

Diplomarbeit

Entwicklung eines kompakten Sonnenpanels

erstellt für

ICE Strömungsforschung GmbH

Vorgelegt von:

BSc Daniel Schwabl
0535174

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Dr.mont. Gernot Boiger
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Weiss

Leoben, 07.06.2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Entwicklung eines kompakten Sonnenpanels

Ziel dieser Diplomarbeit war es ein kompaktes Sonnenpanel zu entwickeln sowie einen Prototypen zu bauen um im Anschluss die notwendigen Voraussetzungen zur Serienproduktion zu haben.

Im Theorieteil soll der Stand der Technik festgestellt werden um herauszufinden in welchem Bereich Platz für eine neuartige Konstruktion eines Panels besteht. Zudem sollen mit einem umfangreichen Rechenbeispiel die Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile eines solchen Systems belegt werden.

Das entwickelte System soll Sonnenlicht in ansonsten kaum oder gar nicht beleuchtete Räume einlenken, um so den Wohnkomfort zu erhöhen aber auch zu helfen Kosten für Beleuchtung und Heizung einzusparen. Die Konstruktion muss zu diesem Zweck sowohl eine horizontale als auch vertikale Schwenkbarkeit gewährleisten um dem Stand der Sonne folgen und somit ein Maximum an Licht einfangen zu können.

Weiters war der autonome Betrieb des Panels sehr wichtig um sein Einsatzgebiet vom Garten von Einfamilienhäusern über Innenhöfe bis hin zu großen Wohnsiedlungen zu ermöglichen. Eine Versorgung mit Solarenergie und eine selbstständige elektrische Ausrichtung wurden dafür installiert.

Zuletzt war noch die Kostenoptimierung ein zentraler Punkt, da das Ziel dieser Arbeit ein allgemein erschwingliches Produkt sein sollte.

Abstract

Design and development of a compact solar panel

The object of this diploma thesis was to develop a compact solar panel and also to construct a prototype in order to have the necessary requirements to start a serial production subsequent.

In the theoretical part the state of art has to be ascertained in order to find out in which field there is a chance for placing a new type of panel. Furthermore an extensive calculation shall be done to prove the application spectrum and the advantages of this system.

The developed system diverts sunlight into otherwise poorly or non lighted rooms to increase the habitation comfort of it, but also to help to save heating and lighting energy. In order to this purpose the construction has to be able to rotate in horizontal but also in vertical direction so it can follow the position of the sun and catch a maximum of sunlight.

Furthermore the autonomic handling of the panel was very important to create a wide field of possible uses form the garden of single family houses, internal courtyards to council estates. A supply with solar power and an autonomic electric adjustment were installed in favour to that.

Finally the cost optimization was a central point of interest because the object of this thesis is the development of a commonly affordable product.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	5
1.1 Problemstellung	5
1.2 Zielsetzung	5
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	6
2.1 Physikalische Grundlagen der Lichtleittechnik	6
2.1.1 Allgemeines	6
2.1.2 Geometrische Optik	8
2.1.2.1 Reflexion	9
2.1.2.2 Brechung	10
2.1.2.3 Lichtablenkung	11
2.1.3 Wellenoptik	13
2.1.3.1 Beugung	13
2.1.3.2 Interferenz	14
2.1.3.3 Kohärenz	15
2.1.3.4 Polarisation	16
2.2 Stand der Technik	18
2.2.1 Allgemeines	18
2.2.2 Verschiedene Systeme	20
2.2.2.1 Außen liegende Systeme	20
2.2.2.2 Innen liegende Systeme	26
2.2.2.3 Kombinierte Systeme	32
2.2.2.4 Systeme im Glas	35
2.3 Wärmetechnische Rechenbeispiele	40
2.3.1 Benötigte Daten	40
2.3.2 Durchführung der Berechnung	44
2.3.2.1 Wärmeverlust des Gebäudes	44
2.3.3 Energetischer, wirtschaftlicher und umwelttechnischer Nutzen	46
2.3.3.1 Eingelenkte Sonnenenergie	46



2.3.3.2	Notwendige Spiegelfläche bzw. Modulanzahl.....	47
2.3.3.3	Heizkosten- und CO ₂ -Emissionsenkung	47
2.3.3.4	Ergebnisse	48
2.3.4	Amortisierungszeit	67
2.3.4.1	Statische flächenspezifische Heizkostensparnis	67
2.3.4.2	Statische Amortisierungszeit	67
2.3.4.3	Dynamische Amortisierungszeit	68
2.3.4.4	Ergebnisse	69
2.3.5	Diskussion der Ergebnisse.....	71
3	PROJEKTDURCHFÜHRUNG	73
3.1	Ideenfindung	73
3.1.1	Anfängliche Ideen	73
3.1.1.1	Lichtbrunnen	73
3.1.1.2	Leuchtleisten und -streben	75
3.1.1.3	Rotierender Spiegel	76
3.1.1.4	Seerosenspiegel	77
3.1.1.5	Mosaikspiegel	78
3.1.2	Entscheidung und erste Auslegung.....	79
3.1.2.1	Entscheidung	79
3.1.2.2	Auslegung.....	80
3.2	Konstruktion Panel.....	86
3.2.1	Panel Version 1	86
3.2.1.1	Beschreibung	86
3.2.1.2	Vor- und Nachteile	87
3.2.1.3	Kostenbetrachtung.....	87
3.2.2	Panel Version 2	88
3.2.2.1	Beschreibung	88
3.2.2.2	Vor- und Nachteile	89
3.2.2.3	Kostenbetrachtung.....	89
3.2.3	Panel Version 3	91
3.2.3.1	Beschreibung	91
3.2.3.2	Kostenbetrachtung.....	91
3.2.4	Panel Version 4	95



3.2.4.1	Beschreibung	95
3.2.4.2	Vor- und Nachteile	95
3.2.4.3	Kostenbetrachtung	95
3.2.5	Panel Version 5	99
3.2.5.1	Beschreibung	99
3.2.5.2	Vor- und Nachteile	99
3.2.5.3	Kostenbetrachtung	99
3.2.6	Panel Version 6	102
3.2.6.1	Beschreibung	102
3.2.6.2	Vor- und Nachteile	102
3.2.6.3	Kostenbetrachtung	103
3.3	Konstruktion Fokussiereinrichtung	106
3.3.1	Seil- und Federsystem	106
3.3.2	Lassosystem	107
3.3.3	Gewindesystem	108
3.3.4	Schirmsystem	108
3.4	Konstruktion Halterung und Schwenkungvorrichtung	111
3.5	Elektrische Schaltung und Antrieb	113
3.5.1	Allgemein	113
3.5.2	Schaltung mittels Operationsverstärkern	113
3.5.2.1	Beschreibung	113
3.5.2.2	Vor- und Nachteile	114
3.5.3	Schaltung mittels Mikroprozessor	115
3.5.3.1	Beschreibung	115
3.5.3.2	Vor- und Nachteile	116
4	AUSBLICK	117
4.1	Vermarktung	117
4.2	Optimierungspotential	117
4.2.1	Panel	117
4.2.2	Fokussiereinrichtung	117
4.2.3	Halterung und Schwenkvorrichtung	118
4.2.4	Steuerung und Antrieb	118



5	ZUSAMMENFASSUNG	119
6	VERZEICHNISSE	124
6.1	Literaturverzeichnis	124
6.2	Tabellenverzeichnis	125
6.3	Abbildungsverzeichnis	127

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die erste Problemstellung dieser Arbeit besteht in der Feststellung des aktuellen Standes der Technik auf dem Gebiet der Tageslichttechnik. Diese Vorarbeit ist unerlässlich um erstens Ideen für den Entwurf des Panels zu sammeln und zweitens um nicht in patenrechtliche Schwierigkeiten bei einer eventuellen Vermarktung des Produktes zu kommen.

Ein nächster Schwerpunkt ist der rechnerische Nachweis der Wirksamkeit und damit der Vorteile eines solchen Panels. Die Ergebnisse können später als Grundlage für weitere Berechnungen aber auch für das Marketing dienen.

Der folgende Schritt ist das Finden einer passenden Idee, die sich zur Umsetzung eignet. Das Problem hierbei ist, dass weder Firma noch Student auf eigene Erfahrungen zurückgreifen können. Die Suche und Auswahl der Ideen erfolgt somit über das Wissen um den Stand der Technik, die eigene Kreativität und logische Überlegungen.

Danach kommt die konstruktive Aufgabe bei der aus den Ideen Modelle entstehen sollen um an diesen dann Verbesserungen vorzunehmen bis hin zur Fertigstellung eines Prototyps des Sonnenpanels. Hier wird auch die Zusammenarbeit mit der entworfenen elektrischen Schaltung von zentraler Bedeutung sein.

Eine letzte Aufgabe ist es dann noch die ersten Grundlage für eine Vermarktung und Serienproduktion zu legen indem entsprechende Pläne gezeichnet und weitere Details festgelegt werden.

1.2 Zielsetzung

Am Ende dieser Arbeit soll zusammen mit einer Bakkalaureatsarbeit ein funktionierendes kompaktes Sonnenpanel entstanden sein. Dieses Panel soll durch seine kleine Bauart sowie durch den autonomen Betrieb mit Sonnenenergie in verschiedensten Bereichen des Wohnungsbaues einsetzbar sein. Durch die spezielle elektrische Schaltung soll sich das Panel selbstständig auf die größtmögliche Sonneneinstrahlung hin ausrichten um sie in einen gewünschten Raum zu reflektieren.

Aus all den gesammelten Erfahrungen und Daten soll es der Firma möglich sein über die Sinnhaftigkeit der Produktion des Panels zu entscheiden, dieses gegebenenfalls weiterzuentwickeln und eine Serienproduktion zu beginnen.



2 Theoretische Grundlagen

2.1 Physikalische Grundlagen der Lichtleittechnik

2.1.1 Allgemeines

Das Licht und seine Phänomene interessieren die Menschen schon seit früher Urzeit. Dank der modernen Elektrodynamik wissen wir heute, dass es sich bei Licht um Strahlung handelt die als transversale elektromagnetische Wellen übertragen wird. Dabei schwingen ein elektrisches Feld \vec{E} und das zugehörige Magnetfeld \vec{B} in aufeinander normal stehenden Ebenen. \vec{k} ist hierbei der Wellenvektor, welcher in die Ausbreitungsrichtung zeigt.

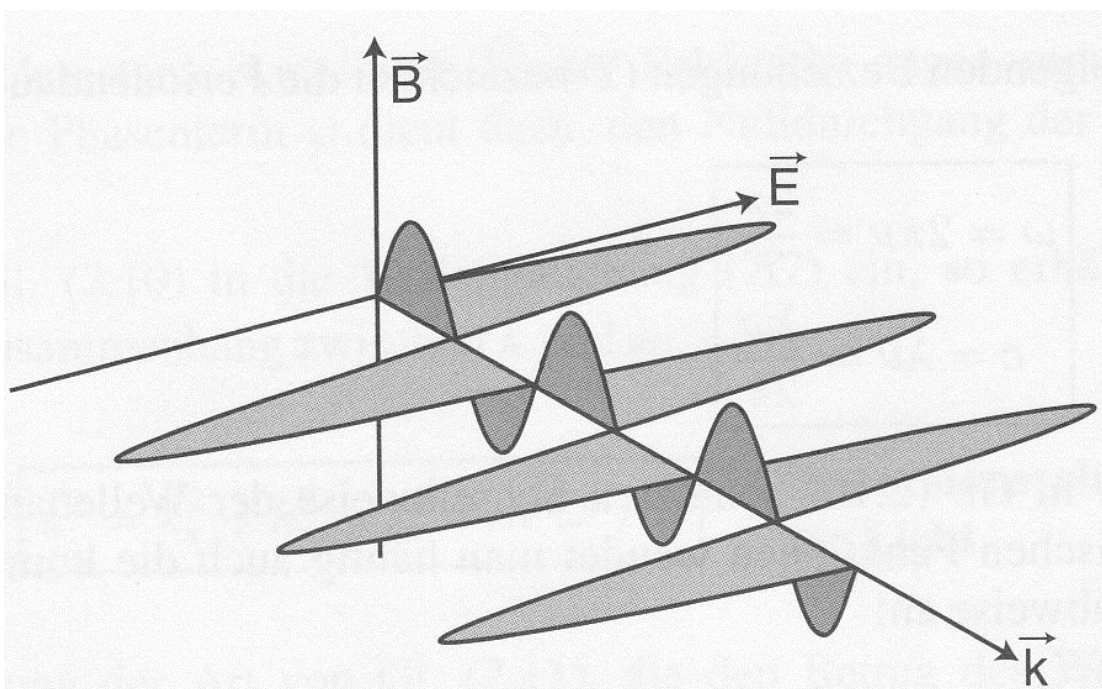


Abbildung 1: Licht als Transversalwelle [1; Seite 10, Bild 2.4]

Die Eigenschaften dieser Strahlung hängen von seiner Frequenz, meist mit f bezeichnet, gemessen in Hertz [Hz] bzw. seiner Wellenlänge, meist mit λ bezeichnet, gemessen in Nanometern [nm] ab. Diese beiden Werte stehen miteinander über die Lichtgeschwindigkeit c ($\approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$) in Zusammenhang, weshalb es ausreicht nur einen der beiden Werte als Spektrengrenze anzugeben. Wie in der Literatur allgemein üblich wird auch hier die Wellenlänge verwendet werden.

