

Extra informatie aan NVVRT – Masterscriptie FRP Mallant

- **Centrale vraag :**

Om inzicht te krijgen in de voorspelbaarheid van digitaal ontworpen indirecte beetverhoging met composiet is het onderzoek opgedeeld in twee onderzoeksvragen:

- *Komt het 3D-ontwerp van CAD/CAM indirecte LAVA Ultimate composietrestauraties overeen met de uiteindelijke beetverhoging in de mond?*
- *Wat is de progressie van slijtage op CAD/CAM indirect LAVA Ultimate composietrestauraties, geplaatst bij patiënten met ernstige gebitsslijtage?*

- **Methodiek :**

Binnen uitgevoerd onderzoek is data gebruikt afkomstig uit het inmiddels ruim vijf jaar lopende ESO-project van het Radboudumc tandheelkunde. Binnen dit project zijn patiënten met excessieve gebitsslijtage opgenomen. Deze patiënten zijn allen doorverwezen vanuit de dagelijkse tandartspraktijk. De patiënten zonder hulpvraag worden gemonitord, patiënten met een behandelwens zijn behandeld. Bij binnenkomst (intake) is voor elke patiënt de gebitssituatie vastgelegd middels lichtfoto's, gebitsmodellen en intra-orale scans. Na behandeling is er een recall-termijn van 1 maand, 1-, 3- en 5 jaar. Indien nodig worden patiënten tussentijds gezien voor interventie (behandeling van cariës of fractuur).

Patiëntselectie

Het ESO-project is verdeeld in vier patiëntgroepen. Gezien dit masteronderzoek gericht is op de volledig digitale workflow, is de data van patiëntengroep D gebruikt. Poweranalyse om de benodigde omvang aan patiënten te bepalen bleek niet mogelijk. De hoeveelheid beschikbare data is beperkt tot het aantal patiënten van behandelgroep D.

Tabel 4a : De verschillende behandelingsgroepen binnen het ESO-project.

Groep	Aantal patiënten	Materiaal + locatie van applicatie
A	55 patiënten	Geen behandeling, monitoring
B	35 patiënten	IPS Empress Direct composiet (direct) → buccale vlakken bovenfront Clearfil AP-X composiet (direct) → overige gebitselementen
	21 patiënten	Filtek Supreme composiet (direct)
C	27 patiënten	Estenia composiet (indirect) → 1 ^e molaar en palatinaal van het bovenfront Clearfil AP-X composiet (indirect) → overige gebitselementen
	27 patiënten	Clearfil AP-X composiet (indirect)
D	22 patiënten	LAVA Ultimate composiet (indirect, CAD/CAM)

Patiëntselectie groep D

Binnen behandelgroep D gelden duidelijke inclusie- en exclusie criteria. Alle patiënten zijn behandeld middels dezelfde techniek. Randomisatie en/of blinding is niet toegepast.

Inclusie criteria :

- Volwassenen (≥ 18 jaar).
- Vergevoerde gegeneraliseerde gebitsslijtage: ≥ 3 mm verlies van verticale beethoogte, gemeten bij de eerste molaar.
- Behoeftte aan verhoging van de verticale beethoogte, wegens aanwezigheid van esthetische en/of functionele problematiek.
- Minimum van drie posterieure gebitselementen per kwadrant (premolaar of molaar).

Exclusie criteria :

- ASA-score IV.
- Parodontitis.
- Functie problematiek zoals beperkte mondopening (< 5 cm) of temporomandibulaire disfunctie (TMD).
- Tandboogonderbreking(en) in de zijdelingse delen met behandel noodzaak.

Materialen en procedure CAD/CAM beetverhoging

Naar aanleiding van een pilot studie in 2014 zijn binnen het ESO-project 22 patiënten met forse gebitsslijtage behandeld middels de volledig digitale werkprocedure; CAD/CAM met LAVA Ultimate composiet van 3M ESPE. De behandelprocedure is gebaseerd op beschikbare kennis en klinische ervaringen. Behandeling binnen het ESO-project is als volgt verlopen:

Gestart is met de bepaling van de gewenste verticale beetverhoging, deze is vastgelegd middels polyvinylsiloxaan stops (VPS-stops). Frontelementen in maxilla en mandibula zijn vervolgens opgebouwd met direct composiet, Filtek Supreme, in de gekozen beethoogte. Vervolgens zijn molaren en premolaren geprepareerd: Scherpe hoeken zijn afgerond, oude restauraties opgeruwd met een diamantboor en een chamfer is geprepareerd op de outline. Hierna is een intra-orale 3D gebitsscan vervaardigd met de True Definition scanner (3M ESPE). Door een tandtechniker is vervolgens een digitale wax-up ontworpen. Op basis van dit digitale ontwerp is het LAVA Ultimate restauratiemateriaal gefreesd. De verkregen onlays (table-tops/backings) zijn door een tandarts adhesief gecementeerd: Na zandstralen met CoJet (30µm), werd Scotchbond Universal Adhesive gebruikt volgens instructies van de fabrikant. RelyX Ultimate cement is gebruikt voor cementeren. Behandeling heeft plaatsgevonden in twee 'rondes'. Na opbouw van het front, zijn eerst de 2^e premolaren en 2^e molaren behandeld en daarna de 1^e premolaren en 1^e molaren.

Dataset ESO-project

In totaal zijn er 22 patiënten behandeld met LAVA Ultimate (indirect, CAD/CAM, groep D). In tegenstelling tot de molaren en premolaren, geldt voor het boven- en onderfront dat deze met direct composiet zijn opgebouwd. Om die reden zijn frontelementen niet opgenomen in dit masteronderzoek, alle metingen zijn uitgevoerd op gebitselementen in de zijdelingse delen (posterieure gebitselementen).

Van de 22 patiënten, is er bij 8 patiënten (N = 8) een volledige ontwerp aanwezig in de database van het ESO-project. Dit ontwerp bestaat per patiënt uit twee ontwerp-scans (ronde 1 en 2). Tevens is bij 15 patiënten (N = 15) de scan na één jaar beschikbaar. Zowel de 8 ontwerp scans, als de 15 (slijtage)scans na één jaar zijn gebruikt om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Voor beide onderzoeksmethoden zijn volledige, stapsgewijze protocollen opgesteld. Deze zijn als bijlage aan dit onderzoeksverslag toegevoegd.

Intra-orale 3D scans

Er zijn intra-orale 3D scans gebruikt, welke vervaardigd zijn op de volgende meetmomenten:

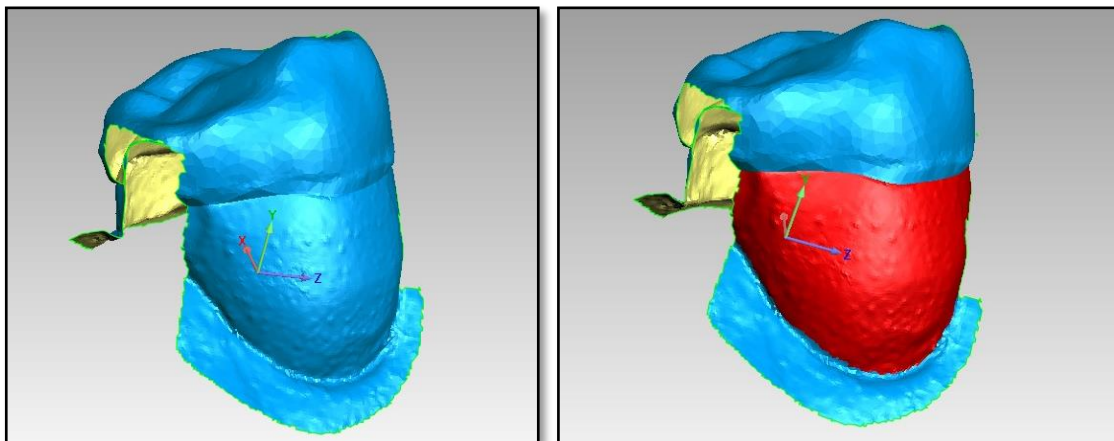
- $T_0 \rightarrow$ vóór aanvang van de restauratieve behandeling.
- $T_1 \rightarrow$ na preparatie van premolaren en molaren (verdeeld over 2 scans).
- $T_2 \rightarrow$ 1 maand na aanvang van de restauratieve behandeling.
- $T_3 \rightarrow$ 1 jaar na aanvang van de restauratieve behandeling.

