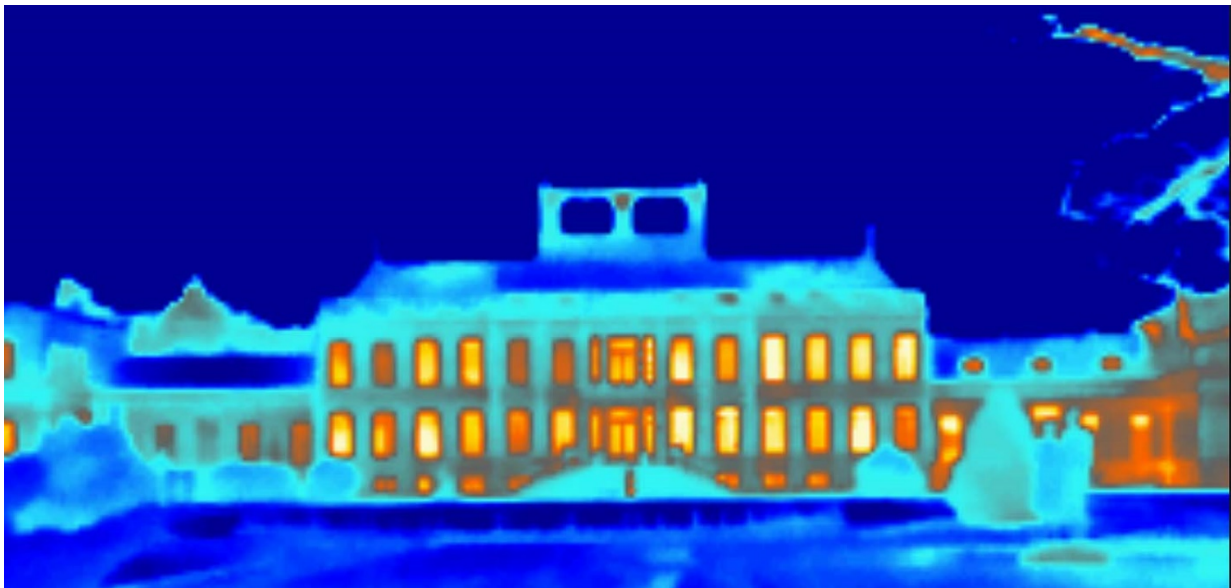


Vraag:

Eerder berichtte u over schuifraamverbetering. Zijn er extra tips en adviezen voor vensterverduurzaming te geven?

Antwoord:

Bij het antwoord over schuifraamverbetering concentreerden wij ons op kierdichting. Dat vraagt bij schuifvensters extra aandacht. Verbetering van de isolatiewaarde van de beglazing is vervolgens een cruciaal punt. Immers, gemiddeld tussen de 20 en 40% van de comfortwarmte verdwijnt bij traditioneel vensterglas via de ramen uit het interieur. Isolerende beglazing zou dus helpen, maar hoge warmte-weerstand en tegelijkertijd goed doorzicht en beperkte materiaaldikte, zoals we dat van vensterglas in monumenten verlangen, lijken lastig te combineren. Toch zijn er goede mogelijkheden voor isolerende herbeglazing van historische ramen.



Thermografische opname van de voorzijde van Paleis Soestdijk in het stookseizoen. Grote energieverliespost door exfiltratie- en transmissieverliezen ter plaatse van de vensters en glasdeuren. Opname: 160216. © ejn

Isolatiewaarden en warmte-eigenschappen van materialen en constructies

Voordat wij ingaan op isolerende beglazing is het goed om de bouwfysische aspecten van energieverlies en -besparing via de gebouwschil helder te hebben. In het overzicht hierna geven wij de verschillende rekeneenheden, hun karakteristieken en gebruik in de monumentenverduurzaming weer. Voor de praktijk zijn daaraan, waar dat relevant is, toegevoegd de gangbare of realistisch haalbare waarden en getallen. Verder plaatsen wij per eenheid enige kanttekeningen of opmerkingen, om duidelijk te maken hoe verschillende eenheden met elkaar in verband staan. Immers in de isolatiewereld treffen we soms verwarrende zaken aan. Zo zijn de gebruikelijke eenheden voor aanduiding van de isolatiewaarde van buitenmuren en daken - de R_T -waarde – en van vensterglas - de U_g -waarde – elkaars omgekeerde! Een hoge R_T -waarde betekent dus: goed isolerend, maar een hoge U -waarde voor beglazing betekent juist: slecht isolerend!

