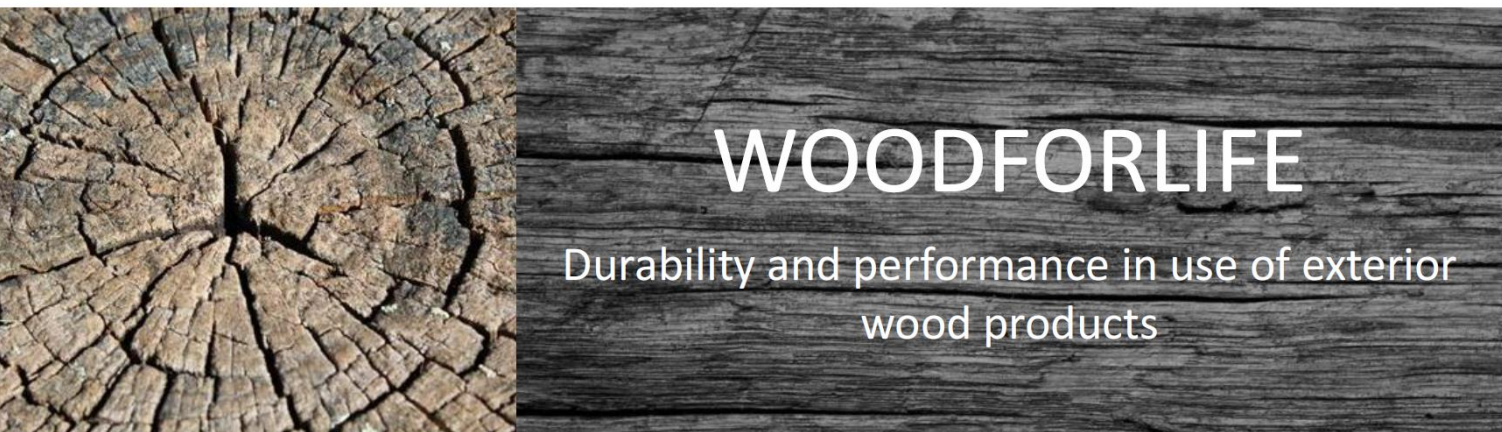




Eindverslag (dec 2018 – mei 2021)

Project: CCN/NBN/PN18105



WOOD.BE



Inhoudstafel

1	Materiaal en methode.....	1
1.1	De houtsoorten	1
1.2	Kunstmatige en natuurlijke veroudering.....	1
1.2.1	Kunstmatige veroudering onder invloed van UV - licht	1
1.2.2	Kunstmatige veroudering onder invloed van Xe - licht	2
1.2.3	Natuurlijke veroudering	3
2	Natuurlijke duurzaamheid en vochtgedrag.....	8
2.1	Natuurlijke duurzaamheid volgens CEN/TS 15083-1 + EN 84	8
2.1.1	Materiaal en methode.....	8
2.1.2	Resultaten.....	9
2.2	Vochtdynamiek.....	10
2.2.1	Wateropname en –afgifte volgens BRL0605	10
	Materiaal en methode.....	10
	Resultaten.....	11
2.2.2	Wateropname en –afgifte volgens CEN/TS16818	13
	Materiaal en methode.....	13
	Resultaten.....	14
3	Kleur	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Methodiek	18
3.3	Resultaten.....	18
3.3.1	Natuurlijke veroudering	18
3.3.2	Kunstmatige veroudering	30
4	Barstvorming	32
4.1	Visuele beoordeling.....	32
4.2	Resultaten visuele beoordeling.....	34
5	Oppervlakteruwheid.....	37
5.1	Licht en schaduw als low-tech middel om ruwheid te evalueren.....	37
5.2	Resultaten.....	42
5.2.1	Kunstmatige verwerking	42
	Iroko.....	42
	Geacetyleerd grenen	45
	Thermo Ayous	51
	Eiken	55
5.2.2	Natuurlijke verwerking.....	65

Iroko.....	65
Thermo ayous.....	73
Eiken	76
5.2.3 Relatie natuurlijke en kunstmatige verwerking.	77
Iroko.....	77
Geacetyleerd grenen	77
Thermo ayous.....	78
Eiken	78
6 Algemeen besluit.....	79
7 Disseminatie en valorisatie	81
Literatuurlijst	82
Bijlagen	85

1 Materiaal en methode

1.1 De houtsoorten

In samenspraak met de gebruikersgroep werden 16 houtsoorten geselecteerd. Deze materialen kennen toepassingen in de verschillende productgroepen: gevelbekleding, terras en tuinmeubilair.

Tabel 1 geeft een overzicht van de geselecteerde materialen.

Tabel 1: overzicht van de geselecteerde materialen onderverdeeld in 3 materiaalgroepen met aanduiding van het referentiemateriaal en de selectie voor de buitenopstelling per productgroep.

Materiaalgroep - Tropisch loofhout			gevel	terras
H5	Jutai			✗
H4	Iroko	referentie		✗
H2	Ayous			
H6	Bilinga			✗
Materiaalgroep - Gematigd naald- en loofhout				
L10	eik	referentie	◆	✗
Materiaalgroep - Verduurzaamd hout				
G16	Geïmpregneerd grenen	referentie	◆	✗
T15	TMT I grenen		◆	
T7	TMT I vuren			
T3	TMT I Ayous		◆	
T1	TMT I Fraké			
T13	TMT II Ayous			
T14	TMT II Vuren		◆	
M9	Geacetyleerd grenen		◆	✗
M8	Gefurfuryleerd grenen			✗
T12	TMT II Fraké		◆	✗
T11	TMT populier		◆	✗

1.2 Kunstmatige en natuurlijke veroudering

De bestaande technieken voor versneld verouderen zijn gebaseerd op het herhaaldelijk blootstellen van de proefstukken aan warmte, vocht en/of licht gedurende verschillende cycli. Op deze manier worden weerseffecten (regen, zonlicht, warmte) gesimuleerd.

De testen met UV en Xenon geven informatie over de gecombineerde effecten van licht en vocht (mindere mate temperatuur) en werden uitgevoerd op relatief kleine proefstalen.

Tijdens het kunstmatige verouderingsproces werden de parameters zoals uit werkpakket 2 op regelmatige basis opgemeten voor de verschillende houtsoorten.

1.2.1 Kunstmatige veroudering onder invloed van UV - licht

De test verloopt in een Atlas® UVTEST (Figuur 1123), gebruik makend van ultraviolet straling en besproeiing met water. De lichtbron bestaat uit 2 sets van 4 fluorescente UV-A lampen met een emissiepiek bij 340nm.



Figuur 1: Binnenaanzicht UV-TEST met stalenhouders (rechts) en vooraanzicht stalenhouder met 2 blootstellingszones (links)

Voor diverse materialen zijn normen beschikbaar die een methode beschrijven voor versnelde veroudering door middel van UV-licht, bv. voor plastics (EN ISO 4892-3), HPL (EN 438-2), verven en vernissen (EN ISO 16474-3). De algemeen toegepaste norm EN 927-6 voor afwerkingssystemen op hout in buitentoepassingen beschrijft een testcyclus die hoofdzakelijk op de veroudering van naaldhout focust. Voor de versnelde veroudering onder invloed van UV-licht van hout als dusdanig zijn geen specifieke normen beschikbaar.

De geldende normen werden echter onvoldoende streng bevonden bij toepassingen in loofhout (cfr. project ASSESSWOODCOAT). De huidige proefopzet is bijgevolg gebaseerd op een geoptimaliseerde testmethode voor het verweren van gecoate oppervlakken (EN 927-6) waarbij een hogere impact van zwel en krimp mogelijk wordt.

De fasen die worden doorlopen tijdens de verouderingscyclus zijn dezelfde als deze beschreven in Annex F van NBN EN 152 "Bepaling van de beschermende werking van een verduurzamingsbehandeling tegen blauwverkleuring in verwerkt hout" (kunstmatige verweringscyclus 3). Elke testcyclus beslaat 2 weken en bestaat uit 2 subcycli (Tabel 26).

Tabel 2: Overzicht van de testcyclus

Subcyclus A of de natte subcyclus (1 week)

* 23u licht – 1u donker
in combinatie met
4u spray – 2u droog - 10u spray – 2u droog
– 5u spray – 1u droog
dit alles herhaald gedurende 6 dagen
* 24u koelkast (+5°C)

Subcyclus B of de droge subcyclus (1 week)

* voortdurende belichting
in combinatie met
102 min droog – 18 min spray
dit alles herhaald gedurende 6 dagen
* 24u diepvries (-3°C)

De versnelde veroudering werd uitgevoerd gedurende 12 weken zoals vermeld in EN 927-6.

1.2.2 Kunstmatige veroudering onder invloed van Xe - licht

De test maakt gebruik van Xenon licht en besproeiing met water. De verouderingstest vindt plaats in de ATLAS SUNTEST XXL+ (Figuur 2224) met toepassing van een daylight filter. De lichtbron van dit toestel bestaat uit 1 set van 3 luchtgekoelde Xenon-lampen die zich bovenaan de testkamer bevinden. De instraling E van deze lichtbron met daylight filter bedraagt 40 W/m² in het golflengte-interval 300-400 nm.



Figuur 2: Binnenaanzicht van de SUNTEST XXL+

De gebruikte testmethode was dezelfde als deze toegepast voor veroudering onder invloed van UV-licht en werd in een eerste fase uitgevoerd gedurende 12 weken.

1.2.3 Natuurlijke veroudering

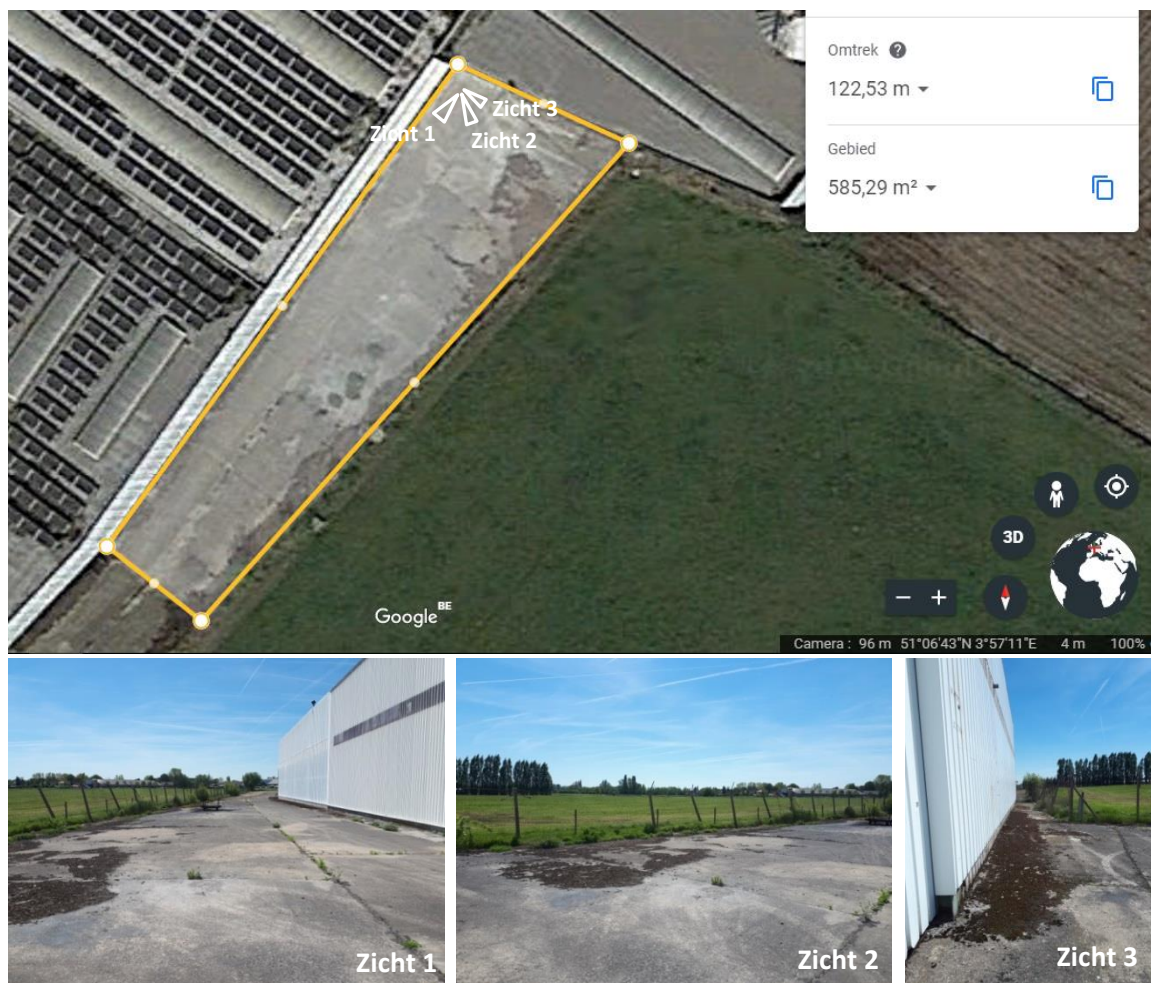
Om de resultaten van een versnelde veroudering te kunnen terugkoppelen naar de praktijk is het aangewezen het materiaal bloot te stellen aan een natuurlijke veroudering. Op deze manier kan de biologische impact en bevuilding van het oppervlak in rekening gebracht worden. Bovendien kunnen mogelijke fysicochemische processen die niet tijdens een kunstmatig verouderingsproces optreden in kaart gebracht worden.

Het proefterrein

In de loop van het eerste projectjaar werd in Lokeren een bestaand verhard terrein (ca. 590m²) ingericht tot operationeel proefterrein. Dit terrein heeft een gunstige zuidoostelijke oriëntatie richting en geeft geen schaduw langs oostelijke kant (deels), zuidelijke kant en zuidwestelijke kant. Noord en West liggen achter de gebouwen (zie Figuur 3, Figuur 4Figuur 22).

Op dit terrein werd een weerstation (Type WS-GP2) geplaatst om nauwkeurig de plaatselijke meteorologische gegevens te monitoren. De windsnelheid en -richting, neerslag, UV-straling, zonne-energie, temperatuur en relatieve vochtigheid worden op regelmatige basis geregistreerd met behulp van een datalogger (DeltaLink). Deze parameters geven inzicht in de mate van verwerking van het materiaal.

Er werd een overdekte ruimte voorzien waar de analyse van de stalen (fotografie, kleurmetingen, ...) gebeurde.



Figuur 3: luchtfoto van het proefterrein te Lokeren (beelden Google maps) en beelden van de omgeving.

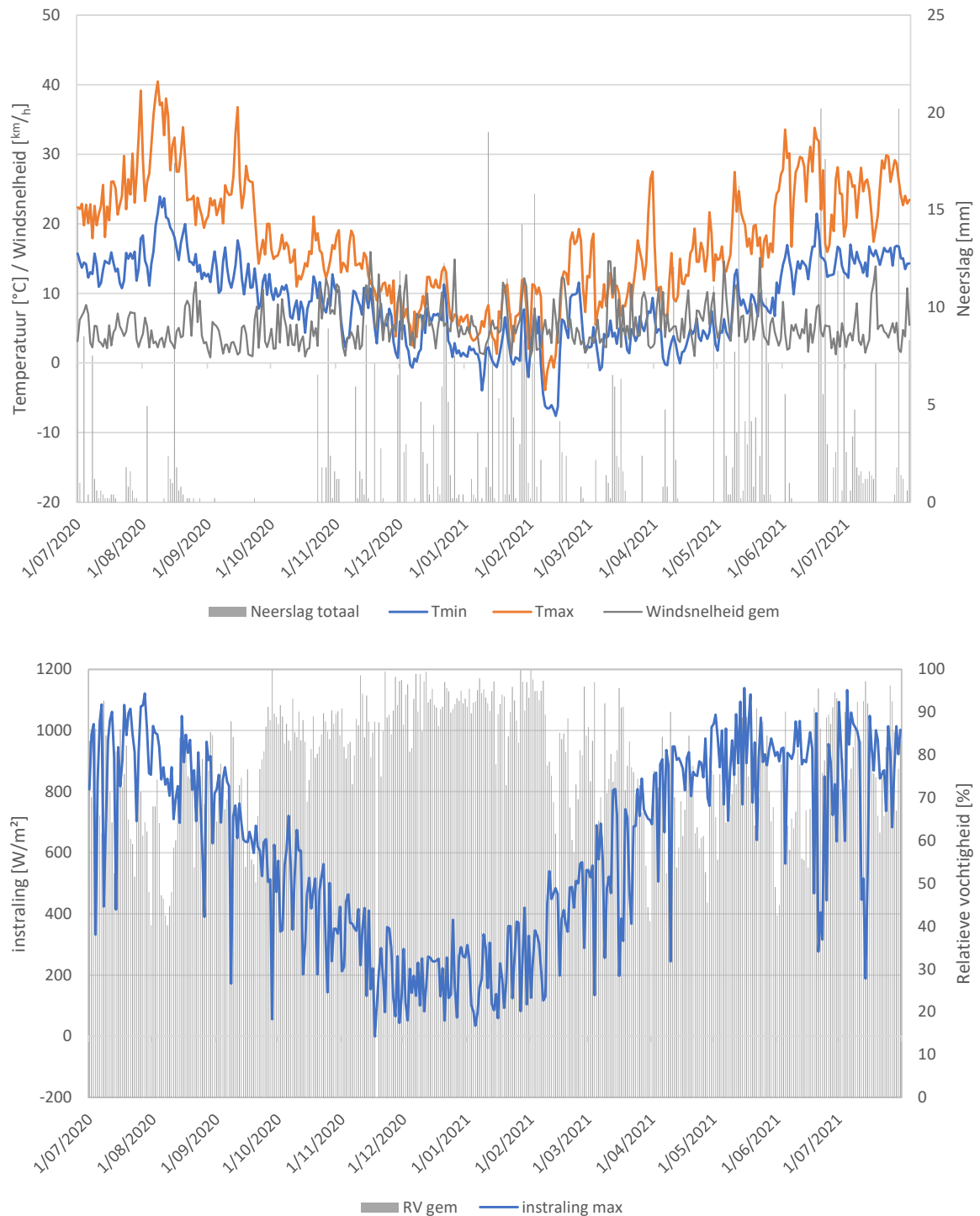


Figuur 4: Overzicht van het proefterrein met de verschillende testopzetten voor de natuurlijke veroudering en het weerstation.

De natuurlijke veroudering bestaat uit drie luiken.

De stalen werden initieel geëvalueerd en dan na maand 2, 6, en 12. Om de invloed van het vochtgehalte op de metingen te beperken werden de metingen uitgevoerd minstens twee dagen na de laatste neerslagperiode.

Een grafische voorstelling van de weersdata geregistreerd tijdens de periode van natuurlijke veroudering, van juli 2020 – juli 2021, werd weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Grafische weergave van de minimum- en maximumtemperatuur, de totale neerslag en de gemiddelde windsnelheid (boven), de maximuminstraling en de relatieve vochtigheid (onder) tijdens de periode van natuurlijke veroudering.

MultiFacade Exposure Rig (MFER)

In een eerste luik worden kleine stalen van het proefmateriaal (Tabel 1) met afmetingen in analogie met deze van de kunstmatige veroudering (afmeting (150 ± 2) mm x (74 ± 1) mm x (18 ± 1) mm (LxBxH)) bloot gesteld op een 'multifacade exposure rig' (MEFR, Figuur 23). Deze opstelling biedt de mogelijkheid om de proefstalen gelijktijdig te verweren in de verschillende windrichtingen onder een hoek van 90°, 45° en 180° (multiple exposure). Zo wordt een simulatie gemaakt voor respectievelijk gevelbekleding, buitenopstelling volgens EN 927-3 en terrasvloer.



Figuur 6: Drie multifacade exposure rigs zoals opgesteld op het proefterrein.

Gevelelementen

Uit een selectie van het materiaal zoals weergegeven in Tabel 1 worden gevelelementen opgebouwd. De planken worden in verticale richting gemonteerd. Drie verschillende hoogtes tot het vloerniveau worden toegepast: 1) voorgeschreven hoogte: 20 cm tot de vloer, 2) $\frac{1}{2}$ van de voorgeschreven hoogte: 10 cm en 3) op 3 cm hoogte. (Figuur 7Figuur 22). De gevelelementen worden naar het zuidwesten (neerslagzijde) gericht om de meest extreme verwerking te verkrijgen.



Figuur 7: De opstelling voor gevelelementen met blootstelling van 8 verschillende houtsoorten op drie verschillende hoogtes, al dan niet kops afgedicht.

Terrasvloeren

Uit een selectie van het materiaal zoals weergegeven in Tabel 1 worden terraselementen van 1m10 lang en ca. 0,5 m breed op ca. 12 cm van de betonvloer gemonteerd op een houten frame van geïmpregneerd grenen zoals weergegeven in Figuur 8. Elk terraselement werd opgebouwd uit drie verschillende planken.

De drie terrasplanken werden in drie delen verzaagd: 1 x 110 cm en 2 x 55 cm. Op deze manier werden drie planken van 110 cm in hun geheel bloot gesteld. De 55 cm lange planken werden op dezelfde rij gemonteerd zodoende het effect van een kopse verbinding na te gaan.

Daarnaast werd de bevestiging van de uiteinden van de planken op twee verschillende manieren uitgevoerd. Aan de ene zijde werd het uiteinde bevestigd op de draagbalk, aan de andere zijde werd de bevestiging op 25 cm afstand van het uiteinde gemaakt.



Figuur 8: De opstelling voor terraselementen waarbij 9 houtsoorten werden bloot gesteld.

2 Natuurlijke duurzaamheid en vochtgedrag

2.1 Natuurlijke duurzaamheid volgens CEN/TS 15083-1 + EN 84

2.1.1 Materiaal en methode

Om de biologische duurzaamheid van houtsoorten bij blootstelling aan weersinvloeden te bepalen, worden proefstalen met dimensies $(50 \pm 0,5)$ mm x $(25 \pm 0,5)$ mm x $(15 \pm 0,5)$ mm na een uitlogingsprocedure (EN84) bloot gesteld aan bepaalde fungi (CEN/TS 15083-1).

De uitlogingsprocedure omvat het impregneren en onderdompelen van proefstalen in gedemineraliseerd water, gevolgd door het conditioneren van de stalen bij 20 ± 2 °C en $65 \pm 5\%$ RV.

Na het conditioneren van de stalen tot het massaverschil na 24 u kleiner of gelijk is dan $\leq 0,01$ g, wordt de resistentie van de stalen tegenover wit- en bruinrot getest aan de hand van de testnorm CEN/TS 15083-1.

De proefstalen worden in een steriele en gecontroleerde omgeving (22 ± 2 °C en $70 \pm 5\%$ RV) bloot gesteld aan *Coniophora puteana* (stam: BAM Ebw. 15) en *Trametes versicolor* (stam: CTB 863A) (Figuur 991). Samen met de proefstalen worden ook virulentiestalen in de test opgenomen: grenenspint om de virulentie van *C. puteana* na te gaan en beuken om de virulentie van *T. versicolor* te testen. Indien het massaverlies van deze virulentiestalen op het einde van de test niet voldoet aan de vooropgestelde eisen (30% voor *C. puteana*; 20% voor *P. placenta* en *T. versicolor*), is de test niet geldig.



Figuur 9: proefstalen blootgesteld aan een zuivere cultuur van *Coniophora puteana* (bruinrot)

Na 16 weken wordt alle schimmel van de stalen verwijderd en wordt het massaverlies berekend op basis van de oevdroge massa's.

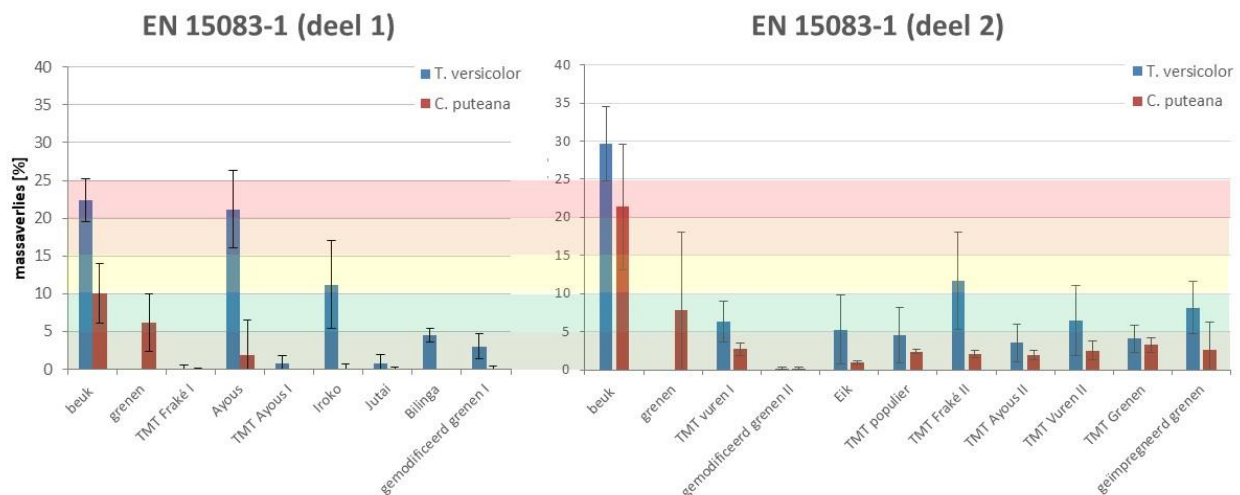
Uitgaande van het massaverlies van de proefstalen wordt aan de hand Tabel 3 een inschatting gemaakt van de biologische duurzaamheid van het hout gebruikt in buitenomstandigheden waarbij grondcontact vermeden wordt (gebruikersklasse 3.1 volgens EN335).

Tabel 3: Overzicht van de duurzaamheidsklassen en bijhorende eisen

Duurzaamheidsklasse	Omschrijving	Massaverlies (x)
I	Zeer duurzaam	$x \leq 5\%$
II	Duurzaam	$5\% < x \leq 10\%$
III	Matig duurzaam	$10\% < x \leq 15\%$
IV	Weinig duurzaam	$15\% < x \leq 30\%$
V	Niet duurzaam	$> 30\%$

2.1.2 Resultaten

In een eerste deel van de duurzaamheidstest werden voornamelijk tropische loofhoutsoorten getest op hun natuurlijke duurzaamheid, naast twee types thermisch gemodificeerd en één type chemisch gemodificeerd hout. In een tweede deel werden voornamelijk thermisch gemodificeerde houtsoorten getest. Een grafisch overzicht van de geregistreerde massaverliezen bij blootstelling aan de bruinrotschimmel *Coniophora puteana* en de witrotschimmel *Trametes versicolor* werd gegeven in Figuur 10102.



Figuur 10: Staafdiagram van de gemiddelde massaverliezen met aanduiding van de standaardafwijking na 16 weken blootstelling aan *C. puteana* (rood) en *T. versicolor* (blauw)

Voor beide proefopzetten volstond de virulentie van de schimmel *C. puteana* niet omdat het massaverlies voor het onbehandelde grenenspint slechts 6,17 % en 7,83 % bedroeg. De resistentie van de houtsoorten tegen **bruinrot** kon bijgevolg niet absoluut beoordeeld worden. Relatief gezien waren de thermisch gemodificeerde houtsoorten gevoeliger voor bruinrot dan tropisch loofhout of de andere gemodificeerde houtsoorten. Eik, Ayous en geïmpregneerd grenen vertoonden gelijkaardige massaverliezen dan het thermisch gemodificeerde hout.

De virulentie van de witrotschimmel *T. versicolor* is met 22,37 % en 29,72 % massaverlies bij beuk wel voldoende (> 20 %). Bijgevolg konden op basis van deze resultaten wel absolute uitspraken gedaan worden over de natuurlijke duurzaamheid van de geteste houtsoorten tegen **witrot**.

De kleinste massaverliezen werden genoteerd voor de thermisch behandelde loofhoutsoorten. Naast het TMT Fraké en TMT Ayous kende ook Jutai nauwelijks massaverlies. Een significant groter massaverlies werd waargenomen bij Bilinga en gemodificeerd grenen I. Niettemin worden deze houtsoorten allen als zeer duurzaam beschouwd (massaverlies < 5 %).

Iroko vertoonde een massaverlies van gemiddeld 11,19 % en werd bijgevolg geklasseerd als een matig duurzame houtsoort (DC III). Dit is in tegenstelling met de literatuur waar Iroko als zeer duurzaam tot duurzaam beschouwd wordt (DC I – II). Ayous werd beoordeeld als weinig duurzaam (DC IV) met een gemiddeld massaverlies van 21,16%. Ayous werd hierbij beter beoordeeld dan wat in de literatuur werd gevonden (DC V).

In tegenstelling tot het resultaat uit de eerste proefopzet werd in de tweede proefopzet, die vier weken langer duurde, het grootste massaverlies vastgesteld bij thermisch gemodificeerd Fraké (DC: III; matig duurzaam). Aan eik, thermisch gemodificeerd vuren en geïmpregneerd grenen kon een

duurzaamheidsklasse 2 toegekend worden (duurzaam). De overige gemodificeerde (zowel thermisch als chemisch) vertoonden weinig aantasting en kunnen bijgevolg als zeer duurzaam tegen witrot beschouwd worden.

Besluit

Zowel modificatie als impregnatie hebben een significante, positieve invloed op de natuurlijke duurzaamheid van hout. Het chemisch gemodificeerde hout vertoonde de hoogste duurzaamheid. Binnen de thermische modificatie werden verschillen vastgesteld tussen verschillende modificatieprocessen. Ook de houtsoort die gemodificeerd werd heeft een significante invloed op de duurzaamheid van het eindproduct. Het geteste tropisch loofhout met hoge densiteit en eik hadden een duurzaamheid vergelijkbaar met deze van het thermisch gemodificeerde hout.

2.2 Vochtdynamiek

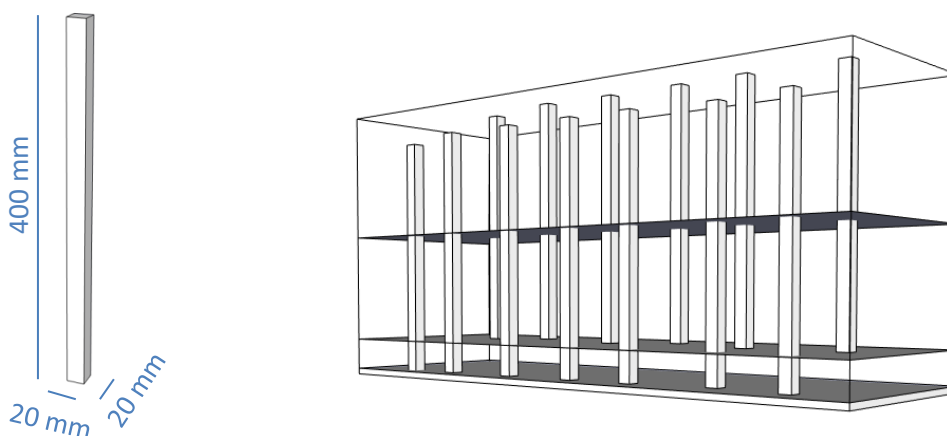
Met deze methode wordt de gevoeligheid voor wateraccumulatie van het materiaal bepaald. Water zal zich opstapelen wanneer de vochtopname hoog is en de vochtafgifte laag. De vochtdynamiek of de snelheid van waterabsorptie en vocht-desorptie ten opzichte van het gemiddelde absorptie- en desorptiepatroon, wordt geëvalueerd volgens de proefopzet beschreven in de BRL 0605 (§2.2.1) en de CEN/TS 16818 (§2.2.2).

2.2.1 Wateropname en –afgifte volgens BRL0605

Materiaal en methode

Voor de bepaling van de wateropname volgens de BRL 0605 worden uit drie verschillende planken van elke houtsoort of -behandeling telkens 15 stalen met afmetingen 20 mm x 20 mm x 400 mm (LxBxH) gebruikt (= 45 stalen).

Na klimatisatie bij 20 ± 2 °C en $65 \pm 5\%$ RV tot constante massa (tot op 0,2 g nauwkeurig) worden per plank 12 stalen in een afsluitbare bak met 5 tot 10 mm gedemineraliseerd water gezet. De overige 3 stalen worden in dezelfde bak geplaatst, maar niet in het water. De staken staan vrij van elkaar. De wateropname vindt plaats door respectievelijk kopse opzuiging van het water en door de hygroscopiciteit ten gevolge van de hoge luchtvochtigheid.



Figuur 11: afmetingen staal (links) en schematische tekening van de proefopzet (rechts)

Om de wateropname te bepalen worden de stalen uit de bak genomen, wordt het overtollige water verwijderd en worden de stalen gewogen tot op 0,01g nauwkeurig na 1u, na 24 en vervolgens na 2, 3, 7, 14 en 21 dagen. Na een periode van vochtopname vindt een periode van vochtafgifte plaats. De stalen worden daartoe opnieuw in een klimaatkamer gebracht bij $20\pm 2^\circ\text{C}$ en $65\pm 5\%$ RV. De stalen staan op minstens 1 cm van elkaar om luchtcirculatie toe te laten. Tijdens deze fase vinden na 1u en 24u en vervolgens na 2, 3, 7 en 14 dagen massabepalingen plaats tot op 0,01g nauwkeurig.

De wateropname en –afgifte werden berekend aan de hand van onderstaande formule:

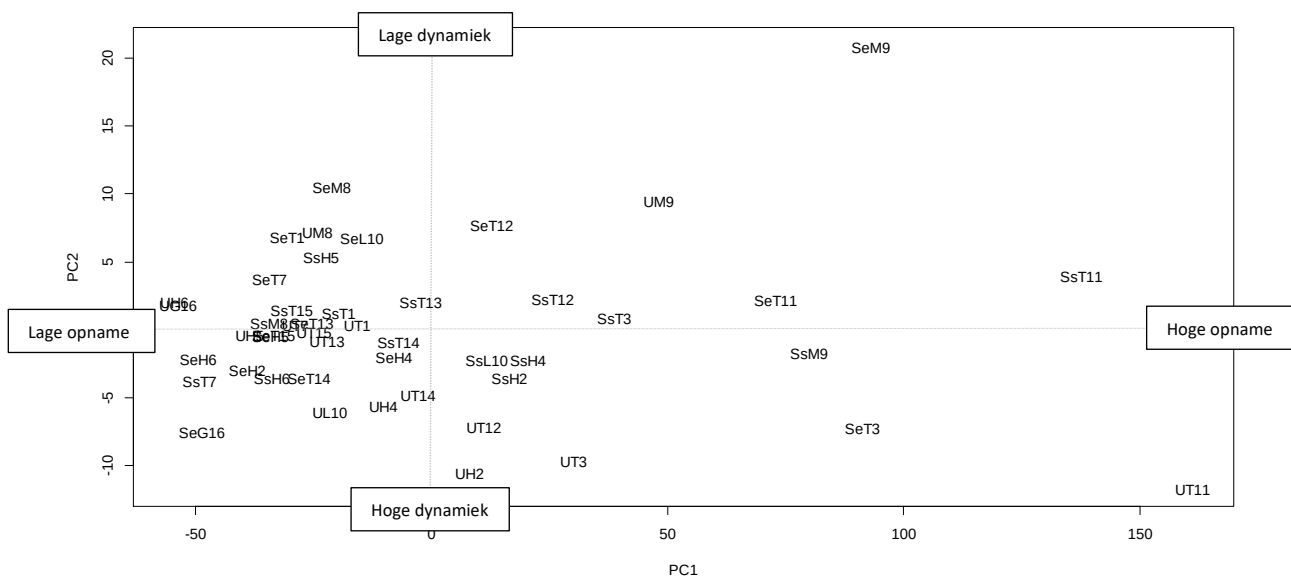
$$W_i = (m_{wi} - m_{w0}) - (m_{di} - m_{d0})$$

Met W_i : wateropname/afgifte op tijdstip i (g);
 m_{wi} : massa staal wateropname/afgifte op tijdstip i (g)
 m_{w0} : massa staal wateropname/afgifte op tijdstip 0 (g)
 m_{di} : massa staal waterdampopname/afgifte op tijdstip i (g)
 m_{d0} : massa staal waterdampopname/afgifte op tijdstip 0 (g)

De proef werd herhaald met stalen waarvan het kopse vlak wordt afgedicht en met stalen met open kops vlak maar met afgedichte zijwanden.

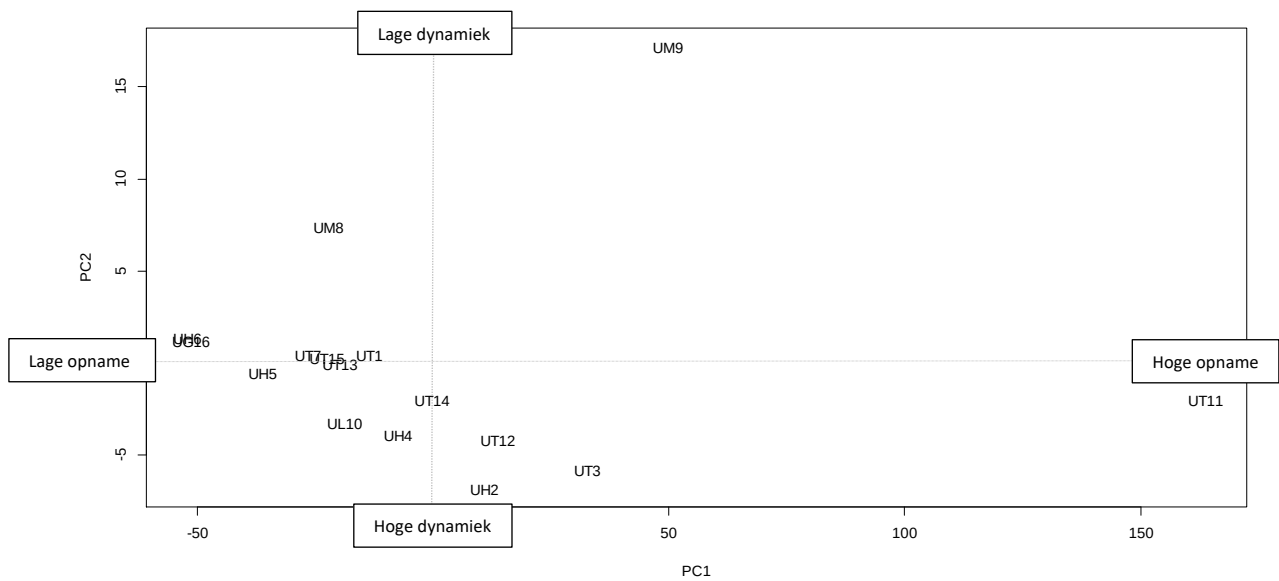
Resultaten

Functionele data-analyse (FDA) en principale componentenanalyse (PCA) maken het mogelijk om het vochtverloop van alle houtsoorten bij de verschillende proefopzetten te vergelijken. Onderstaande PCA geeft duidelijk aan dat de verschillende proefopzetten weinig verschil in data-analyse geven (Figuur 12/124).

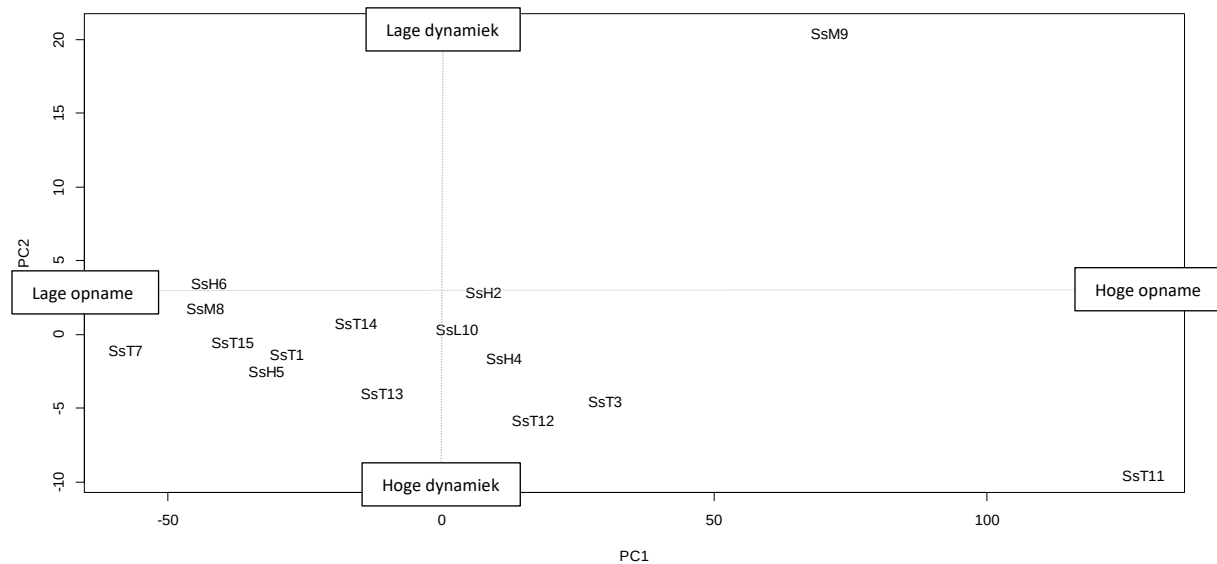


Figuur 12: PCA op basis van de gemiddelde wateropname/afgifte (W_i) van de onderzochte houtsoorten.

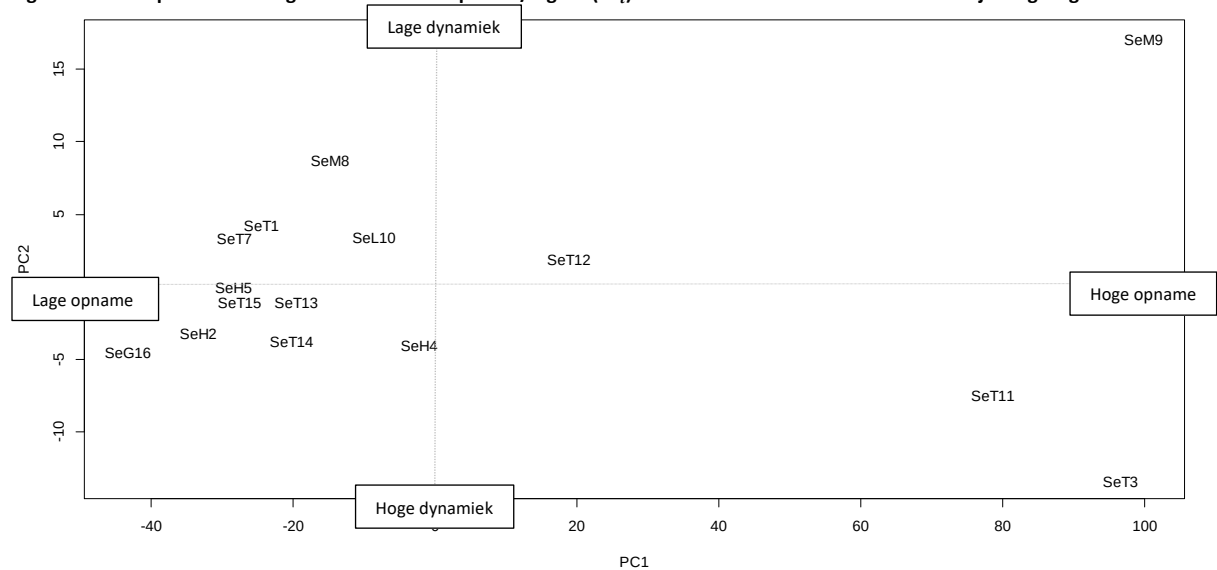
De vochtopname, weergegeven door de eerste principale component (PC1), gaf het grootste onderscheidend vermogen (97,3%). PC2 weerspiegelde de vochtdynamiek en verklaarde slechts 1,4% van de variatie binnen de geteste houtsoorten.



Figuur 13: PCA op basis van de gemiddelde wateropname/afgifte (W_t) van de onderzochte houtsoorten die niet afgedicht werden.



Figuur 14: PCA op basis van de gemiddelde wateropname/afgifte (W_t) van de onderzochte houtsoorten die zijdelings afgedicht werden.



Figuur 15: PCA op basis van de gemiddelde wateropname/afgifte (W_t) van de onderzochte houtsoorten die kops afgedicht werden.

Hoewel de verschillende proefopzetten gelijkaardige resultaten gaven, kon uit Figuur 12124 afgeleid worden dat de niet-gesealde stalen (U_{xx}) een hogere vochtopname vertoonden dan de kops (S_{exx}) of zijdelings (S_{sxx}) gesealde stalen. Het verschil tussen kops of zijdelings gesealde stalen uitte zich in de vochtdynamiek. De snelheid van vochtopname en -afgifte lag algemeen lager bij de kops gesealde stalen dan bij de zijdelings gesealde stalen. Bij thermisch en chemisch gemodificeerd hout werd dit niet altijd waargenomen. Hieruit kon afgeleid worden dat de vochtdynamiek gestuurd werd door de vochtopname en -afgifte via de kopse uiteinden en dat modificatie een significante invloed heeft op de waterhuishouding van hout. Dit resultaat lag in de lijn der verwachtingen.

De wateropname en -afgifte werd meer in detail bekeken voor elke proefopzet afzonderlijk (Figuur 13135, Figuur 14146 en Figuur 15157). Zo kon voor elk type staal een meer in detail geëvalueerd worden. Voor het gemodificeerde hout werd een onderscheid gevonden tussen een thermisch gemodificeerd hout (xT_{xx}), dat snel water opneemt en snel water afgeeft, en chemisch gemodificeerd hout (xM_{xx}), dat een trage wateropname en -afgifte kende. Thermisch gemodificeerd hout staat gekend voor een snelle wateropname en snelle waterafgifte. Het hout houdt het water niet vast omdat de celwanden hydrofoob gemaakt werden. Afhankelijk van het thermische modificatieproces zal deze hydrofobering meer of minder uitgesproken zijn. Bij chemische modificatie wordt nog altijd water vastgehouden in het hout.

Bij verduurzaamd hout (xT_{xx}) werd de hypothese geopperd dat het hout veel vocht zou opnemen en vasthouden door de aanwezigheid van zouten in het verduurzamingsmiddel. Dit is niet gebleken uit de proeven. Verduurzaamd hout vertoonde in deze proefopzet eerder een waterafstotend gedrag waarbij weinig water werd opgenomen en het water met een gemiddelde snelheid weer werd afgegeven.

Loofhout, al dan niet tropisch, gaat evenredig aan de densiteit water opnemen. Loofhout vertoonde een gemiddelde waterhuishouding. Dit effect werd niet gezien wanneer de stalen aan de kopse uiteinden afgedicht werden.

2.2.2 Wateropname en –afgifte volgens CEN/TS16818

Materiaal en methode

Uit drie planken van elke houtsoort werden telkens 5 stalen van $50 \times 50 \times 18 \text{ mm}^3$ ($L \times B \times H$). De proefstalen werden aan de zijden (H) driemaal afgedicht met een tweecomponenten polyurethaanlak. De stalen werden geconditioneerd bij $20 \pm 2^\circ \text{C}$ en $65 \pm 5\% \text{ RV}$.

De stalen met dimensie $50 \times 50 \times 18 \text{ mm}^3$ werden met een niet-gesealde zijde gedurende 144u op gedemineraliseerd water gelegd. De grote stalen werden volledig ondergedompeld in gedemineraliseerd water. Het drijven of onderdompelen werd na 10 min, 1u, 4u, 8u, 24u, 48u, 72u en 144u kort onderbroken om de stalen droog te deppen en achtereenvolgens te wegen. De absorptiefase werd onmiddellijk gevolgd door een 72u durende desorptiefase in een geklimatiseerde ruimte bij $20 \pm 2^\circ \text{C}$ en $65 \pm 5\% \text{ RV}$ waarbij de stalen met een smalle zijde rechtop werden geplaatst zodat 5 zijden van elk staal door een luchtstroom omgeven werden. De stalen werden gewogen na 1u, 4u, 8u, 24u, 48u, 72u, 96u en 144u.

Na de desorptiefase werd de ovendroge massa, m_0 , bepaald door de stalen gedurende 24u bij $103 \pm 2^\circ \text{C}$ te drogen. Het vochtgehalte op tijdstip t werd berekend met behulp van volgende formule:

$$mc_t (\%) = [(m_t - m_0) / m_0] * 100$$

met m_t de massa van het staal op tijd t

De hoeveelheid geabsorbeerd (a_{72}) en gedesorbeerd vocht (d_{72}) na respectievelijk 72u absorptie en 72u desorptie werden berekend aan de hand van volgende formules:

$$a_{72} = mc_{72} - mc_i$$

$$d_{72} = mc_{72} - mc_{144}$$

met mc_i = het initiële vochtgehalte na conditionering, mc_{72} = het vochtgehalte na 72u absorptie, mc_{144} = het vochtgehalte na 72u desorptie.

Het resterende percentage vocht dat in het staal blijft na 72u desorptie, rm_{72} , werd berekend aan de hand van volgende formule:

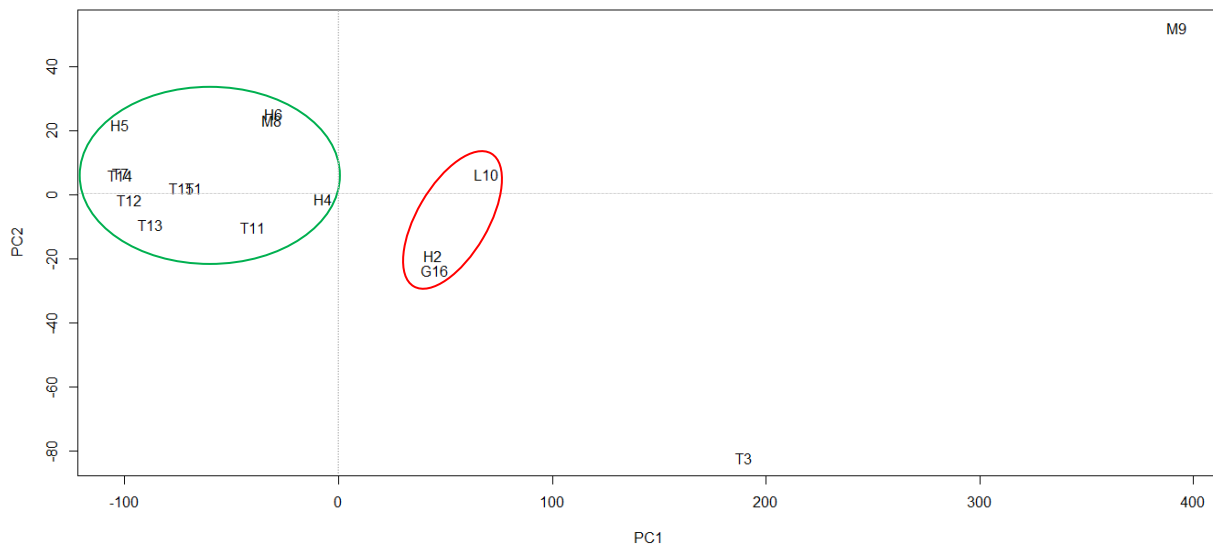
$$rm_{72} = a_{72} - d_{72}$$

De dompelproef werd eveneens herhaald met stalen waarvan enkel beide kopse vlakken werd afgedicht.

Resultaten

Op basis van de vochtproef zoals beschreven in de technische standaard CEN/TS 16818 worden met behulp van functionele data-analyse en principale componenten analyse vier groepen onderscheiden (Figuur 168). Het onderscheid (94,7% van de variatie) wordt vooral gemaakt op basis van de hoeveelheid vocht die opgenomen wordt ten opzichte van het gemiddelde (PC1). 4,5% van de variatie wordt verklaard door het verschil in vochtdynamiek (PC2). Het verschil in vochtdynamiek uit zich door een hoge of lage wateropname gecombineerd met een respectievelijk een hoge of een lage vochtafgifte. In het eerste geval kunnen de dimensionale veranderingen het hout groter zijn dan in het tweede geval met eventueel meer barstvorming tot gevolg.

Thermisch gemodificeerd hout (T) en tropisch loofhout (H) met hoge densiteit nemen vergelijkbare hoeveelheden water op. Het thermisch gemodificeerd hout zal daarbij een hogere dynamiek vertonen dan het loofhout. Eik, het niet-gemodificeerde Ayous en geïmpregneerd grenen worden ook samen gegroepeerd. Hierbij vertoont eik een lagere dynamiek dan de andere houtsoorten. Het licht gemodificeerde Ayous vormt de 3^{de} groep, gekenmerkt door een hoge vochttopname en hoge dynamiek. In de 4^{de} groep bevindt zich het gemodificeerde hout met een hoge vochttopname en lage vochtdynamiek.



