



De invloed van houteigenschappen op het brandgedrag van hout

Bachelorscriptie

10 juni 2022

Auteur: D.M. Dechering

Studentnummer: 459914

E-mailadres: d.dechering@peutz.nl

Opleiding: Forensisch Onderzoek

Organisatie: Saxion University of Applied Science

Organisatie adres: M.H. Tromplaan 28; 7513 AB Enschede

Bedrijf: Peutz

Bedrijfsadres: Lindenlaan 41; 6584 AC Molenhoek

Bedrijfscoach vanuit Peutz: Ing. N.F. van Dijk

Begeleider vanuit Saxion: Dr. Ir. N.J.P. ten Broeke



PEUTZ

Voorwoord

Voor u ligt de afstudeerscriptie “*De invloed van hout eigenschappen op het brandgedrag van hout*”. Het onderzoek voor deze afstudeerstage is uitgevoerd bij Adviesbureau Peutz met als stagebegeleider Ing. Niek van Dijk. De stagebegeleider bij dit onderzoek is Dr. Ir. Nicole ten Broeke, werkzaam als docent bij de opleiding Forensisch Onderzoek.

Dit verslag is geschreven in het kader van mijn afstudeerstage aan de opleiding Forensisch Onderzoek aan Saxion University of Applied Science. Van februari 2022 tot en met juni 2022 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie. Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken van het brandgedrag van verschillende houtsoorten en welke parameters en/of materiaaleigenschappen hierin het grootste aandeel hebben.

Bij dezen wil ik graag mijn begeleiders bedanken voor de fijne begeleiding en hun ondersteuning. Daarnaast wil ik de leveranciers van het hout bedanken voor het beschikbaar stellen van het hout en het meedenken over het onderzoek. Ik wil alle collega’s bedanken voor alle hulp, zonder hun hulp had ik dit onderzoek niet kunnen voltooien.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Daphne Dechering

Molenhoek, 10 juni 2022

Samenvatting

Om materialen veilig te kunnen gebruiken in constructies zijn veiligheidseisen opgesteld. Deze eisen zijn opgenomen in het Bouwbesluit. Deze eisen gaan onder andere over het beperken van het ontwikkelen van een brand. Deze eisen worden uitgedrukt in een brandklasse. Van verschillende materialen is de brandklasse bekend, echter is het lastig de brandklasse van hout te bepalen, omdat er veel verschillende houtsoorten zijn, welke ander brandgedrag vertonen.

Om meer inzicht te verkrijgen in het brandgedrag van houtsoorten is het doel van dit onderzoek het vaststellen van het brandgedrag van verschillende houtsoorten en bepalen welke parameters en/of materiaaleigenschappen hier het grootste aandeel in hebben. Met behulp van een regressieanalyse is geprobeerd een formule op te stellen om het brandgedrag te voorspellen. De opgestelde hoofdvraag voor dit onderzoek is *“Welke eigenschappen kunnen bepalend zijn voor het brandgedrag van hout en is het mogelijk op basis van deze eigenschappen het brandgedrag van andere houtsoorten te voorspellen?”*

Het brandgedrag van een materiaal wordt bepaald door het uitvoeren van een Single Burning Item – test. Deze test simuleert een beginnende (prullenbak)brand. Door de brandgroei, vlamverspreiding en warmteproductie te bepalen is het mogelijk hout te classificeren in klasse B, C of D.

Verwacht wordt dat de volgende factoren een rol kunnen spelen in het brandgedrag van hout: de grootte en dichtheid van vaten, of houtstralen, het soortelijk gewicht, de permeabiliteit en het percentage aanwezig lignine en cellulose.

Om meer data met betrekking tot het brandgedrag te verzamelen zijn testen uitgevoerd zoals de small flame test, calorimetertest en het bepalen van het vochtgehalte. Gedurende een small flame test wordt de vlamuitbreiding, ontvlambaarheid en druppelvorming bepaald. Met een calorimetertest kan de verbrandingswarmte van een materiaal bepaald worden. Het vochtgehalte is bepaald met een vochtgehaltemeter en door het monster te laten drogen in een oven.

Na het verzamelen van alle data is met behulp van statistiek een (meervoudige) lineaire regressieanalyse uitgevoerd. Het brandgedrag blijkt het best voorspeld te kunnen worden op basis van het aanwezige percentage cellulose en lignine. Het blijkt lastig te zijn de exacte waarden voor de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} te voorspellen, echter kan een indicatie van de brandklasse gegeven worden door gebruik te maken van de volgende formules:

$$FIGRA_{0,2MJ} = (5,498 + 0,091 * cellulose - 0,13 * lignine)^3$$
$$THR_{600s} = 8,743 + 0,52 * cellulose - 0,562 * lignine$$

Meer onderzoek naar het brandgedrag van hout zou kunnen gaan over andere factoren die het brandgedrag kunnen beïnvloeden zoals: zaagrichting, sample oriëntatie en het seizoen dat een boom wordt gekapt. Om meer inzicht te krijgen in de samenstelling van hout en de invloed van de samenstelling op het brandgedrag moet er onderzoek worden uitgevoerd naar de chemische samenstelling van hout. Dit zou bijvoorbeeld kunnen met behulp van een thermogravimetrische analyse (TGA) of high performance liquid chromatografie (HPLC).

Inhoud

1. Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Probleemanalyse	6
1.3 Doel	6
1.4 Onderzoeksvraag	6
1.5 Deelvragen	6
1.6 Afbakening	6
2. Theoretische achtergrond	7
2.1 Brandgedrag/bouwbesluit	7
2.2 Classificatie	7
2.3 Conditioneren (EN 13238)	8
2.4 Single Burning Item (SBI) - Test (EN 13823)	8
2.5 Small flame test (ISO 11925-2)	9
2.6 Calorimeter test (ISO 1716)	10
2.7 Vochtgehalte bepalen (ISO 12570)	10
2.8 Houtsamenstelling	10
2.9 Groeiplaatsfactoren	11
2.10 Houtverbranding	12
3. Onderzoekstrategie	12
3.1 Hypothese	13
3.2 Betrouwbaarheid en validiteit	15
4. Materiaal en methode	16
4.1 Materiaal	16
4.2 Methode	17
4.2.1 Conditioneren	17
4.2.2 Proefstukken maken	17
4.2.3 SBI testen	17
4.2.4 Small flame testen	18
4.2.5 Vochtgehalte bepalen	19
4.2.6 Calorimeter test	19
4.2.7 Vaten tellen	21
4.2.8 Verwerking resultaten	21
5. Resultaten	22

5.1 Conditioneren.....	22
5.2 SBI-test	23
5.3 Small Flame test	24
5.4 Vochtgehalte bepalen	24
5.5 Calorimeter test.....	25
5.6 Vaten tellen	26
5.7 Groeigebied	27
5.8 Statische analyse	29
6. Discussie	34
7. Conclusie	35
8. Aanbevelingen.....	36
Bijlagen.....	40
Bijlage 1 Geselecteerde chemische eigenschappen	40
Bijlage 2 onderzochte houtsoorten	41
Bijlage 3 houtsoorten en geselecteerde eigenschappen	42
Bijlage 4 Labjournaal vaststellen conditioneringsduur	44
Bijlage 5 Labjournaal SBI – test	45
Bijlage 6 Labjournaal Small Flame test.....	47
Bijlage 7 Labjournaal vochtgehalte bepalen	49
Bijlage 8 Labjournaal Calorimeter	50
Bijlage 9 Labjournaal bepaling vatdoorsnede en -dichtheid.....	52
Bijlage 10 Veiligheidsbladen.....	53
Bijlage 11 Meetresultaten SBI test.....	54
Bijlage 12 meetresultaten small flame test.....	55
Bijlage 13 Data overzicht SPSS	56
Bijlage 14 Statistiek	57
Bijlage 15 Tijdlijn houtsoorten	98

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Hout wordt gebruikt in de bouw. Om materialen veilig te kunnen gebruiken in constructies zijn veiligheidseisen opgesteld. Deze eisen zijn opgenomen in het Bouwbesluit, een document met eisen op verschillende veiligheidsgebieden, waaronder brandveiligheid, waaraan alle nieuwe en bestaande gebouwen in Nederland moeten voldoen. Deze eisen gaan onder andere over het beperken van het ontstaan en ontwikkelen van een brand. De eisen opgesteld rond het ontwikkelen van een brand zijn uitgedrukt in brandklasse. Materialen die gebruikt worden in een bouwconstructie moeten aan deze brandklasse voldoen. [1] [2]

Van verschillende materialen is de brandklasse bekend. Echter is het lastig om de brandklasse van hout generiek te bepalen, omdat er veel verschillende houtsoorten zijn, welke ander brandgedrag vertonen. Daarnaast blijkt uit literatuur dat bomen van één familie, die groeien op andere locaties anders zullen branden. Dit zou betekenen dat het brandgedrag van hout niet alleen afhankelijk is van het type hout maar dat er mogelijk andere factoren meespelen. [1] [2]

1.2 Probleemanalyse

Materialen die worden gebruikt in de bouw moeten voldoen aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit. Om te voldoen aan de eisen in het Bouwbesluit moet van sommige materialen het brandgedrag bekend zijn. Doordat er veel verschillende houtsoorten zijn is het brandgedrag van houtsoorten niet altijd bekend. Daarom is het nodig meer onderzoek uit te voeren om meer te leren over het brandgedrag van hout. Deze kennis kan onder meer gebruikt worden om klanten beter te adviseren.

1.3 Doel

Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken van het brandgedrag van verschillende houtsoorten en welke parameters en/of materiaaleigenschappen hierin het grootste aandeel hebben. Vervolgens zal met behulp van een statistisch programma en een (meervoudige)regressieanalyse worden geprobeerd een formule op te stellen om het brandgedrag te kunnen voorspellen.

1.4 Onderzoeksvraag

Welke eigenschappen kunnen bepalend zijn voor het brandgedrag van hout en is het mogelijk op basis van deze eigenschappen brandgedrag van andere houtsoorten te voorspellen?

1.5 Deelvragen

- Welke eigenschappen, karakteristiek voor hout kunnen bijdragen aan het brandgedrag van hout?
- In welke mate zijn de gekozen eigenschappen aanwezig in de gekozen houtsoorten?
- Wat is het brandgedrag van verschillende soorten hout?
- In hoeverre hebben de vastgestelde parameters invloed gehad op het brandgedrag van hout?

1.6 Afbakening

De resultaten van dit onderzoek zullen gebaseerd worden op ca. 40 verschillende houtsoorten. De keuze is gevallen op deze houtsoorten omdat deze houtsoorten veel gebruikt worden in Nederland en België. Dit zorgt voor een relatief korte levertijd, wat noodzakelijk is voor dit onderzoek, omdat het hout na ontvangst minimaal vier weken moet conditioneren voordat het gebruikt kan worden in het onderzoek. En het gehele onderzoek in 20 weken afgerond moet zijn. Door de leveranciers is aangegeven dat de gebruikte houtsoorten niet op de IUCN of CITES lijst staan. En dus niet met uitsterven worden bedreigd. Mocht dit wel het geval zijn is de leverancier gecertificeerd om te mogen handelen in de betreffende houtsoort.

In dit onderzoek zullen de houtsoorten eenmalig getest worden door middel van een Single Burning Item (SBI) – test volgens EN 13823. Voor een volledige classificatie is het nodig de test driemaal uit te voeren met vergelijkbare proefstukken. Echter is het niet nodig om de houtsoorten te classificeren, maar is sprake van een test ten behoeve van onderzoek, om een indicatie te krijgen van het brandgedrag van het materiaal. Daarom zal de test per houtsoort eenmalig worden uitgevoerd.

De SBI-test zal verkort worden uitgevoerd, dit betekent dat de test tien minuten wordt voortgezet in plaats van twintig minuten. Dit omdat de relevante data voor dit onderzoek verkregen wordt in de eerste tien minuten van de test. Dit zorgt ervoor dat de testresultaten niet vergeleken kunnen worden met andere testen, maar enkel gebruikt kunnen worden voor een onderlinge vergelijking. De test wordt eerder afgebroken om tijd te besparen, zo worden tien minuten bespaard die de test korter duurt, maar daarnaast kost het ook minder tijd om het systeem af te laten koelen. Doordat de test korter duurt is de blootstelling van het proefstuk korter. Het door vuur aangetaste deel van het proefstuk is daardoor kleiner, waardoor het mogelijk is een kleiner proefstuk te gebruiken wat scheelt in kosten.

De verwachting is dat de houtsoorten een brandklasse B, C of D zullen verkrijgen in een officiële test. Daarom zal gedurende dit onderzoek de nadruk liggen op deze brandklassen en worden andere klassen buiten beschouwing gelaten. De keuze voor een smaller proefstuk en de kortere testduur leidt ertoe dat de uitgevoerde testen enkel in dit onderzoek gebruikt kunnen worden en niet gebruikt kunnen worden voor een classificatie. Gedurende dit onderzoek zal enkel onderzoek worden uitgevoerd naar de brandklasse van de houtsoorten. De rookklasse en druppelklasse worden bij het bepalen van de brandklassen buiten beschouwing gelaten. In dit onderzoek zal voor alle klassen gerekend worden met de $FIGRA_{0,2MJ}$ omdat dit de onderlinge vergelijking makkelijker maakt.

2. Theoretische achtergrond

2.1 Brandgedrag/bouwbesluit

Wanneer een bouwwerk gebouwd gaat worden, moet in Nederland aan het Bouwbesluit gehouden worden. In het Bouwbesluit zijn eisen opgenomen waaraan een bouwwerk moet voldoen. Dit zijn onder andere eisen ten aanzien van brandveiligheid. Deze eisen gaan onder andere over het brandgedrag, brandwerendheid en de beheersbaarheid van een brand. Om de ontwikkeling van een brand tegen te gaan zijn er eisen gesteld aan het brandgedrag van een materiaal. Deze eisen zijn uitgedrukt in brandklasse A1 tot F. Materiaal met brandklasse A1 draagt niet bij aan de brand, terwijl materiaal met brandklasse F uiterst brandbaar is. [3] Dit is weergegeven in Tabel 1.

2.2 Classificatie

Een materiaal kan worden ingedeeld in een brandklasse, deze klasse wordt bepaald op basis van brandgedrag, de rookontwikkeling leidt tot een rookklasse en de druppelvorming leidt tot een druppelklasse gedurende een Single Burning Item (SBI) - test. [4] Het brandgedrag van materialen wordt bepaald aan de hand van de fire growth rate ($FIGRA$) en total heat release (THR_{600s}). Voor klasse A2 en B wordt gebruikt gemaakt van de $FIGRA_{0,2MJ}$ en voor de klasse C, D, E en F wordt gebruik gemaakt van de $FIGRA_{0,4MJ}$. De rookklasse wordt bepaald aan de hand van de smoke growth rate ($SMOGRA$) en de TSP_{600s} . De druppelvorming wordt bepaald op basis van visuele waarnemingen gedurende een SBI- en small flame test. Het brandgedrag en rookklasse worden bepaald met behulp van sensoren die O_2 , CO_2 , temperatuur en de snelheid waarmee gassen door het afzuigkanaal gaan meten. [5] De brandklassen zijn toegelicht in Tabel 1, de rookklasse zijn toegelicht in Tabel 2 en druppelklasse zijn toegelicht in Tabel 3.

Euroklasse	Bijdrage aan brand	Brandbaarheid	Voorbeeld
A1	Geen	Niet brandbaar	Niet mogelijk in hout.
A2	Nauwelijks	Praktisch niet brandbaar	Niet mogelijk in hout, wel in gipsplaat
B	Beperkt	Praktisch niet brandbaar	Zeer zware of brandvertragend behandelde houtsoort
C	Gemiddeld	Brandbaar	Zware houtsoorten
D	Hoog	Goed brandbaar	Overige houtsoorten
E	Zeer hoog	Zeer brandbaar	Zachtboard
F	Niet bepaald	Uiterst brandbaar	Niet mogelijk in hout, polystyreenschuim

Tabel 1 Indeling brandklasse [1]

Rookontwikkeling	Omschrijving
s1	Geringe rookproductie
s2	Gemiddelde rookproductie
s3	Grote rookproductie

Tabel 2 Indeling rookklasse [1]

Druppelvorming	Omschrijving
d0	Geen productie van vallende brandende delen
d1	Vallende delen branden korter dan 10 seconden
d2	Vallende delen branden langer dan 10 seconden

Tabel 3 Indeling druppelklasse [1]

Hout met een volume van $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ (bij een vochtgehalte van 12%) en een dikte van $\geq 22 \text{ mm}$, voor het gebruik als gevelbekleding, kan volgens EN 14915 worden geclassificeerd als brandklasse D-s2,d0 zonder te testen. Dit wordt aangeduid als Classified Without Further Testing. [3]

2.3 Conditioneren (EN 13238)

Voordat verschillende testen voor het bepalen van het brandgedrag uitgevoerd kunnen worden, is het nodig om het te testen materiaal, ook wel proefstuk, te conditioneren. [3] [6]

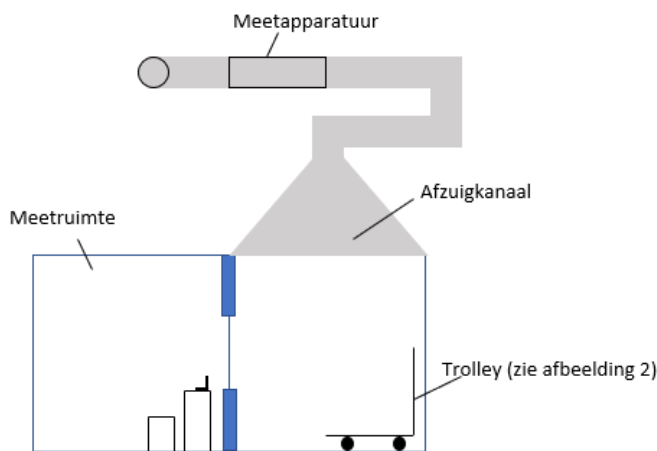
Conditioneren betekent dat het proefstuk voor een bepaalde tijd in een ruimte wordt geplaatst met een temperatuur van $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ en een relatieve luchtvochtigheid van $50 \pm 5 \%$. Proefstukken moeten zo geplaatst worden dat lucht kan circuleren rondom elk proefstuk. Een proefstuk moet conditioneren tot het een constante massa heeft bereikt. Er kan bepaald worden dat een proefstuk een constante massa heeft bereikt door het proefstuk te wegen. Als in een interval van 24 uur, het verschil in gewicht niet groter is dan 0,1% of 0,1 g indien dit groter is, dan is de constante massa bereikt volgens EN 13238. Daarnaast is het mogelijk om proefstukken voor een bepaalde tijd te conditioneren. Deze tijden zijn vastgesteld in de norm EN 13238, voor onbehandeld hout is deze tijd vastgesteld op minimaal vier weken. [7]

2.4 Single Burning Item (SBI) - Test (EN 13823)

Om een materiaal te kunnen classificeren is het nodig het materiaal te testen met onder andere een SBI - test. Een SBI – test simuleert een beginnende (prullenbak)brand, door een proefstuk bloot te stellen aan een driehoekige brander met een vermogen van 30 kW. Het proefstuk bestaat uit twee vleugels, een van 1 m x 1,5 m en een van 0,5 m x 1,5 m. Deze worden in een hoek van 90° in een trolley

geplaatst, die vervolgens in de testruimte wordt gereden. De brander bevindt zich in de hoek van het proefstuk. [8] [6]

De SBI-testopstelling is weergegeven in Afbeelding 1 en de Trolley is weergegeven in Afbeelding 2.



Afbeelding 1 Schematische weergave SBI-test



Afbeelding 2 Trolley van de SBI

De trolley wordt onder het afzuigkanaal geplaatst. Gedurende de test worden de vrijgekomen gassen door dit kanaal naar buiten geleid. In het afzuigkanaal zitten sensoren om de temperatuur, lichtdemping, O₂, CO₂ en de stroomsnelheid te meten. [9]

Met behulp van deze sensoren kunnen de warmteafgifte en rookproductie bepaald worden. De warmteafgifte wordt bepaald op basis van het zuurstofverbruik. De rookproductie wordt bepaald op basis van de demping van het licht door de verbrandingsgassen. [9]

Daarnaast worden de laterale vlamverspreiding (LFS) en vallende brandende druppels of deeltjes visueel waargenomen. [9]

Voor de klassen B, C en D is het noodzakelijk rekening te houden met de brandgroei (FIGRA_{0,2MJ} of FIGRA_{0,4MJ}), de vlamverspreiding (LFS) en totale warmteproductie na 10 minuten (THR_{600s}). [10] De eisen van deze waarden zijn weergegeven in Tabel 4.

Klasse	Criteria	Andere classificaties
B	FIGRA _{0,2MJ} ≤ 120W/s; and LFS < edge of specimen; and THR _{600s} ≤ 7,5MJ	Rook productie, druppelvorming
C	FIGRA _{0,4MJ} ≤ 250W/s; and LFS < edge of specimen; and THR _{600s} ≤ 15MJ	Rook productie, druppelvorming
D	FIGRA _{0,4MJ} ≤ 750W/s	Rookproductie, druppelvorming

Tabel 4 Gestelde eisen per brandklasse [7]

2.5 Small flame test (ISO 11925-2)

Voor een eerste indicatie van de classificatie kan een small flame test uitgevoerd worden. Het doel van deze test is bepalen of een product gemakkelijk en snel ontbrand. Met de small flame test wordt de ontvlambaarheid, verticale vlamuitbreiding en brandende en/of gloeiende druppels bepaald. [11]

Voor het uitvoeren van de small flame test is een monster van 9 cm bij 25 cm nodig. Het monster wordt blootgesteld aan een vlam van 2 cm. Deze vlam wordt onder een hoek van 45° op het oppervlak gezet. Dit is zichtbaar in Afbeelding 3. De vlam zal voor een bepaalde tijd, in dit onderzoek 30 s, tegen het proefstuk worden gehouden. Na 30 s wordt de vlam verwijderd en wordt het proefstuk



nog 30 s geobserveerd. Gedurende het onderzoek zal worden waargenomen of het product wel of niet ontvlamt, hoeveel de vlamuitbreiding is, hoeveel seconden na het begin van de test de grootste vlamverspreiding is bereikt en of brandende druppels of deeltjes ontstaan. [11]

Afbeelding 3 Small Flame test opstelling

2.6 Calorimeter test (ISO 1716)

De calorimeter, zichtbaar in Afbeelding 4, wordt gebruikt voor het bepalen van de verbrandingswarmte van een product. Dit gebeurt door ongeveer 0,5 g van het te testen sample in de verbrandingskroes te plaatsen. Aan het sample worden verbrandingshulpmiddelen toegevoegd, waarna de verbrandingskroes in de kroeshouder wordt geplaatst. Het ontsluitingsvat, zichtbaar in Afbeelding 5, wordt gesloten en in de calorimeter bevestigd. Als de meting start wordt de ruimte om het ontsluitingsvat gevuld met water. De temperatuur van het water wordt gemeten. Als de temperatuur van het water constant is zal in het ontsluitingsvat, onder 30 bar zuurstof, door middel van een vonk het materiaal tot ontbranding worden gebracht. De hoge druk en zuurstof zorgen ervoor dat volledige verbranding plaatsvindt. De ontbranding zorgt voor opwarming in het ontsluitingsvat. Deze warmte wordt doorgegeven aan het water. De stijging van de temperatuur in het water wordt gemeten. De vrijgekomen warmte en de snelheid van het opwarmen van het water worden omgerekend naar de verbrandingswarmte. [12]



Afbeelding 4 Calorimeter



Afbeelding 5 Binnenkant van het ontsluitingsvat, met een te meten sample

2.7 Vochtgehalte bepalen (ISO 12570)

Het vochtgehalte van een proefstuk kan worden bepaald door deze te drogen in een oven, met een temperatuur zoals vastgesteld in de norm, voor hout is dit $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Het proefstuk wordt gewogen voordat deze in de oven wordt geplaatst. Het is noodzakelijk dit proefstuk, met een interval van 24 h te wegen. Wanneer het verschil in massa van twee metingen minder dan 0,1% is, kan het vochtgehalte met behulp van de totale gewichtsafname bepaald worden. [13]

2.8 Houtsamenstelling

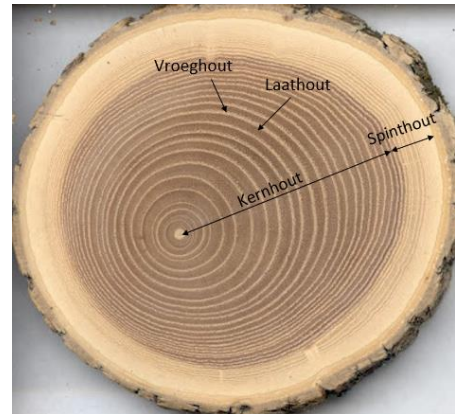
In de stam van een boom kan onderscheid gemaakt worden tussen kernhout en spinthout. Kernhout is, zoals de naam al zegt, aanwezig in de kern van de boom. Dit hout is over het algemeen donkerder van kleur. Kernhout bestaat voornamelijk uit dode cellen en zorgt voor stevigheid van de boom. Spinthout is over het algemeen lichter van kleur en zit meer aan de buitenkant van de boom. In het spinthout lopen vaten die water, mineralen en suikers vervoeren tussen de wortels en de bladeren. [5] Daarnaast zijn in het spinthout inhoudsstoffen aanwezig zoals harsen, vetten, vluchtige oliën en kalk. De dikte van het spinthout is afhankelijk van de leeftijd en lengte van de boom. Hoe beter het klimaat en de omgeving, hoe sneller een boom groeit, hoe groter het volume spinthout. [14]

Tussen het kernhout en spinthout is een overgangszone aanwezig. Dit zijn cellen die langzaam afsterven om van spinthout naar kernhout te transformeren. Deze overgangszone is meestal 1 tot 3

jaarringen groot. De overgangszone bevat minder zetmeel dan spinthout en heeft een lager vochtgehalte dan kern- en spinthout. [14]

In het kern- en spinthout zijn jaarringen aanwezig. In deze ringen wordt onderscheid gemaakt tussen vroeg- en laathout. Dit is weergegeven in Afbeelding 6. Vroeg hout is lichter, zachter en minder sterk dan laat hout. Het vroeger hout groeit vroeg in het jaar terwijl het laat hout later in het jaar groeit. [14]

Het verschil in vroeg- en laathout in bomen die groeien in een (sub)tropisch klimaat is minder significant dan bomen die groeien in een gematigd klimaat. Dit komt doordat de omstandigheden in de zomer en winter in een (sub)tropisch klimaat minder verschillen van elkaar, dan in bijvoorbeeld het gematigd klimaat. [5]



Afbeelding 6 Doorsnede boom

Vroeg hout bestaat uit grote cellen met dunne wanden, terwijl laat hout bestaat uit kleinere cellen met dikkere wanden. Dit wordt veroorzaakt doordat een boom in het voorjaar ook energie moet stoppen in het maken van bladeren, en niet alle energie kan gaan naar het maken van cellen in de boom. Daarnaast blijkt dat de samenstelling van een boom verandert gedurende het jaar. Doordat in de winter een groeibeperking plaatsvindt zal de boom in een rustperiode belanden. Hierdoor zal de boom minder stoffen uit de omgeving opnemen. [14]

In een boom zijn vaten aanwezig, deze zorgen voor het transport van water en voedingsstoffen in de boom. De vaten lopen van de wortels tot in de bladeren. Om het water en voedingsstoffen in de horizontale richting te vervoeren, dus van de bast tot de kern van de boom zijn er houtstralen. In loofhout zijn er 8% tot 33% houtstralen aanwezig en in naaldhout ongeveer 1%. Vezels bieden de boom stevigheid. De vezels lopen in de lengterichting van de boom. In loofhout zitten 50% tot 60% vezels en in naaldhout 90% tot 95%.

Als wordt gekeken naar de cellen in het hout bestaan celwanden voornamelijk uit cellulose en hemicellulose, wat bij elkaar wordt gehouden door lignine. In hout is ongeveer 50% cellulose, 16% tot 33% lignine en 5% tot 10% hemicellulose aanwezig. Daarnaast bevat hout 5% tot 30% inhoudsstoffen en 0,1 tot 3% mineralen. De aanwezigheid van de inhoudsstoffen en mineralen wordt beïnvloed door de groeiplaats van de boom en de aanwezige groeiplaatsfactoren. [15]

2.9 Groeiplaatsfactoren

Een groeiplaatsfactor is een factor die langdurig invloed heeft op de groei van een plant of boom. Een groeiplaatsfactor is stabiel voor de specifieke plaats. Dit zorgt ervoor dat bomen op verschillende locaties verschillend groeien. Hierdoor kunnen variaties in de houtstructuur ontstaan. Voorbeelden van groeiplaatsfactoren zijn: klimaat, topografie, grond- en oppervlaktewater. Daarnaast zijn er ook factoren die invloed hebben op de groei van een plant zoals water, warmte, licht, chemische stoffen in de grond en atmosfeer. [16]

De wortels van een boom nemen mineralen op uit de grond, en de bladeren nemen mineralen op uit de lucht. Op basis van de groeiplaats van de boom zullen de stoffen in de grond en lucht verschillen, wat zorgt voor verschillen in de chemische samenstelling. In de meeste typen hout komen dezelfde mineralen voor, maar in verschillende hoeveelheden. Enkele van de gevonden mineralen in bomen zijn: aluminium, calcium, ijzer, magnesium, natrium en kalium. Deze mineralen worden in de boom omgezet in bijvoorbeeld oxiden, carbonaten, silicaten, chloriden, fosfaten, nitraten of sulfaten. [17]

2.10 Houtverbranding

Hout verbrandt bij temperaturen van 250°C tot 350°C. Bij deze verbranding komt gemiddeld 19 MJ/kg energie vrij. Vaak wordt de mate van verbranding van hout in relatie gebracht met het soortelijk gewicht van de houtsoort. Zwaarder hout zou slechter branden, dan licht hout. Echter lijkt dit toch niet altijd te kloppen. Uit onderzoek blijkt dat Teak, met een dichtheid van 630 kg/m³ een inbrandsnelheid heeft van 0,43 mm/min. Terwijl Iroko, met een dichtheid van 620 kg/m³ een inbrandsnelheid heeft van 0,63 mm/min. Dit verschil is redelijk groot, terwijl dat op basis van enkel de dichtheid niet verwacht zou worden. Dit betekent dat er meer factoren van invloed moeten zijn op de verbrandingssnelheid van hout. [5]

Tijdens de verbranding van hout zal eerst het vocht in het water verdampen. [18] Vanaf het moment dat het hout een temperatuur van 180°C tot 350°C bereikt zal de afbraak van hemicellulose plaatsvinden. Vanaf temperaturen van 275°C tot 350°C zal de afbraak van cellulose plaatsvinden. Bij de verbranding van cellulose komen vluchtige stoffen vrij, wat zorgt voor een vlammeende verbranding. Bij temperaturen van 250°C tot 500°C zal lignine verkolen. Het verkolen gebeurt in twee fasen. Als eerst ontleden de etheralkylverbindingen. Als dit gebeurd is zal de lignine actief worden afgebroken. Bij de verbranding van lignine zullen vluchtige stoffen vrijkomen, echter is dit in mindere mate dan bij de verbranding van cellulose. Dit zorgt ervoor dat hoe meer cellulose aanwezig is in het hout, hoe sneller pyrolyse plaats zal vinden. Hiertegenover staat dat hoe meer lignine aanwezig is, hoe trager de pyrolyse zal plaatsvinden. [18] Andere factoren die van invloed kunnen zijn op het brandgedrag van hout zijn permeabiliteit en aanwezige mineralen. [5] [17]

3. Onderzoekstrategie

In dit onderzoek zal het brandgedrag van verschillende soorten hout worden onderzocht met behulp van de SBI test volgens EN 13823 en welke parameters hieraan bijdragen. Met behulp van statistisch computerprogramma Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS) zal een regressieanalyse worden uitgevoerd, indien mogelijk wordt een formule opgesteld. Met behulp van deze formule zou mogelijk het brandgedrag van andere houtsoorten voorspeld kunnen worden.

Voor dit kwalitatieve onderzoek zal primaire en secundaire data gebruikt worden. De primaire data zal worden verkregen middels het uitvoeren van experimenten met de SBI-test, small flame test en de calorimeter. Daarnaast wordt onderzoek uitgevoerd naar het conditioneren van materiaal en het vochtgehalte. De secundaire data zal worden verkregen door middel van literatuuronderzoek en gesprekken met experts.

Dit onderzoek zal beginnen met literatuuronderzoek. Deze keuze om te starten met literatuuronderzoek is gemaakt om eerst meer te weten te komen over welke data al bekend zijn over de verbranding en het brandgedrag van hout. Op basis van deze informatie wordt bepaald welke parameters gebruikt worden in dit onderzoek. Meer literatuuronderzoek zal worden uitgevoerd naar deze parameters, zo wordt gezocht naar de invloed van deze parameters op brand en in hoeverre deze parameters voorkomen in de te onderzoeken houtsoorten.

Voor dit onderzoek zijn ongeveer veertig houtsoorten gekozen. De keuze is gevallen op deze veertig houtsoorten, omdat deze houtsoorten veel gebruikt worden in Nederland en België, waardoor deze makkelijk op korte termijn leverbaar zijn. Van elke houtsoort zullen acht planken geleverd worden met de afmetingen: 15 cm breed, 2,1 cm dik en 200 cm lang. Voor deze afmetingen is gekozen omdat dit vrij standaard plank afmetingen zijn, wat ervoor zorgt dat de levertijd zo kort mogelijk is.

Voordat de samples getest kunnen worden, moeten deze conditioneren. Volgens de norm EN 13238 moet onbewerkt hout minimaal vier weken conditioneren, of tot het evenwichtsvochtgehalte bereikt is. Het is niet bekend hoelang het duurt tot onbewerkt hout het evenwichtsvochtgehalte bereikt, daarom zullen de samples meerdere malen gewogen worden. Om zo te kunnen bepalen of het evenwichtsvochtgehalte is bereikt.

Als de samples het evenwichtsvochtgehalte hebben bereikt zullen de proefstukken worden gemaakt. De proefstukken worden gemaakt door de planken direct op een onbrandbare ondergrond, een plaat calciumsilicaat, ook wel Promatect plaat, te schroeven. De keuze voor een directe montage is gemaakt om te zorgen dat de test enkel het brandgedrag van het hout bepaalt en niet van een constructie. Deze proefstukken zullen getest worden door middel van een SBI-test volgens EN 13823, omdat dit de gebruikelijke manier van testen is voor het vaststellen van het brandgedrag.

Een ander onderzoek wat zal worden uitgevoerd is de small flame test volgens ISO 11925-2. Tijdens het uitvoeren van de small flame test zal de vlamverspreiding van het materiaal worden onderzocht. De small flame test wordt uitgevoerd om te onderzoeken of significante verschillen aanwezig zijn tussen de verschillende houtsoorten voor wat betreft de vlamverspreiding en hoe makkelijk het sample ontbrandt.

Uit literatuur blijkt dat het vochtgehalte van verschillende houtsoorten een rol kan spelen in het brandgedrag. Daarom is gekozen om vochtgehalte als parameter mee te nemen in dit onderzoek. Het vochtgehalte wordt elektronisch bepaald maar ook door het hout te drogen in een oven volgens EN 12570. Hier is voor gekozen zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen de twee verschillende methoden.

Verschillende bronnen beschrijven dat inhoudsstoffen een rol spelen in het brandgedrag van hout. Daarom is er gekozen om voor twaalf houtsoorten een calorimetertest uit te voeren. Met een calorimeter kan de verbrandingswarmte van een product bepaald worden. Mochten in het hout stoffen aanwezig zijn die niet brandbaar zijn, dan zullen deze over blijven. In de literatuur is de calorische waarde voor hout bepaald. Wanneer deze twaalf houtsoorten niet, of nauwelijks afwijken van de literatuur is er geen noodzaak om de andere houtsoorten ook te testen.

Gedurende het onderzoek is er contact geweest met Dr. M.F. Sailor werkzaam voor Xyhlo Biofinish en onderzoeker op het gebied van hout en met Dr. R.K.W.M. Klaasen werkzaam bij Stichting Hout Research en auteur van het Houtvademeccum. Beiden hebben veel onderzoek gedaan naar hout en daarom was het erg nuttig met hen te spreken om meer kennis op te doen. De opgedane kennis is verwerkt in dit verslag.

Van de houtsoorten die gebruikt worden in dit onderzoek zijn controle samples besteld. Deze samples zijn besteld zodat het mogelijk is om de houtsoorten te vergelijken en te controleren of de houtsoorten die getest worden, daadwerkelijk de houtsoorten zijn, als welke deze geleverd werden. Daarnaast is er een loepmicrometer besteld, zodat met behulp van deze micrometer en een loep de vaten in het hout geteld kunnen worden. Dit wordt gedaan om de waarden gevonden in de literatuur te valideren.

3.1 Hypothese

Er wordt verwacht dat het soortelijk gewicht van hout, de vat doorsnede en -dichtheid, de hoogte, breedte en dichtheid van de houtstralen, de permeabiliteit, het aanwezige percentage lignine en het aanwezige percentage cellulose bepalend kunnen zijn voor het brandgedrag van hout.

De hoogste en laagste waarden van de geselecteerde parameters zijn weergegeven in Tabel 5.

Stofeigenschap	Laagste waarde	Hoogste waarde
Soortelijk gewicht	Houtsoort 38 (445 kg/m ³)	Houtsoort 5 (1100 kg/m ³)
<u>Vaten</u>		
Doorsnede	Houtsoort 1 (113 μm)	Houtsoort 33 (435 μm)
Dichtheid	Houtsoort 32 (2 vaten per mm ²)	Houtsoort 33 (17 vaten per mm ²)
<u>Houtstralen</u>		
Hoogte	Houtsoort 30 (87 μm)	Houtsoort 29 (990 μm)
Breedte	Houtsoort 30 (11 μm)	Houtsoort 33 (53 μm)
Dichtheid	Houtsoort 38 (2 houtstralen per mm ²)	Houtsoort 32 (14 houtstralen per mm ²)
Permeabiliteit	Houtsoort 4 (31%)	Houtsoort 38 (72%)
Lignine	Houtsoort 14 (14,8%)	Houtsoort 4 (39,9%)
Cellulose	Houtsoort 14 (27,3%)	Houtsoort 30 (69,2%)

Tabel 5 Meetwaarden van de geselecteerde parameters [19]

Op basis van deze parameters wordt het volgende verwacht:

Als wordt gesproken over een hoge of lage brandklasse wordt ervan uitgegaan dat een hoge brandklasse gunstiger is omdat het hout slechter brandt. Dit betekent dat klasse A1 de hoogst haalbare brandklasse is en klasse F de laagste.

In de literatuur [20] [21] wordt een verband getrokken tussen het soortelijk gewicht van hout en het brandgedrag. Hoe zwaarder het hout, hoe slechter het hout zal branden, dus hoe hoger de brandklasse is. Als deze factor het grootste aandeel heeft in het brandgedrag wordt verwacht dat Houtsoort 38 goed zal branden en een lage brandklasse heeft en dat Houtsoort 5 slecht zal branden en een hoge brandklasse heeft.

Vaten vervoeren water van de wortels van een boom naar de bladeren. Hoe groter de vaten of hoe meer vaten aanwezig zijn, hoe meer water er in het hout aanwezig kan zijn. De verwachting is dat hoe meer water aanwezig is in het hout, hoe slechter het hout brandt en dus een hogere brandklasse zal behalen. Als de grootte van de vaten het grootste aandeel in het brandgedrag heeft, wordt verwacht dat Houtsoort 1 goed zal branden en een lage brandklasse heeft en dat Houtsoort 33 slecht zal branden en een hoge brandklasse heeft. Als de dichtheid van de vaten het grootste aandeel in het brandgedrag heeft, wordt verwacht dat Houtsoort 32 goed brandt en een lage brandklasse behaalt en dat Houtsoort 33 zal slecht branden en een hoge brandklasse behalen.