Rekeneenheden voor isolatie en warmte-eigenschappen van materialen en constructies				
Benaming en symbool	eenheid	gebruikt ter aanduiding van	praktische waarde bij monumenten	opmerking
Energie (Joule) J	1 J = 1 Nm	energie, nodig om een object met een kracht van 1 newton over 1 m afstand te verplaatsen	als Gigajoule (GJ) gebruikt bij warmtelevering, zoals stadsverwarming 1 GJ = 10^9 J	internationale eenheid van energie
Vermogen (Watt) W	J/sec. (Joule per seconde)	vermogen of energie die per seconde wordt afgegeven of verbruikt	n.v.t.	basis-eenheid in de energie- en warmteleer
K	kelvin	temperatuur	K – 273 = temp. in °C (graden Celsius)	
Warmteweerstand bouw- en isolatiemateriaal R	m ² K/W (vierkante meter oppervlak x kelvin per Watt)	isolatiewaarden van isolatie- en bouwproducten	tot max. ca. 2-3 m ² K/W om grote isolatiedikten te vermijden	hoe <u>hoger</u> hoe beter de isolerende werking
Warmteweerstand constructie R_c	m ² K/W	isolatiewaarde van samenstellende delen van de gebouwschil	in bestaande situatie een vast gegeven	idem
Totale warmteweerstand R_T	m ² K/W	isolatiewaarde van de gebouwschil inclusief overgangsweerstanden binnen en buiten	R_T = R_c + 0,17 Overgangsweerst. binnen = 0,13 m ² K/W Overgangsweerst. buiten = 0,04 m ² K/W	
Warmtegeleidingscoëfficiënt (lambda waarde) λ	W/mK (Watt per meter materiaaldikte per kelvin)	materiaal-specifieke warmtegeleidings-eigenschappen	kies isolatiemateriaal met zo laag mogelijke waarde binnen de soort	hoe <u>lager</u> hoe beter isolerend T=°C+273
Warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde glas) U_g	W/m ² K (Watt per vierkante meter oppervlak per kelvin.)	warmtetechnische kwaliteits-indicatie voor vensterglas en isolerende beglazing	6-0,6 W/m ² K	hoe <u>lager</u> hoe beter isolerend. Omgekeerde van R_T-waarde

Isolatiewaarden en warmte-eigenschappen van vensterglas

Wanneer we kijken naar de thermische kwaliteiten van historisch vensterglas en de verschillende soorten isolerende beglazing die er waren en zijn, dan wordt duidelijk dat met hedendaagse techniek ook in monumentensituaties goede energiebesparingen zijn te boeken. Het schema hierna geeft kort de glassoorten en hun energetische kenmerken.

Belangrijk onderscheid tussen de verschillende soorten isolatieglas betreft de manier waarop het glas of glaspakket warmte binnen houdt. Warmte-overdracht en dus ook warmteverlies verloopt in principe via 3 bouwfysische mechanismen: geleiding, stroming en straling. Bij vensterglas gaat het om warmte-overdracht aan de oppervlakken buiten en binnen. Buiten is er door wind vooral warmte-overdracht door stroming, binnen vooral door straling vanuit het interieur. In het glas zelf vindt geen stromingsverlies plaats omdat glas een vaste stof is. Via de lucht of het gas in de spouw van dubbelglas vindt door de geringe maat van de spouw – waardoor de lucht niet kan stromen – ook geen stromingsverlies plaats.

Isolatieglas moet het daarom hebben van *verhinderende van warmte-overdracht door straling en warmte-transmissie door de lucht of het gas in de spouw*.

De ruit zelf heeft slechts geringe weerstand tegen warmte-overdracht via geleiding. De U-waarde wordt daardoor voornamelijk bepaald door de warmte-overdracht vanuit het vertrek op de ruit en vanaf het buitenoppervlak van de ruit op de omgeving.

