialen	Graden
Teflon-water	112
PE-water	103
Huid-water	90
Rubber-water	66(+1)*
Goud-water	66
Platina-water	40
Glas-water	<5

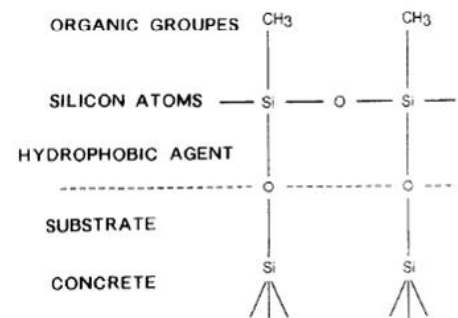
* Johnson, K.L. ,Kendall. K. et. al. (1971).

In tabel 3 zijn de contacthoeken van verschillende samenstellingen van beton weergegeven. In het onderzoek van Momber, 2002, was geen directe significante relatie tussen de contacthoek en de verhouding water, cement, kwarts en basalt in het mengsel op te maken. Het geeft wel aan dat de contacthoek van beton kleiner dan 90 graden is, maar nog wel groter dan die van bijvoorbeeld rubber. Beton kan dus meer water aan zich binden dan bijvoorbeeld polymeren.

Tabel 3: Gemeten contacthoeken van betonmengsels (Momber, 2002)

Mixnr.	Water (kg)	Cement(kg)	Kwarts (kg)	Basalt (kg)	Contacthoek (graden)
1	175	400	756	1010	79
2	137	340	703	1212	72
3	202	520	1459	0	80
4	171	280	841	1029	75
5	180	560	609	1029	72
6	484	1515	0	0	74

De contacthoek kan echter in sommige gevallen aangepast worden. “De moleculaire binding tussen beton en het water kan verzwakt worden door het implementeren van hydrofobe bindingen bij het contactoppervlak”, De Vries & Polder, 1997. Door een vorming van silicium- en zuurstofatomen met een methaangroep (CH₃) ontstaat een hydrofobe laag, ook wel siloxaan genoemd, zie figuur 6. Deze laag kan gevormd worden door het contactoppervlak van het beton in een hydrofobe substantie te weken. De methaangroep zorgt dat bij het contactoppervlak van het beton de capillaire werking van de poriën in het beton wordt tegengegaan. De contacthoek van het water met het beton is nu groter dan 90 graden geworden, en het contactoppervlak is nu dus low-wetting. Hierdoor kan het minder water vasthouden, en zal het water door de zwaartekracht sneller het contact met het vloerelement verliezen. Uit het onderzoek van De Vries & Polder, 1997, bleek echter wel dat de werking van de hydrofobe laag wisselend is voor verschillende soorten beton.

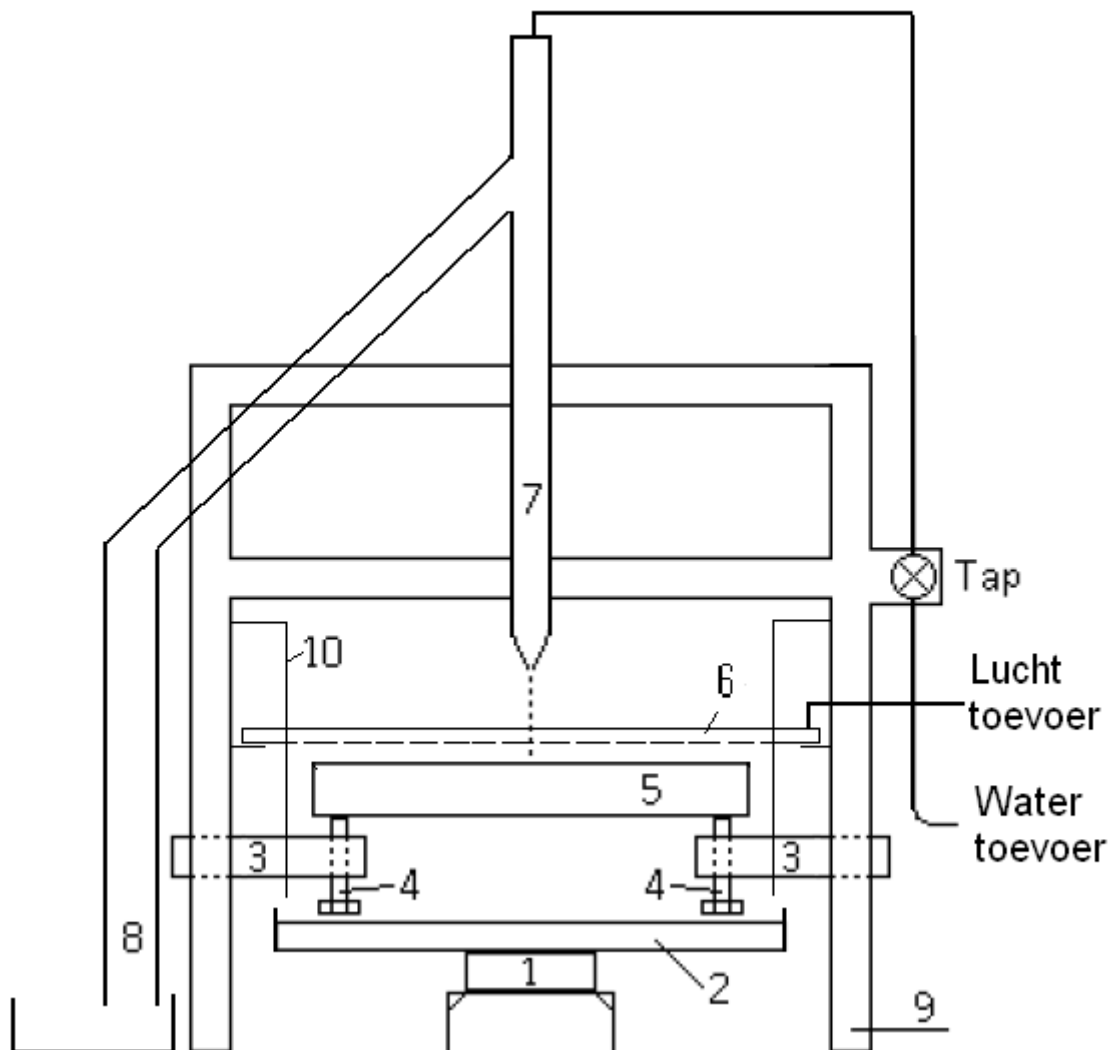


Figuur 6: Moleculaire structuur van siloxaanlaag aan het beton, De Vries & Polder, 1997

3. Materialen en methoden

3.1 Proefopstelling

In figuur 7 is de proefopstelling weergegeven. De verschillende elementen van de opstelling zijn genummerd in het figuur.