Houtstralen vervoeren water horizontaal door de boom. Hoe groter de houtstralen of hoe meer houtstralen er aanwezig zijn, hoe meer water er in het hout aanwezig kan zijn. De verwachting is dat hoe meer water aanwezig is in het hout, hoe slechter het hout brandt en het hout zou dan een hogere brandklasse behalen. Als de hoogte van de houtstralen het grootste aandeel heeft in het brandgedrag, wordt verwacht dat Houtsoort 30 goed zal branden en een lage brandklasse heeft en dat Houtsoort 29 slecht zal branden en een hoge brandklasse heeft. Als de breedte van de houtstralen het grootste aandeel heeft in het brandgedrag, wordt verwacht dat Houtsoort 30 goed zal branden en een lage brandklasse heeft en dat Houtsoort 33 slecht zal branden en een hoge brandklasse heeft. Als de dichtheid van de houtstralen het grootste aandeel heeft in het brandgedrag wordt verwacht dat Houtsoort 38 goed brandt en een lage brandklasse behaalt en dat Houtsoort 32 slecht brandt en een hoge brandklasse behaalt.

In de literatuur [2] wordt een verband getrokken tussen de permeabiliteit van hout en het brandgedrag van hout. Hoe groter de permeabiliteit hoe beter het hout brandt wat zorgt voor een lage brandklasse. Als de permeabiliteit het grootste aandeel heeft in het brandgedrag wordt verwacht dat Houtsoort 4

slecht brandt en een hoge brandklasse heeft en dat Houtsoort 38 goed brandt en een lage brandklasse heeft.

In de literatuur [18] [5] [2] [22] wordt beweerd dat lignine sneller brandt dan cellulose. Dit betekent dat hoe meer lignine in het hout aanwezig is, hoe slechter het hout zal branden dus hoe hoger de brandklasse zal zijn. Dit betekent dat hoe meer cellulose aanwezig is, hoe beter het hout brandt en hoe lager de brandklasse is. Als de aanwezige hoeveelheid cellulose het grootste aandeel heeft in het brandgedrag wordt verwacht dat Houtsoort 30 goed brandt en een lage brandklasse heeft en dat Houtsoort 14 slecht brandt en een hoge brandklasse heeft. Als de aanwezige hoeveelheid lignine het grootste aandeel heeft in het brandgedrag wordt verwacht dat Houtsoort 14 goed brandt en een lage brandklasse heeft en dat Houtsoort 4 slecht brandt en een hoge brandklasse heeft. Als de verhouding cellulose en lignine het grootste aandeel heeft in het brandgedrag wordt verwacht dat Houtsoort 30 goed brandt en een lage brandklasse behaalt en dat Houtsoort 10 slecht brandt en een hoge brandklasse behaalt.

Als alle parameters worden gecombineerd wordt verwacht dat Houtsoort 4 de hoogste brandklasse behaalt en Houtsoort 30 de laagste brandklasse behaalt.

3.2 Betrouwbaarheid en validiteit

Het is noodzakelijk dat het onderzoek zo betrouwbaar en valide mogelijk wordt uitgevoerd.

De betrouwbaarheid is zo goed mogelijk gewaarborgd door alle verschillende onderzoeken te laten uitvoeren door dezelfde persoon. Dit zorgt ervoor dat de uitvoering consequent is en de resultaten onderling betrouwbaar vergeleken kunnen worden.

Het vaststellen van de benodigde conditioneringstijd tot de houtsoorten het evenwichtsvochtgehalte hebben bereikt is geprobeerd zo betrouwbaar mogelijk te doen door zo veel mogelijk houtsoorten mee te nemen in het onderzoek. Uiteindelijk zijn twintig houtsoorten getest waardoor een redelijke indicatie gemaakt kan worden over de conditioneringstijd van hout. De metingen zijn valide doordat de weegschaal gekalibreerd was en alle planken zijn gewogen. Hierdoor kon het gemiddelde genomen worden, wat een betrouwbaarder resultaat geeft dan bijvoorbeeld een enkel sample. Het was niet mogelijk de samples elke dag te wegen, hierdoor zijn de resultaten niet heel precies.

De SBI-test is verkort en eenmalig uitgevoerd. Daarom is het noodzakelijk rekening te houden met de foutmarge van de testapparatuur. Doordat de THR_{600s} na 600 seconden wordt vastgesteld en de $FIGRA_{0,2MJ}$ meestal in het begin van de meting maatgevend is, is de meting toch voldoende betrouwbaar om in dit onderzoek te gebruiken. Wanneer ook de foutmarge mee wordt genomen kunnen de testresultaten als betrouwbaar worden aangeduid, voor een onderlinge vergelijking.

Voor elke houtsoort is één small flame test uitgevoerd. Deze test is indicatief waardoor een test voldoende is. Vooraf was voorspeld dat er geen grote vlamverspreiding zou plaatsvinden. Dit kwam overeen met de gevonden resultaten. Daarnaast zaten er geen grote verschillen tussen de resultaten van de verschillende houtsoorten, waardoor de resultaten als redelijk betrouwbaar kunnen worden aangeduid. Echter om de resultaten meer betrouwbaar te maken is het noodzakelijk de testen te herhalen om vervolgens het gemiddelde van deze metingen te gebruiken.

Het houtvochtgehalte is bepaald doormiddel van het meten met een houtvochtmeter en het sample drogen in de oven. Niet van alle houtsoorten was de referentiewaarde bekend, daarom is er gebruikgemaakt van twee verschillende typen houtvochtmeters. Desondanks zijn voor niet alle

houtsoorten metingen uitgevoerd. Een vochtgehaltemeter bepaald plaatselijk het vochtgehalte. Het drogen van een sample in de oven neemt het gewicht af. Deze gewichtsafname kan worden omgerekend in het vochtgehalte. Doordat het vochtgehalte bepaald in de oven meer rekening houdt met het vocht in het gehele sample, en de houtvochtmeter lokaal meet, is de manier van het sample drogen in de oven betrouwbaarder.

De calorimeter testresultaten zijn volgens de norm betrouwbaar als voor één sample drie metingen worden uitgevoerd en het verschil tussen de metingen maximaal 5% is. Voor alle metingen was dit het geval dus kan de gemiddelde waarde betrouwbaar worden gebruikt als resultaat. Daarnaast komt de gevonden waarde overeen met de literatuur, wat zorgt dat de betrouwbaarheid wordt verhoogd.

De vattendichtheid en vatgrootte zijn optisch bepaald. Doordat dit optisch is bepaald kan het zijn dat hier een afwijking in zit doordat vaten niet gezien zijn of mogelijk dubbel geteld. Ondanks dat er geprobeerd is dit te voorkomen is dit nooit geheel uit te sluiten. Daardoor zijn deze resultaten niet geheel betrouwbaar.

Alle referentiewaarden zijn afkomstig uit het boek Holzatlas van Rudi Wagenführ. In de literatuur zijn geen bronnen gevonden om deze waarden te controleren. Doordat alle waarden afkomstig zijn uit een bron zijn deze niet erg betrouwbaar. Desondanks zijn deze resultaten toch gebruikt voor het onderzoek. Om ervoor te zorgen dat de referentiewaarden betrouwbaarder worden is het noodzakelijk meerdere bronnen te vinden of om zelf experimenten uit te voeren om de waarden te bepalen.

Met behulp van de statistiek zijn alle hypothesen getoetst. Niet alle hypothesen bleken te kloppen, echter bleek dat het brandgedrag het beste voorspeld kan worden door de percentuele hoeveelheid aanwezig lignine en cellulose. Echter kan het brandgedrag niet heel exact voorspeld worden, wel kan een goede indicatie gegeven worden van de brandklasse van tropische hardhout soorten. Dit zorgt ervoor dat het doel van het onderzoek deels bereikt is. Er kan namelijk een indicatie gegeven worden voor het brandgedrag van hardhoutsoorten, echter is deze niet heel nauwkeurig. Daarnaast is er meer onderzoek nodig om te bepalen of de opgestelde formule bruikbaar is voor het voorspellen van het brandgedrag van nadere typen hout.

Alle uitgevoerde metingen zijn valide doordat alle meetapparatuur periodiek wordt gecontroleerd en geijkt waardoor de metingen kloppen.

4. Materiaal en methode

4.1 Materiaal

- 40 verschillende houtsoorten in planken van 2 m bij 15 cm bij 20 mm
- Decoupeerzaag
- Afkortzaag
- Markeerstift
- Rolmaat
- Boormachine
- Camera
- Aansteker
- Plankjes (voor tussen het hout)
- 80 Promatectplaten met afmetingen: 1500 mm bij 500 mm bij 12 mm
- 1200 verzinkte platkop schroeven 5,0 x 30 mm
- Machinale houtboor 3,0 mm
- SBI-testopstelling
- Small flame testopstelling
- Calorimeter
- Conditioneringsruimte
- Promatectplaat met afmetingen: 12 mm bij 750 mm bij 1500 mm

- Promatectplaat met afmetingen: 12 mm bij 1000 mm bij 1500 mm
- Blusmiddel (water of brandblusser)
- Weegschaal (2 en 4 decimalen nauwkeurig)
- Houtvochtmeter FME en/of FMW
- Oven van 105 °C en een luchtcirculatie
- 8 mm boor
- Reageerbuis
- Reageerbuisrek
- Benzoëzuur tabletten
- Katoendraadjes
- Verbrandingszakjes
- Demi water
- Pipet
- Pipeteerballon
- Papier
- Stanley mes
- Loepmicrometer
- Loep 10x
- IBM SPSS
- Microsoft Excel

4.2 Methode

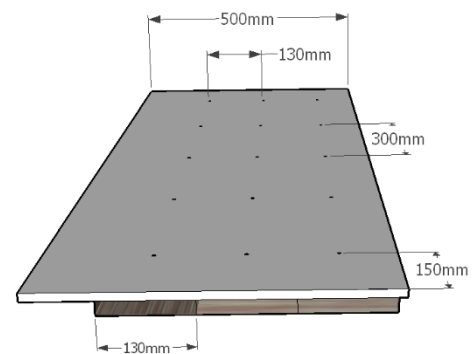
Het aangeleverde hout was bij aankomst gecontroleerd en gekenmerkt volgens de lijst in Bijlage 2 onderzochte houtsoorten. Van enkele houtsoorten waren samples van 25 cm bij 9 cm afgezaagd met een decoupeerzaag. Alle planken, en samples waren in de conditionering geplaatst.

4.2.1 Conditioneren

Als de planken en samples in de conditionering waren gelegd was het belangrijk dat voldoende lucht rondom alle monsters kon stromen, daarom waren de samples opgelat. De samples waren enkele keren per week gewogen, met een interval van 24 h, op een weegschaal. Het gewicht van de samples was bijgehouden in een Microsoft Excel spreadsheet om te kunnen bepalen wanneer de samples een vast gewicht hadden, wat betekende dat het evenwichtsvochtgehalte was bereikt volgens EN 13238.

4.2.2 Proefstukken maken

Met de planken waren proefstukken gemaakt. Met behulp van een afkortzaag waren de planken afgezaagd op een lengte van 1,5 m. Zes planken waren genomen of minder als minder geleverd waren. Er werd voor gezorgd dat de planken naast elkaar altijd minimaal 30 cm breed waren. De zes planken waren op platen Promatect van 1,5 m hoog, bij 0,5 m breed en 12 mm dik geschroefd. De planken waren neergelegd met het Promatect erbovenop. De planken en Promatect waren uitgelijnd. Op de Promatect plaat was uitgetekend waar de schroeven geplaatst moesten worden.



Afbeelding 7 Proefstuk met afmetingen

Deze afmetingen zijn weergegeven in Afbeelding 7. Deze gaten waren vorgeboord waarna de schroeven zijn geboord. De proefstukken waren gefotografeerd en terug in de conditionering geplaatst tot gebruik.

4.2.3 SBI testen

Als de proefstukken minimaal vier weken geconditioneerd zijn kon de SBI – test worden uitgevoerd. Voordat een SBI - test werd uitgevoerd was het noodzakelijk een kalibratie test uit te voeren. Deze test was noodzakelijk om vast te stellen of het systeem naar behoren werkte en te bepalen hoeveel rook de brander uitstootte. De hoeveelheid rook die de brander uitstootte werd gebruikt om tijdens de testen de uitgestoten rook van een proefstuk te corrigeren. Voor de kalibratietest waren twee Promatect platen uit de conditionering gehaald, één plaat van 12 mm dik, 0,75 m breed en 1,5 m hoog en één plaat van 12 mm dik, 1 m breed en 1,5 m hoog. Deze platen waren in de SBI-trolley geplaatst. De trolley was de testruimte ingerezen. Als alle startcondities gecontroleerd en juist waren, kon de

test beginnen. De test begon door de gaskraan te openen en het gas met een aansteker te ontsteken. Als de waakvlammen brandden kon de meting starten.

Na afloop van de meting was de data opgeslagen. De SBI-trolley was uit de meetruimte gereden en de Promatect platen waren verwijderd van de trolley. Het eerste proefstuk was uit de conditionering gehaald en in de SBI-trolley geplaatst. De SBI-trolley was in de testruimte gereden. Enkele foto's van het proefstuk waren gemaakt. Een foto van het proefstuk is weergegeven in Afbeelding 8. De startcondities van de test waren gecontroleerd. Wanneer alle waarden binnen het juiste bereik waren, werd de test gestart. De gaskraan was geopend en de vlammen ontstoken. De test was gestart. Gedurende de test was het noodzakelijk het proefstuk te observeren en eventuele opvallendheden waar te nemen en te noteren. Na ca. 16 minuten was de test afgebroken. Indien nodig was het proefstuk geblust met water. Enkele foto's werden van het proefstuk gemaakt, een foto is weergegeven in Afbeelding 9. De trolley was uit de testruimte gereden en het proefstuk was verwijderd. Dit was herhaald voor alle testen. De testen waren in verband met van tijd verspreid over meerdere dagen.



Afbeelding 8 Proefstuk voorafgaand aan een SBI test



Afbeelding 9 Proefstuk na afloop van een SBI test

4.2.4 Small flame testen

Een small flame test was uitgevoerd op één sample per houtsoort. Het sample werd gebruikt voor een keer oppervlaktebevlaming en een keer randbevlaming. De samples waren net voor aanvang van de test uit de conditionering gehaald. Zodra het sample uit de conditionering was, moest de test binnen dertig minuten worden uitgevoerd. Nadat het sample uit de conditionering was gehaald is het sample gewogen en klaargemaakt voor oppervlaktebevlaming.



Afbeelding 10 Afstandshouder voor de small flame test

Het sample was klaargemaakt voor oppervlaktebevlaming door op 40 mm van de onderkant van het proefstuk een lijn te trekken, 190 mm boven de onderkant van het proefstuk was nog een lijn gemaakt. Het monster was gemonteerd in de proefstukhouder. De proefstukhouder was in de testopstelling geplaatst. De afstandshouder weergegeven in Afbeelding 10 voor oppervlaktebevlaming was op de gasbrander geplaatst. De afstandshouder was tegen het hout geplaatst, op de lijn 40 mm boven de onderkant van het sample. Als dit niet mogelijk was, had de proefstukhouder versteld moeten worden, opdat dit toch lukt. Toen de afstandshouder tegen het sample aan was geplaatst op de lijn 40 mm boven de onderkant van het sample was de afstandshouder verwijderd. Het gas was ontstoken met een aansteker. De vlamlengte was gemeten. Als de vlam een lengte had van 20 mm kon de test vervolgd worden. Als de lengte van de vlam afweek werd de gastoevoer gecorrigeerd.

Als een valm van 20 mm gerealiseerd was, werd de vlam tegen het proefstuk geplaatst. Het moment dat de vlam het proefstuk raakte was een stopwatch

aangezet, 30 s na het plaatsen van de vlam tegen het proefstuk was deze weer verwijderd. Na het verwijderen van de vlam, was het proefstuk nog 30 s geobserveerd. Na 30 s observatie waren de vlam, en het proefstuk als deze nog brandde, gedooft. Gedurende de test was de vlamuitbreiding waargenomen en de maximale vlamverspreiding was vastgelegd. Daarnaast was vastgelegd of het proefstuk was ontbrand en de tijdsduur van de ontbranding. Het proefstuk was fotografisch vastgelegd, dit is weergegeven in Afbeelding 11. Het proefstuk was uit de testopstelling en proefstukhouder verwijderd. Het proefstuk was gewogen en de vlamverspreiding was gemeten. Deze data werden genoteerd.



Afbeelding 11 Small flame test proefstuk na oppervlakte bevlamming

Het sample moest ook worden voorbereid voor randbevlamming. De randbevlamming was uitgevoerd op de achterkant van het sample. Een lijn was getrokken 150 mm boven de onderkant van het sample. Het monster was in de proefstukhouder geplaatst en de proefstukhouder was in de testopstelling geplaatst. De afstandshouder voor randbevlamming was op de gasbrander geplaatst. De gasbrander met afstandshouder was tegen het hout geplaatst, op de onderrand van het sample. Als dit niet mogelijk was, moest de proefstukhouder versteld worden, opdat dit toch lukt. De test werd uitgevoerd op eenzelfde wijze als de oppervlaktebevlamming. Na afloop van de testen was het sample gewogen en fotografisch vastgelegd, dit is weergegeven in Afbeelding 12.



Afbeelding 12 Small flame test proefstuk na randbevlamming

De hier boven beschreven werkwijze is herhaald voor alle houtsoorten.

4.2.5 Vochtgehalte bepalen

Het vochtgehalte was bepaald door van een houtsoort een sample uit de conditionering te halen. Met behulp van een FME- of FMW-houtvochtmeter was het houtvochtgehalte bepaald. Er was gebruik gemaakt van twee typen houtvochtmeters omdat niet van elke houtsoort de referentiewaarden bekend waren voor een van de twee houtvochtmeters. De benodigde referentiewaarden waren gevonden in de handleiding vochtmeter.

Het vochtgehalte was ook bepaald door middel van het drogen van een sample in een oven van $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Voordat het sample in de oven was geplaatst is deze eerst gewogen en opgemeten, de verkregen data waren genoteerd. Het sample was in de oven geplaatst. Enkele dagen per week, met een interval van minimaal 24 waren de samples gewogen en het gewicht was genoteerd. De relatieve gewichtsafname was berekend. Als de relatieve gewichtsafname minder dan 0,1% was is het sample gedroogd en was het sample uit de oven gehaald. Met behulp van onderstaande formule kon het vochtgehalte berekend worden:

$$u = \frac{m - m_0}{m_0}$$

u = vochtgehalte (%)

m = massa voor het drogen (g)

m₀ = massa na het drogen (g)

4.2.6 Calorimeter test

Voor het uitvoeren van de calorimeter test was een steekproef gemaakt van twaalf houtsoorten die getest werden. De samples waren voorbereid door een plank uit de conditionering te halen en met behulp van een 8 mm boor gaten te boren en het zaagsel op te vangen. Het was noodzakelijk zo weinig

mogelijk warmte te creëren gedurende de sample preparatie door langzaam te boren. In totaal is er per sample ongeveer 4 g materiaal verzameld. Het materiaal is verzameld in een reageerbuis. De niet afgesloten reageerbuis met sample is gewogen en was terug in de conditionering geplaatst.

Bovenstaande omschrijving van de samplepreparatie was herhaald voor alle twaalf de houtsoorten.

Voordat de calorimeter test was uitgevoerd was het nodig de reageerbuis met samples te wegen. Het wegen was noodzakelijk om te bepalen of het sample het evenwichtsvochtgehalte had bereikt. Wanneer het sample het evenwichtsvochtgehalte had bereikt konden de samples gebruikt worden in de calorimeter test, anders moesten de samples langer conditioneren. Alle samples hadden het evenwichtsvochtgehalte bereikt en konden gebruikt worden voor de calorimetertest.

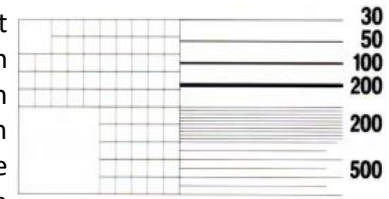
Voor aanvang van de test was het noodzakelijk dat de temperatuur in de ruimte 20°C tot 24°C was. Voordat de metingen kunnen starten was het nodig een controlemeting uit te voeren. De controlemeting ging als volgt: twee benzoëzuurtabletten waren afgewogen en het gewicht was ingevuld in de computersoftware. De benzoëzuurtabletten waren in de verbrandingskroes in het ontsluitingsvat geplaatst. Een katoendraad was bevestigd aan de ontstekingsdraad en onder de benzoëzuur tabletten geplaatst. De verbrandingswarmte van het Benzoëzuur, katoendraad en verbrandingszakje zijn bekend. Op de bodem van het ontsluitingsvat was 1 ml demiwater gepipetteerd. Het ontsluitingsvat was gesloten en de meting gestart. Met behulp van een RF-identificatielezer werd het ontsluitingsvat gescand. Het ontsluitingsvat werd opgehangen in de calorimeter. Door op "start" te drukken was de meting gestart. Na afloop van de meting waren de resultaten zichtbaar op de computer om afgelezen te worden. Het ontsluitingsvat was verwijderd uit de calorimeter en was afgedroogd. Indien nodig was de binnenkant van het ontsluitingsvat schoongemaakt.

Een sample was uit de conditionering gehaald. De verbrandingskroes was op de weegschaal geplaatst en de weegschaal was getarreerd. Het gewicht van een verbrandingszakje was bepaald en ingevoerd in de computer. Er was ongeveer 0,5 g monster afgewogen en in het verbrandingszakje geplaatst. Het exacte gewicht van het monster was in de computer ingevoerd. Een half tablet benzoëzuur was afgewogen en toegevoegd. Het gewicht van het benzoëzuur was in de computer ingevoerd. De verbrandingskroes was in de kroeshouder van het ontsluitingsvat geplaatst. Een katoendraad was verbonden aan de ontstekingsdraad en geplaatst onder het monster, 1 ml demiwater werd gepipetteerd onder in het ontsluitingsvat. Het ontsluitingsvat werd gesloten en de meting gestart. Met behulp van een RF-identificatielezer werd het ontsluitingsvat gescand. Het ontsluitingsvat was opgehangen in de calorimeter. Door op "start" te drukken was de meting gestart. Na afloop van de meting waren de resultaten zichtbaar op de computer om afgelezen te worden. Het ontsluitingsvat was verwijderd uit de calorimeter en was afgedroogd. Na het openen van het ontsluitingsvat vond er een visuele controle op volledige verbranding na de test plaats. Indien nodig was de binnenkant van het ontsluitingsvat schoongemaakt.

Om de betrouwbaarheid van de resultaten te verhogen was elk sample driemaal getest. Bovenstaande uitwerking was herhaald voor alle houtsoorten. Na afloop van de testen was het noodzakelijk nog een controlemeting uit te voeren. Deze controlemeting heeft eenzelfde werkwijze als de controlemeting die vooraf moet worden uitgevoerd.

4.2.7 Vaten tellen

Van elke houtsoort was een sample genomen, waar aan de kopse kant met een scherp mes een laagje was afgeschrapt. Met behulp van een loepmicrometer, weergegeven in Afbeelding 13, en een loep met een vergroting van 10 maal, was het mogelijk de vaten te tellen. Voor een betrouwbaar resultaat waren de vaten geteld op 25mm^2 om deze vervolgens te noteren. Daarna is met de loepmicrometer bepaald hoe groot de gemiddelde doorsnede was van een vat. De doorsnede was genoteerd.



Afbeelding 13 Loepmicrometer [24]

4.2.8 Verwerking resultaten

Alle verzamelde data waren opgeslagen in een Microsoft Excel Spreadsheet. Hierdoor ontstond een goed overzicht van alle data. De data zijn weergegeven in Bijlage 13 Data overzicht SPSS. De verzamelde data waren overgenomen in statistisch computerprogramma Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS). De belangrijkste factoren voor het bepalen van het brandgedrag voor een klasse B, C of D zijn de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} . Daarom heeft dit onderzoek enkel gefocust op de afhankelijkheid tussen de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} en de parameters. Andere factoren die bepalend kunnen zijn voor het brandgedrag zijn buiten beschouwing gelaten.

Voor dit onderzoek was een meervoudige lineaire regressieanalyse uitgevoerd. Voordat een meervoudige regressieanalyse was uitgevoerd, was het noodzakelijk dat werd voldaan aan de volgende eisen:

1. De afhankelijke variabelen waren normaal verdeeld
2. De data waren homogeen verdeeld
3. De data waren lineair verdeeld
4. Er waren geen uitschieters aanwezig

Wanneer aan al deze eisen was voldaan was de data geschikt voor een meervoudige regressieanalyse. Wanneer de data niet voldeed aan deze eisen was de data niet geschikt en mocht deze niet gebruikt worden.

Normaalverdeling

Het was noodzakelijk dat de afhankelijke variabelen, THR_{600s} en $FIGRA_{0,2MJ}$, normaal verdeeld waren. Bepaald was dat THR_{600s} normaal verdeeld was, dit is weergegeven in Bijlage 14.1 Normaalverdeling.

De $FIGRA_{0,2MJ}$ was niet normaal verdeeld, dit is weergegeven in Bijlage 14.1 Normaalverdeling. Om een normaalverdeling te verkrijgen had een data transformatie plaatsgevonden. Als de $FIGRA_{0,2MJ}$ was omgerekend naar $\sqrt[3]{FIGRA02}$ was de data wel normaal verdeeld en kon de data meegenomen worden in de lineaire regressieanalyse.

De correlatie tussen de afhankelijke – en onafhankelijke variabelen was bepaald. Enkel wanneer de correlatie, de R^2 , hoger was dan 30% werden de onafhankelijke variabelen meegenomen in de regressieanalyse. Deze correlatiegrafieken zijn weergegeven in Bijlage 14.2 Correlatie.

Homogeniteit van de data

Het was noodzakelijk dat de onafhankelijke variabelen homogeen verdeeld waren. De data waren geplotted om de grafiek te analyseren. Als in de grafiek geen duidelijk patroon zichtbaar was, en de data evenredig was verdeeld over de x- en y-as was de data homogeen verdeeld. Als in de grafiek wel een patroon zichtbaar was, of de data niet evenredig was verdeeld over de x- en y-as (er ontstond een soort kegelvorm) dan was de data heterogeen verdeeld. Enkel homogeen verdeelde data konden gebruikt worden in de meervoudige lineaire regressieanalyse. Grafieken zijn weergegeven in Bijlage 14.3 Controle homogeniteit.

Lineaire verdeling data

De data die gebruikt gingen worden voor de meervoudige lineaire regressieanalyse moesten lineair verdeeld zijn. Door het plotten van de onafhankelijke variabelen tegen de afhankelijke variabelen was een grafiek verkregen. Als in deze grafiek een lijn was getrokken was het mogelijk waar te nemen of de data lineair verdeeld was. Als de data lineair verdeeld was, kon deze gebruikt worden in de meervoudige lineaire regressieanalyse. Grafieken zijn weergegeven in Bijlage 14.4 Controle lineairiteit.

Uitschieters

Als te veel uitschieters aanwezig waren werd de meervoudige lineaire regressieanalyse negatief beïnvloed. Daarom was het noodzakelijk te detecteren welke parameters te veel uitschieters bevatten zodat deze parameter uitgesloten werd van de meervoudige lineaire regressieanalyse. Om de uitschieters vast te stellen was een variatie-inflatiefactor bepaald. Als deze factor een waarde had tussen 0,80 - 10,00 betekende dit dat de waarde voldoet. Als de variatie-inflatiefactor buiten deze range viel, kon de data niet worden meegenomen in de regressieanalyse. De tabellen zijn weergegeven in Bijlage 14.5 Controle uitschieters.

De regressieanalyse was enkel uitgevoerd met data die aan alle vier de eisen voldeed. De overige data zijn buiten beschouwing gelaten.

5. Resultaten

Voor dit onderzoek zijn zes verschillende onderzoeken uitgevoerd. De resultaten van deze onderzoeken zullen in dit hoofdstuk apart van elkaar behandeld worden.

5.1 Conditioneren

Dit experiment is uitgevoerd om te bepalen voor welke tijdsduur hout geconditioneerd moet worden voordat het evenwichtsvochtgehalte bereikt is. Dit was gedaan door het hout te conditioneren en ongeveer de helft van de samples enkele malen per week te wegen.

In Tabel 6 is weergegeven na hoeveel dagen elke houtsoort het evenwichtsvochtgehalte bereikte.

Houtsoort	Evenwichtsvochtgehalte is bereikt na:
Houtsoort 1	25 dagen
Houtsoort 2	25 dagen
Houtsoort 3	25 tot 34 dagen
Houtsoort 4	25 tot 34 dagen
Houtsoort 5	25 tot 34 dagen
Houtsoort 6	25 tot 34 dagen
Houtsoort 7	25 tot 34 dagen
Houtsoort 8	25 tot 34 dagen
Houtsoort 9	25 tot 34 dagen
Houtsoort 14	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 16	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 17	13 tot 23 dagen
Houtsoort 18	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 20	13 tot 23 dagen
Houtsoort 21	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 25	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 26	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 27	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 38	Meer dan 23 dagen
Houtsoort 40	25 tot 34 dagen

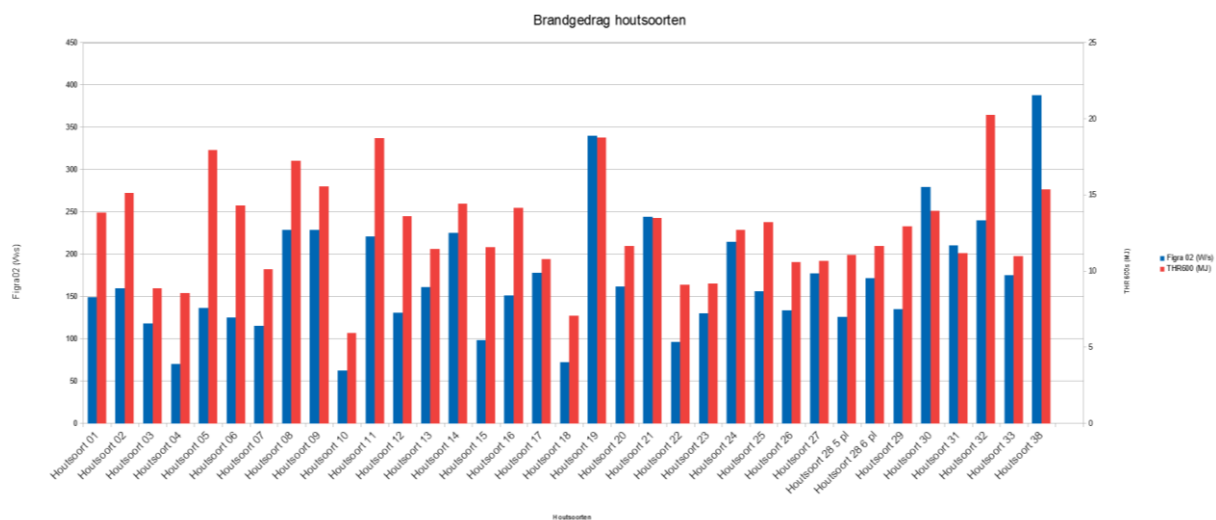
Tabel 6 Evenwichtsvochtgehalte bepaald per houtsoort

Wegens omstandigheden was het niet mogelijk de houtsoorten elke dag te wegen. Hierdoor zijn er geen concrete resultaten van dit onderzoek maar een ruime marge aan dagen waarin het hout het evenwichtsvochtgehalte heeft behaald.

Uit deze resultaten blijkt dat de meeste geteste houtsoorten minimaal 23 dagen moeten conditioneren. Dit wijkt niet erg af van de in de norm voorgeschreven 28 dagen.

5.2 SBI-test

De SBI-test is uitgevoerd om het brandgedrag van de verschillende houtsoorten te bepalen. In Bijlage 11 Meetresultaten SBI test is een tabel te vinden met meetresultaten. Voor het bepalen van het brandgedrag, in de klasse B, C en D wordt de brandklasse bepaald door de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} . De waarden van de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} zijn weergegeven in Grafiek 1.



Grafiek 1 Brandgedrag houtsoorten

Met de waarden van $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} zijn de brandklasse bepaald. Er blijkt een houtsoort, Houtsoort 10 in klasse B te vallen, 24 houtsoorten zijn een klasse C en 7 houtsoorten vallen in klasse D.

Echter kunnen deze waarden niet met zekerheid worden vastgesteld omdat er verkorte testen zijn uitgevoerd met een smaller proefstuk en wordt er gerekend met de $FIGRA_{0,2MJ}$ in plaats van de $FIGRA_{0,4MJ}$. Daarnaast is er maar één indicatieve test uitgevoerd in plaats van de voorgeschreven drie testen. In de norm NEN-EN 13823, bepaling van het brandgedrag van bouwproducten, is voorgeschreven dat de SBI-test driemaal moet worden uitgevoerd voor een volledige classificatie. Wanneer dit niet gebeurt kan er geen classificatie plaatsvinden. Echter is het wel mogelijk een indicatie te krijgen van de brandklasse. Hiervoor is het nodig rekening te houden met de standaardafwijking voor de herhaalbaarheid van de test. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 7

	$FIGRA_{0,2MJ}$	THR_{600s}
Gemiddelde afwijking herhaalbaarheid	14%	11%

Tabel 7 Gemiddelde standaardafwijking SBI testen [7]

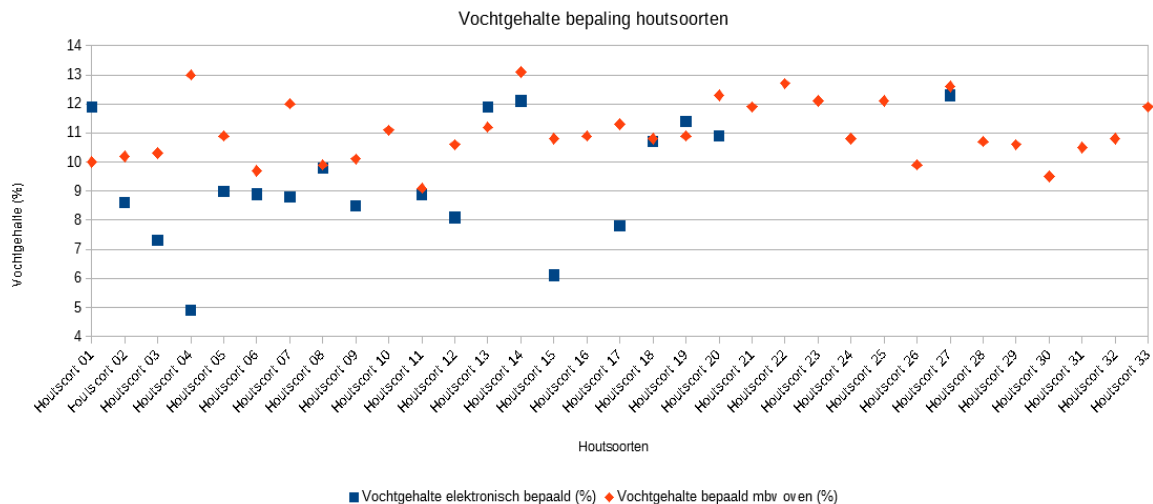
Hierdoor kan het dus zijn dat alle testwaarden die verkregen zijn voor de $FIGRA_{0,2MJ}$ voor een volledige classificatie tot 11% afwijken van het gemeten resultaat. En de gemeten waarden voor de THR_{600s} voor een volledige classificatie tot 14% afwijken van het gemeten resultaat.

5.3 Small Flame test

De small flame test is uitgevoerd om de vlamverspreiding aan het oppervlak van de houtsoorten te bepalen. Dit om uit te zoeken wat de verschillen zijn tussen verschillende houtsoorten en wat de invloed kan zijn van de vlamverspreiding op het brandgedrag. De meetresultaten van de small flame testen zijn weergegeven in Bijlage 12 Meetresultaten small flame test. In de meetresultaten is te zien dat kleine verschillen aanwezig zijn in de vlamverspreiding van de verschillende houtsoorten. Over het algemeen brand het hout meer bij randbevlaming, dan bij oppervlaktebevlaming. Dit zorgt ervoor dat de waarden van randbevlaming hoger uitvallen. Ondanks dat de nabrandtijd soms hoog is (>30 s) is de vlamverspreiding kleiner dan de toelaatbare 150 mm. Bij geen enkele test zijn vallende brandende deeltjes ontstaan. Omdat alle resultaten relatief dicht bij elkaar liggen, is het zeer waarschijnlijk dat de vlamverspreiding bij deze houtsoorten geen rol spelen in het brandgedrag.

5.4 Vochtgehalte bepalen

Het vochtgehalte van de samples is bepaald om te onderzoeken wat de invloed is van het vochtgehalte van een sample op het brandgedrag. Het vochtgehalte is voor ongeveer de helft van de houtsoorten bepaald met een houtvochtmeter. Het was niet mogelijk voor alle samples het vochtgehalte te bepalen met een houtvochtmeter, doordat niet van alle houtsoorten de referentiewaarde bekend was. Het vochtgehalte van alle houtsoorten is bepaald door het sample te drogen in een oven met een temperatuur van $105 \pm 2^\circ\text{C}$. De samples zijn enkele malen per week gewogen met een interval van minimaal 24 uur. Op basis van de gewichtsafname kon het vochtgehalte berekend worden. De resultaten zijn weergegeven in Grafiek 2



Grafiek 2 Vochtgehalte bepaling houtsoorten

In Grafiek 2 is te zien dat voor vier houtsoorten het vochtgehalte gemeten met een vochtgehaltemeter en het vochtgehalte bepaald door het drogen van het sample in de oven redelijk overeenkomen. Voor de andere houtsoorten is er een redelijk groot verschil zichtbaar. Mogelijk wordt dit veroorzaakt omdat de vochtgehaltemeter op enkele punten meet. Dit kan een vertekend beeld geven als er een extreem droog of vochtig punt gemeten wordt. Het drogen van het sample in de oven daarentegen geeft een goede indicatie van het vochtgehalte in het gehele monster. Daarom zal in de rest van het verslag, als er wordt gesproken over vochtgehalte, worden uitgegaan van het vochtgehalte bepaald door het monster te drogen in de oven.

5.5 Calorimeter test

Met behulp van de calorimeter is het mogelijk de verbrandingswarmte van een materiaal vast te stellen. De calorimeter test wordt uitgevoerd om te bepalen of de verbrandingswarmte van invloed is op het brandgedrag. Omwille van tijd is er besloten twaalf houtsoorten te testen. Als de resultaten een grote spreiding hadden, zou de calorimeter test voor alle houtsoorten worden uitgevoerd. Als de resultaten redelijk gelijk zouden zijn, worden de overige houtsoorten niet getest.