Door middel van 3D matching en substractie zijn deze intra-orale 3D scans geanalyseerd. Er is gebruik gemaakt van Geomagic Qualify 2013 software (3D systems).

Methode I: Vergelijking ontwerp-scan met resultaat-scan

De 8 beschikbare ontwerp scans (vervaardigd op de T_1 -scan) zijn vergeleken met de resultaat scans (T_2 -scan). Per patiënt is zowel de ontwerp- als de resultaat scan in Geomagic Qualify geïmporteerd. Op die manier zijn ontworpen beetverhogingen vergeleken met het uiteindelijke intra-orale resultaat.

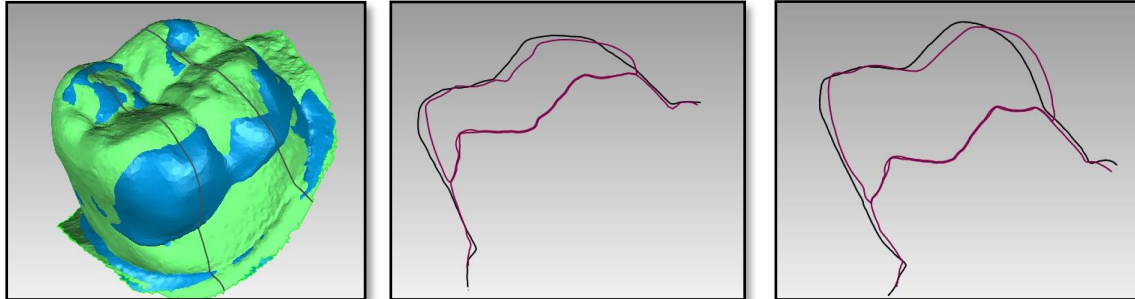
Na importeren van zowel de ontwerp scan als de resultaat scan zijn alle posterieure elementen, de elementen waarvoor een table-top 3D is ontworpen, solitair gedupliceerd middels de *New Object From Selection* functie. Per element zijn de niet gerestaureerde vlakken, het buccale vlak en het linguale/palatinale vlak, geselecteerd door gebruik te maken van de functie *Select Visible* in combinatie met de *Lasso Selection Tool* (zie figuur 4a).



Figuur 4a : Vóór selecteren niet gerestaureerde gebieden (links) en ná (rechts) – Screenshots Geomagic Qualify 2013.

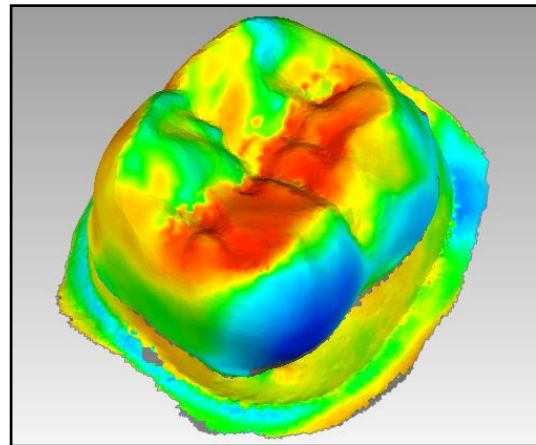
Vervolgens is ieder posterieur element uit de resultaat scan over het overeenkomstige element uit de ontwerp scan gelegd (superponeren). Hiervoor is de *Best Fit* functie gebruikt. Dit houdt in dat de Geomagic software de datapunten van de twee scans op zo'n manier over elkaar legt, dat de gemiddelde afstand tussen deze punten zo klein mogelijk is. Doordat alleen niet-

gerestaureerde oppervlakken geselecteerd zijn, gebruikt de software alleen deze punten voor de *Best Fit*. Op die manier hebben verschillen in ontwerp en resultaat géén invloed op de *Best Fit*. Middels de functie *Selection Through* is vervolgens per element gecontroleerd of de twee elementen juist over elkaar geplaatst zijn door de software (zie figuur 4b).



Figuur 4b : 'Best Fit' (links) en 'Selection Through' controle (midden en rechts) – Screenshots Geomagic Qualify 2013.

Indien na visuele beoordeling de *Best Fit* als voldoende werd beoordeeld, is middels de functie *3D Compare* het verschil tussen ontwerp en resultaat zichtbaar én meetbaar gemaakt (zie figuur 4c). Binnen *3D Compare* zijn vervolgens de dieptemetingen uitgevoerd. De *Max. Critical* is handmatig verlaagd zodat er per knobbel(vlak) één punt ontstond waar het hoogteverschil tussen het ontwerp en het uiteindelijk resultaat in de mond het grootste is. Per knobbel is deze waarde genoteerd.



Figuur 4c : '3D Compare' t.b.v. vergelijking ontwerp en resultaat – Screenshot Geomagic Qualify 2013

Gezien de mogelijkheid dat het eindresultaat zowel groter als kleiner is dan het ontwerp, zijn er zowel negatieve als positieve meetwaarden. Een positieve meetwaarde (blauwe kleur op de meetschaal) houdt in dat het ontwerp groter/hoger is dan het uiteindelijke resultaat in de mond. Een negatieve meetwaarde (rode kleur op de meetschaal) houdt in dat juist het resultaat groter/hoger is dan het digitaal vervaardigde ontwerp. Een groene kleur houdt in dat er geen verschil is tussen ontwerp en resultaat.

Dieptemeting is op basis van visuele beoordeling gecontroleerd op juistheid, hiertoe zijn een aantal regels gehanteerd:

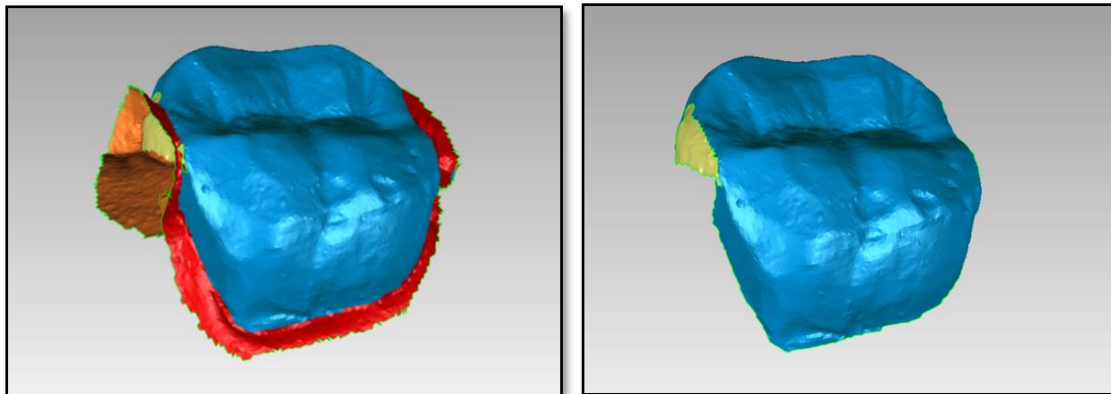
- Op niet behandelde/gerestaureerde oppervlakken (in de regel de cervicale delen van het buccale en palatinale/linguale vlak) dient een groene kleur waargenomen te worden, dit houdt in dat er geen verschil is tussen ontwerp en resultaat.
- Direct onder de restauratie (cervicaal van de table-top) dient een blauwe strook zichtbaar te zijn. Deze blauwe strook maakt de cementlaag zichtbaar, welke de overgang tussen table-top en element opvult waardoor er geen rand ontstaat waar plaque kan ophopen. Deze blauwe strook dient altijd cervicaal van de table-top aanwezig te zijn. Dit in verband met de bewust door de tandtechnieker ontworpen overcontour buccaal en palatinaal/linguaal, een marge om te kunnen polijsten zonder onnodig gezond tandweefsel op te offeren (deze overcontourering is goed waarneembaar op de premolaar in bovenstaand figuur 4a).