Figuur 7: Schematische tekening van de proefopstelling: 1) weegschaal, 2) opvangbak, 3) dragers vloerelement, 4) schroeven om vloerelement vlak te zetten, 5) vloerelement, 6) luchtbuis voor het droogblazen van het vloerelement, 7) waterreservoir, 8) overloop waterreservoir, 9) steunbalken, 10) spatwanden tegen wegsplattend water (De Jong, 2010)

De proefopstelling van Snoek, 2009, is nadien door Haessen, 2010, aangepast. In plaats van een stortbak om de urinatie te simuleren is gekozen voor een waterreservoir met overloop (nummer 8) om een nauwkeurigere beginhoeveelheid te verkrijgen. Daarnaast wordt het vloerelement nu droog geblazen met een luchtbuis(6) in plaats van afgestreken met een vloerentrekker. Tenslotte zijn zeiltjes naast het vloerelement geplaatst om opspattend water dat verder reikt dan het oppervlak van het element op te vangen en in de opvangbak te laten druppelen.

De proefopstelling werkt als volgt: Door middel van een kraan wordt het waterreservoir(7) gevuld totdat deze begint over te lopen(8). Dan kan het

waterreservoir(7) opgezet worden zodat het water op het vloerelement(5) valt. Het water loopt dan vervolgens van het vloerelement(5) af de opvangbak(2) in. De weegschaal(1) meet vervolgens de toename in gewicht van de opvangbak. In het programma Labview is het meetplan verwerkt en zo worden de toename van het gewicht in de tijd van de opvangbak als gevolg van het aflopende water geregistreerd.

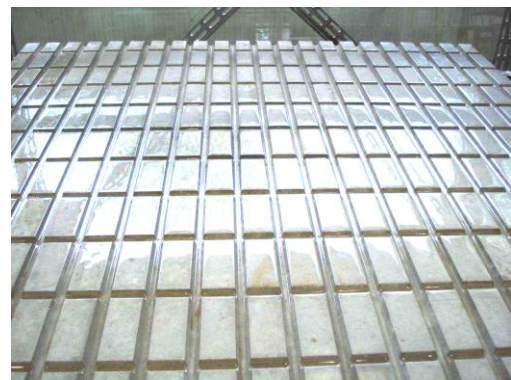
In figuur 8 is een foto van de proefopstelling te zien.



Figuur 8: Foto van de gebruikte proefopstelling

3.2 Vloerelement

Voor dit experiment is gebruik gemaakt van de HCI W2 vloer van de firma HCI Betonindustrie (figuur 9). Gekozen is om met deze vloer te meten omdat met dit onderzoek gekeken wil worden naar de druppelvorming op een relatief groot oppervlak. Bij roostervloeren zitten veel gleuven dicht op elkaar en zorgt druppelvorming niet voor een significant verschil (De Jong, 2010).



Figuur 9: Gebruikt vloerelement HCI W2

De HCI W2 vloer heeft een oppervlak van 1.00 m bij 1.20 m en is 0.1 m dik. De blokjes op het oppervlak zijn 0.08 bij 0.03 m. De vloer heeft zowel in de lengte als de breedte afvoergleuven. De breedtegleuven hebben een gelijke diepte van 5 mm. De lengtegleuven zijn naar de randen toe aflopend, in het midden van een element is de gleuf 5 mm diep, aan de rand 12 mm.

3.3 Meetmethode

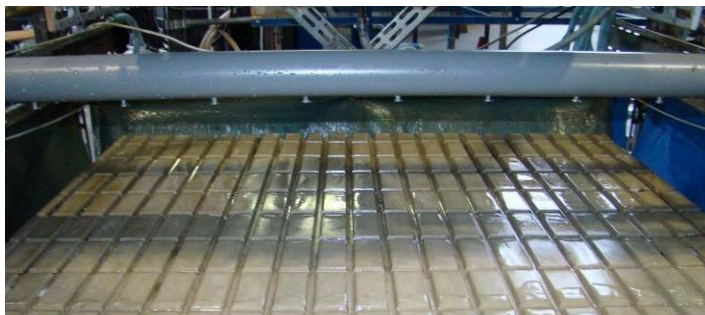
Om de hoeveelheid water te meten die onder de vloer blijft hangen wordt het verschil gemeten tussen de beginhoeveelheid water die op het vloerelement gestort wordt, en de hoeveelheid water die daadwerkelijk in de opvangbak terechtkomt. Hierbij is het van belang dat er geen water naast de opvangbak terechtkomt. Hiervoor zijn zeiltjes naast het vloerelement opgehangen die het eventuele opspattende water naar de opvangbak leidt. De opvangbak staat op een weegschaal, deze meet continu het gewicht van het water dat in de bak valt. Bij elke storting wordt een hoeveelheid van 3.37 kg water gestort, met een standaardafwijking van 0.005. In figuur 10 is een storting te zien.



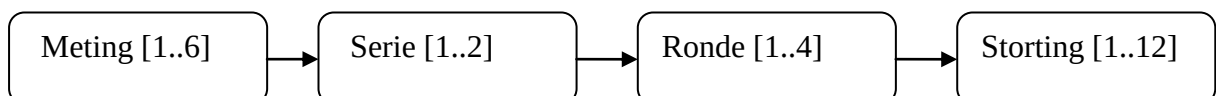
Figuur 10: Situatie storting na open waterreservoir

Door een serie van waterstortingen met een vaste korte tussentijd uit te voeren, kan gemeten worden of verschil aanwezig is in de hoeveelheid water die onder het vloerelement blijft hangen. Hierdoor kan bepaald worden of na verloop van tijd meer of minder water van elke storting onder het vloerelement achterblijft. Tevens kan gekeken worden of de druppels zich in een bepaald patroon vormen en of een evenwichtstoestand van het aantal druppels onder het element ontstaat.

Bij het tweede experiment wordt de bovenkant van het vloerelement telkens droog geblazen met een luchtbuis (figuur 11). Bij dit experiment is de uitgangssituatie van het bovenoppervlak gelijk, omdat er geen plassen van variabele grootte op liggen.



Figuur 11: Op de foto is de PVC-luchtbuis te zien waarmee na de storting het vloerelement wordt drooggeblazen



Figuur 12: Schematisch overzicht gebruikte termen tijdens metingen

Figuur 12 geeft een schematisch overzicht van de metingen. Voor dit onderzoek worden 6 metingen uitgevoerd. Meting 1 t/m 3 behoort tot serie 1, bij deze serie wordt het bovenoppervlak van het vloerelement niet drooggeblazen. Meting 4 t/m 6 behoort tot serie 2 en hierbij wordt het bovenoppervlak wel drooggeblazen. Elke meting bestaat uit

een aantal rondes, na elke ronde dient de opvangbak geleegd te worden. Elke ronde bestaat weer uit een aantal stortingen. Een storting is het eenmaal lozen van de vaste hoeveelheid water in het waterreservoir op het vloerelement.

3.4 Meetprotocol

Voor het beginnen van de meting moet het waterreservoir eerst gevuld worden tot het overloophmoment. Vervolgens dient het waterreservoir geopend te worden op het moment dat de meting gestart wordt.

- Stap 1. Start meting, openen waterreservoir
- Stap 2. Weegschaal drie minuten laten wegen
- Stap 3. Eén minuut na stap 1 foto maken van druppelvorming onder vloerelement
- Stap 4. Twee minuten na stap 1 luchtbuis heen en weer halen (alleen voor serie 2)
- Stap 5. Vullen waterreservoir

De startwaarde van een storting is de waarde bij stap 1. De eindwaarde van een storting is wanneer stap 1 weer begint. Eén storting duurt drie minuten. Dit protocol kan 11 á 12 keer achter elkaar herhaald worden. Vervolgens dient de opvangbak geleegd te worden en kan een nieuwe ronde gemeten worden.

