

TNO-rapport

TNO-060-DTM-2011-02848

Energiegebruik, comfort en zonwering MKB-kennisoverdracht

Technical Sciences
Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
infodesk@tno.nl

Datum	22 september 2011
Auteur(s)	L.G. Bakker L. Zonneveldt E.C.M. van Oeffelen
Aantal pagina's	66 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	ROMAZO De heer M. Straver Postbus 2600 3430 GA Nieuwegein
Projectnaam	Kosten-Baten geregeld zonwering
Projectnummer	034.21608

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Probleemstelling.....	3
1.2	Doelstelling.....	4
1.3	Deelnemers.....	4
2	Achtergrondinformatie	6
2.1	Energiebesparing.....	6
2.2	Gebruikscomfort.....	6
3	Methode	8
3.1	Beschrijving cases	8
3.2	Definitie prestatiecriteria	15
3.3	Gebruikte software tools	18
4	Resultaten	21
4.1	Kantoor.....	21
4.2	School	27
4.3	Appartement.....	35
5	Conclusies en aanbevelingen.....	47
5.1	Conclusies energiegebruik.....	47
5.2	Overzicht energieaspecten	49
5.3	Conclusies comfort	50
5.4	Overzicht comfortaspecten	50
5.5	Aandachtspunten bij toepassing automatisch geregelde zonwering.....	51
5.6	Aanbeveling voor verbeterde regelstrategieën voor automatisch geregelde zonwering.....	52
6	Referenties.....	54
7	Ondertekening.....	55
	Bijlage(n)	
	A Productspecificaties zonwering	
	B Gebouwkenmerken	
	C Resultaten groepskantoor	

1 Inleiding

De zon speelt een belangrijke rol in de natuur. De warmte en het licht van de zon zijn noodzakelijke voorwaarden voor levensvormen. Toch wordt de zon niet altijd als aangenaam ervaren. Blootstelling aan overdadig zonlicht kan schadelijk of oncomfortabel zijn. Een vorm van zonwering is in veel gevallen dus wenselijk, of zelfs noodzakelijk. De keuze voor het meest geschikte type zonwering voor een gebouw is afhankelijk van vele aspecten. Persoonlijke smaak, gewenste mate van warmtewering en daglichtregeling, mogelijkheid tot uitzicht naar buiten, bedieningsgemak, montagemogelijkheden, reinigbaarheid en duurzaamheid zijn allemaal eigenschappen die een rol spelen.

1.1 Probleemstelling

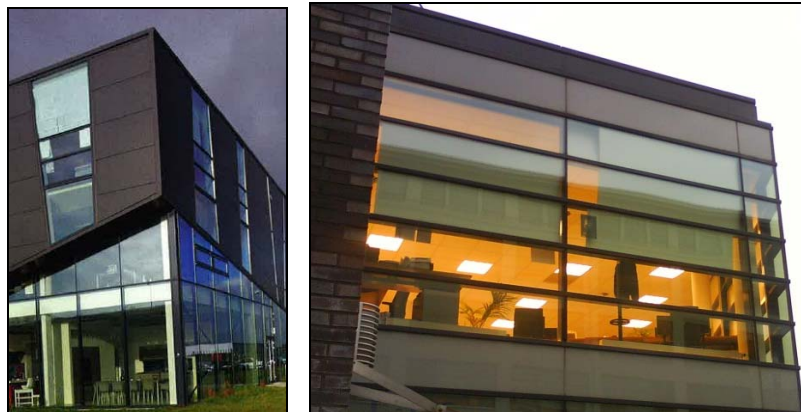
Zonwering heeft een grote invloed op de warmtebalans in gebouwen en daarmee op het energiegebruik gerelateerd aan het klimatiseren van gebouwen. TNO heeft in een eerder stadium in opdracht van ROMAZO de effecten van automatische geregelde buitenzonwering op de energievraag voor verwarmen en koelen bepaald (Bakker & Van Dijk, 2008). Dit is gedaan voor een zevental bouwtypen, voor bestaande gebouwen representatief voor Nederland. Bij toepassing van automatisch geregelde buitenzonwering gedurende de zomer, kan voor kantoren tot 29% en voor woningen tot 12% op energie voor koelen en verwarmen worden bespaard.

In deze eerste studie is energie voor verlichting buiten beschouwing gelaten net als het thermisch en visueel comfort.

In deze tweede studie zijn deze aspecten wel meegenomen.

Het is van belang dat de bouwkolom in Nederland de effecten van het inzetten van automatische zonwering als installatie gaat inzien. Een op de juiste wijze aangebrachte en in gebruik gestelde buitenzonwering, kan een substantiële impact hebben op het voorkomen van oververhitting en op het energiegebruik voor koeling. Zonwering zou daarom in de ontwerpfase bij de bouw moeten worden meegenomen.

Zonwering vormt nu meestal een sluitpost en vaak is het zo dat zonwering pas in beeld komt nadat zich al licht- en warmteoverlastproblemen hebben voorgedaan (zie Figuur 1),



Figuur 1. Gebouwen zonder zon- of lichtwering waarbij gebruikers op creatieve wijze met papier en karton het licht en warmteprobleem proberen te verminderen

1.2 Doelstelling

Doel van dit kennisoverdrachtproject is *“het inzichtelijk maken van de effecten die te bereiken zijn met automatisch geregelde zonwering en daardoor het bevorderen van het toepassen daarvan”*.

Hierbij wordt zowel aandacht besteed aan energiegebruik als aan comfort. Het gaat hierbij om op dit moment gebruikelijke regelingen.

1.3 Deelnemers

Bij de opzet van dit project is het initiatief genomen door ROMAZO, de branchevereniging van fabrikanten in de zonweringsbranche. De doelstelling van de ROMAZO fabrikanten is de bestudering, de bescherming en de ontwikkeling van de beroepsbelangen van de producenten van rolluiken en zonweringsystemen en toebehoren. Dit gebeurt o.a. door initiatieven te nemen tot of deel te nemen aan normeringsgesprekken, het uitvoeren of laten uitvoeren van testen in het kader van onderzoek, de deelname aan overleg- en samenwerkingsorganen, te zorgen voor marktvergroting en professionalisering binnen de branche en het verlenen van advies aan de leden.

De volgende MKB-bedrijven zijn bij dit project betrokken:

- PBS Handels- & Productieonderneming B.V.
- Sunpoint B.V.
- Sunmaster Nederland B.V.
- SunCircle B.V.
- Wonnink B.V.
- De Groot & Visser B.V.
- Zonweringsbedrijf Westland B.V.

Werknemers van de MKB-bedrijven zijn direct bij het project betrokken of laten zich vertegenwoordigen.

2 Achtergrondinformatie

De effecten van het gebruik van zonwering op het energiegebruik voor verwarmen, koelen en verlichten zijn zeer complex. Vandaar dat deze effecten doorgaans niet eenvoudig berekend kunnen worden. De complexiteit schuilt enerzijds in het moeilijk voorspelbare gebruikersgedrag voor handbediende zonwering en anderzijds in de complexe interactie tussen het gebouw, de automatische zonwering en het actuele weer.

Onderstaand zijn korte samenvattingen gegeven van een aantal eerdere relevante studies.

2.1 Energiebesparing

Om de effecten van buitenzonwering op de energievraag voor verwarming en koeling te bepalen, zijn eerder berekeningen gedaan op basis van de door TNO medeontwikkelde Europese methode voor energieberekeningen (Bakker & van Dijk, 2008). Er zijn in totaal zeven gebouwtypen doorgerekend (tussenwoning, twee-onder-een-kap woning, appartement, klein zorggebouw, groot zorggebouw, klein kantoor en groot kantoor). Ten opzichte van een situatie met zonwerende beglazing kan toepassing van geregelde buitenzonwering (zomer en winter) een energiebesparing voor verwarmen en koelen opleveren van 2-7% voor woningen, 6-7% voor zorggebouwen en 4-7% voor kantoren. Bij toepassing van buitenzonwering (zomer) zijn de besparingen iets groter: 6-13% voor woningen, 13-14% voor zorggebouwen en 11-15% voor kantoren.

Elektronische lichtregelsystemen kunnen in kantoren veel besparen op het elektriciteitsverbruik voor verlichting. In een studie voor Philips Lighting zijn door TNO simulaties uitgevoerd om een besparingspotentieel te bepalen bij toepassing van een moderne lichtregeling (Zonneveldt, 2005). In de simulaties is gebruikersgedrag meegenomen. Op basis van lichtcondities en de aanwezigheid van personen op vier verschillende werkplekken in een kantoorruimte is de verlichting ingesteld en het energiegebruik bepaald.

Voor een kantoorvertrek aan de zuidgevel van een gebouw met gemiddelde gebruikers kan voor de verlichting een energiebesparing van 62% worden bereikt als gebruik wordt gemaakt van een optimaal lichtregelsysteem en automatische horizontale lamellen; met handbediende lamellen is de besparing iets lager (52%). Bij een kantoorvertrek met een noordoriëntatie is in plaats van zonwering lichtwering gesimuleerd. Bij toepassing van automatische geregelde lichtwering kan een besparing op het energiegebruik voor verlichting van gemiddeld 54% worden bereikt, bij handmatig bediende screens is dat 48%.

2.2 Gebruikscomfort

Het voorkomen van discomfort voor de gebruikers is belangrijk, omdat dit tot productiviteitsverlies kan leiden. Meubilair of een werkomgeving die een houding met discomfort tot gevolg hebben, kunnen tot comfort- en gezondheidsklachten leiden. Het comfortabeler maken van dit soort werkplekken is daarom geen luxe, maar zorgt ervoor dat er minder aandoeningen ontstaan. Geen enkel bedrijf wil immers onnodig kosten maken door ziekteverzuim en de productiviteit verminderen

door een slechte inrichting of het ontbreken van essentiële bouwkundige voorzieningen zoals zon- en/of lichtwering.

Verschillende studies wijzen op een verband tussen comfort en productiviteit in een kantooromgeving (o.a. ASID 1998; Bauer 2003). De redenering daarbij is dat mensen zich prettiger voelen in een comfortabele omgeving, waardoor ze productiever werken. Daarnaast zijn er duidelijke aanwijzingen dat het zelf controle hebben over het binnenklimaat gunstige effecten heeft op comfort, arbeidssatisfactie en productiviteit (o.a. Lee en Brandt 2005, ASID 1998). Het effect op productiviteit en comfort is afhankelijk van de taak en het type persoon. Vandaar dat een goede afstemming van de omgeving op de taken en individuele behoeftes van de medewerkers dient plaats te vinden. Omdat een gebouw of product alleen door de eindgebruiker op comfort beoordeeld kan worden, dient aandacht besteed te worden aan hoe de eindgebruiker betrokken wordt in het ontwerptraject.

Gebruikersonderzoek laat zien dat medewerkers tevreden zijn met een lichtstelsel en zonwering waarbij naast een daglichtgestuurde regeling gebruikers ook zelf de verlichting en de zonwering kunnen aanpassen (Zonneveldt, 2002; Pernot en Zonneveldt, 2000). Controle over verlichting, zonwering, meubilair en temperatuur geeft een hogere ervaren productiviteit (Lee en Brand, 2005).

3 Methode

Om inzicht te krijgen in de effecten van geregelde zonwering zijn een aantal voorbeeldcases uitgewerkt, doorgerekend en vergeleken. Voor verschillende gebouwtypen is het energiegebruik en het comfort berekend bij toepassing van verschillende typen automatisch geregelde zonwering.

Het comfort is bepaald op basis van verschillende prestatiecriteria.

De cases met automatisch geregelde zonwering (al dan niet in combinatie met lichtwering) zijn steeds vergeleken met referentiecasses met handmatig bediende zonwering en referentiecasses zonder zonwering.

Een beschrijving van de referentiegebouwen en de toegepaste typen zonwering die als uitgangspunt voor de berekeningen hebben gediend, is opgenomen in paragraaf 3.1. In paragraaf 3.2 wordt ingegaan op de prestatiecriteria die zijn gehanteerd ten aanzien van energiegebruik en comfort. In paragraaf 3.3 wordt tenslotte een korte toelichting gegeven op de software die voor de berekeningen is gebruikt.

3.1 Beschrijving cases

In totaal zijn drie gebouwtypen uitgewerkt en doorgerekend: een kantoor, een school en een appartement. Ieder gebouwtype is doorgerekend zonder zonwering en met verschillende typen zonweringen die in de praktijk vaak worden toegepast bij het betreffende gebouwtype. Hierbij zijn de volgende typen zonwering aangehouden:

- Buitenscreens antraciet (voor kantoor, school en westgevel appartement);
- Uitvalscheren oranje (voor school en zuidgevel appartement);
- Buitenjaloezieën, waarbij is aangenomen dat de lamellen onder een hoek van 45° staan als de zonwering neer is (voor kantoor);
- Binnenscreens (lichtwering) (in combinatie met buitenzonwering toegepast voor kantoor, school en appartement; er is aangenomen dat in de winter gebruik wordt gemaakt van de binnenscreens en in de zomer van de buitenzonwering).

Productspecificaties met betrekking tot de zonwering zijn door de workshopdeelnemers aan TNO toegestuurd en zijn opgenomen in bijlage A.

Voor alle gebouw- en zonweringstypen zijn berekeningen uitgevoerd voor verschillende regelstrategieën:

- Handmatig bediende zonwering;
- Automatisch geregelde zonwering, schakelcriterium 200 W/m² op de gevel;
- Automatisch geregelde zonwering, schakelcriterium 350 W/m² op de gevel.

Met handmatig bediende zonwering wordt in deze rapportage bedoeld: een al dan niet gemotoriseerde zonwering waarvan de stand met de hand kan worden ingesteld.

Met automatisch geregelde zonwering wordt in deze rapportage bedoeld: een gemotoriseerde zonwering waarvan de stand wordt geregeld op basis van een stralingssensor die de zonintensiteit meet op het verticale vlak parallel aan de betreffende gevel in watt per vierkante meter.

Bij de handmatig bediende zonwering is aangenomen dat de zonwering omlaag wordt gedaan wanneer er verblinding optreedt, dit is het geval wanneer de luminantie in het blikveld van één van de personen in de ruimte hoger is dan de grenswaarde van 5000 cd/m^2 . Er is vanuit gegaan dat de zonwering vervolgens gedurende de rest van de dag omlaag blijft.

3.1.1 Kantoor

Het gekozen referentiekantoor is een gemiddeld kantoorgebouw met tweepersoonskamers aan twee zijden van de gevel. Het kantoor is gedefinieerd als referentiekantoor binnen IEA task 27 (van Dijk, 2000). In het midden ligt een gang en aan beide uiteinden van de gang liggen trappenhuisen of eventueel serviceruimten. De kantoren op de hoeken van het gebouw zijn groter en worden gebruikt als groepskantoor of vergaderruimte. Het kantoorgebouw telt zeven verdiepingen en is tussen 1980 en 1995 gebouwd. Het referentie kantoorvertrek is gekozen op de derde verdieping. In het IEA referentiekantoor is geen zonwering aanwezig. Voor dit project is echter uitgegaan van aanwezige buitenzonwering in de vorm van screens en jaloezieën en lichtwering binnen.

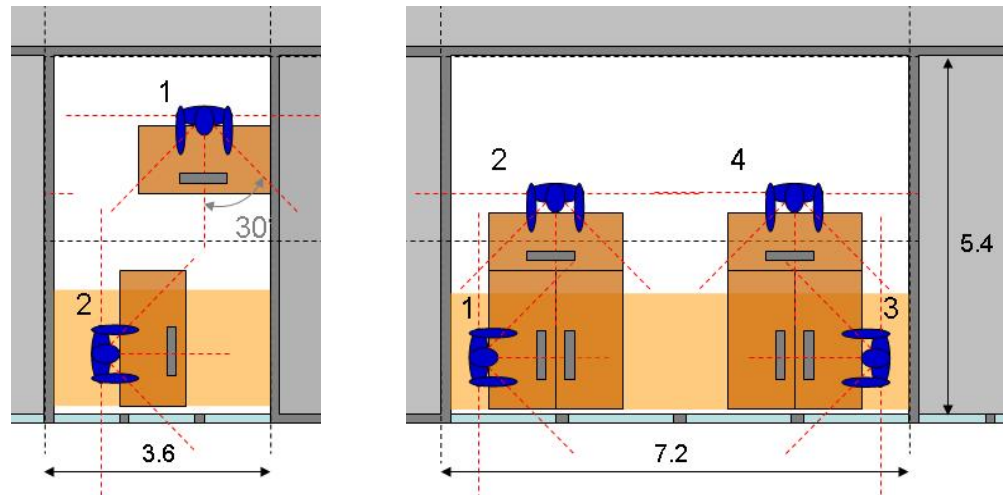


Figuur 2. Voorbeelden van kantoorgebouwen die vergelijkbaar zijn met het doorgerekende kantoor

In Figuur 3 zijn de door te rekenen kantoorvertrekken, bestaande uit een cellenkantoor en een groepskantoor schematisch weergegeven. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van het kantoor opgenomen. Alle bouwkundige en installatietechnische details met betrekking tot het kantoor staan vermeld in bijlage B.

Tabel 1. Enkele kenmerken van de kantoorcase

Kantoor	Bouwjaar	1980-1995
	Oriëntatie	Zuid
	Glas	ZHR ($U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; 29% van de gevel)
	Verwarming	Lucht
	Koeling	Airconditioning
	Verlichting	TLD (10 W/m^2) daglichtafhankelijke regeling (raamzone)
	Ventilatie	Mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning



Figuur 3. Schematische plattegrond van het doorgerekende cellenkantoor en groepskantoor met daarin aangegeven de posities van gesimuleerde kantoorgebruikers

Tabel 2 laat een overzicht zien van de zonweringvarianten die voor het kantoor zijn doorgerekend. Hierbij is als referentiesituatie steeds de handmatig bediende zonwering aangehouden; deze situatie wordt vergeleken met automatische zonwering (a). Daarnaast is berekend wat het effect is van het toepassen van lichtwering in combinatie met buitenzonwering (b). Hierbij is aangenomen dat in de winterperiode alleen de handmatig bediende lichtwering wordt gebruikt.

Tabel 2. Zonwering praktijkcase 'kantoor' - Referentiesituatie ten opzichte van een verbeterde situatie

	Referentie	Verbetering
Variant 1	Buitenscreens (antraciet) handmatig - Zuid	a) Buitenscreens (antraciet) automatisch – Zuid b) Lichtwering (binnenscreen) handmatig in winter; buitenscreens (antraciet) automatisch in zomer*
Variant 2	Buitenjaloezieën (45°) – handmatig - Zuid	a) Buitenjaloezieën (45°) – automatisch – Zuid b) Lichtwering (binnenscreen) handmatig in winter; buitenjaloezieën (45°) automatisch in zomer*

* De winterperiode loopt hierbij van 15 oktober tot 15 maart.

Voor de berekeningen is ervan uitgegaan dat het kantoor op weekdays van 9.00u tot 17.00u in gebruik is. De aangehouden interne warmtelast is gegeven in bijlage B. Er is van uitgegaan dat in de ruimte standaard kantoorkwerkzaamheden worden uitgevoerd: lezen, schrijven en computerwerkzaamheden. De eisen die aan de ruimte worden gesteld ten aanzien van comfort zijn hierop gebaseerd (zie paragraaf 3.2).

3.1.2 School

Voor de school is uitgegaan van een gebouw met één enkele bouwlaag, waarbij de begane grond van het schoolgebouw zoals beschreven in NPR 2917 (2005) als

uitgangspunt is genomen. Voor het referentiegebouw geeft NPR 2917 aan dat alleen op de zuidoriëntatie buitenzonwering (handbediend) aanwezig is. Verdere specificaties zijn niet gegeven. De school is voorzien van mechanische toe- en afvoer. In afwijking van NPR 2917 is ervoor gekozen geen warmteterugwinning toe te passen in de school, aangezien dit in de meeste scholen niet het geval is. In Tabel 3 zijn de belangrijkste kenmerken van de school opgenomen.

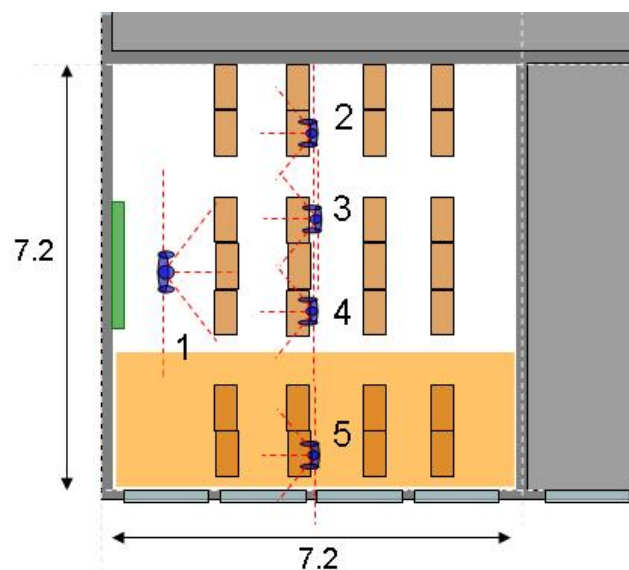


Figuur 4. Voorbeelden van schoolgebouwen die vergelijkbaar zijn met de doorgerekende school

Tabel 3. Enkele kenmerken van de schoolcase

School	Bouwjaar	1980-1995
	Oriëntatie	Zuid
	Glas	HR++ (U=1,8 W/m ² K; 63% van de gevel)
	Verwarming	Radiatoren
	Koeling	Geen
	Verlichting	TL5 (15 W/m ²) – daglichtafhankelijke regeling (raamzone)
	Ventilatie	Mechanisch toe- en afvoer Raam open bij binnentemperatuur hoger dan 26°C

In Figuur 5 is het door te rekenen klaslokaal schematisch weergegeven. Het klaslokaal heeft vier identieke daglichtopeningen. In het lokaal is een schoolbord aanwezig op de west wand van het lokaal. Alle bouwkundige en installatietechnische details met betrekking tot de school zijn opgenomen in bijlage B.



