

Zumtobel Research

De impact van variabel ruimtelicht op de productiviteit van permanente ochtendploegarbeidsters aan een industriële werkplek

Markus Canazei, Bartenbach GmbH, Aldrans | AT
Peter Dehoff, Zumtobel Lighting, Dornbirn | AT
Maart 2013

ISBN 978-3-902940-41-4



Zumtobel Research

De impact van variabel ruimtelicht op de productiviteit van permanente ochtendploegarbeidsters aan een industriële werkplek

Voorwoord		5
Samenvatting		6
1 Probleemstelling		8
2 Stand van de wetenschap		9
3 Onderzoekshypothesen		10
4 Onderzoeksmethoden	4.1 Keuze van de methoden	11
	4.2 Opbouw van de studie	13
	4.3 Beoordelings- en meetinstrumentarium	15
	4.4 Uitvoering van de studie	19
5 Resultaten		24
6 Beste praktijk		31
7 Discussie en toekomstperspectief		32
8 Literatuur		34
Kort portret van de partners/Onderzoekspartners/Sponsors		35



Industriële werkplekken bij Flextronics

De vraag naar de productiviteitswinst bij verbeterde arbeidsvoorwaarden wordt veelvuldig gesteld. Licht is daarbij een belangrijke factor. Licht zorgt immers niet alleen voor een verbetering van de visuele omstandigheden maar werkt ook in op onbewuste biologische functies. Bovendien is licht ook altijd een emotionele factor. Om een eventuele productiviteitswinst ook op een wetenschappelijk gefundeerde wijze te kunnen aantonen, worden niet alleen productiecijfers geëvalueerd; deze kunnen immers niet eenduidig naar een goede verlichting worden teruggevoerd. Daarom worden in deze studie veel grondigere methoden gebruikt om de impact op mensen te meten.

Opmerkelijk is dat met gewoon normconforme omstandigheden de arbeidstaken al fout- en klachtenvrij kunnen worden uitgevoerd. Des te verheugender is nog dat „met name een dynamisch variabele verlichting“ positief inwerkt op het nachtelijk slaapgedrag en op de reductie van stukbewerkingstijden en dus effectief tot een productiviteitsverhoging bijdraagt.

Samenvatting

In het kader van een veldstudie werden de psychofysiologische en productiviteitsgerelateerde effecten van een variabele ruimteverlichting bij arbeidsters in de fabriek van Flextronics in Althofen tijdens de ochtendploeg gemeten.

In de eerste studie (voorstudie) werden twee dynamische ruimteverlichtingen met elkaar vergeleken. De ene scène bood weinig maar waarneembare lichtveranderingen, een andere bood frequent optredende, niet waarneembare lichtsterkteveranderingen.

In de tweede studie werden op basis van een pilotstudie waarin 6 lichtsituaties werden getest, twee dynamische ruimtelichtsituaties voor de hoofdstudie geselecteerd. Deze beide dynamieken werden in een daglichtarme periode van het jaar gedurende een hoofdstudie van 9 weken met behulp van multidisciplinaire meetmethoden (bijv. arbeidspsychologische vragenlijsten, elektrocardiografie, actigrafie en de registratie van specifieke productiviteitscijfers) vergeleken met een standaardverlichting conform EN 12464-1.

Omdat er zich in het arbeidsproces duidelijke storingen voordeden (bijv. verandering van de arbeidstijd en van de arbeidsteams) vloeiden in de gegevensanalyse verschillende 'sample sizes' in.

Bij de beide dynamische ruimteverlichtingen lag in vergelijking met de standaardverlichting de vagustonus* van de arbeidsters in het eerste en laatste derde deel van de werktijd van de ochtendploeg hoger. Bovendien kon er onder beide ruimteverlichtingen een duidelijk verbeterde slaapkwaliteit worden opgetekend.

Ook zorgde een waarneembare lichtsterktedynamiek in de productiehoeveelheid tegen het einde van de shift voor een meer positieve gemoedstoestand. Daarentegen was de lichamelijke activiteit tijdens de ochtendploeg onder een ruimteverlichting met een niet waarneembare lichtsterktedynamiek beduidend geringer.

In studie 1 was het omwille van de uitgekende arbeidsorganisatie aanvankelijk niet mogelijk om op eenvoudige wijze de eventuele invloed van de ruimteverlichting op de productiviteit van de arbeidsters te meten. Een evaluatie van de relatieve gemiddelde stukbewerkingstijd wees voor de winter op een met 4 % gestegen productiviteit.

Samenvattend kunnen we vaststellen dat een variabele ruimteverlichting die verder gaat dan de standaardverlichting zowel tijdens de ochtendploeg als ook 's nachts positief inwerkt op de arbeidende mens. Tot slot maakt deze veldstudie duidelijk dat het meten van de invloed van de ruimteverlichting op de productiviteit van de arbeidsters in een moderne productieonderneming weliswaar door de heersende rigide arbeidsorganisatie sterk wordt gemaskeerd maar toch tot een makkelijker en snellere beheersing van de arbeidstaken leidt.

* Vagustonus: spannings- resp. opwindingstoestand van het parasympathische zenuwstelsel dat overwegend door de nervus vagus wordt beïnvloed.

Dit onderzoeksproject werd uitgevoerd in het kader van het Competentiecentrum k-Licht. Het werd mee uitgevoerd door interdisciplinaire partners. k-Licht werd door de federale en regionale overheden (zie laatste pagina) ondersteund.

De eerste onderzoeken gingen in 2006 van start. De talrijke gegevens werden na afloop van alle onderzoeken en buiten de subsidiëringfase om geëvalueerd. De studie werd nog gevolgd door een aansluitende laboratoriumstudie (zie studie „Laboratoriumexperiment over de beïnvloeding van de productiviteit door de inwerking van dynamisch licht“). De resultaten van de eerste studie bij Flextronics werden in het wetenschappelijk uiterst gerenommeerde vaktijdschrift „Lighting Research & Technology“ gepubliceerd.



1 Probleemstelling

In een productiebedrijf geldt een uitspraak over de productiviteit als een belangrijke prestatieparameter. De verhoging van de productiviteit door de invloed van de verlichting meten blijkt echter geen makkelijke opgave te zijn. Wanneer een verhoging wordt vastgesteld, is deze vaak tot een veelvoud van invloeden terug te voeren.

Voor de verlichting bestaan er vele mogelijkheden om gewoon al door een normconforme statische verlichting goede visuele voorwaarden te creëren. Voor dynamische lichtscenario's bestaat de mogelijkheid om de verlichting qua lichtsterkte of kleurtemperatuur te veranderen. Deze veranderingen kunnen elkaar snel of langzaam opvolgen en ze kunnen daarbij waarneembaar of niet waarneembaar zijn.

De impact op de arbeidsters kan aan de hand van verschillende bevragingen en metingen worden nagegaan. Een interdisciplinaire onderzoeksaanpak waarbij specialisten uit de disciplines psychologie, ergonomie, geneeskunde en lichttechniek samen een meetinstrumentarium hanteren dat de effecten op de gemoedstoestand en het stressniveau, de prestatiebereidheid en de slaapkwaliteit, het herstellvermogen na het werk en de kwaliteit van de verlichtingssituatie beschrijft en evalueert, blijkt een goede aanpak te zijn.

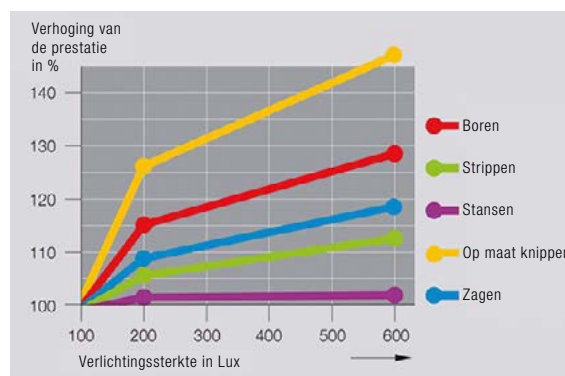
Tenslotte moet een bedrijf ook bereid zijn om de onderzoeken te laten uitvoeren.



Wetenschappers zijn het erover eens dat licht een aanzienlijke invloed heeft op de visuele prestaties en de gemoedstoestand van de werkende mens. Indirect heeft een goede lichtkwaliteit daardoor ook een impact op de productiviteit. Bij te geringe verlichtingssterktes ligt het foutpercentage beduidend hoger (Völker). Voor eenvoudige manuele taken verminderen deze foutpercentages pas vanaf een verlichtingssterkte van ongeveer 500 lx. Juslén heeft aangetoond dat bij het verhogen van de verlichtingssterkte van 800 lx naar 1 200 lx de productiviteit in de winter tijdens de ochtendploeg door kortere bewerkingstijden met ongeveer 4,7 % verbetert terwijl in de zomer geen effecten merkbaar waren (Juslén). Hij heeft zijn onderzoeken in talrijke industriebedrijven met verschillende verlichtingsinstallaties uitgevoerd.

Het observeren van de impact van licht op de mens is een vakgebied van verschillende wetenschapsdisciplines zoals psychologie, geneeskunde, ergonomie en lichttechniek. In het kader van een voorproject van k-Licht konden vragenlijsten, medische onderzoeken, observaties en metingen worden samengebracht. Daaruit ontstond een instrumentarium om in een industriebedrijf onder reële omstandigheden een veldstudie uit te voeren.