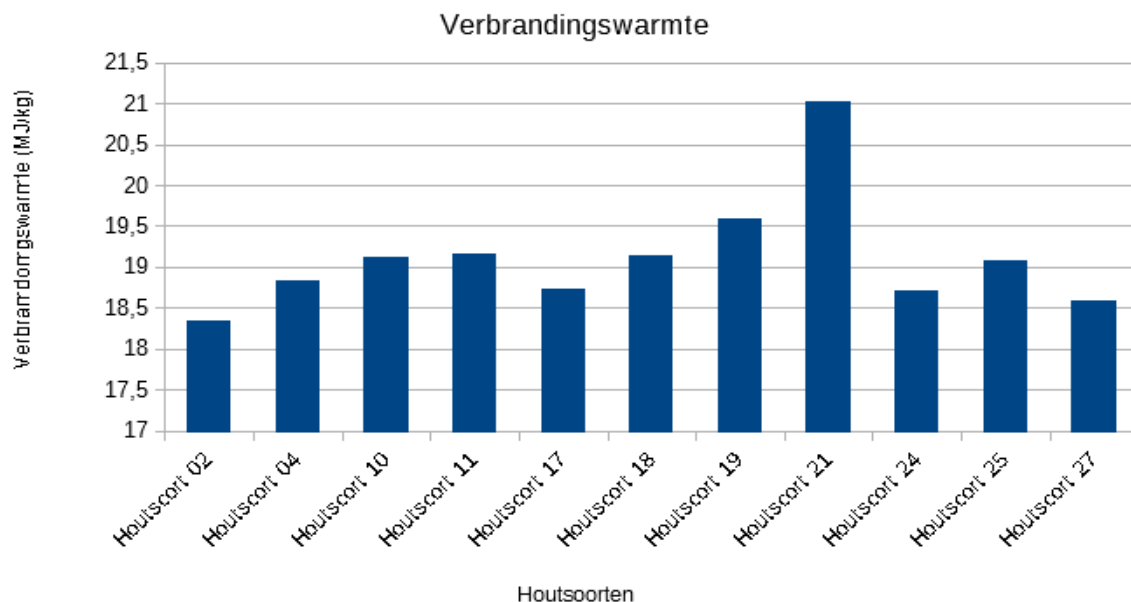
Om ervoor te zorgen dat de resultaten betrouwbaar zijn moesten de testen in triplo worden uitgevoerd. Wanneer de spreiding niet te groot was, mochten de resultaten gebruikt worden. In Tabel 8 is weergegeven dat de maximale spreiding afhankelijk is van de verbrandingswarmte van een sample. Voor hout is in de literatuur vastgesteld dat de verbrandingswarmte ongeveer 19 MJ/kg is. In de tabel is zichtbaar dat de spreiding voor materialen met een verbrandingswarmte van 19 MJ/kg maximaal 5% van het gemiddelde is. Voor alle samples was de spreiding minder dan 5%, dit betekent dat alle data kan worden meegenomen in het onderzoek.

Gross heat of combustion	Acceptance criteria	Range of validity
Q_{PCS} (MJ/kg)	$\leq 0,2$ MJ/kg	From any negative value to 3,2 MJ/kg
	Within 5 % of the average of the 3 results	From 3,2 MJ/kg to 20,0 MJ/kg
	Within 10 % of the average of the 3 results	Greater than 20,0 MJ/kg
Q_{PCS} (MJ/m ²) ^a	$\leq 0,1$ MJ/m ²	From any negative value to 4,1 MJ/m ²
	Within 5 % of the average of the 3 results	From 4,1 MJ/m ² to 20 MJ/m ²
	Within 10 % of the average of the 3 results	Greater than 20 MJ/m ²

^a For non-substantial components only.

Tabel 8 Criteria voor de validiteit van calorische bom meetresultaten [12]

De resultaten van de calorimeter test zijn weergegeven in Grafiek 3.



Grafiek 3 Calorimeter resultaten

In Grafiek 3 is een zichtbaar dat de meeste waarden redelijk bij elkaar in de buurt liggen. De Houtsoort 21 is de enige uitschieter. Het gemiddelde van de metingen is 19 MJ/kg, dit komt overeen met de literatuur, waar de verbrandingswarmte van hardhout wordt gesteld op 19 MJ/kg. Daarom is, ondanks een uitschieter, besloten dat geen significant verschil aanwezig is in de verbrandingswarmte van de

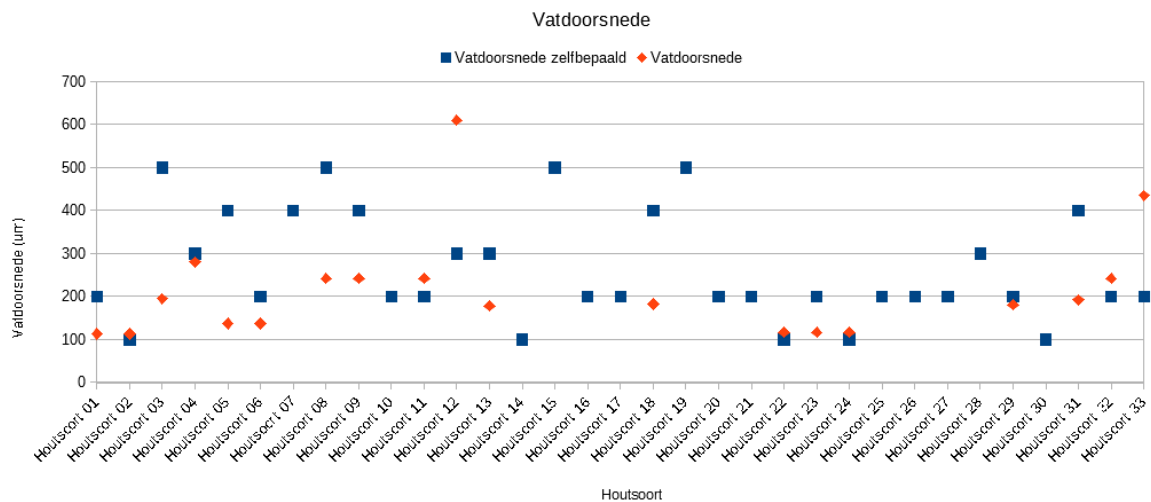
verschillende houtsoorten en is het zeer waarschijnlijk dat de verbrandingswarmte geen invloed heeft op het brandgedrag van deze houtsoorten.

5.6 Vaten tellen

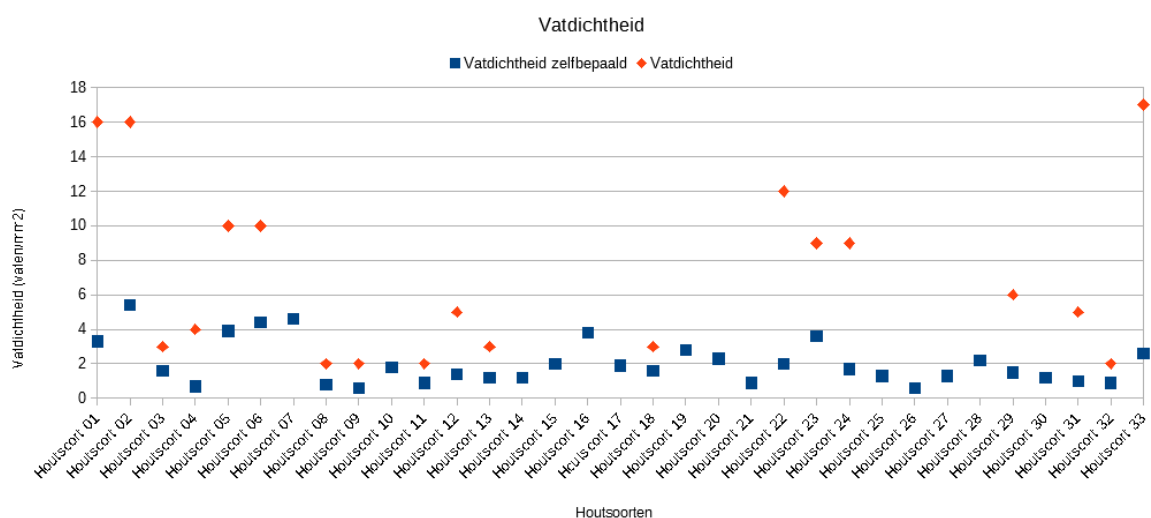
De vaten zijn geteld om de waarden uit de literatuur te controleren. Het onderzoek is uitgevoerd door met behulp van een loep en loepmicrometer de vaten te tellen op 25mm^2 . Er is gekozen voor 25mm^2 zodat het gemiddelde aantal vaten per vierkante millimeter bepaald kon worden. Ook is de vatdoorsnede bepaald door met behulp van een loep en loepmicrometer de vaten op te meten.

Met behulp van de loep kan worden bepaald of de houtsoort, geleverd door de leverancier, overeenkomt met de controlesamples. De vergelijking kan gemaakt worden door naar beide samples te kijken met een loep. Als het beeld van beide houtsoorten hetzelfde zijn, kan worden aangenomen dat de houtsoorten zijn geleverd onder de juiste naam.

De resultaten van de vatdoorsnede zijn weergegeven in Grafiek 4. De vattendichtheid is weergegeven in Grafiek 5.



Grafiek 4 Vatdoorsnede literatuur vs. Vatdoorsnede gemeten



Grafiek 5 Vattendichtheid literatuur vs. Vattendichtheid gemeten

In grafiek 4 is zichtbaar dat de resultaten uit de literatuur vijf keer redelijk overeenkomen met de zelf gemeten waarden. Alle overige waarden komen niet overeen. In grafiek 5 is te zien dat de gemeten

waarden niet overeenkomen met de literatuur. De waarden in de literatuur liggen significant hoger dan de gemeten waarden. Het is niet met zekerheid te zeggen welke waarden de meest betrouwbare zijn, daarom zullen zowel de eigen bepaalde waarden, als de waarden uit de literatuur worden meegenomen in het onderzoek.

5.7 Groeigebied

Er werd van tevoren verwacht dat het groeigebied met zijn groeiplaatsfactoren invloed zou hebben op het brandgedrag van het hout. Hierom zijn van Houtsoort 1 en Houtsoort 32 houtsoorten getest met een verschillend groeigebied. De gemeten waarden zijn met elkaar vergeleken met behulp van de standaardafwijking.

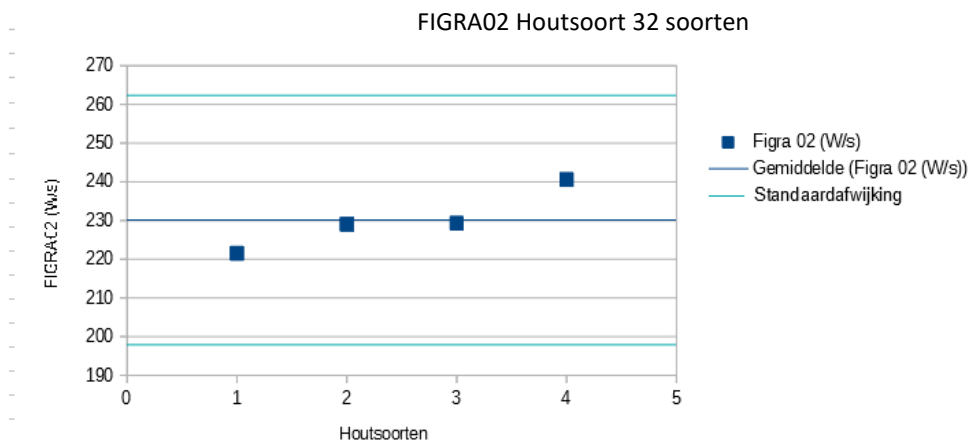
5.7.1 Houtsoort 32

De resultaten van de SBI-testen uitgevoerd met Houtsoort 32 zijn weergegeven in Tabel 9.

Groeigebied	FIGRA _{0,2MJ} (W/s)	THR _{600s} (MJ)
Congo	222	18,8
Gabon	259	17,3
Kameroen	229	15,6
Onbekend	241	20,3

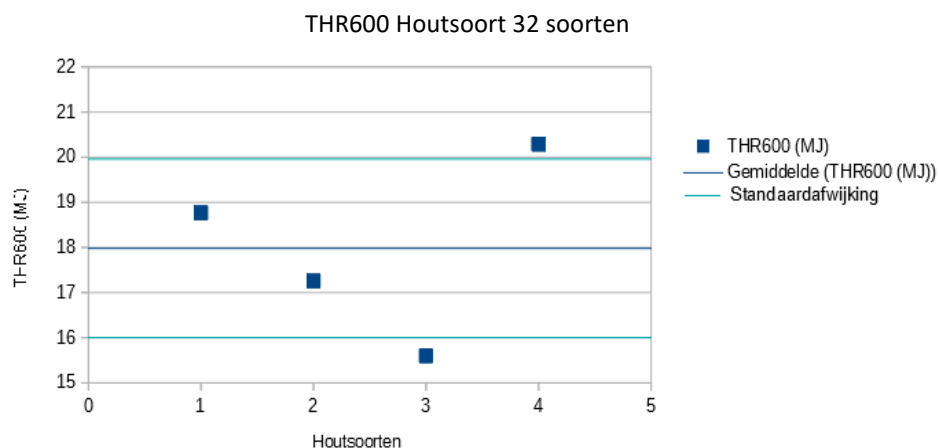
Tabel 9 Testdata Houtsoort 32 soorten

De FIGRA_{0,2MJ} uit Tabel 9 zijn uitgezet tegen de standaardafwijking van 14% in Grafiek 6. De THR_{600s} uit Tabel 9 zijn uitgezet tegen de standaardafwijking van 11% in Grafiek 7.



Grafiek 6 FIGRA02 Houtsoort 32 soorten

In Grafiek 6 is te zien dat alle waarden voor de FIGRA_{0,2MJ} vallen binnen de standaardafwijking. Dit betekent dat deze waarden dicht genoeg bij elkaar liggen om te kunnen zeggen dat er geen significant verschil zit tussen deze testresultaten



Grafiek 7 THR600 Houtsoort 32 soorten

In Grafiek 7 is te zien dat twee van de vier waarden van de THR_{600s} binnen de standaardafwijking vallen. Dit betekent dat de twee waarden buiten de standaardafwijking, dat zijn Houtsoort 32 uit Congo en Houtsoort 32 waarvan het groeigebied onbekend is, een significant verschil aantonen tussen de resultaten.

5.7.2 Houtsoort 1

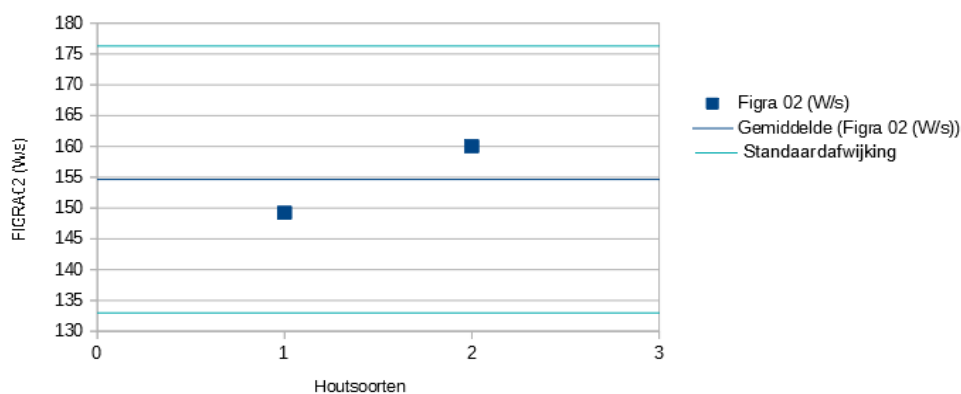
De resultaten van de SBI-testen uitgevoerd met houtsoort 1 zijn weergegeven in Tabel 10.

Groeigebied	FIGRA _{0,2MJ} (W/s)	THR _{600s} (MJ)
Congo	149	13,9
Kameroen	160	15,2

Tabel 10 Testdata houtsoort 1 soorten

De FIGRA_{0,2MJ} uit Tabel 10 zijn uitgezet tegen de standaardafwijking van 14% in Grafiek 8. De THR_{600s} uit Tabel 10 zijn uitgezet tegen de standaardafwijking van 11% in Grafiek 9.

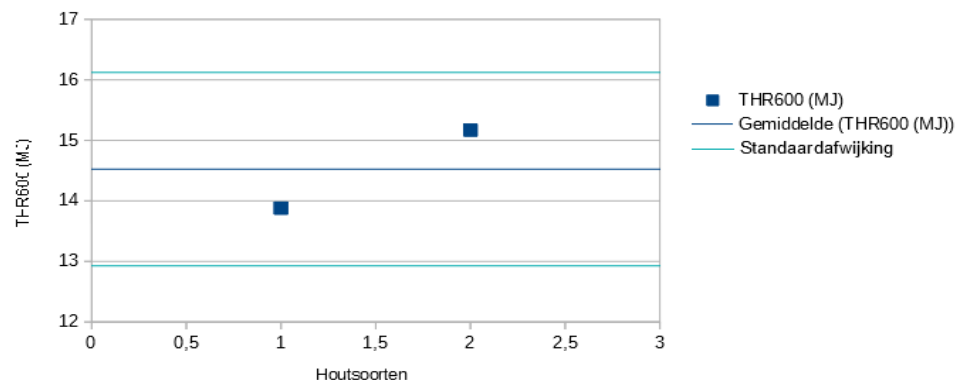
FIGRA02 Houtsoort 1 soorten



Grafiek 8 FIGRA02 Houtsoort 1 soorten

In Grafiek 8 is te zien dat beide waarden vallen binnen de standaardafwijking. Dit betekent dat deze waarden dicht genoeg bij elkaar liggen om te kunnen zeggen dat er geen significant verschil zit tussen deze testresultaten.

THR600 Houtsoort 1 soorten



Grafiek 9 THR600 Houtsoort 1 soorten

In Grafiek 9 is te zien dat beide waarden vallen binnen de standaardafwijking. Dit betekent dat deze waarden dicht genoeg bij elkaar liggen om te kunnen zeggen dat er geen significant verschil zit tussen deze testresultaten.

Uit deze resultaten blijkt dat er geen significant verschil aanwezig is tussen de FIGRA_{0,2MJ} van de houtsoorten uit de verschillende groeigebieden. Voor Houtsoort 32 valt 50% van de meetresultaten voor de THR_{600s} binnen de standaardafwijking. Er is verder onderzoek nodig om te kunnen bepalen

waar deze variatie door veroorzaakt wordt. Echter kan gesteld worden dat de groeiplaatsfactoren geen rol hebben gespeeld voor de $FIGRA_{0,2MJ}$. Voor beide vergelijkingen moet er rekening gehouden worden met het feit dat er een vrij kleine steekproef is gebruikt dus dit mogelijk niet geheel representatief is.

5.8 Statische analyse

Voor het bepalen van de beoogde brandklasse spelen de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} de grootste rol. Daarom zal met de data van 29 uitgevoerde testen enkel gericht worden op een correlatie tussen de verkregen data en de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} . Er is gezorgd dat alle data voldoet aan de vier eisen voor het gebruiken van data voor een meervoudige lineaire regressieanalyse, zoals beschreven in hoofdstuk 4.2.8 Verwerking resultaten. Als de data niet voldeed aan de eisen kan deze niet gebruikt worden voor de meervoudige lineaire regressieanalyse.

De data van de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} moesten normaal verdeeld zijn. De THR_{600s} was normaal verdeeld, de $FIGRA_{0,2MJ}$ daarentegen niet. Daarom heeft er een data transformatie plaatsgevonden. De data van de $FIGRA_{0,2MJ}$ zijn wel normaal verdeeld wanneer een derdemachtswortel wordt genomen.

De volgende parameters voldeden aan de eisen en kunnen gebruikt worden voor het uitvoeren van een meervoudige lineaire regressieanalyse voor de $\sqrt[3]{FIGRA_{0,2MJ}}$:

- Vatdoorsnede en -dichtheid uit de literatuur
- Houtstralen hoogte, breedte en dichtheid
- Cellulose, lignine en hemicellulose
- Hemicellulose en cellulose
- Cellulose en lignine
- Lignine, houtstralen hoogte en small flame test rand bevlamming vlam hoogte

De volgende parameters voldeden aan de eisen en kunnen gebruikt worden voor het uitvoeren van een meervoudige lineaire regressieanalyse voor de THR_{600s} :

- Vatdoorsnede en -dichtheid zelf bepaald
- Cellulose, lignine en hemicellulose
- Hemicellulose en lignine
- Cellulose en lignine
- Lignine, houtstralen hoogte en small flame test rand bevlamming vlam hoogte

5.8.1 Regressieanalyse

Een enkelvoudige regressieanalyse zal worden uitgevoerd voor de onafhankelijke variabelen die een correlatie (R^2) hebben van meer dan 30% met de afhankelijke variabelen. Een meervoudige regressieanalyse zal worden uitgevoerd met de hier boven genoemde combinaties van factoren. Deze zijn weergegeven in Bijlage 14.6 Regressieanalyse.

Bij het uitvoeren van de regressieanalyse is het noodzakelijk een zo hoog mogelijke correlatie (R^2), uitgedrukt in procenten, te hebben. Dit geeft aan voor hoeveel procent de $FIGRA_{0,2MJ}$ of THR_{600s} verklaard kan worden door deze factor(en). Voor een zo goed mogelijke correlatie is het nodig een zo hoog mogelijk percentage te verkrijgen. Daarnaast is het belangrijk dat de waarden significant zijn. De waarden zijn significant als de significantie $\leq 0,05$ is. Wanneer de regressie of een van de factoren niet significant is, kan de regressie niet gebruikt worden. Daarnaast is het nodig rekening te houden met de standaardfout van de formule. Wanneer de standaardfout te groot is kan de regressie niet gebruikt worden.

5.8.2 Uitkomst regressie

Alle uitgevoerde regressieanalyses zijn gecontroleerd op correlatie (R^2), significantie (Sig.) en standaardfout (Std. Error of the Estimate). Wanneer de correlatie lager dan 50% was, de significantie hoger dan 0,05 of de standaardfout te groot was, kon de regressie niet gebruikt worden.

Uit de regressieanalyse blijkt dat de $\sqrt[3]{FIGRA02}$ het beste voorspeld kan worden met behulp van:

- Cellulose, hemicellulose en lignine
- Houtstralen hoogte en dichtheid
- Lignine en cellulose

De THR_{600s} kan het beste voorspeld worden met behulp van:

- Cellulose, hemicellulose en lignine
- Lignine en cellulose

Er is gekozen om voor de THR_{600s} twee hypothesen te testen, omdat de correlatie in de andere analyses lager dan 50% is. Dit betekent dat deze waarden niet betrouwbaar genoeg zijn om mee te kunnen nemen in dit onderzoek.

Bovenstaande regressies zullen getoetst worden door van 6 houtsoorten het brandgedrag te voorspellen en vervolgens van deze houtsoorten het brandgedrag te bepalen met de SBI-test en te bepalen of de voorspelling en meetresultaten overeenkomen.

5.8.3 Hypothese testen

Cellulose, hemicellulose en lignine

De $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} zouden goed voorspeld kunnen worden met de procentuele hoeveelheid aanwezig cellulose, hemicellulose en lignine. Met behulp van de regressieanalyse zijn de volgende vergelijkingen verkregen:

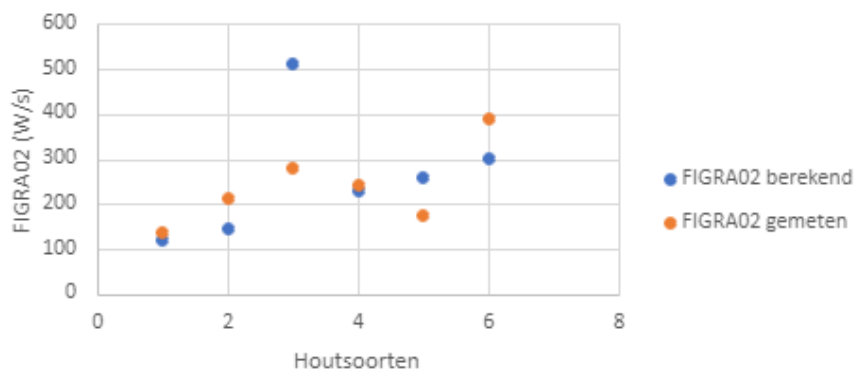
$$FIGRA_{0,2MJ} = (4,812 + 0,091 * cellulose - 0,097 * lignine - 0,049 * hemicellulose)^3 \text{ (Std. Error of the Estimate} = 0,16, R^2 = 96\%, \text{ sig} = <0,001)$$

Error of the Estimate = 0,16, $R^2 = 96\%$, sig = <0,001)

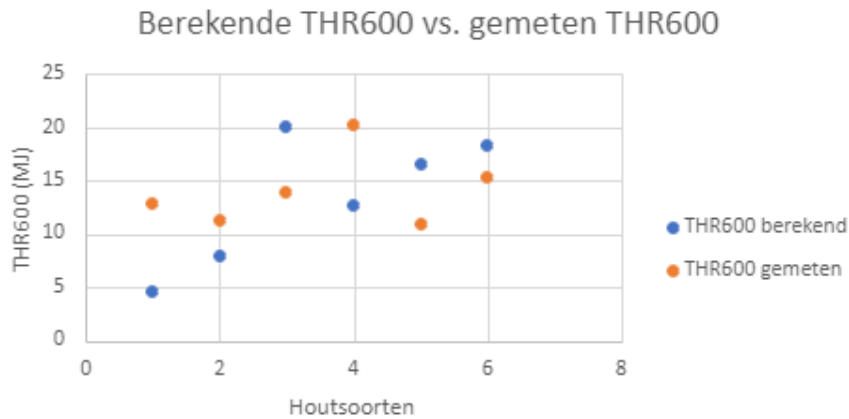
$$THR_{600s} = 10,516 + 0,5 * cellulose - 0,568 * lignine - 0,056 * hemicellulose \text{ (Std. Error of the Estimate} = 1,7, R^2 = 83\%, \text{ sig} = 0,003)$$

Met behulp van deze vergelijkingen zijn waarden berekend om het brandgedrag te voorspellen. Deze waarden zijn uitgezet tegen de gemeten waarden en weergegeven in Grafiek 10 en Grafiek 11

Berekende FIGRA02 vs. gemeten FIGRA02



Grafiek 10 Berekende FIGRA0,2MJ vs. gemeten FIGRA0,2MJ – cellulose, lignine en hemicellulose



Grafiek 11 Berekende THR600s vs. gemeten THR600s – cellulose, lignine en hemicellulose

Echter moet rekening gehouden worden met de standaardfout van de regressieanalyse. Deze is voor de $FIGRA_{0,2MJ}$ 0,16 W/s, deze wordt toegevoegd aan de vergelijking. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de standaardfout van de SBI test welke voor de $FIGRA_{0,2MJ}$ 14% is, ook deze wordt toegevoegd aan de vergelijking. De standaardfout van de vergelijking van THR_{600s} is 1,7 MJ en de standaardfout van de SBI-test is voor de THR_{600s} 11%. Hierdoor ontstaat een marge waar de resultaten tussen moet zitten. Dit is weergegeven in Tabel 11.

Houtsoort	Berekende $FIGRA_{0,2MJ}$ (W/s)	Berekende THR_{600s} (MJ)	Berekende Klasse	$FIGRA_{0,2MJ}$ (W/s)	THR_{600s} (MJ)	Klasse
Houtsoort 29	93 - 153	2,6 – 7,0	C	135	13,0	C
Houtsoort 31	112 – 120	5,5 – 10,6	C	210	11,2	C
Houtsoort 30	409 – 624	16,3 – 24,1	D	280	14,0	D
Houtsoort 32	179 – 283	9,7 – 15,9	D	241	20,3	D
Houtsoort 33	202 – 318	13,2 – 20,3	D	176	11,0	C
Houtsoort 38	239 – 373	14,7 – 22,2	D	388	15,4	D

Tabel 11 Data voorspeld vs. gemeten – cellulose, lignine en hemicellulose

De $FIGRA_{0,2MJ}$ van Houtsoort 29 en Houtsoort 32 vallen binnen de voorspelde marge. De $FIGRA$ van Houtsoort 31 en Houtsoort 38 vallen hoger uit dan voorspeld. De $FIGRA$ van Houtsoort 30 en Houtsoort 33 vallen lager uit dan voorspeld.

De THR_{600s} van Houtsoort 38 valt binnen de voorspelde marge. De THR_{600s} van Houtsoort 29, Houtsoort 31 en Houtsoort 32 vallen hoger uit dan voorspeld en de THR_{600s} van Houtsoort 30 en Houtsoort 33 vallen lager uit dan voorspeld.

Desondanks zijn vijf brandklassen juist voorspeld en een klasse is beter dan voorspeld. Dit betekent dat de berekening veilig is want de klassen zijn correct voorspeld of gunstiger.

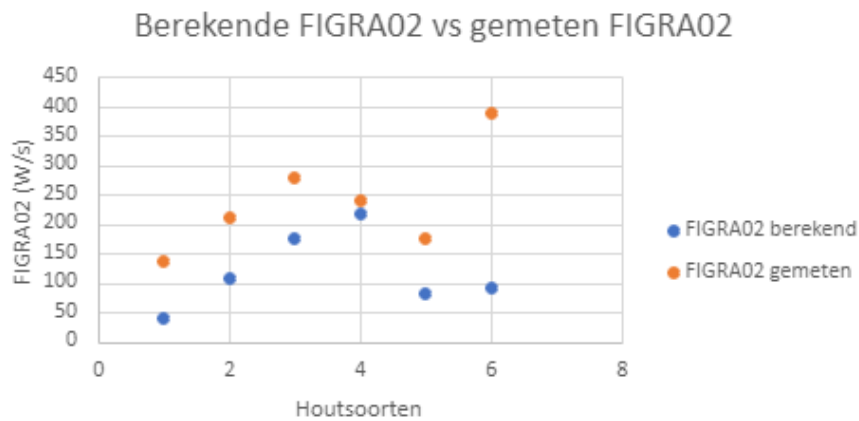
Houtstralen hoogte en dichtheid

De $FIGRA_{0,2MJ}$ zou goed voorspeld kunnen worden met hoogte en dichtheid van houtstralen.

$$FIGRA_{0,2MJ} = (5,23 - 0,003 * \text{houtstralen hoogte} + 0,089 * \text{houtstralen dichtheid})^3 \text{ (Std.)}$$

Error of the Estimate = 0,23, $R^2 = 88\%$, sig = <0,001

Met behulp van deze vergelijkingen zijn waarden berekend om het brandgedrag te voorspellen. Deze waarden zijn uitgezet tegen de gemeten waarden en weergegeven in Grafiek 12



Grafiek 12 Berekende FIGRA_{0,2MJ} vs. gemeten FIGRA_{0,2MJ} - houtstralen hoogte en dichtheid

Echter moet er rekening gehouden worden met de standaardfout van de regressieanalyse. Deze is 0,23 W/s, deze wordt toegevoegd aan de vergelijking. Daarnaast moet er rekening worden gehouden met de standaardfout van de SBI test welke voor de FIGRA_{0,2MJ} 14% is, ook deze wordt toegevoegd aan de vergelijking. Hierdoor ontstaat een marge waar de FIGRA_{0,2MJ} tussen moet zitten. Dit is weergegeven in Tabel 12.

Houtsoort	Berekende FIGRA _{0,2MJ} (W/s)	Berekende THR _{600s} (MJ)	Berekende Klasse	FIGRA _{0,2MJ} (W/s)	THR _{600s} (MJ)	Klasse
Houtsoort 29	27 – 56	n.v.t.	n.v.t.	135	13,0	C
Houtsoort 31	78 – 142	n.v.t.	n.v.t.	211	11,2	C
Houtsoort 30	131 - 227	n.v.t.	n.v.t.	280	14,0	D
Houtsoort 32	166 – 282	n.v.t.	n.v.t.	241	20,3	D
Houtsoort 33	59 – 110	n.v.t.	n.v.t.	176	11,0	C
Houtsoort 38	66 – 121	n.v.t.	n.v.t.	388	15,4	D

Tabel 12 Data berekend vs. gemeten - houtstralen hoogte en dichtheid

De waarde voor de FIGRA_{0,2MJ} van Houtsoort 32 valt binnen de voorspelde marge. De andere waarden zijn slechter dan voorspeld. Dit betekent dat deze hypothese niet klopt en afgewezen kan worden.

Lignine en cellulose

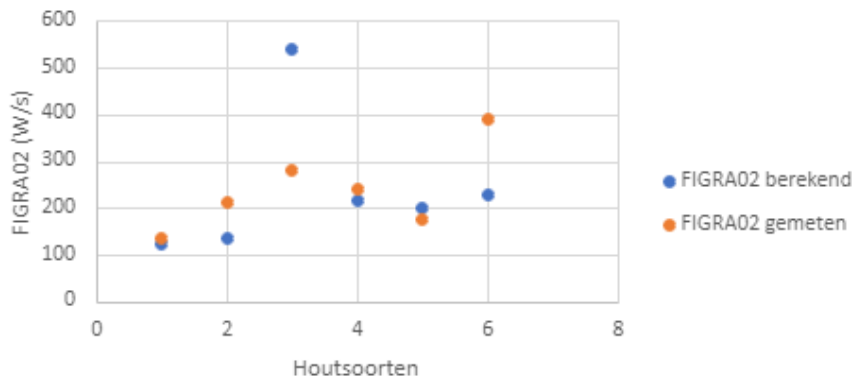
De FIGRA_{0,2MJ} en THR_{600s} zouden goed voorspeld kunnen worden met de procentuele hoeveelheid aanwezig lignine en cellulose. Met behulp van de regressieanalyse zijn de volgende vergelijkingen verkregen:

$$FIGRA_{0,2MJ} = (5,498 + 0,091 * cellulose - 0,13 * lignine)^3 \text{ (Std. Error of the Estimate} = 0,20, R^2 = 94\%, \text{ sig} = <0,001)$$

$$THR_{600s} = 8,743 + 0,52 * cellulose - 0,562 * lignine \text{ (Std. Error of the Estimate} = 1,5, R^2 = 86\%, \text{ sig} = <0,001)$$

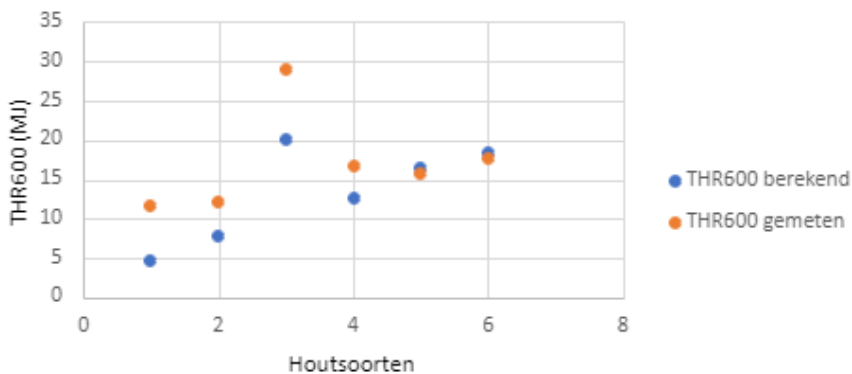
Met behulp van deze vergelijkingen zijn waarden berekend om het brandgedrag te voorspellen. Deze waarden zijn uitgezet tegen de gemeten waarden en weergegeven in Grafiek 13 en Grafiek 14

Berekende FIGRA02 vs. gemeten FIGRA02



Grafiek 13 Berekende FIGRA0,2MJ vs. gemeten FIGRA0,2MJ – cellulose en lignine

Berekende THR600 vs. gemeten THR600



Grafiek 14 Berekende THR600s vs. gemeten THR600s - cellulose en lignine

Echter moet rekening gehouden worden met de standaardfout van de regressieanalyse. Deze is voor de $FIGRA_{0,2MJ}$ 0,20 W/s, deze wordt toegevoegd aan de vergelijking. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de standaardfout van de SBI test welke voor de $FIGRA_{0,2MJ}$ 14% is, ook deze wordt toegevoegd aan de vergelijking. De standaardfout van de vergelijking van THR_{600s} is 1,5 MJ en de standaardfout van de SBI-test is voor de THR_{600s} 11%. Hierdoor ontstaat een marge waar de resultaten tussen moet zitten. Dit is weergegeven in

Tabel 13.

Houtsoort	Berekende $FIGRA_{0,2MJ}$ (W/s)	Berekende THR_{600s} (MJ)	Berekende Klasse	$FIGRA_{0,2MJ}$ (W/s)	THR_{600s} (MJ)	Klasse
Houtsoort 29	92 – 158	9,1 – 14,7	C	135	13,0	C
Houtsoort 31	101 – 172	9,5 – 15,0	C	211	11,2	C
Houtsoort 30	424 – 665	24,4 – 28,9	D	280	14,0	D
Houtsoort 32	167 – 254	13,6 – 20,3	D	241	20,3	D
Houtsoort 33	153 – 254	12,8 – 19,2	D	176	11,0	C
Houtsoort 38	175 – 288	14,4 – 21,3	D	388	15,4	D

Tabel 13 Data berekend vs. gemeten - cellulose en lignine

De $FIGRA_{0,2MJ}$ van Houtsoort 29, Houtsoort 33 en Houtsoort 32 vallen beide binnen de voorspelde marge. De $FIGRA_{0,2MJ}$ van Houtsoort 31 en Houtsoort 38 vallen hoger uit dan voorspeld en de $FIGRA_{0,2MJ}$ van Houtsoort 30 valt lager uit dan voorspeld.

De waarde voor de THR_{600s} van Houtsoort 29, Houtsoort 31, Houtsoort 32 en Houtsoort 38 vallen binnen de voorspelde marge. De THR_{600s} van Houtsoort 30 en Houtsoort 33 vallen lager uit.

Desondanks zijn vijf brandklassen juist voorspeld en één klasse is beter dan voorspeld. Dit betekend dat de berekening veilig is aangezien de klassen juist of gunstiger voorspeld zijn.

Als een vergelijking wordt gemaakt tussen de drie formules blijkt date en aantal resultaten goed zijn voorspeld. Dit is weergegeven in Tabel 14.

	FIGRA _{0,2MJ}	THR _{600s}
Cellulose + hemicellulose + lignine	2/6	1/6
Houtstralen hoogte + dichtheid	1/6	n.v.t.
Lignine + cellulose	4/6	3/6

Tabel 14 Aantal juiste voorspellingen

De brandklasse daarentegen is voor de cellulose, hemicellulose en lignine en de lignine, cellulose vijf van de zes keer goed voorspeld en een keer was de klasse beter dan voorspeld. De FIGRA_{0,2MJ} voorspeld met de houtstralen is een keer goed voorspeld en de andere keren was deze slechter dan voorspeld. Daarom is de hypothese met de houtstralen verworpen.

Als wordt gekeken naar Tabel 14 is zichtbaar dat zowel de FIGRA_{0,2MJ} als de THR_{600s} het beste voorspeld kunnen worden met behulp van de aanwezige lignine en cellulose percentages.

6. Discussie

Voor dit onderzoek zijn houtsoorten gebruikt, geleverd door verschillende leveranciers. Van tevoren was bepaald dat van al het hout 8 planken, kwartiers gezaagd, geschaafd en in de afmetingen 20 mm dik, 2 m lang en 15 cm breed geleverd zou worden. Echter is dit niet gelukt, enkele variaties in aantal, lengte, breedte, dikte en zaagrichting waren aanwezig. Hierdoor is het mogelijk dat deze variaties afwijkingen in de meetresultaten hebben veroorzaakt. Dit is niet zeker daarom zijn deze mogelijke afwijkingen buiten beschouwing gelaten. De variatie in lengte heeft ervoor gezorgd dat niet alle onderzoeken op alle houtsoorten uit gevoerd zijn. De variatie in aantal planken heeft ervoor gezorgd dat niet alle proefstukken voor de SBI-test even groot waren. Echter waren alle proefstukken minimaal 30 cm breed. Doordat de planken zonder tussenruimte werden gemonteerd zou het aantal planken per proefstuk een minimaal verschil in brandgedrag moeten opleveren. Voor elk proefstuk is geobserveerd of het proefstuk groot genoeg was. Een proefstuk was groot genoeg wanneer de vlamuitbreiding binnen het proefstuk bleef. Alle proefstukken waren groot genoeg, waardoor alle resultaten kunnen worden meegenomen in het onderzoek.

Om te onderzoeken of het aantal planken op een proefstuk van invloed was op het brandgedrag is Houtsoort 28 tweemaal getest. Eenmalig in een opstelling met vijf planken, en eenmaal in een opstelling met zes planken. Het verschil in de meetresultaten van deze twee testen was erg groot, bij de meting met zes planken was de $FIGRA_{0,2MJ}$ 50 W/s hoger en de THR_{600s} 0,6 MJ hoger dan bij de meting met vijf planken. Met name de hogere $FIGRA_{0,2MJ}$ is verrassend. Dit verschil kan mogelijk verklaard worden doordat een extra plank meer brandstof genereert voor de brand. Na de meting bleek ook dat er in het proefstuk van zes planken een harskanaal aanwezig was, wat waarschijnlijk de meting heeft beïnvloed. Doordat niet zeker is wat de invloed is van het aanwezige harskanaal op de meting, kan niet bepaald worden wat de invloed is van de vijf of zes planken op de meting. Echter laat deze meting wel zien dat een groot verschil aanwezig kan zijn in het brandgedrag van twee planken. Hierdoor kunnen de resultaten van verschillende testen met dezelfde houtsoort variëren.