Figuur 16: PCA op basis van de gemiddelde vochtopname en -afgifte van de onderzochte houtsoorten.

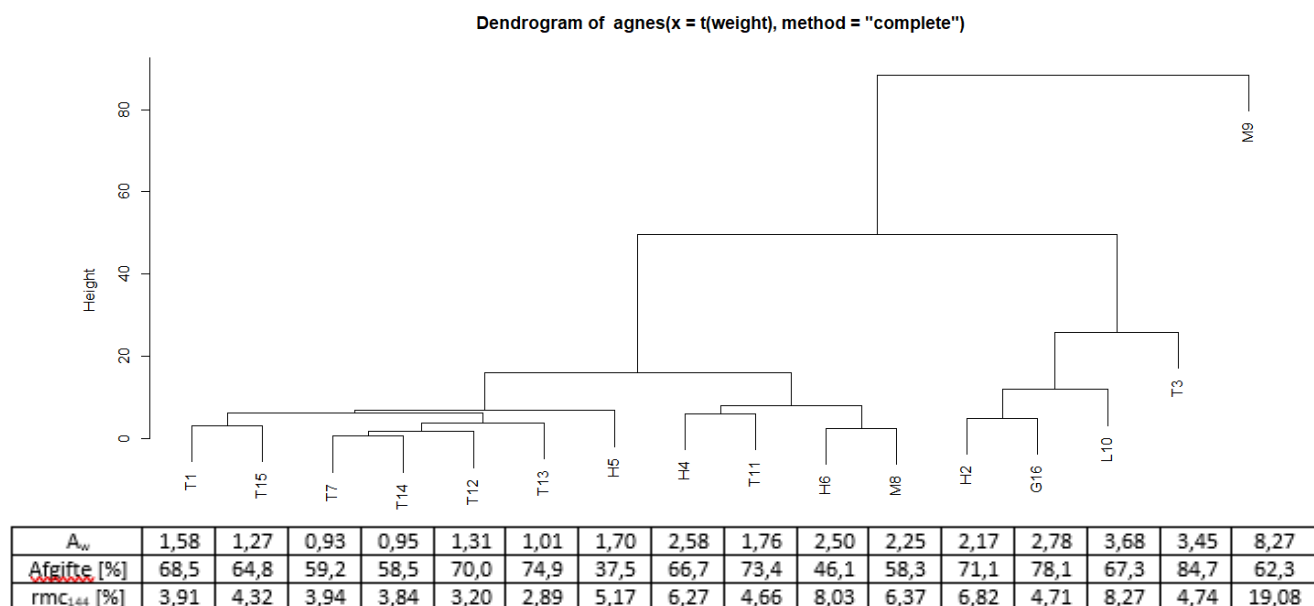
Uit deze clusteranalyse kan afgeleid worden dat het thermische modificatieproces een opvallende impact heeft op de vochtopname. Met een gemiddelde absorptiecoëfficiënten (A_w) van $1,25 \pm 0,3$ blijft de vochtopname beperkt. Gemiddeld wordt $66,0\% \pm 6,4\%$ van het opgenomen water terug vrijgegeven na 144u waardoor het vochtgehalte na de vochtcyclus (rmc_{144}) gemiddeld $3,68\% \pm 0,53\%$ is toegenomen. De andere modificatieprocessen (M8 en M9) vertonen een gelijkaardige percentage van waterafgifte, maar door de hogere A_w blijft alsnog een aanzienlijke hoeveelheid vocht in het hout aanwezig (rmc_{144} resp. $2,25\%$ en $8,27\%$).

Niet-gemodificeerd hout laat zich in twee groepen opdelen: 1) tropisch loofhout met hoge dichtheid met vochtprofielen vergelijkbaar met deze van thermisch gemodificeerd hout en 2) tropisch loofhout met lage dichtheid en inheems loofhout met vochtprofielen vergelijkbaar met deze van geïmpregneerd hout.

Tropisch hout met hoge dichtheiten vertoonde een hogere vochtopname met een gemiddelde A_w van $2,26 \pm 0,4$. Bovendien gold dat hoe hoger de dichtheid van het hout was, hoe minder vocht werd afgegeven, resulterend in een gemiddelde toename van het vochtgehalte met $6,46\% \pm 1,18\%$.

De laatste te onderscheiden groep omvat de houtsoorten met een gemiddelde A_w van $3,02 \pm 0,68$. In combinatie met een hoge afgifte waarbij gemiddeld 75% van het opgenomen water werd vrijgegeven, bleef de toename in vochtgehalte na de vochtproef beperkt tot $6,14\% \pm 1,73\%$. Deze rmc_{144} is vergelijkbaar met de rmc_{144} van de tropische houtsoorten met hoge dichtheiten.

Figuur 179 geeft een overzicht van de groepen met de bijhorende gemiddelde waarden voor de absorptiecoëfficiënt (A_w), de vochtafgifte en het residuele vochtgehalte (rmc_{144})



Figuur 17: Dendrogram als classificatiemethode van de verschillende houtsoorten met aanduiding van absorptiecoëfficiënt (A_w), de vochtafgifte en het residuele vochtgehalte (rmc_{144}) per houtsoort (gemiddelde van 6 proefstalen).

Besluit

Modificatie heeft een significante invloed op de waterhuishouding van hout. Chemische modificatie zorgde voor een lage vochtdynamiek waardoor nog een aanzienlijke hoeveelheid vocht in het hout aanwezig bleef. Thermische gemodificeerd hout vertoonde een hoge vochtdynamiek gekenmerkt door een beperkte vochtopname en hoge vochtafgifte. Het thermisch modificatieproces had een significante invloed op de waterhuishouding. De wateropname en -afgifte van tropisch loofhout met hoge dichtheid was vergelijkbaar met deze van thermisch gemodificeerd hout. Tropisch loofhout met lage dichtheid en inheems loofhout hadden analoge vochtprofielen aan deze van verduurzaam naaldhout.

De verschillen in snelheid van vochtopname en -afgifte, de vochtdynamiek, werden voornamelijk gestuurd door de vochtopname en -afgifte via de kopse uiteinden.

3 Kleur

3.1 Inleiding

De kwantitatieve bepaling van de kleur van het houtoppervlak gebeurt door middel van een spectrofotometer. Hierbij worden volgende specificaties in acht genomen:

- Standaard observer: 10°
- Standaard illuminant: D65: tabelwaarden die een lichtbron vertegenwoordigen met een kleurtemperatuur van 6504 K (daglicht)

De keuze van de meest geschikte spectrofotometer voor een bepaalde toepassing, houdt in dat een welbepaalde meetgeometrie dient te worden gekozen, alsook een welbepaalde diameter van de meetopening van het meettoestel.

De meetgeometrie van een spectrofotometer wordt bepaald door

- de wijze waarop het oppervlak wordt belicht
- de wijze waarop het door het oppervlak gereflecteerde licht door het toestel wordt gecapteerd

Algemeen worden 2 categorieën meetgeometrieën gebruikt: directioneel en diffuus.

De directionele geometrie heeft typisch een belichtingshoek van 45° en een meethoek van 0°: meetgeometrie "45°/0°". De geometrie "0°/45°" heeft een belichting onder 0° en een meethoek van 45°. Beide meetgeometrieën sluiten de speculaire reflectie uit in de meting. Deze meetgeometrie genereert metingen die overeenstemmen met visuele veranderingen in het uitzicht van een oppervlak, te wijten aan wijzigingen in pigmentatie en oppervlakteglans of textuur.

Meetinstrumenten met diffuse meetgeometrie maken gebruik van een wit gecoate sfeer om het staal diffuus te belichten. De meting gebeurt onder een hoek van 8° (d/8°). De speculaire reflectie is in de meting inbegrepen (Specular Component Included, SCI). Verschillen te wijten aan het oppervlak worden hiermee niet weergegeven; wanneer kleurverschillen worden gemeten is dit puur aan pigmentkleur gelinkt.

Wanneer de correlatie met de visuele beoordeling voorop wordt gesteld, wordt algemeen voor een meetgeometrie 45°/0° geopteerd. Indien de pigmentatie wordt beoordeeld, onafhankelijk van de textuur van het oppervlak, is de meetgeometrie d/8° aangewezen (ISO 18314-1). In ISO 18314-1 wordt tevens vermeld dat de grootst mogelijk meetopening dient te worden gebruikt.

CIELAB

De Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) definieerde in 1976 de CIEL*a*b-kleurenruimte. Elk punt in deze kleurenruimte kan worden gekarakteriseerd met behulp van de cartesische coördinaten L*, a* en b*, waarbij:

- L*: helderheid, varieert van 0 (ideaal zwart) tot 100 (ideaal wit)
- a*: rood-groene component, gaande van -a* (groen) tot +a* (rood)
- b*: geel-blauwe component, gaande van -b* (blauw) tot +b* (geel)

Het kleurverschil tussen twee punten in de kleurenruimte kan bepaald worden door de vectoriële afstand tussen deze twee kleurenpunten. De meest gekende en de eenvoudigste kleurverschilformule is de CIELAB-formule. Het totaal kleurverschil ΔE^* volgens de CIELAB-formule wordt berekend aan de hand van de verschillen Δ tussen beide punten per parameter L*, a* en b*:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Bij het gebruik van ΔE^* dient altijd in beschouwing te worden genomen dat de kleurenruimte niet uniform is en mathematisch gelijke afstanden bijgevolg niet steeds beantwoorden aan gelijke visuele kleurverschillen. De waarneming van kleurverschillen is dus kleurafhankelijk.

3.2 Methodiek

De kleurmetingen werden uitgevoerd met een spectrofotometer (Miniscan EZ, Hunterlab) met meetopening 25 mm, meetgeometrie 45°/0°, standard illuminant D65 en standard observer 10°.

Voor het uitvoeren van kleurmetingen op houtoppervlakken zonder afwerkingslaag zijn geen specifieke normen beschikbaar. In het kader van de versnelde veroudering van gecoate houtoppervlakken in buitentoepassing, beschrijven de EN 927-3 en EN 927-6 hoe de kleur van het houtoppervlak dient te worden opgemeten voor en na veroudering onder invloed van respectievelijk natuurlijke veroudering, UV-licht en vocht.

Naar analogie met de methode beschreven in deze norm, worden de metingen voor de buitenopstellingen als volgt uitgevoerd:

- Stalen van (150 ± 2) mm $\times$ (74 ± 1) mm en (18 ± 1) : 5 metingen (cfr. PT-07-T20)
- Bij de grote stalen zoals deze gebruikt in de buitenopstellingen worden 3 verschillende blokken/zones van 30 cm afgebakend in functie van de lengte van de planken (boven-midden-onder). Er worden 5 metingen uitgevoerd per afgebakende zone. Om randeffecten te vermijden worden de metingen uitgevoerd op minstens 10 cm afstand van de kopse uiteinden van de plank en in het midden van de plank. Hierbij wordt getracht om knopen, bevestigingselementen en harsafzettingen, indien aanwezig, te vermijden.

Gezien het snelle verloop van de kleurveranderingen (Ayadi et al., 2003; Oltean et al., 2008; Pastore et al., 2004; Baar & Gryc, 2012) werden de kleurmetingen zoals beschreven in de eerste natte subcyclus telkens uitgevoerd na 24u. Nadien werden kleurmetingen uitgevoerd na elke subcyclus gedurende de eerste drie cycli. Na drie cycli worden de kleurmetingen uitgevoerd na elke cyclus. Voorafgaand aan de metingen worden de stalen gedurende 24u geconditioneerd bij 20 °C en 65% R.V. om de invloed van het vochtgehalte en de temperatuur te beperken.

3.3 Resultaten

3.3.1 Natuurlijke veroudering

De veroudering onder natuurlijke omstandigheden werd gedurende één jaar opgevolgd voor de terrassen, de gevelbekleding en de MFER op de proefsite in Lokeren. Kleurmetingen werden uitgevoerd op de terrassen op het moment van plaatsing, na 2 weken, 2 maanden en na één jaar blootstelling. Voor de gevelbekleding was dit initieel, na 2 maanden en na één jaar buitenexpositie. De kleur werd gemeten voor de stalen op de MFER op het moment van plaatsing, na 2 weken, 6 maanden en na één jaar blootstelling aan weer en wind.

Natuurlijke veroudering in horizontale expositie: terrassen

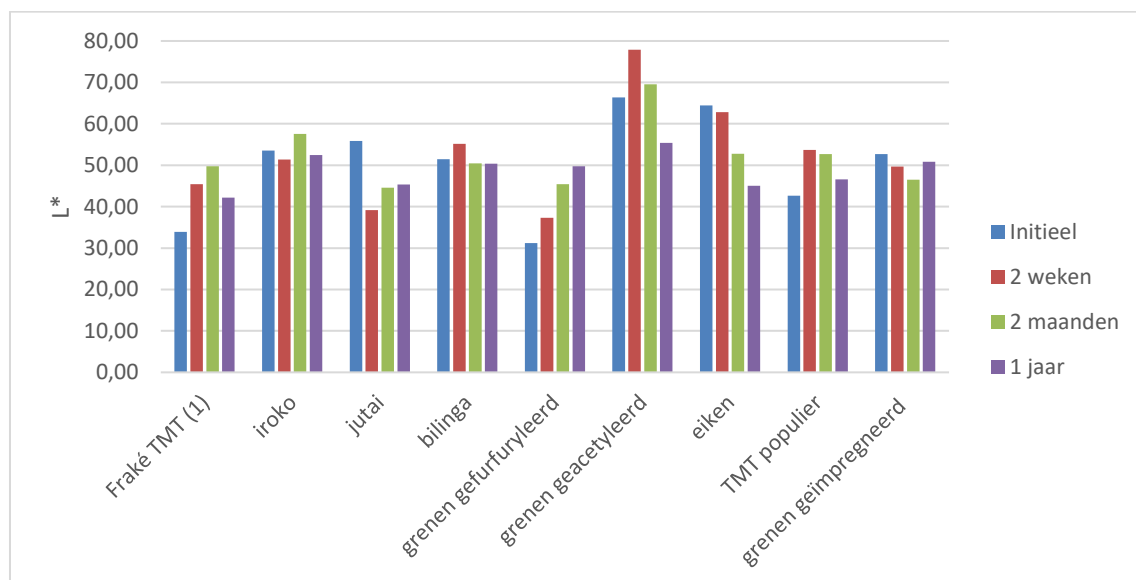
De gemodificeerde houtsoorten (gefurfuryleerd en geacetyleerd grenen, thermische gemodificeerde populier en fraké) vertoonden gedurende de eerste 2 weken een toename in **L*-waarde** (Figuur 18). Hierna begonnen het thermisch gemodificeerde fraké en populier te verdonkeren. Het thermische

gemodificeerde fraké werd in eerste instantie nog wat lichter, om na 2 maand te een daling in L*-waarde te vertonen. Het gefurfuryleerde grenen daarentegen vertoonde gedurende het volledige eerste jaar blootstelling een toename in L*-waarde.

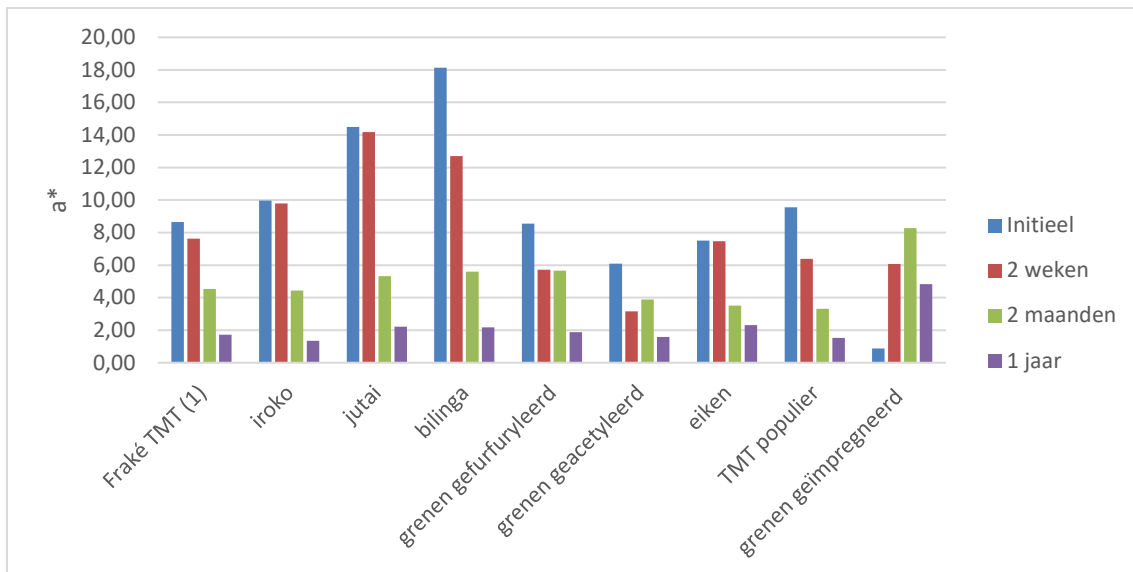
De niet-gemodificeerde houtsoorten vertoonden een ander verouderingspatroon met beperkte fluctuaties in L*-waarde voor bilinga, iroko en geïmpregneerd grenen. Jutai werd dan weer eerst donkerder en vervolgens terug bleker. Eiken kende gedurende het volledige eerste jaar een verdonkering.

De **a*-waarde** nam voor alle houtsoorten af tot een eindniveau van 1,5 à 2,4 na 1 jaar: het oppervlak werd minder rood (Figuur 19). Enkel geïmpregneerd grenen vormde hierop een uitzondering en kende een toename in a*-waarde tot 4,8 na één jaar veroudering.

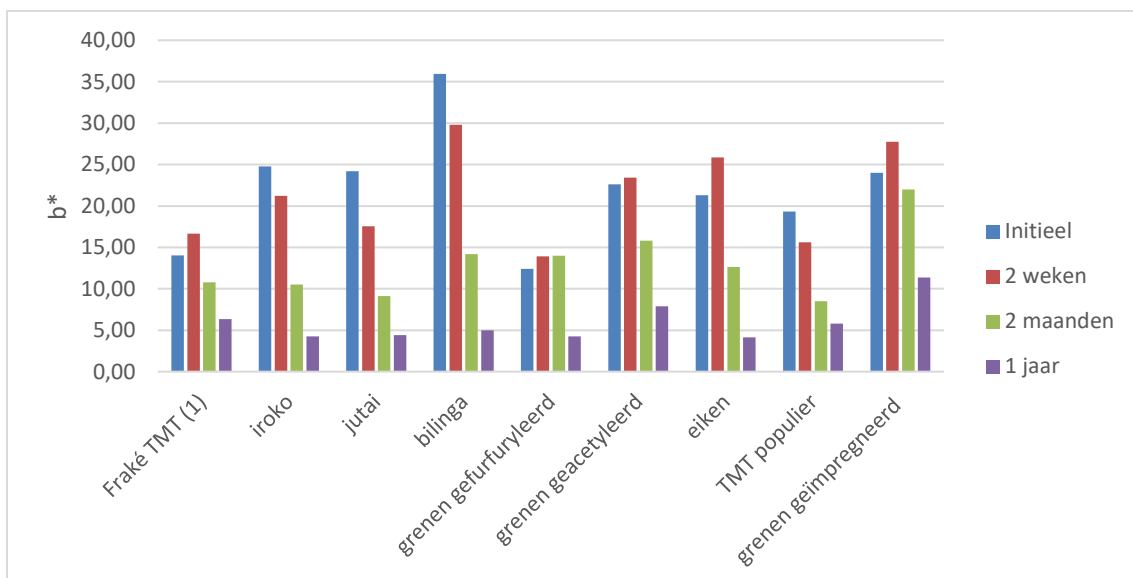
Jutai, eiken, thermisch gemodificeerd fraké en gefurfuryleerd grenen vertoonden eerst een toename in **b*-waarde**, om vervolgens samen met de andere houtsoorten minder geel te worden tot een b*-waarde tussen 4,2 en 6,3 (Figuur 20). Voor geacetyleerd en geïmpregneerd grenen lag de waarde na 1 jaar iets hoger met respectievelijk een b*-waarde van 7,9 en 11,4.



Figuur 18: L*-waarde in functie van de tijd voor de houtsoorten in horizontale opstelling



Figuur 19 a*-waarde in functie van de tijd voor de houtsoorten in horizontale opstelling



Figuur 20 b*-waarde in functie van de tijd voor de houtsoorten in horizontale opstelling

Natuurlijke veroudering in verticale expositie: gevelbekleding

Thermoayous en thermogrenen vertoonden voor de 3 parameters een gelijkaardig verloop. De waarden voor L*, a* en b* (resp. Figuur 20, Figuur 21, Figuur 22) benaderden elkaar bovendien ook zeer sterk voor beide houtsoorten, hoewel de afname in a*-waarde gedurende de eerste 2 maanden iets sneller verliep voor thermoayous.

Van de 6 geselecteerde houtsoorten voor de gevelbekleding vertoonde geïmpregneerd grenen de kleinste variatie in L*-waarde in een tijdsspanne van 1 jaar, en de grootste variatie in a*-waarde. Voor de parameters a* en b* werden de hoogste waarden opgemeten voor geïmpregneerd grenen na 1 jaar blootstelling in verticale opstelling. De waarden voor de overige houtsoorten lagen dicht bij 0, en waren bijgevolg al meer vergrijsd.

De veroudering van de horizontale oppervlakken (terrassen) verloopt duidelijk sneller dan deze voor de verticale oppervlakken (gevelbekleding) voor de parameters a* en b*, zichtbaar als een meer uitgesproken vergrijzing.

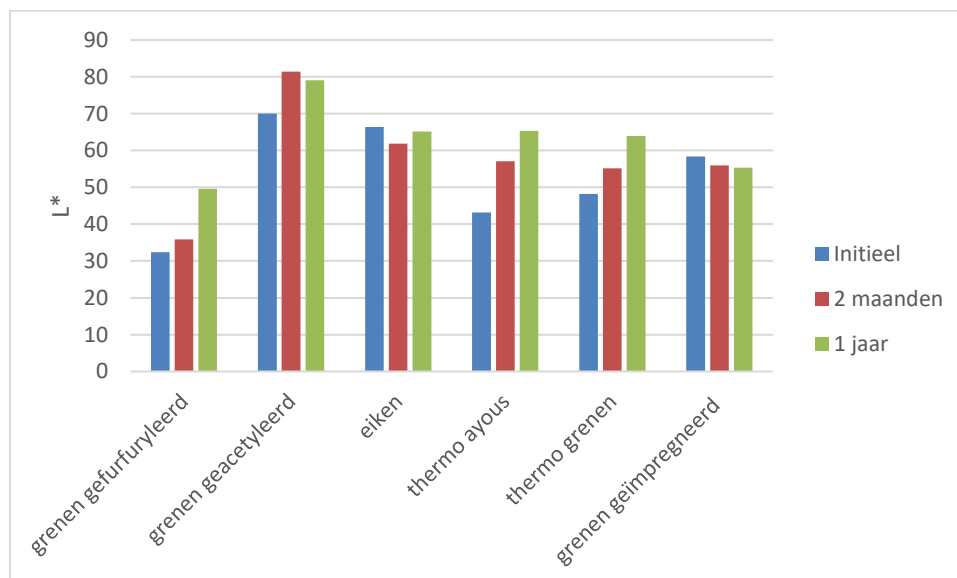
Voor de L*-waarde is de versnelde afname voor de horizontale blootstelling ook zichtbaar voor geacetyleerd grenen, eiken en geïmpregneerd grenen. Voor het gefurfuryleerd grenen daarentegen is de toename in L*-waarde (lichter worden van kleur) na 1 jaar gelijk voor gevelbekleding en terras.

Natuurlijke veroudering in diverse exposities: MFER (zie Annex C)

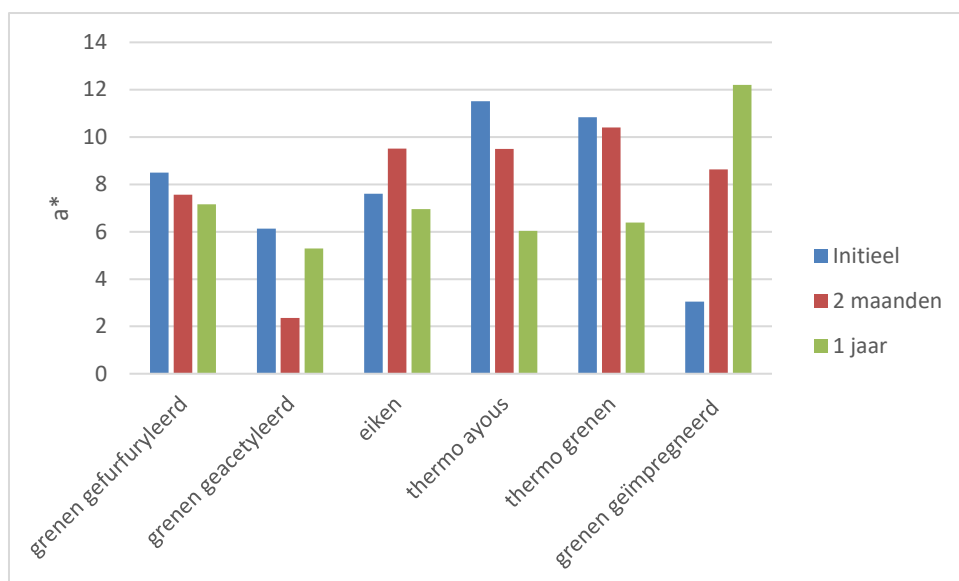
Uit de meetwaarden van de zeven bestudeerde houtsoorten geplaatst op de MFER-opstelling bleek dat voor de parameters a* en b* de meetwaarden slechts een zeer beperkt verschil vertoonden tussen de horizontale oriëntatie en de blootstelling onder 45 ° na 1 jaar.

De horizontale blootstelling, en bij uitbreiding de opstelling onder 45 °, had een grotere invloed op de parameters a* en b*, zoals reeds bleek uit de resultaten voor de gevelbekleding en de terrassen. Voor de verticale blootstelling heeft de zuid-oriëntatie de grootste impact op de a* en b*- waarden.

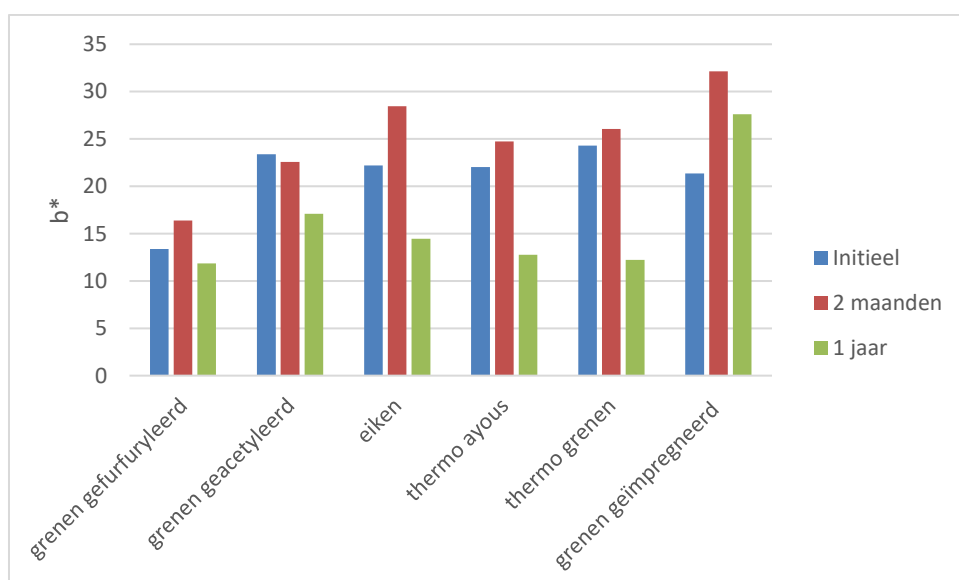
Voor de parameter L* worden de hoogste waarden na 1 jaar gemeten voor de verticale blootstelling (90 °), met uitzondering van geïmpregneerd en gefurfuryleerd grenen.



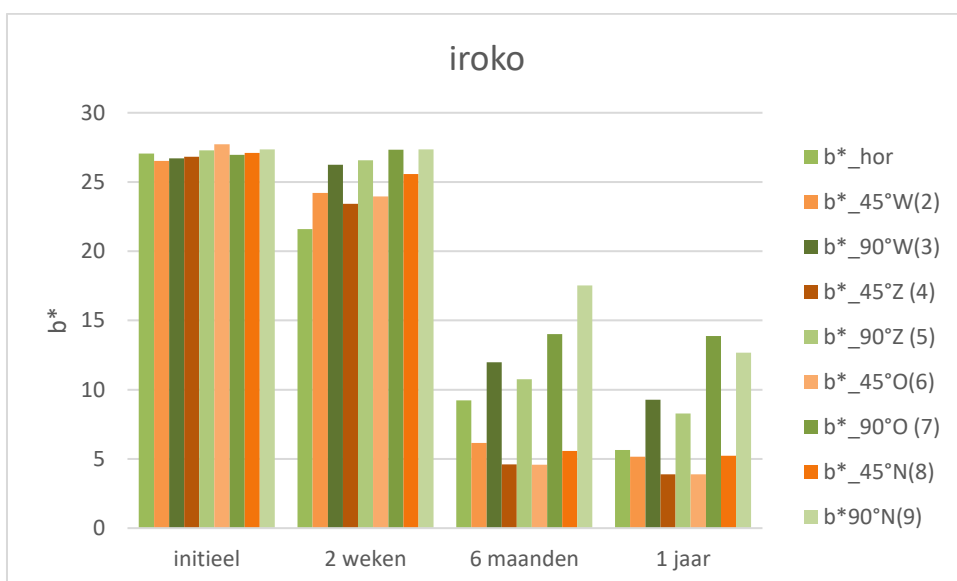
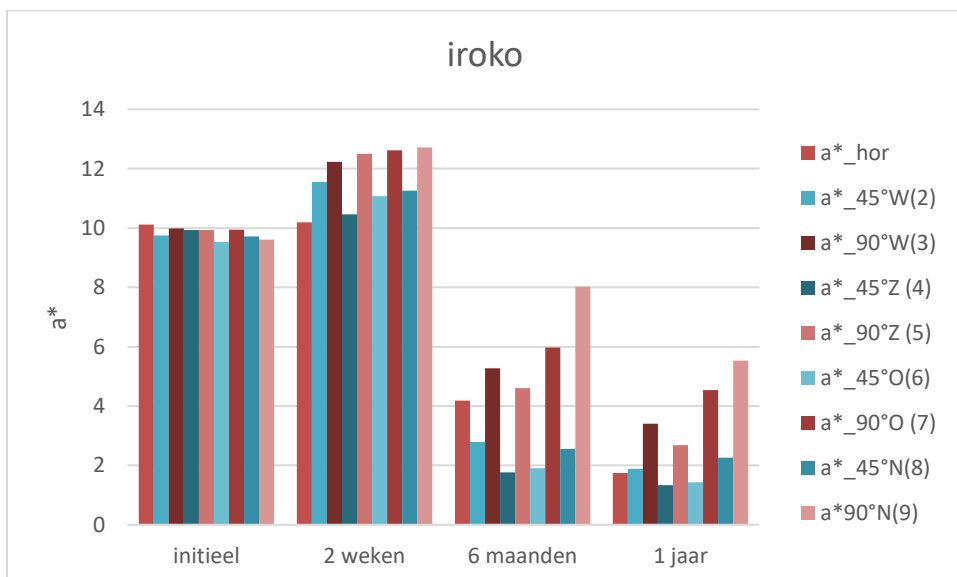
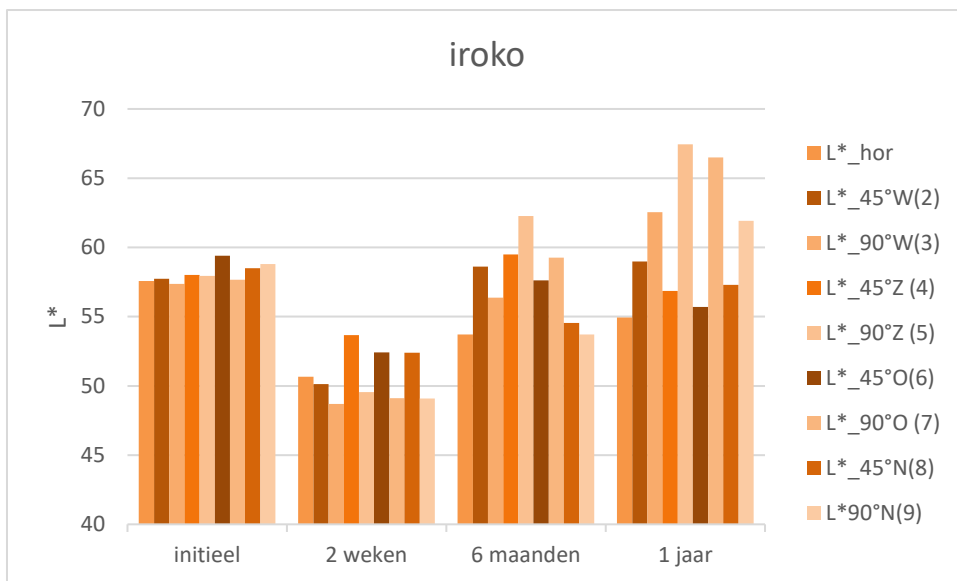
Figuur 21: L*-waarde in functie van de tijd voor de houtsoorten in verticale opstelling

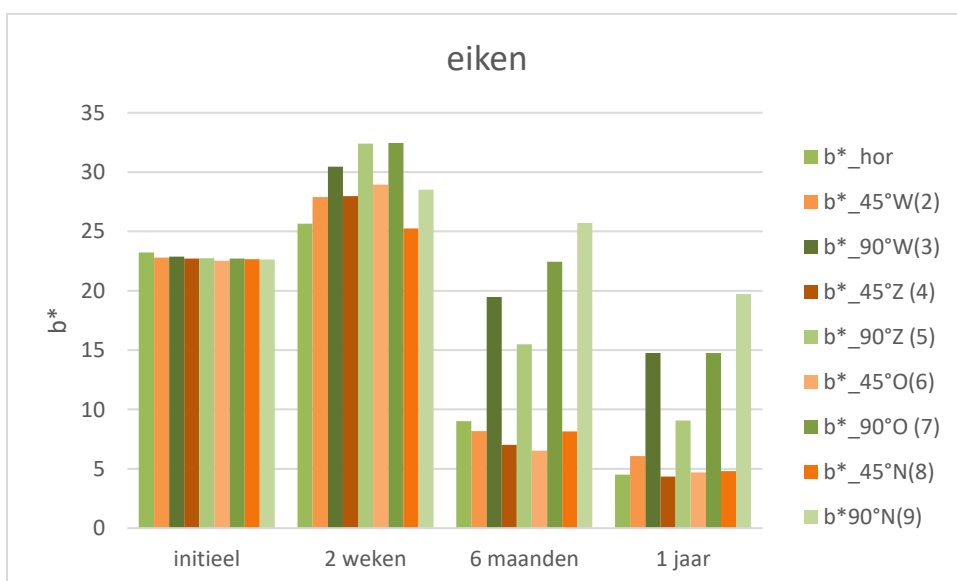
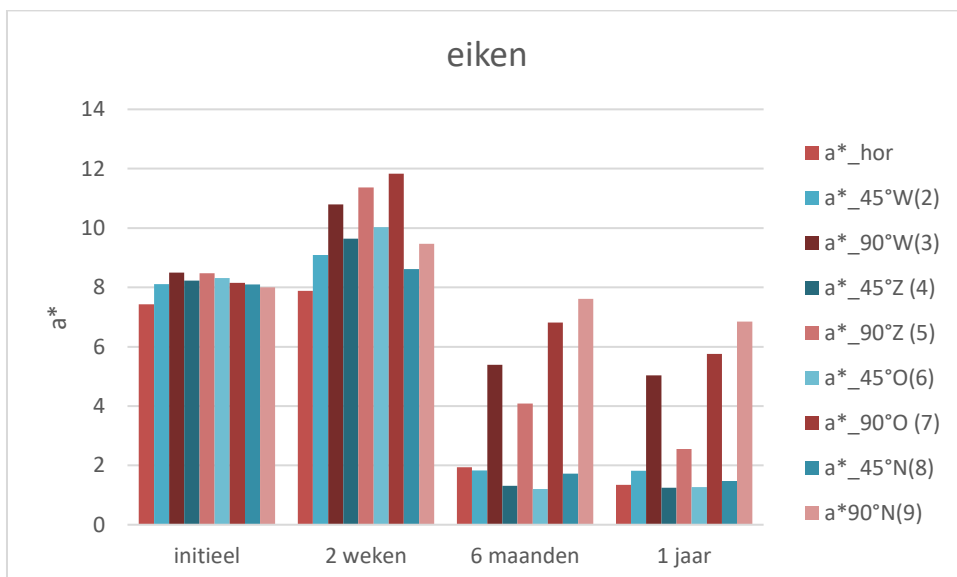
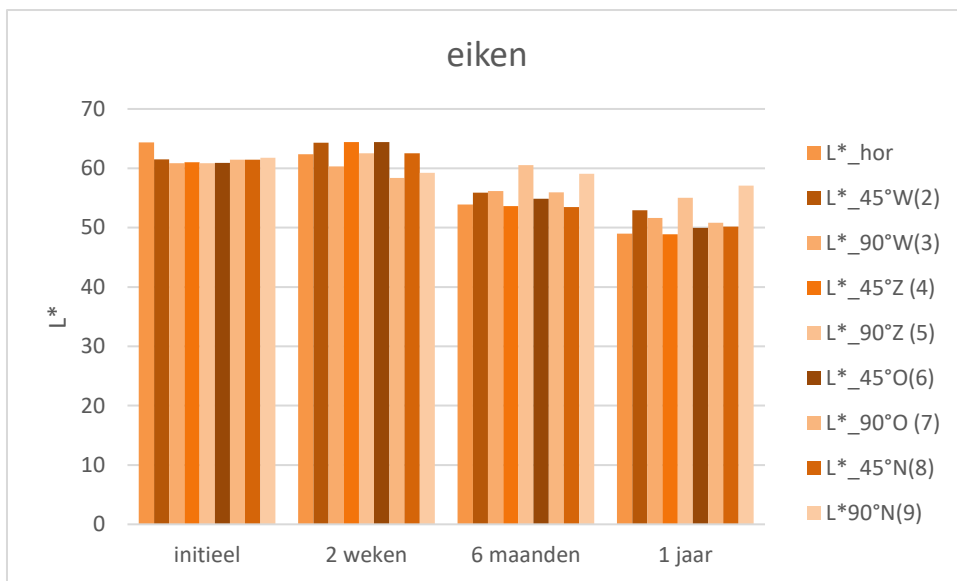


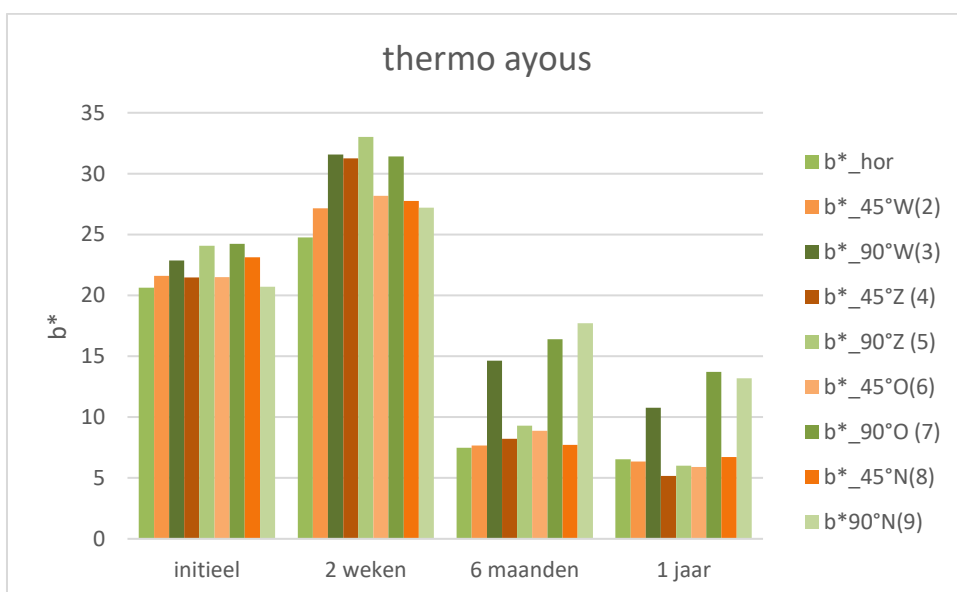
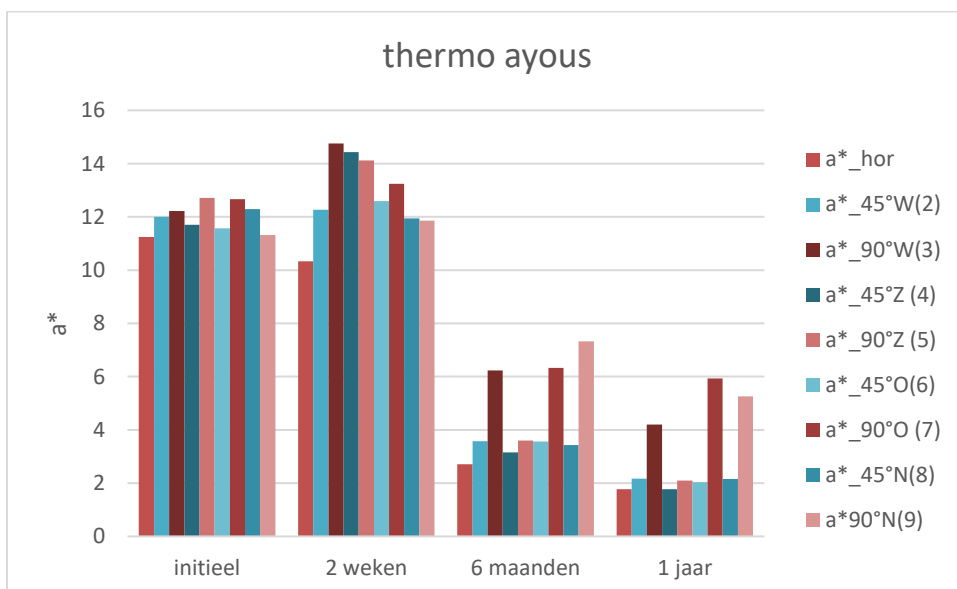
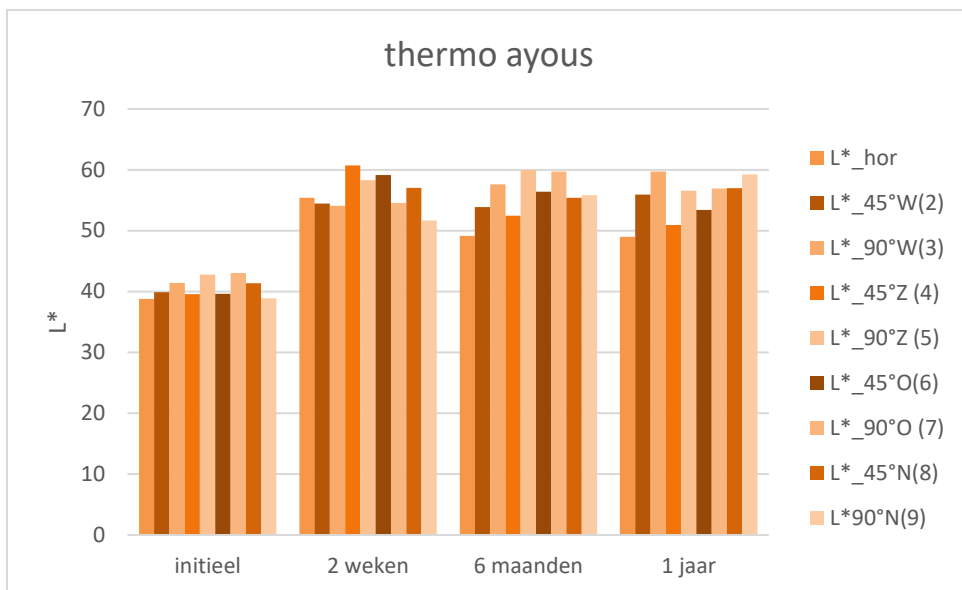
Figuur 22: a^* -waarde in functie van de tijd voor de houtsoorten in verticale opstelling

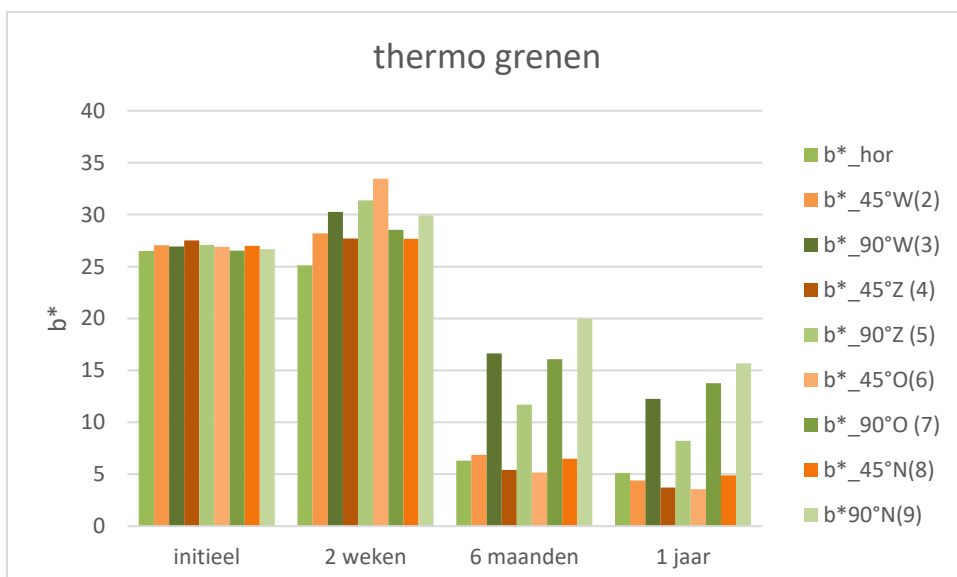
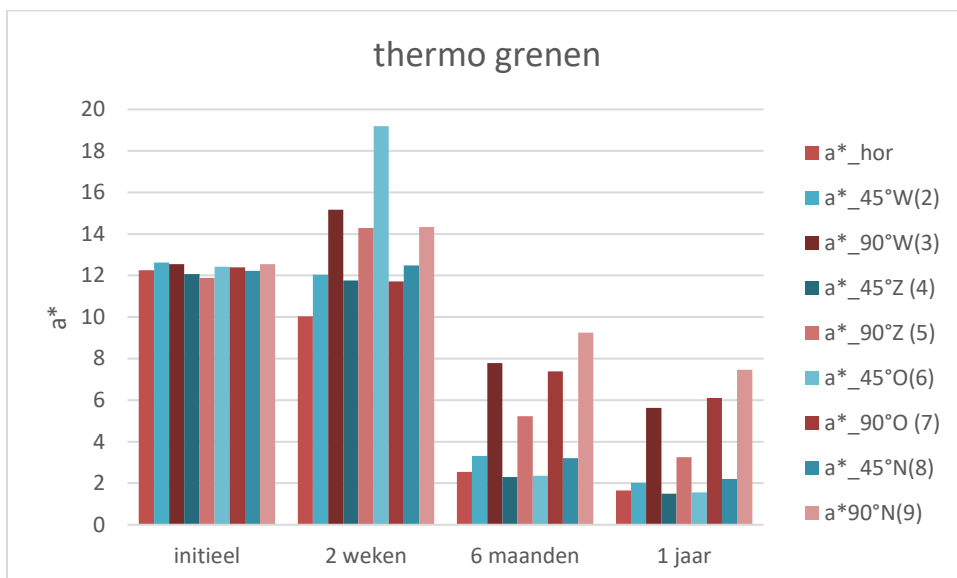
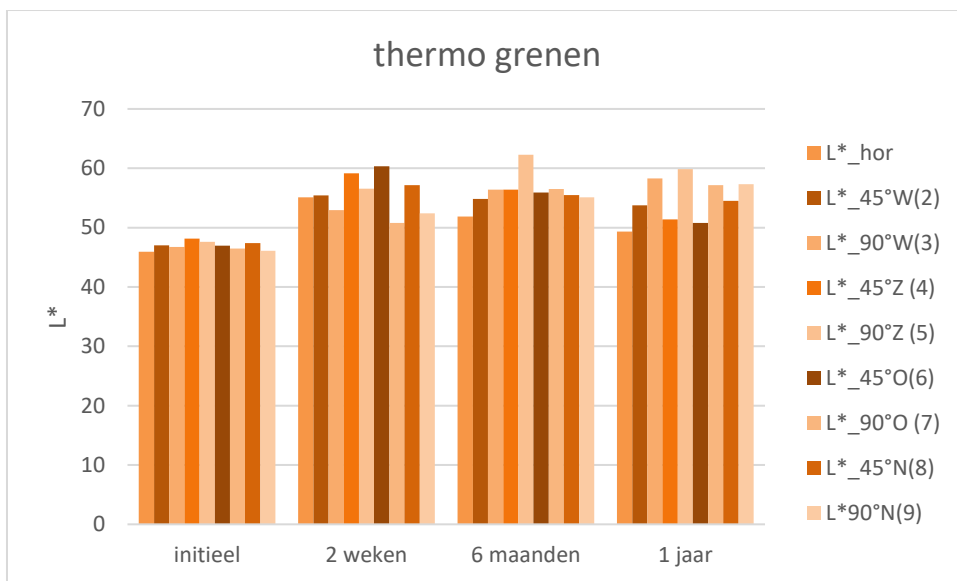


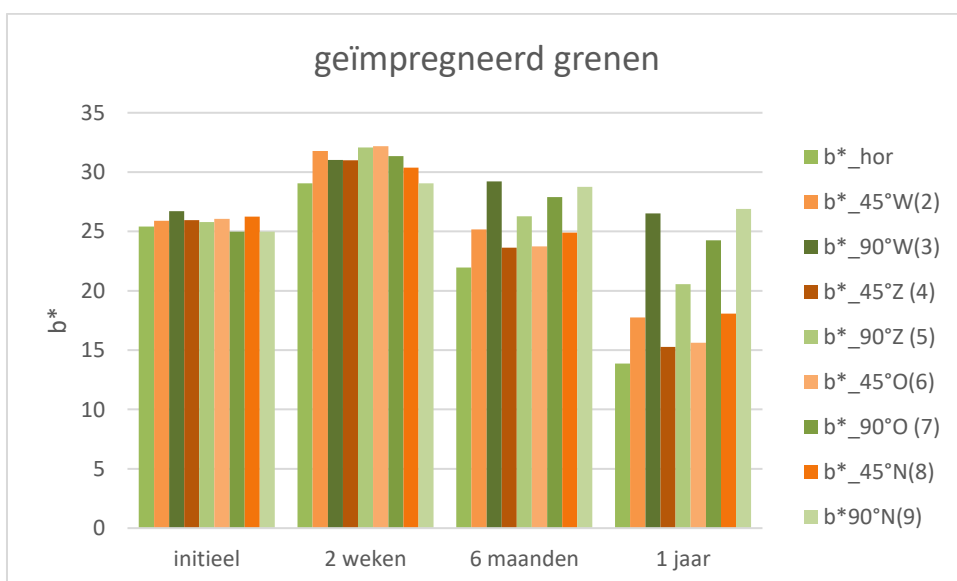
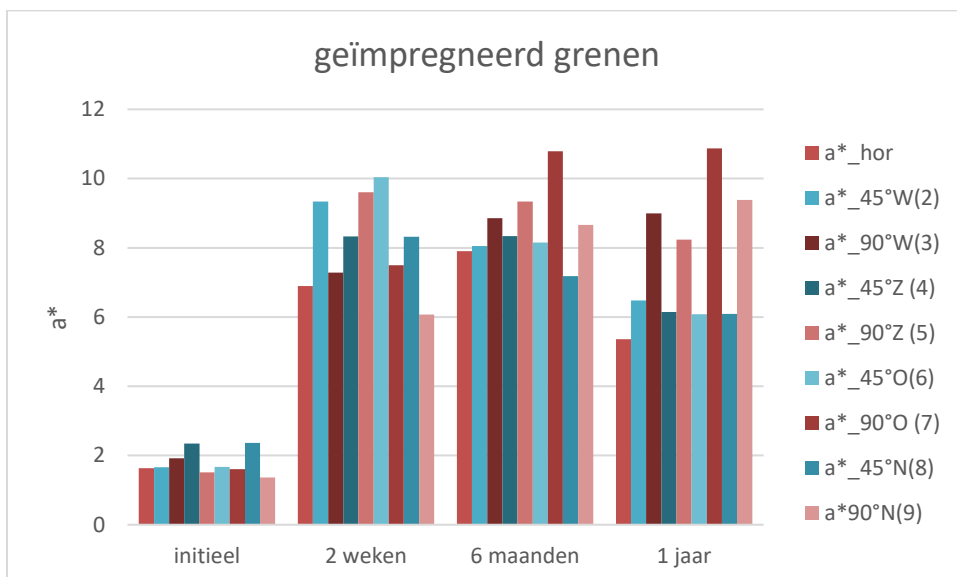
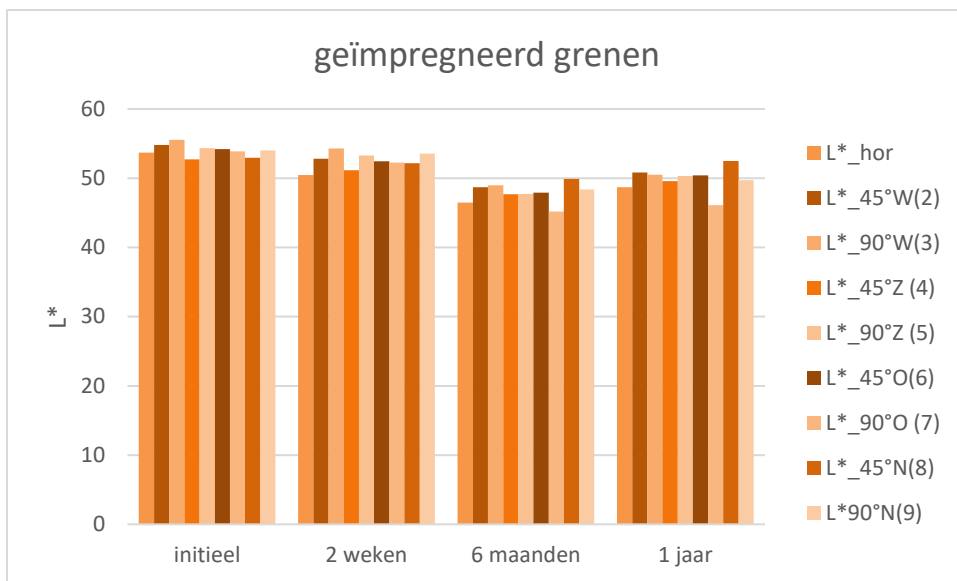
Figuur 23: b^* -waarde in functie van de tijd voor de houtsoorten in verticale opstelling