De evaluaties van het voorproject in het Competentiecentrum Licht toonden aan dat met een dynamische algemene verlichting zowel de psychofysiologie van de werkende mensen als ook hun productiviteit positief werden beïnvloed. Daarbij werden de lichteffecten van heel langzame lichtsterktewijzigingen, zoals die zich op een onbewolkte dag voordoen, gemeten. Uit de resultaten van dit onderzoek kon de vraagstelling voor deze veldstudie worden afgeleid, met name of snellere lichtsterktewijzigingen (binnen enkele minuten tot maximaal een half uur) met een hoge lichtsterktedynamiek (variatie tussen 1 000 en 2 000 resp. 3 000 lx horizontale verlichtingssterkte binnen het werkbereik) de impact van het lichteffect nog konden versterken.



3 Onderzoekshypothesen

Het doel van dit project was om de invloed van een sterk variabele algemene verlichting op de psychofysiologische gemoedstoestand en de productiviteit van de arbeidsters in een productieonderneming kwantitatief te meten.

Variabel licht is een ruimtelicht dat tijdgebonden varieert op het vlak van:

- lichtsterkte (verlichtingssterkte)
- lichtkleur (lichtspectrum)
- lichtverdeling (lichtsterkteverdeling in de ruimte)

In de eerste plaats moesten daarbij de rechtstreekse effecten van een variabele ruimteverlichting tijdens de ochtendploeg gemeten worden. De gegevensopname voor deze studie gebeurde bewust in de donkere periode van het jaar. Hierdoor verwachtte men sterkere effecten van het kunstlicht op de mens omdat de natuurlijke invloed van daglicht buiten de werktijd in dit jaargetijde zwak is.

De primordiale opgave was om verschillende sterk dynamische licht-situaties te ontwikkelen die aan de beide volgende vereisten voldoen:

1. Ze moeten psychofysiologische effecten teweegbrengen en
2. door de arbeidsters geaccepteerd worden

Dit vormt in veel tot hertoe gepubliceerde onderzoeksstudies over de impact van licht een onverenigbaar antoniemenpaar.

4.1 Keuze van de methoden

Het onderzoek werd in twee fasen, een pilootstudie en een hoofdstudie, uitgevoerd.

Het doel van de **pilootstudie** was om zes verschillende lichtscenario's, die telkens gedurende een week werden voorgeschoteld, te laten beoordelen op het vlak van aanvaarding en verdraaglijkheid bij het dagelijks werk.

Voor aanvang van de pilootstudie werden nog een **ergonomische beoordeling** van de betreffende werkplekken en een categorisering hiervan naar specifieke arbeidstaken toe doorgevoerd. Aansluitend werden die werkplekken geselecteerd aan dewelke binnen de piloot- en hoofdstudie psychofysiologische gegevens van arbeidsters moesten worden opgenomen.

De observaties vonden in de zomer en in de winter plaats. 24–29 vrouwelijke proefpersonen, waarvan 61 % ouder was dan 40, namen aan het onderzoek deel.

Parallel met de ergonomische evaluatie werd samen met de productiechef aan de registratie van de **productiekengetallen** van de geselecteerde werkplekken gewerkt. De werkplekken werden in groepen onderverdeeld (lijnproductie), waarbij deze telkens aan hetzelfde product werkten. Het bleek dat uit het dagelijks bewerkte aantal stukken per arbeidsgroep en de daarvoor benodigde arbeidstijd een relatieve bewerkingstijd per stuk kan worden berekend. Dit kengetal kan plaatsvervangend de productiviteit van een arbeidsgroep voorstellen.

Vaak worden in studies over de biologische werking van licht de aan licht blootgestelde personen niet over de kwaliteit van de verlichting bevraagd. Dit is nochtans een bepalend aspect voor de toekomstige inzetbaarheid en toepasbaarheid van binnenverlichtingen en kan vooral bij zeer snelle lichtsterkteveranderingen van de binnenverlichting tot visuele, cognitieve en fysiologische storingen leiden.

De evaluatie van de bevragingen vergemakkelijkte het uitwerken resp. selecteren van twee lichtsturingsalgoritmen voor een dynamische ruimteverlichting waarvan de psychofysiologische impact in het kader van de hoofdstudie met een controlelichtsituatie kon worden vergeleken.

Omdat de arbeidsters niet mochten waarnemen wanneer precies de ruimtelichtsituatie werd veranderd, werd elke zaterdag, dus buiten de werkuren, de lichtsturing in de ruimte geprogrammeerd.

Er zijn veelvuldige, niet lichtafhankelijke invloeden op de studieresultaten die slechts heel moeilijk tot zelfs helemaal niet te controleren zijn, zoals bijvoorbeeld ziektes van arbeidsters, bijkomende familiale belastingen buiten de werkuren, de onverwachte toename van nieuwe werkorders, machineschade of problemen met de materiaal aankoop. Deze effecten overlappen sterk de psychofysiologische effecten die vanuit de algemene verlichting kunnen worden gerealiseerd. Omdat door de onderzoeksleidster ter plaatse dergelijke gebeurtenissen uiterst nauwkeurig werden gedocumenteerd, konden de opgetekende gegevens voor aanvang van de analyse in grote mate uitgefilterd worden.

Voor en na de hoofdstudie werd de **medisch/fysische en arbeidspsychologische** status van de deelnemers aan de studie in het kader van een arbeidsgeneeskundig onderzoek van een half uur bepaald. Deze maatregel maakte opnieuw een nauwkeurige controle van arbeidstergebonden storingsfactoren op de studieresultaten mogelijk.

Een andere maatregel voor het reduceren van de storingsparameters was het implementeren van een onderzoeksontwerp met op **korte termijn terugkerende metingen**. Zo werden de drie lichtsituaties elk drie maal gedurende telkens één week op gerandomiseerde wijze aangeboden.

Frequentere wisselingen tussen de lichtsituaties bieden mogelijk ook het voordeel dat de arbeidsters zich een minder sterke mening over de ruimtelichtsituatie kunnen vormen.

Samengevat kan men stellen dat een **gerandomiseerde, gecontroleerde dubbelblinde** studie met een **3 x 3 cross-overdesign** werd geïmplementeerd. Een dergelijk studieontwerp wordt ook in farmacologische onderzoeken graag gebruikt en geldt vandaag als een van de meest wetenschappelijke standaarden inzake onderzoeksmethodiek.

Naast de opname van subjectieve gegevens via vragenlijsten werd gedurende de hele shift de hartactiviteit opgetekend met behulp van een makkelijk aanpasbare en gebruikersvriendelijke borstgordel. Bovendien werd via een aan de pols gedragen monitoringsysteem (actigraf) van maandag voor aanvang van de ochtendploeg tot vrijdag na het einde van de ochtendploeg de lichamelijke activiteit (ook buiten het werk) doorlopend geregistreerd.

De vijftien beschikbare monitoringsystemen en borstgordels werden daarbij zo over de deelnemers aan de studie verdeeld dat per lichtsituatie telkens voldoende hart- en activiteitsgegevens werden opgetekend.

Elke zaterdag werd de lichtsituatie voor de komende arbeidsweek ingesteld zodat de deelnemers aan de studie niet mee konden opvolgen welke lichtsituatie werd ingesteld.

4.2 Opbouw van de studie

Ruimte

De productiefirma richtte een nieuwe productiehal in. Parallel daarmee moest een nieuwe algemene verlichting worden geïnstalleerd. Bijzonder aan de inrichting van de productiehal waren de witte wanden en vloeren. De motivering voor de keuze van de kleuren van de ruimtebegrenzende vlakken lag in het feit dat in deze productiehal het beeld van een zeer zuivere werkplek waaraan medische producten worden vervaardigd, moest worden gecreëerd – dit speelt een belangrijke rol bij het bezoek van opdrachtgevers aan de firma Flextronics.



Productiehal kort na de lichtinstallatie in 2005. De arbeidshal is daarbij nog niet volledig ingericht en de verschillende delen van de hal zijn voor de demonstratie bewust met twee verschillende lichtsituaties verlicht om de verschillende kleurtemperaturen te tonen.

Interventie in het ruimtelicht

In de productiehal werden de armaturen TECTON RC 2/54 W met fluorescentielampen in lichtkleur 4 000 K ($R_a > 80$) en met de lichtsturing „EMOTION-Touch“ toegepast. De verlichtingsinstallatie beantwoordde aan ÖNORM EN 12464-1 (bijv. verblindingsbescherming $UGR < 19$). De sturing gebeurde automatisch, de arbeidsters konden dus niet ingrijpen in de verlichting. Alleen het in- en uitschakelen voor resp. na de ploegdiensten was manueel mogelijk.

Aan de vensters (aangebracht aan de noordwestelijke kant van het gebouw) werden folieschermen met een transmissiegraad van 13 % gemonteerd. Daarmee kon een band met de situatie buiten in stand worden gehouden (de daglichtquotiënt was $\leq 2\%$) en kon de invloed van variabele daglichthoeveelheden goed gecontroleerd worden. Aan de verschillende werkplekken was daardoor binnen het werkbereik slechts voor 30 tot 150 lx horizontale verlichtingssterkte aan extra daglicht meetbaar.

Verloop in tijd

De studie is opgedeeld in drie stadia. Eerst was er de **ontwikkeling** van de uit te testen uiterst **dynamische lichtscenario's**, aansluitend was er de **pilootstudie** met 6 geselecteerde dynamische lichtscenario's.

De pilootstudie diende vooral twee doelstellingen te realiseren:

1. Nagaan of de nieuwe dynamische lightsituaties aanvaard worden resp. vaststellen welke lightsituaties beter worden aanvaard.
2. Controle van de opgemeten productiviteitsgegevens op hun bruikbaarheid en verwerkbaarheid, uittesten van de dagelijkse gegevenstransmissie via de php-server van de firma Bartenbach en uitwerking van een evaluatiestrategie.