Dit onderzoek is gericht op tropische hardhoutsoorten en één naaldhoutsoort. De meetresultaten van de SBI-test van de naaldhoutsoort week af van de rest. Als de waarden van Houtsoort 30 werden meegenomen in de regressieanalyse werd de regressieanalyse significant minder betrouwbaar. Daarom wordt er verwacht dat het voorspellen van het brandgedrag van houtsoorten afhankelijk is van het type hout. Echter is meer onderzoek nodig om dit te onderbouwen en uit te zoeken waar deze verschillen door veroorzaakt worden.

In dit onderzoek is voornamelijk gekeken naar de waarden voor de vastgestelde parameters uit de literatuur. Deze parameters zijn gemiddelden waarden en zijn niet specifiek voor de onderzochte proefstukken. Mogelijk kunnen de waarden voor de parameters specifiek voor de proefstukken wel van invloed zijn op het brandgedrag.

7. Conclusie

Het doel van dit onderzoek was het vaststellen van het brandgedrag van verschillende houtsoorten en bepalen welke eigenschappen hieraan bijdragen, zodat het mogelijk wordt het brandgedrag van andere houtsoorten te voorspellen. Om dit doel te bereiken zijn verschillende onderzoeken en literatuuronderzoek uitgevoerd.

Uit het experiment om te bepalen hoelang hout moet conditioneren voordat het een evenwichtsvochtgehalte behaald, blijkt dat de meeste houtsoorten minimaal 23 dagen moeten conditioneren. Daarom kan het beste voor alle houtsoorten de voorgeschreven 4 weken conditionering aan worden gehouden.

Uit de SBI - test kwam naar voren dat de houtsoorten Houtsoort 10 brandklasse B kan halen en dat alle andere houtsoorten klasse C of D behalen.

De resultaten van de small flame testen vertonen geen significante verschillen. Dit betekent dat de vlamverspreiding geen goede indicatie is voor het brandgedrag van hout, zoals bepaald in de SBI-test. Het vochtgehalte van de verschillende houtsoorten ligt tussen 9% en 13%, dit is geen grote spreiding. Dit betekent dat het vochtgehalte niet de bepalende factor is voor het brandgedrag van hout.

De bepaalde waarden met de calorimeter, hebben geen significante verschillen. Hierdoor zullen deze waarden niet bepalend zijn voor het brandgedrag van hout.

De groeiplaatsfactoren van een boom zijn niet van invloed op de $FIGRA_{0,2MJ}$. De groeiplaatsfactoren zijn wel van invloed op de THR_{600s} , van de houtsoorten die in dit onderzoek zijn onderzocht.

Na het uitvoeren van deze onderzoeken is met behulp van statistiek gekeken naar de correlaties tussen de verschillende parameters uit de literatuur, de gemeten waarden en de gemeten $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} . De factoren waar een correlatie bestaat zijn vervolgens met behulp van een regressieanalyse berekend. Daarnaast zijn alle vooraf opgestelde hypothesen getoetst. De hypothesen zijn getoetst door voor 6 houtsoorten het brandgedrag te voorspellen en vervolgens dit te vergelijken met de gemeten resultaten. Hieruit blijkt dat het lastig is om de daadwerkelijke waarde van de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} te voorspellen. De $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} bleken het beste voorspeld te kunnen worden met behulp van de aanwezige Cellulose en Lignine in procenten. Hierbij was het in 67% van de gevallen gelukt om de $FIGRA_{0,2MJ}$ en 50% van de THR_{600s} binnen de marge te voorspellen.

De brandklasse daarentegen is vijf van de zes keer juist voorspeld, en één keer was deze beter dan voorspeld. Hieruit blijkt dat je met behulp van de volgende formules een redelijke indicatie kan krijgen van de $FIGRA_{0,2MJ}$ en THR_{600s} maar met een redelijke mate van zekerheid de brandklasse kan voorspellen. De formules lijken aan de veilige kant te zitten, waardoor deze bruikbaar kunnen zijn voor het voorspellen van de brandklasse van tropische hardhout soorten.

$$FIGRA_{0,2MJ} = (5,498 + 0,091 * cellulose - 0,13 * lignine)^3$$
$$THR_{600s} = 8,743 + 0,52 * cellulose - 0,562 * lignine$$

8. Aanbevelingen

Om de resultaten uit dit onderzoek betrouwbaarder te maken zou het onderzoek herhaald kunnen worden met proefstukken welke op de houtsoort na identiek zijn. Hierdoor kan onderzocht worden of deze variaties invloed hebben op het brandgedrag.

Om het onderzoek meer betrouwbaar te maken is het noodzakelijk dit onderzoek te herhalen en aan te vullen met niet-tropische hardhoutsoorten. Oorspronkelijk was dit de planning voor dit onderzoek, maar wegens een te lange levertijd konden de samples niet op tijd getest worden. Het aanvullende onderzoek is noodzakelijk omdat in het onderzoek momenteel niet kon worden vastgesteld of er een verschil is tussen verschillende typen hout en wat voor invloed dit heeft op het brandgedrag.

Om een beter beeld te krijgen van de conditioneringsduur voordat een houtsoort het evenwichtsvochtgehalte heeft bereikt zou in het vervolg het uitgevoerde experiment herhaald moeten worden met zo veel mogelijk houtsoorten, inclusief niet-tropische. Daarnaast moeten de samples elke dag gewogen worden om een betere indicatie te krijgen van de tijdsduur.

Om meer te kunnen zeggen over de calorische waarde in verhouding tot het brandgedrag is het nodig zo veel mogelijk houtsoorten te testen. Er wordt verwacht dat dit niet veel afwijkt van de literatuur, echter kan dit enkel bevestigd of ontkracht worden door het uitvoeren van deze testen.

In het vervolg kan meer onderzoek worden uitgevoerd naar de zaagwijze van het hout, zoals dosse- of kwartiers gezaagd hout. Er kan onderzocht worden of de zaagrichting van invloed is op het brandgedrag van hout en hoe groot deze invloed is. Dit kan onderzocht worden door van één houtsoort planken te nemen met verschillende zaagwijze. Het is belangrijk dat alle andere factoren zoals bijvoorbeeld groeigebied en afmetingen identiek zijn. Met deze samples kan de SBI-test worden uitgevoerd. Uit de resultaten blijkt wat de invloed is van de zaagrichting op het brandgedrag. Een vergelijkbaar onderzoek kan worden uitgevoerd met de oriëntatie van de planken (horizontaal of verticaal), kern- en spinthout of hout wat gekapt is in de zomer of winter. Telkens wordt er één variabele aangepast en een onderlinge vergelijking van resultaten wordt gemaakt. Dit zorgt ervoor dat meer duidelijkheid ontstaat over welke factoren van invloed zijn op het brandgedrag van hout.

Om meer inzicht te verkrijgen in de factoren van invloed op het brandgedrag van hout kan er vervolgonderzoek worden uitgevoerd naar de chemische samenstelling van de houtsoorten. Dit zou bijvoorbeeld kunnen doormiddel van een thermogravimetrische analyse (TGA) of high performance liquid chromatography (HPLC). Hierdoor kan gekeken worden naar de verschillen tussen houtsoorten, maar ook het verschil tussen planken van één houtsoort. Dit zou ook kunnen helpen om meer inzicht te krijgen naar de invloed van het groeigebied op de samenstelling van het hout.

Bronnenlijst

- [1] B. Bond en P. Hamner, „Wood Identification for Hardwood and Softwood Species Native to Tennessee,” The University of Tennessee Institute of Agriculture, Tennessee, 1914.
- [2] A. I. Bartlett, R. M. Hadden en L. A. Bisby, „A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction,” Fire Technology, 2018.
- [3] R. Klaassen, Houtvademecum, 11-de geheel herziene en vermeerderde druk red., Zwolle: Uitgeverij Vakbladen.com & Smartwave, 2018.
- [4] Peutz, „Brandgedrag materialen,” [Online]. Available: <https://www.peutz.nl/laboratoria/laboratorium-voor-brandveiligheid/brandgedrag-materialen>. [Geopend 04 februari 2022].
- [5] L. A. Lowden en T. R. Hull, „Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction,” Fire Science Reviews, Preston, 2013.
- [6] Ecomat, „Normen houten gevelbekleding en brandgedrag,” Ecomat, 06 december 2019. [Online]. Available: <https://ecomat.be/kennisbank/detail/normen-houten-gevelbekleding-en-brandgedrag>. [Geopend 11 februari 2022].
- [7] Technical Committee CEN/TC 127 "Fire safety in buildings", „NEN-EN 13238,” CEN, Brussel, 2009.
- [8] R. van Mierlo, „The Single Burning Item (SBI) test method - a decade of development and plans for the near future,” TNO Centre for Fire Research, Delft, 2005.
- [9] I. Sled, „Protection of wood. Fire tests,” Lappeenranta, 2012.
- [10] „SBI,” [Online]. Available: <http://fr.polymerinsights.com/testing/flammability/sbi>. [Geopend 08 februari 2022].
- [11] N. 3. ' b. e. bouwdelen', „NEN-EN-ISO 11925-2 Brandgedragproeven - Ontvlambaarheid van bouwproducten bij directe blootstelling aan vlammen - Deel 2: Beproeving met vlammen uit één bron,” European committee for standardization, Brussel, 2020.
- [12] Normcommissie 353084 'Brandveiligheidsaspecten bouwproducten en bouwdelen', „NEN-EN-ISO 1716,” CEN, Delft, 2018.
- [13] Normcommissie 351074 'Klimaatbeheersing in gebouwen', „NEN-EN-ISO 12570,” NEN, Delft, 2000.
- [14] W. E. Hillis, Heartwood and Tree Exudates, T. E. Timell, Red., Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- [15] R. B. Miller, in *Structure of wood. Wood handbook: wood as an engineering material*, 1999.
- [16] J. Fanta, „Groeiplaats: onderzoek, classificatie en betekenis voor de bosbouw,” Wageningen, 1985.

- [17] L. Haurie, M. P. Giraldo, A. M. Lacasta, J. Montón en R. Sonnier, „Influence of different parameters in the fire behaviour of seven hardwood species,” Elsevier l.td, 2017.
- [18] A. Gani en I. Naruse, „Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass,” Toyohashi, 2005.
- [19] R. Wagenführ en C. Schreiber, Holzatlas, 3 red., Leipzig: Druckerei Fortschritt Erfurt, 1989.
- [20] Forest Products Laboratory, Forest Service, „Ignition and charring temperatures of wood,” U.S. Department of Agriculture, Wisconsin.
- [21] N. N. Kencanawati, B. Anshari, J. Fajrin, Hariyadi en A. Beriman, „Experimental Study Of Local Solid Wood Post-Fire Behaviour,” Universitas Kadiri Riset Teknik Sipil, 2020.
- [22] L. M. Osvaldová, „Wood of Coniferous Trees: Reaction to Fire,” IntechOpen, 2018.
- [23] R. Aichbauer, „Houtanatomie 1 - deel 2,” HVC LIGNUM, 21 april 2021. [Online]. Available: <https://www.hvc-lignum.nl/houtanatomie-deel-2/>. [Geopend 15 april 2022].
- [24] M. Gravit, Y. Simonenko en A. Larionov, „Method single burning item (SBI),” Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, 2018.
- [25] L. M. Osvaldova en J.-R. S. Castellanos, „Burning rate of selected hardwood tree species,” Technická univerzita vo Zvolene, Zvolene, 2017.
- [26] T. Hakkarainen, „Studies on fire safety assessment of construction products,” VTT Technical Research Centre of Finland, 2002.

Bijlagen

Bijlage 1 Geselecteerde chemische eigenschappen

Stofeigenschap	Laagste waarde	Hoogste waarde
Soortelijk gewicht	Houtsoort 38 (445 kg/m ³)	Houtsoort 5 (1100 kg/m ³)
Dikte spinhout	Houtsoort 1 (1-2cm)	Houtsoort 8 (8-10 cm)
Vaten		
Doorsnede	Houtsoort 1 (113 µm)	Houtsoort 33 (435 µm)
Dichtheid	Houtsoort 32 (2 vaten per mm ²)	Houtsoort 33 (17 vaten per mm ²)
Houtstralen		
Hoogte	Houtsoort 30 (87 µm)	Houtsoort 29 (990 µm)
Breedte	Houtsoort 30 (11 µm)	Houtsoort 33 (53 µm)
Dichtheid	Houtsoort 38 (2 houtstralen per mm ²)	Houtsoort 32 (14 houtstralen per mm ²)
Poreusheid	Houtsoort 4 (31%)	Houtsoort 38 (72%)
Lignine	Houtsoort 14 (14,8%)	Houtsoort 4 (39,9%)
Cellulose	Houtsoort 14 (27,3%)	Houtsoort 30 (69,2%)

Bijlage 2 onderzochte houtsoorten

Bijlage 3 houtsoorten en geselecteerde eigenschappen

Houtsoort	Soortelijk gewicht (kg/m ³)	Vochtgehalte bepaald met oven (%)	Vezels		Vaten		Houtstralen			Poreusheid (%)	Lignine (%)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)
			doorsnede (μm)	wanddikte (μm)	doorsnede (μm)	dichtheid (vaten/mm ²)	hoogte (μm)	breedte (μm)	Dichtheid (houtstralen/mm ²)				
Houtsoort 1	720	10,2	8	5,3	113	16	267	30	9	57	31,2	44,8	16,8
Houtsoort 2	720	10,0	8	5,3	113	16	267	30	9	57	31,2	44,8	16,8
Houtsoort 3	785	10,3	9,8	5,3	195	3	308	42	6	53	26,1		
Houtsoort 4	1005	13,0	2,7	12	280	4	580	25	6	31	39,9	41,1	15,3
Houtsoort 5	1055	10,9	4,1	10,8	137	10	382	45	8	32	32,8		11,1
Houtsoort 6	1050	9,7	4,1	10,8	137	10	382	45	8	32	32,8		11,1
Houtsoort 7	850	12,0											
Houtsoort 8	760	9,9	13,3	8,3	242	2	150	26	14	57	28,2	45,9	8,6
Houtsoort 9	760	10,1	13,3	8,3	242	2	150	26	14	57	28,2	45,9	8,6
Houtsoort 10	950	11,1									33,5	30,1	12,3
Houtsoort 11	760	9,1	13,3	8,3	242	2	150	26	14	57	28,2	45,9	8,6
Houtsoort 12	900	10,6	5,7	8,2	203	5	257	20	9	57	32,8	42,1	13,5
Houtsoort 13	780	11,2	12	7	178	3	277	29	9	56	34,6	45,7	12,3
Houtsoort 14	615	0,1											
Houtsoort 15	1025	10,8											
Houtsoort 16	825	0,1											
Houtsoort 17	730	0,1											
Houtsoort 18	900	10,8	10,6	8,7	183	3	640	45	7	53		40,0	
Houtsoort 19	700	10,9											
Houtsoort 20	800	12,3											
Houtsoort 21	675	11,9											
Houtsoort 22	1025				117	12	468	25	8	54	0,3	40,8	14,1
Houtsoort 23	825	12,1			117	9	183	43	9	40			
Houtsoort 24	825	10,8	10,7	4,5	117	9	183	43	9	40			
Houtsoort 25	700	12,1											
Houtsoort 26	850	9,9											

Houtsoort 27	625	12,6											
Houtsoort 28	750	10,7											
Houtsoort 29	780	10,6	10,9	13,7	181	6	990	45	13	53	33,4	41,8	14,0
Houtsoort 30	605	9,5	32,5	9			87	11	7	69	31,0	69,2	9,0
Houtsoort 31	660	10,5	12,1	6,3	192	5	340	40	6	58	28,2	40,0	16,2
Houtsoort 33	6330	11,9	11,3	8,1	435	17	442	53	5	59	28,2	44,1	28,2
Houtsoort 38	445	10,9	18,3	5,1	150	12	307	28	2	72	30,3	49,9	14,8

Bijlage 4 Labjournaal vaststellen conditioneringsduur

1. Gegevens

- a. 28 februari – 4 april
- b. Experiment 1 Vaststellen conditioneringsduur

2. Doel

Het doel van dit experiment is het vaststellen van het brandgedrag van houtsoorten en bepalen welke factoren/materiaaleigenschappen een significante rol spelen in het brandgedrag.

3. Principe

Voordat verschillende testen voor het bepalen van het brandgedrag uitgevoerd kunnen worden is het nodig het te testen materiaal, ook wel proefstuk, te conditioneren. Conditioneren betekent, dat een proefstuk voor een bepaalde tijd in een ruimte, met een temperatuur van 23 ± 2 °C en een relatieve lucht vochtigheid van 50 ± 5 %, wordt gelegd. Proefstukken moeten zo geplaatst worden dat lucht kan circuleren rondom het proefstuk. Het proefstuk moet conditioneren zodat een evenwichtsvochtgehalte wordt bereikt. Om te bepalen hoelang een proefstuk moet conditioneren voordat het evenwichtsvochtgehalte is bereikt zijn twee mogelijkheden. De eerste optie is om het proefstuk voor een bepaalde tijd, vastgesteld in de norm, te laten conditioneren. Voor hout is deze tijd vastgesteld op minimaal vier weken. De andere optie is om het proefstuk te conditioneren tot het proefstuk een constante massa heeft bereikt. Er kan bepaald worden dat een proefstuk een constante massa heeft bereikt door het proefstuk te wegen. Wanneer in een interval van 24 uur, het verschil in gewicht niet groter is dan 0,1% of 0,1 g als dit groter is, dan is de constante massa bereikt volgens EN 13238. [7]

4. Materiaal

- Conditioneringsruimte
- Proefstukken
- Weegschaal (2 decimalen nauwkeurig in gram)

5. Uitvoering

1. Zaag van elke plank een stuk van 9 bij 25 cm, indien mogelijk. Zorg ervoor dat van elke plank minimaal 1,5 m over blijft!
2. Meet de exacte afmetingen van de afgezaagde stukken hout met een schuifmaat.
3. Weeg de afgezaagde stukken hout en noteer het gewicht.
4. Plaats de houten planken en afgezaagde stukken in de conditioneer ruimte.
5. Weeg de afgezaagde stukken hout 2 à 3 maal per week. Herhaal dit tot het evenwichtsvochtgehalte is bereikt (na ongeveer vier weken). Er kan berekend worden of het evenwichtsvochtgehalte bereikt is door te kijken naar de gewichtsafname. Wanneer de gewichtsafname 0,1% is dan is het evenwichtsvochtgehalte bereikt.

Gebruik hiervoor de formule:

$$\text{Gewichtsafname} = \frac{(\text{Oude gewicht} - \text{Nieuwe gewicht})}{\text{Oude gewicht}} * 100$$

Bijlage 5 Labjournaal SBI – test

1. Gegevens

- c. 21 maart – 8 april
- d. Experiment 2 Brandgedrag hout

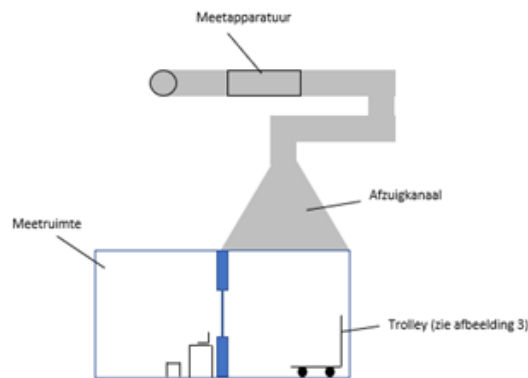
2. Doel

Het doel van dit experiment is het vaststellen van het brandgedrag van houtsoorten en bepalen welke factoren/materiaaleigenschappen een significante rol spelen in het brandgedrag.

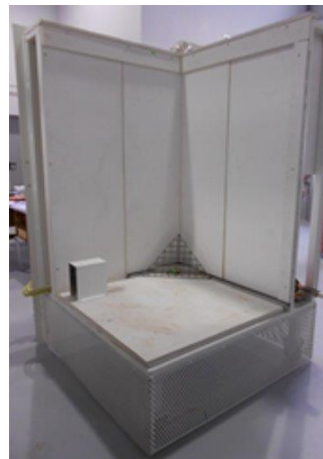
3. Principe

Om een materiaal te kunnen classificeren is het nodig het materiaal te testen. Het is mogelijk om de gehele constructie te testen, maar dit is erg arbeidsintensief en duur. Daarnaast is het mogelijk om een vergelijking te maken met gelijksoortige constructies, waarvan de brandeigenschappen wel bekend zijn. Dit is nog niet uitgevoerd bij de vele verschillende houtsoorten. Daarom is het nodig om brandtesten uit te voeren met de Single Burning Item (SBI) - test. [5] Voordat een proefstuk kan worden getest is het nodig deze te conditioneren. Dit is nodig omdat de testen overal ter wereld uitgevoerd kunnen worden en de situatie zo identiek mogelijk moet zijn. Het is noodzakelijk dat tijdens de test het vochtgehalte hetzelfde is om uit te kunnen sluiten dat het vochtgehalte van invloed is op de test. Dit betekent dat een proefstuk voor minimaal vier weken in een ruimte wordt gelegd met een temperatuur van 23°C en een vochtgehalte van 50%. Hierdoor bereikt het proefstuk een evenwichtsvochtgehalte. Wanneer deze bereikt is kan de test worden uitgevoerd.

De SBI-test simuleert een beginnende brand, door een proefstuk bloot te stellen aan een driehoekige brander van 30kW. Deze blootstelling is te vergelijken met een brandende prullenbak of bijvoorbeeld klein meubilair. Het proefstuk bestaat uit twee onderdelen, een van 1 x 1,5 m en een van 0,5 x 1,5 m. Deze worden in een in een hoek van 90° op een trolley geplaatst, die vervolgens in de testruimte wordt gereden. [8] [12]



Afbeelding 1 Schematische weergave SBI-test



Afbeelding 2 Trolley van de SBI

De trolley wordt geplaatst onder een afzuigkanaal. Gedurende de test worden de gassen door dit kanaal naar buiten geleid. In het kanaal zitten sensoren om de temperatuur, licht demping, O₂, CO₂ en de stroomsnelheid te meten.

Met behulp van deze sensoren kunnen de warmteafgifte en rookproductie bepaald worden. De warmteafgifte wordt bepaald op basis van het zuurstofverbruik. De rookproductie wordt bepaald op basis van de demping van het licht door de verbrandingsgassen.

Daarnaast worden de laterale vlamverspreiding en brandende druppels of deeltjes visueel waargenomen. [12]

Met behulp van deze waarden kunnen de waarden voor de brandgroei (FIGRA), de totale warmteproductie (THR_{600s}), de rookgroei (SMOGR) en de totale rook productie bepaald worden. [6] De eisen van deze waarden zijn weergegeven in Tabel 4 Eisen per brandklasse [13]

De FIGRA wordt berekend door de warmteafgifte te delen door de verstreken tijd sinds het begin van de verhitting.

Het is belangrijk voordat de test begint de beginwaarden van de verschillende sensoren te controleren. Zorg ervoor dat de lichtdoorlaatbaarheid 1,000 is. Met behulp van de volgende formule kan je de lichtdoorlaatbaarheid omrekenen in lichtdemping: $\text{lichtdemping} = (1 - \text{lichtdoorlaatbaarheid}) * 100\%$

Controleer of het temperatuurverschil van de drie thermokoppels maximaal 3°C is.

Zorg ervoor dat de O₂ waarde 20,95 is.

Materiaal

- SBI-test opstelling
- 40 houtsoorten in planken van 2m bij 15 cm bij 20 mm
- 80 Promatect platen 1,5 m bij 0,5 m bij 12 mm
- 1200 verzinkte platkopschroeven 5,0 x 30 mm
- Houtboor 3,0 mm
- Promatect platen met afmetingen: 12 mm bij 0,75 m bij 1,5 m
- Promatect platen met afmetingen: 12 mm bij 1 m bij 1,5 m
- Decoupeerzaag
- Afkortzaag
- Boor
- Weegschaal (2 decimalen nauwkeurig)
- Rolmaat
- Markeerstift

Uitvoering

Monsterbereiding

1. Zaag de houten planken op een lengte van 1,5m
2. Neem de planken van een houtsoort en leg twee of drie planken (afhankelijk van de totale hoeveelheid geleverde planken) naast elkaar neer. Leg een plaat Promatect boven op de planken. Zorg ervoor dat de planken en Promatect gelijk aan elkaar liggen.
3. Teken op het Promatect uit waar de schroeven moeten komen. Dit is in het midden van de plank, 15 cm van de rand en dan tussen elke schroef 30 cm.
4. Ga de afgetekende punten voorboren. Boor vervolgens de schroeven in de plaat.
5. Neem vervolgens de andere twee of drie planken en herhaal bovenstaande stappen.
6. Fotografeer de proefstukken en plaats deze terug in de conditionering. Herhaal deze stappen voor alle houtsoorten.

Uitvoering

7. Plaats de proefstukken in de trolley en plaats de trolley in de ruimte
8. Controleer de meetgegevens aan het begin van de proef
9. Voer de SBI-test uit. Stop de meting na ca. 15:45 minuten. Indien nodig, blus het proefstuk.
10. Haal het proefstuk uit de trolley en fotografeer deze. Herhaal deze stappen voor alle verschillende houtsoorten

Bijlage 6 Labjournaal Small Flame test

1. Gegevens

- a. 21 maart – 8 april
- b. Experiment 3 Ontbranding hout

2. Doel

Het doel van dit experiment is het vaststellen van het brandgedrag van houtsoorten en bepalen welke factoren/materiaaleigenschappen een significante rol spelen in het brandgedrag.

3. Principe

Voor een eerste indicatie van de classificatie kan een small flame test uitgevoerd worden. Het doel van deze test is bepalen of een product gemakkelijk en/of snel ontbrand. Deze test bepaald de ontvlambaarheid, verticale vlamuitbreiding en brandende en/of gloeiende druppels. [11]

Dit wordt getest op een monster van 9cm bij 25cm. Het monster wordt blootgesteld aan een vlam van 20 mm lang, van 0,8kW. Deze vlam wordt onder een hoek van 45° op het oppervlak, aan de onderkant van het monster geplaatst. Vervolgens zal deze vlam voor 30 seconden aan gaan, waarna er nog 30 seconden naar het monster wordt gekeken. [11]

Er zal gekeken worden of het product wel of niet ontvlamt, of de vlamtip langs het oppervlak van het monster 150 mm boven het aanbreng punt komt, hoeveel seconden na het begin van de test het hoogste punt is bereikt en of er brandende druppels ontstaan. [11]

4. Materiaal

- Small flame test set up
- Houten samples van 9 bij 25 cm, van alle te onderzoeken houtsoorten
- Aansteker
- Blusmiddel
- Stopwatch

5. Uitvoering

1. Neem net voor aanvang van de test het houten sample uit de conditionering. Zorg ervoor dat binnen 30 minuten nadat het proefstuk uit de conditionering is gehaald de test is afgerond!

Oppervlaktebevlamming:

2. Meet 40 mm af vanaf de onderkant van het proefstuk. Teken hier een lijn. Meet vervolgens 150 mm af boven deze lijn. Teken hier ook een lijn. Weeg het proefstuk, noteer het gewicht.
3. Plaats het monster in de U-vormige monsterhouder.
4. Plaats de afstandshouder voor oppervlakte bevlamming op de gasbrander. Plaats de gasbrander tegen het hout op de lijn van 40 mm boven de rand. Als dit niet mogelijk is kan het proefstuk versteld worden in hoogte of over dwars tot dat dit wel lukt.
5. Verwijder de afstandshouder van de gasbrander.
6. Steek de vlam aan, meet of deze 20 mm is. Is dit het geval, dan kan de test worden doorgezet, is dit niet het geval dan moet de vlam uitgemaakt worden en opnieuw worden aangestoken. Als de vlam dan nog steeds geen 20 mm is, moet het gasdebiet worden bijgesteld.
7. Wanneer de vlam goed is kan deze tegen het proefstuk geplaatst worden. Het moment dat de vlam tegen het proefstuk komt start de timer. Na 30s moet de vlam verwijderd worden van het proefstuk. Kijk gedurende deze 30 s waar het hoogste punt is waar de vlam het proefstuk raakt. Daarnaast moet gekeken worden of het proefstuk zelf ontbrand en voor hoelang.
8. Observeer het proefstuk nog 30s. Noteer de observaties. Wanneer ook deze 30 s voorbij zijn (in totaal dus 60 s) kan het proefstuk gedooft worden, indien nodig.
9. Zet op het proefstuk een streepje op de hoogte van de hoogste vlam.
10. Verwijder het proefstuk uit de U-vorm en meet de afstand van de 40 mm lijn tot het streepje van de hoogste vlam. Noteer deze waarde. Maak foto's van het proefstuk en weeg het proefstuk.

Randbevlamming

11. Draai het proefstuk om en teken een lijn 150 mm boven de onderrand van het proefstuk.
12. Monteer het monster in de U-vormige monsterhouder en hang deze in de testopstelling.
13. Plaats de afstandshouder voor randbevlamming op de brander. Plaats de gasbrander net onder de rand van het hout. Als dit niet mogelijk is moet het proefstuk verplaatst worden, zodat dit toch mogelijk is.
14. Verwijder het kopje van de gasbrander en steek de vlam aan. Meet of de vlam 20 mm is. Is dit het geval, dan kan de test worden doorgezet, is dit niet het geval dan moet de vlam uitgemaakt worden en opnieuw worden aangestoken. Als de vlam dan nog steeds geen 20 mm is, moet het gasdebiet worden bijgesteld.
15. Wanneer de vlam goed is kan deze tegen het proefstuk geplaatst worden. Het moment dat de vlam tegen het proefstuk komt start de timer. Na 30s moet de vlam verwijderd worden van het proefstuk. Kijk gedurende deze 30 s waar het hoogste punt is waar de vlam het proefstuk raakt. Daarnaast moet gekeken worden of het proefstuk zelf ontbrand en voor hoelang.
16. Observeer het proefstuk 30s. Noteer de observaties. Wanneer de 30 s voorbij zijn kan het proefstuk gedooft worden, indien nodig.
17. Zet op het proefstuk een streepje op de hoogte van de hoogste vlam.
18. Verwijder het proefstuk uit de U-vorm en meet de afstand vanaf de onderzijde van het proefstuk tot het streepje van de hoogste vlam. Noteer deze waarde. Maak foto's van het proefstuk en weeg het proefstuk.

Herhaal deze stappen voor alle houtsoorten

Bijlage 7 Labjournaal vochtgehalte bepalen

1. Gegevens

- a. 5 april – 20 mei
- b. Experiment 4 Vochtgehalte

2. Doel

Het doel van dit experiment is het vaststellen van het vochtgehalte van de houtsoorten in het evenwichtsvochtgehalte, door middel van een meting met een houtvochtmeter en het drogen van het monster.

3. Principe

Het houtvocht gehalte kan bepaald worden met behulp van een houtvochtmeter. Deze meet, met behulp van een referentiewaarde, het vochtgehalte in het hout. Er wordt gebruik gemaakt van een FME en FMW meter.

De FME-vochtmeter meet het vochtgehalte door middel van twee pinnen die in het hout worden geslagen. In deze pinnen zit een elektrode, door deze elektrode wordt een elektrische puls gestuurd. De weerstand die deze puls ervaart wordt opgemeten en met behulp van de referentiewaarden omgezet in een percentage vocht.

De FMW-vochtmeter meet het vochtgehalte doormiddel van een elektrode die op het te meten materiaal wordt geplaatst. Door een referentiewaarde in te vullen wordt de meting gecorrigeerd voor het juiste materiaal. De gemeten waarde kan afgelezen worden op het display.

Het vochtgehalte van een proefstuk kan ook bepaald worden door deze te drogen in een oven van 105 graden. Vervolgens moet het proefstuk enkele malen per week gewogen worden, maar telkens met een interval van minimaal 24 uur. Vervolgens is het noodzakelijk het gewicht te noteren en de gewichtsafname te berekenen. Is deze minder dan 0,1%, dan is het monster gedroogd en kan deze uit de oven gehaald worden. Ook kan dan het vochtgehalte bepaald worden.

4. Materiaal

- Samples
- Oven
- Weegschaal
- Schuifmaat

5. Uitvoering

1. Weeg het proefstuk, noteer het gewicht.
2. Plaats het proefstuk in de oven.
3. Weeg het proefstuk meerdere malen per week, met een interval van minimaal 24 uur.
4. Wanneer het proefstuk in 24 uur een gewichtsafname van 0,1% of minder heeft, kan deze uit de oven gehaald worden.

Om te bepalen hoeveel gewichtsafname er plaats heeft gevonden kan onderstaande formule worden gebruikt:

$$\text{Gewichtsafname} = \frac{(\text{Oude gewicht} - \text{Nieuwe gewicht})}{\text{Oude gewicht}} * 100$$

5. Bereken het vochtgehalte met onderstaande formule.

$$\text{Vochtgehalte} = \frac{\text{massa voor het drogen} - \text{massa na het drogen}}{\text{massa na het drogen}} * 100$$

Bijlage 8 Labjournaal Calorimeter

1. Gegevens

- a. 25 april – 2 mei
- b. Experiment 5 calorische warmte van hout

2. Doel

Het doel van dit experiment is het vaststellen van de calorische warmte van houtsoorten en bepalen of deze significant verschillen per houtsoort.

3. Principe

De calorimeter wordt gebruikt voor het bepalen van de verbrandingswarmte van een product. Dit gebeurt door ongeveer 0,5 g van het te testen sample in een verbrandingskroes te plaatsen. Vervolgens worden enkele verbrandingshulpmiddelen toegevoegd, waarna dit alles in het ontsluitingsvat wordt geplaatst. Het ontsluitingsvat wordt vervolgens in de calorimeter gehangen, waarna de meting kan starten. In de calorimeter wordt de ruimte om het ontsluitingsvat gevuld met water. Wanneer het water een constante temperatuur heeft bereikt wordt in de calorimeter onder 30 bar zuurstof het materiaal ontstoken, wat leidt tot een volledige verbranding. De volledige verbranding zorgt voor opwarming in de het ontsluitingsvat. De warmte wordt doorgegeven aan het water rondom het ontsluitingsvat. De stijging in de temperatuur van het water wordt gemeten. Deze warmte en de snelheid van het opwarmen van het water wordt omgerekend in de verbrandingswarmte.

4. Materiaal

- Calorimeter
- Verschillende houtsoorten
- Boor
- Weegschaal (2 decimalen nauwkeurig)
- 8 mm boor
- Reageerbuis
- Reageerbuisrek
- Benzoëzuur tabletten
- Katoendraadjes
- Verbrandingszakjes
- Demiwater
- Pipet
- Pipeteerballon
- Papier
- Stanley mes
- Pincet

5. Uitvoering

Monster voorbereiding

1. Neem de gekozen houtsoort, maak met behulp van de 8 mm boor gaten in het hout. Het is noodzakelijk hierbij zo min mogelijk warmte te creëren, wat kan door langzaam te boren.
2. Vang het zaagsel op en stop dit in een reageerbuisje. Verzamel ongeveer 4 gram materiaal.
3. Weeg het sample en noteer het gewicht.
4. Plaats de reageerbuis in een reageerbuisrekje in de conditionering.
5. Herhaal dit voor alle houtsoorten.

Experiment

6. Weeg het sample. Wanneer het sample maximaal 0,1% in gewicht is veranderd sinds de vorige meting mag de meting uitgevoerd worden.
7. Zorg ervoor dat gedurende de meting de temperatuur in de ruimte tussen de 20°C en 24°C is.
8. Begin met een controlemeting. Tarreer de weegschaal en weeg 2 benzoëzuur tabletten en vul het gewicht in op de computer. Leg de tabletten in de verbrandingskroes van het ontsluitingsvat.
9. Bevestig een katoendraad aan de ontstekingsdraad en leg deze in de verbrandingskroes, onder de tabletten benzoëzuur.
10. Pipetteer 1 ml water op de bodem van de calorische bom.
11. Draai de het ontsluitingsvat dicht en start de meting.
12. Scan de het ontsluitingsvat met behulp van de RF-identificatie lezer, en hang het ontsluitingsvat in de calorimeter.
13. Druk op “start” om de meting te beginnen.
14. Na afloop van de meting kan op de computer het resultaat afgelezen worden.
15. Verwijder het ontsluitingsvat uit de calorimeter en droog deze af. Draai het ontsluitingsvat open.
16. Inspecteer de verbrandingskroes om te bepalen of er volledige verbranding heeft plaatsgevonden. Als er sample is overgebleven in de verbrandingskroes heeft er geen volledige verbranding plaatsgevonden.
17. Begin met de eerste meting. Haal het sample uit de conditionering. Doe een dop op de reageerbuis zodat er geen extra vocht kan verdampen of opgenomen worden.
18. Plaats de verbrandingskroes op de weegschaal en tarreer deze.
19. Weeg een verbrandingszakje en voer deze in het computerprogramma in.
20. Tarreer de weegschaal en stop ongeveer 0,5 g monster in het verbrandingszakje. Weeg de exacte hoeveelheid en noteer deze in het computerprogramma.
21. Weeg een half tablet benzoëzuur, vul de gemeten waarde in het computerprogramma in en plaats deze, met het verbrandingszakje met monster in de verbrandingskroes.
22. Plaats de verbrandingskroes in de kroeshouder van het ontsluitingsvat. Verbind een katoendraad met de ontstekingsdraad en leg deze onder het monster.
23. Pipeteer 1 ml water onder in het ontsluitingsvat en draai deze dicht.
24. Start de meting en scan het ontsluitingsvat met behulp van de RF-identificatie lezer, en hang het ontsluitingsvat in de calorimeter.
25. Druk op “start” om de meting te beginnen.
26. Na afloop van de meting kan op de computer het resultaat afgelezen worden.
27. Verwijder het ontsluitingsvat uit de calorimeter en droog deze af. Draai het ontsluitingsvat open. Inspecteer de verbrandingskroes om te bepalen of er volledige verbranding heeft plaatsgevonden. Als er sample is overgebleven in de verbrandingskroes heeft er geen volledige verbranding plaatsgevonden. Indien nodig moet deze schoongemaakt worden met water en papier.

Herhaal de stappen 16 t/m 26 voor alle samples.

Aan het einde van de meting moet nog een controlemeting worden uitgevoerd. Deze zal gaan zoals omschreven in stappen 6 t/m 15

Bijlage 9 Labjournaal bepaling vatdoorsnede en -dichtheid

1. Gegevens

- a. 25 april – 2 mei
- b. Experiment 6 Bepaling vatdoorsnede en -dichtheid

2. Doel

Het doel van dit experiment is bepalen wat de vatdoorsnede en dichtheid is in de verschillende houtsoorten zodat dit vergeleken kan worden met de literatuur.

