



HOGESCHOOL  
LIMBURG



VerpakkingsCentrum

**DEPARTEMENT INDUSTRIELE WETENSCHAPPEN EN TECHNOLOGIE**

# **STUDIE VAN DE RELATIE TUSSEN VOCHT EN COMPRESSIE- STERKTE VAN VERSCHILLENDE GOLFKARTONKWALITEITEN**

**Joris CORNELISSEN**

Afstudeerwerk ingediend tot het behalen van het diploma van  
**Industrieel Ingenieur in Verpakking en conditionering**

Promotoren:            dhr. P. De Schepper            (HL)  
                                 dr. R. Peeters                    (HL)

**Academiejaar 2003 - 2004**

## **Inhoudsopgave**

Voorwoord.....	1
Doelstelling.....	2
Abstract.....	3
Lijst met afkortingen .....	4
Stageplaats: het VerpakkingsCentrum .....	5
Deel I: Literatuurstudie.....	6
1 Wat is golfkarton? .....	6
1.1 Houtpulp .....	6
1.2 Het maken van papier .....	8
1.3 Papiersoorten voor golfkartonindustrie .....	10
1.4 Eisen die aan papier voor golfkarton gesteld worden .....	12
1.5 Gramgewichten <sup>6</sup> .....	12
1.6 Hoe wordt golfkarton gemaakt? .....	13
1.7 Types van golfkarton.....	15
2 Invloed van de relatieve vochtigheid op papier.....	17
2.1 Wat is relatieve vochtigheid (RV)? .....	17
2.2 Vochtgehalte van papier .....	17
2.3 Verband tussen de relatieve vochtigheid en het vochtgehalte.....	19
2.4 Vochtigheid van het papier en de temperatuur.....	20
2.5 Compressieweerstand van een doos i.f.v. het vochtgehalte van het golfkarton..	21
3 Behandelingen tegen vocht- en waterinvloeden van papier en golfkarton.....	22
3.1 Wet-strength behandeling.....	22
3.2 Waterafstotende behandeling .....	23
3.3 Impregnatie.....	23
3.4 Totale impregnatie.....	25
3.5 Eigenschappen van de in massa geïmpregneerde golfkarton .....	27

Deel II: Onderzoeksgedeelte .....	28
1 De verschillende uitgevoerde testen op golfkarton .....	28
1.1 Edgewise compressive strength test (ECT) van golfkarton.....	28
1.2 Box compression test (BCT) .....	31
1.3 Bepaling van het gramgewicht .....	33
1.4 Het meten van de dikte .....	33
1.5 Andere testen op golfkarton .....	34
2 De onderzochte golfkartonkwaliteiten.....	35
3 Resultaten .....	38
3.1 Uitleg statistische verwerking van de meetresultaten.....	38
3.1.1 Gemiddelde.....	38
3.1.2 Standaard afwijking.....	38
3.1.3 Minimum, maximum en range .....	38
3.1.4 Mediaan .....	38
3.1.5 Percentielen .....	38
3.2 Meetresultaten van de ECT-proeven .....	39
3.2.1 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit A.....	40
3.2.2 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit B.....	42
3.2.3 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit C.....	44
3.2.4 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit D.....	46
3.2.5 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit E (geen plano golfkarton) ....	48
3.2.6 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit F .....	49
3.2.7 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit G.....	51
3.2.8 ECT-metresultaten van golfkartonkwaliteit H.....	53
3.3 Meetresultaten van de BCT-proeven.....	55
3.3.1 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit A .....	55
3.3.2 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit B.....	55
3.3.3 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit C.....	56
3.3.4 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit D .....	56
3.3.5 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit E.....	57
3.3.6 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit F .....	57
3.3.7 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit G .....	58
3.3.8 BCT-metresultaten van golfkartonkwaliteit H .....	58
3.4 Resultaten van de ECT-proeven op de monsters van golfkartonnen dozen.....	59

3.5	Resultaten van de ECT-proeven op plano golfkarton .....	62
3.6	Resultaten van de BCT-proeven.....	65
4	Bespreking van de resultaten.....	68
4.1	Invloed van de relatieve vochtigheid op de verschillende golfkartonkwaliteiten.....	68
4.1.1	Vergelijking van ECT-monsters gesneden uit de golfkartonnen dozen.....	68
4.1.2	Vergelijking van ECT-monsters gesneden uit plano golfkarton .....	69
4.1.3	Vergelijking van BCT-meetresultaten.....	69
4.2	Bespreking van de verschillende geteste golfkartonkwaliteiten onderling .....	70
4.3	Vergelijking van de ECT-meetwaarden met de BCT-meetwaarden m.b.v. McKee 71	
4.4	Vergelijking van de ECT-proeven (uitgevoerd bij 23 °C) met de gevonden literatuurgegevens (uitgevoerd bij 20 °C) .....	73
Deel III: Samenvattend besluit .....		75
Referenties.....		77
BIJLAGEN .....		I
Bijlage A: Technische fiche gebruikte papiersoorten voor aanmaak golfkarton .....		II
Bijlage B: Standaardkwaliteitenlijst van de verschillende golfkarton kwaliteiten.....		II

## **Voorwoord**

Om mijn studie, industrieel ingenieur VerpakkingsTechnologie aan de Hogeschool Limburg te Diepenbeek, te vervolledigen heb ik gekozen om deze thesis te maken aan het VerpakkingsCentrum.

Hiervoor wil ik mijn beide promotoren (Dr. Roos Peeters en Dhr. Philip De Schepper) bedanken voor hun hulp en deskundige uitleg tijdens mijn stageperiode en voor het maken van deze thesis, maar ook de andere medewerkers van het VerpakkingsCentrum wil ik hier niet vergeten te bedanken.

Verder wil ik mijn ouders bedanken omdat ze mij de mogelijkheid hebben gegeven om verder te studeren (van graduaat chemie naar industrieel ingenieur) en hun steun tijdens mijn studies.

Ook mijn vrienden en klasgenoten wil ik langs deze weg niet vergeten te bedanken voor hun steun en hulp tijdens mijn studies.

## **Doelstelling**

Deze eindverhandeling is een studie van de compressiesterkte van verschillende golfkartonkwaliteiten onder invloed van relatieve vochtigheid.

De literatuur heeft weinig of heel moeilijk te vinden informatie voor handen over het onderwerp ‘verlies aan compressiesterkte onder invloed van de relatieve vochtigheid’, het doel van deze eindverhandeling is dan ook om de resultaten hiervan de literatuur wat bij te brengen inzake deze materie.

Er worden testen uitgevoerd op zowel het plano materiaal als op de (lege) afgewerkte doos. De testen zijn de kantstuikwaarde (ECT) en de box-compressietest (BCT) zodat de formule van McKee kan worden toegepast. Met deze formule kunnen de theoretische BCT-waarden aan de praktische BCT-waarden getoetst worden.

De ECT en BCT-testen geven een duidelijk beeld over de sterkte van een golfkartonnen doos. Dit kan belangrijk zijn bij, bijvoorbeeld, stapeling van golfkartonnen dozen op elkaar: hierbij wordt dan de onderste doos het zwaarst belast (moet het meeste gewicht dragen). De sterkte van de dozen is ook afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de omgevende atmosfeer, die niet overal constant is.

De testen worden uitgevoerd voor verschillende kwaliteiten van golfkarton om ook de invloed van de recyclagegraad mee te nemen in het onderzoek.

Er wordt ook gezocht naar een numerieke waarde (uitgedrukt in %) die de verzwakking van het golfkarton bij verschillende relatieve vochtigheden zal weergeven.

## **Abstract**

De stapeling van kartonnen dozen, waarneembaar bij gepalletiseerd transport, vereist een compressiesterkte van het materiaal en van de doos opdat inzakking op de pallet door een te hoge bovenbelasting voorkomen wordt. Deze compressiesterkte kan sterk beïnvloed worden door de relatieve vocht van de omgevende atmosfeer, die kan variëren i.f.v. tijd en plaats.

Deze eindverhandeling stelt tot doel de effecten te bestuderen van relatieve vocht op de compressiesterkte van verschillende golfkartonkwaliteiten, zowel van het (plano) materiaal als van de doos. De verschillende golfkartonkwaliteiten werden zo gekozen om een zo breed mogelijk overzicht van bestaande golfkarton types mee in rekening te brengen. Ook zal er naar de sterkte verschillen gekeken worden tussen Kraft en Testliner aan de recto zijde van het golfkarton. Hiervoor is het noodzakelijk dat na conditionering van het golfkarton fysische testen dienen uitgevoerd te worden.

De fysische testen worden uitgevoerd in het VerpakkingsCentrum van de Hogeschool Limburg. Deze 'spin-off' verleent hoofdzakelijk diensten voor de industrie die met een verpakkingsproblematiek te kampen hebben.

Binnen het geheel van mogelijke fysische testen worden zowel de ECT- als de BCT-test geselecteerd. Beide testen geven een duidelijke krachtwaarde voor de sterkte van het golfkarton en de kartonnen doos na de compressiebehandeling.

Op het golfkarton (alsook het plano materiaal) wordt de kantstuikwaardetest of 'edge-crush test' (ECT) toegepast. Aan de hand van de formule van McKee, kan hieruit de theoretische compressiesterkte van de kartonnen doos worden berekend. Op de kartonnen doos wordt de 'box compression test' (BCT) uitgevoerd. Op deze wijze kan de theoretische BCT-waarde vergeleken worden met de praktisch gemeten BCT-waarde.

Diverse golfkartonkwaliteiten zijn geleverd door een golfkarton-producerend bedrijf. Na conditionering (minstens 24 uren bij een constante temperatuur van 23 °C, bij een stijgende relatieve vochtigheid (50 % tot 90 %)) van de monsters voor de ECT-testen en van de dozen voor de BCT-testen worden de fysische testen uitgevoerd. In functie van relatieve vocht wordt de verzwakking van het golfkarton (uitgedrukt in % vermindering van de sterkte) uitgezet.

Deze testen (zowel ECT als BCT) duiden aan dat bij een RV-stijging van 50 % tot 90 % een verzwakking van kartonsterkte van 52 % wordt veroorzaakt en dat het grootste sterkteverlies te wijten is aan de verhoging van de RV van 80 % naar 90 % RV (31% sterkteverlies).

De testen hebben ook aangetoond dat de gebruikte Testliner even sterk of soms sterker is dan de gebruikte Kraftliners.

De vergelijking tussen de theoretische BCT-waarden volgens de formule van McKee en de gemeten BCT-waarden geeft aan dat, indien de ECT-waarde gekend is, de berekende BCT-waarde een schatting geeft van de werkelijke BCT-waarde.

Een verdere uitbreiding van deze studie zou kunnen zijn: uitvoeren van meerdere testen (zoals barstweerstand, buigweerstand,...) op de verschillende kwaliteiten, de kwaliteiten bij andere temperaturen (met vergelijkende RV-intervallen) conditioneren (zoals 5 °C, 37 °C),... .

## **Lijst met afkortingen**

VC	VerpakkingsCentrum (Hogeschool Limburg)
ECT	<i>Edge Crush Test</i> : kantstuikwaarde (uitgedrukt in kN/m)
BCT	<i>Box Compression Test</i> : compressie waarde van een lege Amerikaanse golfkartonnen doos
RV	Relatieve vochtigheid (uitgedrukt in procent)
UV	Ultraviolet licht
BVI	Belgisch Verpakkings Instituut
SIS	Swedish Standard Institute
DIN	Duitse Industrie Norm
TAPPI	Wereldwijde technische associatie voor pulp, papier en karton
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
ISO	International Standardization Organization
NF	Norme Française
APPITA/AS	Australische Normen i.v.m. pulp, papier & karton
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
JIS	Japanese Industry Standard
FPL	Forest Products Laboratory, Madison, Wis., USA
FEFCO	European Federation of Corrugated Board Manufacturers, Paris, France
kN/m	kilo-Newton per meter: eenheid van de ECT-waarde
N	Newton: eenheid van de BCT-waarde



## **Stageplaats: het VerpakkingsCentrum**



In 1998 is het VerpakkingsCentrum opgericht als *spin-off* van de Hogeschool Limburg dep. Industriële Wetenschappen te Diepenbeek. De oprichting steunde op de dringende nood aan aangepaste meetapparatuur binnen de Euregio. Sinds 2001 is het VerpakkingsCentrum uitgebreid met de dienst Verpakkingsinnovatie & Ecodesign.

Het VerpakkingsCentrum verleent diensten voor de industrie die met een verpakkingsproblematiek te kampen hebben.

Deze diensten zijn:

- Permeabiliteitsonderzoek (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en lektheid – barstwaarde)
- Fysische analyses van kunststoffen (bv. Testbank, scheurweerstand, doorprikweerstand)
- Analyses van papier, karton, golfkarton (ECT, BCT, buigweerstand, ...)
- Transportsimulaties (valtafel, transportsimulaties, field-registratieapparatuur)
- Klimatologische behandeling (klimaatkast, Xenon tester, UV verouderingsapparaat)
- Verpakkingsinnovatie & Ecodesign (grafisch ontwerp, palletisatie, ...)

Het VerpakkingsCentrum telt vijf medewerkers:

- Prof. Dr. Dirk Franco – Algemeen coördinator
- Dr. Roos Peeters – Coördinator / verantwoordelijke gaspermeabiliteit
- Dhr. Philip De Schepper – Technisch verantwoordelijke
- Lic. Ilse Stouten – Verpakkingsinnovatie & ecodesign
- Mevr. Wies Bijmens – Projectmedewerkster

Contactgegevens:

VerpakkingsCentrum – Hogeschool Limburg  
Universitaire Campus - Gebouw H  
3590 Diepenbeek  
Tel. +32 (0) 11 / 26 00 43  
[www.verpakkingscentrum.be](http://www.verpakkingscentrum.be)

## **Deel I: Literatuurstudie**

### **1 Wat is golfkarton?**

Golfkarton bestaat uit verschillende lagen papier. Papier wordt gemaakt uit houtpulp, en voornamelijk uit oud (of gerecycleerd) papier. De pulp bestaat uit de cellulosevezels van hout.

#### **1.1 Houtpulp<sup>1</sup>**

Bij het maken van houtpulp wordt de cellulosevezel gescheiden uit het hout dat afkomstig is van dunningshout en zagerijresten. Het hout kan gemalen (mechanisch proces en thermo-mechanische proces: zie fig. 1 & 2) of gekookt worden (chemisch proces: zie fig. 3).

Bij het malen komt er veel warmte vrij door wrijving, het lignine wordt zacht en dit resulteert in het loskomen van de cellulosevezels. Lignine is de bindstof van de cellulosevezels in het hout. Bij dit proces wordt bijna alles van het hout gebruikt (96- 99 %), maar het papier is niet zo sterk en vergeelt nogal snel. De benaming van dit soort papier is houthoudend papier.

Bij het chemisch proces blijft maar een deel van het hout over (45 %), de zuiver cellulose. Het hout wordt onder toevoeging van chemicaliën gekookt. Het lignine lost bijna helemaal op in het water en er blijft cellulose over dat in dikke platen wordt gesneden.

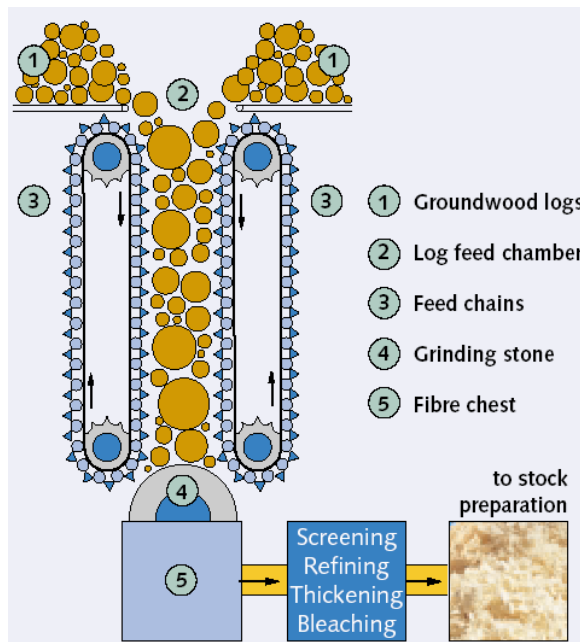
Gerecycleerde pulp wordt gemaakt uit oud papier en karton. Het oud papier en karton wordt in draaiende trommels tot pulp vervezeld en gemengd met water en chemicaliën. Plastic en nietjes kunnen worden verwijderd, de vezels moeten nu enkel nog ontinkt worden. Het ontinkten gebeurt d.m.v. flotatie (opstijgende luchtbelletjes die de inktresten aan de oppervlakte brengen).

---

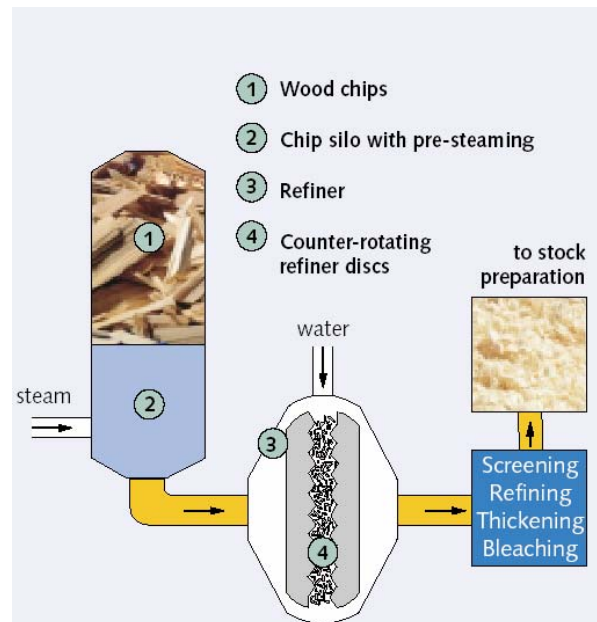
<sup>1</sup> Referentie: cursus Golfkarton – BVI, The Carton Packaging Fact File – Pro Carton, bundel gekregen van dhr. Karel Van den Abeele (VPK Packaging), <http://www.chhpulpandpaper.com/uploads/makingpaper.pdf>

De pulp wordt nog gebleekt met zuurstof, waterstofperoxide of ozon om de overige hoeveelheid lignine te verwijderen. Vroeger gebeurde dit met chloor, wat niet milieuvriendelijk is.

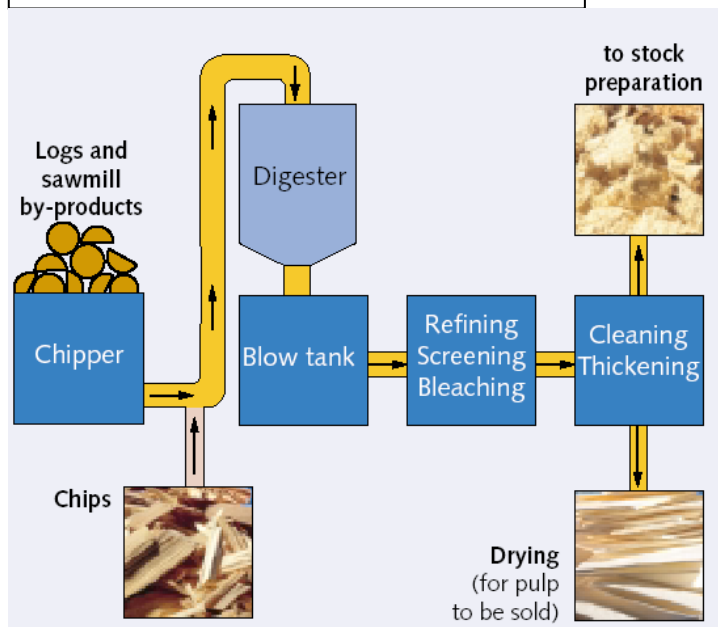
De pulp kan nu worden gebruikt voor het maken van papier.



**Figuur 1: Mechanische pulp productie** (ref.: <http://www.chhpulpanpaper.com/uploads/makingpaper.pdf>)



**Figuur 2: Thermo-mechanische pulp productie** (ref.: <http://www.chhpulpanpaper.com/uploads/makingpaper.pdf>)



**Figuur 3: Chemische pulp productie** (ref.: <http://www.chhpulpanpaper.com/uploads/makingpaper.pdf>)

## 1.2 Het maken van papier<sup>2</sup>

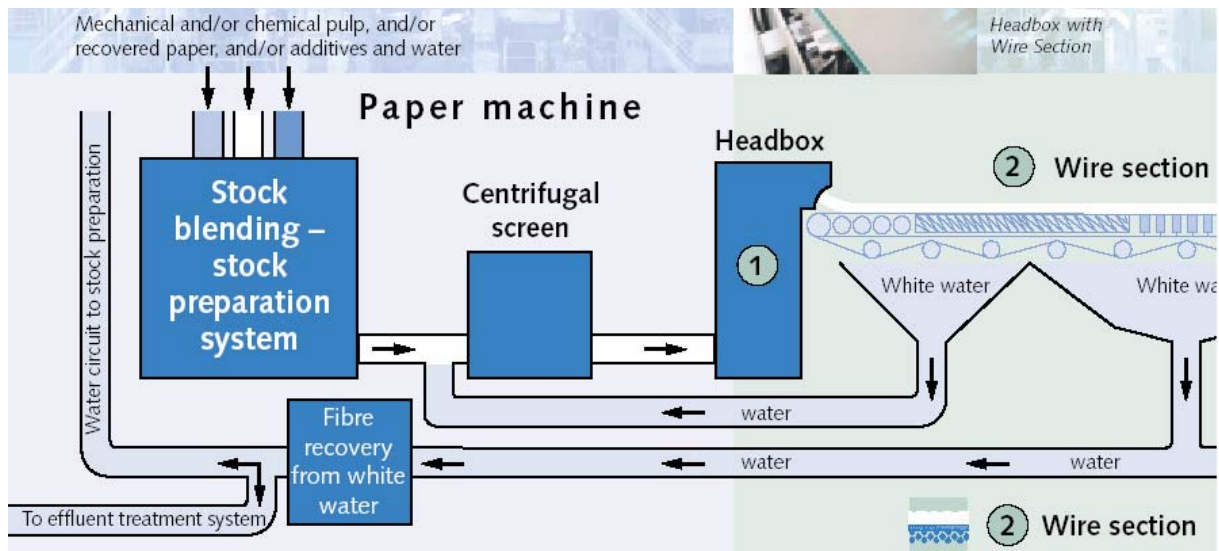
De pulp wordt in zeer verdunde vorm (ongeveer 1 %) op een vormingsmachine gebracht. De gebruikte pulp kan gemaakt zijn van nieuw hout, van oud papier of van een mengsel daarvan. De cellulosevezels worden zo goed mogelijk verdeeld over de lengte en breedte van de te vormen papierbaan. Een deel van het water wordt via het zeefdoek door de werking van de zwaartekracht en vacuüm verwijderd. De vezels blijven op de doek liggen. De nu gevormde papierbaan bevat nog altijd 85 % water. Door middel van een aantal persen en walsen wordt het papier verder ontwaterd. Met nog ongeveer 50 % vocht gaat het papierblad daarna de droogpartij in, waar de rest van het water wordt verwijderd door verhitting. De droogpartij is het grootste deel van de machine. Het papier wordt over met stoom verhitte cilinders geleid en is aan het einde praktisch geheel droog. Naar gelang het gebruik wordt het oppervlak van het papier van een strijklaag voorzien of glad gemaakt. Het papier wordt nog gesneden tot de gewenste breedte (bv. 2450 mm, 2250 mm, 2050 mm en 1900 mm). De papierbaan wordt opgerold tot grote cilinders. Een dergelijke rol papier weegt al gauw 2 ton.

Voor het schematisch overzicht zie figuren 4 en 5 op de volgende pagina.