Op basis van de resultaten van de pilootfase werden twee van deze zes lichtscenario's uitgekozen en samen met een referentielicht (normconform licht) in de **hoofdstudie** getest.

Ontwikkeling van zeer dynamische lichtscenario's

Het doel van het ontwikkelingswerk was het ontwerpen van meerdere lichtscenario's met een hoge lichtsterktedynamiek die ten dele waargenomen moest worden. Dit wordt gemotiveerd door het feit dat bewust waarneembare lichtveranderingen een zekere verwachting creëren en zodoende een andere subjectieve beoordeling krijgen dan niet bewust waarneembare lichtveranderingen.

In het kader van dit project verstaat men onder een **dynamische lightsituatie** dat niet de lichtkleur maar uitsluitend de verlichtingssterkte van de algemene verlichting met de tijd verandert. De lichtkleur van de primaire lichtbron (fluorescentielamp) bedroeg altijd 4000 K.

De laagste waarde van elke dynamische lightsituatie was de door de norm voorgeschreven verlichtingssterkte van 1000 lx. De hoogste lichtsterkte in het dynamische verloop was een gemiddelde horizontale verlichtingssterkte van 3000 lx binnen het werkbereik.

Over het algemeen varieerden daarbij zowel de duur, het tijdstip als de omvang van de lichtsterktedynamiek.

Voor de pilootstudie werden drie zeer dynamische lichtscenario's ontwikkeld, met één niet waarneembare en twee waarneembare lichtsterkteveranderingen.

4.3 Beoordelings- en meetinstrumentarium

Het onderzoeksinstrumentarium kan per discipline als volgt worden opgedeeld:

Arbeidpsychologie

Vragenlijsten over stresservaring, gemoedstoestand, chronotype, slaap en het uitgeslapen zijn

Arbeidsgeneeskunde

Medisch/fysische status en sociale anamnese, meting van hartslagfrequentie, lichamelijke activiteit

Productie

Persoonsgebonden optekening van het aantal bewerkte stukken en de benodigde tijd hiervoor

Ergonomie

Ergonomische evaluatie van de werkplek

Lichttechniek

Lichttechnische documentatie, vragenlijst over lichtkwaliteit

Het onderzoeksinstrumentarium kan per discipline als volgt worden opgedeeld:

Meetparameters I

Vragenlijst over spontane gemoedstoestand

Met deze vragenlijst moest de invloed van de onderzochte lichtsituaties op de spontane gemoedstoestand en op specifieke aspecten van de sociale interactie van de arbeidsters (bijv. openheid naar anderen toe, agressiviteit, enz.) worden opgemeten. Omdat de vragenlijst per werkdag telkens driemaal werd voorgelegd, kon een tijdsgebonden verandering van de opgenomen parameters mee opgetekend worden.

Dagboek over de slaapkwaliteit en de mate waarin men zich 's ochtends uitgeslapen voelt

Het dagboek werd elke dag voor aanvang van het werk voorgelegd en bestond uit twee beoordelingsschalen met 7 trappen over de slaapkwaliteit van de voorbije nacht en over de mate waarin de arbeidsters zich voor aanvang van het werk al dan niet uitgeslapen voelen. Met dit dagboek moesten de langeretermijneffecten van de ruimteverlichtingen op de slaap en het nachtelijke herstelvermogen worden opgemeten. Omdat de bevraging elke dag gebeurde, kan een wekelijks verloop worden gekwantificeerd.

Meetparameters II

Vragenlijsten over de lichtkwaliteit

Voor het opmeten van de lichtkwaliteit werden elke woensdag en vrijdag na afloop van de ochtendploeg vragenlijsten voorgelegd. De vragenlijsten moesten nagaan in welke mate de onderzochte dynamische lichtsituaties in vergelijking met een standaardverlichting de kwaliteit van het ruimtelicht in een daglichtarm seizoen beïnvloeden. De aanvaarding van variabele lichtsterktescenario's werd tot op heden nog niet in arbeidsomgevingen onderzocht en moest dan ook voor het eerst in een veldstudie worden opgemeten.

Registratie van de lichamelijke activiteit en de lichtdosis de klok rond

Voor het registreren van de lichamelijke activiteit en van de dagelijkse lichtdosis waaraan de arbeidsters worden blootgesteld, werd een meetsysteem in de vorm van een aan de pols te dragen „horloge“ met een hoge gebruiksvriendelijkheid (bijv. stootbestendig, waterdicht) gebruikt.

Daarmee werd een niet invasieve, doorlopende registratie van de beide meeteenheden van maandag 5:45 uur tot vrijdag 14.00 uur mogelijk. In veel onderzoeksprojecten naar de impact van licht kon worden aangetoond dat deze beide meeteenheden duidelijk een rechtstreeks lichteffect op de mens kunnen hebben.

Naast de doorlopende registratie van de dagactiviteit van de deelnemers aan de studie tijdens het werk waren we ook geïnteresseerd in hun activiteitsgraad na het werk (dit geldt als een storingsfactor voor de invloed van het ruimtelicht in de productiehal). Verder kon met dit monitoringsysteem de nachtactiviteit als indicator voor de slaapkwaliteit (tijdstip van inslapen en ontwakken, wakker worden 's nachts, totale mate van nachtelijke activiteit) zeer nauwkeurig worden opgemeten.

Naast de lichamelijke activiteit werd als tweede meeteenheid de tijdsgerelateerde lichthoeveelheid opgetekend. Daarmee kon de lichtexpositie tijdens de werkpauzes buiten de productiehal, na het werk (d.w.z. de bijkomende expositie aan daglicht) en 's nachts als mogelijke storingsfactoren voor de studie worden opgemeten.

Meting van de hartslagfrequentie

In de periodes van ploegenwerk werd gedurende een periode van 24 uur de hartslagfrequentie met behulp van comfortabel te dragen borstgordels geregistreerd. Zo werd het mogelijk om de invloed van de ruimtelichtsituatie op de autonome regulering van de deelnemers aan de studie te meten.

Productiekengetal bewerkingstijd

Door de bewerkingstijd op te meten, moest de invloed van de ruimteverlichting op een centraal productiekengetal worden aangetoond. Een verhoogde productiviteit door een interventie in het ruimtelicht zou voor de investeerder de beste rechtvaardiging zijn voor een hogere investeringsom en hogere bedrijfskosten.

Storingsfactoren

Vragenlijst over de chronische stresservaring

Deze vragenlijst werd aan de deelnemers van de studie voor aanvang en na afloop van de hoofdstudie voorgelegd om hun werkgerelateerde chronische stressbelasting op te meten. De schaalwaarden van deze vragenlijst moesten per persoon voor de beide metingen zo constant mogelijk worden gehouden.

Vragenlijst over de slaapkwaliteit

Omdat de slaapkwaliteit een belangrijke impact heeft op de psychofysiologische effecten van verschillende lichtexposities, werd deze slaapkwaliteit via een gestandaardiseerde vragenlijst vlak voor en na de hoofdstudie opgemeten. Deze registratie moest er niet toe dienen om arbeidsters van deelname aan de studie uit te sluiten (door verhoogde schaalwaarden) maar wel om aan te tonen dat hun slaapkwaliteit in de periode van de gegevensopname niet significant veranderde.

Vragenlijst over de arbeidsomstandigheden

Deze vragenlijst werd aan de deelnemers van de studie voor aanvang en na afloop van de hoofdstudie voorgelegd om hun werkplekgerelateerde arbeidsomstandigheden op te meten. De schaalwaarden van deze vragenlijst moesten per persoon voor de beide metingen bij alle proefpersonen zo constant mogelijk worden gehouden.

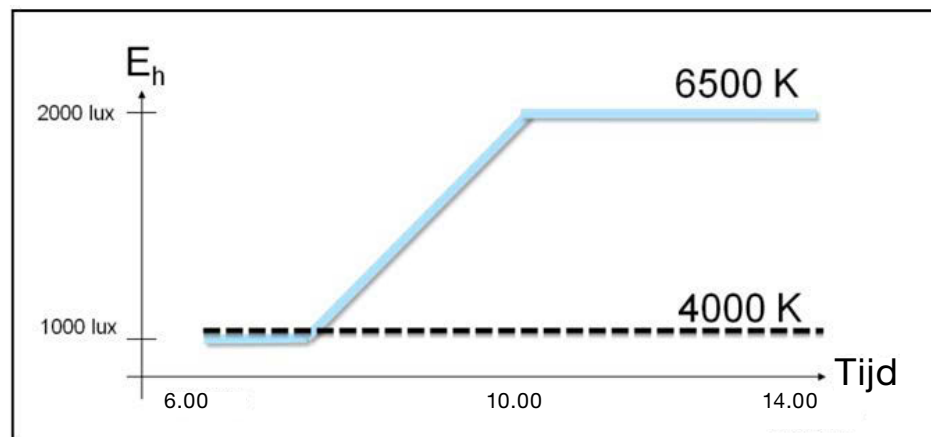
In totaal werden voor de arbeidpsychologische, arbeidsgeneeskundige, ergonomische en lichttechnische onderzoeken de volgende bevraging- en meetinstrumenten gebruikt:

- Vragenlijst „Analyse van de arbeidsomstandigheden in het bedrijf“ (IMPULS)
- Vragenlijst „Inventaris van Trier inzake chronische stress“ (TICS)
- Vragenlijst „Beoordeling op schaal van gemoedstoestand“ (BSKE)
- Vragenlijst „Pittsburgh slaapkwaliteitindex“ (PSQI)
- Wekelijks dagboek over de „slaapkwaliteit en de mate waarin men zich 's ochtends uitgeslapen voelt“ (FBWTB)
- Vragenlijst over de lichtkwaliteit (FQL-2)
- Vragenlijst „Morningness-Eveningness Questionnaire“ (MEQ-SA)
- Productiekenngetallen
- Monitoringsysteem voor de registratie van de lichamelijke activiteit en de lichtdosis
- Registratie van de activiteit van het autonome zenuwstelsel
- Ergonomische evaluatie aan de hand van een plaatsbezoek

4.4 Uitvoering van de studie

In het voorproject van k-Licht, dat reeds in „Lighting Research and Technology“ werd gepubliceerd, werden de psychofysiologische lichteffecten van twee ruimtelichtsituaties met elkaar vergeleken. Een daarvan was een constant licht met een horizontale verlichtingssterkte van 1000 lx binnen het werkbereik en met een lichtkleur van 4000K. De tweede lightsituatie was een primaire lichtkleur van 6500 K en een dynamisch lichtsterkteverloop.

