

Stieltjesweg 1
2628 CK DELFT
Postbus 155
2600 AD DELFT

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00

TNO-rapport

TNO 2019 R11618

Beoordeling glasgevel Rijnstraat 8 te Den Haag

Datum	24 oktober 2019
Auteur(s)	Ir. H. Borsje Dr. T.G. Nijland
Aantal pagina's	57 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	PoortCentraal B.V. Mevrouw L. Homan Postbus 20 3980 CA BUNNIK
Projectnaam	060.39001/01.05
Projectnummer	Glasgevel Rijnstraat 8

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Beschikbaar gesteld dossier	4
3	Coderingen en gegevens van de ruiten	5
4	Informatie over de vijf gebroken ruiten	8
5	Analyse van de oorzaak van de ruitbreuk	10
5.1	Inleiding	10
5.2	Selectie deelmonsters voor SEM onderzoek	10
5.3	Samenstelling glas	16
5.4	Insluitsels	16
5.5	Discussie en conclusie	25
6	Eisen waaraan de gevel moet voldoen	26
6.1	Eisen vanuit de wet- en regelgeving	26
6.2	Eisen vanuit het DBFMO contract	27
7	Toetsing van de gevel aan de eisen	28
7.1	Algemeen	28
7.2	Berekening van de glasgevel	28
7.3	Kans op niet-toelaatbare letselschade	29
7.4	Heat-soak-test	29
8	Beantwoording van de onderzoeksvragen	30
9	Referenties	31
10	Ondertekening van het rapport	32
	Bijlage(n)	
	A Informatie over de vijf gebroken ruiten	
	B Materiaalkundig onderzoek	
	C Productie en levering van de ruiten	
	D EDS spectra	

1 Inleiding

In de maanden juni tot en met augustus 2019 zijn bij het gebouw aan de Rijnstraat 8 te Den Haag vijf ruiten van de atriumgevels gebarsten. Naar aanleiding van deze incidenten heeft PoortCentraal B.V. aan TNO gevraagd om inhoudelijke ondersteuning met betrekking tot deze problematiek.

Het doel van de ondersteuning is om antwoord te krijgen op de volgende onderzoeksvragen:

1. Wat is de oorzaak c.q. zijn de oorzaken van de ruitbreuk?
2. Voldoet het gevelglas aan de station zijde van het gebouw Rijnstraat 8 te Den Haag aan wet & regelgeving en het DBFMO Contract?
3. Wat is de toekomstverwachting ten aanzien van ruitbreuk?

Ten behoeve van de beantwoording van deze onderzoeksvragen heeft TNO gebruik gemaakt van een dossier dat door PoortCentraal aan TNO beschikbaar is gesteld. Tevens is onderzoek verricht op delen van de gebroken ruiten die door PoortCentraal zijn uitgenomen en aan TNO beschikbaar zijn gesteld.

Bij de beantwoording van vraag 2 zijn alleen de aspecten die een directe en indirecte relatie (kunnen) hebben met de ruitbreuk in beschouwing genomen. Overige aspecten, zoals bijvoorbeeld bouwfysische aspecten, zijn niet in beschouwing genomen.

In dit rapport geeft hoofdstuk 2 een overzicht van het beschikbaar gesteld dossier. Hoofdstuk 3 geeft een toelichting op de in het rapport aangehouden coderingen van de geveldelen en de ruiten.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de informatie die beschikbaar is gekomen over de vijf gebroken ruiten.

Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van materiaalkundig onderzoek dat is uitgevoerd aan de gebroken ruiten, inclusief een analyse van de oorzaak van de ruitbreuk.

Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van de eisen waaraan de gevel moet voldoen, vanuit de wet- en regelgeving én vanuit het DBFMO contract.

Hoofdstuk 7 geeft de toetsing van de gevel aan de eisen.

Hoofdstuk 8 geeft de beantwoording van de onderzoeksvragen.

Hoofdstuk 9 geeft de referenties.

Hoofdstuk 10 geeft de ondertekening van het rapport.

2 Beschikbaar gesteld dossier

Ten behoeve van het onderzoek heeft PoortCentraal een dossier aan TNO beschikbaar gesteld (tabel 2.1). Dit dossier bevat een deel dat is samengesteld door PoortCentraal en een deel dat is samengesteld Kingspan Light + Air en integraal is doorgestuurd naar TNO.

Tabel 2.1: Beschikbaar gestelde documenten

Dossier samengesteld door PoortCentraal	
[01]	Nieman-Kettlitz; Notitie getiteld "Inschatting van het risico van glasbreuk en de mogelijke gevolgen"; 1 augustus 2019
[02]	Bijlage ntb: Storingshistorie gevelruit
[03]	Procedé heat soak test TVITEC-PoortCentraal; gegevens Heat Soak Test
[04]	BAM A&E; Notitie getiteld "Risico inventarisatie ruitbreuk"; 31 juli 2019
[05]	Email van PoortCentraal B.V. aan Rijksvastgoedbedrijf met beantwoording van gestelde vragen; 26 juli 2019
[06]	Email van PoortCentraal B.V. aan Rijksvastgoedbedrijf met beantwoording van gestelde vragen; 30 juli 2019 (inclusief 8 foto's van de gebarsten ruiten)
[07]	Email van PoortCentraal B.V. aan Rijksvastgoedbedrijf met een uitwerking van variaties beheersmaatregelen
[08]	Outputspecificatie project Rijnstraat 8
[09]	PPS Vernieuwing Rijnstraat 8; Boek 3.0-7 Veiligheid
[10]	Brakel Atmos; Constructieberekening van de puntgehouden buitengevels d.d. 9 april 2015
[11]	Memo van BAM "Controle glasberekening gevels Poort Centraal" d.d. 9 oktober 2019
[12]	Kingspan Light + Air Nederland; Controleberekening van de Spidergevels GR-1 t/m 3 d.d. 16 oktober 2019
[13]	Kenniscentrum Glas; Analyse glastoepassing Den Haag; Bijlage 4: uitwerking van de risico analyse / risicobeoordeling; 16 oktober 2019
[14]	Kenniscentrum Glas; Analyse glastoepassing Den Haag; Bijlage 5: NEN 2608 doorbuiging isolatieglas; 16 oktober 2019
[15]	Kingspan Light+Air; Brief betreffende vervorming beglazing; 22 oktober 2019
Dossier samengesteld door Kingspan Light + Air	
[21]	Kingspan; Overzicht routing orders PoortCentraal te 's Gravenhage; 20 september 2019
[22]	Kingspan; Constructieberekening Gevels GR 1 t/m 3 d.d. 20 september 2019
[23]	Brakel Atmos; Tekeningen As Built
[24]	Bestellingen (intern) Brakel Atmos
[25]	Inkooporders (extern) Brakel Atmos
[26]	Certificaten floatglas Guardian
[27]	Certificaten en specificaties beglazing TVITEC
[28]	Opdrachtbevestigingen TVITEC
[29]	HST rapporten TVITEC
[30]	Verzenddocumenten (intern) Brakel Atmos
[31]	Montagetekeningen (intern; merken en plaatsingsplan) GR-gevels
[32]	Kingspan Brakel Atmos; Reactie notitie Nieman Kettlitz; 13 augustus 2019
[33]	Peutz Geveltechniek; Analyse gebroken ruiten; 18 september 2019
[34]	Kenniscentrum Glas; Analyse glastoepassing Den Haag; 18 september 2019
[35]	Garantieverklaring Brakel Atmos; 17 november 2016

3 Coderingen en gegevens van de ruiten

De onderhavige gevel is de noordoost gevel van het gebouw Rijnstraat 8, de gevel aan de zijde van het Centraal Station. De betreffende geveldelen zijn de drie glazen gevels van de atria (figuur 3.1). Van rechts naar links in het aanzicht van de gevel zijn deze drie geveldelen als volgt gecodeerd (figuur 3.2):

- Vak 1; GR-1; montagefase 3.
- Vak 2; GR-2; montagefase 1.
- Vak 3; GR-3; montagefase 2.

De drie geveldelen zijn identiek opgebouwd, met elk in totaal 164 ruiten. Volgens document [31] zijn zes verschillende ruitmerken verwerkt, gecodeerd met 9 tot en met 14. In tabel 3.1 is voor één geveldeel aangegeven hoeveel ruitmerken er per verdieping zijn toegepast. In tabel 3.2 zijn per ruitmerk de afmetingen, het oppervlak en de massa weergegeven.

Volgens document [25] zijn de ruiten als volgt opgebouwd:

- Buitenruit: Blank gehard glas met een dikte van 10 mm.
- Spouw: Gasgevuld (spacer zwart) met een dikte van 15 mm.
- Binnenruit: Blank gehard glas met een dikte van 12 mm.
- Totale glasdikte 37 mm.

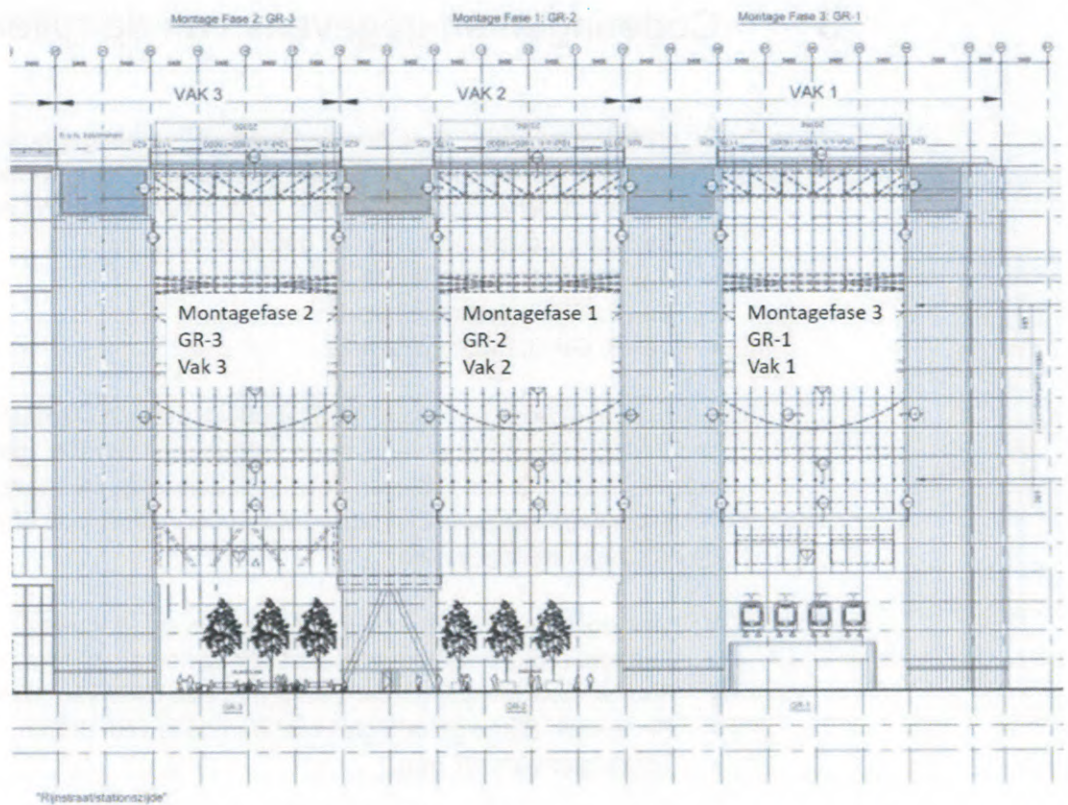
Document [21] geeft de volgende informatie over de productie en de levering van de ruiten:

- Brakel Atmos (het huidige Kingspan Light + Air) heeft de gevel gemonteerd.
- Brakel Atmos heeft de ruiten betrokken van TVITEC.
- TVITEC heeft het glas niet zelf geproduceerd, maar het wel bewerkt en samengesteld. De buitenruiten van 10 mm hebben zij betrokken bij Guardian Tudela en de binnenruiten van 12 mm bij Guardian Llido.

In bijlage C is een samenvattend overzicht gegeven van deze informatie.



Figuur 3.1: Overzicht van de drie geveldelen ter plaatse van de atria; van rechts naar links vak 1, 2 en 3



Figuur 3.2: Overzichtstekening gevel [23]

Tabel 3.1: Overzicht ruitmerken per geveldeel [31]

Verdieping	Aantal ruiten per ruitmerk					
	9	10	11	12	13	14
17	1	1	0	0	0	10
16	0	0	10	2	0	0
15	0	0	10	2	2	0
14	0	0	10	2	2	0
13	0	0	10	2	2	0
12	0	0	10	2	2	0
11	0	0	10	2	2	0
10	0	0	10	2	2	0
9	0	0	10	2	2	0
8	0	0	10	2	2	0
7	0	0	10	2	2	0
6	0	0	10	2	2	0
Totaal per ruitmerk	1	1	110	22	20	10

Tabel 3.2: Gegevens van de verschillende ruitmerken [25]

Ruitmerk	Aantal in hele gevel	Breedte (mm)	Hoogte (mm)	Oppervlak (m ²)	Massa (kg)
9	3	1338	3264	4.37	240.1
10	3	1338	3264	4.37	240.1
11	330	1775	3275	5.81	319.7
12	66	1338	3275	4.38	240.9
13	60	457	3275	1.50	82.3
14	30	1775	3264	5.79	318.6

4 Informatie over de vijf gebroken ruiten

Onder andere vanuit document [02] is de onderstaande informatie over de vijf gebroken ruiten beschikbaar gesteld (zie figuur 4.1).