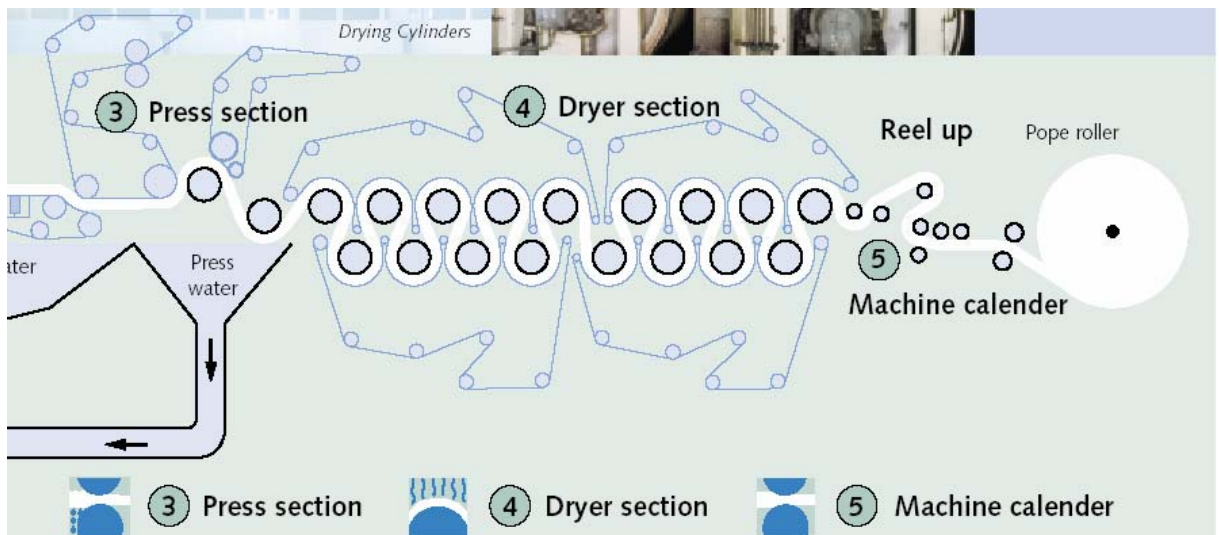
---

<sup>2</sup> Referentie: bundel gekregen van dhr. Karel Van den Abeele (VPK Packaging), cursus golfkarton (HL)

Schematisch overzicht van de papiermachine



**Figuur 4: Eerste deel van de papiermachine:** 1: Gelijkmatige verspreiding van de pulp  
 2: Water opvang gedeelte  
 (ref.:<http://www.chhpulpandpaper.com/uploads/makingpaper.pdf>)



**Figuur 5: Tweede gedeelte van de papiermachine** 3: Aandruk gedeelte om groot deel van het overtollig water te verwijderen  
 4: Droog gedeelte  
 5: Kalander-machine  
 (ref.:<http://www.chhpulpandpaper.com/uploads/makingpaper.pdf>)

### 1.3 Papiersoorten voor golfkartonindustrie<sup>3</sup>

Nobeledeklagen:

- Kraftliner (80 % houtvezel)
- White top (2-lagig bestaande uit een laag gebleekte en een ongebleekte laag kraft)
- Gemarmerde kraft

Gerecycleerde deklagen:

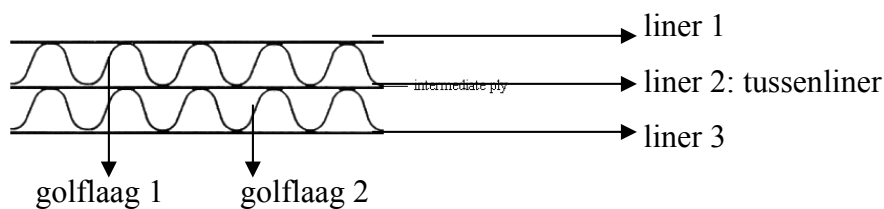
- Schrenz of grijs
- Testliner bruin (duplex bruin)
- Gemarmerde duplex
- Witte duplex

Golflagen:

- Nobeledeklagen: semi-chemical
- Gerecycleerd: Wellenstof

Het percent gerecycleerd materiaal van een kartoncomplex is het gewichtsprocent aan gerecycleerde vezel tegenover het gewicht van het complex. Deze waarde wordt berekend uit de gehalten aan gerecycleerde vezel in de samenstellende papiersoorten en hun bijdrage in het totaal complex.

$$\% \text{ rec} = (G_{11} \cdot \% \text{rec}_{11} + G_{12} \cdot \% \text{rec}_{12} + G_{13} \cdot \% \text{rec}_{13} + G_{g1} \cdot a \cdot \% \text{rec}_{g1} + G_{g2} \cdot b \cdot \% \text{rec}_{g2}) / G_{\text{complex}} \text{ (- lijmpobbreng)}$$



waarbij:

$G_{11}$  ,  $G_{12}$  ,  $G_{13}$  : gewicht van de liner in het complex

$G_{g1}$  ,  $G_{g2}$  : gewicht van het golfpapier in het complex

$\% \text{ rec}_{11}$  ,  $\% \text{ rec}_{12}$  ,  $\% \text{ rec}_{13}$  : gehalte aan gerecycleerd materiaal in de liners

$\% \text{ rec}_{g1}$  ,  $\% \text{ rec}_{g2}$  : gehalte aan gerecycleerd materiaal in de golfpapieren

<sup>3</sup> Referentie: Cursus golfkarton (HL), bundel gekregen van dhr. Karel Van den Abeele (VPK Packaging)

$G_{\text{complex}}$	:	gewicht van het kartoncomplex
a, b	:	golfstappen: factoren die aan de verschillende types golf (A, B, C,...) gegeven worden; bv. B-golf = 1,3 en C-golf = 1,4.

### 1.3.1.1 Kraftpapier of kraftliner

Kraftpapier is samengesteld uit zuivere chemische pulp van houtvezels, die behandeld zijn met sulfaat. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen:

Scandinavische kraft: de kraft bevat vrij lange vezels (door de koudere temperaturen ontstaat een trage groei)

Europese kraft (Frankrijk, Italië, Portugal): iets kortere vezels

Amerikaanse kraft: de kraft is iets ruwer van uitzicht, ook iets donkerder en dikwijls volgens het procédé met hoog rendement en kortere kooktijd behandeld.

White top en gemarmerde kraft hebben dezelfde eigenschappen als kraftpapier maar hebben een verschillend uitzicht. White top heeft een wit gepigmenteerde *coating* gebaseerd op porseleinaarde en/of calcium carbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ), bij gemarmerde kraft is er een dunne witte laag op gekoetst<sup>4</sup>.

### 1.3.1.2 Testliner, duplex of bico

Testliner bestaat uit twee verschillende papiersoorten die samengekoetst een nieuwe papiersoort uitmaken. De buitenzijde is meestal van gebleekte kraft, de achterzijde bestaat meestal uit grijs papier of gerecycleerd materiaal.

### 1.3.1.3 Bruin gerecycleerd en Schrenz

Schrenz is een mengsel van verschillende oude papieren, het is een grijsachtige papiersoort. Toevoeging van een gedeelte kraftpapier als gerecupereerd materiaal of als nieuwe pulp kan een bruinachtig uitzicht meebrengen en heeft als gevolg dat de eigenschappen van het papier evenredig verbeteren met het percentage toegevoegde kraft.

Deze papiersoorten weerstaan slecht aan vocht en vertonen slechte mechanische eigenschappen.

---

<sup>4</sup> Koetsen: Wanneer natte pulp wordt aangebracht ontstaat na het drogen een dun en kwetsbaar vel papier.

#### **1.3.1.4 Half-chemisch papier**

Uit half-chemische pulp bereide papieren vertonen in natte toestand een bijna transparant uitzicht. Deze papiersoorten zijn zeer stijf en hard, ze bestaan uit korte cellulosevezels wat fabricage van golflagen toelaat. Half-chemisch papier waaraan een gedeelte gerecycleerde vezels aan toegevoegd wordt, verliest in gelijke mate met zijn doorzichtigheid in natte toestand ook een deel van zijn goede eigenschappen.

#### **1.3.1.5 Wellenstof**

Wellenstof was oorspronkelijk de naam voor de golflaag op basis van gerecycleerd golfkarton.

Nu is het de naam voor gerecycleerd materiaal, veredeld met een hoeveelheid lange kraftvezels.

### **1.4 Eisen die aan papier voor golfkarton gesteld worden<sup>5</sup>**

Een papiersoort dat als deklaag gebruikt zal worden, moet elastisch zijn, een goede plooibaarheid bezitten, een goede weerstand tegen trek- en scheurkrachten hebben en een zo goed mogelijke bescherming hebben tegen vochtigheid.

Deze deklaag wordt vaak nog bedrukt. Daarom moet het papier een egaal oppervlak hebben, zuiver zijn, voldoende poreus om de inkt op te nemen en tegelijk genoeg gelijmd zijn om de verspreiding van de inkt tegen te gaan en om een goede uitlijning te bekomen.

Kraftpapier beantwoordt bijna perfect aan deze eisen, andere papiersoorten beantwoorden er in mindere mate aan, zodat een compromis dient gezocht te worden tussen de mechanische eigenschappen, de gestelde eisen en de kostprijs.

Een golflaag moet stevig en stabiel zijn, de afstand tussen de twee deklagen zo goed mogelijk bewaren en zo weinig mogelijk verzwakken onder de invloed van vocht. De Scandinavische half-chemische golflaag komt maximaal tegemoet aan deze eisen.

### **1.5 Gramgewichten<sup>6</sup>**

- Kraftpapier vanaf 115 g/m<sup>2</sup> tot 440 g/m<sup>2</sup>
- Gerecycleerde deklagen vanaf 90 g/m<sup>2</sup> tot 280 g/m<sup>2</sup>
- Golflagen vanaf 90 g/m<sup>2</sup> tot 240 g/m<sup>2</sup>

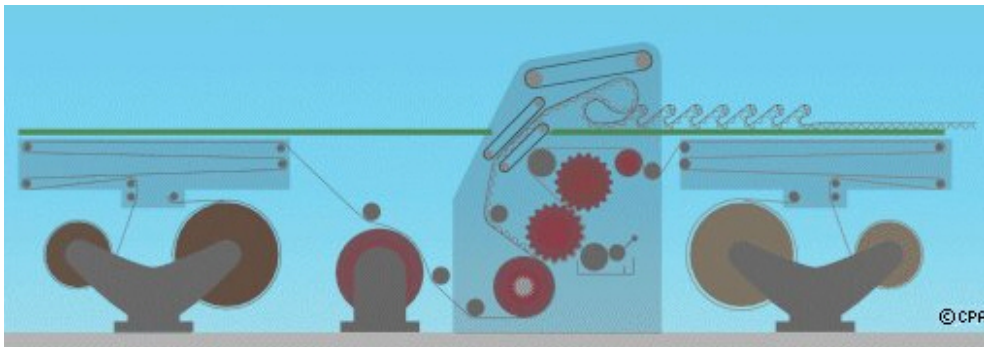
---

<sup>5</sup> & <sup>6</sup> Referentie: cursus golfkarton (HL)

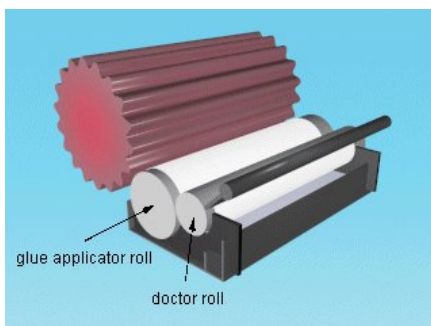


## 1.6 Hoe wordt golfkarton gemaakt?<sup>6</sup>

Golfkarton wordt machinaal gemaakt m.b.v. een golfkartonmachine. Een unit bevat twee papier-*feeders*, elke feeder bevat twee rollen papier om een continu proces te verzekeren. De linkse feeder bevat het papier voor de deklaag en de rechtse voor de aanmaak van de golflaag. Het papier wordt langs voorverwarmcilinders geleid om het papier op te warmen. Het papier voor de golflaag wordt tussen twee riffelwalsen geleid, de vorm van de riffelwalsen bepaalt het type van golf (bv. B-golf). Aan de onderste riffelwals bevindt zich de lijm-cilinder, hier wordt de lijm (op basis van zetmeel en water) (zie fig. 6 en 7) aan de golftoppen gebracht. Het papier van de linkse feeder komt ook voorbij de onderste riffelwals, hier wordt dus de golflaag aan de deklaag gebracht. Er ontstaat zo een continue strook golfkarton, de breedte van de strook hangt af van de breedte van de papierrol. Met twee units achtereen geplaatst, kan er dubbel-dubbel beplakt golfkarton (bv. BC-golf) worden gemaakt. Verderop de golfkartonmachine wordt het golfkarton nog gedroogd d.m.v. een pers (zie fig. 8), gerild (= het aanbrengen van plooielijnen op het karton) (fig. 9) en ten slotte in kleinere platen gesneden en opgestapeld (fig. 10).

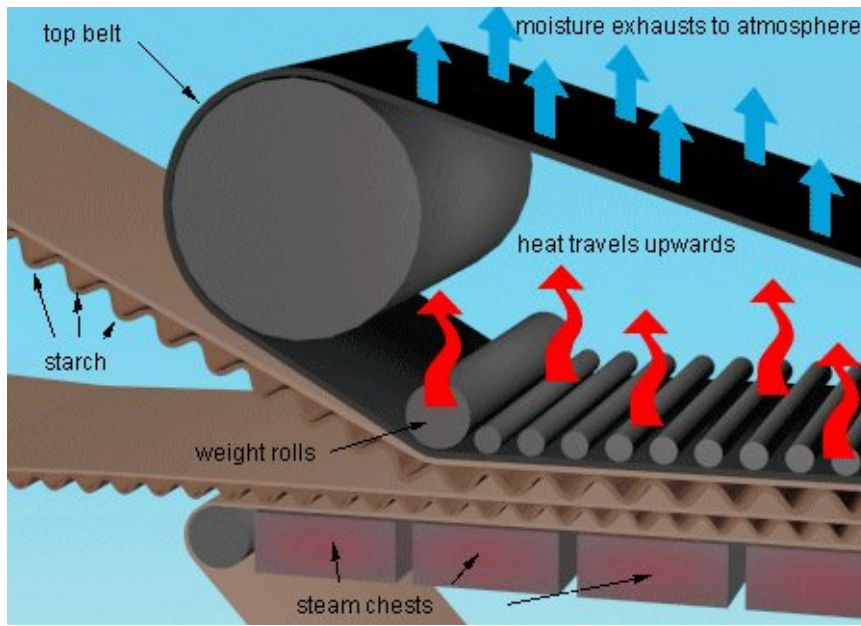


**Figuur 6: Het aanmaken van de papieren golflaag aan de deklaag**

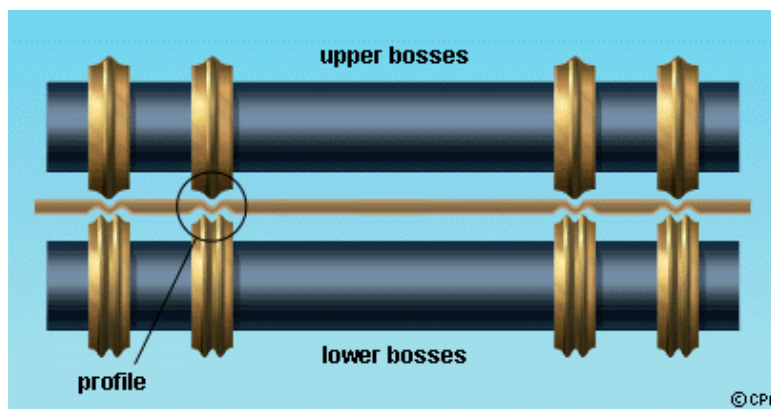


**Figuur 7:  
Het aanbrengen van de lijm op de  
golflaag**

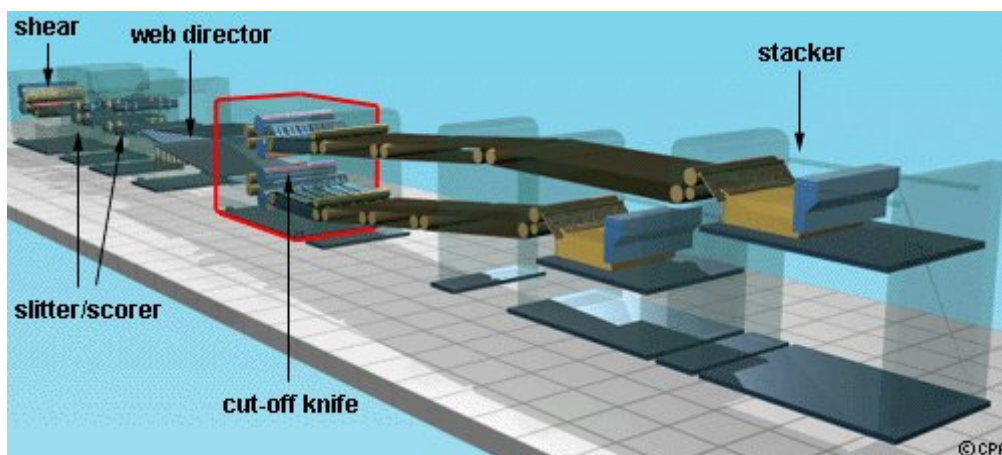
<sup>6</sup> Referentie figuren 6-10: [http://www.corrugated.org.uk/training/wet\\_end/wet\\_end.htm#layout](http://www.corrugated.org.uk/training/wet_end/wet_end.htm#layout)



Figuur 8: Het aandrukken van de deklaag (met golf) bij hoge temperatuur

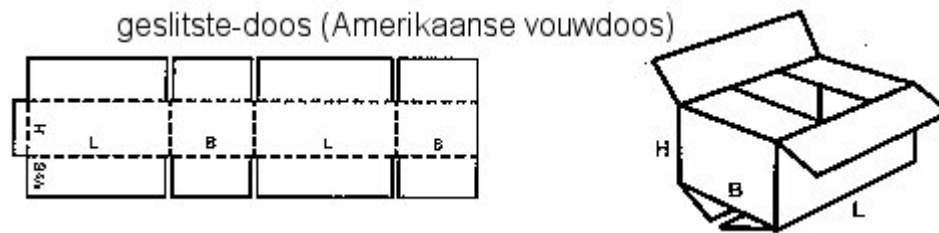


Figuur 9: Het aanmaken van de rillijnen (om de doos te kunnen plooiën)



Figuur 10: Na het aanbrengen van de rillijnen wordt het golfkarton gesneden in platen (aan te passen in grootte) en het openstapelen van de platen golfkarton

Uit de gesneden golfkartonnen platen kunnen dan de dozen worden gestanst. Een normale golfkartonnen doos met even grote flappen wordt een Amerikaanse doos genoemd (zie figuur 11.)

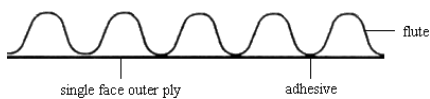


**Figuur 11: Een Amerikaanse doos**  
(ref.: <http://members.home.nl/wprins/golfkarton.html>)

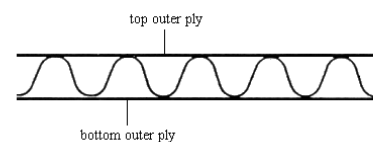
### 1.7 Types van golfkarton<sup>7</sup>.

Er kan een indeling van golfkarton gemaakt worden naargelang het aantal golflagen en deklagen:

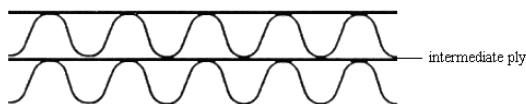
- enkel beplakt golfkarton
- dubbel beplakt golfkarton
- dubbel-dubbel beplakt golfkarton
- drievoudig beplakt golfkarton



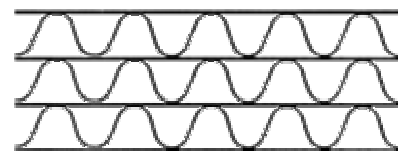
**Figuur 11: Enkel beplakt golfkarton**



**Figuur 12: Dubbel beplakt golfkarton**



**Figuur 13: Dubbel-dubbel beplakt golfkarton**



**Figuur 14: Drievoudig beplakt golfkarton**

<sup>7</sup> Referentie figuren 11-14: [http://www.tis-gdv.de/tis\\_e/verpack/papier/wp\\_arten/wp\\_arten.htm](http://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/papier/wp_arten/wp_arten.htm)  
Tekst: cursus golfkarton

Maar er kan ook een indeling gemaakt worden naargelang de golfhoogte (zes verschillende hoogten) zie tabel 1:

**Tabel 1: Indeling golfkarton volgens type golf**

Type golf	Golfhoogte (mm)	Aantal golven per meter
A	5,0	108 - 147
B	3,0	154 - 174
C	4,0	128 - 147
E	1,5 - 2,0	295 - 315
F	1,0 – 1,5	315 - 340
K	7,0	84

Het gebruik van de verschillende golftypes kan aangepast worden aan de omstandigheden.

Een A-golf heeft een goede stapelsterkte en absorbeert goed schokken. Een B-golf heeft een goed draagvermogen, betere bedrukking mogelijk, ze weerstaat beter dan A- en C-golf aan punctuele invloeden op de wanden.

Een C-golf werd vervaardigd om het midden te houden tussen A- en B-golf en draagt dus van beide golftypes een deel van de goede eigenschappen mee zoals: goede stapelsterkte en goede bedrukking.

De K-golf wordt vrijwel uitsluitend gebruikt in drievoudig golfkarton om door de grote dikte de stijfheid van de kartonsoort te vergroten.

Een E- en F-golven of microgolven hebben een zeer grote oppervlaktegladheid aan de buitendeklaag wat toelaat zeer ingewikkelde veelkleurige drukwerken te realiseren en toch gebruik maken van de voordelen van golfkarton.

Allerlei combinaties van golfhoogten zijn mogelijk zoals E-F, A-C en D-D. De meest voorkomende combinatie is B-C.

## **2 Invloed van de relatieve vochtigheid op papier**

### **2.1 Wat is relatieve vochtigheid (RV)?<sup>8</sup>**

De relatieve vochtigheid is de verhouding van de absolute vochtigheid (= de hoeveelheid waterdamp die zich in de lucht bevindt, aangegeven in g waterdamp per m<sup>3</sup>) van de lucht bij een bepaalde temperatuur tot de maximale hoeveelheid waterdamp die bij deze temperatuur in de lucht aanwezig kan zijn. Relatieve vochtigheid wordt uitgedrukt in %.

De relatieve vochtigheid zal stijgen wanneer de lucht in een ruimte wordt afgekoeld, terwijl de absolute vochtigheid hetzelfde blijft. Wordt de ruimte, daarentegen, verwarmd dan neemt de relatieve vochtigheid af.

#### Rekenvoorbeeld:

Bij 23 °C bevat de lucht maximaal 20,38 g vocht per m<sup>3</sup>, wanneer deze hoeveelheid bereikt wordt, is het verzadigingspunt bereikt. Verdere toevoeging van waterdamp veroorzaakt condensatie.

Wanneer nu bij dezelfde temperatuur de lucht maar 10,19 g vocht per m<sup>3</sup> bevat, dan bevat de lucht:

$$(10,19 / 20,38) \times 100 \% = 50 \% \text{ van de verzadiging.}$$

### **2.2 Vochtgehalte van papier**

Papier is een buitengewoon hygroscopische stof m.a.w. het vertoont een zeer grote affiniteit voor de vochtigheid in de lucht. De twee redenen hiervan zijn:

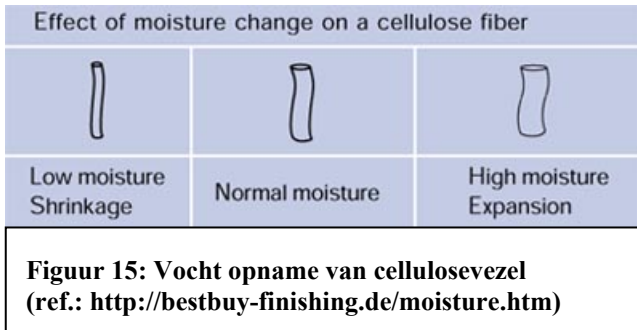
- 1) Papier wordt gefabriceerd op basis van een levende organische stof, die zeer gevoelig is aan vochtigheid: cellulose, die door zijn samenstelling hydrofiel is. Cellulose oefent aantrekkingskracht uit enerzijds op de moleculen van de vloeistof waarmee het in contact komt en anderzijds op de gassen van de omringende atmosfeer. Wanneer papier in lucht is met een hogere vochtigheidsgraad dan het papier zelf, nemen de cellulosevezels water op tot er een evenwicht bereikt wordt. Ook het omgekeerde geldt: als het papier een hogere vochtigheidsgraad heeft dan

---

<sup>8</sup> Referentie: bundel gekregen van dhr. Paul Berkvens – Papyrus

de omringende atmosfeer zullen de vezels water afstaan aan de omgevingsatmosfeer tot het evenwicht hersteld is.

Vooraf de hydrofiele hydroxylgroepen zorgen voor de uitzettingscapaciteit (zwellen) van het papier.



- 2) Papier heeft een lage dichtheid in vergelijking met zuivere cellulose, wat op een tamelijk open structuur wijst. De tussenruimten zitten vol lucht, en nemen een belangrijk volume aan, dat kan gaan van 50 tot 70 % van het totaal volume. Die ruimten omsluiten soms ook nog stoffen als talk, zetmeel, enz. maar in veel geringere mate.

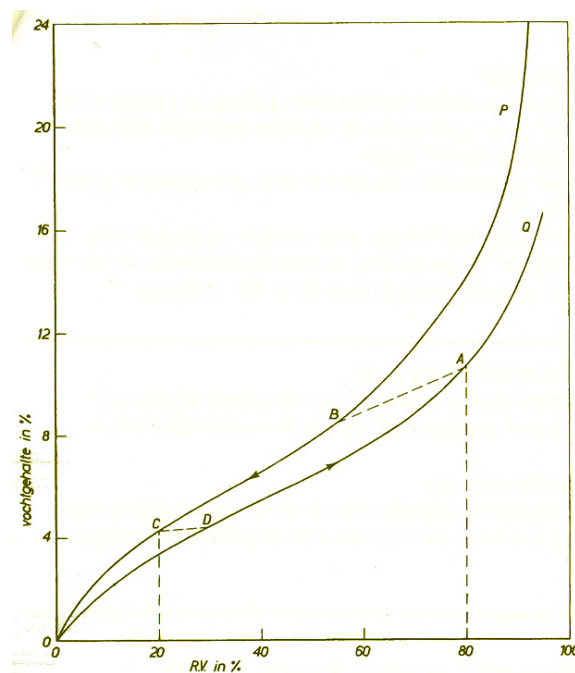
Papier is dus een poreus materiaal. Het bevat altijd een zekere hoeveelheid water, deze hoeveelheid water wordt het vochtgehalte van het papier genoemd. Het bestaat uit:

- Papier dat urenlang gedroogd wordt aan 105 °C bevat nog water tussen 0,1 en 1 % van het gewicht van het papier, deze hoeveelheid water wordt het colloïdale water genoemd.
- Het capillaire water dat in overvloed voorkomt binnen in de vezels van het papier. Dit water is niet 'gefixeerd'. Het doet zich voor als een echte vloeistof, is zeer beweeglijk en kan uitgewisseld worden met de omringende atmosfeer.