Figuur 5. Schematische plattegrond van het doorgerekende klaslokaal met daarin aangegeven de posities van gesimuleerde kinderen en onderwijzer

Tabel 4 laat een overzicht zien van de zonweringvarianten die voor de school zijn doorgerekend. Hierbij is als referentiesituatie steeds de handmatig bediende zonwering aangehouden; deze situatie wordt vergeleken met automatische zonwering (a). Daarnaast is berekend wat het effect is van het toepassen van lichtwering in combinatie met buitenzonwering (b). Hierbij is aangenomen dat in de winterperiode alleen de handmatig bediende lichtwering wordt gebruikt.

Tabel 4. Zonwering praktijkcase 'school' - Referentiesituatie ten opzichte van een verbeterde situatie

	Referentie	Verbetering
Variant 1	Uitvalschermb (oranje) handmatig - Zuid	a) Uitvalschermb (oranje) automatisch – Zuid b) Lichtwering (binnenscreen) handmatig in winter; Uitvalschermb (oranje) automatisch in zomer*
Variant 2	Buitenscreens (antraciet) handmatig - Zuid	a) Buitenscreens (antraciet) automatisch – Zuid b) Lichtwering (binnenscreen) handmatig in winter; buitenscreens (antraciet) automatisch in zomer*

* De winterperiode loopt hierbij van 15 oktober tot 15 maart.

Voor de berekeningen is ervan uitgegaan dat het klaslokaal op weekdays van 8.30u tot 12.00u en van 13.15u tot 15.15u voor lessen in gebruik is (met uitzondering van woensdagmiddag). De leerkracht is voor en na schooltijd wel langer aanwezig. Tijdens de schoolvakanties wordt het klaslokaal niet gebruikt. Gedetailleerde informatie over de aanwezigheid van de gebruikers en de aangehouden interne warmtelast is gegeven in bijlage B. De activiteiten die in de school worden verricht, zijn beperkt tot luisteren/spreken en schrijftaken (lezen, rekenen). Bij het luisteren en spreken zal de aandacht voornamelijk op de leraar, de leerlingen of het schoolbord gericht zijn. Tijdens schrijftaken is de blik voornamelijk op de tafel van de leerling (of leraar) gevestigd. De eisen die aan de ruimte worden gesteld ten aanzien van comfort zijn hierop gebaseerd (zie paragraaf 3.2).

3.1.3 Appartement

Appartementen vertegenwoordigen circa 33 % van de woningproductie in Nederland. De oppervlakte van een appartement in de koopsector bedraagt gemiddeld 105 m² en deze zijn veelal voorzien van twee slaapkamers. Voor dit project is het SenterNovem-referentieappartement als uitgangspunt genomen. Deze woning heeft een oppervlakte van ongeveer 92 m² en is voorzien van mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de woonkamer van het appartement, welke een grote glazen pui op het zuiden heeft die toegang geeft tot het balkon en twee kleine ramen op het westen. Er is aangenomen dat het appartement op de derde verdieping ligt. In Tabel 5 zijn de belangrijkste kenmerken van het appartement opgenomen.



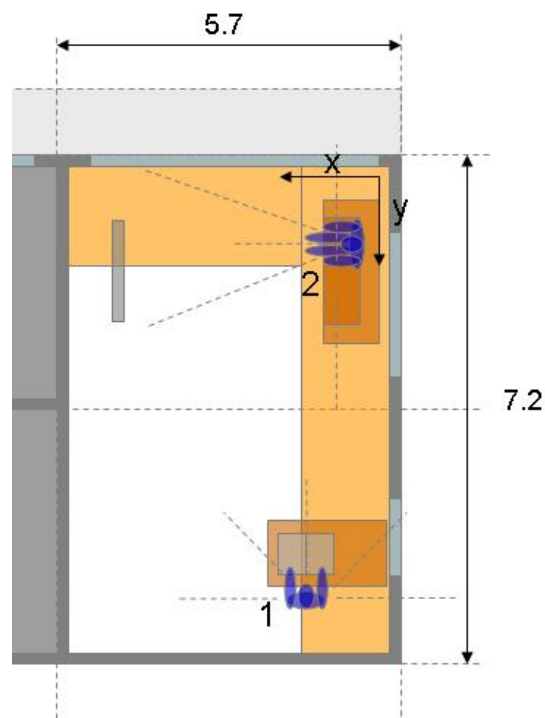
Figuur 6. Voorbeelden van appartementen die vergelijkbaar zijn met het doorgerekende appartement

Tabel 5. Enkele kenmerken van de appartementcase

Appartement	Bouwjaar	Na 2000
	Oriëntatie	Zuid/west (hoekappartement)
	Glas	HR++ (U=1,8 W/m ² K; 89% van zuidgevel, 19% van westgevel)
	Verwarming	Radiatoren
	Koeling	Geen
	Verlichting	Voor oriëntatie en decoratie (10 W/m ²)*, opgedeeld in twee zones
	Ventilatie	Mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning en bypass in de zomer. Raam open bij binnentemperatuur hoger dan 26°C en verder open bij 28°C

* Deze waarde is vastgesteld op basis van kleinschalig gebruikersonderzoek.

In Figuur 7 is het door te rekenen gedeelte van het appartement schematisch weergegeven. Alle bouwkundige en installatietechnische details met betrekking tot het appartement zijn opgenomen in bijlage B.



Figuur 7. Schematische plattegrond van het doorgerekende appartement met daarin aangegeven de locaties van gesimuleerde bewoners (N=3)

Tabel 6 laat een overzicht zien van de zonweringvarianten die voor het appartement zijn doorgerekend. Hierbij is als referentiesituatie uitgegaan van geen zonwering, respectievelijk handmatig bediende zonwering; deze situaties worden vergeleken met automatische zonwering (a). Daarnaast is berekend wat het effect is van het toepassen van lichtwering in combinatie met buitenzonwering (b). Hierbij is aangenomen dat in de winterperiode alleen de handmatig bediende lichtwering wordt gebruikt.

Tabel 6. Zonwering praktijkcase 'appartement' - Referentiesituatie ten opzichte van een verbeterde situatie

	Referentie	Verbetering
Variant 1	a) Geen zonwering b) Handmatig bediende zonwering	a) Uitvalschermb (oranje) automatisch – Zuid; buitenscreens (antraciet) automatisch - West b) Lichtwering (binnenscreen) handmatig in winter; Uitvalschermb zuid (oranje) en buitenscreens west (antraciet) automatisch in zomer*

* De winterperiode loopt hierbij van 15 oktober tot 15 maart.

Voor de berekeningen is uitgegaan van twee aanwezigheidsscenario's: bij het eerste scenario is ervan uitgegaan dat de bewoners altijd thuis zijn (iedere dag van 8.00u tot 23.00u aanwezig in de woonkamer), bij het tweede scenario is ervan uitgegaan dat de bewoners veel afwezig zijn (alleen 's ochtends vroeg, 's avonds en om de week in het weekend aanwezig in de woonkamer). Gedetailleerde informatie over

de aanwezigheid van de gebruikers en de aangehouden interne warmtelast is gegeven in bijlage B.

De activiteiten in een woning zijn zeer uiteenlopend. Voor dit project is een keuze gemaakt voor twee bezigheden: lezen aan de eetkamertafel en televisie kijken op de bank. De eisen die aan de ruimte worden gesteld ten aanzien van comfort zijn hierop gebaseerd (zie paragraaf 3.2).

3.2 Definitie prestatiecriteria

Voordat een vergelijking kan worden gemaakt tussen verschillende cases, moet worden vastgesteld voor welke aspecten de vergelijking moet worden uitgevoerd. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de verschillende prestatiecriteria die van belang zijn, onderverdeeld naar de hoofdcategorieën energie, visueel comfort en thermisch comfort.

3.2.1 *Energie*

Het al dan niet toepassen van zonwering heeft effect op de energievraag voor verwarmen, koelen en elektrische verlichting. Deze drie onderdelen van het energiegebruik zijn afzonderlijk berekend en weergegeven.

3.2.2 *Visueel comfort*

Verlichting is voor de mens in de eerste plaats van belang om de visuele taak uit te kunnen voeren, ook wel de visuele prestatie genoemd. Voor de visuele prestatie is het vooral van belang dat de verlichtingssterkte op de oogtaak voldoende is om de taak uit te kunnen voeren. Een te veel aan daglicht veroorzaakt verblinding en bij te weinig daglicht is aanvullend kunstlicht vereist om de taken goed uit te kunnen voeren.

Naast de eisen die gesteld worden aan de visuele prestatie dient ook aandacht te worden besteed aan het visueel comfort. Bij visueel comfort speelt de hoeveelheid en de verdeling van licht een rol.

Daglicht wordt comfortabeler gevonden dan kunstlicht (Bodart & Deneyer, 2004; Dietrich, 2006)). Het grote voordeel van daglicht is dat het dynamisch is. Ons lichaam is op deze dynamiek ingesteld en ons slaap-waakritme wordt erdoor beïnvloedt. Er zijn onderzoeken die aantonen dat direct zonlicht en uitzicht ziekte en stress verminderen (Edwards & Torcellini, 2002; Galaciu & Veitch, 2006; Veitch, 2004). Bovendien zorgt daglicht voor een natuurlijke waarneming van de ruimte. Maar verblinding, bijvoorbeeld veroorzaakt door reflecties in het beeldscherm van een computer, moet wel worden voorkomen.

3.2.2.1 *Verlichtingssterkte*

De verlichtingssterkte is een maat voor de hoeveelheid licht die op een vlak valt. In NEN-EN 12464-1 (2003) worden voor verschillende typen ruimtes en taken eisen gesteld aan de horizontale verlichtingssterkte. De minimale horizontale verlichtingssterkte voor kantoorwerkzaamheden is 500 lux en voor klaslokalen 300 lux. Woningen behoren niet tot het toepassingsgebied van NEN-EN 12464-1, waardoor hier geen specifieke eisen voor bekend zijn. Voor de leestaak binnen de woning wordt een minimale horizontale verlichtingssterkte van 500 lux aangehouden (overeenkomstig de eis voor kantoren), voor het televisie kijken wordt een minimale horizontale verlichtingssterkte van 200 lux aangehouden.

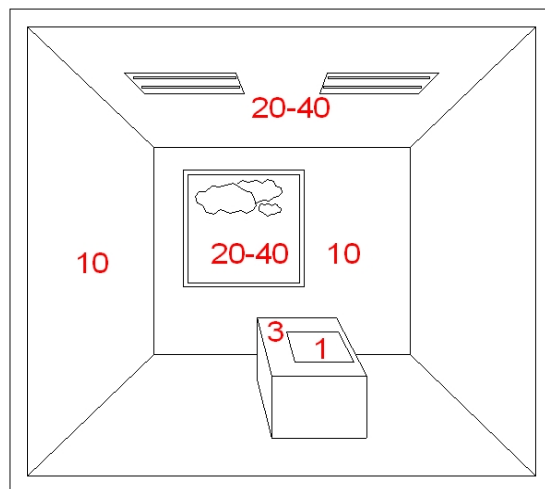
3.2.2.2 Absolute luminanties

De luminantie is een maat voor de hoeveelheid licht die wordt uitgestraald van een vlak in een bepaalde richting en is afhankelijk van de verlichtingssterkte op het betreffende vlak en de reflectiefactor van het oppervlak. Veel onderzoeken laten zien dat mensen een ruimte met helder verlichte wanden en plafond plezieriger vinden (Wright e.a., 1999; Dubois, 2001). Wanneer de luminanties te hoog worden kan echter verblinding optreden.

3.2.2.3 Luminantieverhoudingen

Voor het visueel comfort is het belangrijk dat de helderheidsverhoudingen (ook wel luminantieverhoudingen genoemd) in de ruimte niet te groot zijn, maar ook niet te klein. Bij te grote verschillen treedt verblinding op, terwijl bij te kleine verschillen een saaie ruimte kan ontstaan waarbij het moeilijk is om afstanden en diepte te schatten.

De luminantieverdeling in het blikveld bepaalt het adaptatieniveau van de ogen, hetgeen invloed heeft op de zichtbaarheid van de taak. De luminantieverhoudingen rondom de oogtaak moeten voldoen aan de verhouding 1:3:10. Dit houdt in dat de luminantie van de oogtaak en de luminantie van de directe omgeving van de oogtaak maximaal een factor 3 mogen verschillen; de luminantie van de periferie in het blikveld mag maximaal een factor 10 verschillen van de luminantie van de oogtaak. Wanneer de periferie een daglichtopening betreft is een verhouding tussen oogtaak en periferie van 1:30 toelaatbaar. Deze verhoudingen zijn weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8. Acceptabele luminantieverhoudingen in een ruimte

Concreet betekent dit dat ten aanzien van de luminantieverhoudingen de volgende eisen worden gesteld:

- De verhouding tussen de luminantie van papier op het bureau voor een persoon en de luminantie van de muur achter het bureau moet kleiner zijn dan 10:1 of 1:10. Indien de muur een daglichtopening betreft geldt een verhouding van 30:1 of 1:30;
- De verhouding tussen de luminantie van een monitor en de luminantie van de muur achter de monitor moet kleiner zijn dan 10:1 of 1:10. Indien de muur een

daglichtopening betreft geldt een verhouding 30:1 of 1:30. Hierbij wordt voor de monitor of tv uitgegaan van een luminantiewaarde van 200 cd/m².

De luminantieverhouding tussen het papier en het bureau is niet gebouwfankelijk en wordt daarom in dit project niet als prestatie criterium meegenomen.

3.2.2.4 Uitzicht

Uitzicht is een belangrijke parameter voor het visueel comfort van een ruimte en wordt zowel bepaald door de mate van contact met buiten als de kwaliteit van het uitzicht. Voor een goede kwaliteit van het uitzicht zijn volgens Markus (1967) drie elementen in het uitzicht noodzakelijk:

- Hemel
- Achtergrond (met stad of landschapselementen)
- Voorgrond

Van alle drie de elementen dient tenminste een deel zichtbaar te zijn in plaats van een element op zichzelf. De kwaliteit van het uitzicht is situatieafhankelijk en kan daarom in dit project niet als prestatie criterium worden meegenomen.

De mate van contact met buiten is afhankelijk van de grootte van het raam, de afstand tot het raam en aanwezigheid van eventuele belemmeringen (bijv. zonwering). De mate van contact met buiten wordt in de analyse wel als prestatie criterium meegenomen. Hierbij wordt het discomfort ten gevolge van gebrek aan contact met buiten bepaald door het percentage van de gebruikstijd dat de zonwering gesloten is. Afhankelijk van het type zonwering kan er in gesloten toestand echter nog wel enig contact met buiten mogelijk zijn. Bij een uitvalscherm heeft men bijvoorbeeld nog vrij zicht door het onderste gedeelte van het raam en bij toepassing van screens is doorzicht mogelijk over het gehele raamoppervlak (vooral bij donker doek). De mate waarin in gesloten toestand van de zonwering contact met buiten mogelijk is, wordt in de analyse niet gekwantificeerd.

3.2.3 Thermisch comfort

Thermisch comfort wordt bepaald door de omgevingsfactoren luchttemperatuur, stralingstemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid en de persoonsgebonden factoren kleding en activiteitsniveau. In gebouwen zijn de luchttemperatuur en de stralingstemperatuur de meest bepalende omgevingsfactoren voor het thermisch comfort. Deze parameters worden vaak gezamenlijk uitgedrukt in de operationele temperatuur (het gemiddelde van de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur).

Zonnestraling heeft een grote invloed op de gemiddelde stralingstemperatuur en het is daarom van belang om deze zonnestraling mee te nemen in de berekening van de operationele temperatuur. De gemiddelde stralingstemperatuur inclusief zonnestraling kan als volgt worden bepaald (Fanger, 1970):

$$T_{mrt} = \left(T_{umrt}^4 + \left(\text{const} \times f_p \times \alpha_{ir} \times q_{sun} \right) \right)^{0,25}$$

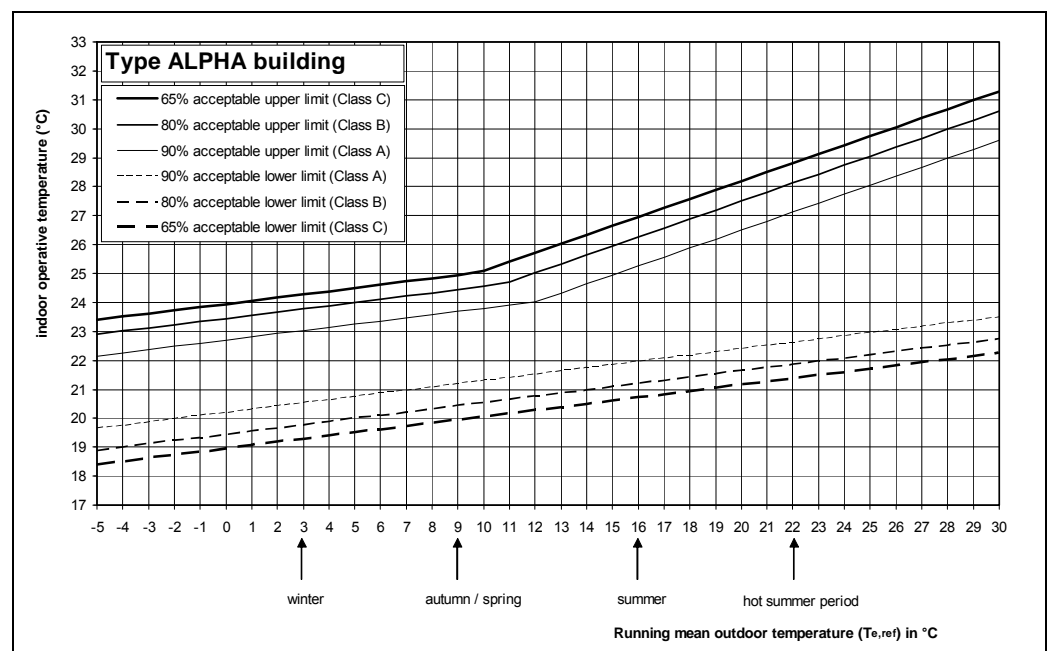
Waarin:

T_{mrt}	totale gemiddelde stralingstemperatuur (inclusief zonnestraling)	[K]
T_{umrt}	stralingstemperatuur zonder zonnijdage	[K]
Const	$1/(0,97 \cdot \sigma)$	
σ	Stephan Boltzmanns constante ($=5,77 \cdot 10^{-8}$)	[W/m ² K ⁴]

f_p	geprojecteerde oppervlakte factor	[-]
α	absorptiefactor	[-]

NEN-EN-ISO 7730 (2005) geeft ontwerpcriteria ten aanzien van thermisch comfort voor verschillende typen gebouwen. Voor kantoren en scholen van klasse A wordt voor de wintersituatie uitgegaan van een operationele temperatuur van $22,0^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ en voor de zomersituatie van $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$. In de simulaties is hierbij aangesloten door voor verwarming uit te gaan van een setpoint temperatuur van 22°C en voor koeling van $24,5^{\circ}\text{C}$.

Bij bovengenoemde ontwerpcriteria wordt geen rekening gehouden met adaptatie. Daarom is op basis van verschillende veldonderzoeken de zogenaamde adaptieve temperatuurgrenswaarden methode ontwikkeld (ISSO 74, 2004). De grenswaarden voor de temperatuur zijn in deze methode afhankelijk van de 'running mean outdoor temperature', die wordt berekend op basis van de buiten(lucht)temperatuur van de beschouwde dag en de drie dagen daaraan voorafgaand. In de methode wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen gebouwen afhankelijk van de aanwezigheid van mechanische koeling en de mogelijkheid om zelf de temperatuur in het gebouw te beïnvloeden (bijvoorbeeld door het openen van ramen). In Figuur 9 zijn de adaptieve temperatuurgrenswaarden voor een type alpha gebouw (zonder mechanische koeling) weergegeven. De grenswaarden behorende bij een alpha gebouw en een acceptatieniveau van 80% zijn bij de analyses van de simulatieresultaten gebruikt.



