

Bewertung von Sonnenschutzeinrichtungen

Cornelia Vandahl

1. Einleitung und Themenstellung

Der Wunsch, im Arbeitsraum eine Sichtverbindung nach außen zu schaffen und diesen gleichzeitig mit Tageslicht ausreichend zu beleuchten, hat vielerlei Ursachen. Zum einen sind dies wichtige Voraussetzungen für das Wohlbefinden, zum anderen ergeben sich daraus Einsparungen in der Energie für Beleuchtung und Heizung. Ziel ist es deshalb immer, so viel wie möglich Tageslicht in den Innenraum zu bringen. Das kann jedoch negative Effekte, wie direkte Blendung durch die Sonne, Reflexe von Fenster- oder Wandleuchtdichten auf Bildschirmen und Aufheizung des Raumes zur Folge haben. Aus den genannten Gründen ergibt sich die Notwendigkeit von Lichtschutzeinrichtungen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der BAUA wurden vergleichende Untersuchungen an „klassischen“ Lichtschutzeinrichtungen durchgeführt. Dazu gehören Lichtschutzfolien, senkrechte und waagerechte Lamellen und Rollos, deren primäres Ziel nicht in der Lenkung von Tageslicht liegt.

2. Allgemeines zur Durchführung

In mehreren Versuchsreihen wurden Lichtschutzeinrichtungen hinsichtlich ihrer Wirkung und Anwendbarkeit charakterisiert. Hierzu wurden zunächst Untersuchungen zu den Sehbedingungen gemacht, die zu gewährleisten sind. Das betrifft vor allem die Leuchtdichten, die zu Direktblendung und Reflexblendung am Bildschirm führen können. Für verschiedene Bildschirmklassen wurden daher Grenzeuchtdichten ermittelt. In realen Büroräumen und in einem Feldversuch wurden Messungen und Befragungen zu horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken durchgeführt. Betrachtet wurde dabei das Zusammenwirken von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung. Die Befragungen von Versuchspersonen erfolgten mit Fragebögen (Beispielskala in Abb. 1). Bestand eine ausreichend gute Korrelation zwischen den Wertungen und den lichttechnischen Meßwerten, dann konnten anhand von Regressionen Rückschlüsse auf günstige Werte für Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten gezogen werden. Dabei wurde die Wertung 3,5 als Mittelpunkt der Gegensatzskala (das heißt als Beginn der positiven Bewertung) in die lichttechnische Größe umgerechnet. Bei den ermittelten Werten handelt es sich demzufolge um Minimal- bzw. Maximalwerte. Für Blendwerte nach der SÖLLNER-Skala wurde ein Wert von 1,5 (Güteklasse 1) als Grenzwert verwendet.

Gegensatzskala:			
dunkel	oooooooooooooooooooooooooooo		hell
	0 1 2 3 4 5 6 7		
SÖLLNER-Skala:			
0	o	keine Blendung	
1	o		
2	o	Blendung merkbar	
3	o		
4	o	Blendung störend	
5	o		
6	o	Blendung unerträglich	

Abb. 1: Beispielfrage und Zuordnung von Zahlenwerten

3. Untersuchungen mit natürlichem Tageslicht im Büroraum

In einem realen, tageslichtbelegten Raum mit Laborcharakter sollten Befragungen mit Versuchspersonen zu folgenden Parametern durchgeführt werden:

1. Beleuchtungsstärkeverteilung im Raum
2. Einfluß der horizontalen, vertikalen und zylindrischen Beleuchtungsstärken auf die Raumwirkung und Blendung
3. Einfluß des Himmelszustandes