Glastype	pakket-dikte (indicatief in mm)	U waarde (W/m ² K)	Opmerking
oud enkelglas	3-5	5,8-6	thermisch inefficiënt; bepaalde typen vanwege cultuurwaarden niet te vervangen.
voor- of achterzetglas; voor- of achterzetramen	groot (tot vele cm.)	2,8-3,3	toepasbaar, wanneer de historische detaillering dat toelaat
enkelglas met IR reflecterende coating	3-5	3,8-4,1	aan interieurzijde is er een onzichtbare, warmte-reflecterende coating; goede vervanger voor enkelglas
gelaaagd glas met IR coating	6-8	3,2-3,6	'sandwichglas' met coating, vaak toepasbaar in oude ramen
traditioneel dubbelglas	24	2,9	t.g.v. dikte nauwelijks inzetbaar bij monumenten
HR dubbelglas	20	1,6	idem
HR dun dubbelglas	7-10	2,6	dun DG, soms toepasbaar
HR+ dun dubbelglas	7-10	1,5-2	dun HR+ glas soms toepasbaar
vacuümglas	6-9	0,6	'high-tech', gebonden aan maximale afmetingen; hoogwaardige isolatie

Bij het in de tabel hierboven genoemde enkele en gelamineerde glas met infrarood-reflectiecoating werkt de coating puur als rem op de warmte-overdracht vanuit het vertrek naar het glasoppervlak. Bij dubbelglas en vacuümglas (bijna altijd met coating) werkt de spouw als extra transmissierem. Door in plaats van lucht een edelgas of zelfs een vacuüm als spouwvulling toe te passen kan warmtegeleiding in de spouw extra worden verminderd.

De ontwikkeling van isolerende glassoorten staat niet stil. Er verschijnen telkens nieuwe of verbeterde isolatieglastypen op de markt, ook voor toepassing bij monumenten. In dat laatste geval is het streven naar geringe pakketdikte zonder reductie van de isolatiewaarde een cruciaal punt omdat daarvan vaak de mogelijkheid afhangt of de beglazingsoort in de meestal beperkte sponningdiepte van de historische ramen past. We behandelen nu enkele beglazingsoorten die voor toepassing in monumentensituaties in aanmerking kunnen komen.

Enkel of gelamineerd warmte-reflecterend glas

De werking van dit infrarood-reflecterend enkelglas of glaslaminaat berust op beperking van warmteverlies uit het interieur door het beperken van warmte-overdracht door straling vanuit de ruimte op het glas.

De verliezen via warmtegeleiding blijven bestaan. Met een dikte van 4 mm voor het enkelglas en circa 6-8 mm voor het laminaat is plaatsing in bestaande ramen - eventueel na uitdiepen van de bestaande raamsponningen - meestal mogelijk. Wel is vaak (deel)vervanging van het bestaande raamhout nodig in verband met de vereiste hogere sterkte vanwege het extra glasgewicht. Bij schuiframen moeten de raamgewichten worden verzwwaard.

Omdat de overgangsweerstand in het interieur door de coating groter wordt, zal het glasoppervlak in temperatuur dalen (het glas wordt minder opgewarmd door de interieurwarmte). Er is daardoor bij dit glas wel verhoogde kans op condensvorming, wat extra ventilatie van de ruimte nodig kan maken.

Ook achterzetramen zouden kunnen worden uitgevoerd met dit glastype. In de kunststoflaag midden tussen de beide glasvlakken van het gelamineerde type wordt veel UV-licht uitgefilterd (tot ca. 95%). Hierdoor kan deze beglazing ook enigermate werken als 'museumglas' bij kwetsbare, UV-gevoelige interieurstukken. Doordat het buitenste glasblad van het laminaat kan worden uitgevoerd in getrokken glas, kan worden voorkomen dat een steriel spiegelend effect ontstaat bij het buitenaanzicht van de vensters. De isolerende waarde van dit glaspakket is tamelijk goed, met een U-waarde van rond de 3,4 W/m²K.

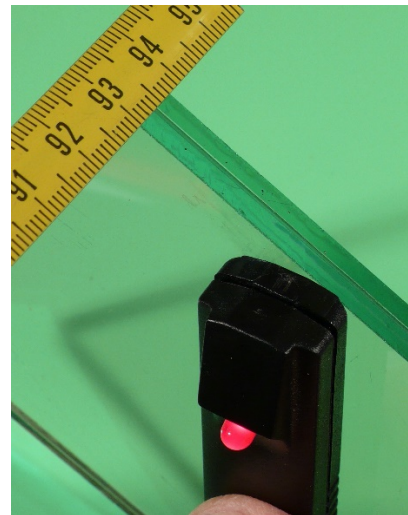
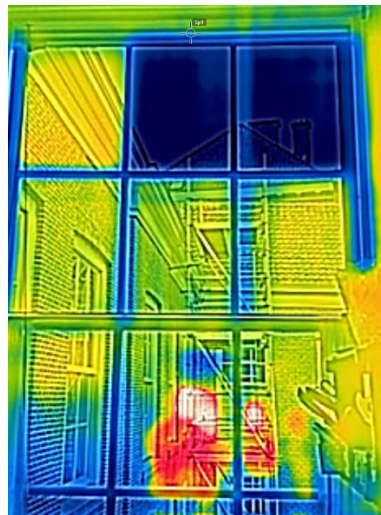
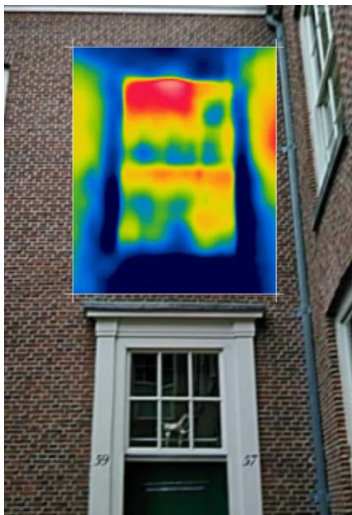
Doordat de kunststof tussenlaag van glaslaminaat een taaie film vormt heeft het ook een zeker inbraak werend effect; bovendien werkt het door zijn buigslappe karakter geluiddempend.

