

TNO Bouw

CBO
Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 284 20 00
F 015 284 39 90

TNO-rapport

2000-CBO-R002 GTE/DNA

Verlichting in scholen

Datum	27 juni 2000
Auteur(s)	Dr. ir. E.H. de Groot Drs. L. Zonneveldt
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	29
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Novem BV L. Brouwer Postbus 8242 3503 RE Utrecht
Projectnaam	Verlichting in scholen
Projectnummer	006.96442/01.01

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 onderzoeksopdrachten 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.

© 2001 TNO

Inhoud

Samenvatting	4
1. Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doel van het onderzoek.....	5
1.3 Opbouw van dit rapport	6
2. Programma van eisen	7
2.1 Aandachtspunten.....	7
2.1.1 Kenmerkende oogtaken	7
2.1.2 Energiegebruik.....	8
2.1.3 Gebruikstijden.....	9
2.1.4 Daglichtbenutting.....	9
2.2 Overzicht.....	10
2.2.1 Algemene eisen.....	10
2.2.2 Verlichtingseisen.....	10
3. Potentiële besparing in energie.....	12
3.1 Totaal aantal klaslokalen voor groepsonderwijs	12
3.2 Prognose voor 2010 voor lokalen in het basisonderwijs.....	12
3.3 Potentiëlen aan besparing.....	12
4. Randvoorwaarden bij het ontwerp	14
4.1 Zonwering en daglichttoetreding	14
4.2 Algemene kunstverlichting in zones voor het basisonderwijs ...	15
4.2.1 Klaszone.....	16
4.2.2 Schoolbordzone.....	16
4.2.3 PC-randzone.....	16
4.3 Algemene kunstverlichting in zones voor het voortgezet onderwijs.....	16
4.4 Regeling	16
5. Varianten	17
5.1 Basisoplossing.....	17
5.2 Nieuwe oplossing voor schoollokalen	17
5.3 Berekening van luminantieverhoudingen en verlichtingssterkte	17
Daglichtsituatie.....	19
Verlichting volgens richtlijn RGD	20
5.3.3 Variant met T5 en beeldschermvriendelijke afscherming.....	21
Variant met T5 en normale afscherming	22
5.3.5 Variant met T8 en beeldschermvriendelijke afscherming.....	23

5.3.6	Variant met T8 en normale afscherming.....	24
5.4	Vergelijking van varianten.....	25
6.	Conclusies	26
7.	Referenties.....	27
	Bijlage A: Resultaten van steekproef onder 20 basisscholen	28

Samenvatting

De lestijden van scholen, en met name basisscholen, zijn zodanig dat er veel uren met voldoende daglicht gewerkt kan worden. Toch wordt er een groot deel van de tijd in leslokalen gebruik gemaakt van elektrisch licht. Om dit te onderzoeken is er door TNO Bouw in opdracht van NOVEM een onderzoek verricht met als primaire doelstelling *het verbeteren van de verlichtingscondities in leslokalen uit het oogpunt van energiegebruik en comfort*.

Uit een kleine steekproef onder 20 basisscholen is gebleken dat er in 60% van de gevallen een conventioneel systeem geïnstalleerd is met per lokaal een geïnstalleerd vermogen van meer dan 500 Watt. In veel gevallen zijn deze verlichtingssystemen gebaseerd op een verouderde richtlijn van de RGD uit de jaren '80. Het lessysteem is sinds die tijd in veel opzichten veranderd. Zo zijn in de hoogste klassen van de basisschool computers geïntroduceerd en gaan kinderen met lichte (visuele) handicaps zoveel mogelijk naar normale scholen (onder het motto 'samen naar school'). Hierdoor worden hogere eisen gesteld aan de schoolverlichting en is de noodzaak ontstaan een nieuw verlichtingsconcept te ontwikkelen ter vervanging van het RGD-concept.

Het nieuwe verlichtingsconcept dat tijdens dit project is ontwikkeld geeft een comfortabele, energie efficiënte schoolverlichting tegen een, met het oude concept, vergelijkbare kostprijs. Voor dit concept is uitgegaan van de taken die verricht moeten worden in de klas, door de leerlingen en door de docent, waarbij het klaslokaal in zone's is ingedeeld. Bij deze oplossing zorgen twee rijen van drie armaturen parallel aan het raam voor de algemene verlichting. Hierdoor is het mogelijk om daglichtafhankelijke regeling toe te passen zodat veel energie bespaard kan worden. Door het kiezen van deze energie-efficiënte algemene verlichting is het wel noodzakelijk een extra (asymmetrisch) armatuur te installeren voor verlichting van het schoolbord. Toch is bij dit ontwerp rekening gehouden met het over het algemeen beperkte budget van de scholen, omdat de extra investering die voor het bordarmatuur nodig is, naar verwachting in ongeveer 10 jaar zal worden terugverdiend door een daling van de energiekosten.

In plaats van de breedstralende armaturen is nu gekozen voor een armatuur met een goede afscherming. Eventueel kan de normale afscherming tegen een geringe meerprijs worden vervangen voor een beeldschermvriendelijke afscherming, zodat zonder hinderlijke spiegelingen met beeldschermen gewerkt kan worden in de klas. Beide varianten zijn onderzocht en tevens is er gevarieerd met de lichtbron (16 mm of 26 mm fluorescentie verlichting). Met behulp van Radiance zijn visualisaties van alle oplossingen gemaakt.

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

De lestijden van scholen, en met name basisscholen, zijn zodanig dat er veel uren met voldoende daglicht gewerkt kan worden. Toch wordt er een groot deel van de tijd in leslokalen gebruik gemaakt van elektrisch licht. De belangrijkste reden hiervoor is dat indien zich grote glasoppervlakken in een zijgevel van een ruimte bevinden het ruimtelijk verloop in verlichtingssterkte als functie van de afstand tot de gevel groot is. Dit leidt tot een sterk verloop van helderheden en dus tot grote helderheidsverhoudingen. Voor veel oogtaken is dit ongewenst; in het algemeen worden in de praktijk helderheidsverhoudingen groter dan 1:10 als storend aangemerkt. De gebruiker kan dit in de meeste gevallen compenseren middels het inschakelen van elektrisch licht in de zone met de laagste helderheden of door gebruik te maken van een goede helderheidsvermindering (=zonwering) die het daglicht beter doseert. Zo'n helderheidsvermindering is echter lang niet in alle gevallen voorhanden, waardoor meestal de daglichttoetreding in deze gevallen wordt geblokkeerd in plaats van gedoseerd.

1.2 Doel van het onderzoek

Primaire doelstelling van het onderzoek is **het verbeteren van de verlichtingscondities in leslokalen uit het oogpunt van energiegebruik en comfort**. In de eerste plaats dient dit te gebeuren door het maximaal benutten van daglicht. Door een juist ontwerp en dosering van aanvullend elektrisch licht wordt gestreefd naar een energie efficiënte, maar zeker ook comfortabele, verlichting.

Punten van aandacht hierbij zijn:

- *Zonwering en daglichttoetreding*. Daglicht vormt mits goed gedoseerd een belangrijke, natuurlijke basis voor het verlichten van lokalen. Goed gedoseerd daglicht beperkt het gebruik van elektrisch licht.
- *Algemene kunstverlichting in zones*. Het onderverdelen in zones, bijvoorbeeld "bij het raam", "midden in het lokaal", en "een binnenzone aan de gangzijde" maakte het mogelijk om de verlichting, naar behoefte in delen in te schakelen.
- Het toepassen van *daglichtafhankelijke verlichting*. Dit is zeer wenselijk om de vruchten te kunnen plukken van het daglicht. Ondanks alle zorg is er vaak op plaatsen in het lokaal onvoldoende daglicht. Door een daglichtafhankelijke regeling wordt niet meer elektrisch licht gebruikt dan strikt noodzakelijk is.
- *Verlichting van schoolbord*. Het schoolbord is in veel lessituaties het belangrijkste werkvlak. Omdat het een vertikaal vlak is, kan het slechts gebrekkig vanuit algemene verlichting verlicht worden. Het is daarom nodig na te gaan of er geen

oplossing gevonden kan worden waarbij op eenvoudige wijze toch een separate bordverlichting mogelijk is.