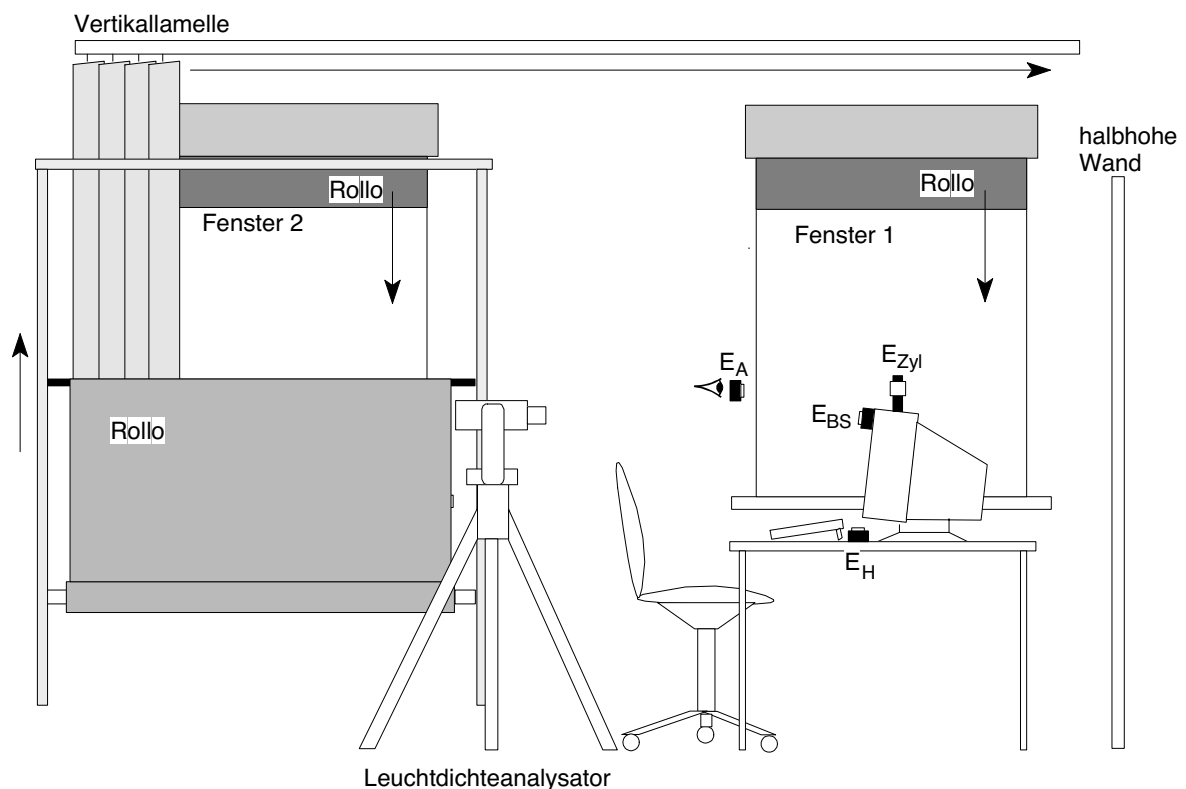


Abb. 2: Versuchsraum

In einem Seminarraum der TU Ilmenau wurden Befragungen an 24 Versuchspersonen und lichttechnische Messungen durchgeführt. Die Fenster des Raumes befanden sich an der Südfassade. Die Untersuchung fand in der Zeit vom 26. August bis 21. September zwischen 9.00 Uhr und 12.00 Uhr statt (Sonnenstand 30°... 50°).

Im Versuchsraum wurde in Fensternähe ein Arbeitsplatz mit sehr gut entspiegeltem Bildschirm eingerichtet (Abb. 2). Die Anordnung des Monitors durfte von der Versuchsperson nicht verändert werden. Sie wurde bewußt so gewählt, daß Spiegelungen des hinteren Fensters im Monitor auftreten konnten.

- Versuch 1: sonnig, klarer Himmel
- Versuch 2: bedeckt
- Versuch 3: bedeckt, mit zusätzlicher künstlicher Beleuchtung, so daß die Gesamtbeleuchtungsstärke zu Versuchsbeginn ca. 750 lx betrug

Eine Beispiel-Regression zwischen Befragungsergebnis und Meßwert zeigt Abb. 3. Die ermittelten günstigen Beleuchtungsstärken sind in Tab. 2 (2. Spalte) zusammengefaßt. Nach Bewertung der vorgegebenen Lichtsituationen hatten die Versuchspersonen den Auftrag, sich den Lichtschutz nach ihren Wünschen einzurichten. Dabei standen vertikale Lamellen und Rollos für beide Fenster zur Verfügung. Da sich das hintere Fenster im Bildschirm spiegeln konnte, wurde für dieses unabhängig von der Lichtsituation fast immer ein Sonnenschutz gewählt (Tab. 1). Das vordere Fenster wurde nur dann verschattet, wenn direktes Sonnenlicht auf den Arbeitsplatz fiel. Bei bedecktem Himmel wurde das Fenster überwiegend offen gelassen.