Figuur 9. Adaptieve temperatuurgrenswaarden voor een type alpha gebouw (zonder mechanische koeling).

3.3 Gebruikte software tools

3.3.1 Simulatie van de verlichting met behulp van Radiance en Daysim

Voor het berekenen van de daglichttoetreding in de ruimtes is gebruik gemaakt van een tweetal simulatieprogramma's. Het programma Radiance is gebruikt om te berekenen hoe het daglicht via de gevel, al dan niet voorzien van zonwering, de ruimte binnenvalt. Radiance gebruikt de zogenaamde ray-trace methode om de verlichtingssterkte in de ruimte te berekenen. Het voordeel van deze methode is dat ook complexe systemen zoals jaloezieën doorgerekend kunnen worden. Om de daglichttoetreding voor een heel jaar dynamisch te kunnen bepalen op basis van klimaatgegevens is gebruik gemaakt van het programma Daysim, dat de Radiance berekeningen aanstuurt. Het resultaat is dan dat voor ieder uur en voor iedere situatie (met en zonder zonwering, handbediend of automatisch geregeld) de daglichtcondities bepaald worden.

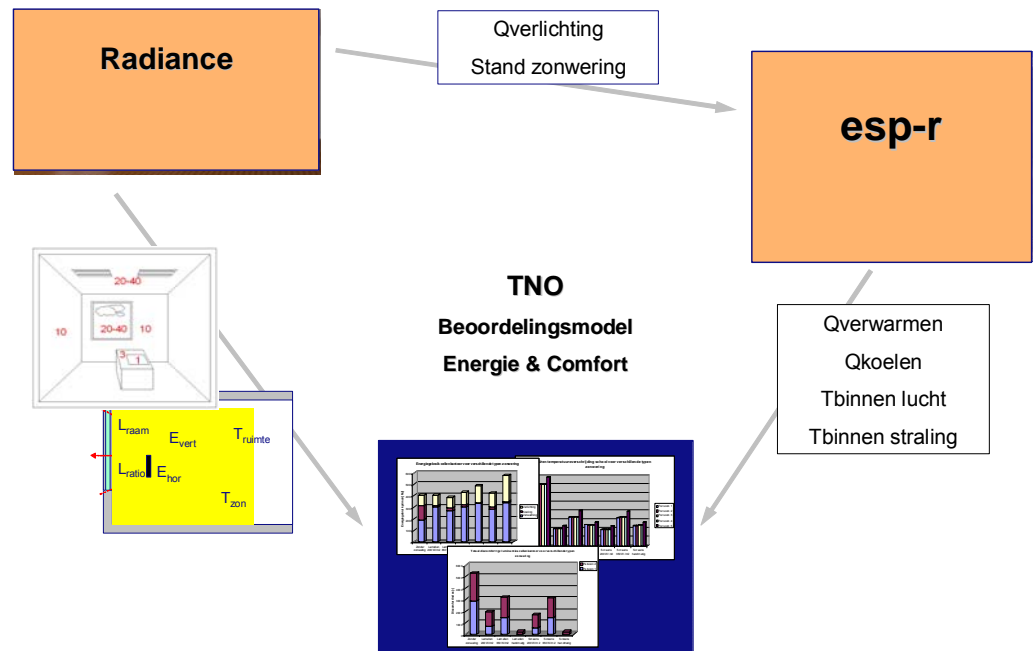
Het programma Radiance werd ontwikkeld door Greg Ward van het Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) met steun van de U.S. Department Of Energy en de Swiss Federal Government. DAYSIM is oorspronkelijk ontwikkeld door het Fraunhofer Instituut voor zonne-energie te Freiburg, Duitsland. Vervolgens is het doorontwikkeld bij het NRC in Ottawa, Canada (Reinhart, 2003).



Figuur 10. Voorbeeld van een case in Radiance

3.3.2 ESP-r

ESP-r is ontwikkeld door de University of Strathclyde en is een geïntegreerd modelleringshulpmiddel voor de simulatie van thermische, visuele en akoestische prestaties van gebouwen. Het kan tevens ingezet worden voor de beoordeling van energiegebruik en simulatie van gasachtige emissies. Bij het uitvoeren van beoordelingen, is het systeem uitgerust om warmte, lucht, vochtigheids- en elektrische energiestromen te modelleren op de door de gebruiker aangegeven resolutie. Voor meer informatie zie: <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>

3.3.3 *Het TNO beoordelingsmodel*

Figuur 11. TNO beoordelingsmodel

De energie voor verlichting en de stand van de zonwering als berekend met Radiance dienen als input voor de thermische ESP-r berekeningen. In het TNO beoordelingsmodel worden de Radiance en ESP-r resultaten gecombineerd en verwerkt zoals in het volgende hoofdstuk behandeld.

4 Resultaten

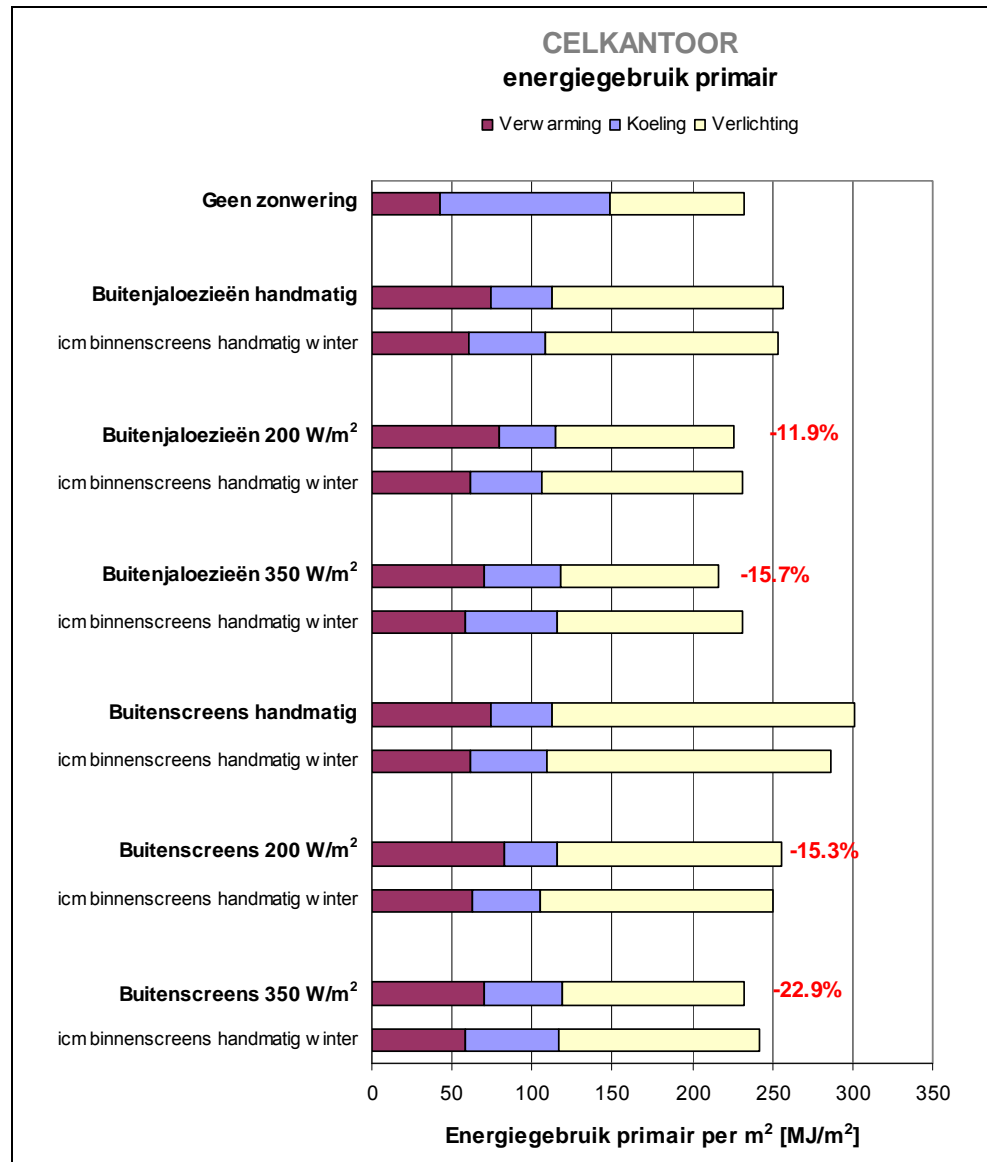
De resultaten worden in dit hoofdstuk per gebouwtype toegelicht.

4.1 **Kantoor**

In deze paragraaf zijn de resultaten van het cellenkantoor opgenomen. De resultaten van het groepskantoor zijn in grote lijn vergelijkbaar met het cellenkantoor en daarom in de bijlage C opgenomen.

4.1.1 *Energiegebruik*

In Figuur 12 is het primair energiegebruik van het cellenkantoor voor de verschillende typen zonwering weergegeven per m² gebruiksoppervlak, onderverdeeld naar de deelposten verwarming, koeling en verlichting. Door toepassing van automatisch bediende zonwering kan 12 tot 23% energie worden bespaard ten opzichte van handmatig bediende zonwering. Wanneer een combinatie van handmatig bediende lichtwering in de winter en automatisch bediende buitenzonwering in de zomer wordt toegepast, kan nog eens tot 7% energie worden bespaard ten opzichte van automatisch bediende buitenzonwering gedurende het hele jaar. Dit effect is echter sterk afhankelijk van het type automatisch bediende zonwering waarbij de lichtwering wordt toegepast. In een aantal gevallen pakt het negatief uit. Door in de winterperiode lichtwering toe te passen neemt het energiegebruik voor verwarming af en het energiegebruik voor koeling toe. Doordat de handmatig bediende lichtwering een groter deel van de dag gesloten is dan de automatisch bediende buitenzonwering neemt het energiegebruik voor verlichting toe.



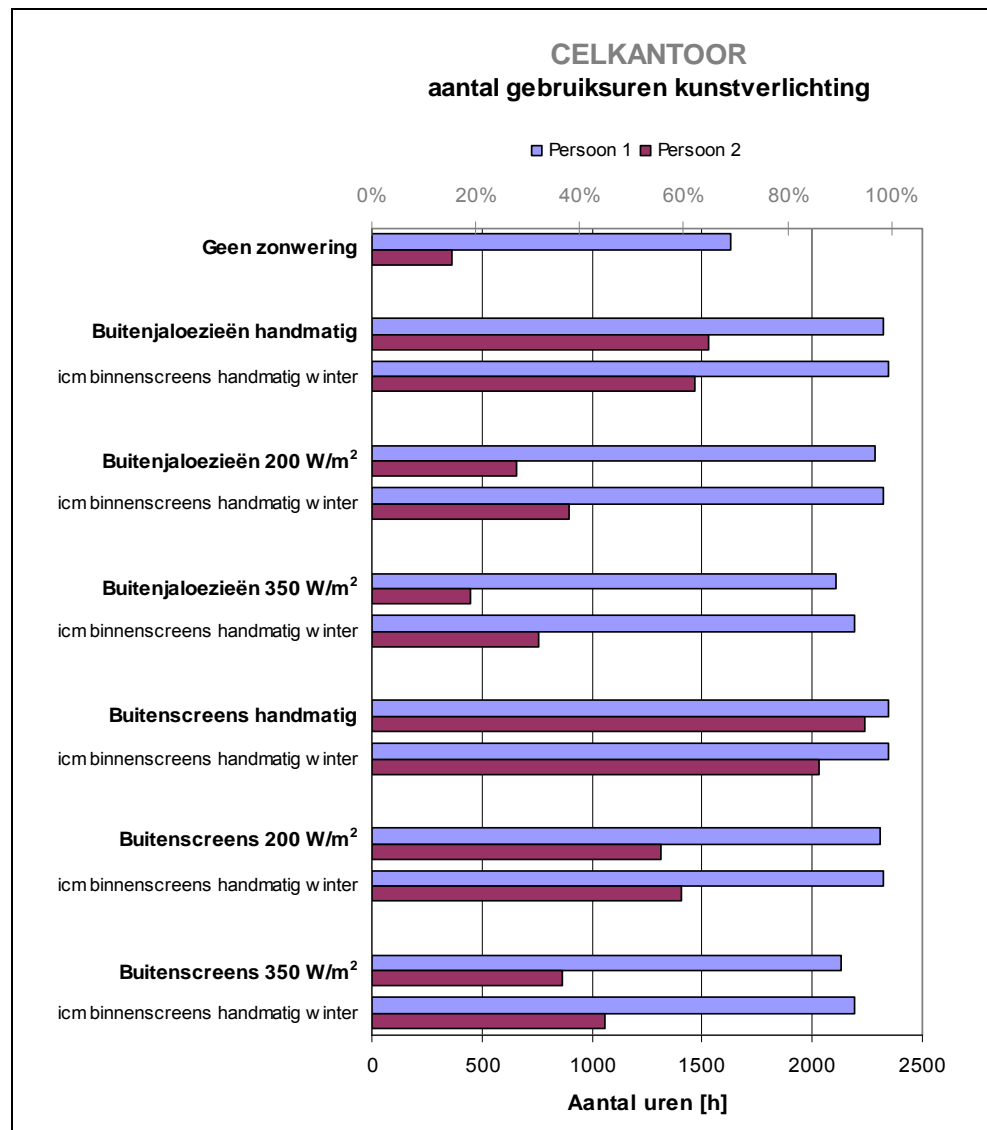
Figuur 12. Primair energiegebruik van het cellenkantoor voor verschillende typen zonweringen, uitgedrukt in MJ per m². Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het energiegebruik weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. In rood is het percentage energiebesparing van een automatische zonwering aangegeven t.o.v. een handbediende zonwering van hetzelfde type.

4.1.2 Visueel comfort

4.1.2.1 Gebruik kunstverlichting

In Figuur 13 is voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de kunstverlichting in het cellenkantoor is ingeschakeld. Door toepassing van zonwering neemt het aantal uren dat kunstlicht nodig is toe ten opzichte van de situatie zonder zonwering. Achter in de ruimte (persoon 1) is de kunstverlichting het grootste gedeelte van de gebruikstijd aan (in gedimde stand). Aan de raamzijde (persoon 2) is de kunstverlichting aanmerkelijk minder vaak aan, vooral wanneer automatisch bediende buitenjaloezieën worden

toegepast. Handmatig bediende zonwering leidt tot meer kunstlichtgebruik dan automatisch bediende zonwering, doordat de handmatig bediende zonwering een groter deel van de gebruikstijd gesloten is.

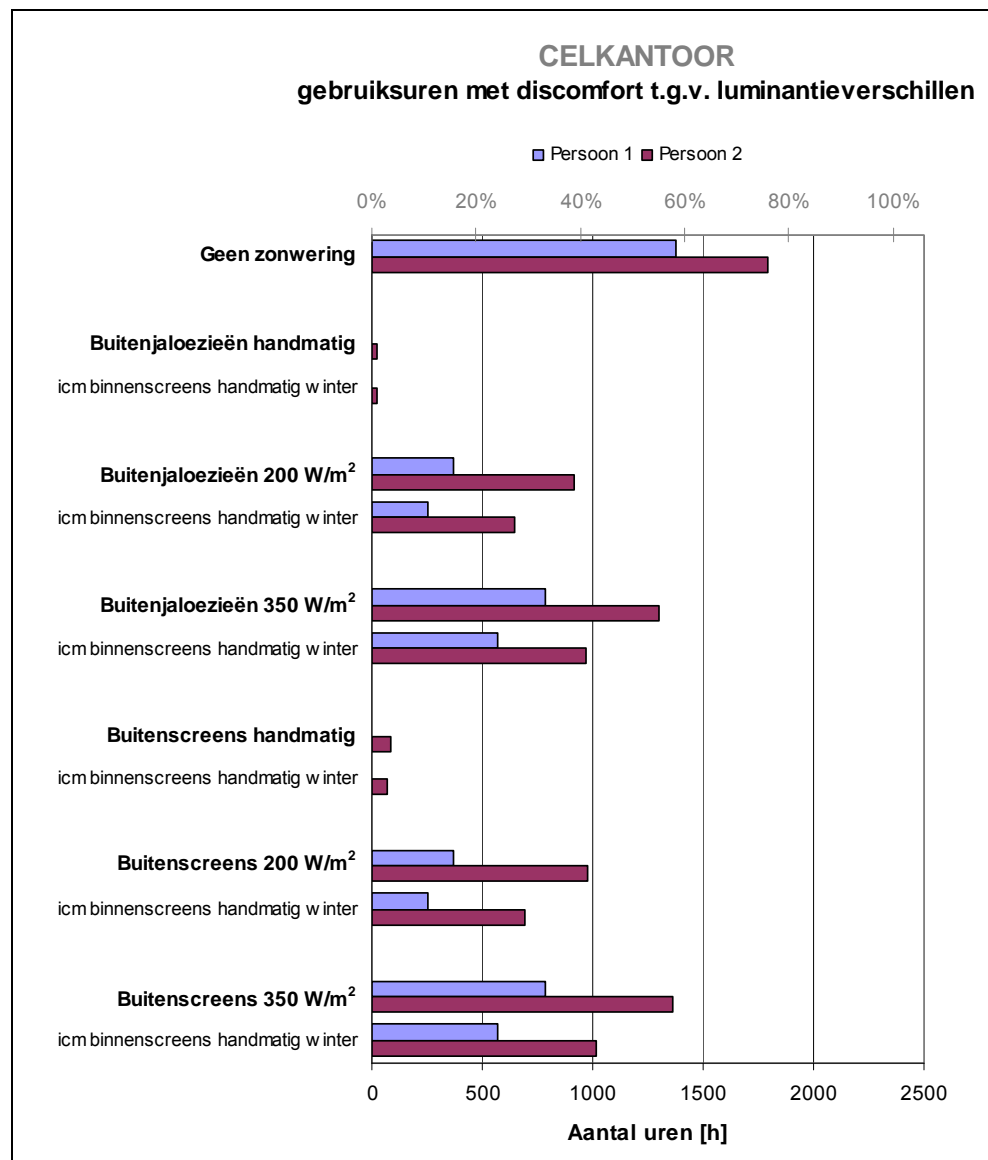


Figuur 13. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de kunstverlichting in het cellenkantoor is ingeschakeld voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met kunstverlichting weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

4.1.2.2 Luminantieverschillen

In Figuur 14 is het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de medewerkers in het cellenkantoor discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen in de ruimte. Door toepassing van zonwering neemt het aantal uren dat discomfort wordt ervaren flink af ten opzichte van de situatie zonder zonwering (voor persoon 1 van 58% naar 0 tot 34% van de gebruikstijd discomfort en voor persoon 2 van 76% naar 0 tot 58% van de gebruikstijd discomfort). Het discomfort dat optreedt, wordt voornamelijk veroorzaakt door hoge hemelluminanties bij het raam.

Uit de resultaten blijkt dat er weinig verschil is in het discomfort ten gevolge van te grote luminantieverschillen tussen de buitenjaloezieën en buitenscreens, vooral de manier van aansturen zorgt voor verschillen in discomfort. Bij de handmatig bediende zonwering komt nauwelijks discomfort voor, doordat de handmatig bediende zonwering wordt dichtgedaan op het moment dat discomfort wordt ondervonden door een te hoge absolute luminantie in het blikveld. Bij de automatisch bediende buitenzonwering komt een groot deel van de tijd discomfort voor. Het is daarom van belang dat de gebruikers ook de mogelijkheid hebben om de zonwering handmatig te regelen (overrule optie), zodat discomfort kan worden voorkomen. Bij een schakelcriterium van 200 W/m^2 treedt vaak substantieel minder discomfort op dan bij een schakelcriterium van 350 W/m^2 .