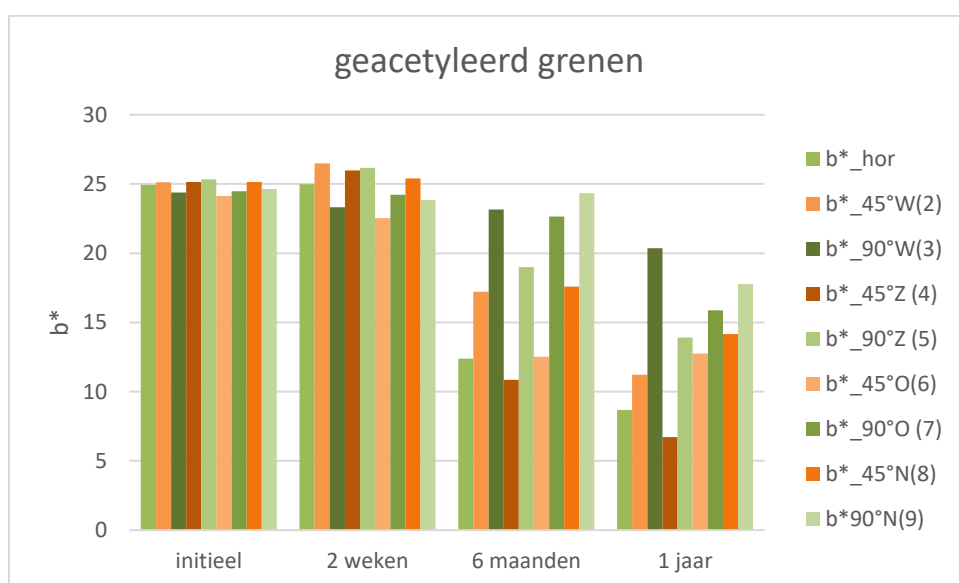
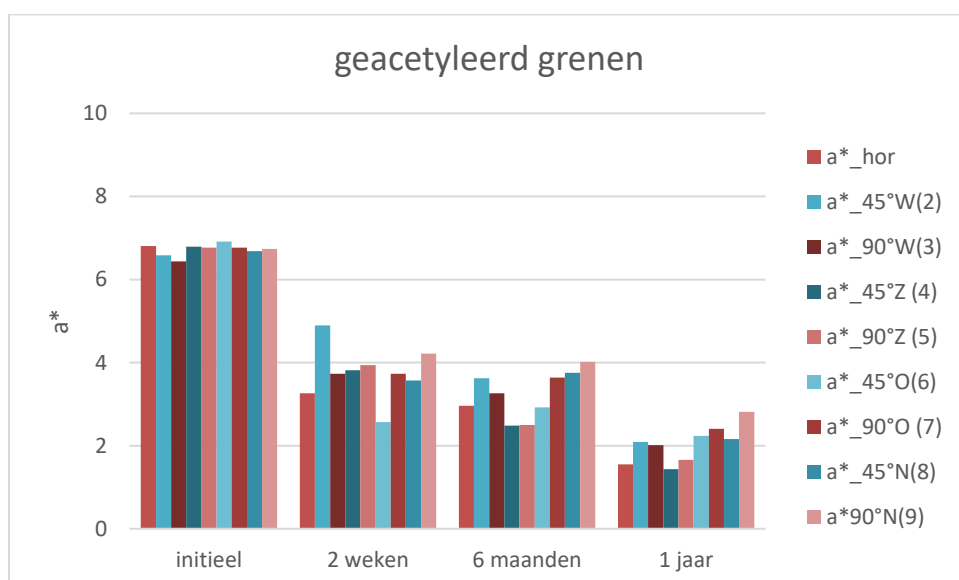
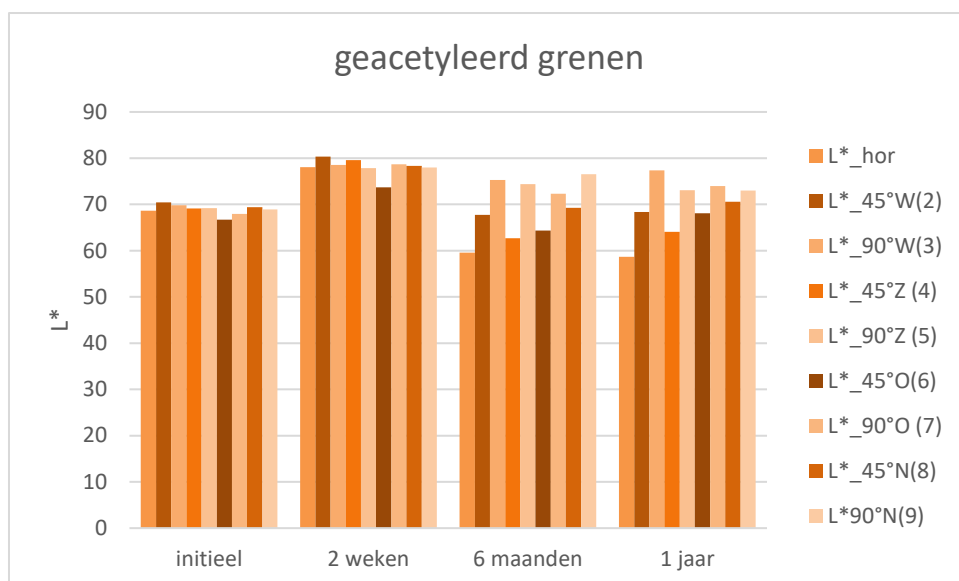


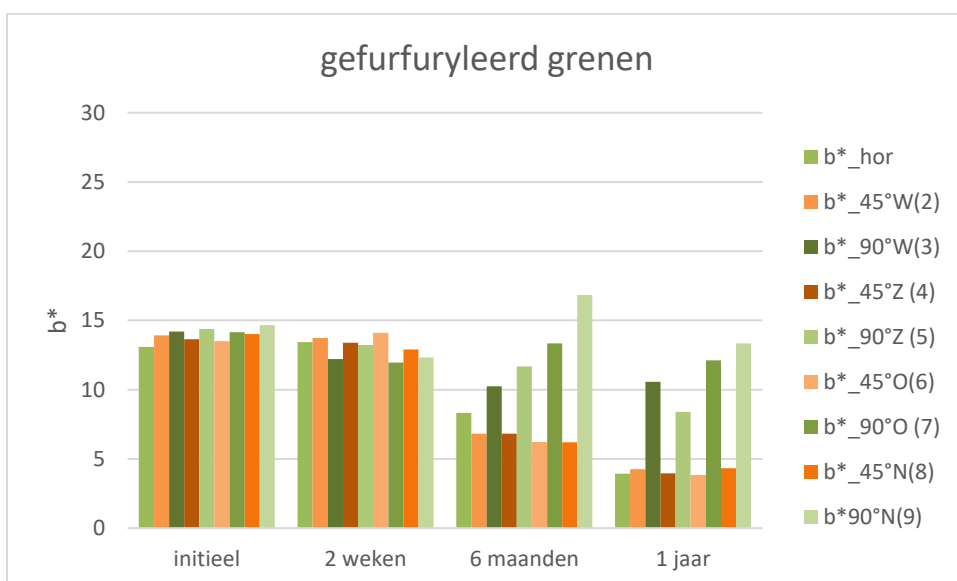
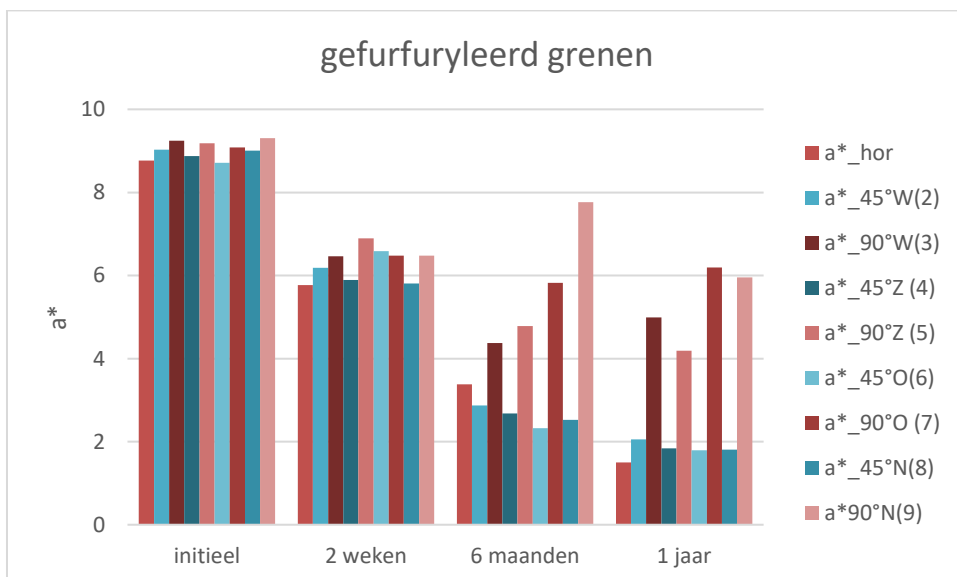
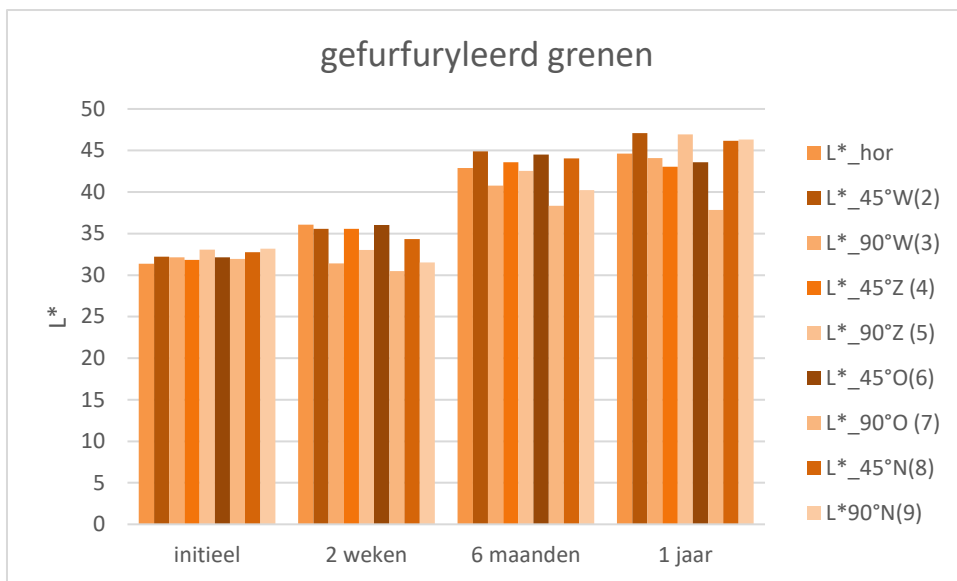












3.3.2 Kunstmatige veroudering

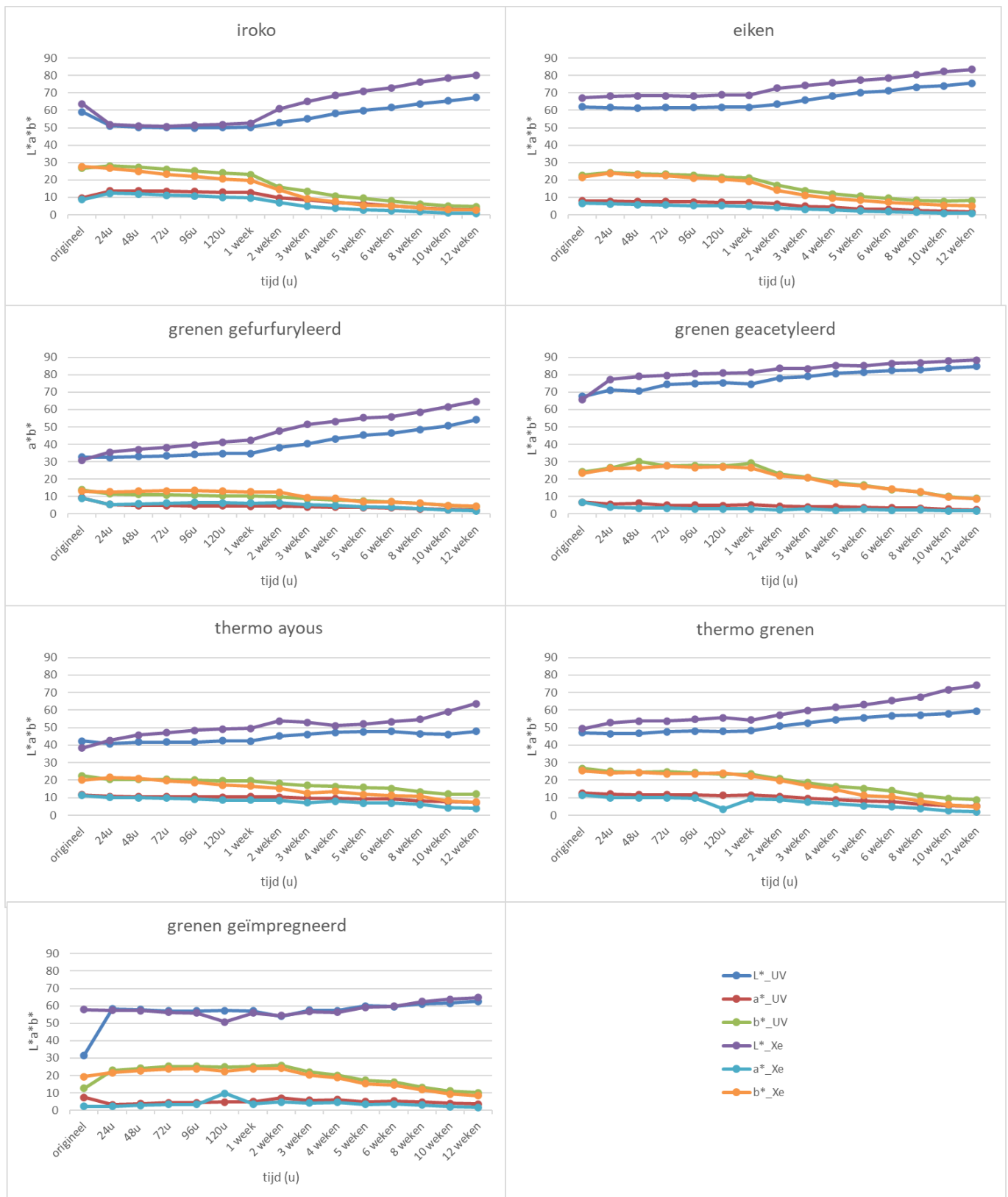
Kunstmatige verwerking van niet-gecoate houtoppervlakken door middel van enerzijds Xe-licht en anderzijds UV-licht (Figuur 24) levert beperkte verschillen op tussen beide methodes voor zowel de a^* - als de b^* -waarde, waarbij de gegenereerde verschillen iets groter zijn bij Xenon-licht dan bij UV-licht. Ook ligt voor de onderzochte houtsoorten de L^* -waarde hoger voor versnelde veroudering met Xe-licht dan voor versnelde veroudering met UV-licht, met uitzondering van geïmpregneerd grenen. Voor deze laatste houtsoort was de variatie in L^* -waarde zeer beperkt gedurende de 12 weken versnelde veroudering, voor beide methodes.

De L^* -waarde ligt voor alle onderzochte houtsoorten na het einde van de verouderingsperiode (12 weken) hoger dan de initiële waarde, zowel voor veroudering onder invloed van Xe-licht als UV-licht. Voor de natuurlijke veroudering was de trend in L^* -waarde houtsoortafhankelijk.

Besluit

Voor het beperkt aantal onderzochte houtsoorten komt na 1 jaar horizontale opstelling een gemiddelde a^* -waarde van 2 naar voor en een b^* -waarde van 5.

Deze waarden worden enerzijds wel bij benadering gerealiseerd door versnelde veroudering, maar anderzijds is de L^* -waarde de onderscheidende parameter voor de verkleuring/vergrijzing. En net deze L^* -waarde levert grote verschillen op tussen natuurlijke en kunstmatige veroudering.



Figuur 24: Grafisch overzicht van het verloop van L*a*b* tijdens de kunstmatige ververing met UV-licht en Xe-licht

4 Barstvorming

Barsten en scheuren ontsieren vaak het uitzicht van een houten oppervlak. Vooral brede en/of lange barsten worden door de consument over het algemeen als storend ervaren omdat ze sneller worden opgemerkt (Brischke et al., 2017). Zo zal een houten plank met veel kleine scheurtjes en bijgevolg met een lage oppervlaktekwaliteit, vaak beter worden beoordeeld dan een plank met minder barsten die meer opvallen en dus met hoge oppervlaktekwaliteit. Daarom is het moeilijk om een uitspraak te doen over de kwaliteit van een houten oppervlak. Toch moet de beoordeling van barst- en scheurvorming ten minste op een semi-kwantitatieve manier gebeuren. De evaluatie kan op twee manieren gebeuren. Enerzijds door visuele inspectie en anderzijds met behulp van beeldanalyse. Methodes om deze barsten en scheuren op een snelle en accurate manier te meten werden echter nauwelijks ontwikkeld (Christy et al., 2005; Brischke et al., 2017).

4.1 Visuele beoordeling

Een mogelijkheid voor de visuele evaluatie van scheuren is de classificatie volgens ISO 4628-4 (2016). Scheuren die duidelijk afkomstig zijn uit houtgebreken, knopen of bevestigingsmateriaal worden hierbij niet in aanmerking genomen. Deze aanwezigheid van deze barsten wordt wel geregistreerd. In deze standaard worden de hoeveelheid scheuren op **het oppervlak** of de hoeveelheid scheuren per oppervlakte-eenheid beoordeeld volgens de schaal Figuur 2520.

Vervolgens wordt de scheurbreedte geëvalueerd volgens de alternatieve schaal in Tabel 4. Deze schaal wijkt af van ISO 4628-4 omdat het in de praktijk nagenoeg onhaalbaar is om zeer kleine scheuren met behulp van een vergrootglas waar te nemen.

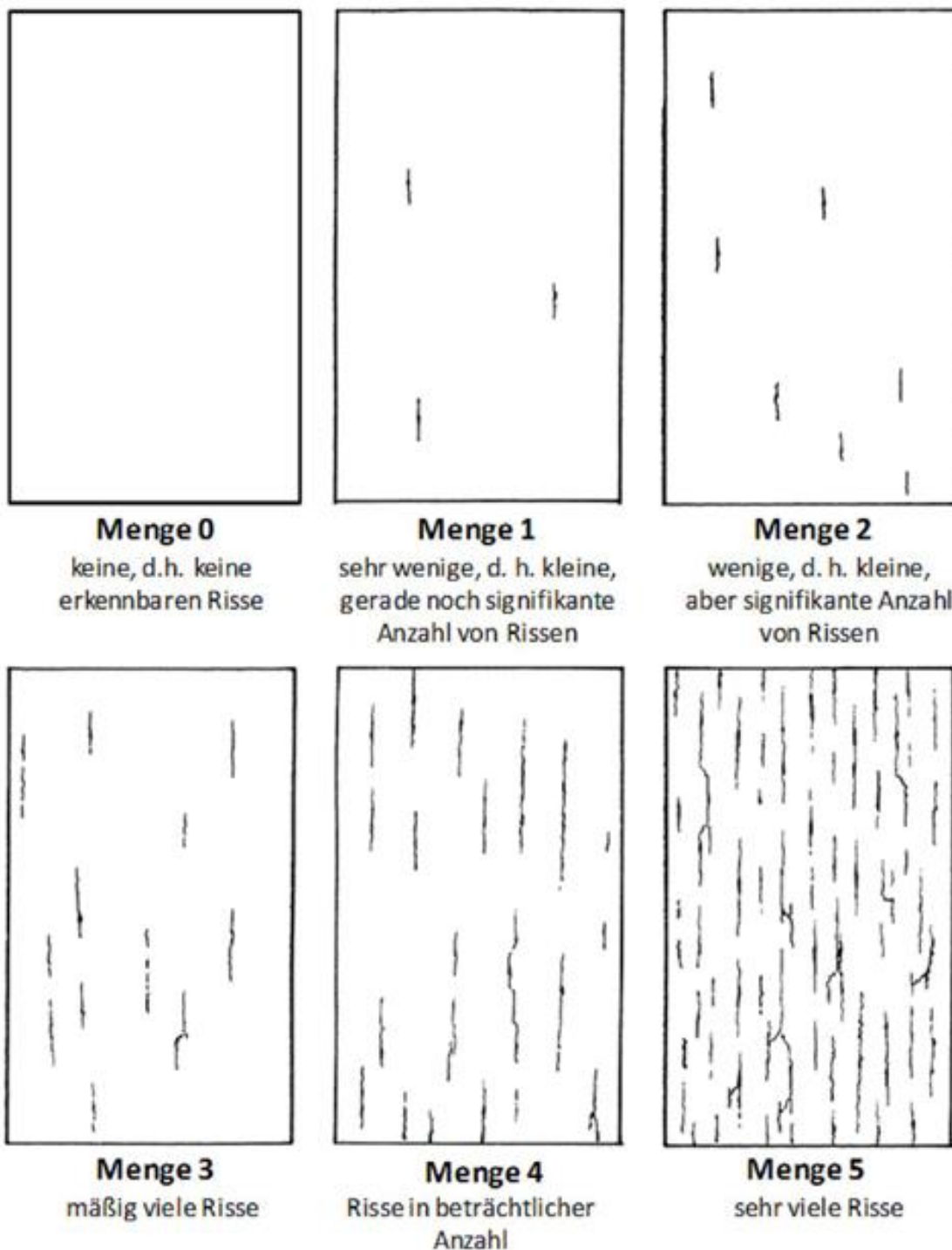
Tabel 4: Vereenvoudigd beoordelingsschema voor barsten en scheuren in een houten oppervlak naar analogie met ISO4628-4 (2016) (Brischke et al., 2017)

Score	Barstbreedte
0	Geen zichtbare scheuren of barsten
1	nauwelijks zichtbare scheuren of barsten (tot 0,2 mm breed)
2	duidelijk zichtbare scheuren of barsten (groter dan 0,2 mm tot 0,5 mm breed)
3	brede scheuren of barsten (groter dan 0,5 mm tot 1 mm breed)
4	zeer brede scheuren of barsten (meer dan 1 mm breed)

De barstvorming ter hoogte van **de kopse uiteinden** van de planken werd geëvalueerd volgens onderstaande schaal (Tabel 5).

Tabel 5: Beoordelingsschema voor barsten en scheuren ter hoogte van de kopse uiteinden

Score	Lengte van de kopse houtbarsten
K0	geen scheuren
K1	scheuren ≤ 6 mm lang
K2	scheuren 6-10 mm lang
K3	> 10 mm lang



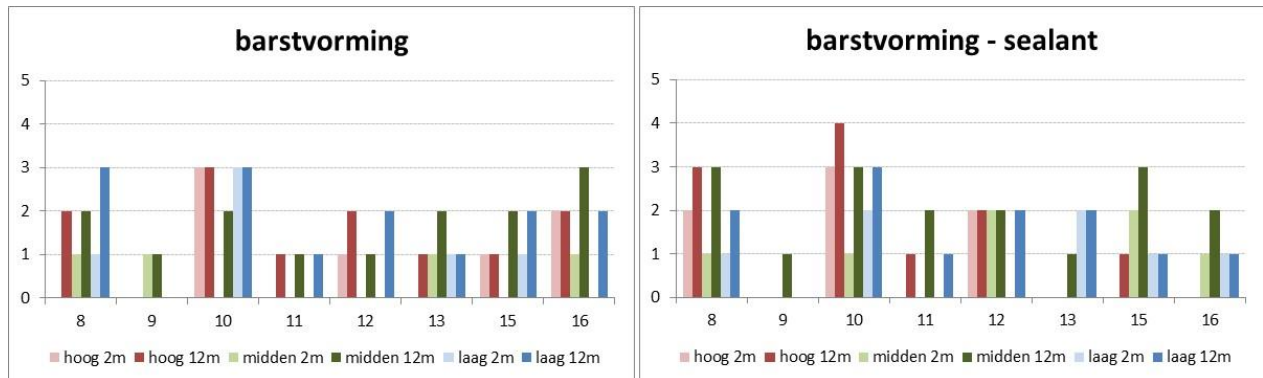
Figuur 25: evaluatie van barstvorming in een houten oppervlak naar analogie met ISO 4628-4 (2016)

Ook werd de graad van verblauwing van het houtoppervlak geëvalueerd. Hierbij werd een schaal gebruikt met scores van 0 tot 4 (Johansson et al., 2010; Kržišnik et al., 2018):

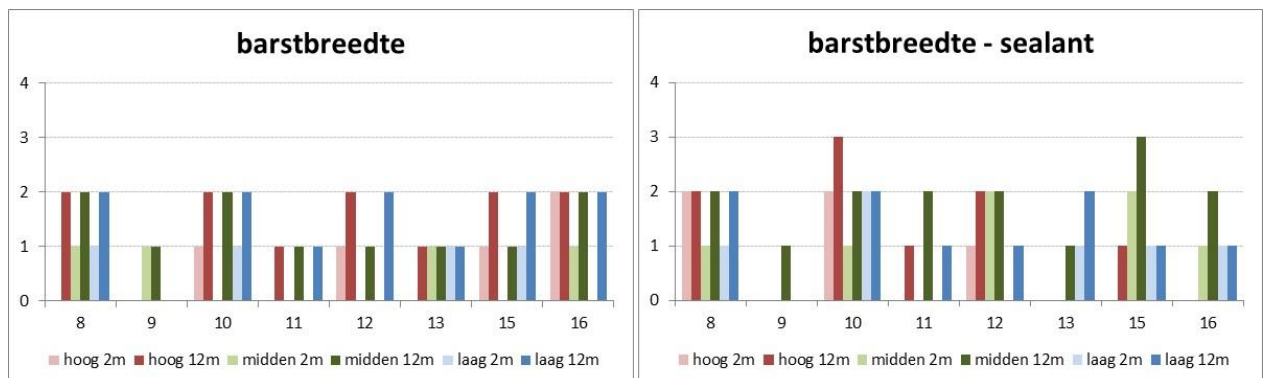
- 0 = geen verblauwing
- 1 = zwakke verblauwing: enkele vlekken van blauwschimmel op het houtoppervlak
- 2 = lichte verblauwing: vlekken van blauwschimmel tot 1.5 mm breed en 4 mm lang
- 3 = matige verblauwing: tot 1/3de van het houtoppervlak
- 4 = ernstige verblauwing

4.2 Resultaten visuele beoordeling

Na één jaar blootstelling aan weer en wind werden meer barsten vastgesteld dan na 2 maanden. De barstvorming is het grootst bij het gefurfureyleerde materiaal en bij eiken. Beide houtsoorten vertoonden matige barstvorming (3) waarbij de barsten in elkaar beginnen over te gaan (4). Geacetyleerd naaldhout vertoonde zeer weinig barstvorming (1). Bij thermisch gemodificeerd hout werd, onafhankelijk van de houtsoort, weinig maar opvallende barstvorming waargenomen (2). Met uitzondering van geïmpregneerd grenen werd er geen significant onderscheid vastgesteld tussen de barstvorming van het kops afgedichte en het niet-afgedichte materiaal. Ook de hoogte tot het maaiveld heeft geen significant effect op de algemene barstvorming



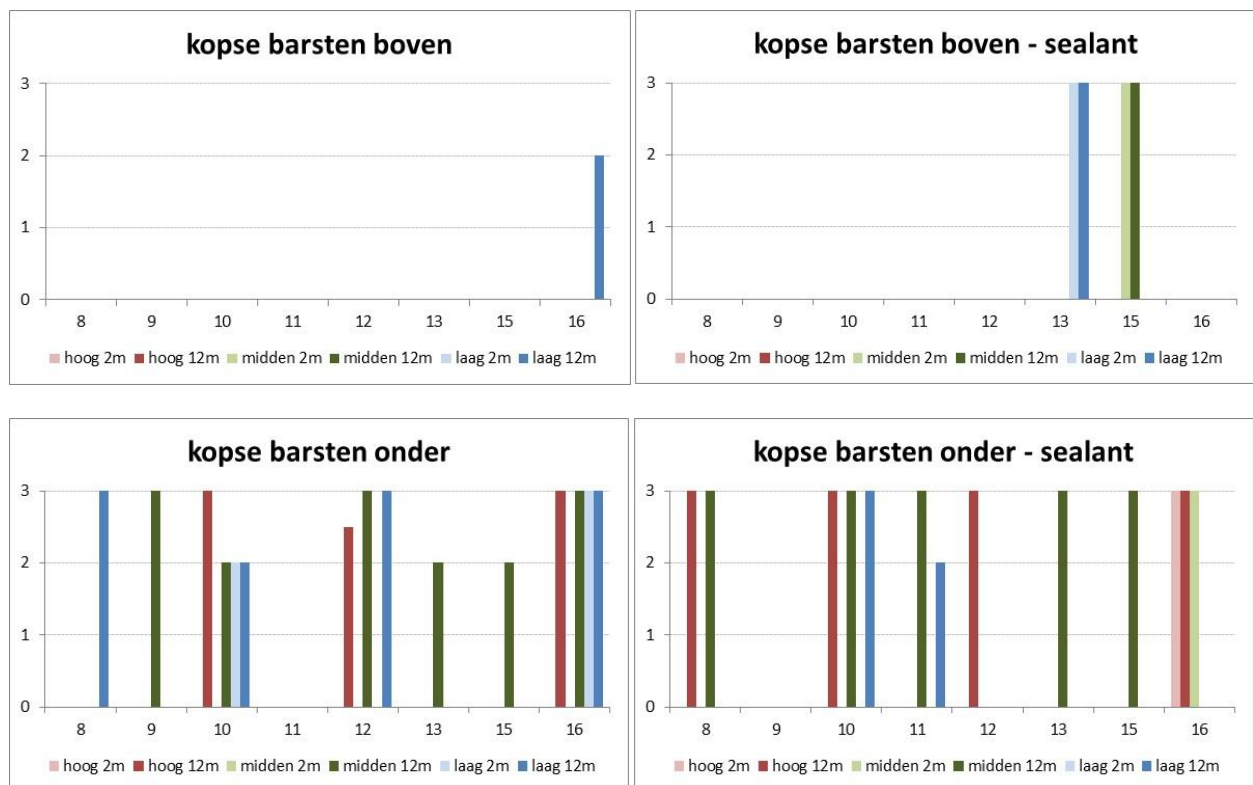
Alle houtsoorten vertoonden na 1 jaar barsten met een gemiddelde breedte variërend van 0,2 mm tot 0,5 mm. De barstbreedte nam met een score 1 toe na 12 maanden. Het geacetyleerde hout (9) vertoonde de minst brede barsten. Bij eiken (10) en gefurfureyleerd hout (8) werden de breedste barsten vastgesteld. Niet-gesealed geïmpregneerd grenen (16) vertoonde een gelijkaardig patroon aan barstbreedte. Dit werd niet waargenomen wanneer het hout gesealed werd. Bij de overige houtsoorten werd geen significante invloed van het sealant vastgesteld. Ook de hoogte tot het maaiveld had geen significant effect op de barstbreedte.



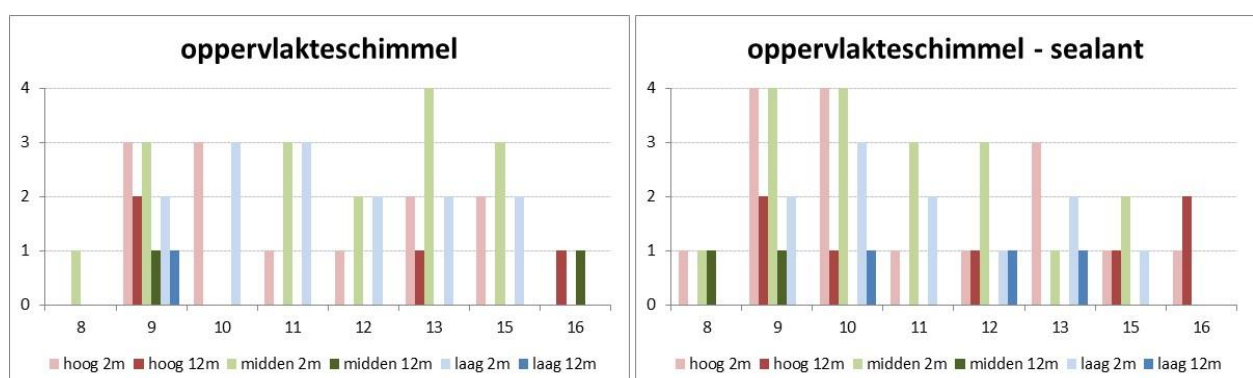
Aan de bovenzijde van de gevelelementen werden beduidend minder barsten waargenomen dan aan de onderzijde. Dit wijst op het beschermende effect van het afdakje. Een duidelijk effect van het sealant werd niet waargenomen. De waargenomen barstvorming bij het thermisch gemodificeerde grenen (15) en Ayous (13) was al van in het begin aanwezig en vertoonde geen verdere evolutie naarmate de verwerking vorderde.

De barstvorming aan de onderzijde na 1 jaar was significant groter dan na 2 maanden. Het sealant leek een gunstig effect te hebben op de gevelelementen die laag bij het maaiveld werden geplaatst.

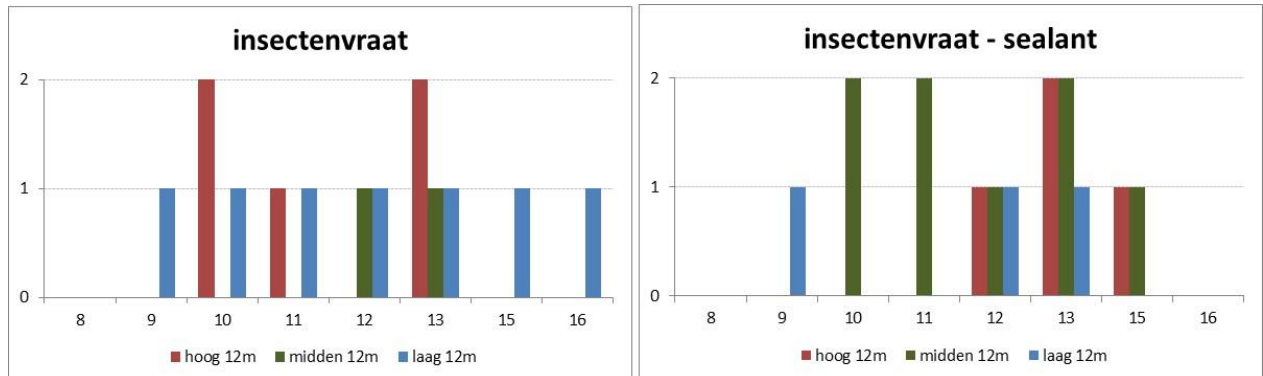
Opnieuw waren het eiken (10), het geïmpregneerde grenen en het gefurfuryleerde hout (8) het meest gevoelig en het geacetyleerde hout (9) en het thermisch gemodificeerde populier (11) waren het minst gevoelig aan barstvorming op de uiteinden.



De schimmelvorming op het oppervlak was het meest uitgesproken in de beginfase. Na 1 jaar was de begroeiing minder duidelijk, behalve voor de gesealde gevelementen. Vermoedelijk verhinderde het sealant een vlotte uitdroging waardoor de groeiomstandigheden voor de gesealde stalen gedurende langere tijd gunstiger waren voor de oppervlakteschimmels. Geïmpregneerd grenen vertoonde een afwijkend patroon. De begroeiing van het oppervlak door oppervlakteschimmels werd in een eerste fase tegen gehouden door het aanwezige fungicide. Omdat het fungicide op waterbasis was, spoelde het uit tijdens het verweringsproces waardoor na verloop van tijd toch in beperkte mate oppervlakteschimmels konden ontwikkelen. Opvallende schimmelgroei werd waargenomen bij het geacetyleerde grenen (9). Ook het thermisch gemodificeerde hout (11-15) kende een opvallende groei van oppervlakteschimmels in de beginfase (gaande van begroeiing van 1/3^{de} van het oppervlak tot ernstige begroeiing).



Na 1 jaar verwerking werd een evaluatie gemaakt van het insectenvraat. Er werden geen sporen van insectenvraat waargenomen bij het gefurfurylerde (8) en geïmpregneerde grenen (16). Thermisch behandelde Ayous (13) en Fraké (12) werden opvallend meer aangetast dan de overige houtsoorten. Niettemin vertoonden alle thermisch behandelde houtsoorten schade door insectenvraat. De broosheid van het materiaal zou een mogelijke verklaring kunnen zijn voor dit fenomeen.



Besluit

Barstvorming is een proces dat pas later in de verwerking meer opvalt. Op basis van een visuele beoordeling kon geen significant effect van een sealant of hoogte tot het maaiveld vastgesteld worden voor de barstvorming. Enkel bij de beoordeling van de kopse uiteinden werd een gunstig effect van het sealant vastgesteld voor gevelelementen die laag bij de grond werden geplaatst. Een negatief effect van het sealant werd waargenomen voor de begroeiing door oppervlakteschimmels. De aanwezigheid van fysieke bescherming vb. een afdak had een positief effect op de kopse barstvorming aan de bovenzijde van de gevelelementen.

5 Oppervlakteruwheid

5.1 Licht en schaduw als low-tech middel om ruwheid te evalueren.

De huidige technieken voor oppervlakte ruwheid evaluatie die in de praktijk worden gehanteerd zijn de volgende:

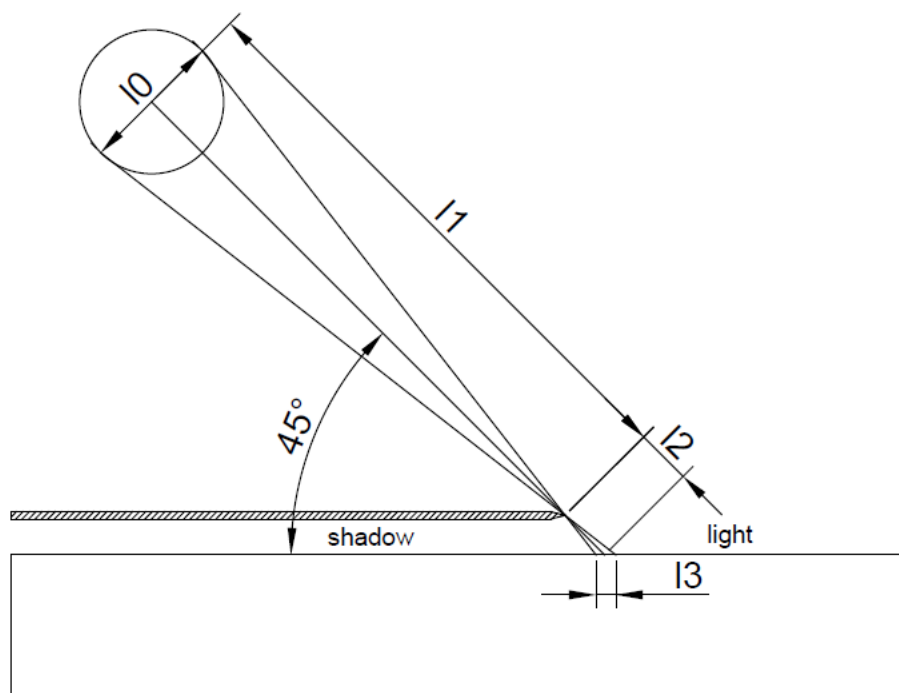
- Stylus meting (contacttechniek)
- Scantechnieken

Het nadeel van contacttechnieken is dat herhaaldelijke meting op een zelfde plaats het staal kan beschadigen en dus minder betrouwbaar maken voor opvolging in de praktijk. Scantechnieken hebben dit nadeel niet maar zijn complex om toe te passen in de praktijk.

Daarom werd nagegaan of een meer low-tech techniek gebruikt kan worden om opvolging en vergelijking in de tijd van veranderende stalen mogelijk te maken. Met behulp van een lichtbron en een scherp afgelijnde obstructie is het mogelijk om een scherpe schaduw te werpen op een object. Het verloop van de schaduwlijn geeft een indruk van het profielverloop van het object.

Beschrijving van de techniek : de opstelling

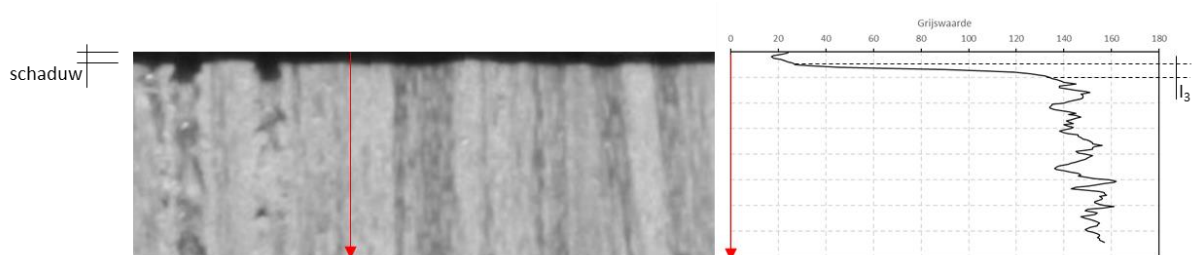
Met behulp van een lichtbron en een scherp afgelijnde obstructie is het mogelijk om een scherpe schaduw te werken over een object. Door de lichtbron onder 45° te richten op het object, ontstaat een schaduwlijn op het object (Figuur 2610). Niveauverschillen in het oppervlak van het object zullen ervoor zorgen dat deze schaduwlijn niet perfect recht zal zijn. Het verloop van de schaduwlijn geeft op deze manier een visuele weergave van de aanwezig niveauverschillen en geeft hierdoor een idee van de ruwheid van het oppervlak. Door de hoek van de lichtbron 45° te nemen, is het niveauverschil tussen twee punten gelijk aan het verschil in schaduwlijn tussen die 2 punten, dit voor zover de niveauverschillen loodrecht op het obstakel verlopen.



Figuur 26: principe schaduwlijn en overgangszone

Het werpen van een scherpe schaduw is essentieel om een goed afgelijnd beeld te verkrijgen. Tussen licht en schaduwzone bevindt zich een diffuse overgangszone (I_3). In de beeldanalyse worden de kleurbeelden omgezet naar grijswaarden. De schaduw zal als zwart herkend worden, het proefstuk zelf zal een bepaalde verzameling van grijswaarden zijn. In de overgangszone I_3 zal de grijswaarde evolueren van zwart naar de gemiddelde grijswaarde van het proefstuk.

Figuur 2711 toont een beeld in grijswaarden. De bovenzijde van het beeld valt samen met de positie van de obstructie. Op het beeld is de schaduwzone goed waar te nemen. Ter hoogte van de rode as werden de grijswaarden uitgezet in functie van de positie. Op de grafiek vormt de schaduw de zone met de lage grijswaarden (gemiddeld rond 20). De hogere grijswaarden (tussen 120 en 140) vertegenwoordigen de gemiddelde grijswaarde van het proefstuk. De zone I_3 beschrijft de overgang tussen de twee gebieden (schaduw en gemiddelde grijswaarde).



Figuur 27: schaduwzone op het proefstuk

Ideaal is deze overgangszone nul, in de praktijk is het van groot belang deze zo smal mogelijk te houden. De overgangszone kan beperkt worden door:

- De diameter van de lichtbron te beperken (I_0);
- De afstand van de obstructie tot het object zo klein mogelijk te maken (I_2);
- De afstand van de lichtbron tot het obstakel zo groot mogelijk te maken (I_1).

Wanneer de lichtbron verder van het object verwijderd wordt (I_1), zal de belichting van het object verzwakken. Echter, om tot een goede schaduwzone te komen, is een sterke belichting nodig. Het is dus van groot belang om een zo klein mogelijke en tegelijkertijd zo sterk mogelijke lichtbron te gebruiken. Daartoe werd gebruik gemaakt van een puntlichtbron (Schott KL1500 HAL). De beelden werden genomen in een inwendig zwarte afgesloten omgeving om interferentie van reflecterende lichtstralen te vermijden. De beelden werden genomen met een spiegelreflexcamera Canon 90D voorzien van een macrolens (135 mm). De witbalans werd manueel ingesteld a.h.v. een gestandaardiseerde grijskaart.

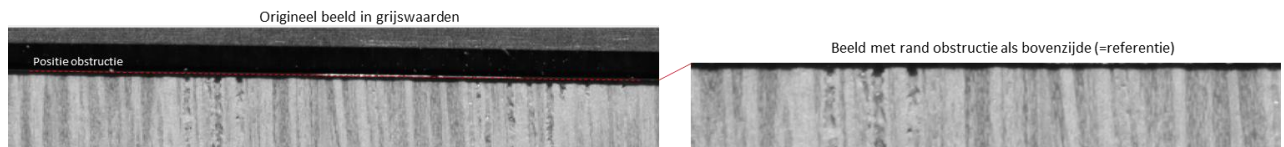
De instellingen m.b.t. de belichting waren de volgende:

- Lichtmeting: spot
- Lichtgevoeligheid: iso 100
- Diafragma: f8
- Sluiterijd: 5 seconden

Beschrijving van de techniek : de beeldverwerking.

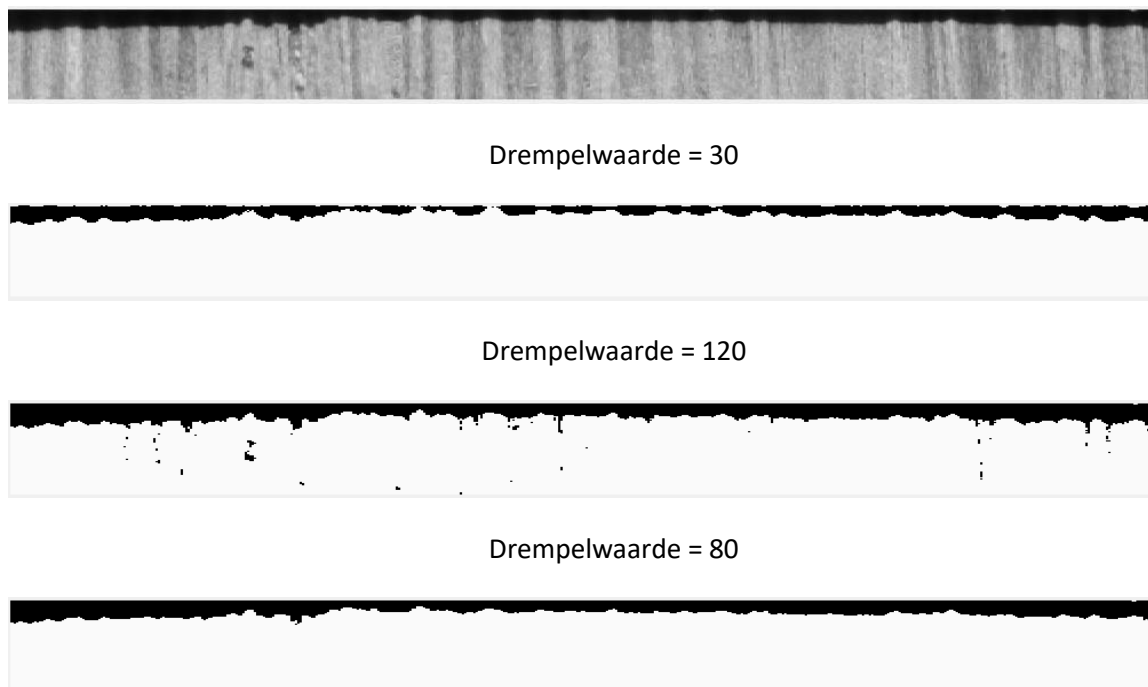
De beelden worden in kleur genomen en omgezet in grijswaarden. De rand van de obstructie dient in de beelden gezocht te worden om te dienen als referentie. Eens de rand gevonden, worden nieuwe beelden aangemaakt waarin de rand van de obstructie als bovenzijde wordt genomen, zoals

getoond in Figuur 2812. De schaduwlijn in het nieuwe beeld is hierdoor voor elk punt ten opzichte van dezelfde referentie.



Figuur 28 : herleiden van het beeld tot zelfde referentie.

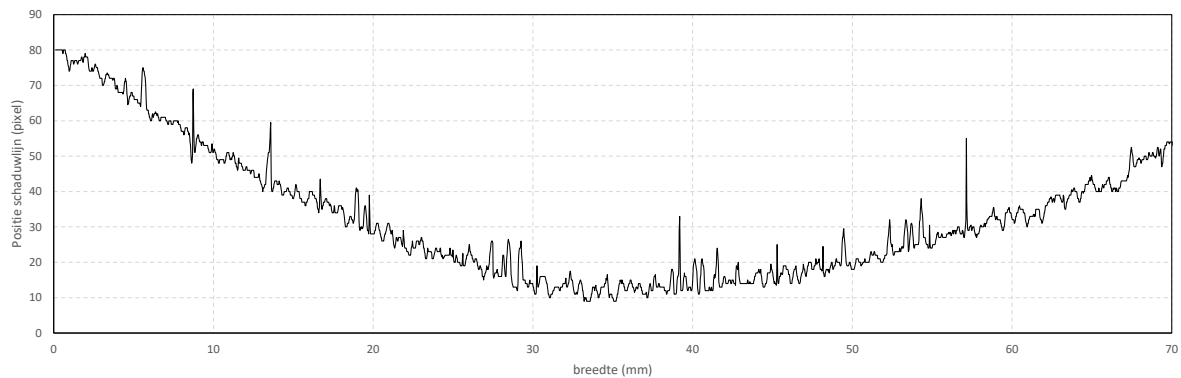
In een volgende stap wordt het bekomen beeld omgezet in een zwart/wit beeld. Dit beeld wordt gevormd door de grijswaarden te vergelijken met een drempelwaarde :alle grijswaarden onder de drempelwaarde worden zwart, alle grijswaarden boven de drempelwaarde worden wit.



Figuur 29 : Grijswaarden omzetten naar zwart/wit - drempelwaarde.

Figuur 2913 toont de zwart/wit beelden voor 3 verschillende drempelwaarden. Een te lage drempelwaarde (30 in Figuur 2913) heeft het risico te veel schaduw weg te filteren. Een te hoge drempelwaarde (120 in Figuur 2913) kan leiden tot een overschatten van de schaduwzone. Er wordt steeds gekozen voor een drempelwaarde welke een gemiddelde is tussen de grijswaarden van de schaduwzone en de grijswaarden van de rest van het beeld. Voor de meeste toepassingen ligt de drempelwaarde tussen 60 en 80.