Ruit 1

Locatie: 15e verdieping; vak 3 (C-D beuk)

Meldingsdatum en -tijd in Registratiesysteem Opdrachtnemer: 03-06-2019 07:48

Ruit 2

Locatie: 12e verdieping; vak 1 (A-B beuk)

Meldingsdatum en -tijd in Registratiesysteem Opdrachtnemer: 25-06-2019 10:06

Ruit 3

Locatie: 16e verdieping; vak 2 (B-C beuk)

Meldingsdatum en -tijd in Registratiesysteem Opdrachtnemer: 24-07-2019 20:59

Ruit 4:

Locatie: 13e verdieping; vak 1 (A-B beuk)

Meldingsdatum en -tijd in Registratiesysteem Opdrachtnemer: 26-07-2019 07:17

Ruit 5:

Locatie: 11e verdieping; vak 1 (A-B beuk); direct onder ruit 2

Meldingsdatum: 26-08-2019

De foto's A.2 tot en met A.9 in bijlage A tonen de vijf gebroken ruiten. Dit zijn enerzijds overzichtsfoto's en anderzijds detailfoto's. Uit deze foto's blijkt voor de vijf gebroken ruiten het volgende:

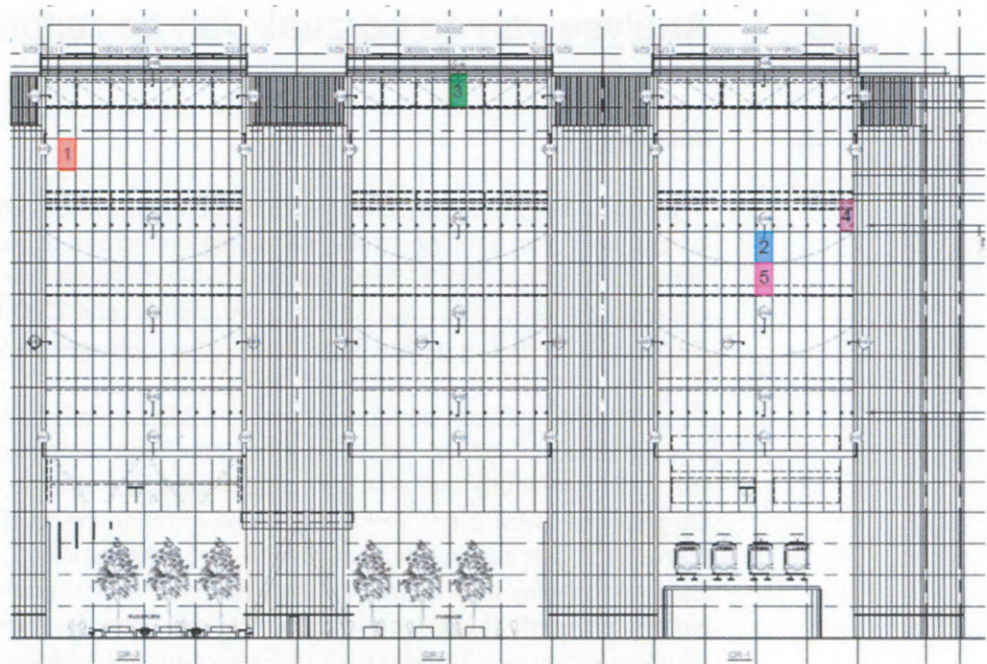
- De oorsprong van de breuklijnen ligt in het vlak van de ruiten en niet op de rand van de ruiten.
- In de oorsprong van de breuklijnen bevinden zich twee zeshoekige glasdeeltjes (ook wel vlinderpatroon genoemd).

De figuren A.10 tot en met A.12 geven informatie over de klimaatomstandigheden ten tijde van de ruitbreuken (ontleend aan de metingen van het KNMI zoals die zijn uitgevoerd op het meetstation Voorschoten):

- Figuur A.10 geeft over heel 2019 de uurwaarden voor de temperatuur.
- De figuren A.11 en A.12 geven vergelijkbare informatie, maar dan voor respectievelijk de gemiddelde windsnelheid en de maximale windstoot per uur.
- In de drie figuren zijn tevens de vijf momenten aangegeven waarop een ruitbreuk is gemeld (de rode lijnen).

Uit deze drie figuren blijkt het volgende:

- Er is een heel duidelijke relatie tussen de temperatuur en ruitbreuk. De ruitbreuken zijn allen opgetreden in perioden met temperaturen ruim boven de 25 °C.
- Er is geen duidelijke relatie tussen de wind en de ruitbreuk. In de periode tussen de 1e en de 5e ruitbreuk heeft het twee keer hard gewaaid, met windsnelheden die tot de hoogste windsnelheden van 2019 behoorden. De ruitbreuken zijn niet tijdens die harde wind opgetreden, maar wel in een later stadium, bij hoge temperaturen.



Figuur 4.1: Overzicht van de gebroken ruiten

5 Analyse van de oorzaak van de ruitbreuk

5.1 Inleiding

Teneinde meer inzicht te verkrijgen in de oorzaak van de ruitbreuken is in het laboratorium van TNO een materiaalkundig onderzoek uitgevoerd. Ten behoeve van dat onderzoek heeft PoortCentraal enkele delen van de ruiten 1, 3, 4 en 5 (voor codering zie het vorige hoofdstuk) uitgenomen en aan TNO beschikbaar gesteld. De foto's B.1 – B.7 in bijlage B geven een overzicht van deze uitgenomen delen.

De monsters zijn eerst onderzocht met een stereomicroscop. Daarna zijn de relevante deelmonsters nader onderzocht met een rasterelectronenmicroscop (SEM) in combinatie met energie dispersieve spectrometrie (microanalyse, EDS). De gebruikte SEM is een FEI Nova NanoSEM 650, met versnelspanningen tussen 6 en 15 kV, een zogenaamde solid state detector (gaseous, GAD) en laag vacuüm. Bij deze techniek hoeven de monsters niet van een geleidende laag voorzien te worden en wordt direct naar het oppervlak gekeken. De microanalyses zijn uitgevoerd met een Thermo NSS eFS microanalysesysteem met Si drift detector.

Het SEM onderzoek omvatte twee delen:

- 1) het bepalen van de samenstelling van het glas (paragraaf 5.3),
- 2) bestudering van de insluitels op de breukvlakken (paragraaf 5.4).

5.2 Selectie deelmonsters voor SEM onderzoek

De bovengenoemde ruiten 1, 3, 4 en 5 (Bijlage B) zijn bestudeerd met een stereomicroscop. Onderstaand wordt per ruit een overzicht gegeven van de waarnemingen.

Ruit 1:

Het monster omvatte slechts drie losse stukjes glas, geen daarvan met de kenmerkende, zeshoekige, vorm van een vlinderpatroon.

Eén van de drie glasdeeltjes bevat een draadachtig insluitel dat in het glas lijkt te zitten (figuur 5.1 en 5.2). De morfologie doet denken aan de vorm die een gedegen metaal (soms) kan hebben; de morfologie komt niet overeen met wat op grond van de literatuur verwacht wordt voor NiS. Dit deeltje is geselecteerd voor SEM onderzoek. Eén van de andere twee deeltjes toont op het breukvlak algengroei (figuur 5.3). Dit deeltje is verder niet met SEM onderzocht.

Ruit 3:

Het monster bevat niet de twee zeshoekige deeltjes (vlinderpatroon) die kenmerkend zijn voor scheurinitiatie door NiS. De twee deeltjes bevonden zich nabij de rand van de ruit (figuur B.2) en zijn bij het uitnemen van het ruitdeel verloren gegaan.

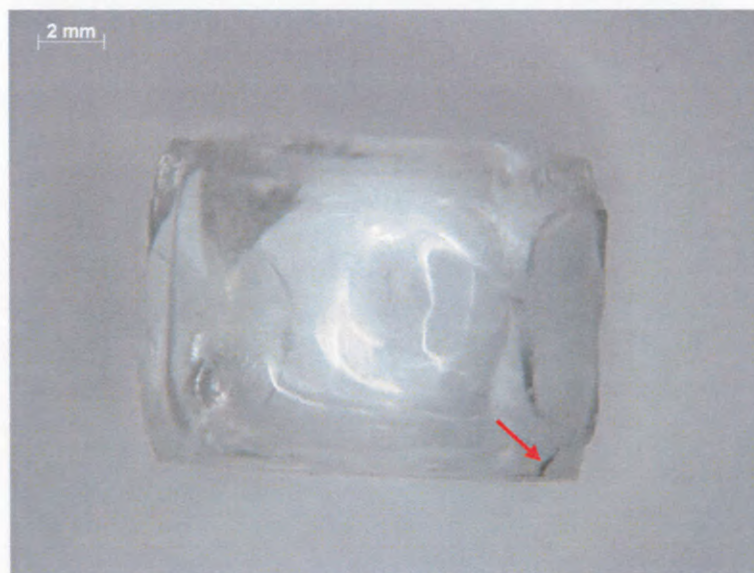
De breukstukjes van het glas die het meest nabij het 'vlinderpatroon' gezeten hebben vertonen op de breukvlakken geen insluitels. Ruit 3 is daarom niet verder onderzocht met SEM.

Ruit 4:

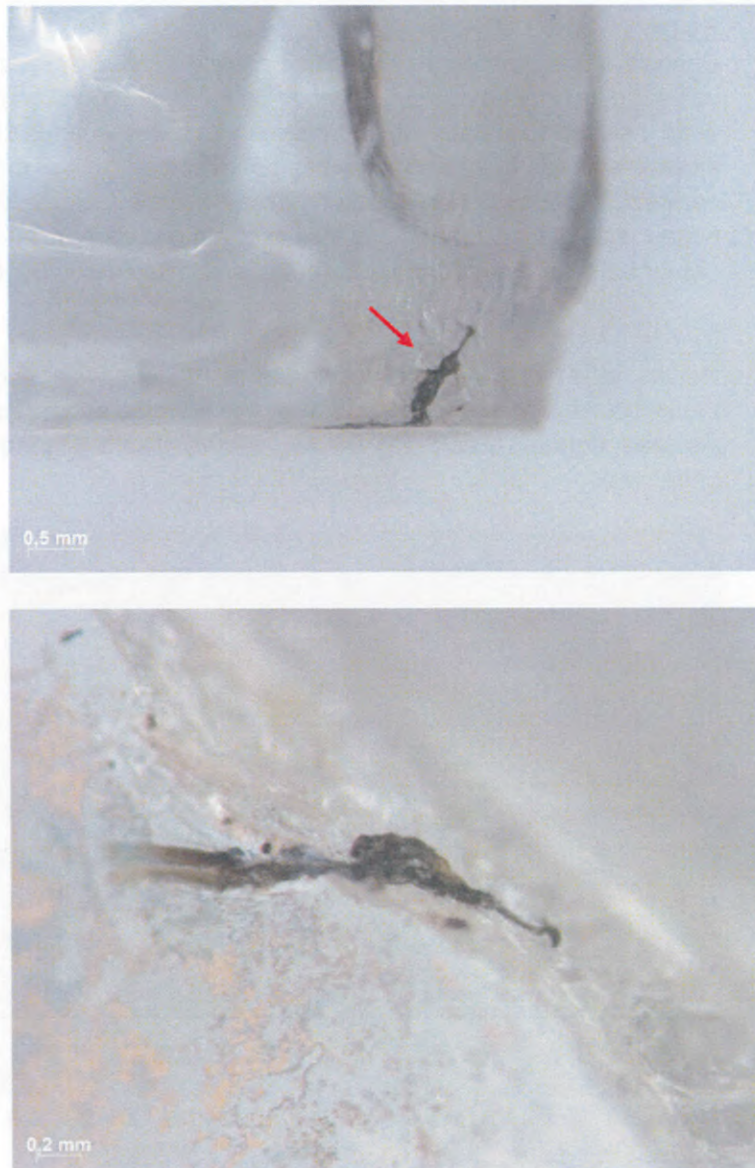
Centraal in het monster bevindt zich het vlinderpatroon (figuur 5.4). Bij bestudering van het glas door het zichtvlak was in de centrale breuk van de vlinder (figuur 5.5) geen insluitel zichtbaar. Bij doorbreken van het glas langs deze centrale breuk bleek in één van de breukvlakken de helft van een (min of meer) bolvormig deeltje aanwezig (figuur 5.6). Dit deeltje heeft een messingachtige kleur en een bijzonder hoge metaalglans. Rondom het insluitel zijn radiale barsten in het glas zichtbaar (figuur 5.6). Het betreffende glasdeeltje is geselecteerd voor SEM onderzoek.

Ruit 5:

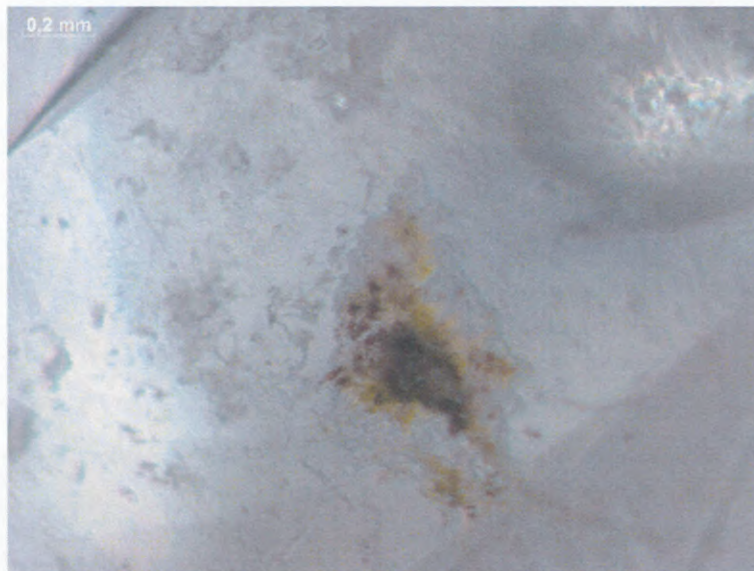
Net als ruit 4 bevat ruit 5 een vlinderpatroon (figuur 5.7 en 5.8). Op het centrale breukvlak hiervan is door het zichtvlak van het glas een bolvormig insluitel zichtbaar (figuur 5.9 en 5.10). Dit deel van het glas is uitgenomen voor SEM onderzoek.



Figuur 5.1: Ruit 1. Overzicht van het geselecteerde glasdeeltje. De rode pijl geeft het insluitel aan



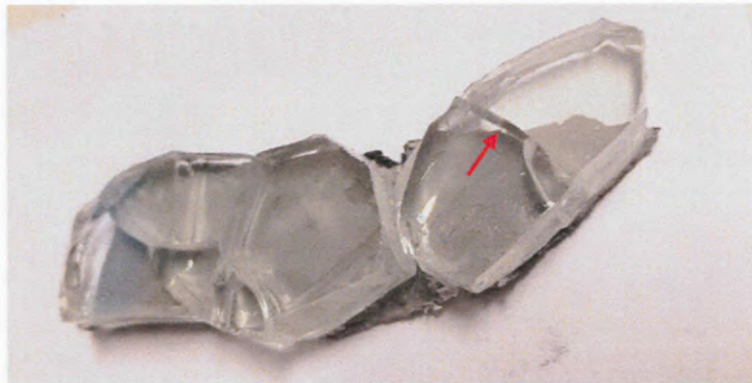
Figuur 5.2: Ruit 1. Insluitsel in het in figuur 5.1 afgebeelde glasdeeltje



Figuur 5.3: Ruit 1. Algengroei op breukvlak



Figuur 5.4: Ruit 4. Vlinderpatroon centraal in het monster



Figuur 5.5: Ruit 4. Vlinderpatroon; de rode pijl geeft het breukvlak met insluitel aan



Figuur 5.6: Ruit 4. Stereomicroscopische foto's van het insluitel



Figuur 5.7: Ruit 5. Vlinderpatroon



Figuur 5.8: Ruit 5. Vlinderpatroon; de rode pijl geeft het breukvlak met insluitel aan



Figuur 5.9: Ruit 5. Stereomicroscopische foto van het centrale breukvlak in het vlinderpatroon met de locatie van het insluitel



Figuur 5.10: Ruit 5. Stereomicroscopische foto van insluitel op breukvlak

5.3 Samenstelling glas

Om de samenstelling van het glas te bepalen is uit ruit 1, 4 en 5 elk random een glasdeeltje genomen. Hiervan is op een breukvlak de samenstelling bepaald met behulp van EDS. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 5.1. Die tabel geeft tevens de samenstellingseisen die aan dit type glas worden gesteld conform tabel 1 van NEN-EN 572-1+A1:2016.

De volledige EDS analyses en spectra worden gegeven in bijlage D (figuur D.1 tot en met D.3). Uit tabel 5.1 blijkt dat het glas voldoet aan de samenstellingseisen zoals gesteld in de betreffende norm.