Het glas kan eventueel 'op het werk' pas worden gesneden, ook in getoogde vormen. Voor de glazenier is er wel enig extra werk bij glaslaminaat: hij moet de afgetekende contouren aan beide kanten van het glaspakket snijden en vervolgens met een fijn mes de kunststof hechtlaag tussen de beide ruiten doorsnijden.

Bij de plaatsing van het warmte reflecterend gecoate glas moet de glaszetter goed opletten: de coating moet nadrukkelijk aan interieurzijde komen, anders werkt het niet! De coating is onzichtbaar, maar wel detecteerbaar met een kleine weerstandsmeter en met de warmtebeeldcamera is na oplevering prima vast te stellen of het glaspakket goed is geplaatst.



Glazenier in actie bij het snijden van een toogvorm voor isolerend glaslaminaat van ca. 7 mm totaaldikte. Tweezijdig insnijden van het glas en doorsnijden van de hechtlaag bepalen de bewerking. © ejn



De thermografische opname van dit roederraam, na bezetting met isolerend glaslaminaat liet van buitenaf zien dat er extra warmte verdween via twee ruitjes van het bovenlicht. Binnen was het beeld omgekeerd: de twee ruitjes vertoonden een extra koud warmtebeeld. Hier waren door de glazenier twee ruiten per ongeluk met de reflectiecoating naar buiten geplaatst. Vanzelfsprekend is dit bij oplevering gecorrigeerd. Een klein led-detectortje ter plaatsbepaling van de IR-coating helpt bij goede plaatsing. © ejn

Dubbelglas

Het traditionele dubbelglas, zoals dat al decennia bekend is in een dikte van ongeveer 20 mm (zoals het rond 1930 gepatenteerde 'Thermopane' is in bijna alle gevallen te dik voor toepassing in monumentensituaties. Tegenwoordig is zeer dun uitgevoerd dubbelglas verkrijgbaar, met een totaaldikte vanaf ca. 7 mm. Dankzij de nu gebruikelijke combinatie met warmte-reflecterende coating – die nu aan de spouwzijde van het binnen-glasblad kan komen en zo geen poetsrisico loopt! -, dan kan bij die geringe dikte toch een goede isolatiewaarde worden bereikt.

Wanneer de spouw wordt gevuld met argon-, krypton- of xenongas in plaats van lucht dan is daarmee een U-waarde te bereiken van minimaal ca 1,6 W/m²K (bij xenon-vulling; zie staatje hiernaast voor verschillende typen spouwwulling).

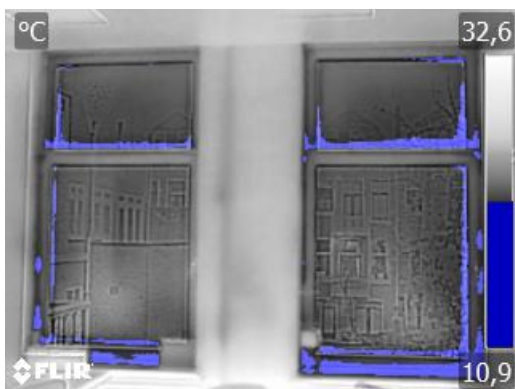
Ug-waarde van dun dubbelglas bij verschillende typen spouwwulling