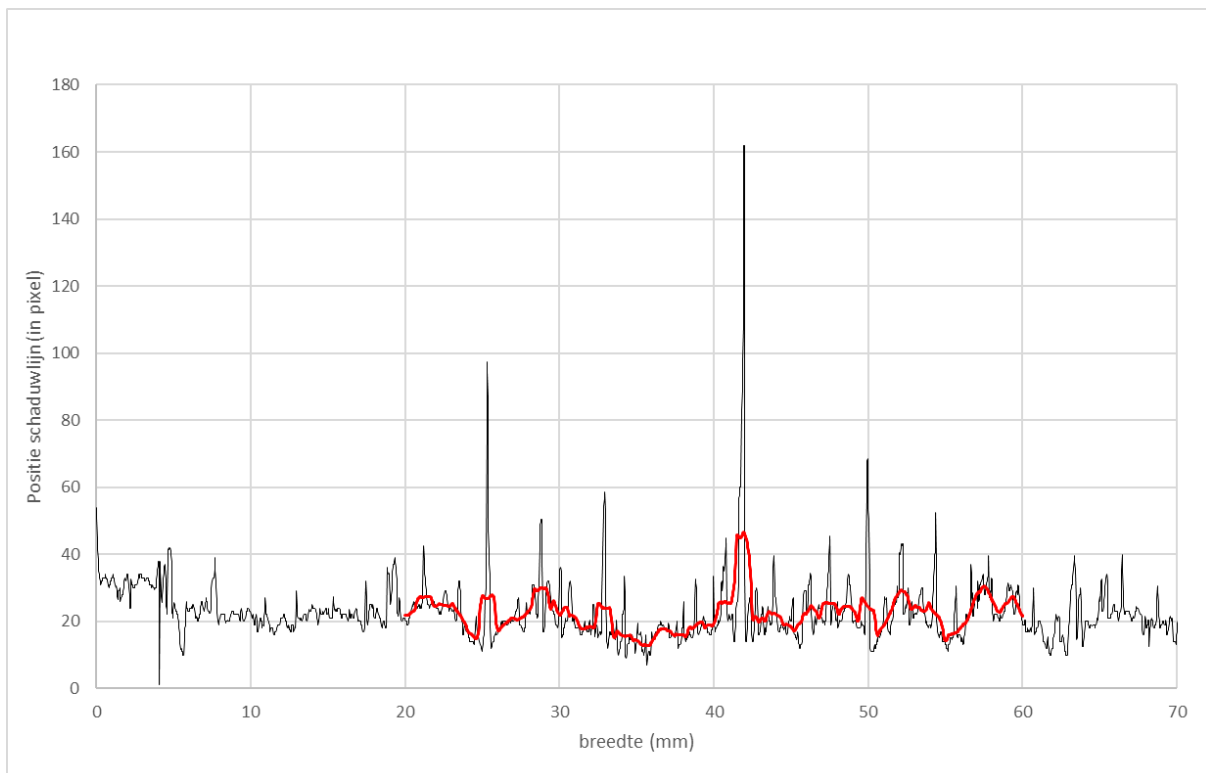
Op basis van de zwart/wit beelden kan nu de schaduwlijn, dus de grens tussen wit en zwart, in grafiekvorm weergegeven worden. Figuur 3014 toont een typisch verloop van de schaduwlijn.



Figuur 30 : grenszone tussen wit en zwart - de schaduwlijn

Het verloop van de schaduwlijn vertoont een grillig profiel, wat de weergave is van de ruwheid van het proefstuk. Daarnaast is ook een globalere kromming te merken, te wijten aan het kromtrekken van het proefstuk door de verwerking.

Deze globale vervorming dient uit de resultaten gefilterd te worden om het eigenlijke ruwheidsprofiel tussen de verschillende proefstukken te kunnen vergelijken. Hiertoe wordt een zone gedefinieerd waarin het ruwheidsprofiel zal bestudeerd worden. Het definiëren van deze zone laat toe om eventuele randeffecten in randzones uit te sluiten, of om te focussen op een specifieke zone.

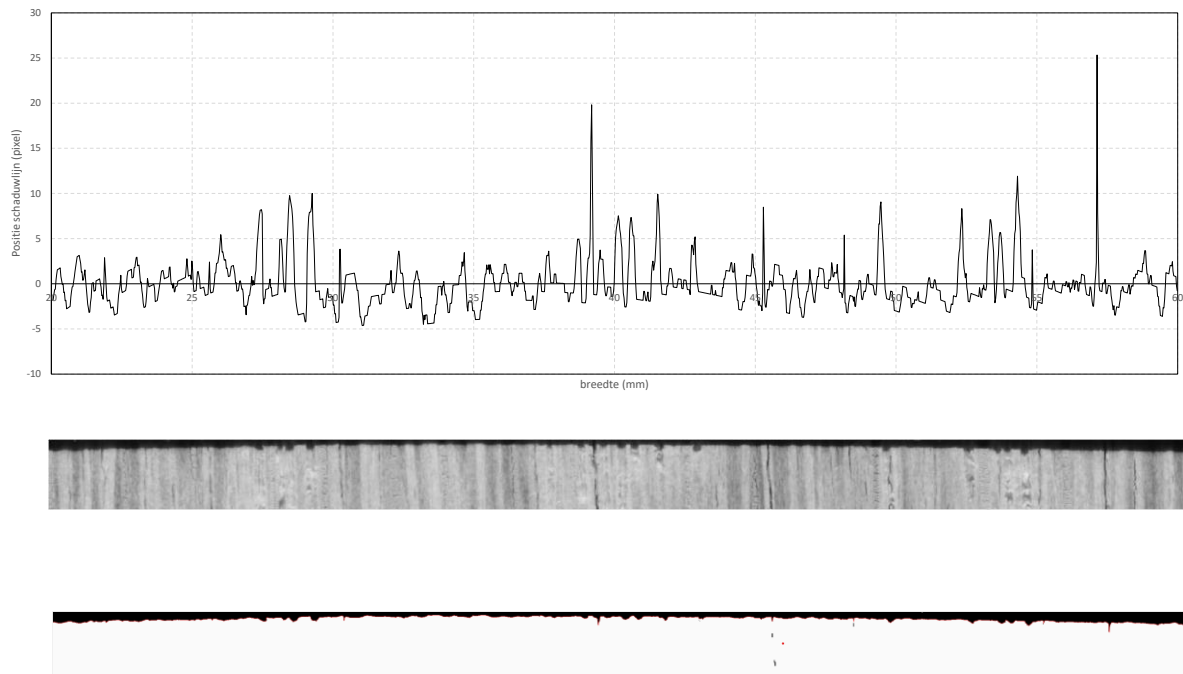


Figuur 31 : schaduwlijn en moving average curve

Binnen de interessezone wordt een curve berekend op basis van een moving average. Een punt op deze curve is het gemiddelde van de schaduwlijn berekend over een zone van 1 mm voor en 1 mm na

het gekozen punt. Figuur 3115 toont de schaduwlijn en de berekende moving average curve (= gemiddelde curve) in het rood. De interessezone loopt van 20 mm tot 60 mm.

Tenslotte wordt het verschil tussen het ruwheidsprofiel en de gemiddelde curve. Figuur 3216 toont het resultaat. Het bekomen profiel is een maat voor de ruwheid van het object en kan nu vergeleken worden met andere profielen bepaald op verschillende tijdstippen.



Figuur 32 : ruwheidsprofiel op basis van beeldanalyse.

Beschrijving van de techniek - de resultaten

Het uiteindelijke resultaat is een ruwheidsprofiel binnen een vooraf gedefinieerde zone. Op basis van dit profiel kunnen verschillende karakteristieken berekend worden.

Gemiddelde profielhoogte R_a

De gemiddelde profielhoogte wordt berekend via

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

Met n het aantal meetpunten en y_i de ruwheidswaarde van meetpunt i .

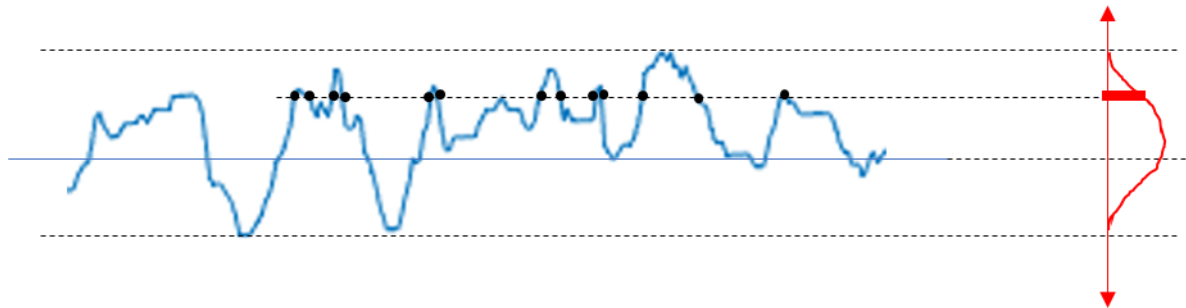
Root Mean Square ruwheid R_{rms}

De root mean square (RMS) ruwheid wordt berekend via

$$R_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

Analyse van het profiel

De analyse van het profiel meet het aantal keer dat de ruheidswaarde in een interval d gelegen is. De aantallen worden over de hoogte van het profiel uitgezet en geeft aanleiding tot een verdeling over het profiel. Figuur 3317 illustreert dit principe.



Figuur 33: analyse van het profiel - ruheidverdeling

5.2 Resultaten

5.2.1 Kunstmatige verwerking

Vier houtsoorten (iroko, eik, accoya en thermo ayous) werden aan een kunstmatige verwerking onderworpen. Voor elk houtsoort werd een proefstuk verweerd via Xe en werden 2 of 3 proefstukken verweerd via UV. De verwerking loopt in alle gevallen over een totale periode van 12 weken. Elke 2 weken werden de proefstukken geanalyseerd.

Iroko

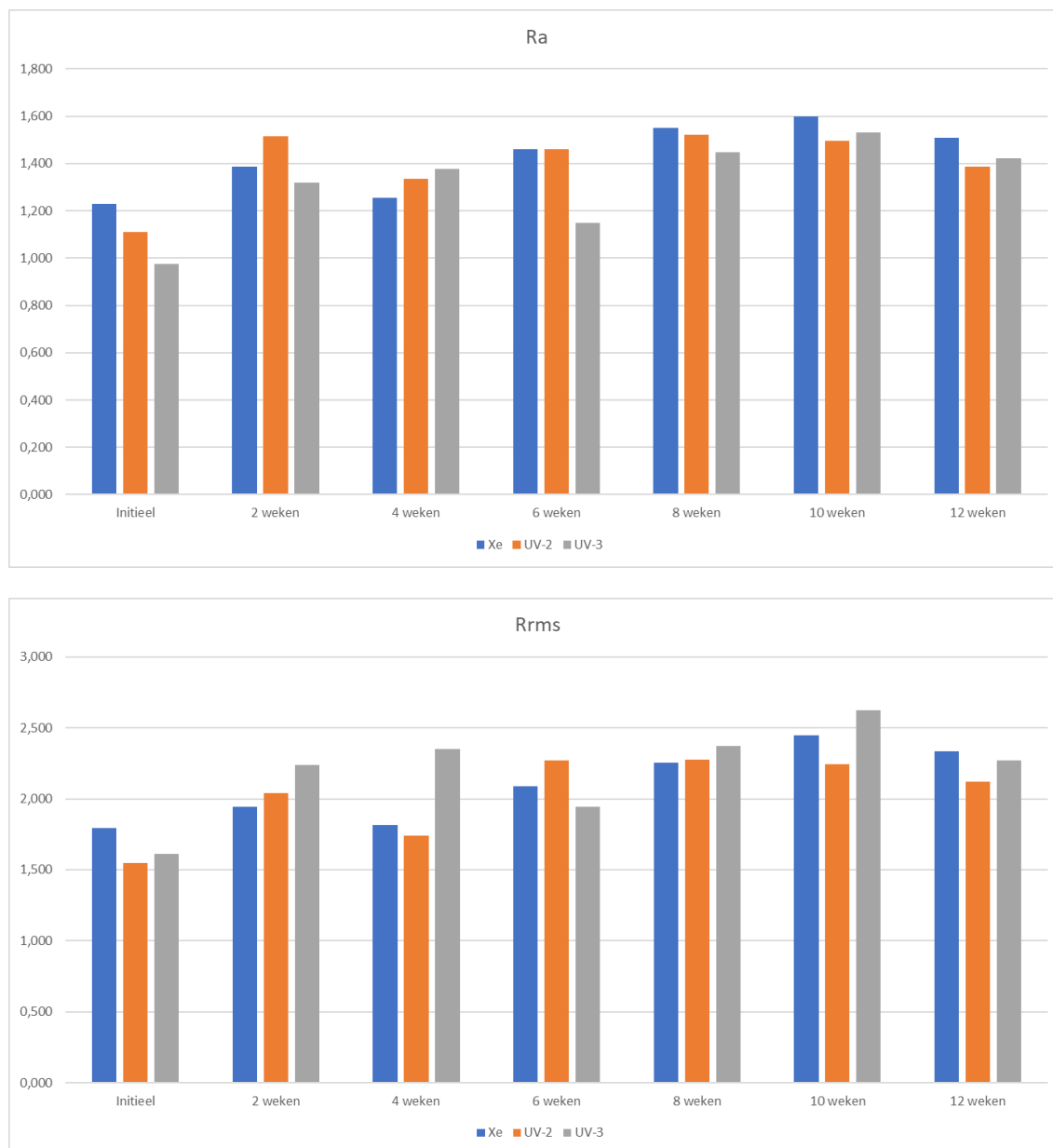
Figuur 3427 toont de gemiddelde ruheid (R_a) en de RMS ruheid (R_{rms}) voor iroko over de verschillende weken. Eén proefstuk kent een verwerking via Xe, twee proefstukken kennen een verwerking met UV.

De initiële gemiddelde ruheid van de proefstukken schommelt tussen 1 en 1,2. De initiële waarde van de RMS ruheid schommelt tussen 1,5 en 2. Deze waarden zijn dus onderling vergelijkbaar en tonen aan dat de meting reproduceerbaar is over de verschillende proefstukken.

Op basis van de verschillende grafieken blijkt dat de variatie van de gemiddelde ruheid en de RMS-ruheid voor de verschillende proefstukken met verschillende manieren van verwerking vergelijkbaar zijn. De ruheidswaarden liggen steeds in dezelfde buurt. Hier en daar vertoont een meting een uitschieter, zowel naar onder als naar boven. Echter, de trend in de resultaten is voor de verschillende proefstukken vergelijkbaar.

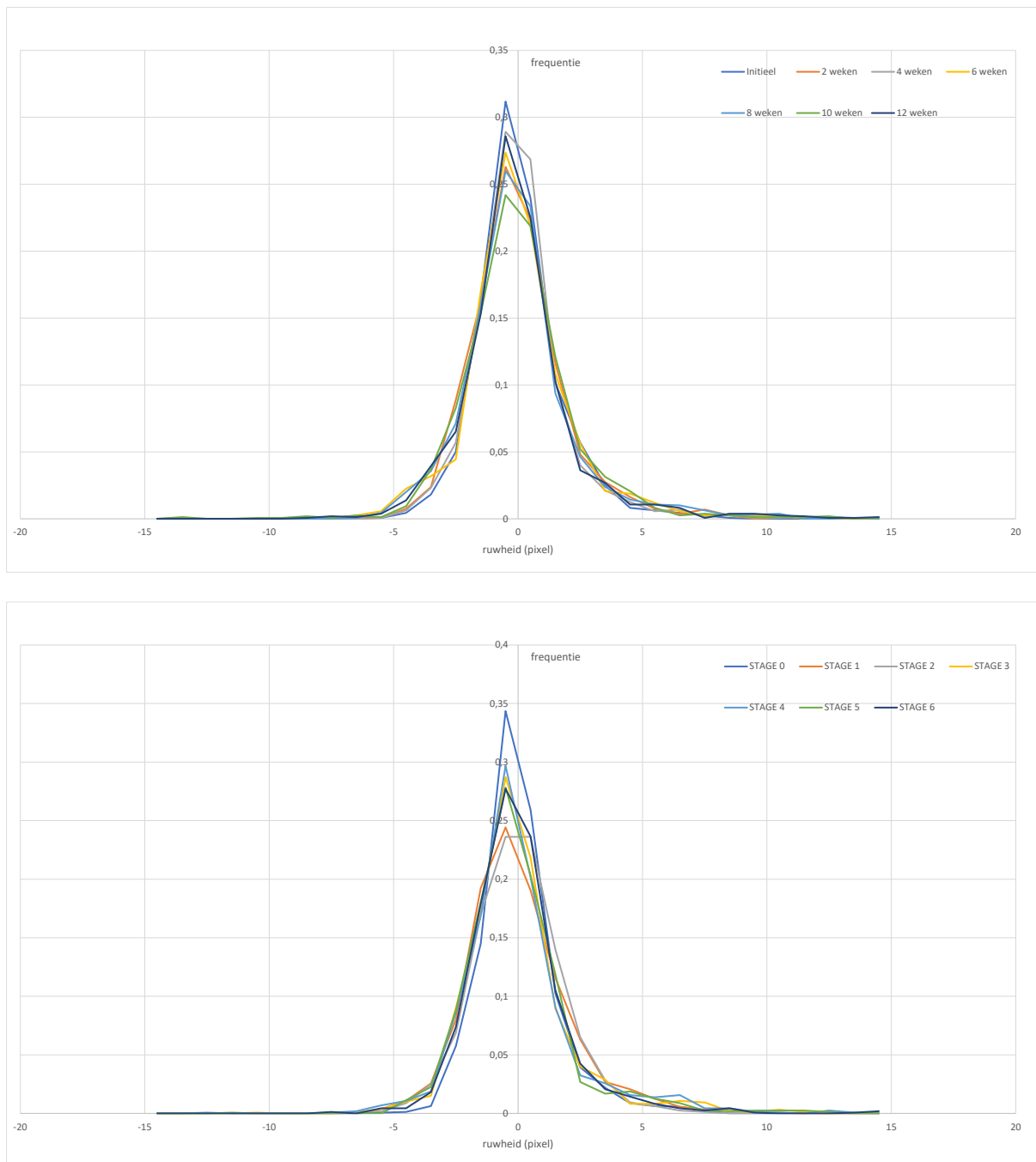
Na verwerking stijgt de gemiddelde ruheid en de RMS-ruheid voor alle proefstukken. De stijging van de ruheidswaarden is echter zeer beperkt en treedt vooral de eerste weken op. Uit de grafiek van de gemiddelde ruheid blijkt dat de waarde na 2 weken al een goed beeld geeft van de ruheidswaarden na 12 weken. Gemiddeld zit de gemiddelde ruheid na 2, 4 en 6 weken op 1,35. Na 8 weken is er wel nog een kleine opwaartse knik. Deze knik is voor de RMS-ruheid nog beter waarneembaar. Na 8, 10 of 12 weken is de gemiddelde ruheid ongeveer 1,5. Conclusie is wel dat na

2 weken al een goed beeld van de ruwheid ontstaat, een nauwkeuriger beeld ontstaat na 8 weken. Er is weinig verschil volgens de manier van verwerken.



Figuur 34: (a) Gemiddelde ruwheid van iroko onderworpen aan kunstmatige verwerking en (b) RMS-ruwheid van iroko onderworpen aan kunstmatige verwerking.

Figuur 3528 toont de ruwheidsverdeling van iroko over de verschillende weken na verwerking met Xe en UV. Er is een beperkte invloed merkbaar ten gevolge van de veroudering. De piekwaarde van het profiel daalt lichtjes en de breedte van het profiel neemt wat toe. Het initiële spitse profiel wijst op een beperkte ruwheidswaarde : beperkte breedte van het profiel wijst op beperkte pieken en dalen van het profiel. Het verbreden van het profiel wijst op een toename van de ruwheid. Echter, zoals voorheen is deze toename beperkt en al vrij snel bereikt.



Figuur 35: Ruwheidsverdeling van iroko over verschillende weken na verwerking met (a) Xe en (b) UV.

Besluit

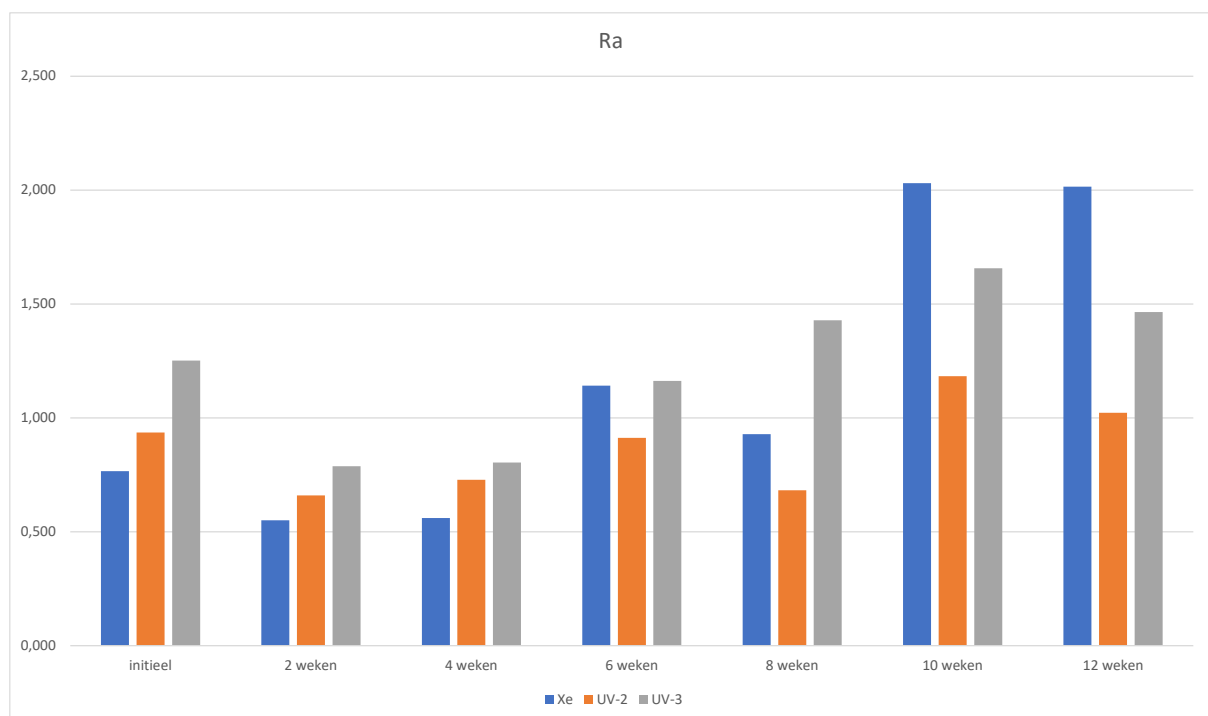
De ruwheid van iroko neemt onder invloed van kunstmatige verwerking slechts beperkt toe. Na 2 weken veroudering is een quasi constante waarde bereikt.

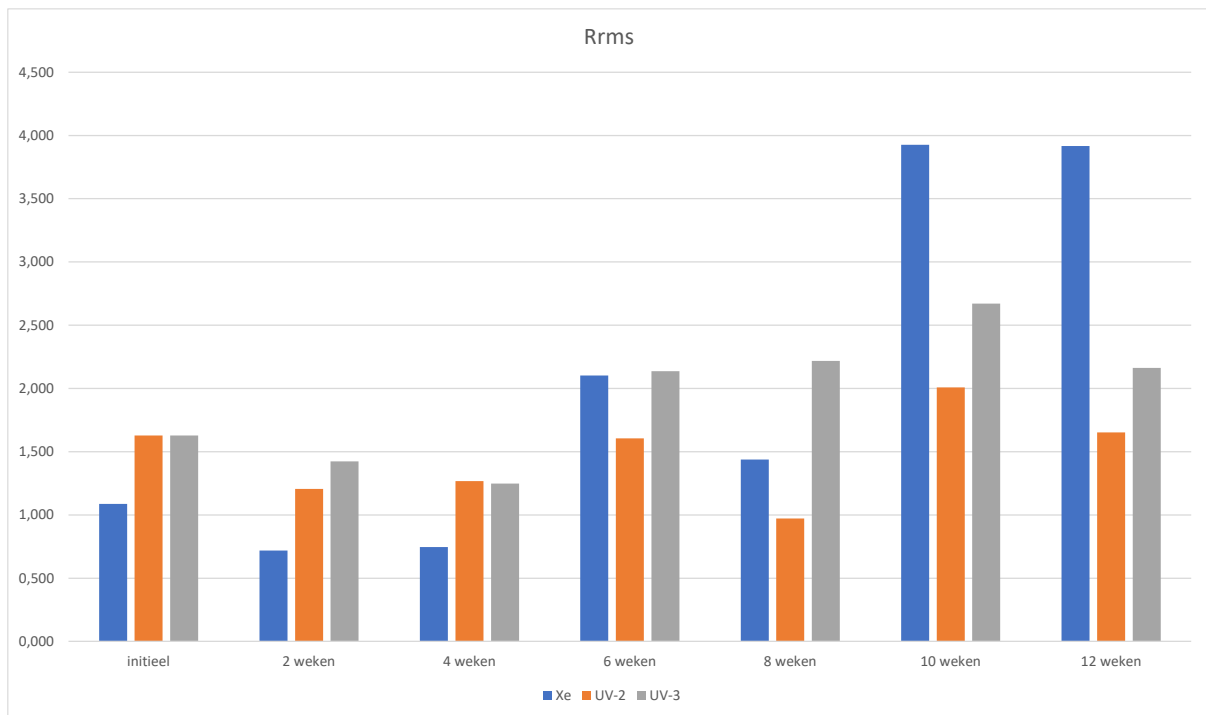
Geacetyleerd grenen

Figuur 3629 toont de gemiddelde ruwheid en de RMS-ruwheid van geacetyleerd grenen onderworpen aan kunstmatige verwerking. Eén proefstuk werd verweerd met Xe, 2 proefstukken werden verweerd met UV. Het valt onmiddellijk op dat er in vergelijking met iroco meer variatie is op de resultaten.

Zowel de gemiddelde ruwheid als de RMS-ruwheid kent een terugval in ruwheidswaarde. Figuur 3730 vergelijkt het initiële ruwheidsprofiel van proefstuk 2 met UV verwerking (UV-1) met het profiel na 2 weken. Het initiële profiel vertoont een scherpe piek (ruwheidswaarde 35) na ongeveer 12,5 mm. Deze piek is niet meer waarneembaar na 2 weken.

Om de oorsprong van de piek te achterhalen, worden de verschillende foto's die als basis voor de analyse dienen verder bestudeerd. Figuur 3831 toont de grijswaarde foto en het geconverteerde zwart wit beeld van het proefstuk na 0 en 2 weken. Op de foto's van de initiële meting is duidelijk een donkere band waarneembaar. Figuur 3932 toont de originele kleurenfoto's en ook hier is deze band waarneembaar. Na 2 weken verwerking is deze band niet meer waarneembaar. Op de kleurenfoto in Figuur 3932 is er nog een lichte schijn waarneembaar, waarschijnlijk is de donkere band uitgevlakt door de verwerking. De gemeten piek in de ruwheid is dus niet langer waarneembaar, waardoor de ruwheidswaarden dalen.

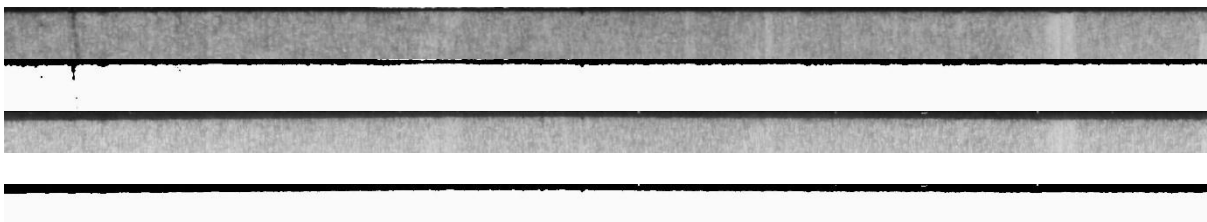




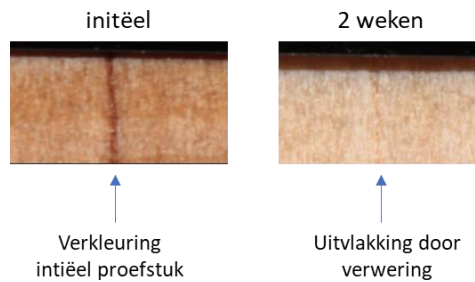
Figuur 36: (a) Gemiddelde ruwheid van geacetyleerd grenen onderworpen aan kunstmatige verwerking en (b) RMS-ruwheid van geacetyleerd grenen onderworpen aan kunstmatige verwerking.



Figuur 37 : Ruwheidsprofiel van proefstuk UV-2 : (a) initieel en (b) na 2 weken verwerking.



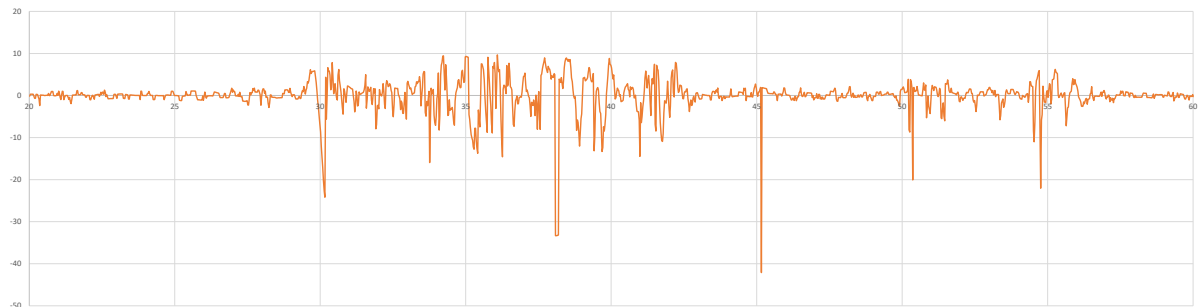
Figuur 38: Grijswaarde beeld en zwart-wit beeld van proefstuk UV2 : (a) initieel en (b) na 2 weken verwerking.



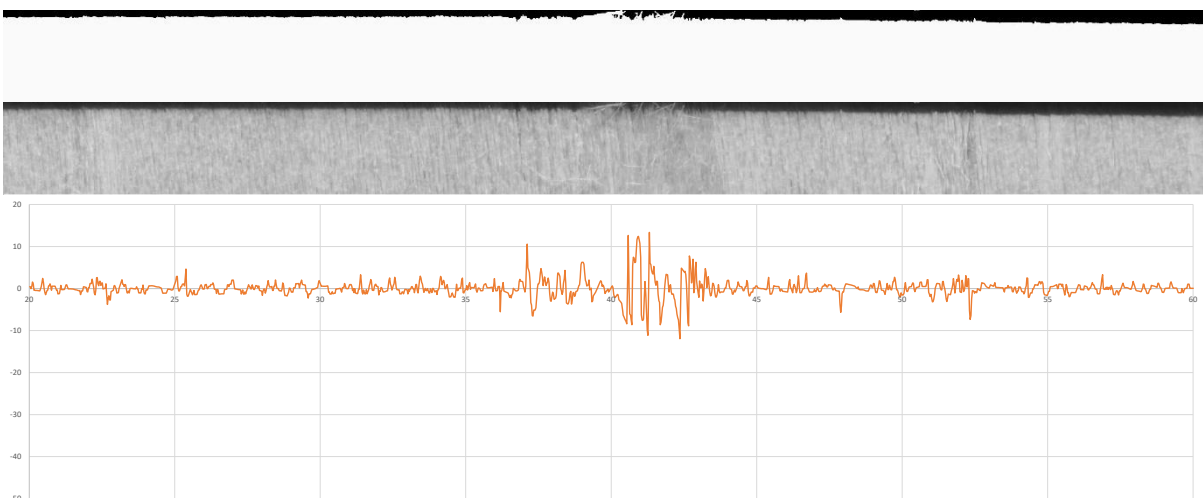
Figuur 39: vergelijking van basisfoto van proefstuk UV2 : (a) initieel en (b) na 2 weken verwerking.

Na 8 weken beginnen zich verschillen tussen de metingen af te tekenen. Na 10 weken worden de schommelingen, tussen de proefstukken en tussen de manier van verwerken, groot.

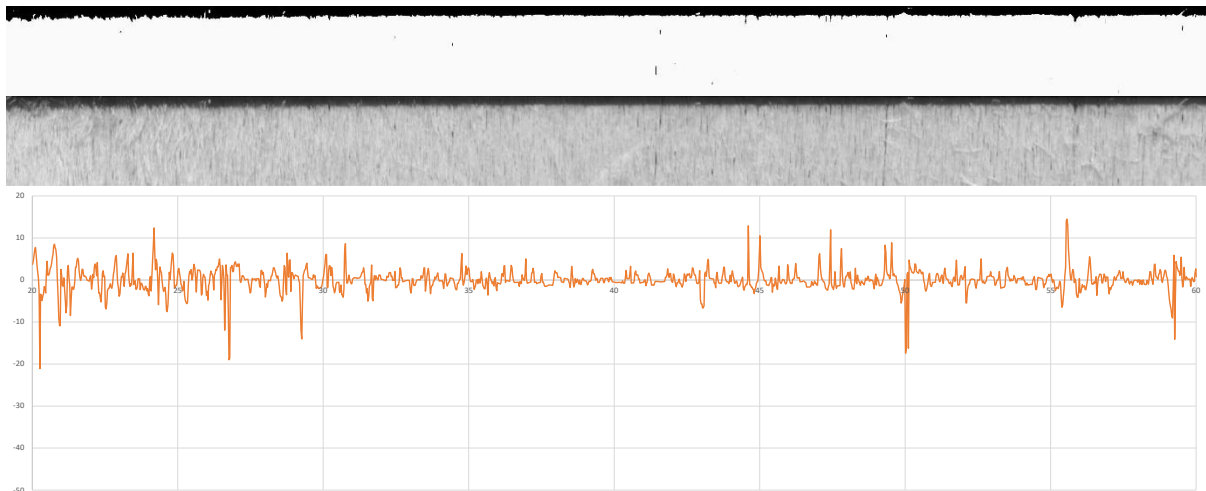
Figuur 4033 toont de ruwheidsprofielen en de bijhorende grijswaarde en zwart wit beelden. Op de verschillende profielen zijn er zones van verstoring waarneembaar. Na studie van de bijhorende beelden blijkt dit te wijten aan een soort van pluïsvorming van het hout. De loshangende houtvezels verstoren het schaduwbeeld, met een grillig ruwheidsprofiel tot gevolg.



(a)



(b)



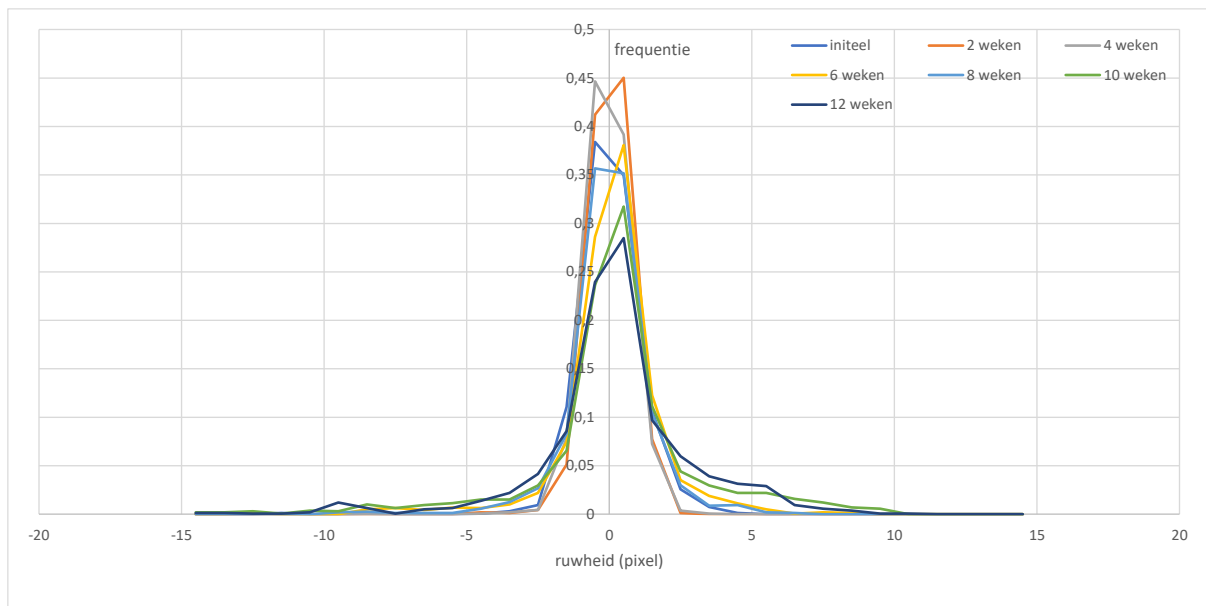
(c)

Figuur 40 : ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld voor geacetyleerd grenen na 10 weken kunstmatige veroudering met (a) Xe, (b) UV-2 en (c) UV-3.

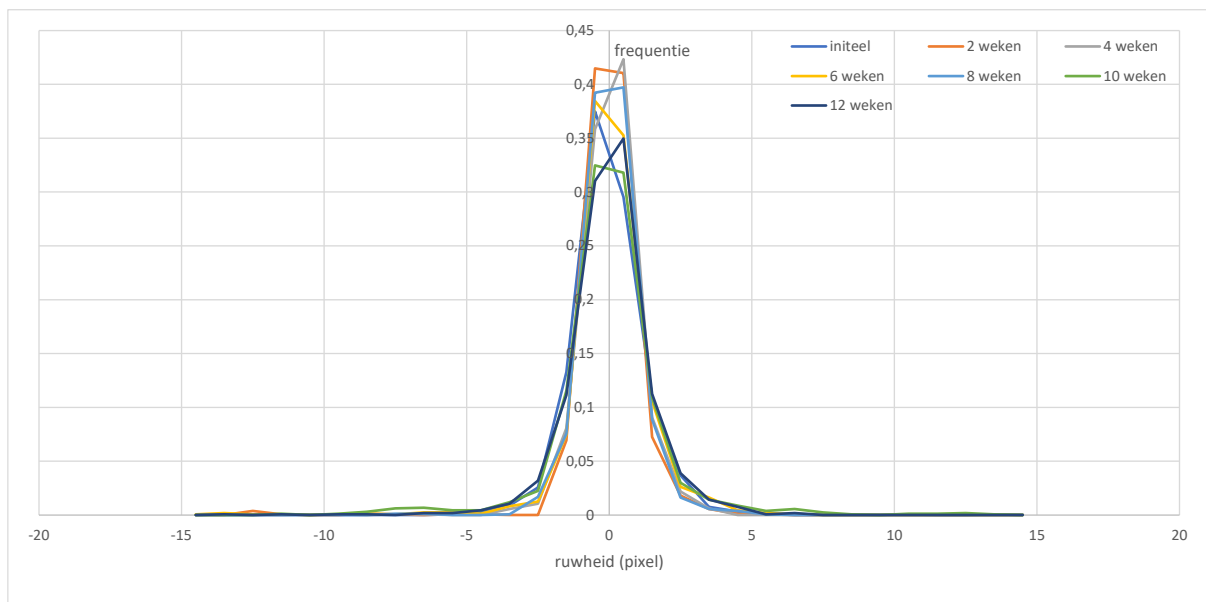
De meetmethode is niet onderscheidend genoeg om dit fenomeen eruit te filteren. Het fenomeen zou ook als een vorm van ruwheid kunnen bekeken worden, echter hierdoor ontstaat een grote spreiding op de ruwheidswaarden.

Globaal gezien tonen de ruwheidswaarden in Figuur 3629 een zeer lichte stijging na 6 weken (waarden om en bij de 1) en een meer uitgesproken stijging na 10 weken (waarde om en bij de 1,6 - wanneer gemiddelde resultaten van alle stalen worden beschouwd). Voor de verwerking via Xe is de sprong in de resultaten belangrijk. Figuur 4134 toont de ruwheidsverdeling voor geacetyleerd grenen na kunstmatige verwerking met Xe en UV. Voor Xe zakt na 10 weken de piekwaarde en wordt de verdeling breder, wat wijst op een grotere ruwheid. Voor UV is dit fenomeen minder merkbaar.

Voor de verwerking via UV zijn de verschillen gematigder. Verder onderzoek is nodig om deze trend te bevestigen.



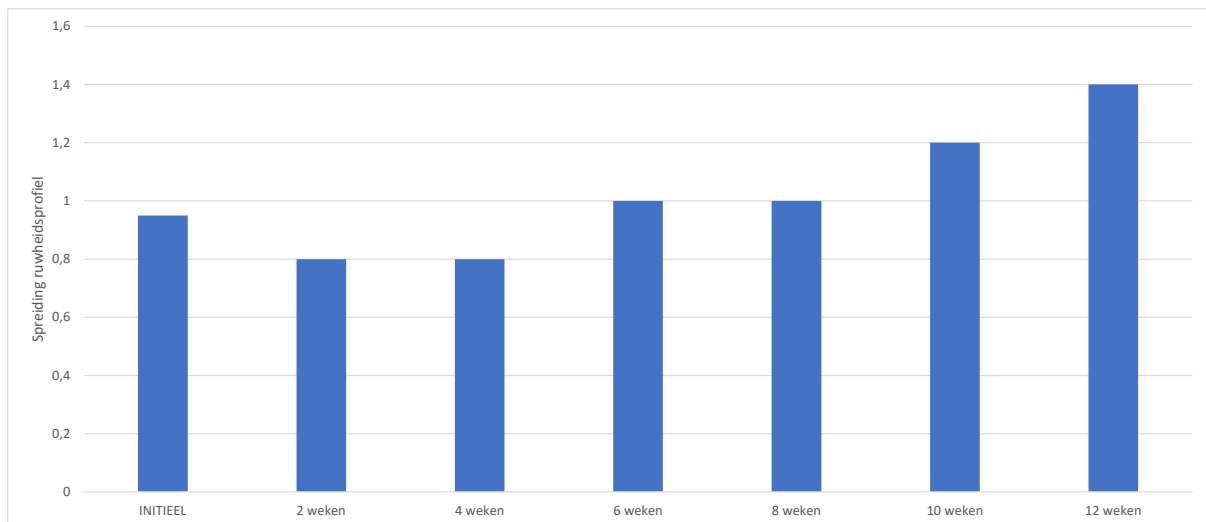
(a)



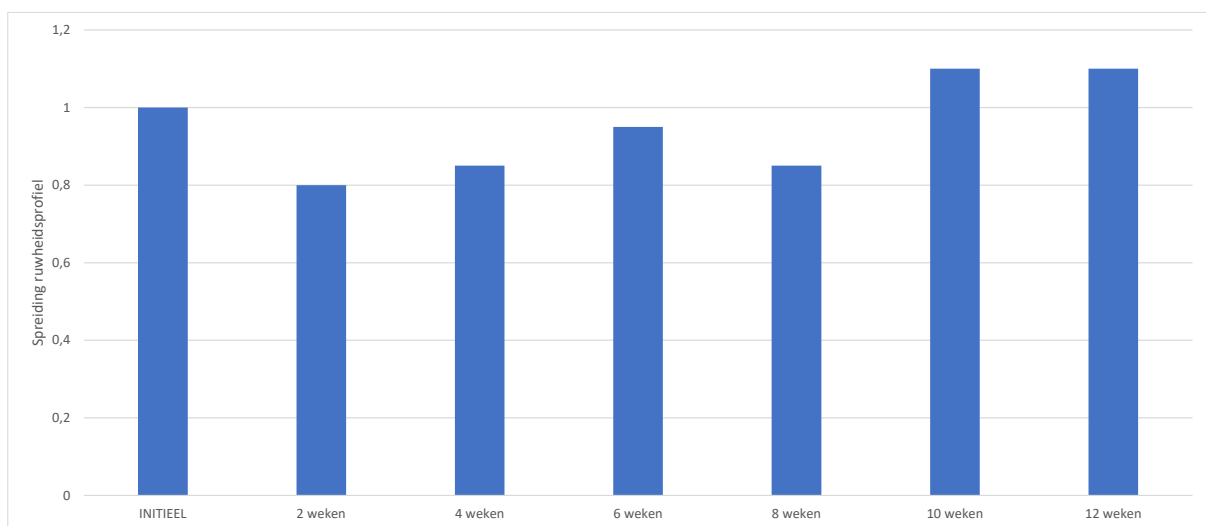
(b)

Figuur 41 : ruwheidsprofiel voor geacetyleerd grenen na kunstmatige verwerking met (a) Xe en (b) UV.

Op de gemeten verdeling kan een normaalverdeling gefit worden. Deze normaalverdeling wordt gekenmerkt door een gemiddelde en een spreiding. De spreiding is een maat voor de breedte van de curve en geeft aan hoe het ruwheidsprofiel groeit. Figuur 4235 toont de spreiding van de ruwheidsverdeling. Uit de grafiek voor verwerking met Xe blijkt duidelijk een toename na 10 weken, terwijl voor de verwerking met UV de spreiding zo goed als constant blijft.



(a)



(b)

Figuur 42 : spreiding van de ruwheidsverdeling voor geacetyleerd grenen na kunstmatige verwerking met (a) Xe en (b) UV.

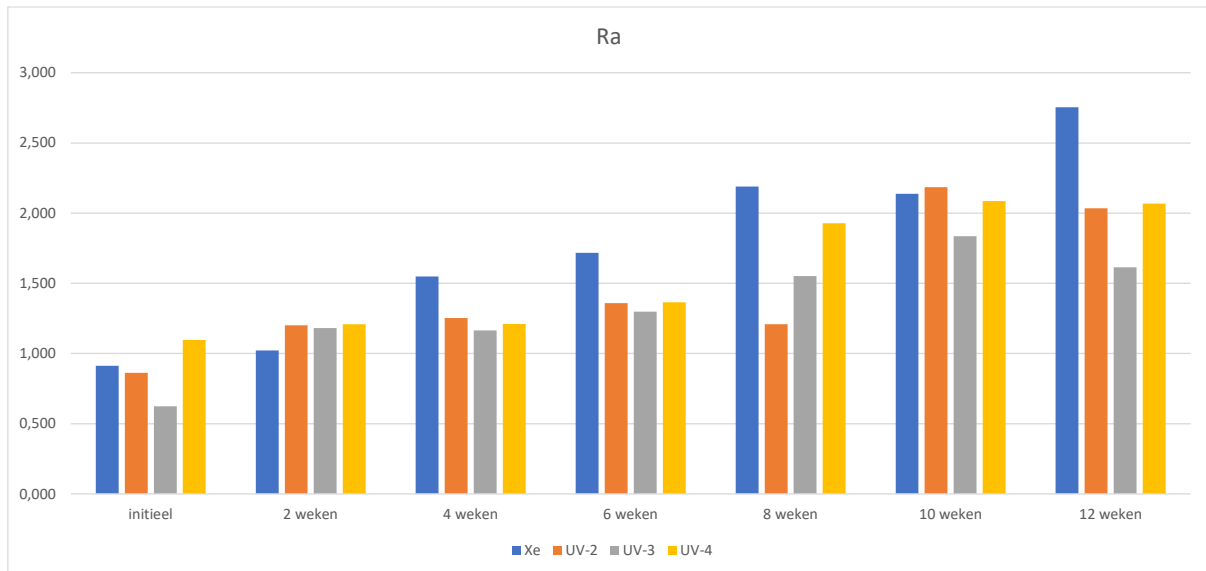
Op basis van bovenstaande resultaten blijkt dat meer onderzoek nodig is om te achterhalen of verwerking met UV werkelijk een beperkte invloed heeft op de ruwheid van geacetyleerd grenen.

Besluit

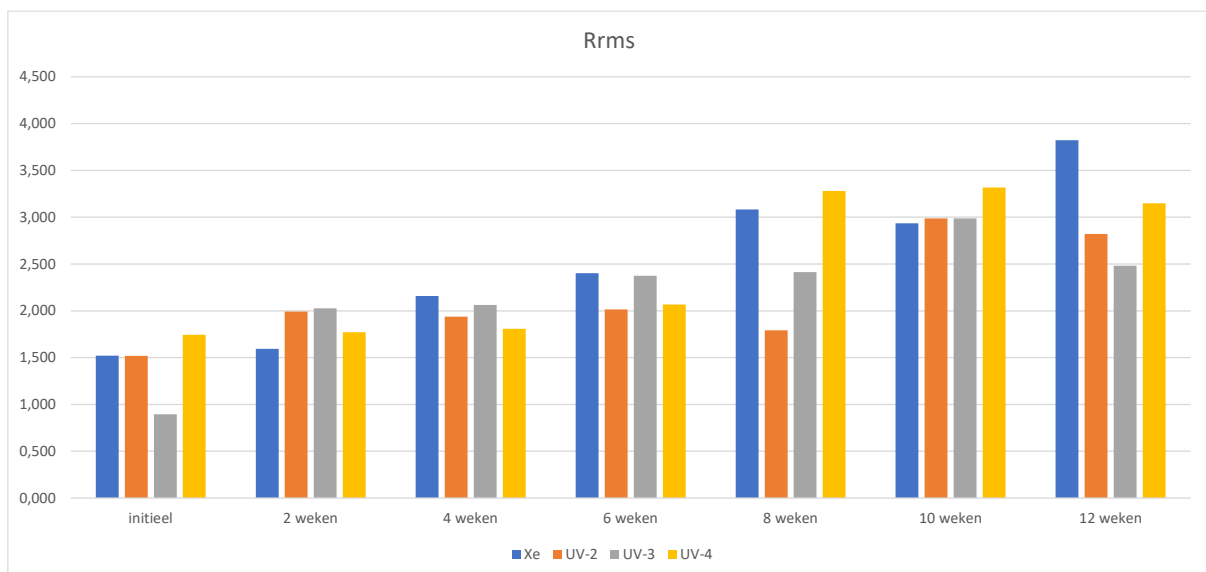
Het verwerken van geacetyleerd grenen kan aanleiding geven tot een verstoord ruwheidsbeeld waardoor de analyse via de schaduwlijn grote spreiding kan vertonen. De resultaten zijn moeilijk interpreteerbaar. Een verschil tussen verwerking met UV en Xe tekent zich af, maar dient door verder onderzoek bevestigd te worden. Er blijkt een toename in ruwheidswaarden na 10 weken. Na 12 weken lijken deze constant te blijven, echter dit kan niet bevestigd worden door latere metingen.

Thermo Ayous

Figuur 4336 toont de gemiddelde ruwheid en de RMS-ruwheid van thermo ayous onderworpen aan kunstmatige verwerking. Eén proefstuk werd verwerkt met Xe, 3 proefstukken werden verwerkt met UV.