3. Principe

In hout zitten allemaal vaten, deze vaten worden door een boom gebruikt om water te transporteren door de boom. Wanneer bij een sample, op de kopse kant met een scherp mes een laagje wordt weggeschraapt worden deze vaten zichtbaar. Met behulp van een loepmicrometer en een loep is het mogelijk doormiddel van waarnemen de vatdoorsnede en – dichtheid te bepalen.

a. Materiaal

- Loepmicrometer
- Loep 10 x vergroting
- Houten samples
- Stanley mes
- Pen
- Papier

b. Uitvoering

1. Schrap met het stanley mes een laagje van de kopse kant van het hout
2. Leg de loepmicrometer op het hout. Kijk via de loep en loepmicrometer naar het hout. Bekijk de doorsnede van de vaten door met de lijnen aan de rechterkant op de loepmicrometer te meten hoe breed een vat is. Wanneer een vat ongeveer zo groot is als de dikte van de lijnen $30\ \mu$ tot $200\ \mu$ dan is dat de doorsnede van het vat. Wanneer een vat ongeveer zo groot is als de afstand tussen de lijnen waarbij staat $200\ \mu$ of $500\ \mu$, dan is dat de doorsnede van het vat.
3. Noteer de doorsnede van het vat.
4. Bepaal de dichtheid van de vaten door met de loep en loepmicrometer naar het hout te kijken. Tel hoeveel vaten er in het vierkantje links onderin zitten. Deel dit aantal door vijfentwintig. Dit is het aantal vaten per mm^2 .
5. Noteer de dichtheid van de vaten.

Herhaal dit voor de alle houtsoorten

Bijlage 10 Veiligheidsbladen

Veiligheidsblad Benzoëzuur

Algemene informatie	
Naam stof	Benzoëzuur
Data m.b.t. oplosbaarheid	
Oplosbaarheid	Niet bekend
Data m.b.t. brandbaarheid/explosiviteit	
Vlampunt	Niet bekend
Zelfontbrandingstemperatuur	Niet bekend
Explosiegrenzen	Niet bekend
Blusmiddel	Droog poeder of water foam koolstofdioxide
Data m.b.t. toxiciteit	
Carcinogeniteit	Niet bekend
Reukgrens	Niet bekend
GHS-regels	H315, H318, H372 P260, P264, P280, P302+P352, P305+P351+P338, P314
Persoonlijke bescherming	Draag een veiligheidsbril Draag handschoenen
Handeling bij calamiteit	Bij inademen: Zoek frisse lucht, bel een arts. Bij huidcontact: Verwijder alle besmette kleding, reinig huid met water Bij oogcontact: Spoel met veel water, verwijder contactlenzen en bel een arts Bij inslikken: Drink minimaal 2 glazen water, bel een arts
Afvalcategorie	Niet bekend

Bijlage 11 Meetresultaten SBI test

Houtsoort	Dikte (mm)	Soortelijk gewicht (kg/m ³)	FIGRA _{0,2MJ} (W/s)	FIGRA _{0,4MJ} (W/s)	THR _{600s} (MJ)	SMOGRA (m ² /s ²)	TSP _{600s}	Mogelijke brand klasse
Houtsoort 1	20	720	149,24	149,24	13,88	0	31,78	C
Houtsoort 2	20	720	160,04	160,04	15,17	0	30,29	D
Houtsoort 3	20	785	118,85	118,85	8,9	0	40,84	C
Houtsoort 4	20	1005	70,75	70,74	8,58	3,58	38,89	C
Houtsoort 5	20	1055	136,59	136,59	17,97	9,43	66,91	D
Houtsoort 6	20	1050	125,45	125,45	14,32	18,35	138,86	C
Houtsoort 7	20	850	115,62	115,62	10,14	0	24,22	C
Houtsoort 8	20	760	229,02	229,02	17,26	4,98	57,09	D
Houtsoort 9	20	760	229,29	229,29	15,60	9,68	74,63	D
Houtsoort 10	15	950	62,86	61,45	5,94	0	16,74	B
Houtsoort 11	20	760	221,45	221,45	18,77	17,86	79,45	D
Houtsoort 12	20	900	131,49	131,49	13,62	0	27,67	C
Houtsoort 13	20	780	161,34	161,34	11,49	0	30,33	C
Houtsoort 14	20	615	225,88	225,88	14,46	1,67	45,14	C
Houtsoort 15	19	1025	98,87	98,87	11,61	0	28,92	C
Houtsoort 16	20	825	151,97	151,97	14,17	0	34,23	C
Houtsoort 17	20	730	178,64	178,64	10,81	0	22,07	C
Houtsoort 18	20	900	72,91	71,7	7,1	0	16,82	B
Houtsoort 19	15	700	340,25	340,25	18,79	0	30,04	D
Houtsoort 20	20	800	162,08	162,08	11,68	1,97	33,55	C
Houtsoort 21	20	675	244,68	244,68	13,5	0	39,6	C
Houtsoort 22	19	1025	96,79	96,79	9,13	2,88	32,74	C
Houtsoort 23	19	825	130,42	130,42	9,19	1,7	27,39	C
Houtsoort 24	20	825	214,87	214,87	12,74	3,52	42,13	C
Houtsoort 25	20	700	156,52	156,52	13,22	0	16,89	C
Houtsoort 26	19	850	134,09	134,09	10,60	0	27,67	C
Houtsoort 27	20	625	177,47	177,47	10,71	0	40,95	C
Houtsoort 28 5 planken	20	750	126,01	126,01	11,08	0	15,88	C
Houtsoort 28 6 planken	20	750	171,81	171,81	11,68	5,59	51,47	C
Houtsoort 29	32	780	135,37	135,37	12,95	2,07	25,62	C
Houtsoort 30	25	605	285,06	285,06	14,00	0	34,03	D
Houtsoort 31	26	660	210,63	210,63	11,22	0	29,15	C
Houtsoort 32	26	760	240,58	240,58	20,29	14,03	104,43	D
Houtsoort 33	26	630	175,55	175,55	10,99	2,28	37,81	C
Houtsoort 38	20	445	388,06	388,06	15,38	2,83	44,75	D

Bijlage 12 Meetresultaten small flame test

Houtsoort	Dikte (mm)	Soortelijk gewicht (kg/m ³)	Oppervlakte bevlaming			Randbevlaming		
			Vlamhoogte (mm)	Nabrand tijd (s)	Gewicht safname (g)	Vlamhoogte (mm)	Nabrand tijd (s)	Gewicht safname (g)
Houtsoort 1	20	720	5	0		14	1	
Houtsoort 2	20	720	10	0	0,12	22	1	0,18
Houtsoort 3	20	785	12	0	0,07	23	1	0,17
Houtsoort 4	20	1005	18	0	0,07	17	1	0,11
Houtsoort 5	20	1055	18	1	0,09	17	1	0,18
Houtsoort 6	20	1050	14	0	0,08	20	0	0,12
Houtsoort 7	20	850	15	0	0,07	20	10	0,18
Houtsoort 8	20	760	21	0		22	11	
Houtsoort 9	20	760	17	0	0,09	25	16	
Houtsoort 10	15	950	8	0	0,05	9	0	0,13
Houtsoort 11	20	760	-	-	-	-	-	-
Houtsoort 12	20	900	-	-	-	-	-	-
Houtsoort 13	20	780	12	0	0,08	15	2	0,17
Houtsoort 14	20	615	7	0	0,14	24	6	0,23
Houtsoort 15	19	1025	4	0	0,11	15	4	0,18
Houtsoort 16	20	825	11	0				
Houtsoort 17	20	730	8	0	0,10	22	2	0,19
Houtsoort 18	20	900	17	0	0,10	15	1	0,15
Houtsoort 19	15	700	13	0	0,10	45	>30	0,56
Houtsoort 20	20	800	15	0	0,08	29	2	
Houtsoort 21	20	675	13	0	0,07	40	>30	0,42
Houtsoort 22	19	1025	7	0	0,07	9	2	0,13
Houtsoort 23	19	825	7	0	0,10	21	7	0,17
Houtsoort 24	20	825	16	0	0,13	21	3	0,25
Houtsoort 25	20	700	11	0	0,08	15	3	0,19
Houtsoort 26	19	850	10	0	0,07	18	1	0,14
Houtsoort 27	20	625	15	0	0,10	32	>30	0,44
Houtsoort 28	20	750	10	0	0,11	22	1	0,26
Houtsoort 29	32	780	6	0	0,02	14	2	0,15
Houtsoort 30	25	605	26	1	0,07	42	27	0,27
Houtsoort 31	26	660	11	0	0,06	28	1	0,20
Houtsoort 32	26	760	16	0	0,03	27	30	0,31
Houtsoort 33	26	630	9	0	0,06	1	0	0,14
Houtsoort 38		445	19	0	0,12	35	30	0,59

Notitie: Het filterpapier is bij geen enkele test ontvlamd

Notitie 2: Er zijn geen small flame testen uitgevoerd met Houtsoort 11 en Houtsoort 12 wegens het te weinig ontvangen van materiaal.

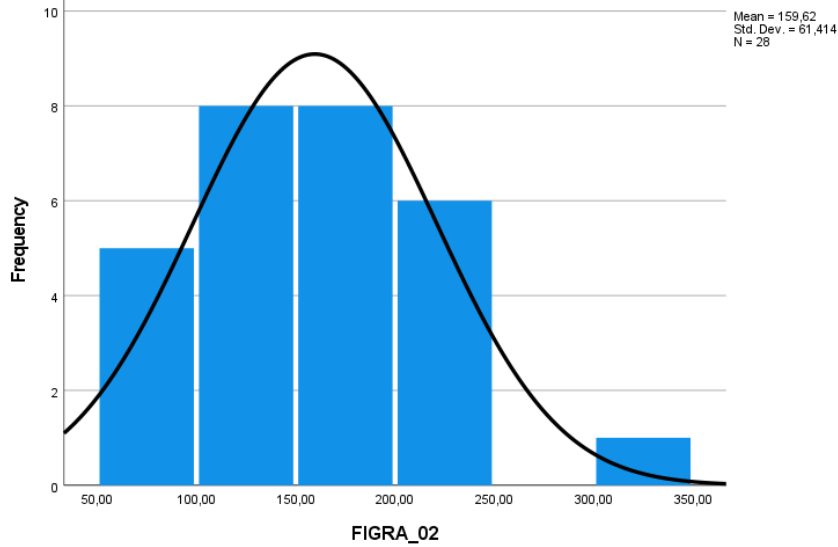
Bijlage 13 Data overzicht SPSS

Zie bijgeleverde Excel "Bijlage 13 Data overzicht SPSS"

Bijlage 14 Statistiek

14.1 Normaalverdeling

14.1.1 Normaalverdeling FIGRA02

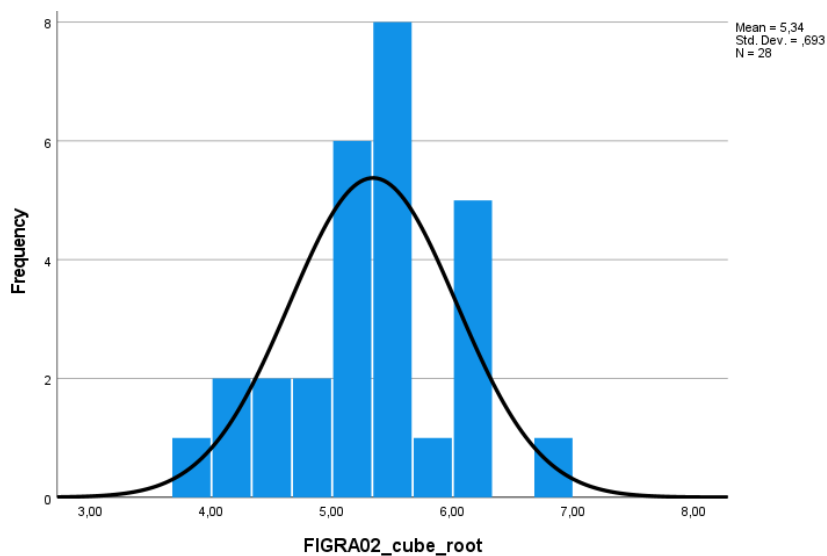


Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis	Std. Error	
						Statistic	Statistic
FIGRA_02	28	159,6186	61,41377	,842	,441	1,361	,858
Valid (listwise)	N	28					

Gelet op de Skewness en Kurtosis is te zien dat deze data niet normaal verdeeld is. Doormiddel van het transformeren van de data is geprobeerd toch een normale verdeling te verkrijgen.

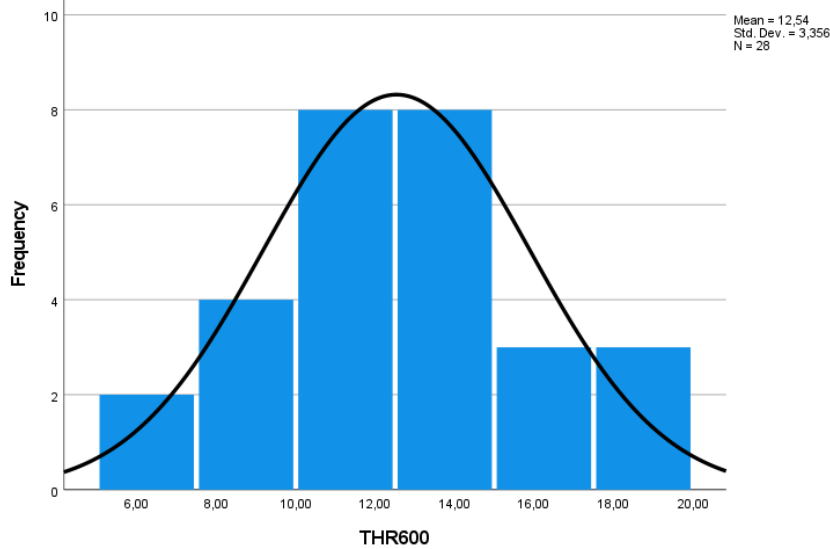
Dit is gelukt door een derdemachtswortel te nemen.



Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
				Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
FIGRA02_cube_roo t	28	5,3391	,69252	,045	,441	,162	,858
Valid N (listwise)	28						

14.1.2 Normalverdeling THR600

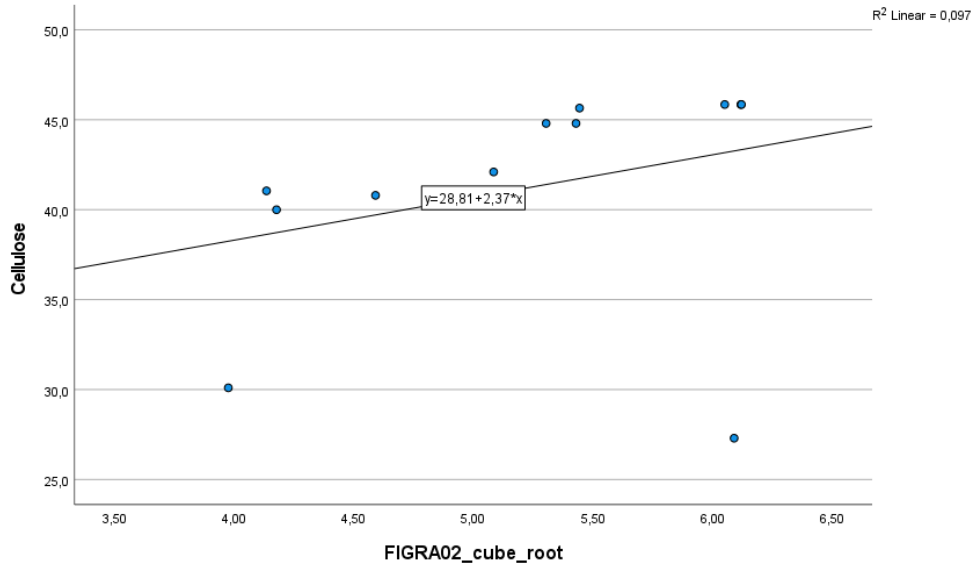
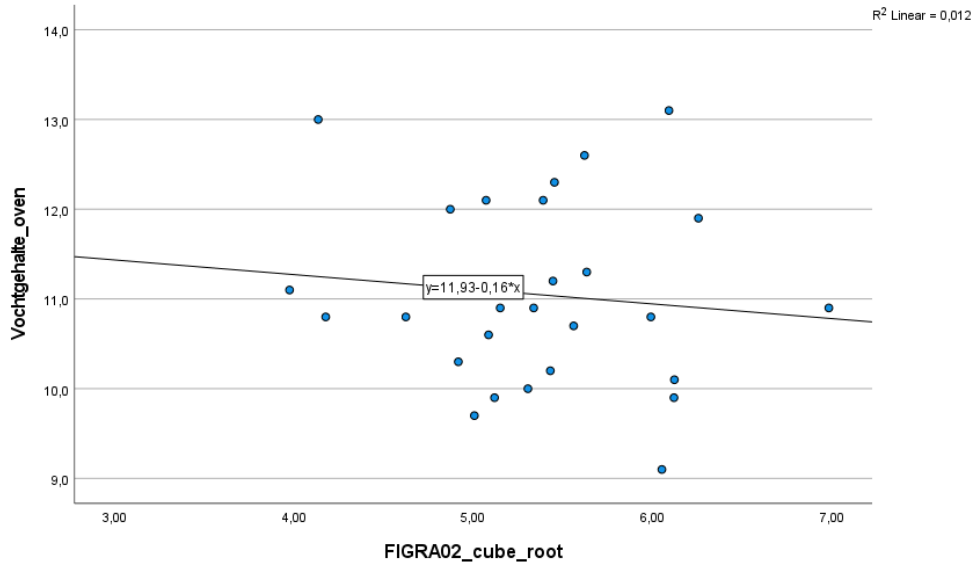
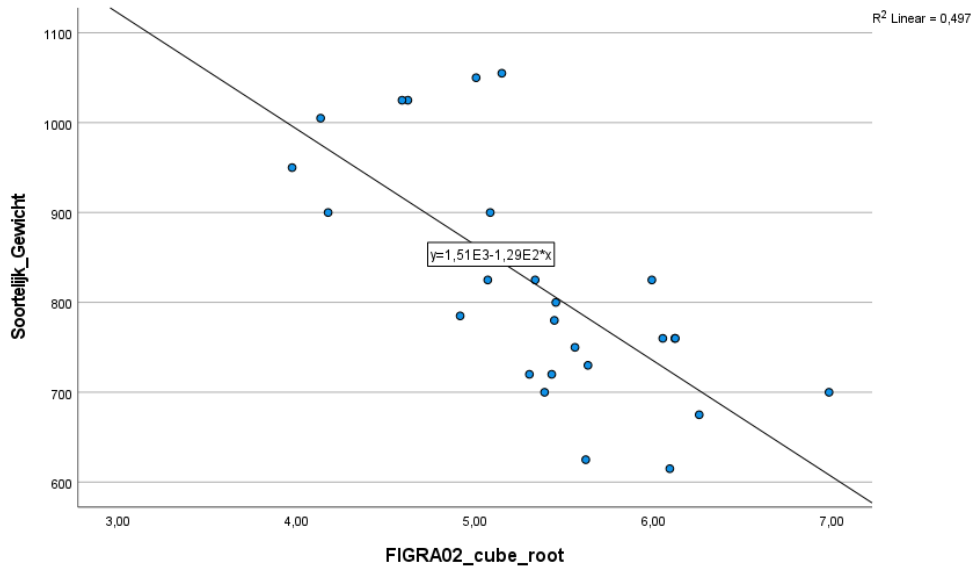


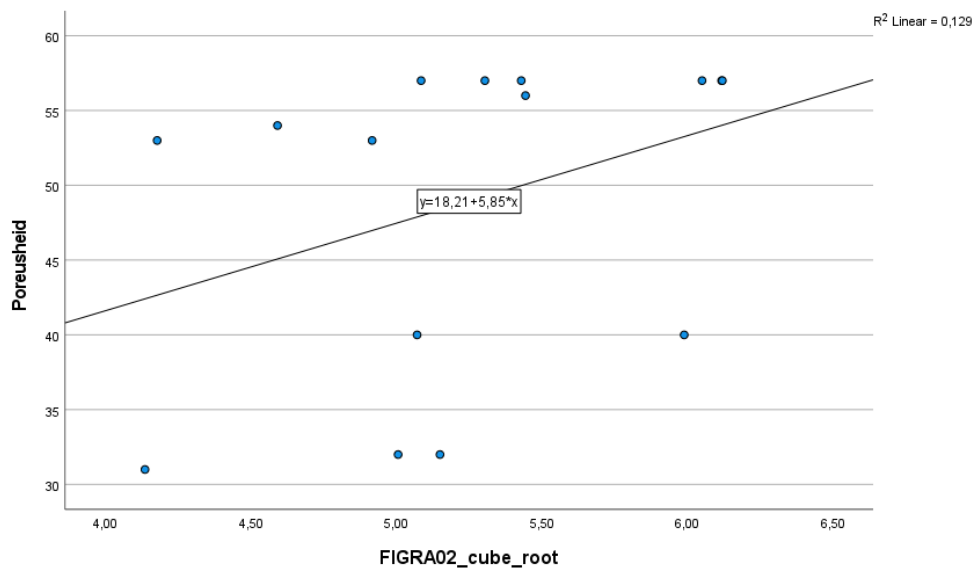
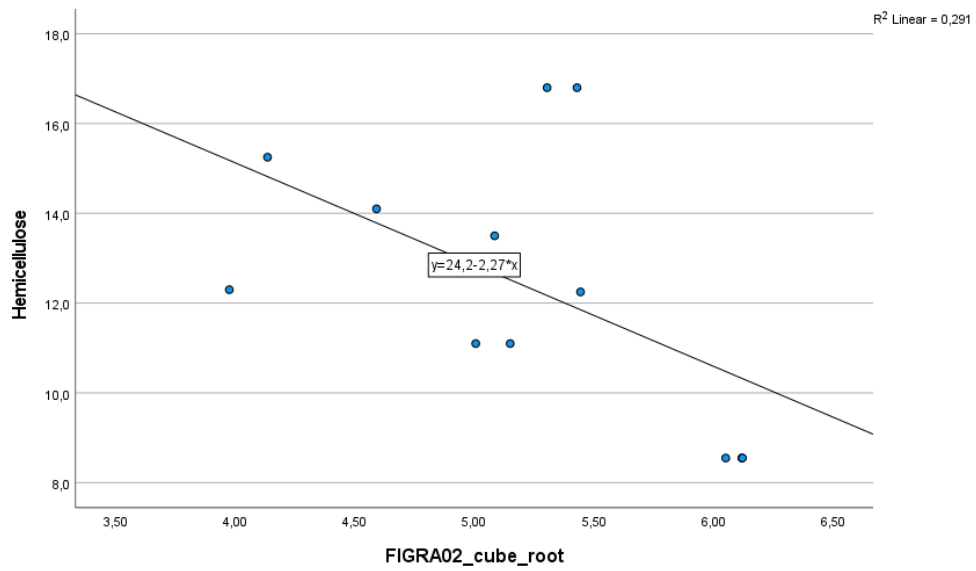
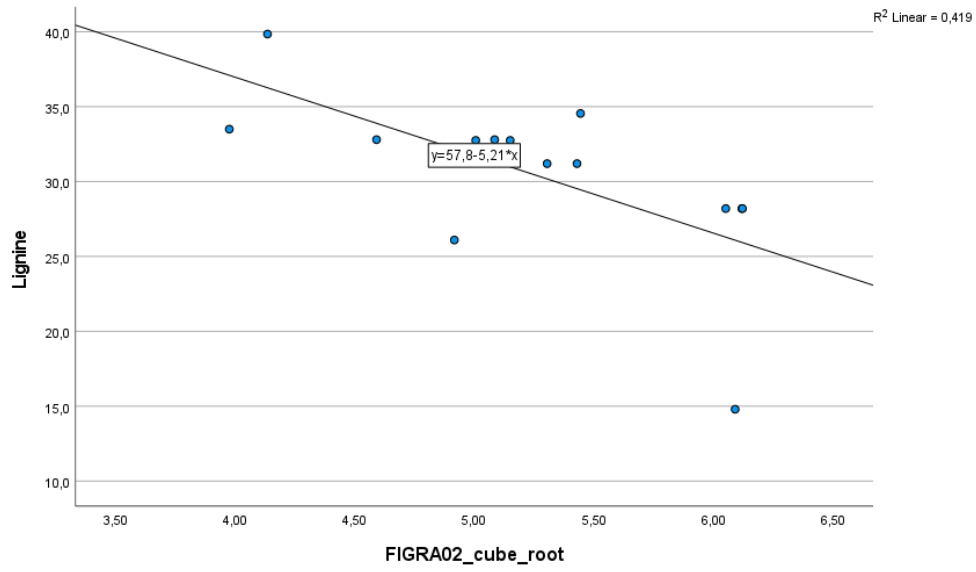
Descriptive Statistics

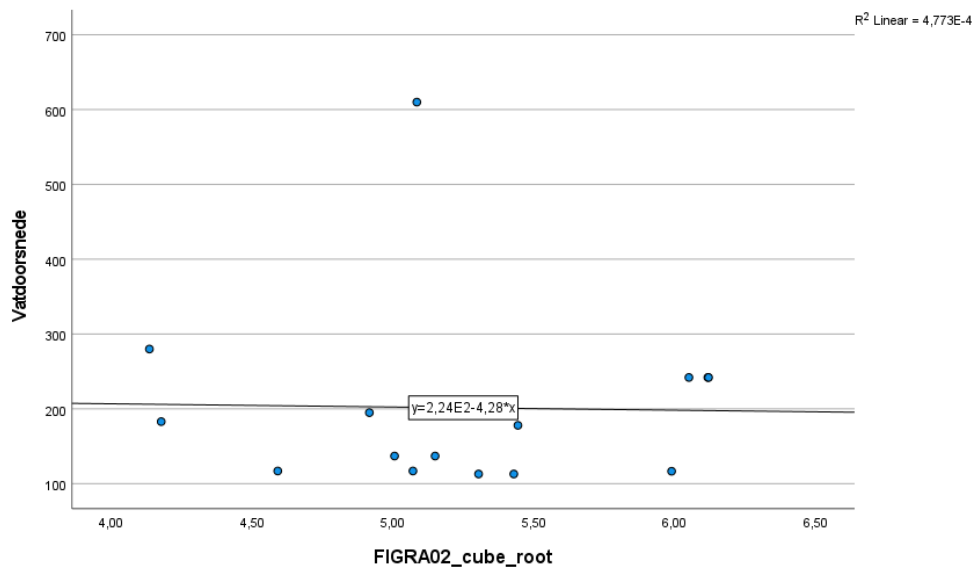
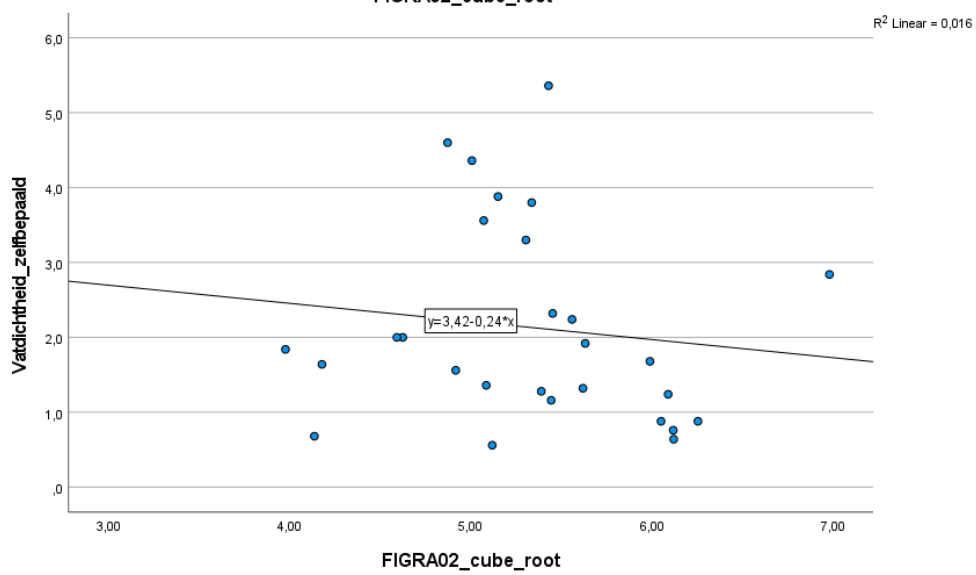
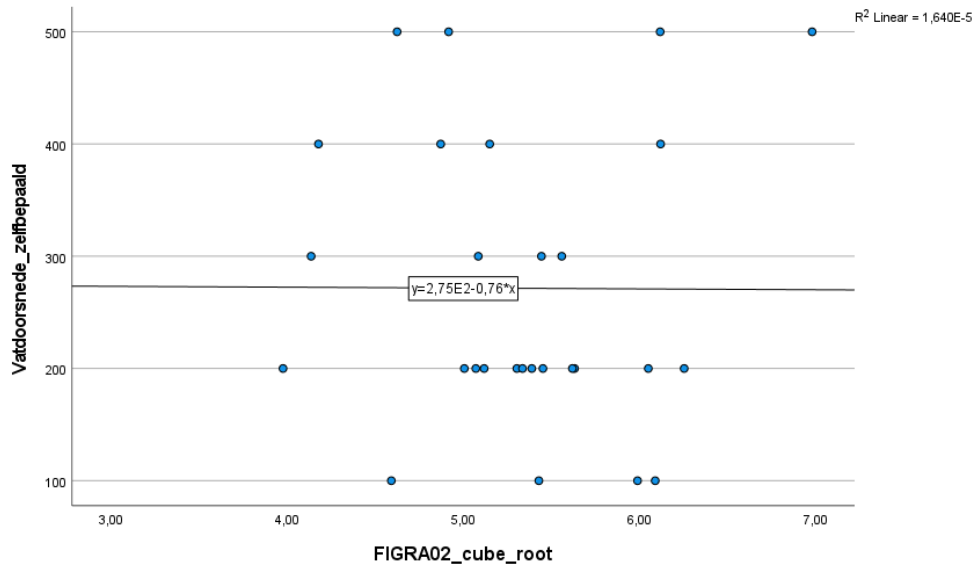
	N	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
				Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
THR600	28	12,5368	3,35584	,160	,441	-,410	,858
Valid (listwise)	N 28						

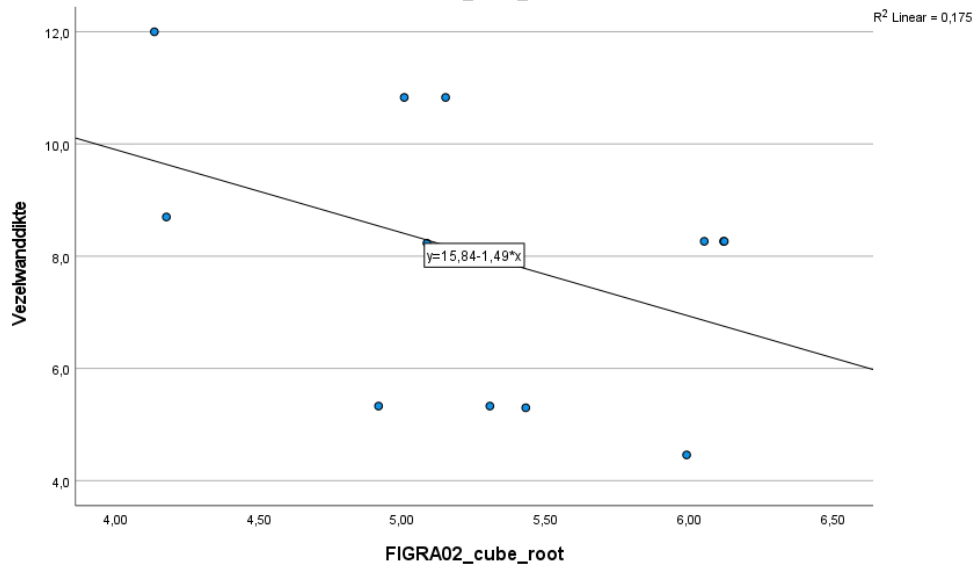
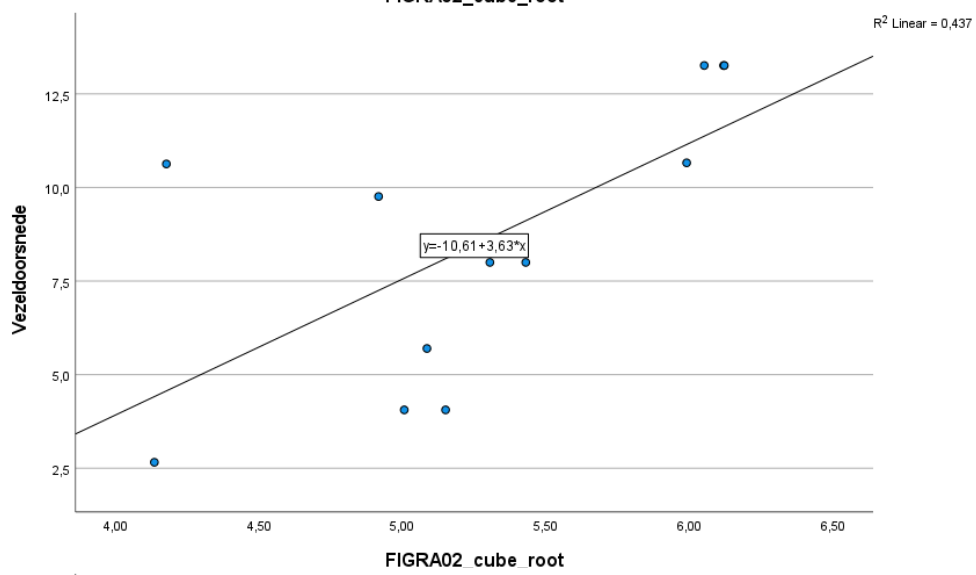
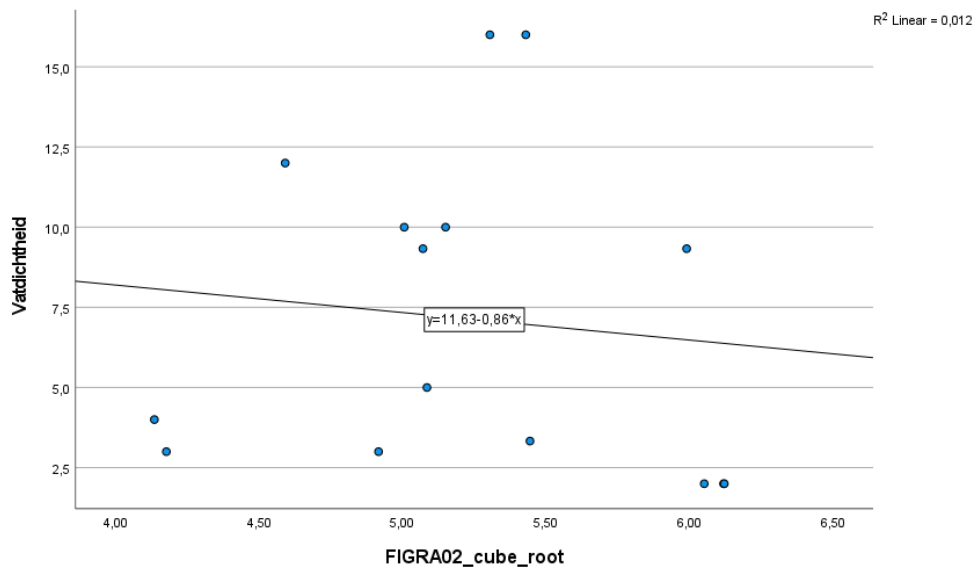
14.2 Correlatie

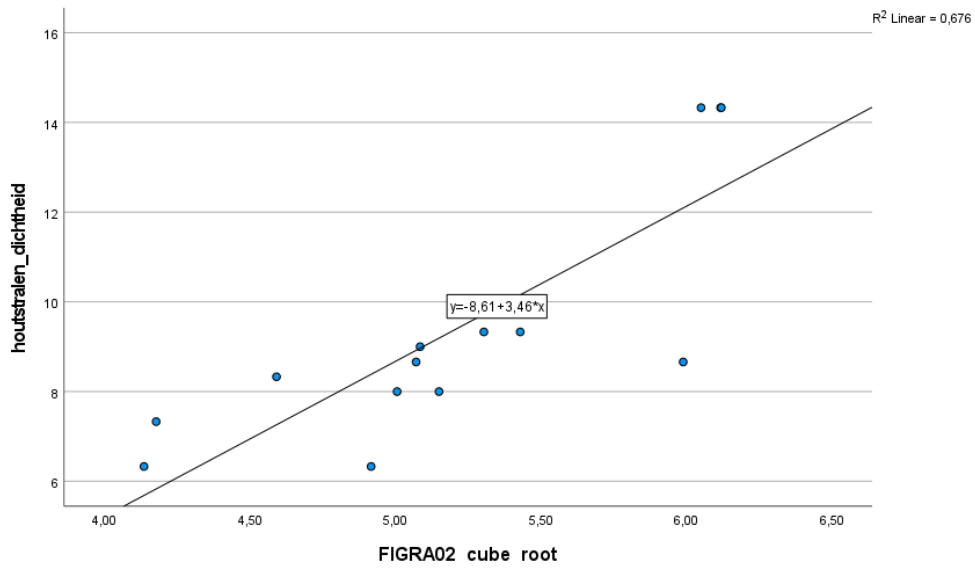
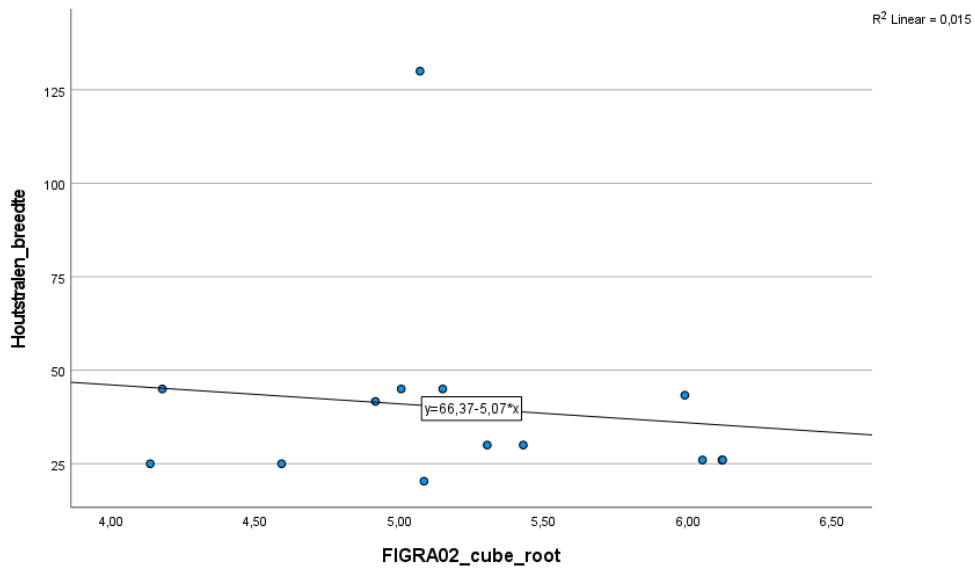
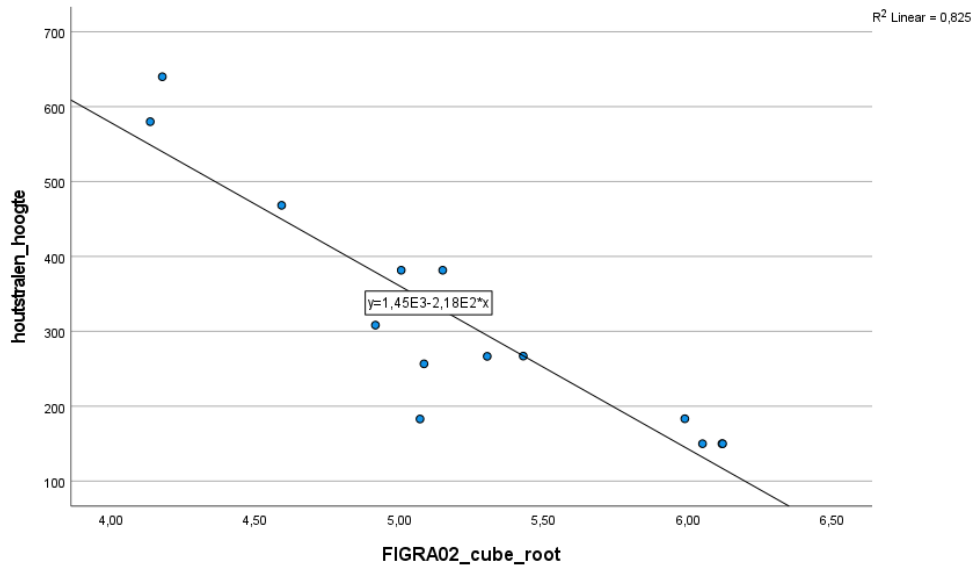
14.2.1 Correlatie met $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