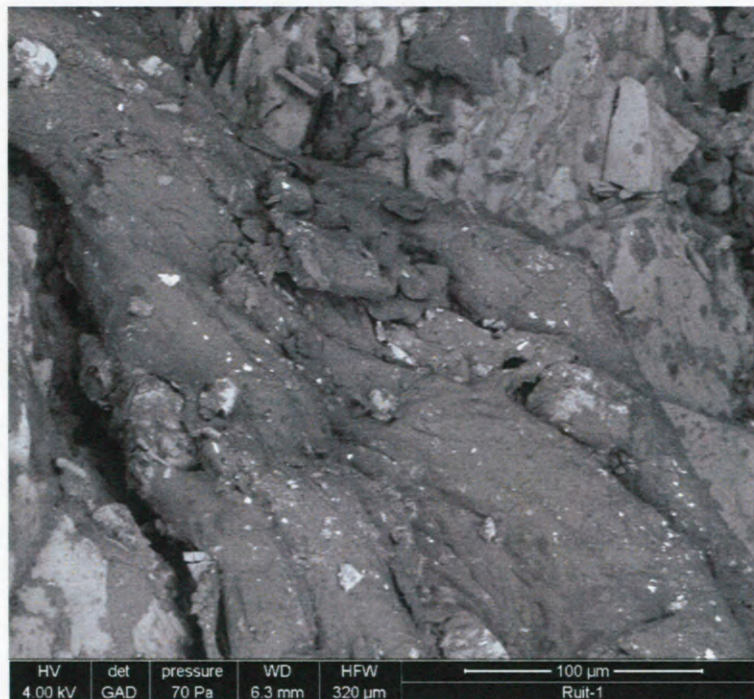
Tabel 5.1: Samenstelling glas (m/m %) en eisen in NEN-EN 572-1+A1:2016

	Ruit 1	Ruit 4	Ruit 5	NEN-EN 572-1
Si	33,10	32,49	32,51	32 – 35
Ca	6,27	6,81	7,23	3,5 – 10,1
Na	9,75	10,20	10,00	7,4 – 11,9
Mg	2,19	1,99	2,22	0 – 3,7
Al	0,38	0,41	0,44	0 – 1,6

5.4 Insluitsels

5.4.1 Ruit 1

Figuur 5.11 toont een SEM foto van dit veronderstelde insluitel. Dit blijkt duidelijk een schimmel. De organische oorsprong wordt ondersteund door het EDS spectrum (figuur D.4).

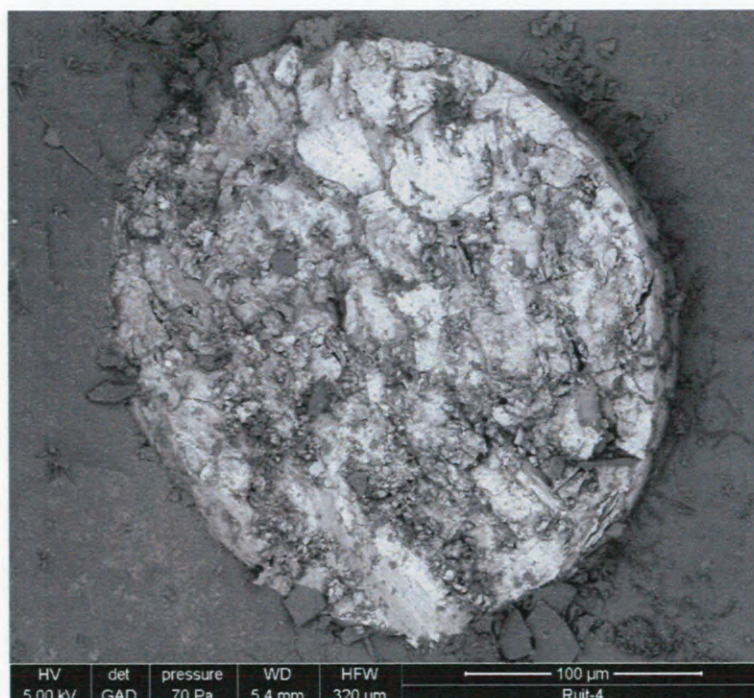


Figuur 5.11: Ruit 1. SEM opname verondersteld insluitel; in werkelijkheid een schimmel

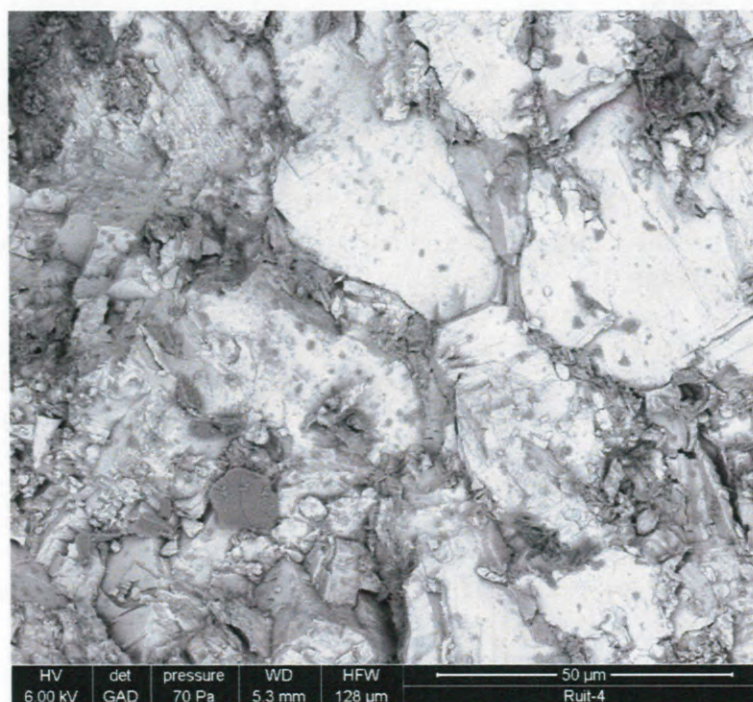
5.4.2 Ruit 4

Figuur 5.12 toont het deeltje op het centrale breukvlak van het vlinderpatroon (figuur 5.6). Het deeltje heeft de vorm van een halve bol en steekt enigszins uit het glas. Intern is het gefragmenteerd (figuur 5.13) en rondom zijn kleine radiale barsten in het glas aanwezig (figuur 5.14). EDS analyse laat zien dat het insluitel uit NiS bestaat (Bijlage D). Uit de EDS analyses blijkt dat de donkere delen tussen de NiS domein en donkerdere deeltjes die daarop liggen (figuur 5.13) glas zijn (Bijlage D).

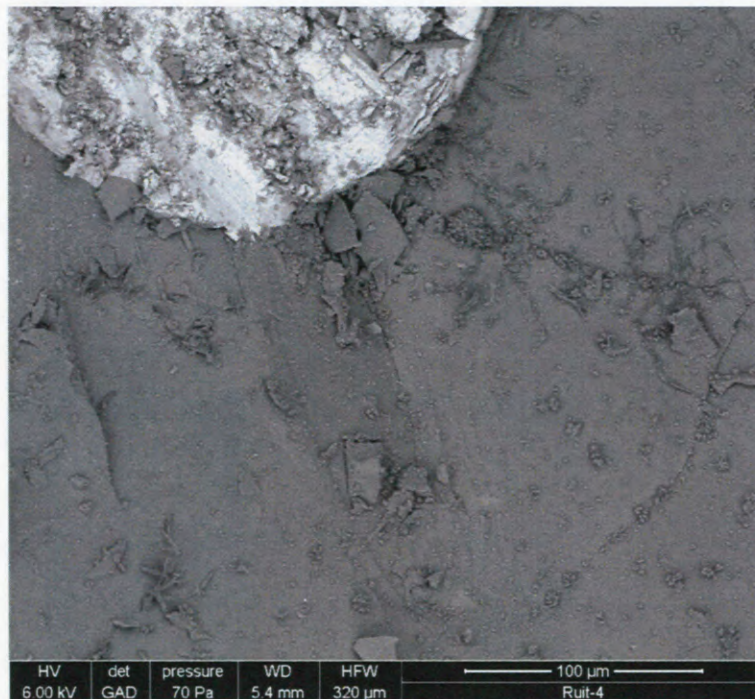
Het valt op dat op het breukvlak van het glas verschillende deeltjes aanwezig zijn die lijken te zijn neergeslagen (figuur 5.15 tot en met 5.17). EDS analyses laten zien dat het hier waarschijnlijk om Na-Ca-carbonaten gaat; er is geen zwavel of chloor aanwezig (Bijlage D). Het glas ter plaatse heeft, zeer in detail, een wat sponzige structuur, die kan wijzen op uitloging (figuur 5.18). EDS laat zien dat het glas hier minder Ca bevat dan op 'gewone' breukvlakken (paragraaf 5.3, tabel 5.1). Het lijkt er op dat na vorming van de breuk reactie van het glas heeft plaatsgevonden in de vorm van uitloging van Ca en neerslag van carbonaten. Behalve de zouten zijn op het breukvlak schimmels aanwezig (figuur 5.19).



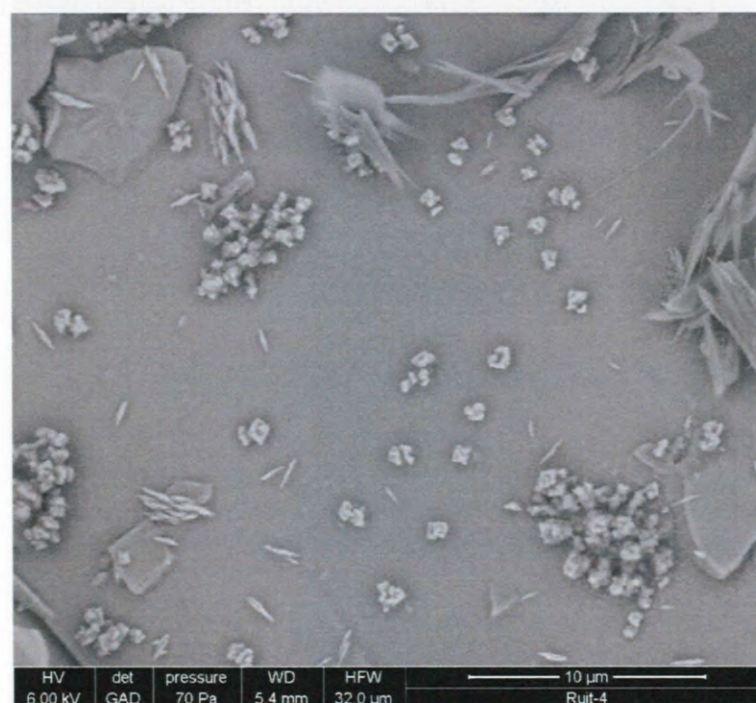
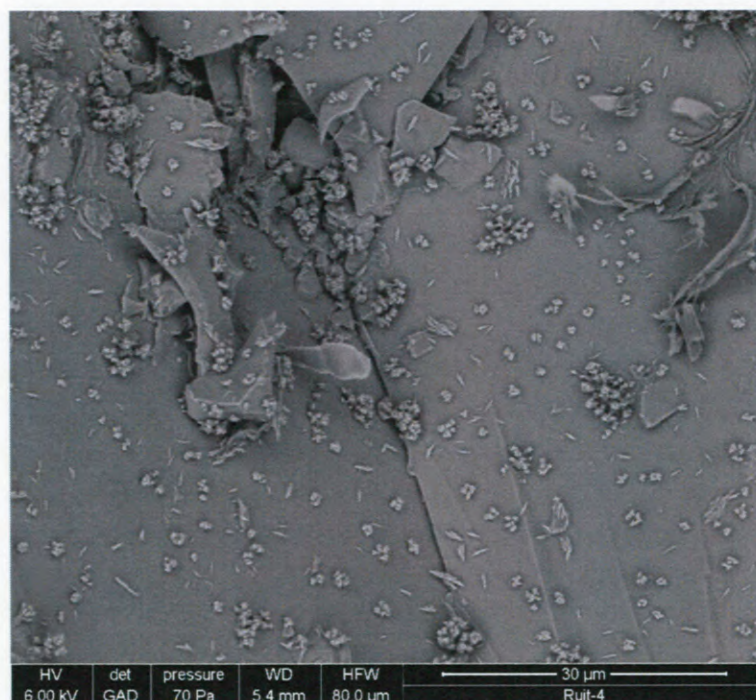
Figuur 5.12: Ruit 4. SEM opname van het insluitel. De grijsinten zijn gerelateerd aan de atoommassa van een aanwezige fase: hoe lichter van kleur, des te zwaarder de aanwezige atomen



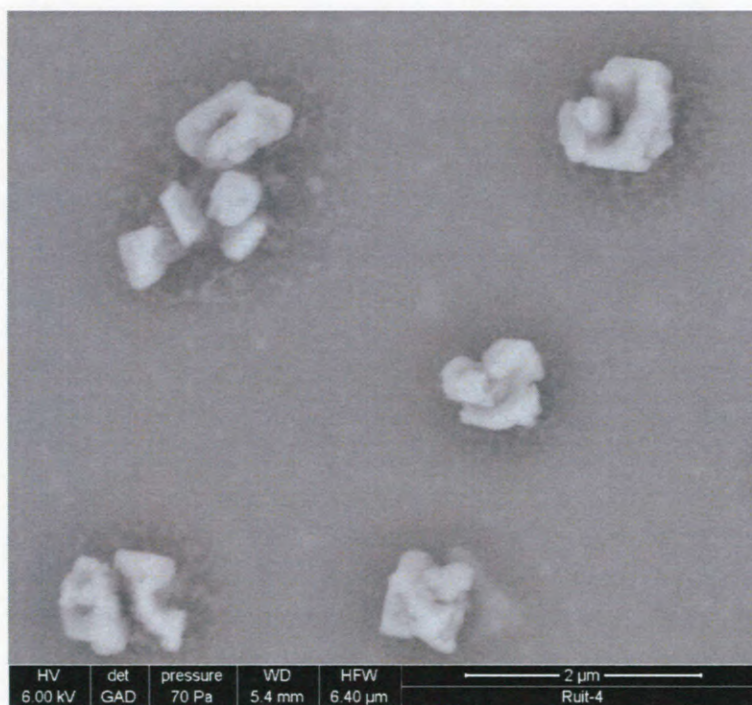
Figuur 5.13: Ruit 4. Detail van het insluitel. De lichte delen zijn NiS, de donkerdere delen daartussen zijn glas



Figuur 5.14: Ruit 4. SEM opname van radiale barsten in het glas rond het NiS insluitel. Het vertakte object rechts van het insluitel is een schimmel. Talrijke fijne deeltjes op het breukvlak



