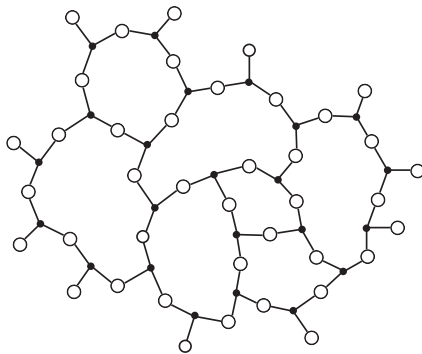


# TECHNOTES 4

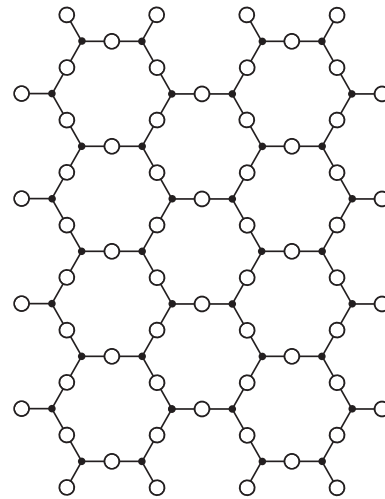
EEN TECHNISCHE AANVULLING VAN BULLSEYE GLASS CO.

## HITTE & GLAS

### BEGRIIP OVER DE EFFECTEN VAN DIVERSE TEMPERATUREN OP BULLSEYE GLASS



moleculen in een vormloze structuur (amorf)



moleculen geordend in kristalstructuur

#### HET UNIEKE KARAKTER VAN GLAS, DE “ONDERKOELDE VLOEISTOF.”

Glas is een ‘vormloos’ materiaal. Haar moleculen zijn niet geordend in een regelmatige structuur zoals bij materialen die kristallen vormen, maar zijn willekeurig gerangschikt.

Hierdoor reageert glas anders dan andere materialen wanneer je het gaat verhitten. Waar bijvoorbeeld metalen op een specifieke temperatuur overgaan van een vaste stof naar een vloeistof (op het smeltpunt) verandert glas heel geleidelijk van een materiaal dat zich gedraagt als een vaste stof naar een materiaal dat zich gedraagt als een vloeistof. Door deze unieke eigenschap kan glas geblazen worden of op ontelbare




manieren via oventechniek van vorm veranderen.

Door haar vormloze moleculaire schikking wordt glas op kamertemperatuur soms een ‘onderkoelde’ vloeistof genoemd. Zelfs in vaste vorm heeft het de molecuulstructuur van een stijve vloeistof. Wanneer het verwarmd wordt zal glas zich langzaam meer als een gewone vloeistof gaan gedragen tot het op een temperaturen boven de 1093 °C zal vloeien zoals honing vloeit. Bij oventechnieken wordt het glas meestal opgestookt tussen de 593 en 972 °C. Bij deze temperatuurzone is heel veel mogelijk aan technieken.

## Het Gedrag van GLAS bij verhitting

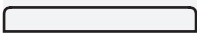

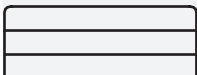
het volgende schema geeft een uitgebreid overzicht hoe bullseye glas zich gedraagt in verschillende temperatuurzones. niet al het bullseye glas zal zich precies hetzelfde gedragen.

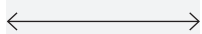
er zullen kleine variaties zijn afhankelijk van de viscositeit van het glas.

temperatuurzone onder 538°C	Wat Zie je	Wat gebeurt er natuurkundig	oven proces
 <p>1 laag (3mm • 1/8")</p>	1 laag glas: hard, geen zichtbare verschillen, scherpe hoeken	het glas zet uit of krimpt in de mate die wordt bepaald door de uitzettingscoëfficiënt (coefficient of expansion /coe)	aan de top van deze temperatuurzone vindt annealing plaats.
 <p>2 lagen (6mm • 1/4")</p>	2 lagen glas, idem	onder de 454°C gevoelig voor hitteschok. (thermal shock)	voor transparant bullseye glas no 1101, is dit tussen het bovenste annealpunt (532°C) en het strain punt (493°C).
 <p>3 lagen (9mm • 3/8")</p>	3 lagen glas, idem		