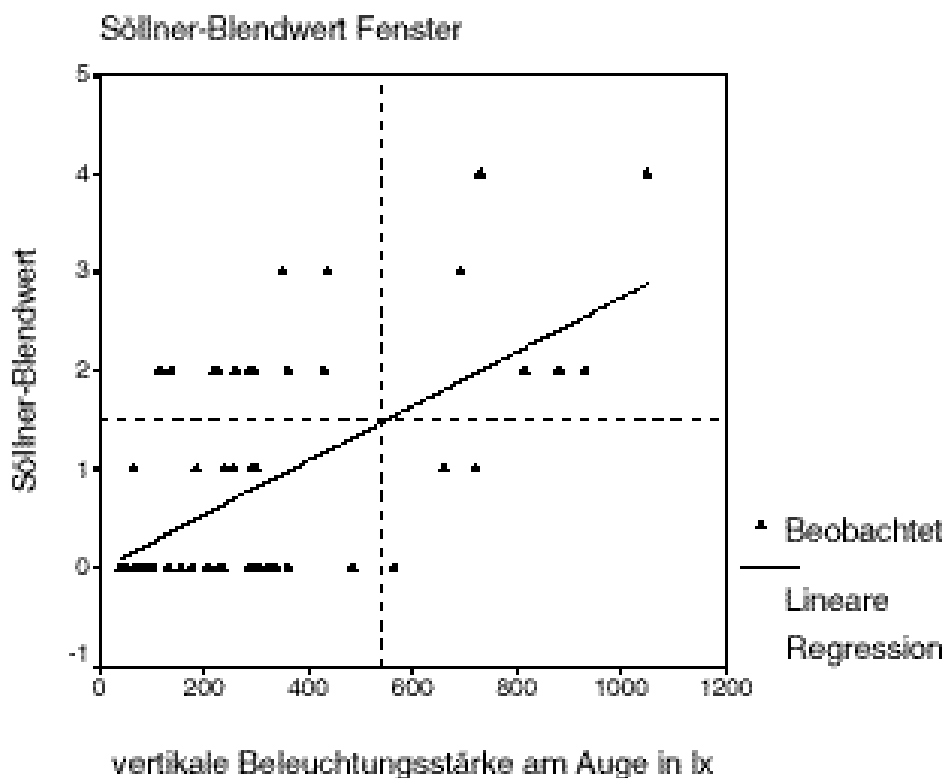


Abb. 3: Regression zwischen vertikaler Beleuchtungsstärke und Blendungsbewertung (alle Versuche)

Situation	hinteres Fenster (Fenster 2)	vorderes Fenster (Fenster 1)
sonnig	100 %	47%
bedeckt	96 %	12 %

Tab. 1: Häufigkeiten der Verschattung der Fenster

Durch die Wahl einer Lichtschutzeinrichtung änderten sich die Beleuchtungsstärken im Raum. Die Mittelwerte über alle Probanden und alle Versuche werden in Abb. 4 gezeigt. Eine deutliche Veränderung der Beleuchtungsstärken ist vor allem im Versuch 1 (sonnig) zu verzeichnen.

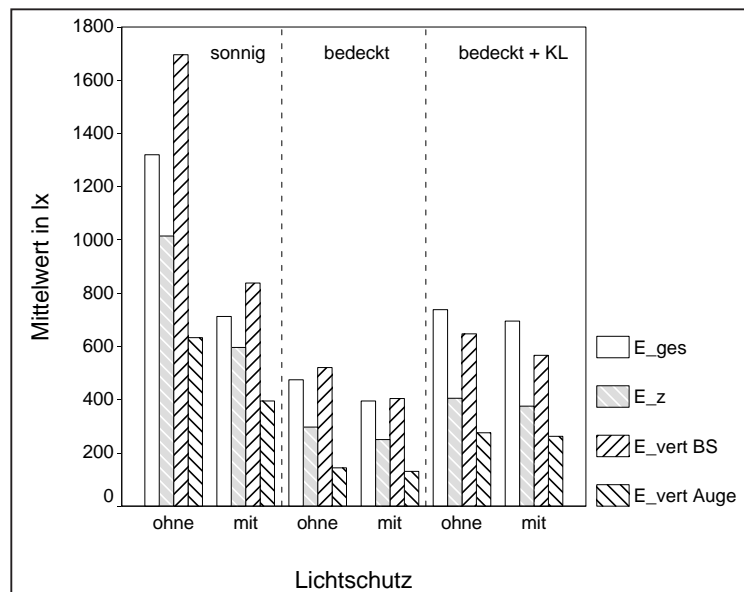


Abb. 4: Änderung der Beleuchtungsstärke durch den gewählten Lichtschutz

In Tab. 2 sind die Ergebnisse aus der Regression und die Ergebnisse aus Abb. 4 gegenübergestellt. Die Beleuchtungsstärken, die sich aus der selbst gewählten Lichtschutz-Einstellung ergeben, stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der Regression überein. Für die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge ergeben sich in diesem Versuch wesentlich geringere Werte.