1.3 Opbouw van dit rapport

In hoofdstuk 2 wordt het programma van eisen beschreven waaraan oplossingen moeten voldoen. Dit is gebaseerd op kenmerkende oogtaken en gebruikstijden. Ook eisen ten aanzien van energiegebruik en daglichtbenutting zullen worden opgenomen.

Hoofdstuk 3 bestaat uit een inventarisatie van de omvang van de problemen in termen van energiegebruik van verouderde installaties. Inventarisatie van potentiëlen aan besparingen bij toepassen van een energiezuinige installatie met of zonder daglichtafhankelijke regeling, die voldoet aan de gestelde criteria. Deze potentiëlen zijn ook uitgedrukt in *geïnstalleerd vermogen per m²*, zodat eventueel later bij het uitwerken in ontwerpen voorkomende afwijkingen eenvoudig te corrigeren zijn.

In hoofdstuk 4 worden enkele randvoorwaarden besproken waar bij de ontwikkeling van het nieuwe verlichtingsconcept rekening mee gehouden is. In hoofdstuk 5 wordt dit nieuwe concept toegelicht en worden resultaten gepresenteerd van de berekeningen die met Radiance zijn uitgevoerd.

Tenslotte volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en wordt vooruit gekeken naar het vervolg van dit project.

2. Programma van eisen

2.1 Aandachtspunten

We beperken ons in dit onderzoek tot algemene theorielokalen in het basis- en voortgezet onderwijs. Klaslokalen voor bijvoorbeeld praktijkgerichte vakken in het beroepsonderwijs en lokalen voor tekenen, handvaardigheid, lichamelijke oefening etc. worden buitenbeschouwing gelaten. Wel gaan we er van uit dat ook in algemene theorie lokalen steeds meer gebruik gemaakt wordt van computergebruik. Gedacht kan worden aan een situatie waarbij de beeldschermen tegen de muren van het lokaal zijn opgesteld.

2.1.1 Kenmerkende oogtaken

In een klaslokaal voor algemene theorielessen zijn zes verschillende activiteiten met ieder kenmerkende oogtaken voor de docent en de leerlingen te onderscheiden:

Tabel 2.1: Overzicht van taken die in een normaal theorie-klaslokaal worden uitgevoerd.

Taak	Voor de docent:	Voor de leerling:
1.	Schrijven op het schoolbord.	Lezen en overnemen wat op het bord geschreven wordt.
2.	Spreken voor in de klas.	Opletten op wat de leraar verteld.
3.	Tonen van een presentatie (a. dia's, overheads etc./ b. tv programma).	a. Kijken naar projectiescherm b. Kijken naar een tv scherm
4.	Opletten wanneer de klas een taak uitvoert.	Schrijven, lezen, tekenen, etc.
5.	Beeldschermwerk begeleiden.	Kijken naar een beeldscherm en op papier.
6.	Vorbereiden of uitwerken van lessen.	Niet aanwezig.

In het basisonderwijs wisselen deze taken elkaar snel af. Het belang van de verschillende taken en het percentage van de tijd dat een taak wordt uitgevoerd wordt in het kader van dit project nader onderzocht.

In het voortgezet onderwijs wordt meestal in een bepaald lokaal een bepaalde taak continu uitgevoerd door steeds een andere groep: alleen tekenen, alleen oefeningen voor een bepaald vak (Nederlands, Wiskunde, etc.).

Aan de hand van het geïdentificeerde takenpakket per klaslokaal kan een geschikt verlichtingsplan opgesteld worden. Dit verlichtingsplan moet aan bepaalde eisen voldoen. In Nederland geeft een Arbo-beleidsregel aan dat de verlichtingssterkte tussen 200 en 800 lux moet liggen om dit type visuele taken uit te kunnen voeren (Beleidsregel 6.3).

Als vuistregel voor de luminantieverhoudingen wordt gegeven:

- papier: werkblad = 3:1
- papier: omgeving = 10:1, of (bij toetreding van daglicht) 1:10.

De Engelse CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) bouwregelgeving [CIBSE 1994] schrijft voor dat in algemene leslokalen de horizontale verlichtingssterkte nergens lager dan 150 lux mag zijn, gemiddeld 300 lux moet zijn als er alleen fluorescente verlichting gebruikt gemaakt wordt en 350 lux als er van dag- en elektrisch licht uitgegaan wordt. Voor de verlichtingssterkte op de wanden wordt voorgeschreven dat deze tussen 50% en 80% van de verlichtingssterkte op het werkvlak moet zijn.

In het Zwitserse 'Handbuch für Beleuchtung' van de Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft [SLG 1992] wordt beschreven dat voor schoollokalen met goede daglichtbenutting een algemene verlichtingssterkte van 300 lux voldoende is. Verder wordt beschreven dat er 'natuurlijk wit' of 'warm wit' licht toegepast moet worden met een goede kleurweergave. De armaturen moeten goed afgeschermd zijn om geen verblinding te veroorzaken en reflecties door glans of spiegeling in beeldschermen of spiegelende oppervlakken moet voorkomen worden. Voor het schoolbord geldt dat daarvoor extra verlichting aangebracht moet worden die samen met de algemene verlichting die erop valt een verticale verlichtingssterkte moet leveren die minstens even groot is als de horizontale verlichtingssterkte in de ruimte. Als richtlijnen worden gegeven dat het daglicht van links moet invallen en dat de armaturen parallel aan het raam moeten worden opgehangen maar niet recht boven de bureaus.

Het Amerikaanse 'Lighting Handbook' [Rea 1993] onderscheidt 10 verschillende taken die in een klaslokaal uitgevoerd kunnen worden variërend van lezen en tekenen tot muzikale vorming en natuurkundige practica. De bijbehorende verlichtingssterkte varieert tussen gemiddeld 300 en 1500 lux. Verder komen verschillende verlichtingstechnische aspecten aan bod zoals de verdeling in zones (het schoolbord heeft een hogere verticale verlichtingssterkte nodig dan de rest van de wanden), de luminantieverdeling (in de omgeving van de taak mogen geen vlakken voorkomen met een luminantie die meer dan vijf maal groter of minder dan drie maal kleiner is dan de luminantie van de taak zelf), en verblinding (verblinding door spiegeling en reflecties van armaturen en ramen moet worden voorkomen, maar een saaie ruimte zonder 'sparkle' moet vermeden worden).

2.1.2 Energiegebruik

Een RGD-richtlijn geeft aan dat per 100 lux (E-standaard) niet meer dan $3\text{W}/\text{m}^2$ geïnstalleerd vermogen voor elektrisch licht zou moeten worden. Het Bouwbesluit schrijft voor dat in onderwijsruimten het verlichtingsniveau dat door elektrisch licht kan worden bereikt 250 lux moet bedragen, gemeten op 0,75 m boven de vloer (§3, Hoofdstuk II, artikel 6 lid 3). Hiermee kan berekend worden dat het geïnstalleerde vermogen maximaal $7,5\text{ W}/\text{m}^2$ mag bedragen wanneer 250 lux wordt aangebracht.

2.1.3 Gebruikstijden

Een basisschool wordt over het algemeen vier dagen per week voor lessen gebruikt van half 9 's ochtends tot half 4 's middags en een dag tot 12 uur. Vaak beginnen leraren een half uur eerder en werken zij ook langer door om hun lessen voor te bereiden, daarnaast zijn er vergaderingen van de leraren tot 5 uur en soms 's avonds andere activiteiten zoals ouderbijeenkomsten. We nemen daarom aan dat het gemiddelde aantal branduren voor een lokaal op een basisschool 1500 uur per jaar is.

Lokalen in het voortgezet onderwijs die voor de meer theoretische vakken gebruikt worden kennen een erg wisselend gebruik: sommige lokalen worden continu gebruikt, terwijl andere misschien slechts een of twee uur per dag gebruikt worden. Regelmatig vinden op scholen voor voorgezet onderwijs ook avondopleidingen voor volwassenen plaats. Een goede schatting voor het aantal branduren is daarom moeilijk te geven. Wellicht is het noodzakelijk hier verder onderzoek naar te doen door middel van het plaatsen van urentellers in een groot aantal lokalen. Voor het gemak rekenen we nu ook hier met gemiddeld 1500 branduren per jaar.