de pijl en grijs Ze baan geven de breedte aan van het koude glas bij aanvang


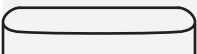
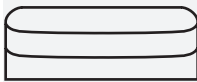
538°–677°C	Wat Zie je	Wat gebeurt er natuurkundig	oven proces
 <p>1 laag (3mm • 1/8")</p>	aan de top van de zone: hoeken beginnen een klein beetje zacht te worden en af te ronden.	het glas wordt iets zachter en begint zich te gedragen als een hele dikke vloeistof maar houdt zijn originele vorm.	veel soorten glasverf en email smelten op deze temperatuur. bullseye glas zal buig (buigen) met behulp van gewichten of zal zakken (slump) bij doorwarmen op de toptemperatuur.
 <p>2 lagen (6mm • 1/4")</p>	lagen zullen niet op elkaar plakken tenzij het glas zeer lang op toptemperatuur gehouden wordt.	het gedrag van het glas verandert, van gedrag als een vaste stof gaat het naar gedrag van een vloeistof: ook wel transformatie Zone genoemd.	een doorwarm tussenstap tussen de 621°–677°C wordt vaak toegepast om 'lucht eruit te persen' het doel is om zo min mogelijk luchtballen tussen de glaslagen te krijgen.
 <p>3 lagen (9mm • 3/8")</p>	Zoals 2 lagen.		



de pijl en grijs Ze baan geven de breedte aan van het koude glas bij aanvang


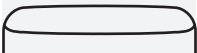
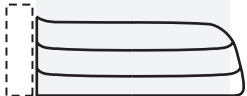
677°–732°C	WAT ZIE JE	WAT GEBEURT ER NATUURKUNDIG	OVEN PROCES
 <p>1 Laag (3mm • 1/8")</p>	Hoeken van het glas net afgerond, het oppervlak begint er glanzend uit te zien.	Bij lang aanhouden in deze zone ontstaan er kristallen: DEVITRIFICATION of ontglazing.	Vuur polijsten, FIREPOLISHING, op deze temperatuur zullen lichte krassen verdwijnen van het glasoppervlak.
 <p>2 Lagen (6mm • 1/4")</p>	Idem, lagen lijken op elkaar te plakken.		Glas kan door een mal zakken op de top van deze temperatuurzone SLUMP.
 <p>3 Lagen (9mm • 3/8")</p>	Zoals 2 lagen		Glasoppervlakken zullen op elkaar plakken, genaamd SINTERING of FUSE-TO-STICK.

← DE PIJL EN GRIJZE BANEN GEVEN DE BREEDTE AAN VAN HET KOUDE GLAS BIJ AANVANG



732°–760°C	WAT ZIE JE	WAT GEBEURT ER NATUURKUNDIG	OVEN PROCES
 <p>1 Laag (3mm • 1/8")</p>	Het glas begint samen te trekken en druppels te vormen aan de ran	De oppervlakte spanning wordt sterker dan de zwaartekracht.	Glaslagen plakken op elkaar met ronde hoeken genaamd TACK FUSE.
 <p>2 Lagen (6mm • 1/4")</p>	Glas zit stevig op elkaar, bovenste laag flink afgerond. basis oppervlak blijft nog gelijk.	Ontglazing kan verergeren bij lang doorwarmen, zich verplaatsend van het oppervlak naar het binnenste van het glas.	
 <p>3 Lagen (9mm • 3/8")</p>	Idem zoals twee lagen.		

← DE PIJL EN GRIJZE BANEN GEVEN DE BREEDTE AAN VAN HET KOUDE GLAS BIJ AANVANG


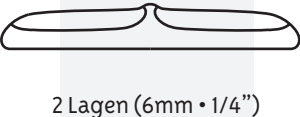
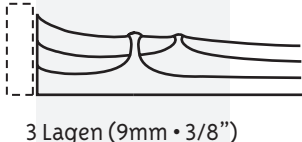
## HET GEDRAG VAN GLAS BIJ VERBITTING vervolg

760°–816°C	WAT ZIE JE	WAT GEBEURT ER NATUURKUNDIG	OVEN PROCES
 <p>1 Laag (3mm • 1/8")</p>	<p>Het midden van het stuk kan heel dun worden wanneer de randen dikker worden. Er ontstaan naaldpunten aan de onderkant.</p>	<p>Aan de top van deze zone begint de zwaartekracht sterker te worden dan de oppervlaktespanning.</p>	<p>Volledig versmelten FULL FUSE.</p>
 <p>2 Lagen (6mm • 1/4")</p>	<p>Op de top van de zone volledig versmolten.</p>	<p>Luchtbellens ingesloten tussen twee lagen zullen groter worden.</p>	<p>Geschikte temperatuur voor het maken van reliëf op fiberpapier-KILNCARVING.</p>
 <p>3 Lagen (9mm • 3/8")</p>	<p>Het glas vloeit tot een plas groter dan het originele oppervlak tenzij het tegengehouden wordt door een dam of mal.</p>		