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

c Lichtgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

f Frequenz $[s^{-1}]$

λ Wellenlänge $[m]$

Das menschliche Auge kann nur einen sehr kleinen Bereich des Lichtes wahrnehmen den man allgemein als sichtbares Licht bezeichnet. Er liegt im Bereich einer Wellenlänge von etwa 390 bis 780 nm und erstreckt sich von tiefen Rottönen über gelb, grün und blau bis zu intensiven Violett-färbungen. Jene Gebiete des Lichtspektrums die über- oder unterhalb dieser Grenzen liegen sind für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar haben aber deshalb nicht weniger Einfluss auf uns.

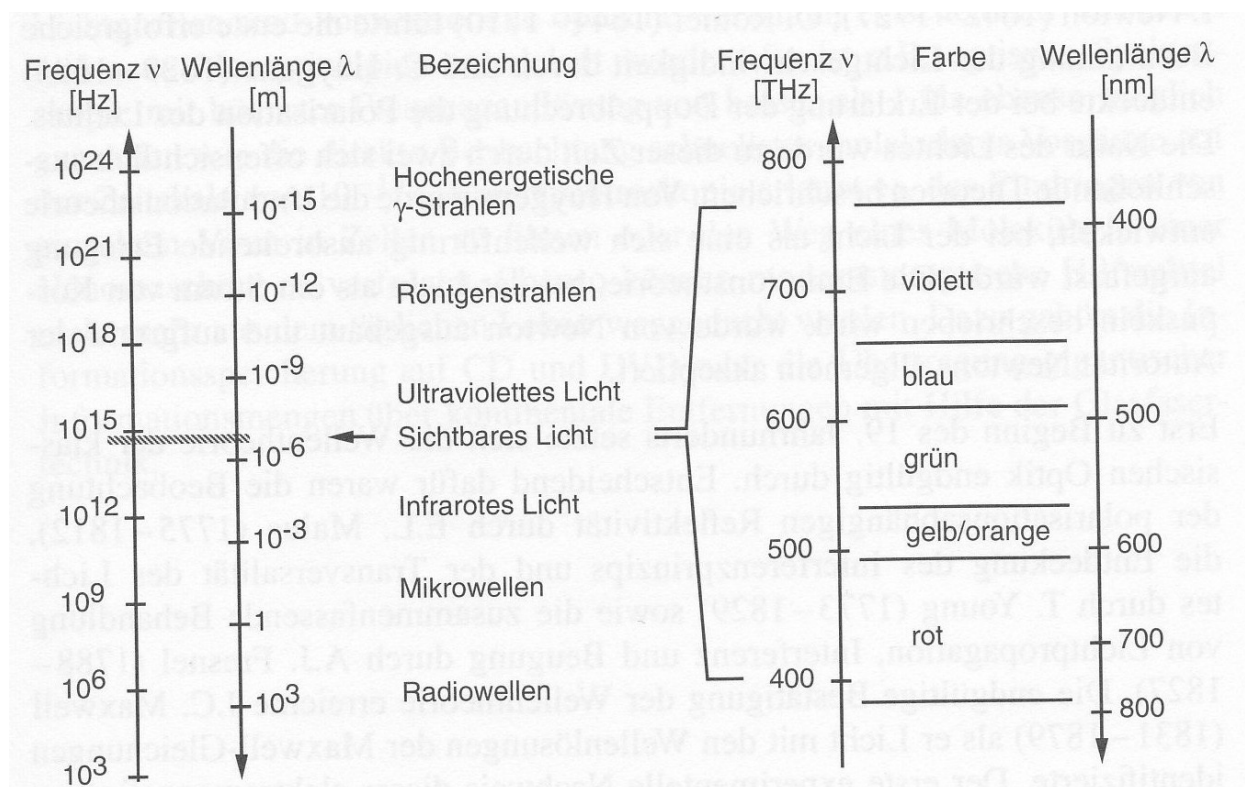


Abbildung 2: Spektren des Lichtes [1; Seite 1, Bild 1.1]

Den niedrigen Frequenz- bzw. hohen Wellenlängenbereich teilen sich die Radio- und Mikrowellen sowie die Infrarotstrahlung. Die Radiowellen liegen im Wellenlängenbereich von 10 cm bis 10 km und werden technisch zu Datenübermittlung verwendet. Zurzeit sind keine Wirkungen dieser Strahlung auf den menschlichen Organismus bekannt.

Mikrowellen haben eine Wellenlänge von 1 m bis zu 1 mm wodurch sie sich sehr dazu eignen Dipol- und Multipolschwingungen von Molekülen anzuregen wie z.B. von Wassermolekülen im

Mikrowellenherd. Weiters kommen sie bei der Datenübertragung, der Radartechnik oder beim Aufschluss im Labor zum Einsatz.

Als Infrarotstrahlung bezeichnet man Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 1 mm und 780 nm. Sie ist eine sehr energiereiche Strahlung und wird vom Menschen als Wärme wahrgenommen. Hier liegt auch eines ihrer Hauptanwendungsgebiete, nämlich in der Beheizung. Jedes Heizungsgerät entsendet Strahlung im Infrarotbereich, was dann zur Erhöhung der Umgebungstemperatur führt. Mit Hilfe spezieller Geräte kann die Infrarotstrahlung sichtbar gemacht werden, wodurch man Wärmequellen feststellen kann. Dieses Thermographie genannte Technologie wird in verschiedensten Bereichen wie etwa Sicherheit, Bauwesen, Astronomie, Medizin, Materialprüfung und Anlagenbau verwendet.

Den Bereich hoher Frequenz bzw. niedriger Wellenlängen teilen sich die Ultraviolett-, Röntgen- und Gammastrahlung. Diese Strahlungen sind sehr schwierig abzuschirmen und für den Menschen und andere Lebewesen sehr schädlich, da sie das Genmaterial beschädigen und somit Krebs und andere Erkrankungen auslösen können. Sie werden auch als ionisierende Strahlungen bezeichnet, da sie in der Lage sind Atome in Ionen umzuwandeln.

Ultraviolettes Licht belegt den Wellenlängenbereich von 380 bis 1 nm. Es ist die am wenigsten energetische ionisierende Strahlung und kann unter 200 nm noch sehr einfach abgeschirmt werden. In Form von Schwarzlicht kommt es in verschiedenen Analysemethoden und der Unterhaltungsindustrie zum Einsatz. Niedrigere Wellenlängenbereiche werden hingegen für chemische Analysen, Materialbehandlung und -prüfung sowie speziellen Fertigungsverfahren genutzt.

Bei Wellenlängen von 10^{-8} bis 10^{-12} m spricht man von Röntgenstrahlung. Zur Abschirmung dieser Strahlung werden schon Bleibeschichtungen oder andere Materialien benötigt. Da Röntgenstrahlen unterschiedlich dichte Medien unterschiedlich gut durchdringen werden sie vor allem im Bereich der Analyse eingesetzt, so etwa neben dem bekannten medizinischen Einsatz auch in der Materialprüfung und der Sicherheitstechnik.

Die energiereichste Strahlung ist die Gammastrahlung, welche unter Wellenlängen von 10^{-12} m liegt. Nur sehr komplexe und teure Abschirmungen können diese Strahlung aufhalten. Sie entsteht beim natürlichen atomaren Zerfall, aber auch bei technischen Anwendungen. Sie wird in der Analyse und Materialphysik sowie in der Energieerzeugung eingesetzt.

2.1.2 Geometrische Optik

Wie bei anderen Strahlungen verwendet man auch in der Beschreibung des Lichtes den Welle-Teilchen Dualismus. Er besagt, dass die Strahlung sowohl Eigenschaften von Wellen als auch von Teilchen aufweist und diese je nach Gegebenheit hervortreten.



Im Bereich der geometrischen oder auch Strahlenoptik werden die Welleneigenschaften des Lichtes vernachlässigt da verwendete optische Werkzeuge wie Spiegel, Linsen und Blenden sowie die abgebildeten Objekte im Vergleich zu Wellenlänge des Lichtes sehr groß sind.

Das Licht wird hier zu Strahlen vereinfacht, welche von einer Lichtquelle ausgehen. Kreuzen sich solche Strahlen gilt das Superpositionsgesetz, die Strahlen beeinflussen sich also gegenseitig nicht.

Eine wichtige Grundlage aus der sich Brechungs- und Reflexionsgesetz ableiten lassen ist das Fermatsche Prinzip. Es besagt, dass Lichtstrahlen stets den schnellsten Weg von einem Punkt zum anderen nehmen. Bei ungehinderter Bewegung in einem homogenen Medium bedeutet dies, dass sich die Strahlen stets geradlinig ausbreiten.

2.1.2.1 Reflexion

Für den Fall, dass ein Strahl auf eine reflektierende Oberfläche trifft leitet sich hieraus das Reflexionsgesetz ab.

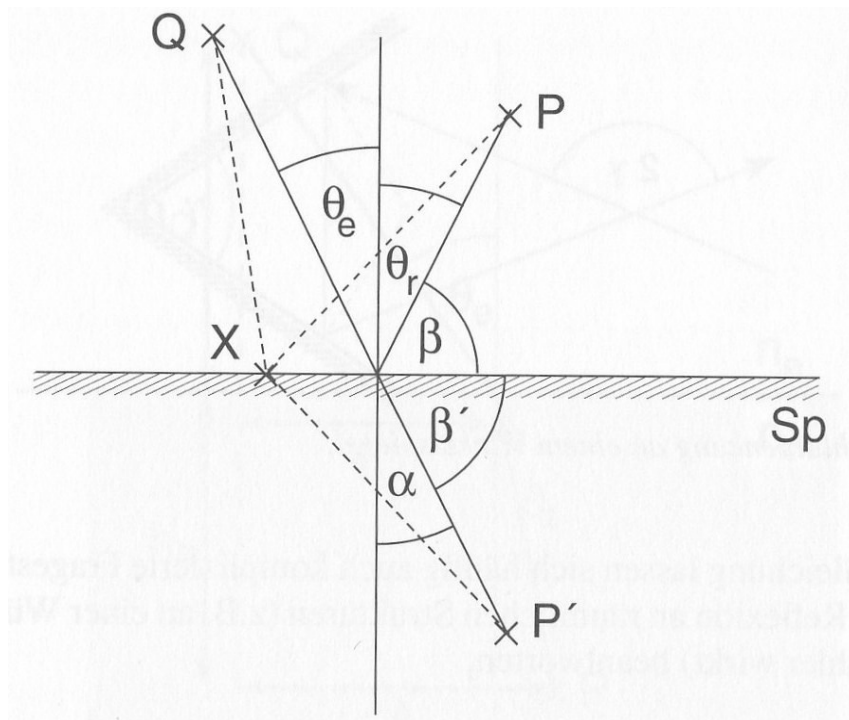


Abbildung 3: Ableitung des Reflexionsgesetzes [1; Seite 73, Bild 3.4]

Ein Lichtstrahl soll vom Punkt Q nach P laufen. Hierbei ist nicht vorgegeben an welchem Punkt X auf der Spiegelfläche Sp er reflektiert werden soll. Spiegelt man den Punkt P zu P' auf die andere Spiegelseite so stellt man fest, dass die Strecke QP über den Punkt X immer gleich der Strecke QP' ist, egal wie X gewählt wird. Da nun logischer Weise eine gerade Linie die kürzeste

Verbindung von Q nach P' ist, ist X genau im Schnittpunkt dieser Linie mit der Spiegelfläche zu wählen um die kürzeste Verbindung von Q nach P zu erhalten. Da dieser Punkt X den gleichen horizontalen Abstand von Q und P hat, sind der Einfallswinkel θ_e und der Reflexionswinkel θ_r gleich groß.

In der Technik kommt es nur selten vor, dass die Reflexion als Einzeleffekt abläuft, dies nennt man dann Totalreflexion. Meist dringt ein Teil des Lichtes in das Medium ein und wird dabei gebrochen.

2.1.2.2 Brechung

Das zweite wichtige Phänomen der geometrischen Optik ist die Lichtbrechung, die immer dann zu beobachten ist, wenn ein Lichtstrahl von einem Medium in ein anderes übergeht, in dem sich das Licht nicht gleich schnell ausbreiten kann. Auch hier kann mit dem Fermatschen Prinzip eine Ableitung erfolgen.