2.1.4 Daglichtbenutting

Het Bouwbesluit (artikel 210 lid 1) schrijft voor dat in iedere ruimte waarin mensen verblijven voldoende daglicht moet kunnen toetreden en dat er naar buiten gekeken moet kunnen worden. Voor onderwijsgebouwen wordt verder gespecificeerd dat in groepsruimten het daglicht moet kunnen toetreden door middel van een of meer vensters in tenminste één buitenwand (§3, Hoofdstuk II, artikel 7 lid 3). het Bouwbesluit schrijft voor dat in onderwijsgebouwen het gebouw aan de zonzijde moet zijn voorzien van zonwering (§3, Hoofdstuk II, artikel 6 lid 4).

De Arbo-wet eist verder dat in een besloten ruimte waarin iemand overdag gemiddeld meer dan twee uur arbeid verricht lichtopeningen moeten zijn aangebracht met een oppervlak die ten minste gelijk is als 1/20 van het vloeroppervlak (artikel 6.4 lid 1). De Arbo-wet eist dat in een besloten ruimte waar arbeid verricht wordt rechtstreeks invallend zonlicht moet kunnen worden geweerd (artikel 6.5).

Het Amerikaanse 'Lighting Handbook' [Rea 1993] beschrijft dat de toetreding, regeling en verdeling van daglicht door een goed ontworpen raamsysteem benut kan worden om visuele taken uit te voeren. Een bijkomend voordeel boven elektrische verlichting is dat het uitzicht zorgt voor een focuspunt in de verte zodat de oogspieren zich kunnen ontspannen en voor contact met buiten, wat van psychologisch belang is.

Ervaringen in cellenkantoren laten zien dat met goed gebruik van daglicht aanzienlijke besparingen te realiseren zijn. In TNO-rapport B-91-0920, *Haalbaarheidsstudie naar regeling van elektrisch licht in door daglicht verlichte ruimten*, een rapport uit 1992, wordt aangegeven dat een dimmende regeling in klaslokalen tot een besparing van 70% ten opzichte van een handmatig bediende installatie kan leiden.

2.2 Overzicht

2.2.1 Algemene eisen

Locatie:	Nederland
Afmetingen:	7,2 x 7,2 x 3,0 m ³
Raam oriëntatie:	Noord, Oost, Zuid, West
Belemmeringen:	Geen
Luminantie ratio:	Werkvlak: Omgeving: Periferie = 10:3:1
Kleurweergave:	Ra > 80
Afscherming:	UGR < ?
Kleurgebruik ruimte:	Lichte vloeren en plafond, Medium vloer
Aantal leerlingen:	24 normaal: 6 x 4 tafels voor 1 leerling 16 speciaal: 4 x 4 tafels voor 1 leerling
Gebruikstijden:	1500 uur

2.2.2 Verlichtingseisen

In tabel 2.2 zijn de verlichtingseisen in termen van verlichtingssterkte op het werkvlak samengevat behorend bij de taken die in tabel 2.1 zijn onderscheiden. Weergegeven is de standaard verlichtingssterkte, die overeenkomt met de maximale verlichtingssterkte aan het eind van de levensduur van de installatie.

Tabel 2.2: Verlichtingseisen bij de verschillende taken

Taak	Verlichtingseisen	Standaard verlichtingssterkte	
		Voor in klas	Algemeen
1.	Voldoende licht op de wand waar het schoolbord hangt en op het werkvlak van de bureaus van de leerlingen.	250 lux verticaal	150 lux horizontaal
2.	Voldoende licht voor in de klas en voldoende algemene verlichting.	300 lux	300 lux
3.	Lokaal moet in voldoende mate verduisterd kunnen worden.	300/ 10 lux	10 lux
4.	Voldoende algemene verlichting in de klas en op het werkvlak van de bureaus van de leerlingen.	300 lux	300 lux
5.	Voldoende algemene verlichting zonder hinderlijke spiegeling in beeldscherm van ramen of armaturen.	50 lux	300 lux boven de PC's
6.	Voldoende verlichting voor in de klas.	300 lux	50 lux

Naast deze eisen aan het elektrisch licht op het werkvlak gelden de volgende aandachtspunten voor de verlichting:

- A. Daglichttoetreding
- B. Zonwering / helderheidswering

- C. **Kleurweergave.** De kleurweergave is bij een aantal activiteiten van belang. Vandaar dat een $R_a > 80$ wenselijk is.
- D. **Kleurtemperatuur.** In het algemeen worden geen eisen aan de kleurtemperatuur van het elektrisch licht gesteld.

3. Potentiële besparing in energie

3.1 Totaal aantal klaslokalen voor groepsonderwijs

Uit gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS 1999) waren er in het seizoen 1998/'99 in totaal 2.473.000 leerlingen in het basis- en voortgezet onderwijs, waarvan 3% in speciaal onderwijs.

Tabel 3.1: Gegevens van het CBS, 1999.

Leerlingen en studenten, 1998/'99	x 1 000
Basisonderwijs	1534
Speciaal basisonderwijs	54
Voortgezet onderwijs	856
Speciaal voortgezet onderwijs	29
Beroepsonderwijs	300
Speciaal beroepsonderwijs	41

Wanneer gerekend wordt met 24,5 leerlingen per klas in het normale onderwijs (OCW 1999) en 15 leerlingen per klas in het speciale onderwijs komt dit neer op een huidig bestand aan klaslokalen van 103.100 (66.200 basis en 36.900 voortgezet).

3.2 Prognose voor 2010 voor lokalen in het basisonderwijs

Per jaar worden er volgens het CBS in Nederland ongeveer 198.000 kinderen geboren en de schatting is dat dit aantal af zal lopen met ongeveer 2000 per jaar (d.w.z. 188.000 in 2005, 178.000 in 2010, enz). Wanneer we de eventuele aanwas door migratie verwaarlozen dan betekent dit dat er in 2010 1.544.000 leerlingen in het basisonderwijs zullen zijn (een daling van 2,8%). Wanneer we er vervolgens van uitgaan dat het percentage kinderen dat op speciaal onderwijs zit 3% zal blijven en dat de klassen worden verkleind tot 20 leerlingen in het normale onderwijs (zoals voorgenomen door het ministerie van OCW), dan zullen er in 2010 10.000 meer klaslokalen nodig zijn voor het basisonderwijs. De nieuw bij te bouwen lokalen worden niet meegenomen in deze studie.

3.3 Potentiële besparing

Het verbruik van de standaard oplossing voor klaslokalen met 8 maal een kale balk met 2 x 40W ligt op 12,3 W/m², uitgaande van een standaard klaslokaal van 7,2 x 7,2 x 3 m³ en gemiddeld 1500 branduren per jaar. De standaard oplossing van de RGD (met 8 armaturen met een geïnstalleerd vermogen van 58 W) levert daar al een besparing op

van 27,5% naar 9,0 W/m². Het gebruik van een hoogrendementarmatuur [HRA] met hoogfrequente [HF] voorschakeling zou het aantal armaturen kunnen verkleinen tot 6 van 50 W met een totaal geïnstalleerd vermogen van 340 W: een besparing van 54% t.o.v. de kale balk naar 6,6 W/m². Een extra besparing hierop van ongeveer 30% wordt bereikt wanneer tenslotte nog een daglichtafhankelijke regeling wordt toegepast: totale besparing 62% t.o.v. de kale balk tot 4,7 W/m².

Tabel 3.2: Totale energiegebruik voor 103.100 lokalen voor vier verlichtingssystemen.

Nr.	Beschrijving	Geïnstalleerd vermogen per m ²	Totaal energiegebruik per jaar	Geschat percentage
1.	8 armaturen à 2 x 40 W	12,3 W/m ²	98,6 GWh	50%
2.	8 armaturen à 58 W	9,0 W/m ²	72,2 GWh	20%
3.	6 HRA met HF à 50 W	6,6 W/m ²	52,9 GWh	30%
4.	6 HRA met HF à 50 W, daglichtregeling	4,7 W/m ²	37,7 GWh	0%

Naar schatting worden 80-90% van de Duitse klaslokalen verlicht door verouderde installaties aangebracht voor 1973 (Erhorn&Volle 1997). Het precieze aantal voor Nederland is niet bekend, daarom is er een kleinschalig onderzoek gedaan door een dertigtal scholen te benaderen voor een korte enquête. In totaal is voor 20 basisschoollokalen de verlichtings situatie in kaart gebracht, zie bijlage A. Op basis van deze steekproef is er in het kader van deze studie uitgegaan van een voorzichtige schatting van 50% nr. 1, 20% nr. 2, 30% nr. 3 en 0% nr. 4. De potentiële besparing in Nederland wordt daarmee ongeveer 40 GWh.