Beleuchtungsstärke	Festlegungen aus Regression	Schlußfolgerungen aus Abb. 4
Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z	ab 600 lx Blendung	Im Versuch V1 wird E_z auf etwa 600 lx abgesenkt. In V2 und V3 liegt E_z bereits unter 600 lx und wird durch den Lichtschutz b nur gering geändert.
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm $E_{v, BS}$	max. 850 lx	Im Versuch V1 wird $E_{v, BS}$ auf etwa 850 lx abgesenkt. In V2 und V3 liegt $E_{v, BS}$ bereits unter 850 lx und wird durch den Lichtschutz um 100 lx verringert.
Vertikale Beleuchtungsstärke am Auge $E_{v, Auge}$	bei Sonne ab 1200 lx Blendung	Im Versuch V1 wird $E_{v, Auge}$ auf etwa 400 lx abgesenkt.
	ab 350 lx Blendung	In V2 und V3 liegt $E_{v, Auge}$ unter 350 lx und wird durch den Lichtschutz nur minimal verringert.

Tab. 2: Festlegung der Beleuchtungsstärke nach Wahl des Lichtschutzes

4. Untersuchungen am künstlichen Fenster

Werden Untersuchungen mit realem Tageslicht durchgeführt, so ist es nahezu unmöglich, die Umgebungsbedingungen konstant zu halten. Wechselnde Bewölkung und der sich ändernde Sonnenstand führen dazu, daß jede Versuchsperson ihre Bewertung unter anderen Bedingungen abgibt und die Auswertung erschwert wird. Diese Erfahrungen brachten uns dazu, die folgenden Untersuchungen an einem künstlichen Fenster durchzuführen. Die realisierbare maximale Fensterleuchtdichte betrug $17\,000\text{ cd/m}^2$. Die Folien und Lamellen wurden nacheinander vor dem künstlichen Fenster plaziert. Tab. 3 gibt eine Übersicht über die untersuchten 8 Lichtschutzeinrichtungen. Bei drei Lichtschutzeinrichtungen fand die Befragung zusätzlich mit einer Allgemeinbeleuchtung von 500 lx (KL) statt. Weiterhin wurden Leuchtdichten von 200 cd/m^2 und 1000 cd/m^2 in die Untersuchung einbezogen.

Bezeichnung	Lichtschutzeinrichtung	L_{\max} (cd/m^2)	L_{\min} (cd/m^2)
keine	Fenster	17000	17000
Folie 1	Metallfolie	300	300
Folie 1 + KL	Metallfolie + 500 lx		
Folie 2	Metallfolie	400	400
Folie 3	Metallfolie	1400	1400
Horizontal 1	Lamelle, 50mm weiß	250	100
Horizontal 2	Lamelle, 50mm weiß, perforiert	1500	250
Horizontal 2 + KL	-"- +500 lx		
Horizontal 3	50mm, verspiegelt, teilperforiert	400	100
Vertikal 1	Vertikallamelle	400	200
Vertikal 1 + KL	Vertikallamelle + 500 lx		
Vertikal 2	Vertikallamelle	2500	1300
200cd/m^2	Fensterleuchtdichte 200cd/m^2	200	200
1000cd/m^2	Fensterleuchtdichte 1000cd/m^2	1000	1000

Tab. 3: Untersuchte Lichtschutzeinrichtungen (KL ... Allgemeinbeleuchtung = 500 lx)

Bildschirm Typ	1 Kathodenstrahlröhre	2 Kathodenstrahlröhre	3 Flachbildschirm (aktiv)
Entspiegelung	Schlecht	sehr gut	sehr gut
Klasse Positivd.	II	I	I
Klasse Negativd.	II	I	I

Tab. 4: Untersuchte Bildschirme und Bildschirmklassen nach ISO 9241-7

Alle 24 Versuchspersonen bewerteten jede Lichtsituation in Tab. 3 mit einem Fragebogen. Bewertet wurden dabei die Bildschirme aus Tab. 4 jeweils in Positiv- und Negativdarstellung.