Bij het tweede experiment wordt met een luchtbuis twee minuten na stap 1 het bovenoppervlak drooggeblazen, door de buis 1 keer heen en weer over het oppervlak te halen. De meettijd blijft drie minuten, om een vergelijking te kunnen maken met de resultaten van de eerste drie metingen.

3.5 Dataverwerking

Tijdens de stortingen wordt continu gemeten. De weegschaal heeft een nauwkeurigheid van 1 gram. Door te kijken naar het verschil in gewicht tussen de hoeveelheid water in het begin en aan het eind van elke storting, is het mogelijk om de hoeveelheid water dat achterblijft op het vloerelement te berekenen. In formulevorm geeft dit:

$$M_{\text{element}} = M_{\text{begin}} - M_{\text{eind}} \quad [1]$$

M_{element} = massa water van storting dat op het vloerelement achterblijft

M_{begin} = massa water in de opvangbak voor storting

M_{eind} = massa water in opvangbak na storting

3.6 Data analyse

De waarden van M_{element} worden geanalyseerd met het statistiekprogramma SPSS op significante verschillen. De data worden op drie verschillende manieren geanalyseerd:

- 1) Meervoudige vergelijking (Multiple comparison) tussen stortingen onderling van ronde 1 en 2 voor serie 1 en 2.
- 2) Meervoudige vergelijking tussen ronde 1 t/m 4 van serie 1 en 2
- 3) Onafhankelijke gekoppelde steekproeven T-toets (Independent paired sample T-test) tussen subrondes

De eerste analyse wordt gedaan omdat hiermee gekeken kan worden of er significant verschil is tussen de stortingen onderling binnen een ronde. Hiermee kan dus worden aangetoond of de druppelvorming binnen een ronde meer wordt of dat het oppervlak verzadigd. Deze meervoudige vergelijking is alleen gedaan voor de eerste twee rondes van de beide series, omdat binnen deze rondes het onderlinge verschil groter is. Ronde 1 van serie 2 telt maar 8 stortingen, dit is gedaan omdat een fout was opgetreden waardoor metingen 9 t/m 12 onbruikbaar werden. Dit had echter geen invloed gehad op de metingen, omdat dezelfde meetprocedure gebruikt is.

De tweede analyse is een vergelijking tussen rondes onderling. Hierbij wordt het gemiddelde van alle stortingen binnen een ronde genomen. Vervolgens worden deze onderling op significantie vergeleken. Zo kan bepaald worden of er verschil aanwezig is in de waterophoping tussen de rondes.

De laatste analyse tenslotte is een vergelijking tussen het gemiddelde van een gedeelte van een ronde, een subronde genoemd. Een subronde wordt met een opvolgende subronde vergeleken. Tevens worden subrondes van serie 1 vergeleken met dezelfde subrondes van serie 2.

Voor de meervoudige vergelijking is tevens de Levene's test uitgevoerd. Dit is om te bepalen of er gelijke variaties aangenomen mogen worden of niet. Als significantieniveau van deze test kleiner dan 0.05 is, wordt gelijke variatie tussen de metingen aangenomen en dient de Games-Howell test uitgevoerd te worden in SPSS. In de overige gevallen dient de Tucky's test uitgevoerd te worden (Snoek,2009).

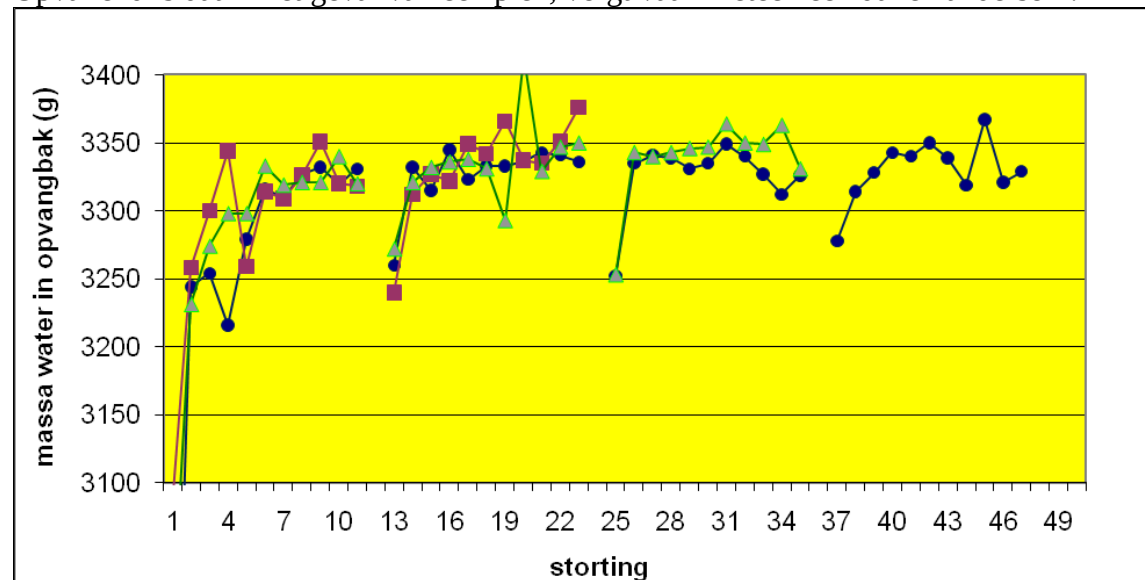
4. Resultaten

4.1 Serie 1, metingen zonder droogblazen na storting

In figuur 13 zijn de waarden M_{element} weergegeven voor meting 1, 2 en 3.

Bij de eerste stortingen is een opwaartse lijn te zien. De maximale waarde van de hoeveelheid water dat in de opvangbak terechtkomt ligt rond de 3.35 kg.

Opvallend is dat in het geval van een piek, volgt vaak meteen een dal en andersom.