Papier bevat dus altijd een hoeveelheid vocht die niet alleen afhankelijk is van de vochtigheid van de lucht, maar ook van de papiersamenstelling. Bijvoorbeeld: krantenpapier heeft een groter vochtgehalte (9,3 %) dan schrijfpapier (6,0 %) bij eenzelfde relatieve vochtigheid (65 %).

### 2.3 Verband tussen de relatieve vochtigheid en het vochtgehalte

Bij toenemende vochtigheid van de lucht neemt ook het vochtgehalte van het papier toe (zie curve 0-Q op figuur 16). Als het papier weer in een drogere atmosfeer gebracht wordt dan neemt het vochtgehalte van het papier weer af, maar nu volgens curve P-0. Tussen bijvoorbeeld 20 % RV en 80% ontstaat dan een lus ABCDA. Dit betekent dat bij één bepaalde waarde van de relatieve vochtigheid van de lucht meerdere vochtgehalten van het papier mogelijk zijn, afhankelijk van de vochtigheid die het papier tevoren heeft gehad.



**Figuur 16: Hysteresislus: vochtgehalte (%) i.f.v. relatieve vochtigheid (%)**  
(ref.: Het VerpakkingsHandboek deel II - Golfkarton)

Ter verduidelijking van figuur 16 een voorbeeld:

Twee gelijke delen van hetzelfde papier, gramgewicht is bijvoorbeeld 400 g/m<sup>2</sup>, worden in het geconditioneerd (23 °C – 50 % RV) labo binnengebracht. Een deel is vochtig (deel A) en het andere is droog (deel B).

Na x aantal uren conditionering heeft deel A een vochtgehalte van bijvoorbeeld 7,8 terwijl deel B een vochtgehalte van 6,8 %. Het vochtgehalte van deel A moet hoger

zijn dat dan van B omdat deel A vochtig was voor de conditionering (af te leiden uit figuur 16).

Er is een verschil van  $(7,8 \% - 6,8 \% =) 1 \%$ .

Dit betekent dat er een verschil is in gewicht tussen deel A en deel B van 4 g. (1 % van 400 g is 4 g).

#### 2.4 Vochtigheid van het papier en de temperatuur<sup>9</sup>

De vochtigheid van de lucht is sterk afhankelijk van de temperatuur. Bij hogere temperatuur wordt de lucht droger. Als de RV constant gehouden wordt dan blijkt de hoeveelheid vocht in het papier vrijwel niet te veranderen. Alleen bij constante lage RV neemt de vochtigheid van het papier bij temperatuurstijging af. Bij een normale vochtigheid van 55 à 60 % is er slechts weinig invloed, mits het temperatuursverschil niet te groot is. Dit is enkel het geval voor papier dat vrij in de ruimte hangt. Papier in de stapel kan alleen aan de randen vocht uitwisselen, en wanneer deze stapel dampdicht is verpakt zelfs in het geheel niet.

---

<sup>9</sup> Referenties: cursus golfkarton (HL), bundel dhr. Paul Berkvens - Papyrus

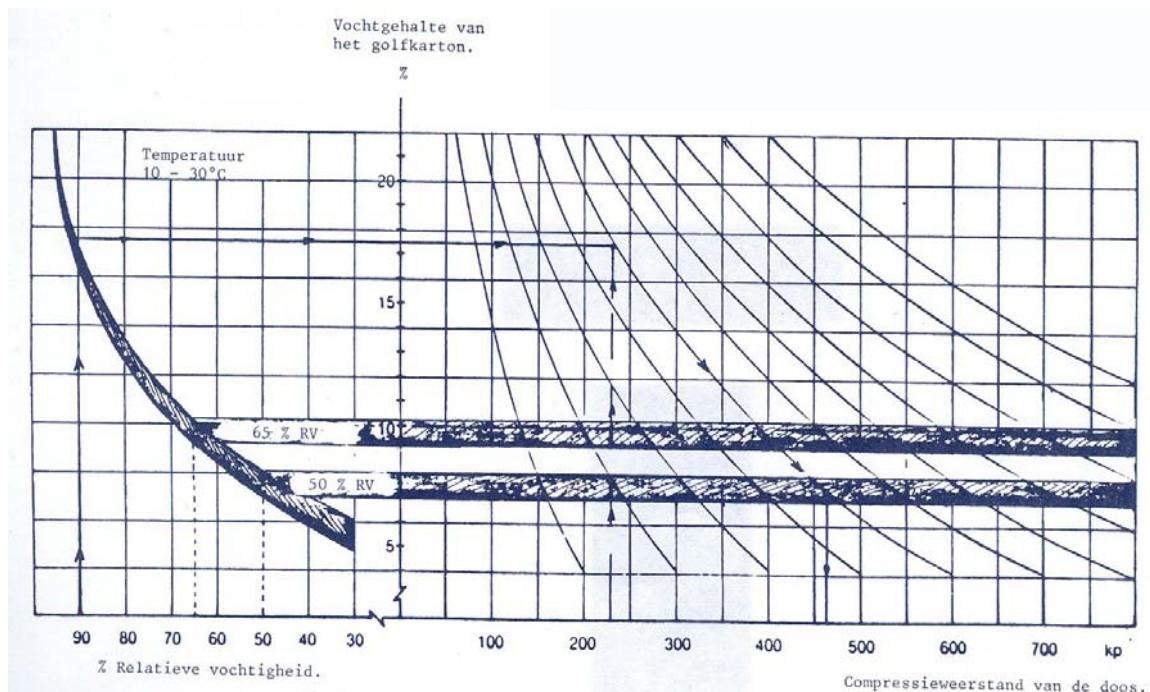


## 2.5 Compressieweerstand van een doos i.f.v. het vochtgehalte van het golfkarton

Figuur 17 toont de compressieweerstand van een doos i.f.v. het vochtgehalte van het golfkarton. Aan de linkerkant wordt de relatieve vochtigheid getoond.

De krommen op de figuur zijn de compressiewaarden van verschillende golfkartonkwaliteiten (verder niet gespecificeerd) bij verschillende vochtgehalten van het golfkarton. Hoe hoger het vochtgehalte in het golfkarton, hoe zwakker het golfkarton.

Op de rechtse X-as is de compressiewaarde uitgezet (uitgedrukt in kPa), de linkse X-as toont het percentage relatieve vochtigheid (RV). Op de Y-as is het vochtgehalte (%) in het golfkarton uitgezet.



**Figuur 17: Compressieweerstand van een doos i.f.v. het vochtgehalte van het golfkarton bij verschillende relatieve vochtigheden (ref.: Verpakkingshandboek Deel II - golfkarton)**

Stel dat de gezochte compressieweerstand in aanwezigheid van een grotere relatieve vochtigheid 230 kPa moet zijn en de relatieve vochtigheid voor gebruik 90 % is, het vochtgehalte van het golfkarton is dan 17,5 % (zie figuur 17).

In een atmosferische omgeving van 50 % RV bedraagt de compressieweerstand, als de kromme van de zelfde golfkartonkwaliteit gevolgd wordt, 460 kPa.

Met de ECT- en BCT-resultaten van de verschillende golfkarton-kwaliteiten van deze thesis worden ook krommen verkregen, de waarden worden uitgezet i.f.v. de relatieve vochtigheid bij constante temperatuur (23 °C).

### **3 Behandelingen tegen vocht- en waterinvloeden van papier en golfkarton**<sup>10</sup>

De behandelingen die hier vermeld worden, worden ondergaan bij de vorming of na het vervaardigen van golfkarton met de bedoeling hun weerstand tegen vochtigheid en water te verbeteren.

De behandelingen zijn:

- wet-strength behandeling (weerstand aan vocht),
- water afstotende behandeling (weerstand tegen water),
- het impregneren.

Deze behandelingen worden uitgevoerd op de papiervormmachine. Eventueel kan op de buiten- of binnenliner een waterafstotende laag worden aangebracht net voor de samenlijming met de golflaag.

De behandelingen na de fabricatie van golfkarton door het aanbrengen van een laag waterbestendig materiaal zijn:

- smeltlijmen op basis van paraffine,
- smeltlijmen op basis van mengsels van was en kunstharsen,
- emulsies.

Waterdicht karton kan ook bekomen worden door in de buitendeklaag een laag kunststof (meestal polyethyleen) aan te brengen door het extrusie-laminerings-procédé.

#### **3.1 Wet-strength behandeling**

Een wet-strength behandeling laat toe aan het papier dat voor de golfkartonproductie wordt gebruikt, een deel van zijn eigenschappen in droge toestand te behouden in natte toestand. Deze methode verhindert de wateropname niet.

---

<sup>10</sup> Referentie: Cursus Golfkarton (HL)

Deze eigenschap wordt bekomen door aan de papierpulp een deel synthetische harsen toe te voegen in de massa, die een deel van de mechanische vezelbindingen behouden die in natte toestand zouden verloren gaan.

De toegevoegde harsen oefenen eerst effectief hun volle werking uit na een rijpingsperiode van 2 à 3 weken. In deze behandeling wordt gebruik gemaakt van natuurlijke harsen (houtharsen), en meer en meer van ureumformaldehyde en melamineformolharsen die ingebracht worden gedurende het raffineren van de pulp. Het uiteindelijke resultaat van de behandeling is een papier waarvan de fysische eigenschappen beter behouden blijven in vochtige toestand.

### **3.2 Waterafstotende behandeling**

Deze behandeling heeft tot doel een papier voort te brengen dat gedurende bepaalde tijd weerstaat aan het indringen van water en slechts langzaam vochtig wordt. Deze eigenschap wordt zichtbaar door een parelend effect van water op het papier.

Gedurende de tijd dat het afstoten van water effectief plaats vindt, behouden het papier en het vervaardigde golfkarton hun volledige sterkte, maar als het papier eenmaal verzadigd is met water dan gaan daarmee ook alle fysische eigenschappen verloren.

Dit type van papier/golfkarton is dus geschikt wanneer het moet weerstaan aan een tijdelijke regen of toevallige bevochtiging gedurende korte tijd. De vezels van het papier worden gedurende de raffinage omgeven d.m.v. aluminiumsulfaat aan de oppervlakte gebonden harsen, die een water afstotende (hydrofobe) laag vormen.

De behandeling vertraagt de water-indringing maar is niet effectief tegen indringende waterdamp.

### **3.3 Impregnatie**

Deze behandeling die in enige mate de mechanische sterkte van het karton vermindert, doordrenkt het papier met een (in het algemeen minerale) materiaal dat de weerstand van het papier/karton verbetert tegen indringend water.

De volgende minerale materialen kunnen onderscheid worden:

- Bitumen: de papierbaan wordt door een asfaltbad gehaald en tussen twee verwarmde rollen, waar het teveel aan vocht wordt verwijderd.

- Olie: het gebruik van vloeibare paraffine, die smaak-, kleur- en reukloos is, vermindert de doorlaatbaarheid voor water in sterke mate.
- Was of paraffine: als strijklag aangebracht.

Het aanbrengen van een strijklag is ook een behandeling. In dit procédé wordt op het karton (door bestrijking) een vloeibare compound van harsen gebracht, die, eenmaal droog, een continue beschermde film vormt. De strijklag kan één van voornoemde producten zijn. Deze film moet:

- goed hechten op het droogvlak (meestal beter aanhechting na voorverwarmen van de drager),
- zeer elastisch zijn en niet splitten bij plooiën,
- weinig gevoelig zijn aan temperaturen,
- geen aanhechting teweegbrengen tussen twee gestapelde dozen,
- goed kunnen glijden op metalen delen (machineverwerkbaarheid),
- weinig doorlaatbaarheid zijn voor water en waterdamp,
- weerstaan aan scheuren.

Na opbrengen van de vloeistof wordt het overtollige product weggenomen door een luchtmes of rakel. Er kan ook een strijklag aangebracht worden met smeltlijmen die bij verhoogde temperatuur vloeibaar worden; na afkoeling laten ze een gladde, harde film achter op het oppervlak.

Smeltlijmen kunnen voorkomen op basis van paraffinewassen, of op basis van was met synthetische harsen. De smeltlijmen op basis van paraffinewassen worden toegepast volgens:

- droge paraffinering: waarbij de was wordt aangebracht door rollen of met een gordijn. De aangebrachte film is niet continu, kleine niet behandelde gedeelten vormen een brug voor de vochtigheid. Het behandelde papier is echter waterdicht doordat de poriën afgesloten zijn met was;
- natte paraffinering: waarbij een laag paraffinewas wordt uitgestreken over het vlakke karton, de film vertoont onderbrekingen op de rillijnen (na plooiën). De film vormt een goede barrière tegen water en waterdamp, maar kan microgaatjes vertonen.

Een laatste groep smeltlijmen zijn op basis van een mengsel van was en synthetische harsen. Om de tamelijk harde filmen op basis van paraffinewas te verbeteren heeft men ze vermengd met kunstharsen en andere plastificeermiddelen waardoor de film soepeler wordt. Men gebruikt voornamelijk volgende harsen:

- polyethyleen, polypropyleen, ethylvinylacetaat en copolymeren
- emulsiecoating:

deze op waterbasis van bereide emulsies maken de toepassing eenvoudiger: het aanbrengen kan gebeuren door middel van borstel, besproeien, met rakel, met de rol,...

Men onderscheidt: latex-emulsie, wasemulsie en emulsie van kunstharsen. Er bestaan tevens plastisol en organosol waarbij een colloïdale verdeling van een hars in een weekmaker de basis vormt.

### **3.4 Totale impregnatie**

De hieronder beschreven methoden zijn procédé's die op industriële schaal worden toegepast; sommige door slechts enkele bedrijven, andere zijn verspreid over de hele wereld.

#### **3.4.1.1 Impregnatie door onderdompeling:**

Dit procédé is discontinu; de platen golfkarton worden ondergedompeld in een bad minerale was. Daarvoor worden ze in een grote metalen korf geladen en met behulp van klemmen ter plaatse gehouden.

In het wasbad, met bepaalde temperatuur, laat men de platen zakken (golven in verticale zin) met een welbepaalde daalsnelheid; de verzadiging met was van het karton heeft niet enkel plaats op de deklagen maar ook op de golflaag.

#### **3.4.1.2 Het procédé RESCO-CASCADER:**

Deze impregnatieketen omvat vijf delen:

- De voeding waar de stukken karton in verticale gleuven geschoven worden, waar ze bevochtigd en verwarmd worden.
- De toepassingsafdeling waar verschillende overloopsystemen als het ware watervallen van vloeibare was vormen, die op het karton vallen.
- De afwerking, waar luchtmessen (boven of onder) de overtollige was wegblazen.

- De afkloelingseenheid met lucht onder druk.
- Het uitnemen uit het toestel.

#### **3.4.1.3 Het in line impregnatie procédé (BOISE)**

De stukken golfkarton bewegen in een kamer waarin was wordt geïnjecteerd aan een zijde en afgevoerd wordt aan de andere zijde door een afzuigkast. In dit procédé wordt het golfkarton van binnen naar buiten toe verzadigd. Dit heeft tot gevolg dat de hoeveelheid was op de deklagen gecontroleerd kan worden; wat belangrijk is, want de waterdichtheid van de deklagen hangt af van de hoeveelheid was die ze bedekt.

#### **3.4.1.4 Gedeeltelijke impregnatie op de golfkarton machine (MECALIX)**

In dit procédé wordt de golflaag afzonderlijk bestreken en vervolgens op een deklaag gekleefd. Na het vervaardigen van het dubbel golfkarton, worden de twee deklagen bekleed met een beschermende laag door rolcoating, pulverisatie of een andere techniek. De aangebrachte dosis was kan bij dit procédé geregeld worden tussen 15 en 100 % van het gewicht aan papier.

#### **3.4.1.5 Vacuüm procédé met harsen van het Escorez type (SOGEME)**

Deze werkwijze laat een lot golfkarton (uitgesneden, gerild en zelfs bedrukt) onderdompelen in een bad opgeloste harsen in heptaan. De heptaan wordt verdampt onder vacuüm.

### 3.5 Eigenschappen van de in massa geïmpregneerde golfkarton<sup>11</sup>

#### **In droge toestand (RV +/- 60 %)**

De flat-crush weerstand van een behandeld karton is ongeveer 60 % groter dan een niet behandeld karton (voor een zelfde samenstelling).

De kantstuikwaarde evolueert in dezelfde zin. De winst aan compressiesterkte van een doos is van de grootte-orde van 50 à 60 %.

#### **In vochtig milieu**

Bij 20 °C daalt de compressiesterkte van een golfkartonnen doos met ongeveer 30 % wanneer de relatieve vochtigheidsgraad van 65 tot 90 % toeneemt. Bij geïmpregneerd karton is dit verlies aan weerstand slechts ongeveer 10 %.

#### **In natte toestand**

Niet behandeld karton valt totaal uit elkaar, geïmpregneerd karton verliest vrijwel niets, 20 à 30 %.

---

<sup>11</sup> Referentie: Cursus golfkarton (HL)

## **Deel II: Onderzoeksgedeelte**

### **1 De verschillende uitgevoerde testen op golfkarton**

#### **1.1 Edgewise compressive strength test (ECT) van golfkarton**

De ECT of kantstuikwaarde van een kartoncomplex is de kracht waarbij alle golven van een rechthoekig staal golfkarton tegelijk begeven bij toenemende kracht evenwijdig aan de golfas.

Het monster wordt in de compressietester (zie fig. 18) tussen twee parallelle platen rechtop gezet en recht gehouden door 2 blokjes. De compressiesnelheid is 12,5 mm/min.

De kracht waarbij het monster volledig begeeft per lengte-eenheid is de ECT-waarde (eenheid: kilonewton per meter: kN/m).



**Figuur 18: Lorentzen & Wettre ECT - tester (ref.: [www.lorentzen-wettre.com](http://www.lorentzen-wettre.com))**

$$R = F / l \text{ (kN/m)}$$

F = maximale compressie (kN) (meestal van 0 – 5 kN)

l = lengte van het stuk golfkarton (m)

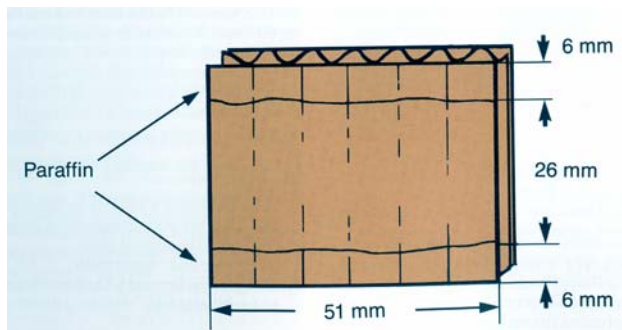
Deze test levert één van de belangrijkste eigenschappen over het golfkarton. Er is tevens een verband tussen de kantstuikwaarde (ECT) en de BCT nl. de formule van McKee.

De juistheid van de meting van ECT wordt sterk beïnvloed door de aard van de snede boven- en onderaan. Deze zouden in theorie perfect recht en parallel moeten zijn wat in werkelijkheid niet realiseerbaar is.

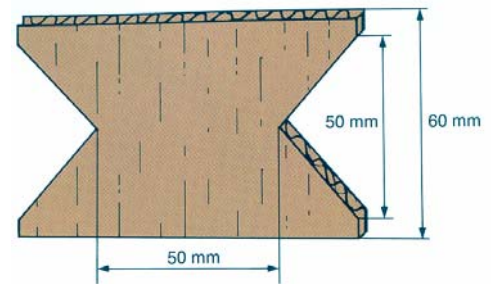


Er zijn vier methoden voor het bepalen van de kantstuikwaarde:

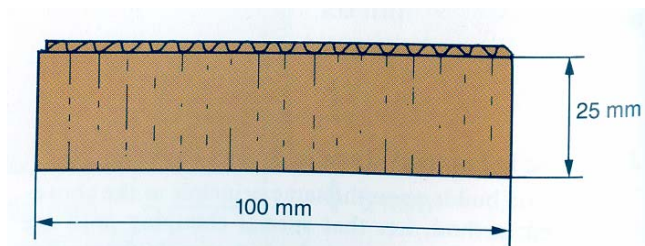
- TAPPI           randverschijnselen afzakken m.b.v. paraffine
- JIS Z 0401    de plaats waar de breuk mag verwacht worden is geen snede
- FPL            de plaats waar de breuk mag verwacht worden is geen snede
- FEFCO         grote lengte aanhouden geeft een lagere absolute fout



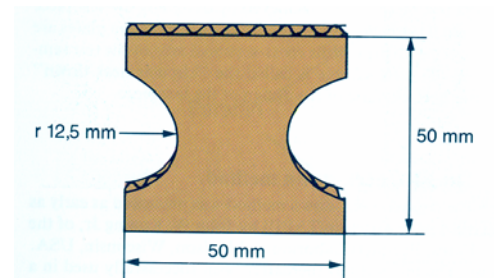
**Figuur 19: ECT volgens TAPPI**  
ref.: Håkan Markström, Testing Methods and instruments for corrugated boards, 5th edition, 1999, Lorentzen & Wettre, Kista, Sweden



**Figuur 20: ECT volgens JIS Z 0401**

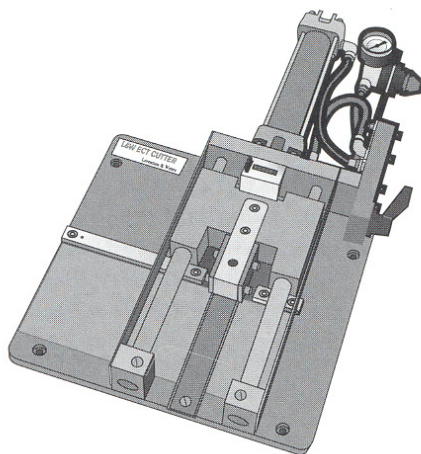


**Figuur 21: ECT volgens FEFCO nr. 8**



**Figuur 22: ECT volgens FPL**

In het labo van het VerpakkingsCentrum is er de Billerund Cutter (zie fig. 6) aanwezig, dit snijmachine snijdt golfkartonnen teststalen met afmetingen: 100 mm x 25 mm. De gevolgde methode om de ECT-waarden te bepalen is daarom FEFCO nr. 8.



**Figuur 23: Billerund Cutter**

De ECT kan worden uitgevoerd volgens verschillende normen: APPITA/AS 11301.444; DIN 53149; ISO 3037; NF Q 03-041; SCAN P 33:71; EN ISO 3037; SIS 84 30 10; ASTM D 2808-69(84); BS 6036 en FEFCO nr. 8.

De metingen van de ECT-waarden voor de verschillende geteste golfkartonkwaliteiten zijn uitgevoerd geweest in het geconditioneerd (23 °C en 50 % RV) labo van het VerpakkingsCentrum te Diepenbeek. Van elke golfkartonkwaliteit zijn er twaalf ECT-stalen uitgesneden en bij de verschillende relatieve vochtigheden (50 %, 60 %, 70 %, 80 % en 90 %) en bij een constante temperatuur van 23 °C geconditioneerd. De stalen werden minstens 24 uren geconditioneerd in een klimaatkast (behalve voor de stalen die bij 23 °C en 50 % RV gemeten moesten worden) bij de verschillende relatieve vochtigheden conform de ISO 186/187 norm. Na de 24 uren conditionering werd van elke reeks van twaalf stalen de ECT-waarde gemeten. Van deze twaalf waarden werden de laagste en de hoogste waarden niet meegeteld, er blijven dus tien waarden over voor de statistische analyse.

## 1.2 Box compression test (BCT)

Met BCT wordt de waarde van de maximale compressie van een (dichtgeplakte Amerikaanse) lege golfkartonnen doos gemeten vooraleer het ineensluit onder bepaalde voorwaarden, het is dus een maat voor het draagvermogen van de doos. De lege doos wordt tussen twee horizontale platen gebracht, hierbij wordt de bovenste plaat met een snelheid van 12,5 mm/min naar beneden verplaatst. De BCT wordt uitgedrukt in Newton (N).

De test wordt uitgevoerd bij standaardvoorwaarden: 23°C en 50 % relatieve vochtigheid. Het staal, de plano kartonnen doos wordt minstens 24 uur op voorhand bij dezelfde voorwaarden geconditioneerd.



**Figuur 24: Trekbank van het VerpakkingsCentrum**

De relatie tussen BCT en het reëel prestatievermogen van een doos wordt gegeven door:

$$\text{Verzekerd draagvermogen} = \text{BCT} / (9,81 \cdot f) \quad \text{kg}$$

Waarbij  $f$  een veiligheidsfactor is waarin alle onberekenbare nefaste parameters bevat zitten waardoor een doos aan prestatievermogen verliest. Het werkelijke draagvermogen is

immers veel lager dan de BCT-waarde ten gevolge van een hele serie parameters, zoals: inbinden in pakjes, inbinden van de palet, manipulatie bij laden op de vrachtwagen, transportparameters (tijd, temperatuur, vochtigheid), aard van de vulling, stapeling,...

Enkele BCT-normen: SIS 84 30 10; DIN 55440; TAPPI T 804om81; ASTM D642-76(83) en FEFCO nr. 50

#### BCT volgens FEFCO nr. 50 norm

Definitie: BCT is de maximale kracht bij compressie op een lege doos vooraleer de doos ineenstuikt onder bepaalde voorwaarden.