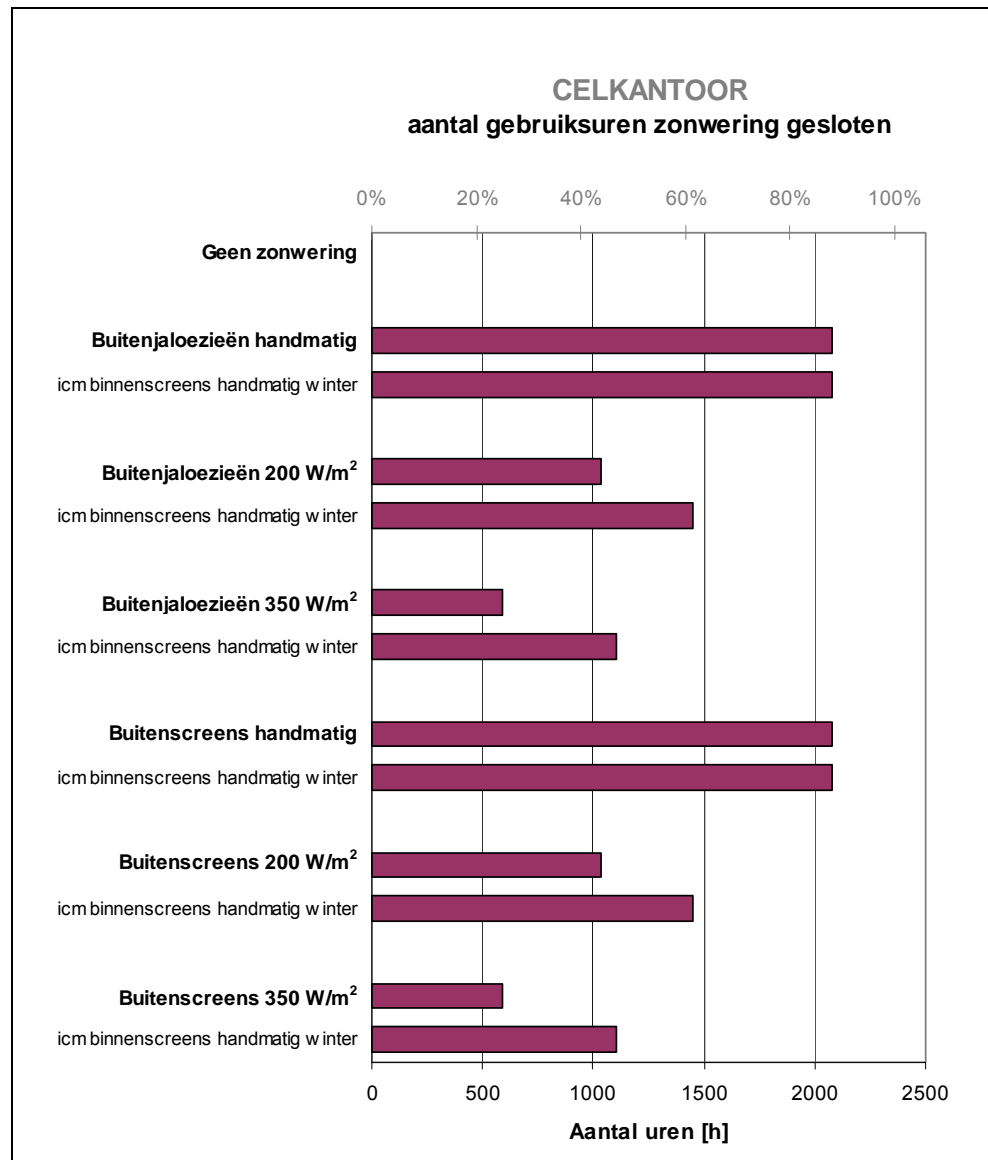
Figuur 14. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de werknemers in het cellenkantoor discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met discomfort weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

4.1.2.3 Uitzicht

In Figuur 15 is voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de zonwering in het cellenkantoor gesloten is en er dus geen of beperkt uitzicht mogelijk is. Bij de handmatig bediende zonwering is de zonwering aanmerkelijk vaker gesloten dan bij de automatisch bediende zonwering, doordat deze dichtgaat wanneer discomfort ten gevolge van een te hoge absolute luminantie optreedt en vervolgens de gehele dag gesloten blijft. Bij de automatisch

bediende zonwering met een schakelcriterium van 350 W/m^2 is de zonwering het minst vaak gesloten.

De mate van doorzicht die men bij een gesloten zonwering heeft, is ook van belang voor het uitzicht dat men in de ruimte ervaart. Bij buitenjaloezieën heeft men nog enig uitzicht wanneer deze in gesloten toestand onder een hoek worden geplaatst. Ook bij het antraciet buitenscreen dat hier is toegepast, is contact met buiten mogelijk in gesloten toestand (klasse 2 volgens NEN-EN 14501). De mate van uitzicht is een combinatie van de mate van doorzicht en het aantal gebruiksuren dat de zonwering open/gesloten is.



Figuur 15 Gedeelte van de gebruikstijd (aantal uren en percentage) dat de zonwering in het cellenkantoor gesloten is. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd dat de zonwering gesloten is weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

4.1.3 Thermisch comfort

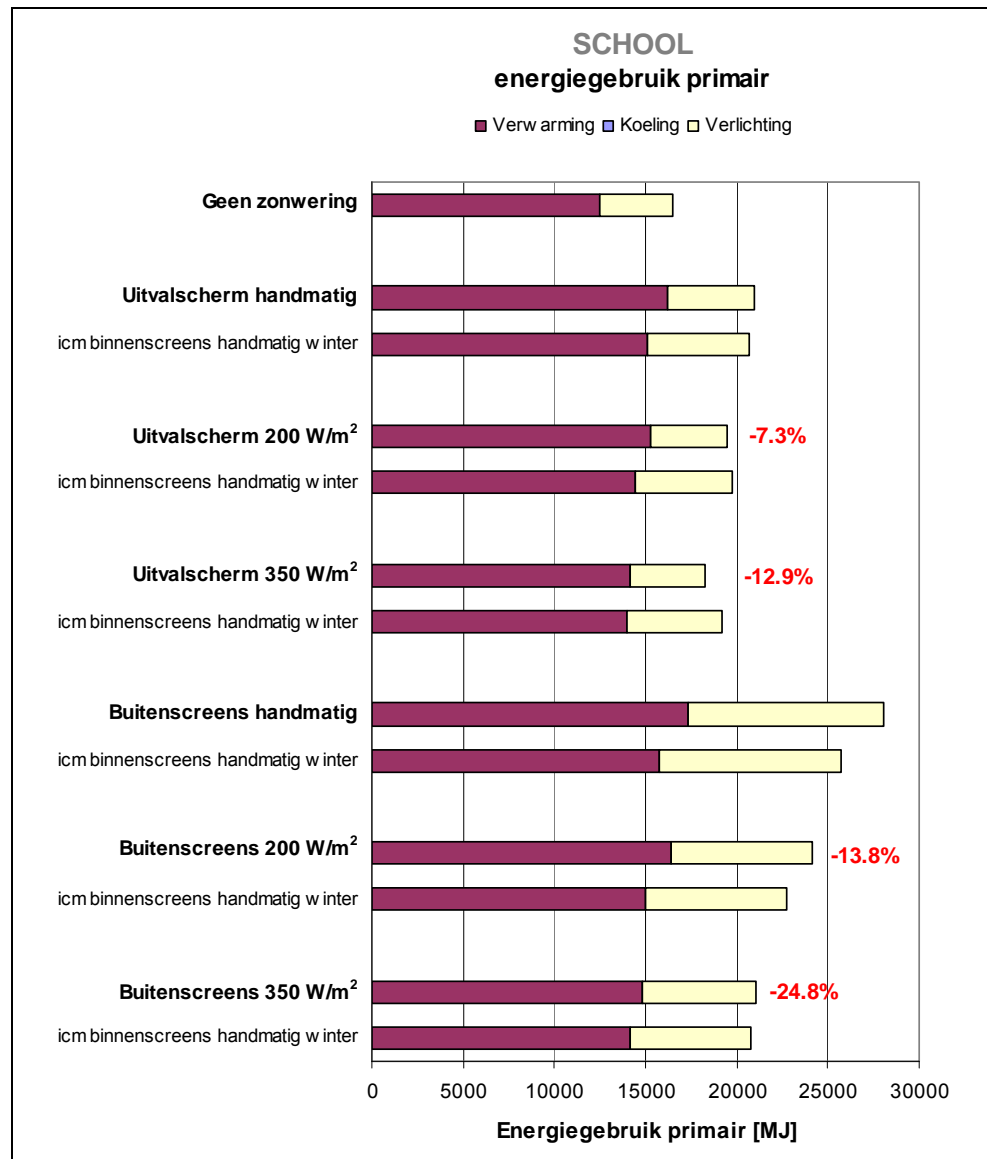
Doordat in het kantoor zowel verwarming als koeling aanwezig is met een oneindige capaciteit, blijft de temperatuur binnen de gestelde setpoints en zal er geen thermisch discomfort optreden.

4.2 School

4.2.1 Energiegebruik

In Figuur 16 is het primair energiegebruik van de school voor de verschillende typen zonwering weergegeven per m² gebruiksooppervlak, onderverdeeld naar de

deelposten verwarming en verlichting (er is geen koeling in de school aanwezig, zie bijlage B). Door toepassing van automatisch bediende zonwering kan 7 tot 25% energie worden bespaard ten opzichte van handmatig bediende zonwering. Wanneer een combinatie van handmatig bediende lichtwering in de winter en automatisch bediende buitenzonwering in de zomer wordt toegepast, kan nog eens tot 8% energie worden bespaard ten opzichte van automatisch bediende buitenzonwering gedurende het hele jaar. Dit effect is echter afhankelijk van het type automatisch bediende zonwering waarbij de lichtwering wordt toegepast. Door in de winterperiode lichtwering toe te passen neemt het energiegebruik voor verwarming af. Doordat de handmatig bediende lichtwering een groter deel van de dag gesloten is dan de automatisch bediende buitenzonwering neemt het energiegebruik voor verlichting toe. Vooral in combinatie met een uitvalscherp is de toename van de energiepost voor verlichting groot.



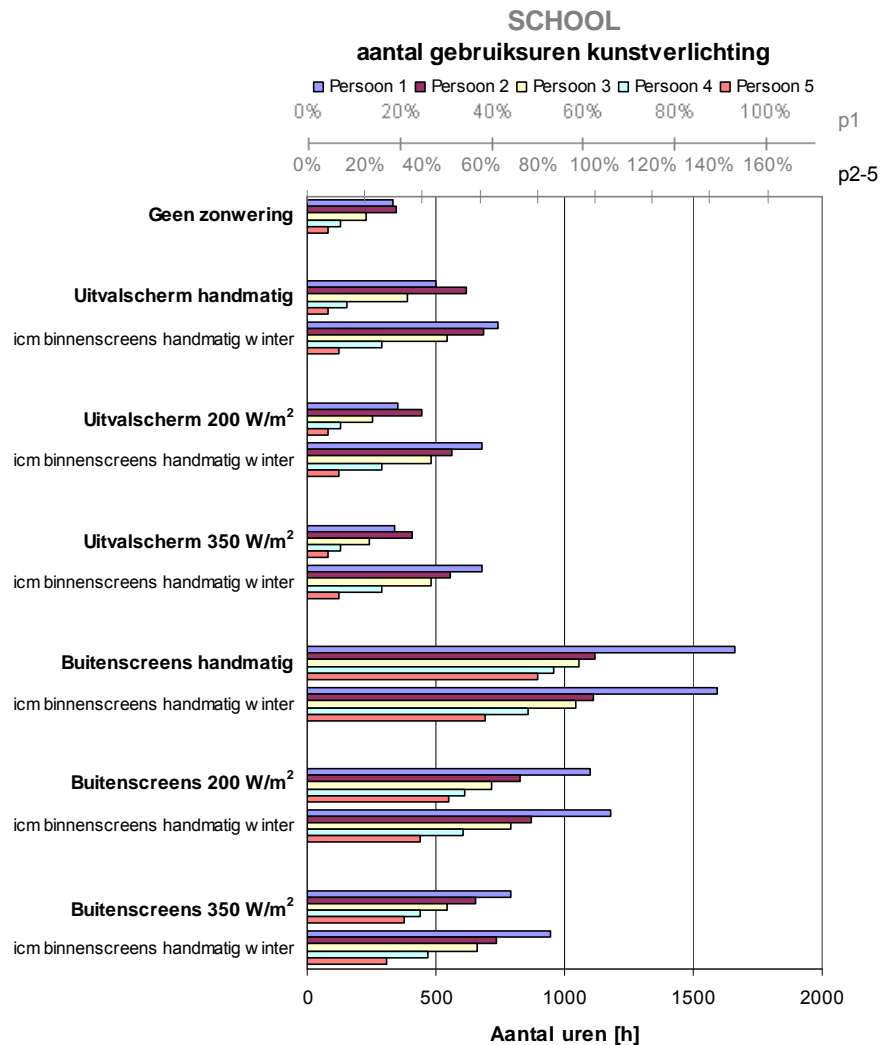
Figuur 16. Primair energiegebruik van de school voor verschillende typen zonweringen, uitgedrukt in MJ per m². Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het energiegebruik weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. In rood is het percentage energiebesparing van een automatische zonwering aangegeven t.o.v. een handbediende zonwering van hetzelfde type.

4.2.2 Visueel comfort

4.2.2.1 Gebruik kunstverlichting

In Figuur 17 is voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de kunstverlichting in de school is ingeschakeld. Door toepassing van zonwering neemt het aantal uren dat kunstlicht benodigd is fors toe ten opzichte van de situatie zonder zonwering. Handmatig bediende zonwering leidt

hierbij tot meer kunstlichtgebruik dan automatisch bediende zonwering, doordat de handmatig bediende zonwering een groter deel van de gebruikstijd gesloten is. Bij toepassing van uitvalschermen is beduidend minder kunstverlichting nodig dan bij toepassing van buitenscreens.



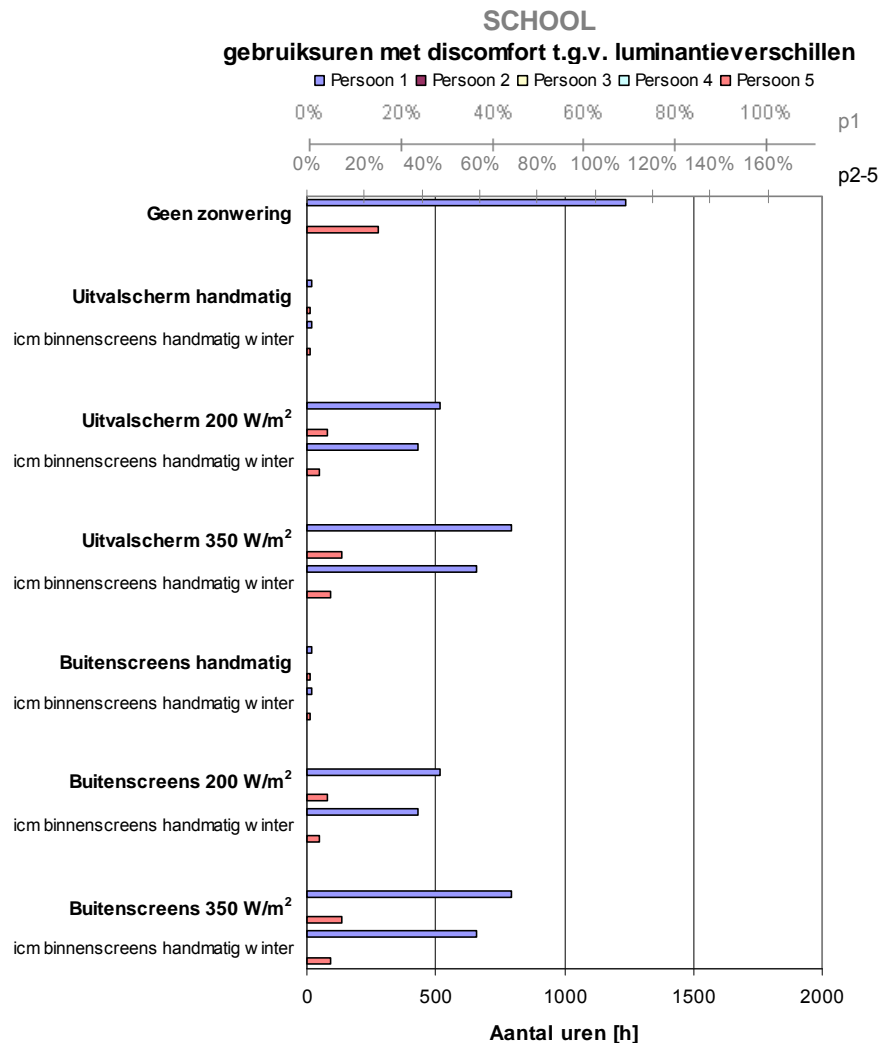
Figuur 17. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de kunstverlichting in de school is ingeschakeld voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met kunstverlichting weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. Omdat de gebruikstijd van het klaslokaal voor de leraar (persoon 1) anders is dan voor de leerlingen (persoon 2 t/m 5) zijn in de grafiek twee schaalverdelingen voor het percentage van de gebruikstijd aangegeven.

4.2.2.2 Luminantieverhoudingen

In Figuur 18 is het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de gebruikers in de school discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen in de ruimte. Aangezien discomfort voornamelijk optreedt door te hoge hemelluminanties ondervinden alleen persoon 1 en 5 hier hinder van. Door toepassing van zonwering

neemt het aantal uren dat discomfort wordt ervaren flink af ten opzichte van de situatie zonder zonwering.

Uit de resultaten blijkt dat er weinig verschil is in discomfort ten gevolge van te grote luminantieverschillen tussen buitenjaloezieën en buitenscreens, vooral de manier van aansturing zorgt voor verschillen in discomfort. Bij de handmatig bediende zonwering komt nauwelijks discomfort voor, doordat de handmatig bediende zonwering wordt dichtgedaan op het moment dat discomfort wordt ondervonden door een te hoge absolute luminantie in het blikveld en de zonwering dus vaker dicht is. Bij de automatisch bediende buitenzonwering komt een groot deel van de tijd discomfort voor. Het is daarom van belang dat de gebruikers ook de mogelijkheid hebben om de zonwering handmatig te regelen (overrule optie), zodat discomfort kan worden voorkomen. Bij een schakelcriterium van 200 W/m^2 treedt substantieel minder discomfort op dan bij een schakelcriterium van 350 W/m^2 .



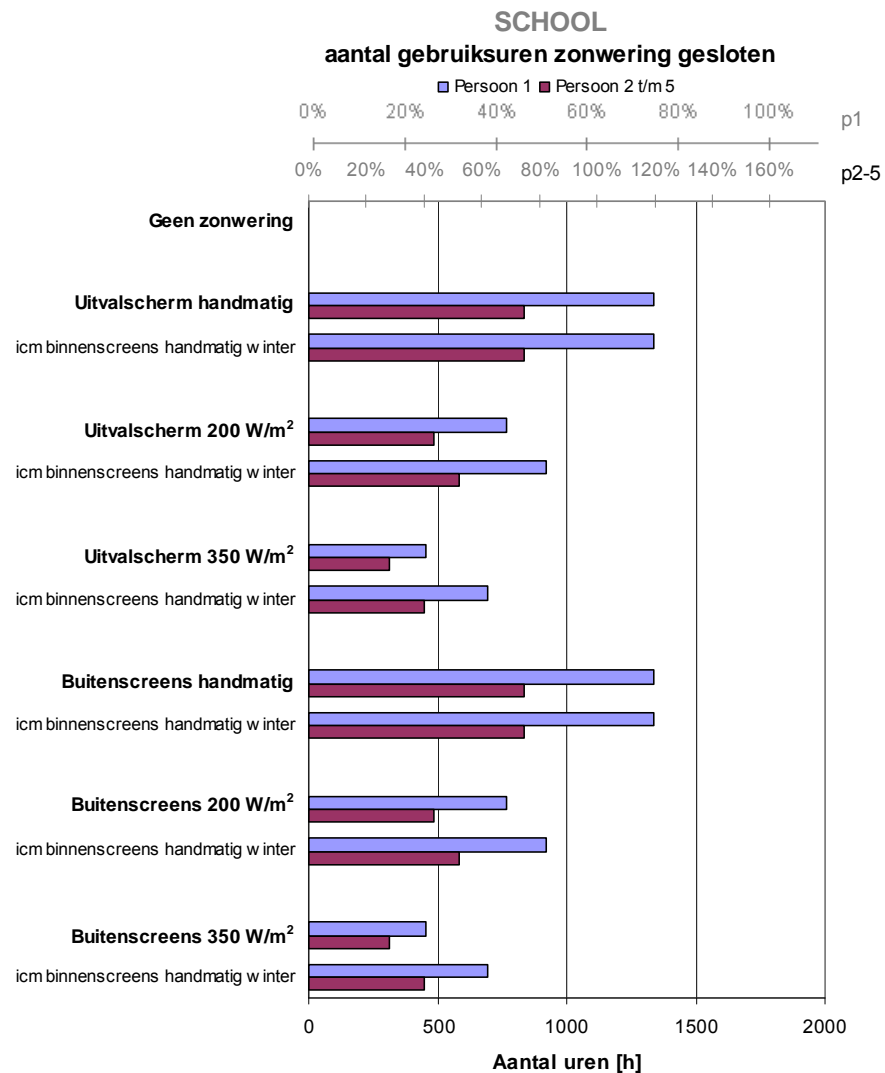
Figuur 18. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de gebruikers in de school discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met discomfort weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. Omdat de gebruikstijd van het klaslokaal voor de leraar (persoon 1) anders is dan voor de leerlingen (persoon 2 t/m 5) zijn in de grafiek twee schaalverdelingen voor het percentage van de gebruikstijd aangegeven.

4.2.2.3 Uitzicht

In Figuur 19 is voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de zonwering in de school gesloten is en er dus geen of beperkt uitzicht mogelijk is. Bij de handmatig bediende zonwering is de zonwering aanmerkelijk vaker gesloten dan bij de automatisch bediende zonwering, doordat deze dichtgaat wanneer discomfort ten gevolge van een te hoge absolute luminantie optreedt en vervolgens de gehele dag gesloten blijft. Bij de automatisch

bediende zonwering met een schakelcriterium van 350 W/m^2 is de zonwering het minst vaak gesloten.