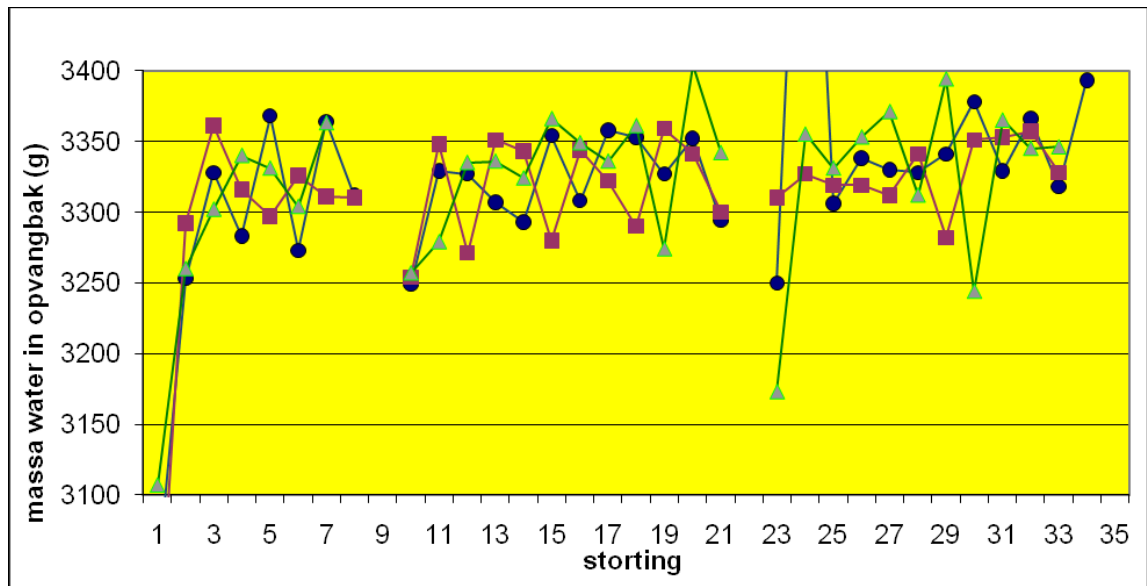
Figuur 13: Grafische weergave M_{element} van meting 1, 2 & 3 met een meettijd van drie minuten. De (paarse) geblokte lijn weergeeft meting 1, de (groene) driehoekjes lijn weergeeft meting 2, de (blauwe) rondjes lijn weergeeft meting 3. Op de x-as staan de stortingen, op de y-as de massa van het water in opvangbak na drie minuten in gram.

4.2 Serie 2, metingen met droogblazen na storting

In figuur 14 zijn de waarden van de metingen met droogblazen grafisch weergegeven. Tussen de opeenvolgende stortingen is meer variatie en er zijn duidelijkere pieken en dalen te zien vergeleken met figuur 13.

De eerste storting van de derde ronde in meting 5 begint lager dan de andere derde rondes. De tijd tussen de vorige ronde was bij deze meting groter, waardoor het oppervlak meer was opgedroogd. In het begin van ronde 3 van meting 6 zit een grote piek in de meting. De gemiddelde storthoeveelheid is 3.37 kg, dus de waarde van deze storting is onrealistisch.

Met betrekking tot de metingen zonder droogblazen valt op dat de eerste paar stortingen van een ronde bij de metingen met droogblazen een hogere waarde hebben.



Figuur 14: Grafische weergave M_{element} van meting 4,5 & 6 met een meettijd van drie minuten. De (paarse) geblokte lijn weergeeft meting 4, de (groene) driehoekjes lijn weergeeft meting 5, de (blauwe) rondjes lijn weergeeft meting 6. Op de x-as staan de stortingen, op de y-as de massa van het water in opvangbak na drie minuten in gram.

4.3 Patroon van waterophoping onder vloerelement

In onderstaande figuren zijn de foto's weergegeven waar de mate van wetting is vastgelegd op bepaalde tijdstippen in de meting.

Figuur 15: Fotoreeks tijdens metingen.

1: wetting voor 1^e ronde, geheel droog
3: wetting na laatste storting 1^e ronde
5: wetting na laatste storting 3^e ronde
7 : wetting tijdens een storting

2: wetting tijdens 1^e ronde, na 3^e storting,
4: wetting na laatste storting 2^e ronde
6: wetting na laatste storting 3^e ronde met droogblazen



1



2



3



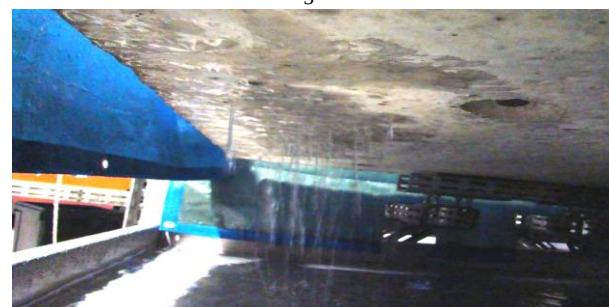
4



5



6



7

In 1 is de vloer nog helemaal droog. Te zien is dat de onderkant van het vloerelement geen geheel vlak oppervlak heeft, maar een wat ruw oppervlak met druppelvormige vormen. In 2 is de wetting van de vloer te zien na drie stortingen. Te zien valt dat het water in rechte lijnen doorstroomt onder het vloeroppervlak. Het water stroomt via de smalle gleuven met snelheid verkregen via de zwaartekracht bij de storting en de aflopende gleuven langs de zijkant en stroomt vervolgens door naar de onderkant.

Verder valt te zien dat bij de ruwe druppelvormige delen van het oppervlak water ophoopt.

In 3 is de situatie te zien na de volledige 1^e ronde. Ten opzichte van 2 is meer water opgehoopt. In het midden van het element is de wetting verder doorgetrokken dan aan de zijkanen. In 4 is de mate van wetting na de 2^e ronde te zien. Het voorste gedeelte is geheel bevochtigd. In het midden is een duidelijke uitloper te zien. In 5 is de situatie na de laatste storting van de 3^e ronde weergegeven. De mate van wetting is nagenoeg identiek aan die na de 2^e ronde.

In 6 is de mate van wetting weergegeven na de laatste storting van de 3^e ronde bij een meting met droogblazen na de stortingen. De vorm en grootte van het bevochtigde oppervlak is vrijwel gelijk aan met het oppervlak van de meting zonder droogblazen op hetzelfde tijdstip in de meting (5). In 7 is tenslotte de situatie tijdens een storting weergegeven, net na het openen van het waterreservoir. Het water stroomt langs de zijkant om vervolgens een gedeelte langs de onderkant te lopen. Direct via de zijkant van het vloerelement loopt vrijwel geen water naar beneden.

4.4 Statistische vergelijking tussen de stortingen afzonderlijk

In tabel 4 is een vergelijking te zien tussen de waarden van de stortingen afzonderlijk in ronde 1 en 2 van serie 1 en 2. In bijlage 1 zijn de gemiddelde waarde van de storting en standaardafwijking grafisch weergegeven ter verduidelijking.

Tabel 4: Kruistabel van de stortingen in ronde 1 en 2 van serie 1 en 2. De tabel werkt als volgt: storting 1 wordt op significantie vergeleken met storting 2 t/m 12. Dit wordt gedaan voor ronde 1 en 2 van de beide series. N is voor elke gemiddelde 3, omdat voor beide series 3 metingen zijn uitgevoerd. Gem. staat voor gemiddelde, St. Dev. voor Standaard Deviatie. De vakjes met een X hebben significantie < 0.05 en zijn dus significant verschillend. De vakjes met een streepje (-) zijn niet van toepassing, omdat die storting geen waarde heeft.