#### Procedure van de BCT-test

- het conditioneren van de doos,
- de kleppen van de lege doos dichtplakken,
- de doos centraal op het platform plaatsen,
- machine starten,
- maximale weerstand van de doos in newton (N) noteren

Ook hier zijn de metingen van de BCT-waarden voor de verschillende geteste golfkartonkwaliteiten uitgevoerd geweest in het geconditioneerd (23 °C en 50 % RV) labo van het VerpakkingsCentrum te Diepenbeek. Van elke golfkartonkwaliteit zijn er vier tot vijf golfkartonnen dozen bij de verschillende relatieve vochtigheden (50 %, 60 %, 70 %, 80 % en 90 %) en bij een constante temperatuur van 23 °C geconditioneerd. De dozen werden minstens 24 uren geconditioneerd in een klimaatkast (behalve voor de dozen die bij 23 °C en 50 % RV gemeten moesten worden) bij de verschillende relatieve vochtigheden conform de ISO 186/187 norm. Na de 24 uren conditionering werd van elke reeks dozen de BCT-waarde gemeten.

### **1.3 Bepaling van het gramgewicht**

Het gramgewicht wordt bepaald door een gekende oppervlakte (meestal 100 cm<sup>2</sup>) van het golfkarton uit te snijden en te wegen. De verschillende lagen worden na het uitsnijden gescheiden door het golfkarton in warm water te houden zodat de lijmverbinding tussen de verschillende lagen oplost. De afzonderlijke lagen worden daarna 1 uur gedroogd bij 105 °C in een oven. Tenslotte worden de lagen afzonderlijk gewogen en opgeteld om het samengesteld gramgewicht te bepalen en herrekend naar g/m<sup>2</sup>.

Ook hier wordt het golfkarton op voorhand minstens 24 u geconditioneerd bij 23 °C en 50 % RV (volgens ISO-norm 186/187).

In deze thesis werden eerst vijf stukken golfkarton gesneden (met een oppervlakte van 100 cm<sup>2</sup>) uit plano geleverd golfkarton en één uit een plano golfkartonnen doos (ter controle).

De stalen van 100 cm<sup>2</sup> werden gesneden met de Lorentzen & Wettre Circular Cutter.

De norm die gevolgd werd, is: ISO 536 en ISO 3039.

### **1.4 Het meten van de dikte**

Van de geteste golfkarton kwaliteiten is telkens de dikte gemeten (in mm), nodig om de binnenafmetingen van de golfkartonnen dozen te berekenen. Het meten van de dikte van het golfkarton, volgens ISO 3034-norm, gebeurde met de Lorentzen & Wettre Micrometer 50, aanwezig in het labo van het VerpakkingsCentrum te Diepenbeek.

### 1.5 Andere testen op golfkarton

Buiten ECT, BCT en gramgewichten zijn er nog meerdere testen mogelijk die op golfkarton uit te testen zijn om uiteindelijk de sterkte kwaliteiten van het golfkarton te verbeteren.

Deze testen zijn niet gebruikt worden in deze thesis.

Deze testen zijn:

- het meten van de barstweerstand (Burst Strengt Test),
- het meten van de doorsteekweerstand,
- het meten van de scheursterkte,
- het meten van de lucht doorlaatbaarheid van golfkarton d.m.v. de Bendtsen Tester,
- het meten van de wateropname van golfkarton d.m.v. de Cobb Test,
- het meten van de buigsterkte: 4-point bending stiffness tester,
- met het ECT-toestel kunnen ook nog volgende testen uitgevoerd worden:
  - o Flat Crush Test: het meten van de weerstand van de golven tegen platduwen,
  - o Corrugated Crush Test: het meten van de kantstuikweerstandwaarde van enkel de golven,
  - o Concora Medium Test: het meten van de weerstand tegen plat duwen van enkel de golven,
  - o Ring Crush Test: het meten van de kantstuikwaarde van enkel de *liner*.

## 2 De onderzochte golfkartonkwaliteiten

De onderzochte golfkartonkwaliteiten staan vermeld in tabel 2. Oorspronkelijk was het de bedoeling om tien verschillende golfkartonkwaliteiten te onderzoeken. Deze tien golfkartonkwaliteiten zijn zo gekozen dat ze per twee onderling te vergelijken zijn qua golftype en totaal gramgewicht en toch verschillen in samenstelling (Testliner en Kraft). Echter: er zijn door de golfkartonleverancier maar acht golfkarton kwaliteiten geleverd; er ontbreekt nog een B-golftype die vergeleken moest worden met golfkartonkwaliteit A en een CB-golftype die vergeleken moest worden met golfkartonkwaliteit F.

**Tabel 2: Onderzochte golfkartonkwaliteiten met samenstelling**

<b>Golfkarton- kwaliteit</b>	<b>Gramgewicht (g/m<sup>2</sup>) (gegevens leverancier)</b>	<b>Golftype</b>	<b>Kleur</b>	<b>Codering *</b>
<b>A</b>	390	B	bruin	T <sub>a</sub> W <sub>a</sub> T <sub>a</sub>
<b>B</b>	420	B	bruin	T <sub>b</sub> W <sub>a</sub> T <sub>b</sub>
<b>C</b>	425	B	bruin	K <sub>b</sub> W <sub>a</sub> T <sub>b</sub>
<b>D</b>	522	C	bruin	T <sub>c</sub> W <sub>b</sub> T <sub>b</sub>
<b>E</b>	472	C	gemarmerd	K <sub>m</sub> W <sub>b</sub> K <sub>a</sub>
<b>F</b>	653	CB	bruin	T <sub>a</sub> W <sub>a</sub> SW <sub>a</sub> T <sub>a</sub>
<b>G</b>	666	EB	bruin	T <sub>b</sub> W <sub>a</sub> SW <sub>a</sub> T <sub>b</sub>
<b>H</b>	671	EB	bruin	K <sub>b</sub> W <sub>a</sub> SW <sub>a</sub> T <sub>b</sub>

In het verdere verloop van deze eindverhandeling worden de verschillende golfkartonkwaliteiten aangeduid met de letters A, B, C, ... zoals weergegeven in de eerste kolom van tabel 2.

\* : voor verklaring codering zie ook tabel 3b op de volgende pagina.

Tabel 3a vergelijkt de gegevens van de golfkartonleverancier van de geleverde golfkarton kwaliteiten en de gemiddelden van de gemeten waarden in het VerpakkingsCentrum (VC).

**Tabel 3a: Vergelijking specificaties van de verschillende golfkartonkwaliteiten**

Golfkarton kwaliteit	Gegevens golfkartonleverancier		Gemiddelde gemeten waarden VC	
	Gramgewicht (g/m <sup>2</sup> )	Dikte (mm)	Gramgewicht (g/m <sup>2</sup> )	Dikte (mm)
A	390	2,82	384	2,73
B	420	2,83	405	2,75
C	425	2,84	419	2,68
D	522	4,10	509	4,03
E	472	4,03	464	3,96
F	653	6,49	630	6,38
G	666	5,11	662	5,10
H	671	4,15	662	4,11

Tabel 3b vergelijkt zowel de gramgewichten van de gebruikte papersoorten zoals gespecificeerd van de golfkarton leverancier als de gemiddelde gemeten waarden in het Verpakkings-Centrum (voor de verschillende gebruikte golfkartonkwaliteiten).

**Tabel 3b: Vergelijking van de gramgewichten van de verschillende papersoorten voor de verschillende golfkartonkwaliteiten**

Codering	Papiersoort	Gramgewicht (g/m <sup>2</sup> )	
		Golfkartonleverancier	VC (gemiddelde)
T <sub>a</sub>	Testliner	120	123
T <sub>b</sub>	Testliner	135	130
T <sub>c</sub>	Testliner	180	174
K <sub>a</sub>	Kraft	125	138
K <sub>b</sub>	Kraft	140	144
K <sub>m</sub>	Gemarmerde kraft	140	148
W <sub>a</sub>	Wellenstof	105	109
W <sub>b</sub>	Wellenstof	135	143
S	Schrenz	100	106

De gemeten gramgewicht-waarden (VC) benaderen deze van de gegeven waarden, naar alle waarschijnlijkheid zijn de gegeven waarden afgeronde gemiddelde waarden.



Voorbeeld van een codering (zie tabel 2 pag. 35):

$T_b W_a S W_a T_b$  is opgebouwd uit:

Toplaag:	$T_b$	testliner	135 g/m <sup>2</sup>
Eerste golf (C):	$W_a$	wellenstof	105 g/m <sup>2</sup>
Middenlaag:	S	schrenz	100 g/m <sup>2</sup>
Tweede golf:	$W_a$	wellenstof	105 g/m <sup>2</sup>
Binnenste laag:	$T_b$	testliner	135 g/m <sup>2</sup>

Zie bijlagen voor technische fiches van de verschillende papiersoorten (Bijlage A).

Tabel 4 toont de buitenafmetingen van de verschillende geteste golfkartonnen dozen.

**Tabel 4: De buitenafmetingen van de verschillende geteste golfkartonnen dozen**

Golfkartonkwaliteit	Lengte (mm)	Breedte (mm)	Hoogte (mm)	Omtrek (mm)
A	538	281	271	1638
B	484	316	275	1182
C	333	224	177	1114
D	346	291	105	1274
E	581	374	317	1910
F	293	253	293	1186
G	543	314	282	1714
H	405	262	312	1334

## 3 Resultaten

### 3.1 Uitleg statistische verwerking van de meetresultaten

Bij de meetresultaten van de ECT-metingen staan in de tabel statistische gegevens over de metingen vermeld. De meetwaarden zijn ook grafisch uitgezet m.b.v. een boxplot. Hieronder worden de gebruikte statistische bewerkingen uitgelegd.

#### 3.1.1 Gemiddelde

Het gemiddelde ( $\bar{x}$ ) is de som van de metingen gedeeld door het aantal metingen (n).

#### 3.1.2 Standaard afwijking

Bij een steekproef met n waarnemingen en gemiddelde is de **variantie** gelijk aan:

$$s^2 = (1/n-1) \sum (x_i - \bar{x})$$

De **standaard afwijking (s)** is de vierkantswortel van de variantie  $s^2$ .

Met de standaard afwijking kunnen er ook betrouwbaarheidsintervallen opgesteld worden (zie hiervoor figuren 40 e.v.). Een betrouwbaarheidsinterval geeft de mogelijke fout aan van een meting /reeks metingen.

De betrouwbaarheidsintervallen voor de figuren in deze eindverhandelingen worden berekend a.h.v. volgende formule:

$$s_x = 2.s / (\sqrt{n}) \quad n: \text{aantal metingen} (= 10)$$

#### 3.1.3 Minimum, maximum en range

Het minimum is de laagste waarde van een reeks waarden, het maximum is de hoogste waarde van een reeks waarden. Het verschil (maximum – minimum) is de *range* of spreiding van die reeks meetwaarden.

#### 3.1.4 Mediaan

Bij rangschikking van de meetwaarden van laag naar hoog en bij een oneven aantal metingen in de reeks is de mediaan gelijk aan de middelste meetwaarde, bij een even aantal metingen in een reeks is de mediaan gelijk aan het gemiddelde van de twee middelste gegevens.

#### 3.1.5 Percentielen

Een percentiel is een maat die de plaats bepaalt van een waarde, in verhouding tot de overige gegevens. Bijvoorbeeld: een student haalt op een examen 54 %, deze 54 % zegt

niets over hoe de student presteerde in verhouding tot de andere studenten. Als deze score overeenkomt met het 75<sup>ste</sup> percentiel, dan kan er hieruit worden afgeleid dat dat ongeveer 75 % van de studenten een lagere score had, en 25 % een hogere score.

Een speciaal geval van percentielen zijn de kwartielen: deze komen overeen met het 25<sup>ste</sup>, 50<sup>ste</sup> en 75<sup>ste</sup> percentiel. Deze waarden verdelen de gegevens in vier delen zodat in elk deel ongeveer 25 % van de data zit.

Voor het maken van de boxplot zijn deze kwartielen nodig:

$Q_1$  = eerste kwartiel of 25<sup>ste</sup> percentiel

$Q_2$  = tweede kwartiel of 50<sup>ste</sup> percentiel = mediaan (zie 3.1.4.)

$Q_3$  = derde kwartiel of 75<sup>ste</sup> percentiel

In praktijk worden de kwartielen als volgt berekend:

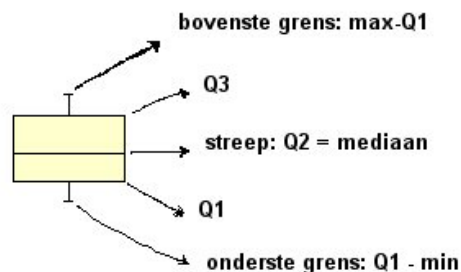
$Q_2$  = mediaan

$Q_1$  = mediaan van de metingen die voor de positie van de mediaan liggen

$Q_3$  = mediaan van de metingen die achter de positie van de mediaan liggen

Voor de boxplot zijn ook nog  $Q_1$  – minimum en maximum –  $Q_3$  nodig voor de grenzen (de staarten) van de meetwaarde aan te duiden.

Voorbeeld van een boxplot:



**Figuur 25** Voorbeeld van een boxplot

De 'buik' (de twee gele gedeelten) bevat ongeveer 50 % van de metingen rond de mediaan.

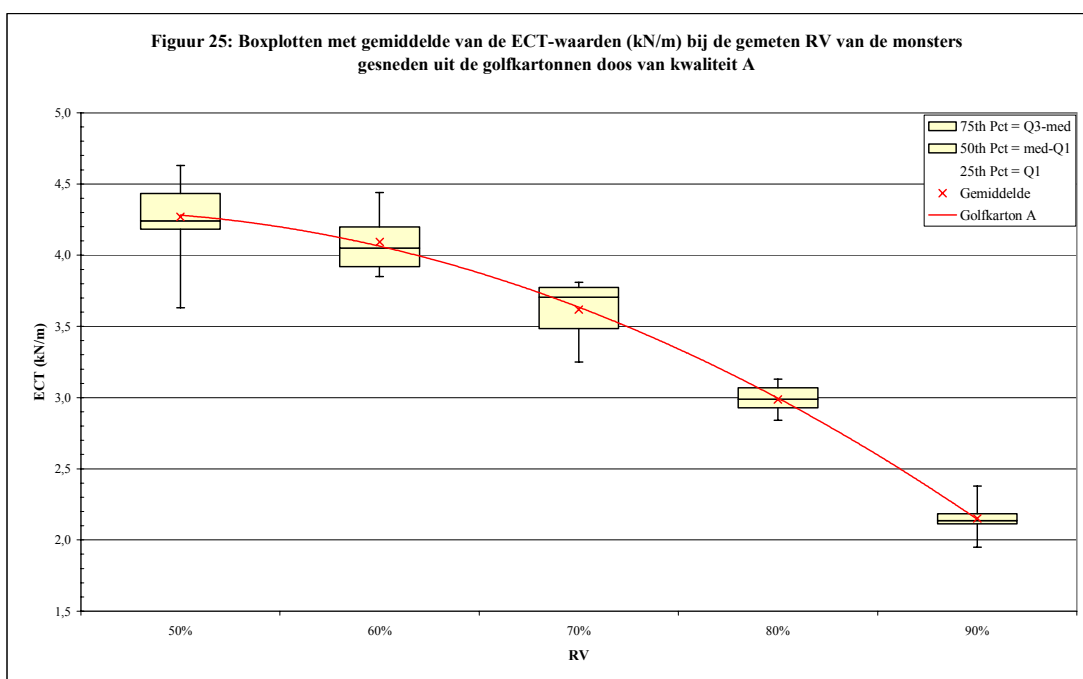
### **3.2 Meetresultaten van de ECT-proeven**

Hieronder staan alle meetresultaten vermeld in tabellen, de meetwaarden worden ook grafisch weergegeven (boxplot en gemiddelde compressiesterkte afname (rode lijn)). In de tabellen staan ook de statistische verwerking van de gegevens, voor meer uitleg van de gebruikte statistische gegevens zie 3.1 pag. 38.

De verschillende ECT-stalen zijn genomen uit zowel plano golfkarton als de golfkartonnen dozen van de verschillende golfkartonkwaliteiten.

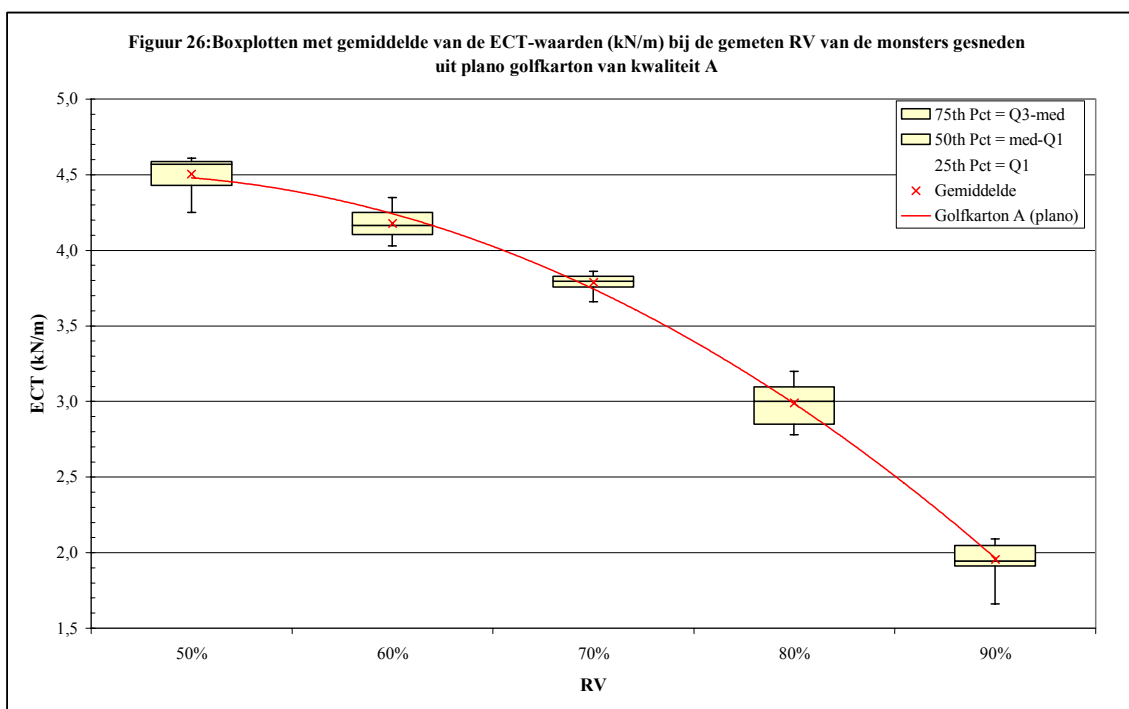
3.2.1 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit A**Tabel 5: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doors A**

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,63	4,41	3,44	2,98	2,38
2	4,57	4,06	3,32	3,07	1,99
3	4,44	4,21	3,25	3,13	2,12
4	4,16	4,04	3,78	3,09	2,12
5	4,22	4,16	3,81	2,84	1,95
6	3,63	3,85	3,74	3,00	2,15
7	4,18	3,98	3,75	2,84	2,19
8	4,26	3,90	3,62	2,95	2,34
9	4,19	3,88	3,67	2,92	2,17
10	4,41	4,44	3,80	3,06	2,11
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,27</b>	<b>4,09</b>	<b>3,62</b>	<b>2,99</b>	<b>2,15</b>
Stand. afw.	0,28	0,21	0,21	0,10	0,13
Minimum	3,63	3,85	3,25	2,84	1,95
Maximum	4,63	4,44	3,81	3,13	2,38
Range	1,00	0,59	0,56	0,29	0,43
Mediaan = Q2	4,24	4,05	3,70	2,99	2,13
Q1 = 25th Pct	4,18	3,92	3,48	2,93	2,11
Q3	4,43	4,20	3,77	3,07	2,18
50th Pct = med-Q1	0,06	0,13	0,22	0,06	0,02
75th Pct = Q3-med	0,19	0,15	0,07	0,08	0,05
Q1 - Min	0,55	0,07	0,23	0,09	0,16
Max - Q3	0,20	0,24	0,04	0,06	0,19



Tabel 6: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton A

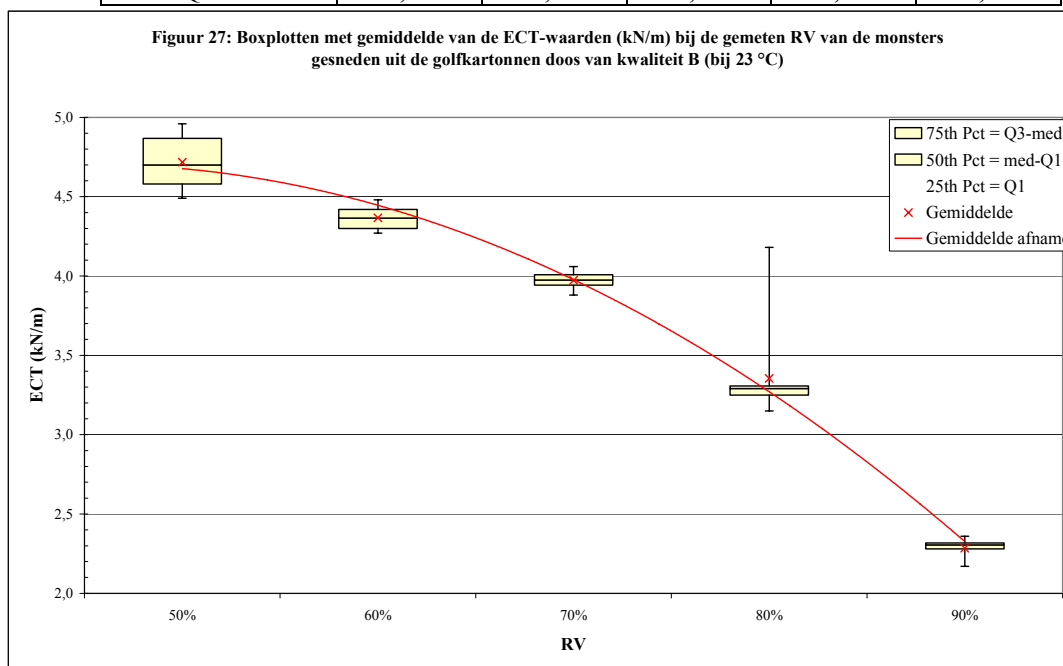
Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,60	4,12	3,83	2,94	1,66
2	4,25	4,03	3,82	2,82	1,89
3	4,59	4,17	3,75	2,79	1,97
4	4,57	4,35	3,86	2,78	1,92
5	4,42	4,25	3,79	3,20	1,92
6	4,46	4,25	3,66	2,97	1,91
7	4,58	4,16	3,74	3,03	2,04
8	4,40	4,06	3,85	3,20	2,09
9	4,61	4,28	3,78	3,10	2,09
10	4,57	4,10	3,80	3,09	2,05
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,51</b>	<b>4,18</b>	<b>3,79</b>	<b>2,99</b>	<b>1,95</b>
Stand. afw.	0,12	0,10	0,06	0,16	0,13
Minimum	4,25	4,03	3,66	2,78	1,66
Maximum	4,61	4,35	3,86	3,20	2,09
Range	0,36	0,32	0,20	0,42	0,43
Mediaan = Q2	4,57	4,17	3,80	3,00	1,95
Q3	4,59	4,25	3,83	3,10	2,05
25th Pct = Q1	4,43	4,10	3,76	2,85	1,91
50th Pct = med-Q1	0,14	0,06	0,04	0,15	0,03
75th Pct = Q3-med	0,02	0,08	0,03	0,10	0,10
Q1 - Min	0,18	0,07	0,10	0,07	0,25
Max - Q3	0,02	0,10	0,03	0,10	0,04



## 3.2.2 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit B

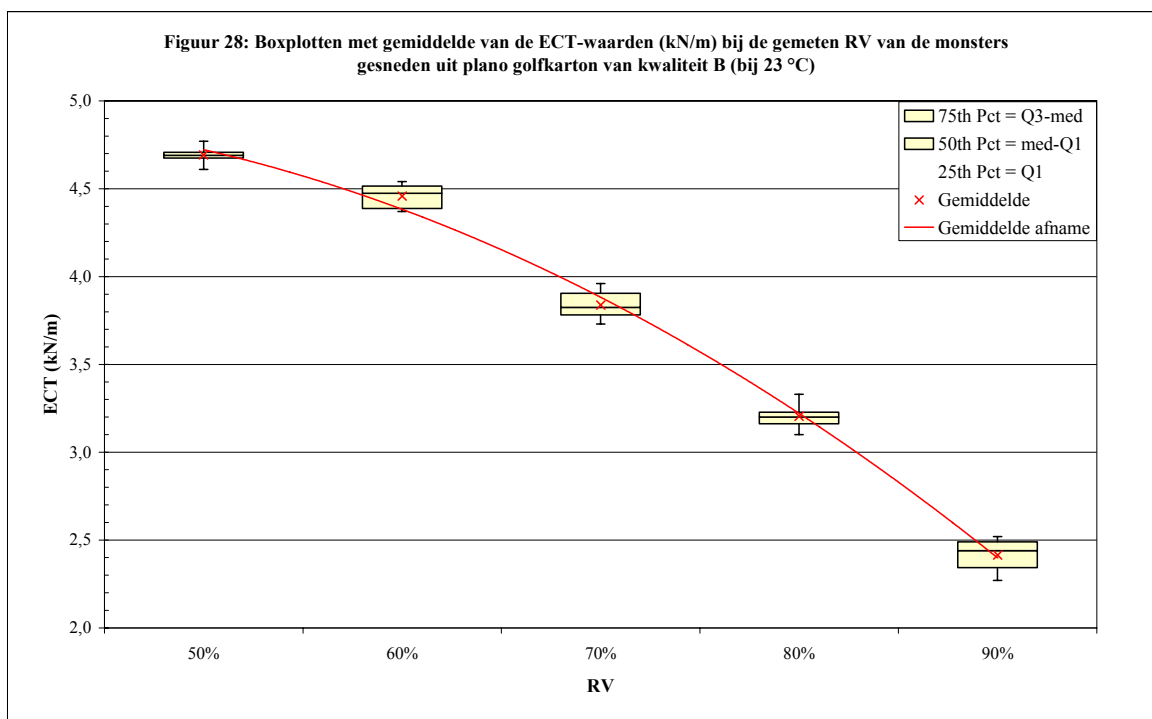
Tabel 7: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos B