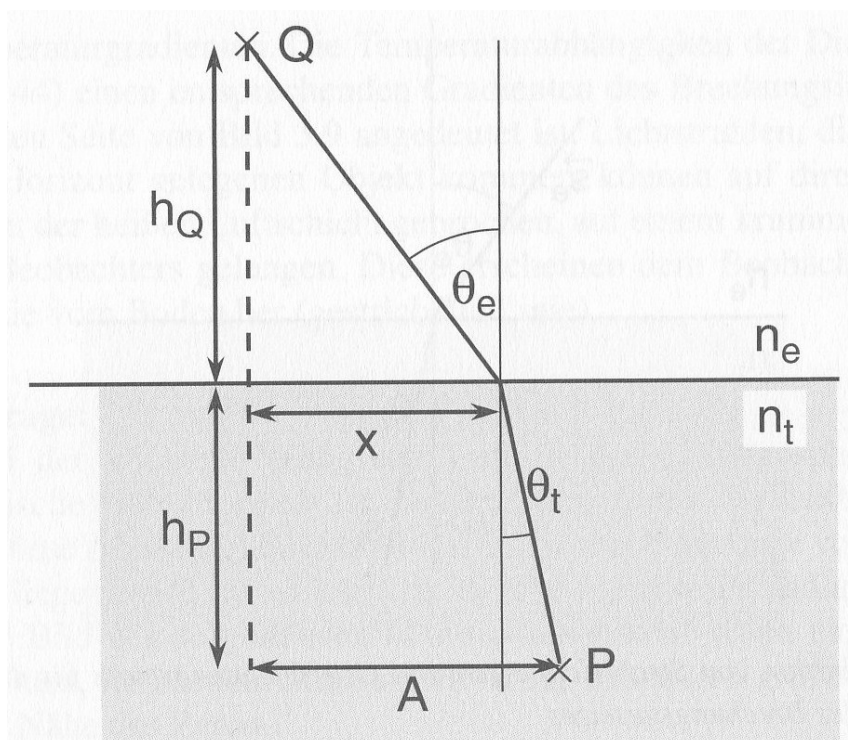


Abbildung 4: Ableitung des Brechungsgesetzes [1; Seite 75, Bild 3.7]

In diesem Fall liegen zwei Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex n_e und n_t vor. Der Lichtstrahl wird von der Quelle Q emittiert und vom Beobachter P wahrgenommen. Versucht man den kürzesten Weg W zu ermitteln erfolgt der Ansatz mit Hilfe des Satzes von Pythagoras.

$$W = n_e * \sqrt{h_Q^2 + x^2} + n_t * \sqrt{h_P^2 + (A-x)^2} \quad (2)$$

Wegen der Bedingung eines möglichst kurzen Weges wird $\frac{dW}{dx} = 0$ gesetzt und es ergibt sich ...

$$\frac{dW}{dx} = 0 = n_e * \frac{x}{\sqrt{h_Q^2 + x^2}} + n_t * \frac{(A-x)}{\sqrt{h_P^2 + (A-x)^2}} = n_e * \sin \theta_e - n_t * \sin \theta_t$$

$$\Rightarrow \frac{n_e}{n_t} = \frac{\sin \theta_t}{\sin \theta_e} \quad (3)$$

- W Weg des Lichtstrahls [m]
 n_e Brechungsindex Medium e [-]
 n_t Brechungsindex Medium n [-]
 h_Q Vertikaler Abstand Lichtquelle Mediengrenze [m]
 h_P Vertikaler Abstand Beobachter Mediengrenze [m]
 x Horizontaler Abstand Lichtquelle Medienübergangspunkt [m]
 A Horizontaler Abstand Lichtquelle Beobachter [m]
 θ_e Einfallswinkel des Lichtes zur Mediengrenze [°]
 θ_t Ausfallswinkel des Lichtes von der Mediengrenze [°]

... das Brechungsgesetz nach Snellius.

2.1.2.3 Lichtablenkung

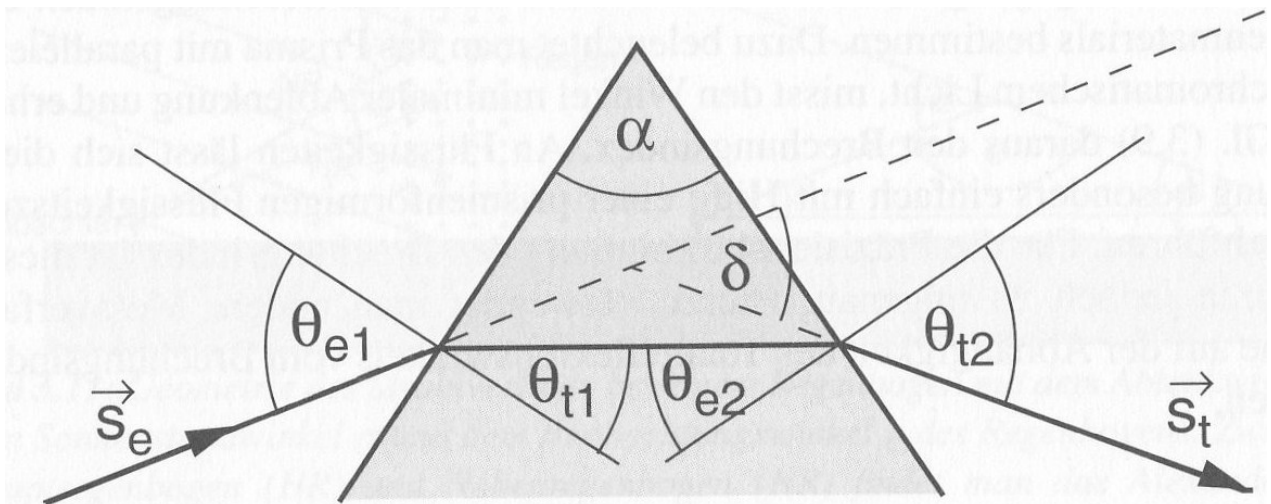


Abbildung 5: Strahlablenkung in einem Prisma [1, Seite 77, Bild 3.10]

Das Brechungsgesetz gilt natürlich immer, wenn ein Lichtstrahl von einem Medium zu einem optisch anderen übergeht unabhängig von dessen Form. Die Geometrie kann man daher dazu nutzen um Lichtstrahlen aufzuteilen, zu bündeln, zu streuen oder ähnliches.

Das Glasprisma gehört zu einer der wichtigsten Anwendungen des Brechungsgesetzes in der Technik. Lichtstrahlen können mit Hilfe von Glasprismen umgelenkt und/oder in ihre Lichtanteile zerlegt werden.

Der Strahl wird dabei so gewählt, dass er in der gleichen Ebene ein- und ausfällt. Besteht das Licht nur aus einem oder sehr gering unterschiedlichen Strahlen wird es nur umgelenkt. Besteht es, wie etwa Sonnenlicht, aus vielen verschiedenen Anteilen des Lichtspektrums, so werden diese in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge unterschiedlich stark gebrochen und somit aufgeteilt. Diese wellenlängenabhängige Beugung ist jedoch nicht Teil der geometrischen Optik.

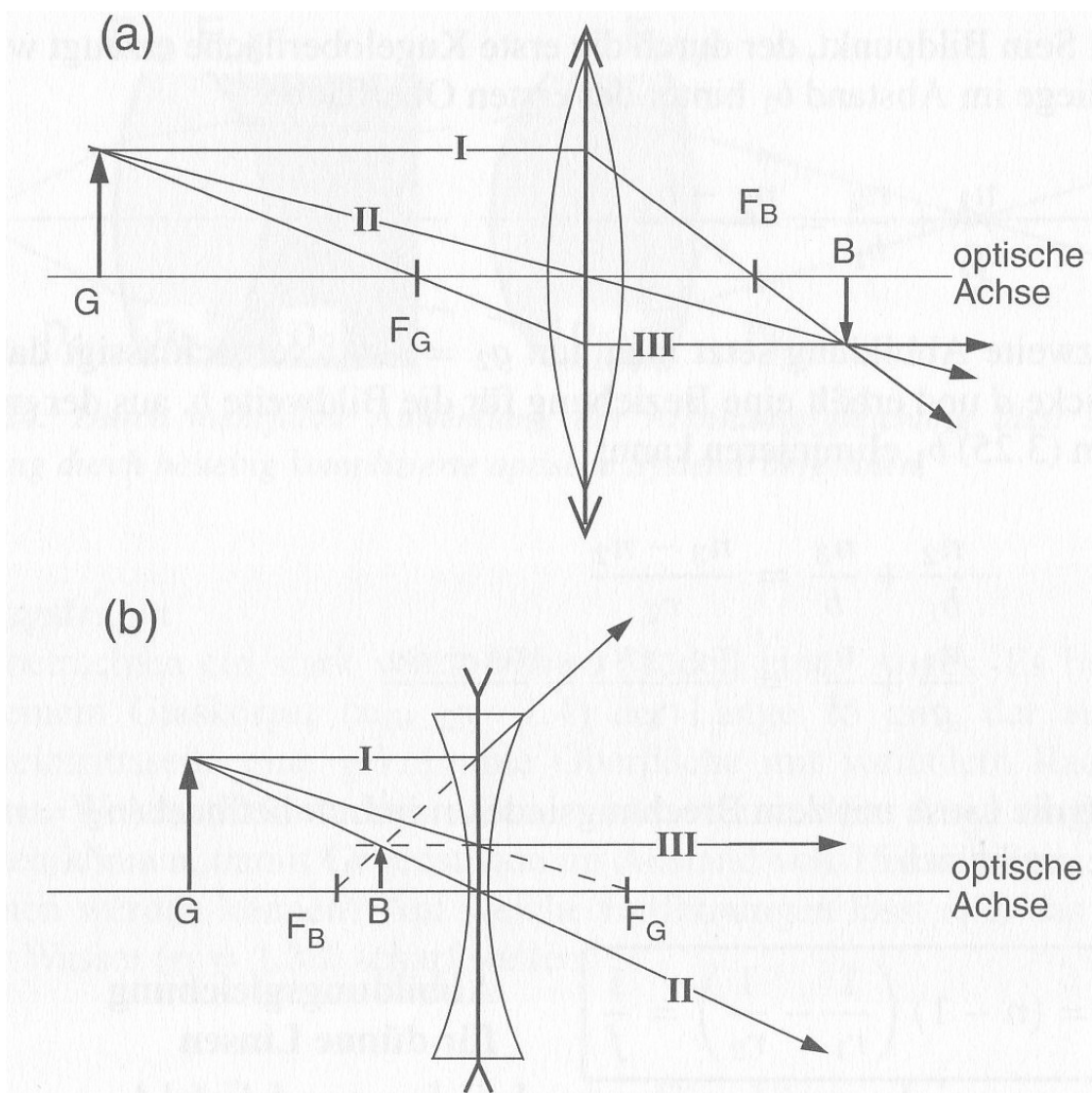


Abbildung 6: Strahlengang bei einer Sammellinse (a) und Zerstreuungslinse (b) [1, Seite 94, Bild 3.26]

Die zweite sehr wichtige Form der optischen Gläser sind die Linsen. Durch ihre Form sind sie dafür gedacht Lichtstrahlen zu fokussieren (Konkavlinen) oder zu streuen (Konvexlinen). Durch Variation der Oberflächen, der Linsengröße und ihrer Anordnung können so verschiedenste Effekte erzielt werden mit deren Hilfe ein abgebildeter Gegenstand G verkleinert, vergrößert, verzerrt oder sonstig dargestellt wird.

2.1.3 Wellenoptik

Die Wellenoptik ist das genaue Gegenteil zur geometrischen Optik, denn es wird nun die Welleneigenschaft des Lichtes betrachtet. Wie eingangs gesagt handelt es sich bei Licht um eine elektromagnetische Transversalwelle, also um ein schwingendes elektrisches Feld und das zugehörige schwingende Magnetfeld.

Aus den Maxwellgleichungen lassen sich die beiden Wellengleichungen dieser Felder ausdrücken:

$$\Delta \vec{E} - \varepsilon * \varepsilon_0 * \mu_0 * \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = 0 \quad (4)$$

bzw.

$$\Delta \vec{B} - \varepsilon * \varepsilon_0 * \mu_0 * \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2} = 0 \quad (5)$$

$$\vec{E} \quad \text{Elektrisches Feldstärke} \left[\frac{V}{m} \right]$$

$$\vec{B} \quad \text{Magnetische Flussdichte [T]} \left(\text{entspricht} \left[\frac{V * s}{m^2} \right] \right)$$

$$\varepsilon \quad \text{Dielektrizitätskonstante} \left[\frac{A * s}{V * m} \right]$$

$$\varepsilon_0 \quad \text{Dielektrizitätskonstante} \left[\frac{A * s}{V * m} \right]$$

$$\mu_0 \quad \text{Permeabilität} \left[\frac{V * s}{A * m} \right]$$

$$t \quad \text{Zeit [s]}$$

2.1.3.1 Beugung

Das Huygenssche Prinzip besagt, dass eine Elementarwelle eine Front aus sich mit gleicher Geschwindigkeit und Phase bewegender Teilchen ist und jedes dieser Teilchen für sich wiederum



Ausgangspunkt einer neuen Wellenfront ist. Die Überlagerung dieser Wellenfronten ergibt die neue Wellenfront.