Storting							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Storting		N Serie 1	N Serie 2	Gem. Serie 1	Gem. Serie 2	St. Dev. Serie 1	St. Dev. Serie 2	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2
1	Ronde 1	3	3	2959	3040	139,7	62,6		X	X		X	X		X			-	-
	Ronde 2	3	3	3357	3251	16,2	2,1					X	X			X	X	-	-
2	Ronde 1	3	3	3244	3266	13,5	21,7		X					X	X		X		-
	Ronde 2	3	3	3322	3316	10,0	36,3												-
3	Ronde 1	3	3	3276	3328	23,1	32,0		X										-
	Ronde 2	3	3	3325	3308	8,7	35,9												-
4	Ronde 1	3	3	3286	3311	64,8	14,9		X										-
	Ronde 2	3	3	3334	3329	11,6	20,2	X											-
5	Ronde 1	3	3	3279	3330	19,5	36,3		X										-
	Ronde 2	3	3	3337	3317	13,1	23,1	X											-
6	Ronde 1	3	3	3321	3299	10,4	26,0		X	X									-
	Ronde 2	3	3	3335	3331	5,9	47,5												-
7	Ronde 1	3	3	3313	3344	5,5	29,4		X	X									-
	Ronde 2	3	3	3331	3331	36,6	20,1												-
8	Ronde 1	3	3	3325	3311	3,2	2,1		X	X									-
	Ronde 2	3	3	3362	3336	44,2	20,3												-
9	Ronde 1	3	-	3335	-	15,2	-		-	X	-		-		-		-	-	-
	Ronde 2	3	3	3336	3332	7,0	39,9	X											-
10	Ronde 1	3	-	3326	-	11,8	-		-	X	-		-		-		-	-	-
	Ronde 2	3	3	3346	3317	5,0	43,3	X											-
11	Ronde 1	3	-	3323	-	7,0	-		-	X	-		-		-		-	-	-
	Ronde 2	3	3	3354	3363	19,8	32,9	X	X										-
12	Ronde 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ronde 2	-	3	-	3309	-	36,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Voor beide rondes en series geldt dat alleen significant verschil aanwezig is tussen storting 1 of 2, met de andere stortingen. Voor serie 1 geldt dat bij zowel bij ronde 1 als 2 meerdere punten significant verschillen. Bij serie 2 is in de tweede ronde maar een punt met significant verschil. In bijlage 1 zijn de standaardafwijkingen van de rondes in een grafiek weergegeven.

4.5 Statistische vergelijking tussen de gehele rondes onderling

In tabel 5 is een vergelijking tussen de gemiddelde waarde van de gehele rondes in serie 1 te zien. In bijlage 2 zijn de gegevens van de rondes weergegeven.

Tabel 5: Statistische vergelijking tussen verschillende rondes onderling in serie 1. De waarden binnen een ronde bestaan uit alle stortingen in die een ronde voor de drie metingen samengenomen. Hiervan is het gemiddelde genomen. Ronde 1 bijvoorbeeld heeft dus 3 maal 11 is 33 meetpunten. De lichtgrijze vakken zijn de rondes met significant verschil. De significantie is van de Levene Statistic is kleiner dan 0.05, waardoor dus de Games-Howell toets is uitgevoerd. Gem. staat voor gemiddelde, Sig. voor significantie.

Levene Statistic		df1	df2	Sig.		
5,859		3	95	,001		
(I) ronde	(J) ronde	Verschil Gem. (I-J)	Std. Fout	Sig.	95% Betrouwbaarheids Interval	
					Ondergrens	Bovengrens
1,00	2,00	-59,21	20,10	,027	-113,27	-5,16
	3,00	-61,00	20,27	,023	-115,47	-6,53
	4,00	-58,27	20,55	,035	-113,45	-3,10
2,00	1,00	59,21	20,10	,027	5,16	113,27
	3,00	-1,79	8,13	,996	-23,42	19,85
	4,00	,94	8,80	1,000	-23,40	25,28
3,00	1,00	61,00	20,27	,023	6,53	115,47
	2,00	1,79	8,13	,996	-19,85	23,42
	4,00	2,73	9,20	,991	-22,63	28,09
4,00	1,00	58,27	20,55	,035	3,10	113,45
	2,00	-,94	8,80	1,000	-25,28	23,40
	3,00	-2,73	9,20	,991	-28,09	22,63

De gemiddelde waarde van ronde 1 verschilt significant met ronde 2, 3 en 4. Tussen de overige rondes is geen significant verschil.

In tabel 6 is een vergelijking tussen de gemiddelde waarde van de gehele rondes in serie 2 te zien.

Tabel 6: Statistische vergelijking tussen verschillende rondes onderling in serie 2. Ook hier is gekozen voor de Games-Howell toets omdat de significantie van de Levene Statistic <0.05 is.

Levene Statistic		df1	df2	Sig.		
3,158		2	91	,047		
		Verschil Gem.			95% Betrouwbaarheids Interval	
(I) ronde	(J) ronde	(I-J)	Std. fout	Sig.	Ondergrens	
1,00	2,00	-43,0	21,9	,141	-97,4	11,3
	3,00	-58,6	24,6	,056	-118,5	1,3
2,00	1,00	43,0	21,9	,141	-11,3	97,4
	3,00	-15,6	14,1	,516	-49,7	18,5
3,00	1,00	58,6	24,6	,056	-1,3	118,5
	2,00	15,6	14,1	,516	-18,5	49,7

Tussen de rondes waarbij het bovenoppervlak is drooggeblazen na de storting, is geen significant verschil. Ronde 1 en 3 zijn echter bijna significant verschillend.

4.6 Statistische vergelijking tussen subrondes onderling

In tabel is een vergelijking tussen de gemiddelde waarden van de subrondes te zien. In bijlage 3 en 4 zijn respectievelijk de gegevens van de subrondes en de toets weergegeven.

Tabel 7: Onafhankelijke streekproeven T-toets tussen subrondes, opeenvolgende stortingen binnen de eigen ronde, in de series. Er is telkens een subronde met de opeenvolgende subronde getoetst. Daarnaast is een streekproeven T-toets van de subrondes tussen de beide series. De lichtgrijze vakken zijn de vergelijkingen die significant verschillen.

Vergelijkingsnummer	Serie	Ronde	Storting	Subronde	Significantie
1	1	1	1 tm 4	1	0.024
	1	1	5 tm 8	2	
2	1	1	5 tm 8	2	0.028
	1	1	9 tm 11	3	
3	1	2	1 tm 4	1	0.020
	1	2	5 tm 8	2	
4	1	2	5 tm 8	2	0.696
	1	2	9 tm 11	3	
5	2	1	1 tm 4	1	0.040
	2	1	5 tm 8	2	
6	2	2	1 tm 4	1	0.055
	2	2	5 tm 8	2	
7	2	2	5 tm 8	2	0.901
	2	2	9 tm 12	3	
8	1	1	1 tm 4	1	0.477
	2	1	1 tm 4	1	
9	1	1	5 tm 8	2	0.270
	2	1	5 tm 8	2	

Voor serie 1 geldt dat in beide rondes de eerste subrondes significant verschillen met de tweede subrondes. Voor serie 2 geldt dit alleen voor de eerste ronde. Voor serie 1 geldt dat de tweede subronde ook significant verschilt met de derde subronde, voor de eerste ronde.

Voor zowel subronde 1 als 2 van ronde 1 geldt dat deze niet significant verschillen tussen de series. Voor ronde 1 is dus geen significant verschil tussen droogblazen en niet droogblazen. Ronde 2 is hier niet meegenomen, omdat er goede vergelijking tussen deze ronde van de beide series te maken valt. Dit komt omdat ronde 1 van serie 2 maar 8 stortingen bevat, tegenover 11 stortingen bij serie 1. De uitgangssituatie bij ronde 2 is dan niet gelijk. In bijlage 3 zijn de overige gegevens van de subrondes gegeven.