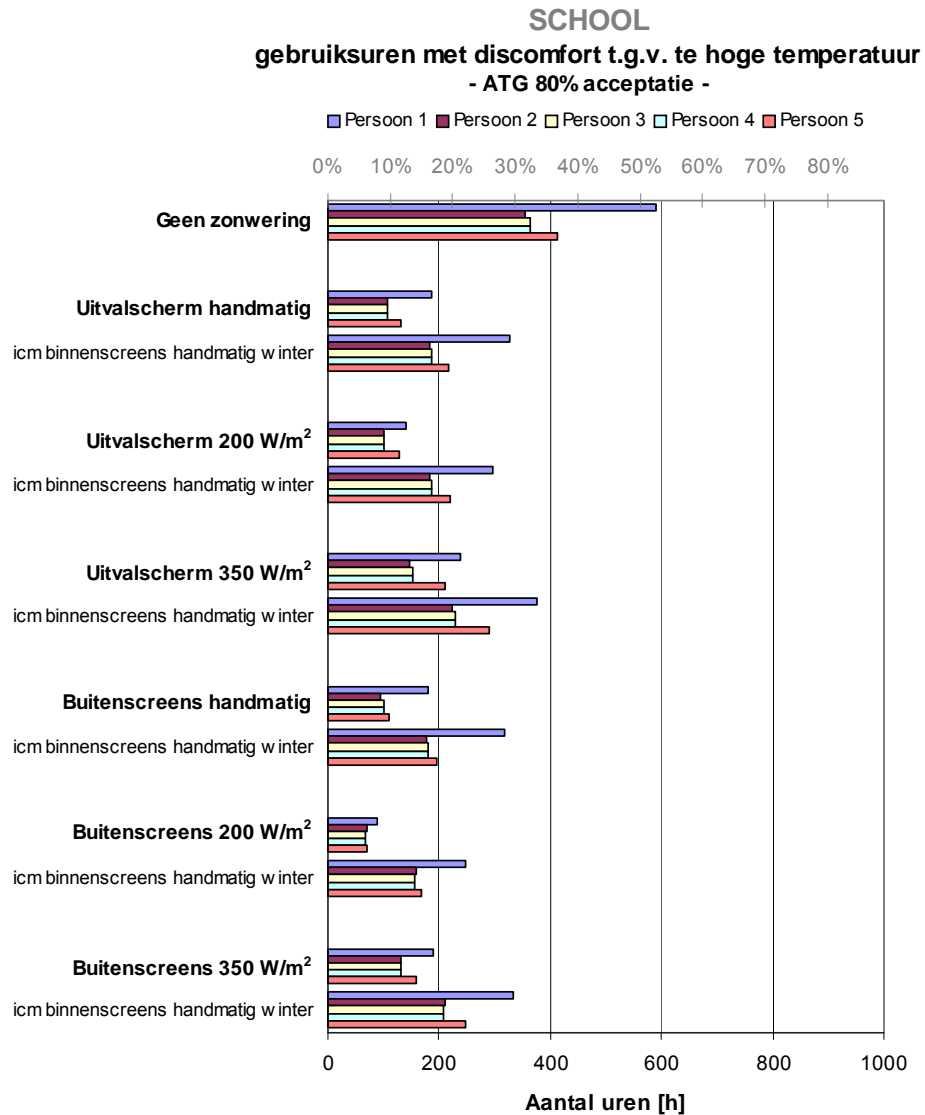
De mate van doorzicht die men bij een gesloten zonwering heeft, is ook van belang voor het uitzicht dat men in de ruimte ervaart. Bij een uitvalschermbekleding behoudt men grotendeels het uitzicht wanneer deze gesloten is. Ook bij het antraciet buitenschermbekleding dat hier is toegepast, is contact met buiten mogelijk in gesloten toestand (klasse 2 volgens NEN-EN 14501). De mate van uitzicht is een combinatie van de mate van doorzicht en het aantal gebruiksuren dat de zonwering open/gesloten is.



Figuur 19. Gedeelte van de gebruikstijd (aantal uren en percentage) dat de zonwering in de school gesloten is. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd dat de zonwering gesloten is weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenschermbekleding. Omdat de gebruikstijd van het klaslokaal voor de leraar (persoon 1) anders is dan voor de leerlingen (persoon 2 t/m 5) zijn in de grafiek twee schaalverdelingen voor het percentage van de gebruikstijd aangegeven.

4.2.3 Thermisch comfort

In Figuur 20 is voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat temperatuuroverschrijdingen plaatsvinden, gebaseerd op de ATG-methode en een acceptatieniveau van 80% (zie 3.2.3).



Figuur 20. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat in de school temperatuuroverschrijdingen plaatsvinden volgens de ATG methode met een acceptatieniveau van 80%. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het gedeelte van de gebruikstijd met temperatuuroverschrijdingen weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

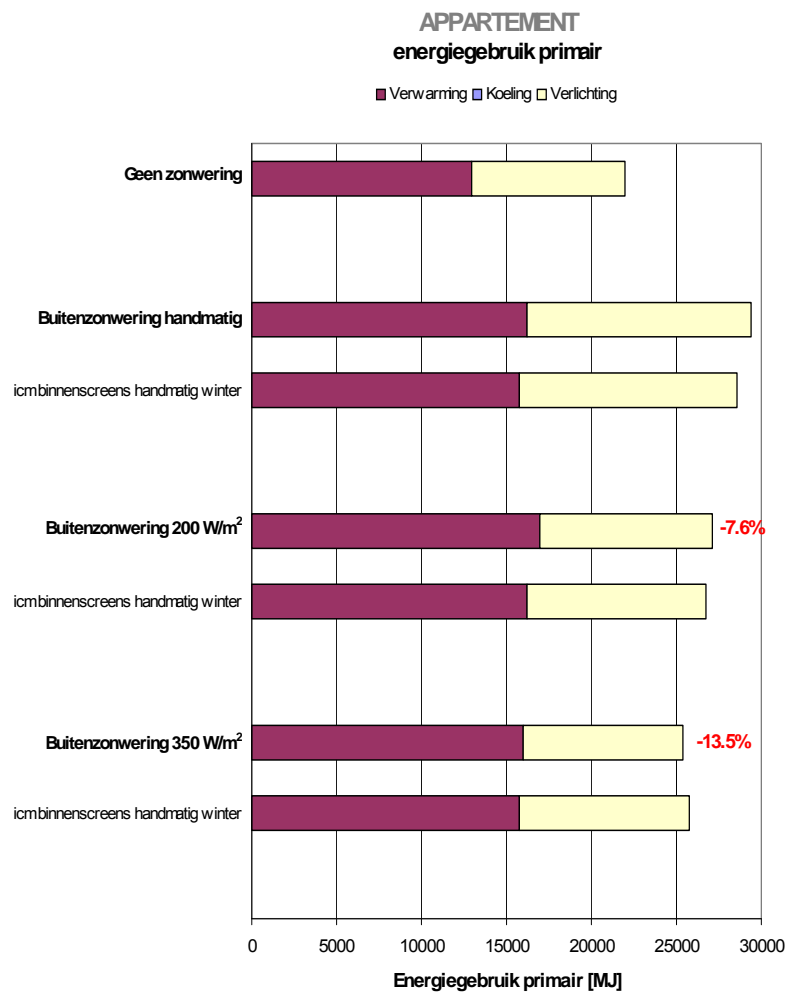
Duidelijk is dat de oververhitting sterk afneemt bij het toepassen van zonwering, vooral voor persoon 1 die dicht bij het raam zit. Te zien is dat de combinaties met

binnenzonwering in de winter tot meer oververhitting leiden omdat de interne warmte bij scholen relatief hoog is door de hoge bezettingsgraad en dus in het stookseizoen al oververhitting kan ontstaan.

4.3 Appartement

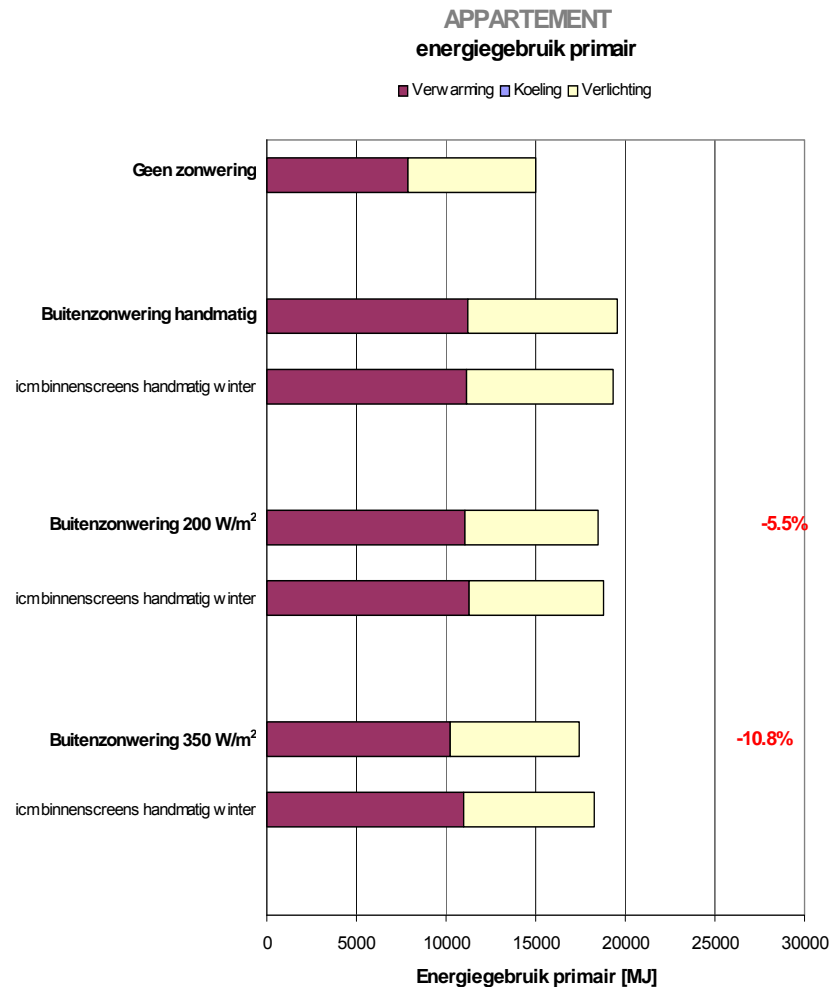
4.3.1 Energiegebruik

In Figuur 21 is het primair energiegebruik van het appartement voor de verschillende typen zonwering weergegeven voor scenario 1 (altijd aanwezig) per m² gebruiksoppervlak, onderverdeeld naar de deelposten verwarming en verlichting (er is geen koeling in het appartement aanwezig, zie bijlage B). Door toepassing van automatisch bediende zonwering kan ca. 7 tot 14% energie worden bespaard ten opzichte van handmatig bediende zonwering.



Figuur 21. Primair energiegebruik van het appartement voor scenario 1 voor verschillende typen zonweringen, uitgedrukt in MJ per m². Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het energiegebruik weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. In rood is het percentage energiebesparing van een automatische zonwering aangegeven t.o.v. een handbediende zonwering van hetzelfde type.

In Figuur 22 is het primair energiegebruik van het appartement voor de verschillende typen zonwering weergegeven voor scenario 2 (beperkt aanwezig) per m² gebruiksoppervlak, onderverdeeld naar de deelposten verwarming en verlichting (er is geen koeling in het appartement aanwezig, zie bijlage B). Door toepassing van automatisch bediende zonwering kan ca. 5 tot 11% energie worden bespaard ten opzichte van handmatig bediende zonwering.



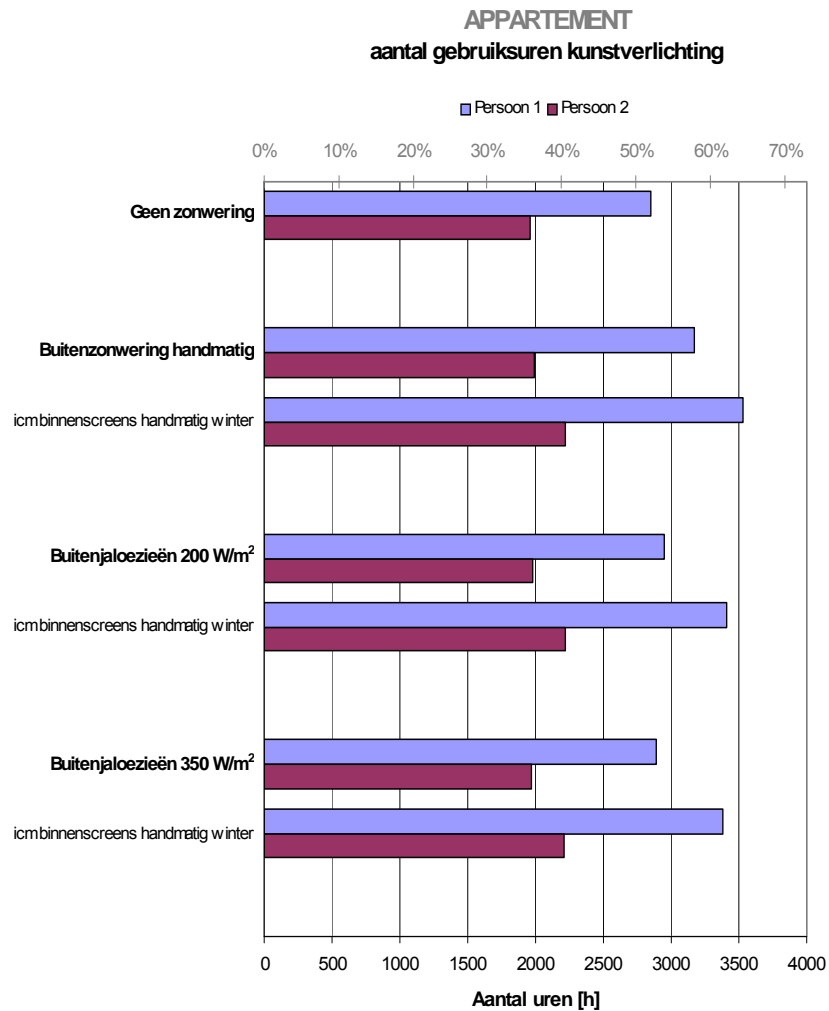
Figuur 22. Primair energiegebruik van het appartement voor scenario 2 voor verschillende typen zonweringen, uitgedrukt in MJ per m². Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het energiegebruik weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. In rood is het percentage energiebesparing van een automatische zonwering aangegeven t.o.v. een handbediende zonwering van hetzelfde type.

4.3.2 Visueel comfort

4.3.2.1 Gebruik kunstverlichting

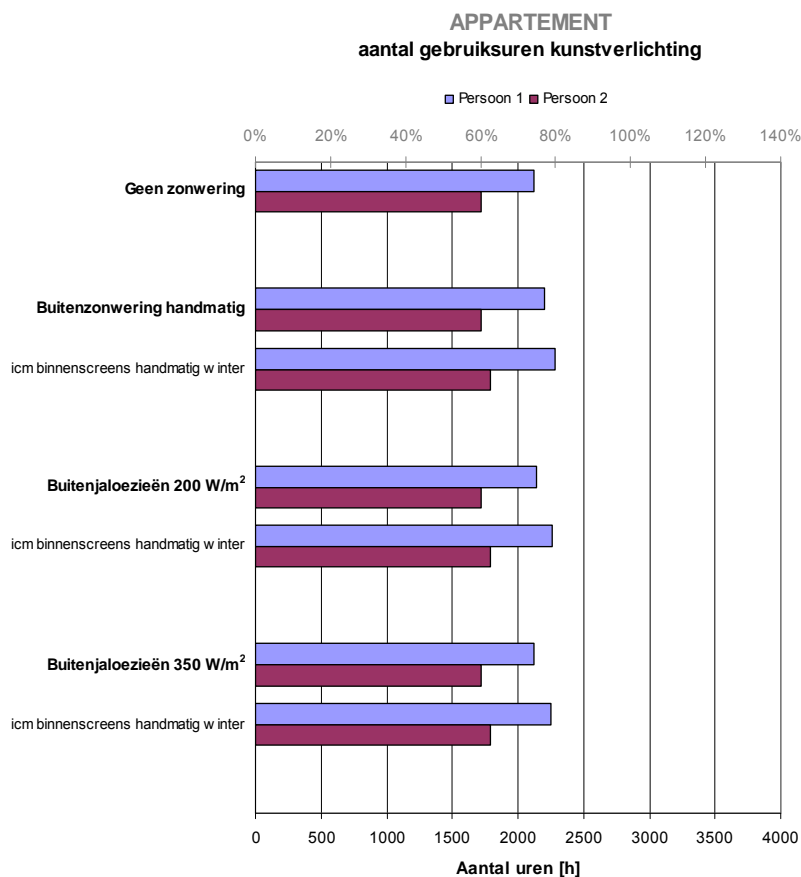
In Figuur 23 is voor scenario 1 voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de kunstverlichting in het appartement is ingeschakeld. Door toepassing van zonwering neemt het aantal uren dat kunstlicht

benodigd is toe ten opzichte van de situatie zonder zonwering. Handmatig bediende zonwering leidt hierbij tot meer kunstlichtgebruik dan automatisch bediende zonwering, doordat de handmatig bediende zonwering een groter deel van de gebruikstijd gesloten is.



Figuur 23. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat bij scenario 1 de kunstverlichting in het appartement is ingeschakeld voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met kunstverlichting weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

In Figuur 24 is voor scenario 2 voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de kunstverlichting in het appartement is ingeschakeld. Door toepassing van zonwering neemt het aantal uren dat kunstlicht benodigd is toe ten opzichte van de situatie zonder zonwering. Door de beperkte aanwezigheid in dit scenario is het verschil echter gering.



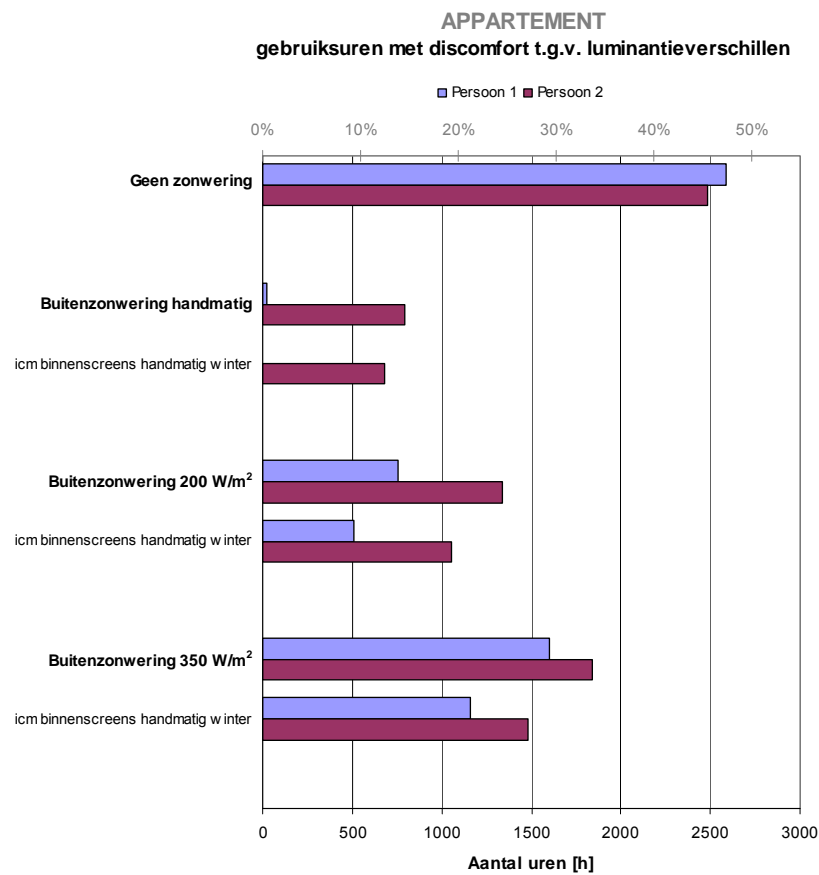
Figuur 24. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat bij scenario 2 de kunstverlichting in het appartement is ingeschakeld voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met kunstverlichting weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

4.3.2.2 Luminantieverhoudingen

In Figuur 34 is voor scenario 1 het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de gebruikers in het appartement discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen in de ruimte. Door toepassing van zonwering neemt het aantal uren dat discomfort wordt ervaren flink af ten opzichte van de situatie zonder zonwering. Bij de handmatig bediende zonwering komt voor persoon 1 nauwelijks discomfort voor, doordat de handmatig bediende zonwering wordt dichtgedaan op het moment dat discomfort wordt ondervonden door een te hoge absolute luminantie in het blikveld; bij persoon 2 komt nog wel enige mate van discomfort voor doordat het luminantieverschil tussen hemelkoepel (grote gevelpui) en de omgeving te groot wordt terwijl de absolute hemelluminantie het criterium om de

zonwering te sluiten ($> 5000 \text{ cd/m}^2$) niet overschrijdt. In de praktijk zal de gebruiker in deze situaties bij hinder de zonwering wel handmatig sluiten, waardoor er geen discomfort ten gevolge van te grote luminantieverschillen ontstaat.