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,96	4,48	3,99	3,30	2,17
2	4,93	4,29	3,96	3,24	2,17
3	4,49	4,44	4,04	3,15	2,31
4	4,90	4,42	3,90	4,18	2,28
5	4,56	4,42	4,06	3,16	2,30
6	4,77	4,38	3,88	3,28	2,28
7	4,64	4,35	3,94	3,30	2,35
8	4,52	4,27	4,01	3,28	2,31
9	4,74	4,29	4,00	3,35	2,36
10	4,66	4,33	3,95	3,31	2,32
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,72</b>	<b>4,37</b>	<b>3,97</b>	<b>3,35</b>	<b>2,28</b>
Stand. afw.	0,17	0,07	0,06	0,30	0,07
Minimum	4,49	4,27	3,88	3,15	2,17
Maximum	4,96	4,48	4,06	4,18	2,36
Range	0,47	0,21	0,18	1,03	0,19
Mediaan = Q2	4,70	4,36	3,97	3,29	2,30
Q3	4,87	4,42	4,01	3,31	2,32
25th Pct = Q1	4,58	4,30	3,94	3,25	2,28
50th Pct = med-Q1	0,12	0,06	0,03	0,04	0,02
75th Pct = Q3-med	0,17	0,05	0,03	0,09	0,01
Q1 - Min	0,09	0,03	0,06	0,10	0,11
Max - Q3	0,09	0,06	0,05	0,87	0,04



Tabel 8: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton B

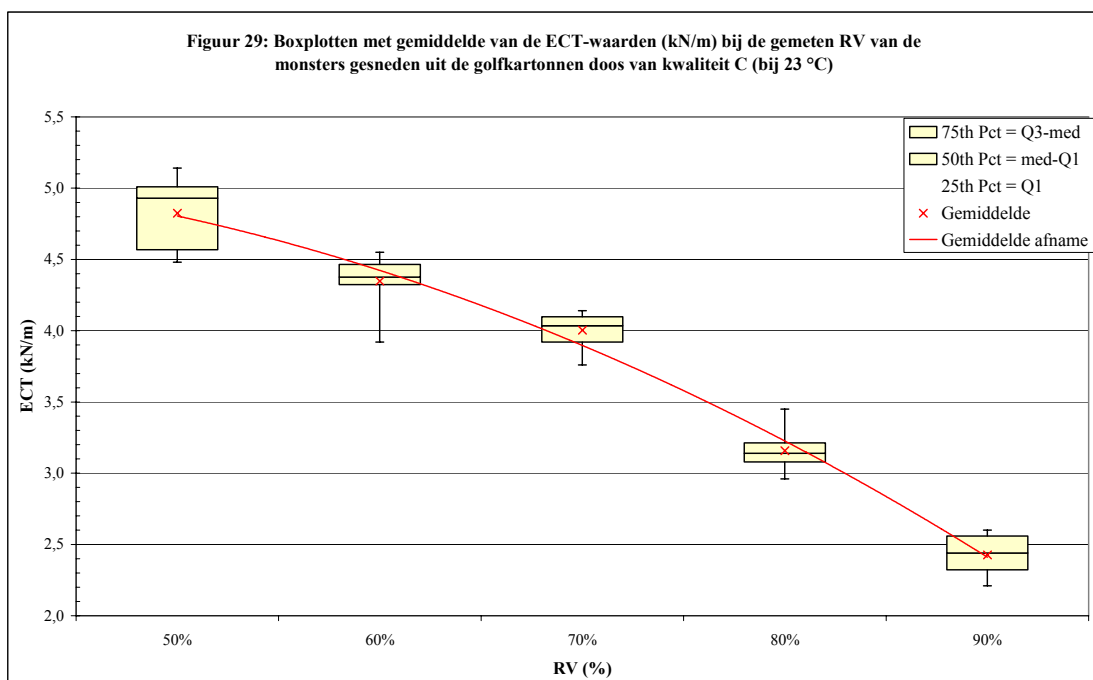
Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,69	4,53	3,73	3,17	2,27
2	4,69	4,50	3,75	3,15	2,33
3	4,67	4,38	3,85	3,20	2,28
4	4,72	4,46	3,78	3,20	2,38
5	4,69	4,37	3,92	3,10	2,44
6	4,71	4,54	3,80	3,16	2,44
7	4,61	4,41	3,91	3,22	2,52
8	4,77	4,49	3,79	3,23	2,46
9	4,67	4,38	3,89	3,29	2,52
10	4,70	4,52	3,96	3,33	2,50
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,69</b>	<b>4,46</b>	<b>3,84</b>	<b>3,21</b>	<b>2,41</b>
stand. afw.	0,04	0,07	0,08	0,07	0,09
Minimum	4,61	4,37	3,73	3,10	2,27
Maximum	4,77	4,54	3,96	3,33	2,52
Range	0,16	0,17	0,23	0,23	0,25
Mediaan = Q2	4,69	4,47	3,82	3,20	2,44
Q3	4,71	4,51	3,90	3,23	2,49
25th Pct = Q1	4,67	4,39	3,78	3,16	2,34
50th Pct = med-Q1	0,01	0,09	0,04	0,04	0,10
75th Pct = Q3-med	0,02	0,04	0,08	0,03	0,05
Q1 - Min	0,06	0,02	0,05	0,06	0,07
Max - Q3	0,06	0,02	0,05	0,10	0,03



## 3.2.3 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit C

Tabel 9: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos C

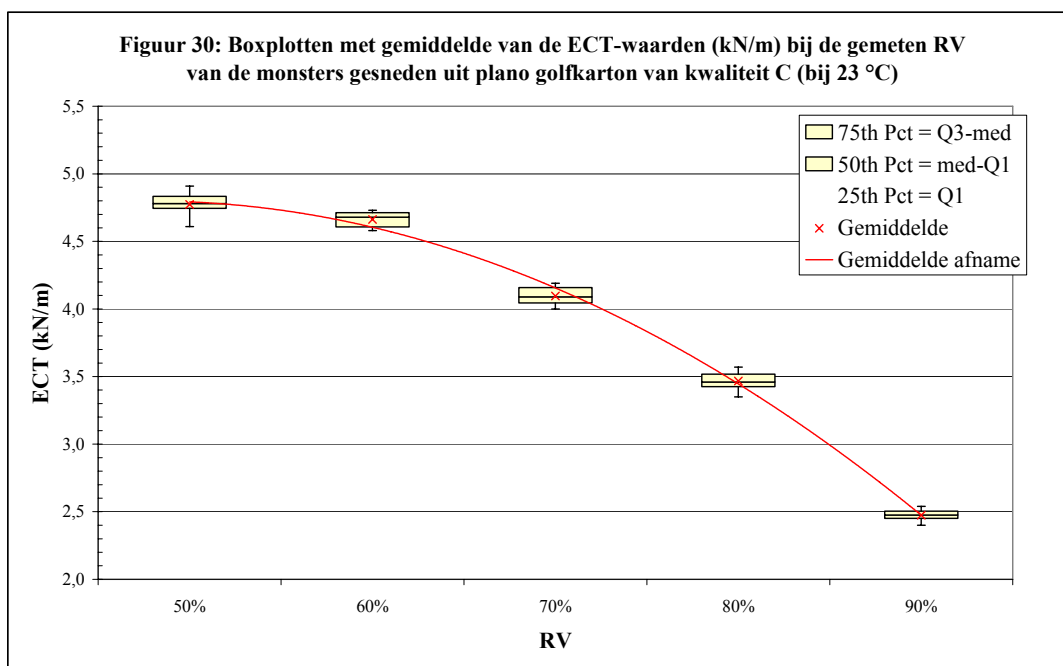
Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,65	4,38	4,14	3,07	2,21
2	5,14	4,16	3,95	3,22	2,21
3	4,94	3,92	4,10	2,96	2,44
4	4,48	4,49	4,09	3,23	2,39
5	4,95	4,55	4,08	3,45	2,56
6	5,03	4,31	3,90	3,19	2,44
7	4,92	4,55	3,76	3,12	2,30
8	5,06	4,37	4,11	3,11	2,60
9	4,53	4,39	3,99	3,07	2,56
10	4,54	4,36	3,91	3,16	2,56
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,82</b>	<b>4,35</b>	<b>4,00</b>	<b>3,16</b>	<b>2,43</b>
Stand. afw.	0,25	0,19	0,12	0,13	0,15
Minimum	4,48	3,92	3,76	2,96	2,21
Maximum	5,14	4,55	4,14	3,45	2,60
Range	0,66	0,63	0,38	0,49	0,39
Mediaan = Q2	4,93	4,38	4,04	3,14	2,44
Q3	5,01	4,46	4,10	3,21	2,56
25th Pct = Q1	4,57	4,32	3,92	3,08	2,32
50th Pct = med-Q1	0,36	0,05	0,11	0,06	0,12
75th Pct = Q3-med	0,08	0,09	0,06	0,07	0,12
Q1 - Min	0,09	0,40	0,16	0,12	0,11
Max - Q3	0,13	0,08	0,04	0,24	0,04





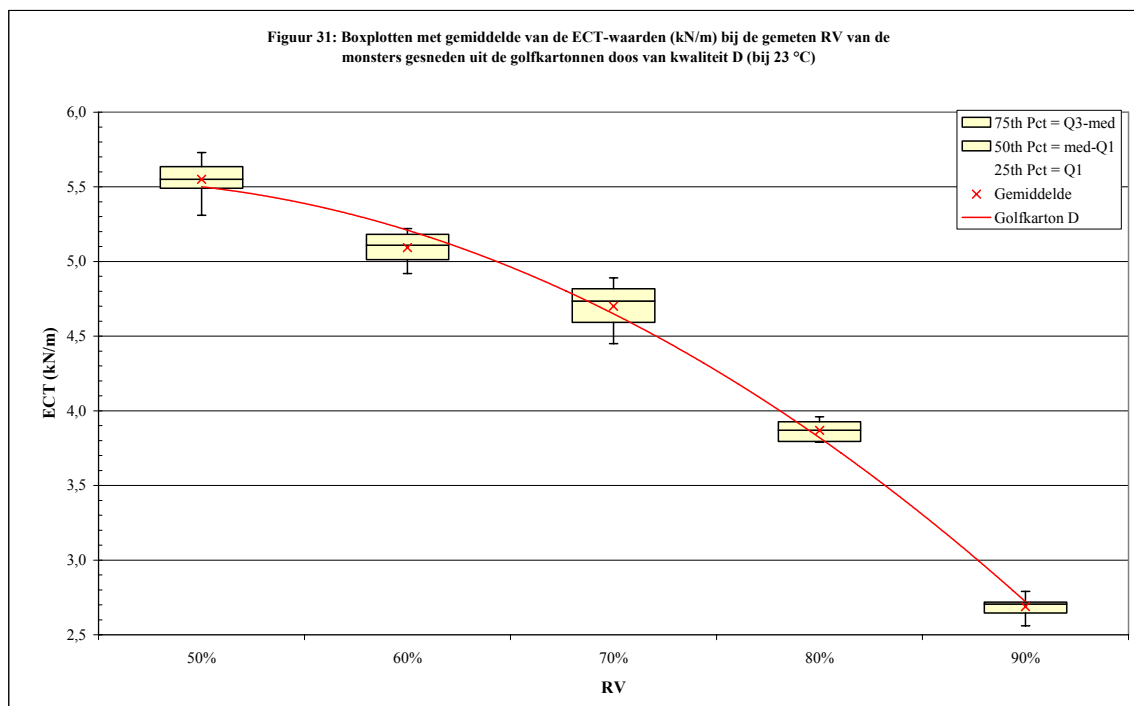
**Tabel 10: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton C**

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,81	4,58	4,04	3,35	2,45
2	4,76	4,59	4,07	3,42	2,42
3	4,78	4,66	4,06	3,51	2,54
4	4,74	4,68	4,01	3,46	2,45
5	4,91	4,68	4,17	3,44	2,40
6	4,61	4,58	4,19	3,52	2,51
7	4,86	4,72	4,11	3,55	2,53
8	4,78	4,73	4,15	3,46	2,49
9	4,84	4,69	4,16	3,57	2,47
10	4,64	4,72	4,00	3,39	2,48
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,77</b>	<b>4,66</b>	<b>4,10</b>	<b>3,47</b>	<b>2,47</b>
stand. afw.	0,09	0,06	0,07	0,07	0,05
Minimum	4,61	4,58	4,00	3,35	2,40
Maximum	4,91	4,73	4,19	3,57	2,54
Range	0,3	0,15	0,19	0,22	0,14
Mediaan = Q2	4,78	4,68	4,09	3,46	2,48
Q3	4,83	4,71	4,16	3,52	2,50
25th Pct = Q1	4,74	4,61	4,04	3,42	2,45
50th Pct = med-Q1	0,03	0,07	0,04	0,03	0,02
75th Pct = Q3-med	0,05	0,03	0,07	0,06	0,03
Q1 - Min	0,13	0,03	0,04	0,07	0,05
Max - Q3	0,08	0,02	0,03	0,05	0,03



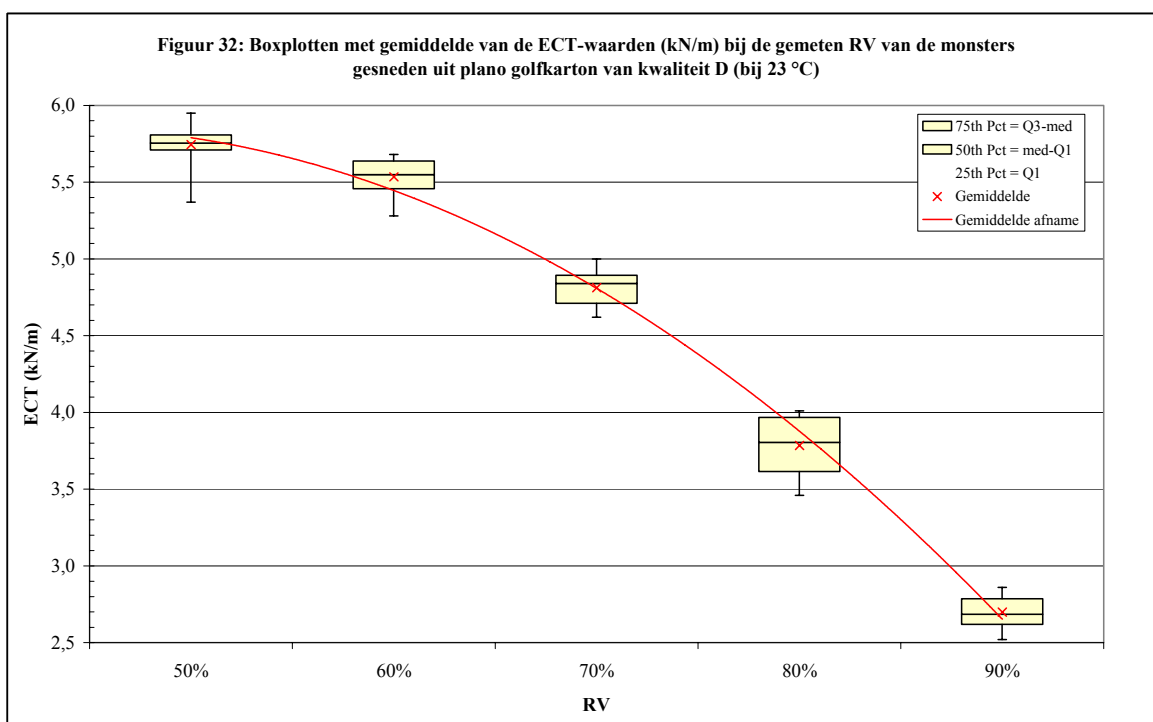
3.2.4 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit D**Tabel 11: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos D**

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	5,62	5,16	4,45	3,79	2,66
2	5,52	5,11	4,49	3,79	2,71
3	5,48	5,19	4,82	3,82	2,63
4	5,70	5,19	4,81	3,93	2,70
5	5,55	5,22	4,69	3,96	2,72
6	5,55	5,11	4,76	3,79	2,79
7	5,64	4,92	4,56	3,92	2,56
8	5,73	4,98	4,82	3,81	2,64
9	5,31	5,00	4,89	3,92	2,71
10	5,40	5,05	4,71	3,96	2,76
<b>Gemiddelde</b>	<b>5,55</b>	<b>5,09</b>	<b>4,70</b>	<b>3,87</b>	<b>2,69</b>
Stand. afw.	0,13	0,10	0,15	0,07	0,07
Minimum	5,31	4,92	4,45	3,79	2,56
Maximum	5,73	5,22	4,89	3,96	2,79
Range	0,42	0,30	0,44	0,17	0,23
Mediaan = Q2	5,55	5,11	4,73	3,87	2,70
Q3	5,63	5,18	4,82	3,93	2,72
25th Pct = Q1	5,49	5,01	4,59	3,79	2,64
50th Pct = med-Q1	0,06	0,10	0,14	0,07	0,06
75th Pct = Q3-med	0,08	0,07	0,08	0,06	0,01
Q1 - Min	0,18	0,09	0,14	0,01	0,08
Max - Q3	0,09	0,04	0,07	0,03	0,07



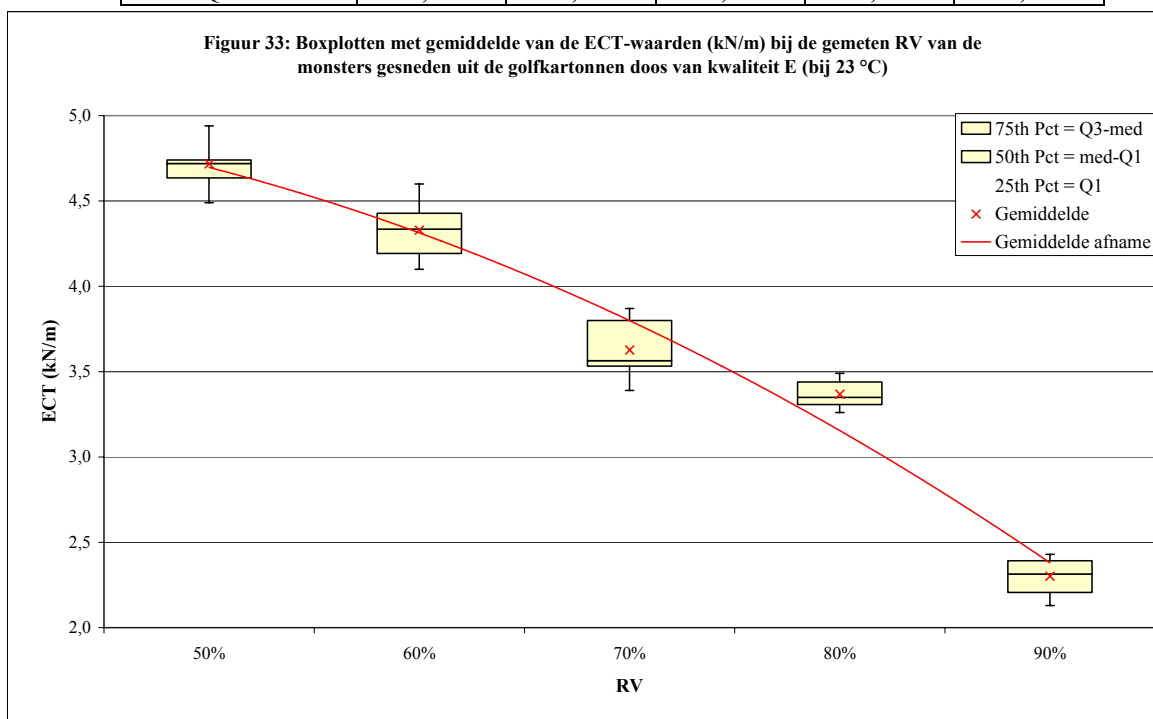
Tabel 12: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton D

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	5,37	5,42	4,64	3,55	2,60
2	5,95	5,48	4,95	3,57	2,52
3	5,74	5,57	4,69	3,46	2,69
4	5,68	5,53	4,62	3,77	2,60
5	5,74	5,28	4,77	4,01	2,68
6	5,70	5,64	4,90	3,75	2,68
7	5,80	5,66	4,83	3,84	2,80
8	5,81	5,45	5,00	3,90	2,86
9	5,77	5,68	4,85	4,01	2,77
10	5,89	5,63	4,87	3,99	2,79
<b>Gemiddelde</b>	<b>5,75</b>	<b>5,53</b>	<b>4,81</b>	<b>3,79</b>	<b>2,70</b>
stand. afw.	0,16	0,13	0,13	0,20	0,11
Minimum	5,37	5,28	4,62	3,46	2,52
Maximum	5,95	5,68	5,00	4,01	2,86
Range	0,58	0,40	0,38	0,55	0,34
Mediaan = Q2	5,76	5,55	4,84	3,81	2,69
Q3	5,81	5,64	4,89	3,97	2,78
25th Pct = Q1	5,71	5,46	4,71	3,61	2,62
50th Pct = med-Q1	0,04	0,09	0,13	0,19	0,06
75th Pct = Q3-med	0,05	0,09	0,05	0,16	0,10
Q1 - Min	0,34	0,18	0,09	0,15	0,10
Max - Q3	0,14	0,04	0,11	0,04	0,07



3.2.5 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit E (geen plano golfkarton)**Tabel 13: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos E**

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	4,62	4,44	3,87	3,26	2,29
2	4,90	4,32	3,54	3,37	2,19
3	4,62	4,33	3,55	3,33	2,37
4	4,74	4,34	3,85	3,30	2,40
5	4,49	4,60	3,85	3,44	2,34
6	4,68	4,15	3,53	3,44	2,42
7	4,74	4,39	3,46	3,33	2,19
8	4,94	4,47	3,58	3,49	2,43
9	4,71	4,15	3,65	3,28	2,26
10	4,73	4,10	3,39	3,44	2,13
<b>Gemiddelde</b>	<b>4,72</b>	<b>4,33</b>	<b>3,63</b>	<b>3,37</b>	<b>2,30</b>
Stand. afw.	0,13	0,16	0,17	0,08	0,11
Minimum	4,49	4,10	3,39	3,26	2,13
Maximum	4,94	4,60	3,87	3,49	2,43
Range	0,45	0,50	0,48	0,23	0,30
Mediaan = Q2	4,72	4,33	3,56	3,35	2,31
Q3	4,74	4,43	3,80	3,44	2,39
25th Pct = Q1	4,63	4,19	3,53	3,31	2,21
50th Pct = med-Q1	0,08	0,14	0,03	0,04	0,11
75th Pct = Q3-med	0,02	0,09	0,23	0,09	0,08
Q1 - Min	0,14	0,09	0,14	0,05	0,08
Max - Q3	0,20	0,17	0,07	0,05	0,04