Gezien de buccale en palatinale/linguale vlakken gepolijst worden, zijn dit geen betrouwbare oppervlakken om verschil tussen ontwerp en resultaat te meten. Er is gekozen om per (pre)molaar alleen te meten *tussen* de knobbeltoppen in. Gezien er binnen één knobbelhelling in veel gevallen zowel een groter/hoger als een kleiner/lager ontwerp wordt waargenomen, is onderscheid gemaakt op basis van het grootste hoogteverschil. Voor iedere (pre)molaar is per knobbelhelling (te weten 2 voor een premolaar, 4 voor een molaar) louter één waarde genoteerd; de grootste hoogteafwijking. Indien het resultaat groter bleek dan het 3D ontwerp, is een positieve meetwaarde (positief getal) genoteerd. Indien het resultaat kleiner bleek dan oorspronkelijk 3D ontwerp, is een negatieve meetwaarde genoteerd (negatief getal).

Methode II: Meting van slijtage na één jaar (dieptemeting)

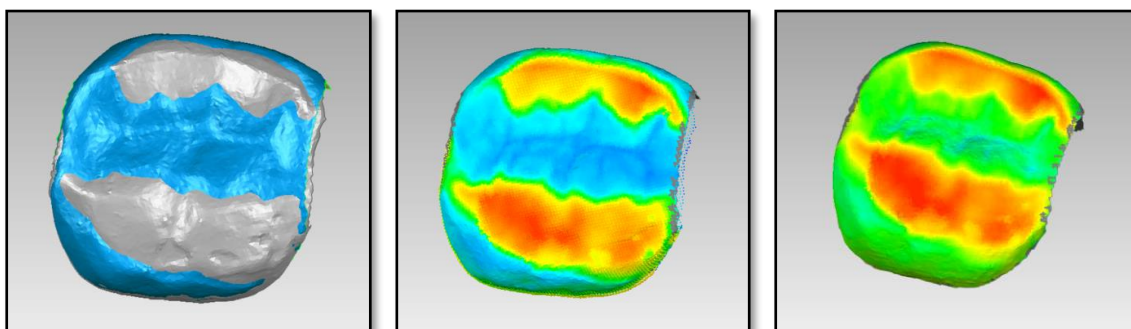
De 15 beschikbare T₂-scans zijn vergeleken met de T₃-scans. Op die manier is de situatie direct na beetverhoging (1 maand na behandeling) vergeleken met de situatie 1 jaar na beetverhoging. Op die manier is slijtage visueel en meetbaar gemaakt.

Binnen methode II zijn de T₂-scan en T₃-scan geïmporteerd in Geomagic Qualify. Ook hier zijn alle posterieure gebitselementen, de gebitselementen welke gerestaureerd zijn met indirect LAVA Ultimate composiet, solitair gedupliceerd middels de *New Object From Selection* functie. In tegenstelling tot methode I is bij iedere (pre)molaar de weke delen (gingiva) en de randen van eventueel mee gedupliceerde buurelementen verwijderd (zie figuur 4d). Op die manier blijft louter de tandkroon over.



Figuur 4d : Selectie van gingiva en randen van buurelementen (links) en het resultaat na verwijdering (rechts) – Screenshots Geomagic Qualify 2013. Bron: Afkomstig uit gezamenlijk opgesteld protocol door Manders, Muijen en Van der Kruijs.

Ook binnen methode II zijn middels de *Best Fit* functie overeenkomstige gebitselementen uit de T_2 -scan en T_3 -scan over elkaar gelegd. Zoals beschreven in de achtergrond, legt de *Best Fit* functie de beide scans over elkaar (superponeren). Om het hoogteverlies, ontstaan als gevolg van slijtage, te weergeven en op die manier een betrouwbare meting uit te kunnen voeren, dient *Best Fit* enkel plaats te vinden op basis van tandoppervlak waar geen weefselverlies heeft plaatsgevonden. Daartoe is de functie *3D Compare* gebruikt, om visueel zichtbaar te maken waar de slijtfacetten zich bevinden. Deze slijtfacetten zijn vervolgens uit de selectie gehaald, door op beide elementen tegelijk de slijtfacetten te deselecteren middels functie *Selection Through* in combinatie met de *Lasso Selection Tool*. Hierna is nogmaals de functie *Best Fit* gebruikt om de gebitselementen op de juiste wijze over elkaar te plaatsen, dus zonder invloed van slijtagefacetten. De Geomagic software gebruikt immers alleen geselecteerde delen in het proces tijdens de *Best Fit* functie. Middels de functie *3D Compare* is vervolgens de slijtage tussen de T_2 -scan en T_3 -scan zichtbaar en meetbaar gemaakt. Zie figuur 4e.



Figuur 4e : Resultaat na 'Best Fit' (links), resultaat na '3D Compare' (midden) en resultaat na '3D compare' op basis van niet-gesleten tandoppervlakken (rechts) – Screenshots Geomagic Qualify 2013.

Bron: Afkomstig uit gezamenlijk opgesteld protocol door Manders, Muijen en Van der Kruijs.

Dieptemeting is uitgevoerd door de *Max. Critical* handmatig te verlagen. Er ontstaat op die manier per knobbelhelling één punt waar het hoogteverschil tussen de T₂-scan en T₃-scan het grootste is. Deze waarde is per knobbelhelling als positief getal genoteerd.

Ook binnen methode II is de dieptemeting is op basis van visuele beoordeling gecontroleerd op juistheid. Hiertoe zijn een aantal regels gehanteerd:

- Tandoppervlakken die naar verwachting niet aan slijtage onderhevig zijn geweest (geen visueel verschil tussen de T₂-scan en T₃-scan), dienen als groen weergegeven te zijn. Een groene kleur houdt in dat er geen sprake is van slijtage.
- De tandoppervlakken waar logischerwijs wél slijtage te verwachten is, zoals op knobbelhellingen van dragende knobbels, dienen te zijn weergegeven als geel/rood.
- Aanwezigheid van blauwe vlakken zijn indicatie voor een slechte *Best Fit*, gezien toename tussen de T₂-scan en T₃-scan onwaarschijnlijk is (m.u.v. herstellende restauraties na fractureren e.d.).

Reproduceerbaarheid

Na afronding van de metingen in Geomagic Qualify 2013 is de reproduceerbaarheid bepaald. Bij de vergelijking van het 3D ontwerp met het resultaat is voor 1 willekeurig gekozen patiënt de intra-beoordelaars reproduceerbaarheid bepaald. Hiertoe zijn alle metingen bij deze patiënt herhaald. Bij slijtage-metingen is voor 2 willekeurig gekozen patiënten de intra-beoordelaars reproduceerbaarheid bepaald door de metingen te herhalen. Tevens is hier ook de inter-beoordelaars reproduceerbaarheid bepaald, een masterstudent tandheelkunde heeft de metingen eveneens uitgevoerd. Statistische analyse van de gereproduceerde metingen is uitgevoerd middels gepaarde t-test. Het gemiddelde verschil tussen de metingen (inclusief standaard deviatie, 95% betrouwbaarheidsinterval en t-waarde) met bijhorende p-waardes is berekend om te bepalen of het verschil tussen de metingen significant van elkaar afwijkt.

Statistische analyse

Voor het uitvoeren van de statistische analyses is gebruik gemaakt van IBM SPSS 25 (Statistical Package for Social Science). Bij alle analyses is een significantie aangehouden van $p < 0,05$.