Unter Beugung oder Diffraktion versteht man die Ablenkung einer Welle an einem Hindernis. Ein großer Teil der Wellenfront wird von dem Hindernis an der Fortbewegung gehindert und nur ein kleinerer Teil kann z.B. durch einen Spalt weiter. Die Wellen verändern sich hinter dem Hindernis und nutzen den geometrischen Schatten des Hindernisses aus.

Je nach Art des Hindernisses kommt es zu so aus parallelen Wellen, Kugelwellen (Lochdurchgang), Zylinderwellen (Spalt) oder andere Erscheinungsformen.

2.1.3.2 Interferenz

Die Möglichkeit der Interferenz ist ein klarer Unterschied zur geometrischen Optik, denn hier kreuzten sich Strahlen ohne gegenseitige Beeinflussung. Im Falle der Wellenoptik jedoch überlagern sich diese Wellen, wenn auch wie im geometrischen Falle, ohne sich zu beeinflussen.

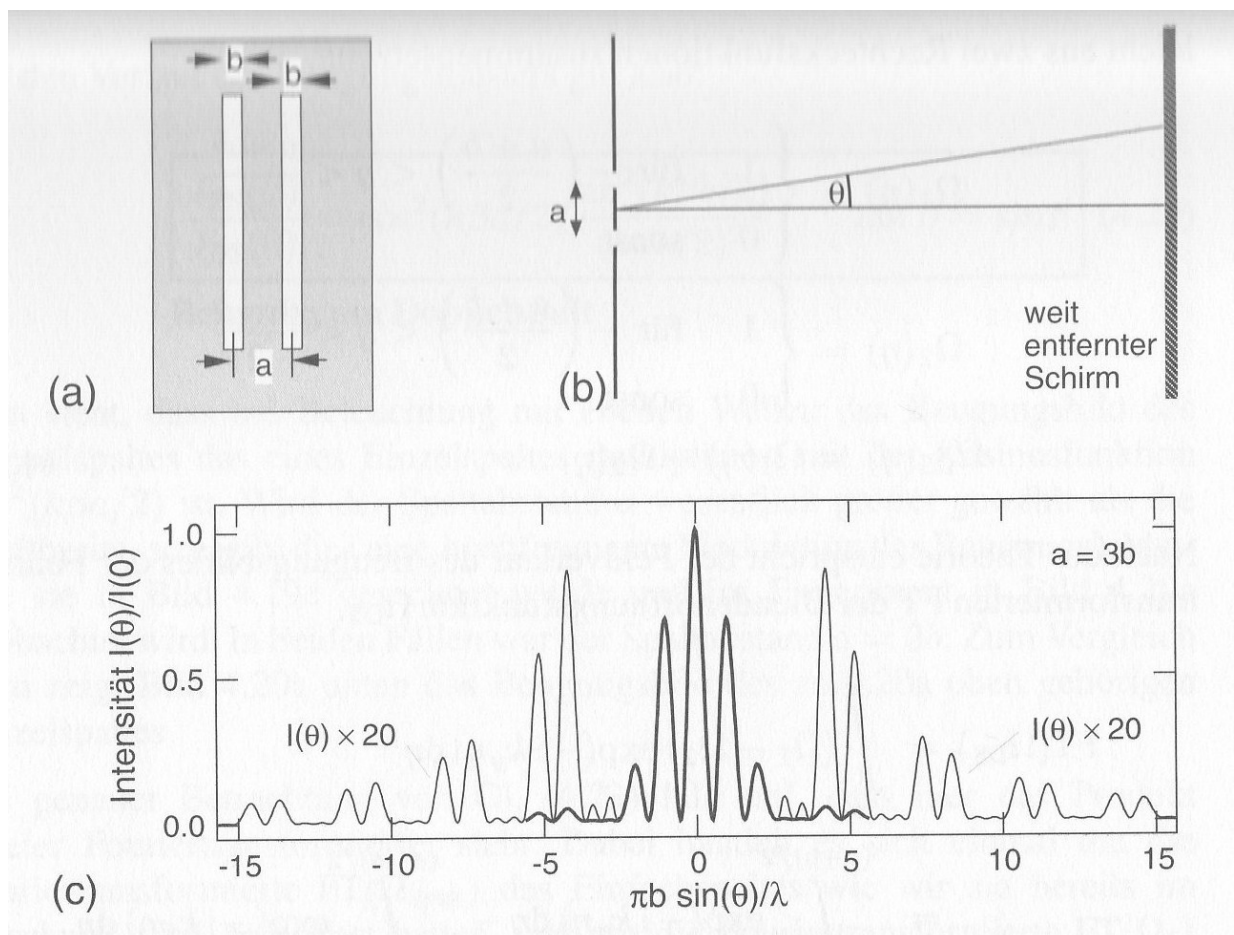


Abbildung 7: Beugung am Doppelspalt (a) Doppelspalt, (b) schematische Darstellung, (c) Intensitätsverlauf [1, Seite 155, Bild 4.19]

Bei der Interferenz unterscheidet man zwischen positiver und negativer Interferenz. Im Falle positiver Interferenz verstärken sich zwei Wellenberge oder -täler zu einer noch intensiveren Amplitude. Bei negativer Interferenz schwächen sich ein Wellental und -berg gegenseitig ab, was im Extremfall zur so genannten Auslöschung der Schwingung führt. Eine Abfolge solcher Interferenzen bezeichnet man als Interferenzmuster.

Als Zusammenspiel des Beugungs- und Interferenzeffekts treten die Lichterscheinungen bei der Beugung von Licht an einem Mehrfachspalt oder gar einem Gitter auf. Das Licht wird über das Gitter gebeugt, die einzelnen gebeugten Wellen interferieren miteinander und bilden Muster mit deren Hilfe Aussagen über das Gitter getroffen werden können.

2.1.3.3 Kohärenz

Von kohärenten Wellen spricht man, wenn zwei Wellen zueinander eine feste Phasenbeziehung aufweisen. Das heißt, wenn sie sich so ausbreiten, dass sich stetig gleiche Wellenanteile überlagern können. Anderenfalls sind die Wellen inkohärent.

Im Bereich der Kohärenz unterscheidet man außerdem die zeitliche und örtliche Kohärenz. Dabei geht es lediglich um den Unterschied ob Wellen längs der Zeitachse oder der Raumachse eine feste Phasenbeziehung aufweisen. Bei den meisten Experimenten liegen beide Formen vor, da die Wellenausbreitung in nur einer Richtung beobachtet wird.

Den mathematischen Zusammenhang dieser beiden Kohärenzen bildet man über die Größen der Kohärenzzeit t_c , also den zeitlichen Laufunterschied den zwei Wellen haben dürfen um ein Interferenzmuster zu bilden und der Kohärenzlänge l_c , also dem örtlichen Laufunterschied den zwei Wellen aufweisen dürfen um ein Interferenzmuster zu bilden.

$$l_c = t_c * c \quad (6)$$

l_c Kohärenzlänge [m]

t_c Kohärenzzeit [s]

c Lichtgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

Wenn man das Licht als Welle beschreibt, so besteht es normaler Weise aus einer großen Anzahl einzelner Strahlungsereignisse. Die dabei entstehenden Wellenstücke unterscheiden sich in Amplitude und Frequenz. Klassisches weißes Licht besteht eben aus solchen unterschiedlichen Wellenstücken (siehe Abbildung 8) und ist daher nur in sehr kurzen Zeitbereichen interferenzfähig.

Verwendet man thermische Lichtquellen wie etwa Spektrallampen in denen von angeregten Atomen Licht entsendet wird, erhält man monochromatisches aber dennoch inkohärentes Licht.



(siehe Abbildung 8) Derartiges Licht ist in wesentlich breiteren Zeitabschnitten von etwa 10^{-8} s interferenzfähig.

Noch längere Interferenzzeiten kann man mit einem speziellen extrem schmalbandigen Laser erhalten. Sie entsenden kohärentes Licht, das aus einer ununterbrochenen Sinusschwingung gleich bleibender Frequenz und Amplitude besteht. (siehe Abbildung 8) Damit kann man den Interferenzbereich bis auf Sekunden ausdehnen.

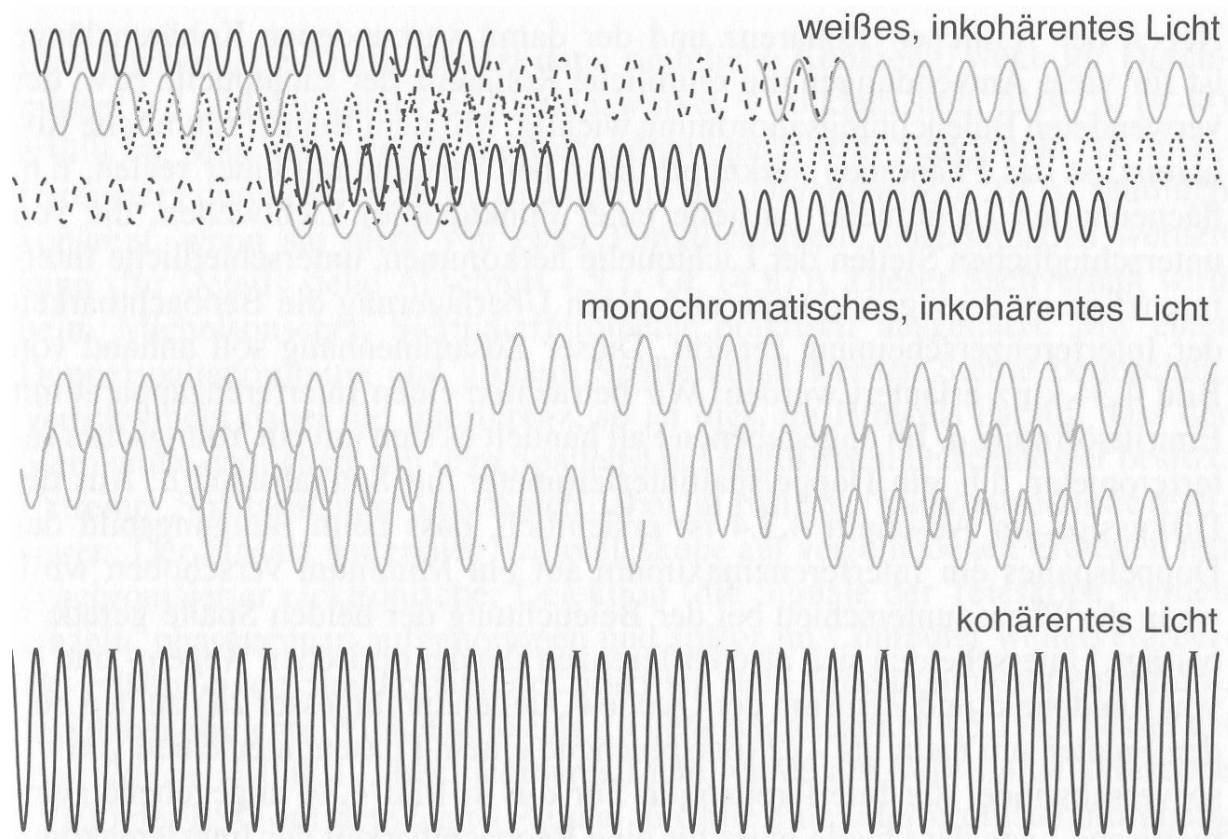


Abbildung 8: Verschiedene Lichtwellen [1, Seite 173, Bild 4.33]

2.1.3.4 Polarisation

Mit der Polarisation einer elektromagnetischen Welle beschreibt man das Verhalten der ihr zugrunde liegenden Schwingung des elektrischen und magnetischen Feldes. Ändert sich ihr Schwingungsverhalten schnell und ungeordnet so spricht man von nicht polarisierten Wellen. In der Natur vorkommendes Licht ist zu meist nicht polarisiert und muss erst mit Hilfe von Polarisatoren behandelt werden. Solche Polarisatoren nutzen physikalische Effekte wie etwa Absorption (dichroische Kristalle), Reflexion (Lichteinfall unter dem Brewster-Winkel) oder Doppelbrechung (Abhängigkeiten mit der Brechzahl) aus.

Man unterscheidet so 3 Formen von polarisiertem Licht:

Bei linear polarisiertem Licht ist die Ausbreitungsrichtung der Welle konstant und kann in Form eines Winkels zu einer Bezugsebene oder als Vektor angegeben werden. Die Auslenkung aus der Ruhelage ändert in periodischen Abständen Betrag und Vorzeichen.

Zirkularpolarisiertes Licht liegt vor, wenn die beiden zugrunde liegenden Wellen eine gleichgroße Amplitude aufweisen und ihre Phasenverschiebung $\pi/2 + n \cdot \pi$ beträgt, wobei n eine natürliche Zahl oder Null ist. Also so, dass die eine Welle gerade einen Berg oder Tal durchläuft, während die andere sich in der Ruheposition befindet. Der Betrag des Vektors der Auslenkung ist in diesem Fall konstant, welcher eine Kreisbahn beschreibt. In diesem Fall ist auch noch der Wert m interessant, der den Drehsinn der Transversalwelle beschreibt. Dieser wird so festgelegt, dass man in Richtung der Quelle blickt. Dreht sich die Welle im Uhrzeigersinn ist sie rechtszirkularpolarisiert, im umgekehrten Falle linkszirkularpolarisiert.