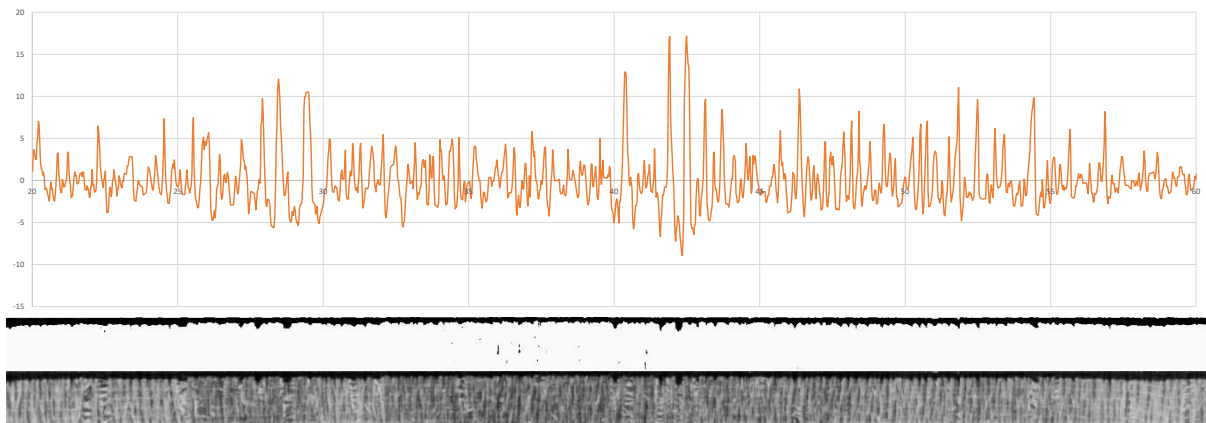
(a)



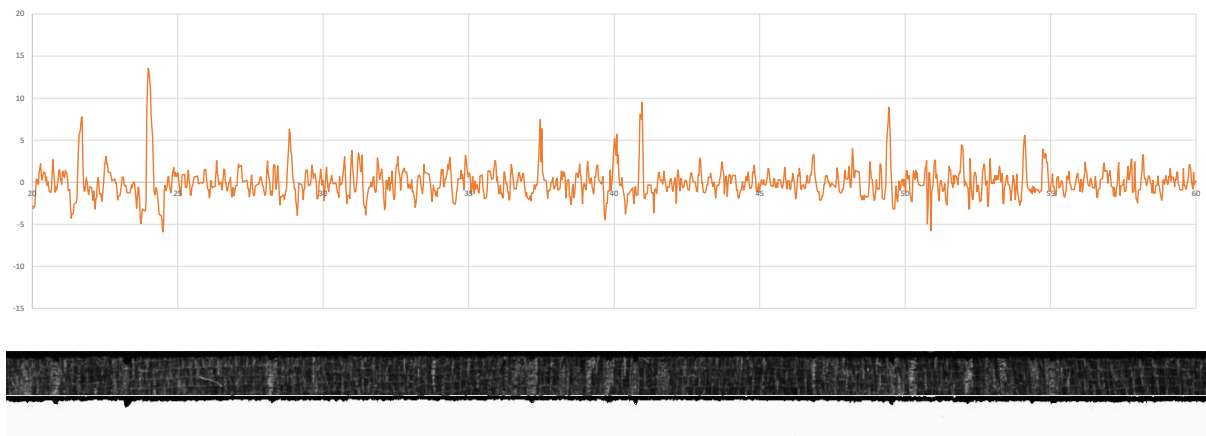
(b)

Figuur 43 : (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS-ruwheid van thermo ayous na verwerking met Xe en UV.

De ruwheidswaarden, gemiddelde en RMS, vertonen tussen de verschillende proefstukken slechts een beperkte afwijking. De verwerking met Xe heeft de neiging iets grotere waarden te bereiken dan de verwerking met UV. Zo is een grote verschil merkbaar na 8 weken tussen de verwerking met Xe en de verwerking met UV bij proefstuk 2. Figuur 4437 toont het ruwheidsprofiel en de bijhorende grijswaarde en zwart-wit beelden van deze proefstukken na 8 weken. De schaduwlijn bij Xe vertoont een grilliger verloop.



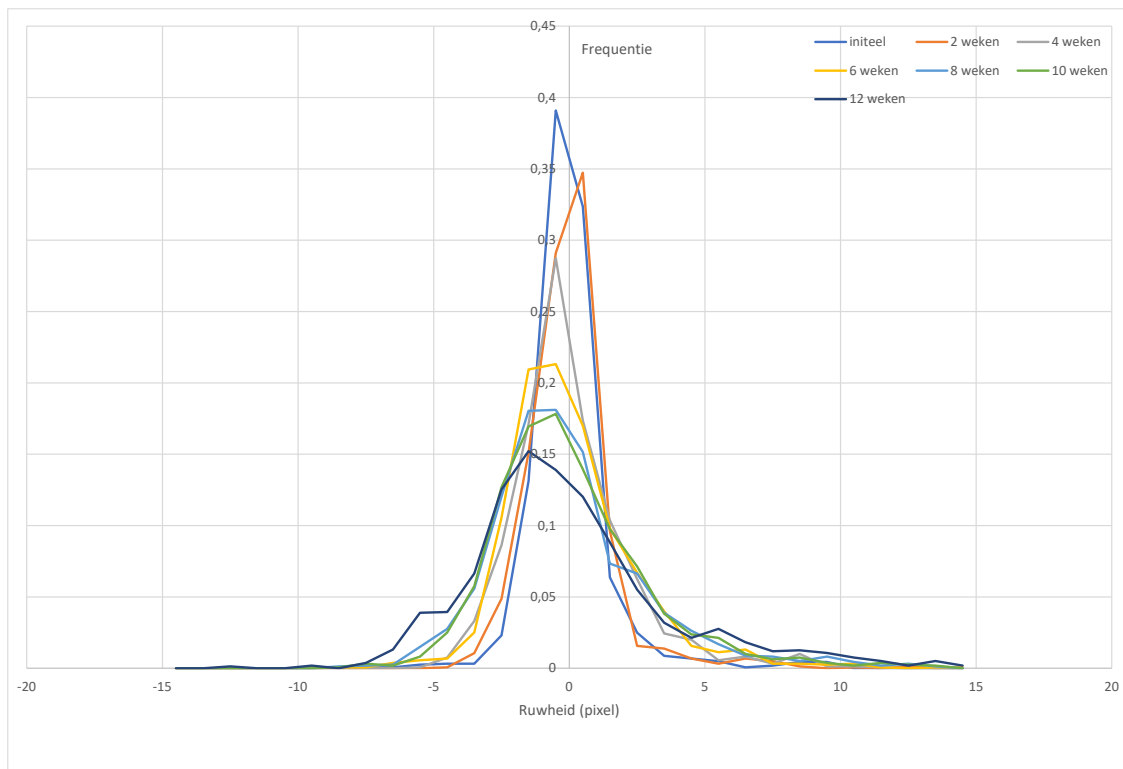
(a)



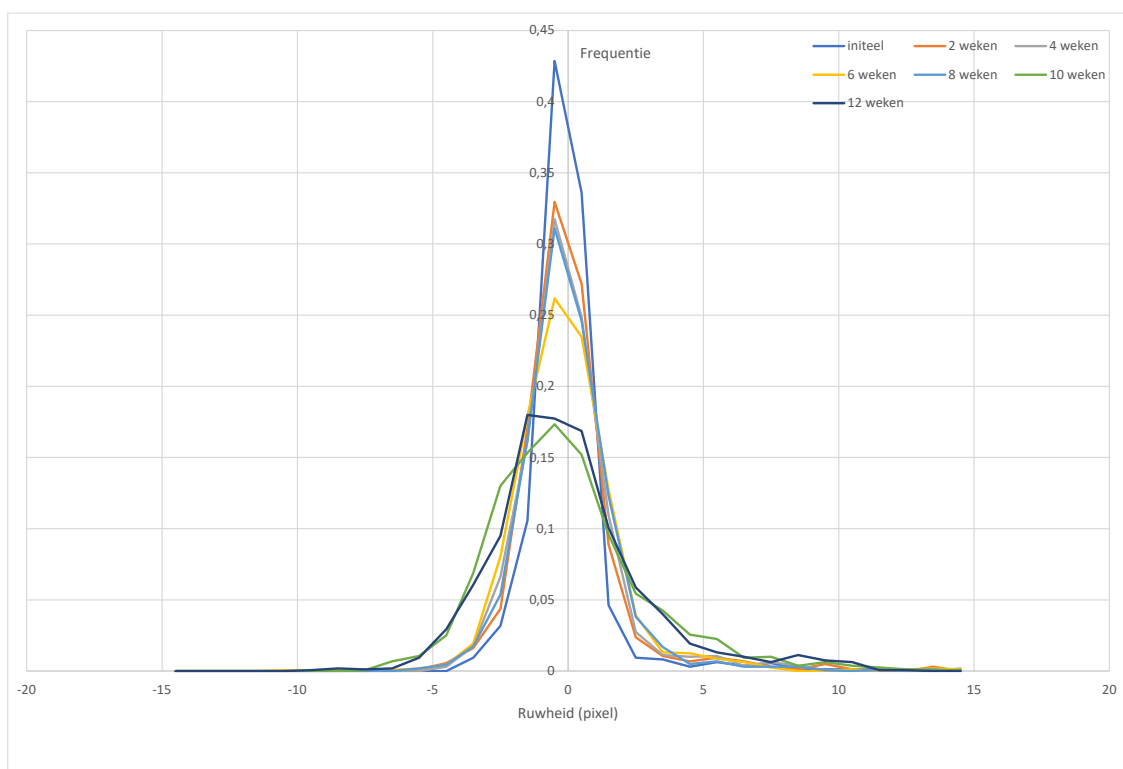
(b)

Figuur 44 : ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld van thermo ayous na 8 weken verwerking met (a) Xe en (b) UV-2.

Figuur 4538 toont de ruwheidsverdeling van thermo ayous na verwerking met Xe en UV. In de grafiek voor de verwerking met Xe is een duidelijke daling van de piek en een verbreding van de verdeling waarneembaar. De eerste weken is deze verandering zeer sterk. Naarmate de verwerking vordert verandert het profiel minder snel. Dit kantelpunt is waarneembaar op 6 weken. Figuur 4639a toont de bijhorende variatie van de spreiding. In deze grafiek valt op dat de spreiding na 8 weken slechts nog beperkt toeneemt. Voor UV is een analoog verloop waarneembaar Figuur 4639b, echter de stagnatie is pas na 10 weken.

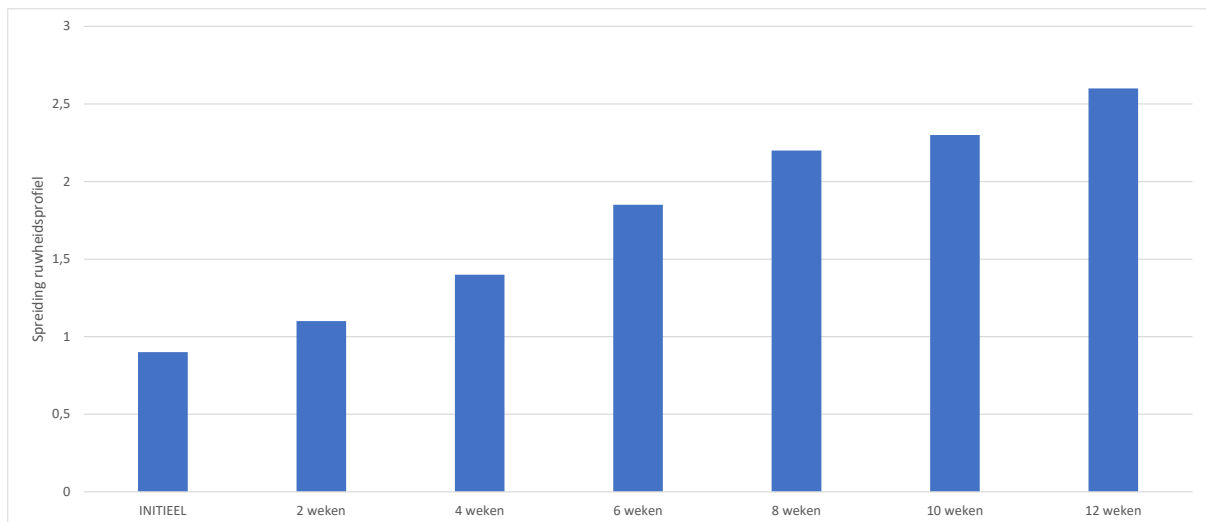


(a)

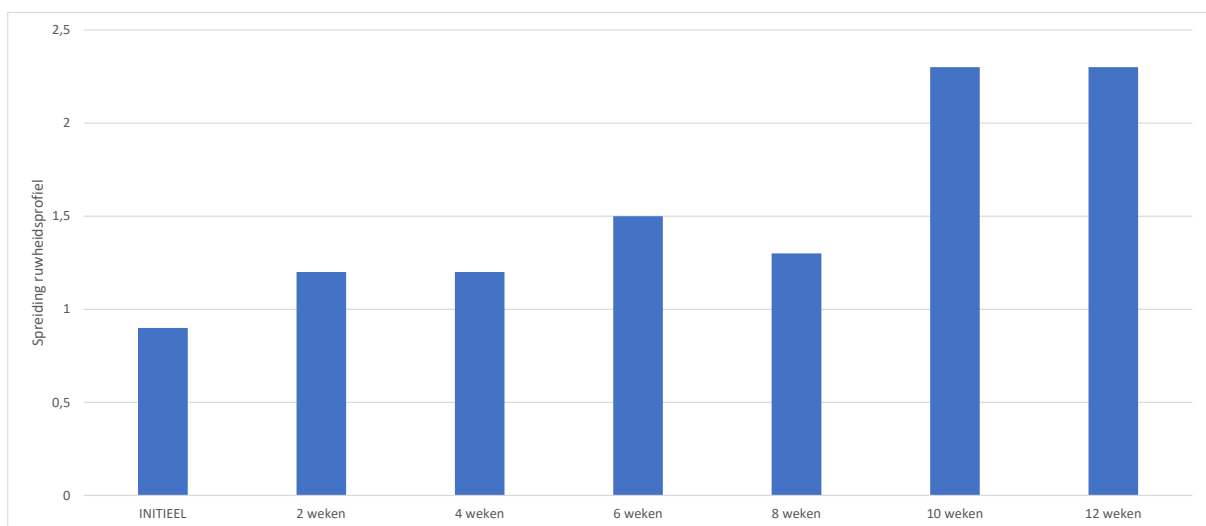


(b)

Figuur 45 : ruwheidsverdeling voor thermo ayous na verwerking met (a) Xe en (b) UV.



(a)



(b)

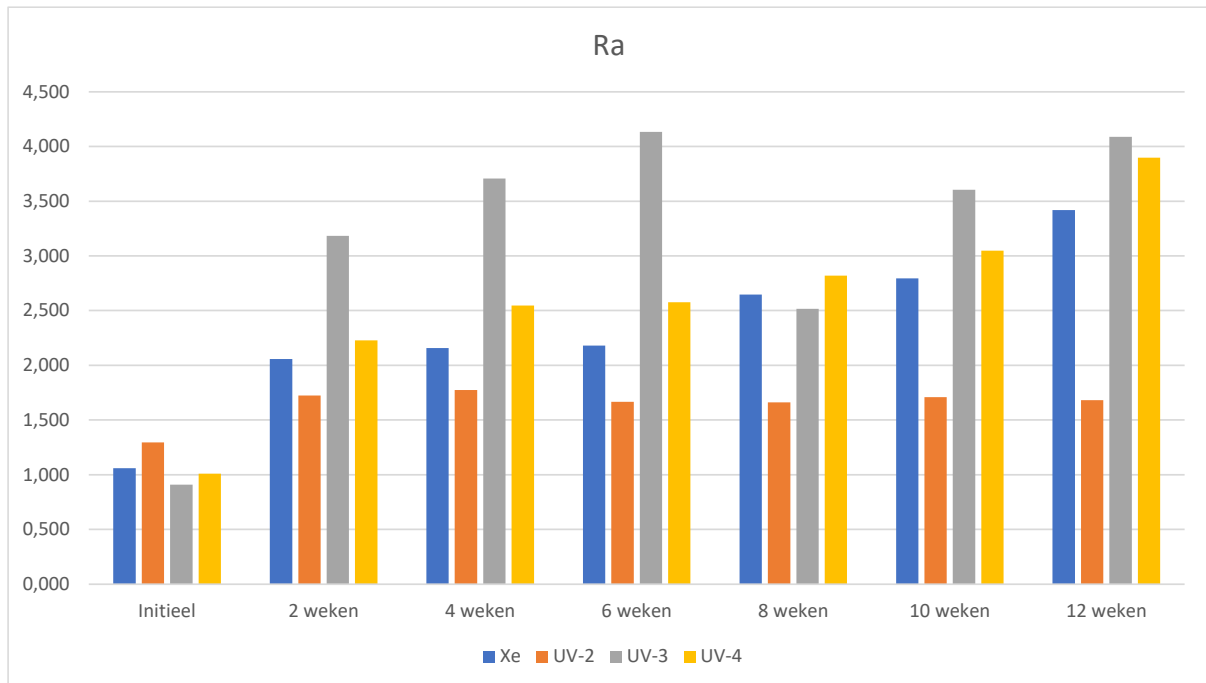
Figuur 46: spreiding van de ruwheidsverdeling voor thermo ayous na kunstmatige verwering met (a) Xe en (b) UV.

Besluit

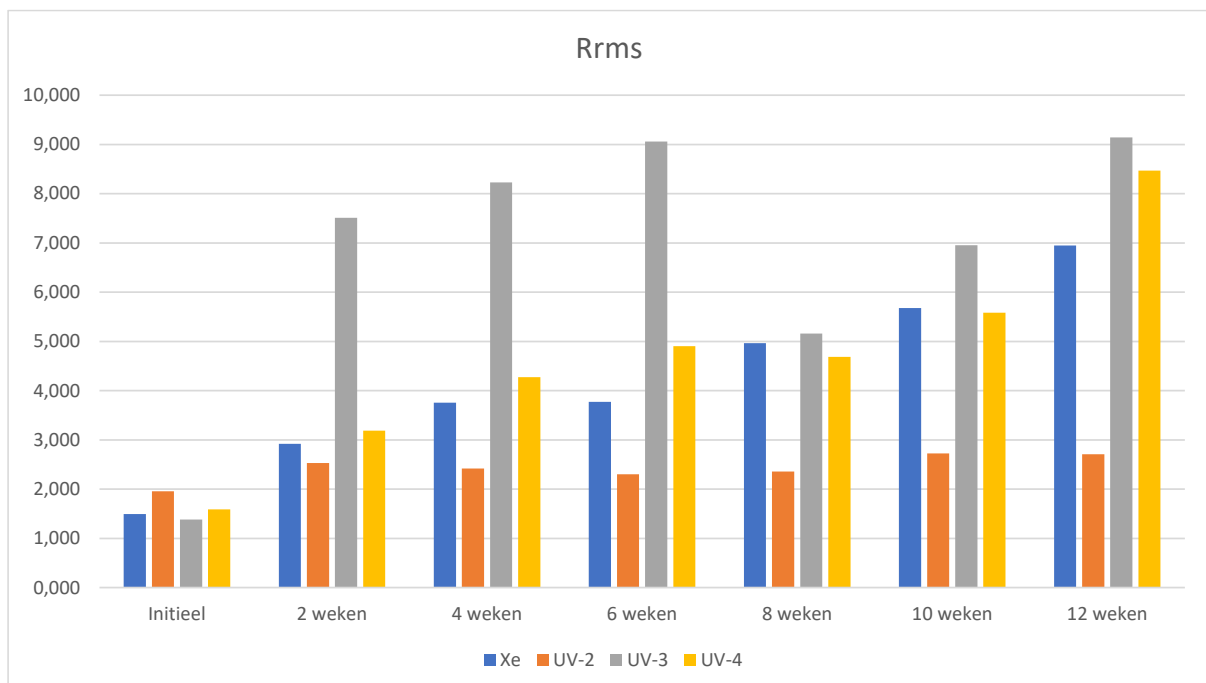
De resultaten voor thermo ayous zijn vergelijkbaar tussen de verschillende proefstukken. Er tekent zich een trend af dat de wering met Xe iets sneller tot een gestabiliseerde ruwheidswaarde kan leiden. Voor Xe lijken de waarden zich na 8 weken te stabiliseren, voor UV na 10 weken.

Eiken

Figuur 4740 toont de gemiddelde ruwheid (Ra) en de RMS ruwheid (Rrms) voor eiken over de verschillende weken. Eén proefstuk kent een verwerking via Xe, drie proefstukken kennen een verwerking met UV.



(a)



(b)

Figuur 47 : (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS-ruwheid van eiken na kunstmatige verwerking met Xe en UV.

Op Figuur 4740 is merkbaar dat de variatie op de initiële meting beperkt is. Dit geeft aan dat de meetmethode op zich reproduceerbaar is. Om een beter idee te krijgen van de te verwachten spreiding is meer onderzoek nodig.

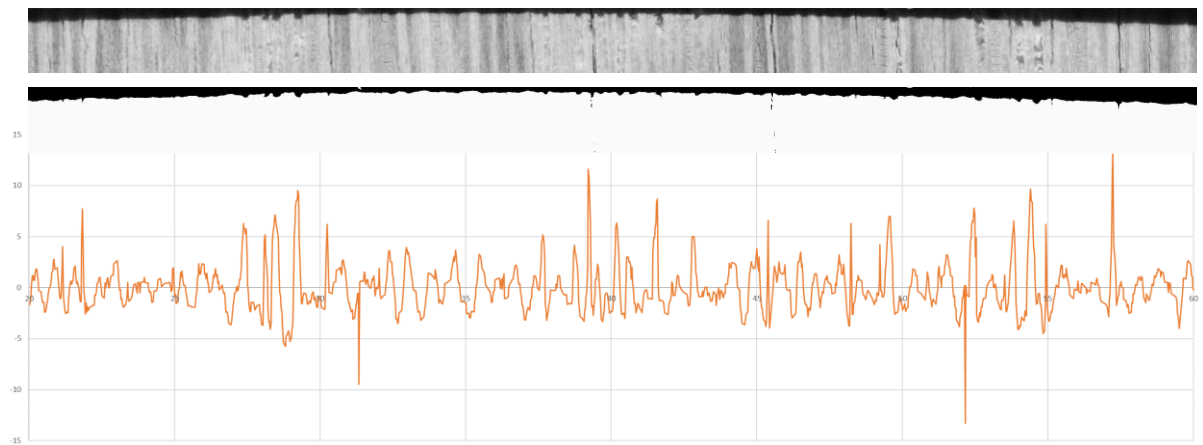
De evolutie van de ruwheidswaarden voor de verschillende proefstukken en de verschillende verweringsmethoden kent een gelijkaardig verloop, maar onderling toch wat verschillen.

Wat betreft UV verwerking vertoont staal 3 gedurende week 2, 4 en 6 vrij grote verschillen met de andere stalen. Weken 8, 10, 12 zijn de resultaten dan weer in lijn met UV-staal 4 en het staal met Xe verwerking. Staal UV-2 kent over de hele lijn systematisch lagere waarden.

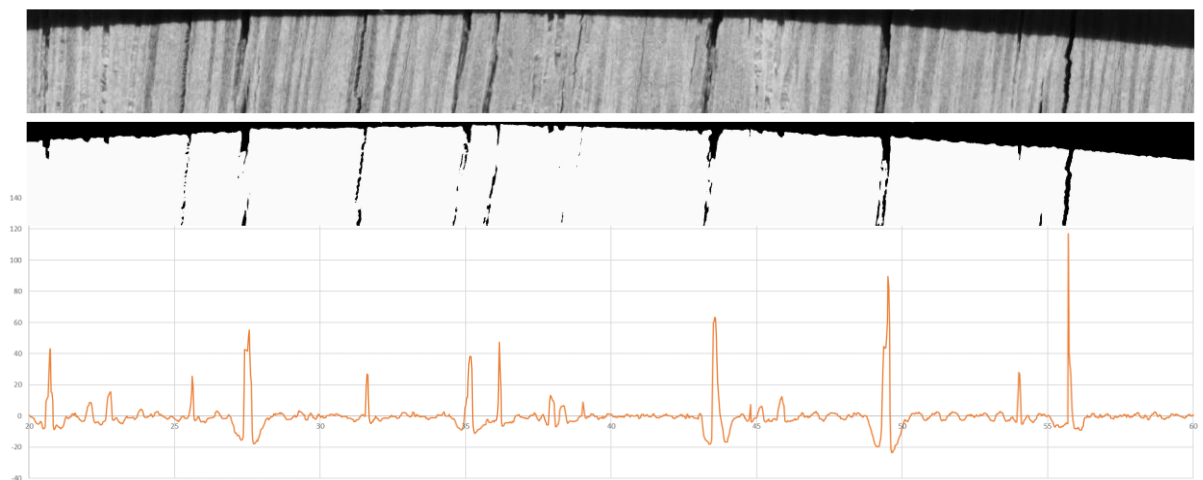
Figuur 4841 toont het ruwheidsprofiel en bijhorend grijswaarde en zwart-wit beeld na 6 weken. Op de beelden is duidelijk merkbaar dat UV-staal 3 meer scheuren vertoont. De scheuren in het proefstuk geven aanleiding tot pieken in het ruwheidsprofiel. Bij het Xe-staal zijn ook enkele scheuren merkbaar, maar duidelijk minder dan bij het UV-staal. Bij UV- staal 2 zijn quasi geen scheuren merkbaar, wat resulteert in een meer klassiek ruwheidsprofiel.

De scheuren zorgen voor pieken in het ruwheidsprofiel, die resulteren in een hogere gemiddelde ruwheid en hogere RMS-ruwheid.

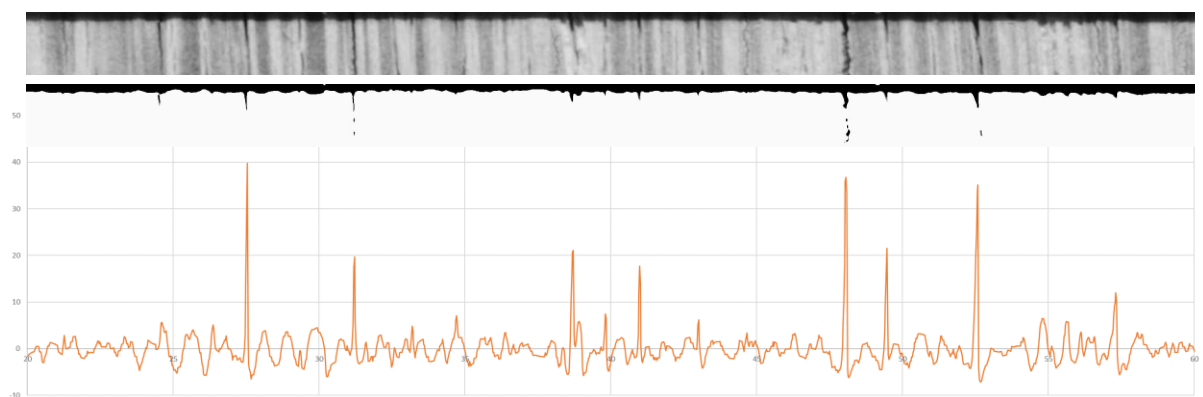
Figuur 4942 toont het ruwheidsprofiel en bijhorend grijswaarde en zwart-wit beeld na 12 weken. Op de beelden is merkbaar dat het staal met Xe-verwerking nu ook meer scheurvorming vertoont, terwijl de scheurvorming in het UV- staal 2 nog steeds zeer beperkt is.



(a)

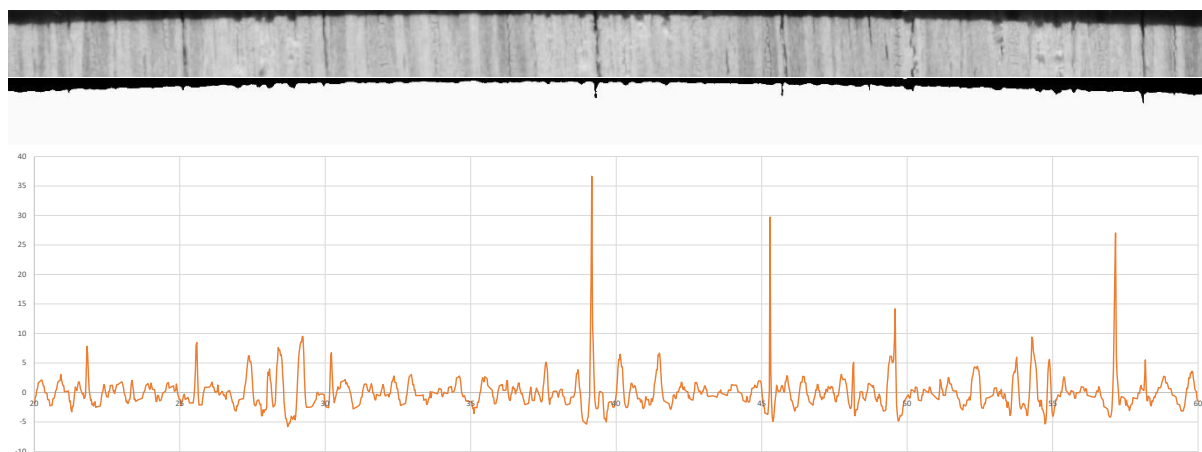


(b)

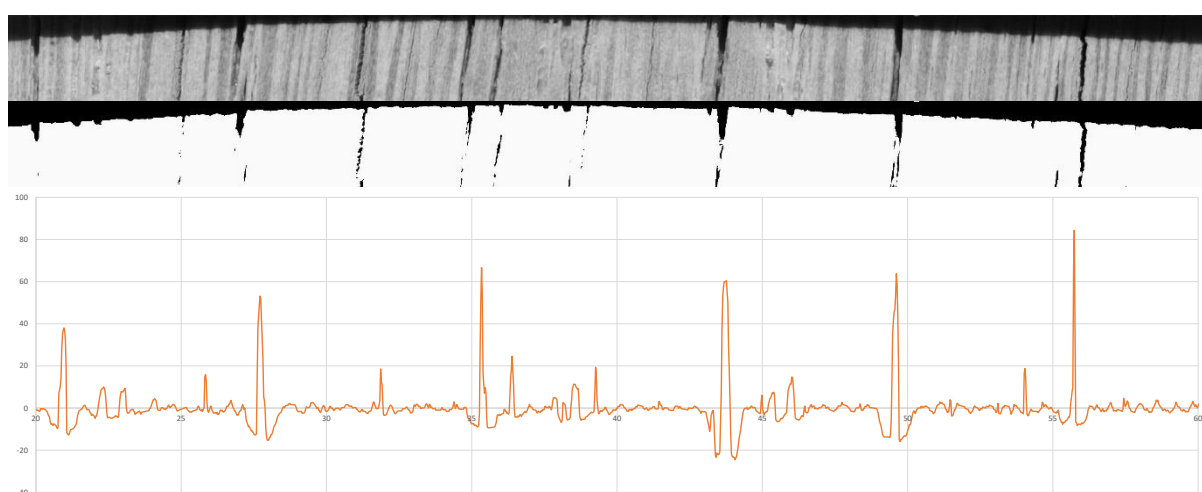


(c)

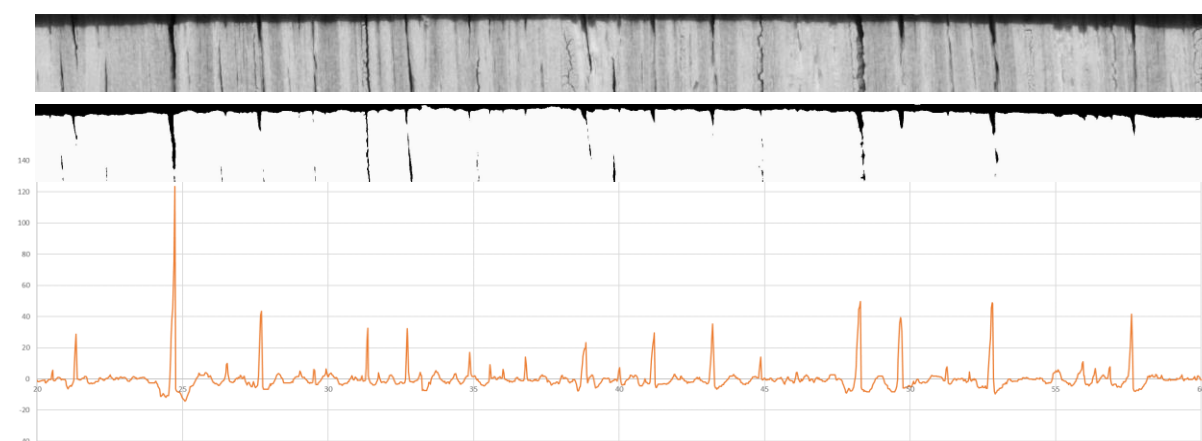
Figuur 48 : Ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld voor eiken na 6 weken kunstmatige verwerking met : (a) UV - staal 2, (b) UV – staal 3 en (c) Xe.



(a)

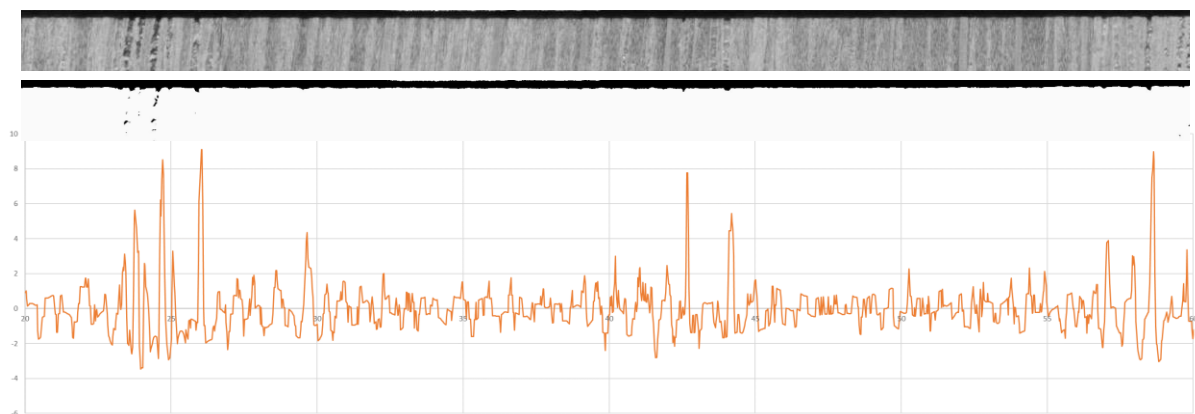


(b)

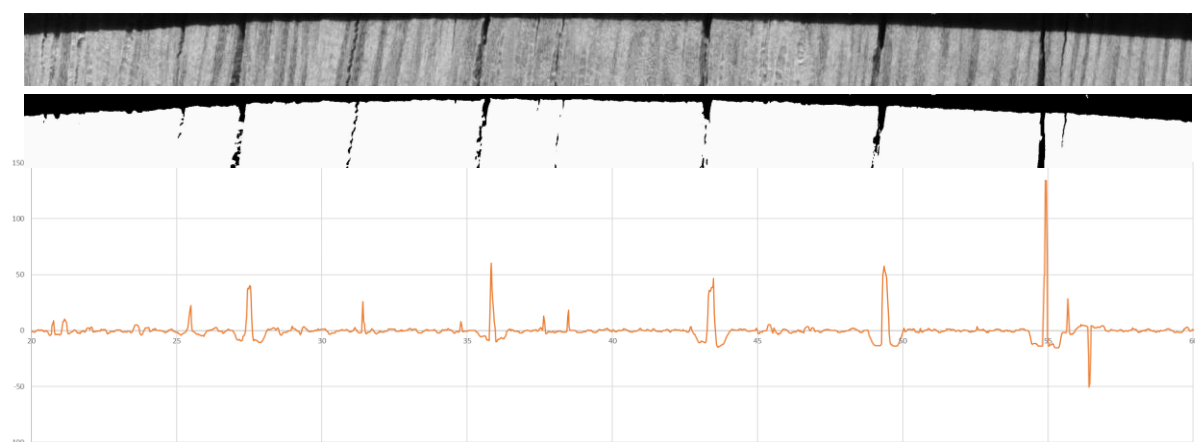


(c)

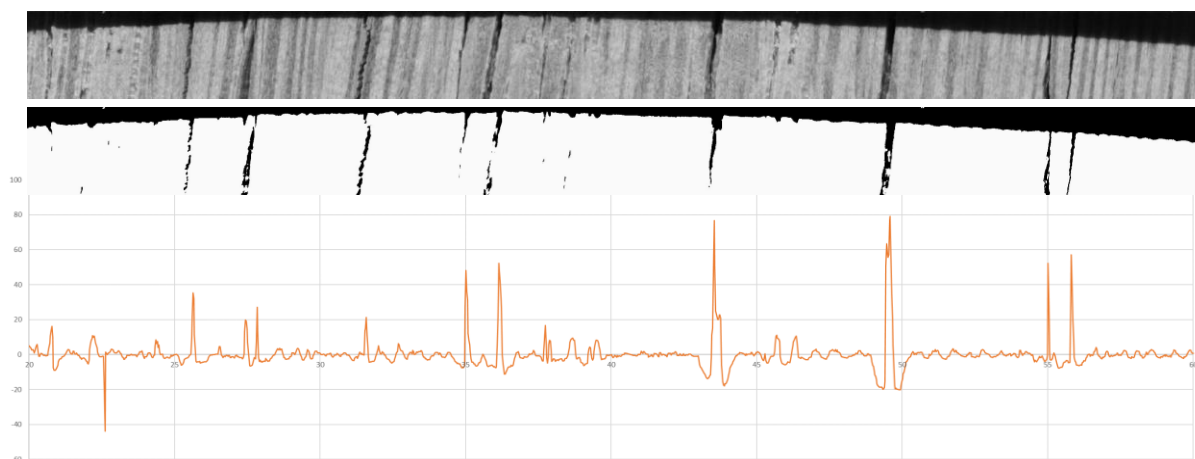
Figuur 49 : Ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld voor eiken na 12 weken kunstmatige verwerking met : (a) UV - staal 2, (b) UV - staal 3 en (c) Xe.



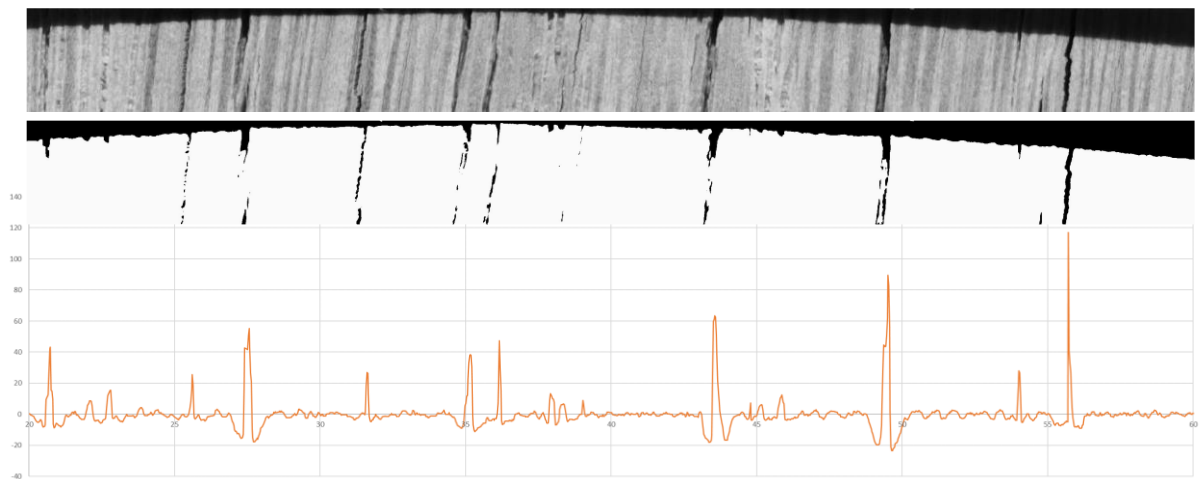
initeel



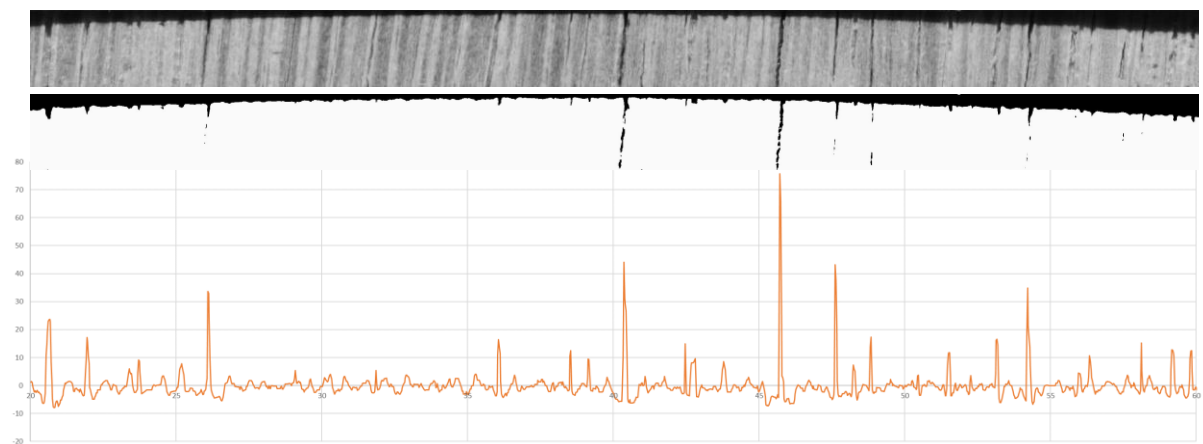
2 weken



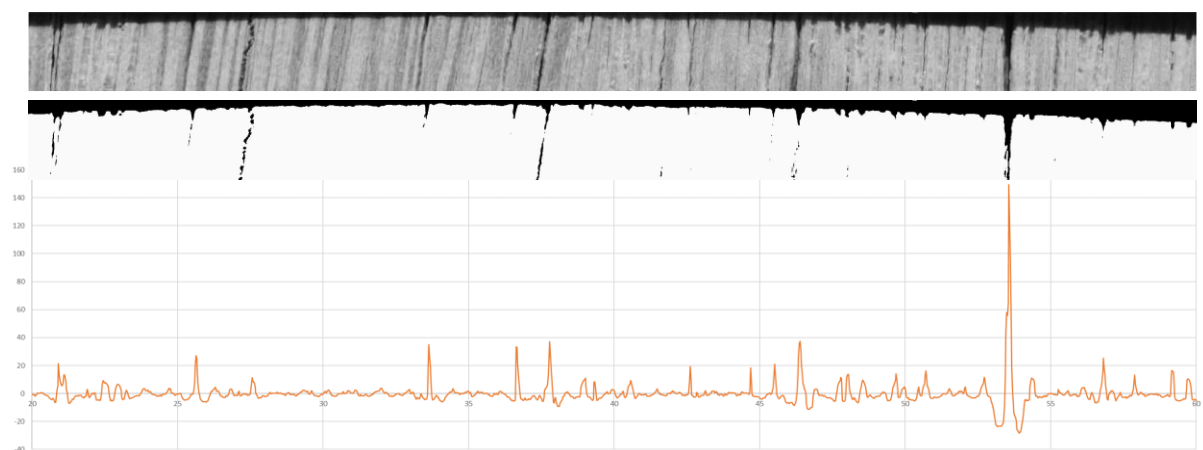
4 weken



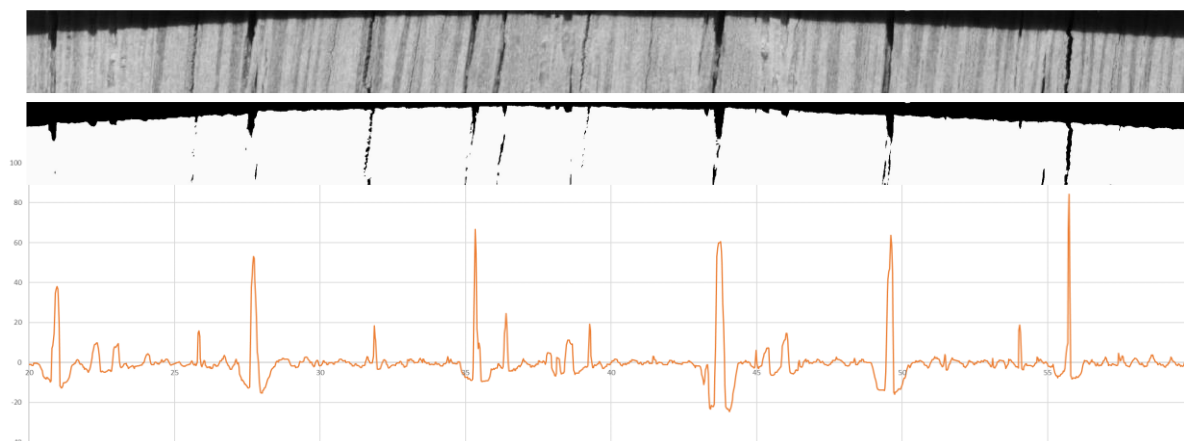
6 weken



8 weken



10 weken



12 weken

Figuur 50 : Ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld voor proefstuk 3 gedurende verwerking met UV.

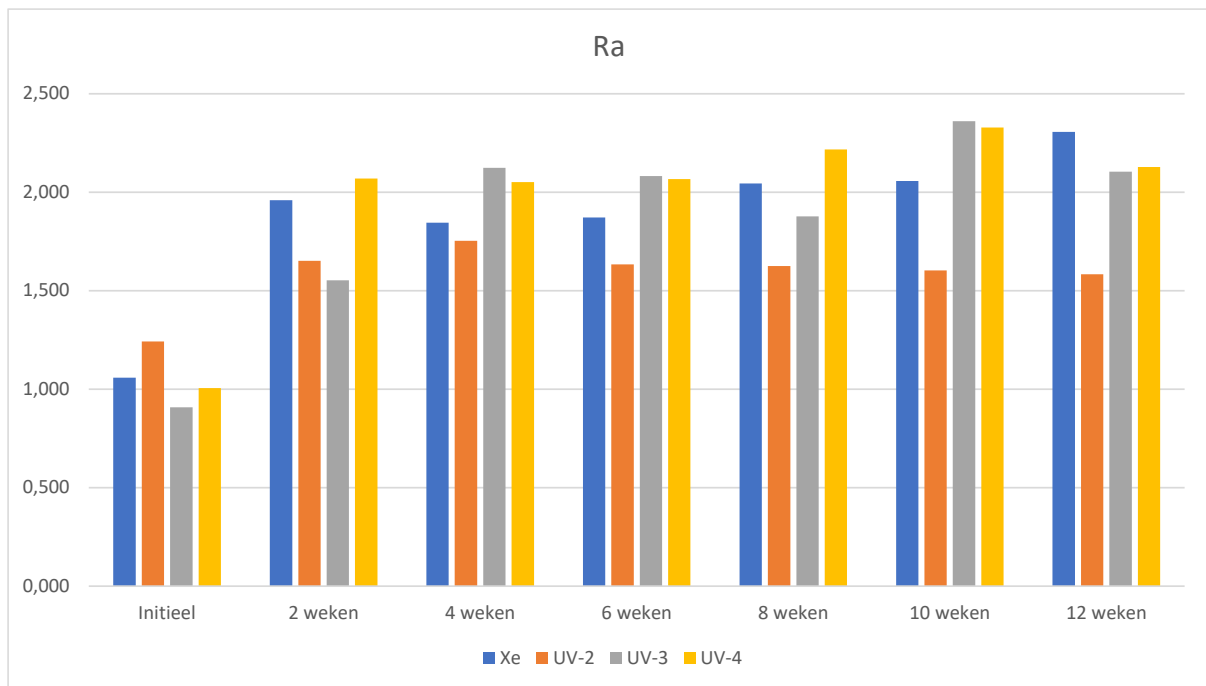
Figuur 5043 toont de ruwheidsprofielen van proefstuk 3 in functie van de tijd. De opeenvolgende beelden tonen duidelijk het ontstaan en de evolutie van de scheuren. De scheuren vertalen zich steeds in pieken in het ruwheidsprofiel.

De aanwezigheid van scheuren heeft dus duidelijk een grote invloed op de gemiddelde ruwheid en de RMS-ruwheid van de stalen. De vraag stelt zich of scheuren als een onderdeel van het ruwheidsprofiel kunnen gezien worden. Het effect van scheuren op het ruwheidsprofiel is wel groot, waardoor er tussen proefstukken grote verschillen kunnen ontstaan. Een alternatief is de scheuren uit het ruwheidsprofiel filteren. Dit vergt echter meer onderzoek en intensere beeldverwerking.

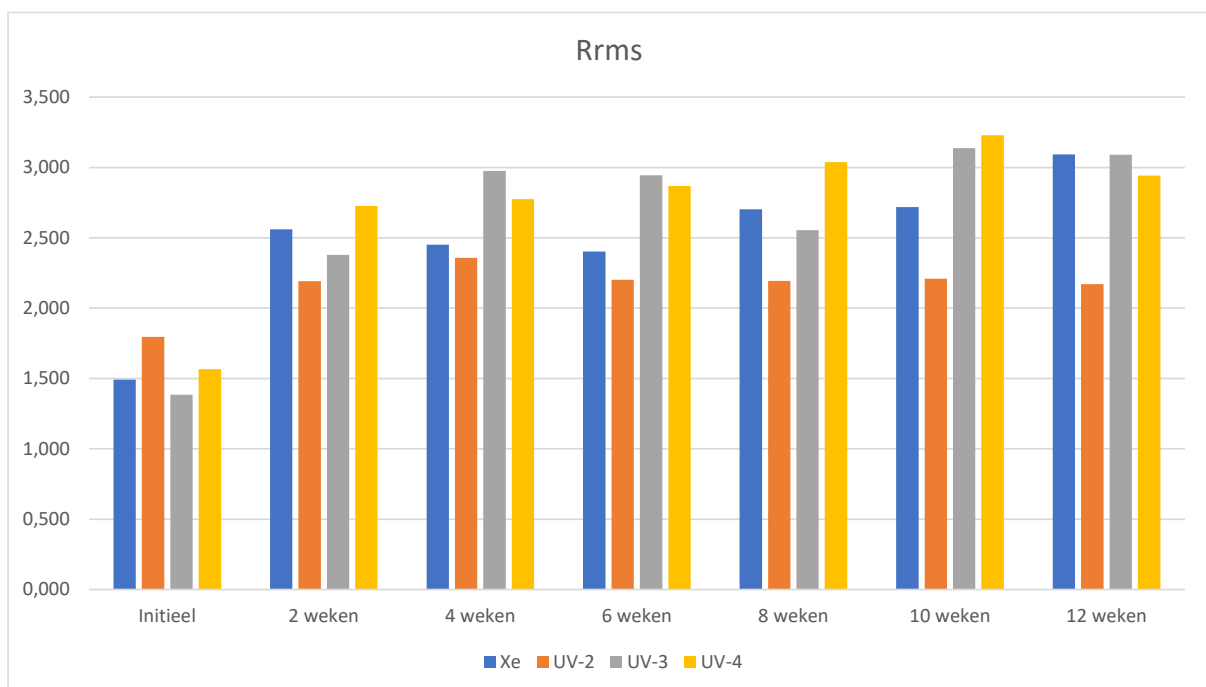
Een methode om het effect van scheuren uit het ruwheidsprofiel te filteren kan erin bestaan om pieken in het ruwheidsprofiel te negeren bij de analyse. Ter hoogte van een scheur stijgt het ruwheidsprofiel vaak tot 60-80-100 pixels, terwijl de ruwheid van het proefstuk zelf vaak fluctueert tussen -10 en +10 pixels.

Figuur 5144 toont de gemiddelde ruwheid en de RMS-ruwheid voor het ruwheidsprofiel gelegen tussen -10 en +10 pixels. Deze beperking filtert de hoge pieken ten gevolge van scheurvorming weg uit de bepaling van de ruwheidswaarden. Als een gevolg hiervan komen de ruwheidswaarden korter bij elkaar te liggen. De ruwheidswaarden voor de verschillende types van verwerking zijn ook vergelijkbaar.

Na 2 weken bevinden de ruwheidswaarden voor de verschillende proefstukken al op een quasi constant niveau. Dit betekent dat na twee weken kunstmatige verwerking al een vrij goed beeld van de ruwheid beschikbaar is.