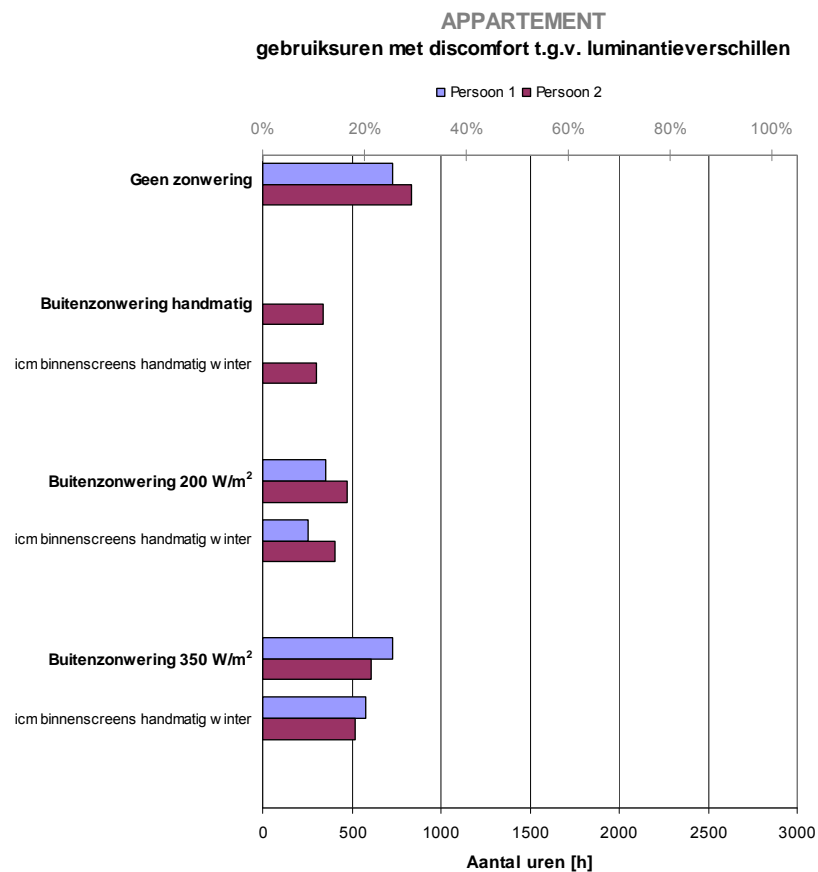
Bij de automatisch bediende buitenzonwering komt een groot deel van de tijd discomfort voor. Wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van automatisch bediende buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens, dan treedt minder discomfort op dan wanneer het gehele jaar automatisch bediende buitenzonwering wordt toegepast. Het is daarom van belang dat de gebruikers ook de mogelijkheid hebben om de zonwering handmatig te regelen (overrule optie), zodat discomfort kan worden voorkomen. Bij een schakelcriterium van 200 W/m^2 treedt substantieel minder discomfort op dan bij een schakelcriterium van 350 W/m^2 , omdat de zonwering in deze situatie vaker dicht is.



Figuur 25. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de gebruikers bij scenario 1 in het appartement discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met discomfort weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

In Figuur 26 Figuur 34 is voor scenario 2 het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de gebruikers in het appartement discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen in de ruimte. Door de beperkte aanwezigheid van de gebruikers (met name in de avonduren), is het verschil tussen de verschillende varianten niet zo groot.

Bij de handmatig bediende zonwering komt voor persoon 1 geen discomfort voor, doordat de handmatig bediende zonwering wordt dichtgedaan op het moment dat discomfort wordt ondervonden door een te hoge absolute luminantie in het blikveld; bij persoon 2 komt nog wel enige mate van discomfort voor doordat het luminantieverschil tussen hemelkoepel (grote gevelpui) en de omgeving te groot wordt terwijl de absolute hemelluminantie het criterium om de zonwering te sluiten ($> 5000 \text{ cd/m}^2$) niet overschrijdt. In de praktijk zal de gebruiker in deze situaties bij hinder de zonwering wel handmatig sluiten, waardoor er geen discomfort ten gevolge van te grote luminantieverschillen ontstaat. Bij een schakelcriterium van 200 W/m^2 treedt substantieel minder discomfort op dan bij een schakelcriterium van 350 W/m^2 , omdat de zonwering in deze situatie vaker dicht is.

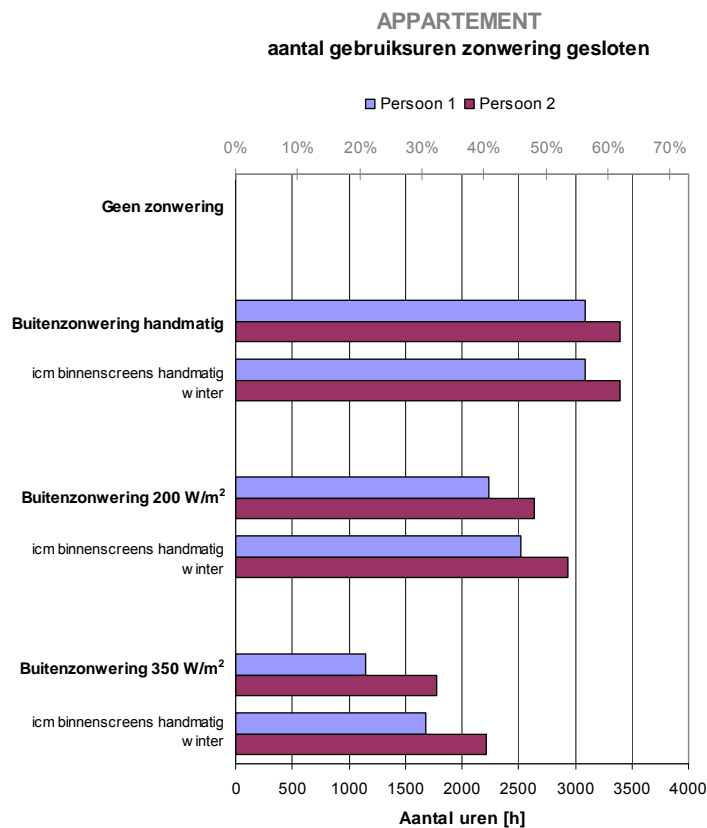


Figuur 26. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de gebruikers bij scenario 2 in het appartement discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met discomfort weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

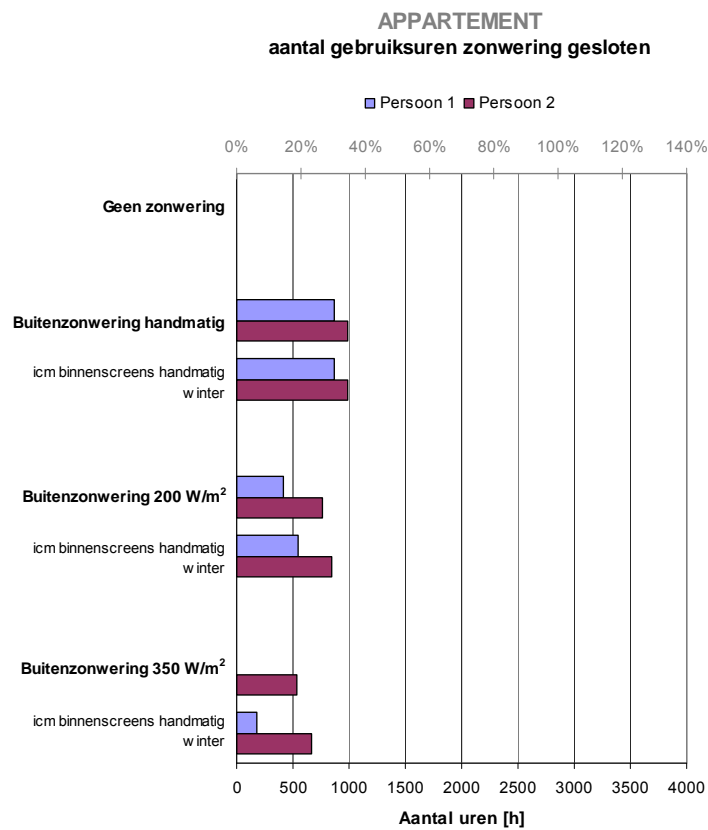
4.3.2.3 Uitzicht

In Figuur 19 en Figuur 28 is voor respectievelijk scenario 1 en scenario 2 voor de verschillende typen zonwering het gedeelte van de gebruikstijd weergegeven dat de zonwering in het appartement zowel aan de zuid- als aan de westgevel gesloten is en er dus geen of beperkt uitzicht mogelijk is. Bij de handmatig bediende zonwering is de zonwering vaker gesloten dan bij de automatisch bediende zonwering, doordat deze dichtgaat wanneer discomfort ten gevolge van een te hoge absolute luminantie optreedt en vervolgens de gehele dag gesloten blijft. Bij de automatisch bediende zonwering met een schakelcriterium van 350 W/m^2 is de zonwering het minst vaak gesloten.

De mate van doorzicht die men bij een gesloten zonwering heeft, is ook van belang voor het uitzicht dat men in de ruimte ervaart. Bij een uitvalscherm behoudt men grotendeels het uitzicht wanneer deze gesloten is. Ook bij het antraciet buitenscreen dat hier is toegepast, is contact met buiten mogelijk in gesloten toestand (klasse 2 volgens NEN-EN 14501). De mate van uitzicht is een combinatie van de mate van doorzicht en het aantal gebruiksuren dat de zonwering open/gesloten is.



Figuur 27. Gedeelte van de gebruikstijd (aantal uren en percentage) dat bij scenario 1 de zonwering in het appartement gesloten is. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd dat de zonwering gesloten is weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.



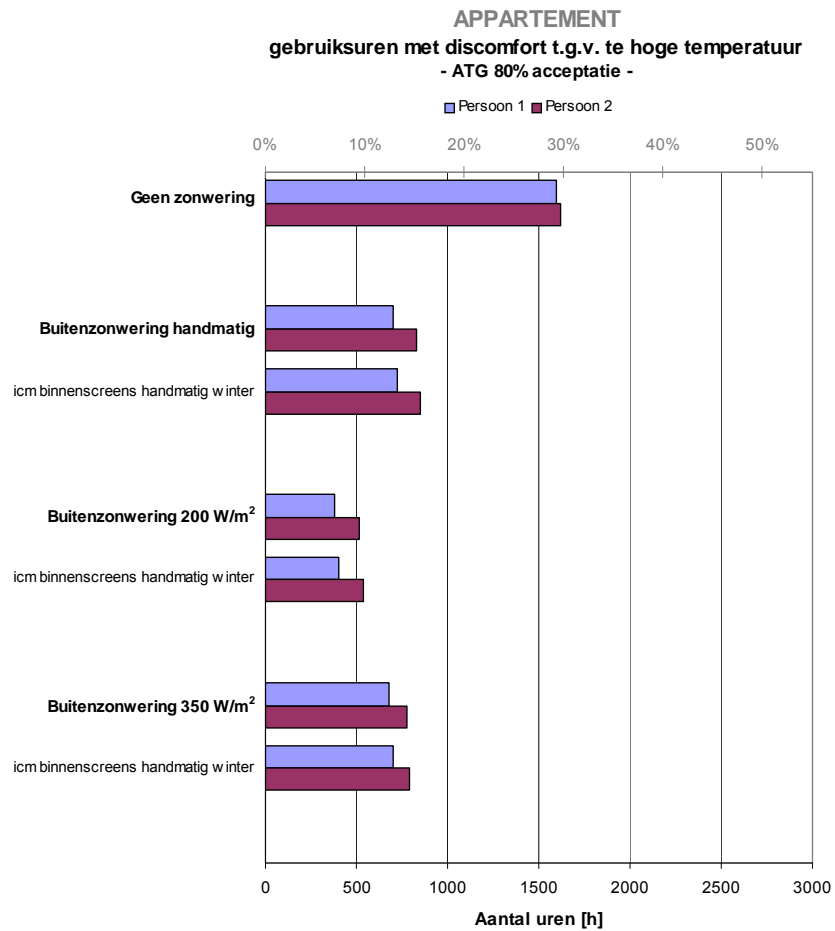
Figuur 28. Gedeelte van de gebruikstijd (aantal uren en percentage) dat bij scenario 2 de zonwering in het appartement gesloten is. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd dat de zonwering gesloten is weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

4.3.3 *Thermisch comfort*

4.3.3.1 *Temperatuuroverschrijding volgens ATG methode*

In Figuur 29 zijn de gebruiksuren met discomfort ten gevolge van een te hoge binnentemperatuur weergegeven voor scenario 1 (altijd aanwezig), gebaseerd op de ATG-methode en een acceptatieniveau van 80% (zie 3.2.3). Voor deze variant is spuiventilatie aangenomen bij binnentemperaturen hoger dan 26°C. Dit komt overeen met een beperkte opening van een raam. Bij binnentemperaturen hoger dan 28°C wordt daarnaast een hogere spuiventilatie aangenomen.

In de resultaten is duidelijk te zien dat de oververhitting sterk afneemt bij toepassing van zonwering (afname van 30% naar 7-16% van de gebruikstijd). Bij de automatisch bediende zonwering met een schakelcriterium van 200 W/m² treedt het minste discomfort op ten gevolge van te hoge binnentemperaturen. Bij de handmatig bediende zonwering treedt relatief vaak discomfort op ten gevolge van te hoge temperaturen. Dit komt doordat is aangenomen dat de handmatig bediende zonwering alleen wordt dichtgedaan op basis van visueel discomfort (te hoge absolute luminantie in het blikveld). In de praktijk zullen mensen op warme dagen wellicht ook de zonwering omlaag doen uit thermische overwegingen, waardoor er minder vaak thermisch discomfort zal optreden. Wanneer in de wintersituatie alleen gebruik wordt gemaakt van handmatig bediende binnenscreens, dan treedt iets meer discomfort ten gevolge van te hoge temperaturen op dan wanneer het gehele jaar automatisch bediende buitenzonwering wordt toegepast. Deze oververhitting gedurende de wintermaanden is echter beperkt en zal waarschijnlijk niet als oncomfortabel worden ervaren. Bij energiezuinige woningen kan oververhitting in de winter door zonbelasting voorkomen omdat de warmteverliezen relatief laag zijn ten opzichte van de zonbelasting.

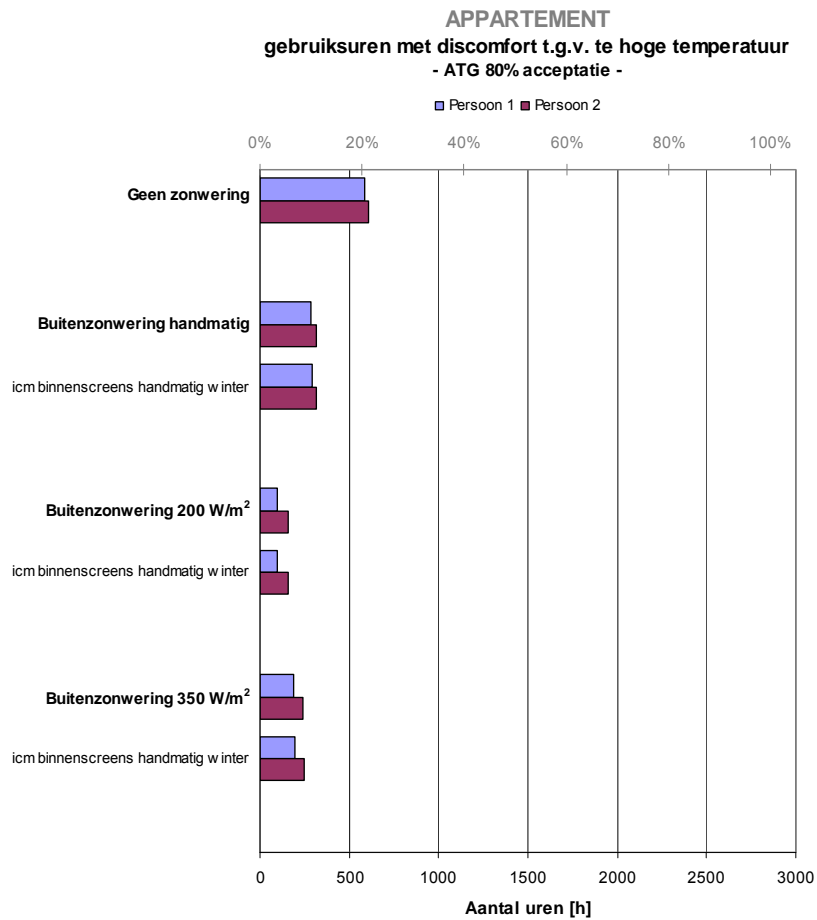


Figuur 29. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat bij scenario 1 temperatuuroverschrijdingen plaatsvinden volgens de ATG methode met een acceptatieniveau van 80%. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het gedeelte van de gebruikstijd met temperatuuroverschrijdingen weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

In Figuur 30 zijn de gebruiksuren met discomfort ten gevolge van een te hoge binnentemperatuur weergegeven voor scenario 1 (altijd aanwezig), gebaseerd op de ATG-methode en een acceptatieniveau van 80% (zie 3.2.3). Voor deze variant is spui ventilatie aangenomen bij hoge binnentemperaturen hoger dan 26°C. Dit komt overeen met een beperkte opening van een raam. Bij binnentemperaturen hoger dan 28°C wordt daarnaast een hogere spui ventilatie aangenomen.

In de resultaten is duidelijk te zien dat de oververhitting sterk afneemt bij toepassing van zonwering (afname van 20% naar 3-11% van de gebruikstijd). Bij de automatisch bediende zonwering met een schakelcriterium van 200 W/m² treedt het minste discomfort op ten gevolge van te hoge binnentemperaturen. Bij de handmatig bediende zonwering treedt relatief vaak discomfort op ten gevolge van te hoge temperaturen. Dit komt doordat is aangenomen dat de handmatig bediende zonwering alleen wordt dichtgedaan op basis van visueel discomfort (te hoge absolute luminantie in het blikveld). In de praktijk zullen mensen op warme dagen wellicht ook de zonwering omlaag doen uit thermische overwegingen, waardoor er minder vaak thermisch discomfort zal optreden. Wanneer in de wintersituatie alleen gebruik wordt gemaakt van handmatig bediende binnenscreens, dan treedt iets meer discomfort ten gevolge van te hoge temperaturen op dan wanneer het gehele jaar automatisch bediende buitenzonwering wordt toegepast. Deze oververhitting gedurende de wintermaanden is echter beperkt en zal waarschijnlijk niet als oncomfortabel worden ervaren.

Opgemerkt moet worden dat de spui ventilatie ook tijdens afwezigheid is toegepast. Dit zal niet in alle gevallen mogelijk zijn. In die gevallen kan meer oververhitting worden verwacht. Aan de andere kant is het zo dat oververhitting vooral overdag plaatsvindt. De oververhitting in de late middag en avond kan voor een deel met spui ventilatie worden gereduceerd.



Figuur 30. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat bij scenario 2 temperatuuroverschrijdingen plaatsvinden volgens de ATG methode met een acceptatieniveau van 80%. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het gedeelte van de gebruikstijd met temperatuuroverschrijdingen weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies energiegebruik

De volgende conclusies zijn geformuleerd op basis van de berekende voorbeeldcases.

Ten aanzien van het energiegebruik van de beschouwde varianten met **automatisch** geregelde zonwering ten opzichte van de beschouwde varianten met **handmatig bediende** zonwering kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Gebruikers sluiten de zonwering bij hinder door verblinding, maar in de praktijk blijkt dat ze vaak vergeten om deze weer te openen. De automatisch geregelde zonwering is daarom vaker geopend dan de gedefinieerde handmatig bediende zonwering. Hierdoor komt er bij de bekeken varianten met automatische geregelde zonwering meer zon binnen en is er dus minder energie nodig voor verwarming en verlichting en meer voor eventuele koeling ten opzichte van de varianten met handmatig bediende zonwering.
2. De berekende netto energiebesparing met automatisch geregelde buitenzonwering ten opzichte van handmatig bediende buitenzonwering is voor de beschouwde:
 - a. Kantoren: 12 tot 23%
 - b. School: 7 tot 25%
 - c. Appartement: 5 tot 14%

De netto energiebesparing is daarbij de som van de energie voor verlichting, verwarming en koeling, waarbij alleen bij kantoren koeling is verondersteld.