4. Randvoorwaarden bij het ontwerp

4.1 Zonwering en daglichttoetreding

In iedere ruimte waar gewerkt wordt, kan alleen optimaal gebruik gemaakt worden van daglicht als de ruimte voorzien is van een mogelijkheid het directe zonlicht te weren. Dit is zowel van belang vanuit het voorkomen van ongewenste visuele omstandigheden als vanuit thermisch oogpunt. Er zijn vele middelen voorhanden om het direct invallende zonlicht te weren en zo aan deze eis te voldoen, maar het weren van het directe zonlicht is lang niet altijd voldoende. Naast directe zoninstraling kunnen ook tal van andere externe helderheden voor hinder zorgen. Zo kan een ruit van een gebouw in de omgeving spiegelen, kunnen wolken hinderlijk helder worden, enzovoort. Vandaar dat naast zonwering vaak een mogelijkheid om helderheden te weren of te verminderen wenselijk kan zijn. Welke helderheidwering toegepast kan worden is onder andere afhankelijk van de vorm en de oriëntatie van het raam. Over het algemeen geldt dat een onderverdeling in twee delen (boven en onder) met een onafhankelijke regeling gunstig is.

Navraag bij experts uit de zonweringsbranche bevestigt de veronderstelling dat in schoollokalen het minimale wordt gedaan om de problemen met direct zonlicht en storende helderheden te reduceren. Bovendien gelden in de specifieke situatie van leslokalen belangrijke bouwkundige randvoorwaarden die het aantal haalbare oplossingen in de praktijk beperken. In de eerste plaats geldt voor leslokalen dat er te openen ramen zijn; meestal zijn dit naar buiten draaiende ramen of, in een enkel geval, schuif- of kiepramen (naar binnen). De grote glasvlakken en de daarbij horende grote maten van ramen beperken de mogelijkheden om rolgordijnen (screens) te gebruiken, omdat deze materialen aan maximale afmetingen gebonden zijn.

Twee vormen van zonwering komen in de praktijk voor:

- **Uitvalschermen aan de buitenzijde van de gevel.** Deze optie wordt vooral gekozen als er geen subsidie mogelijk is en de maatregel uit eigen middelen moet worden opgebracht. Voordeel is dat schermen een goed effect hebben op het thermisch klimaat; een nadeel is dat het daglicht gekleurd wordt door de stof van het scherm. Ook is een uitvalscherf wind- en regen gevoelig.
- **Horizontale lamellen binnen.** Meestal alleen toegepast als er subsidie verkregen is. Voordelen zijn dat met horizontale lamellen de daglichttoetreding in principe goed te regelen is en dat ze een goede helderheidwering bieden. Nadelen zijn dat de warmte binnenkomt en dat ze enigszins onderhoudsgevoelig (stof) zijn.

Naast deze in de praktijk voorkomende oplossingen zijn vele andere opties denkbaar, waarvan de meeste om technische of financiële redenen niet haalbaar zijn:

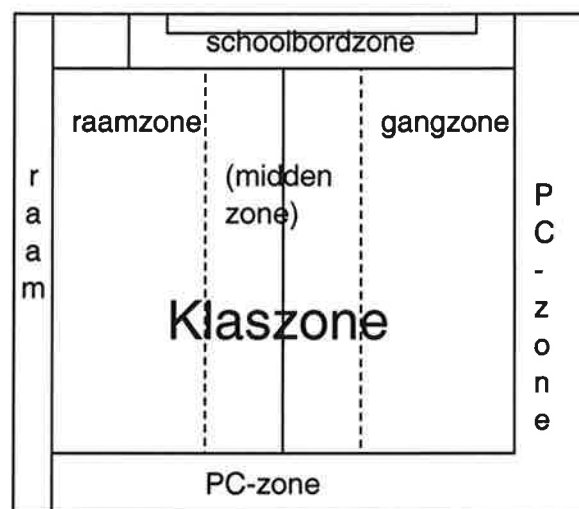
- **Screens en horizontale lamellen; buiten.** Vallen af door de reeds genoemde bouwkundige bezwaren (te grote glasvlakken en draaiende ramen).
- **Verticale lamellen; binnen.** Kunnen prettig zijn voor kleinere ruimtes met een of twee personen (directiekamer, lerarenkamer), maar in een grote ruimten met veel personen zoals een leslokaal is er voor iedere niet gesloten stand een risico op hinder voor een of meerdere personen, zodat in de praktijk zulke verticale lamellen vrijwel altijd gesloten worden.

Een goede optie kan zijn het toepassen van bouwkundige elementen als **vaste overstekken of lamellen** die voor hoge zonnestanden het directe zonlicht weren. Daarnaast kan voor ieder afzonderlijk lokaal een **goede detaillering van het raam**, rekening houdend met de omringende elementen, een goed daglichtklimaat bevorderen.

4.2 Algemene kunstverlichting in zones voor het basisonderwijs

Meestal worden in het hele klaslokaal breedstralende armaturen opgehangen evenwijdig aan het schoolbord om tegelijkertijd als bordverlichting te kunnen dienen. Gebaseerd op de verschillende taken die uitgevoerd worden, zou het beter zijn wanneer het klaslokaal voor het basisonderwijs in twee of drie werkgebieden onverdeeld zou worden:

1. Klaszone,
2. Schoolbordzone, en
3. eventueel PC-randzone.



Figuur 4.1 Schematisch overzicht van een klaslokaal in het basisonderwijs onderverdeeld in zones.

4.2.1 Klaszone

De klaszone bevindt zich in het midden van het lokaal en kan op zich ook weer onderverdeeld worden twee (of drie) zones in overeenstemming met de verdeling van het daglicht: de raamzone (dicht bij het raam), de gangzone (het verst van het raam) en eventueel de middenzone (tussen raam- en gangzone). De lampen in deze zones kunnen evenwijdig aan het raam opgehangen worden en onafhankelijk in- en uitgeschakeld worden.

4.2.2 Schoolbordzone

Ter hoogte van het schoolbord kunnen een of twee asymmetrisch stralende armaturen opgehangen worden die alleen het schoolbord verlichten.

4.2.3 PC-randzone

Vanwege het toenemende gebruik van computers in het onderwijs ligt het voor de hand dat in de toekomst in het basisonderwijs in ieder lokaal PC's aanwezig zullen zijn. De huidige, vaak toegepaste, breedstralende armaturen hebben bijna geen afscherming en zijn dus ongeschikt voor ruimten met beeldschermwerk. Beeldschermwerk vereist goed afgeschermd armaturen en goede helderheidwering voor het raam zodat hinderlijke reflecties en spiegelingen voorkomen worden.

4.3 Algemene kunstverlichting in zones voor het voortgezet onderwijs

Voor lokalen in het voortgezet onderwijs geldt dat de PC's naar alle waarschijnlijkheid in de toekomst een dominante plaats in het lokaal zullen krijgen: op de bureaus van de leerlingen. Wanneer hier rekening mee gehouden wordt zal de verlichting in de klaszone moeten zijn voorzien van voldoende afscherming. De onderverdeling van de Klaszone in twee of drie verlichtingzones parallel aan het raam en de verlichting van het schoolbord komen overeen met die in het basisonderwijs.

4.4 Regeling

Daglichtafhankelijke regeling werd tot op heden niet vaak toegepast omdat dan het tot gevolg had dat het schoolbord te donker werd. Wanneer zoals hierboven voorgesteld de bordverlichting apart geregeld wordt, kan voor de overige armaturen wel een daglichtafhankelijke regeling worden aangebracht.

In lokalen in het voortgezet onderwijs is het wellicht zinvol om gebruik te maken van afwezigheidsdetectie, zodat wanneer het lokaal niet gebruikt wordt tijdens een 'tussenuur' het licht automatisch uitschakelt.