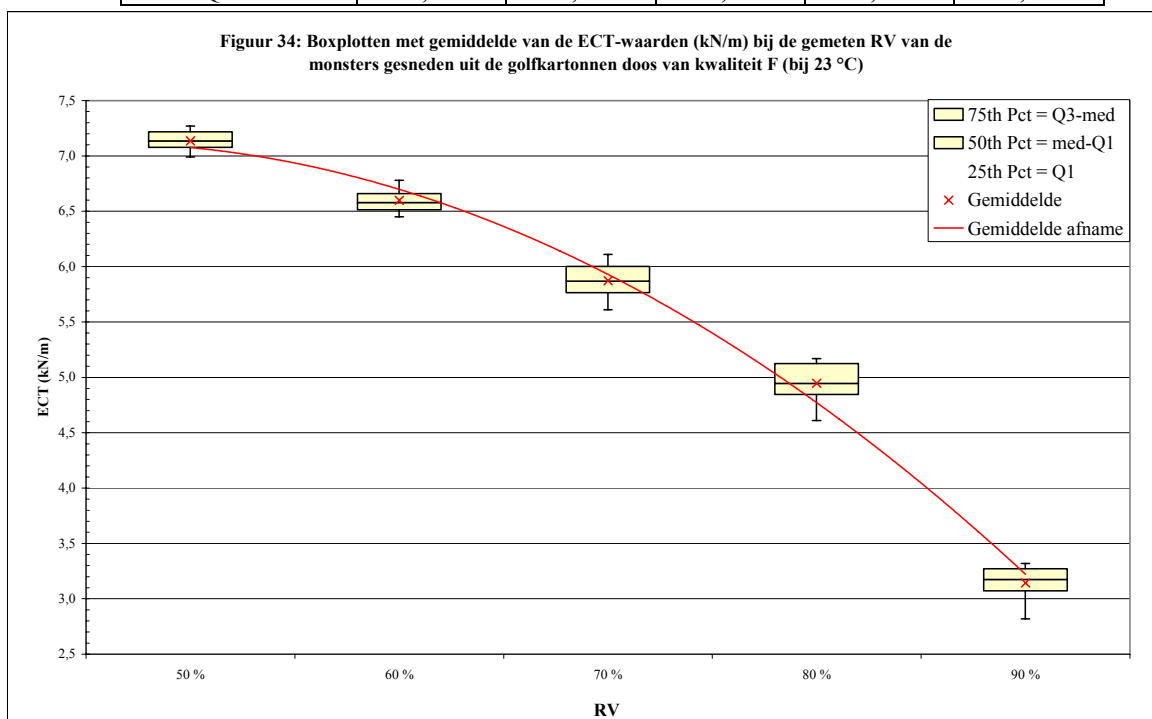


## 3.2.6 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit F

Tabel 14: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos F

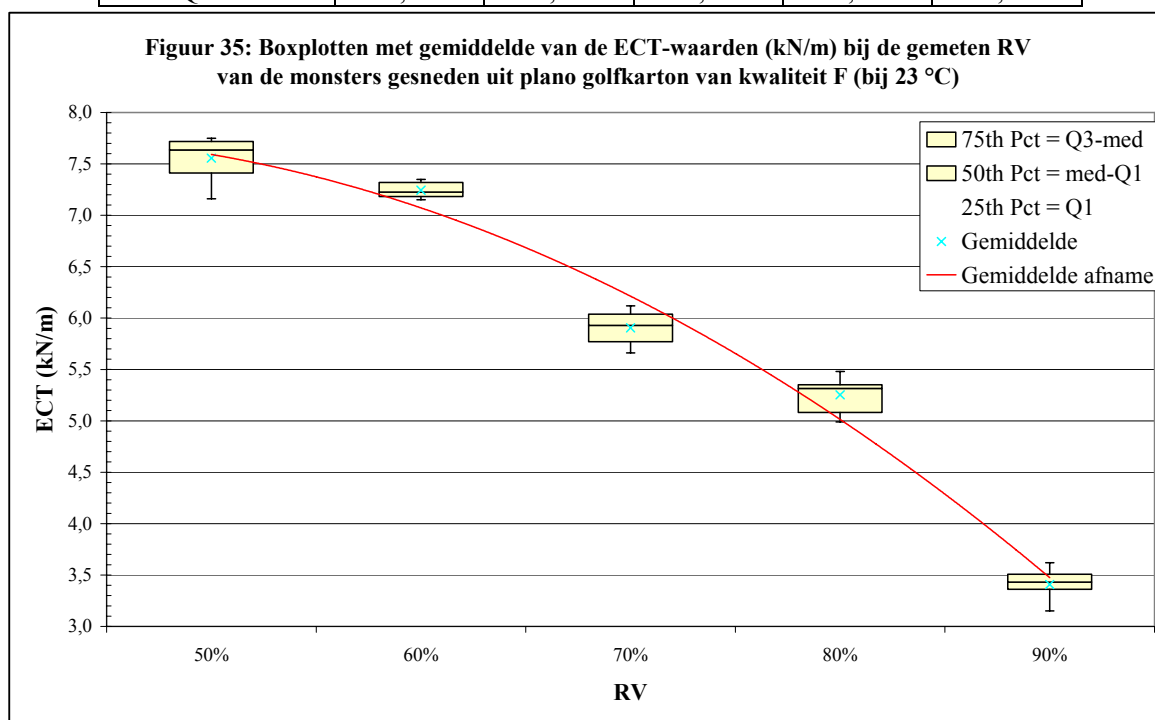
Meting \ RV	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
1	7,27	6,51	5,81	4,70	3,07
2	7,24	6,45	6,01	4,82	2,99
3	7,23	6,48	5,68	5,16	3,28
4	7,18	6,66	5,61	5,15	3,24
5	7,17	6,76	6,11	4,61	3,15
6	7,10	6,54	5,98	4,92	2,82
7	7,10	6,62	5,81	5,05	3,20
8	7,07	6,78	5,93	4,94	3,08
9	7,00	6,52	6,04	5,17	3,28
10	6,99	6,66	5,75	4,95	3,32
<b>Gemiddelde</b>	<b>7,14</b>	<b>6,60</b>	<b>5,87</b>	<b>4,95</b>	<b>3,14</b>
Stand. afw.	0,10	0,12	0,17	0,19	0,16
Minimum	6,99	6,45	5,61	4,61	2,82
Maximum	7,27	6,78	6,11	5,17	3,32
Range	0,28	0,33	0,50	0,56	0,50
Mediaan = Q2	7,13	6,58	5,87	4,94	3,17
Q3	7,22	6,66	6,00	5,12	3,27
25th Pct = Q1	7,08	6,51	5,76	4,84	3,07
50th Pct = med-Q1	0,06	0,07	0,10	0,10	0,10
75th Pct = Q3-med	0,08	0,08	0,13	0,18	0,09
Q1 - Min	0,09	0,06	0,15	0,23	0,25
Max - Q3	0,05	0,12	0,11	0,04	0,05

Figuur 34: Boxplotten met gemiddelde van de ECT-waarden (kN/m) bij de gemeten RV van de monsters gesneden uit de golfkartonnen doos van kwaliteit F (bij 23 °C)



**Tabel 15: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton F**

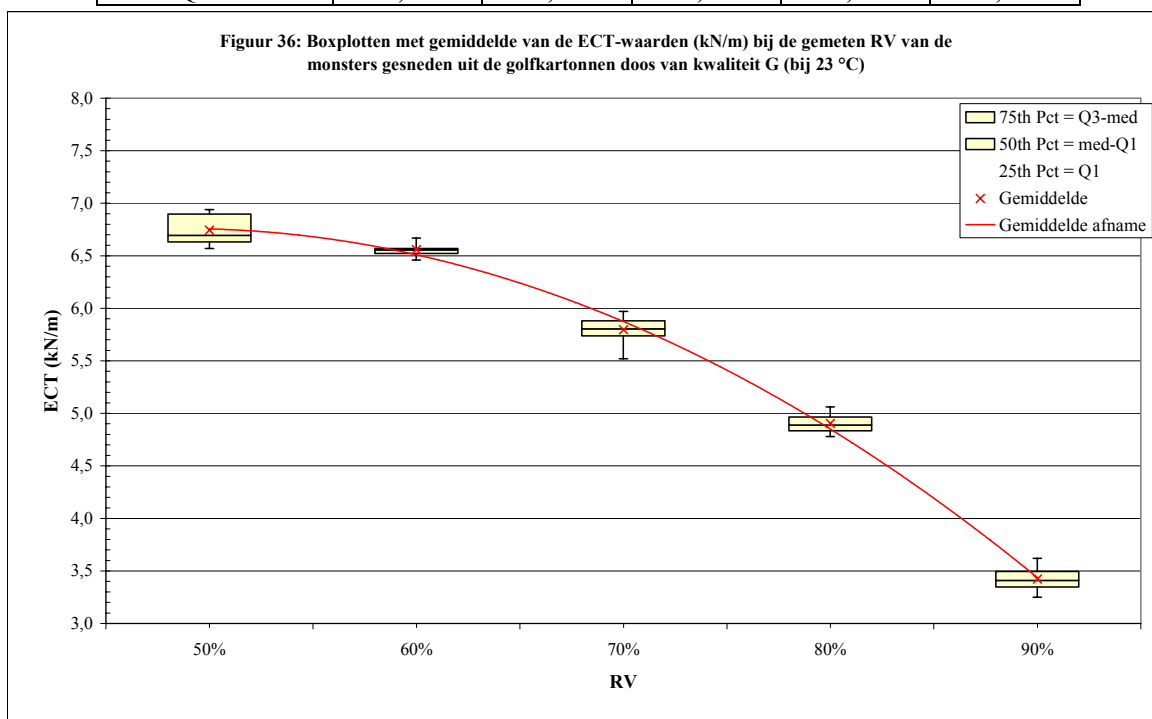
Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	7,26	7,34	5,66	5,06	3,15
2	7,75	7,18	6,04	5,07	3,35
3	7,16	7,35	6,03	5,32	3,15
4	7,71	7,15	5,94	5,48	3,39
5	7,72	7,19	6,09	4,99	3,58
6	7,35	7,17	5,66	5,31	3,44
7	7,75	7,33	5,83	5,35	3,43
8	7,62	7,25	5,75	5,35	3,53
9	7,65	7,20	6,12	5,12	3,62
10	7,60	7,29	5,92	5,48	3,43
<b>Gemiddelde</b>	<b>7,56</b>	<b>7,25</b>	<b>5,90</b>	<b>5,25</b>	<b>3,41</b>
stand. afw.	0,22	0,08	0,17	0,18	0,16
Minimum	7,16	7,15	5,66	4,99	3,15
Maximum	7,75	7,35	6,12	5,48	3,62
Range	0,59	0,20	0,46	0,49	0,47
Mediaan = Q2	7,64	7,23	5,93	5,32	3,43
Q3	7,72	7,32	6,04	5,35	3,51
25th Pct = Q1	7,41	7,18	5,77	5,08	3,36
50th Pct = med-Q1	0,22	0,04	0,16	0,23	0,07
75th Pct = Q3-med	0,08	0,09	0,11	0,03	0,08
Q1 - Min	0,25	0,03	0,11	0,09	0,21
Max - Q3	0,03	0,03	0,08	0,13	0,11



## 3.2.7 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit G

Tabel 16: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos G

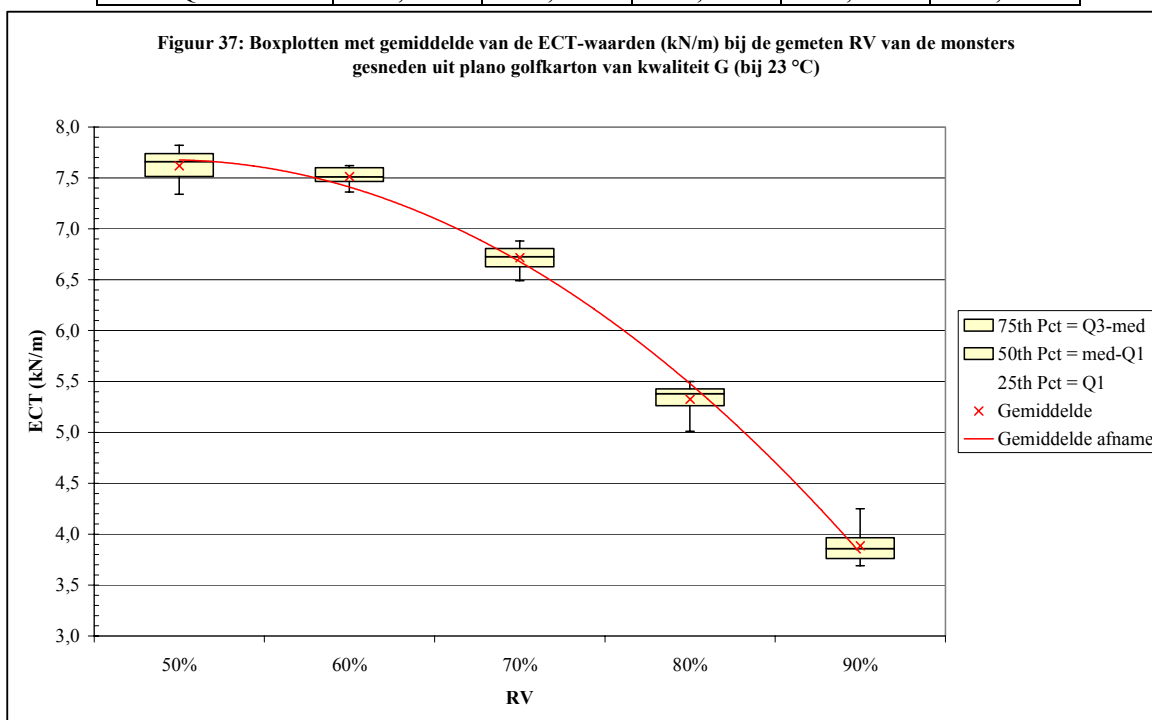
Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	6,75	6,57	5,80	4,92	3,33
2	6,92	6,52	5,85	4,92	3,31
3	6,64	6,53	5,52	4,78	3,25
4	6,91	6,46	5,81	5,06	3,41
5	6,64	6,56	5,72	5,03	3,48
6	6,63	6,49	5,65	4,82	3,62
7	6,57	6,55	5,97	4,86	3,40
8	6,86	6,67	5,79	4,83	3,41
9	6,58	6,57	5,96	4,85	3,51
10	6,94	6,67	5,89	4,98	3,50
<b>Gemiddelde</b>	<b>6,74</b>	<b>6,56</b>	<b>5,80</b>	<b>4,91</b>	<b>3,42</b>
Stand. afwijking	0,15	0,07	0,14	0,09	0,11
Minimum	6,57	6,46	5,52	4,78	3,25
Maximum	6,94	6,67	5,97	5,06	3,62
Range	0,37	0,21	0,45	0,28	0,37
Mediaan = Q2	6,69	6,55	5,80	4,89	3,41
Q3	6,90	6,57	5,88	4,96	3,49
25th Pct = Q1	6,63	6,52	5,74	4,83	3,34
50th Pct = med-Q1	0,06	0,03	0,07	0,05	0,06
75th Pct = Q3-med	0,20	0,01	0,07	0,07	0,08
Q1 - Min	0,06	0,06	0,22	0,05	0,10
Max - Q3	0,04	0,10	0,09	0,09	0,12



Tabel 17: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton G

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	7,73	7,48	6,85	5,01	3,82
2	7,43	7,46	6,77	5,24	3,69
3	7,62	7,38	6,60	5,43	3,72
4	7,50	7,52	6,88	5,41	3,88
5	7,74	7,60	6,49	5,45	3,74
6	7,74	7,62	6,61	5,42	3,84
7	7,56	7,61	6,82	5,33	3,89
8	7,82	7,36	6,68	5,35	3,99
9	7,34	7,60	6,71	5,11	4,04
10	7,70	7,50	6,74	5,50	4,25
<b>Gemiddelde</b>	<b>7,62</b>	<b>7,51</b>	<b>6,72</b>	<b>5,33</b>	<b>3,89</b>
stand. afw.	0,16	0,09	0,12	0,16	0,17
Minimum	7,34	7,36	6,49	5,01	3,69
Maximum	7,82	7,62	6,88	5,50	4,25
Range	0,48	0,26	0,39	0,49	0,56
Mediaan = Q2	7,66	7,51	6,73	5,38	3,86
Q3	7,74	7,60	6,81	5,43	3,96
25th Pct = Q1	7,51	7,46	6,63	5,26	3,76
50th Pct = med-Q1	0,14	0,04	0,10	0,12	0,10
75th Pct = Q3-med	0,08	0,09	0,08	0,05	0,10
Q1 - Min	0,17	0,10	0,14	0,25	0,07
Max - Q3	0,08	0,02	0,07	0,07	0,28

Figuur 37: Boxplotten met gemiddelde van de ECT-waarden (kN/m) bij de gemeten RV van de monsters gesneden uit plano golfkarton van kwaliteit G (bij 23 °C)

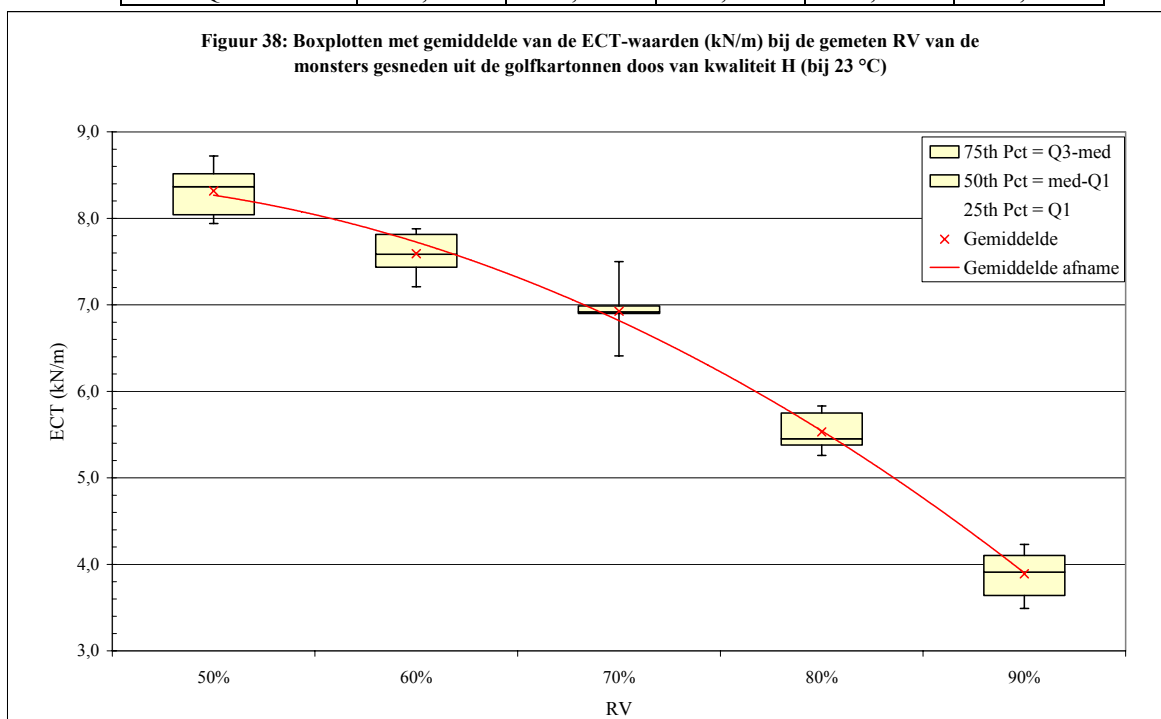




## 3.2.8 ECT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit H

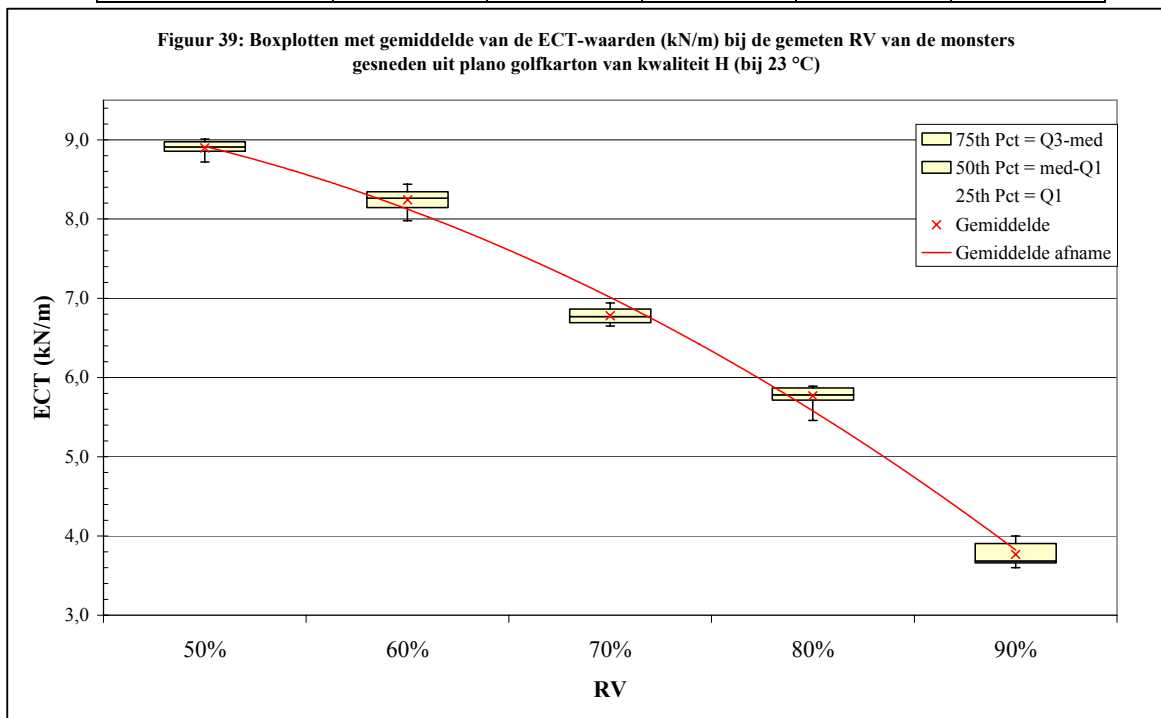
Tabel 18: Meetresultaten (in kN/m) ECT-stalen uit golfkartonnen doos H

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	7,94	7,64	6,41	5,41	3,56
2	7,95	7,86	7,00	5,38	3,49
3	8,37	7,37	6,90	5,35	3,88
4	8,29	7,53	6,93	5,80	3,53
5	7,96	7,21	6,90	5,38	3,94
6	8,41	7,45	6,91	5,26	3,88
7	8,36	7,88	6,71	5,83	4,05
8	8,72	7,68	6,95	5,49	4,12
9	8,55	7,86	7,06	5,79	4,23
10	8,61	7,43	7,50	5,63	4,22
<b>Gemiddelde</b>	<b>8,32</b>	<b>7,59</b>	<b>6,93</b>	<b>5,53</b>	<b>3,89</b>
Stand. afwijking	0,28	0,23	0,27	0,21	0,28
Minimum	7,94	7,21	6,41	5,26	3,49
Maximum	8,72	7,88	7,50	5,83	4,23
Range	0,78	0,67	1,09	0,57	0,74
Mediaan = Q2	8,36	7,58	6,92	5,45	3,91
Q3	8,51	7,81	6,99	5,75	4,10
25th Pct = Q1	8,04	7,43	6,90	5,38	3,64
50th Pct = med-Q1	0,32	0,15	0,02	0,07	0,27
75th Pct = Q3-med	0,15	0,23	0,07	0,30	0,19
Q1 - Min	0,10	0,22	0,49	0,12	0,15
Max - Q3	0,20	0,06	0,51	0,08	0,13



**Tabel 19: Meetresultaten (kN/m) van ECT-stalen uit plano materiaal golfkarton H**

ECT (kN/m)	50%	60%	70%	80%	90%
1	8,88	8,08	6,75	5,71	3,62
2	8,85	8,22	6,69	5,46	3,66
3	8,72	8,25	6,68	5,89	3,86
4	8,98	8,44	6,88	5,82	3,60
5	8,90	7,98	6,94	5,89	3,66
6	8,98	8,12	6,65	5,73	3,66
7	9,01	8,38	6,79	5,86	3,71
8	8,77	8,28	6,70	5,71	3,92
9	8,92	8,35	6,91	5,74	3,99
10	8,96	8,33	6,82	5,87	4,00
<b>Gemiddelde</b>	<b>8,90</b>	<b>8,24</b>	<b>6,78</b>	<b>5,77</b>	<b>3,77</b>
stand. afw.	0,09	0,15	0,10	0,13	0,16
Minimum	8,72	7,98	6,65	5,46	3,60
Maximum	9,01	8,44	6,94	5,89	4,00
Range	0,29	0,46	0,29	0,43	0,40
Mediaan	8,91	8,27	6,77	5,78	3,69
Q3	8,97	8,34	6,86	5,87	3,90
25th Pct = Q1	8,86	8,14	6,69	5,71	3,66
50th Pct = med-Q1	0,05	0,12	0,08	0,06	0,02
75th Pct = Q3-med	0,06	0,08	0,09	0,09	0,22
Q1 - Min	0,14	0,16	0,04	0,25	0,06
Max - Q3	0,03	0,10	0,07	0,02	0,09



### 3.3 Meetresultaten van de BCT-proeven

Hier onder staan alle BCT meetresultaten vermeld in tabellen. In de tabellen staan ook de statistische verwerking van de gegevens, voor meer uitleg van de gebruikte statistische gegevens zie 3.1 pag. 38. Wegens materiaalgebrek zijn er niet altijd vijf metingen bij een bepaalde RV uitgevoerd.