Zo heerste er tussen 06.00 en 08.00 uur een horizontale verlichtingssterkte binnen het werkbereik van 1000 lx. Aansluitend hierop werd over een periode van twee uur (dus onmerkbaar) de lichtsterkte in de productiehhal verdubbeld. Deze hogere lichtsterkte bleef tot aan het einde van de ochtendploeg doorlopen. Dit verloop van de lichtsterkte ging uit van de idee om het lichtsterkteverloop van het daglicht bij een heldere hemel in de productiehhal met kunstlicht na te bootsen.



Lightsituatie A: normconform licht, 4000 K (3859 K aan de ogen)
 Lightsituatie B: testlicht, 6500 K (6398 K aan de ogen), in het voorproject

In het voorproject werden de psychofysiologische lichteffecten van elk van beide lightsituaties telkens gedurende een maand in de zomer en een maand in de winter gemeten.

Bij de analyse van de studiegegevens kon in de winter bij een dynamische verlichting een verbetering van de productiviteit worden vastgesteld (verkorting van de bewerkingstijd met 4 %). Bovendien kon ook weer voor de wintermaanden worden aangetoond dat zowel het fysiologische herstel tijdens de slaap alsook de gemoedstoestand van de ploegarbeiders aan het einde van de shift bij een dynamische verlichting significant beter waren dan bij de normconforme verlichting.

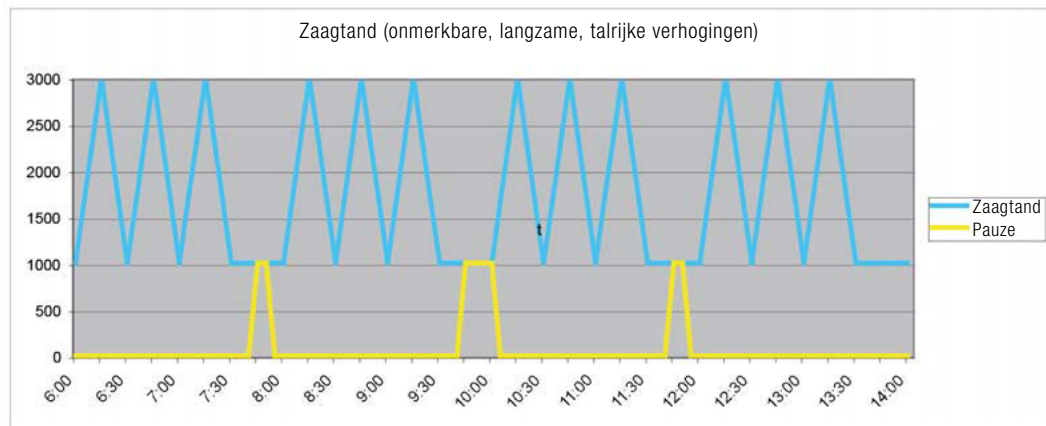
Lightsituaties in de pilootstudie

De zes lightsituaties van de pilootstudie kunnen in drie groepen worden onderverdeeld:

- ruimtelicht met een niet waarneembare lichtsterktedynamiek
- ruimtelicht met een waarneembare lichtsterktedynamiek
- constant ruimtelicht

Meervoudige korte, niet waarneembare lichtsterkteovergangen („zaagtand“)

Veranderingen van lichtsterkte binnen dertien cycli van 30 minuten (15 minuten lichter wordend en 15 minuten donkerder wordend) tijdens de ochtendploeg. De schommelingen in de lichtsterkte waren daarbij niet waarneembaar.

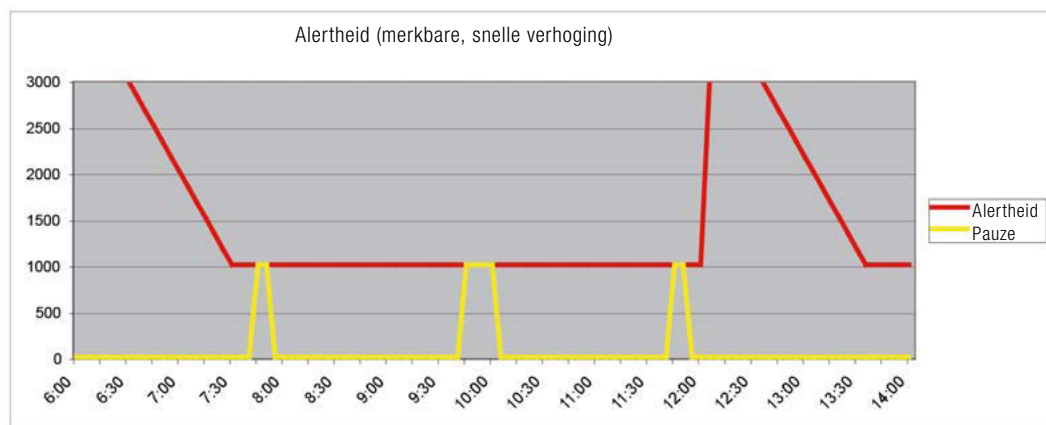


Afbeelding 1: Lightsituatie „zaagtand“ in de pilootstudie

Tweevoudige, waarneembare lichtsterkteverandering („alertheid“)

Bij aanvang en naar het einde van de ochtendploeg toe vond er een snelle verhoging van de lichtsterkte binnen het werkbereik plaats. Deze verandering van lichtsterkte werd door de arbeidsters waargenomen en had tot doel om bij aanvang van het werk de alertheid bij de arbeidsters te verhogen en om naar het einde van de ochtendploeg toe de vermoeidheid van de arbeidsters met een waarneembare verandering van lichtsterkte tegen te gaan.

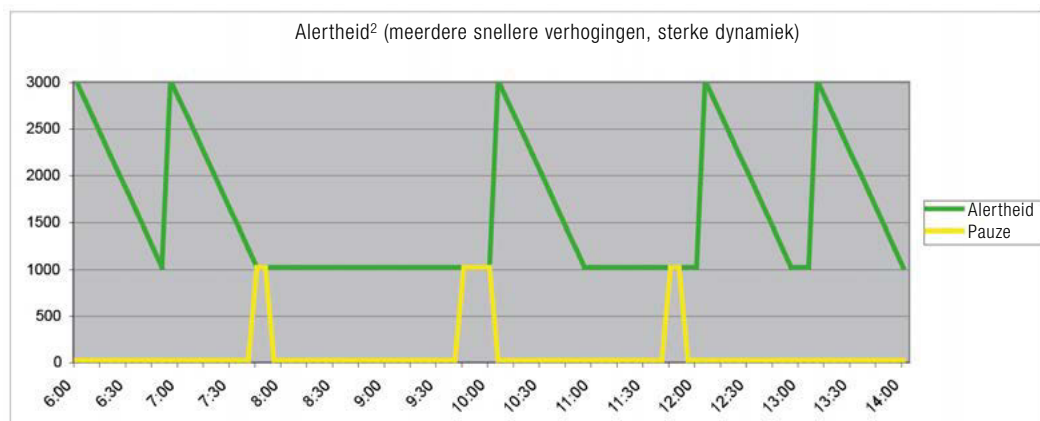
Elk van beide snelle lichtsterkteveranderingen duurde in totaal 90 minuten, waarbij er na de snelle verhoging van de lichtsterkte gedurende 30 minuten zeer hoge lichtsterktes heersten en vervolgens over een periode van 60 minuten de lichtsterkte langzaam en onmerkbaar terug tot aan het uitgangsniveau werd gereduceerd. Omdat deze reductie van de lichtsterkte langzaam en niet waarneembaar plaatsvond, kan men aannemen dat daardoor voor de arbeidsters de indruk van de zeer hoge lichtsterktes (3 000 lx) langer dan 30 minuten behouden bleef.