Figuur 5.15: Ruit 4. SEM opname van de neergeslagen deeltjes op het breukvlak



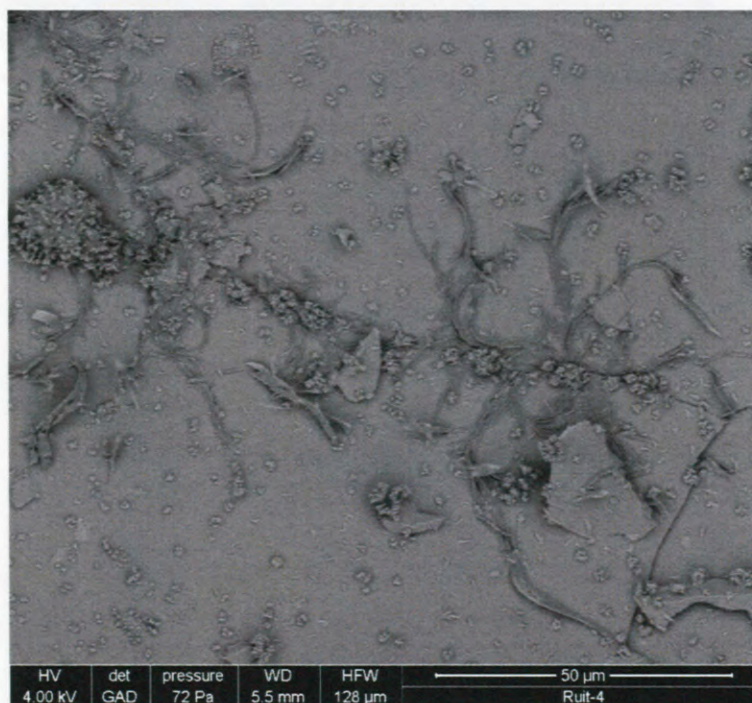
Figuur 5.16: Ruit 4. SEM opname met detail van deeltjes in figuur 5.15



Figuur 5.17: Ruit 4. SEM opname met detail van deeltjes in figuur 5.15



Figuur 5.18: Ruit 4. Uitsnede uit de SEM opname in figuur 5.17. Sponzige structuur van het glas in het midden van de foto



Figuur 5.19: Ruit 4. SEM opname van breukvalk met schimmel

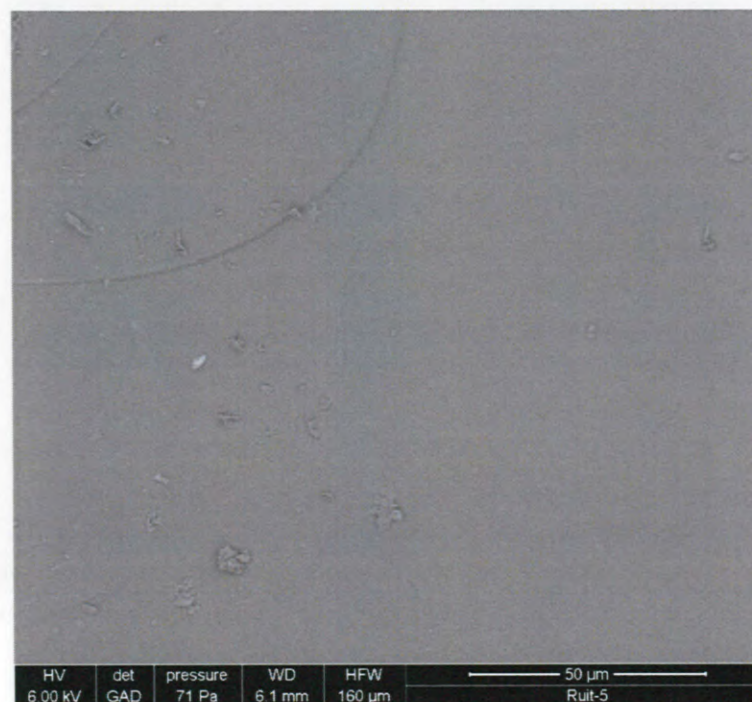
5.4.3 Ruit 5

In figuur 5.20 is het insluitel op het centrale breukvlak van het vlinderpatroon (figuur 5.8) afgebeeld. Het bolvormige deeltje steekt uit het oppervlak en is niet doorbroken als bij ruit 4. In het oppervlak van het insluitel zijn scheurtjes te zien; rondom het insluitel radiale barsten in het glas (figuur 5.20). EDS analyse bevestigt dat het net als in ruit 4 gaat om NiS (Bijlage D). Het breukvlak in het

omringende glas is schoon; er zijn geen neergeslagen carbonaten (figuur 5.21). Tevens ontbreekt de sponzige structuur van het glas.



Figuur 5.20: Ruit 5. SEM opname van het insluitsel op het centrale breukvlak van het vlinderpatroon. EDS analyse laat zien dat het om NiS gaat



Figuur 5.21: Ruit 5. SEM opname van het breukvlak in het glas rond het NiS insluitsel. Duidelijk verschil in structuur van het glas en afwezigheid van de neerslag in vergelijking met ruit 4 (figuur 5.15 tot en met 5.18)

5.5 Discussie en conclusie

Op basis van het onderzoek aan de uitgenomen delen van de gebroken ruiten wordt geconcludeerd dat het glas voldoet aan de samenstellingseisen zoals gedefinieerd in NEN-EN 572-1+A1:2016.

Omdat in alle vijf de gebroken ruiten sprake is van twee zeshoekige glasdeeltjes (een vlinderpatroon), hetgeen kenmerkend is voor NiS-brek, en omdat de insluitsels in het centrale breukvlak van het vlinderpatroon in de ruiten 4 en 5 NiS-deeltjes zijn, wordt geconcludeerd dat de ruitbreuk in de vijf ruiten vrijwel zeker NiS-brek betreft.

Er is een duidelijk verschil tussen het breukvlak van het glas rond de insluitsels in ruit 4 en 5. In ruit 5 is dit schoon. In ruit 4 zijn neergeslagen carbonaten aanwezig en is de structuur van het glas zelf veranderd, wat mogelijk duidt op uitloging. Op dit breukvlak heeft een chemische reactie plaatsgevonden na vorming van de breuk, in tegenstelling tot ruit 5. Dit zou kunnen betekenen dat het breukvlak in ruit 4 al enige tijd aanwezig was voordat de ruit als geheel uiteensprong, terwijl dit bij ruit 5 niet zo was; de ruit sprong in vergelijking sneller na vorming van de breuk uiteen.

6 Eisen waaraan de gevel moet voldoen

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de eisen waaraan de gevel moet voldoen, vanuit de wet- en regelgeving én vanuit het DBFMO contract.

Hierbij zijn alleen de aspecten die een directe en indirecte relatie (kunnen) hebben met de ruitbreuk in beschouwing genomen. Overige aspecten, zoals bijvoorbeeld bouwfysische aspecten, zijn niet in beschouwing genomen.

6.1 Eisen vanuit de wet- en regelgeving

De eisen vanuit de wet- en regelgeving zijn weergegeven in NEN 2608:2014 "Vlakglas voor gebouwen- Eisen en bepalingmethoden". Deze norm sluit aan op de Eurocodereeks en heeft als basis NEN-EN 1990. De gegeven rekenwaarden van sterkte-eigenschappen en de eisen aan de manier van falen zijn in overeenstemming met de eisen aan betrouwbaarheid van constructies volgens NEN-EN 1990.

In NEN 2608 zijn in paragraaf 5.1.2 de volgende relevante eisen voor de onderhavige gevel opgenomen:

- (1) Een uiterste grenstoestand van een glazen constructie mag niet zijn overschreden bij de voorgeschreven fundamentele belastingscombinaties als bedoeld in NEN-EN 1990.
- (3) Tot de bepaling van het overschrijden van een uiterste grenstoestand behoort ook een beoordeling van de kans op niet-toelaatbare letselschade. De kwetsbaarheid van vlakglas moet in relatie met de te verwachten bedreiging en de kans op letsel zijn geëvalueerd.
- (5) Een bruikbaarheidsgrenstoestand van een glazen constructie mag niet zijn overschreden bij de voorgeschreven belastingscombinaties als bedoeld in NEN-EN 1990. Voor toetsing van de bruikbaarheidsgrenstoestand hoeft geen rekening te zijn gehouden met isochore druk.

In NEN 2608 zijn in paragraaf 5.1.3 de volgende bepalingmethoden weergegeven:

- (1) Voor het bepalen of een uiterste grenstoestand wordt overschreden, moet gebruik zijn gemaakt van de methode met de partiële factoren volgens NEN-EN 1990, waarvan de grootte afhankelijk is van de gevolgklasse waarin de constructie moet zijn ingedeeld volgens die norm.
- (2) De berekening moet zijn gebaseerd op berekeningsmodellen die geschikt zijn voor de beschouwde grenstoestand.
- (3) Het berekeningsmodel en de fundamentele aanname voor de berekeningen moeten met een geschikte nauwkeurigheid het constructieve gedrag bij de relevante grenstoestand en het verwachte gedrag van de doorsneden, elementen en oplettingen weergeven.
- (4) Voor het beoordelen of een uiterste grenstoestand is overschreden bij een stootbelasting mag een constructie in enge zin zijn bezwaken.
- (5) Vlakglas mag niet leiden tot een onevenredige mate van letselschade als gevolg van het bezwijken.
- (6) Voor de evaluatie van letselschade moet de mate van beschadiging aan het constructief element tijdens de referentieperiode zijn ingeschat. Voor de bepaling van de mate van beschadiging moet de methode volgens bijlage D zijn aangehouden.

- (7) De in onderhavige norm opgenomen bepalingmethoden mogen alleen zijn gebruikt als is voldaan aan de voorwaarden verwoord in 5.2.
- (8) Bij de bepaling of de uiterste grenstoestand wordt overschreden moeten de materiaaleigenschappen zijn gehanteerd als beschreven in 5.3.
- (9) De rekenwaarde van de dikte van het glas moet, zowel bij de verificatie van de uiterste grenstoestand als van de bruikbaarheidsgrenstoestand, zijn bepaald volgens hoofdstuk 7.
- (10) Voor de toetsing van de uiterste grenstoestand moet toepassing zijn gegeven aan hoofdstuk 8.
- (11) Voor de toetsing van de bruikbaarheidsgrenstoestand moet toepassing zijn gegeven aan hoofdstuk 9.
- (12) Bij de toetsing van de maximale vervorming onder windbelasting van de gesteunde en/of de ongesteunde zijde van de ruit moet de frequente belastingscombinatie volgens 6.5 van NEN-EN 1990 zijn gehanteerd, waarbij de veranderlijke belasting $Q_{k,1}$ de windbelasting is en waarbij er voor ψ_1 een waarde van 0,9 (herhalingsjijd 12,5 jaar) moet zijn aangehouden.

In NEN 2608 zijn in paragraaf 5.2 de volgende relevante voorwaarden voor de onderhavige gevel opgenomen:

- (1) Thermisch gehard glas toegepast als:
 - enkel glas in een ruit bestaande uit 1 glasplaat of
 - enkel glas in het binnen- of buitenblad van isolatieglas,
 waarbij de ruit een breukgedrag type C volgens NEN-EN 12600 heeft, moet de beproeving volgens de 'heat soak'-methode volgens NEN-EN 14179-1 hebben ondergaan.

6.2 Eisen vanuit het DBFMO contract

De eisen vanuit het DBFMO contract zijn weergegeven in de Outputspecificatie (bijlage 13 van de DBFMO-Overeenkomst [08]). In de Outputspecificatie [08] zijn de volgende relevante eisen opgenomen ten aanzien van de onderhavige glasgevel:

1. Uitgangspunten > veiligheid > constructie
 Naam: Veiligheid.
 Kenmerk: 4. Gevolgklasse:
 "Voor het nieuwbouwniveau dient minimaal gevolgklasse 2b en ontwerplevensduur klasse 3 (50 jaar) conform NEN-EN 1990 en 1991-1-1-7:NB te worden aangehouden".
 Kenmerk: 5. Verlaging gevolgklasse:
 "Voor de gevolgklasse van lichte en/of secundaire constructies, bijvoorbeeld gevels, moet de maatgevende gevolgklasse van het bouwwerk aangehouden zijn. Deze mag niet verlaagd worden".
2. Uitgangspunten > veiligheid > constructie
 Naam: Bruikbaarheid.
 Kenmerk: Bruikbaarheidsgrenstoestanden:
 "De bruikbaarheidsgrenstoestanden en aan te houden waardes die in de vigerende EN 1990-serie en daaraan gekoppelde Nationale Bijlages voor Nederland zijn vermeld".

7 Toetsing van de gevel aan de eisen

7.1 Algemeen

In het DBFMO contract is aangegeven dat bij de berekening van de glasgevel minimaal gevolgklasse 2b en ontwerplevensduur klasse 3 (50 jaar) conform NEN-EN 1990 en 1991-1-1-7:NB dient te worden aangehouden. De gevolgklasse mag niet verlaagd worden.

Deze eis wordt getoetst bij de beoordeling van de berekening (paragraaf 7.2).

De eisen vanuit de wet- en regelgeving zijn weergegeven in NEN 2608:2014. Deze eisen zijn als volgt te groeperen:

- Eisen en bepalingsmethoden met betrekking tot het uitvoeren van een constructieve berekening van de glasgevel:
 - Paragraaf 5.1.2: de eisen (1) en (5)
 - Paragraaf 5.1.3: de eisen (1) – (4) en (8) – (12)
- Eisen en bepalingsmethoden met betrekking tot het doorlopen van een procedure voor het vaststellen van de kans op niet-toelaatbare letselschade:
 - Paragraaf 5.1.2: eis (3)
 - Paragraaf 5.1.3: de eisen (5) en (6)
- Voorwaarde met betrekking tot het uitvoeren van een Heat-soak-test:
 - Paragraaf 5.1.3: eis (7)
 - Paragraaf 5.2: eis (1)

Deze drie groepen worden onderstaand in separate paragrafen behandeld.

7.2 Berekening van de glasgevel

Via paragraaf 5.1.2 (1) en (5) en via paragraaf 5.1.3 (1) – (4) en (8) – (12) van NEN 2608:2014 wordt voor de onderhavige glasgevel geëist dat er een constructieve berekening wordt uitgevoerd en worden bepalingsmethoden voorgeschreven ten aanzien van die berekening.

Document [10] betreft de oorspronkelijke berekening van de glasgevel. Echter, naar aanleiding van de glasbreuk is er een controleberekening van de beglazing opgesteld: "Spidergevels GR-1 t/m 3", versie VO 1.1 Revisie 1; Kingspan d.d. 16-10-2019 [12]. Aan deze controleberekening zijn de volgende documenten toegevoegd:

- Document [11]: Een toelichtend memo van BAM Advies & Engineering.
- Document [14]: Een beoordeling van de doorbuiging van de beglazing door het Kenniscentrum Glas.
- Document [15]: Een verklaring van de glasleverancier TVITEC inzake de doorbuiging van de beglazing.

TNO heeft de bovengenoemde documenten inhoudelijk beoordeeld en komt tot de conclusie dat de berekening en toetsing van de glasgevel op een juiste wijze zijn uitgevoerd.

7.3 Kans op niet-toelaatbare letselschade

Via paragraaf 5.1.2 (3) en via paragraaf 5.1.3 (5) en (6) van NEN 2608:2014 wordt voor de onderhavige glasgevel geëist dat de kans op niet-toelaatbare letselschade bepaald moet worden. In paragraaf 5.1.3 (6) is aangegeven dat dit moet worden uitgevoerd volgens een procedure zoals omschreven in bijlage D van NEN 2608:2014. Dat betreft een procedure voor een risicoanalyse die is gebaseerd op de methode van Fine en Kinney.