5. Discussie

5.1 Verklaring grafieken zonder droogblazen

De metingen begonnen telkens met een geheel droge vloer. Naarmate meer stortingen zijn geweest, wordt het vloerelement natter, ook onder het element, en het verschil in de waarden van M_{element} kleiner. Tussen twee rondes is meestal een dal in de grafiek te zien. Dit komt doordat tussen deze storting de opvangbak geleegd moest worden, omdat de weegschaal dan aan zijn maximale capaciteit komt. Hierdoor zaten enkele minuten tussen deze stortingen, en kon het oppervlak iets afdrogen waardoor minder water in de opvangbak kwam bij de volgende storting.

Het dal in figuur 13 bij storting 3 in de eerste ronde van meting 3 wordt veroorzaakt doordat de opvangbak niet goed gepositioneerd stond en het water hierdoor heen en weer begon te schuiven waarbij een kleine hoeveelheid buiten de bak terecht is gekomen.

Wat verder opvalt in de grafiek is dat in het geval van een piek, vaak meteen een dal volgt en andersom. Dit valt het meest logisch te verklaren aan het feit dat als er bij een storting om bepaalde redenen net wat meer water achterblijft op het element, dit bij de volgende storting als extra hoeveelheid in de opvangbak stroomt, en andersom. Bij het uitvoeren van de eerste metingen is het aantal rondes steeds vergroot. Dit is gedaan omdat de gedachte aanwezig was dat bij meerdere rondes uiteindelijk meer bewijs is om de hypothese van verzadiging onder het vloerelement aan te tonen. Wat na serie 1 bleek was dat behalve tussen ronde 3 en 4 tevens tussen ronde 2 en 3 al geen significant verschil meer aanwezig was, waardoor in serie 2 is gekozen om met drie in plaats van vier rondes te werken.

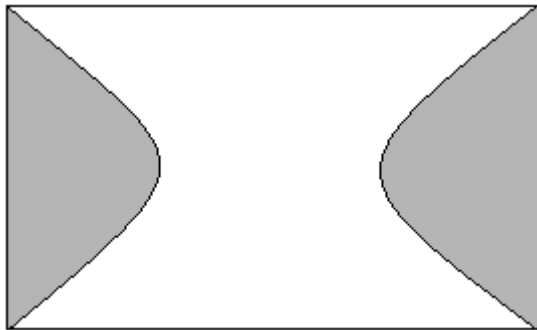
5.2 Verklaring grafieken met droogblazen

In vergelijking tot de metingen zonder droogblazen valt op dat de eerste paar stortingen van een ronde bij de metingen met droogblazen een hogere waarde hebben. Het water op het bovenoppervlak wordt naar de zijkanten geblazen en komt zo al grotendeels tijdens dezelfde storting in de opvangbak terecht, waardoor de meetwaarde dus hoger wordt.

Tevens is er tussen de opeenvolgende stortingen meer variatie, er zijn veel pieken en dalen te zien. Het droogblazen gebeurt in de eerste 30 seconden van de laatste minuut van een storting, bij ongelijke uitvoering kan dit invloed hebben op de meetwaarde waardoor er meer variatie ontstaat. De meettijd had waarschijnlijk groter moeten zijn om dit effect kleiner te maken. Voor deze vloer blijkt echter dat een meettijd van twee minuten voldoende is (Snoek, 2009 en Heassen, 2010). Bij deze metingen echter werd de vloer drooggeblazen na de eindwaarde van een storting, in tegenstelling tot de metingen van dit onderzoek.

5.3 Verloopt de ontwikkeling van het aantal druppels volgens een bepaald patroon?

Met behulp van een fotoreeks is visueel vastgelegd hoe de waterdruppels tijdens de metingen de onderkant van het vloerelement bevochtigen. Bij de eerste stortingen valt te zien dat de druppels in een rechte lijn vanuit de plek waar de gleuf op het vloerelement zit, onder het vloerelement lopen. De onderkant wordt het meest in het midden van het vloerelement bevochtigd, omdat het meeste water via de middelste gleuven van het element wordt afgevoerd. De eerste en tweede ronde groeit het bevochtigde oppervlak. Tijdens de derde (en vierde) ronde wordt dit oppervlak niet meer groter. Uiteindelijk ontstaat een bevochtigd oppervlak zoals geschetst in figuur 16. De druppels hebben niet voldoende kinetische energie en aanhechtingskracht om het vloerelement verder te bevochtigen. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat de stortingen telkens in het midden van het vloerelement gestort wordt.



Figuur 16: Schematisch onderaanzicht wetting vloerelement. Grijs deel is bevochtigd, het witte deel niet.

5.4 Ontstaat er een evenwichtstoestand (van het aantal druppels onder het vloerelement) na verloop van een aantal stortingen?

De data verkregen van de metingen is op drie verschillende manieren onderzocht op significantie in het verloop van de wetting onder het vloerelement.

Statistisch is in tabel 4 aangetoond dat voor stortingen, voor de series met en zonder droogblazen, alleen enkele eerste en tweede stortingen van ronde 1 en 2 significant verschillen met andere stortingen. Tussen de overige stortingen in de rondes is geen significant verschil, de hoeveelheid water dat tijdens een storting in de opvangbak terecht komt wordt dus constant.

Daarnaast is voor elke ronde het gemiddelde genomen van alle stortingen samen in de ronde (zie tabel 5). Hierbij is aangetoond dat ronde 1 significant verschilt met ronde 2, 3 en 4 voor serie 1, zonder droogblazen. Ronde 1 begint met een geheel droge vloer, daar kan dit verschil verklaard door worden. In serie 2, met droogblazen, is tussen geen enkele ronde significant verschil, hoewel tussen ronde 1 en 3 dit heel weinig scheelt. Ondanks de variërende lijn in figuur 14, is het gemiddelde van de rondes dus inderdaad dicht bij elkaar komen te liggen. Met het droogblazen wordt de plas water die achterblijft bovenop het element weggeblazen. De intentie hiervan was om de variatie tussen de storting minder te laten worden, aangezien de beginsituatie bij elke storting dan gelijkwaardiger zou zijn. Vooral de waarden van eerste stortingen van een ronde

komen dichterbij de overige stortingen te liggen, aangezien er geen significant verschil is tussen de stortingen onderling in tabel 4.

Tenslotte is door middel van subrondes (zie tabel 6) voor ronde 1 en 2 van beide series, waarbij een ronde in delen wordt gedeeld, gekeken naar significante verschillen tussen opeenvolgende subrondes. De eerste subronde verschilt telkens significant met de tweede subronde, op ronde 2 van serie 2 na. De tweede subronde echter verschilt alleen voor de 1^e ronde van serie 1 significant met de derde subronde. Voor een overeenkomstige subronde maakt wel of niet droogblazen geen significant verschil. Deze vergelijking is alleen gedaan voor ronde 1 en 2 van beide series, aangezien bleek dat bij de tweede analyse geen significant verschil optrad tussen rondes 2, 3 en 4 onderling.