In den Abb. 5 und 6 ist Mittelwert und Standardabweichung aller Urteile dargestellt. Der Einfluß des Bildschirmhintergrundes ist deutlich sichtbar. Der Einfluß der Allgemeinbeleuchtung (0 bzw. 500 lx) ist nur an einer Stelle signifikant (Vertikal 1, Bildschirm 2, schwarzer HG).

Auf Bildschirm 1 sehe ich

0 ... störende Spiegelungen 7 ... keine Spiegelungen

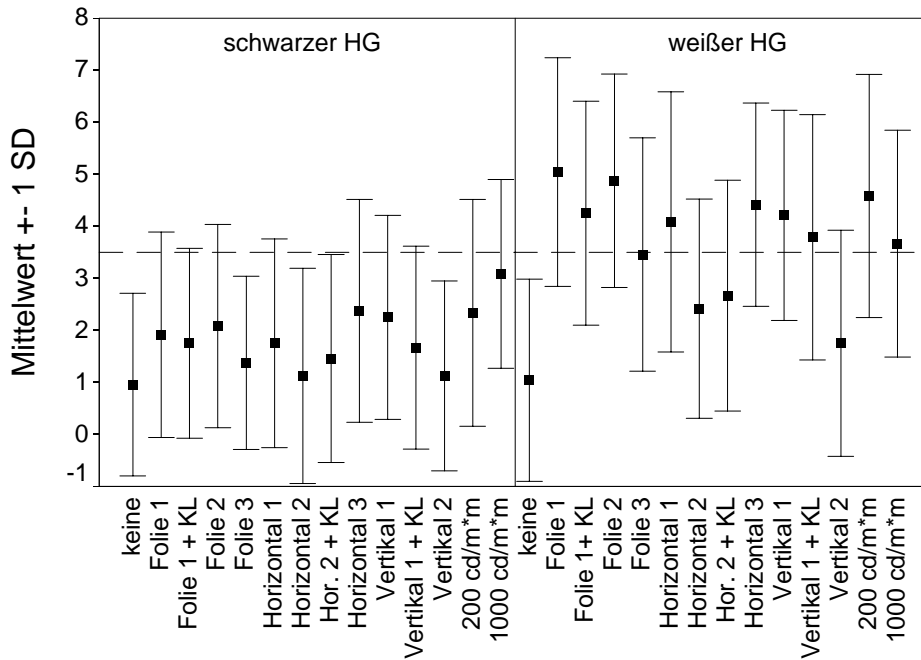


Abb. 5: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 1

Auf Bildschirm 2 sehe ich

0 ... störende Spiegelungen 7 ... keine Spiegelungen

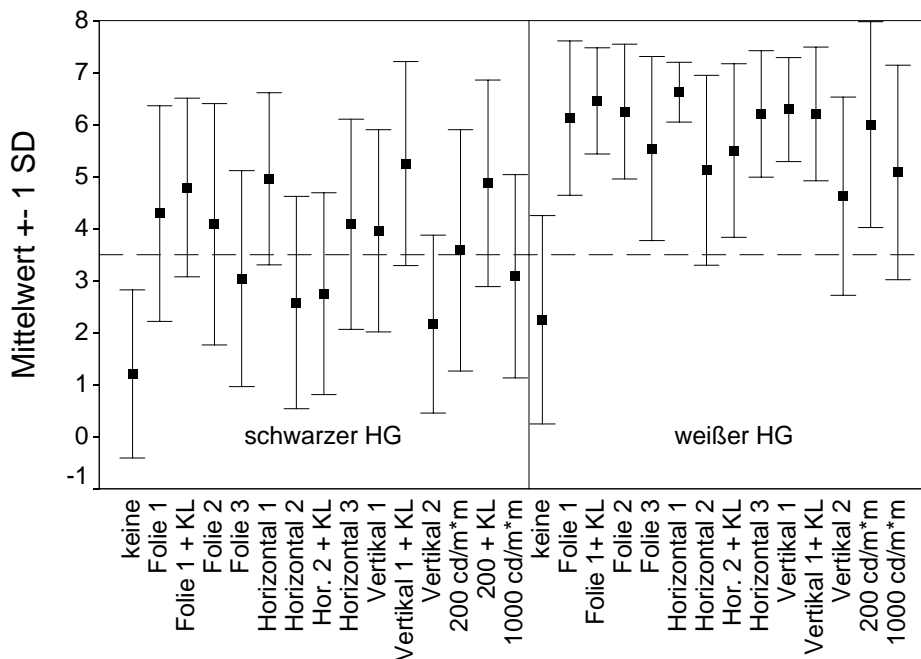


Abb. 6: Mittelwert und Standardabweichung der Urteile für Bildschirm 2

Nimmt man die Wertung 3,5 als neutral an und betrachtet alle darüber liegenden als „positiv“, so ergibt sich die Zusammenstellung in Tab. 5. Den untersuchten Bildschirmen sind die nach dieser Wertung zulässigen Lichtschutzeinrichtungen zugeordnet. Für die einzelnen Bildschirmklassen ergeben sich daraus maximal zulässigen Fenster-Leuchtdichten (Tab. 6). Die Ergebnisse des Flachbildschirmes 3 unterscheiden sich dabei wesentlich von denen des Bildschirmes 1 und sind deshalb separat angegeben.

	zulässige Lichtschutzeinrichtungen	maximale Leuchtdichte in cd/m^2	Klasse nach ISO 9241-7
Bildschirm 1 schwarzer HG	keine		II
Bildschirm 1 weißer HG	Folie 1 Folie 2 Horizontal 1 Horizontal 3 Vertikal 1 200 cd/m^2 1000 cd/m^2	300 400 250 400 400 200 1000	II
Bildschirm 2 schwarzer HG	Folie 1 Folie 2 Horizontal 1 Horizontal 3 Vertikal 1 200 cd/m^2	300 400 250 400 400 200	I