De betreffende risicoanalyse is weergegeven in document [13] van het Kenniscentrum Glas. De procedure die is gevolgd voor het opstellen van die risicoanalyse is conform bijlage D van NEN 2608:2014.

7.4 Heat-soak-test

Via paragraaf 5.2 (1) van NEN 2608:2014 wordt voor de ruiten van de glasgevel de voorwaarde gesteld dat die een Heat-soak-test moeten hebben ondergaan.

In bijlage C van het onderhavige rapport is een overzicht gegeven van de productie en levering van de individuele ruiten van de onderhavige gevel. Uit dat overzicht blijkt dat alle binnen- en buitenruiten een Heat-soak-test hebben ondergaan.

Ten aanzien van de Heat-soak-test geldt dat deze uitgevoerd dient te zijn conform NEN-EN 14179-1. Ten tijde van de levering van de ruiten voor de gevel was de versie van 2005 van deze norm van toepassing. In die norm is aangegeven dat het glas gedurende minimaal 2 uur een temperatuur moet hebben van 280 °C. Uit de grafieken met het temperatuursverloop tijdens de uitgevoerde Heat-soak-testen [29] volgt dat de oventemperatuur circa 7 – 8 uur op 280 °C is geweest. Daarmee is voldaan aan de gestelde eis.

Samenvattend wordt op basis van de beschikbaar gestelde documenten geconcludeerd dat de ruiten van de gevel de vereiste Heat-soak-test hebben ondergaan, waarmee is voldaan aan de eis vanuit de wet- en regelgeving.

8 Beantwoording van de onderzoeksvragen

Dit hoofdstuk geeft de beantwoording van de onderzoeksvragen.

Vraag 1: Wat is de oorzaak c.q. zijn de oorzaken van de ruitbreuk?

Op basis van het uitgevoerd onderzoek wordt geconcludeerd dat de ruitbreuk vrijwel zeker is veroorzaakt door NiS-insluitingen, die hebben geresulteerd in NiS-breuk.

Vraag 2: Voldoet het gevelglas aan de station zijde van het gebouw Rijnstraat 8 te Den Haag aan wet & regelgeving en het DBFMO Contract?

De eisen vanuit de wet- en regelgeving zijn weergegeven in NEN 2608:2014. De beoordeelde eisen vanuit het DBFMO contract hebben betrekking op de bij de constructieve berekening van de gevel aan te houden gevolgklasse en ontwerplevensduur.

Op basis van het uitgevoerd onderzoek is TNO van oordeel dat het gevelglas voldoet aan de wet & regelgeving en het DBFMO Contract

Vraag 3: Wat is de toekomstverwachting ten aanzien van ruitbreuk?

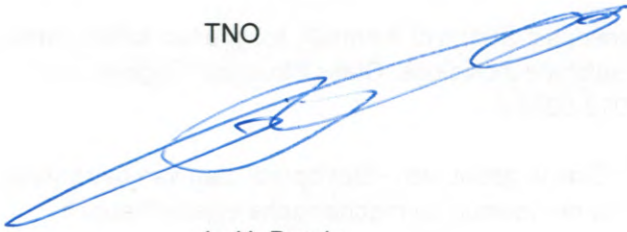
De buitenruiten zijn vervaardigd van gehard glas, waarvan bekend is dat dat gevoelig is voor het optreden van NiS-breuk. Om deze reden schrijft de norm voor dat dergelijke ruiten, in de onderhavige toepassing, na productie een Heat-soak-test moeten ondergaan. Daarmee wordt de kans op het optreden van NiS-breuk tot een algemeen aanvaard niveau verlaagd.

Op basis van de beschikbaar gestelde documenten is geconcludeerd dat de ruiten van de onderhavige gevel de vereiste Heat-soak-test hebben ondergaan. Desondanks is er inmiddels bij vijf ruiten NiS-breuk opgetreden, hetgeen aanzienlijk meer is dan voor de onderhavige gevel verwacht had mogen worden. Het uitgevoerde onderzoek heeft niet uitgewezen wat de oorzaak is van dit relatief grote aantal ruitbreuken.

Op basis van het voorgaande kan niet worden vastgesteld wat de verwachting is ten aanzien van eventuele toekomstige ruitbreuk. Om deze reden adviseert TNO om voor de toekomst rekening te houden met nieuwe ruitbreuk en maatregelen te treffen om de eventuele gevolgen van die ruitbreuk voldoende te beheersen.

10 Ondertekening van het rapport

TNO



Ir. H. Borsje
Auteur



Dr. P.C. Rasker
Research Manager Structural Reliability:

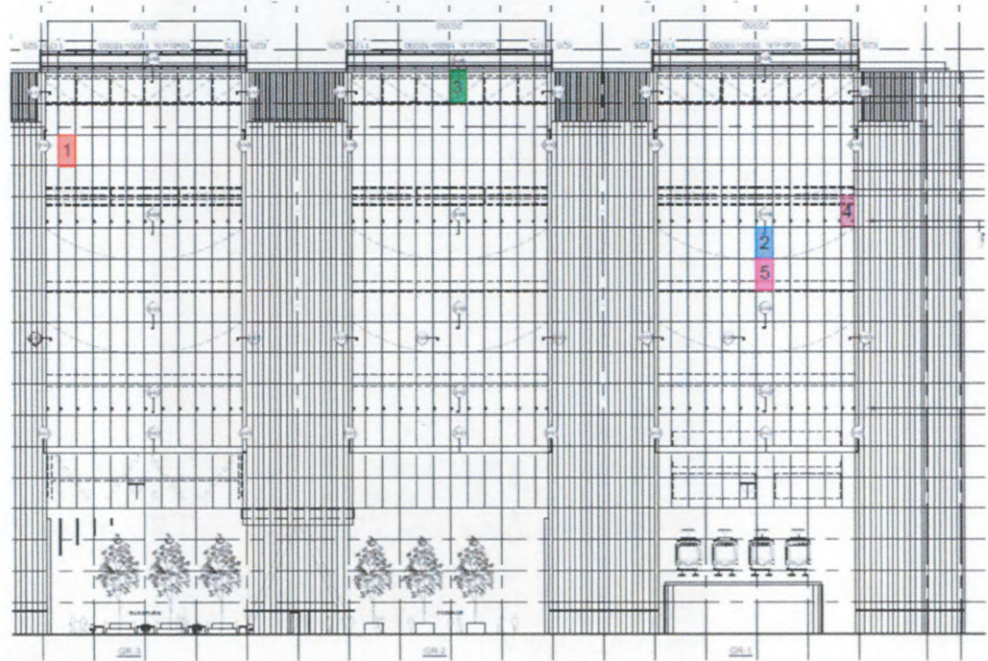
9 Referenties

Kasper, A., 2018. Spontaneous cracking of thermally toughened safety glass. Part one: Properties of nickel sulphide inclusions. Glass Structural Engineering, doi.org/10.1007/s40940-018-0083-8.

NEN-EN 572-1+A1:2016. Glas in gebouwen - Basisproducten van natronkalkglas - Deel 1: Definities en algemene fysische en mechanische eigenschappen.

NEN 2608:2014. Vlakglas voor gebouwen – Eisen en bepalingsmethoden.

A Informatie over de vijf gebroken ruiten



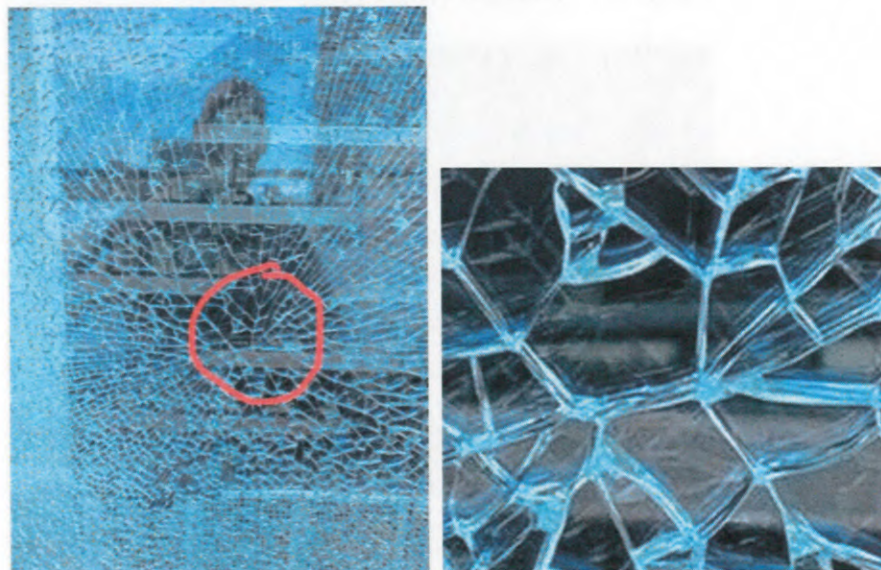
Figuur A.1: Overzicht van de gebroken ruiten