Analyse meetwaarden - 3D ontwerp met resultaat

Om uitspraak te kunnen doen over de overeenkomst tussen het 3D ontwerp van de beetverhoging en het uiteindelijke resultaat bij de patiënt in de mond, zijn de gemiddeldes van de hoogteverschillen berekend. Per molaar is het gemiddelde van de 4 meetwaarden berekend en per premolaar het gemiddelde van de 2 meetwaarden. Het maximale hoogteverschil per knobbel(vlak) kon echter zowel een positieve meetwaarde opleveren (het resultaat in de mond is groter dan 3D ontwerp) als een negatieve meetwaarde (het resultaat in de mond is kleiner dan 3D ontwerp). De verkregen gemiddeldes en onderlinge verschillen zijn om die reden zowel uitgedrukt in de daadwerkelijke waarden (met + en -), als de absolute waarden (waarbij de richting van de afwijking niet ter zake doet). Vervolgens zijn de hoogteverschillen geanalyseerd op patiëntniveau, kaakniveau en elementniveau.

- **Vergelijking meetgegevens:** De gemiddelde hoogteafwijking over alle metingen is berekend. Middels one-sample t-test is gekeken of deze gemiddelde hoogteafwijking significant van 0 afwijkt. Tevens is de gemiddelde 'Best Fit Error' berekend over alle metingen. De 'Best Fit Error' is de mate van afwijking, berekend door de Geomagic software, die na superponeren (middels de *Best Fit* functie) aanwezig is.
- **Vergelijking op elementniveau:** Per type posterieur gebitselement (te weten P1, P2, M1, M2) is het gemiddelde hoogteverschil berekend. Middels one-way ANOVA (F-test) zijn de gemiddelde hoogteverschillen per type element vervolgens vergeleken. Deze test vergelijkt net als de t-test de gemiddelden, alleen maakt het mogelijk om de gemiddeldes van meer dan twee groepen met elkaar te vergelijken.
- **Vergelijking op kaakniveau:** Zowel voor de posterieure gebitselementen in de onderkaak (mandibula) als de bovenkaak (maxilla) is het gemiddelde hoogteverlies berekend. Middels onafhankelijke t-test zijn de gemiddeldes tussen de boven- en onderkaak vergeleken.
- **Vergelijking op patiëntniveau:** Het gemiddelde hoogteverschil tussen de patiënten is berekend. Wederom is one-way ANOVA gebruikt om te beoordelen of patiënten onderling significant van elkaar verschillen.

Analyse meetwaarden - Slijtage

Om de jaarlijkse slijtage van het LAVA Ultimate restauratiemateriaal te kwantificeren, is wederom per molaar het gemiddelde van de 4 meetwaarden berekend en per premolaar het gemiddelde van de 2 meetwaarden. Op die manier is ook het gemiddelde hoogteverschil (slijtage) per kaak en per patiënt berekend. Vervolgens is de slijtage geanalyseerd op patiëntniveau, kaakniveau en elementniveau. Gezien er tussen de scan direct na restaureren (het vervaardigen van de beetverhoging) en de scan na 1 jaar nooit precies 365 dagen (1 jaar) zit, is vooraf gecorrigeerd voor het aantal dagen. Daartoe is de slijtage gedeeld door het aantal dagen tussen de scans en daarna vermenigvuldigd met 365.

- **Vergelijking meetgegevens:** De gemiddelde slijtage over alle metingen is berekend. Tevens is ook voor de slijtage metingen de gemiddelde 'Best Fit Error' berekend.
- **Vergelijking op elementniveau:** Per type posterieur gebitselement (te weten P1, P2, M1, M2) is de gemiddelde slijtage berekend. Tevens is per gebitselement groep (te weten premolaar en molaar) de gemiddelde slijtage berekend. Omdat er steeds twee metingen zijn binnen één patiënt, voor en na 1 jaar, zijn middels gepaarde t-testen de verschillen in slijtage geanalyseerd.
- **Vergelijking op knobbelniveau:** De gemiddelde slijtage voor de dragende knobbels en niet-dragende knobbels is berekend. Wederom is middels gepaarde t-test beoordeeld of er een verschil zit in de slijtage. Zie tabel 4b.

Tabel 4b : Overzicht dragende- en niet-dragende knobbels

	Dragend	Niet-dragend
Bovenkaak	Premolaar Palatinaal	Buccaal
	Molaar Mesio-palatinaal / Disto-palatinaal	Mesio-buccaal / Disto-buccaal
Onderkaak	Premolaar Buccaal	Linguaal
	Molaar Mesio-buccaal / Disto-buccaal	Mesio-linguaal / Disto-linguaal

- **Vergelijking op kaakniveau:** Zowel voor de posterieure gebitselementen in de onderkaak (mandibula) als de bovenkaak (maxilla) is de gemiddelde slijtage berekend. Wederom is middels gepaarde t-test de gemiddelde slijtage geanalyseerd.
- **Vergelijking op patiëntniveau:** De gemiddelde slijtage tussen de patiënten is berekend. One-way ANOVA is gebruikt, omdat er meerdere patiënten met elkaar vergeleken zijn, om te beoordelen of patiënten onderling van elkaar verschillen.

- **Resultaten :**

Meting ontwerp - resultaat

Bij 8 patiënten is het 3D ontwerp van de beetverhoging vergeleken met het uiteindelijke resultaat in de mond. Van de 384 mogelijke meetwaarden, bleek bij 58 meetwaarden (15,1%) meting niet mogelijk wegens een slechte *Best Fit* en 24 meetwaarden (6,3%) vielen af wegens ontbrekende elementen. Dit geeft N = 302.

Vergelijking meetgegevens ontwerp - resultaat

Het gemiddelde hoogteverschil is op basis van alle beschikbare meetwaarden berekend. Er is sprake van een significant verschil tussen ontwerp en uiteindelijke resultaat ($p < 0,001$), de gevonden verschillen zijn niet op toeval gebaseerd. Zie tabel 5a.

Tabel 5a : Uitkomsten one-sample t-test: Gemiddelde hoogte afwijking 3D ontwerp - resultaat

	N	Gemiddelde (μm)	SD (μm)	t	p-waarde
Hoogteverschil ontwerp - resultaat	302	238,9	610,3	8,80	< .001
Absoluut hoogteverschil ontwerp - resultaat	302	599,9	262,1	39,77	< .001

De hoogteverschillen zijn op twee manieren geanalyseerd. Het *absolute* hoogteverschil maakt geen onderscheid in de richting van het hoogteverschil, wat resulteert in een overschatting van het effect. Om die reden is bij deze en de hierop volgende analyses niet gekeken naar het *absolute* hoogteverschil, maar naar het *daadwerkelijke* hoogteverschil (genoteerd als 'hoogteverschil'), waarbij de richting (resultaat groter of kleiner dan het ontwerp) wél van invloed is. Dit laat zien dat het resultaat gemiddeld $238,9 \pm 610,3 \mu\text{m}$ hoger is dan het oorspronkelijke 3D ontwerp.

Bij ieder gebitselement waarop de *Best Fit* functie toegepast is t.b.v. het superponeren geeft de Geomagic Qualify 2013 software een 'Best Fit Error'. Dit is de mate van afwijking, berekend door de software zelf, die na superponeren aanwezig is. De gemiddelde 'Best Fit Error' voor alle metingen samen is berekend, deze bedraagt $13,6 \pm 6,8 \mu\text{m}$.

Meting op elementniveau

Er zijn geen significante hoogteverschillen aanwezig tussen de typen gebitselementen, te weten de 1^e promolaar (P1), 2^e premolaar (P2), 1^e molaar (M1) en 2^e molaar (M2). Echter, het gemiddelde hoogteverschil tussen ontwerp en resultaat bij de 2^e molaar ($352,2 \pm 555,7 \mu\text{m}$) is aanzienlijk groter, dit benadert significantie ($p = 0,074$). Zie tabel 5b.

Tabel 5b : Uitkomsten one-way ANOVA: P1 vs. P2 vs. M1 vs. M2.