Afbeelding 02: Lichtsituatie „alertheid“ in de pilootstudie

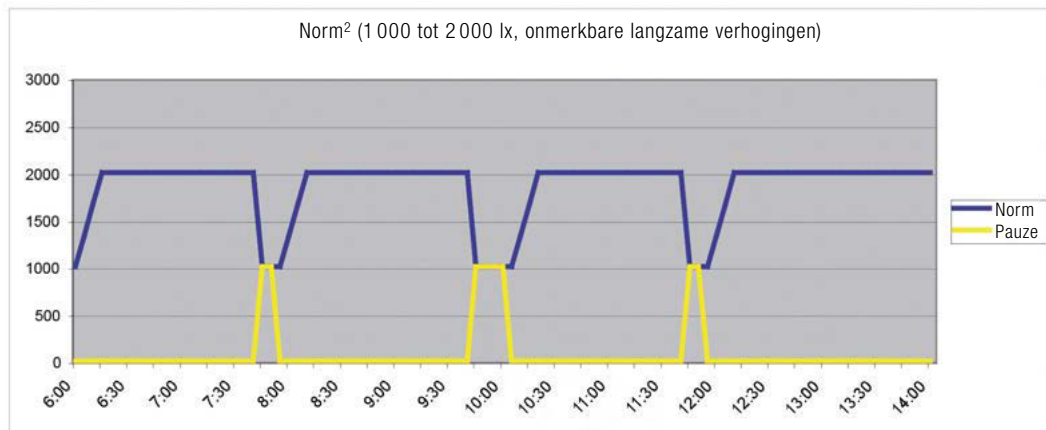
Meervoudige, waarneembare lichtsterkteverandering („alertheid²“)

Er vond tijdens de ochtendploeg vijf maal een snelle verhoging van de lichtsterkte in de productiehal plaats. In tegenstelling tot de lichtsituatie „alertheid“ duurde de verandering van lichtsterkte hier slechts 45 minuten en bestond deze primair uit een verhoging van de lichtsterkte van 3 minuten en een reductie van de lichtsterkte over 35 minuten. De verdeling van deze zeer dynamische lichtsterkteveranderingen werd zo gekozen dat bij aanvang van het werk twee, aan het midden na de werkpauze van 15 minuten één en na de laatste korte werkpauze (respectievelijk naar het einde van de ochtendshift toe) nogmaals twee van deze lichtsterkteveranderingen automatisch via de sturing van het ruimtelicht werden doorgevoerd.



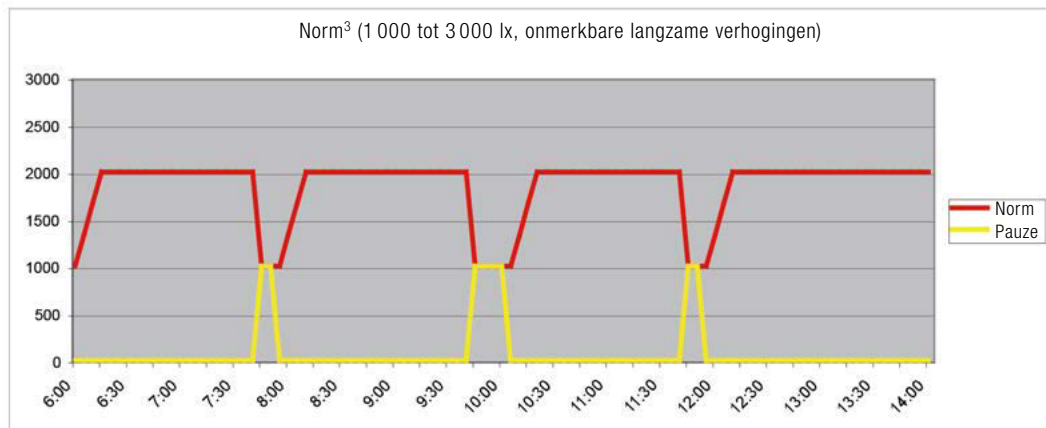
Afbeelding 03: Lichtsituatie „alertheid²“ in de pilootstudie

Constant ruimtelicht met 2000 lx („Norm²“):



Afbeelding 04: Lichtsituatie "Norm²" van de pilootstudie (de geel gemarkeerde delen stellen de werkpauzes voor; kort voor en na de werkpauze werd het ruimtelicht naar 1000 lx gedimd zodat zonder visuele storingen naar een andere ruimte kon worden gegaan)

Constant ruimtelicht met 3000 lx ("Norm³")



Afbeelding 05: Lichtsituatie "Norm³" van de pilootstudie

Lichtsituaties in de hoofdstudie

1. Na afsluiting van de pilootstudie volgde de evaluatie van de vragenlijsten over de lichtkwaliteit. Alle lightsituaties met een horizontale verlichtingssterkte van 3000 lx werden op het vlak van kwaliteit van het ruimtelicht duidelijk negatief beoordeeld. De maximale horizontale verlichtingssterkte werd daarmee op 2000 lx vastgelegd.
2. De lichtkwaliteit van niet bewust waarneembare en bewust waarneembare lichtsterkteveranderingen werd zeer verschillend beoordeeld. Daarom moesten binnen de hoofdstudie ook waarneembare en niet waarneembare lichtsterkteveranderingen als lightsituaties worden onderzocht.
3. Een controlelightsituatie („norm“) om de psychofysiologische lichteffecten met de lichteffecten van de andere lightsituaties te kunnen vergelijken.

Er werden in totaal drie lichtsituaties in de hoofdstudie opgenomen:

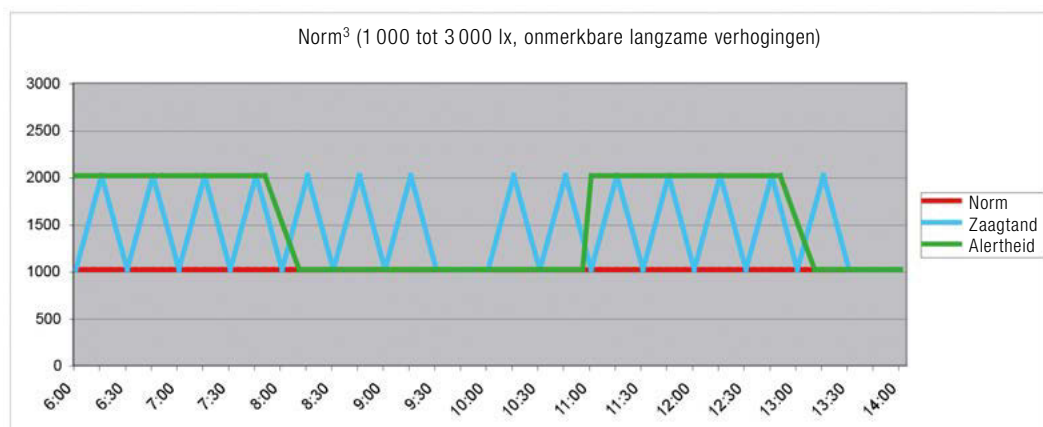
- waarneembare lichtverandering (zie afbeeldingen 02 en 03)
- niet waarneembare lichtverandering (zie afbeelding 01)
- controlesituatie „norm“: 1 000 lx, 4 000 K

Meervoudige, niet waarneembare lichtsterkteverandering („zaagtand“)

Binnen de 30 minuten wordt de lichtsterkte binnen het werkbereik van 1 000 lx tot 2 000 lx verhoogd en weer tot 1 000 lx gereduceerd. Deze niet waarneembare lichtsterkteverandering werd zonder tussentijdse pauzes in totaal vijftien keer binnen de ochtendploeg doorgevoerd. De bedoeling van deze zeer dynamische ruimteverlichting was het doorlopend stimuleren van de corticale arousalcentra. Door het feit dat deze lichtstimulering onbewust gebeurde, was het mogelijk om de zuiver biologische impact van het lichteffect te meten en „psychologische“ lichteffecten die deze maskeren, uit te sluiten.

Tweevoudige, waarneembare lichtsterkteverandering („alertheid“)

Aan het begin van de shift en tegen het einde van de shift werd hierbij de lichtsterkte binnen het werkbereik in 3 minuten tijd op waarneembare wijze van 1 000 lx tot 2 000 lx verhoogd, gedurende de volgende 2 uur op dit niveau behouden en vervolgens binnen 30 minuten opnieuw tot 1 000 lx gereduceerd. Zoals bij de lichtsituaties „alertheid“ en „alertheid²“ in de pilootstudie wil deze dynamische ruimtelichtsituatie bij aanvang en tegen het einde van de ochtendploeg een opwekkende impuls aan de arbeidsters geven.



Afbeelding 06: Lichtsituaties in de hoofdstudie

Tot slot dient nog te worden vermeld dat de dagelijkse lichtdosis onder de beide dynamische ruimtelichtsituaties 50 % hoger was dan de lichtdosis onder de normconforme verlichting.

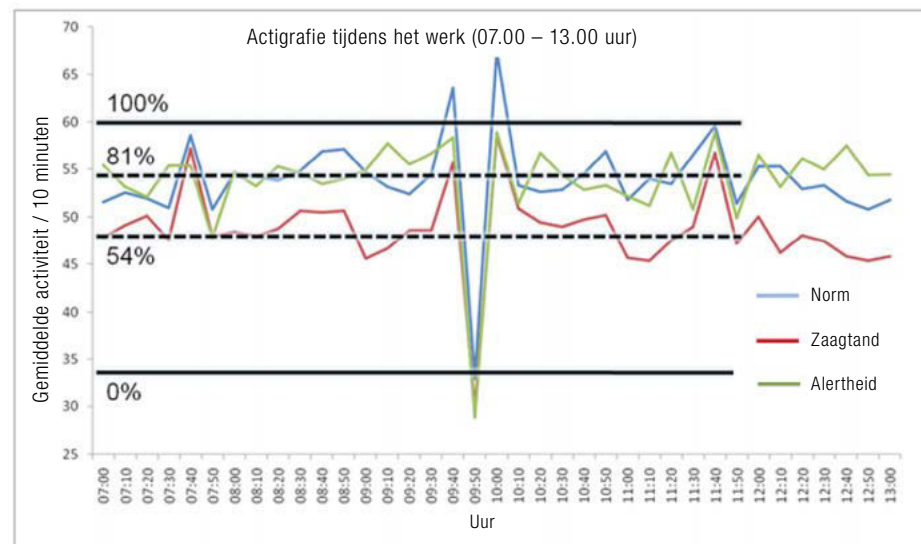
5 Resultaten

Vooreerst worden voor de hoofdstudie de resultaten van de actigrafische gegevensanalyse voorgesteld. Aansluitend volgen de analyses van de opgemeten hartslagfrequenties, de vragenlijsten over de goedstoestand en de vragenlijsten over de lichtkwaliteit en de productiviteit.