spouwwulling	Ug-waarde (W/m ² K)
lucht	3,1
argon	2,6
krypton	2,0
xenon	1,6

De afstandstrip tussen de samenstellende ruiten – meestal aluminium, maar tegenwoordig ook in kunststof - kan in een donkere kleur of zwart wordt uitgevoerd. Het dubbele glaspakket valt dan in historische ramen haast niet op. In de afstandhouder is een hoeveelheid droogmiddel opgenomen om de lucht of gasvulling droog te houden. Wat nogal eens over het hoofd wordt gezien: de luchtsouw in dubbelglas van meerdere tientallen jaren oud is inmiddels in veel gevallen niet meer vochtvrij, waardoor het isolerend effect van het dubbelglaspakket zal zijn verminderd. We troffen oud dubbelglas met inwendige condensatie waarvan de U-waarde is opgelopen naar 4-6 W/m²K. Vervanging van traditioneel luchtgevuld dubbelglas door een modern glaspakket van dezelfde dikte in HR+ kwaliteit betekent dan een verdubbeling of verveelvoudiging van de isolatiewaarde. Veel fabrikanten van dubbelglas gaven en geven op de naar de spouw gekeerde zijde van de afstandhouder de productiedatum aan. U kun dan makkelijk zelf zien hoe oud het dubbelglas is.

De aluminium afstandhouder van het glaspakket is zelf een goede warmtegeleider, reden waarom we bij infrarooddetectie van met dubbelglas bezette ramen zien dat op de glascontour warmteverlies plaatsvindt. Gelukkig gaat het daarbij om een relatief gering warmtelek. Inmiddels zijn ook die verliezen verholpen doordat er isolerende kunststof-afstandhouders zijn ontwikkeld die veel minder warmtegeleidend zijn dan aluminium exemplaren.

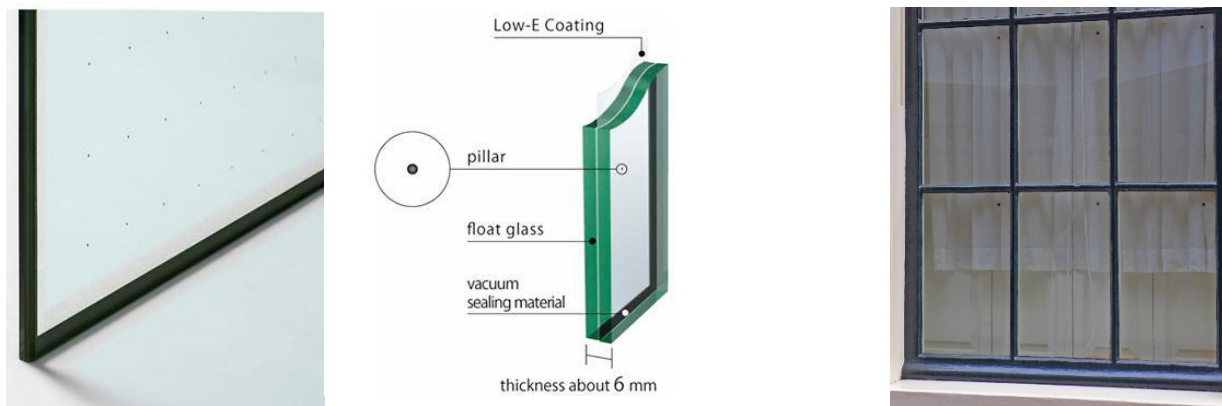
Bij roedenramen is het zaak om de glaspanelen per ruit uit te voeren. In principe passen we in monumentensituaties geen z.g. 'plakroeden' of 'Wiener Sprossen' toe, waarmee een groot dubbelglaspaneel van een schijnbare - nep - roedenverdeling aan de binnen- en buitenzijde wordt voorzien. Ruitsgewijs beglazen is bovendien veel voordeliger in geval van ruitbreuk.



Het thermogram van deze met hoogwaardig dubbelglas bezette schuiframen vertoont opmerkelijke koude-zones rondom de beglazing. Hier zijn geen kierverliezen in beeld, maar warmteverlies door geleiding via de aluminium afstandhouder van het dubbelglas. De foto rechts toont een voorbeeld van datering van het glaspakket op de zichtkant van de afstandhouder: in dit geval februari 1983. Dubbelglas van een dergelijke hoge leeftijd heeft als regel geen goede isolerende werking meer! © ejn