	F	p-waarde	M (μm) P1 (\pm SD)	M (μm) P2 (\pm SD)	M (μm) M1 (\pm SD)	M (μm) M2 (\pm SD)
Gemiddelde hoogteverschil	2,335	0,074	148,2 (639,0)	161,6 (552,2)	172,2 (680,3)	352,2 (555,7)

Meting op kaakniveau

Het verschil tussen de gemiddelden van de bovenkaak en onderkaak ($25,2 \pm 70,7 \mu\text{m}$) is niet significant ($p = 0,721$). Zie tabel 5c.

Tabel 5c : Uitkomsten onafhankelijke t-test: Onderkaak vs. bovenkaak.

	N	Gemiddelde (M) (μm)	SD	Vershil (μm)	t	p-waarde
Bovenkaak	136	225,0	610,3			
Onderkaak	136	250,3	611,8	25,3	0,357	0,721

Meting op patiëntniveau

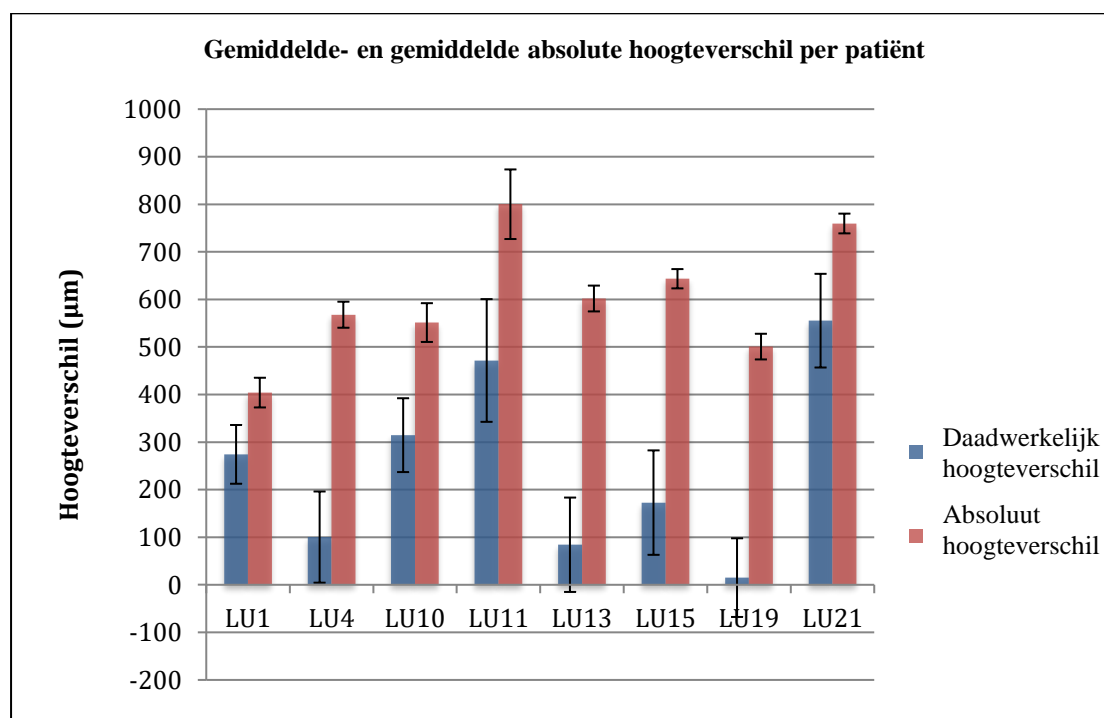
De 8 gemeten patiënten verschillen onderling significant van elkaar ($p < 0,001$). Het kleinste gemiddelde verschil bedraagt $15,1 \pm 535,9 \mu\text{m}$ (patiënt LU19), het grootste gemiddelde verschil bedraagt $553,3 \pm 539,3 \mu\text{m}$ (patiënt LU21). Daarbij zijn de standaard deviaties erg groot, zie tabel 5d. Ook wanneer gekeken wordt naar de absolute hoogteverschillen is zichtbaar dat de onderlinge verschillen groot zijn. Zie tabel 5e en grafiek 5a.

Tabel 5d : Gemiddelde hoogteverschillen per patiënt.

	N	Gemiddelde (M) (μm)	SD	95% betrouwbaarheid interval (BI)
LU1	32	274,2	349,5	[148,2 . 400,2]
LU10	48	314,6	537,6	[158,1 . 470,7]
LU11	38	471,6	795,2	[210,2 . 733,0]
LU13	40	84,2	627,5	[-116,5 . 284,9]
LU15	34	172,8	640,2	[-050,6 . 96,2]
LU19	42	15,1	535,9	[-151,9 . 182,1]
LU21	30	555,3	539,3	[354,0 . 756,7]
LU4	38	100,3	591,0	[-93,9 . 294,6]

Tabel 5e : Gemiddelde absolute hoogteverschillen per patiënt.

	N	Absolute gem. (M) (μm)	SD	95% betrouwbaarheid interval (BI)
LU1	32	404,1	176,6	[340,4 . 467,8]
LU10	48	551,3	282,5	[469,2 . 633,3]
LU11	38	800,1	451,0	[651,8 . 948,2]
LU13	40	601,9	172,0	[547,0 . 656,8]
LU15	34	643,5	118,3	[602,3 . 684,8]
LU19	42	500,8	175,0	[446,3 . 555,2]
LU21	30	759,6	113,7	[717,2 . 802,1]
LU4	38	567,8	168,7	[512,4 . 623,3]



Grafiek 5a : Grafiek met de gemiddelde slijtage per type element, de foutbalken geven de standaardfout aan.

Slijtage metingen

Bij 15 patiënten is de slijtage (hoogteverlies) gemeten op de elementen in de zijdelingse delen, te weten molaren en premolaren. Er waren 720 meetwaarden mogelijk. 6 molaren en 4 premolaren waren afwezig waardoor 32 meetwaarden (4,4%) afvielen wegens ontbrekende elementen. Op 7 meetpunten (1,0%) was meting niet mogelijk wegens uitgevoerde interventie (polijsten, reparatie, opnieuw cementeren e.d.) of ontbrekende gedeelten in de scan(s). Dit levert uiteindelijk N = 681 op voor de slijtage metingen.

Vergelijking meetgegevens slijtage

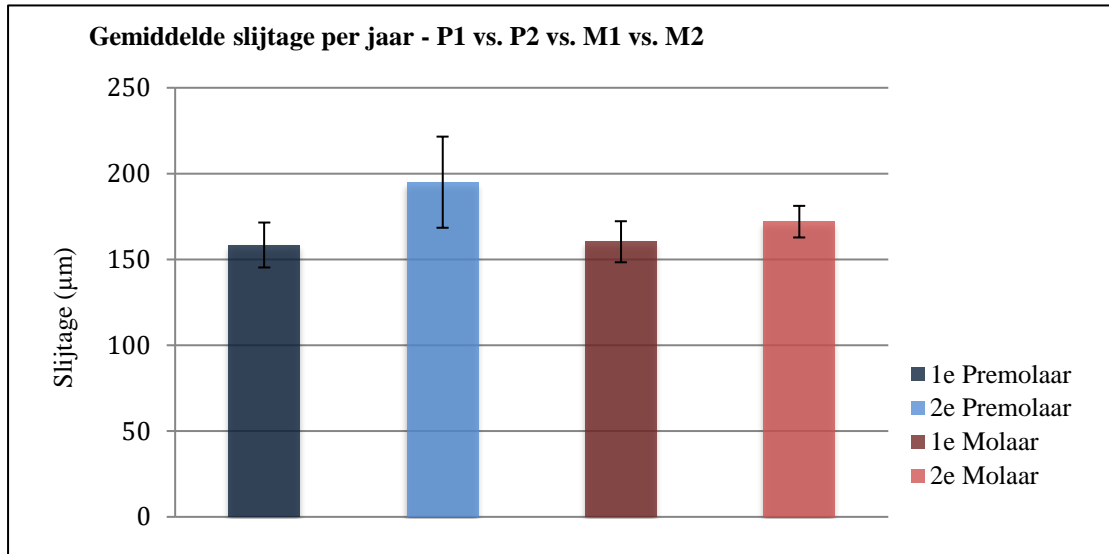
De gemiddelde jaarlijkse slijtage van LAVA Ultimate composiet over alle 681 meetwaarden bedraagt $169,9 \pm 109,7 \mu\text{m}$ per jaar. Net als bij de metingen tussen ontwerp en resultaat, is bij slijtage metingen ook een 'Best Fit Error' gegeven door software. Deze 'Best Fit Error' bedraagt gemiddeld $11,1 \pm 10,6 \mu\text{m}$.