← DE PIJL EN GRIJZE BAAN GEVEN DE BREEDTE AAN VAN HET KOUDE GLAS BIJ AANVANG

816°–871°C	WAT ZIE JE	WAT GEBEURT ER NATUURKUNDIG	OVEN PROCES
 <p>1 Laag (3mm • 1/8")</p>	<p>Het dunne centrum kan omhoog komen van het oppervlak van de bovenplaat.</p>	<p>Steeds minder viscositeit, samenhang, in het glas, waardoor het zal vloeien onder invloed van de zwaartekracht.</p>	<p>Volledig versmelten - FULL FUSE.</p>
 <p>2 Lagen (6mm • 1/4")</p>	<p>Het oppervlak is glad en waterig. Bellen in het glas of ingesloten bellen kunnen naar het oppervlak opstijgen.</p>		<p>Malgieten - KILNCASTING.</p>
 <p>3 Lagen (9mm • 3/8")</p>	<p>Wanneer het niet is ingedamd zal het glas naar een plas van 6 mm dikte vloeien.</p>		<p>Op de top van de zone zal het glas zo vloeibaar zijn dat het ook in kleine openingen van de mal vloeit.</p>

← DE PIJL EN GRIJZE BAAN GEVEN DE BREEDTE AAN VAN HET KOUDE GLAS BIJ AANVANG

871°–927°C	WAT ZIE JE	WAT GEBEURT ER NATUURKUNDIG	OVEN PROCES
 <p>1 Laag (3mm • 1/8")</p>  <p>2 Lagen (6mm • 1/4")</p>  <p>3 Lagen (9mm • 3/8")</p>	<p>De bel zal barsten en een krater achterlaten.</p> <p>Twee en drie lagen: het glas vloeit als stroop. Als de ovenplaat niet waterpas staat of te klein is zal het glas over de rand vloeien. Dammen zijn noodzakelijk. Bellen uit de onderste lagen trekken het glas naar het oppervlak.</p>	<p>Minder samenhang, meer stroming.</p>	<p>Het glas is vloeibaar genoeg om het te kammen met een natte metalen staaf - COMBING.</p>

← DE PIJL EN GRIJZE BAAN GEVEN DE BREEDTE AAN VAN HET KOUDE GLAS BIJ AANVANG

BOVEN 927°C	WAT ZIE JE	WAT GEBEURT ER NATUURKUNDIG	OVEN PROCES
 <p>1 Laag (3mm • 1/8")</p>  <p>2 Lagen (6mm • 1/4")</p>  <p>3 Lagen (9mm • 3/8")</p>	<p>Krater wijd open.</p> <p>Twee en drie lagen: het "kookgedrag" gaat door.</p>	<p>Steeds minder samenhang.</p>	<p>Maltechnieken met een reservoir - RESERVOIR KILN CASTING.</p>

← DE PIJL EN GRIJZE BAAN GEVEN DE BREEDTE AAN VAN HET KOUDE GLAS BIJ AANVANG

## DEFINITIE VAN EEN STOOKSCHEMA (FIRINGSCHEDULE).

Kennis van het gedrag van glas in verschillende temperatuurzones stelt ons in staat om het glas in de oven goed te verhitten en af te koelen ten einde twee basisdoelen van oventechniek te bereiken:

1. Het glas naar een temperatuur brengen waar we het kunnen vormen zoals we willen.
2. Het glas terugbrengen naar kamertemperatuur in een goede conditie (zonder ongewenste interne spanning).

Een stookschema is een serie stappen-eerst om op te warmen en daarna om af te koelen-die het glas ondergaat om deze twee doelen te bereiken. Soms wordt het ook stookcyclus- FIRING CYCLE of stookprofiel- FIRING PROFILE genoemd. Een stookschema kan op verschillende manieren onderverdeeld worden. Bij Bullseye delen we het stookschema meestal op in acht stappen die hier vervolgens beschreven staan.

**1. INITIAL HEAT-** start verwarming van kamer temperatuur tot 538 °C.

Onder een temperatuur van ongeveer 454 °C kan glas uit elkaar spatten als het te snel wordt opgewarmd (thermal shock). Te langzaam verwarmen heeft geen nadelige gevolgen voor het glas, het kost alleen meer tijd en energie. Daarom zijn we in het algemeen erg behoudend in ons verwarmingstempo in deze fase: 227 °C. Hoe kleiner de stukjes van het werkstuk zijn hoe sneller deze fase kan zijn.