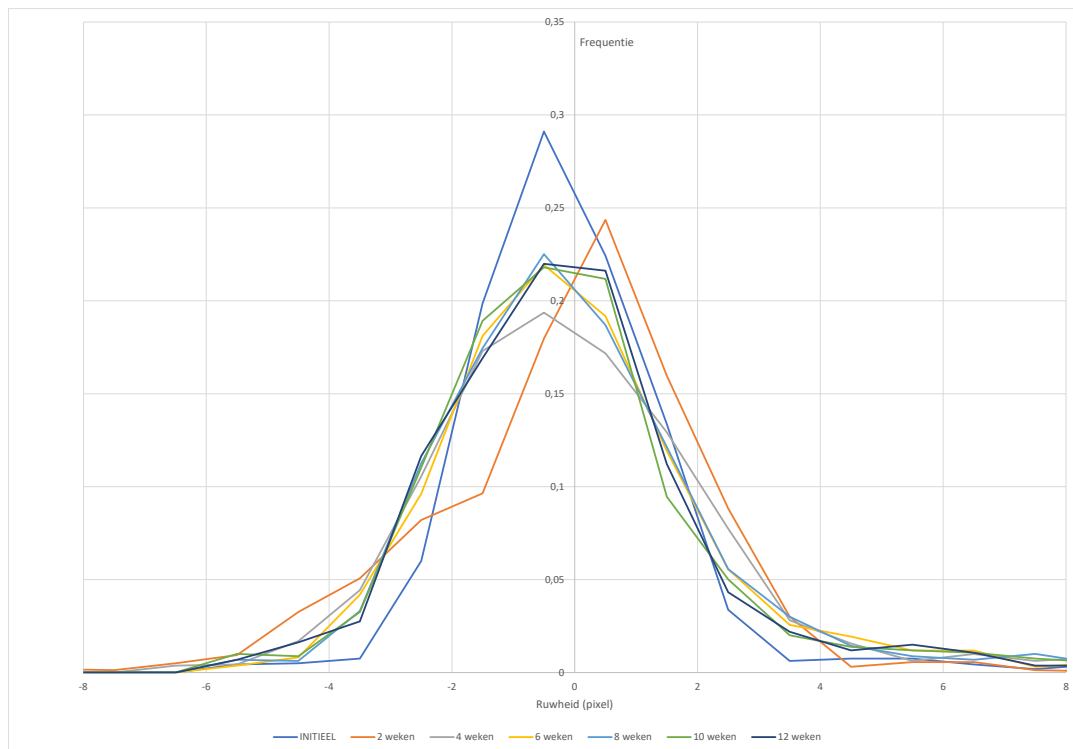


(a)

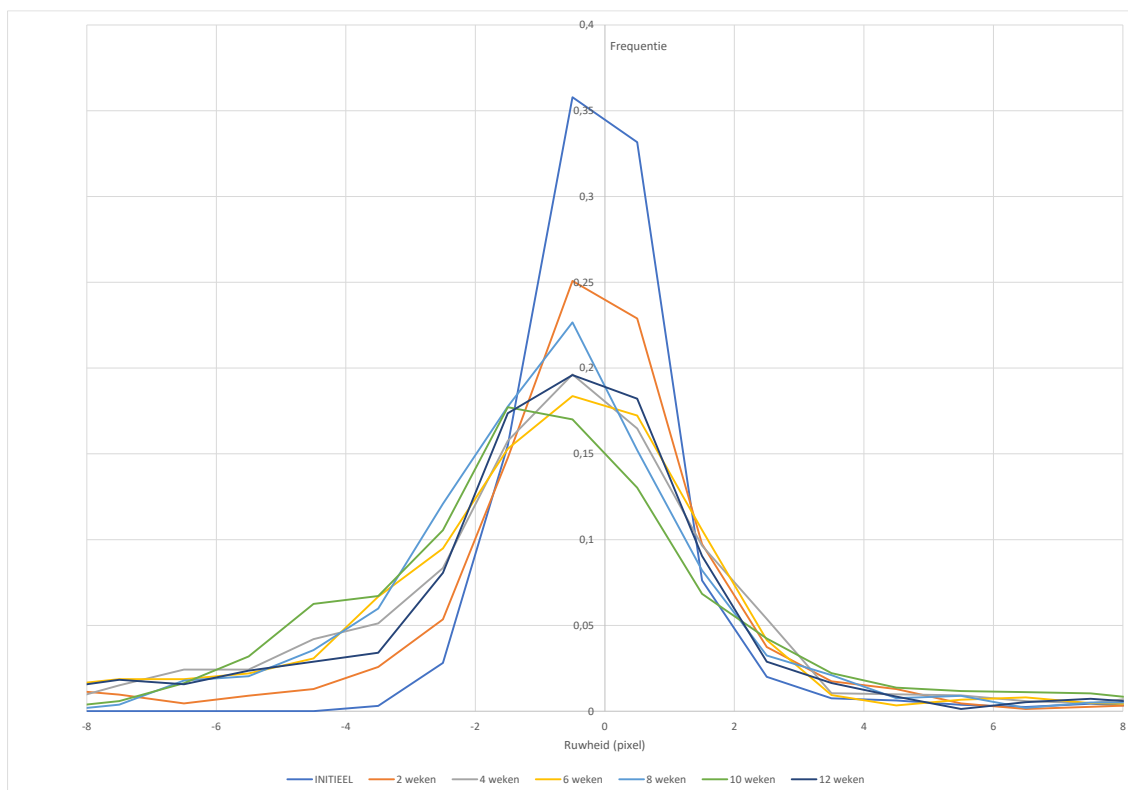


(b)

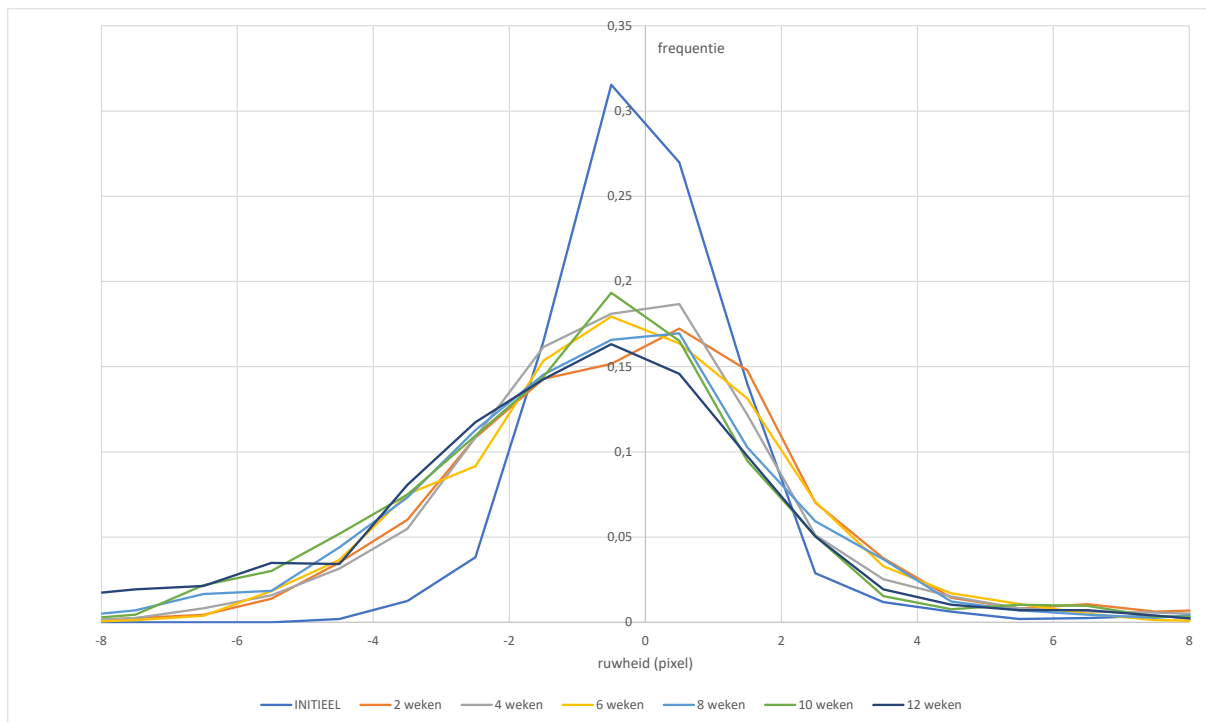
Figuur 51: (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS-ruwheid van eiken na kunstmatige verwerking met Xe en UV op basis van het ruwheidprofiel gelegen tussen -10 en +10 pixels.



(a)



(b)

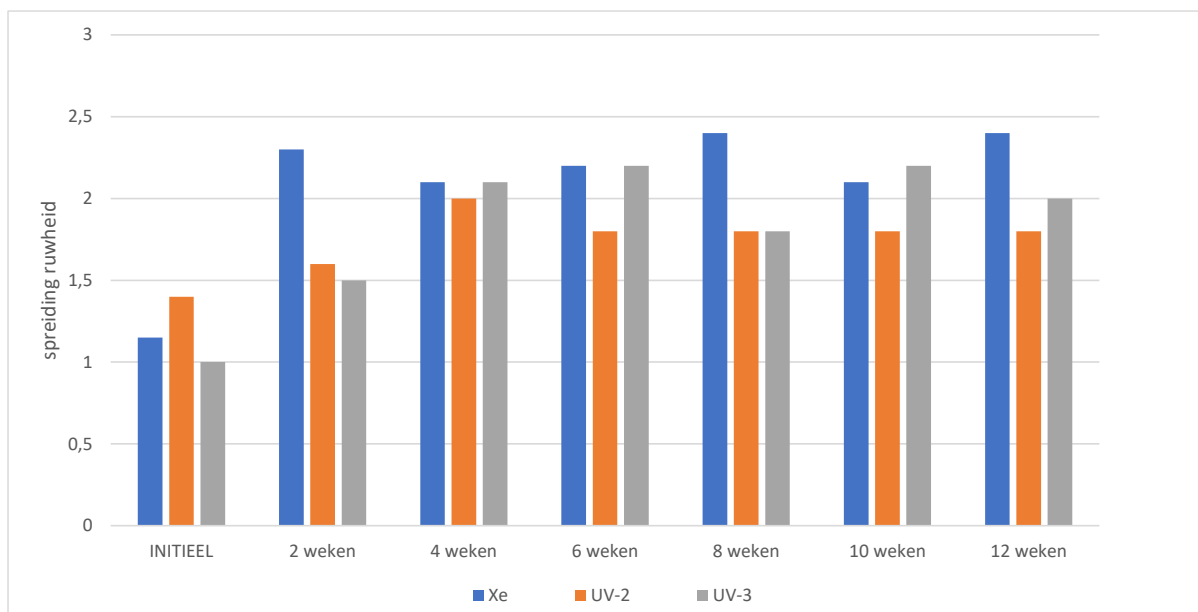


(c)

Figuur 52 : Ruwheidsverdeling voor eiken na kunstmatige verwerking met : (a) UV- staal 2, (b) UV – staal 3 en (c) Xe.

Figuur 5245 toont de ruwheidsverdeling van eiken na kunstmatige verwerking. Voor elk van de stalen valt op dat de verdeling inzakt na 2 weken en nadien ongeveer constant blijft. Het effect van de scheuren in het profiel is niet minder waarneembaar.

Figuur 5346 toont de spreiding op de ruwheidsverdeling. De trend in deze figuur geeft een gelijkaardig beeld als deze van de ruwheidsverdelingen. De verwerking met Xe is na 2 weken al op een constant niveau, terwijl dit voor UV eerder na 4 weken is. De waarden in spreiding zijn voor alle resultaten gelijkaardig.



Figuur 53 : spreiding op de ruwheidsverdeling van eiken na kunstmatige verwerking.

Besluit

De resultaten van eiken kunnen verstoord worden door scheurvorming in de proefstukken. De scheurvorming geeft pieken in het ruwheidsprofielen en tot flinke schommelingen in het eindresultaat. Door het uitfilteren van deze pieken kunnen gelijkaardige waarden gevonden worden. Dan blijken de ruwheidswaarden na 2 weken te stabiliseren.

5.2.2 Natuurlijke verwerking

Naast kunstmatige verwerking werden ook proefstukken in de buitenopstelling geplaatst om een natuurlijke verwerking te verkrijgen. De stalen werden onderverdeeld in reeksen, per reeks zijn er 9 stalen afhankelijk van de oriëntatie en de helling van blootstelling: per windrichting is er een staal onder 45 ° en een staal onder 90 ° blootgesteld. Tenslotte is er ook één staal horizontaal blootgesteld.

Iroko

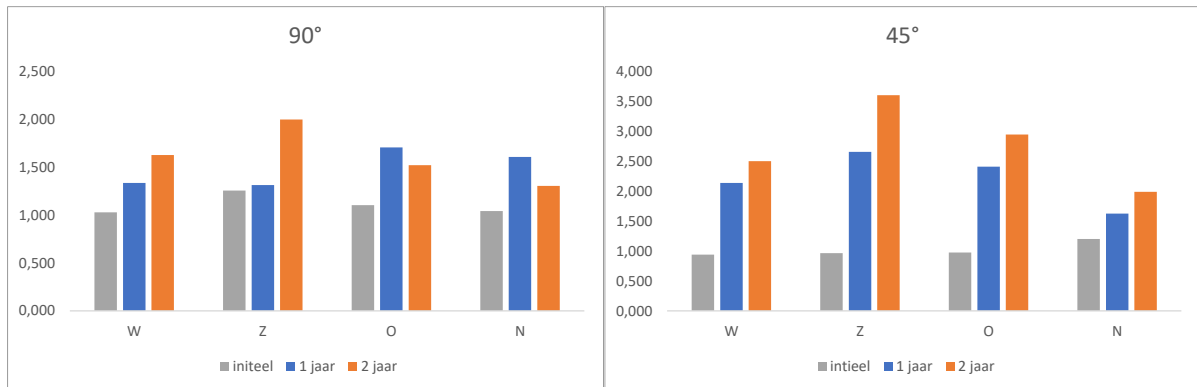
Voor iroko werden 2 reeksen stalen geanalyseerd. Op deze stalen werd een initiële meting, een meting na 1 jaar en een meting na 2 jaar van de ruwheid uitgevoerd. De weergegeven resultaten zijn de gemiddelde waarden tussen de reeksen.

Figuur 5447 toont de gemiddelde ruwheid en de RMS ruwheid van iroko na natuurlijke verwerking. Opnieuw valt op dat de initiële metingen vergelijkbare resultaten geven, wat wijst op een aanvaardbare reproduceerbaarheid van de methode.

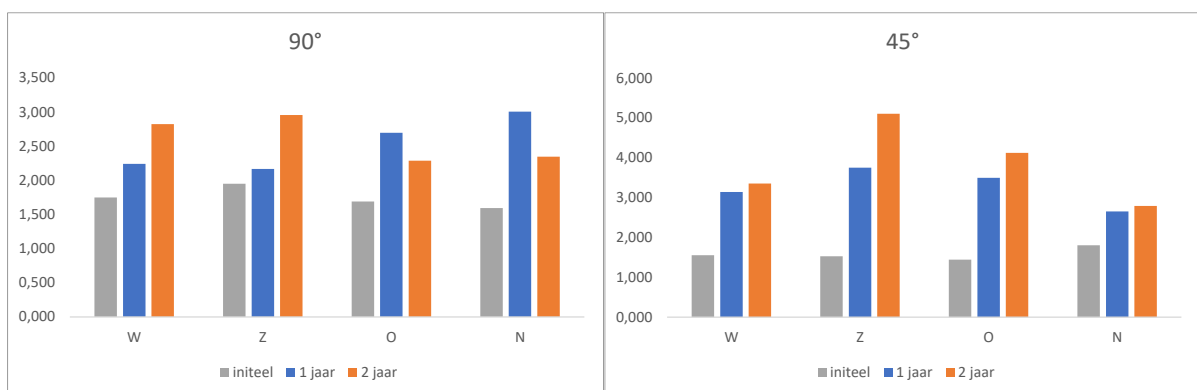
Na 1 jaar verwerking is bij de stalen onder 90° in westelijke en zuidelijke richting slechts een beperkte toename in ruwheid merkbaar. Voor de stalen in oostelijke en noordelijke richting is daarentegen wel een toename in ruwheid merkbaar. Voor de stalen onder 45° is de trend sterk verschillend. Daar vertonen alle stalen, noord echter slechts beperkt, een belangrijke toename in ruwheid na 1 jaar.

Na 2 jaar vertonen de stalen onder 90° in westelijke en zuidelijke richting een toename. De stalen in oostelijke en noordelijke richting lijken te stagneren. Voor de stalen onder 45° neemt de ruwheid

verder toe, echter minder sterk als de toename gedurende het eerste jaar. Enkel de stalen in zuidelijke richting vertonen daar nog een vrij grote toename, de andere richtingen lijken eerder naar een constant niveau te gaan. Het is aannemelijk dat het constant niveau nog niet helemaal bereikt is na 2 jaar. Een voorzichtig besluit zou kunnen zijn dat na 1 jaar al een goed beeld kan gevormd worden van de ruwheid voor de meeste stalen onder 90°. Onder 45° is de trend ook duidelijk merkbaar na 1 jaar, echter de waarden stijgen nog door. Enkel de stalen in zuidelijke richting wijken hiervan enigszins af, meer onderzoek is nodig om deze trend te bevestigen.



(a)



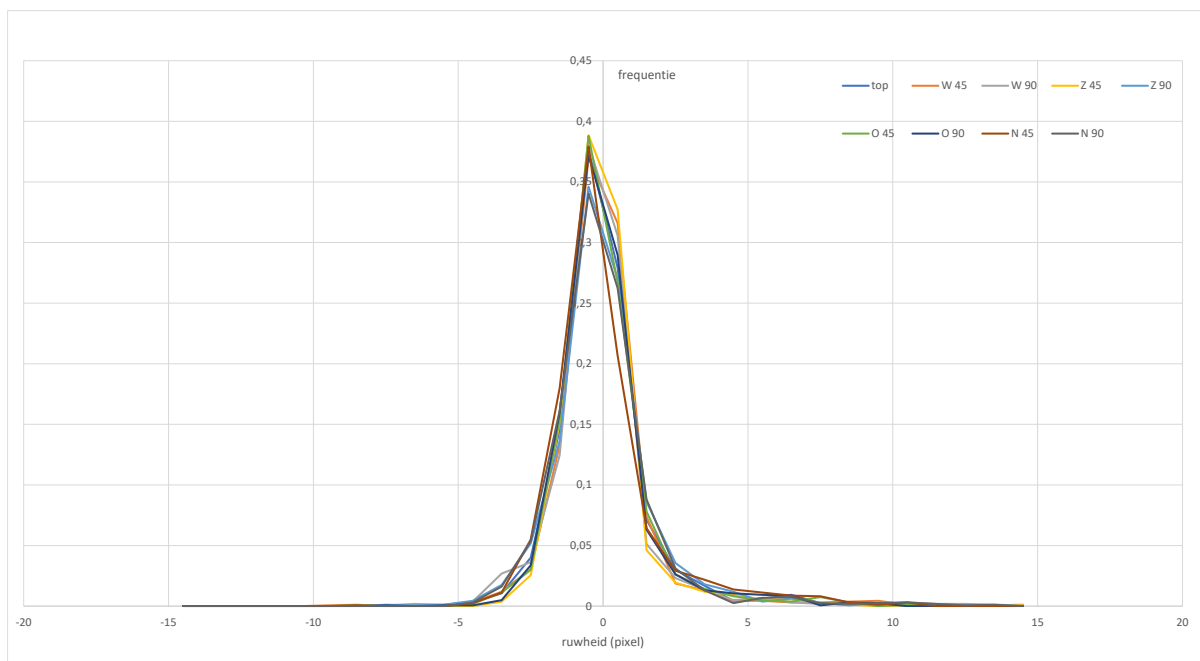
(b)

Figuur 54 : (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS-ruwheid van iroko na natuurlijke verwerking onder verschillende oriëntaties gedurende 1 en 2 jaar.

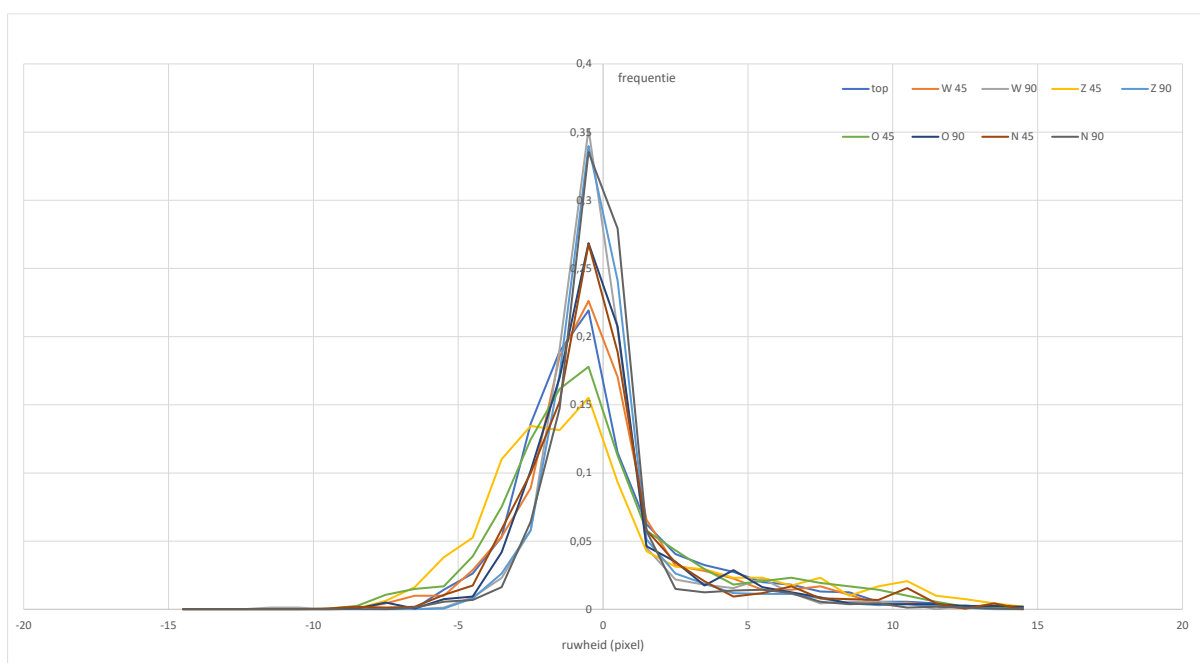
Figuur 5548 toont de ruwheidsverdeling voor proefstukken onder verschillende oriëntaties na natuurlijke verwerking. Initieel stemmen de verdeling van de verschillende proefstukken goed overeen, wat wijst op een goede reproduceerbaarheid van de meetmethode.

Na 1 jaar zijn er verschillende evoluties merkbaar. Voor de stalen onder 45° gaat de verdeling duidelijk platter liggen. De oostelijke en zuidelijke curve zijn hier het meest uitgesproken.

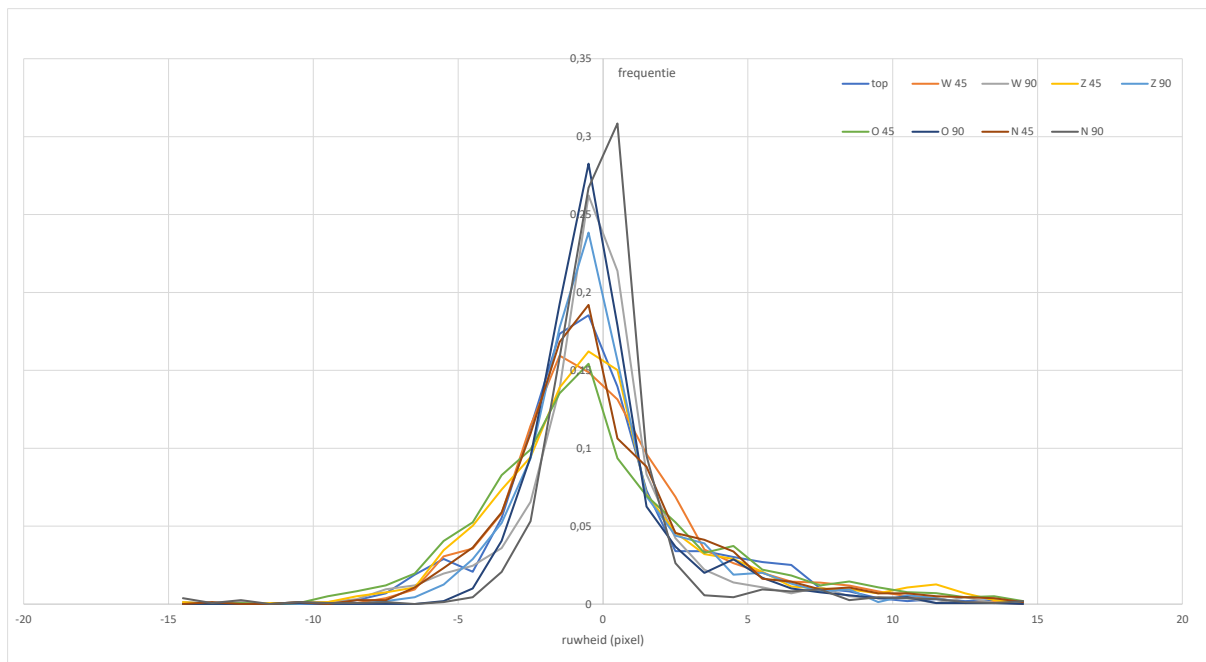
Na 2 jaar vormen zich zowat 2 groepen, de curves onder 45° en de curves onder 90°.



(a)

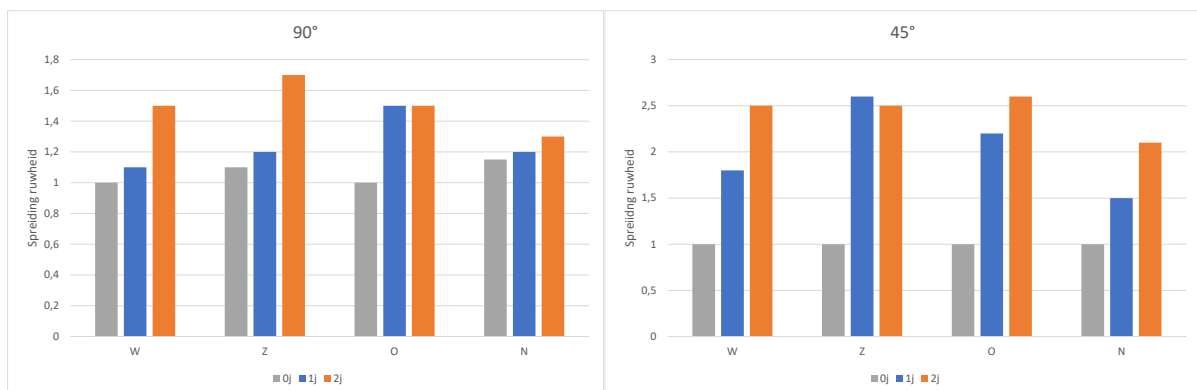


(b)



(c)

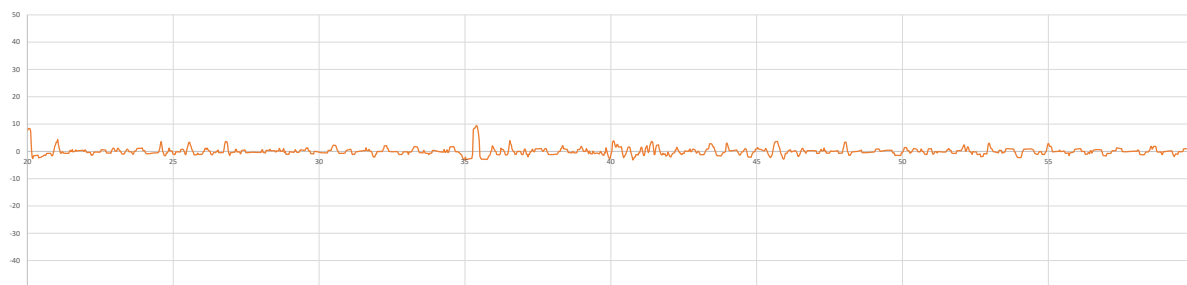
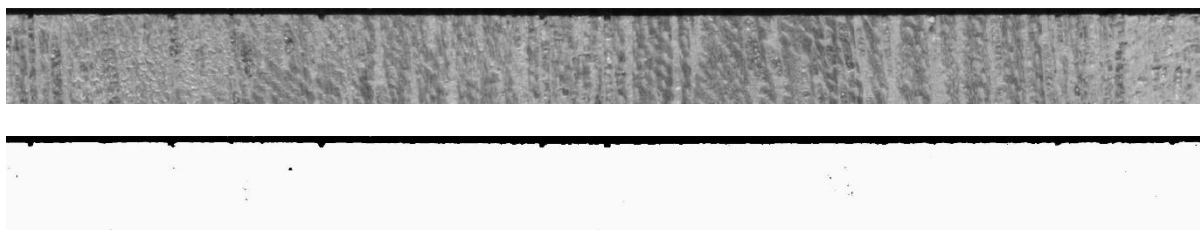
Figuur 55 : Ruwheidsverdeling van iroko na natuurlijke verwerking : (a) initiël, (b) na 1 jaar en (c) na 2 jaar.



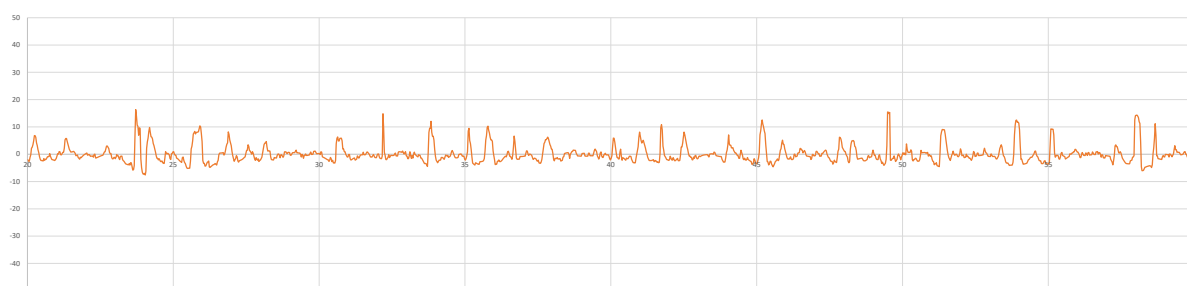
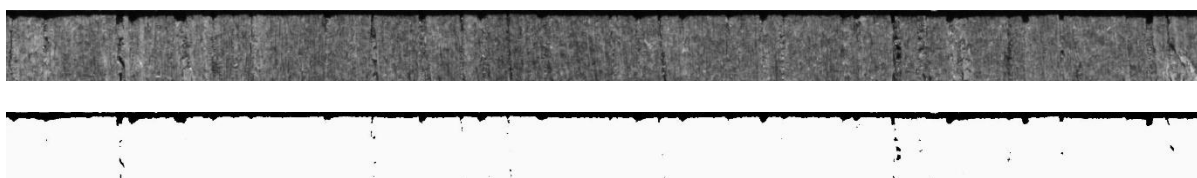
Figuur 56 : Spreiding van de ruwheidsverdeling van iroko na natuurlijke verwerking.

Figuur 5649 toont de spreiding van de ruwheidsverdeling. Analoge trends als bij de ruwheidswaarden zijn waar te nemen. Na 2 jaar is de spreiding weinig afhankelijk van de windrichting, er is wel een duidelijk verschil tussen de stalen onder 90° en 45°.

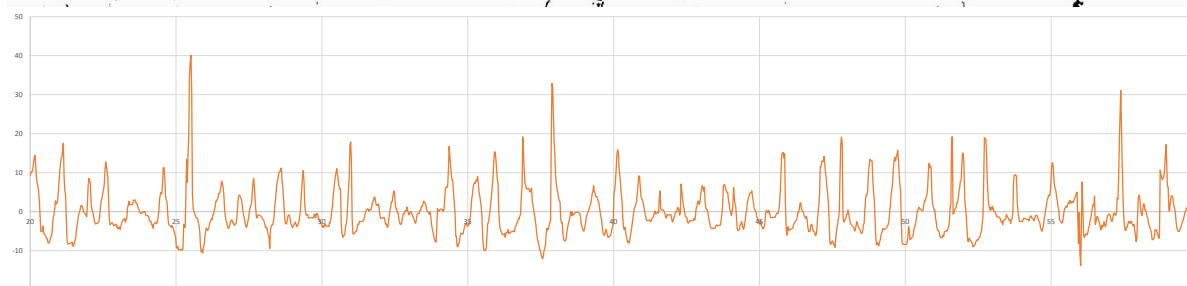
Figuur 5750 toont het ruwheidsprofiel, het grijswaarde beeld en het zwart-wit beeld voor iroko na natuurlijke verwerking in zuidelijke richting onder 45°. Op deze beelden is merkbaar dat de ruwheid vooral sterk wijzigt tussen jaar 1 en jaar 2. Dit beeld wordt bevestigd door de ruwheidswaarde.



(a)

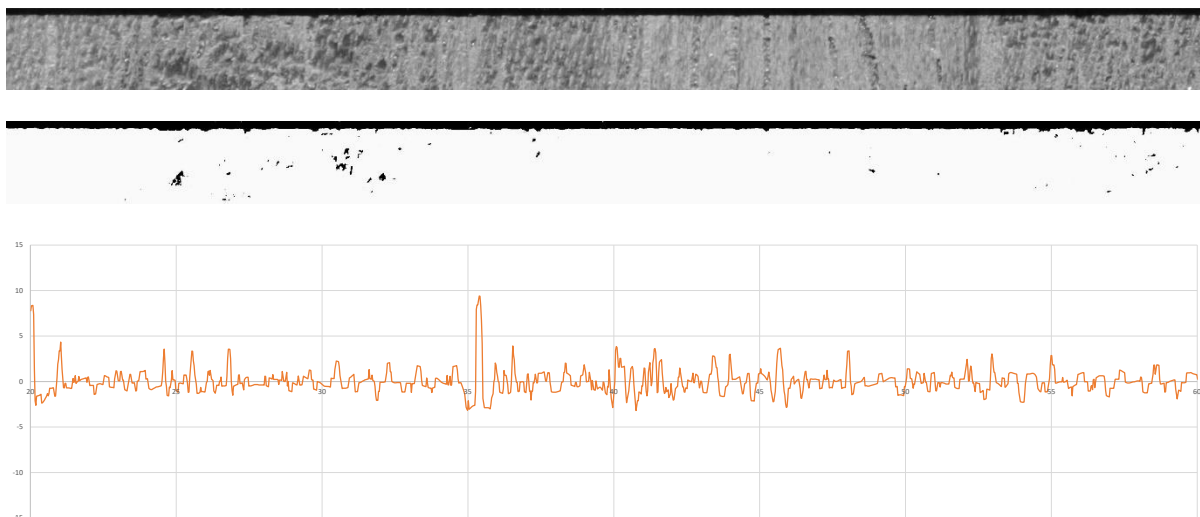


(b)

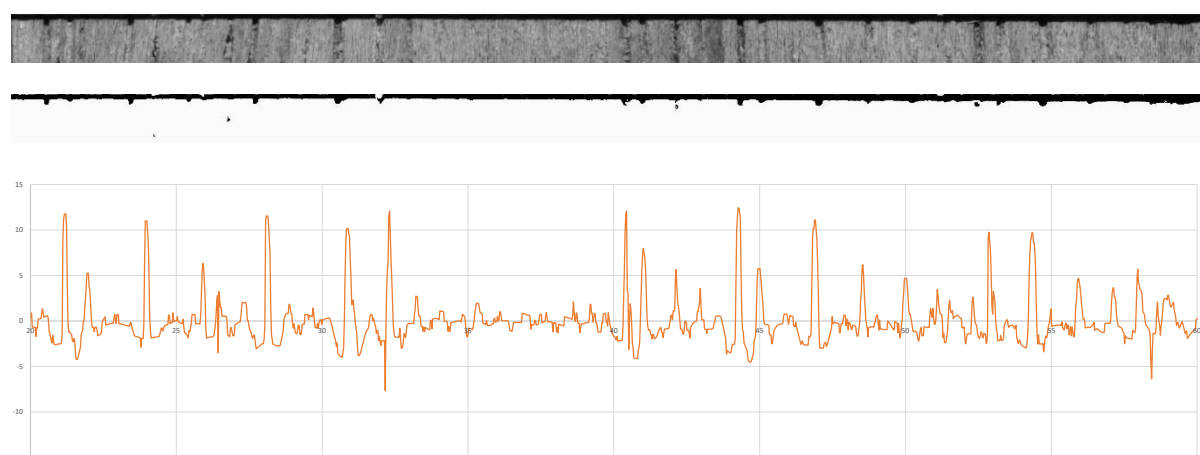


(c)

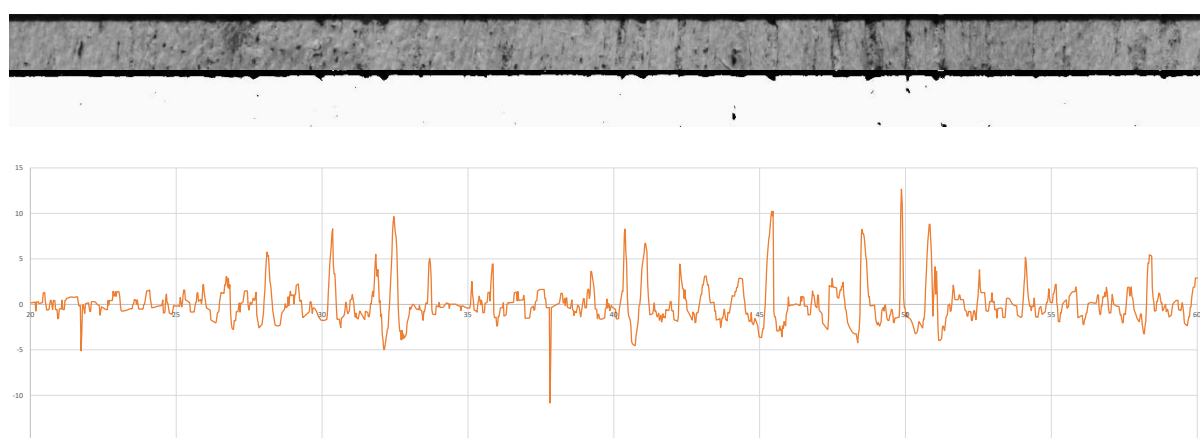
Figuur 57 : ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld voor iroko na natuurlijke verwerking onder 45° in zuidelijke richting : (a) initieel, (b) na 1 jaar en (c) 2 jaar.



(a)



(b)



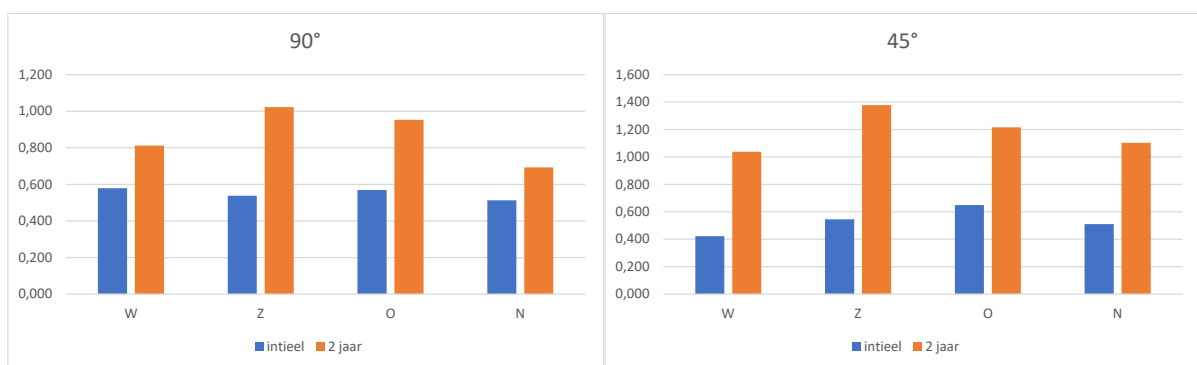
(c)

Figuur 58 : ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld voor iroko na natuurlijke verwerking onder 90° in oostelijke richting : (a) initieel, (b) na 1 jaar en (c) 2 jaar.

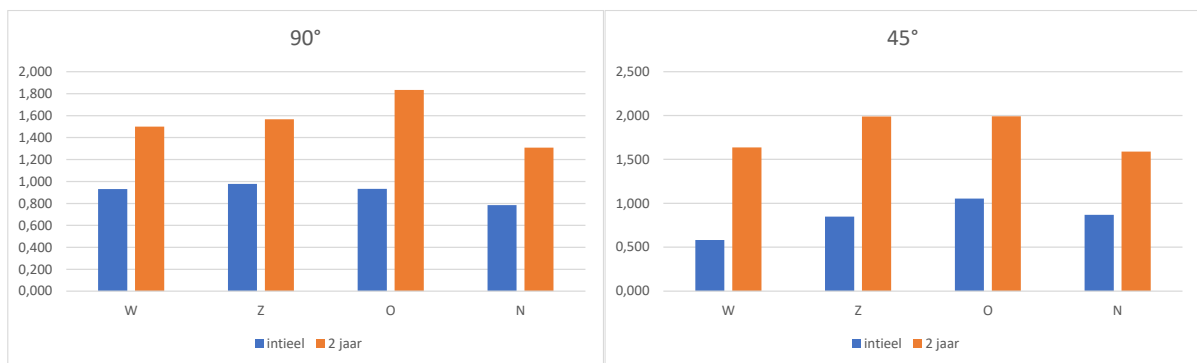
Figuur 5851 toont het ruwheidsprofiel, het grijswaarde beeld en het zwart-wit beeld voor iroko na natuurlijke verwerking in oostelijke richting onder 90°. Wat alvast opvalt is dat de schaal van het ruwheidsprofiel veel kleiner is dan deze van de stalen op 45°-Z. Op deze beelden is merkbaar dat de ruwheid vooral sterk wijzigt gedurende het eerste jaar. Dit beeld wordt bevestigd door de ruwheidswaarde.

Geacetyleerd grenen

Voor geacetyleerd grenen werden 2 reeksen stalen geanalyseerd. Op deze stalen werd een initiële meting en een meting na 2 jaar van de ruwheid uitgevoerd. De weergegeven resultaten zijn de gemiddelde waarden tussen de reeksen.



(a)



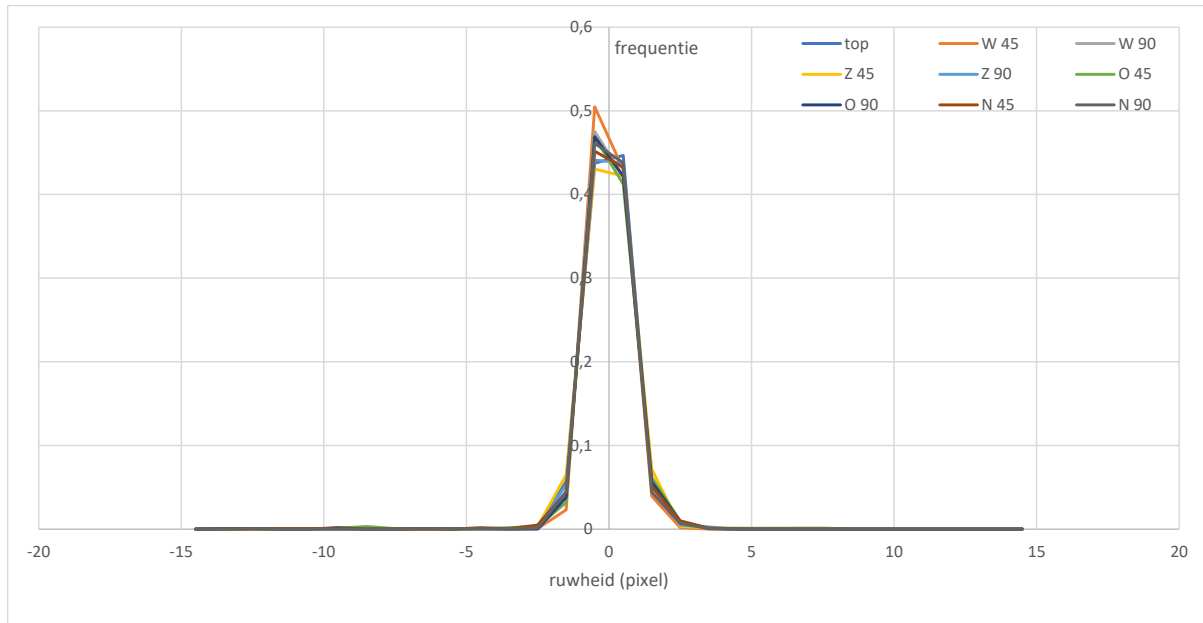
(b)

Figuur 59 : (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS-ruwheid van geacetyleerd grenen na natuurlijke verwerking onder verschillende oriëntaties gedurende 1 en 2 jaar.

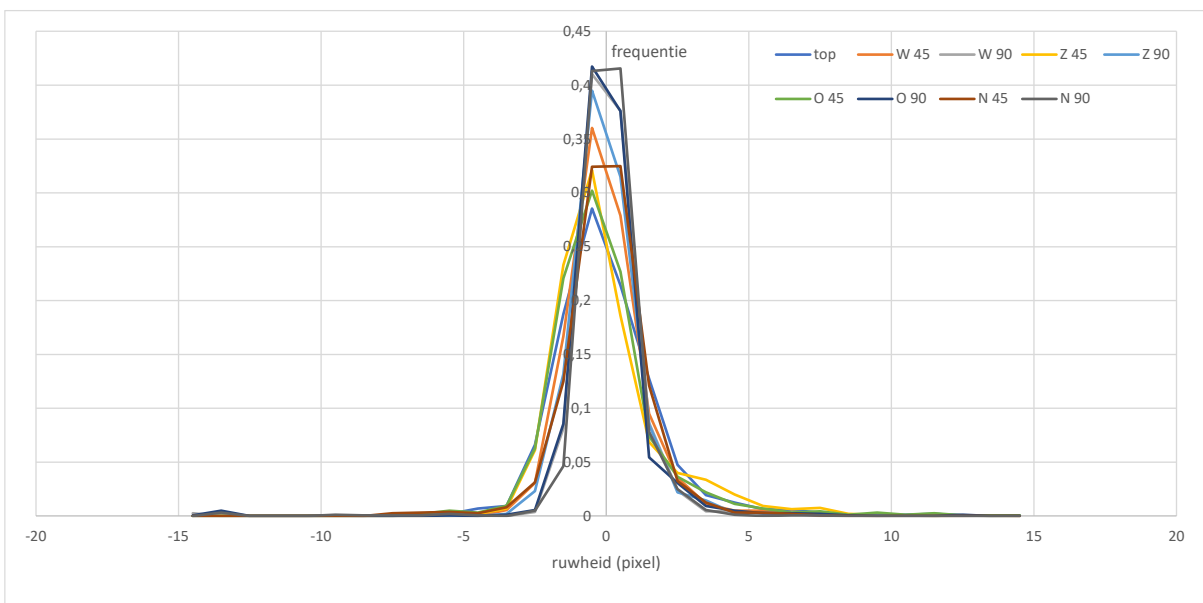
Figuur 5952 toont de gemiddelde ruwheid en de RMS-ruwheid van geacetyleerd grenen na natuurlijke verwerking. Er is een duidelijk verschil tussen stalen onder 45° en stalen onder 90°. Naar oriëntatie toe zijn de verschillen echter beperkt. De zuidelijke richting lijkt de meest belaste te zijn.

Figuur 6053 toont de ruwheidsverdeling van de geacetyleerd grenen voor en na 2 jaar natuurlijke veroudering. Er is een trend waarneembaar na 2 jaar verwerking : sommige proefstalen krijgen een bredere verdeling, wat wijst op een toename van de ruwheid.

Figuur 6154 toont de spreiding van de ruwheidsverdeling. De stalen onder 45° kennen een belangrijke toename, wat wijst op een toename van de ruwheid. Voor de stalen onder 90° is deze toename minder, behalve voor het staal met zuidelijke richting. Dit wijst op een toename van ruwheid, maar minder groot dan de toename onder 45°. De ruwheid van stalen onder 45° kent dus een veel sterkere invloed van de verwerking.

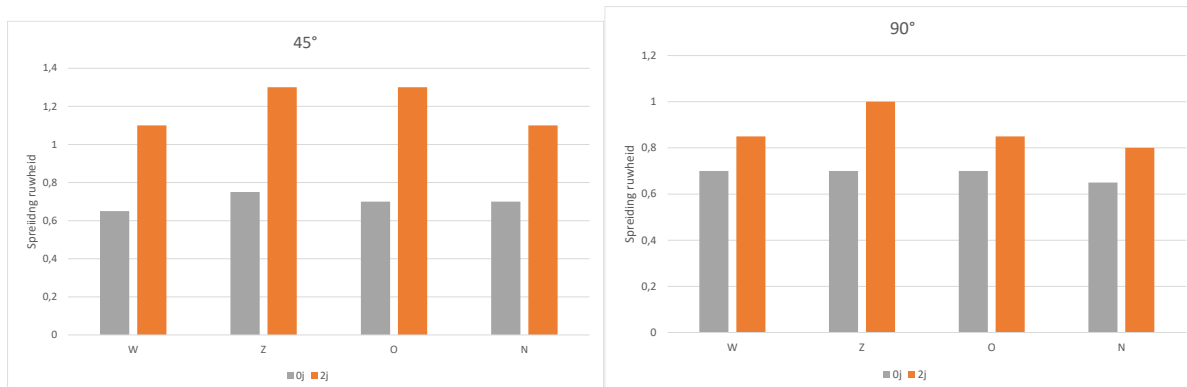


(a)



(b)

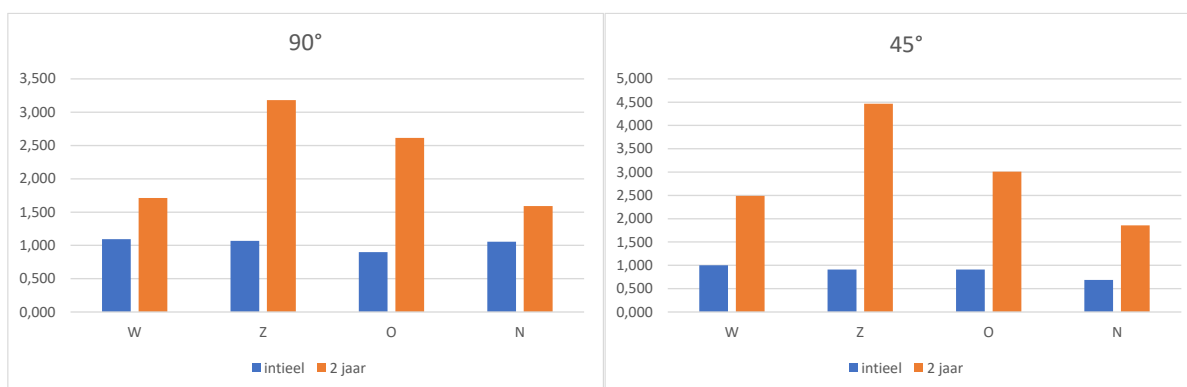
Figuur 60 : ruwheidsverdeling van geacetyleerd grenen na natuurlijke verwerking : (a) initieel en (b) na 2 jaar.



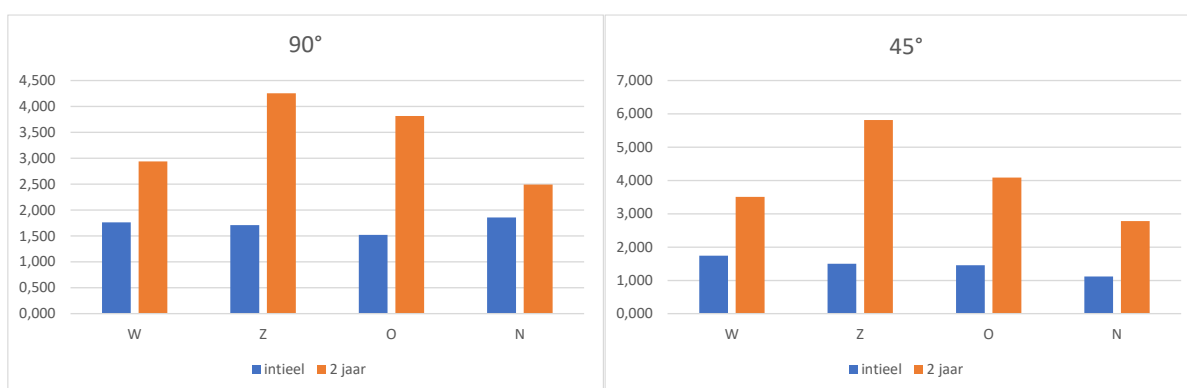
Figuur 61 : spreiding van de ruwheidsverdeling van geacetyleerd grenen na natuurlijke verwerking.

Thermo ayous

Voor thermo ayous werden 2 reeksen stalen geanalyseerd. Op deze stalen werd een initiële meting en een meting na 2 jaar van de ruwheid uitgevoerd. De weergegeven resultaten zijn de gemiddelde waarden tussen de reeksen.



(a)

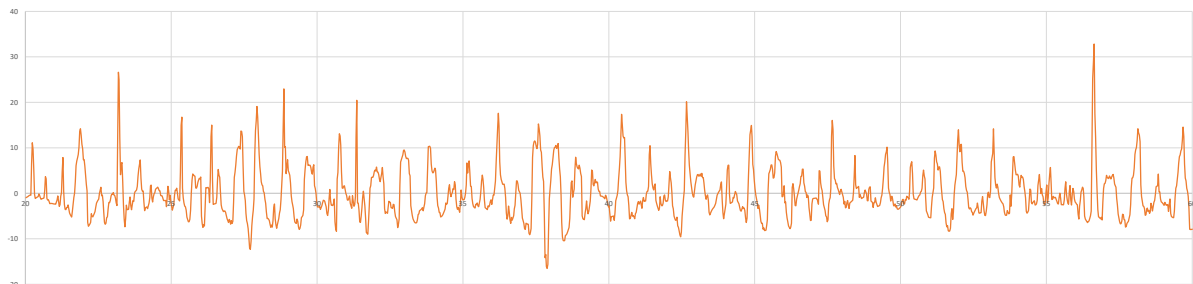


(b)

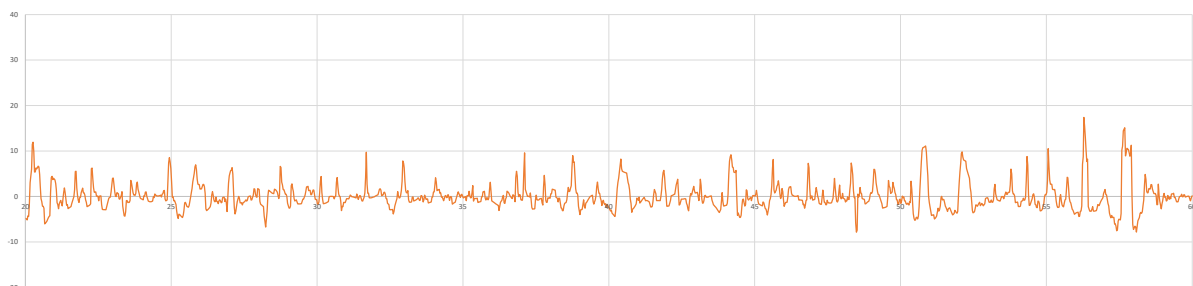
Figuur 62 : (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS ruwheid voor thermo ayous na natuurlijke verwerking.