Bildschirm 2 weißer HG	alle	bis 2500	I
Bildschirm 3 schwarzer HG	alle	bis 2500	I
Bildschirm 3 weißer HG	alle Fenster ohne Lichtschutz	bis 2500 17000	I

Tab. 5: Nach der Beurteilung der Versuchspersonen zulässige Lichtschutzeinrichtungen für die einzelnen Bildschirme und Bildschirmdarstellungen

Klasse	Bildschirmhintergrund	zulässige Leuchtdichte
II	schwarzweiß	unter 200 cd/m^2 1000 cd/m^2
I	schwarzweiß	400 cd/m^2 2500 cd/m^2
Flachbildschirm	schwarzweiß	2500 cd/m^2 17000 cd/m^2

Tab. 6: Bildschirmklassen und zulässige Leuchtdichten

5. Bewertung von Lichtschutzeinrichtungen am realen Fenster

Am künstlichen Fenster war die Bewertung der Lichtschutzeinrichtungen nur mit Einschränkungen möglich. So konnte beispielsweise die Sicht nach außen und die Blendung durch die direkte Sonne nicht untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde eine Befragung an einem realen Fenster durchgeführt.

Die Befragung sollte bei klarem Himmel und Sonnenschein stattfinden. Leider waren im Untersuchungszeitraum die Wetterbedingungen sehr instabil. Deshalb mußte aus Zeitgründen die Untersuchung nach 6 Versuchspersonen abgebrochen werden. Zusätzlich zur Befragung fanden lichttechnische Messungen und eine Einschätzung durch die Versuchsleiter (Tab. 7) statt. Die Lichtschutzeinrichtung Horizontal 3 ist eine verspiegelte Horizontal-Lamelle, die diesmal unter zwei Bedingungen getestet wurde: im geschlossenen und im offenen (lichtlenkenden) Zustand.