Slijtagemeting op elementniveau

Onder de gemeten patiënten slijten 2° premolaren ($195,0 \pm 102,8 \mu\text{m}$) jaarlijks gemiddeld meer dan de 1° premolaren ($158,4 \pm 507,0 \mu\text{m}$), 1° molaren ($160,3 \pm 463,0 \mu\text{m}$) en 2° molaren ($172,0 \pm 356,0 \mu\text{m}$). De verschillen zijn niet statistisch significant, wel lijkt er een mogelijke tendens aanwezig: De 2° premolaar vertoont meer slijtage dan de 1° premolaar ($p = 0,097$) en de 1° molaar ($p = 0,104$). Zie tabel 5f en grafiek 5b.

Tabel 5f: Uitkomsten gepaarde t-testen slijtage verschil per element type.

	Verskil (μm)	SD	95% BI	t	p-waarde
Slijtage P1-P2	36,6	79,6	[-7,5 . 80,7]	1,781	,097
Slijtage P1-M1	2,0	33,7	[-16,71 . 20,7]	0,227	,824
Slijtage P1-M2	13,6	61,2	[-20,3 . 47,5]	0,861	,404
Slijtage P2-M1	34,6	77,1	[-8,1 . 77,3]	1,738	,104
Slijtage P2-M2	23,0	99,2	[-32,0 . 77,9]	0,897	,385
Slijtage M1-M2	11,6	54,2	[-18,4 . 41,6]	0,832	,419



Grafiek 5b : Grafiek met de gemiddelde slijtage per type element, de foutbalken geven de standaardfout aan. Er zijn geen significante verschillen tussen de groepen ($p > 0,05$).

Het verschil in slijtage tussen elementgroepen, premolaren ($176,0 \pm 66,1 \mu\text{m}$) en molaren ($165,9 \pm 31,8 \mu\text{m}$), is niet significant ($p = 0,436$). Zie tabel 5g.

Tabel 5g : Uitkomsten gepaarde t-testen slijtage verschil per element groep.

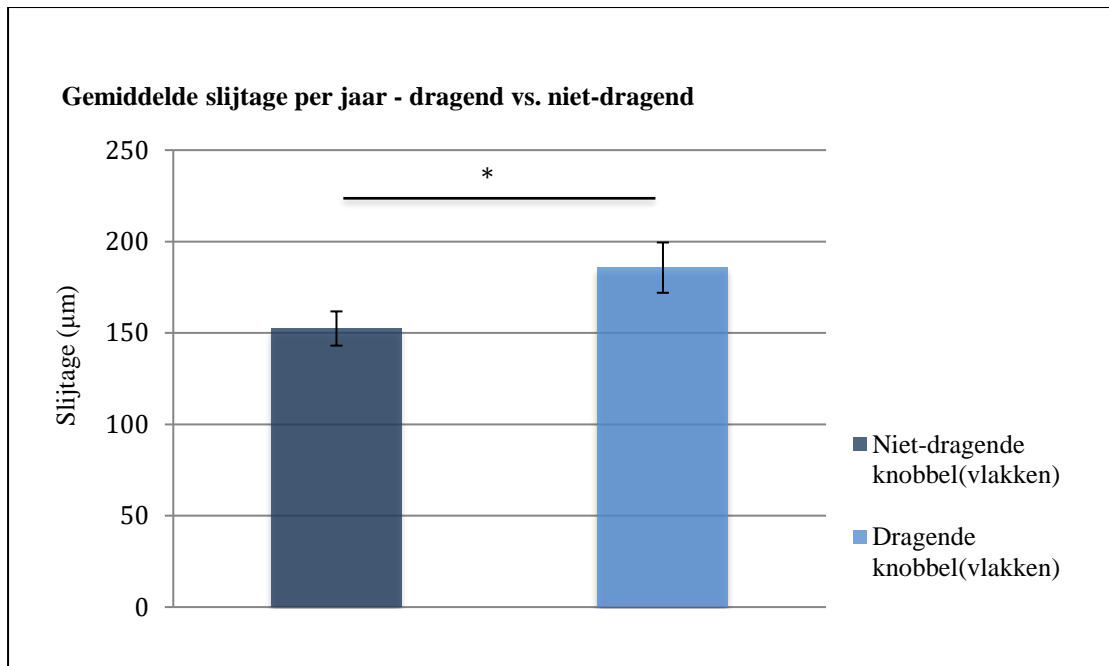
	Verskil (μm)	SD	95% BI	t	p-waarde
Slijtage premolaar / molaar	10,1	48,8	[-16,9 . 37,2]	0,802	0,436

Slijtagemeting op knobbelniveau

Dragende knobbels ($185,7 \pm 53,3 \mu\text{m}$) slijten per jaar significant meer dan niet-dragende knobbels ($152,4 \pm 36,3 \mu\text{m}$), ($p = 0,015$). Zie tabel 5h en grafiek 5c.

Tabel 5h : Uitkomsten gepaarde t-test slijtage verschil dragende- en niet-dragende knobbels.

	Verskil (μm)	SD	95% BI	t	p-waarde
Slijtage dragend / niet-dragend	33,3	46,7	[7,5 . 59,2]	2,764	0,015



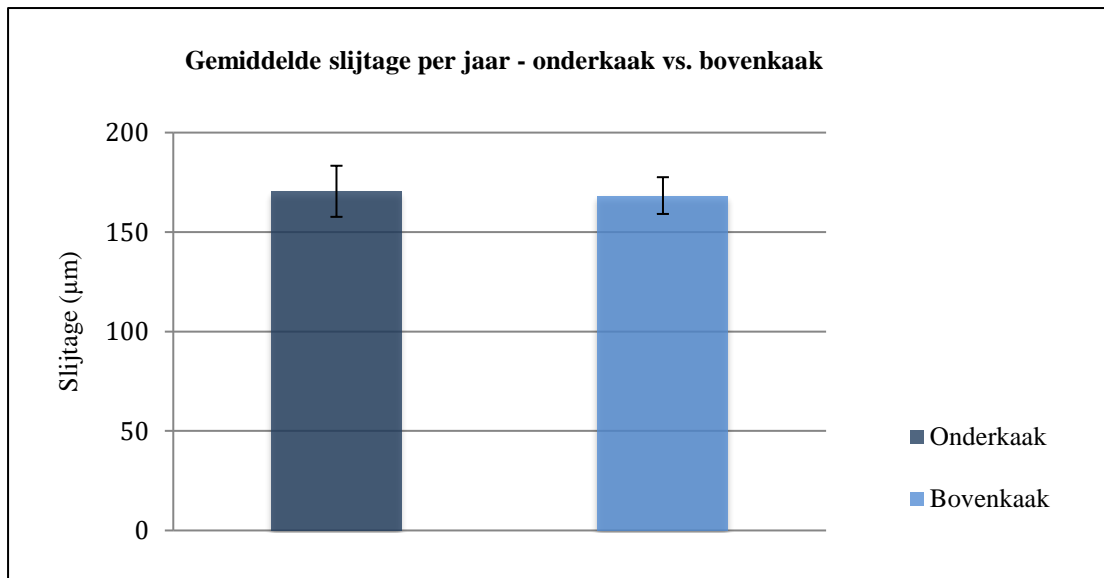
Grafiek 5c : Grafiek met de gemiddelde slijtage voor dragende- en niet-dragende knobbels, de foutbalken geven de standaardfout aan. De asteriks (*) duidt op een significant verschil in slijtage.