Vacuümglas

Het best isolerend bij geringe dikte wordt bereikt met vacuümglas. Vacuümglas bestaat uit twee op minieme afstand van elkaar - ca. 0,1 mm. - hermetisch verbonden ruiten, met daartussen in rasterpatroon - meestal 2 x 2 cm - metalen micro-afstandhouders. De lucht tussen de ruiten wordt via een nippel per glaspaneel of bij nippelloos glas in de fabriek in een vacuümtank weggezogen. Bij een dikte van 6-8 mm. en met infrarood reflecterende coating aan de spouwzijde van het binnen-glasblad heeft dit glas een U waarde van ongeveer 0,6 W/m²K, ofwel tienmaal beter dan gewoon enkelglas. Dat komt doordat de warmte-overdracht door geleiding via de lucht (of het gas) in de spouw nu helemaal weg is en de stralingsoverdracht door de infrarood-reflectiecoating effectief wordt onderdrukt.



Het vierkante rasterpatroon van de minuscule afstandhouders - pillars - bij vacuümglas is links te zien. Het middelste beeld geeft de techniek van het glas. Rechts zien we ruitsgewijs toegepast vacuümglas, in dit geval voorzien van een ventiel per ruit in de rechter bovenhoek. Daardoor kan het vacuüm tussen de glasbladen altijd worden hersteld, mocht dat in de loop der tijd 'vol-lekken'. Beeld: AGC en © ejn

Aandachtspunten bij toepassing van isolatieglas

Hieronder volgen enige punten die van belang zijn bij inzet van isolatieglas in monumenten.

- De betekenis van de HR-klasse van glas is helaas niet formeel genormeerd; meestal wordt ongeveer onderstaand schema aangehouden.

Rendementsklasse beglazing	U-waarde in W/m ² k
HR	1,6 – 2
HR+	1,2 – 1,6
HR++	lager dan 1,2

- Modern isolatieglas van alle typen wordt met speciale kit of sealant in de glassponning bevestigd. Stopverf is buiten gebruik, maar aan exterieurzijde kan bij toepassing van de juiste producten de kitlijn als stopverflijn worden afgewerkt en geschilderd. Herbeglazing levert dan geen risico van verlies van het historische beglazingsbeeld.
- Doordat het exterieur-blad van isolerende beglazing in veel gevallen kan worden uitgevoerd als cilinderglas of getrokken glas, kan waar dat omwille van beeldbehoud nodig is, ook op dat punt cultuurwaardenbehoud worden gewaarborgd.
- De gunstige isolatiewaarde van energiebesparende herbeglazing geldt voor het glaspakket zelf. Het eindresultaat van de vensterisolatie is daarnaast mede afhankelijk van de thermische kwaliteiten van het raam en het kozijn. Bij historische ramen kan het raamhout zelf nog een zeker rest-warmtelek vormen. Bij stalen ramen is dat zeker zo! In het laatste geval kan een consequente isolatie van de gebouwschil, inclusief vensters, leiden tot min of meer ernstige condensproblemen aan de interieurkant van de kozijnen en raamkaders.

Goede ruimteventilatie kan hier verbetering brengen, maar soms moet men dit euvel voor lief nemen en zorgen voor goede condensvocht-opvang of -afvoer.

- Aandachtspunt bij glas met warmte-reflectiecoating aan interieurzijde is de relatieve kwetsbaarheid van de coating. Glazenwassen binnen mag alleen met zeer zachte, zuurvrije zeep – bijvoorbeeld babyshampoo – en zachte doek of zeem. Zo niet dan wordt de coating op den duur 'verpoetst' en verdwijnt het isolerend effect van de beglazing.

- Bij schuiframen zal in alle gevallen van glasvervanging sprake zijn van zwaarder worden van het met contragewichten afgehangen raamdeel. Om dat te compenseren is het raadzaam om de oude gewichten te vervangen door zwaardere loden exemplaren met dezelfde doorsnede]. Deze zijn betrouwbaar af te hangen met UV-bestendig kunststofkoord, dat sprekend lijkt op natuurlijk hennepkoord. Het historische schuifraamdetail blijft zo behouden. Eventueel kan gebruik worden gemaakt van compensatieveren, maar wij signaleerden daarmee nogal eens problemen (gebroken veren, roest, vastlopen).



Links: nieuwe loden raamgewichten liggen klaar voor toepassing bij oude schuiframen die door bezetting met isolatieglas flink zwaarder zijn geworden. Op de achtergrond nieuwe messing poelies voor de raamkoorden. Rechts: UV-bestendig kunststofkoord dat visueel niet is te onderscheiden van klassiek hennepkoord. Daarmee zijn de schuifraamkoorden hoogwaardig uit te voeren. © ejn