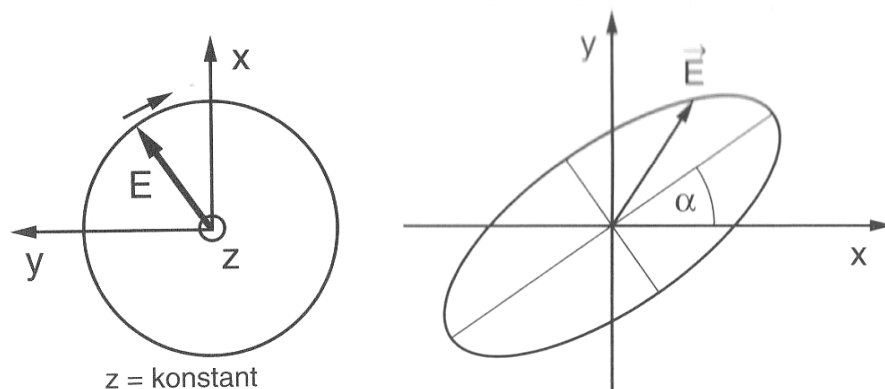


Abbildung 9: Zirkular (rechts) und elliptisch (links) polarisiertes Licht [1, Seite 223, Bild 4.68 (a) bzw. Seite 225, Bild 4.69]

Die dritte Möglichkeit ist die elliptische Polarisation von Licht, die eine Mischung des linearen und des zirkularen Falles darstellt. Der Betrag und die Richtung des Wellenauslenkungsvektors ändern sich hierbei als Funktion der Zeit, wodurch die Spitze des Vektors eine Ellipse beschreibt. Da es sich um eine Mischform handelt, kann diese Form der Polarisation natürlich zum linearen oder zirkularen Typ entarten.

2.2 Stand der Technik

2.2.1 Allgemeines

Die Tageslichttechnik hat das Ziel Sonnenlicht in Räume einzuleiten um diese zu beleuchten. Das hat den Effekt der Kostenersparnis für Beleuchtung und teilweise auch Beheizung sowie einen positiven Effekt für das Raumklima. Die Tageslichttechnologie wird bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts genutzt und wurde seither immer weiter verfeinert. Mit dem Aufleben des Umweltschutzes und des Energiesparens in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts erlebte diese Technik einen Aufschwung und wird seither vor allem bei großen Bauten genutzt um diese umweltfreundlicher zu gestalten. Beispiele hierfür sind das Kunstmuseum in Bern (1983) oder aber der Bahnhof von Luzern (1986), welche vor allem mit zahlreichen Oberlichtern ausgestattet wurden um auch innen liegende Räume mit Tageslicht zu beleuchten.

Auch gesetzlich fand die Bedeutung von Tageslicht ihren Niederschlag so findet sich in der deutschen Arbeitsstättenverordnung von 2004 folgendes:

„Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein“

Während die ersten Tageslichtsysteme nur einfach Licht in einen Raum einlenkten haben moderne Systeme ein breiteres Aufgabenfeld abzudecken. Der VDI Bericht Nr. 1871 aus dem Jahr 2005 definiert 8 Anforderungen, denen ein modernes Tageslichtsystem entsprechen sollte.

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Strahlungsenergie der Sonne liegt bei klarem Himmel im Bereich von 1 kW/m^2 . Senkrechte Fassaden erfahren immer noch etwa 50% dieser Energie. Wird diese Energie (vor allem im Sommer) unkontrolliert in einen Raum eingelenkt, so heizt er sich stark auf, was wieder erhebliche Kosten für die Raumkühlung verursacht. Dieses Problem tritt bei vielen modernen Glasbauten auf. Um dies zu verhindern soll ein Tageslichtsystem zusammen mit der Fassade möglichst viel der sommerlichen Strahlungsenergie abhalten.

Blendschutz

Als Kennwert des Blendschutzes verwendet man die Leuchtdichte L , sie ist das fotometrische Maß dafür wie das menschliche Auge Helligkeit wahrnimmt, gemessen als Lichtstärke pro Fläche in Candela pro Quadratmeter. Das menschliche Auge kann in einem Bereich von $3 \cdot 10^{-6}$ bis $1 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$ sehen, darüber tritt so genannte Blendung ein.



Da die Sonne eine Leuchtdichte von 10^9 cd/m² aufweist müsste diese allein um nicht zu blenden auf ein Zehntausendstel abgeschwächt werden. Um ungestört arbeiten zu können muss dieser Wert jedoch weiter auf etwa 10^3 cd/m² also insgesamt auf ein Millionstel gesenkt werden.

Tageslichtversorgung

Der Hauptzweck von Tageslichtsystemen ist es das Innere von Gebäuden mit Tageslicht zu versorgen. Von den außen herrschenden etwa 100.000 Lux Beleuchtungsstärke sollen abhängig von den Gegebenheiten des Raumes etwa 300 – 4000 Lux in den Raum eingelenkt werden.

Neben der eingelenkten Beleuchtungsstärke ist auch das Spektrum des eingelenkten Lichtes von großer Bedeutung. Das Spektrum des natürlichen Lichtes soll dabei möglichst getreu abgebildet werden, da ansonsten eine unangenehme Beleuchtung entstehen kann.

Außenbezug

Der Außenbezug ist zwar technisch nicht erforderlich, jedoch ist er für den Benutzer von großer Bedeutung. Ein System, das zwar Licht einlenkt, aber den Blick in die freie Natur versperrt, wird als beklemmend empfunden und nicht angenommen werden.

Gestaltung

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist, dass alle Einbauten an der Fassade ein wesentliches Gestaltungsmerkmal des Gebäudes sind. Neben der Erfüllung der technischen Kriterien ist daher auch darauf zu achten, dass ein Tageslichtsystem sich in sein Umfeld einfügen lässt. Dies kann umso größere Bedeutung gewinnen, wenn das Tageslichtsystem im Wohnbau oder im öffentlichen Bereich zum Einsatz kommt, da hier Befindlichkeiten der Bewohner und der Öffentlichkeit zu tragen kommen.

Vernetzung

Tageslichtsysteme sollen sowohl Licht als auch Wärme in Innenräume einbringen und dadurch helfen Energie zu sparen. Ein System jedoch bedarf natürlich einer Steuerung, da es ansonsten nutzlos ist. Ein Tageslichtsystem sollte daher mit der Heizung und Beleuchtung vernetzt werden um einen Ersparnisefekt zu erzielen. So sollte sich etwa die Heizung oder Beleuchtung entsprechend der vom System eingebrachten Wärme- und Lichtmenge so zurückgeregelt werden, dass man in Summe einen Sollwert erreicht.

Eine weitere wichtige Vernetzung die bei großen Systemen zu tragen kommt ist jene der einzelnen Systeme untereinander. So kann etwa über mehrere Systeme auch ein entlegenes Zimmer beleuchtet werden.



Nutzerbedürfnisse

Die Nutzerbedürfnisse sind bei Systemen im Allgemeinen die Möglichkeiten auf das System Einfluss zu nehmen. Für den Nutzer ist es angenehm, wenn er neben der Grundausrichtung des Systems, welche die Bedürfnisse größtenteils abdecken sollte, selbst Veränderungen vornehmen kann. Bei einem Tageslichtsystem sollten der Ort und die Intensität der Einstrahlung variabel sein. Diese Änderungen sollten elektronisch und möglichst einfach vorzunehmen sein um größtmöglichen Nutzerkomfort zu gewährleisten.

Weitere Nutzerbedürfnisse sind sehr vielfältig und variieren von Kunde zu Kunde. Sie zu erfassen und mit einem Massenprodukt darauf zu reagieren ist sehr schwierig weshalb ein Beratungsgespräch mit dem Kunden oft unumgänglich ist.

Wirtschaftlichkeit

Hierbei ist nicht die Wirtschaftlichkeit des Produktes gemeint, sie steht natürlich im Interesse des Herstellers, aber nicht des Nutzers. Der Nutzer ist daran interessiert die Wirtschaftlichkeit seiner Räume zu erhöhen, ob nun nur aus energetischer Sicht oder aber auch aus der Perspektive des Wohlbefindens, der Produktivität und der Gesundheit der Arbeiter im Falle eines Büroraumes.

2.2.2 Verschiedene Systeme

Tageslichtsysteme können nach verschiedenen Kriterien wie etwa dem physikalischen Wirkprinzip oder Materialien unterteilt werden. Am gebräuchlichsten ist jedoch die bauliche Unterteilung bezüglich Einbauart und Funktion.

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Systeme in Funktionsweise, Anwendungsgebiet sowie Vor- und Nachteilen verglichen.

2.2.2.1 Außen liegende Systeme

2.2.2.1.1 Feststehende Roste und Lamellensysteme

Funktionsweise

Sie bestehen aus horizontal angeordneten Lamellen oder Roststäben, welche das Licht am Einfall in den Raum hindern sollen. Die Lamellen oder Stäbe sind zumeist aus Stahl oder Aluminium gefertigt, ihre speziellen Eigenschaften erhalten sie mittels Beschichtungen. Ihre Funktion kann durch die Gestaltung der Lamellen oder durch das verwendete Material sowie die Größe der Ausführung beeinflusst werden.



Anwendungsgebiet

Dieses System wird hauptsächlich im Bereich des Sonnenschutzes eingesetzt, wenn gleich eine Nutzung zur Lichtlenkung möglich ist. Das System wird vor den Fensterflächen (im sinnvollsten Falle südseitig) angebracht um unerwünschte Strahlung abzuhalten. Manchmal sind diese Systeme derartig groß ausgeführt, dass sie begehbar sind. In diesem Fall können sie als Fluchtwege, Wartungszugänge oder sonstig genutzt werden.

Vor- und Nachteile

Ein unbewegliches System ist im Vergleich stabiler, wartungsärmer und kostengünstiger als ein bewegliches. Zudem kann es im Gebäude bei ausreichender Größe bauliche Aufgaben wie z.B. als Fluchtweg übernehmen.

Die Nachteile ergeben sich auch aus dieser Unbeweglichkeit, denn ein derartiges System kann eben nur auf einen Standardfall hin ausgerichtet werden. Der erwünschte Lichtschutz des Sommers wird im Winter zum Nachteil, da nun das wenige vorhandene Licht auch noch am Eindringen gehindert wird.

2.2.2.1.2 Außen liegende Jalousie

Funktionsweise

Horizontal angeordnete Lamellen befinden sich vor einem Fenster oder einer Tür um das Licht am Eindringen zu hindern. Ihre Neigung kann über eine Vorrichtung verändert werden, wobei sie bei steilerer Stellung weniger Licht durchlassen. Die Jalousie kann auch hochgefahren werden um das Licht gar nicht zu blockieren.

Anwendungsgebiet

Die außen liegende Jalousie dient dem variablen Lichtschutz von Räumen und ist die am weitesten verbreitete Lichtschutztechnologie. Sie kommt vor allem in Haushalten und kleineren Büroräumlichkeiten zum Einsatz.

Vor- und Nachteile

Vorteilhaft ist an diesem System, dass es je nach Sonnenstand und Lichtmenge so reguliert werden kann, dass die gewünschte Lichtmenge eindringen kann. Da das System sehr verbreitet ist, gibt es viele Variationen und es ist somit kostengünstig auch spezielleren Wünschen anpassbar.

Als Nachteil ist zu nennen, dass dieses System nur Licht abhalten, es aber nicht nutzen kann. Im Vergleich zu starren Systemen verschleißt es außerdem leichter. Bei geschlossener Jalousie ist die Sichtverbindung nach außen gänzlich unterbrochen.