Evaluatie van de actigrafische gegevens

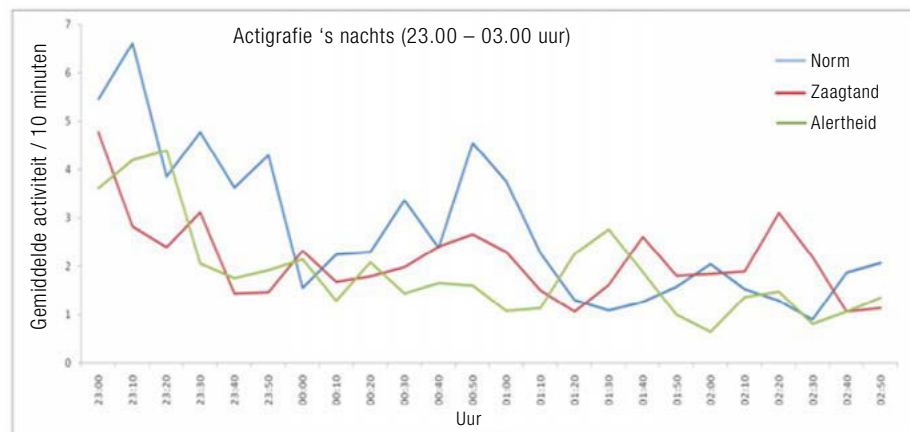
De actigrafische gegevens die de werkuren afdekten, liepen van 07.00 uur tot 13.00 uur.

De actigrafische gegevens die de periode 's nachts afdekten, liepen van 23.00 uur tot 03.00 uur. Deze periode kon voor alle betrokken proefpersonen eenduidig als slaaperiode worden geïdentificeerd (opmerking: doorgaans lag het moment van inslapen omstreeks 22.30 uur en het moment van ontwaken rond 04.00 uur).



Afbeelding 07: lichamelijke activiteit (actigrafie)

Samenvattend kunnen we stellen dat onder het zaagtandpatroon een duidelijk gereduceerde lichamelijke activiteit werd opgetekend. Verbazend genoeg spreekt dit de oorspronkelijke hypothese tegen die stelt dat een frequent optredende lichtsterktedynamiek (d.w.z. „zaagtand“) sterker activerend zou werken – en dus met een hogere lichamelijke activiteit gepaard zou gaan – dan een minder frequent optredende lichtsterktedynamiek (d.w.z. „alertheid“).



Afbeelding 08: actigrafie 's nachts

Voor de nachtelijke bewegingsgegevens kon worden vastgesteld dat een dynamisch ruimtelicht met een 50 % hogere lichtdosis per werkdag, los van de vraag of het om een waarneembare of niet waarneembare lichtsterktedynamiek gaat, een significante invloed heeft op de lichamelijke rust tijdens de nachtelijke slaap. Een dergelijk resultaat kon reeds in het voorproject aan de hand van de fysiologische gegevens (analyse van de schommelingen in de hartslagfrequentie) worden vastgesteld. Dit resultaat ondersteunt daarmee de impact van specifieke hogere lichtdosissen tijdens het werk op de aansluitende nachtrust.

Evaluatie van de hartslagfrequentiegegevens

In het kader van de hoofdstudie werd de hartslagfrequentie uitsluitend tijdens de werkuren opgemeten. Net zoals voor de actigrafische gegevens werden in de aansluitende statistische analyse enkel de hartslagfrequentiegegevens tussen 07.00 uur en 13.00 uur opgenomen.

Uit alle detailresultaten van de analyse van de schommelingen in de hartslagfrequentie tijdens het werk kunnen we concluderen dat de beide dynamische lichtsituaties aan het begin en tegen het einde van het werk de grootste impact hadden op het autonome zenuwstelsel. In het middelste derde deel van de werkuren waren er geen significante verschillen tussen de normconforme verlichting en de beide dynamische ruimteverlichtingen waarneembaar.

Evaluatie van de vragenlijsten over de gemoedstoestand

Om de spontane gemoedstoestand van de arbeidsters op te meten, werd telkens op woensdag (d.w.z. in het midden van de werkweek) voor aanvang van het werk, tijdens de 15-minutenpauze om 9:50 uur en onmiddellijk na het werk een vragenlijst over de gemoedstoestand voorgelegd. Deze vragenlijst maakt een beoordeling van de spontaan ervaren positieve (met de subschalen geactiveerdheid, evenwichtigheid, extravertie en opgewekte stemming) en negatieve gemoedstoestand (met de subschalen angstigheid, gedesactiveerdheid, opgewondenheid en geprikkeldheid) mogelijk.

Samenvattend kunnen we stellen dat de onderzochte dynamische lichtsituaties een geringe maar aantoonbare invloed hadden op de ervaren gemoedstoestand van de proefpersonen. Zo kon aan het einde van de shift in de categorie „positieve gemoedstoestand” onder „alertheid” (waarneembare lichtsterktedynamiek) een verandering in gemoedsgesteldheid gedetecteerd worden.

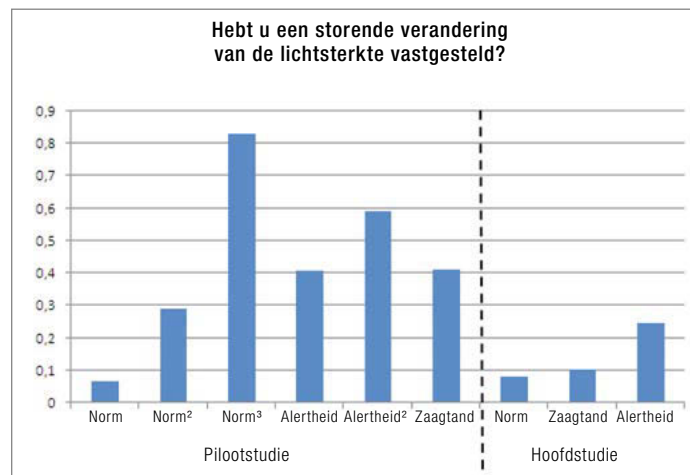
Evaluatie van de wekelijkse dagboeken

Elke dag moesten alle proefpersonen voor aanvang van het werk om ca. 5.45 uur een notitie over de verkwikkendheid van de slaap van de voorbije nacht en over het actuele gevoel van uitgeslapenheid invullen.

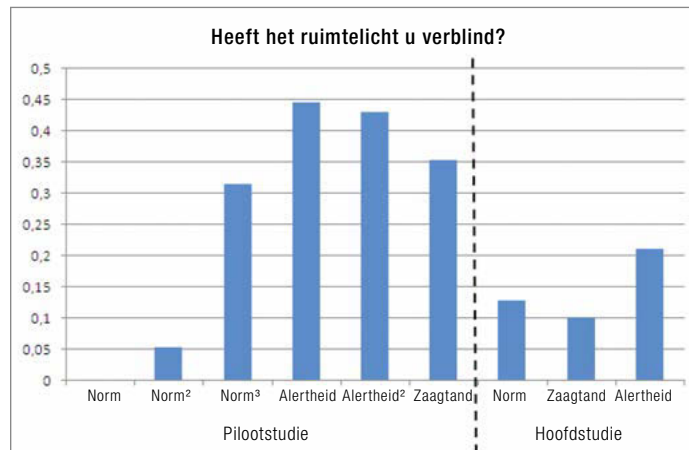
Tegen de verwachting in bleken er noch voor de subjectief ervaren kwaliteit van de slaap, noch voor het momentane gevoel van uitgeslapenheid bij aanvang van de shift effecten van de lichtwerking te zijn. Dit resultaat verbaast, temeer daar de actigrafische gegevens toonden dat de proefpersonen onder de beide dynamische lichtsituaties significant rustigere nachten kenden en ze gemiddeld toch zeer korte slaaptijden hadden. Dit stelt de subjectief zeer goede beoordeling van de nachtrust en van het uitgeslapen zijn bij aanvang van de ochtendploeg duidelijk in vraag. We kunnen alleen maar vermoeden dat ofwel de zelfinschatting van de proefpersonen onnauwkeurig was of dat de antwoorden in het dagboek (sociaal) gewenste antwoorden weergeven.