5. Varianten

Alle varianten zullen bestaan uit een klaslokaal van $7.2 \times 7.2 \times 3.0 \text{ m}^3$ met een gevelvullend raam van 2.25 m hoog op het zuiden waarin zes armaturen zijn geïnstalleerd. In het lokaal worden 2 gebieden gedefinieerd: de bordzone en de klaszone. Als zonwering worden uitvalschermen toegepast en er zijn (rol)gordijnen aanwezig om lokalen helemaal te kunnen verduisteren wanneer er een presentatie getoond moet worden.

5.1 Basisoplossing

De basisoplossing is de nu meest gangbare verlichting in klaslokalen en is afgeleid uit de voorschriften van de RGD. De oplossing bestaat uit een gecombineerde verlichting voor algemene en bordverlichting: 2 rijen van 3 armaturen die parallel aan het schoolbord hangen. Een groot nadeel van deze oplossing is dat door de positie van de armaturen het niet mogelijk is gebruik te maken van daglichtafhankelijke regelingen. Bovendien heeft deze oplossing breedstralende armaturen, wat noodzakelijk is om het bord voldoende te belichten. Hierdoor zal echter bij het werken met beeldschermen hinderlijke spiegeling van de verlichting in het scherm optreden.

5.2 Nieuwe oplossing voor schoollokalen

Als variant op de basisoplossing is een oplossing ontwikkeld waarbij twee rijen van drie armaturen parallel aan het raam zorgen voor de algemene verlichting. Hierdoor is het mogelijk om daglichtafhankelijke regeling toe te passen zodat veel energie bespaard zal worden. Een goede afscherming zorgt er tevens voor dat zonder hinderlijke spiegelingen met beeldschermen gewerkt kan worden in de klas. Door het kiezen van deze energie-efficiënte algemene verlichting is het wel noodzakelijk een extra asymmetrisch armatuur te installeren voor verlichting van het schoolbord. De extra investering, ten opzichte van de RGD oplossing, die hiervoor nodig is, wordt in ongeveer 10 jaar terugverdiend door een daling van de energiekosten, zie tabel 5.2.

5.3 Berekening van luminantieverhoudingen en verlichtingssterkte

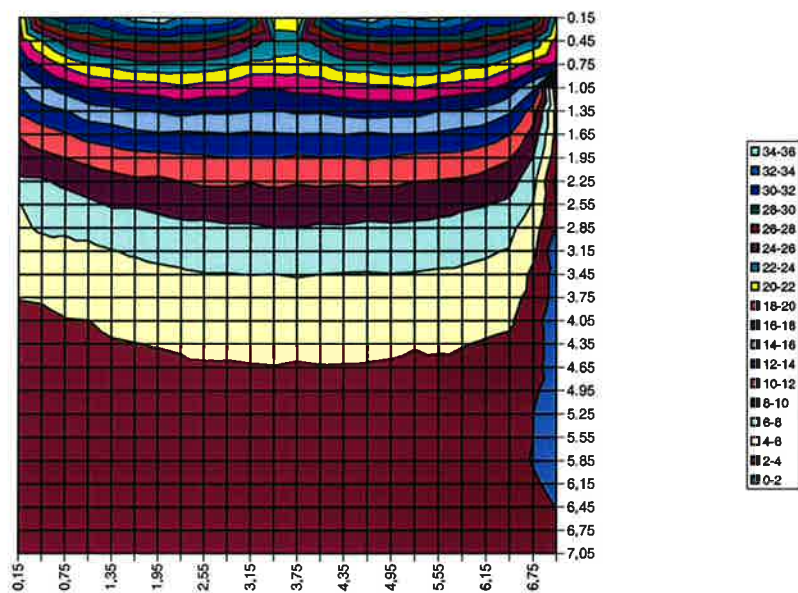
Met behulp van het programma Radiance, ontwikkeld bij LBNL in Berkeley (Californië), zijn berekeningen uitgevoerd om de verlichtingssterkte en luminatieverdeling in schoollokalen te bepalen voor de daglichtsituatie, de RGD oplossing en voor vier varianten van de nieuw ontwikkelde oplossing. Er is gevarieerd in lichtbron (dunne fluorescentie lamp (Philips TL5) en normale fluorescentie lamp (Philips TL8)) en in afscherming (beeldschermvriendelijk en normaal). Van de daglichtsituatie en van de in totaal dus vijf oplossingen voor elektrisch licht worden

twee views gepresenteerd: een waarop de wand met het bord en het raam zichtbaar is en een waarop de wand met de deur zichtbaar is. Hiermee kan een indruk worden verkregen van de luminantieverhoudingen op deze wanden. Verder is voor alle varianten de verlichtingssterkte op de vloer berekend van het daglicht en van het elektrisch licht. Deze resultaten zijn in diagramvorm weergegeven.

5.3.1 Daglichtsituatie



Figuur 5.1 Schoollokaal bij bewolkt weer, uitsluitend daglicht.

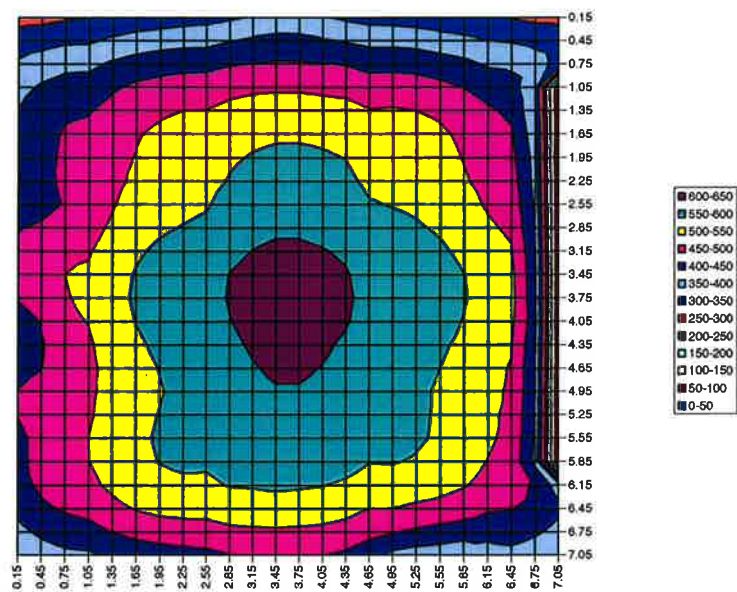


Figuur 5.2 Daglichtfactoren als functie van de plaats in het lokaal in % op werkvlakhoogte.