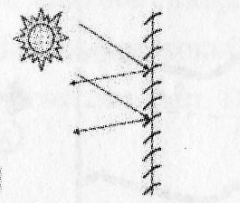
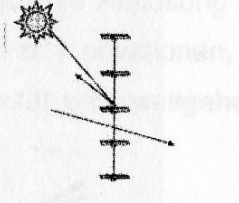
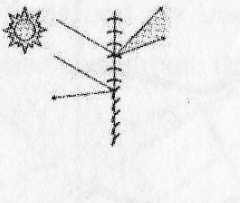
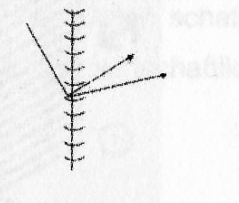
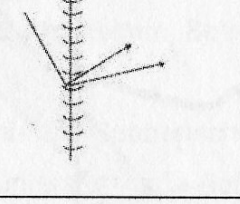
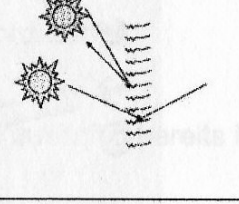
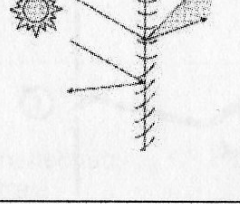
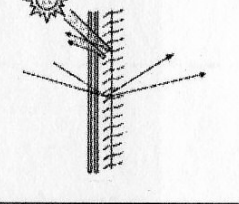
Jalousien Fassade innen, außen		transparente Lamellen mit Strukturen zur Rück-reflektion Fassade innen	
Jalousien zur Lichtlenkung Fassade innen, außen		Metallische Lamellen mit Strukturen zur Rück-reflektion Fassade innen	
Verspiegelte konkave Lamellen Fassade innen		Lamellen mit 2 Funktionsbereichen Fassade innen, außen	
Verspiegelte konkave Lamellen Fassade innen		Klappbare Lamellen Fassade innen	

Abbildung 10: Einige Jalousiesysteme [3, Seite 5, Tabelle 1]

2.2.2.1.3 Nachgeführte Lamellen

Funktionsweise

Horizontal angeordnete Lamellen werden dem Sonnenstand so nachgeführt, dass sich ihre Neigung entsprechend ändert. Durch die Änderung der Neigung kann wahlweise ein Lichtschutz oder bei entsprechender Behandlung der Oberfläche eine Lichteinlenkung erfolgen.

Anwendungsgebiet

Nachgeführte Lamellen gehören bereits zu den aufwendigeren Technologien, da man für eine effektive Nutzung des Systems einen Mess- und Regelkreis aufbauen muss. Ein derartiges System wird daher dann genutzt, wenn ein gleichmäßiges Eindringen von Licht technisch erforderlich ist.

Vor- und Nachteile

Durch die automatische Anpassung des Systems an den Sonnenstand ist es besonders benutzerfreundlich und weniger aufwendig im Gebrauch. Das System kann eine nahezu konstante Beleuchtung der Räumlichkeiten sicherstellen.

Nachteilig sind der höhere technische Aufwand und die damit verbundenen Kosten sowie der Wartungsaufwand. Derartige Lamellen können außerdem nicht hochgezogen werden und somit nicht 100% des Lichtes einfallen lassen.

2.2.2.1.4 Lichtlenkjalousie

Funktionsweise

Lichtlenkjalousien sind eine Kombination der Jalousie und der nachgeführten Lamellen. Sie bestehen aus horizontalen Lamellen, die hochgezogen werden können und in ihrer Neigung verstellbar sind. Die Oberflächen der Lamellen sind verspiegelt und weisen eine konkave Form aus. Dadurch wird das Licht gestreut in den Raum eingeleitet und bildet eine diffuse Lichtquelle an der Decke.

Anwendungsgebiet

Lichtlenkjalousien sind das erste System, das vorrangig der Lichteinlenkung in den Raum dient. Durch ihre konkave Lamellenform wird das Licht gestreut und somit werden Blendeffekte vermieden. Es ist daher für den breiten Einsatz im Wohn- und Arbeitsbereich geeignet.

Vor- und Nachteile

Lichtlenkjalousien können je nach Oberflächenbehandlung und –gestaltung sowohl für den Lichtschutz als auch für die Lichtversorgung genutzt werden. Da sie hochgezogen werden können, kann bei Bedarf das gesamte Licht eingelassen werden. Werden sie als nachgeführtes System gebaut sind sie außerdem sehr nutzerfreundlich.

Ein komplexeres System hat natürlich immer den Nachteil höherer Kosten, außerdem kann es neben den erwünschten Effekten dennoch zu leichten Blendeffekten und zur Blockade der Sichtverbindung kommen.



2.2.2.1.5 Lichtschwert

Funktionsweise

Lichtschwerter sind außen liegende Einbauten, die Licht im Bereich hoch liegender Fenster und Oberlichten einleiten. Das Licht wird von hier direkt an die Decke geworfen, wo es eine diffuse Lichtquelle bildet.

Anwendungsgebiet

Diese Form der Beleuchtung benötigt spezielle bauliche Eignungen des Gebäudes wie z.B. das ganz grundlegende Vorhandensein von Oberlichten. Sind diese jedoch gegeben kann das System diffuses Licht in die Tiefe des Raumes einleiten ohne die weiter unten liegenden Fenster zu blockieren. Diese können dann eventuell für andere lichttechnische Maßnahmen genutzt werden.

Vor- und Nachteile

Als Vorteil ist hier zu nennen, dass bei entsprechenden baulichen Voraussetzungen das System an sich kostengünstig ist. Zudem lässt es die übrigen Fensterflächen frei, die nun wie gewohnt genutzt werden können.

Sollten die baulichen Voraussetzungen nicht vorhanden sein, so werden sie zum Nachteil, da sie sehr teuer sein können. Ein derartiges System liegt außerdem nicht in direkter Reichweite, was seine Wartung komplizierter macht.

2.2.2.1.6 Markise

Funktionsweise

Die Markise gehört auch zu den Tageslichtsystemen, wenn sie auch eine der primitivsten, aber am weitesten verbreiteten Formen darstellt. Markisen bestehen aus textilen oder anderen flexiblen Materialien die von einem Gerüst gestützt werden. Diese Markisen werden montiert und können bei Bedarf ausgefahren werden um vor Sonneneinstrahlung zu schützen.

Anwendungsgebiet

Dieses System findet in zahlreichen Haushalten als Sonnenschutz auf der Terrasse Anwendung. Im technischen Bereich wird es kaum verwendet.

Vor- und Nachteile

Die Vorteile der Markise sind vor allem ihre geringen Anschaffungskosten sowie die einfache Handhabung.



Nachteilig sind die stark eingeschränkten Einsatzmöglichkeiten, die sich nur auf den Sonnenschutz und hier auf nur sehr geringe Beanspruchungen beschränken.

2.2.2.1.7 Nachgeführte Prismen

Funktionsweise

Bei den nachgeführten Prismen handelt es sich um speziell behandeltes Acrylglas, dessen äußere Seite glatt, die innere aber wie eine Treppe aus winzigen Prismen geformt ist. Direkt einfallendes Sonnenlicht wird nach dem Prinzip der Totalreflexion zurückgeworfen, während diffuses Licht durchtreten kann. Die vor dem Fenster angebrachten Acrylglasplatten werden dem Sonnenstand nachgeführt. Aus dem Winkel eines inneren Betrachtetes kommt es nur zu geringer bis keiner Behinderung der Sicht.

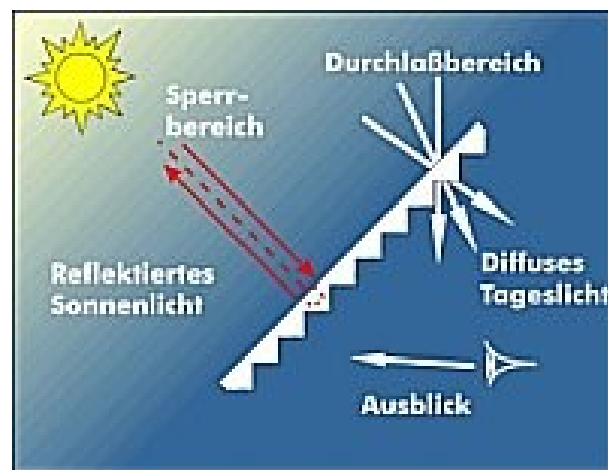


Abbildung 11: Prinzip der nachgeführten Prismen [4]

Anwendungsgebiet

Dieses System kommt vor allem dann zur Anwendung, wenn neben dem übermäßigen Eintritt von Licht auch der Wärmeeintrag reduziert werden soll. Daher werden solche Systeme vor allem vor den Fenstern von durch die Sonne stark bestrahlten Zimmern angebracht.

Vor- und Nachteile

Die Vorteile dieses Systems sind die fast gänzliche Aussperrung direkter Sonneneinstrahlung und von Teilen der Wärmestrahlung, wodurch Blend- und Überhitzungseffekte vermieden werden. Auch behindert das System den Blickkontakt nach Außen nur geringfügig.

Nachteilig sind neben den Kosten auch die Probleme der Wartung, schwierigeren Nutzung und Anwendung dieses Systems.

2.2.2.1.8 Zweigeteilte Lamellen

Funktionsweise

Die außenseitig liegenden zweigeteilten Lamellen sind eine Mischung der Jalousie und der nachgeführten Lamellen. Sie bestehen aus horizontalen Lamellen, welche mit ihrer Neigung dem Stand der Sonne nachgeführt werden. Die Lamellen sind dabei in einen unteren und einen oberen Bereich unterteilt, welche separat angesteuert werden. Der untere Teil sorgt für ausreichenden Blendschutz während der obere Licht in den Raum einlenkt.

Anwendungsgebiet

Die zweigeteilten Lamellen kommen wegen des noch höheren technischen Aufwandes in speziell belasteten Bereichen wie etwa südseitigen Büroräumen zum Einsatz. Sie sollen ein angenehmes blendungsfreies Arbeiten (vor allem an Bildschirmen) ermöglichen und zugleich die Klimaanlagekosten senken.

Vor- und Nachteile

Der separate Antrieb der beiden Jalousieteile hat den großen Vorteil, dass das Problem der Lichteinlenkung und des Blendungsschutzes separat behandelt und somit auch die jeweiligen Lamellen dafür optimiert werden können.

Nachteilig sind wie sooft bei Systemen mit höherem technischen Aufwand, die Kosten, die Wartung sowie die Messung benötigter Parameter für die daraus resultierende Regelung der Jalousieteile.

2.2.2.2 Innen liegende Systeme

2.2.2.2.1 Lichtschutzfolien

Funktionsweise

Lichtschutzfolien können sowohl außen als auch innen an Glasflächen wie Fenstern und Türen angebracht werden. Die Verwendung an der Innenseite ist aber gebräuchlicher, da die Folie so vor Witterungseinflüssen geschützt ist und länger verwendet werden kann. Die Folien filtern je nach Ausführung Anteile des Lichtes heraus und sorgen so für die gewünschte Abänderung der Strahlung.

Anwendungsgebiet

Folien können sehr verbreitet eingesetzt werden, da die Anbringung sehr einfach und kostengünstig ist. Die gewünschte Glasfläche wird einfach mit der Folie abgeklebt. Durch diese



einfache Handhabung sind Folien vor allem dann im Einsatz, wenn kleinere Flächen geschützt werden sollen, da andere Maßnahmen zu teuer wären. Herkömmliche Folien können eine Abdunkelung des Raumes ähnlich einer Sonnenbrille bewirken oder aber reflektierend ausgeführt sein. Moderne Folien weisen auf der einen Seite eine reflektierende Oberfläche auf, sind aber von der anderen Seite durchsichtig, wodurch sie die Sichtverbindung nach außen nicht blockieren.

Vor- und Nachteile

Die Vorteile dieses Systems sind seine Einfachheit, die sie vor allem für den privaten Einsatz interessant macht sowie die geringen notwendigen Investitionen. Durch das breite Angebot an Folien sind auch viele verschiedene Anwendungen denkbar. Sollte die Folie innen angebracht werden ist das System nahezu wartungsfrei.

Nachteilig ist die geringe Flexibilität des Systems. Ist die Folie angebracht kann ihre Funktion nur dadurch geändert werden, dass man sie austauscht wodurch die vorherige Folie normalerweise zerstört wird. Übliche Folien können nur zum Lichtschutz und nicht zur Lichtlenkung eingesetzt werden.

2.2.2.2.2 Jalousien

Funktionsweise

Wie bei der außen liegenden Jalousie besteht sie aus horizontal angeordneten Lamellen nun jedoch innerhalb eines Fensters oder einer Tür um das Licht am Eindringen zu hindern. Ihre Neigung kann über eine Vorrichtung verändert werden, wobei sie bei steilerer Stellung weniger Licht durchlassen. Die Jalousie kann auch hochgefahren werden um das Licht gar nicht zu blockieren.

Anwendungsgebiet

Jalousien sind das gebräuchlichste System zum Sonnenschutz. Innen liegenden Jalousien werden vor allem dann eingesetzt, wenn sie als Sanierungs- oder Renovierungsmaßnahme nachträglich angebracht werden, da diese Anbringung wesentlich günstiger ist als sie außen zu montieren.

Vor- und Nachteile

Vorteilhaft ist an diesem System, dass es je nach Sonnenstand und Lichtmenge so reguliert werden kann, dass die gewünschte Lichtmenge eindringen kann. Da das System sehr verbreitet ist, gibt es viele Variationen und es ist somit kostengünstig auch spezielleren Wünschen anpassbar. Durch die Anbringung innen ist es vor schädlichen Witterungseinflüssen geschützt.

Als Nachteil ist zu nennen, dass dieses System nur Licht abhalten, es aber nicht nutzen kann. Im Vergleich zu starren Systemen verschleißt es außerdem leichter und die innere Anbringung nimmt



Platz in Anspruch und verschlechtert die Wirkung vor allem in Bezug auf den Hitzeschutz. Bei geschlossener Jalousie ist die Sichtverbindung nach außen gänzlich unterbrochen.