**2. PRE-RAPID HEAT SOAK-** doorwarpauze binnen de snelle verhittingsfase op een temperatuur tussen de 621°–677°C.

Deze nuttige stap kan naar keuze worden toegevoegd in de stookcyclus. Hij dient om het glas even door en door te verwarmen zodat je daarna sneller naar de toptemperatuur kunt gaan. Een tweede functie is om zo veel mogelijk lucht tussen de glaslagen uit te persen.

**3. RAPID HEAT-** Snelle verhittingsfase van 538°C tot de vorm- of bewerkingstemperatuur. Het belangrijkste doel van deze fase is om zo snel mogelijk omhoog te gaan om ontharding te voorkomen maar ook weer niet te snel dat er veel bellen ingesloten worden.

**4. PROCESS SOAK-**doorwarmen op de bewerkingstemperatuur 677°–899°C.

Temperatuur waarop het glas gevormd wordt in het proces naar keuze bijvoorbeeld zakken, plaksmelten, volledig versmelten of oven mal gieten. je kan hetzelfde effect bereiken door lang op een iets lagere temperatuur te stoken of kort op een hogere temperatuur. Dit is het principe van HEAT WORK. Over het algemeen heb je meer controle wanneer je iets langer op lagere temperatuur stookt. Gemiddeld stoken we 10 minuten op toptemperatuur.

**5. RAPID COOL -** snelle afkoeling van de bewerkingstemperatuur tot 516°C.

Het is wenselijk om het glas snel naar de top van de annealzone te laten koelen wanneer het zijn vorm heeft gekregen. Dit om ontharding te voorkomen en om koeltijd te besparen. Bullseye raadt echter niet aan om de oven wijd open te zetten op deze temperaturen. Speciaal met deurovens kan dit zorgen voor een temperatuur ongelijkheid in het glasobject, om dit weg te werken zal het glas op lagere temperaturen weer langer moeten doorwarmen. Laat de oven koelen in zijn eigen tempo (dit tempo wordt vooral bepaald door de isolatie van de ovenwanden)

tot ongeveer 516°C.

**6. ANNEAL SOAK-** doorwarmen op annealtemperatuur: 516°C.

Bij verwarmen zet het glas uit, bij koelen trekt het samen. Dit zorgt voor spanning in het glas, vooral tussen de binnenkant en het oppervlak van het glas. Om deze spanning, die kan zorgen voor interne spanning of breuk bij kamertemperatuur, weg te werken, is het nodig om het glas te koelen op een gecontroleerde manier door een bepaalde temperatuurzone. Dit proces wordt ANNEALLING genoemd. De eerste fase van het anneal proces is een doorwarmtijd die moet helpen om de temperatuur in het glas gelijk te maken en om aanwezige spanning weg te werken. Voor Bullseye glas warmen we door op 516°C.

**7. ANNEAL COOL -** koelen door de annealzone 516°–371°C. Zodra de temperatuur in het glasobject stabiel is door de ANNEAL SOAK wordt het geleidelijk gekoeld door de rest van de annealzone van 516°–371°C.