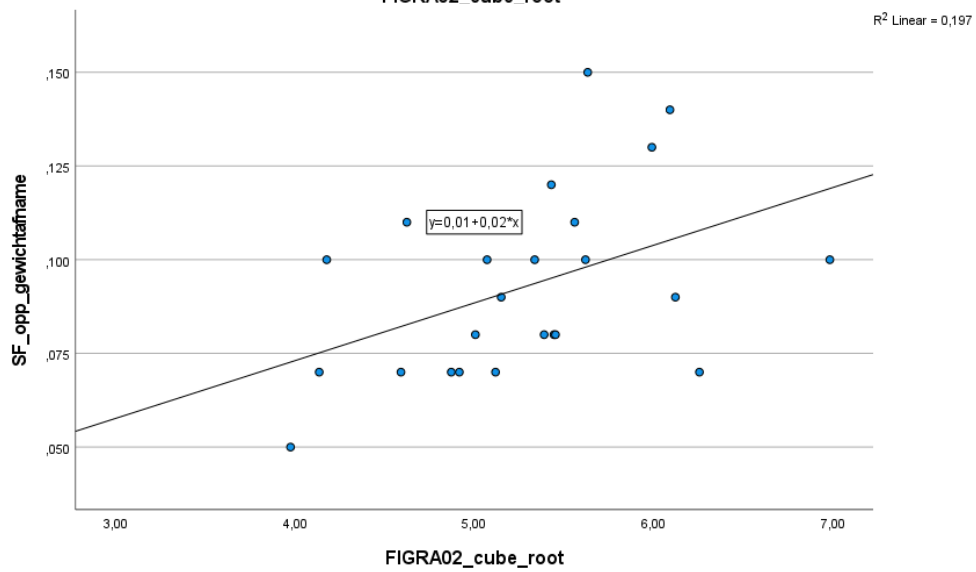
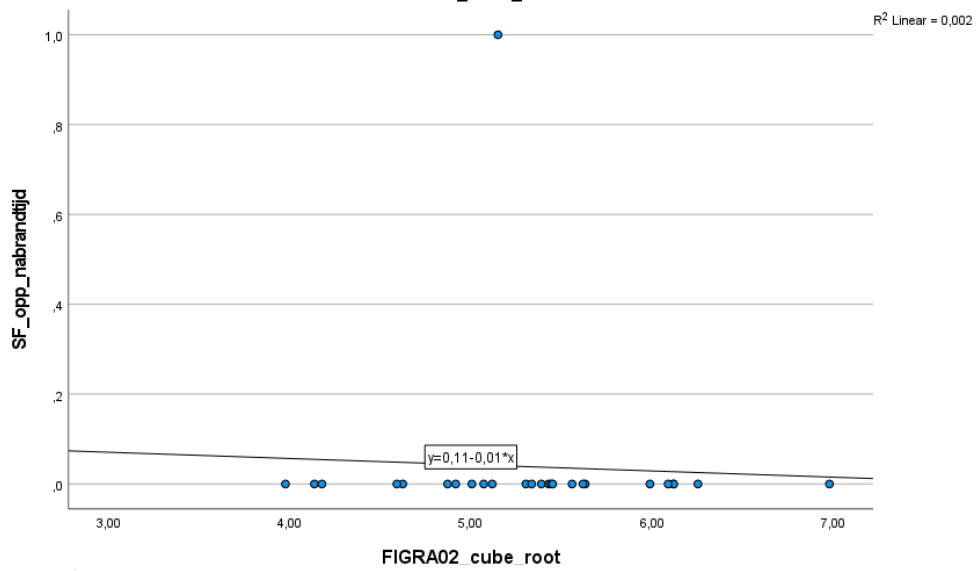
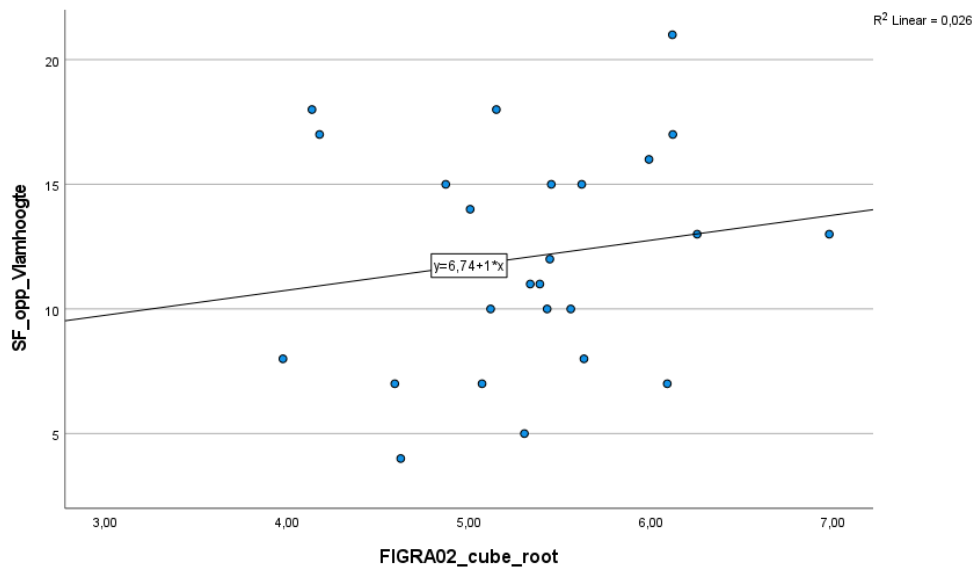


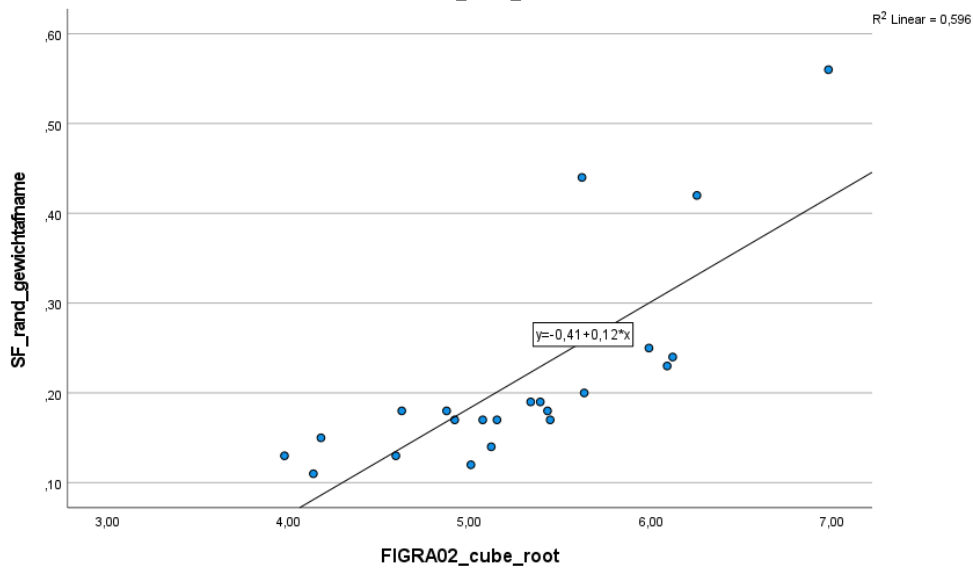
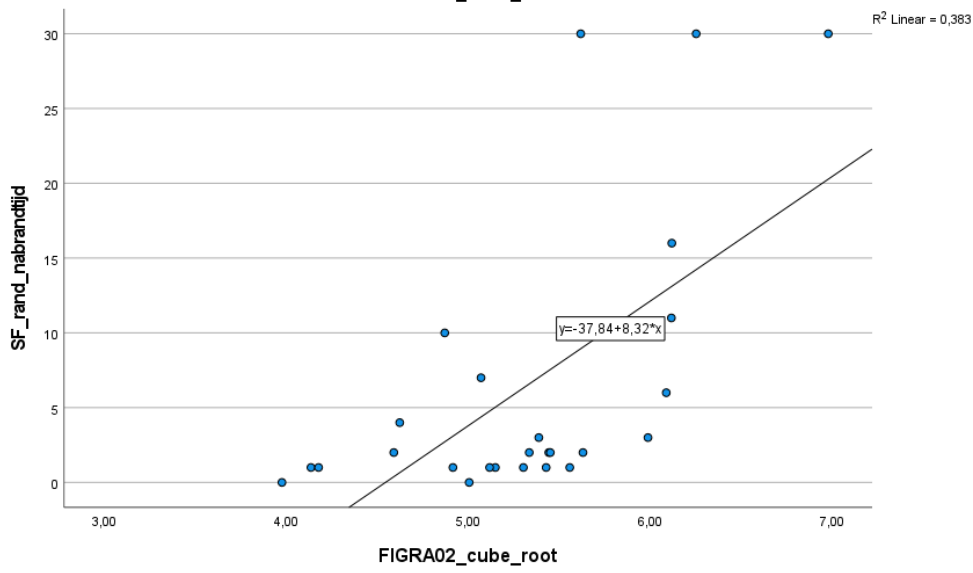
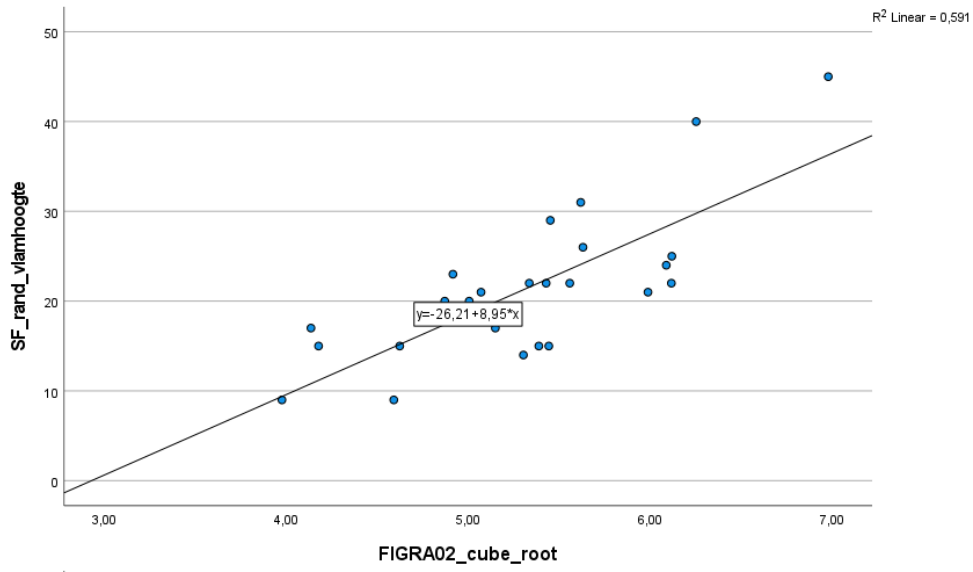


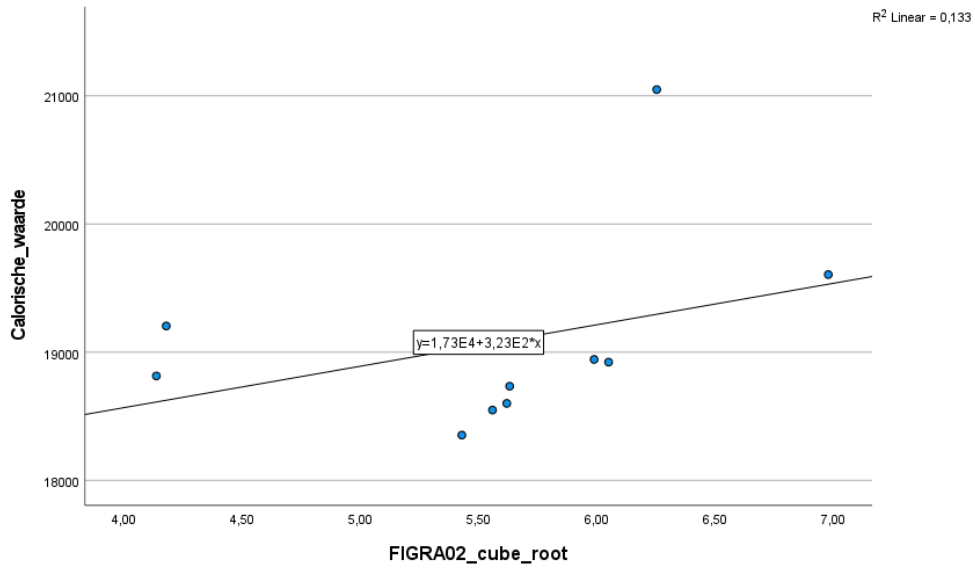




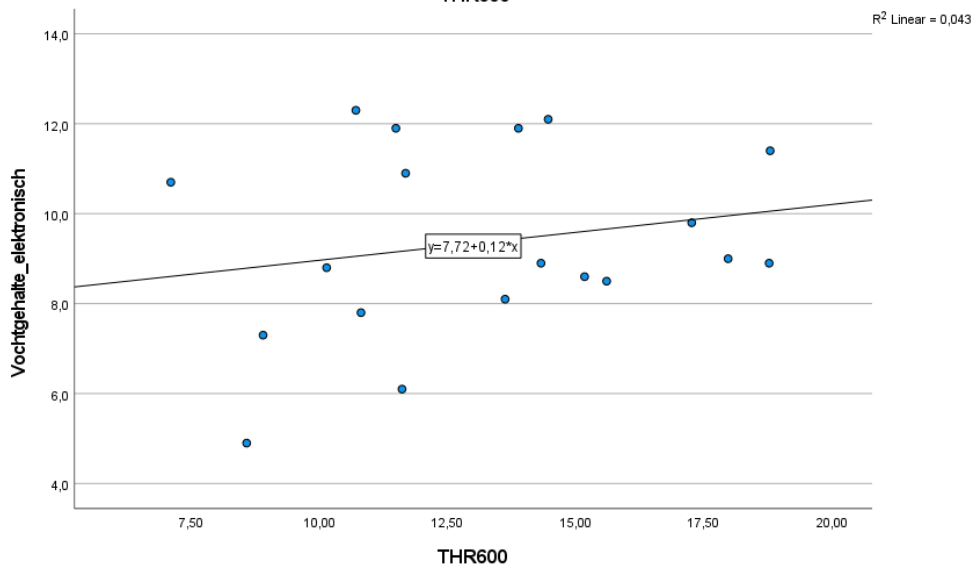
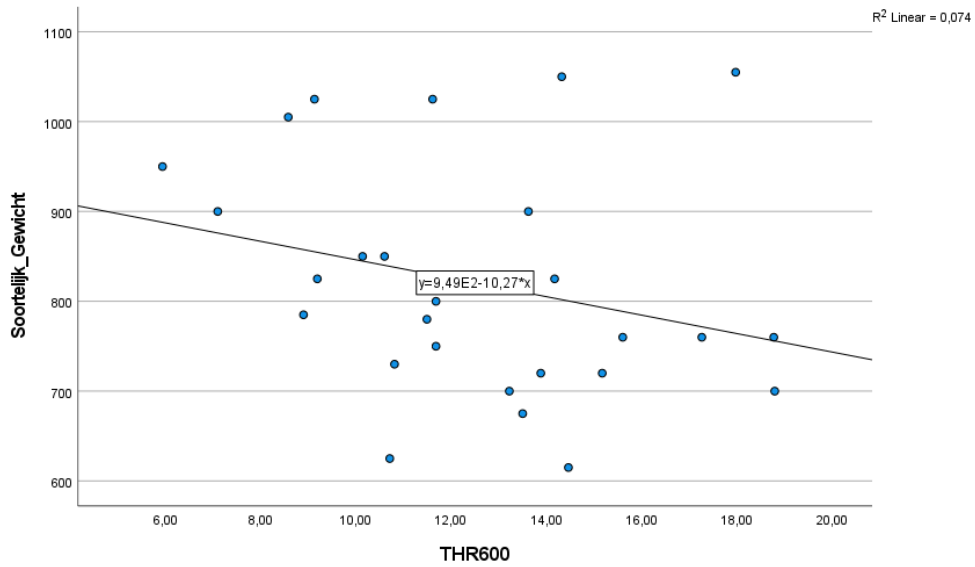


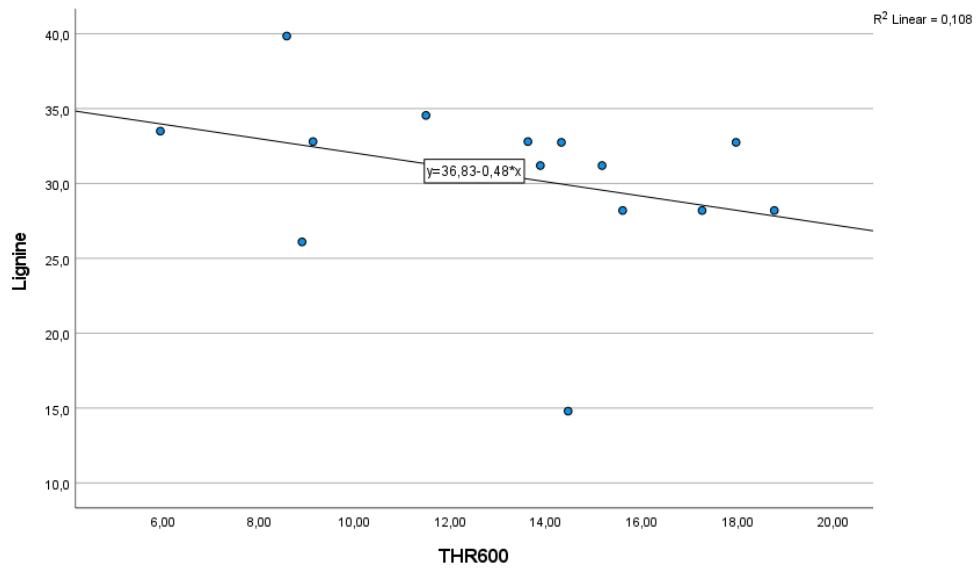
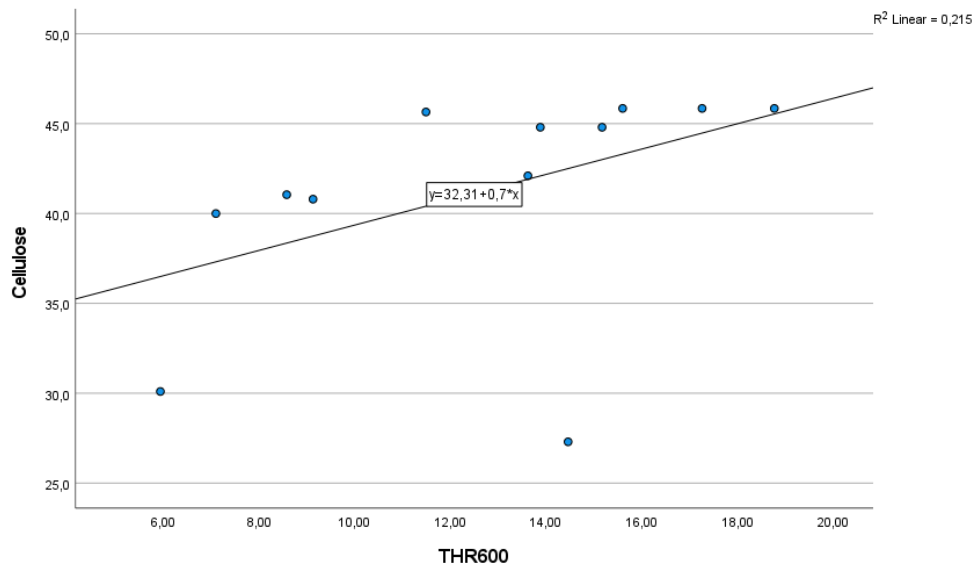
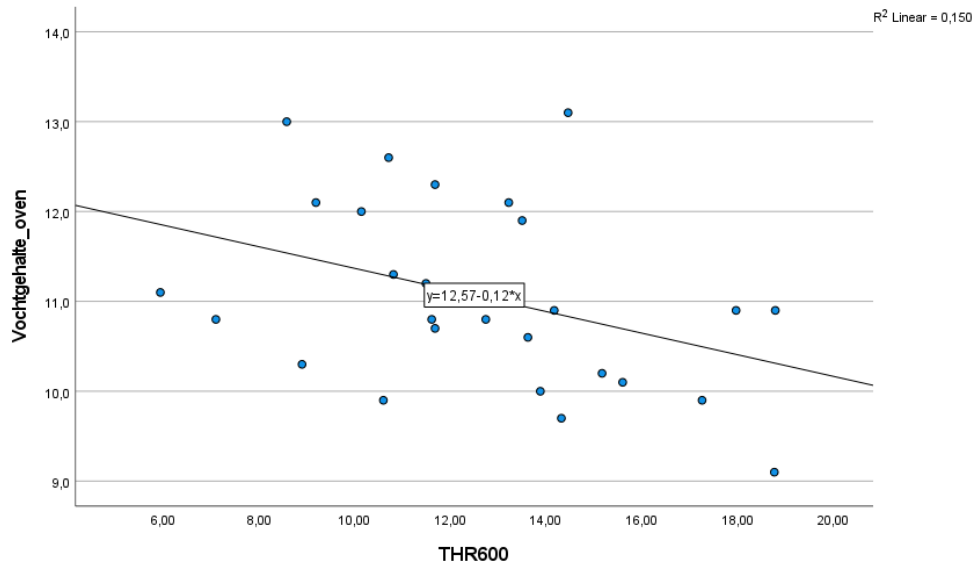


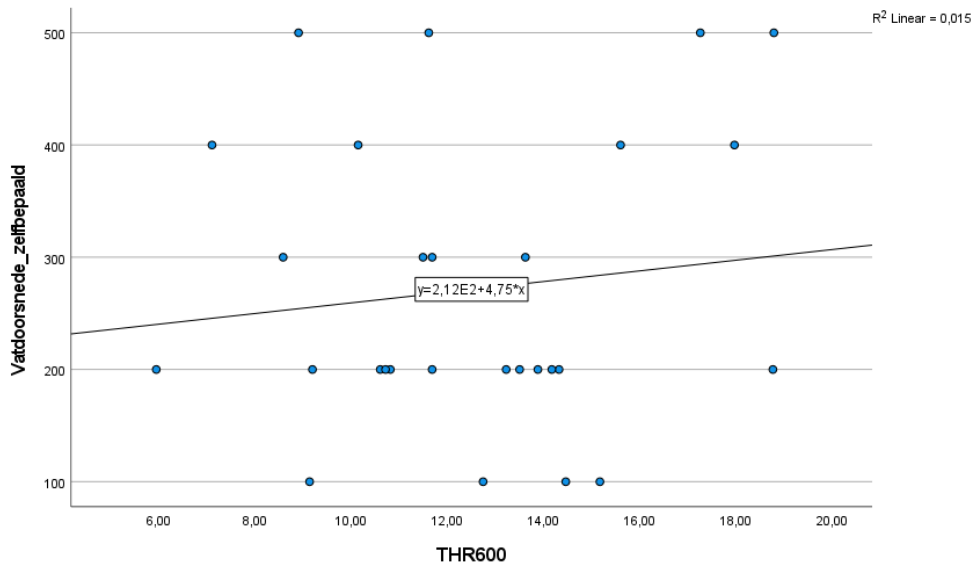
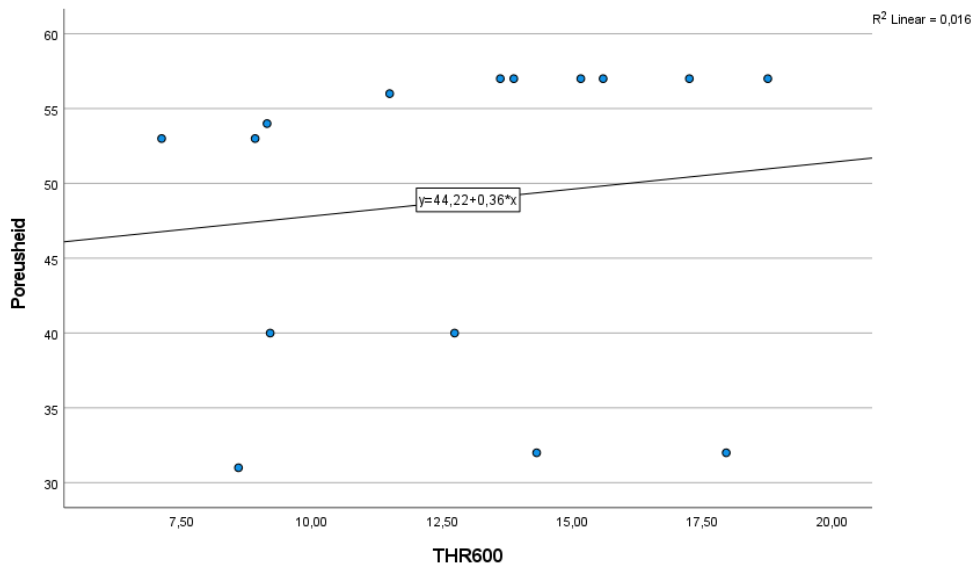
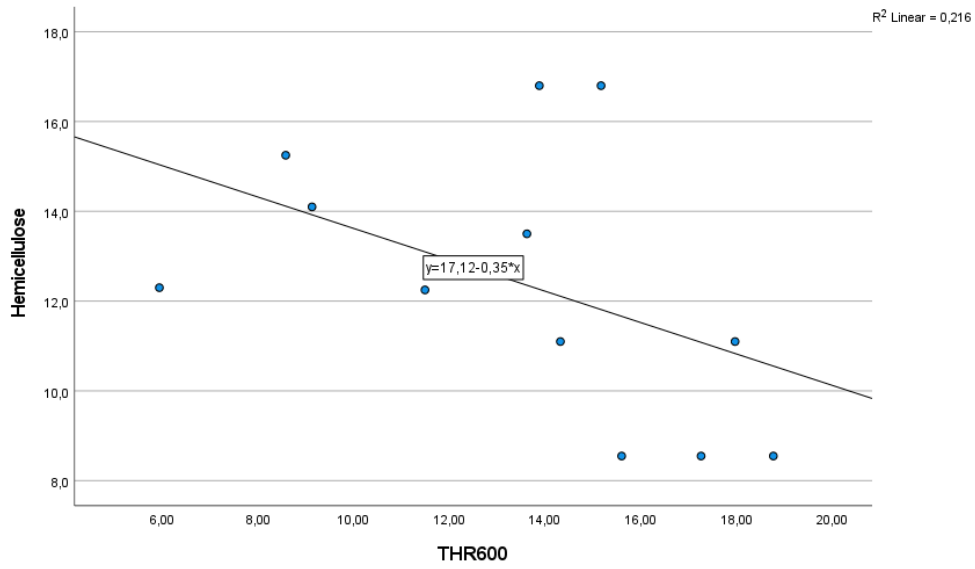


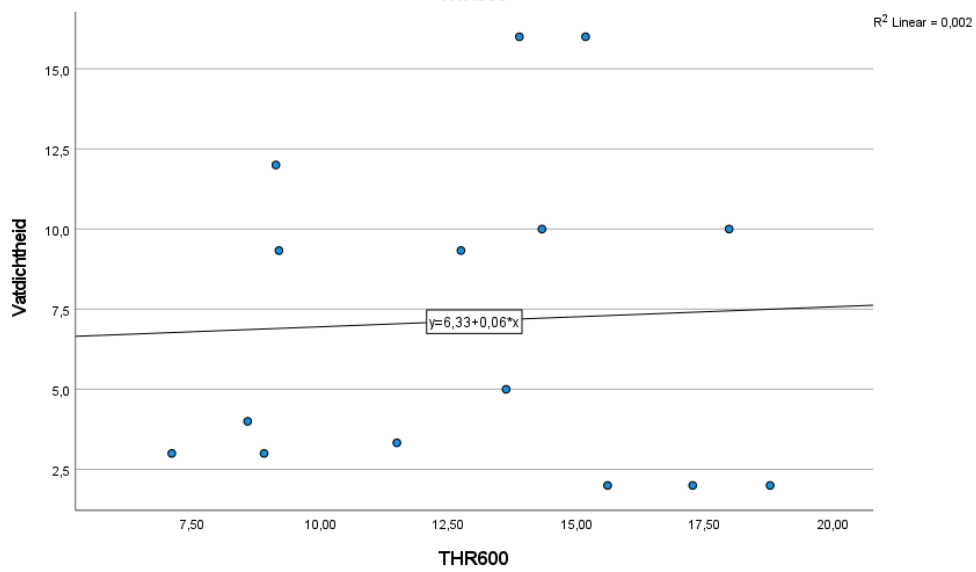
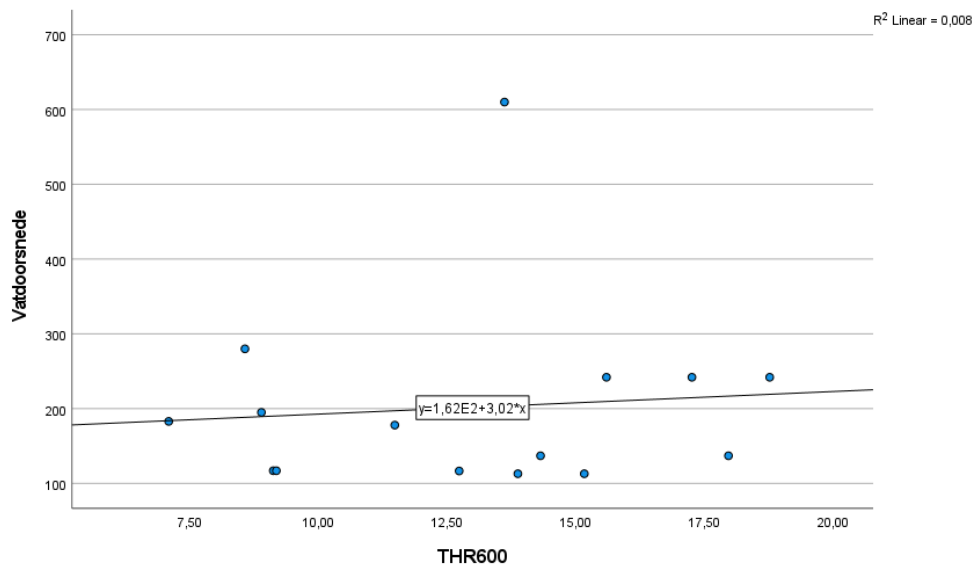
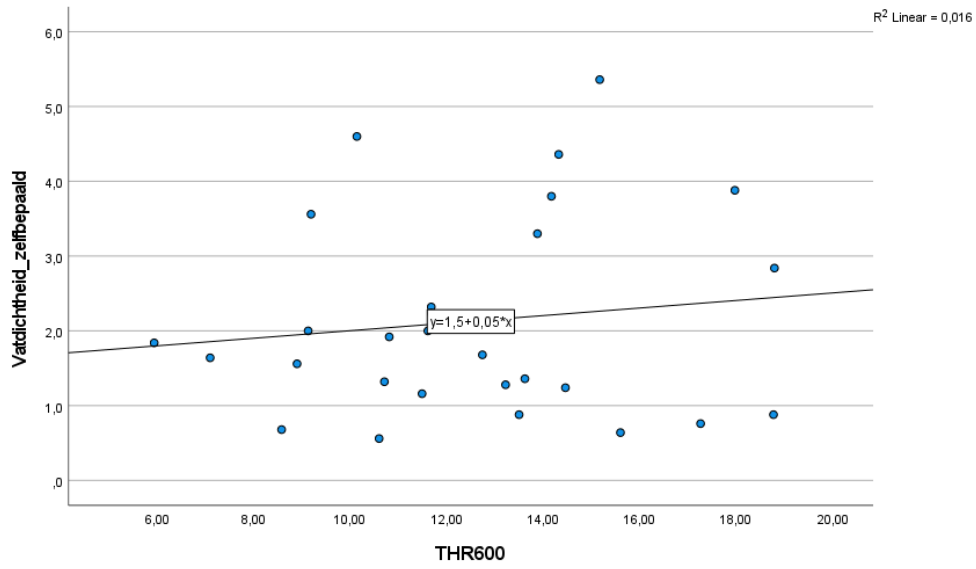


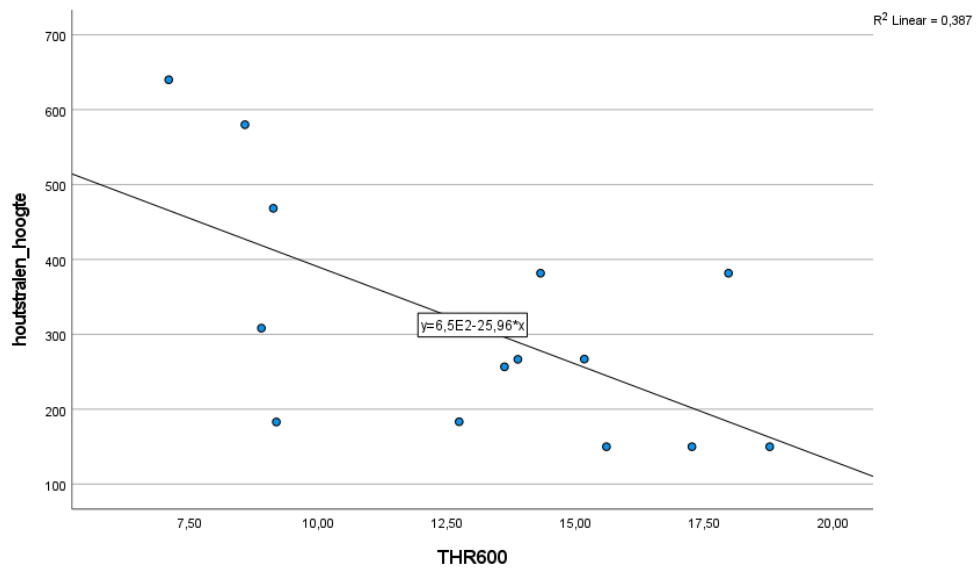
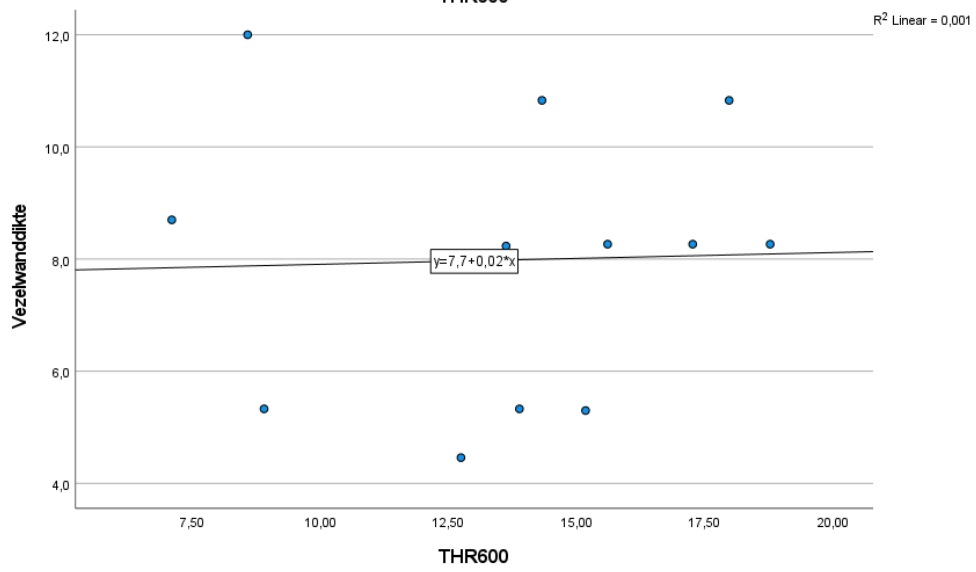
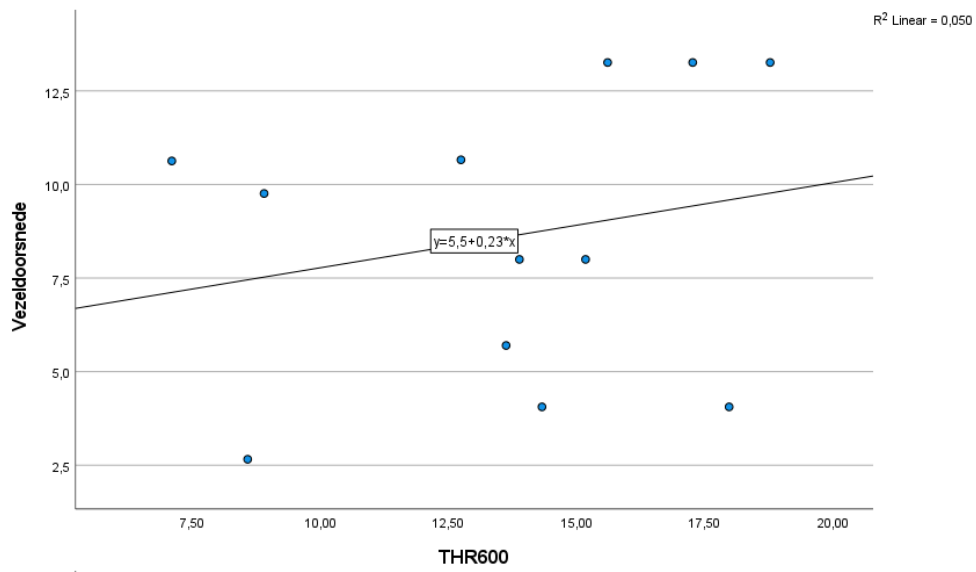
14.2.2 Correlatie met THR600