5.3.2 Verlichting volgens richtlijn RGD

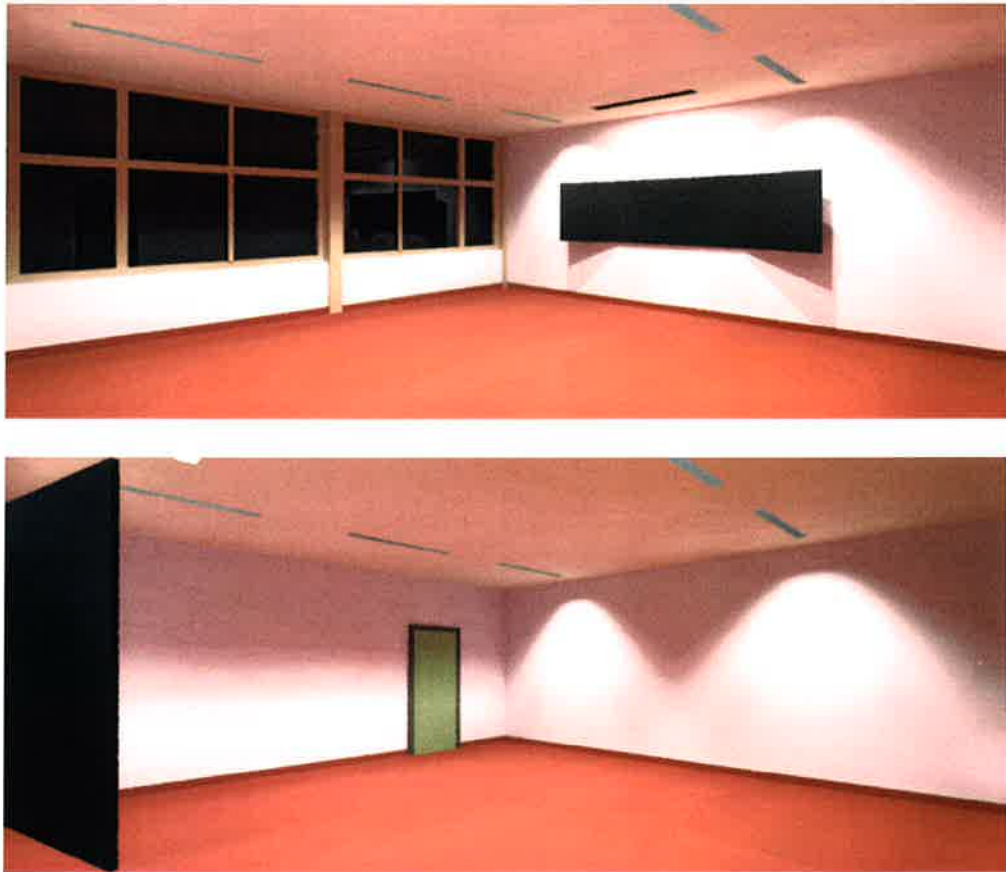


Figuur 5.3 Schoollokaal verlicht volgens richtlijn RGD.

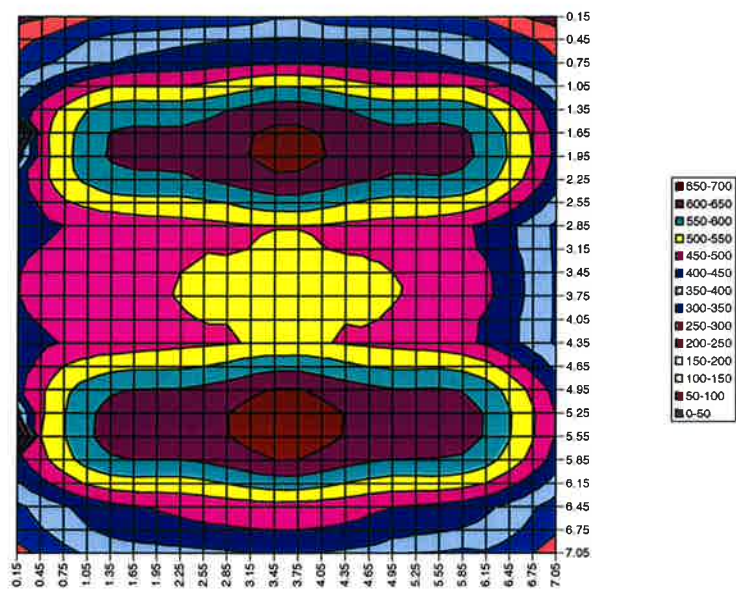


Figuur 5.4 Verlichtingssterkte in lux als functie van de plaats in het lokaal, RGD oplossing.

5.3.3 Variant met T5 en beeldschermvriendelijke afscherming

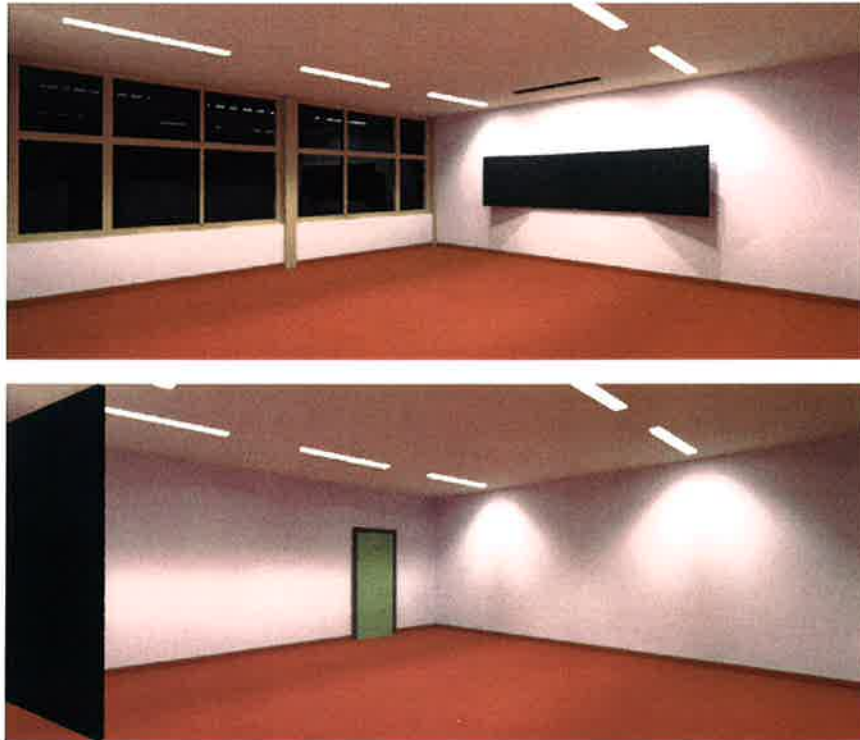


Figuur 5.5 Schoollokaal beeldscherm vriendelijk verlicht volgens nieuw concept met T5.

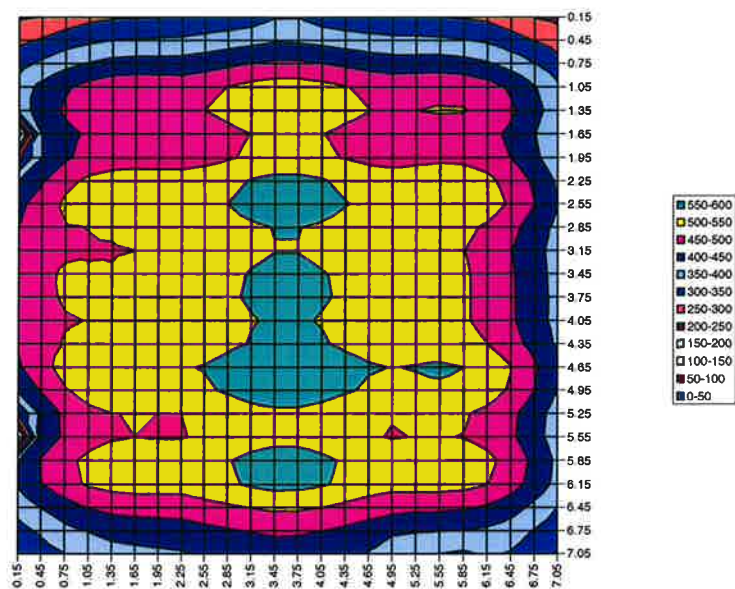


Figuur 5.6 Verlichtingssterkte in lux als functie van de plaats in het lokaal, beeldschermvriendelijk T5.