3. Automatische zonwering wordt geregeld op basis van stralingsintensiteit op de gevel. Buitenzonwering houdt relatief veel warmte buiten die in de winter mogelijk kan bijdragen aan de ruimteverwarming en er minder energie voor verwarming nodig is. Lichtwering of binnenzonwering laat meer warmte door. Het toepassen van lichtwering in de winter in combinatie met buitenzonwering in de zomer zou in die zin een besparing kunnen laten zien op de energie voor verwarmen ten opzichte van de variant waarbij het hele jaar buitenzonwering wordt toegepast. De energiebesparing met lichtwering en buitenzonwering in plaats van alleen buitenzonwering laat voor zowel het kantoor, de school als het appartement een wisselend resultaat zien. Dit komt vooral omdat lichtwering handmatig bediend is verondersteld en hierdoor vaker is gesloten dan de automatisch geregelde buitenzonwering. Daarnaast blijkt uit nadere beschouwing van de berekeningen dat in de veronderstelde winterperiode ook wordt gekoeld en in de veronderstelde zomer soms verwarmd. Deze combinatie maakt dat veel van de besparingspotentie niet wordt gerealiseerd. Voor het verzilveren van de beoogde besparing met de combinatie met lichtwering is een betere regeling nodig waarbij naast de stralingsintensiteit ook de binnen- en buitentemperaturen moeten worden meegenomen.

Ten aanzien van het energiegebruik van de beschouwde varianten met **automatisch** geregelde buitenzonwering ten opzichte van de beschouwde varianten **zonder** zonwering kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Het toepassen van automatische geregelde buitenzonwering kan zorgen voor een substantieel lagere vraag naar koeling ten opzichte van een situatie zonder zonwering.
 - a. Als koeling wordt toegepast (de beschouwde kantoren):
 - i. wordt bespaard op koelenergie;
 - ii. is er minder koelcapaciteit nodig waardoor een reductie op de kosten voor de koelinstallatie kan worden verondersteld.
 - b. Als er geen koeling aanwezig is (de beschouwde school en appartement):
 - i. kan een substantiële afname van oververhitting worden gerealiseerd.
2. Met automatisch geregelde zonwering ten opzichte van geen zonwering neemt in de bekeken varianten het energiegebruik voor verwarmen toe.
3. Met automatisch geregelde zonwering ten opzichte van geen zonwering neemt in de bekeken varianten het energiegebruik voor verlichting toe.
4. Met automatisch geregelde zonwering ten opzichte van geen zonwering neemt in de bekeken varianten de totale energievraag meestal toe door de hogere verlichtingspost. Ook bij het kantoor (waarbij ook koeling is meegenomen) neemt de energievraag bij een aantal varianten toe.

5.2 Overzicht energieaspecten

In Tabel 7 is een overzicht gegeven van de effecten van de verschillende varianten op de beschouwde energieparameters. De beoordeling is van slecht -- tot goed ++. Bij sommige combinaties kan de beoordeling afhangen van de specifieke combinatie. In dat geval is de range aangegeven (bijvoorbeeld +/- -).

Tabel 7. Overzicht energie aspecten verschillende zonweringen

	Verwarming	Koeling	Verlichting	Totaal
Handmatig bediend	--/+	++/--	--/++	--/+
Auto 200	+/-	++	-	+/-
Auto 350	+	+	+/-	+/-
Geen zonwering	++	--	++	+

Handmatig bediende zonwering is bij de veronderstelde bediening relatief vaak gesloten. Hierdoor zal de zontoetreding worden gereduceerd en een toename naar de vraag naar verwarmings- en verlichtingsenergie aan de orde zijn in combinatie met een afname van de vraag naar koeling. Aan de andere kant wordt een handmatig bediende zonwering vaak niet gesloten bij een hoge zonbelasting waardoor de omgekeerde effecten kunnen worden verwacht. Daarmee zijn de resultaten sterk afhankelijk van de specifieke gebruiker. In Tabel 7 is daarom bij de handmatig bediende zonwering een brede range aangegeven.

Bij de Auto 200 variant sluit de zonwering automatisch boven een zonintensiteit van 200 W/m^2 op de betreffende gevel. De zonwering wordt bij een lagere zonintensiteit gesloten dan bij de Auto 350 variant, waarbij de zonwering sluit bij een zonintensiteit van 350 W/m^2 op de gevel. De zonbelasting is bij de Auto 350 variant daardoor relatief gezien wat groter, waardoor de vraag naar verwarming en verlichting wat lager zijn en de vraag naar koeling wat groter is ten opzichte van de Auto 200 variant.

Bij de variant zonder zonwering zal de zonbelasting het grootst zijn waardoor relatief gezien de vraag naar warmte en verlichting minimaal is en de koelvraag maximaal.

5.3 Conclusies comfort

Ten aanzien van comfort kunnen uit de beschouwde varianten de volgende conclusies worden getrokken:

1. Uit de resultaten blijkt dat de mate van optreden van visueel en thermisch discomfort sterk afhangt van het type zonwering en het type regeling.
2. Handmatig bediende zonwering levert in dit onderzoek (actieve gebruiker) het minste visueel discomfort op. Bij niet actieve gebruikers kan meer visueel discomfort optreden.
3. Met automatisch geregelde zonwering ten opzichte van handmatig bediende zonwering neemt in de bekeken varianten het visueel discomfort toe en het thermisch discomfort, afhankelijk van de variant, toe of af. Hierbij moet worden opgemerkt dat is uitgegaan van een actieve gebruiker. Bij niet actieve gebruikers kan meer discomfort optreden.
4. Met automatisch geregelde zonwering ten opzichte van geen zonwering neemt in de bekeken varianten zowel het thermisch als het visueel discomfort af.
5. Het meenemen van het uitzicht in de beoordeling is erg moeilijk omdat dit sterk afhangt van het type zonwering (mate van doorzicht).
6. De mogelijkheid om op een logische en begrijpelijke manier in te kunnen grijpen op een automatisch geregelde zonwering is uiterst belangrijk voor de totale comfortbeleving van de gebruikers.

5.4 Overzicht comfortaspecten

In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de effecten van de verschillende varianten op de beschouwde comfortaspecten. De beoordeling is van slecht -- tot goed ++.

Tabel 8. Overzicht comfortaspecten

	Hinderlijke luminantie- verschillen	Daglicht	Uitzicht	Thermisch
Handmatig bediend	++/--	++/--	++/-- afh. type zonwering	++/--
Auto 200	+	+/-	- afh type zonwering	++
Auto 350	+/-	+	+ afh type zonwering	+/-
Geen zonwering	--	++	++	--

De beschouwde handmatig bediende zonwering wordt dichtgedaan als de absolute luminantie in het blikveld groter is dan 5000 cd/m^2 en is relatief vaak gesloten. Hierdoor treden nauwelijks hinderlijke luminantieverschillen op. Aan de andere kant is er door de gesloten zonwering minder daglicht in de ruimte. Het uitzicht is sterk afhankelijk van het type zonwering. Een geperforeerde zonwering kan bijvoorbeeld in gesloten stand toch uitzicht geven.

Bij een handmatig bediende zonwering die veelal gesloten is, zal de zonbelasting relatief laag zijn, waardoor thermisch discomfort wordt beperkt. Aan de andere kant wordt een geopende zonwering bij afwezigheid niet gesloten bij hoge zonbelasting, waardoor juist oververhitting kan ontstaan. De resultaten van de handmatig bediende zonwering zijn echter sterk afhankelijk van de specifieke gebruiker (actief of niet actief). In Tabel 8 is daarom bij de handmatig bediende zonwering een brede range aangegeven.

Bij de Auto 200 variant sluit de zonwering boven een zonintensiteit van 200 W/m^2 op de gevel. Er zullen bij deze variant minder hinderlijke luminantieverschillen optreden dan bij de Auto 350 variant. Bij de Auto 200 variant is er minder daglicht in de ruimte en minder uitzicht dan bij de Auto 350 variant. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat er ook zonweringen zijn die in gesloten stand uitzicht bieden. Bij de Auto 200 variant is de kans op thermisch discomfort kleiner dan bij de Auto 350 variant.

Bij de variant zonder zonwering is er veel daglicht en zal het uitzicht optimaal zijn. Aan de andere kant is de kans op discomfort door grote luminantieverschillen en de kans op oververhitting groot.

5.5 Aandachtspunten bij toepassing automatisch geregelde zonwering

Automatisch regelen van zonwering heeft veel voordelen. Discomfort voor de gebruikers kan worden gereduceerd doordat de zonwering dicht gaat als de zonbelasting op de gevel hoog is, vaak ook als men niet aanwezig is, zodat oververhitting wordt gereduceerd of voorkomen en energie voor koeling kan worden

bespaard. Door automatische regelingen toe te passen wordt de gebruiker 'ontzorgd', de gebruiker hoeft niet bewust bezig te zijn met de regeling van de zonwering.

Er zijn echter ook een aantal belangrijke aandachtspunten voor de automatische regelingen, waarbij het ontwerp van automatisch geregelde zonwering aandacht aan moet worden besteed (Van den Brink en Spiekman, 2010).

Iedere gebruiker is anders en de behoeften van een gebruiker zijn veranderlijk in de tijd. Hierdoor kan het op het ene moment gewenst zijn dat de zon in de ruimte schijnt (gedurende de winter wordt het vaak als prettig ervaren om in de zon te kunnen zitten), terwijl hierdoor op een ander moment discomfort wordt veroorzaakt. Huidige automatisch geregelde zonweringen maken echter geen onderscheid tussen beide situaties. Een aspect dat hiermee samenhangt, is de mogelijkheid voor de gebruikers om de automatische regeling te kunnen overrulen. Als gebruikers het gevoel hebben controle uit te kunnen oefenen op de situatie, zullen zij meer tevreden zijn dan wanneer zij geen controle hebben.

Een mogelijkheid om de automatische regeling te overrulen is echter niet genoeg. De gebruiker moet daadwerkelijk weten dat hij of zij de mogelijk heeft om in te grijpen, begrijpen hoe hij of zij in kan grijpen en wat in verschillende situaties het beste kan worden gedaan en welk effect dit heeft op de situatie. Doordat de gebruiker gewend is geraakt aan de automatische regeling is deze kennis in veel gevallen niet (meer) aanwezig.

Tenslotte is het van belang dat de gebruikers begrijpen waarom en waarop het systeem anticipeert.

5.6 Aanbeveling voor verbeterde regelstrategieën voor automatisch geregelde zonwering

Er zijn goede mogelijkheden om het energiegebruik en het comfort voor de gebruikers te optimaliseren door de regelstrategieën van automatisch geregelde zonwering te verbeteren. Bij afwezigheid van de gebruikers hoeft geen rekening te worden gehouden met verblinding. De zonwering kan worden geopend als er warmtevraag is om het energiegebruik voor verwarming te reduceren en worden gesloten als er koelvraag is om het energiegebruik voor koeling te reduceren en, bij afwezigheid van koeling of onvoldoende koelcapaciteit, te voorkomen dat het binnen te warm wordt.

Een regelstrategie op basis van sensoren die aanwezigheid en de binnen- en de buitentemperatuur meten kan in die zin een substantiële verbetering opleveren ten opzichte van de op dit moment gebruikelijke regelingen. Deze regelingen kunnen verder worden verbeterd als rekening kan worden gehouden met het te verwachten gebouwgebruik en het te verwachten weer in de komende uren in combinatie met model gebaseerde regelstrategieën.

Daarnaast is een verdere verbetering te verwachten als de regeling zowel een binnen- als een buitenzonwering kan aansturen. Hierdoor wordt het mogelijk de lichttoetreding te beperken zonder de zontoetreding sterk te reduceren waardoor een energiebesparing op vooral de verwarmingsenergie kan worden gerealiseerd. Ook na verbetering van de regelstrategieën voor automatisch geregelde zonwering blijft het echter van belang dat de gebruiker de automatisch geregelde zonwering handmatig kan overrulen.

6 Referenties

- ASID, *Workplace values: How employees want to work*, Washington DC: The American Society of Interior Designers, 1998.
- Bakker, L.G., Dijk, H.A.L. van, *Buitenzonwering en energiebesparing op verwarmen en koelen*, TNO-rapport 2008-D-R0716/B, 2008.
- Bauer, W., I. Lozano-Ehlers, A. Greisle, G. Hube, J. Kelter en A. Rieck, *Office 21 – Push for the Future. Better Performance in Innovative Working Environments*, Keulen/Stuttgart: Fraunhofer Institut 2003.
- Brink, L.H. van den, Spiekman, M.E., *Zorgeloos ontzorgen? De balans tussen automatische regelingen en handmatige bediening van klimaatinstallaties*, TNO-rapport 034-DTM-2010-05020, 2010.
- Dijk, H.A.L. van, *Reference office for thermal, solar and lighting calculations*, IEA Task 27 report, 2001.
- Dubois, M., *Impact of shading devices on daylight quality in offices; Simulations with Radiance*, Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Construction & Architecture, 2001.
- Dubois, M., *Impact of shading devices on daylight quality in offices; Measurements in Experimental Office Rooms*, Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Construction & Architecture, 2001
- ISSO 74, *Thermische behaaglijkheid - eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen*, ISSO, Rotterdam, 2004.
- Lee, S.Y. en J.L. Brand, *Effects of Control over OfficeWorkspace on Perceptions of the Work Environment and Work Outcomes*, Journal of Environmental Psychology, vol. 25, pp. 323-333, 2005.
- Markus, T.A., *The function of windows— A reappraisal*, Building Science, Vol. 2, No. 2, 1967
- NEN-EN-ISO 7730, *Klimaatomstandigheden - Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid*, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2005.
- NEN-EN 12464-1, *Licht en verlichting – Werkplekverlichting – Deel 1: Werkplekken binnen*, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2003.
- NEN-EN 14501, *Zonneschermen en luiken – Thermisch en visueel comfort – Prestatiekenmerken en classificatie*, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2005.
- NPR 2917, *Rekenprogramma energieprestatie utiliteitsbouw op CD-ROM met handboek in pdf-formaat*, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2005.
- Pernot, C.E.E., Zonneveldt, L., *Metingen aan het energiegebruik van de kunstverlichting in het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch*, TNO 2000.
- Reinhart, C.F., *DAYSIM version 2.0, Software tool and user manual*, National Research Council Canada, Ottawa, 2003.
- Winterbottom, M., Wilkins, A., *Lighting and discomfort in the classroom*, Journal of Environmental Psychology, vol. 29, pp. 63-75, 2009.
- Zonneveldt, L., *In Broad Daylight*, International Lighting Review, vol. 52, nr. 011, 2002, p. 28-33.
- Zonneveldt, L., *Simulatie energiebesparing lichtregelsysteem in kantoren*, TNO-rapport 2005-BBE-R005, Delft, 2005.

7 Ondertekening

Delft, augustus 2011

L.G. Bakker
Auteur

Drs. P.M. van Hoorik
Afdelingshoofd
Energy and Comfort Systems

A Productspecificaties zonwering

De productspecificaties van de verschillende typen zonwering zijn opgenomen in Tabel 9. In Tabel 10 is de productspecifieke beoordeling volgens EN 14501 (2005) opgenomen.

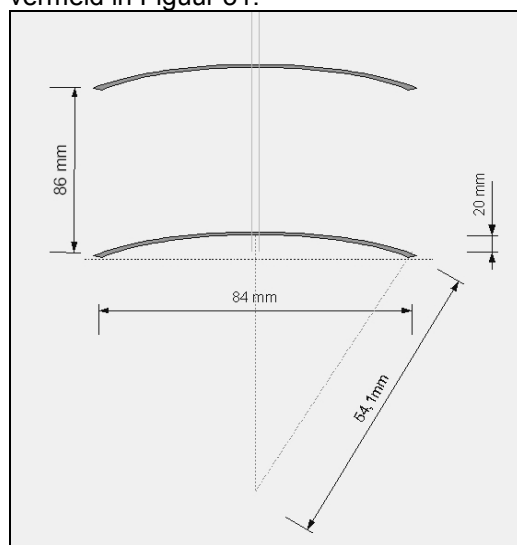
Tabel 9. Productspecificaties zonwering fabrikant

	Buitenscreen	Uitvalscherf	Jaloezieën	Binnenscreen
Typenummer	Dickson Sunworker M2 - X392 Charcoal	Dickson Orchestra 0018 Orange	Luxaflex 80mm	Dickson Sunworker M005 - White
RAL-kleur	RAL 7016	RAL 2004	RAL 9010	RAL 9010
Visuele transmissie diffuus $T_{v,diff}$	0,003	0,052	-	0,153
Visuele transmissie direct $T_{v,dir}$	0,053	0,001	-	0,055
Visuele reflectie ρ_v	0,074	0,264	-	0,748
Transmissie zonnearmte T_s	0,058	0,166*	0	1**
Reflectie zonnearmte ρ_s	0,071	0,445	0,35	0**
Emissiecoëfficiënt ϵ	0,87	0,87	0,76	0

* Verondersteld wordt dat de transmissie groter is wanneer het doek als uitvalscherf wordt toegepast. In de simulaties is deze productspecifieke waarde daarom met 10% verhoogd.

** In de thermische berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de binnenzonwering geen effect heeft op de binnenkomende thermische zonnestraling.

Bij de jaloezieën wordt er vanuit gegaan dat de lamellen onder een hoek van 45° staan als de zonwering neer is. De afmetingen van de gebruikte jaloezieën staan vermeld in Figuur 31.



Figuur 31. Afmetingen voor gebruikte jaloezieën

Tabel 10. Productspecifieke beoordeling volgens EN 14501 (2005)

	Buitenscreen	Uitvalscherf	Binnenscreen	
Typenummer	Dickson Sunworker M2 - X392 Charcoal	Dickson Orchestra 0018 Orange	Dickson Sunworker M005 - White	
Thermisch comfort	Total solar energy transmittance g_{tot}	0,08 (klasse 4)	0,13 (klasse 3)	0,36 (klasse 1)
	Secondary heat transfer factor $q_{i,tot}$	0,05 (klasse 3)	0,04 (klasse 3)	0,22 (klasse 1)
	Normal/normal solar transmittance $\tau_{e,n-n}$	0,03 (klasse 4)	0,09 (klasse 3)	0,14 (klasse 2)
	Normal/normal light transmittance $\tau_{v,n-n}$	0,05	0,00	0,05
	Normal/diffuse light transmittance $\tau_{v,n-dif}$	0,00	0,05	0,15
	Diffuse/hemispherical light transmittance $\tau_{v,dif-h}$	0,04	0,05	0,17
	Opacity control	non opaque	non opaque	non opaque
	Glare control	klasse 3	klasse 2	klasse 1
	Night privacy	klasse 2	klasse 3	klasse 2
	Visual contact with	klasse 2	klasse 0	klasse 1
Daylight utilisation	klasse 1	klasse 1	klasse 2	
Rendering of colours R_a	99	0	92	

B Gebouwkenmerken

In deze bijlage wordt een compleet overzicht gegeven van alle gebouwkenmerken: geometrie, constructie-eigenschappen, installaties, interne warmtelasten en aanwezigheid van gebruikers.