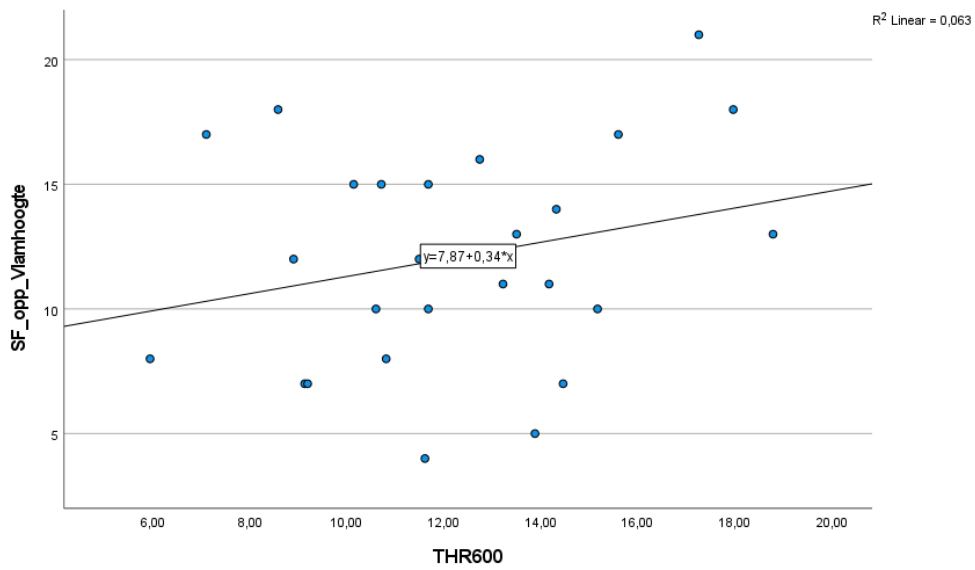
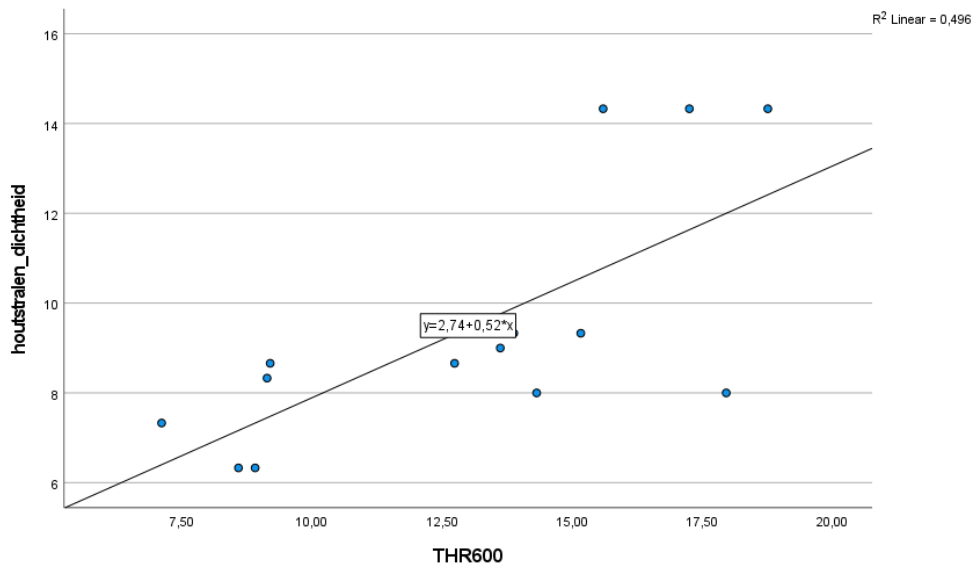
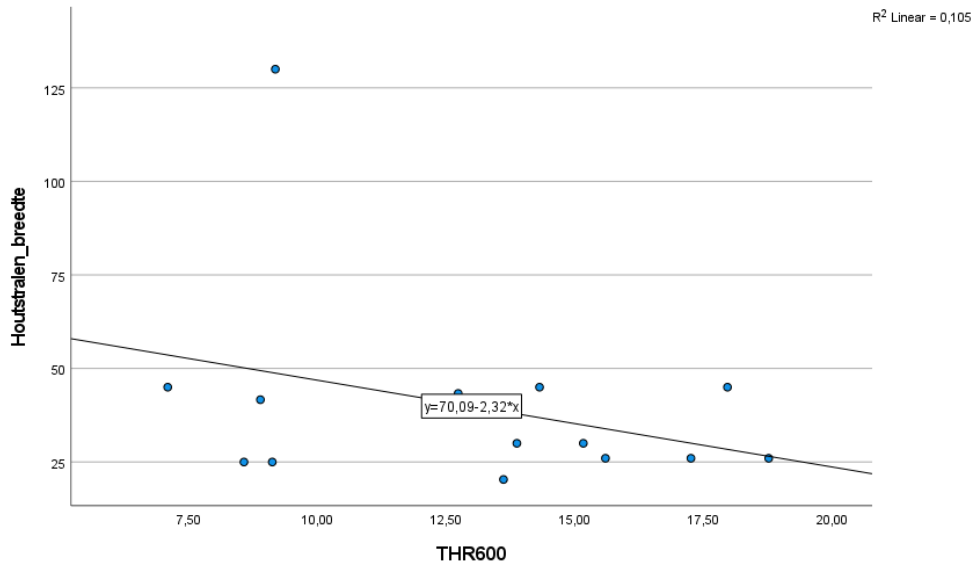


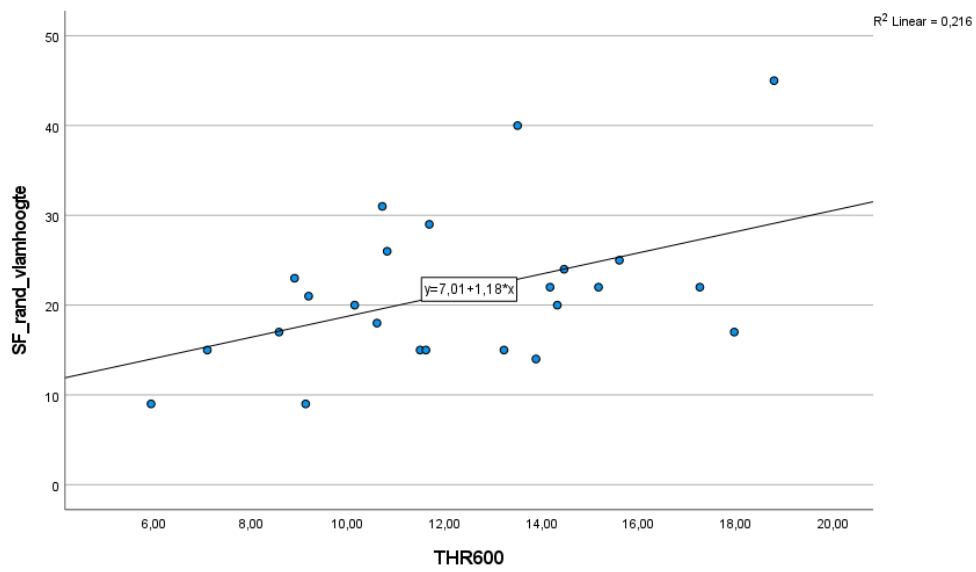
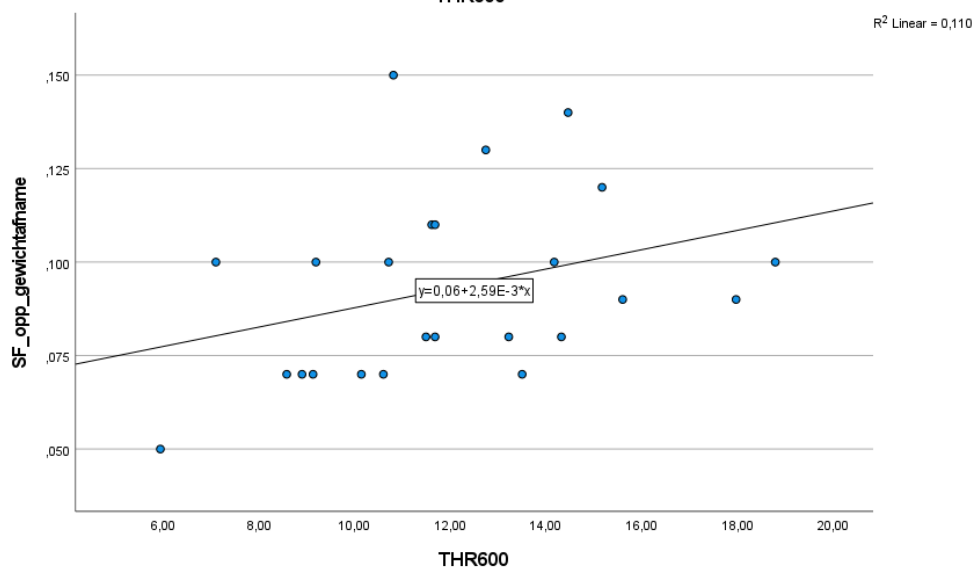
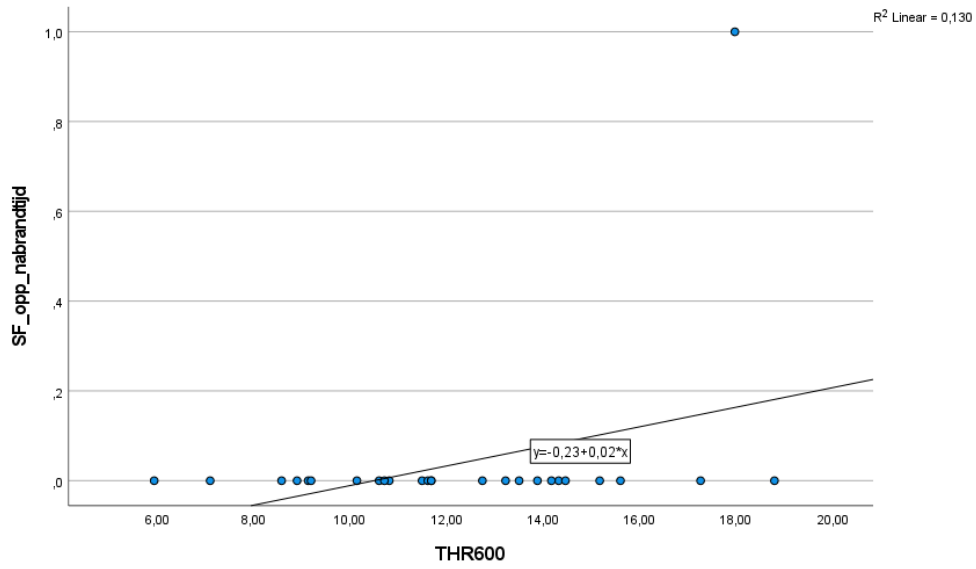


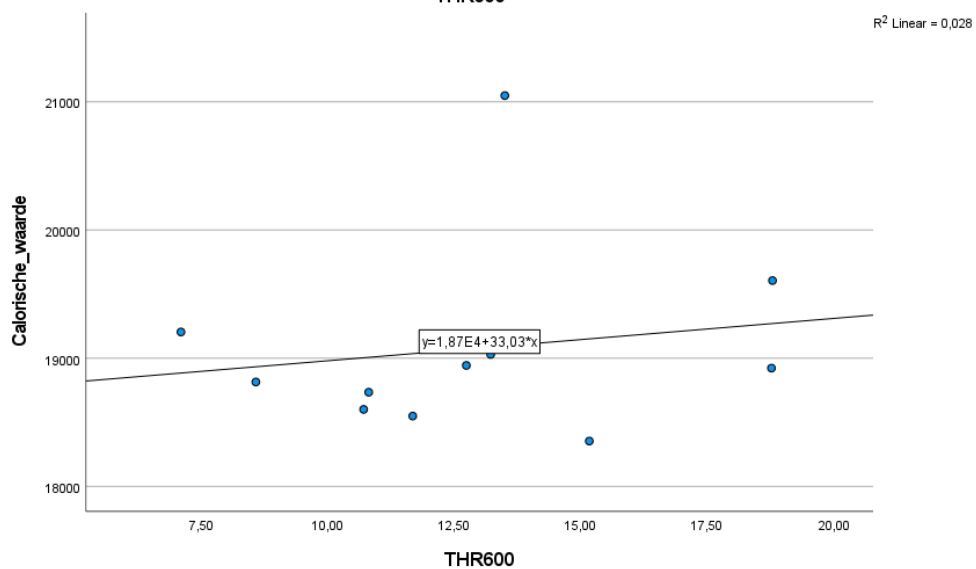
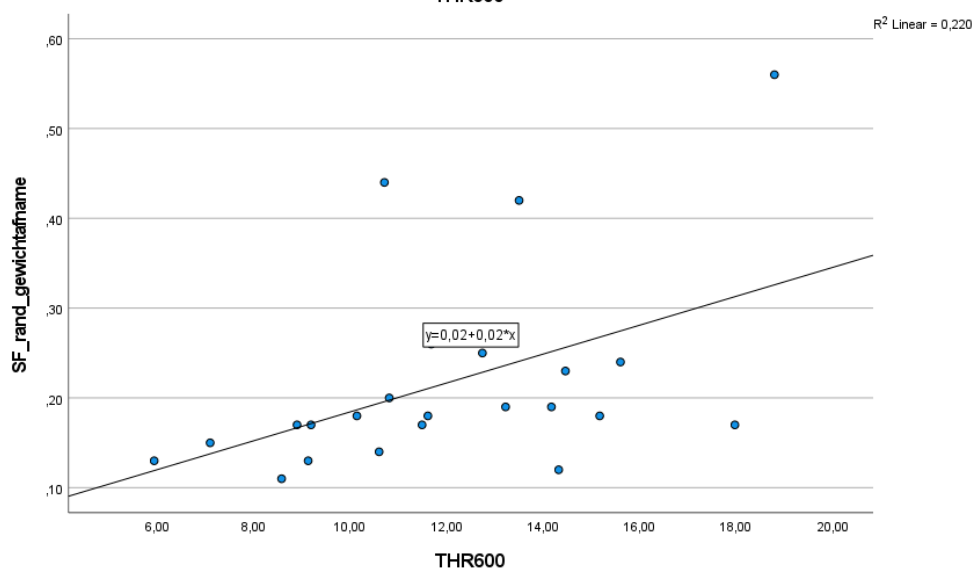
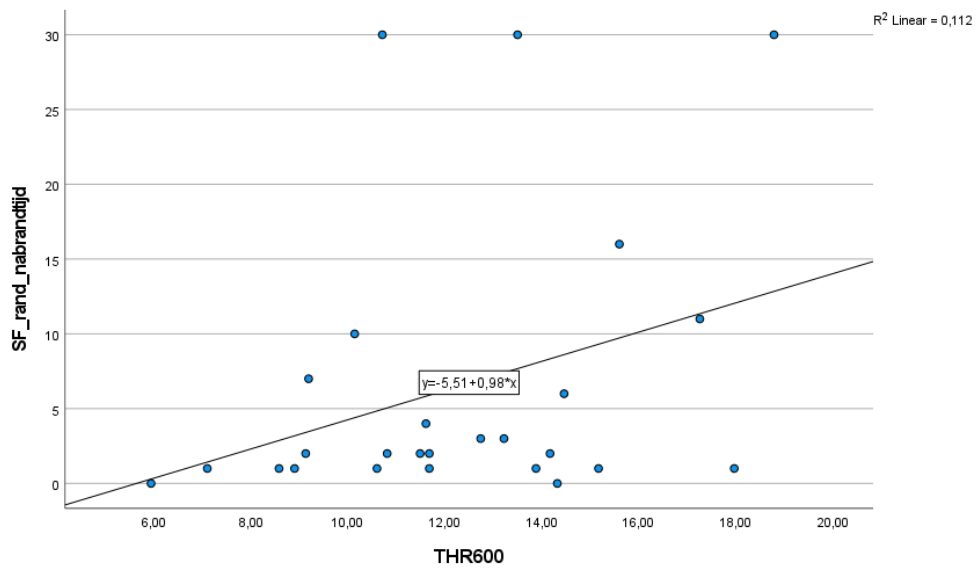








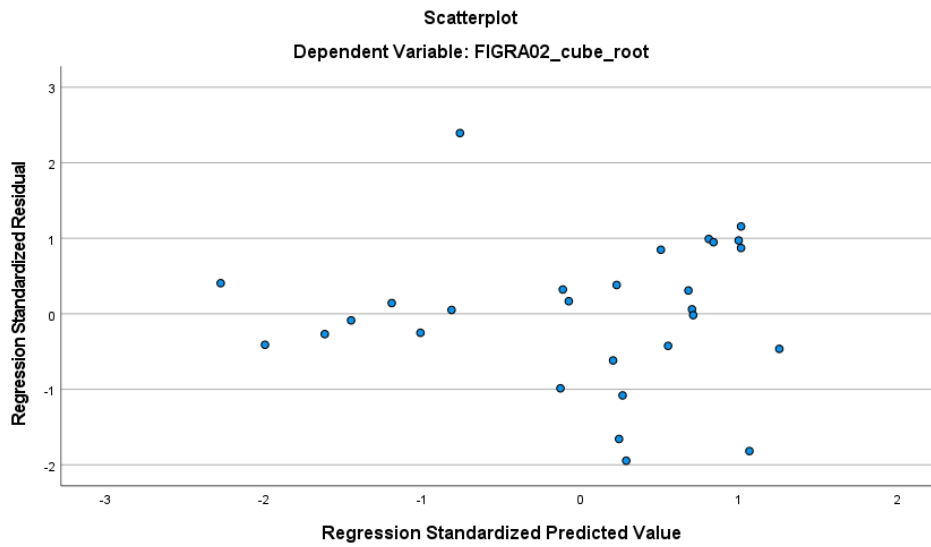




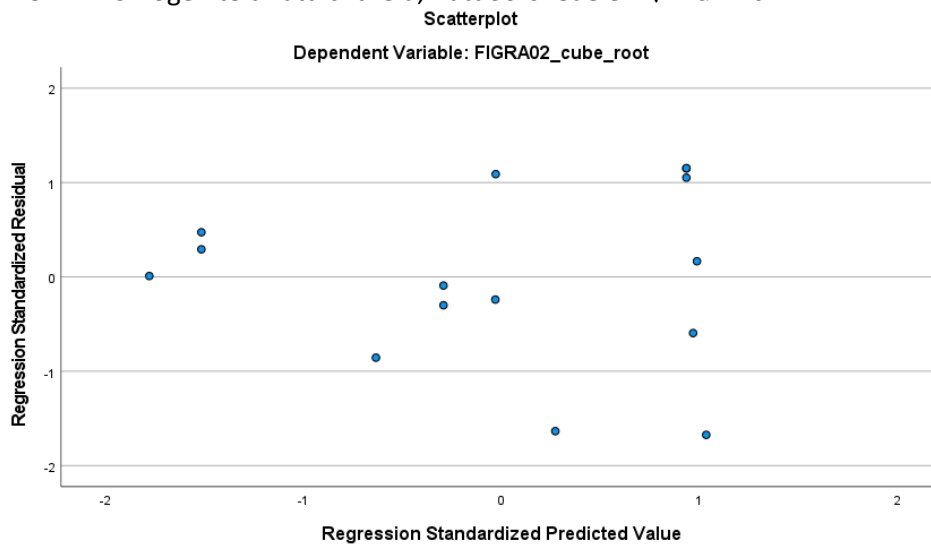
14.3 Controle homogeniteit

14.3.1 Controle homogeniteit $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

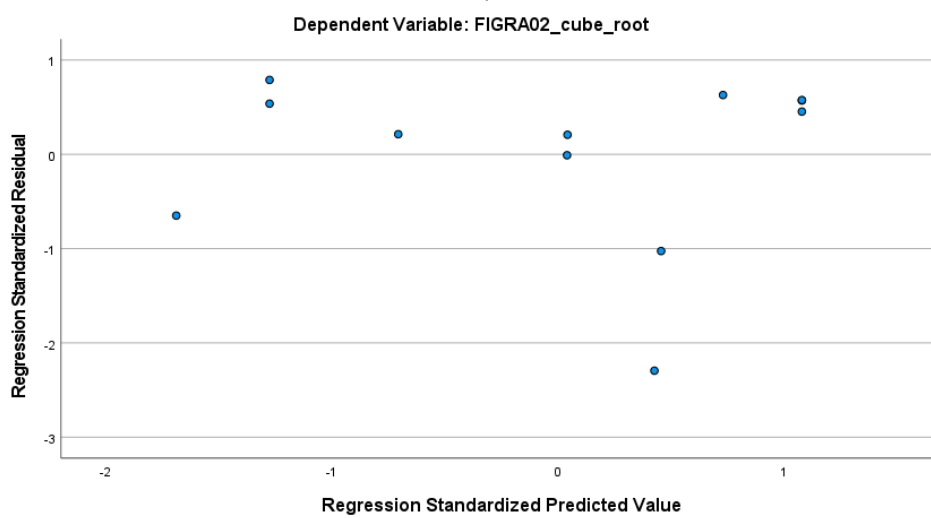
14.3.1.1 Homogeniteit Vatdichtheid_zelfbepaald, Vatdoorsnede_zelfbepaald en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$



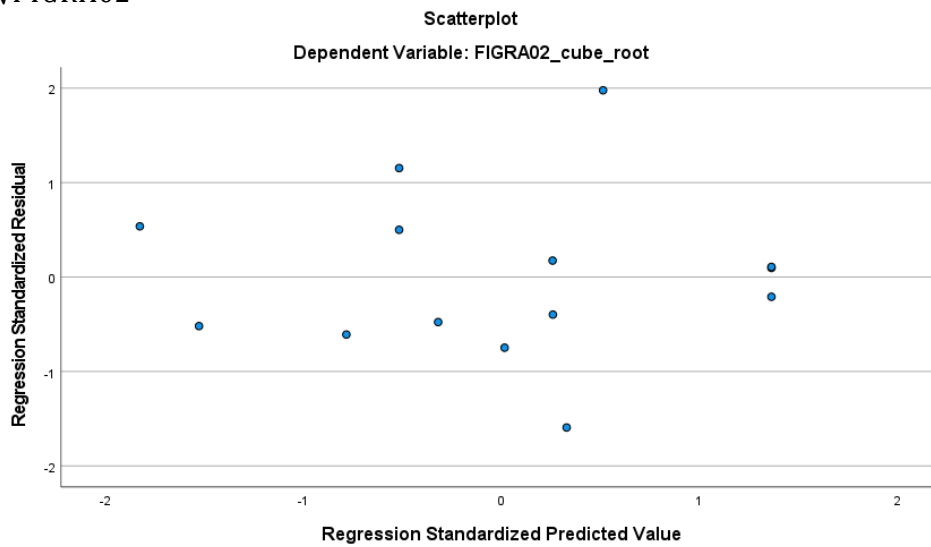
14.3.1.2 Homogeniteit Vatdichtheid, Vatdoorsnede en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



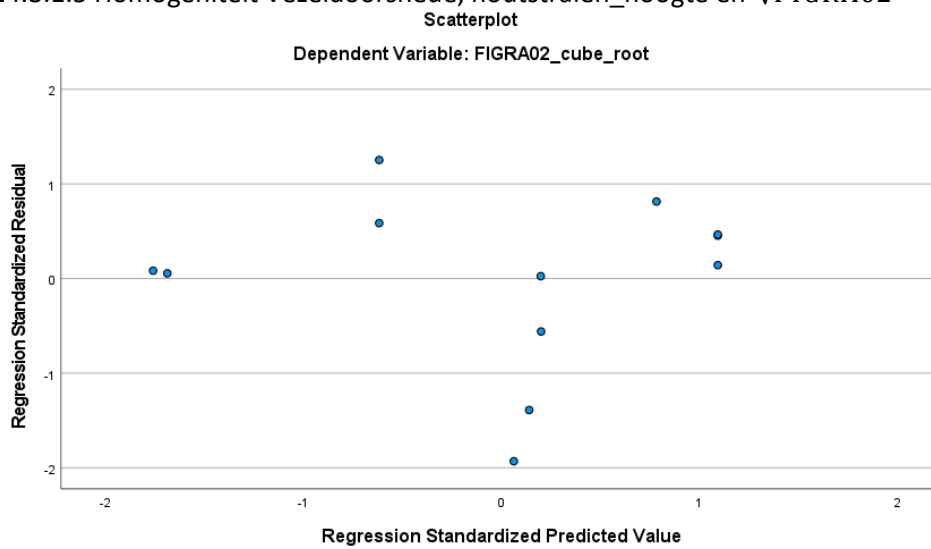
14.3.1.3 Homogeniteit Vezelwanddikte, Vezeldoorsnede en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



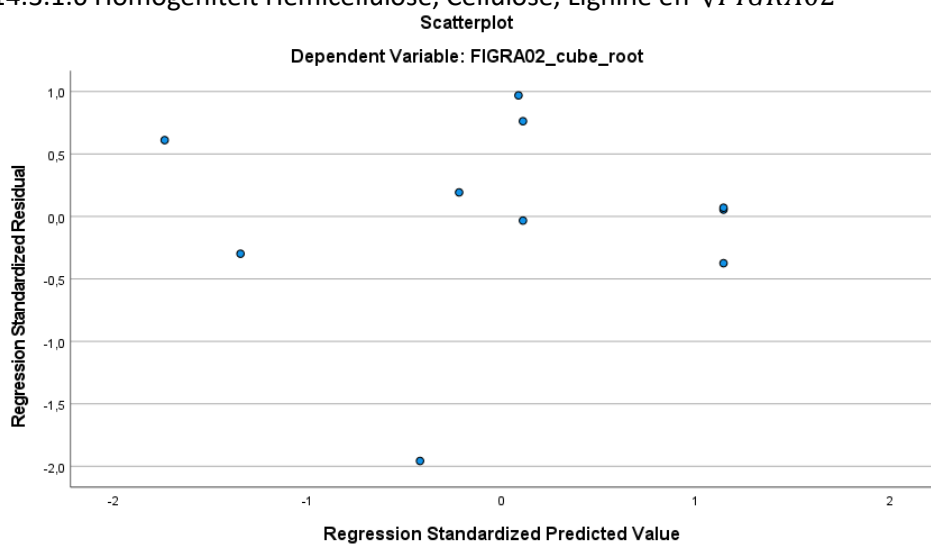
14.3.1.4 Homogeniteit houtstralen_dichtheid, houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



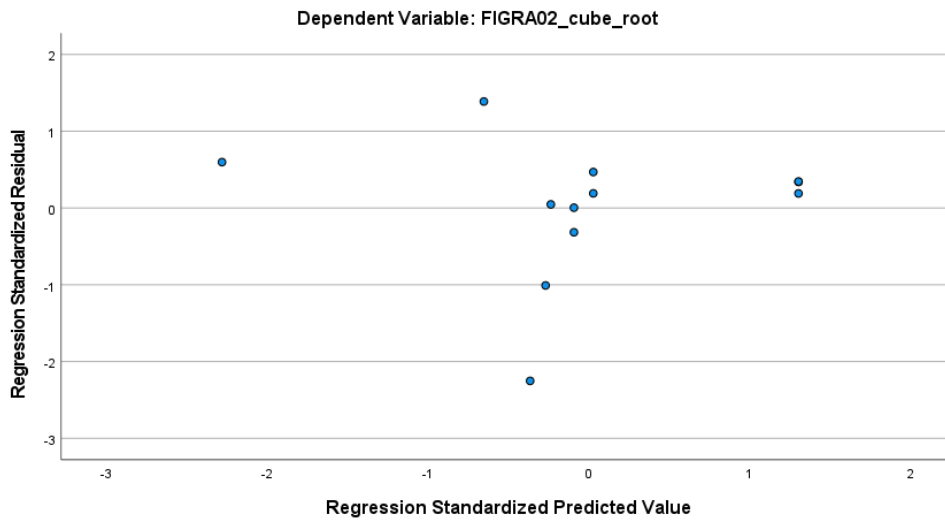
14.3.1.5 Homogeniteit Vezeldoorsnede, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



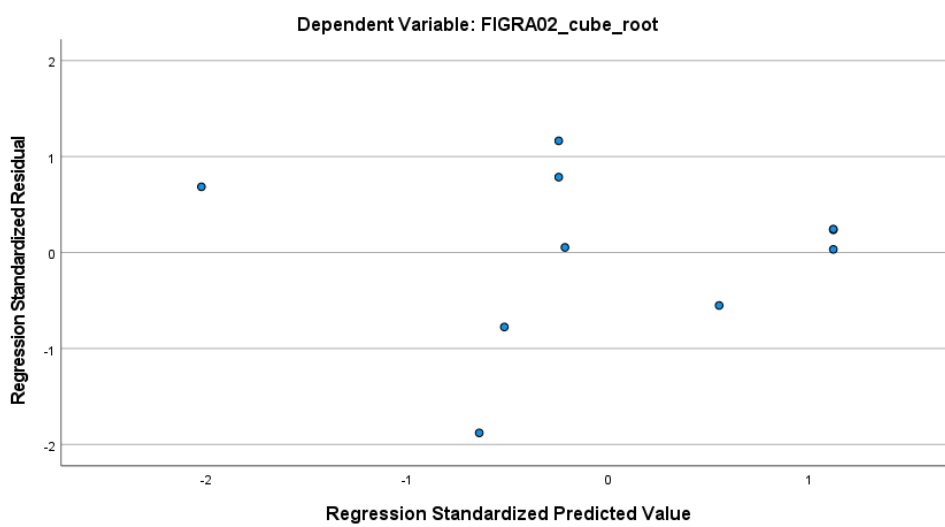
14.3.1.6 Homogeniteit Hemicellulose, Cellulose, Lignine en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



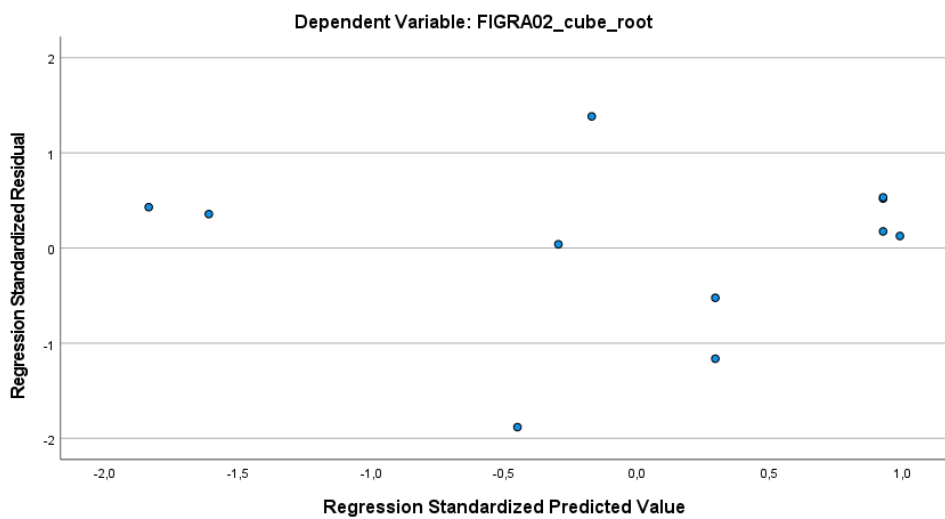
14.3.1.7 Homogeniteit Hemicellulose, Lignine en $\sqrt[3]{FIGRA02}$
Scatterplot



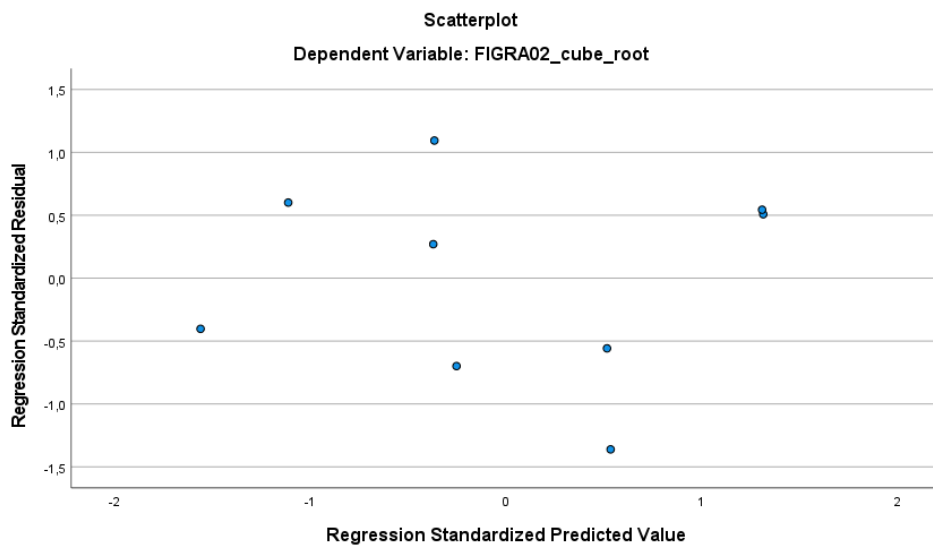
14.3.1.8 Homogeniteit Cellulose, Hemicellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$
Scatterplot



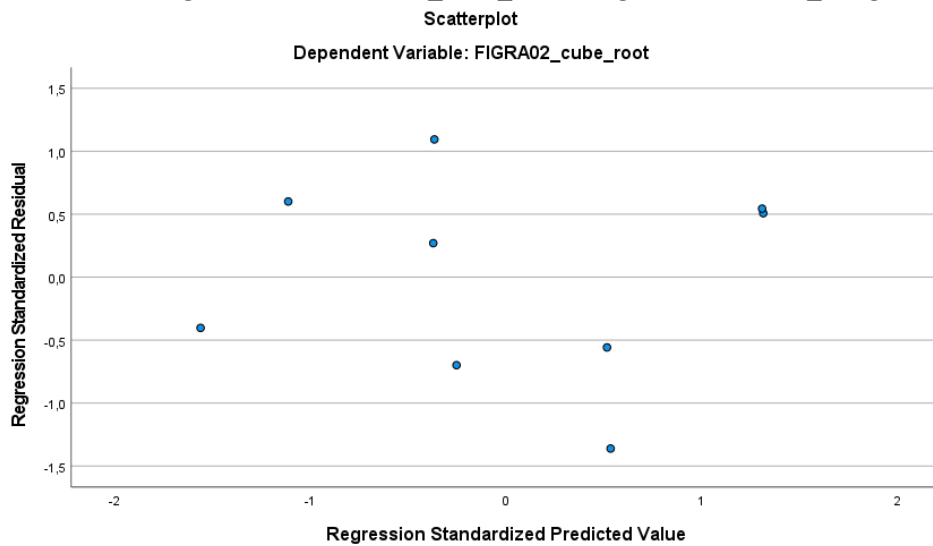
14.3.1.9 Homogeniteit Lignine, Cellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$
Scatterplot



14.3.1.10 Homogeniteit SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

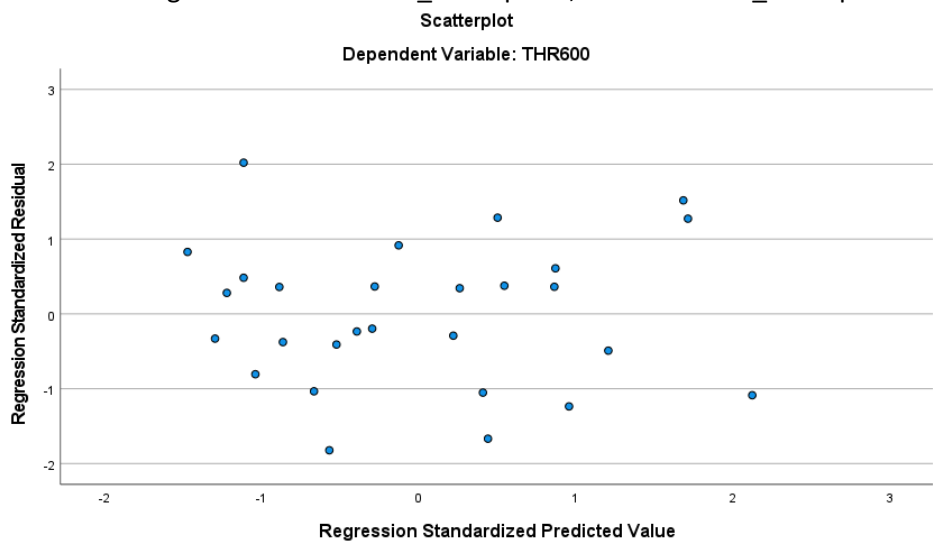


14.3.1.11 Homogeniteit Cellulose, SF_rand_vlamhoogte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

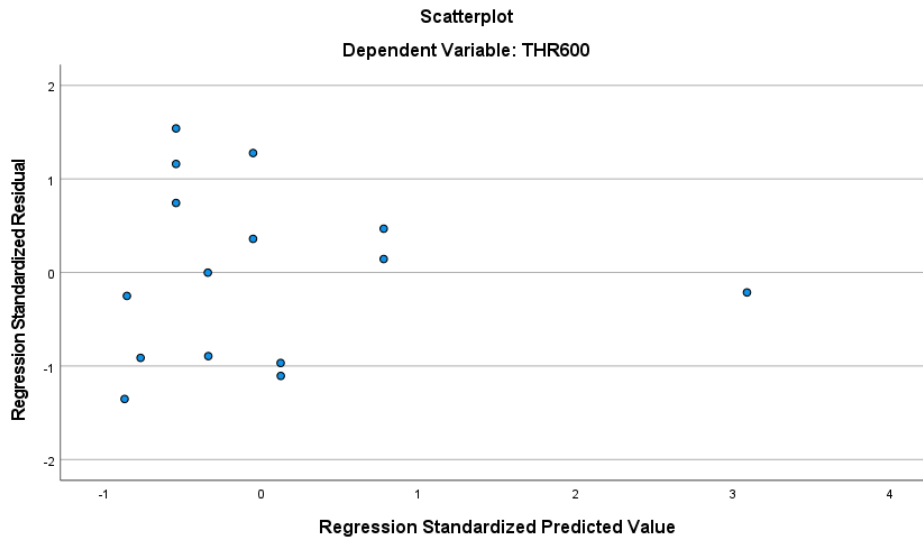


14.3.2 Controle homogeniteit THR600

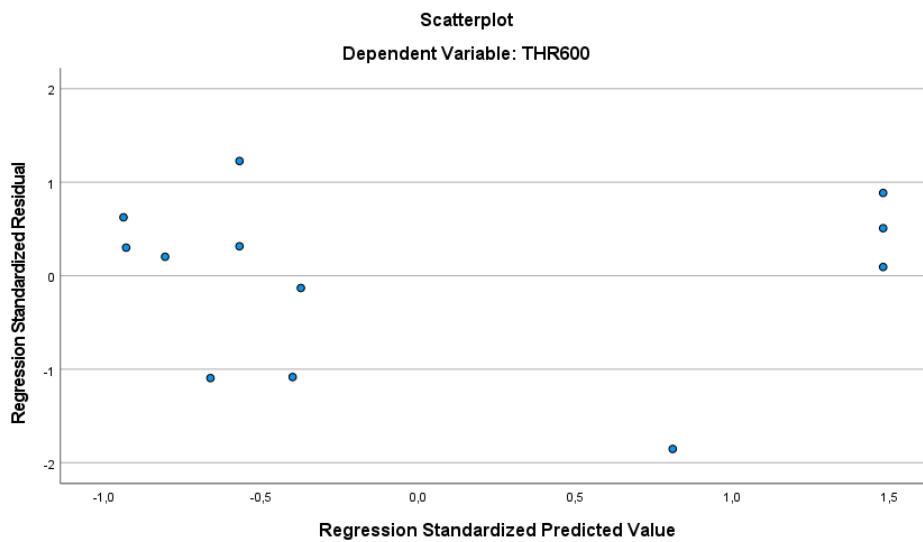
14.3.2.1 Homogeniteit Vatdichtheid_zelfbepaald, Vatdoorsnede_zelfbepaald en THR600



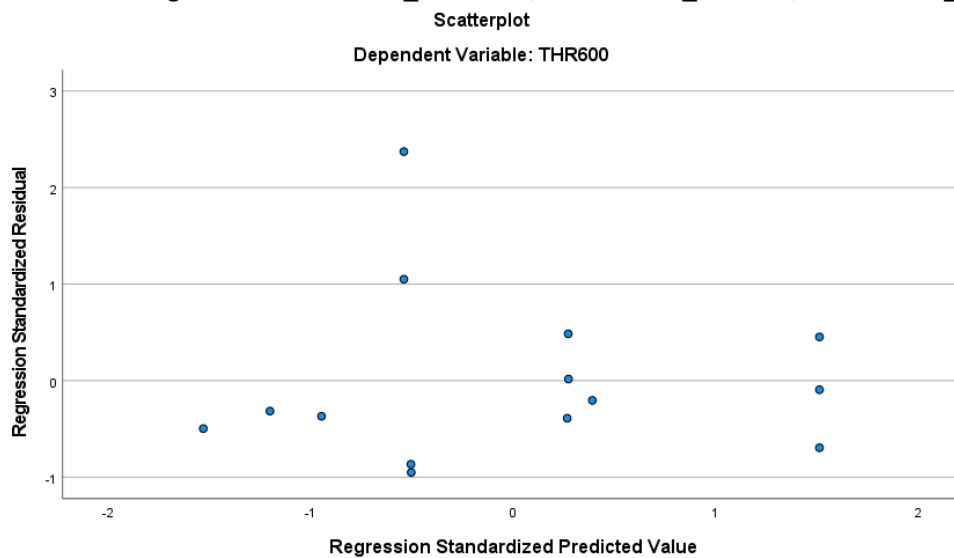
14.3.2.2 Homogeniteit Vatdichtheid, Vatdoorsnede en THR600