Figuur 6255 toont de ruwheidswaarden van thermo ayous na natuurlijke verwerking. Bij thermo ayous is de invloed van de windrichting zeer uitgesproken. De zuidelijke richting geeft zowel voor stalen onder 90° als voor stalen onder 45° de sterkste invloed. Daarnaast is in de meeste gevallen de blootstelling onder 45° kritischer dan de blootstelling onder 90°.

Figuur 6356 toont het ruwheidsprofiel voor twee proefstalen. Het is duidelijk dat de ruwheid van het staal 90° - zuidelijk veel groter is dan dit van 45° - noordelijk. De richting van blootstelling heeft een effect op de ruwheid.



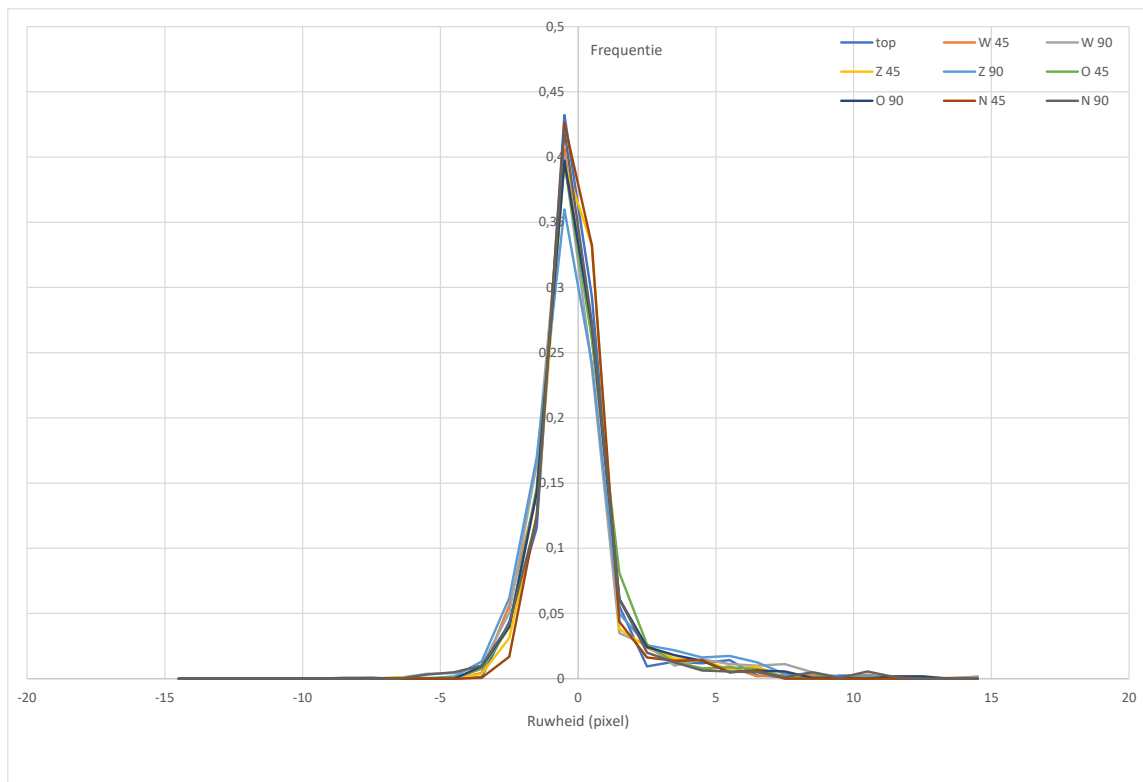
(a)



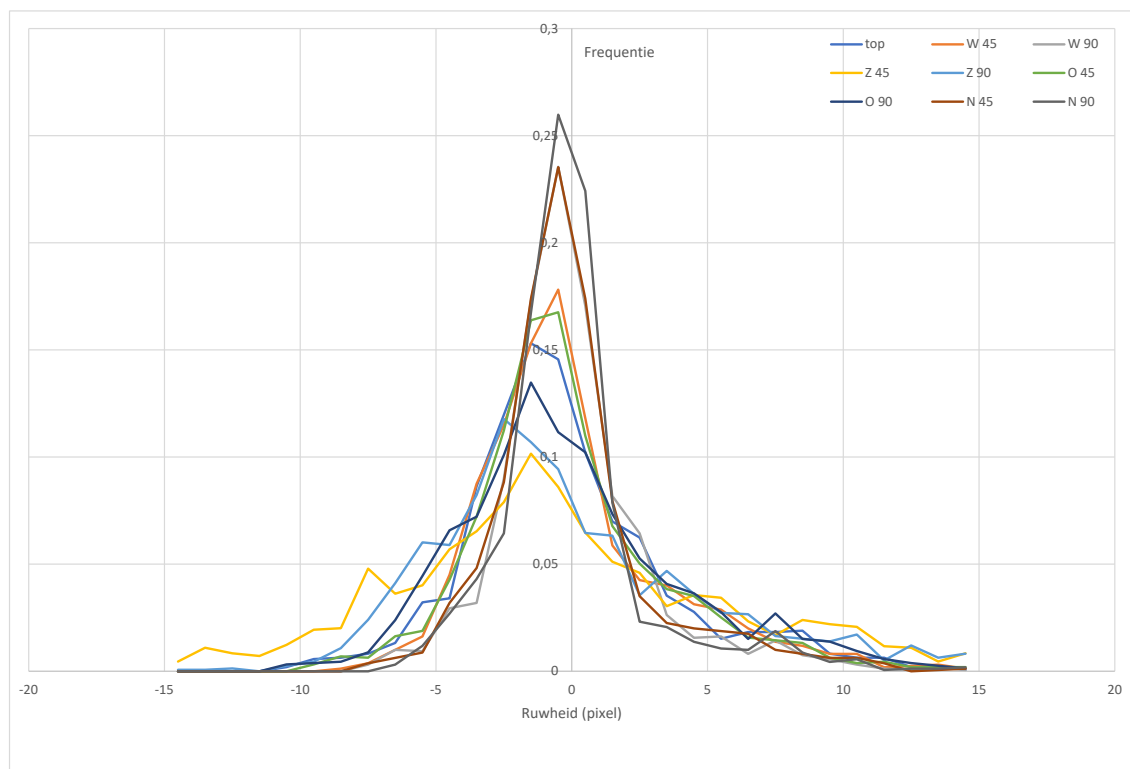
(b)

Figuur 63 : ruwheidsprofiel van thermo ayous na 2 jaar natuurlijke verwerking : (a) 90° - zuidelijk en (b) 45° - noordelijk.

Dit effect is ook zichtbaar op de ruwheidsverdeling. Figuur 6457 toont de ruwheidsverdeling van thermodyous na natuurlijke verwerking. Waar de curves initieel praktisch samenvallen, is er na 2 jaar een grote variatie op de curves. Dit betekent dat elke richting en elke oriëntatie een ander effect heeft op de ruwheid. Dit wordt ook bevestigd door de spreiding op de ruwheidsverdeling in Figuur 6558.

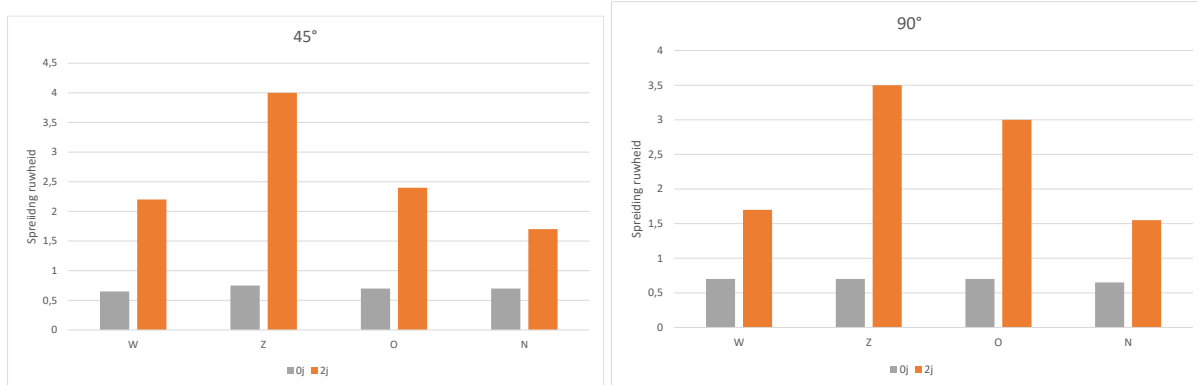


(a)



(b)

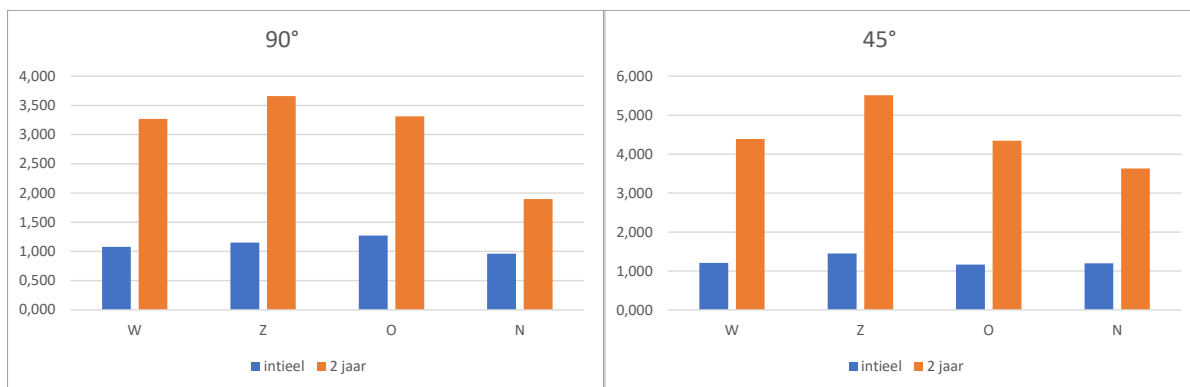
Figuur 64: ruwheidsverdeling voor thermo ayous na natuurlijke verwerking : (a) initieel en (b) na 2 jaar.



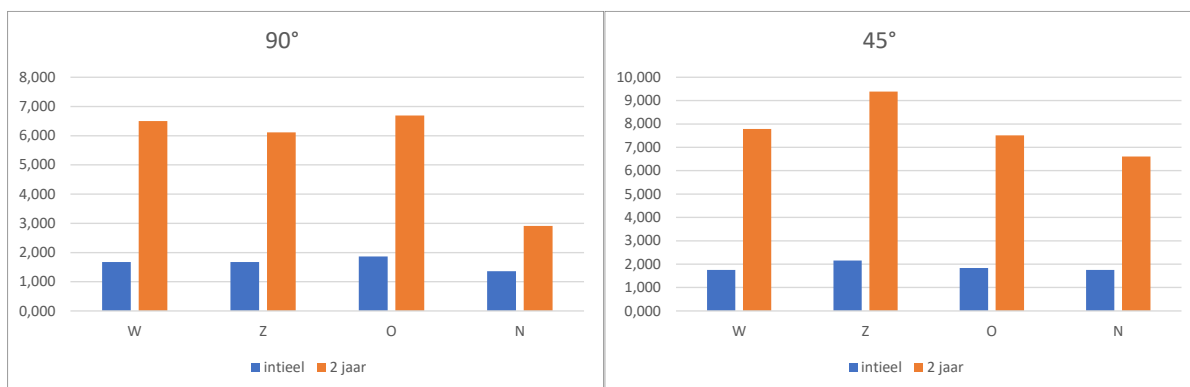
Figuur 65 : spreiding op de ruwheidsverdeling van thermo ayous na natuurlijke verwerking.

Eiken

Voor eiken werden 2 reeksen stalen geanalyseerd. Op deze stalen werd een initiële meting en een meting na 2 jaar van de ruwheid uitgevoerd. De weergegeven resultaten zijn de gemiddelde waarden tussen de reeksen.



(a)



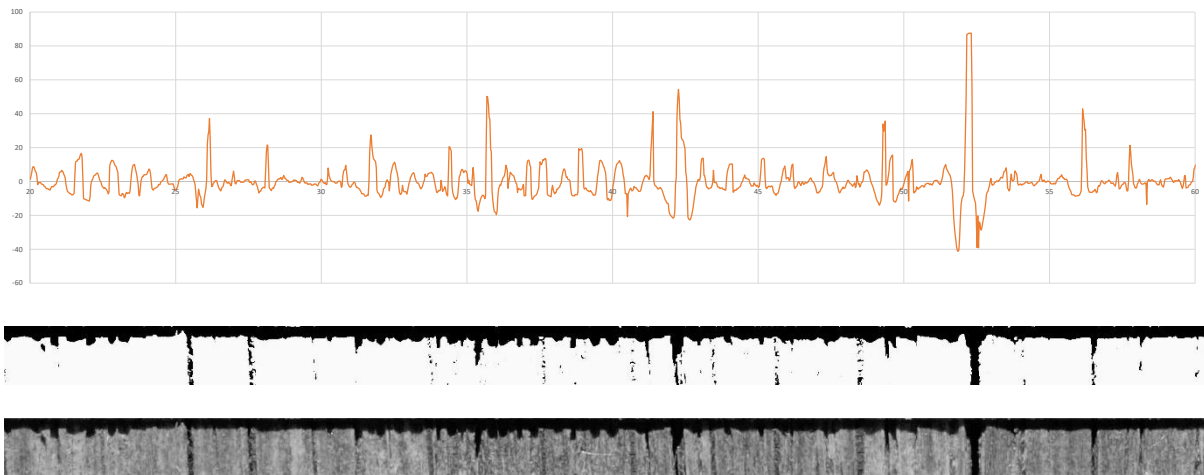
(b)

Figuur 66 : (a) Gemiddelde ruwheid en (b) RMS ruwheid van eiken na natuurlijke verwerking.

Figuur 6659 toont de gemiddelde en de RMS-ruwheid van eiken na natuurlijke verwerking. Voor stalen onder 90° zijn de resultaten in westelijke, zuidelijke en oostelijke richting gelijklopend. De noordelijke richting kent een mindere invloed van verwerking op de ruwheid. Voor stalen onder 45°

zijn de resultaten in westelijke en de oostelijke richting vergelijkbaar. Noord kent iets minder invloed, Zuid kent een wat hogere invloed.

In het ruwheidsprofiel zijn er bij eiken scheuren vast te stellen. Figuur 67 toont de situatie voor een proefstuk onder 45° in zuidelijke richting. Ter hoogte van de scheuren zijn er pieken in het ruwheidsprofiel.



Figuur 67 : ruwheidsprofiel, grijswaarde beeld en zwart-wit beeld van eiken na 2 jaar natuurlijke verwerking in zuidelijke richting onder 45°.

5.2.3 Relatie natuurlijke en kunstmatige verwerking.

Iroko

Voor iroko werd via kunstmatige verwerking een gemiddelde ruwheid van 1,35 na 2, 4 of 6 weken gevonden (gelijkaardige resultaten gedurende deze weken). Na 8 weken steeg de gemiddelde ruwheid naar 1,5, deze waarde bleef nagenoeg constant tot 12 weken.

In vergelijking met de natuurlijke verwerking zijn deze waarden vrij klein. Voor de stalen met een oriëntatie van 90° kan voor elke windrichting na 1 jaar een vergelijking gemaakt worden. West en Zuid hebben een gemiddelde ruwheid van 1,35, Oost en Noord een gemiddelde ruwheid van 1,65. Een kunstmatige verwerking tot 12 weken komt hierbij in de buurt. Er kan gesteld worden dat 12 weken kunstmatige verwerking van iroko een goed beeld geeft van 1 jaar natuurlijke verwerking, onder een blootstelling van 90°. Voor de stalen onder 45° liggen de ruwheidswaarden onder natuurlijke verwerking veel hoger. De vraag stelt zich of deze met kunstmatige verwerking kunnen gehaald worden.

Geacetyleerd grenen

De ruwheidswaarden na kunstmatige verwerking kennen een belangrijke toename na 10 weken. Ze schommelen dan om en bij de 1,6. De natuurlijke verwerking toont een maximale waarde van ongeveer 1,4 voor het proefstuk in zuidelijke richting onder 45°. De kunstmatige verwerking voorspelt dus 2 jaar natuurlijke verwerking, zelfs onder de meest kritische blootstelling. Voor de proefstukken onder een helling van 90° ligt na 2 jaar de gemiddelde ruwheid onder 1. Deze kunnen behaald worden na een kunstmatige verwerking van een 6-tal weken.

Thermo ayous

De ruwheidswaarden na kunstmatige verwerking schommelen voor elk type van verwerking rond de 2,2 na 12 weken. Voor Xe wordt deze waarde sneller behaald van voor UV. Na vergelijking met natuurlijke verwerking blijkt dat deze waarde voor het merendeel van de proefstukken onvoldoende is. Enkel voor de proefstukken in westelijke en noordelijke richting (90° en 45°) en oostelijke richting (90°) geeft de kunstmatige verwerking een aanvaardbare voorspelling na 2 jaar. Voor de andere proefstukken geeft 12 weken kunstmatige verwerking een onderschatting.

Eiken

Voor eiken is de vergelijking complexer. Door scheurvorming in het proefstuk variëren de waarden van de gemiddelde ruwheid nogal sterk. Met scheurvorming in de ruwheidswaarde, is het resultaat van proefstuk tot proefstuk afhankelijk. Zo worden waarden tussen 1,5 en 4,0 gehaald, afhankelijk of scheurvorming heeft plaatsgevonden. In het proefstuk met scheurvorming is de hoogste ruwheidswaarde gevonden na 6 weken. Drie van de vier proefstukken bereiken het maximum na 12 weken. In het proefstuk zonder scheurvorming is reeds na 2 weken een constante ruwheidswaarde gevonden.

Bij de natuurlijke verwerking worden bij de proefstukken onder 90° gemiddelde ruwheidswaarden gevonden van om en bij de 3-3.5 voor westelijke, zuidelijke en oostelijke richting. In noordelijke richting ligt de waarde beduidend lager. Deze waarden kunnen gehaald worden via kunstmatige verwerking. Er wordt voorgesteld om 12 weken te verwerken. Voor de proefstukken op 45° liggen de ruwheidswaarden na natuurlijke verwerking hoger. De waarde in noordelijke richting kan gehaald worden, de waarde in westelijke en oostelijke richting zijn randgevallen. De waarde in zuidelijke richting kan niet gesimuleerd worden na 12 weken kunstmatige verwerking.

Wanneer de ruwheidsanalyse wordt uitgevoerd met een gereduceerd profiel, dus door uitfilteren van pieken, kunnen gelijkaardige conclusies getrokken worden.

6 Algemeen besluit

Vochtdynamiek

De verschillen in snelheid van vochtopname en -afgifte, de vochtdynamiek, werden voornamelijk gestuurd door de vochtopname en -afgifte via de kopse uiteinden.

De verschillende testmethoden geven gelijkaardige resultaten. Het grootst onderscheidend vermogen werd verkregen door de proefopzet volgens CEN TS 16818. Deze methode stemt ook het meest overeen met wat in realiteit werd waargenomen.

Kleur

De natuurlijke verwerking op vlak van kleur verliep sneller voor de horizontale en schuine (45°) oppervlakken dan voor de verticale oppervlakken. Er werd slechts een zeer beperkt verschil vastgesteld tussen de horizontale oriëntatie en de blootstelling onder 45 °. Onder alle hoeken en oriëntaties werd na zes maanden het meest opvallende kleurverschil geregistreerd. Op dat tijdstip was het kleurverschil tussen de verticale en de andere opstellingen ook het meest uitgesproken.

Voor de onderzochte houtsoorten was het effect van de oriëntatie ondergeschikt aan de hoek waaronder werd verweerd. De oriëntatie had voornamelijk een invloed de kleurparameters (a^* en b^*) van vertikaal blootgestelde oppervlakken. De zuidwaartse blootstelling bleek hierbij de grootste invloed te hebben. Slechts in enkele gevallen, vb. voor iroko en thermisch gemodificeerd grenen, werd het effect van zuidelijke oriëntatie ook vastgesteld voor de grijswaarden (L^*).

Algemeen uitten de verschillen voor de parameters a^* en b^* zich als een meer uitgesproken vergrijzing. Voor de L^* -waarde werd voor de niet-gemodificeerde houtsoorten (eiken, iroko, jutei, bilinga) een initiële afname (= verdonkering) vastgesteld, net zoals in de studie van Rüther & Jelle (2013). Deze afname werd gevolgd door een beperkte toename (= lichter worden van kleur). Voor de gemodificeerde en geïmpregneerde houtsoorten werd initieel een toename in L^* -waarde waargenomen waarna het gefurfurylerde hout bleker werd. Bij de thermisch gemodificeerde en de geacetylerde houtsoorten werd de initiële toename van de L^* -waarde gevolgd door een afname zoals ook werd vastgesteld door Lie et al. ,2019.

Uit het onderzoek is gebleken dat zowel in buitenexpositie als bij de laboproeven de vergrijzing zich stabiliseerde wanneer a^* waarde 2 had bereikt en b^* waarde 5. Deze waarden bleken na 12 weken kunstmatige verwerking en na 1 jaar natuurlijke verwerking behaald. Voor de grijswaarden (L^*) kon geen grenswaarde vastgelegd worden gezien de grote verschillen tussen de natuurlijke en kunstmatige verwerking.

Deze grote verschillen in L^* -waarde zouden kunnen worden toegeschreven aan de verschillen in houtvochtgehalte, hoewel de stalen telkens geconditioneerd werden voor aanvang van de metingen. Ook wordt L^* beïnvloed door de aanwezigheid van oppervlakteschimmel die zich enkel kan ontwikkelen in buitenomstandigheden. Toekomstig onderzoek omtrent de verdere evolutie van de L^* -, a^* - en b^* -waarden zou met deze parameters rekening moeten houden wil men de relatie tussen natuurlijke en kunstmatige verwerking verder analyseren.

Barstvorming

Barstvorming is een proces dat pas later in de verwerking meer opvalt.

Er kon geen significant effect van een sealant of hoogte tot het maaiveld vastgesteld worden. Enkel bij de beoordeling van de kopse uiteinden werd een gunstig effect van het sealant vast gesteld voor gevelelementen die laag bij de grond werden geplaatst. De begroeiing door oppervlakteschimmels werd positief beïnvloed door het sealant.

De aanwezigheid van fysieke bescherming vb. een afdak had een positief effect op de kopse barstvorming aan de bovenzijde van de gevelelementen.

Oppervlakteruwheid

Tijdens het project werd een low-tech methode ontwikkeld om op een accurate manier de oppervlakteruwheid van hout te meten. De techniek liet toe om na te gaan in welke mate de kunstmatige verwerking de natuurlijke verwerking kon voorspellen.

Deze relatie leek niet eenduidig. Wel kon aangetoond worden dat in de meeste gevallen de kunstmatige verwerking een onderschatting gaf van de natuurlijke verwerking onder 45° of bij zuidelijke oriëntatie. Voor blootstelling aan de noordzijde onder een hoek van 90° kon de ruwheidsanalyse na 12 weken kunstmatige verwerking voor de meeste onderzochte houtsoorten een aanvaardbare voorspelling geven van de oppervlakteruwheid.

Ook is gebleken dat barstvorming de ruwheidsanalyses beïnvloedde. Barstvorming is een proces dat pas later in de verwerking meer invloed krijgt. Een parallelle analyse dringt zich op zodoende de analyses meer te objectiveren.

Hoewel voor oppervlakteruwheid een zekere relatie met de kunstmatige verwerking werd vastgesteld strekt het tot aanbevelen om de verweringsproeven langere tijd aan te houden. Op deze manier zou de relatie verder verfijnd kunnen worden. Deze eigenschap is ook onderhevig aan invloeden van oppervlakteschimmels. Integratie van deze micro-organismen in laboproeven zou vermoedelijk een betere relatie kunnen opleveren.

7 Disseminatie en valorisatie

Disseminatie

- 1- Een eerste gebruikerscommissie vond plaats op 05/04/2019. Zie verslag in bijlage A.

- 2- Service Life Prediction = WOODFORLIFE

Binnen de circulaire gedachte is levensduurvoorspelling een belangrijke tool.

Tijdens het online-event 'Inspired by Wood', dd. 29.04.2021, werd levensduurvoorspelling uitvoerig uitgelegd aan de hand van de proefopzet en enkele voorlopige resultaten van het project Woodforlife.

De presentatie is beschikbaar via volgende link <https://www.wood.be/actua/inspired-by-wood-bekijk-hier-alle-presentaties>

- 3- artikel in Intérieure et Menuiserie dd. 10.06.2022

zie link <https://www.interieuretmenuiserie.be/article/un-avenir-innovant-et-durable-pour-lindustrie-du-bois-et-de-lameublement/>

Valorisatie

1. Juli 2019

Aspecten kopse afdichting voor houtsoorten in zonnepanelen (jobnr. 190222)

Vanuit het project Woodforlife werd advies verleend als input voor het design van zonnepanelen uit hout. Het advies betrof de invloed van sealants op de scheurvorming t.h.v. de kopse vlakken. De hieruit voortvloeiende ontwerpen werden opnieuw onderworpen aan kunstmatige verwerking, zoals in het project voorgesteld, ter optimalisatie van het beoogde product.

2. September 2020

Aanduiden van onaanvaardbare gebreken in terras uitgevoerd in padoek (jobnr. 200446)

Op basis van de huidige normering werden in het kader van een expertise de vervorming en de scheurvorming in terrasplanken uit padoek, die door klanten als niet-conform werden beschouwd, toegelicht. De toepassing van de huidige normering werd aangevuld met de te verwachten gebreken ten gevolge van de intrinsieke eigenschappen. Dit laatste betrof deels verworven kennis uit het project Woodforlife

3. November 2022

Verloop van esthetische kenmerken van 5 substraten tijdens verweringsproces (jobnr. 221051)

In deze studie wordt de invloed onderzocht van blootstelling aan weer en wind, biologische aantasting en vervuiling op het uitzicht van 5 houtachtige substraten. De resultaten hiervan moeten de producent van high-end buitenmeubilair in staat stellen om een beoordeling te maken van de inzetbaarheid van deze nieuwe materialen in buitenmeubilair.

Bij de proefopzet wordt gebruik gemaakt van de verweringsconcepten ontwikkeld tijdens het project Woodforlife.

Literatuurlijst

Normen

- CEN/TS 13307-2 - Laminated and finger jointed timber blanks and semifinished profiles for non-structural uses - Part 2: Production control. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- CEN/TS 15083-1. Duurzaamheid van hout en houtachtige producten - Bepaling van de natuurlijke duurzaamheid van massief hout tegen houtaantastende schimmels, beproevingsmethoden - Deel 1: Basisdiomyceten. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- CEN/TS 16818 Durability of wood and wood-based products - Moisture dynamics of wood and wood-based products. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 14220 Hout en houtachtige materialen in buitenramen, buitendeurleugels en buitendeurkozijnen - Eisen en specificaties. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 152 Houtverduurzamingsmiddelen - Bepaling van de beschermende werking van een verduurzamingsbehandeling tegen blauwverkleuring in verwerkt hout – Laboratoriummethode. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 204 Classificatie van thermoplastische houtlijmen voor niet-constructieve toepassingen. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 335 Duurzaamheid van hout en op hout gebaseerde producten - Gebruiksklassen: Definities, toepassing op massief hout en op houtachtige plaatmaterialen. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 438-2 Hoge-druk decoratief laminaat (HPL) - Platen gebaseerd op thermohardende harsen (gewoonlijk Laminaat genoemd) - Deel 2: Bepaling van de eigenschappen. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 84 Houtverduurzamingsmiddelen - Versnelde veroudering van behandeld hout voorafgaande aan biologische beproevingen – Uitloogmethode. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 927-3 Verven en vernissen - Coatingmaterialen en -systemen voor buitenhoutwerk - Deel 3: Natuurlijke verouderingsbeproeving. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- EN 927-6 Verven en vernissen - Verf en verfsystemen voor hout voor buitengebruik - Deel 6: Blootstelling van deklagen voor hout door kunstmatige verwerking met gebruik van fluorescerende UV-lampen en water. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- ISO 16474-3 Verven en vernissen - Methoden van blootstelling aan laboratoriumlichtbronnen - Deel 3: Fluorescerende UV-lampen. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 18314-1 (2015) Analytical colorimetry - Part 1: Practical colour measurement. International Organization for Standardization, Geneva
- ISO 4628-4 (2016) Verven en vernissen - Evaluatie van de degradatie van verflagen - Aanduiding van de intensiteit, hoeveelheid en omvang van algemeen voorkomende gebreken - Deel 4: Beoordeling van de mate van barstvorming. International Organization for Standardization, Geneva.

- ISO 4892-3 Kunststoffen - Methoden van blootstelling aan laboratoriumlichtbronnen - Deel 3: Fluorescerende UV lampen. International Organization for Standardization, Geneva.

Publicaties

- Christy A.G., Senden T.J. & Evans P.D. (2005) Automated measurement of checks at wood surfaces. *Measurement* 37: p. 109–118.
- Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F. et al. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering, *Holz Roh Werkst* (2003) 61: 221.
- Baar, J., Gryc, V. The analysis of tropical wood discoloration caused by simulated sunlight. *Eur. J. Wood Prod.* 70, 263–269 (2012).
- Barmpoutis, Panagiotis & Lefakis, Panagiotis. (2016). Image processing for surface analysis of woods. Oliveira H. & Correia P. (2014). CrackIT - An Image Processing Toolbox for Crack Detection and Characterization. 2014 IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2014.
- Brischke C., Meyer-Veltrup L., Goritzka C., Tammen B., Hundhausen C., Mahnert K. & Gellerich A. (2017) Rissbildung in Holzbauteilen - Bewertung materialspezifischer Unterschiede und Einfluss auf Holzfeuchte und Oberflächenqualität. *Holztechnologie* 58(3): p. 5-13.
- Broman, N.O. 2000. Means to measure the aesthetic properties of wood. Doctoral thesis. Luleå University of Technology, Division of Wood Technology. 26 p. + 6 appendices.
- Buchelt B. & Wagenführ A. (2012). Evaluation of colour differences on wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1-3), 389–391.
- Chrisment, A (2004) *Le Guide de la Couleur n°3. Connaître et comprendre la colorimétrie.* Paris, 82p
- Defoirdt N., Wuijts I., De Boever L., Coppens H. & Van den Bulcke J. & Van Acker J. (2012). A colour assessment methodology for oak wood. *Annals of Forest Science*. 69. 939-946.
- DO-IT Houtbouw. Duurzame innovatie op het vlak van technologie en leefcomfort voor houttoepassingen in de bouw. VIS-Traject IWT-Vlaanderen, 2012-2016.
- FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie 2010. STS 52.1, Houten buitenschrijnwerk, 35p.
- George B., Suttie, E., Merlin, A. & Deglise, X. (2005). Photodegradation and photostabilisation of wood—The state of art. *Polymer Degradation and Stability*. 88. 268-274.
- Hauptmann M., Pleschberger H., Mai C., Follrich J. & Hansmann C. (2012). The potential of color measurements with the CIEDE2000 equation in wood science. *Eur. J. Wood Prod.* 70, 415–420.
- Hunter R.S. & Harold R.W. (1987) *The measurement of appearance.* Wiley, New York, 411p
- Jonsson, O., Lindberg, S., Roos, A., Hugosson, M. and Lindström, M., 2008. Consumer Perceptions and preferences on solid wood, wood-based panels and composites: A repertory grid study. *Wood and Fiber Science* 40(4): 663–678. Toelageaanvraag FOD Economie 2018 WOOD.BE 47/47
- Jonsson, R. 2006. Increasing the competitiveness of wood in material substitution: a method for assessing and prioritizing customer needs. *Journal of Wood Science* 52(2): 154–162.
- Kržišnik D., Lesar B., Thaler N & Humar M. (2018) Influence of Natural and Artificial Weathering on the Colour Change of Different Wood and Wood-Based Materials. *Forests* 9 (488): 22p.

- Luo M.R., Cui G. & Rigg B. (2001). The Development of the CIE 2000 Colour Difference Formula: CIEDE2000. *Color Research and Application*, 26(5): 340-350.
- Luo M.R, Minchew C., Kenyon, P. & Cu, G. (2004). Verification of CIEDE2000 using industrial data. In: *AIC Color and Paints, Interim Meeting of the International Colour Association, Proceedings*, pp. 97–102.
- Mahieu E. (2007). Objectieve beoordeling van kleurverschillen. WTCB, Infofiche 25.
- Matthé, L., Beeckman, H., De Ridder, M., & Van Acker, J. (2011) Opstellen van een macroscopische sleutel ter herkenning van houtsoorten uit het Guyana bekken. Dissertation. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University. Ghent, Belgium.
- Mohan A.& Poobal S. (2017) Crack detection using image processing: A critical review and analysis. *Alexandria Engineering Journal* (2018) 57, 787–798
- Meints T., Teischinger A., Stingl R. & Hansmann, C. (2016). Wood colour of central European wood species: CIELAB characterisation and colour intensification. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(4), 499–509.
- Oltean, L., Teischinger, A., Hansmann, C. (2008) Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *Holz Roh-Werkst* 66:51–56.
- Pastore TCM, KO Santos, Rubim JC (2004) A spectroradiometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hard-woods. *Bioresour Technol* 93:37–42.
- Qualicoat specifications: <http://www.qualicoat.net/main/specifications.html>
- Rivera J.P., Josipovic G., Lejeune E., Luna B.N. & Whittaker A.S. (2015) Automated Detection and Measurement of Cracks in Reinforced Concrete Components. *ACI Structural Journal* Title No. 112-S32: p.397-406
- Rütther, P. & Jelle, B. P.(2013). Color changes of wood and wood-based materials due to natural and artificial weathering. *Wood Material Science & Engineering*, 8:1, 13-25.
- Stichting Keuringsbureau Hout (2003) BRL 0605 Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO® productcertificaat voor gemodificeerd hout (laatste fase van herziening).
- Stichting Keuringsbureau Hout (2011) SKH-Publicatie 04-01 “Beoordeling van afdichtingsmiddelen voor de timmerindustrie”
- Wilkins, A.P. & Stamp, C.M. (1990). Relationship between wood colour, silvicultural treatment and rate of growth in *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). *Wood Science and Technology*, 24, 297-304.
- Yasser M., Hesham S., Mohamed A. & Taher A.. (2019). Steel crack depth estimation based on 2D images using artificial neural networks. *Alexandria Engineering Journal* 58: p. 1167–1174.
- Yella, S., Dougherty M. & Gupta N.K. (2009) Condition monitoring of wooden railway sleepers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 17(1): p. 38-55.

Bijlagen

- A. Verslag van de eerste gebruikerscommissie
- B. Beeldverwerving met de camera – tips & tricks
- C. Vergelijkende beelden van de stalen blootgesteld op de MFER na 6 maanden en na 1 jaar

A. Verslag van de eerste gebruikerscommissie

Startvergadering Wood for Life 05/04/2019

Aanwezig: Ludo Van Bladel, Bart Van Cant, Arnoud Leën, Kurt Hooyberghs, Thoma Schellekens, Peter De Ryckere, Lieven De Boever, Inge Wuijstens, Robbe Celis, Imke De Windt.

Algemene voorstelling van het project (L. De Boever)

- WoodforLife:
- Verwachte, effectieve levensduur van houten producten in beoogde toepassing: Buiten, geen grondcontact als gevel (vertikale elementen), terras (horizontale elementen), meubel (gemengd maar hoge eisen)
- Helder en objectief → haalbaar verhaal, herhaalbaarheid, normenkader invullen, verfijnen
- Vraag gedreven → Normenkader

- Pre-normatief project

→ gesubsidieerd door FOD Economie, NBN

→ evaluatie document levensduur beschrijving (ISO 15686-8)

Model: bestaat reeds maar cijfers nodig

“waar ligt het doel” ⇒ eisen versus noden: ‘fit for purpose’

Industriële eigenschappen én ontwerp: ‘protect by design’

⇒ Verwachting – gemiddelde spreiding

⇒ Voorspelling – (on)zekerheid

<-> factoren beïnvloeding

- Probleemstelling
- fit for purpose: testnormen: OK? Evaluatiecriteria? → contact bedrijven!
- beschermende maatregelen: evaluatie in de tijd → testnormen? → geen kader
- productniveau (verbindingen) = opschalen
- Reële levensduur: test naar praktijk “holy grail” → referentiemateriaal – historisch

→ Levensduurmodel (uitbreidbaar)

Voorstelling van de werkpakketten (I. De Windt)

WP1: Materiaalkeuze → input gebruikersgroep

→ materialen groeperen naar gelijkaardige eigenschappen

WP2: Eigenschappen → meetbaarheid

- Toepassing versus eisenkader
- 1. Natuurlijke duurzaamheid → distributie = onzekerheden
 - a. Historische data
 - b. Testdata
 - c. Met uitlogingIn samenwerking met Woodlab (UGent) → opzetten accreditatie
- 2. Vochtgedrag (> 20% mc → verhoogd risico houtrot)

Dynamiek: Opname water: opzuiging 'zijvlak' versus kops vlak
Opname luchtvochtigheid

3. Esthetische parameters

Kleur: parameters, eisen?

Glans

Ruwheid: meting $\neq$ perceptie

Barstvorming

WP3: Kunstmatige verwerking

1. Materiaal
2. Bescherming
3. Product

Veroudering: UV-A, Xe, IR, vocht-temperatuur

WP4: Referentie en modellering

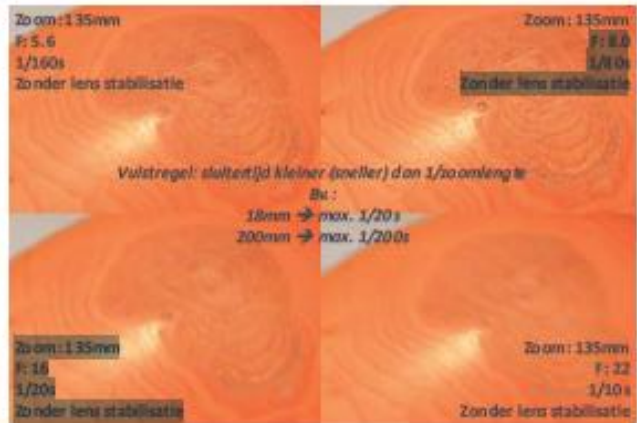
- werkelijke belasting = natuurlijke veroudering: buitenopstelling + historische data (input gebruikersgroep!)
 - Aanvaardingscriteria = Cut off level
- ⇒ Factor model = geschatte levensduur = referentielevensduur x invloedsmodellen + error (= spreiding)

Opmerking: - Gedrag in de tijd wordt eveneens beïnvloed door herstelling.
- Herhaalbaarheid!

Vragen en suggesties

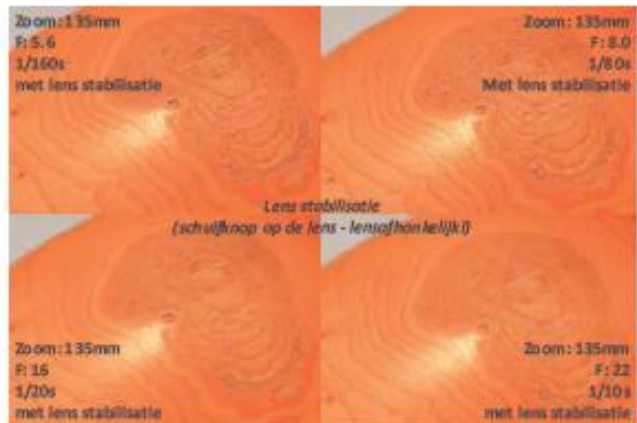
1. Invloed mechanische belasting? Hoe integreren? (vraag uit verpakkingindustrie)
Mogelijkheid tot uitbreiding van basismodel duur toevoegen van extra factor
2. Welke sealant?
Verschillende toegepast op verschillende houtsoorten om de variatie in kaart te brengen.
Graag producten met goede en producten met minder goede prestaties
3. Recycleerbaarheid? (End of life?)
Geen projectdoelstelling wel te documenteren. Kan als input voor een ecologisch model
4. Glans en kleur: welk snijvlak wordt opgemeten?
Beide. Aantal meetpunten te bepalen in functie van degelijke weergave en economische haalbaarheid van de testnormen
5. Ook subsidies van deelnemende bedrijven?
Ja, maar geen opgelegde eisen van FOD Economie. Doel: subsidie a.h.v. toeleveren van materialen met factuur en creditnota.
6. Bevraging gebruikerscommissie m.b.t. materialen en proefopstelling

B. Beeldverwerking met de camera - tips & tricks



Basis instelling: (centraal knopje induwen)

M = manueel
Av = diafragma voorkeuze
Tv = sluitertijd voorkeuze



Basis instelling:

M = manueel:
- sluitertijd: draaien aan de ring
- diafragma: achterknop + ring
Av = diafragma: ring
Tv = sluitertijd: ring



Scherpstelling:

→ AF = type autofocus (statische objecten: normaal ONE SHOT)
→ Knop boven op vooraan: herhaaldelijk drukken voor keuze:
- Spot AF → voorkeur (meeste controle)
- 1 point AF
- Zone AF
- Large zone AF
- Auto selectie



Scherpstelling: Spot AF

→ Spot AF kiezen bovenaan (herhaaldelijk drukken):

- Keuze van scherpstelpunt met joystick of pijltjes rond set

→ Eerst scherpstellen en vervolgens herladen/compositie

→ Scherpstellen:

- Ontspanknop half indrukken
- Of: AF-ON indrukken

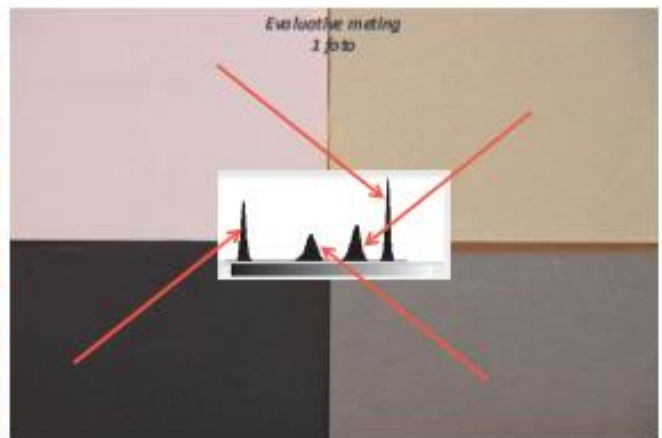
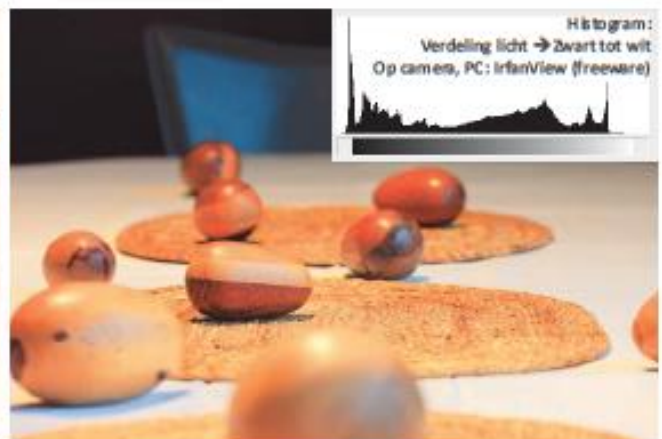
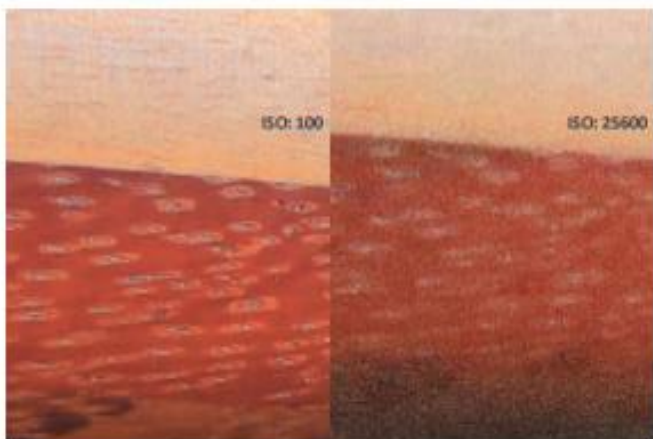


ISO waarde: lichtgevoeligheid

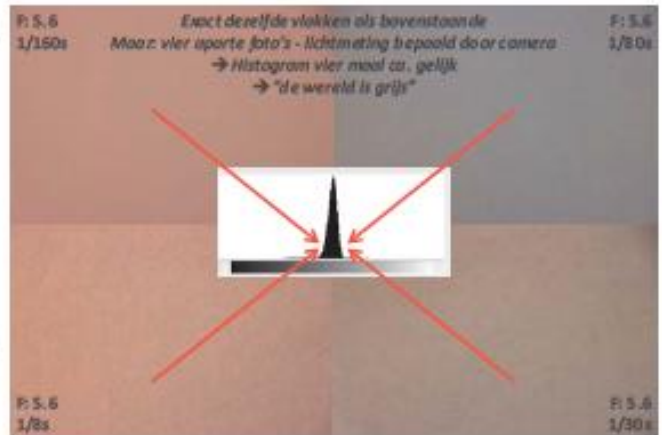
- Auto (extra instellingen in menu)
- 100 tot 25600

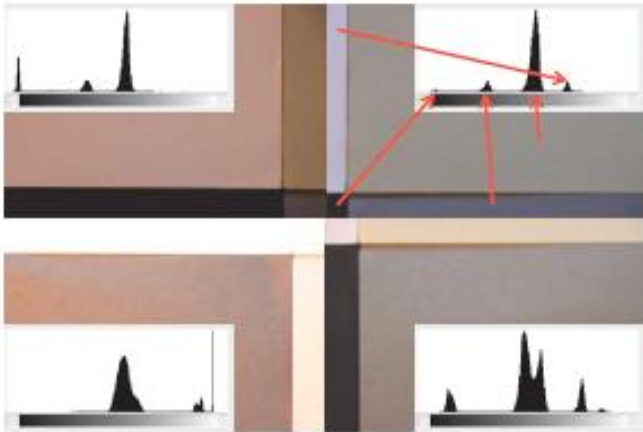
Drive: wijze van foto's trekken (enkel, meerdere, timer, ...)





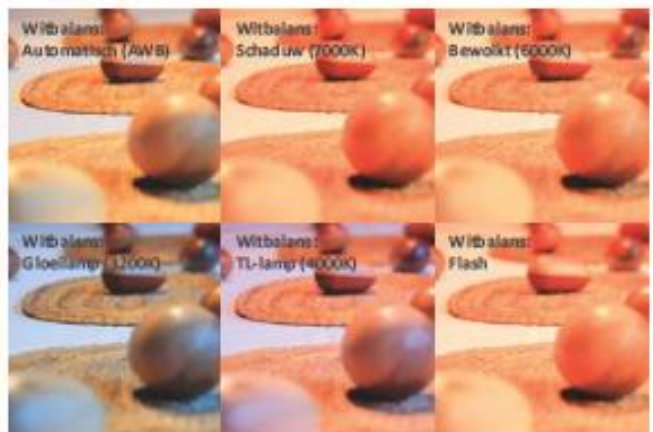
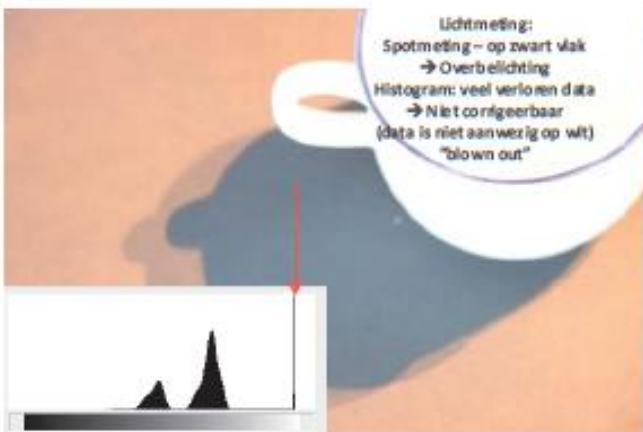
- Lichtmeting:
- Evaluatieve: algemene meting
 - Partial: centrum
 - Spot: punt/lokaal
- Situatie afhankelijk
- histogram controleren!





Belichting compensatie: over- en onderbelichting

- Modus Av en Tv
- +/- 3 stops (in stappen van 1/3 stop)
- Ontspanner half in drukken en draaien aan buitenste instelling rond set (lock schakelaar uitschakelen)
- Zichtbaar op schermen en in zoeker



MENU:

- Algemene instellingen (foto's, video's, geheugen, bestandsgrootte, ...)