Tabel 11. Algemene gebouwkenmerken praktijkcases

	Kantoor	School	Appartement
Locatie	Amsterdam	Amsterdam	Amsterdam
Bouwjaar	1980-1995	1980-1995	Na 2000
Zomertijd?	ja	ja	ja
Oriëntatie gevel	Zuid	Zuid	Zuid/West
Verdieping	derde	begane grond	derde
Ruimte	Celkantoor Groepskantoor	Lokaal	Woonkamer met keuken
Belemmeringen omgeving	geen	geen	geen

Tabel 12. Geometrie praktijkcases

	Celkantoor	Groepskantoor	School	Appartement
Breedte [m]	3,6	7,2	7,2	5,7
Diepte [m]	5,4	5,4	7,2	7,2
Hoogte [m]	3,5	3,5	3,6	2,6
Verlaagd plafond [m]	2,7	2,7	-	-
Gebruiksoppervlak [m ²]	19,4	38,9	51,8	41,0
Avloer [m ²]	19,4	38,9	51,8	41,0
Aglas [m ²]	3,6	7,2	16,2	Zuid: 13,2 West: 3,5
Glas percentage gevel [%]	29	29	63	Zuid: 89 West: 19

Tabel 13. Constructie-eigenschappen praktijkcases (zie voor details constructieopbouw)

	Kantoor	School	Appartement
Type constructie	Zwaar	Middel	Zwaar
U-waarde gesloten gevel [W/m ² K]	0,30	0,30	0,30
U-waarde dak [W/m ² K]	-	0,28	-
U-waarde vloer [W/m ² K]	-	0,25	-
Glastype	Helder (low-e)	Helder (HR++)	Helder (HR++)
U-waarde glas [W/m ² K]	1,2	1,8	1,8
ZTA beglazing (g-waarde)	0,63	0,63	0,63
LTA	0,8	0,8	0,8

Tabel 14. Opbouw constructies praktijkcase kantoor (van buiten naar binnen)

	Warmtegeleidingscoëf. [W/m-K]	Dichtheid [kg/m ³]	Soortelijke warmte [J/kgK]	Dikte [mm]
Buitenwand				
Pleisterlaag	1	2500	720	10
Minerale wol	0.04	50	1030	120
Steen	1.83	2000	870	210
Board/gips	0.25	900	1050	10
Tussenwanden				
Board/gips	0.25	900	1050	15
Isolatie	0.035	35	840	70
Board/gips	0.25	900	1050	15
Tussenvloeren				
Board/gips	0.1	300	1700	20
Luchtspouw	0	0	0	65
Beton	1.6	1.6	1070	200
Cementvloer	0.9	1800	1100	20
Tapijt	0.1	200	1400	10

Tabel 15. Opbouw constructies praktijkcase school (van buiten naar binnen)

	Warmtegeleidingscoëf. [W/m-K]	Dichtheid [kg/m ³]	Soortelijke warmte [J/kgK]	Dikte [mm]
Buitenwand				
Steenachtig	1.83	2000	870	210
Isolatie	0.04	50	1030	120
Board/gips	0.25	900	1050	10
Tussenwanden				
Board/gips	0.25	900	1050	15
Isolatie	0.035	35	840	70
Board/gips	0.25	900	1050	15
Dak				
Bitumen	0.5	1700	1000	6
Isolatie	0.035	35	840	120
Hout	0.1	300	1700	10
Vloer				
Isolatie	0.04	50	1030	150
Beton/cement	1.6	1.6	1070	150
Vloerbedekking	0.25	900	1050	2

Tabel 16. Opbouw constructies praktijkcase appartement (van buiten naar binnen)

	Warmtegeleidingscoëff. [W/m-K]	Dichtheid [kg/m ³]	Soortelijke warmte [J/kgK]	Dikte [mm]
Buitenwand				
Steen	0.96	2000	840	100
Isolatie	0.04	50	1030	100
Board/gips	1.83	2200	712	10
Tussenwanden				
Board/gips	0.25	900	1050	15
Isolatie	0.035	35	840	70
Board/gips	0.25	900	1050	15
Tussenvloeren				
Beton	0.9	1800	1100	250

Tabel 17. Reflectiecoëfficiënten oppervlakken (optisch)

	Kantoor	School	Appartement
Plafond [-]	0,7	0,7	0,7
Wanden [-]	0,5	0,5	0,5
Vloer [-]	0,2	0,2	0,2
Bureau / tafel [-]	0,4	0,4	0,4

Tabel 18. Eigenschappen HVAC installaties praktijkcases

	Kantoor	School	Appartement
Ventilatie	Mech. toe- en afvoer	Mech. Toe- en afvoer	Mech. toe- en afvoer
Ventilatievoud [h ⁻¹]	week 8-18h: 1,3 anders: 0.3	week 8-17h: 2,7 anders: 0,5 Als Tbuiten > 26°C raam open 10 ACH	1,2 Als Tbuiten > 26°C: 3.6 Als Tbuiten > 28°C: 6.3
WTW rendement [%]	40	Geen	In winter 60 In zomer wtw uit
Verwarming	Lucht	Radiator (50% rad., 50% conv.)	Radiator (50% rad., 50% conv.)
Sensor verwarming	lucht	50% lucht / 50% rad	50% lucht / 50% rad
Temp. verwarming dag [°C]	22	22	22
Temp. verwarming nacht [°C]	18	18	17
Rendement verwarmingsinstallatie [%]	95	95	95
Koeling	airco	-	-
COP koelinstallatie [-]	3	-	-
Temp. koeling dag [°C]	24,5	-	-
Temp. koeling nacht [°C]	-	-	-

Tabel 19. Eigenschappen verlichtingsinstallaties praktijkcases

	Kantoor	School	Appartement
Geïnstalleerd vermogen [W/m ²]	10	15	200 W voorzijde 200 W achterzijde
Verlichting (minimaal) [lux]	500	300	200 (tv kijken) 500 (lezen)
Regeling verlichting	daglichtafhankelijk	daglichtafhankelijk	handmatig
Licht zones	2	2	2
Betrokkenheid (actief/passief)	passief	passief	actief

Tabel 20. Interne warmtelasten praktijkcases

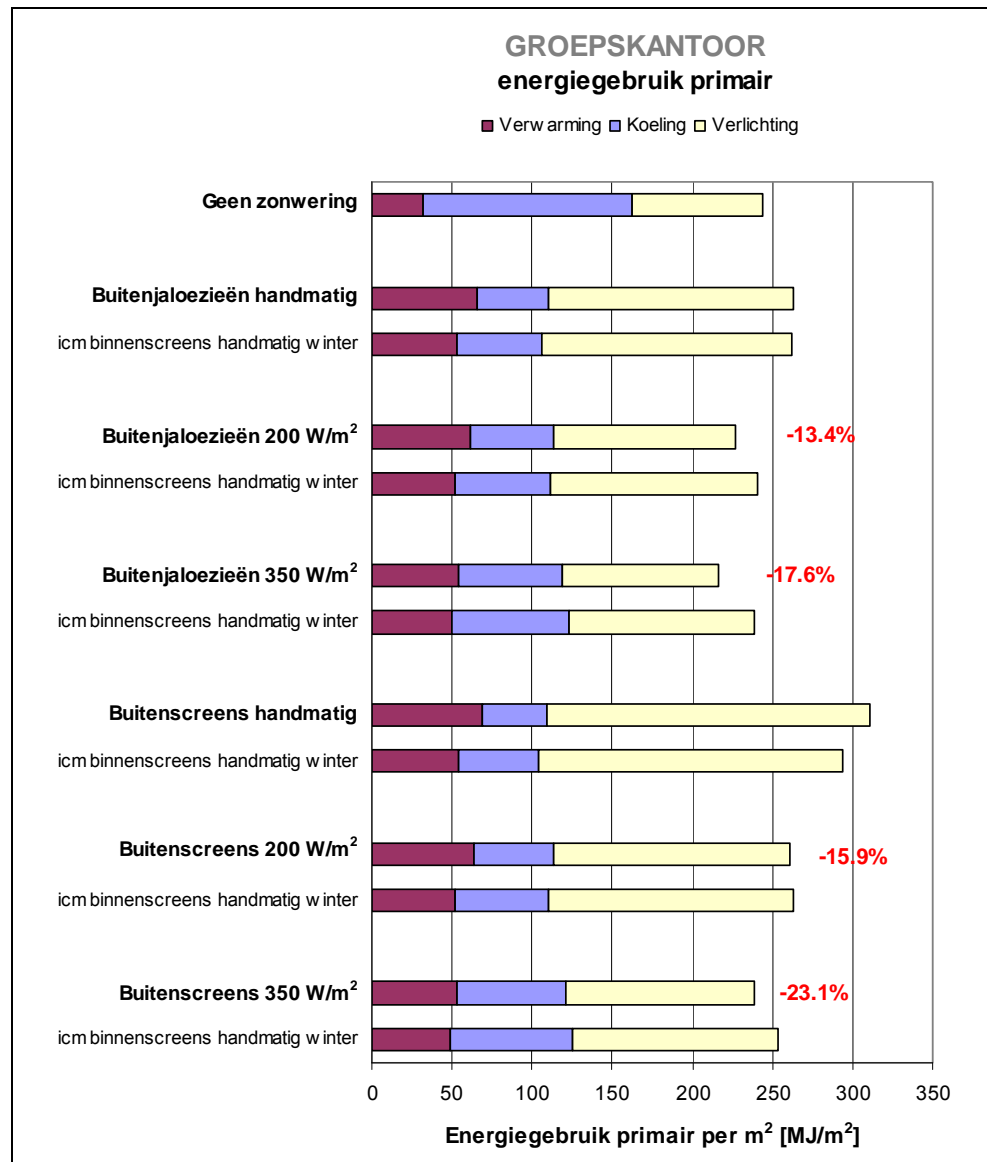
	Celkantoor	Groepskantoor	School	Appartement
Aantal personen	2 (gemiddeld 1,5 persoon aanwezig)	4 (gemiddeld 3 personen aanwezig)	24 leerlingen + leerkracht	2
Warmte personen [W]	189	378	tot 23°C: 2000 daarboven aflopend tot 0 bij 35°C* (alleen leerkracht 200)	252
Warmtelast personen [W/m ²]	9,7	9,7	38,6	6,1
Warmte apparatuur [W]	100	400	200	300
Warmtelast apparatuur [W/m ²]	5,2	10,3	3,9	7,3
Warmtelast verlichting [W]	Afhankelijk van hoeveelheid kunstlicht die benodigd is			

* Als de binnentemperatuur de lichaamstemperatuur bereikt zal het lichaam geen warmte meer afgeven aan de omgeving aangezien er geen temperatuurverschil is. In die zin is er gerekend met een lineair aflopende warmteafgifte tussen 23°C en 35°C. (dus bij 23°C 2000W en bij 35°C 0 W).

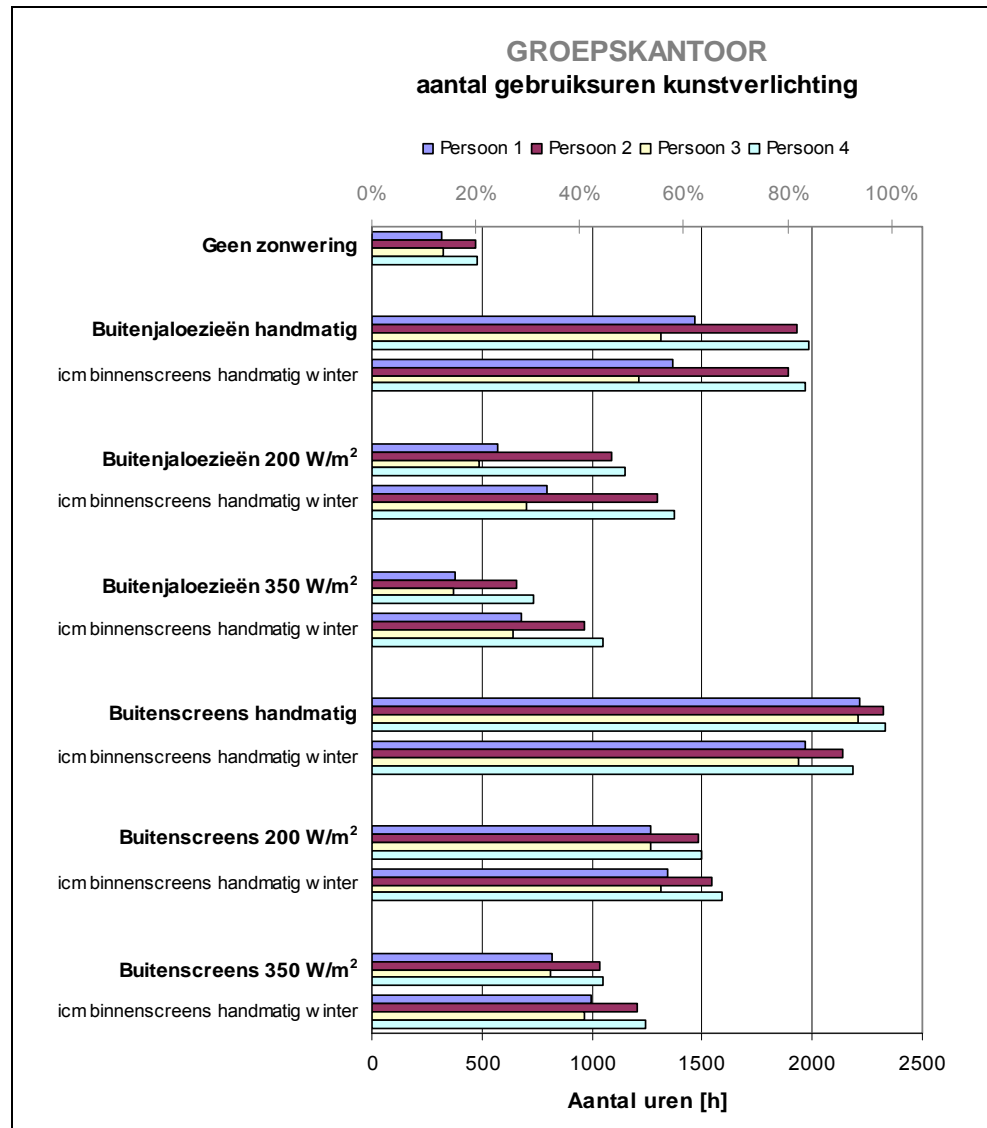
Tabel 21. Aanwezigheid gebruikers

	Kantoor	School	Appartement
Gebruikspatroon	weekdagen 8.00u-17.00u	weekdagen 8.30u-12.00u 13.15u-15.15u (woensdagmiddag vrij) Leerkracht is voor en na schooltijd wel langer aanwezig	Scenario 1: altijd aanwezig 8.00u-23.00u Scenario 2: weekdagen 6.00u-7.00u 19.00u-23.00u weekend om de week aanwezig van 8.00u- 23.00u
Vakantierooster	nee	ja: week 1 week 8 week 18-19 week 28-33 week 42 week 52	nee

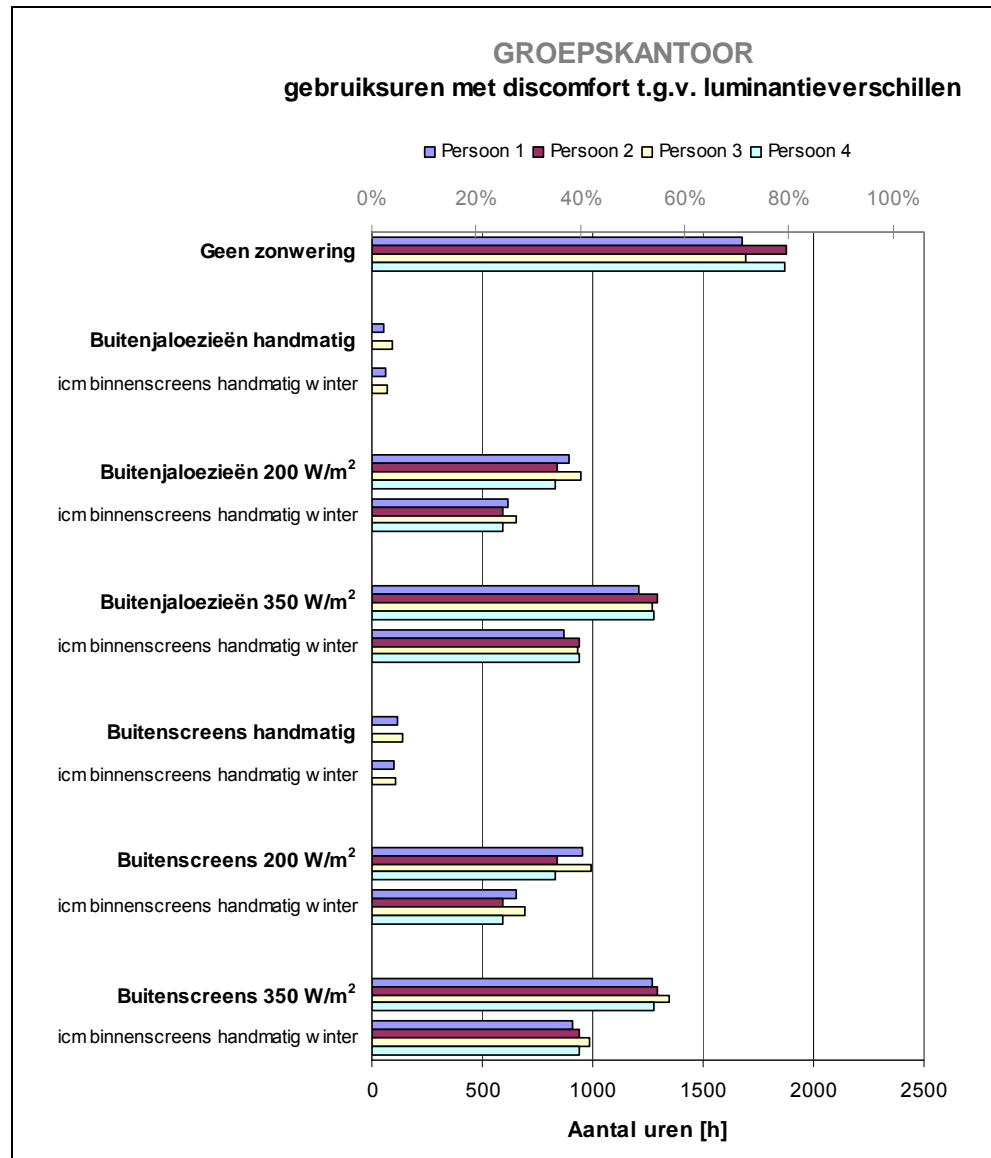
C Resultaten groepskantoor



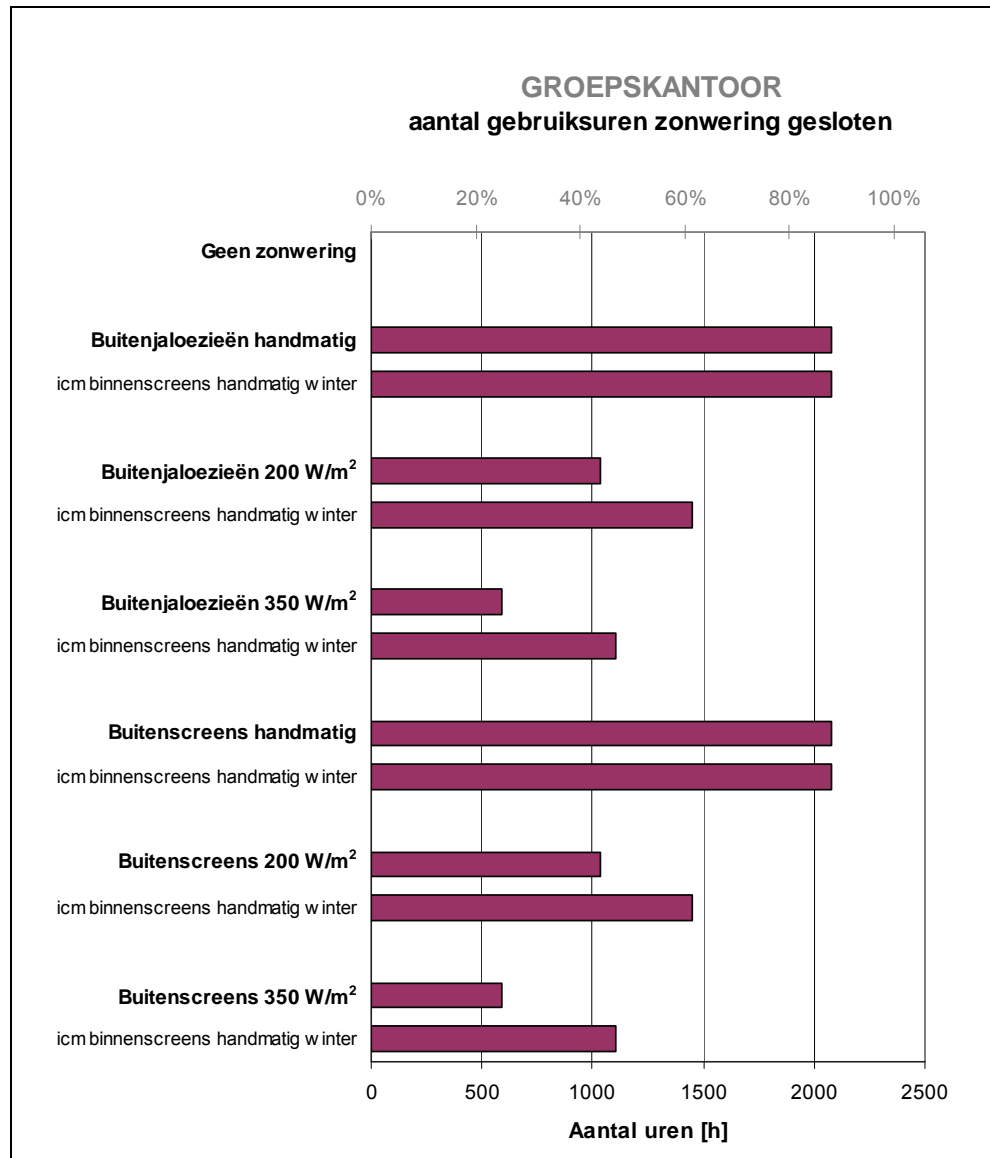
Figuur 32. Primair energiegebruik van het groepskantoor voor verschillende typen zonweringen, uitgedrukt in MJ per m². Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant het energiegebruik weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens. In rood is het percentage energiebesparing van een automatische zonwering aangegeven t.o.v. een handbediende zonwering van hetzelfde type.



Figuur 33. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de kunstverlichting in het groepskantoor is ingeschakeld voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met kunstverlichting weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.



Figuur 34. Gedeelte van de gebruikstijd (uren en percentage) dat de werknemers in het groepskantoor discomfort ervaren ten gevolge van te grote luminantieverschillen voor verschillende typen zonweringen. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd met discomfort weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.



Figuur 35. Gedeelte van de gebruikstijd (aantal uren en percentage) dat de zonwering in het groepskantoor gesloten is. Vetgedrukt zijn de verschillende varianten aangegeven. Daarnaast is per variant de gebruikstijd dat de zonwering gesloten is weergegeven wanneer in de zomersituatie gebruik wordt gemaakt van buitenzonwering en in de wintersituatie van handmatig bediende binnenscreens.