0 ... keine Blendung 2 ... Blendung merkbar 4 ... Blendung störend 6 ... Bl. unerträglich	direkte Blendung		Reflexblendung an sehr gut entspiegeltem Bildschirm	
Lichtschutz	direkte Sonne	Himmels- leuchtdichte (25000 cd/m ²)	direkte Sonne	Himmels- leuchtdichte (25000 cd/m ²)
Folie 1	6	0	4	3
Folie 2	6	0	4	1
Folie 3	6	0	4	6
Horizontal 1	0	0	4	4
Horizontal 2	6	0	4	6
Horizontal 3 auf	6	5	4	3
Horizontal 3 zu	2	1	3	0
Vertikal 1	0	0	0	0
Vertikal 2	6	6	6	6

Tab. 7: Bewertungen durch die Versuchsleiter

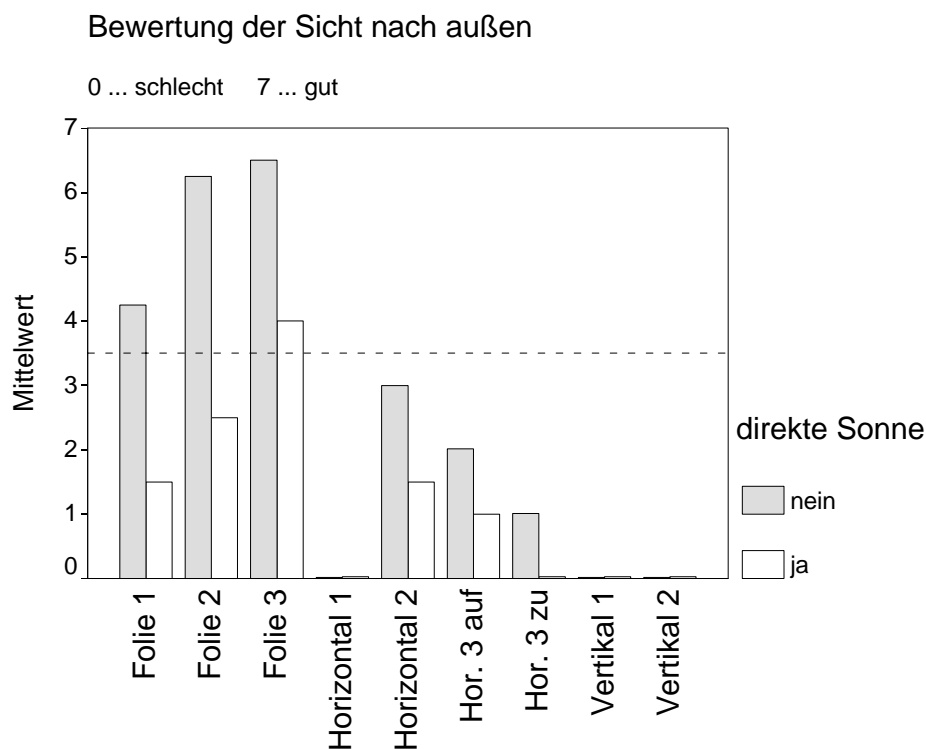


Abb. 7: Bewertung der Sicht nach außen

Blendung auf Söllner-Skala

0 ... keine Blendung 6 ... Blendung unerträglich

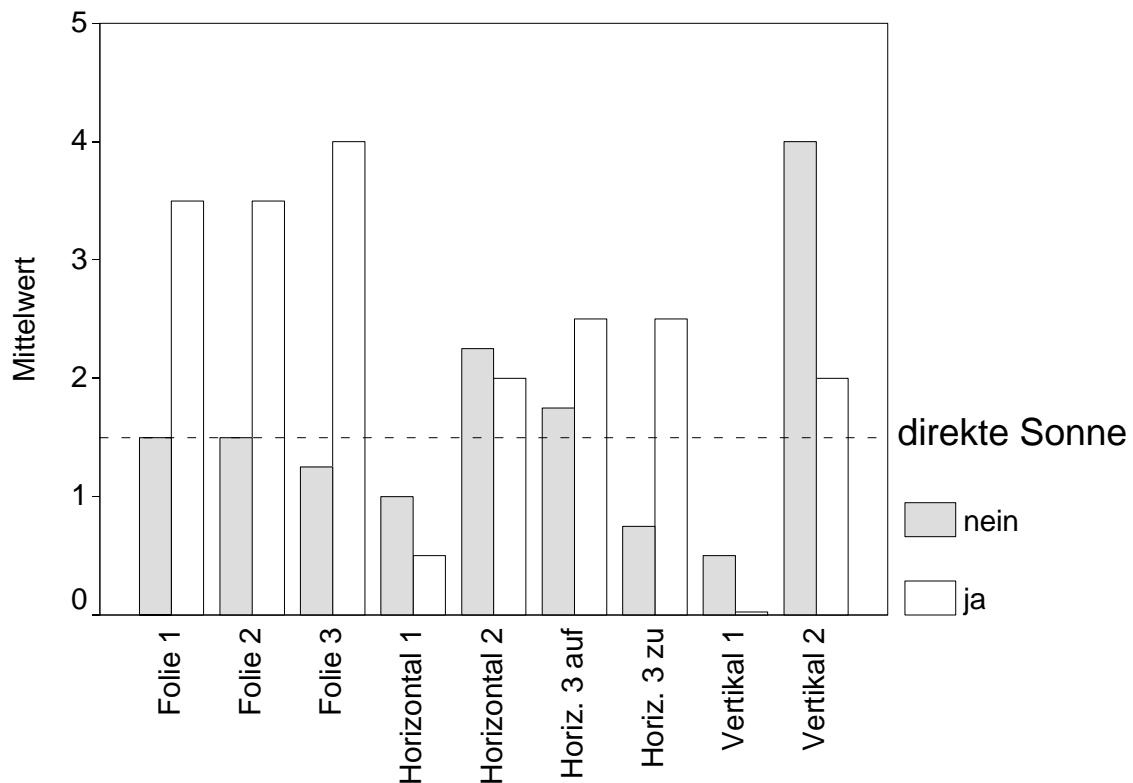


Abb. 8: Bewertung der Blendung auf der Söllner-Skala

Die Wertungen der Versuchspersonen hängen im wesentlichen davon ab, ob sich die Sonne im Blickfeld befindet oder nicht. Dies hat erwartungsgemäß Einfluß auf die Blendungsbewertung, aber auch auf die Bewertung der Raumhelligkeit und der Sicht nach außen. Sicher spielen Adaptationsvorgänge dabei eine Rolle. Die Abb. 7 und 8 zeigen diese deutlichen Unterschiede in der Bewertung. Dieser Untersuchungsteil zeigt die Problematik der Lichtschutzeinrichtungen nochmals deutlich in allen Dimensionen. Es ist kaum möglich, alle Forderungen zur vollen Zufriedenheit zu erfüllen. Blendfreiheit wird mit geringerer Beleuchtungsstärke und weniger Sicht nach außen erkauft. Im folgenden werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme zusammengefaßt.

Lichtschutzfolien