Vragenlijst over de lichtkwaliteit

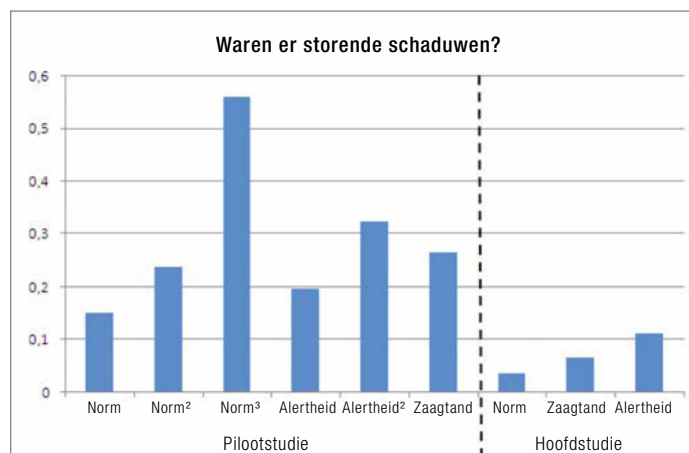
Er werden in het kader van de piloot- en hoofdstudie zes vragen over de lichtkwaliteit gesteld:



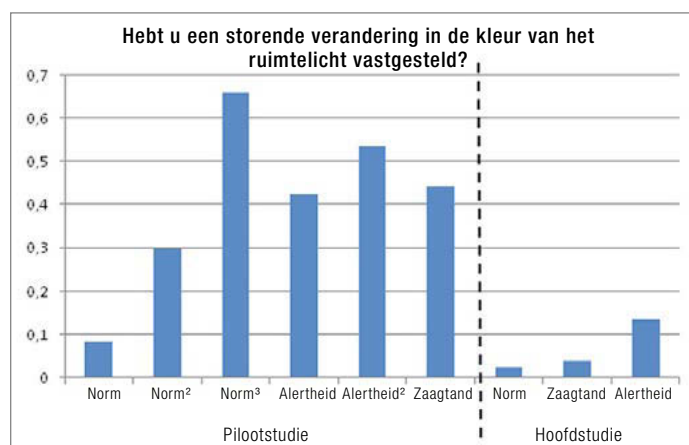
Afbeelding 09: Vraag 1 (verticale as: relatief aandeel in het aantal proefpersonen)



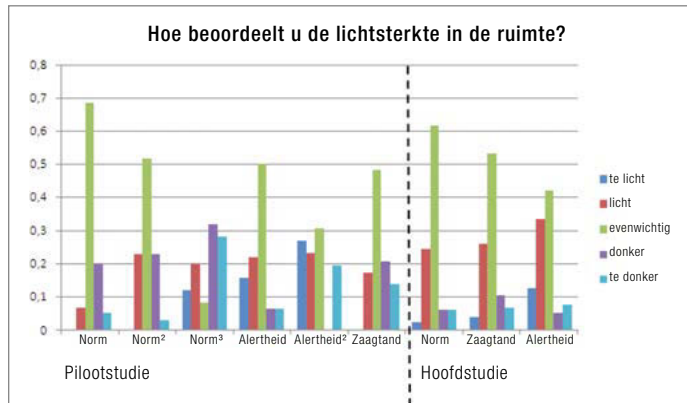
Afbeelding 10: Vraag 2 (verticale as: relatief aandeel in het aantal proefpersonen)



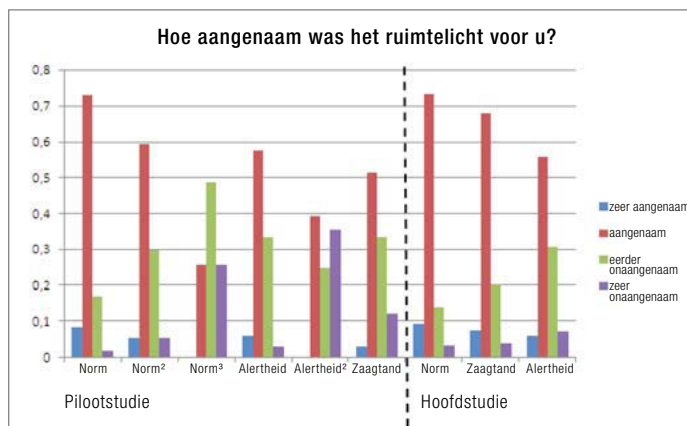
Afbeelding 11: Vraag 3 (verticale as: relatief aandeel in het aantal proefpersonen)



Afbeelding 12: Vraag 4 (verticale as: relatief aandeel in het aantal proefpersonen)
Opmerking: De lichtkleur werd helemaal niet veranderd waardoor deze antwoorden een aanwijzing geven over de vraag hoe vaak antwoorden „geraden“ worden.



Afbeelding 13: Vraag 5 (verticale as: relatief aandeel in het aantal proefpersonen)



Afbeelding 14: Vraag 6 (verticale as: relatief aandeel in het aantal proefpersonen)

Primair bleek uit de gegevensanalyse van de vragenlijsten over de lichtsituaties van de pilotstudie dat zowel waarneembare als ook niet waarneembare lichtsterkteveranderingen van 1 000 lx naar 3 000 lx omwille van hun verblindende werking en storende karakter door de proefpersonen eenduidig werden afgewezen.

Verder kunnen we samenvattend stellen dat de drie lichtsituaties van de hoofdstudie enkel van elkaar verschillen op het vlak van de beoordeling van storende lichtsterkteveranderingen. In elk geval werden ze wat betreft schaduwvorming en verblindende werking als even aangenaam, even licht en gelijkwaardig ingeschat.

De hiernavolgende tabel toont schematisch de subjectief ervaren lichtkwaliteit in functie van de parameters „waarneembaarheid van de lichtsterktedynamiek“, „lichtsterkteverandering“ en „frequentie van de lichtsterkteverandering“. Enerzijds wordt duidelijk dat de horizontale verlichtingssterkte binnen het werkbereik tot 2 000 lx dient te worden beperkt. Anderzijds lijken over het algemeen ook frequente waarneembare lichtsterkteveranderingen, frequente niet waarneembare en zeldzame waarneembare lichtsterkteveranderingen met een grote verandering van lichtsterkte (van 1 000 lx naar 3 000 lx) negatief in te werken op de subjectieve lichtkwaliteit.

Hier wordt verwezen naar de resultaten van studie 1.

Lichtsterktdynamiek	Verandering van lichtsterkte	Frequentie van de verandering van lichtsterkte	Ervaren lichtkwaliteit
Waarneembaar	1 000 – 2 000 lx	zeldzaam	++
Waarneembaar	1 000 – 2 000 lx	frequent	- (hypothetisch)
Niet waarneembaar	1 000 – 2 000 lx	zeldzaam	++
Niet waarneembaar	1 000 – 2 000 lx	frequent	++
Niet waarneembaar	1 000 – 3 000 lx	zeldzaam	+ (hypothetisch)
Niet waarneembaar	1 000 – 3 000 lx	frequent	--
Waarneembaar	1 000 – 3 000 lx	zeldzaam	--
Waarneembaar	1 000 – 3 000 lx	frequent	--

Abbeelding 15: Samenvatting van de subjectief ervaren lichtkwaliteit.

Evaluatie van de productiviteitsgegevens

Voor de beoordeling van de productiviteit werd de aan de grondtijd gerelateerde bewerkingstijd per stuk gebruikt.

De resultaten van studie 1 tonen dat de bewerkingstijd in de zomer over het algemeen korter is dan in de winter. In de zomer zijn er evenmin verschillen in de bewerkingstijd waarneembaar.

In de winter is de bewerkingstijd over het algemeen langer. Bij een variabele verlichting daalt ze met ca. 4 %.

	Gemiddelde waarde	
Statische controleverlichting (zomer)	90,06 %	} + 9 %
Dynamische ruimteverlichting (zomer)	90,53 %	
Statische controleverlichting (winter)	99,08 %	} + 4 %
Dynamische ruimteverlichting (winter)	95,07 %	

} + 4,5 %

100 % ... bewerkingstijd in verhouding tot grondtijd.

In de hoofdstudie konden omwille van de zeer specifieke arbeidsorganisatie in de productiehal (met name lijnproductie, KAIZEN organisatie, 6-sigma programma's) geen andere typische kengetallen voor de productiviteit (bijv. foutpercentage, aantal zieken) kwantificeerbaar gemaakt worden.

Voor in totaal 14 proefpersonen bij wie in de observatieperiode van 3 weken noch een verandering van werkplek, werkinhoud, dagelijks aantal te vervaardigen stukken, hulp van collega om het opgelegde dagelijkse aantal te halen, noch een technisch defect optrad, kon een statistische analyse van de relatieve bewerkingstijd worden uitgevoerd.

De statistische analyse gaf geen invloed op de productiviteitscijfers aan.

De beschikbare arbeidstijd wordt daarbij intuïtief gelijkmatig gebruikt. Studie 1 toont dat een variabele verlichting daarbij toelaat om de stukbewerkingstijd individueel te reduceren en zo meer „vrije ruimte“ binnen de dagelijkse werkdag te creëren. Dit verklaart de positieve effecten op de gemoedstoestand aan het einde van de shift.

Tot slot wordt de positieve impact ook buiten de werktijd doorgetrokken doordat bij de variabele lichtsituaties ook de gemeten slaapkwaliteit verbetert.

Samenvattend kunnen we vaststellen dat de verlichting een meetbare invloed heeft op de arbeidsters.

Het grondig en interdisciplinair uitgevoerde onderzoek toont echter ook dat de meting bij proefpersonen uiterst gecompliceerd is en er momenteel nog geen algemene en eenvoudig toe te passen methoden bestaan.

Een goede, normconforme verlichting laat al toe dat de opgelegde arbeidstaken worden vervuld. De als positief ervaren lichtkwaliteit toont dat er geen gebreken of klachten te verwachten zijn.

Zumtobel let met haar partners op een goede configuratie en uitvoering van verlichtingsinstallaties, waarbij de naleving van de relevante normen, in het bijzonder van de norm EN 12464-1, een absolute basisvoorwaarde is. Daarbij wordt veel aandacht besteed aan de lichttechnische kwaliteitskenmerken, niet alleen om de verlichtingssterkteniveaus na te leven maar ook om gelijkmatigheid te creëren, verblinding en weerspiegelingen te vermijden en om goede cilindrische en verticale verlichtingscomponenten te verkrijgen die de zichtbaarheid en herkenbaarheid verzekeren.



Pasticceria La Baita srl, Caselle Torinese | IT



RSD Electronic, Naturno | IT



Technogym, Cesena | IT

7 Discussie en toekomstperspectief

De grondige studie heeft tot drie belangrijke inzichten geleid:

1. Licht heeft een invloed op de werkende mens.

De interdisciplinair toegepaste methoden tonen aan dat de meting van de lichtimpact op de mens complex is. Geen resultaten betekenen daarbij in geen geval dat er geen impact is maar wel dat het observatie- en meetinstrumentarium nog niet optimaal is toegepast. Verdere inspanningen zijn nodig om het instrumentarium te verbeteren.