5.3.4 Variant met T5 en normale afscherming

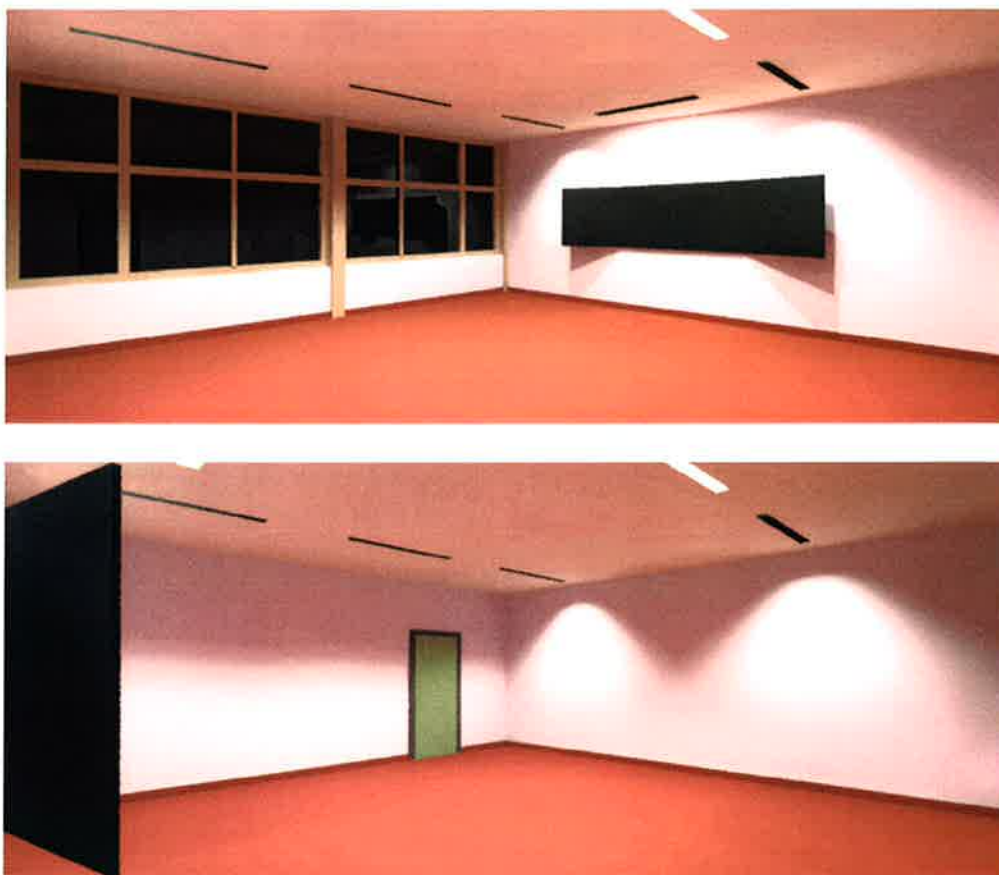


Figuur 5.7 Schoollokaal normaal verlicht volgens nieuw concept met T5.

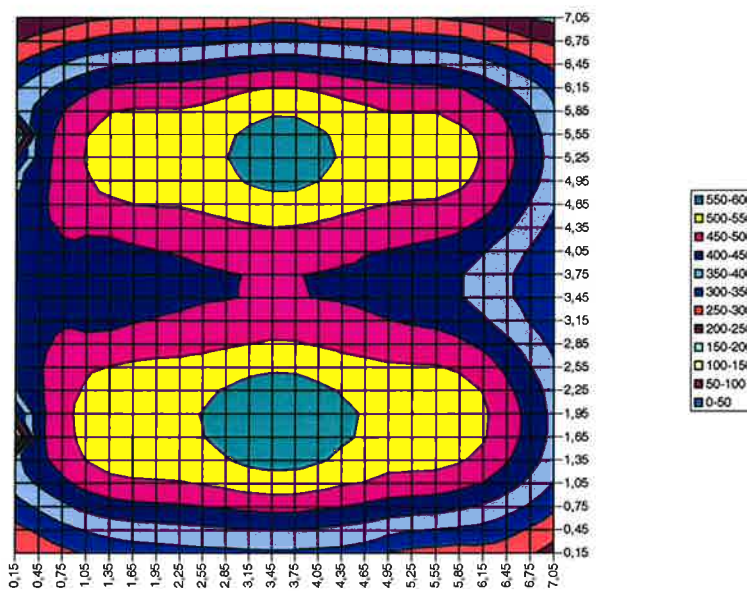


Figuur 5.8 Verlichtingssterkte in lux als functie van de plaats in het lokaal, normaal T5.

5.3.5 Variant met T8 en beeldschermvriendelijke afscherming

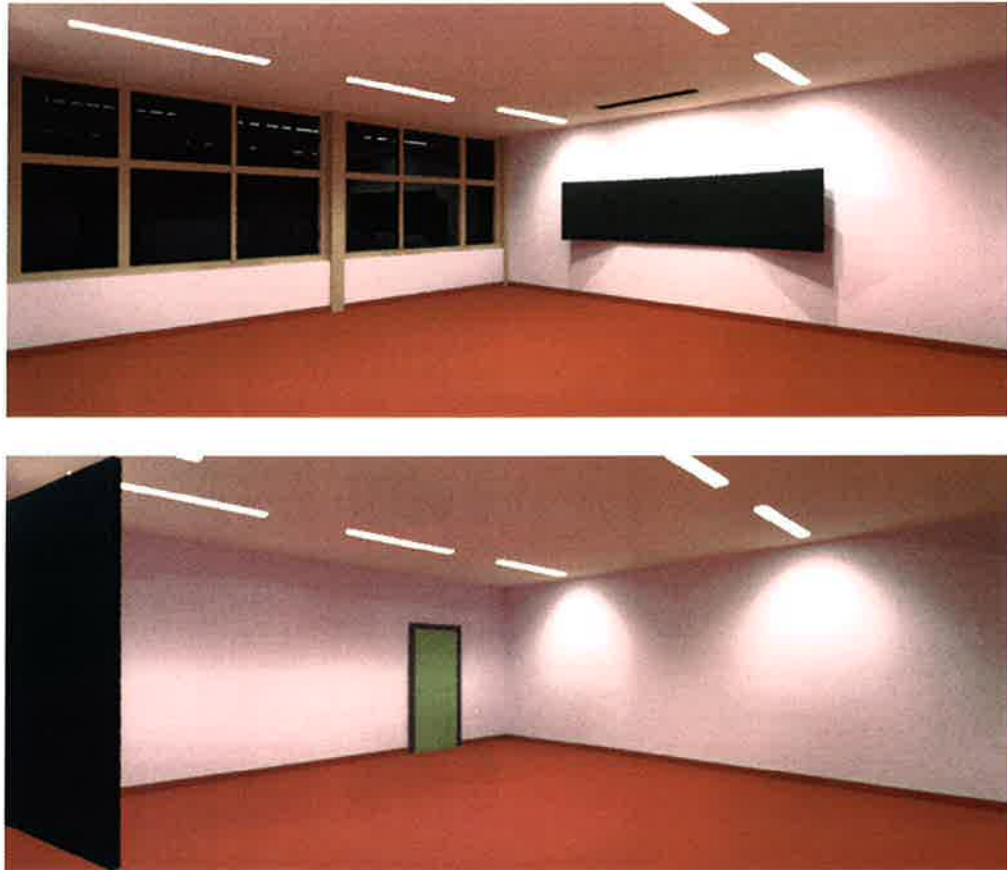


Figuur 5.9 Schoollokaal beeldschermvriendelijk verlicht volgens nieuw concept met T8.

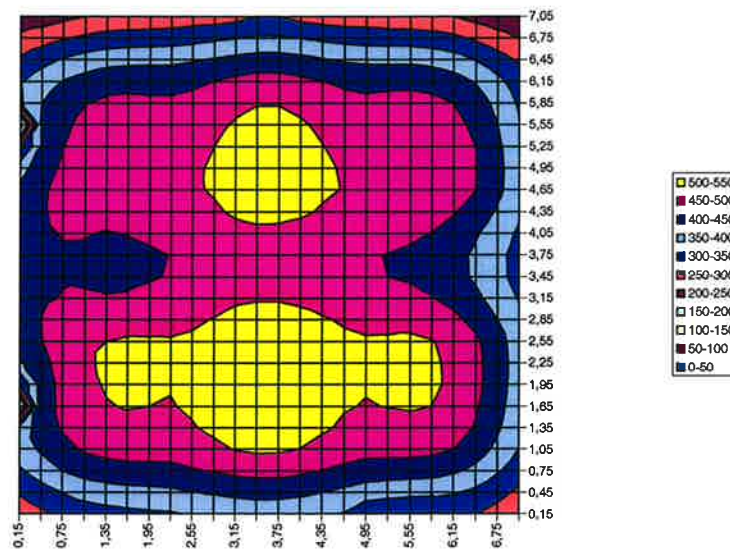


Figuur 5.10 Verlichtingssterkte in lux als functie van de plaats in het lokaal, beeldschermvriendelijk T8.

5.3.6 Variant met T8 en normale afscherming



Figuur 5.11 Schoollokaal normaal verlicht volgens nieuw concept met T8.



Figuur 5.12 Verlichtingsterkte in lux als functie van de plaats in het lokaal, normaal T8.

5.4 Vergelijking van varianten

In tabel 5.1 worden de resultaten van de berekeningen met elektrisch licht met elkaar vergeleken. De waarden voor de verlichtingssterkte op de vloer uit voorgaande diagrammen zijn hiervoor omgerekend naar waarden op werkvlakhoogte (75 cm).