2.2.2.2.3 Lichtlenkjalousien

Funktionsweise

Die innen liegenden Lichtlenkjalousien entsprechen der Funktionsweise des weiter oben beschriebenen Systems. Sie bestehen aus horizontalen Lamellen, die hochgezogen werden können und in ihrer Neigung verstellbar sind. Die Oberflächen der Lamellen sind verspiegelt und weisen eine konkave Form aus. Dadurch wird das Licht gestreut in den Raum eingeleitet und bildet eine diffuse Lichtquelle an der Decke.

Anwendungsgebiet

Sie finden im Wohn- und Bürobereich Anwendung da sie Licht einleiten und dennoch Blendeffekte verhindern. Durch die Innenlage können sie wie die anderen innen liegenden Jalousiesysteme kostengünstig nachträglich eingebaut werden.

Vor- und Nachteile

Lichtlenkjalousien können je nach Oberflächenbehandlung und –gestaltung sowohl für den Lichtschutz als auch für die Lichtversorgung genutzt werden. Da sie hochgezogen werden können, kann bei Bedarf das gesamte Licht eingelassen werden. Werden sie als nachgeführtes System gebaut sind sie außerdem sehr nutzerfreundlich.

Ein komplexeres System hat natürlich immer den Nachteil höherer Kosten, außerdem kann es neben den erwünschten Effekten dennoch zu leichten Blendeffekten und zur Blockade der Sichtverbindung kommen. Zusätzlich nimmt der innere Einbau Platz in Anspruch und senkt den Wärmeschutzeffekt.

2.2.2.2.4 Zweigeteilte Lichtlenkjalousien

Funktionsweise

Gleich wie das System der außen liegenden Lichtlenkjalousie bestehen sie aus horizontalen Lamellen, welche mit ihrer Neigung dem Stand der Sonne nachgeführt werden. Die Lamellen sind auch hier in zwei Bereiche unterteilt, die separat gesteuert werden. Der untere Teil sorgt für ausreichenden Blendschutz während der obere Licht in den Raum einlenkt.



Anwendungsgebiet

Die zweigeteilten Lamellen kommen wegen des noch höheren technischen Aufwandes in speziell belasteten Bereichen wie etwa südseitigen Büroräumen zum Einsatz. Sie sollen ein angenehmes blendungsfreies Arbeiten (vor allem an Bildschirmen) ermöglichen und zugleich die Klimaanlagenkosten senken. Wie die anderen innen liegenden Jalousietypen eignen auch diese sich für den nachträglichen Einbau.

Vor- und Nachteile

Der separate Antrieb der beiden Jalousieteile hat den großen Vorteil, dass das Problem der Lichteinlenkung und des Blendungsschutzes separat behandelt und somit auch die jeweiligen Lamellen dafür optimiert werden können.

Nachteilig sind wie sooft bei Systemen mit höherem technischen Aufwand, die Kosten, die Wartung sowie die Messung benötigter Parameter für die daraus resultierende Regelung der Jalousieteile. Wie bei den anderen innen liegenden Systemen entsteht der Nachteil des Platzbedarfes und des schlechteren Wärmeschutzes.

2.2.2.2.5 Lichtschwert

Funktionsweise

Das Lichtschwert wird in diesem Fall innen montiert, weshalb die baulichen Gegebenheiten so sein müssen, dass das Licht durch Oberlichter zum Lichtschwert eindringen kann. Das Lichtschwert leitet das eintreffende Licht an die Decke in der Tiefe des Raumes und bildet eine diffuse Lichtquelle. Dieses System muss mit anderen Systemen der Lichteinleitung und des Blendschutzes kombiniert werden.

Anwendungsgebiet

Die Anwendung eignet sich nur in Kombination mit anderen Systemen, da ein innen liegendes Lichtschwert ansonsten einen nur sehr geringen Nutzen hätte.

Vor- und Nachteile

Das System selbst ist günstig zu realisieren und liegt im Inneren geschützt vor Umwelteinflüssen. Zudem lässt es die übrigen Fensterflächen frei, die nun wie gewohnt genutzt werden können.

Sollten die baulichen Voraussetzungen nicht vorhanden sein, so werden sie zum Nachteil da sie sehr teuer sein können, außerdem sind zusätzliche Lichtlenk- und Blendschutzeinrichtungen von Nöten. Das System liegt meist an schwer erreichbaren Stellen und kann daher Probleme bei der Wartung machen.



2.2.2.2.6 Rollos

Funktionsweise

Rollos bestehen im einfachsten Falle aus einer Stoffbahn die von einer Rollvorrichtung heruntergelassen wird um eine Glasfläche von der Innenseite her abzdunkeln. Moderne Versionen werden zweigeteilt ausgeführt wobei der untere Teil den Blendschutz und der obere die Lichtversorgung verwirklicht. Eine Behängung des Rollostoffes mit Wärmeschutzfolien hilft bei der Regulierung des Raumklimas.

Anwendungsgebiet

Rollos sind sehr kostengünstig und können leicht verwendet werden um große Glasflächen abzudecken. Sie kommen häufig im Wohn- und Bürobereich zum Einsatz, da sie einfach zu bedienen sind und auch gestalterisch verwendet werden können.

Vor- und Nachteile

Vorteilhaft sind die einfache Anwendung und der sehr günstig Preis der Rollos. Sie sind weit verbreitet wodurch es eine Vielzahl an Ausführungen gibt die auch spezielleren Anforderungen genügen. Da sie ein innen liegendes System sind und auch noch technische einfach ausgeführt sind, sind sie sehr wartungs- und verschleißarm.

Als Nachteil eines derart einfachen Systems ist natürlich die geringe Flexibilität zu nennen. Als innen liegendes System nimmt es zwar kaum Platz weg, verwirklicht außer mit speziellen Maßnahmen den Wärmeschutz aber kaum.

2.2.2.2.7 Vorhanglamellen

Funktionsweise

Sie werden oft auch als Vertikallamellen bezeichnet, da sie eben aus vertikal nebeneinander angeordneten Lamellen besteht. Diese Lamellen sind im oberen Bereich fixiert und können um die eigene Achse gedreht werden um den Sonneneinfall zu regulieren. Zusätzlich können sie auf einer Seite zusammengezogen werden um die Blickkontakt nicht zu blockieren.

Die vertikalen Lamellen sind meist nicht als klassische Metall- oder Kunststofflamellen ausgeführt, sondern als Stoffstreifen die dann neben dem Sonnenschutz vor allem als dekoratives Element eingesetzt werden.



Anwendungsgebiet

Dieses System ist ähnlich den Rollos technische einfach und daher kostengünstig. Zudem können die Stoffstreifen dekorativ verwendet werden wodurch sich dieses System vor allem für den privaten Einsatz eignet.

Vor- und Nachteile

Von Vorteil sind auch hier die geringen Kosten und die Möglichkeit das System dekorativ zu nutzen. Mit speziellen Stoffen oder Folien können die Lamellen auch für andere Zwecke als den Lichtschutz genutzt werden. Bei entsprechendem Einbau kann dieses System auch an schrägen Wänden angebracht werden. Als einfaches innen liegendes System ist es zudem äußerst wartungs- und verschleißarm.

Nachteilig ist vor allem die geringe Flexibilität des Systems, da es fast nur zum Sonnenschutz verwendet werden kann. Dieser ist zudem nur bei vollständig geschlossenen Lamellen wirklich realisiert, was aber den Blickkontakt nach außen nimmt.

2.2.2.8 Beispiel Geniuslamelle

Die Geniuslamelle ist eine hoch entwickelte Lamellenform die durch die spezielle Oberfläche mehrere Funktionen erfüllt. Wie in Abbildung 12 zu sehen ist sind die einzelnen Lamellen wie eine geschwungene Klammer geformt. Die einzelnen Funktionen sind durch Nummern in der Abbildung markiert.

Nummer 1 zeigt den Hitzeschutz der dadurch realisiert wird, dass die außen liegende Scheibe einen Teil der eindringenden Strahlung reflektiert.

Nummer 2 sowie ein Teil von Nummer 1 zeigen die Versorgung mit Tageslicht. Dabei wird Anteil a indirekt als diffuses Licht an die Decke reflektiert, Anteil b wird als diffuses Licht direkt in die Raumtiefe eingeleitet und Anteil c wird als diffuses indirektes Licht geringer Leuchtdichte zur Raumausleuchtung verwendet.

Nummer 3 zeigt die notwendige Sichtverbindung vom Raum nach außen. Bei diesem System kommt es je nach Neigung nur zu einer vergleichsweise geringen Sichtblockade.

Nummer 4 zeigt, dass der Blendschutz realisiert ist, da der Großteil des Lichtes in diffuser Form indirekt eingestrahlt wird. Jener Anteil, der direkt eingelenkt wird liegt unterhalb des Blickfeldes des Betrachtes und ist somit unbedenklich.

Nummer 5 weist daraufhin, dass die Oberseite der Lamellen mit einem speziellen Lack bestrichen ist, der ein hohes Reflexionsvermögen bewirkt. Die Unterseite hingegen ist grau ausgeführt um Sekundärreflexionen zu reflektieren.



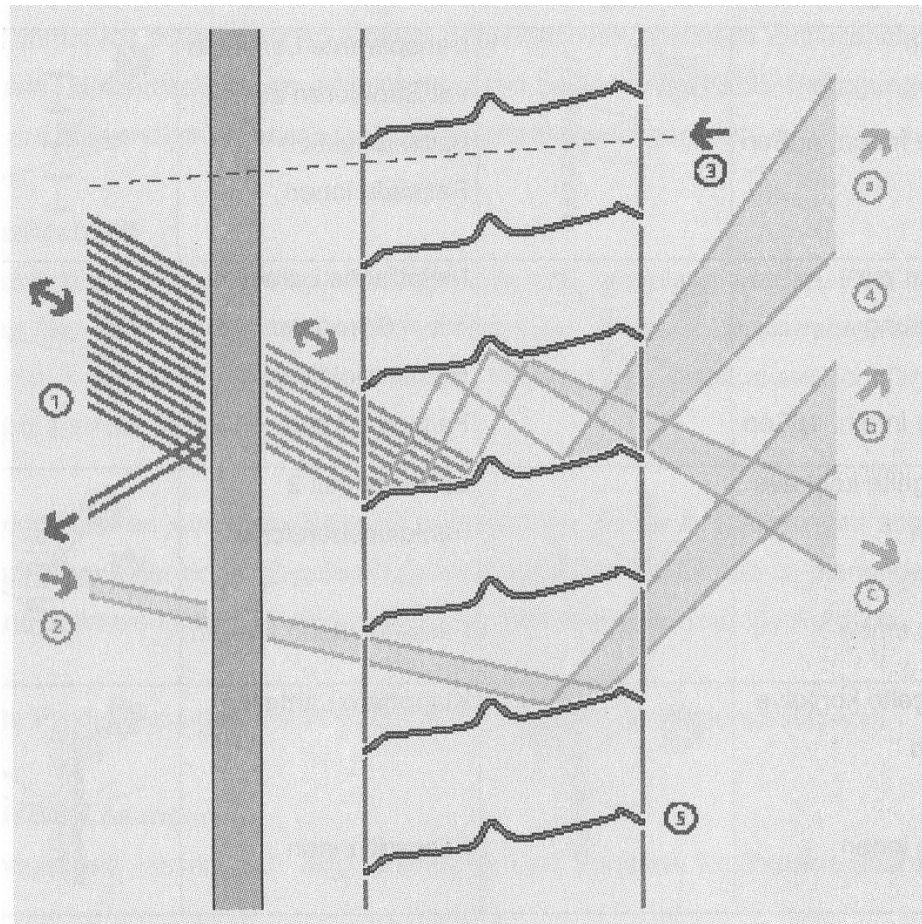


Abbildung 12: Geniuslamelle [2; Seite 6, Bild 1]

2.2.2.3 Kombinierte Systeme

2.2.2.3.1 Heliostat

Funktionsweise

Das Wort Heliostat leitet sich von den lateinischen Wörtern helios also Sonne und stat also festem Fundament ab. Bei Heliostaten handelt es sich um ortsfeste Bauten die mit Hilfe reflektierender Flächen – üblicher Weise Spiegel – Sonnenlicht an den immer gleichen Ort reflektieren. Um dies zu ermöglichen bewegen sich die Spiegelflächen mit dem Sonnenstand mit. Derartige Heliostaten können einzeln oder aber in einem System angewandt werden. Um unangenehme Blendeffekte zu vermeiden empfiehlt sich eine spezielle Reflexionsoberfläche oder der Einsatz zusätzlicher Blendschutzvorrichtungen.

Anwendungsgebiet

Heliostaten gehören zu den größten technisch genutzten Objekten der Tageslichttechnik. Neben dem Einsatz zur Beleuchtung von Gebäudeteilen ist auch die Beleuchtung ganzer Ortsteile möglich. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind Solarturm- und Solarfarmkraftwerke, bei denen zahlreiche Heliostate Licht zum zentralen Turm reflektieren. Die eingebrachte Energie erhitzt ein Wärmeüberträgermedium, welches Wasser verdampft um eine angeschlossene Dampfturbine zu betreiben.