**8. COOL TO ROOM TEMPERATURE-** koelen van 371°C tot kamertemperatuur.

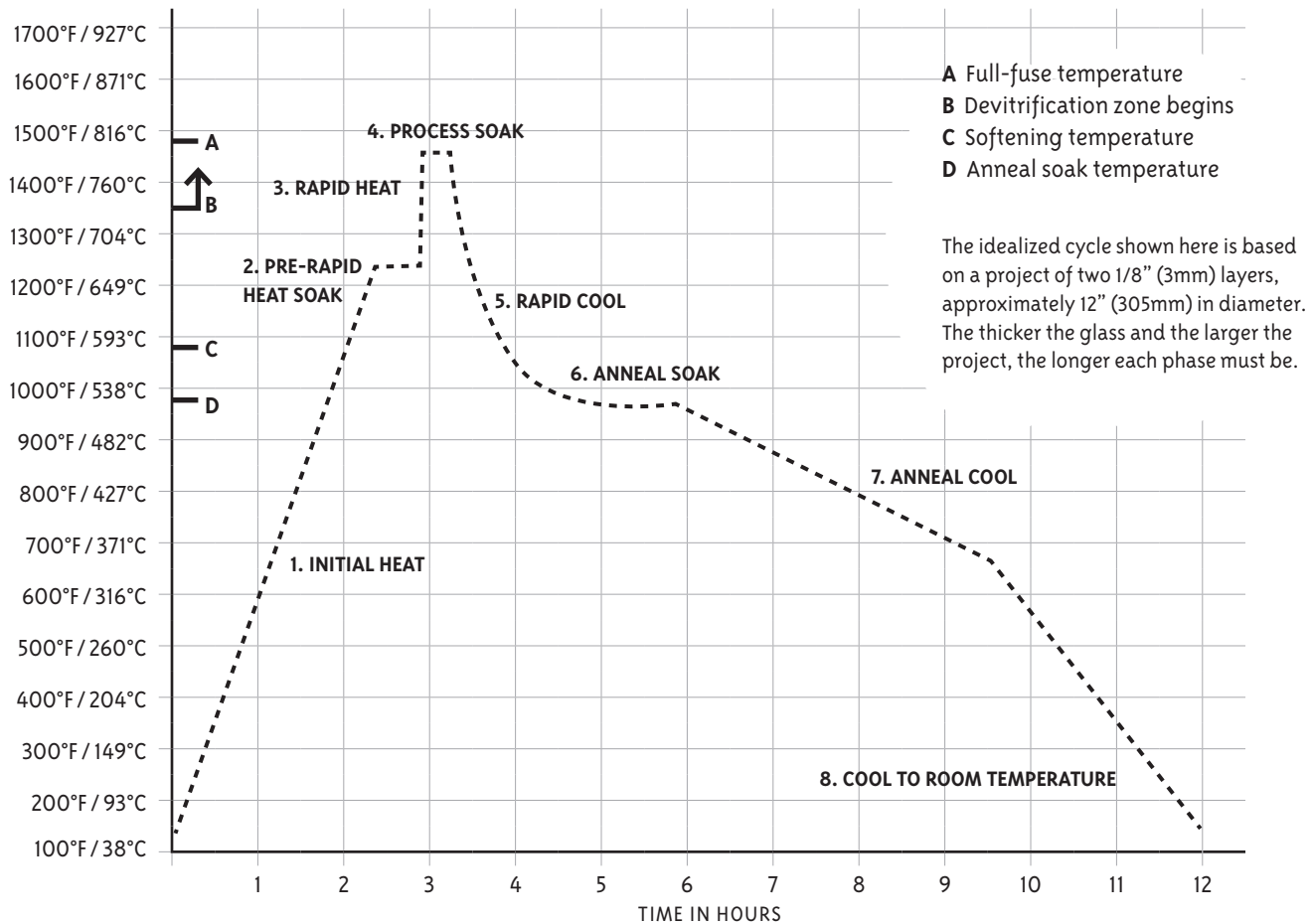
Koelen naar kamertemperatuur kan zo snel mogelijk als het maar niet zo snel gaat dat het hitte schok THERMAL SHOCK veroorzaakt. Meestal laten we in het Bullseye atelier de oven in zijn eigen tempo koelen tot 93°C. Dan kan de deur open, het glas blijft in de oven tot het met blote handen gepakt kan worden.

### OVERZICHT VAN TOP OF WERKTEMPERATUREN

OVEN BEWERKING	TEMPERATUUR ZONE IN °C
Combing/Boiling- kammen	899°–941°C
Kiln casting-gieten in mal	821°–843°C
Full fuse- volledig versmelten	804°–843°C
Texture fuse-smelten met bas relief	816°–843°C
Strip technique-repen techn.	799°–843°C
Tack fuse-plakversmelten, hoeken ronden beetje af	699°–779°C
Sagging-uitrekken, dikte van het glas verandert	679°–732°C
Fuse-to-stick-(sintering) net aan vastplakken	679°–721°C
Slumping- buigen, de dikte van het glas verandert niet	649°–699°C
Painting- verven	549°–610°C

## IN EEN TIJD/TEMPERATUUR STOOKGRAFIEK KUNNEN DEZE 8 STAPPEN ER ALS VOLGT UIT ZIEN:

Deze "ideale cyclus" is gebaseerd op een stuk in twee lagen van ongeveer 30cm doorsnede. Hoe dikker het glas en hoe groter, hoe langer elke fase moet zijn.



## PRAKTISCHE TOEPASSING.

Een stookschema is maar een deel van het verhaal. Het is prima om te vragen naar stookschema's en ze te delen, maar ze moeten slechts gezien worden als vertrekpunt.