Slijtagemeting op kaakniveau

Bij de posterieure gebitselementen in de onderkaak ($170,5 \pm 49,8 \mu\text{m}$) is meer jaarlijkse slijtage gemeten dan in de bovenkaak ($168,3 \pm 35,8 \mu\text{m}$), dit verschil is echter niet statistisch significant ($p = 0,821$). Zie tabel 5i en grafiek 5d.

Tabel 5i : Uitkomsten gepaarde t-test slijtage verschil boven- en onderkaak.

	N	Gemiddelde (M) slijtage (µm)	SD	Vershil (µm)	t	p-waarde
Bovenkaak	333	168,3	35,8			
Onderkaak	348	170,5	49,8	2,2	0,231	0,821



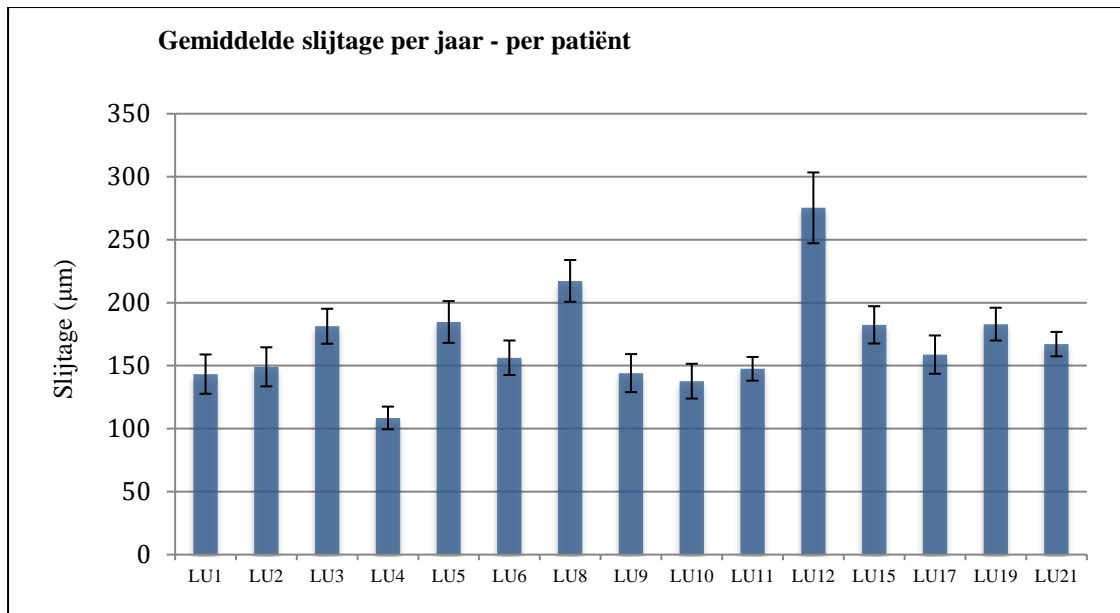
Grafiek 5d : Grafiek met de gemiddelde slijtage per kaak, de foutbalken geven de standaardfout aan. Er is geen significant verschil tussen de groepen ($p > 0,05$).

Meting op patiëntniveau

De 15 patiënten verschillen onderling significant van elkaar ($p < 0,001$). De minste slijtage per jaar is gevonden bij patiënt LU4 ($108,5 \pm 56,9 \mu\text{m}$), de grootste slijtage werd gevonden bij patiënt LU12 ($275,3 \pm 190,9 \mu\text{m}$). Zie tabel 5j en grafiek 5e.

Tabel 5j : Gemiddelde slijtage per patiënt per jaar.

	Gemiddelde (M) (μm)	SD	95% betrouwbaarheid interval (BI)
LU1	143,3	98,7	[111,8 . 174,9]
LU2	149,1	102,5	[117,9 . 180,2]
LU3	181,3	89,9	[153,3 . 209,3]
LU4	108,5	56,9	[90,3 . 126,7]
LU5	184,7	112,1	[151,4 . 218,0]
LU6	156,3	98,7	[128,6 . 183,9]
LU8	217,3	95,9	[183,9 . 250,7]
LU9	144,1	62,7	[113,7 . 174,6]
LU10	137,7	95,8	[109,6 . 165,5]
LU11	147,5	62,6	[128,8 . 166,5]
LU12	275,3	190,9	[218,6 . 332,0]
LU15	182,4	102,7	[152,6 . 212,2]
LU17	158,8	105,4	[128,3 . 189,4]
LU19	183,0	90,1	[156,8 . 209,1]
LU21	167,1	64,2	[147,6 . 186,6]



Grafiek 5e : Grafiek met de gemiddelde slijtage per patiënt, de foutbalken geven de standaardfout aan.