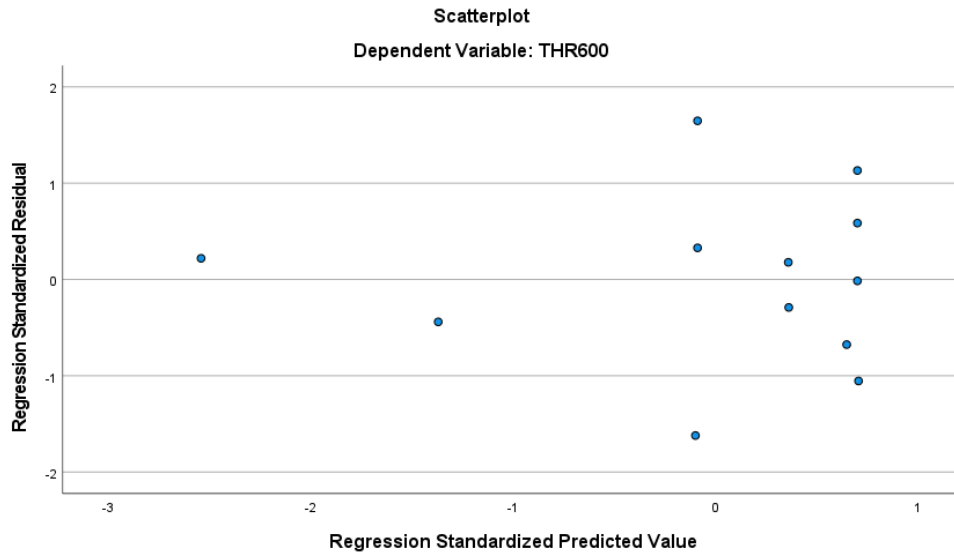
14.3.2.3 Vezelwanddikte, Vezeldoorsnede en THR600



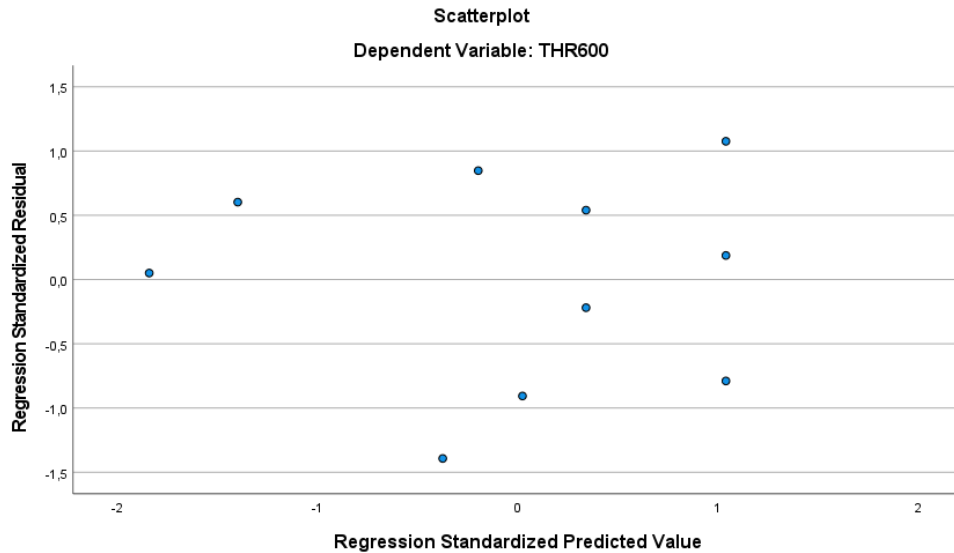
14.3.2.4 Homogeniteit houtstralen_dichtheid, houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte en THR600



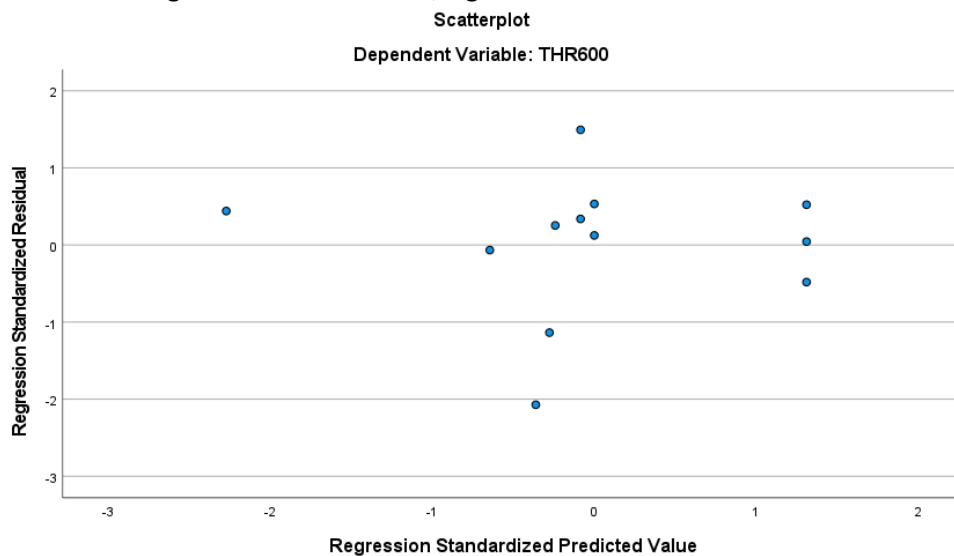
14.3.2.5 Homogeniteit Vezeldoorsnede, houtstralen_hoogte en THR600



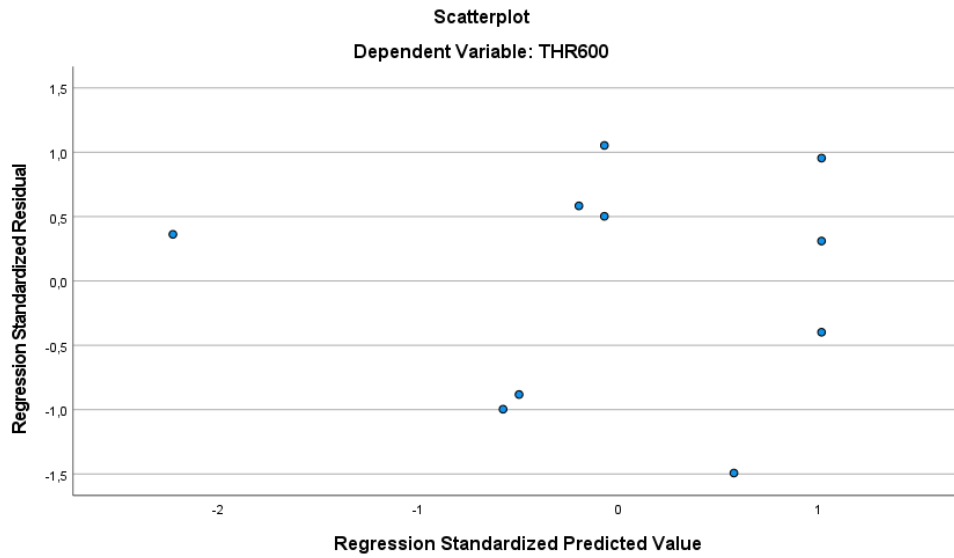
14.3.2.6 Homogeniteit Hemicellulose, Cellulose, Lignine en THR600



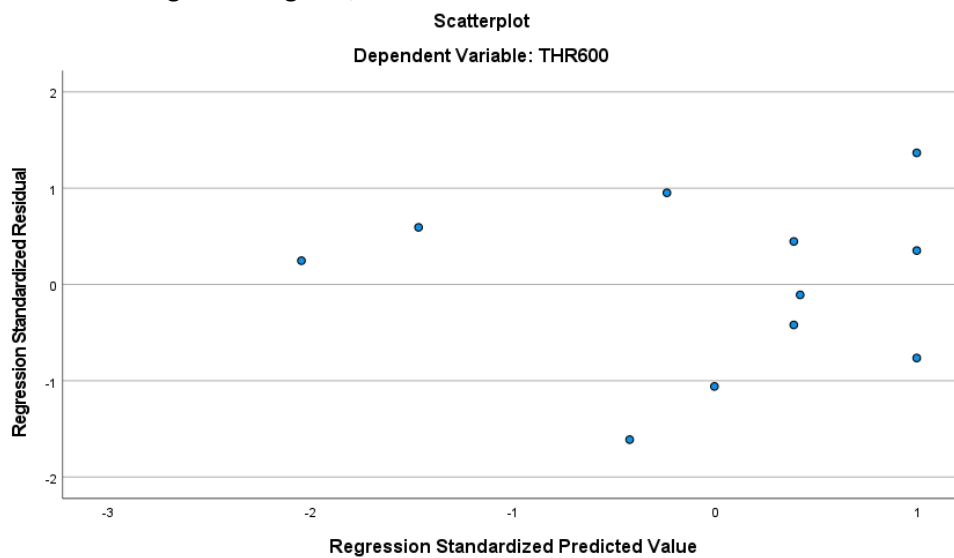
14.3.2.7 Homogeniteit Hemicellulose, Lignine en THR600



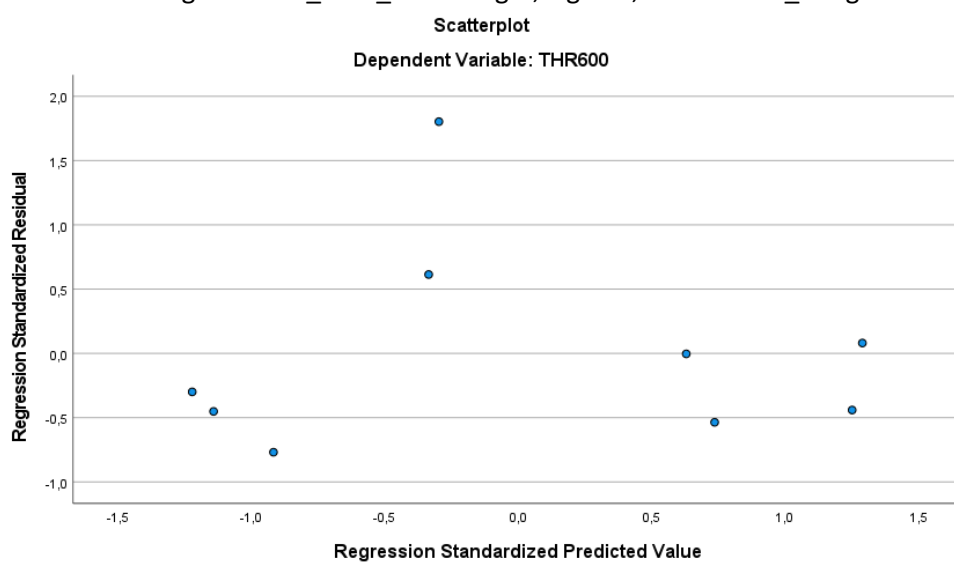
14.3.2.8 Homogeniteit Cellulose, Hemicellulose en THR600



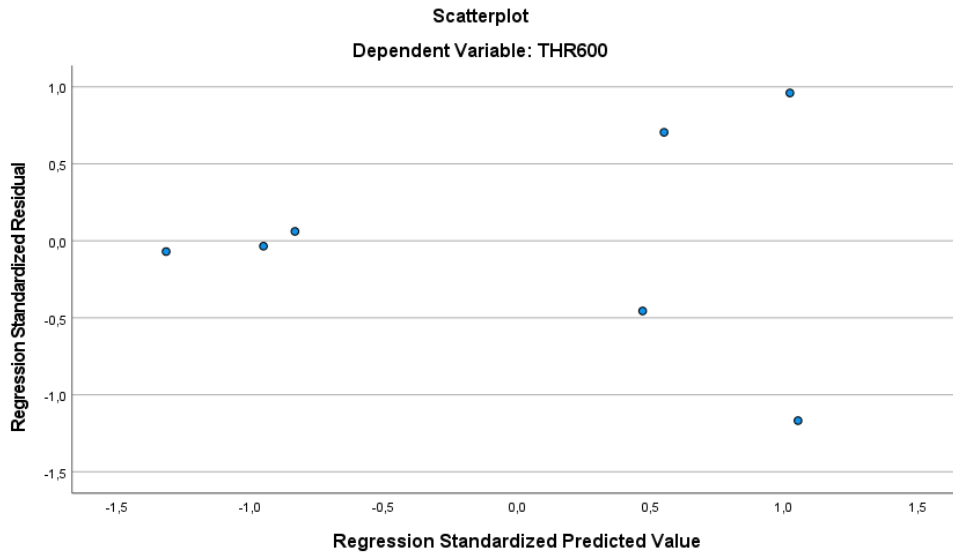
14.3.2.9 Homogeniteit Lignine, Cellulose en THR600



14.3.2.10 Homogeniteit SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en THR600



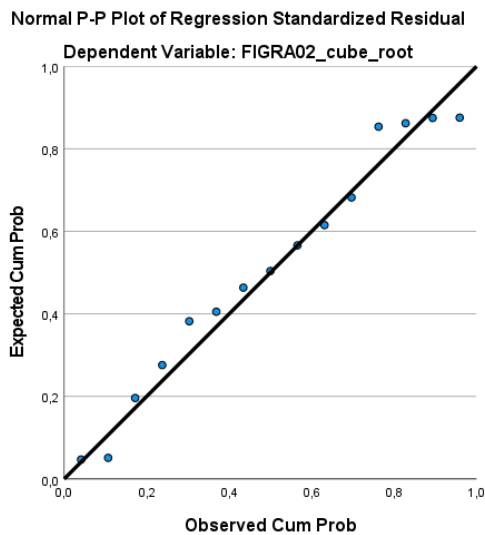
14.3.2.11 Homogeniteit Cellulose, SF_rand_vlamhoogte, houtstralen_hoogte en THR600



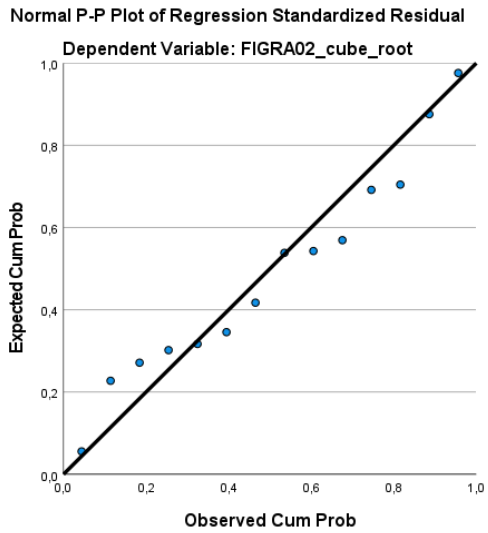
14.4 Controle lineariteit

14.4.1 Controle lineariteit $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

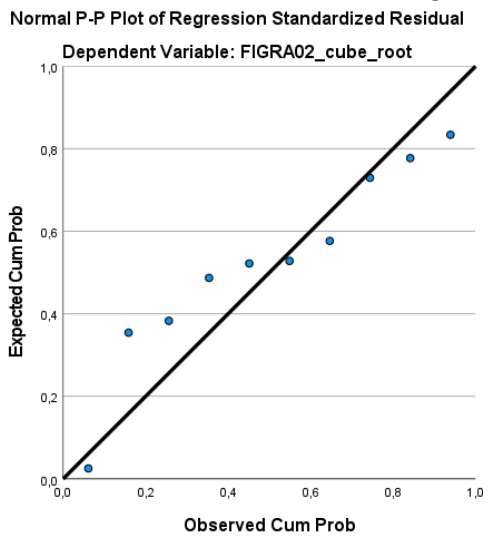
14.4.1.1 Controle lineariteit Vatdichtheid, Vatdoorsnede en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$



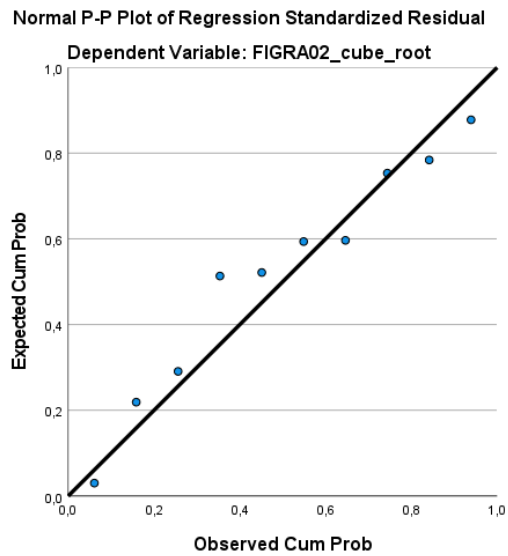
14.4.1.2 Controle lineariteit houtstralen_dichtheid, houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$



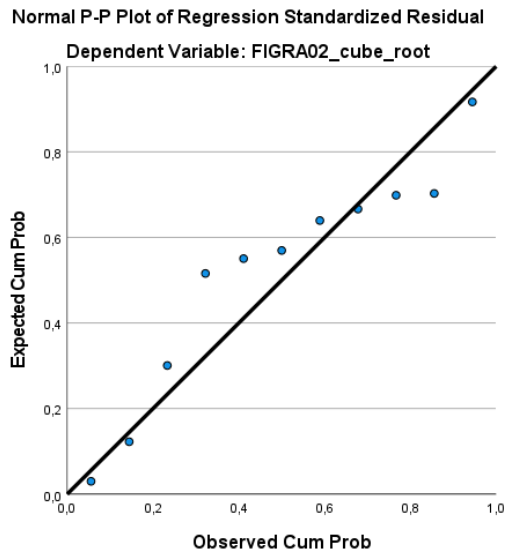
14.4.1.3 Controle lineariteit Hemicellulose, Cellulose, Lignine en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



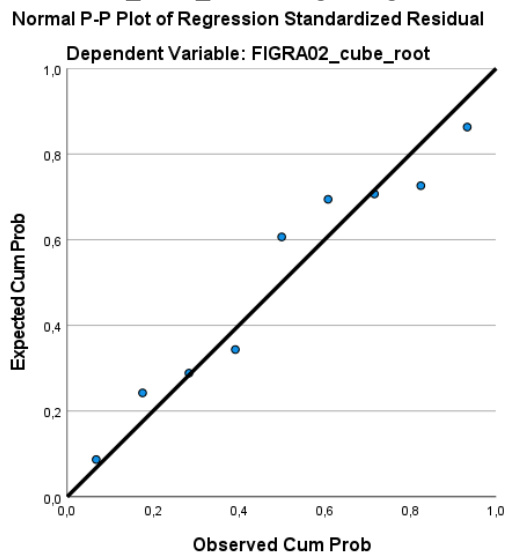
14.4.1.4 Controle lineariteit Cellulose, Hemicellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



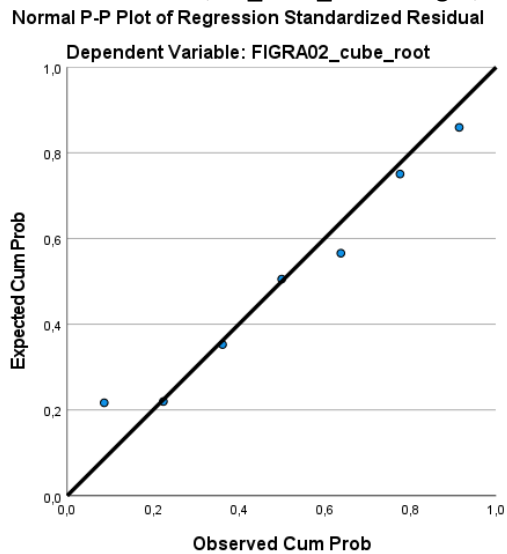
14.4.1.5 Controle lineariteit Lignine, Cellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$



14.4.1.6 Controle lineariteit SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

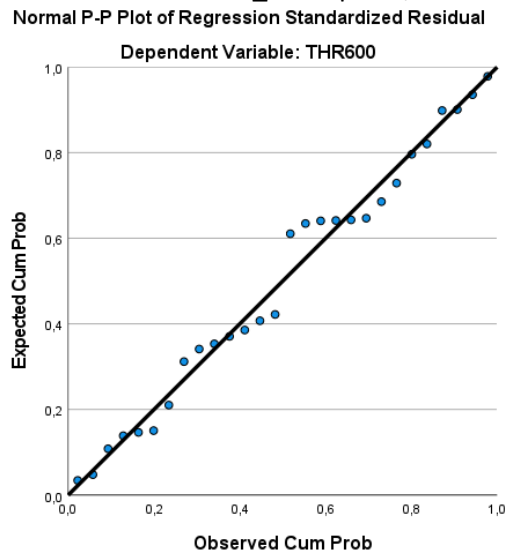


14.4.1.7 Controle lineariteit Cellulose, SF_rand_vlamhoogte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

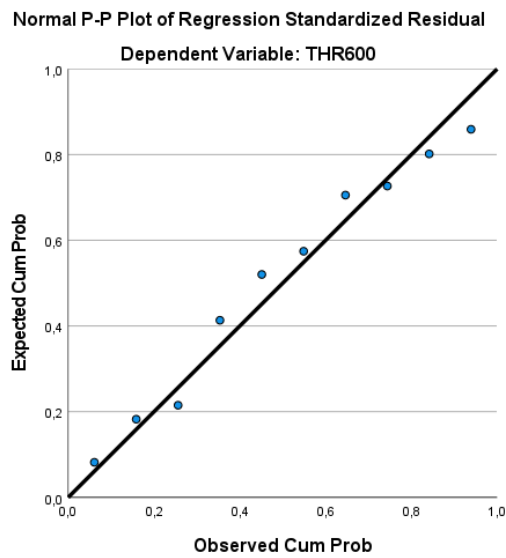


14.4.2 Controle lineariteit THR600

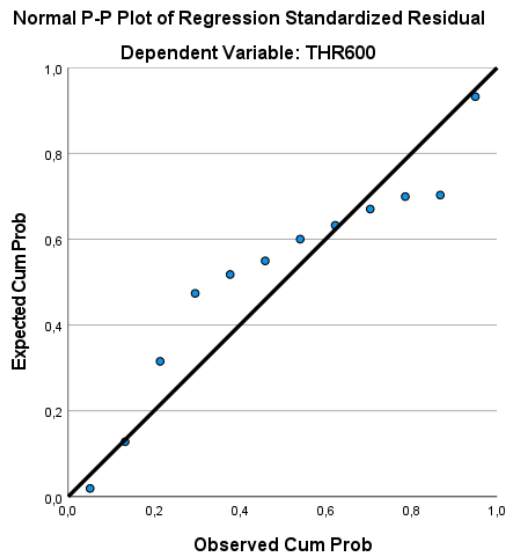
14.4.2.1 Controle lineariteit Vatdichtheid_zelfbepaald, Vatdoorsnede_zelfbepaald en THR600



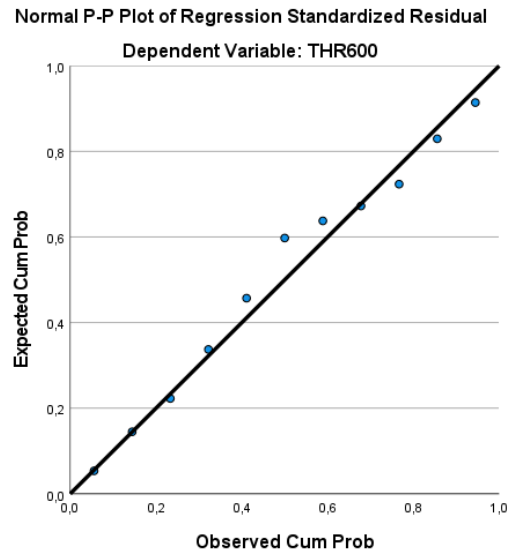
14.4.2.2 Controle lineariteit Hemicellulose, Cellulose, Lignine en THR600



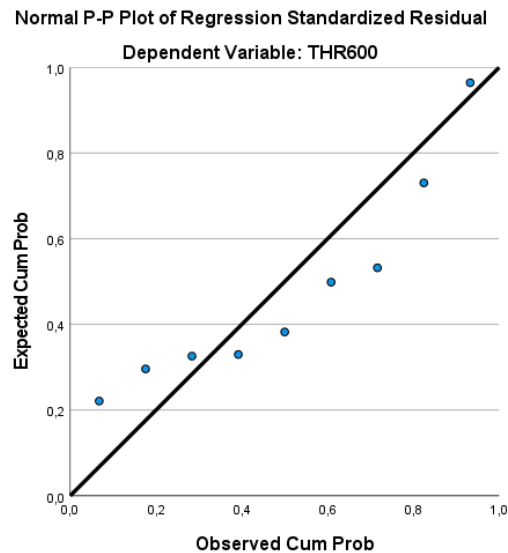
14.4.2.3 Controle lineariteit Hemicellulose, Lignine en THR600



14.4.2.4 Controle lineariteit Lignine, Cellulose en THR600



14.4.2.5 Controle lineariteit SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en THR600



14.5 Controle uitschieters

14.5.1 Controle uitschieters $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

14.5.1.1 Controle uitschieters Vatdichtheid, Vatdoorsnede en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	5,487	,576		9,518	<,001		
Vatdoorsnede	-,001	,002	-,098	-,301	,768	,767	1,304
Vatdichtheid	-,020	,042	-,158	-,486	,636	,767	1,304

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.1.2 Controle uitschieters houtstralen_dichtheid, houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
	B	Std. Error	Beta				
1 (Constant)	5,699	,526		10,831	<,001		
houtstralen_hoogte	-,003	,001	-,735	-5,291	<,001	,435	2,299
Houtstralen_breedte	-,004	,003	-,151	-1,466	,173	,786	1,272
houtstralen_dichtheid	,067	,034	,280	1,975	,077	,418	2,393

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.1.3 Controle uitschieters Hemicellulose, Cellulose, Lignine en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
	B	Std. Error	Beta				
1 (Constant)	4,812	,871		5,522	,001		
Cellulose	,097	,012	,602	8,171	<,001	,820	1,219
Lignine	-,097	,019	-,444	-4,996	,002	,563	1,775
Hemicellulose	-,049	,020	-,204	-2,484	,048	,660	1,516

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.1.4 Controle uitschieters Cellulose, Hemicellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
	B	Std. Error	Beta				
1 (Constant)	1,423	1,150		1,237	,256		
Hemicellulose	-,105	,035	-,435	-3,052	,019	,967	1,034
Cellulose	,120	,023	,745	5,225	,001	,967	1,034

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.1.5 Controle uitschieters Lignine, Cellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
	B	Std. Error	Beta				

1	(Constant)	5,498	,421		13,053	<,001		
	Cellulose	,091	,010	,756	8,716	<,001	,814	1,229
	Lignine	-,130	,014	-1,024	-14,801	<,001	,814	1,229

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.1.6 Controle uitschieters SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

		Coefficients ^a				Collinearity Statistics		
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
		B	Std. Error	Beta				
1	(Constant)	5,491	,776		7,073	<,001		
	Lignine	,050	,027	,305	1,821	,128	,306	3,273
	houtstralen_hoogte	-,006	,001	-1,224	-6,692	,001	,257	3,896
	SF_rand_vlamhoogte	-,001	,015	-,010	-,082	,938	,621	1,612

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.1.7 Controle uitschieters Cellulose, SF_rand_vlamhoogte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

		Coefficients ^a				Collinearity Statistics		
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
		B	Std. Error	Beta				
1	(Constant)	13,566	6,187		2,193	,146		
	houtstralen_hoogte	-,006	,002	-1,327	-3,608	,037	,037	27,376
	SF_rand_vlamhoogte	,033	,017	,218	1,892	,155	,372	2,688
	Cellulose	-,162	,135	-,495	-1,206	,314	,029	34,122

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

14.5.2 Controle uitschieters THR600

14.5.2.1 Controle uitschieters Vatdichtheid_zelfbepaald, Vatdoorsnede_zelfbepaald en THR600

		Coefficients ^a				Collinearity Statistics		
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
		B	Std. Error	Beta				

	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	10,831	1,933		5,604	<,001		
Vatdoorsnede_zelfbepaald	,004	,005	,136	,688	,498	,991	1,009
Vatdichtheid_zelfbepaald	,355	,498	,140	,712	,483	,991	1,009

a. Dependent Variable: THR600

14.5.2.2 Controle uitschieters Hemicellulose, Cellulose, Lignine en THR600

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1 (Constant)	10,516	9,426		1,146	,307		
Cellulose	,500	,129	,594	3,884	,008	,820	1,219
Lignine	-,568	,210	-,498	-2,702	,035	,563	1,775
Hemicellulose	-,056	,215	-,044	-,260	,803	,660	1,516

a. Dependent Variable: THR600

14.5.2.3 Controle uitschieters Hemicellulose, Lignine en THR600

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1 (Constant)	39,896	9,546		4,179	,002		
Lignine	-,758	,349	-,621	-2,170	,058	,699	1,430
Hemicellulose	-,165	,380	-,124	-,434	,675	,699	1,430

a. Dependent Variable: THR600

14.5.2.4 Controle uitschieters Lignine, Cellulose en THR600

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
	Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF

		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	8,743	3,214		2,723	,026		
	Cellulose	,520	,080	,870	6,518	<,001	,814	1,229
	Lignine	-,562	,084	-,894	-6,696	<,001	,814	1,229

a. Dependent Variable: THR600

14.5.2.5 Controle uitschieters SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en THR600

Model	Coefficients ^a					Collinearity Statistics		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF	
	B	Std. Error	Beta					
1	(Constant)	3,355	13,585		,247	,815		
	Lignine	,690	,481	,749	1,435	,214	,306	3,273
	houtstralen_hoogte	-,033	,015	-1,296	-2,274	,072	,257	3,896
	SF_rand_vlamhoogte	-,036	,265	-,049	-,134	,898	,621	1,612

a. Dependent Variable: THR600

14.6 Regressieanalyse

14.6.1 Regressieanalyse $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

14.6.1.2 Regressieanalyse houtstralen_dichtheid, houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{\text{FIGRA02}}$

Model	Model Summary			Std. Error of the Estimate
	R	R Square	Adjusted R Square	
1	,957 ^a	,916	,891	,22035

a. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid, Houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte

Model	ANOVA ^a					
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5,306	3	1,769	36,425	<,001 ^b
	Residual	,486	10	,049		
	Total	5,791	13			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid, Houtstralen_breedte, houtstralen_hoogte

14.6.1.2.1 Regressieanalyse houtstralen_dichtheid, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,948 ^a	,898	,880	,23157

a. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid, houtstralen_hoogte

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5,201	2	2,601	48,500	<,001 ^b
	Residual	,590	14	,054		
	Total	5,791	13			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid, houtstralen_hoogte

14.6.1.3 Regressieanalyse Hemicellulose, Cellulose, Lignine en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,987 ^a	,973	,960	,15710

a. Predictors: (Constant), Hemicellulose, Cellulose, Lignine

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5,397	3	1,799	72,892	<,001 ^b
	Residual	,148	6	,025		
	Total	5,545	9			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), Hemicellulose, Cellulose, Lignine

14.6.1.4 Regressieanalyse Cellulose, Hemicellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,929 ^a	,862	,823	,33039

a. Predictors: (Constant), Cellulose, Hemicellulose

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4,781	2	2,391	21,900	<,001 ^b
	Residual	,764	7	,109		
	Total	5,545	9			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), Cellulose, Hemicellulose

14.6.1.5 Regressieanalyse Lignine, Cellulose en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,975 ^a	,951	,939	,19519

a. Predictors: (Constant), Lignine, Cellulose

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5,920	2	2,960	77,691	<,001 ^b
	Residual	,305	8	,038		
	Total	6,225	10			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), Lignine, Cellulose

14.6.1.6 Regressieanalyse SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,978 ^a	,957	,931	,17027

a. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte, SF_rand_vlamhoogte, Lignine

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,233	3	1,078	37,164	<,001 ^b
	Residual	,145	5	,029		

Total	3,377	8			
-------	-------	---	--	--	--

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte, SF_rand_vlamhoogte, Lignine

14.6.1.7 Regressieanalyse Vezeldoorsnede en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,661 ^a	,437	,381	,54699

a. Predictors: (Constant), Vezeldoorsnede

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,323	1	2,323	7,764	,019 ^b
	Residual	2,992	10	,299		
	Total	5,315	14			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), Vezeldoorsnede

14.6.1.8 Regressieanalyse houtstralen_hoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,909 ^a	,825	,814	,29023

a. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4,781	1	4,781	56,751	<,001 ^b
	Residual	1,014	12	,084		
	Total	5,791	13			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte

14.6.1.9 Regressieanalyse houtstralen_dichtheid en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate

1	,822 ^a	,676	,649	,39518
---	-------------------	------	------	--------

a. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,917	1	3,917	25,085	<,001 ^b
	Residual	1,874	12	,156		
	Total	5,791	13			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid

14.6.1.10 Regressieanalyse Lignine en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,648 ^a	,419	,371	,55805

a. Predictors: (Constant), Lignine

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,700	1	2,700	8,670	,012 ^b
	Residual	3,737	12	,314		
	Total	6,437	13			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), Lignine

14.6.1.14 Regressieanalyse soortelijk_gewicht en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,705 ^a	,497	,477	,50063

a. Predictors: (Constant), Soortelijk_Gewicht

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6,432	1	6,432	25,666	<,001 ^b
	Residual	6,516	26	,251		
	Total	12,949	27			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), Soortelijk_Gewicht

14.6.1.12 Regressieanalyse SF_rand_vlamhoogte en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,769 ^a	,591	,574	,45935

a. Predictors: (Constant), SF_rand_vlamhoogte

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7,305	1	7,305	34,622	<,001 ^b
	Residual	5,064	24	,214		
	Total	12,370	25			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), SF_rand_vlamhoogte

14.6.1.13 Regressieanalyse SF_rand_nabrandtijd en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,619 ^a	,383	,357	,56394

a. Predictors: (Constant), SF_rand_nabrandtijd

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4,737	1	4,737	14,894	<,001 ^b
	Residual	7,633	24	,318		
	Total	12,370	25			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), SF_rand_nabrandtijd

14.6.1.14 Regressieanalyse SF_rand_gewichtafname en $\sqrt[3]{FIGRA02}$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,772 ^a	,596	,577	,47389

a. Predictors: (Constant), SF_rand_gewichtafname

b. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6,965	1	6,965	31,016	<,001 ^b
	Residual	4,716	21	,225		
	Total	14,681	22			

a. Dependent Variable: FIGRA02_cube_root

b. Predictors: (Constant), SF_rand_gewichtafname

14.6.2 Regressieanalyse THR600

14.6.2.1 Regressieanalyse Vatdichtheid_Zelfbepaald, Vatdoorsnede_Zelfbepaald en THR600

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,186 ^a	,035	-,043	3,42672

a. Predictors: (Constant), Vatdichtheid_zelfbepaald, Vatdoorsnede_zelfbepaald

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10,504	2	5,252	,447	,644 ^b
	Residual	293,560	25	14,742		
	Total	304,064	27			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), Vatdichtheid_zelfbepaald, Vatdoorsnede_zelfbepaald

14.6.2.2 Regressieanalyse Hemicellulose, Cellulose, Lignine en THR600

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,941 ^a	,885	,827	1,69949

a. Predictors: (Constant), Hemicellulose, Cellulose, Lignine

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	133,344	3	44,448	15,389	,003 ^b
	Residual	17,330	6	2,888		
	Total	150,674	9			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), Hemicellulose, Cellulose, Lignine
 14.6.2.3 Regressieanalyse Hemicellulose, Lignine en THR600

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,697 ^a	,485	,371	3,15872

a. Predictors: (Constant), Hemicellulose, Lignine

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	84,615	2	42,308	4,240	,050 ^b
	Residual	89,797	9	9,977		
	Total	174,412	14			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), Hemicellulose, Lignine

14.6.2.4 Regressieanalyse Lignine, Cellulose en THR600

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,940 ^a	,884	,855	1,48793

a. Predictors: (Constant), Cellulose, Lignine

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	135,052	2	67,526	30,500	<,001 ^b
	Residual	17,712	8	2,214		
	Total	152,763	10			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), Cellulose, Lignine

14.6.2.5 Regressieanalyse SF_rand_vlamhoogte, Lignine, houtstalen_hoogte en THR600

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,764 ^a	,583	,333	2,97956

a. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte, SF_rand_vlamhoogte, Lignine

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	62,156	3	20,719	2,334	,191 ^b
	Residual	44,389	5	8,878		
	Total	106,545	8			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte, SF_rand_vlamhoogte, Lignine

14.6.2.6 Regressieanalyse houtstralen_hoogte en THR600

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,622 ^a	,387	,336	3,12425

a. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	74,093	1	74,093	7,591	,017 ^b
	Residual	147,131	12	9,761		
	Total	191,225	13			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), houtstralen_hoogte

14.6.2.7 Regressieanalyse houtstralen_dichtheid en THR600

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,704 ^a	,496	,454	2,83443

a. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	94,817	1	94,817	14,802	,005 ^b
	Residual	96,408	12	8,034		
	Total	191,225	13			

a. Dependent Variable: THR600

b. Predictors: (Constant), houtstralen_dichtheid

Bijlage 15 Tijdlijn houtsoorten

	Aankomst samples	Samples in conditionering	proefstukken gemaakt	SBI test uitgevoerd
Houtsoort 1	25-02-22	28-02-22	22-03-22	08-04-22
Houtsoort 2	25-02-22	28-02-22	22-03-22	06-04-22
Houtsoort 3	25-02-22	28-02-22	22-03-22	08-04-22
Houtsoort 4	25-02-22	28-02-22	22-03-22	08-04-22
Houtsoort 5	25-02-22	28-02-22	22-03-22	06-04-22
Houtsoort 6	25-02-22	28-02-22	22-03-22	06-04-22
Houtsoort 7	25-02-22	28-02-22	22-03-22	08-04-22
Houtsoort 8.	25-02-22	28-02-22	22-03-22	08-04-22
Houtsoort 9	25-02-22	28-02-22	23-03-22	08-04-22
Houtsoort 10	25-02-22	28-02-22	23-03-22	08-04-22
Houtsoort 11	25-02-22	28-02-22	23-03-22	06-04-22
Houtsoort 12	25-02-22	28-02-22	23-03-22	06-04-22
Houtsoort 13	11-03-22	14-03-22	23-03-22	05-04-22
Houtsoort 14	11-03-22	11-03-22	25-03-22	28-03-22
Houtsoort 15	11-03-22	14-03-22	23-03-22	05-04-22
Houtsoort 16	11-03-22	11-03-22	25-03-22	28-03-22
Houtsoort 17	11-03-22	11-03-22	25-03-22	17-04-22
Houtsoort 18	11-03-22	11-03-22	25-03-22	04-04-22
Houtsoort 19	11-03-22	14-03-22	23-03-22	05-04-22
Houtsoort 20	11-03-22	11-03-22	25-03-22	28-03-22
Houtsoort 21	11-03-22	11-03-22	25-03-22	05-04-22
Houtsoort 22	11-03-22	14-03-22	23-03-22	05-04-22
Houtsoort 23	11-03-22	14-03-22	23-03-22	04-04-22
Houtsoort 24	11-03-22	14-03-22	23-03-22	04-04-22
Houtsoort 25	11-03-22	11-03-22	25-03-22	04-04-22
Houtsoort 26	11-03-22	14-03-22	23-03-22	05-04-22
Houtsoort 27	11-03-22	14-03-22	23-03-22	28-03-22
Houtsoort 28	11-03-22	14-03-22	23-03-22	05-04-22
Houtsoort 29	25-03-22	25-03-22	29-04-22	09-05-22
Houtsoort 30	25-03-22	25-03-22	29-04-22	09-05-22
Houtsoort 31	25-03-22	25-03-22	29-04-22	09-05-22
Houtsoort 32	25-03-22	25-03-22	29-04-22	11-05-22
Houtsoort 33	25-03-22	25-03-22	29-04-22	09-05-22
Houtsoort 38	11-03-22	11-03-22	29-04-22	11-05-22
Houtsoort 40	25-02-22	28-02-22		

Notitie: Houtsoort 40 is in de conditionering kromgetrokken. Hierdoor was deze niet meer bruikbaar voor de testen