INFO:

- Instellingen fotograferen → Q= activatie touchscreen: allerlei instellingen (zoals witbalans)
- Waterpas
- Info over foto's: histogram II
 - + pijltjes voor extra info



Checklist:

- Foto kwaliteit: RAW + large JPEG (ca. 40MB per foto = ca. 1500 foto's op 64GB)
 - Eventueel nabewerkingseigenschappen (scherpte ed: touchscreen)
- Statief indien mogelijk (plus timer voor scherpste foto's)
- Zo niet: sluitertijd controleren: 1/zo om lengte
- ISO: 100 (of zo laag mogelijk)
- Diafragma: ≥ 8.0 (meeste lenzen scherpst op F8.0, belang voor scherpte diepte)
- Witbalans: alles behalve auto (omgeving / veranderlijk)
- Scherpstelpunt kiezen
- Lichtmeting
 - Histogram controleren (overbelasting)



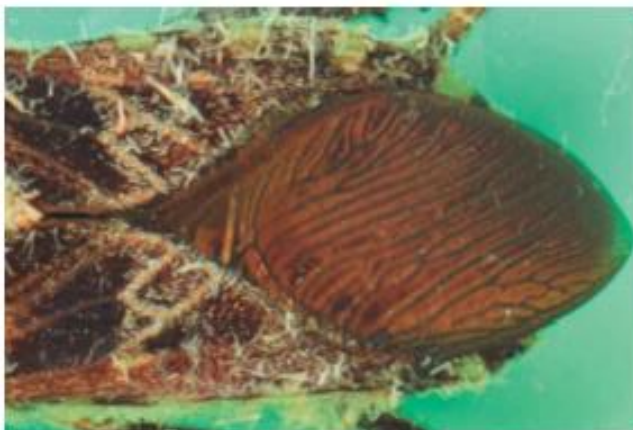
Instellingen:

- Instelling boven aan
- Joystick
- Pijltjes rond "set"
- Draairing rond "set"



Schermegebruik:

- 1 maal drukken → scherm activeren voor foto's
- Nogmaals drukken → terug door viewfinder (oog)
- Draaien / verschuiven → filmen



C. Vergelijkende beelden van de stalen blootgesteld op de MFER na 6 maanden en na 1 jaar

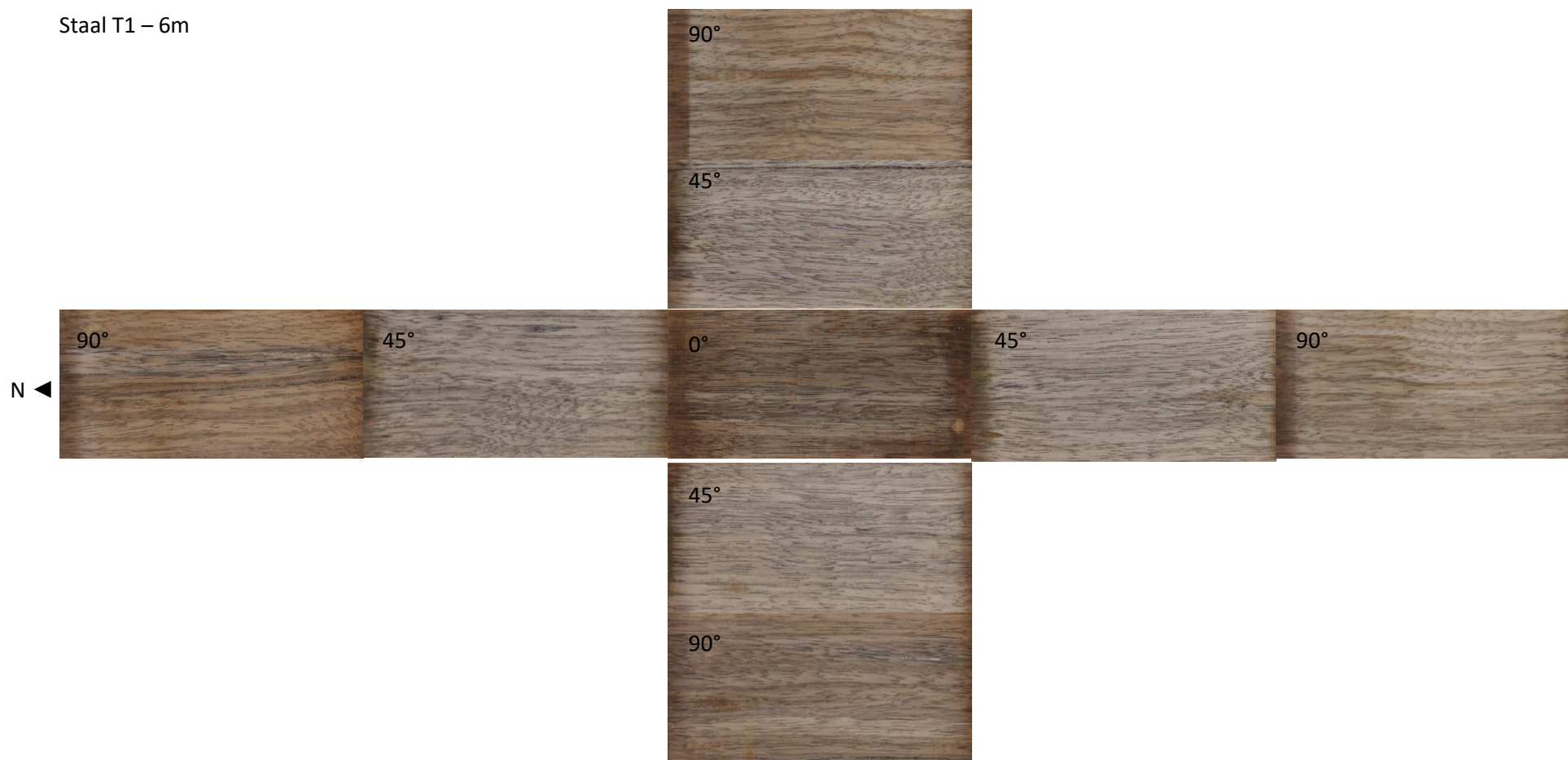
Staal L10 - 6m



Staal L10 - 12m



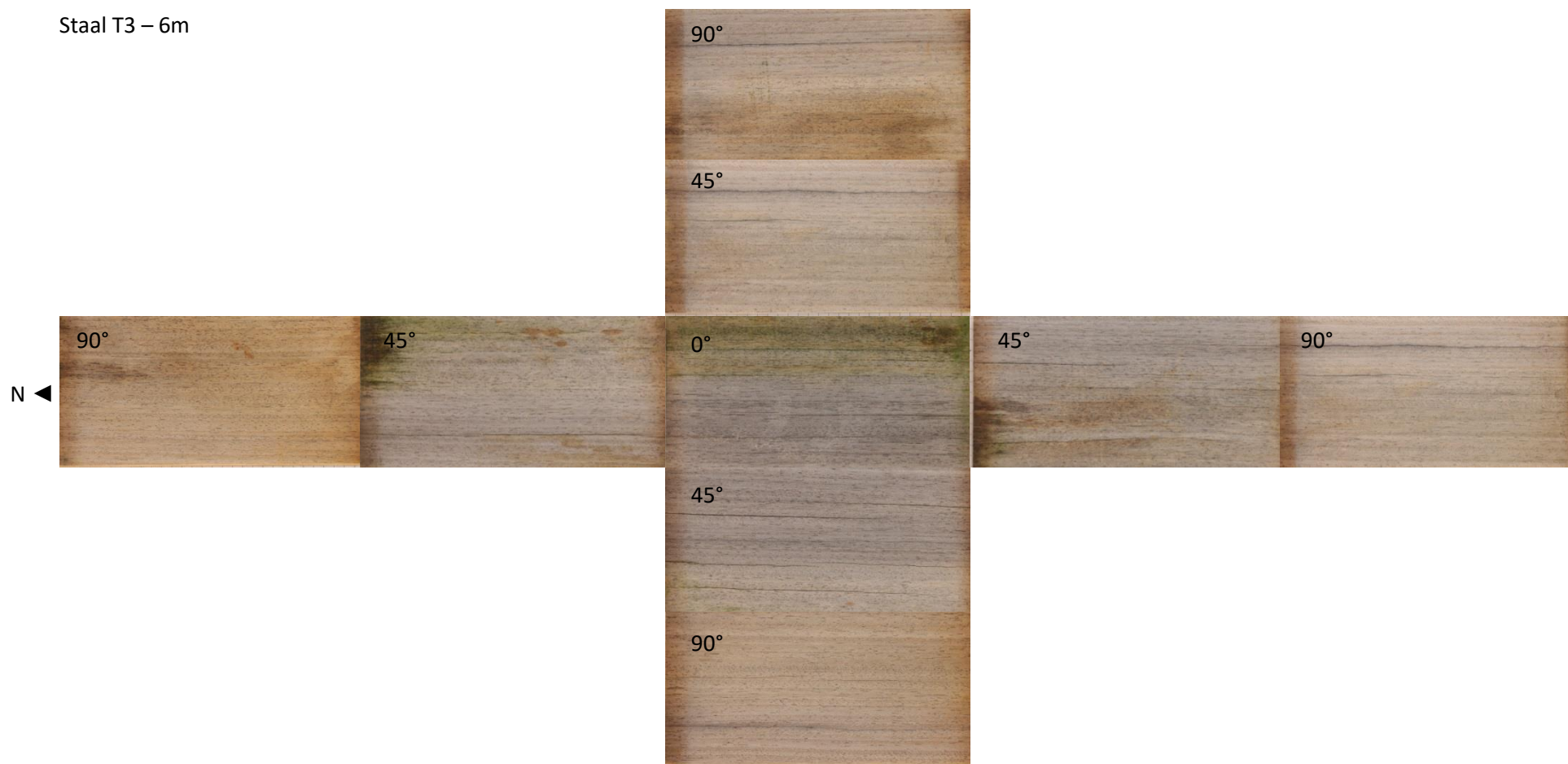
Staal T1 – 6m



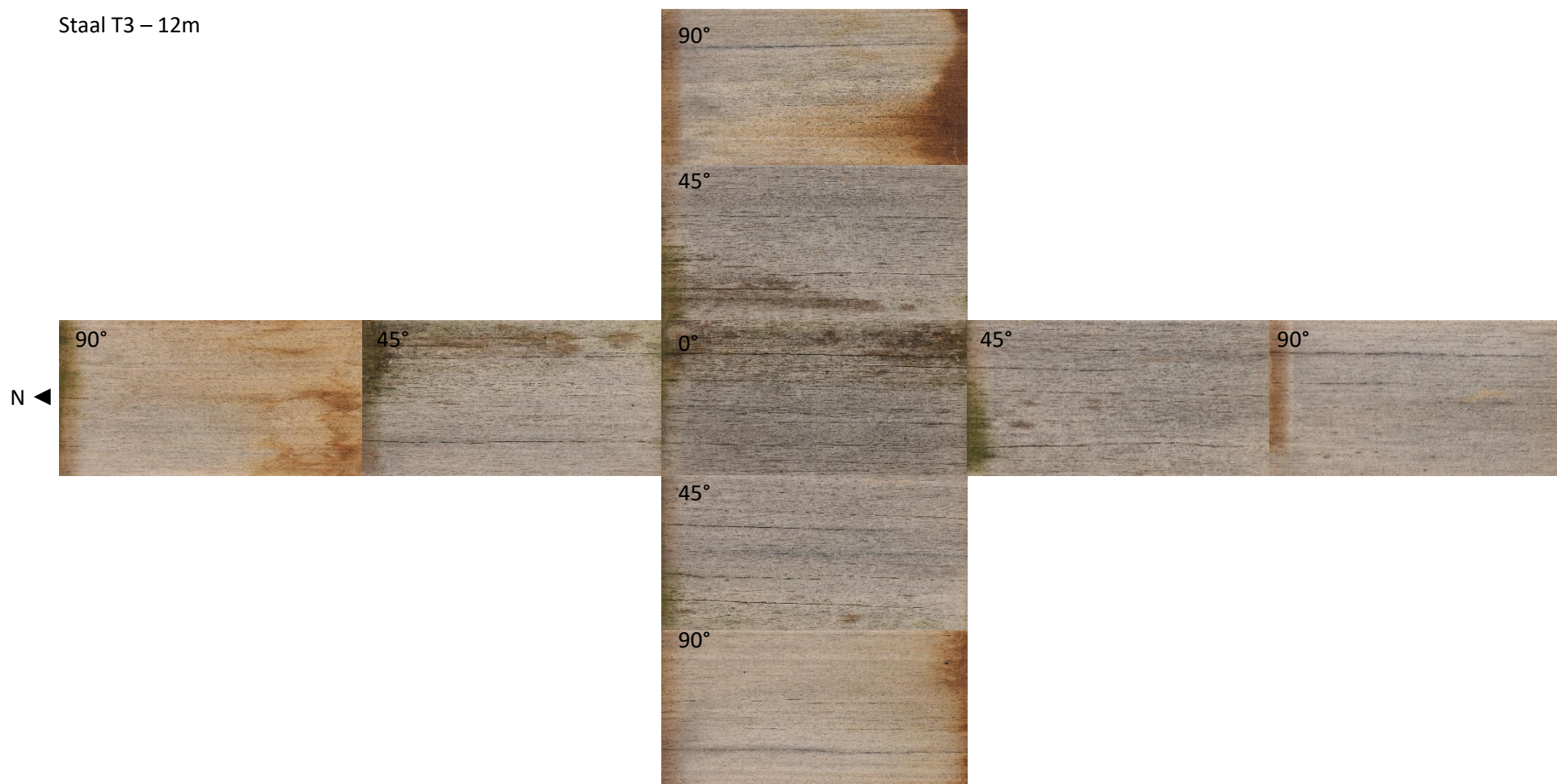
Staal T1 – 12m



Staal T3 – 6m



Staal T3 – 12m



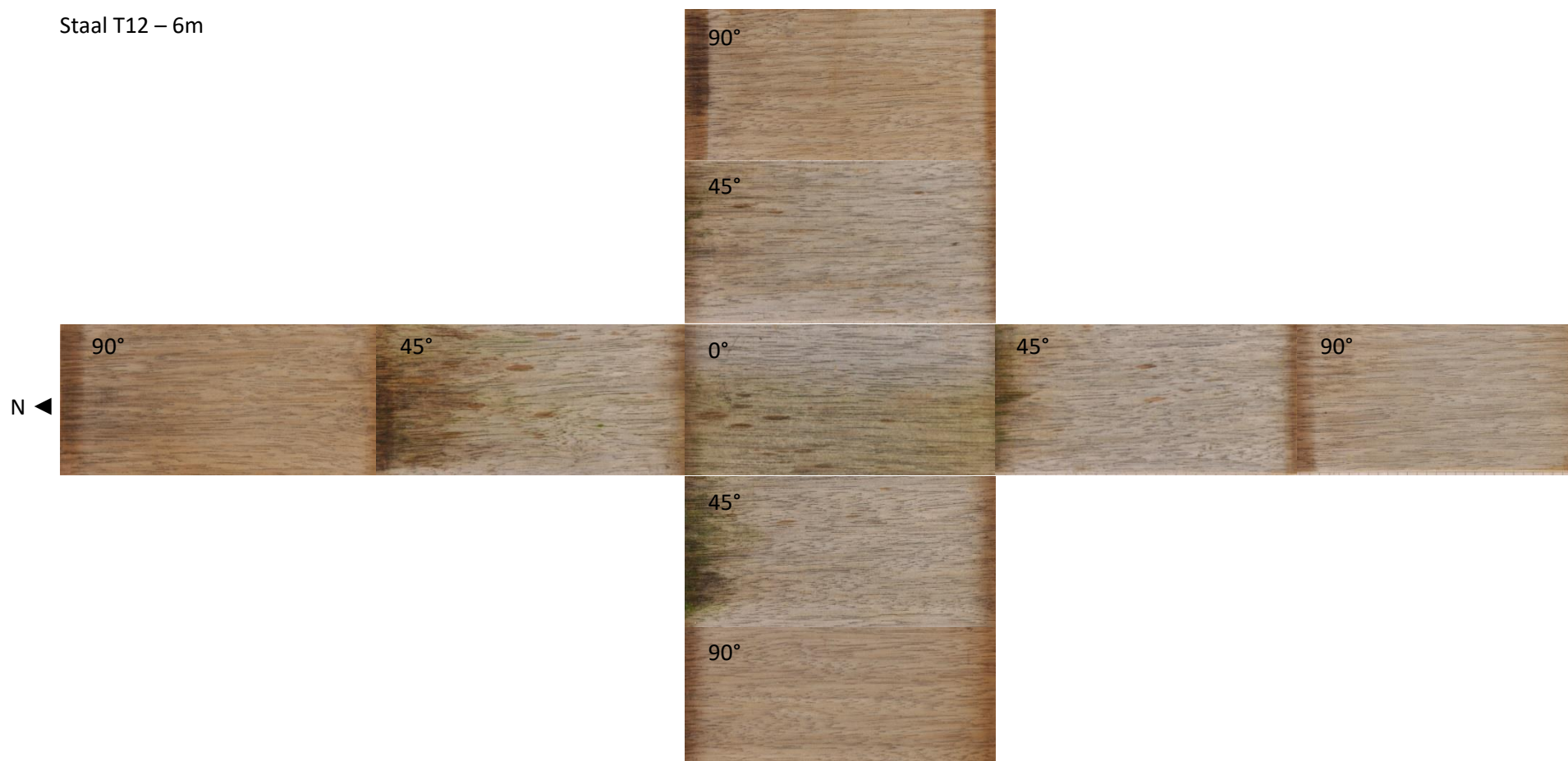
Staal M9 – 6m



Staal M9 – 12m



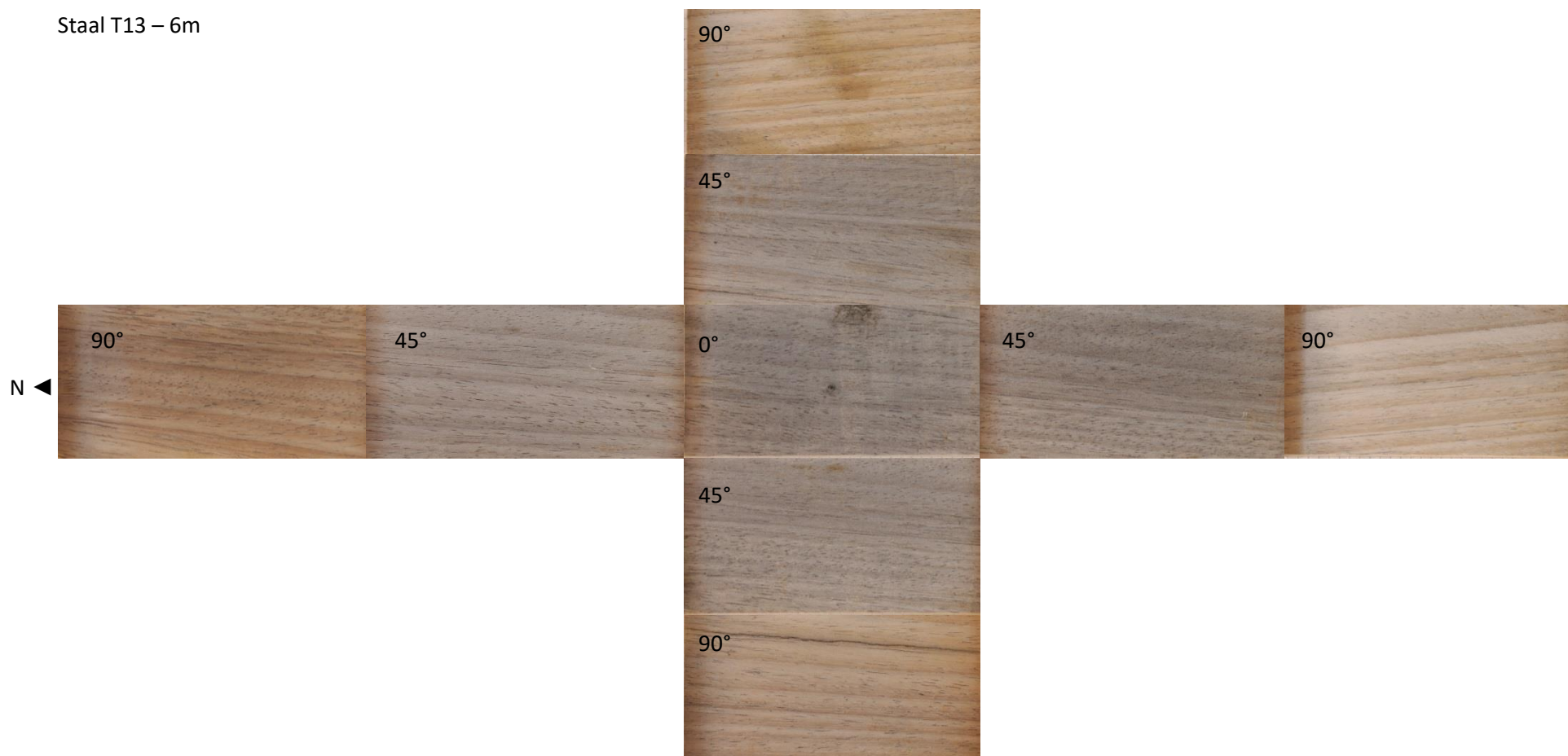
Staal T12 – 6m



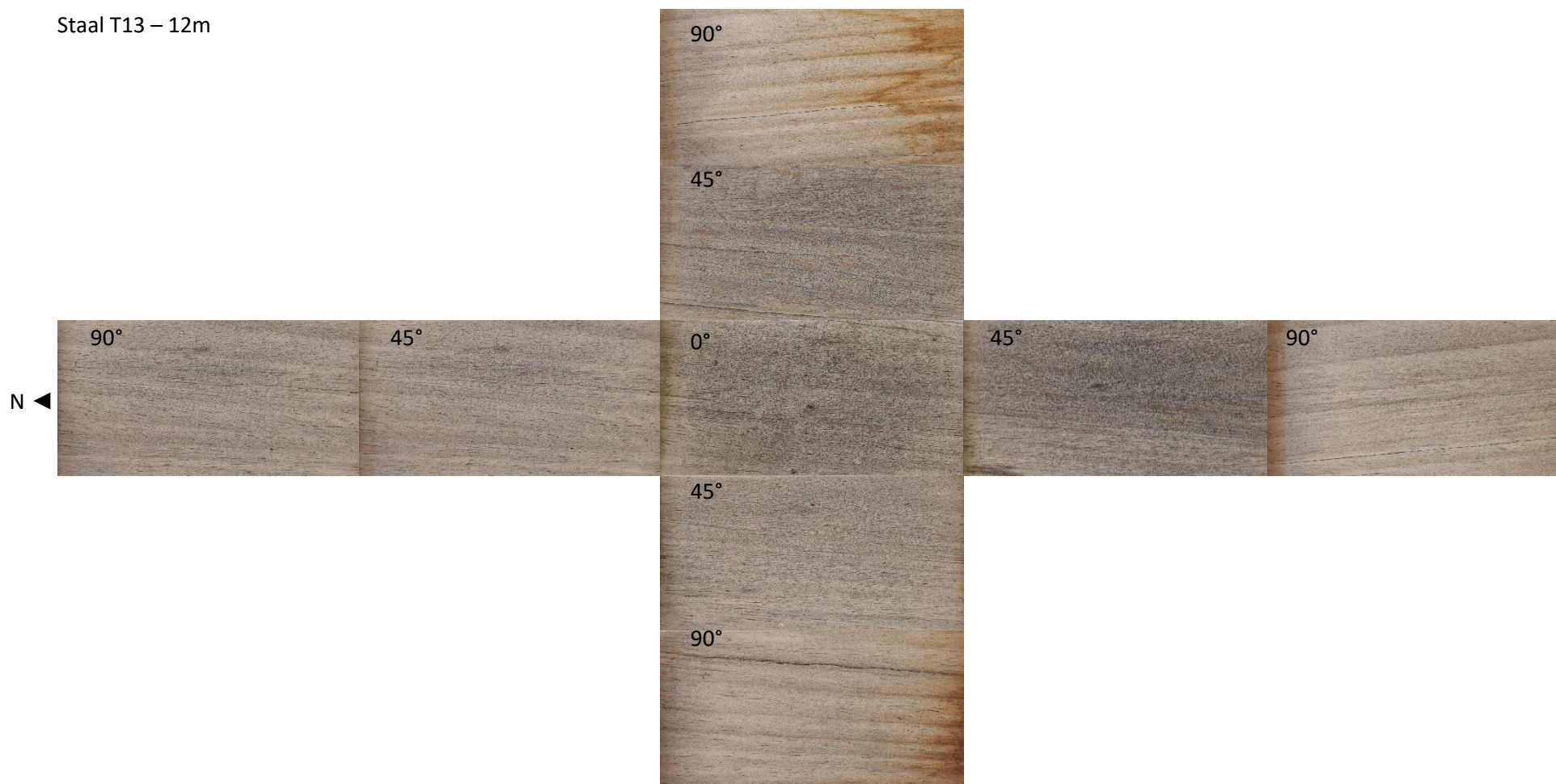
Staal T12 – 12m



Staal T13 – 6m



Staal T13 – 12m



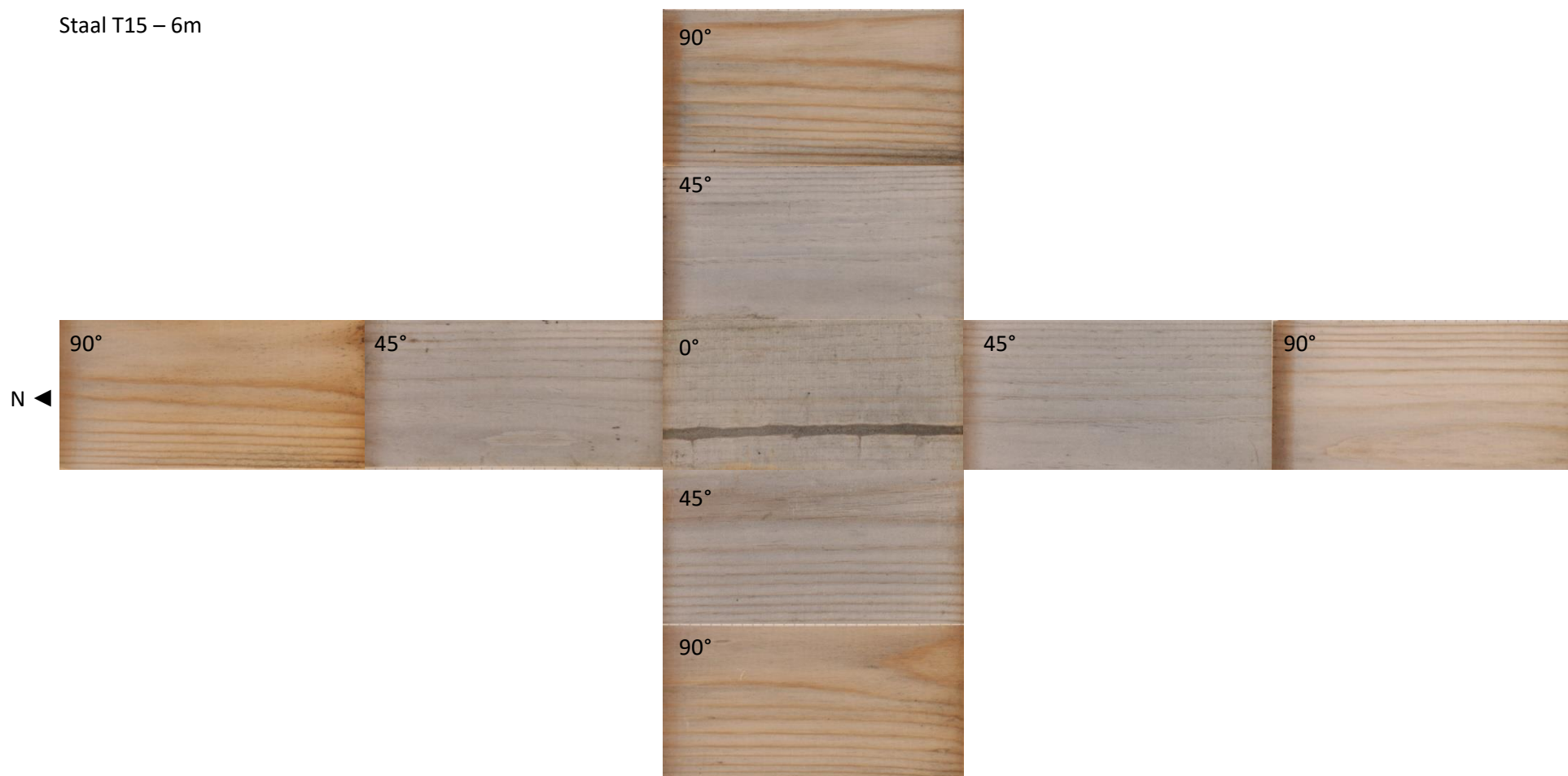
Staal T14 – 6m



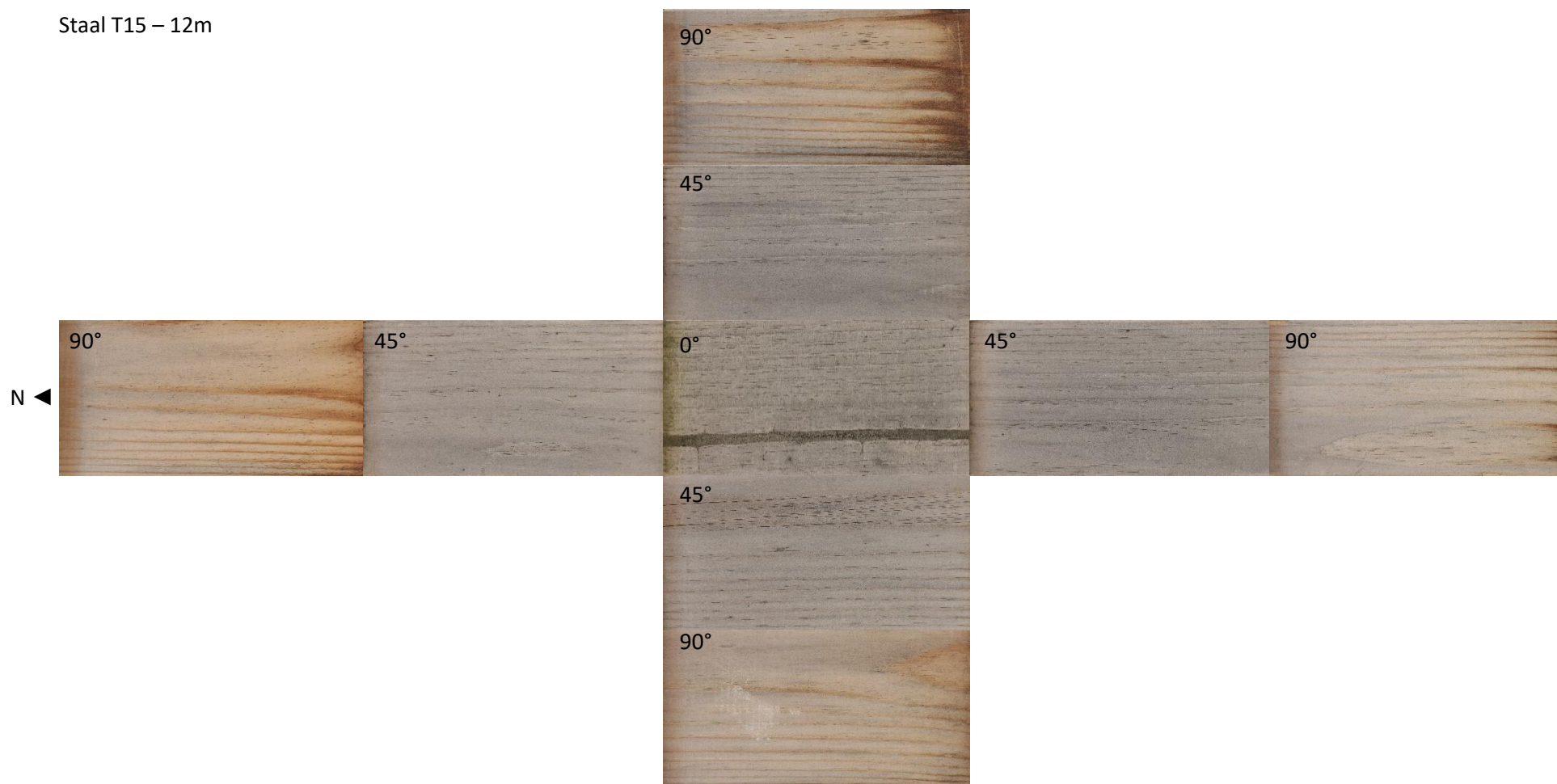
Staal T14 – 12m



Staal T15 – 6m



Staal T15 – 12m



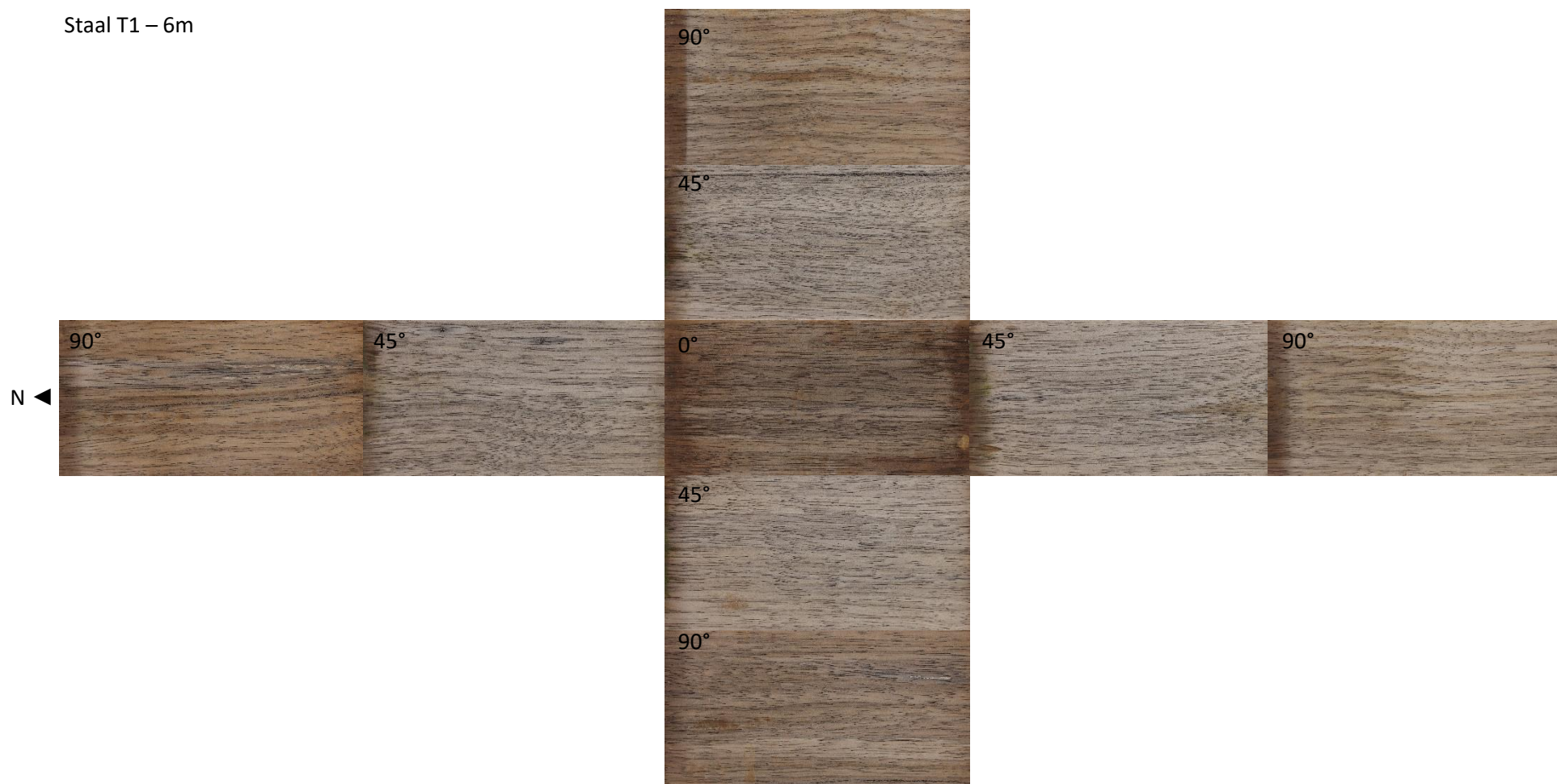
Staal T7 – 6m



Staal T7 – 12m



Staal T1 – 6m



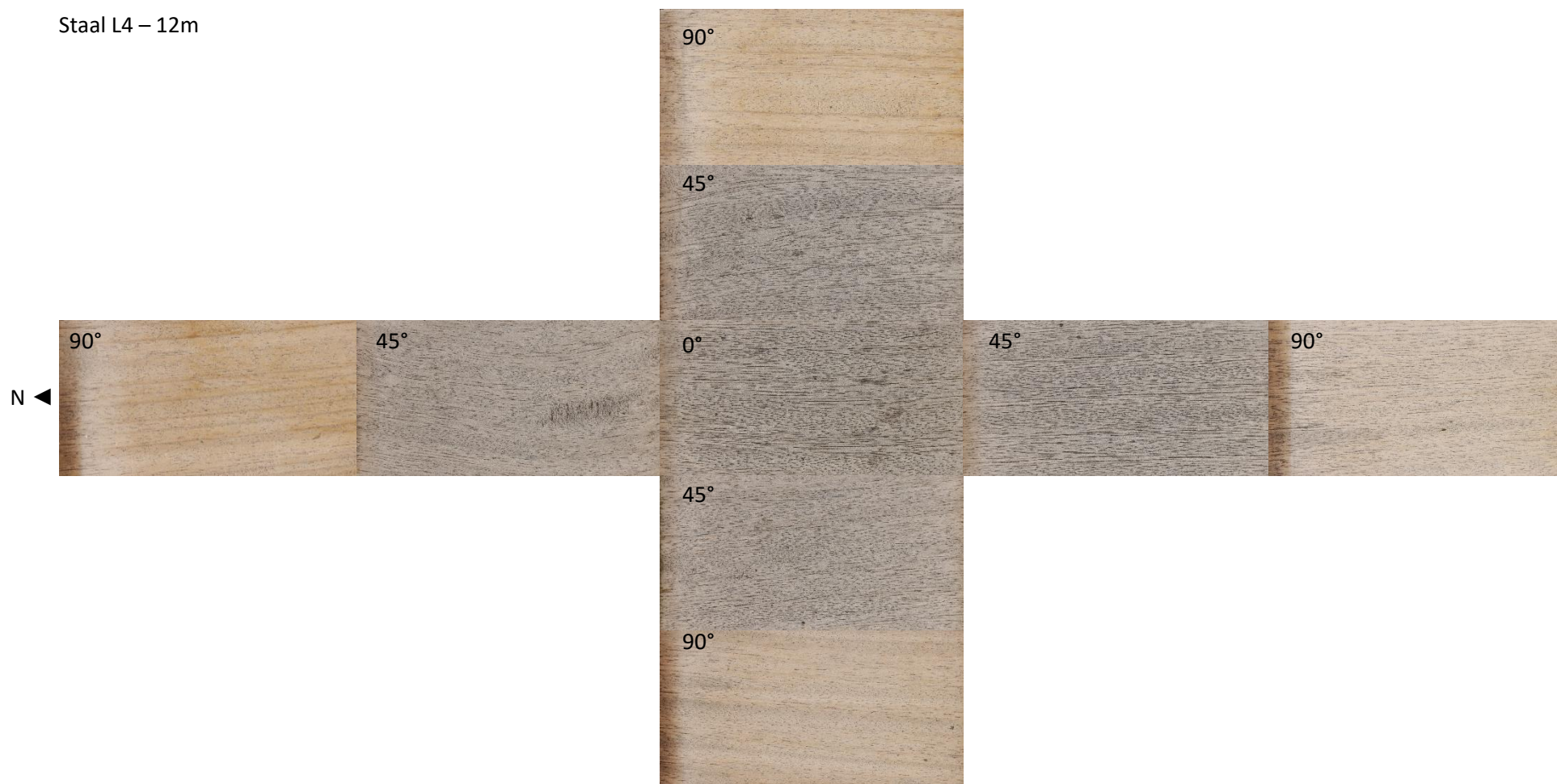
Staal T1 – 12m



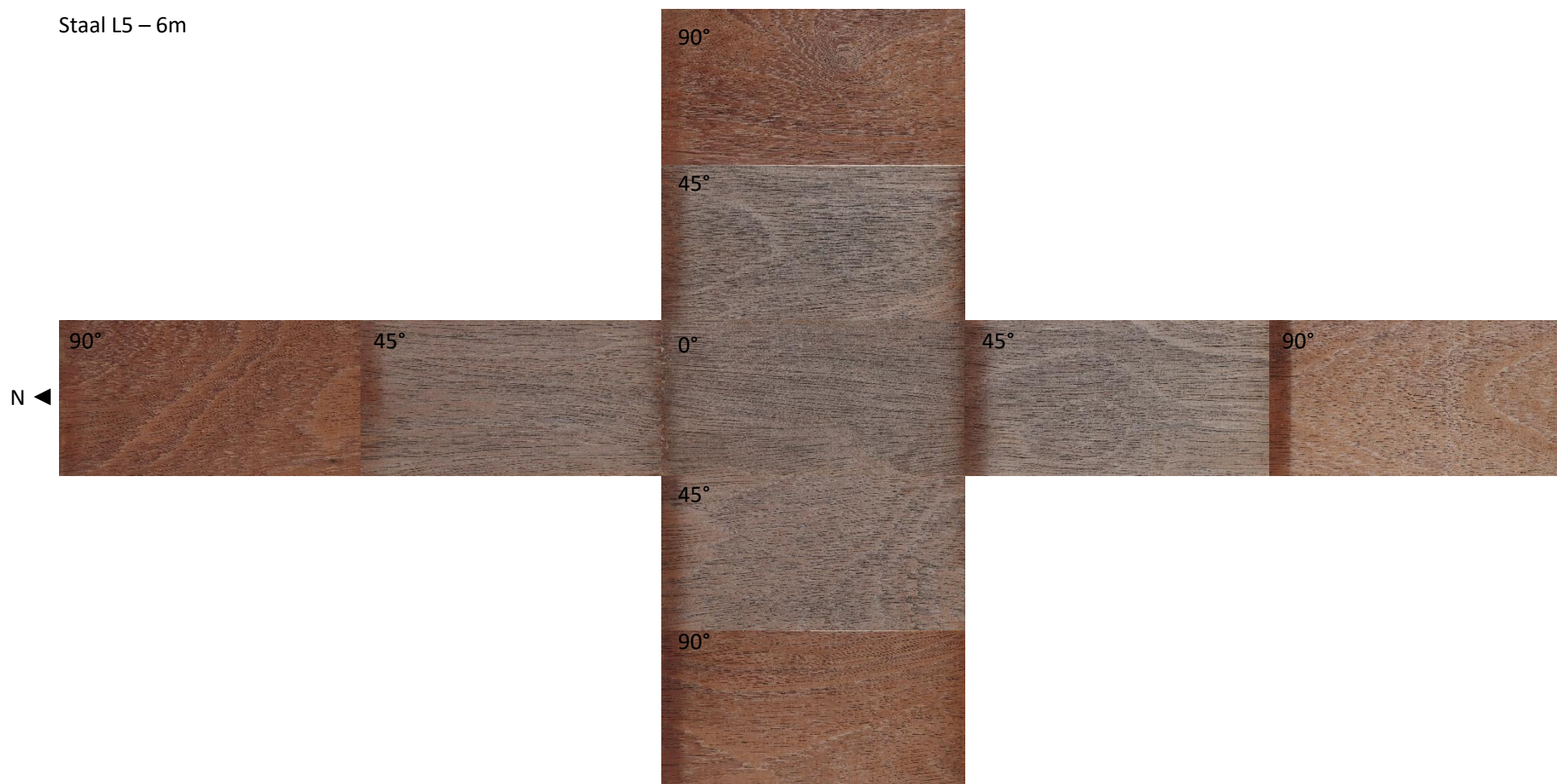
Staal L4 – 6m



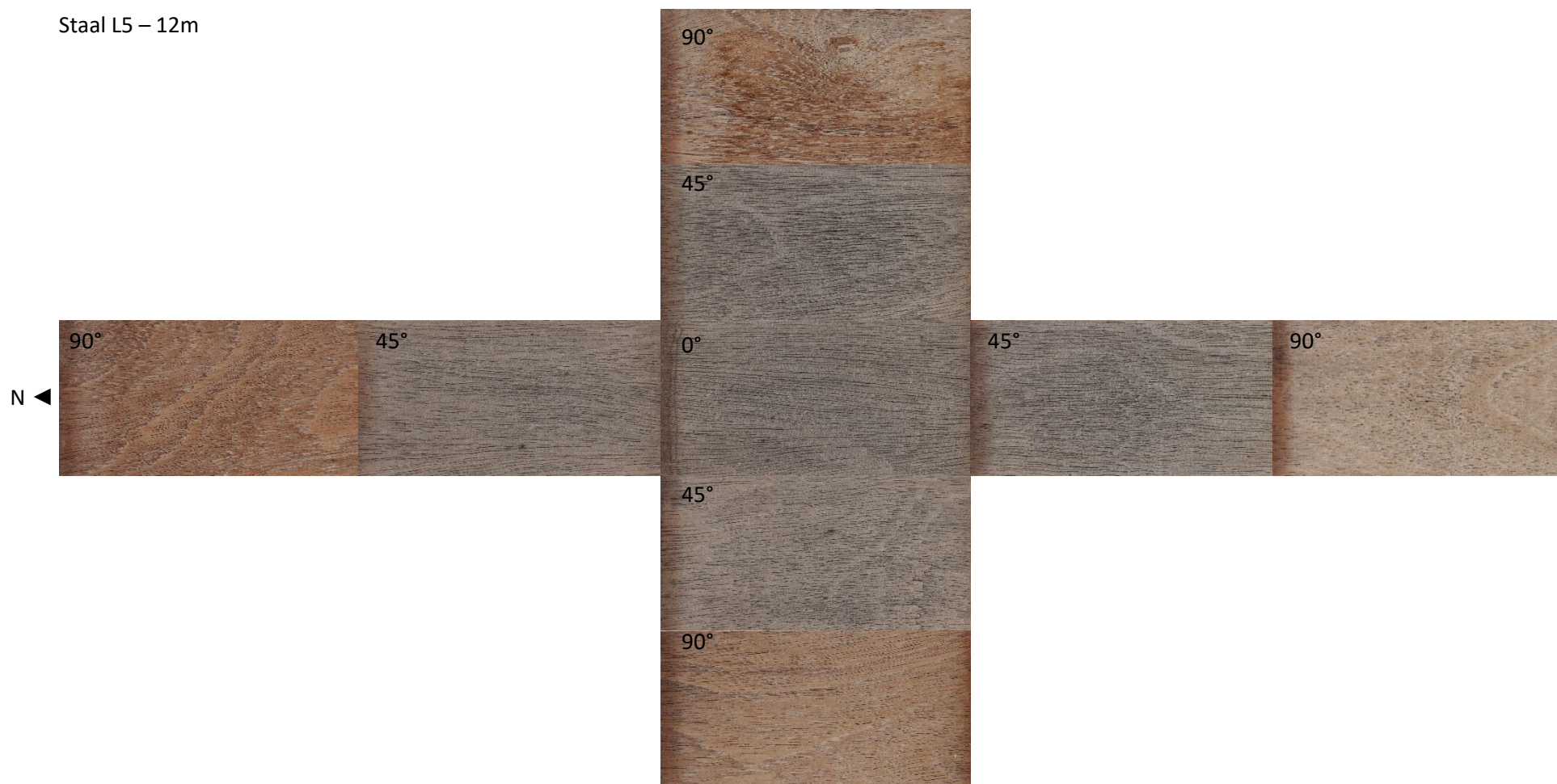
Staal L4 – 12m



Staal L5 – 6m



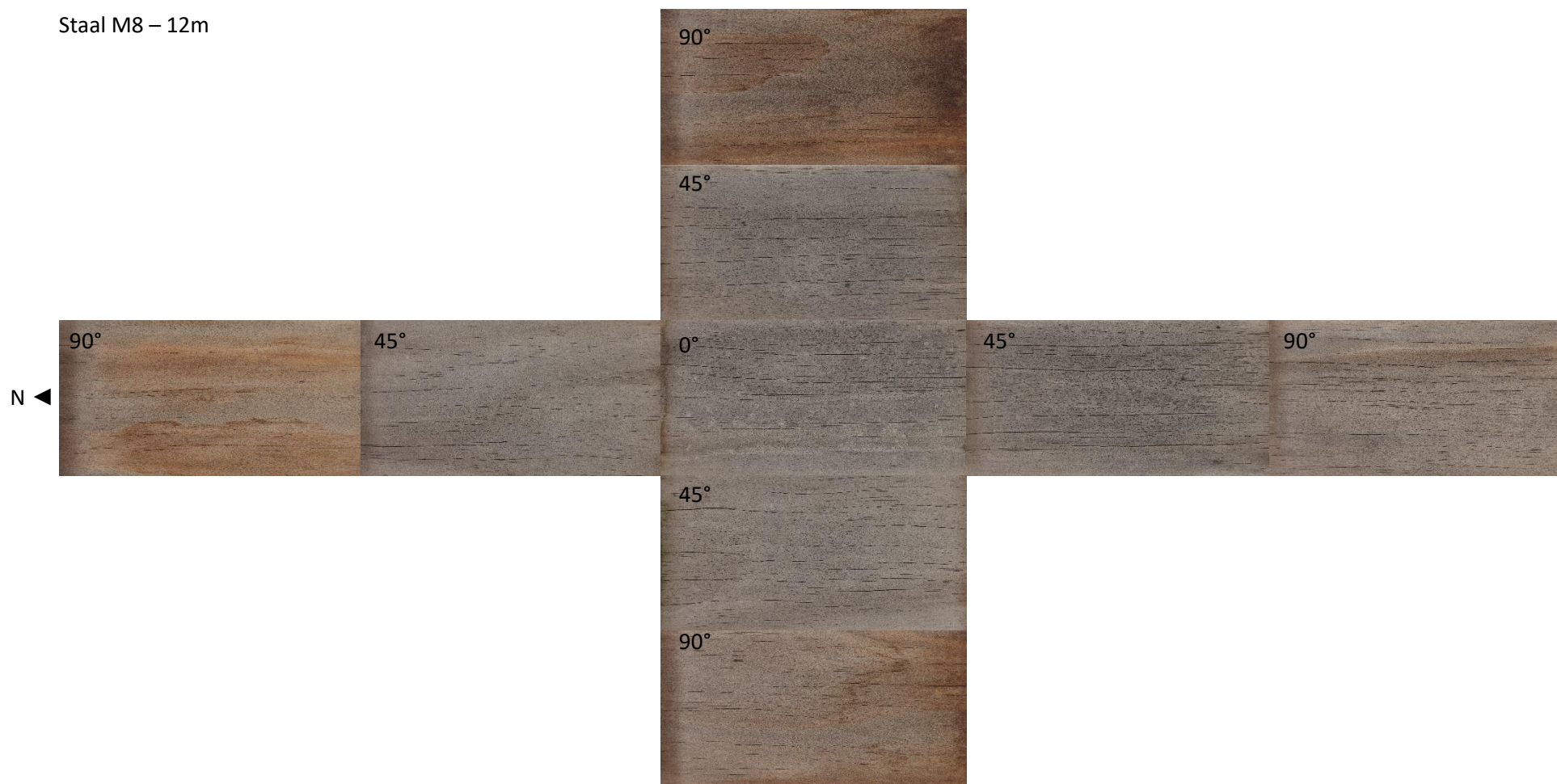
Staal L5 – 12m



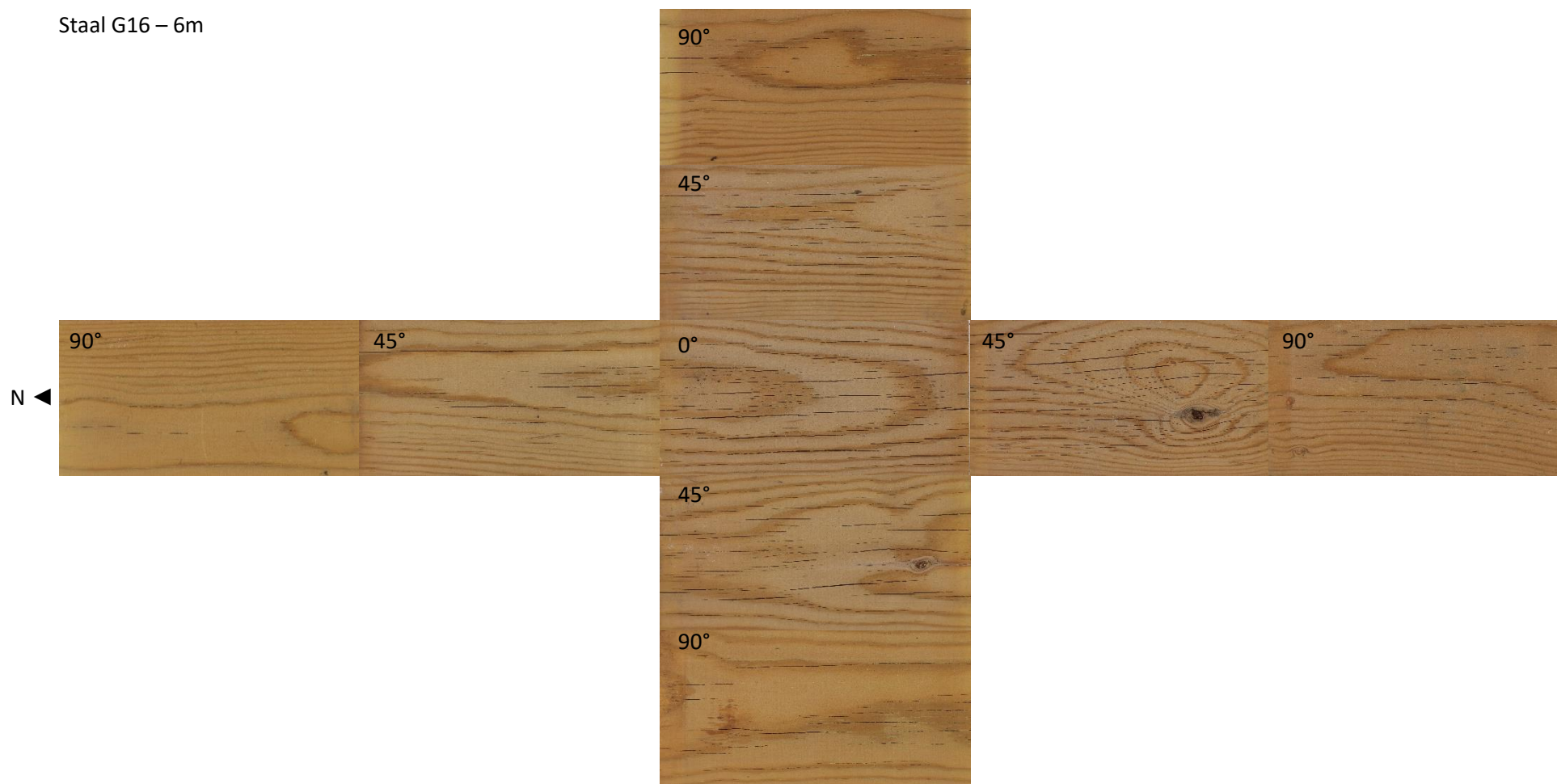
Staal M8 – 6m



Staal M8 – 12m



Staal G16 – 6m



Staal G16 – 12m