Het stookschema is slechts één van de vele voorwaarden en condities die het welslagen van een glasobject bepalen. Elke oven stookt bijvoorbeeld een beetje anders, dit is zelfs bij ovens van hetzelfde type het geval. Andere factoren zijn o.a het soort glas, het soort en de opstelling van ovenplaten in de oven, het soort

thermokoppel en de locatie in de oven en of het stuk voor de 1e, 2e of 3e keer gestookt wordt.

In het Bullseye onderzoeks en onderwijs atelier gaan wij tamelijk voorzichtig te werk met de meeste stoken. de volgende schema's zijn typerend voor de stookcyclus die we voor veel projecten gebruiken. In elk geval moet het duidelijk zijn hoe de eerder behandelde stooktheorie in echte schema's is toegepast.

### ScHemA 1.

eerste volledige smeltstook van een stuk in 2 lagen van 3mm dik en van 305 mm doorsnede gestookt in paragon gl 24 oven met top-zij en deurspiralen.

step stap	rate (dph) tempo in °c per uur	temperature temperatuur in °c	hold door - War - men in uren min.
1. initial heat pre-rapid heat soak	222°C	677°C	:30
2. r apid heat process soak	333°C	804°C	:10
3. r apid cool anneal soak	afap* Zsm	516°C	:30
4. anneal cool	83°C	371°C	:00
5. final cool	afap/Zsm	21°C	:00

#### \*AfAP AS fASt AS PoSSible, zSm zo Snel moGelijk.

Zo snel mogelijk zal zijn wat ook het koelresultaat is wanneer de oven niet aanslaat. We raden geen crash cooling aan. Laat je oven dicht om natuurlijk af te koelen.

### ScHemA 2.

buigschema voor hetzelfde stuk.

stap	t.in °c p.uur	t.in °c	door W
1. initial heat process soak	166°C	638°C	:10
2. r apid cool anneal soak	afap* Zsm	516°C	1:00
3. anneal cool	55°C	371°C	:00
4. final cool	afap Zsm	21°C	:00

- merk op dat het opwarmen voorzichtiger gaat dan in schema 1. het stuk dat verwarmd wordt is een aaneengesloten dikker stuk glas en moet daarom voorzichtiger opgestookt worden om gelijkmatig te verwarmen.
- er is geen pre-rapid heat soak in dit schema. het is al versmolten, er is geen gelegenheid om lucht te laten ontsnappen zoals in de 1e stook.
- buigtemperaturen en doorwarmtijden hangen sterk af van het type en de vorm van de mal, het glas en het gewenste effect. kijk altijd even bij het buigen of het goed gaat.
- Zowel de anneal soak als de anneal cool zijn voorzichtiger dan bij hetzelfde stuk dat alleen plat versmolten is. dit komt omdat het gebogen stuk op een mal ligt die mogelijk ongelijk is van dikte en zelf ook hitte vasthoudt. bovendien hebben gebogen stukken de neiging om ongelijk te koelen.

### ScHemA 3.

eerste take fuse - plakversmelten stook van een stuk dat bestaat uit een laag basis glas van 4 mm dik en een applicatie van korrels en poeders.

stap	t.in °c per uur	t.in °c	door W
1. initial heat process soak	333°C	691-788°C	:10
2. r apid cool anneal soak	afap* Zsm	516°C	1:00
3. anneal cool	55°C	371°C	:00
4. final cool	afap/Zsm	21°C	:00

- het tempo van verwarmen in de eerste fase van een enkele laag glas met daarop korrels en poeders is bij de eerste keer stoken vaak hoger dan het tempo dat we gebruiken voor het verwarmen van twee of meer lagen glas. in de praktijk blijkt dit goed te gaan. in de theorie zou dit stuk echter lastiger moeten zijn om gelijkmatig te verwarmen. dit is omdat het minder waarschijnlijk is dat het stuk een gelijke materiaal dikte heeft dan een stuk gemaakt van lagen glasplaat.
- merk op dat er geen pre-rapid heat soak is in dit schema, er is maar één laag met korrels bovenop. er kunnen geen luchtballen worden ingesloten.
- de toptemperatuur voor plaksmelten hangt af van het verlangde effect en de vorm en kleur van het glas. fijn zwart poeder 0100-08 zal bijvoorbeeld op een veel lagere temperatuur smelten dan grof wit 0113-03 frit.
- merk op dat het koelen voorzichtiger is voor dit tackfused stuk. deze stukken hebben de neiging om minder gelijkmatig te koelen - daarom stoken we langzamer om dit te compenseren.