#### 3.3.1 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit A

**Tabel 20: BCT-meetresultaten golfkartonkwaliteit A**

Meting	50%	60%	70%	80%	90%
1	1134,5	1405,5	994,0	868,0	537,0
2	1106,0	1377,0	1206,0	962,0	587,5
3	1104,0	1120,0	1177,0	1031,5	573,0
4	1053,5	1186,0	1141,0	810,5	628,5
5	1246,5	1278,5	1158,0	1004,0	
<b>Gemiddelde</b>	<b>1128,9</b>	<b>1273,4</b>	<b>1135,2</b>	<b>935,2</b>	<b>581,5</b>
Stand. afwijk.	71,9	121,8	82,5	93,3	37,8
Minimum	1053,5	1120,0	994,0	810,5	537,0
Maximum	1246,5	1405,5	1206,0	1031,5	628,5
Range	193,0	285,5	212,0	221,0	91,5
Mediaan	1106,0	1278,5	1158,0	962,0	580,2

#### 3.3.2 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit B

**Tabel 21: BCT-meetresultaten golfkartonkwaliteit B**

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	1666,5	1551,5	1039,5	1376,0	988,5
2	1559,5	1420,0	1194,5	1248,5	1006,5
3	1602,0				
4	1587,5				
5	1619,0				
<b>Gemiddelde</b>	<b>1606,9</b>	<b>1485,8</b>	<b>1117,0</b>	<b>1312,3</b>	<b>997,5</b>
Stand. afwijk.	39,8	93,0	109,6	90,1	12,7
Minimum	1559,5	1420,0	1039,5	1248,5	988,5
Maximum	1666,5	1551,5	1194,5	1376,0	1006,5
Range	107,0	131,5	155,0	127,5	18,0
Mediaan	1602,0	1485,8	1117,0	1312,2	997,5

3.3.3 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit C

Tabel 22: BCT-meetresultaten golfkartonkwaliteit C

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	1575,0	1382,5	1248,0	1191,5	552,0
2	1484,0	1366,5	1256,5	1065,5	695,0
3	1467,0	1545,5	1310,5	1234,0	644,5
4	1442,5	1614,0	1324,0	1055,0	
5					
<b>Gemiddelde</b>	<b>1492,1</b>	<b>1477,1</b>	<b>1284,8</b>	<b>1136,5</b>	<b>630,5</b>
Stand. afwijk.	57,8	121,9	38,1	89,8	72,5
Minimum	1442,5	1366,5	1248,0	1055,0	552,0
Maximum	1575,0	1614,0	1324,0	1234,0	695,0
Range	132,5	247,5	76,0	179,0	143,0
Mediaan	1475,5	1464,0	1283,5	1128,5	644,5

3.3.4 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit D

Tabel 23: BCT-meetresultaten golfkartonkwaliteit D

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	3302,5	2959,5	2497,0	2291,5	1331,5
2	3065,0	2699,5	2525,0	2036,5	1319,0
3	3344,5				
4					
5					
<b>Gemiddelde</b>	<b>3237,3</b>	<b>2829,5</b>	<b>2511,0</b>	<b>2164,0</b>	<b>1325,2</b>
Stand. afwijk.	150,7	183,8	19,8	180,3	8,8
Minimum	3065	2699,5	2497	2036,5	1319,0
Maximum	3344,5	2959,5	2525	2291,5	1331,5
Range	279,5	260,0	28,0	255,0	12,5
Mediaan	3302,5	2829,5	2511,0	2164,0	1325,2

3.3.5 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit E

Tabel 24: BCT-meetresultaten golfkartonkwaliteit E

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	3111,5	2627,5	2560,5	2226,5	1089,5
2	2946,5	2886,0	2558,0	2098,0	1212,0
3	2710,5	2773,0	2505,0	2281,5	1198,5
4	3160,5	2588,5	2601,5	1739,5	1056,0
5					
<b>Gemiddelde</b>	<b>2982,2</b>	<b>2718,7</b>	<b>2556,2</b>	<b>2086,4</b>	<b>1139,0</b>
Stand. afwijk.	203,0	136,9	39,6	243,7	77,9
Minimum	2710,5	2588,5	2505,0	1739,5	1056,0
Maximum	3160,5	2886,0	2601,5	2281,5	1212,0
Range	450,0	297,5	96,5	542,0	156,0
Mediaan	3029,0	2700,2	2559,2	2162,2	1144,0

3.3.6 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit F

Tabel 25: BCT-meetresultaten golfkartonkwaliteit F

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	3239,0	3141,0	2919,0	2368,5	1798,5
2	3542,5	3097,0	2442,5	2245,0	1894,5
3	3537,5	3364,5	2741,5		
4					
<b>Gemiddelde</b>	<b>3439,7</b>	<b>3200,8</b>	<b>2701,0</b>	<b>2306,7</b>	<b>1846,5</b>
Stand. afwijk.	173,8	143,4	240,8	87,3	67,9
Minimum	3239,0	3097,0	2442,5	2245,0	1798,5
Maximum	3542,5	3364,5	2919,0	2368,5	1894,5
Range	303,5	267,5	476,5	123,5	96,0
Mediaan	3537,5	3141,0	2741,5	2306,7	1846,5

3.3.7 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit G

Tabel 26: BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit G

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	3347,0	3157,0	2178,5	2095,5	1490,0
2	3929,5	3269,0	2750,5	2254,5	1665,0
3	5332,0	3316,5	2980,5	2237,0	1339,0
4	3671,0	3176,0	2891,0		
<b>Gemiddelde</b>	<b>4069,9</b>	<b>3229,6</b>	<b>2700,1</b>	<b>2195,7</b>	<b>1498,0</b>
Stand. afwijking	874,5	75,8	360,4	87,2	163,1
Minimum	3347,0	3157,0	2178,5	2095,5	1339,0
Maximum	5332,0	3316,5	2980,5	2254,5	1665,0
Range	1985,0	159,5	802,0	159,0	326,0
Mediaan	3800,3	3222,5	2820,8	2237,0	1490,0

3.3.8 BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit H

Tabel 27: BCT-meetresultaten van golfkartonkwaliteit H

Meting \ RV	50%	60%	70%	80%	90%
1	2557,0	2745,0	2792,5	2082,5	1956,0
2	3167,5	2918,0	2378,5	2131,0	1918,5
3	2914,5	3016,5	2647,5	2004,0	2194,0
4	3206,5	2916,5	2327,0	2041,0	1791,5
<b>Gemiddelde</b>	<b>2961,4</b>	<b>2899,0</b>	<b>2536,4</b>	<b>2064,6</b>	<b>1965,0</b>
Stand. afwijking	299,0	112,8	221,1	54,6	168,1
Minimum	2557,0	2745,0	2327,0	2004,0	1791,5
Maximum	3206,5	3016,5	2792,5	2131,0	2194,0
Range	649,5	271,5	465,5	127,0	402,5
Mediaan	3041,0	2917,3	2513,0	2061,8	1937,3

### 3.4 Resultaten van de ECT-proeven op de monsters van golfkartonnen dozen

Zoals al eerder vermeld zijn de proeven voor de ECT uitgevoerd in geconditioneerde omstandigheden nl. bij 23 °C. De relatieve vochtigheden (%) waarbij de stalen zijn geconditioneerd staan in de tabel vermeld. ECT-waarden uitgedrukt in kN/m

Tabel 28 geeft de gemiddelde ECT-meetwaarden weer van de verschillende golfkartonnen dozen. De waarden binnen de gestreepte lijnen duiden de te vergelijken golfkartonkwaliteiten aan (zie ook tabel 2 pag. 35).

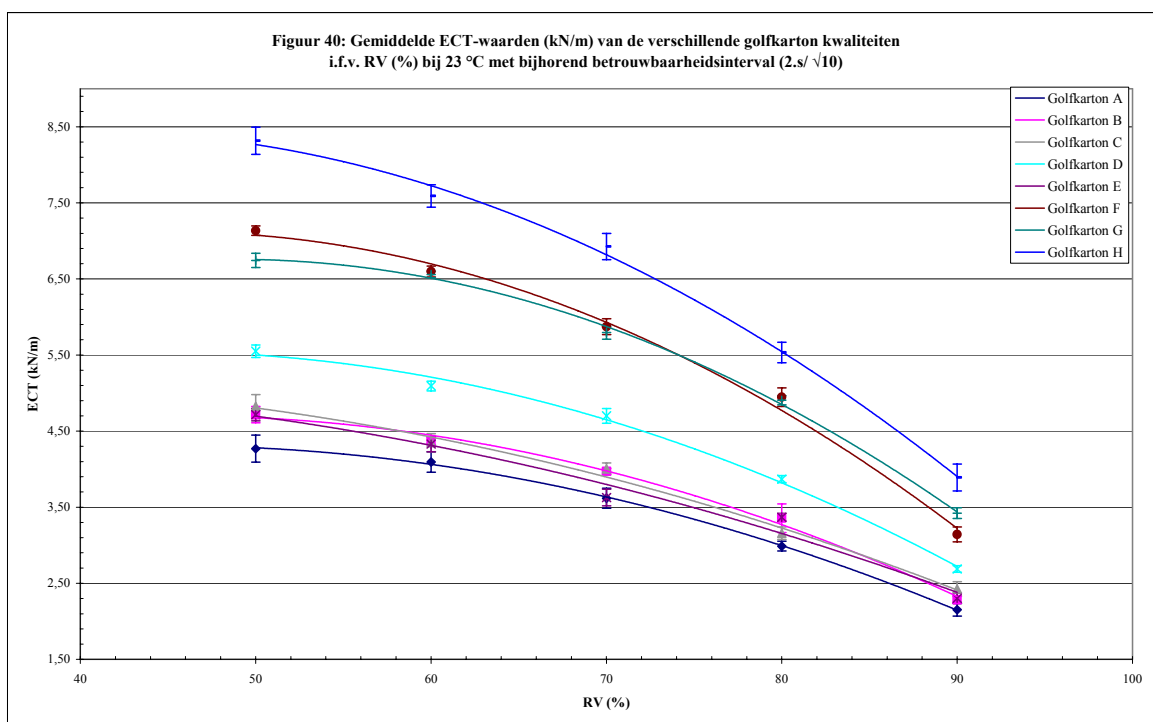
**Tabel 28: Gemiddelde ECT-waarden (kN/m) van de monsters gesneden uit de verschillende golfkartonnen dozen**

RV (%)	Golfkartonkwaliteit							
	A	B	C	D	E	F	G	H
50	4,27	4,72	4,82	5,55	4,72	7,13	6,74	8,32
60	4,09	4,37	4,35	5,09	4,33	6,60	6,56	7,59
70	3,67	3,97	4,00	4,70	3,63	5,87	5,80	6,93
80	2,99	3,35	3,16	3,87	3,37	4,95	4,91	5,53
90	2,15	2,28	2,43	2,60	2,30	3,14	3,42	3,89

Bij elke golfkartonkwaliteit daalt de ECT-waarde bij stijgende RV. Bij 50 % RV variëren de ECT-waarden van 4,27 kN/m tot 8,32 kN/m, terwijl bij 90 % RV de ECT-waarden variëren van 2,15 kN/M tot 3,89 kN/m.

In figuur 40 (zie volgende pagina) worden de bovenstaande meetwaarden grafisch uitgezet met bijbehorend betrouwbaarheidsinterval (tweemaal de standaardafwijking<sup>12</sup> gedeeld door wortel 10 (10 is het aantal metingen van elk golfkartonkwaliteit per RV)). Bij 50 % RV is er een grotere spreiding van de waarden van de verschillende golfkartonkwaliteiten dan bij 90 % RV. Figuur 40 laat ook zien dat er eigenlijk drie groepen van golfkartonkwaliteiten zijn: golfkartonkwaliteiten A, B, C en E liggen vrij dicht bij elkaar (dit zijn de zwakste kwaliteiten), golfkartonkwaliteiten F, G en H liggen ook vrij dicht bij elkaar (deze drie zijn de sterkere golfkartonkwaliteiten, golfkartonkwaliteit D ligt tussen deze twee groepen in. Deze afscheiding laat zich ook zien in figuur 41 en in mindere mate in figuur 42.

<sup>12</sup> zie pag. 38



Er zijn twee groepen van curves te onderscheiden: de onderste vijf (golfkartonkwaliteiten A, B, C, D en E) en de bovenste drie (golfkartonkwaliteiten F, G en H).

De spreiding van de verschillende curven is te wijten aan het golftype (enkele en dubbele golf) van de verschillende geteste golfkartonkwaliteiten.

Tabel 29 geeft de procentuele sterkte afname (bij 23°C) weer van de ECT-monsters gesneden uit de golfkartonnen dozen. Als referentie wordt de ECT-waarden van de respectievelijke ECT-waarden bij 50 % RV.

**Tabel 29: Procentuele (%) afname van de ECT-monsters gesneden uit de verschillende golfkartonnen dozen t.o.v. 50 % RV**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50 → 60	4	7	10	8	8	8	3	9
50 → 70	15	16	17	15	23	18	14	17
50 → 80	30	29	35	30	29	31	27	33
50 → 90	50	52	50	52	51	56	49	53

Bij verhoging van 50 % RV naar 60 % RV varieert de ECT sterkte afname van 3 tot 10 %. Bij verhoging van 50 % RV naar 90 % RV varieert de ECT sterkte afname van 49 tot 56 %. Bij de eerste verhoging is er ongeveer driemaal meer verschil dan bij de laatste verhoging.



Tabel 30 toont de procentuele sterkte afname bij stijgende RV van 10 % van de ECT-monsters gesneden uit de golfkartonnen dozen.

**Tabel 30: Procentuele afname van de ECT-monsters gesneden uit de verschillende golfkartonnen dozen bij stijging van 10 % RV**

RV verhoging	A	B	C	D	E	F	G	H
50 → 60	4	7	10	8	8	8	3	9
60 → 70	12	9	8	8	16	11	12	9
70 → 80	17	16	21	18	7	16	15	20
80 → 90	28	32	23	31	32	36	30	30

Bij verhoging van de RV van 50 % naar 60 % varieert de sterkte-afname van de verschillende golfkartonkwaliteiten van 3 tot 10 %. De grootste procentuele sterkte afname is er bij een stijging van de RV van 80 % naar 90 %, deze varieert namelijk van 23 tot 36 %.

De vergelijking van golfkartonkwaliteit B en C laat zien dat golfkartonkwaliteit C bij een verhoging van 50 % RV naar 60 % RV een iets grotere afname van compressiesterkte (nl. 3 % verschil) heeft dan golfkartonkwaliteit B. Maar bij een stijging van 80 % RV naar 90 % RV heeft golfkartonkwaliteit een sterkere afname van compressiesterkte (9 % verschil) dan golfkartonkwaliteit C. De andere twee compressiesterkte-afnamen bij de twee andere RV-stijgingen liggen in elkaars buurt.

Bij golfkartonkwaliteiten D en E heeft golfkartonkwaliteit E een grotere afname van compressiesterkte dan golfkartonkwaliteit D bij een stijging van 60 % RV naar 70 % RV. Bij stijging van 70 % naar 80 % is het juist andersom: hier heeft golfkartonkwaliteit D een grotere afname van compressiesterkte. Er is (bijna) geen verschil in afname van compressiesterkte bij de andere twee RV-stijgingen.

Bij golfkartonkwaliteiten G en H is er geen verschil bij stijging van RV van 80 % naar 90 %, maar wel bij de andere RV-stijgingen. Bij stijging van 50 % naar 60 % RV is de afname van compressiesterkte bij golfkartonkwaliteit H het grootst. Bij stijging van 60 % naar 70 % is de afname van compressiesterkte bij golfkartonkwaliteit G het grootst. Bij stijging van 70 % RV naar 80 % RV is het weer net andersom: golfkartonkwaliteit G is sterker (kleinere afname) dan golfkartonkwaliteit H.

### 3.5 Resultaten van de ECT-proeven op plano golfkarton

In tabel 31 worden de gemiddelde ECT-waarden (in kN/m) van de verschillende plano golfkarton kwaliteiten getoond. Van golfkarton E zijn er geen testen uitgevoerd omdat er geen plano materiaal van ontvangen is.

De meetwaarden van tabel 31 zijn grafisch uitgezet in figuur 41 (volgende pagina).

**Tabel 31: Gemiddelde ECT-waarden (kN/m) van de monsters gesneden uit plano golfkarton**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50	4,51	4,69	4,77	5,75	/	7,56	7,62	8,90
60	4,18	4,46	4,66	5,53	/	7,25	7,51	8,24
70	3,79	3,84	4,10	4,81	/	5,90	6,72	6,78
80	2,99	3,21	3,47	3,79	/	5,25	5,33	5,77
90	1,95	2,41	2,47	2,70	/	3,41	3,89	3,77

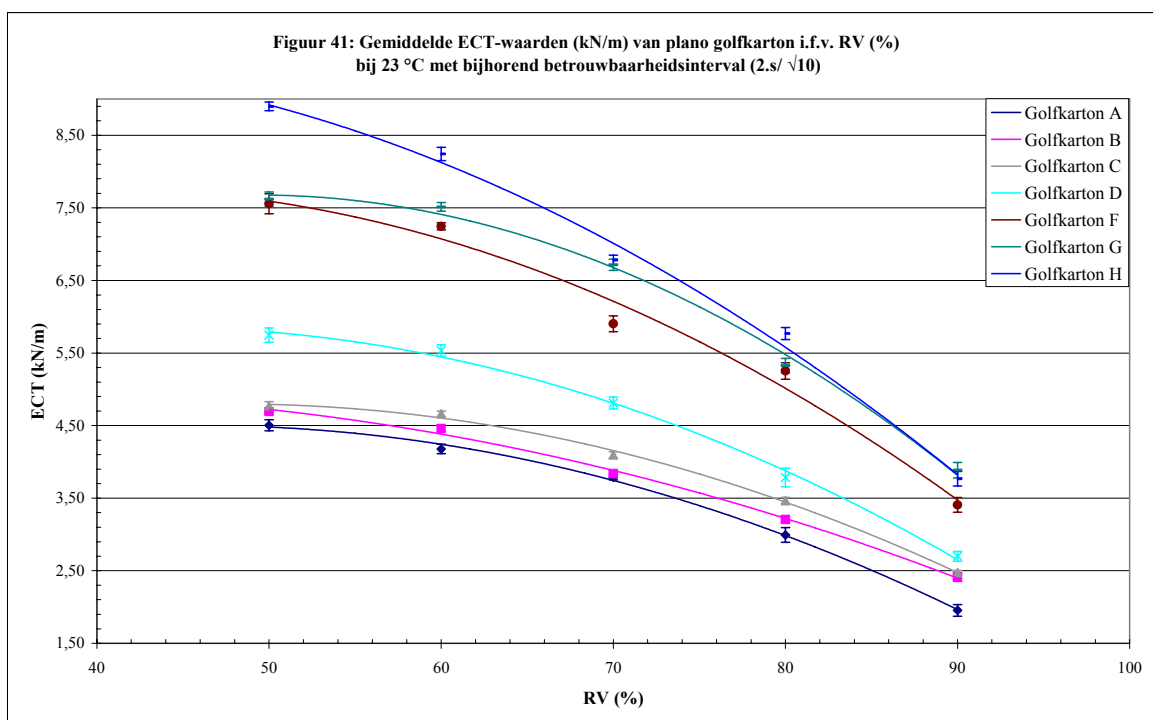
Bij elke golfkarton kwaliteit daalt de ECT-waarden bij stijgende RV. Bij 50 % RV varieert de ECT-waarde van 4,51 kN/m tot 8,90 kN/m, terwijl de ECT-waarden bij 90 % RV variëren van 1,95 kN/m tot 3,89 kN/m.

Golfkartonkwaliteit C heeft in vergelijking met golfkartonkwaliteit B een iets sterkere weerstand tegen de compressiesterkte bij stijgende RV, maar beide golfkartonkwaliteiten vertonen een zelfde verloop bij stijgende RV (zie fig. 41).

Golfkartonkwaliteit H weerstaat in vergelijking met golfkartonkwaliteit G beter tegen compressie, maar golfkartonkwaliteit H heeft een steiler-verloop (zie fig. 41) bij stijgende RV.

Golfkartonkwaliteiten A, D en F hebben geen te vergelijken tegenhanger.

Golfkartonkwaliteiten F, G en H hebben wel opmerkelijk hogere ECT-waarden dan de andere geteste golfkartonkwaliteiten, dit komt doordat deze golfkartonkwaliteiten een dubbele golflaag hebben. Golfkartonkwaliteiten A, B, C, D en E hebben slechts één golflaag.



Figuur 41 toont de gemiddelde ECT-waarden (kN/m) van de monsters gesneden uit de plano golfkartonkwaliteiten. Golfkarton kwaliteit H (blauwe curve) weerstaat het best aan de compressietest, terwijl golfkartonkwaliteit A (donker blauwe curve) het minst goed weerstaat aan de compressietest. De andere golfkartonkwaliteiten situeren zich tussen golfkartonkwaliteiten A en H.

Ook hier is, net zoals figuur 40, de spreiding van de curves goed te zien. Deze spreiding hangt af van het gebruikte golftype (enkele of dubbele golf) bij de verschillende golfkartonkwaliteiten.

Tabel 32 geeft de procentuele sterkte afname (bij 23°C) weer van de ECT-monsters gesneden uit de verschillende plano golfkartonkwaliteiten. Als referentie wordt de ECT-waarden van de respectievelijke golfkartonnen genomen als 100 %.

**Tabel 32: Procentuele (%) afname van de ECT-monsters gesneden uit de verschillende plano golfkartonkwaliteiten t.o.v. 50 % RV**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50 → 60	7	5	2	4	/	4	1	7
50 → 70	16	18	14	16	/	22	12	24
50 → 80	34	32	27	34	/	30	30	35
50 → 90	57	49	48	53	/	55	49	58

Elk golfkarton kwaliteit vertoont een steeds sterkere compressie-afname bij toenemende RV. Bij eenzelfde RV verschilt de compressie-afname afhankelijk van de golfkartonkwaliteit.

Golfkartonkwaliteit B verliest bij elke RV-verhoging (met 50 % RV als referentie) meer aan compressiesterkte dan golfkartonkwaliteit C.

Ook bij golfkartonkwaliteit H is dit het geval in vergelijking met van de compressiesterkte-afname van golfkartonkwaliteit G.

Tabel 33 toont de procentuele afname van compressiesterkte bij stijgende RV van 10 % van de ECT-monsters gesneden uit de verschillende plano golfkartonkwaliteiten.

**Tabel 33: Procentuele afname van compressiesterkte van de ECT-monsters gesneden uit de verschillende plano golfkartonkwaliteiten bij stijging van 10 % RV**

RV verhoging	A	B	C	D	E	F	G	H
50 → 60	7	5	2	4	/	4	1	7
60 → 70	9	14	12	13	/	19	11	18
70 → 80	21	16	15	21	/	11	21	15
80 → 90	35	25	29	29	/	35	27	35

Bij verhoging van de RV van 50 % naar 60 % varieert de sterkte-afname van de verschillende golfkartonkwaliteiten van 1 tot 7 %. De grootste procentuele sterkte afname is er bij een stijging van de RV van 80 % naar 90 %, deze varieert namelijk van 25 tot 35 %.

Golfkartonkwaliteit B vertoont bij de drie eerste RV-verhogingen telkens een grotere compressiesterkte-afname dan golfkartonkwaliteit C, alleen bij de laatste verhoging is dit omgekeerd.

Golfkartonkwaliteit H vertoont bij de twee eerste RV-verhogingen een grotere afname van compressiesterkte dan het te vergelijken golfkartonkwaliteit G. Bij de laatste twee verhogingen is dit omgekeerd.

### 3.6 Resultaten van de BCT-proeven

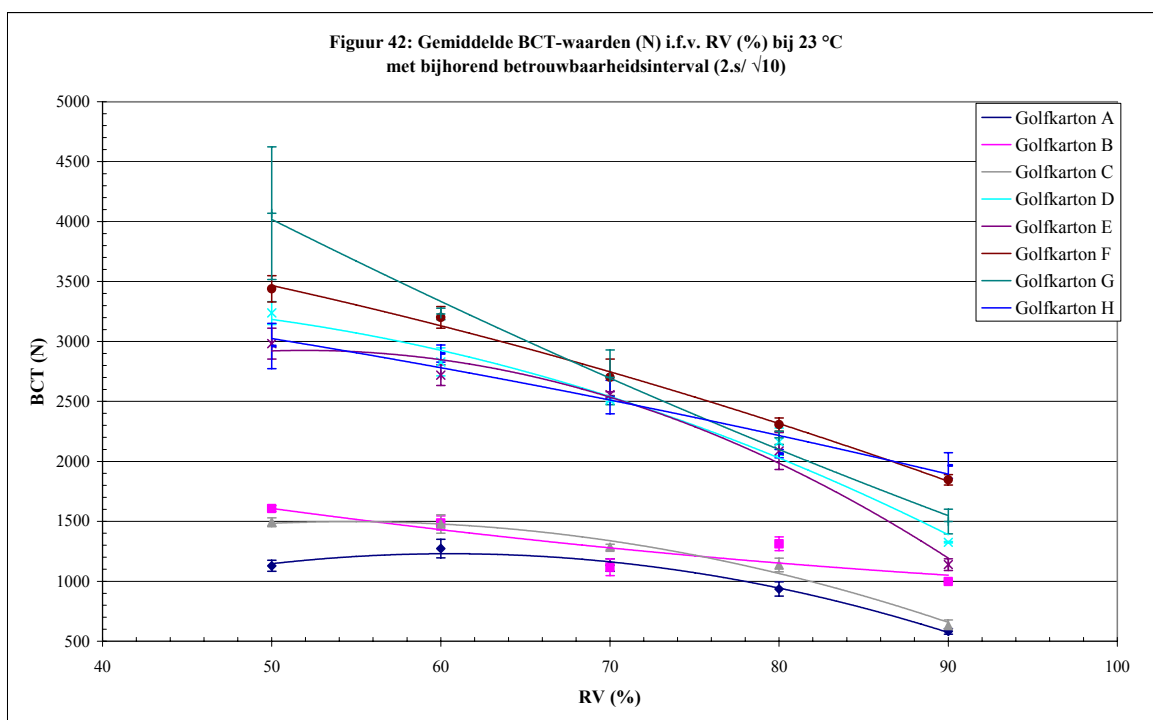
Tabel 34 toont de gemiddelde BCT-meetwaarden (uitgedrukt in N) van de verschillende golfkartonnen dozen. Figuur 42 geeft deze waarden grafisch weer.

**Tabel 34: Gemiddelde BCT-waarden (N)**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50	<b>1129</b>	1607	1492	3237	2982	3440	4070	2961
60	<b>1273</b>	1486	1477	2830	2719	3201	3230	2899
70	<b>1135</b>	1117	1285	2511	2556	2701	2700	2536
80	935	1312	1137	2164	2086	2307	2196	2065
90	582	998	631	1325	1139	1847	1498	1965

Bij golfkartonkwaliteit A zijn de absolute waarden bij 60 % RV en 70 % RV groter dan bij 50 % RV. Dit is mogelijk te wijten aan slecht aangeleverde dozen. Bij toenemende RV daalt de BCT-waarde (op golfkartonkwaliteit A na). Bij de RV van 50 % varieert de compressiesterkte van 1129 N tot 4070 N, terwijl dit bij 90 % RV 582 N tot 1965 is.