Uit deze drie statische onderzoeken samen kan opgemaakt worden dat er geen significant verschil meer is na de 8^e storting (2^e subronde) in ronde 2, voor beide series. Dit geldt dus voor enkele stortingen onderling, opeenvolgende subrondes en gehele rondes. Dit komt overeen met de fotoreeks in figuur 15, de foto na ronde 3 is nagenoeg gelijk aan die na ronde 2. Om de significante fouten door waterophoping onder het vloerelement buiten de meting te houden, dienen dan van tevoren 19 (1 ronde + 8 stortingen) stortingen uitgevoerd te worden voor dit vloerelement. Dit aantal wordt echter beïnvloed doordat de stortbak tussen de rondes geleegd dient te worden, waardoor de tijd tussen de stortingen hier veel groter is. Hierdoor kan het vloerelement opdrogen, waardoor er meer stortingen nodig zijn om significant geen verschil meer tussen de stortingen te verkrijgen.

6. Conclusie

Water kan door verschillende krachten aan het betonnen vloerelement hechten. Adhesie, cohesie en de hydrogene bindingen zorgen voor binding tussen de vloeistof en vaste stof, zodat druppels vormen waardoor deze ook onder het vloerelement kunnen blijven hangen. De krachten moeten bij elkaar groter zijn dan de zwaartekracht die de druppels lostrekt van het contactoppervlak.

De energiewaarde van de vaste stof bepaald hoe groot de contacthoek tussen de vloeistof en de vaste stof is. Dit is een maat voor de capaciteit van de vaste stof om vloeistof aan zich te binden. Beton heeft een contacthoek van ongeveer 75 graden en kan hierdoor veel water aan zich binden. In sommige gevallen kan de contacthoek door de verandering van de molecuulstructuur van een materiaal aangepast worden. Door een hydrofobe laag te vormen, wordt de contacthoek groter en bindt de vloeistof minder aan de vaste stof.

Bij de experimenten met de proefopstelling van Snoek (2009) valt visueel te zien dat tijdens de eerste stortingen met water er onder het vloerelement steeds meer water ophoopt. Water dat ophoopt valt niet (of niet direct) in de opvangbak, waardoor het de waarde van de afvoersnelheid van de vloer beïnvloed. Met het experiment wordt aangetoond dat het water hoopt zich op aan de voor- en achterkant. Via de zijkanen wordt geen water afgevoerd, hierdoor wordt de onderkant aan deze kanten ook niet bevochtigd. Na verloop van een aantal stortingen wordt het bevochtigd oppervlak niet meer groter. Dit geldt zowel voor de metingen met en zonder droogblazen van het bovenoppervlak na een storting met water.

Tussen de eerste stortingen zijn significante verschillen tussen de hoeveelheid waterophoping onder de vloer. Dit zorgt er dus voor dat de meetwaarden voor de afvoersnelheid van de vloer beïnvloed wordt door het aantal stortingen dat voorafgaand is uitgevoerd. Na het uitvoeren van meerdere stortingen wordt een punt bereikt waarop de hoeveelheid water onder het vloerelement constant wordt. Er is significant aangetoond dat er na 19 stortingen geen verschil meer is tussen de stortingen die hierop volgen. Gesteld kan worden dat een evenwichtssituatie van het aantal druppels onder het vloerelement ontstaat. Om invloed van de druppels op de metingen van de afvoersnelheid van het bovenoppervlak te voorkomen dienen dus 19 stortingen uitgevoerd te worden voor de meting. Dit aantal zal echter lager zijn als stortbak niet tussen de meting geleegd dient te worden, waardoor de tijd tussen enkele stortingen groter is. Hierdoor kan het vloerelement opdrogen, waardoor er meer stortingen nodig zijn om geen significant verschil meer tussen de stortingen te verkrijgen.

7. Aanbevelingen

Metingen doen met een ander materiaal gehecht aan onderkant van het vloerelement. Doordat materialen verschillende bindingseigenschappen hebben met vloeistoffen kan de gemeten hoeveelheid waterophoping onder het vloerelement vergeleken worden.

Metingen doen met stortingen op verschillende posities op het vloerelement, tijdens dit onderzoek is een vaste positie op het vloerelement aangehouden, maar dit is in de praktijk niet het geval en dit kan invloed hebben op de waterophoping onder het vloerelement.

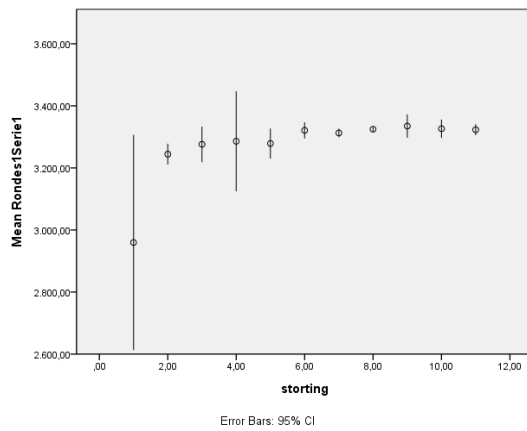
Metingen doen met luchtblazen tussen twee stortingen in plaats van tijdens de storting. Hierdoor zou de variatie tussen de meetwaarden van de stortingen kleiner kunnen worden, waardoor minder stortingen nodig zouden kunnen zijn om significant aan te tonen dat er geen verschil meer is tussen de hoeveelheid waterophoping.

Metingen doen met bevuild vloerelement, dit onderzoek is gedaan met een schone vloer, in de praktijk is de vloer meestal bevuild met mest.