Figuur A.2: Ruit 1



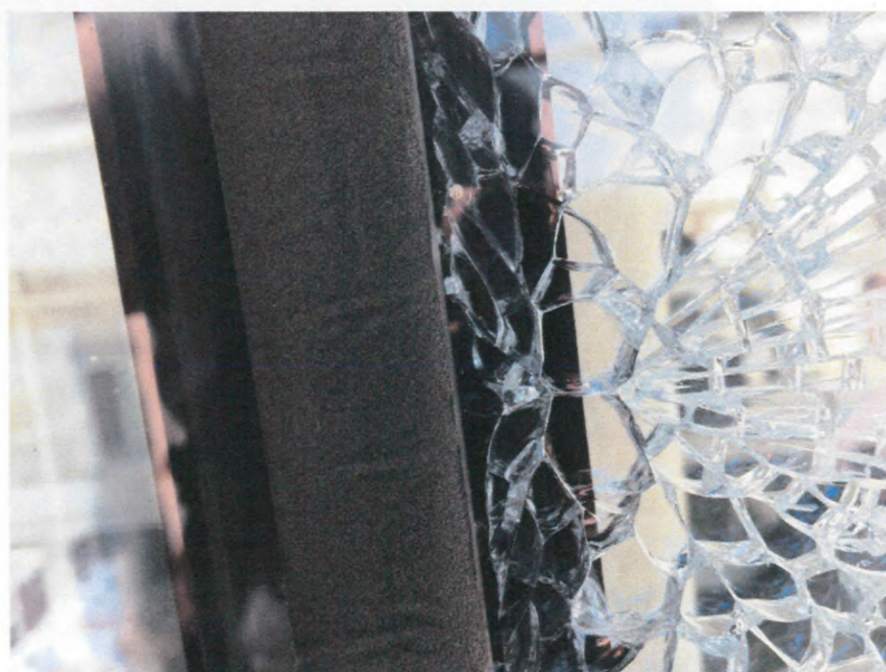
Figuur A.3: Ruit 2



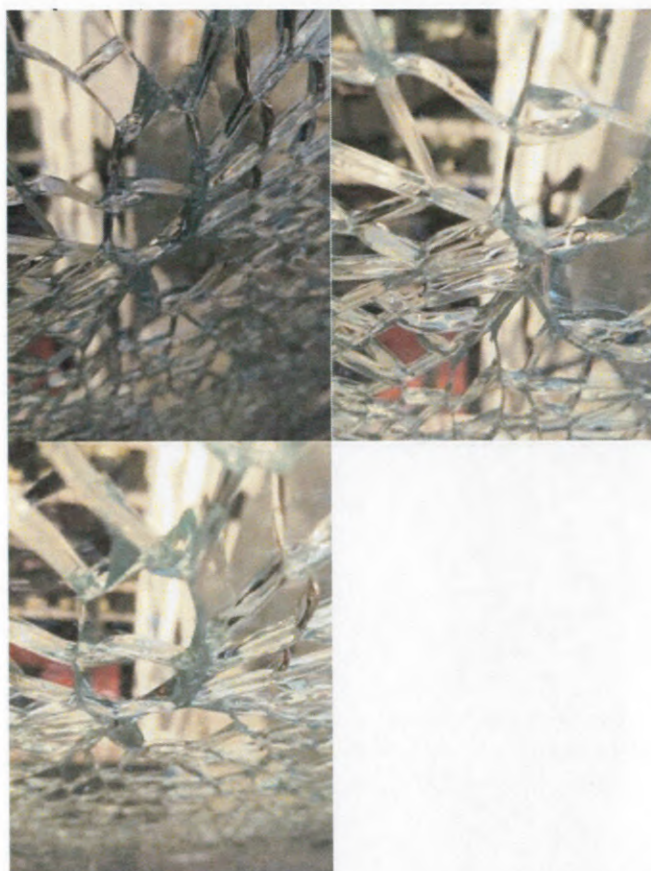
Figuur A.4: Ruit 2



Figuur A.5: Ruit 3



Figuur A.6: Ruit 3



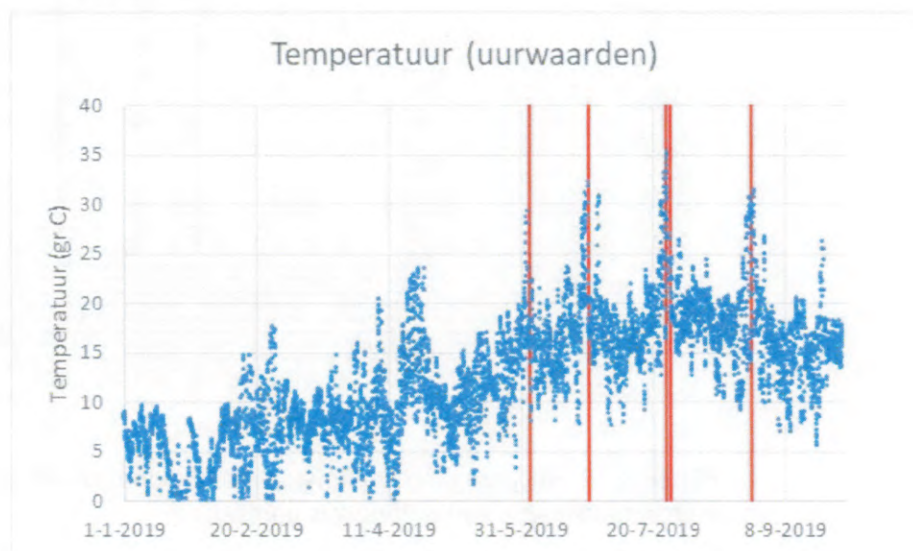
Figuur A.7: Ruit 4



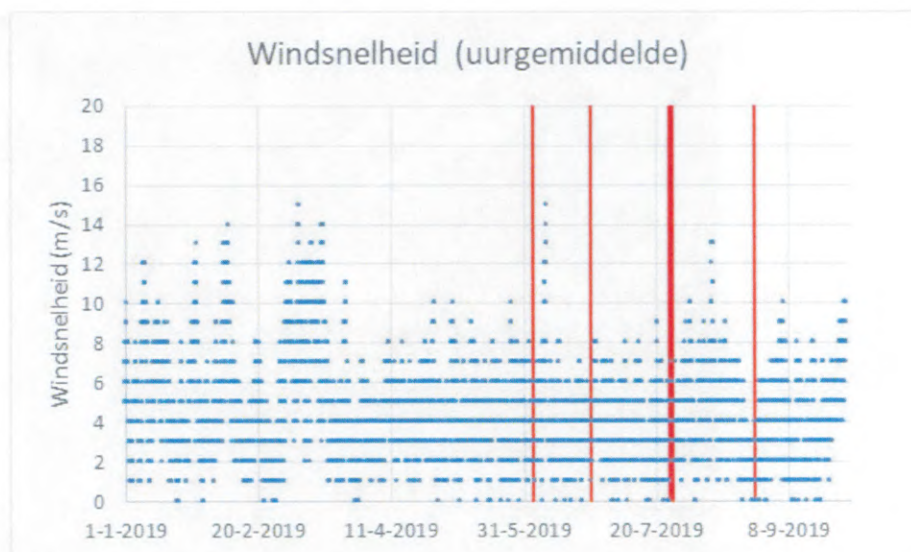
Figuur A.8: Ruit 5



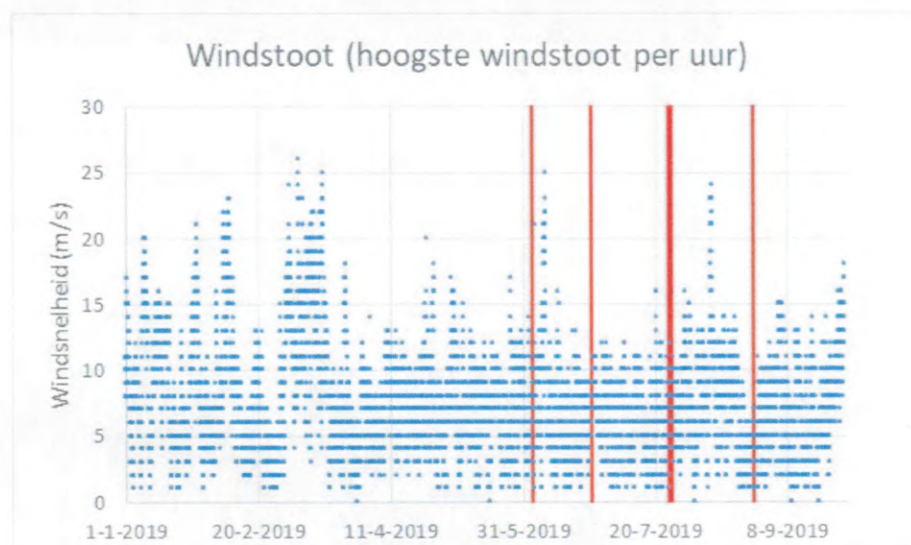
Figuur A.9: Ruit 5



Figuur A.10: Temperatuur (uurwaarden) op 1.50 m hoogte; de rode lijnen zijn de vijf momenten waarop een ruitbreuk is gemeld



Figuur A.11: Uurgemiddelde windsnelheid; de rode lijnen zijn de vijf momenten waarop een ruitbreuk is gemeld



Figuur A.12: Hoogste windstoot over het afgelopen uurvak; de rode lijnen zijn de vijf momenten waarop een ruitbreuk is gemeld

B Materiaalkundig onderzoek

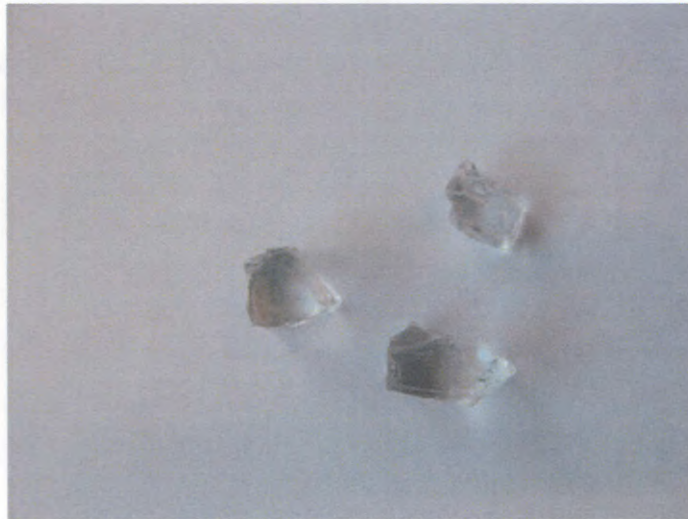


Foto B.1: Overzicht uitgenomen deeltjes van ruit 1

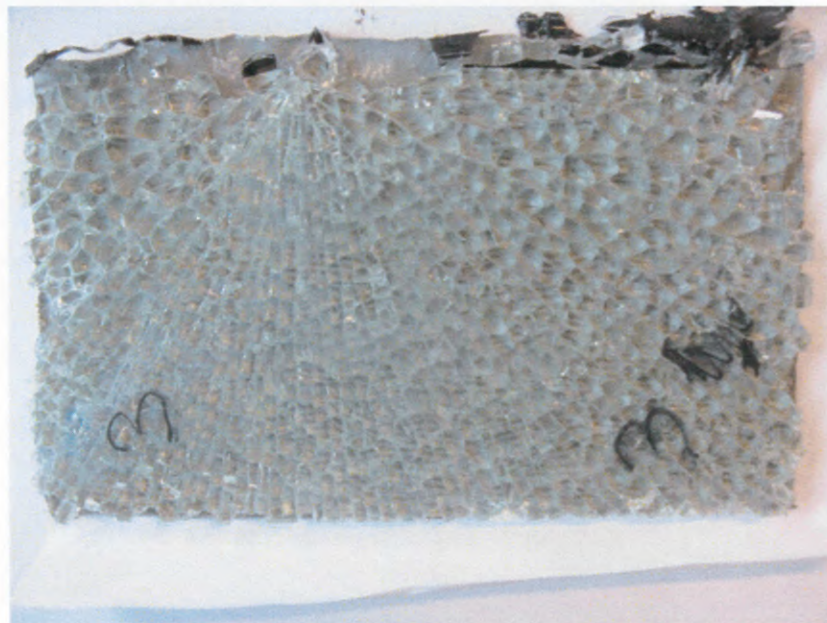


Foto B.2: Overzicht uitgenomen deel van ruit 3



Foto B.3: Detail uitgenomen deel van ruit 3



Foto B.4: Overzicht uitgenomen deel van ruit 4

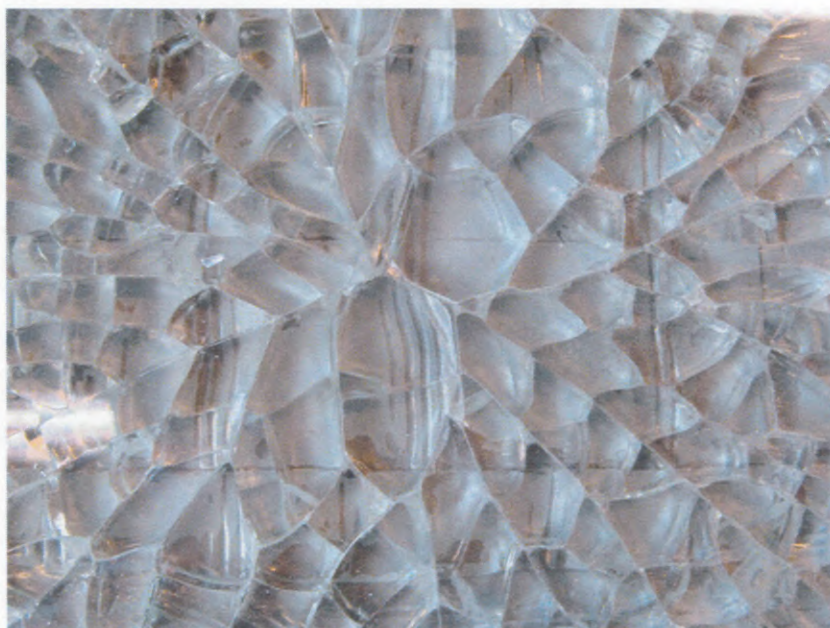


Foto B.5: Detail uitgenomen deel van ruit 4

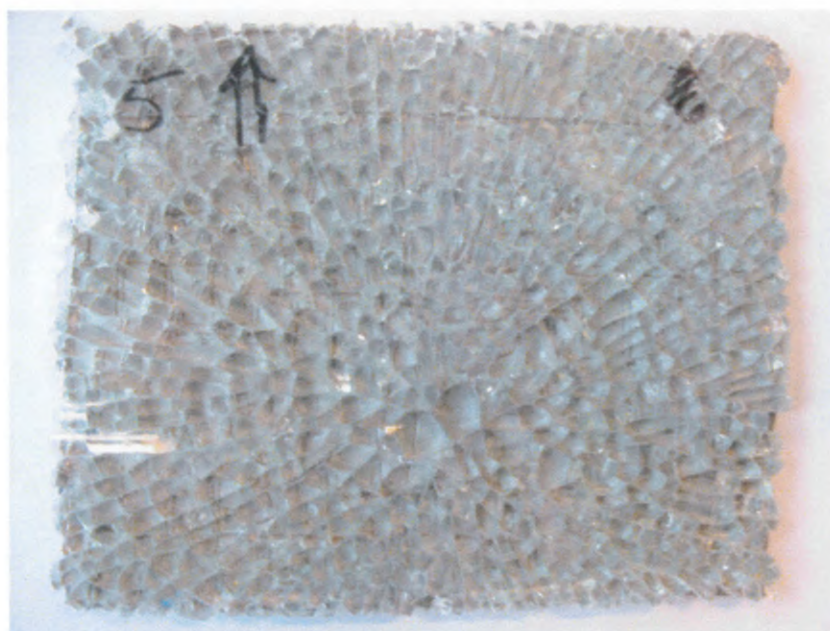


Foto B.6: Overzicht uitgenomen deel van ruit 5



Foto B.7: Detail uitgenomen deel van ruit 5

C Productie en levering van de ruiten

Deze bijlage geeft een overzicht van de informatie die beschikbaar is over de productie en de levering van de ruiten.

Document [21] geeft de volgende informatie over de productie en de levering van de ruiten:

- Brakel Atmos (het huidige Kingspan Light + Air) heeft de gevel gemonteerd.
- Brakel Atmos heeft de ruiten betrokken van TVITEC.
- TVITEC heeft het glas niet zelf geproduceerd, maar het wel bewerkt en samengesteld. De buitenruiten van 10 mm hebben zij betrokken bij Guardian Tudela en de binnenruiten van 12 mm bij Guardian Llido.

In tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de routing/bestellingen van de ruiten, zoals die heeft plaatsgevonden bij Brakel Atmos en TVITEC, gebaseerd op document [21]. Het aantal ruiten per hoofdbestelling bedraagt 164 stuks, hetgeen overeenkomt met het aantal ruiten per geveldeel (zie vorige paragraaf).

In document [21] is tevens aangegeven dat de ruiten onderworpen zijn geweest aan een Heat-soak-test. Tabel 3.4 geeft een overzicht van de orders van TVITEC, gekoppeld aan de batches van de Heat-soak-test.

In document [29] zijn de resultaten gegeven van de Heat-soak-testen die door TVITEC zijn uitgevoerd op de individuele ruiten. In dit document is per batch/order het volgende aangegeven:

- De datum van beproeven.
- Het project: Poort Centraal.
- De klant: Brakel Atmos.
- De afmetingen van de ruiten (lengte x breedte x dikte).
- Het aantal ruiten.
- De massa van de ruiten.
- Of er insluitingen zijn waargenomen ("Inclusion"). Aangenomen wordt dat hiermee ruitbreuk door de aanwezigheid van een insluiting wordt bedoeld.
- Of de ruiten zijn gebroken ("Breakages").

Op basis van de afmetingen van de ruiten zijn de bijbehorende ruitmerken bepaald, zowel voor de binnenruiten (12 mm) als voor de buitenruiten (10 mm).

In de tabellen 3.5 (binnenruit) en 3.6 (buitenruit) is een samenvattend overzicht van bovenstaande informatie weergegeven, inclusief het totaal aantal geteste ruiten per ruitmerk. Dit totaal aantal geteste ruiten is vervolgens vergeleken met het totaal aantal ruiten per ruitmerk (tabel 3.1) en daaruit blijkt het volgende:

- Het aantal geteste binnenruiten (12 mm) komt voor alle geveldelen overeen met het aantal ruiten in de gevel, vermeerderd met het aantal ruiten dat extra is getest in verband met ruitbreuk en in verband met "inclusion" tijdens de test.
- Voor het aantal geteste buitenruiten (10 mm) geldt hetzelfde, met uitzondering van ruitmerk 11 van geveldeel GR-1. Van dat ruitmerk zijn in totaal 135 ruiten getest, waarvan 5 extra in verband met ruitbreuk. Het totaal komt daarmee op 130 ruiten, hetgeen 20 ruiten meer is dan het aantal ruiten in de gevel.

In document [29] is per Heat-soak-test een grafiek gegeven met het temperatuurverloop tijdens de test. Daaruit blijkt het volgende:

- Bij elke test is de temperatuur in circa 1,5 uur opgevoerd tot 280 °C.
- Vervolgens is de temperatuur gedurende circa 7 - 8 uur op die temperatuur gehouden.
- Daarna is de temperatuur in circa 4 uur terug gebracht naar de omgevingstemperatuur.