Lichtschutzfolien gewährleisten eine sehr gute Sicht nach außen. Da sie das Licht nicht streuen, ergeben sich jedoch Probleme bei direkter Sonneneinstrahlung. Trotz niedrigem Transmissionsgrad der Folien führt die Leuchtdichte der Sonne zu Blendung. Die geringe Transmission führt zu niedrigen Beleuchtungsstärkeniveaus. Für Räume ohne direkte Sonne sind sie zu empfehlen.

Horizontal-Lamellen

Sie bieten bei hohem Sonnenstand eine gute Sicht nach außen, müssen bei tief stehender Sonne jedoch geschlossen werden, um Blendung zu verhindern.

Lamellen mit Lichtlenkung sorgen für ein hohes Beleuchtungsniveau und gleichzeitige Vermeidung von Blendung.

Vertikal-Lamellen

Durch die Einstellung des Lamellenwinkels können die Arbeitsplätze mit direkter Sonne verschattet werden, während aus den anderen Blickrichtungen immer noch eine gute Sicht nach außen gewährleistet werden kann. Durch die diffuse Lichttransmission kann auch bei geschlossenen Lamellen ein hohes Beleuchtungsstärkeniveau im Raum erreicht werden. Blendgefahr besteht bei zu hohem Transmissionsgrad des Lamellenmaterials.

Aus den genannten Ergebnissen läßt sich kein System als „das Beste“ ermitteln. Auch innerhalb der Systeme kann es große Unterschiede geben.

7. Zusammenfassung

Aus der Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse können folgende Richtwerte geschlußfolgert werden:

Gesamtbeleuchtungsstärke:	minimal 500 lx
Zylindrische Beleuchtungsstärke des Tageslichtes:	300 bis 1400 lx
Vertikale Beleuchtungsstärke in Richtung Fenster:	800 bis 1300 lx
Vertikale Beleuchtungsstärke am Bildschirm:	maximal 850 lx

Zulässige Blendleuchtdichten für Bildschirme:

schwarzer Hintergrund:	Klasse II: unter 200 cd/m ²
	Klasse I: 400 cd/m ²
weißer Hintergrund:	Klasse II: 1000 cd/m ²
	Klasse I: 2000 cd/m ²