De RGD oplossing blijkt een goede prestatie te leveren, maar de winst die gehaald kan worden uit een optimaal daglichtgebruik is uit deze tabel niet af te leiden. Wanneer de RGD-oplossing geïnstalleerd is zal continue al het elektrische licht zijn ingeschakeld, terwijl bij de andere oplossingen het elektrische licht wordt teruggedimd naarmate er voldoende daglicht is (gemiddeld met 50% voor de klaszone + ingeschakeld bordarmatuur: 220 Watt voor T8 of 209 Watt voor T5). Bovendien kan ervoor gekozen worden om alleen het bordarmatuur in te schakelen (55 voor T8 of 52 Watt voor T5).

Tabel 5.1 Vergelijking lichttechnische parameters.

Oplossing	Verlichtingssterkte op 75 cm hoogte				Aantal armaturen incl. bordverlichting	Vermogen [Watt]
	E_{gem}	E_{min}	E_{max}	E_{min}/E_{gem}		
RGD (conv)	530	387	617	0.73	6	330
T5 beeldscherm	538	358	680	0.67	7	365
T5 normaal	510	380	589	0.75	7	365
T8 beeldscherm	485	341	585	0.70	7	385
T8 normaal	474	348	542	0.73	7	385

In tabel 5.2 worden naast de verlichtingssterkte, de luminantieverhoudingen en het energiegebruik ook de initiële kosten en het comfort van de oplossing in beschouwing genomen voor een dagsituatie: combinatie van daglicht en elektrisch licht.

De duurdere oplossing met T5 lampen evenaart de prestatie van de RGD oplossing en is daarmee efficiënter dan de T8 lamp. Het valt op dat de beeldschermvriendelijke armaturen dieper stralen en dus een op sommige plaatsen een hogere verlichtingssterkte veroorzaken. De gelijkmatigheid is echter minder goed: in de hoeken is de verlichtingssterkte minder en ook de wanden worden minder gelijkmatig verlicht. De RGD-oplossing heeft een slechte score op het gebied van comfort, omdat over het algemeen het gebruik van daglicht door gebruikers als plezierig wordt ervaren. De beeldschermvriendelijke oplossing veroorzaakt de minste reflecties en is daarmee het meest comfortabel.

Tabel 5.2 Vergelijking van oplossingen op verlichtingscomfort

Oplossing	Verlichtingssterkte	Luminantie verhoudingen	Energie-efficiëntie	Comfort	Investeringskosten
RGD (conv)	++	++	--	--	+
T5 beeldscherm	++	+	++	+	-
T5 normaal	++	++	++	0	-
T8 beeldscherm	+	+	+	+	-
T8 normaal	+	++	+	0	-

6. Conclusies

Deze studie naar een nieuw verlichtingsconcept voor schoollokalen heeft als uitgangspunt de te verrichten taken in het lokaal genomen. Aan de hand van de analyse van de taken van de leraar en de leerling is een zonering van het lokaal ontwikkeld waarin een onderscheid is gemaakt tussen de bordzone en de klaszone. De klaszone is met het oog op het optimale gebruik van daglicht vervolgens weer onderverdeeld in twee zones parallel aan het raam. Ook is er vanwege het steeds toenemende gebruik van PC's in de klas een PC-zone geïdentificeerd langs de wanden van het lokaal.

Het nieuw ontwikkelde verlichtingsconcept bestaat uit twee rijen van drie armaturen parallel aan het raam voor de algemene verlichting, allemaal uitgerust met een daglichtafhankelijke regeling, en een extra asymmetrisch bordarmatuur. Wanneer in een klas met PC's wordt gewerkt kan gekozen worden voor een beeldschermvriendelijke afscherming van het armatuur, anders kan worden volstaan met een normale afscherming. Verder is er onderscheid gemaakt in het fluorescent lamptype: diameter van 16 mm (T5) of 26 mm (T8).

De berekeningen tonen aan dat de ontwikkelde nieuwe oplossing evengoed voldoet aan de wettelijk geëiste luminantie verdeling van 10:3:1 en minimale verlichtingssterkte van 300 lux als de RGD-oplossing. De oplossing creëert echter een energieefficiëntere en comfortabelere verlichtingssituatie dan de RGD oplossing. De hogere initiële kosten (ongeveer f 500,= per lokaal) kunnen in naar schatting in 10 jaar worden terugverdiend door een lager energiegebruik (ongeveer f 50,= per jaar minder). Deze aanname zal in het vervolgproject getoetst worden.

Dit vervolgproject behelst een demonstratie project waarbij in een bestaande basisschool een renovatie wordt uitgevoerd waarbij het nieuwe verlichtingsconcept wordt aangebracht. De bevindingen van deze oplossing zullen in kaart worden gebracht en vergeleken met de situatie in de schoollokalen voor de renovatie.

Eindhoven, 27 juni 2000

Dr.ir. E.H. de Groot
Auteur

Ir. W. Plokker
Afdelingshoofd Klimaatbeheersing

7. Referenties

- CBS (1999) Web-site van het Centraal Bureau voor de Statistiek: www.cbs.nl.
- CIBSE (1994) *Code for Interior Lighting*. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- Erhorn, H. en Volle, U. (1997) "Retrofitting in Commercial and Institutional Buildings" in *Proceedings of the IEA Future Buildings Forum Workshop*, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart.
- OCW (1999) Web-site van het Ministerie voor Onderwijs Cultuur en Wetenschappen: www.minocw.nl.
- Rea, M.S. (1993) "Educational Facility Lighting" hoofdstuk 16 in *Lighting Handbook; Reference & Application*. Publication department IESNA, New York.
- RGD (1999) *Bouwfysische Kwaliteit Rijkshuisvesting; Wettelijke Eisen en RGD-Richtlijnen*. Op internet www.rijksgebouwendienst.nl/bouwfys/bouwfysicatx.htm.
- SLG (1992) "Büro, Schule, Bibliothek" hoofdstuk II-2.2 in *Handbuch für Beleuchtung*. Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft.
- Zonneveldt, L., Ebben, J.H.C. en Haen, H.P.M. (1992) *Haalbaarheidsstudie naar Regeling van Kunstlicht in door Daglicht Verlichte Ruimten*. TNO-rapport B-91-0920, Centrum Bouwonderzoek TNO-TUE, Eindhoven.

Bijlage A: Resultaten van steekproef onder 20 basisscholen

Enquête naar verlichtingssystemen in basisscholen

School:

plaats

naam van de school

aantal klaslokalen

bouwjaar (of jaar van laatste renovatie)

Voor een willekeurig klaslokaal:

oriëntatie van het raam noorden/ oosten/ zuiden/ westen*

Zonwering

type rolgordijn/ luxaflex/ uitvalscherp*

bevestiging binnenkant/ buitenkant*

Behuizing van de lampen

aantal per klas

type reflector achter de lamp gelakt (wit of crème)/ spiegel
(metaalkleur)/ niets*

materiaal onder de lamp rooster/ gesloten kap/ niets*

oriëntatie t.o.v. het raam loodrecht/ parallel*

Lamp

aantal per behuizing

wattage per lamp W

schakelwijze conventioneel / elektronisch in nieuw
deel*

* doorhalen wat niet van toepassing is

Tabel A: Resultaten van de steekproef gehouden onder 20 basisscholen.

armatuur	20 %	lamp	20 %
4 stuks	1 5	< 250 Watt	1 5
6 stuks	11 55	250-350 Watt	3 15
8 stuks	4 20	350-450 Watt	3 15
9 stuks	3 15	450-550 Watt	3 15
12 stuks	1 5	550-650 Watt	2 10
reflector	20	650-750 Watt	7 35
gelakt	7 35	> 750 Watt	1 5
spiegel	9 45		
geen	4 20		
rooster	20	voorschakeling	20
rooster	14 70	conventioneel	13 65
kap	0 0	elektronisch	7 35
geen	6 30	zonwering	24
oriëntatie	20	uitval	14 58
parallel	12 60	luxaflex	7 29
loodrecht	5 25	rolgordijn	2 8
anders	3 15	gordijnen	1 4