Tabel 3.3: Overzicht van de routing/bestellingen van de ruiten [21]

Project	Projectfase	Bestelling		Inkooporder		Order TVITEC		Periode montage
		Code	Toelichting	Code	Aantal	Code	Aantal	
P044811	P048431	IB62243	Hoofdbestelling GR-1	154025	164	221239	140	April t/m november 2016
						221240	24	
		IB65773	2x breuk	161658	2	712748	2	
		IB66651	1x breuk	162231	1	235079	1	
		IB66677	1x breuk	162259	1	235216	1	
	P048432	IB62245	Hoofdbestelling GR-2	154030	164	221165	140	Februari t/m april 2016
						221167	24	
		IB65692	6x breuk	161633	6	230441	6	
	P048433	IB62246	Hoofdbestelling GR-3	154031	164	221168	140	April t/m juli 2016
						221169	24	

Tabel 3.4: Relatie order TVITEC en batches Heat-soak-test [21]

Order TVITEC		Heatsoak-batch		
Code	Aantal	Code	Datum	Aantal
221239	140	123852	11-3-2016	16
		123851	11-3-2016	5
		123852	14-3-2016	21
		123852	15-3-2016	19
		123851	15-3-2016	3
		123851	16-3-2016	21
		123851	18-3-2016	21
		123851	21-3-2016	15
		123852	21-3-2016	10
		123851	26-3-2016	21
		123852	26-3-2016	5
		123851	28-3-2016	25
		123852	29-3-2016	1
		123851	29-3-2016	25
		123852	31-3-2016	26
		123852	2-4-2016	16

Order TVITEC		Heatsoak-batch		
Code	Aantal	Code	Datum	Aantal
		123851	11-4-2016	4
		123852	11-4-2016	22 -/-1
		123852	13-4-2016	25
221240	24	123853	5-4-2016	22
		123853	8-4-2016	26
712748	2	129195	3-5-2016	4
712760	1	129407	3-5-2016	2
235079	1	131913	11-6-2016	2
235216	1	131981	11-6-2016	2
236098	1	132460	9-7-2016	2
221165	140	123846	21-2-2016	41
		123846	22-2-2016	41
		123846	23-2-2016	39
		123846	24-2-2016	34 -/-1
		123846	25-2-2016	34
		123846	26-2-2016	32 -/-1
		123847	26-2-2016	10
		123847	27-2-2016	50
		123847	28/2/106	1
221167	24	123845	27-2-2016	13
		123845	28/2/106	35
230441	6	192195	3-5-2016	12
221168	140	123848	13-3-2016	37
		123848	17-3-2016	41
		123848	19-3-2016	39
		123848	22-3-2016	34
		123848	23-3-2016	34 -/-2
		123848	24-3-2016	34
		123848	25-3-2016	3
		123849	25-3-2016	60
221169	24	123850	30-3-2016	48

Tabel 3.5: Overzicht van ruiten die de Heat-soak-test hebben ondergaan; binnenruiten (12 mm) [29]

Batch	Order	Datum	Aantal	Ruitmerk	Aantal per ruitmerk	Opmerking (*)
Geveldeel GR-1						
123853	221240	8-4-2016	1	9/10	2	
123853	221240	8-4-2016	1	9/10		
123851	221239	15-3-2016	3	11	116	
123851	221239	16-3-2016	21	11		
123851	221239	18-3-2016	21	11		
123851	221239	21-3-2016	10	11		
123852	221239	11-3-2016	16	11		1x inclusion
123852	221239	14-3-2016	21	11		
123852	221239	15-3-2016	1	11		
123852	221239	15-3-2016	18	11		
131981	235216	11-6-2016	1	11		1x breuk
132460	236098	9-7-2016	1	11		1x breuk
129195	712748	3-5-2016	2	11		2x breuk
129407	712760	3-5-2016	1	11		1x breuk
123853	221240	5-4-2016	22	12	22	
123851	221239	21-3-2016	5	13	20	
123851	221239	26-3-2016	5	13		
123852	221239	21-3-2016	10	13		
123851	221239	26-3-2016	5	14	11	
123852	221239	26-3-2016	5	14		
131913	235079	11-6-2016	1	14		1x breuk
Geveldeel GR-2						
123845	221167	27-2-2016	1	9/10	2	
123845	221167	27-2-2016	1	9/10		
123846	221165	23-2-2016	11	11	117	
123846	221165	24-2-2016	34	11		1x inclusion
123846	221165	25-2-2016	34	11		
123846	221165	26-2-2016	31	11		
123846	221165	26-2-2016	1	11		
129195	230441	3-5-2016	6	11		6x breuk
123845	221167	28-2-2016	22	12	22	
123847	221165	27-2-2016	20	13	20	
123847	221165	27-2-2016	10	14	10	
Geveldeel GR-3						
123850	221169	30-3-2016	1	9/10	2	
123850	221169	30-3-2016	1	9/10		
123848	221168	19-3-2016	7	11	112	
123848	221168	22-3-2016	34	11		
123848	221168	23-3-2016	34	11		2x inclusion
123848	221168	24-3-2016	34	11		
123848	221168	25-3-2016	2	11		
123848	221168	25-3-2016	1	11		
123850	221169	30-3-2016	22	12	22	

123849	221168	25-3-2016	20	13	20	
123849	221168	25-3-2016	10	14	10	

(*)

Met "inclusion" wordt zeer waarschijnlijk bedoeld dat een ruit is bezweken vanwege de aanwezigheid van een insluiting.

Met "breuk" wordt bedoeld dat een ruit tijdens transport/handling/montage is bezweken en dat er daarom een nieuwe ruit getest is.

Tabel 3.6: Overzicht van ruiten die de Heat-soak-test hebben ondergaan; buitenruiten (10 mm) [29]

Batch	Order	Datum	Aantal	Ruitmerk	Aantal per ruitmerk	Opmerking (*)
Geveldeel GR-1						
123853	221240	8-4-2016	1	9/10	2	
123853	221240	8-4-2016	1	9/10		
123851	221239	11-3-2016	5	11	135	
123851	221239	28-3-2016	25	11		
123851	221239	29-3-2016	25	11		
123852	221239	29-3-2016	1	11		
123852	221239	31-3-2016	26	11		
123852	221239	2-4-2016	16	11		
123852	221239	11-4-2016	12	11		
123852	221239	13-4-2016	1	11		
123852	221239	13-4-2016	19	11		
129195	712748	3-5-2016	2	11		2x breuk
129407	712760	3-5-2016	1	11		1x breuk
131981	235216	11-6-2016	1	11		1x breuk
132460	236098	9-7-2016	1	11		1x breuk
123853	221240	8-4-2016	22	12	22	
123851	221239	26-3-2016	10	13	20	
123852	221239	11-4-2016	10	13		
123851	221239	26-3-2016	1	14	11	
123851	221239	11-4-2016	4	14		
123852	221239	13-4-2016	5	14		
131913	235079	11-6-2016	1	14		1x breuk
Geveldeel GR-2						
123845	221167	27-2-2016	1	9/10	2	
123845	221167	27-2-2016	1	9/10		
123846	221165	21-2-2016	41	11	116	
123846	221165	22-2-2016	41	11		
123846	221165	23-2-2016	28	11		
129195	230441	3-5-2016	6	11		6x breuk
123845	221167	27-2-2016	9	12	22	
123845	221167	28-2-2016	13	12		
123847	221165	26-2-2016	10	13	21	1x inclusion
123847	221165	27-2-2016	10	13		
123847	221165	28-2-2016	1	13		

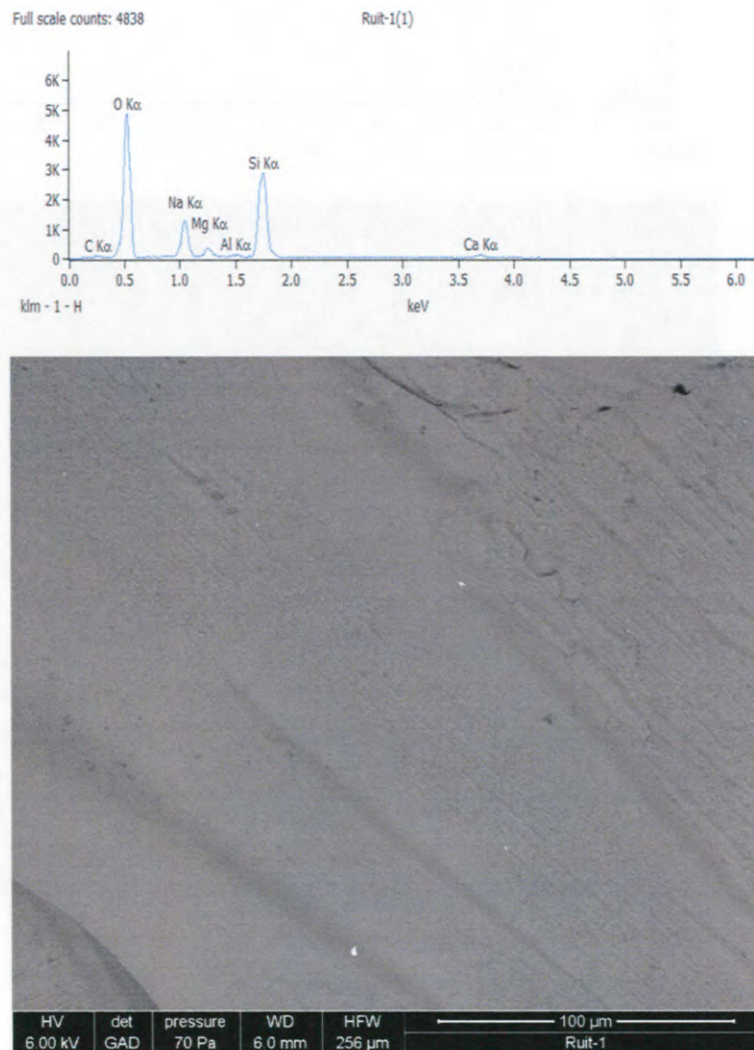
Batch	Order	Datum	Aantal	Ruitmerk	Aantal per ruitmerk	Opmerking (*)
123847	221165	27-2-2016	10	14	10	
Geveldeel GR-3						
123850	221169	30-3-2016	1	9/10	2	
123850	221169	30-3-2016	1	9/10		
123848	221168	13-3-2016	37	11	110	
123848	221168	17-3-2016	41	11		
123848	221168	19-3-2016	32	11		
123850	221169	30-3-2016	22	12	22	
123849	221168	25-3-2016	20	13	20	
123849	221168	25-3-2016	10	14	10	

(*)

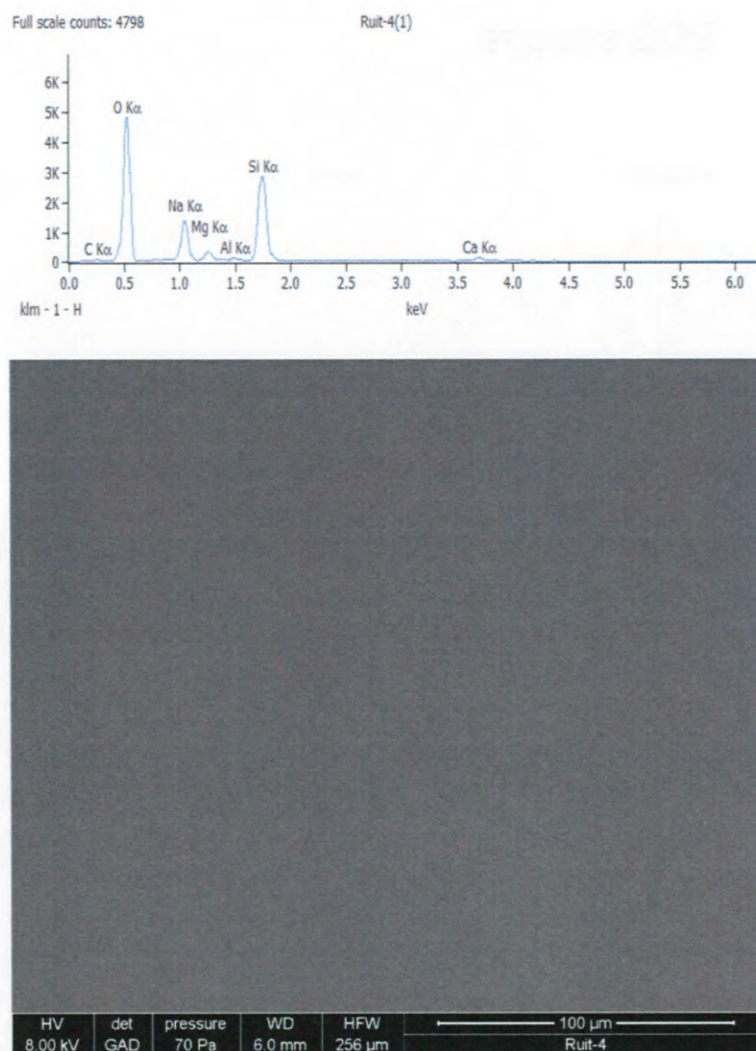
Met "inclusion" wordt zeer waarschijnlijk bedoeld dat een ruit is bezweken vanwege de aanwezigheid van een insluiting.

Met "breuk" wordt bedoeld dat een ruit tijdens transport/handling/montage is bezweken en dat er daarom een nieuwe ruit getest is.

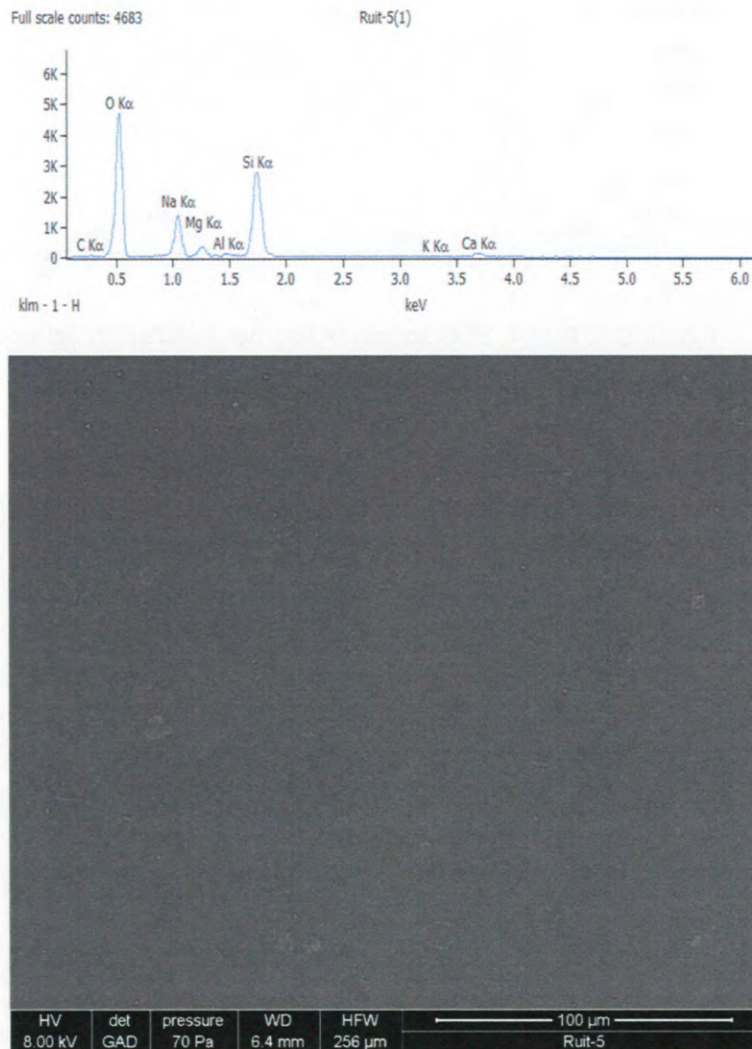
D EDS spectra



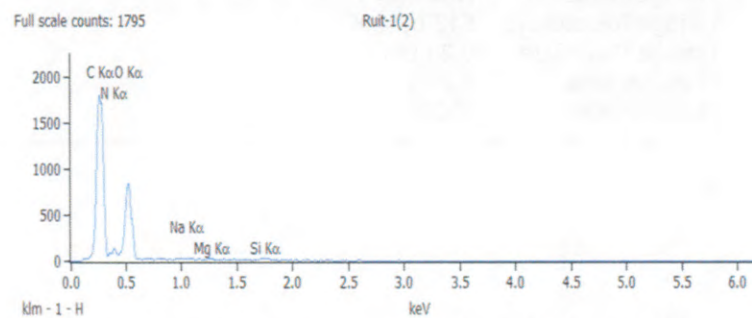
Figuur D.1: Ruit 1. EDS spectrum glas op breukvlak en SEM opname van de locatie



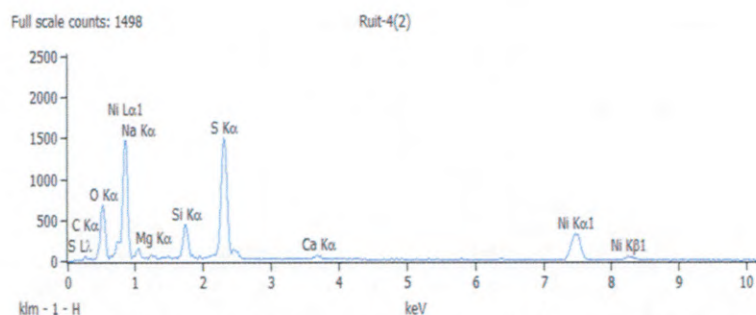
Figuur D.2: Ruit 4. EDS spectrum glas op breukvlak en SEM opname van de locatie



Figuur D.3: Ruit 5. EDS spectrum glas op breukvlak en SEM opname van de locatie



Figuur D.4: Ruit 1. EDS spectrum schimmel in figuur 5.11



Figuur D.5: Ruit 4. EDS spectrum van het insluitel in figuur 5.12.