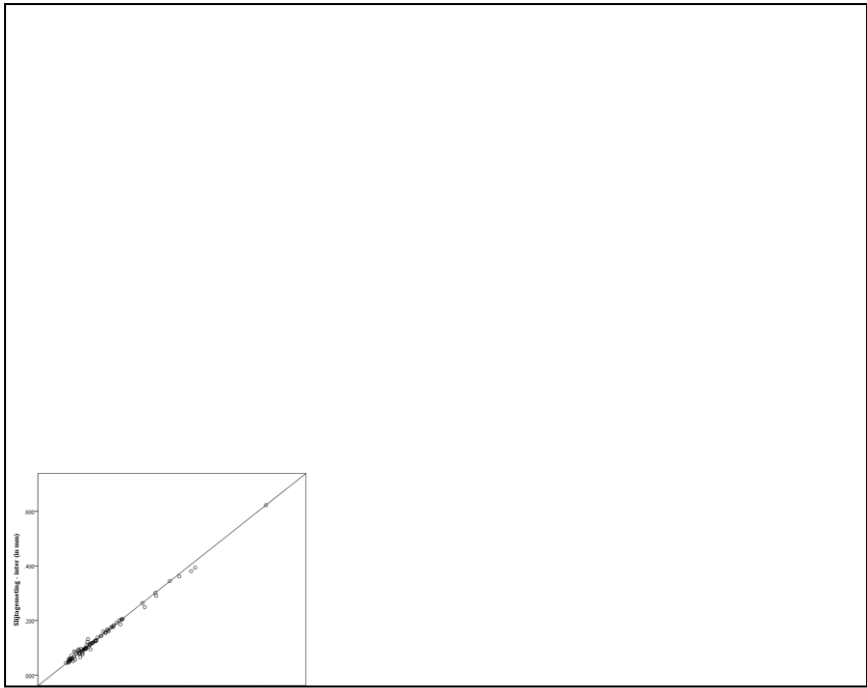
Reproduceerbaarheid

Reproduceerbaarheid slijtagemetingen

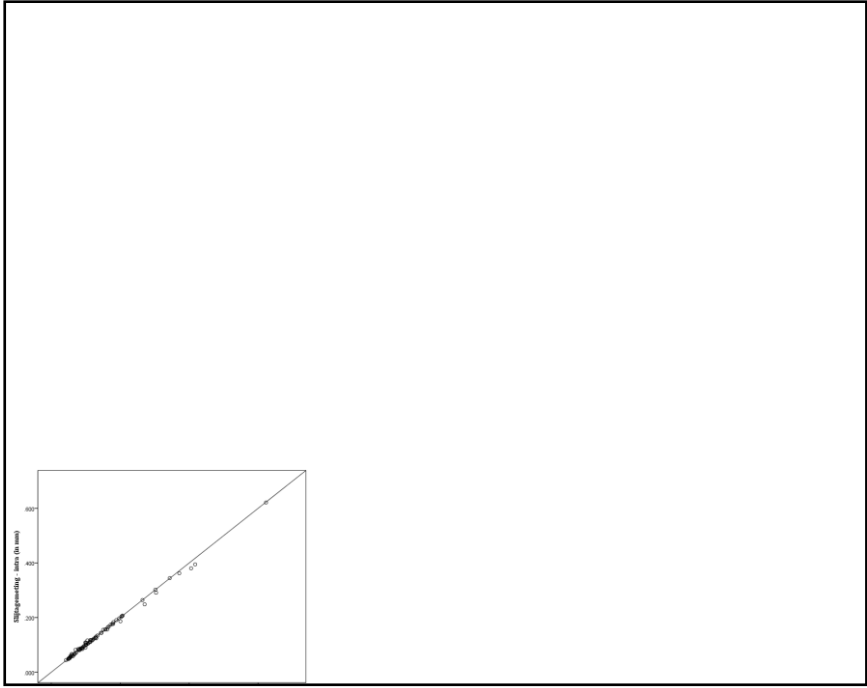
Bij twee patiënten zijn alle metingen herhaald (N=84), zowel door de intra-beoordelaar als een inter-beoordelaar. Uit analyse blijkt dat zowel de inter-beoordelaars- als de intra-beoordelaars reproduceerbaarheid zeer hoog zijn. Voor beide metingen geldt dat het verschil in metingen niet significant is (bij $p < 0,05$), zie tabel 5k. Tevens laat deze tabel het gemiddelde verschil zien tussen de metingen, de standaard deviatie (SD), het 95% betrouwbaarheidsinterval en de t-score. Middels twee scatter plots zijn de verschillen visueel zichtbaar gemaakt, zie grafiek 5f en 5g.

Tabel 5k : Uitkomsten gepaarde t-test ten behoeve van de inter- en intra-beoordelaars reproduceerbaarheid.

	N	Vershil (µm)	SD	95% BI	t	p-waarde
Slijtage (intra-beoordelaars)	84	0,6	8,6	[-1,3 . 2,5]	0,652	0,516
Slijtage (inter-beoordelaars)	84	0,9	6,0	[-0,4 . 2,2]	1,362	0,177



Grafiek 5f : Scatter plot van de inter-beoordelaars metingen.



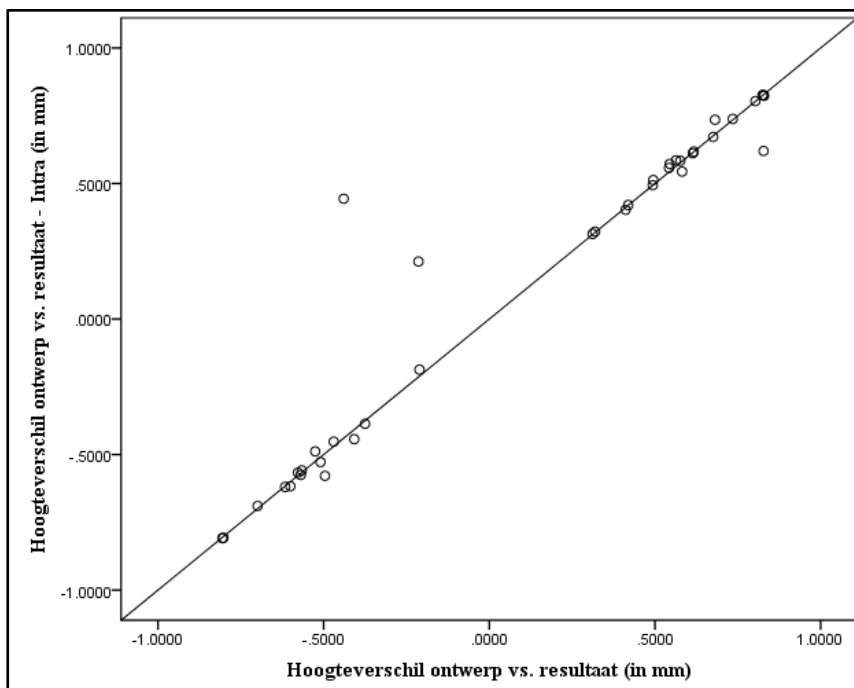
Grafiek 5g : Scatter plot van de intra-beoordelaars metingen.

Reproduceerbaarheid metingen ontwerp-resultaat

Bij één patiënten zijn de metingen herhaald (N=38) door de intra-beoordelaar. Ook uit deze analyse blijkt dat de intra-beoordelaars reproduceerbaarheid hoog is. Zowel het daadwerkelijke als het absolute hoogteverschil is beoordeeld. Voor beide metingen geldt dat het verschil in metingen niet significant is (bij $p < 0,05$), zie tabel 5l. De tabel laat tevens het gemiddelde verschil zien tussen de metingen, de standaard deviatie (SD), het 95% betrouwbaarheidsinterval en de t-score. Middels twee scatter plots zijn de verschillen wederom visueel zichtbaar gemaakt, zie grafiek 5h en 5i.

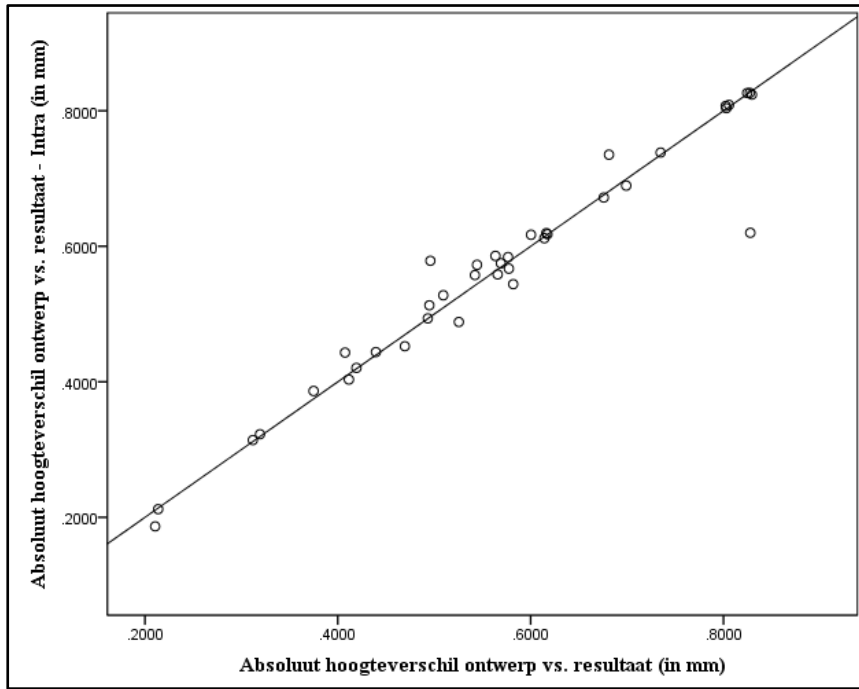
Tabel 5l : Uitkomsten gepaarde t-test ten behoeve van de inter-beoordelaars reproduceerbaarheid, zowel het daadwerkelijke als absolute (gemiddelde) verschil is weergegeven.

	N	Vershil (μm)	SD	95% BI	t	p-waarde
Hoogteverschil (inter-beoordelaars)	38	29,6	163,5	[-24,1 . 83,4]	1,116	0,271
Absoluut hoogteverschil (intra-beoordelaars)	38	0,8	40,6	[-12,6 . 14,1]	0,118	0,907



Grafiek 5h : Scatter plot van de intra-beoordelaars meting.

De uitschieters zijn een gevolg van verschil tussen de eerste meting en de meting t.b.v. de intra-beoordelaars reproduceerbaarheid. Bij de eerste meting betreft het een groter resultaat (positieve meetwaarde), bij de intra-meting betreft het juist een kleiner resultaat (negatieve meetwaarde) en / of andersom.



Grafiek 5i : Scatter plot van de absolute intra-beoordelaars meting.