De vergelijkingen tussen golfkartonkwaliteiten B en C en tussen golfkartonkwaliteiten D en E is hier niet zo moeilijk, de gemeten waarden liggen namelijk telkens bij elkaar in de buurt. Er is echter wel een duidelijker verschil in sterkte bij golfkartonkwaliteiten G en H: golfkartonkwaliteit G is meestal sterker (enkel niet bij de laatste verhoging van RV).



Figuur 42 toont de verschillende curven van de BCT-meetresultaten van de verschillende golfkartonkwaliteiten bij stijgende RV. Golfkartonkwaliteit G weerstaat het best aan de BCT testen bij 50 en 60 % RV terwijl golfkartonkwaliteiten F en H beter weerstaan bij de hogere RV. Golfkartonkwaliteit A weerstaat het minst goed aan de BCT testen.

Er is ook duidelijke scheiding te zien tussen twee groepen van golfkartonkwaliteiten: de onderste drie golfkartonkwaliteiten (A, B en C) hebben alle drie een enkele B-golf en een lager gramgewicht, terwijl de tweede groep een C-golf heeft of een dubbele golf (van het type EB of CB). In de tweede groep is ook opmerkelijk dat de drie golfkartonkwaliteiten bestaande uit twee lagen Testliners, gemiddeld bij stijgende RV gezien, beter weerstaan aan de BCT-test dan de golfkartonkwaliteiten bestaande uit een laag Kraft.

Tabel 35 geeft de procentuele afname van compressiesterkte weer van de gemiddelde BCT-waarden. Als referentie wordt de BCT-waarden van de respectievelijke golfkartonkwaliteiten genomen als 100 %.

**Tabel 35: Procentuele afname van compressiesterkte van de BCT-waarden**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50 → 60	-13	8	1	13	9	7	21	2
50 → 70	-1	30	14	22	14	21	34	14
50 → 80	17	18	24	33	30	33	46	30
50 → 90	48	38	58	59	62	46	63	34

Op golfkartonkwaliteit A na, vertonen elk andere golfkartonkwaliteit een daling van de compressie sterkte.

Tabel 36 toont de procentuele afname bij stijgende RV van 10 % van de verschillende golfkartonkwaliteiten

**Tabel 36: Procentuele afname van de BCT van de verschillende golfkartonkwaliteiten bij stijgende RV van 10 %**

RV verhoging	A	B	C	D	E	F	G	H
50 --> 60	<b>-13</b>	8	1	13	9	7	21	2
60 --> 70	11	25	13	11	6	16	16	13
70 --> 80	18	<b>-17</b>	12	14	18	15	19	19
80 --> 90	38	24	45	39	45	20	32	5

Bij verhoging van de RV van 50 % naar 60 % varieert de afname van compressiesterkte van de verschillende golfkartonkwaliteiten van 1 tot 21 % (op golfkartonkwaliteit A na). De grootste procentuele sterkte afnamen is er bij een stijging van de RV van 80 % naar 90 %, deze varieert namelijk tot 45 %.

Golfkartonkwaliteit B verliest meer aan sterkte bij de lagere RV-stijgingen (van 50 % naar 60 % RV en van 60 % naar 70 % RV) dan golfkartonkwaliteit C. Bij stijging van 80 % naar 90 % RV heeft golfkarton C 45 % aan sterkte verloren terwijl dit bij golfkartonkwaliteit B maar 24 % is. Bij de verhoging van 70 % naar 80 % RV is golfkartonkwaliteit opeens sterker geworden (-13 %). Dit is ook te zien bij de RV-stijging van 50 % naar 60 % bij golfkartonkwaliteit A. Hier is geen verklaring voor gevonden.

Tussen golfkartonkwaliteiten D en E is er niet zoveel verschil, de ene heeft bij een bepaalde stijging van RV een paar procent verschil in vergelijking met de andere.

Golfkartonkwaliteit G verliest t.o.v. golfkartonkwaliteit H bij stijging van 50 % naar 60 % RV bijna tien keer zoveel aan sterkte, ook bij stijging van 80 % naar 90 % is er een groot verschil in sterkte. Bij de overige twee RV-verhogingen is er (bijna) geen verschil.

## **4 Bespreking van de resultaten**

### **4.1 Invloed van de relatieve vochtigheid op de verschillende golfkartonkwaliteiten**

#### 4.1.1 Vergelijking van ECT-monsters gesneden uit de golfkartonnen dozen

De gemiddelde ECT-waarden van de acht geteste golfkartonkwaliteiten zijn weergegeven in figuur 40.

Figuur 40 toont de absolute ECT-waarden (in kN/m) uitgezet tegenover de relatieve vochtigheden (%) per golfkartonkwaliteit. Al de acht golfkartonkwaliteiten vertonen een dalende sterkte bij stijgende relatieve vochtigheid, dit was te verwachten omdat de sterkte van golfkarton afneemt bij stijgende relatieve vochtigheid (zie Literatuurstudie).

Golfkartonkwaliteit A (bestaande uit twee Testliners) heeft geen vergelijkbare (qua gramgewicht) tegenhanger bestaande uit een recto-laag Kraft. Het is wel de zwakste golfkartonkwaliteit van de acht.

Golfkarton kwaliteiten B en C hebben vergelijkbare gramgewichten en hetzelfde golftype (B-golf) maar verschillen doordat golfkartonkwaliteit C een recto laag Kraft heeft (en B een Testliner). Beide golfkartonkwaliteiten vertonen nauwelijks een verschil in compressiesterkte bij verschillende RV.

Tussen golfkartonkwaliteiten D en E is er wel een duidelijk verschil te zien qua compressiesterkte. Golfkartonkwaliteit D (bestaande uit twee verschillende Testliners) is bij dalende RV altijd sterker dan golfkartonkwaliteit E (bestaande uit twee verschillende Kraftliners), terwijl in de literatuur verondersteld wordt dat een Kraftliner toch beter bestand is tegen compressiesterkte dan een vergelijkbare Testliner.

Golfkartonkwaliteit F heeft in deze eindverhandling, net zoals A, geen vergelijkbare tegenhanger. Het is wel een van de sterkere golfkartonkwaliteiten (vergelijkbare sterkte als golfkartonkwaliteit G).

Golfkartonkwaliteiten G en H hebben beide een EB-golftype en een vergelijkbaar gramgewicht, ze verschillen slechts in de recto-laag: G heeft een Testliner en H heeft een Kraftliner. Figuur 40 laat duidelijk zien dat golfkartonkwaliteit H sterker is dan golfkartonkwaliteit G. Maar golfkartonkwaliteit H heeft wel een sterker procentuele afname-verloop dan golfkartonkwaliteit G (zie tabel 29 pag. 60).



#### 4.1.2 Vergelijking van ECT-monsters gesneden uit plano golfkarton

De gemiddelde ECT-waarden van de zeven geteste golfkartonkwaliteiten zijn weergegeven in figuur 41.

Figuur 41 toont de absolute ECT-waarden (in kN/m) uitgezet tegenover de relatieve vochtigheden (%) per golfkartonkwaliteit. Al de acht golfkartonkwaliteiten vertonen een dalende sterkte bij stijgende relatieve vochtigheid, dit was te verwachten omdat de sterkte van golfkarton afneemt bij stijgende relatieve vochtigheid (zie Literatuurstudie).

Deze figuur is te vergelijken met figuur 40, alleen dat golfkartonkwaliteit G tijdens RV-stijging een betere compressie sterkte heeft dan golfkartonkwaliteit F.

De absolute meetwaarden van de stalen gesneden uit plano golfkarton t.o.v. de stalen gesneden de golfkartonnen dozen zijn in het algemeen groter. Dit wijst er op dat het golfkarton tijdens de volgende processtappen, zoals het stansen, beprinten, stapelen en 'handling', voor afwerking aan sterkte verliest.

#### 4.1.3 Vergelijking van BCT-metresultaten

De gemiddelde BCT-waarden van de acht geteste golfkartonkwaliteiten zijn weergegeven in figuur 42.

Figuur 42 toont de absolute BCT-waarden (in N) uitgezet tegenover de relatieve vochtigheden (%) per golfkartonkwaliteit. De meeste golfkartonkwaliteiten vertonen een dalende sterkte bij stijgende relatieve vochtigheid, sommige meetresultaten.

Golfkartonkwaliteit A heeft een hogere compressie sterkte bij 60 % RV dan bij 50 % RV, volgens de literatuur kan dit niet. Ook bij golfkartonkwaliteit B is dit te merken: bij 80 % RV is er een grotere compressiesterkte dan bij 70 % RV. Een verklaring hiervoor is onbekend, omdat de proeven volgens de normen zijn uitgevoerd.

Golfkartonkwaliteiten B en C vertonen ongeveer hetzelfde verloop, de twee curven vallen bijna samen. Dit was ook al het geval bij de twee ECT-testen (zie figuren 40 en 41).

Ook de curven van golfkartonkwaliteiten D en E vallen bijna samen. Dit was niet zo bij de ECT-proeven op de monsters gesneden uit de golfkartonnen dozen (zie fig. 40).

Golfkartonkwaliteit H heeft een lagere compressieweerstandwaarde dan de te vergelijken golfkartonkwaliteit G. Dit was niet zo bij de ECT-meetresultaten. De curve van golfkartonkwaliteit G vertoont een lineair verloop dan de normale kromme.

#### **4.2 Bespreking van de verschillende geteste golfkartonkwaliteiten onderling**

Golfkartonkwaliteiten A en F hebben geen te vergelijken tegenhangers omdat die tegenhangers niet zijn geleverd.

Golfkartonkwaliteiten B en C zijn bij de drie verschillende testen vergelijkbaar, ze verschillen nauwelijks in absolute waarden, de figuren tonen dit ook aan omdat de verschillende curven meestal samenvallen. Enkel bij de BCT-test is golfkartonkwaliteit B bij een RV van 90 % opmerkelijk sterker, dit komt echter niet overeen met de ECT-testen.

Golfkartonkwaliteit D (gramgewicht = 522 g/m<sup>2</sup>) en golfkartonkwaliteit E (gramgewicht = 472 g/m<sup>2</sup>) kunnen enkel vergeleken worden voor de BCT-test en de ECT-test voor de monsters uitgesneden uit golfkartonnen dozen omdat er geen plano golfkarton van geleverd werd. Golfkartonkwaliteit D biedt in beide testen een sterkere compressieweerstand (in absolute waarden) dan golfkartonkwaliteit E, maar de Testliners van golfkartonkwaliteit hebben een iets zwaardere gramgewicht dan de gebruikte Kraft- en Testliner bij golfkartonkwaliteit E.

### 4.3 Vergelijking van de ECT-meetwaarden met de BCT-meetwaarden m.b.v. McKee

M.b.v. de formule van McKee kan de BCT waarde geschat worden indien de ECT-waarden gekend zijn (zie Literatuurstudie).

Met behulp van de vereenvoudigde formule van McKee kan de BCT-meetwaarde geschat worden.

$$BCT = k \cdot ECT \cdot (d)^{0,508} \cdot (o)^{0,492}$$

$k = 5,874 \text{ cm}^{-1}$

ECT = ECT-waarde in (N/cm)

d : dikte golfkarton (m)

o : omtrek doos (m)

**Tabel 37: BCT-waarden (N) volgens McKee van de golfkartonnen dozen**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50	1592	1746	1476	2231	2293	3495	3162	3452
60	1526	1616	1330	2047	2104	3232	3076	3151
70	1349	1470	1224	1889	1763	2877	2718	2876
80	1114	1242	966	1555	1637	2423	2300	2296
90	802	846	742	1080	1119	1540	1605	1615

**Tabel 38: BCT-waarden (N) volgens McKee van het plano golfkarton**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50	1680	1736	1460	2309	/	3702	3572	3693
60	1557	1650	1426	2224	/	3549	3523	3422
70	1412	1420	1253	1934	/	2892	3149	2815
80	1116	1186	1060	1521	/	2573	2497	2394
90	729	893	757	1085	/	1669	1822	1564

**Tabel 39: Gemeten BCT-waarden (N)**

RV (%)	A	B	C	D	E	F	G	H
50	1129	1607	<b>1492</b>	<b>3237</b>	<b>2982</b>	3440	<b>4070</b>	2961
60	1273	1486	<b>1477</b>	<b>2830</b>	<b>2719</b>	3201	<b>3230</b>	2899
70	1135	1117	<b>1285</b>	<b>2511</b>	<b>2556</b>	2701	2700	2536
80	935	<b>1312</b>	<b>1137</b>	<b>2164</b>	<b>2086</b>	2307	2196	2065
90	582	<b>998</b>	631	<b>1325</b>	<b>1139</b>	<b>1847</b>	1498	<b>1965</b>

De gemeten BCT-waarden, in het vet gedrukt, liggen hoger dan de berekende BCT-waarden. Golfkartonkwaliteiten C, D en E hebben een hogere gemeten BCT-waarde dan de berekende waarden.

Bij golfkartonkwaliteit G (60 % RV) ligt de meetwaarde tussen de berekende waarden in van de ECT-monsters gesneden uit de golfkartonnen doos en uit het plano materiaal.

Uit de meetwaarden en de berekende waarden kan niets besloten worden omdat ongeveer de helft van de meetwaarden hoger ligt dan de berekende waarden, bij de andere helft is het het omgekeerde.

De formule van McKee benaderdt dus enkel de werkelijke BCT-waarde uit de gemeten ECT-waarde.

#### 4.4 Vergelijking van de ECT-proeven (uitgevoerd bij 23 °C) met de gevonden literatuurgegevens (uitgevoerd bij 20 °C)

Figuur 43 (volgende pagina) geeft het verband weer tussen de literatuurwaarden en de meetresultaten van deze eindverhandeling.

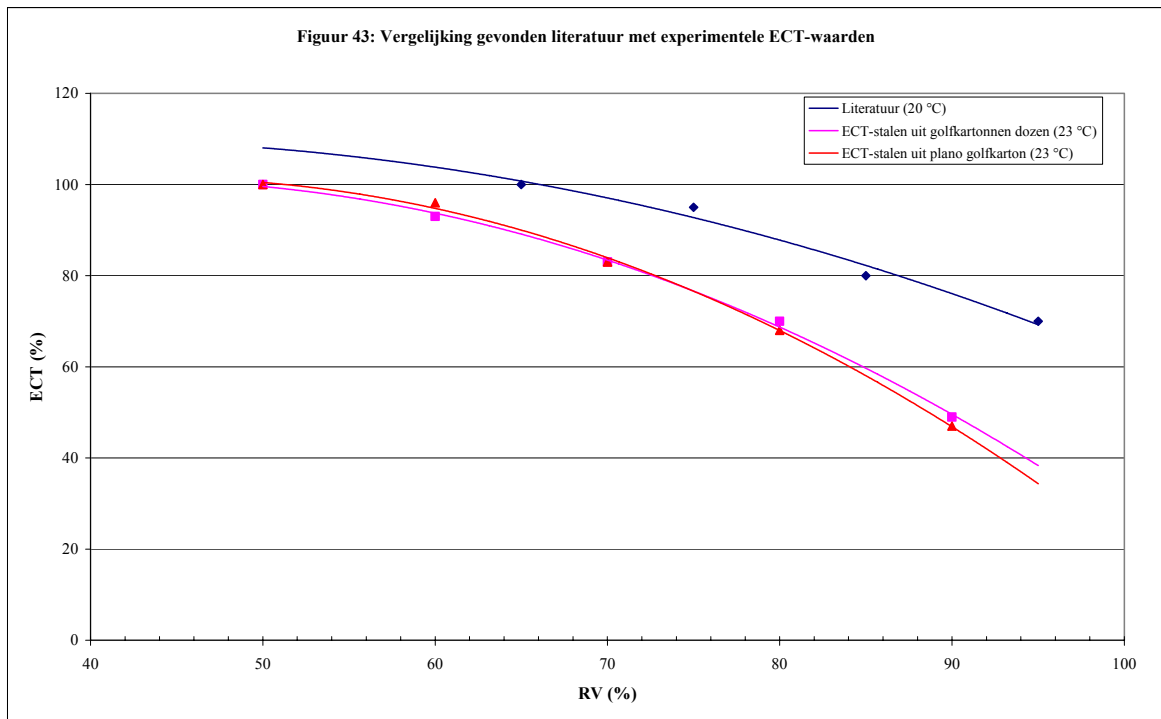
**Tabel 40: Vergelijkende tabel literatuurwaarden en meetwaarden**

RV (%)	literatuur	ECT-stalen gesneden uit golfkarton dozen	ECT-stalen gesneden uit plano golfkarton
50		100	100
55			
60		93	96
65	100		
70		83	83
75	95		
80		70	68
85	80		
90		49	47
95	70		

De literatuurgegevens zijn nog volgens de oude norm (20 °C – 65 % RV) uitgevoerd en specificeren niet welke golfkarton kwaliteiten gebruikt zijn noch of de stalen gesneden zijn uit plano golfkarton of uit golfkartonnen dozen.

De vorm van experimentele curven (rood en roze) vertoont een groter sterkte verlies bij stijgende relatieve vochtigheid. Als de experimentele-curve op de literatuur-curve gelegd kan worden, komt dit sterkte verlies beter tot uiting. Uit figuur 43 blijkt ook dat golfkarton bij een zelfde relatieve vochtigheid sterker (hogere weerstand tegen compressie) is bij 20 °C dan bij 23 °C.

De experimentele curven (rood en roze) vertonen hetzelfde sterkte verlies maar de absolute ECT-waarden van het plano golfkarton (roze) ligt hoger (zie eerder).



### **Deel III: Samenvattend besluit**

Uit de ECT-meetresultaten blijkt dat de onderzochte golfkartonkwaliteiten aan een groter sterkteverlies onderhevig zijn in vergelijking met de gevonden literatuurwaarden. Uit de gevonden literatuurwaarden kan niet worden uitgemaakt worden welke golfkartonkwaliteiten zijn gebruikt geweest.

Uit al de metingen blijkt dat het gebruikte Kraft-papier in de verschillende golfkartonkwaliteiten niet altijd sterker is dan de gebruikte Testliner-papieren. Dit verschil komt goed tot uiting bij de vergelijking van de BCT-meetwaarden van golfkartonkwaliteiten G en H (beide golfkarton kwaliteiten hebben hetzelfde type golf en ongeveer hetzelfde gramgewicht).

Ook bij golfkartonkwaliteiten D en E komt dit tot uiting. De ECT- en BCT-waarden van golfkarton D (zonder Kraft) liggen zijn groter dan die van golfkartonkwaliteit E (met Kraft).

Voor het sterkteverlies zijn er numerieke waarden gevonden: als de waarden bij 23 °C en 50 % RV als 100 % worden beschouwd, neemt de sterkte van de golfkartonkwaliteiten in het algemeen (dit geldt zowel voor ECT als BCT):

- bij een stijging tot 60 % RV met ongeveer 6 % af;
- bij een stijging tot 70 % RV met ongeveer 17 % af;
- bij een stijging tot 80 % RV met ongeveer 30 % af;
- bij een stijging tot 90 % RV met ongeveer 52 % af.

Bij stijging van de RV met 10 % (bij 23 °C) kan worden beschouwd dat de golfkartonkwaliteiten in het algemeen (zowel voor ECT als BCT) een procentueel verlies vertonen van:

- bij een stijging van 50 % RV naar 60 % RV met ongeveer 6 %
- bij een stijging van 60 % RV naar 70 % RV met ongeveer 13 %
- bij een stijging van 70 % RV naar 80 % RV met ongeveer 15 %
- bij een stijging van 80 % RV naar 90 % RV met ongeveer 31 %

Hier kan verder uit geconcludeerd worden dat het grootste sterkteverlies van golfkarton te wijten is aan een RV-stijging van 80 % RV naar 90 % RV.

Als uitbreiding van deze eindverhandeling kunnen er volgende testen ondernomen worden:

- ECT-testen uitvoeren bij 20 °C – 65 % RV en hoger om de oude norm beter te kunnen vergelijken;
- Testen uitvoeren bij andere temperaturen (bv. om invloeden na te gaan voor gekoeld transport);
- Meerdere verschillende testen uitvoeren zoals: barstweerstand, buigweerstand, doorsteekweerstand,...;
- Golfkarton kwaliteiten vergelijken met verschillende golfkarton leveranciers;
- ...



## **Referenties**

### **Boeken / tijdschriften**

- Håkan Markström, Testing Methods and instruments for corrugated boards, 5th edition, 1999, Lorentzen & Wettre, Kista, Sweden
- Håkan Markström, Elastic properties of paper – Test methods and measurement instruments, 3<sup>rd</sup> edition, 1993, Lorentzen & Wettre, Stockholm, Sweden
- Cursus: Verpakkingsmaterialen – Deel golfkarton Dhr. P. De Schepper, interne publicatie HL
- Cursus: Statistiek – enige kandidatuur, Mevr.G. Frederix, interne publicatie HL
- Verpakkingshandboek – Deel II

### **Artikels**

- Bundel gekregen van Paul Berkvens – Papyrus
- Bundel gekregen van dhr. Karel Van den Abeele, VPK Packaging
- Papiervochtigheid, IGT mededelingenblad, november 1969, pag. 11-13
- VerpakkungsRundschau

### **Thesissen (Hogeschool Limburg)**

- Anita Daniëls, Optimalisering van de palletisatie van golfkartonnen dozen voor diepgevroren producten, 1999-2000, HL, Diepenbeek
- Jurgen Biesemans, Validatie van meetmethoden volgens de kwaliteitsnormen EN 45001 / ISO 17025, 2000-2001, HL, Diepenbeek
- Jeroen Pauwels, Optimalisatie van de golfkartonmachine (WPA), 2001-2002, HL, Diepenbeek

**Web-sites**

- <http://www.golfkarton.org>
- <http://members.home.nl/wprins/Golfkarton.html>
- <http://www.watermanswebworld.com/code/what.html>
- [http://www.tis-gdv.de/tis\\_e/verpack/papier/wp\\_arten/wp\\_arten.htm](http://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/papier/wp_arten/wp_arten.htm)
- <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2000/ardit00a.pdf>
- <http://www.verpakkingscentrum.be>
- + web-sites gebruikt voor figuren (zie vermelding onder de betreffende figuren)

**Normen**

- FEFCO nr. 8
- FEFCO nr. 50
- ISO 186/187

# **BIJLAGEN**

**Bijlage A: Technische fiche gebruikte papiersoorten voor aanmaak golfkarton**

Papier	g/m <sup>2</sup>	Vocht- gehalte (%)	Barstwee- stand (kPa)	SCT (kN/m)	Bendtsen (ml/min)	Cobb (g H <sub>2</sub> O / min)
Kraft	125	7	570	2,80	20/35 s/dL	35
	140	7	620	3,00	20/35 s/dL	35
Gemarm. kr.	140	8	600	2,90	275	25
Testliner	120	7	240	1,60	325	30
	135	7	270	1,82	295	30
	180	7	326	2,31	245	30
Wellenstof	105	7	210	1,32	/	/
	135	7	270	1,82	/	/
Schrenz	100	7	160	1,05	/	/

**Bijlage B: Standaardkwaliteitenlijst van de verschillende golfkarton kwaliteiten**

## Golfkarton A          B-golf

Samenstelling						Specificaties				
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>	d (mm)	BST	ECT	%-rec	g/m <sup>2</sup>
TB4	120	W	105	TB4	120	2,82	416	3,33	100	390

## Golfkarton B          B-golf

Samenstelling						Specificaties				
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>	d (mm)	BST	ECT	%-rec	g/m <sup>2</sup>
TB4	135	W	105	TB4	135	2,83	566	3,70	100	420

## Golfkarton C          B-golf

Samenstelling						Specificaties				
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>	d (mm)	BST	ECT	%-rec	g/m <sup>2</sup>
TB4	140	W	105	TB4	135	2,84	782	3,70	74	425

## Golfkarton D C-golf

Samenstelling						Specificaties				
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>	d (mm)	BST	ECT	%-rec	g/m <sup>2</sup>
TB4	180	W	135	TB4	135	4,10	587	4,03	100	522

## Golfkarton E C-golf

Samenstelling						Specificaties				
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>	d (mm)	BST	ECT	%-rec	g/m <sup>2</sup>
KM	140	W	135	KB	125	4,03	/	/	55	472

## Golfkarton F CB-golf

Samenstelling									
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	ML	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>
TB4	120	W	105	S	100	W	105	TB4	120
Specificaties									
d (mm)		BST		ECT		% -rec		g/m <sup>2</sup>	
6,49		703		6,50		100		653	

## Golfkarton G EB-golf

Samenstelling									
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	ML	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>
TB4	135	W	105	S	100	W	105	TB4	135
Specificaties									
d (mm)		BST		ECT		% -rec		g/m <sup>2</sup>	
5,11		632		6,72		100		666	

## Golfkarton H CB-golf

Samenstelling									
TL	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	ML	g/m <sup>2</sup>	GL	g/m <sup>2</sup>	BL	g/m <sup>2</sup>
KB	140	W	105	S	100	W	105	TB4	135
Specificaties									
d (mm)		BST		ECT		% -rec		g/m <sup>2</sup>	
4,15		984		8,18		83		671	