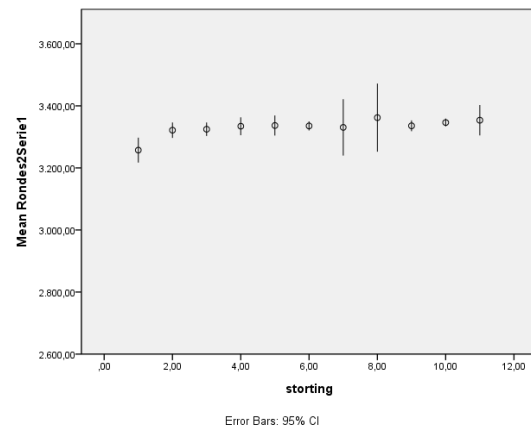
8. Referenties

- De Gennes, P. G. (1985). "Wetting: Statics and dynamics." *Reviews of Modern Physics* 57(3): 827-863.
- De Vries, I. J. and R. B. Polder (1997). "Hydrophobic treatment of concrete." *Construction and Building Materials* 11(4): 259-265.
- Emsley, J. (1980). "Very strong hydrogen bonding." *Chemical Society Reviews* 9(1): 91-124.
- De Jong, R. (2010). "Onderzoek naar het urinetransport van verschillende vloeren in een koeienstal.", Farm Technology, Wageningen UR.
- Haessen, G.P.M.J. (2010). "A new floor design for a dairy cow house to reduce ammonia emission", Farm Technology, Wageningen UR.
- Johnson, K.L. ,Kendall. K. et. al. (1971). "Surface energy and the contact on elastic solids" *The Royal Society* (1558): 301-313.
- Kinloch, A. J. (1980). "The science of adhesion." *Journal of Materials Science* 15(9): 2141-2166.
- Marshall, S. J., S. C. Bayne, et al. (2009). "A review of adhesion science." *Dental Materials* 26(2): E11-E16.
- Momber, A. W. (2002). "The wettability of some concrete powders." *Particulate Science and Technology* 20(3): 243-246.
- Monteny, G.J. and J.W. Erisman (1998). "Ammonia emission from dairy cow buildings: A review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction." *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46(3-4): 225-247.
- Smits M.C.J.,Huis in 't Veld J.W.H. (2006). "Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven en De Marke; resultaten van diverse, korte meetsessies" *Koeien en Kansen* (35)
- Snoek, J. W. (2009). "Effect of floor design for a dairy cow house on ammonia emission", Farm Technology, Wageningen UR.
- Steiner, T. (2002). "The Hydrogen Bond in the Solid State." *Angewandte Chemie International Edition* 41(1): 48-76.

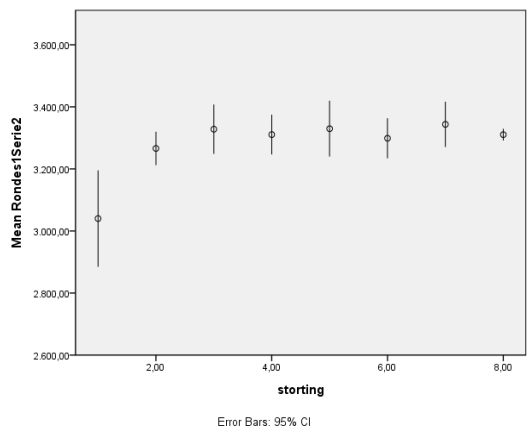
9. Bijlagen



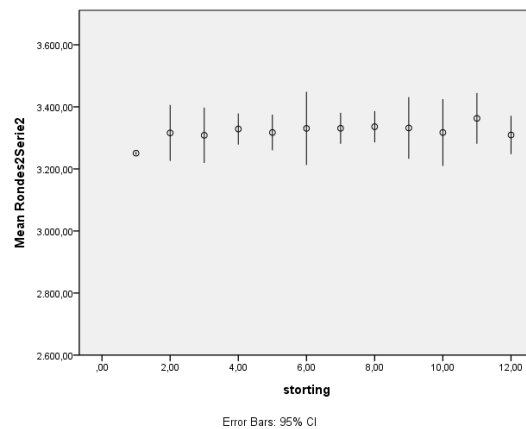
1.1



1.2



2.1



2.2

Bijlage 1: Grafische weergave standaardafwijking per storting voor: serie 1 ronde 1 (1.1), serie 1 ronde 2 (1.2), serie 2 ronde 1 (2.1) en serie 2 ronde 2(2.2). Het rondje in de grafiek is de gemiddelde waarde, de verticale lijn geeft de standaardafwijking aan.

Bijlage 2: Tabel met gegevens van rondes. Gem.= gemiddelde waarde ronde, Std. Dev. = standaard deviatie, Std. fout = standaard fout

Ronde	N	Gem.	Std. Dev	Std. fout	95% Betrouwbaarheidsinterval	
					Ondergrens	Bovengrens
Serie 1						
1,00	33	3271,5	111,2	19,4	3232,1	3311,0
2,00	33	3330,8	31,2	5,4	3319,7	3341,8
3,00	22	3332,5	28,4	6,1	3320,0	3345,1
4,00	11	3329,8	23,0	6,9	3314,4	3345,3
Totaal serie 1	99	3311,3	73,3	7,4	3296,7	3325,9
Serie 2						
1,00	23	3277,0	100,7	21,0	3233,4	3320,6
2,00	36	3320,0	36,5	6,1	3307,7	3332,4
3,00	35	3335,6	75,3	12,7	3309,7	3361,5
Totaal serie 2	94	3315,3	74,2	7,6	3300,1	3330,5

Bijlage 3: Tabel met gegevens van de subrondes. Gem.= gemiddelde waarde ronde, Std. Dev. = standaard deviatie, Std. fout = standaard fout

	Subronde	Starting	N	Gem.	Std. Dev.	Std. Fout
Ronde 1 serie1	1	1 tm 4	12	3191,5	155,7	44,9
	2	5 tm 8	12	3309,3	21,4	6,2
	3	9 tm 11	9	3345,2	13,3	4,4
Ronde 2 serie 1	1	1 tm 4	12	3310,6	33,4	9,7
	2	5 tm 8	12	3341,2	28,3	8,2
	3	9 tm 11	9	3345,2	13,3	4,4
Ronde 1 serie 2	1	1 tm 4	12	3236,2	125,1	36,1
	2	5 tm 8	11	3321,5	30,3	9,1
Ronde 2 serie 2	1	1 tm 4	12	3300,9	39,0	11,3
	2	5 tm 8	12	3328,8	26,6	7,7
	3	9 tm 12	12	3330,4	37,4	10,8

Bijlage 4: Onafhankelijke steekproeven-toets voor subrondes. Gem.= gemiddelde waarde ronde, Std. Dev. = standaard deviatie, Std. fout = standaard fout

		Levene's Toets voor gelijkheid van variatie		t-toets voor gelijkheid van Gemiddelde						
		F	Sig.	T	df	Sig. (2- zijdig)	Verschil Gem.	Verschil Std. Fout	95% Betrouwbaarheid sinterval	
									Onder grens	Boven grens
Ronde1 serie 1 Subronde 1 vs 2	Gelijke variatie niet aangenomen	12,406	,002	2,595	11,415	,024	117,8	45,4	18,3	217,2
Ronde1 serie 1 Subronde 2 vs 3	Gelijke variatie aangenomen	1,419	,248	2,376	19	,028	18,75	7,89	2,23	35,3
Ronde 2 serie 1 Subronde 1 vs 2	Gelijke variatie aangenomen	1,042	,318	2,506	22	,020	31,7	12,6	5,5	57,9
Ronde 2 serie 1 Subronde 2 vs 3	Gelijke variatie aangenomen	1,149	,297	,397	19	,696	4,1	10,2	-17,3	25,4
Ronde 1 serie 2 Subronde 1 vs 2	Gelijke variatie niet aangenomen	11,123	,003	2,292	12,398	,040	85,4	37,3	4,5	166,3
Ronde 2 serie 2 Subronde 1 vs 2	Gelijke variatie niet aangenomen	5,786	,025	2,041	19,407	,055	27,8	13,6	-,7	56,3
Ronde 2 serie 2 Subronde 2 vs 3	Gelijke variatie aangenomen	1,337	,260	,126	22	,901	1,7	13,2	-25,8	29,1
Ronde1 Subronde 1 serie 1 vs 2	Gelijke variatie aangenomen	,259	,616	-,775	22	,447	-44,7	57,7	-164,2	74,9
Ronde1 Subronde 2 serie 1 vs 2	Gelijke variatie aangenomen	1,712	,205	-1,132	21	,270	-12,3	10,9	-34,9	10,3