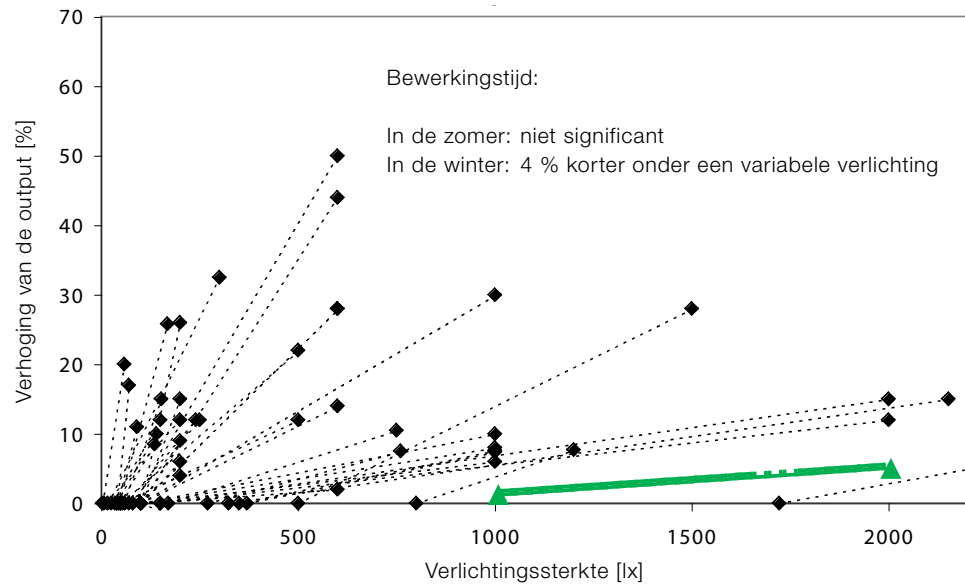
2. Variabel licht heeft tegenover een statische verlichting vooral in de winter een **positieve invloed**. Een individueel kortere stukbewerkingstijd en, op die manier, een verhoging van de productiviteit met 4 % werd aangetoond (zie afbeelding 16) en dient niet alleen voor het verhogen van het aantal te produceren stuks te worden gebruikt maar eerder aan de minder belastende werkwijze te worden toegeschreven. Daarop wijzen alvast ook de resultaten die een betere gezondheidstoestand aan het einde van de shift en een betere slaap na het werk constateren. Daarmee profiteren arbeidsters en het bedrijf in gelijke mate. „Productiviteit“ dient derhalve breder te worden geïnterpreteerd.

3. De positieve impact op de mens kan ofwel door een verhoogde statische verlichtingssterkte ofwel door variabele lichtscenario's bereikt worden. Variabele lichtscenario's vertonen daarbij een duidelijk geringere energiebehoefte waardoor alleen al om economische redenen hieraan de voorkeur dient te worden gegeven. Een punt van verder onderzoek is hier zeker de aard van de lichtverandering. In deze studie werden een aantal exemplarische lichtdynamische scenario's onderzocht. Het hele gamma mogelijkheden om een „optimaal“ scenario te definiëren, is daarbij zeker nog niet uitgeput.

Er dient nog een ander positief gevolg van de studie bij Flextronics te worden vermeld. Om order binnen te halen, wordt het bedrijf bezocht door diverse internationale klanten. De optie van de daglichtwitte verlichting van 6500 K en hoge verlichtingssterktes tot 2000 lx werd reeds meerdere malen succesvol toegepast om bij bezichtigingen de productiehal licht, zuiver en efficiënt te laten overkomen.

Globaal beschouwd heeft deze langdurige en uitvoerige, interdisciplinair opgezette studie zeer veel argumenten opgeleverd om de efficiëntie van een industrieonderneming en het welzijn van zijn medewerkers te verbeteren.

Wanneer we deze studie situeren tussen verschillende, door Justén samengestelde onderzoeken (zie afbeelding 16), blijkt dat zelfs bij hoge verlichtingssterktes nog effecten op de productiviteit gerealiseerd kunnen worden.



Afbeelding 16: In verschillende onderzoeken samengesteld door Juslén kon een „verhoging van de output“ resp. een verbetering van de stukbewerkingstijd worden vastgesteld. Het grootste verbeteringspotentieel kan worden teruggevonden bij zeer geringe verlichtingssterktes (vaak duidelijk onder de normvereisten). De studie bij Flextronics (groene lijn) startte al bij de controleverlichting op een hoog, normconform niveau. Toch kon hier met een variabele verlichting nog een verhoging van ongeveer 4 % worden gerealiseerd (Juslén).

8 Literatur

1. Intern studieverlag k-Licht: Beleuchtung und Produktivität P232
2. M. Canazei, P. Dehoff, S. Staggl en W. Pohl:
Effects of dynamic ambient lighting on female permanent morning shift workers, Lighting research and technology, online gepubliceerd op 20 februari 2013
3. Boyce, P.: Steigerung der Produktivität durch eine optimierte Beleuchtung. Lightning research center, Troy, New York 2003
4. Völker, S.: Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveaus. (dissertatie) Ilmenau 1999
5. Völker, S.: Ermittlung von Beleuchtungsniveaus für Industrie-arbeitsplätze. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, FB 881, Bremerhaven: NW Verlag, 2000
6. Juslén H. Lighting, productivity and preferred illuminances – field studies in the industrial environment. PhD thesis. Helsinki University of Technology, 2007.
EN 12464-1, Werkplekverlichting binnen, juni 2011

Zumtobel Lighting, Dornbirn: Peter Dehoff, Alexander Berger
Werkterrein: lichttechniek, opdrachtgever van het project
Aanbieder van hoogwaardige lichtoplossingen

BLL: Bartenbach GmbH, Aldrans: Markus Canazei, Siegfried Mayr, Siegmund, Staggl, Julia Wörgötter
Werkterrein: psychofysische onderzoeken, lichttechniek, evaluaties
De activiteiten van het Bartenbach GmbH situeren zich rond de configuratie van dag- en kunstlicht, van conceptie tot objectbewaking. Verder ook productontwikkeling, advies bij aanbestedingen, workshops en expertises. Met onze gespecialiseerde medewerkers voor de domeinen projectering, onderzoek en ontwikkeling, waarnemingspsychologie en modelbouw worden optimale oplossingen uitgewerkt.

Flextronics, fabriek Althofen, Kärnten: fabrieksdirecteur Bergner
Werkterrein: plaats van onderzoek
Flextronics International Ltd. is een wereldwijd toonaangevende aanbieder voor EMS (Electronic Manufacturing Services) en heeft vestigingen in 30 landen.

Ergonomiecentrum Tirol, Innsbruck: ir. Walter Ambros, partner:
Dr. Kurt Seipel
Werkterrein: Ergonomische evaluatie

Consulting für Führung und Organisation,
Persönlichkeitsentwicklung, ergo-ökonomische Arbeitsgestaltung und Gesundheitsförderung
(Consulting voor management en organisatie, persoonlijkheidsontwikkeling, ergo-economische arbeidsorganisatie en gezondheidsbevordering)

Team Prevent, Centrum Klagenfurt, Dr. Juvan
Werkterrein: arbeidsgeneeskundige onderzoeken
Met onze oplossingen inzake arbeids- en gezondheidsbescherming zijn wij de eerste aanbieder van arbeidsgeneeskundige en veiligheidstechnische adviesdiensten die in staat is om over nationale grenzen heen dienstenpakketten op maat af te leveren en onze klanten competent en doelgericht advies te verlenen.

ABoVe, Gießen: Charlotte Sust, Prof. Dieter Lorenz
Werkterrein: psychologie, enquêtes
We houden ons bezig met de mens in moderne arbeidssystemen met als doel om enerzijds een hoge productiviteit, effectiviteit en efficiëntie te verzekeren en anderzijds ook het prestatievermogen, de prestatiebereidheid, de gezondheid en het welzijn te bevorderen.

AUVA, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wenen:
Michael Wichtl
Werkterrein: ergonomie, sponsor van het onderzoek
AUVA is de sociale ongevalverzekeraar voor 3,2 miljoen werknemers, 1,3 miljoen scholieren en studenten, talrijke vrijwillige hulporganisaties en redders van mensenlevens.

k-Licht, Aldrans/Dornbirn: Peter Hein
Coördinatie van project en sponsoring

Onderzoekspartners

FLEXTRONICS 

Bartenbach 

KOMPETENZZENTRUM



ABoVe
Arbeitswissenschaft, Büroorganisation
Veränderungsmanagement GmbH

 **THM**
TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

 **Team**
prevent

 *ergonomie
zentrum
tirol*®


AUVA



Industrielle
Kompetenzzentren und Netzwerke



EIN PROGRAMM DES BMWA





ZUMTOBEL

België

ZG Lighting Benelux
Rijksweg 47 –
Industriezone Puurs Nr. 442
2870 Puurs
T +32/(0)3/860.93.93
F +32/(0)3/886.25.00
info@zumtobel.be
zumtobel.be

Nederland

ZG Lighting Benelux
Zinkstraat 24-26
4823 AD Breda
T +31/(0)76/541.76.64
F +31/(0)76/541.54.98
info@zumtobel.nl
zumtobel.nl

Headquarters

Zumtobel Lighting GmbH
Schweizer Strasse 30
Postfach 72
6851 Dornbirn, AUSTRIA
T +43/(0)5572/390-0
info@zumtobel.info

zumtobel.com