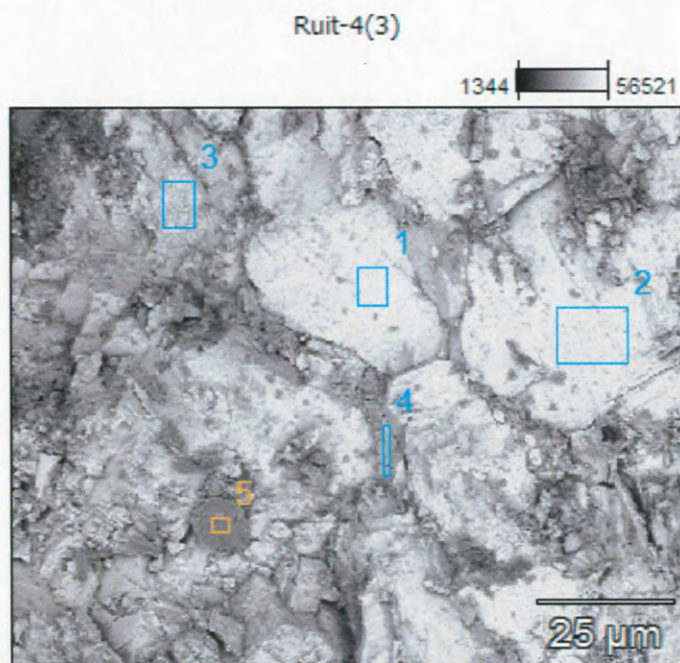
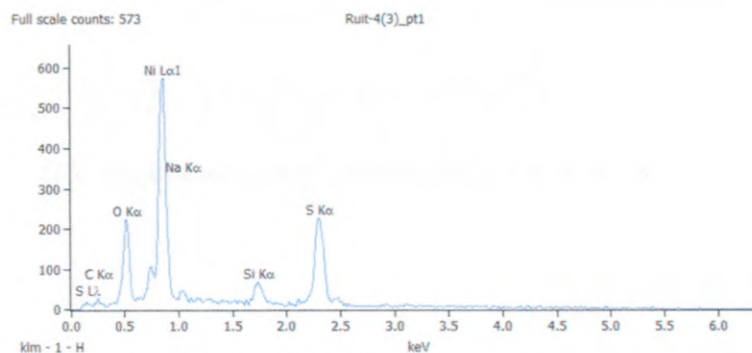
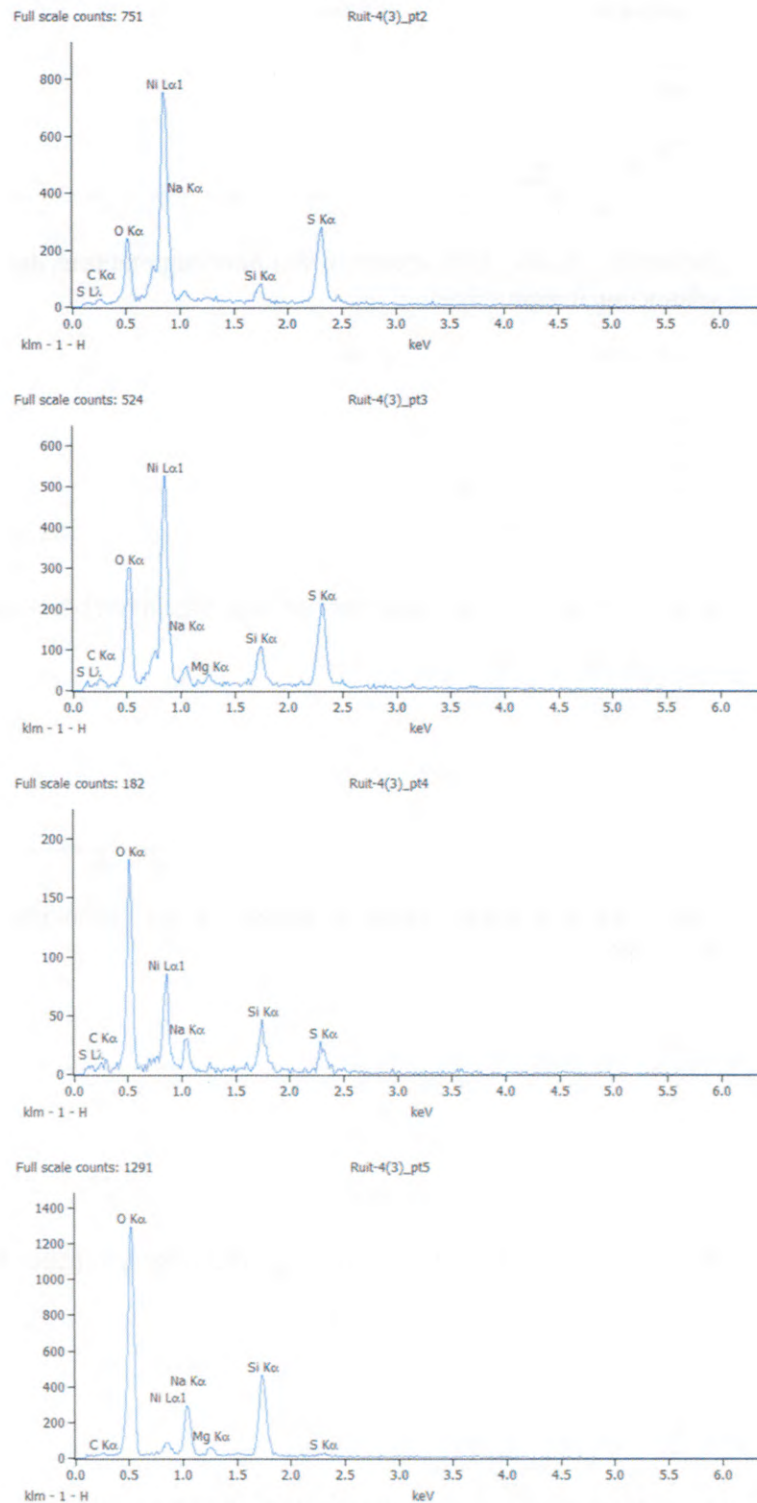


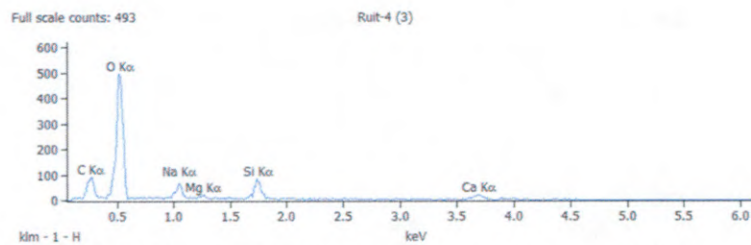
Image Name:	Ruit-4(3)
Image Resolution:	512 by 444
Image Pixel Size:	0.24 μm
Acc. Voltage:	6.0 kV
Magnification:	1000



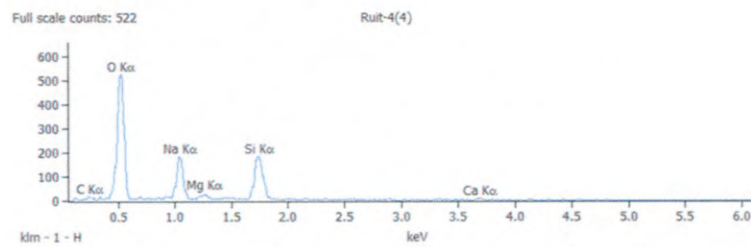
Figuur D.6: Ruit 4. EDS spectra van verschillende domeinen in het insluitel in figuur 5.12



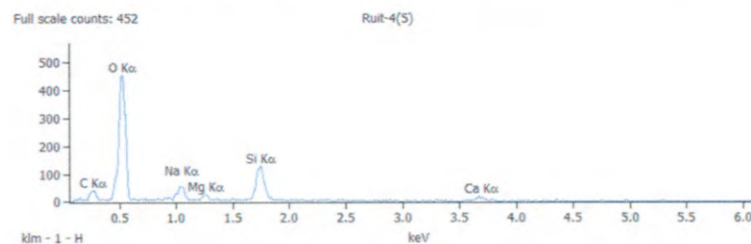
Figuur D.6 (vervolg): Ruit 4. EDS spectra van verschillende domeinen in het insluitel in figuur 5.12



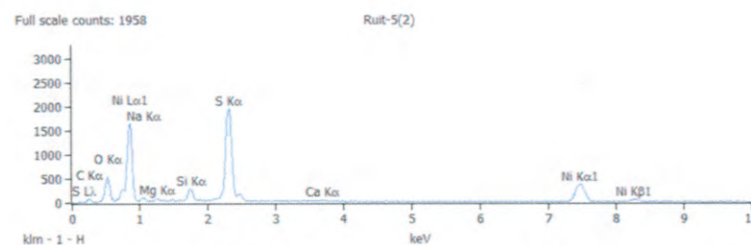
Figuur D.7: Ruit 4. EDS spectrum van neerslag op breukvlak glas (deeltje linksboven in figuur 5.16)



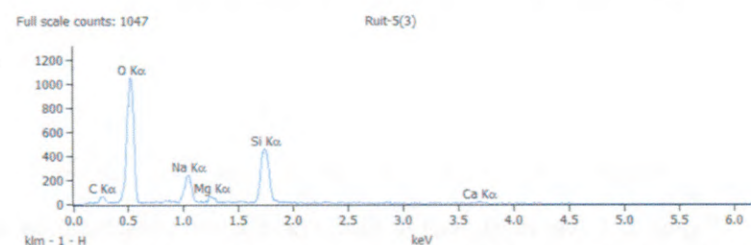
Figuur D.8: Ruit 4. EDS spectrum van het glas in het breukvlak in figuur 5.16



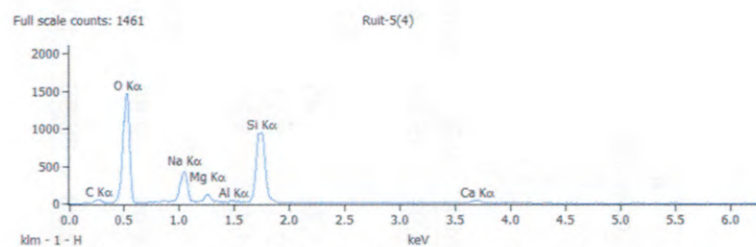
Figuur D.9: Ruit 4. EDS spectrum van neerslag op breukvlak glas afgebeeld in figuur 5.17



Figuur D.10: Ruit 5. EDS spectrum van NiS deeltje in figuur 5.20



Figuur D.11: Ruit 5. EDS spectrum bij 6 kV van het glas in het breukvlak in figuur 5.21



Figuur D.12: Ruit 5. EDS spectrum bij 8 kV van het glas in het breukvlak in figuur 5.21

Tabel D.1. Semikwantitatieve EDS analyses, genormeerd op 100%, in zowel gewichts- (m/m%) als atoomprocent (at. %).

Ruit	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	glas	schimmel	glas	NiS	neerslag	glas breukvlak	neerslag	glas breukvlak	neerslag	NiS	ps-1					
EDS	1	2	1	2	3	4	5	6	6	5	6					
kV	8	4	8	15	6	6	6	6	6	6	6					
Figuur	5.11			5.12	5.16	5.16	5.17	5.16	5.17	5.13						
Figuur	D.1	D.4	D.2	D.5	D.7	D.8	D.9	D.8	D.9	D.6						
	m/m%	at.%	m/m%	at.%	m/m%	at.%	m/m%	at.%	m/m%	at.%	m/m%	at.%	m/m%	at.%	m/m%	at.%
Si	33,10	24,10	4,36	2,25	32,49	23,69	4,87	5,76	10,55	7,61	30,26	21,69	20,92	15,24	4,37	5,55
Al	0,38	0,29			0,41	0,31										
Ni							53,24	30,16							51,13	31,14
Mg	2,19	1,84	0,94	0,56	1,99	1,68	0,42	0,58	0,82	0,68	1,98	1,64	1,72	1,45		
Ca	6,27	3,20			6,81	3,48	0,88	0,73	26,64	13,46	4,16	2,09	19,01	9,71		
Na	9,75	8,67	1,46	0,92	10,20	9,09	2,37	3,43	4,48	3,94	14,33	12,55	4,45	3,96	1,20	1,86
K																
S							20,46	21,22							32,10	35,81
C	0,38	0,66	34,84	42,13	0,48	0,82	1,75	4,84	3,57	6,02	0,06	0,10	1,66	2,83	0,76	2,26
N			8,72	9,04												
O	47,93	61,25	49,68	45,10	47,61	60,94	16,01	33,28	53,95	68,29	49,21	61,93	52,23	66,80	10,46	23,37

Tabel D.1 (vervolg): Semikwantitatieve EDS analyses, genormeerd op 100%, in zowel gewichts- (m/m%) als atoomprocent (at. %).

Ruit	4		4		4		4		4		5		5		5		5	
	NiS		NiS		NiS + glas		NiS + glas		NiS + glas		glas		NiS		glas breukvlak		glas breukvlak	
EDS	ps-2		ps-3		ps-4		ps-5				1		2		3		4	
kV	6		6		6		6				8		15		6		8	
Figuur	5.13		5.13		5.13		5.13		5.13				5.20		5.21		5.21	
Figuur	D.6		D.6		D.6		D.6		D.6		D.3		D.10		D.11		D.12	
	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %	m/m%	at. %
Si	3,90	5,15	7,35	8,46	14,20	12,62	29,48	21,62	32,51	23,87	2,87	3,56	33,66	24,32	33,94	24,83		
Al									0,44	0,33					0,45	0,35		
Ni	55,28	34,96	44,87	24,73	29,89	12,71	6,35	2,23			54,87	32,57						
Mg			1,18	1,58			2,12	1,80	2,22	1,88	0,49	0,70	1,70	1,42	2,65	2,24		
Ca									7,23	3,72	0,55	0,48	6,32	3,20	6,70	3,44		
Na	1,56	2,51	2,12	2,98	4,92	5,35	11,38	10,20	10,00	8,97	1,21	1,84	9,41	8,30	9,73	8,69		
K									0,30	0,16								
S	29,52	34,19	28,03	28,31	13,93	10,84	2,11	1,36			25,71	27,96						
C	0,73	2,26	1,09	2,93	1,34	2,78	0,61	1,05	0,28	0,49	2,40	6,98	1,66	2,80	1,69	2,89		
N																		
O	9,02	20,93	15,33	31,01	35,72	55,71	47,95	61,75	47,02	60,59	11,90	25,92	47,26	59,95	44,83	57,56		