Vor- und Nachteile

Die Heliostatentechnologie ist eine sehr ausgereifte Technik und in verschiedensten Maßstäben umsetzbar. Sie sorgt für eine zuverlässige Beleuchtung über den ganzen Tag hinweg. Mit Hilfe einer variablen Steuerung können verschiedene Räume je nach Bedarf von einem Heliostaten mit Licht versorgt werden.

Nachteilig ist der anfängliche Investitionsaufwand der im Vergleich zu anderen Systemen hoch ist. Die Heliostaten sind zudem dem Wetter ausgesetzt und daher wartungsintensiver als andere Systeme.

2.2.2.3.2 Lichtrohr

Funktionsweise

Über eine Öffnung wie ein Fenster, eine Dachluke oder eine Glaskuppel wird Licht in ein verspiegeltes Rohr eingestrahlt. Dieses Licht wird entlang des Rohres immer wieder reflektiert bis es am Ende in Form eines leuchtenden Rohres oder einer leuchtenden Halbkugel verwendet wird um innere Räume mit Tageslicht zu versorgen.

Anwendungsgebiet

Die Anwendungen dieser Technologie dient weniger der Energieersparnis als der Hebung des Wohlbefindens von Bewohnern und Angestellten. Entsprechend wird diese Technologie in Büro- und Wohnbereichen eingesetzt.

Vor- und Nachteile

Vorteil dieser Technik ist, dass sowohl direkte als auch diffuse Anteile der Sonnenstrahlung optimal genutzt werden können wodurch sich der Lichteintrag erhöht.

Nachteilig ist, dass ein solches Konzept bereits im Bau mit eingeplant werden muss da ein späterer Einbau sehr kostspielig ist. Ein Lichtrohr benötigt zudem hohe Investitionskosten und ist zwar selten, dann aber umständlich zu warten.



2.2.2.3.3 Spiegellichtschacht

Funktionsweise

Der Lichtschacht hat ebene reflektierende Flächen über die durch ein Fenster oder eine Luke eindringendes Licht in das Gebäude eingeleitet wird. Am Ende befindet sich eine leuchtendes Rohr oder eine leuchtende Halbkugel, die der Raumbelichtung dient.

Anwendungsgebiet

Spiegelschächte kommen wie auch Spiegelrohre in Bereichen zum Einsatz wo der Wohn- bzw. Arbeitskomfort gehoben werden soll. Ihr Einsatzgebiet sind also Büros und Wohnhäuser. Durch die verbesserte Lichtweiterleitung ist eine Nutzung über 2 Stockwerke hinweg möglich. Bei entsprechendem Einbau können äußere Lichteffekte wie vorbeiziehende Wolken in den Raum eingeleitet werden und so für einen verstärkten Außenbezug sorgen.

Vor- und Nachteile

Vorteil dieser Technik ist ähnlich dem Lichtrohr, dass sowohl direkte als auch diffuse Anteile der Sonnenstrahlung optimal genutzt werden können wodurch sich der Lichteintrag erhöht. Zusätzlich sind das Einleiten von Lichteffekten und die Lichtleitung über mehrere Stockwerke hinweg möglich, was das Wohlbefinden in den betroffenen Räumen erhöht und den Einsatz in mehrstöckigen Gebäuden interessant macht.

Nachteilig ist, dass auch dieses Konzept bereits im Bau mit eingeplant werden muss da ein späterer Einbau sehr kostspielig ist. Ein Lichtschacht benötigt hohe Investitionskosten und ist zwar selten, dann aber umständlich zu warten.

2.2.2.3.4 Anwendungsbeispiel Spiegel von Viganella

Viganella ist eine 200 Seelengemeinde in der norditalienischen Provinz Piemont. Die kleine Ortschaft leidet unter ihrer schlechten geographischen Lage, denn durch den Schatten des nahen Berges liegt sie zwischen dem 12. November und dem 1. Februar für 83 Tage im Dunkeln.

Im November 2005 wurde daher ein Spiegelprojekt in Auftrag gegeben, das 2006 zur Aufstellung von insgesamt 14 Einzelspiegeln mit einer Fläche von 40 m² auf dem Hang des gegenüberliegenden Berges führte. Nun scheint zu mindest auf dem Hauptplatz des Ortes auch den Winter über die Sonne. Und als Nebeneffekt ist nun in den Sommermonaten der Mond zu sehen, der ansonsten auch hinter dem Berg verschwinden würde. Zudem hat der kleine Ort nun eine Attraktion.



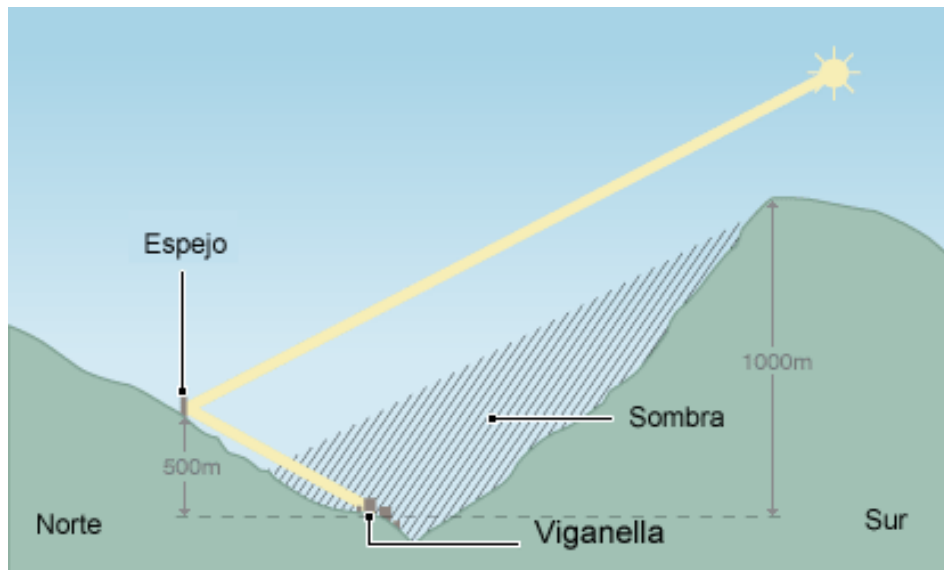


Abbildung 13: Sonnenspiegelprojekt von Viganella [5]

2.2.2.4 Systeme im Glas

2.2.2.4.1 Feststehende Spiegelsysteme

Funktionsweise

In einem Isolierglas werden Spiegelprofile in einem feststehenden Winkel eingebaut, sodass sie einfallendes Licht abhängig vom Einfallswinkel reflektieren. Strahlung die unter einem steilen oder mittleren Winkel einfällt wird reflektiert um unangenehme Blendeffekte zu vermeiden. Auch wird dadurch der Wärmeschutz, welcher durch das umgebende Isolierglas ohnedies vorhanden ist verstärkt. Licht das unter einem flachen Winkel einfällt wird diffus gestreut und an die Decke gelenkt um eine ausreichende Lichtversorgung zu gewährleisten.

Anwendungsgebiet

Derartige Systeme können nur in Kombination mit Isolierglas oder einem anderen Einbauglas angebracht werden und sorgen für eine partielle Beleuchtung des Raumes mit Tageslicht bei Wärme- und Blendschutz. Ihr Einbau ist mit hohen Kosten verbunden und wird daher meist nur im Zuge von Passivbauten oder großflächigen Anwendungen genutzt.

Vor- und Nachteile

Das System nimmt in Gegensatz zu anderen keinerlei Platz im Innenraum oder außerhalb des Fensters in Anspruch und arbeitet vollkommen selbstständig. Je nach Spiegelsystem wird die Sicht nicht blockiert und ein Wärme- und Blendschutz sehr gut verwirklicht. Das System ist wartungsfrei nutzbar.

Als Nachteil eines solchen Systems ist zu nennen, dass es nur in Verbindung mit Isolier- oder einem anderen Glas verwendet werden kann und daher nur für Fensterflächen geeignet ist. Das System ist in der Anschaffung recht teuer, eine Wartung ist kaum möglich bzw. teurer als das System zu ersetzen.

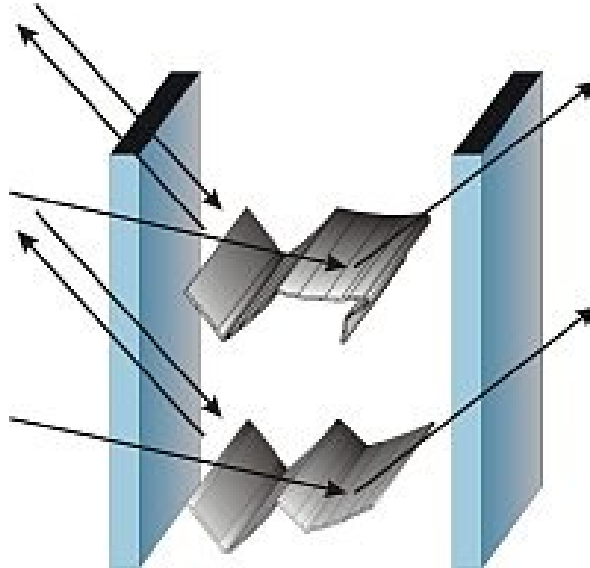


Abbildung 14: System der feststehenden Spiegel [4]

2.2.2.4.2 Holographische Elemente

Funktionsweise

Holographie nutzt im Allgemeinen den Wellencharakter des Lichtes aus wie zum Beispiel die Beugung. Holographisch - optische Elemente beugen Licht abhängig von seinem Einfallswinkel. In Bezug zur mit den Elementen genutzten Fläche flach einfallendes Licht wird stark gebeugt während steil einfallendes Licht nahezu ungehindert passieren kann. So wird erreicht, dass das Licht stetig im nahezu gleichen Winkel in den Raum einfällt. Je nach Raumanforderung können holographisch – optische Elemente in Fenster oder Fassaden eingesetzt werden um das Licht wie gewünscht einleiten. Vernünftiger Weise werden diese Elemente mit anderen Licht- und Wärmeschutzfolien kombiniert.

Anwendungsgebiet

Holographisch – optische Elemente sind ähnlich anzuwenden wie Lichtschutzfolien und können daher an Fassaden und Fensterflächen eingesetzt werden. Ihre Montage ist jedoch um einiges komplexer. Da auch ihre Herstellung mittels eines Laserverfahrens und anschließender chemischer Entwicklung teuer ist, eignen sich derartige Elemente nur als langfristige Investition in Büroanlagen, Passivhäusern und Unternehmen.

Vor- und Nachteile

Vorteilhaft ist hier der geringe Platzbedarf und dass keine besonderen baulichen Gegebenheiten vorhanden sein müssen. In Kombination mit anderen Lichtschutzfolien ist es ein wartungsfreies und zuverlässiges Lichtlenksystem.

Der größte Nachteil eines solchen Systems ist seine geringe Flexibilität und die hohen Investitionskosten. Außerdem kommt es aufgrund der verwendeten Beugungseffekte zu einer Farbzerlegung des Lichtes da rote Anteile stärker als blaue gebeugt werden. Dies kann zu unangenehmen Beleuchtungseffekten führen.

2.2.2.4.3 Jalousien

Funktionsweise

In diesem Fall sind die Lamellen von einem Isolierglas umgeben und werden in ihrer Neigung über eine Steuerung an den Sonnenstand angepasst. Ansonsten ist die Funktion gleich wie jene normaler Jalousien.

Anwendungsgebiet

Wie normale Jalousien werden auch diese vor allem in den Fensterflächen von Büros und Wohnungen eingesetzt. Ihre Fertigung ist jedoch vergleichsweise teuer und daher nur im Zuge einer energiearmen Planung sinnvoll.

Vor- und Nachteile

Vorteilhaft ist, dass dieses System keinen speziellen Platzverbrauch aufweist und sowohl Blend- als auch Sonnenschutz verwirklicht. Das System stellt sich zudem automatisch auf den Sonnenstand ein und ist vergleichsweise wartungsarm.

Als Nachteil sind hier die hohen Investitionskosten zu nennen zudem tritt häufig das Problem auf, dass die Jalousie vor dem umgebenden Glas kaputt geht.

2.2.2.4.4 Kapillarsystem

Funktionsweise

Licht dringt durch die äußere Scheibe auf eine Zwischenscheibe ein. Dahinter sind Glasröhrchen angebracht, die das Licht in Einbaurichtung in den Raum leiten und dabei diffus streuen.



Anwendungsgebiet

Dieses System ist nur sehr selten im Einsatz, da es teuer und recht komplex ist. Außerdem muss es mit anderen Systemen verbunden werden. Das System kann auch als transparente Wanddämmung eingesetzt werden.

Vor- und Nachteile

Von Vorteil ist, dass dieses System für blendungsfreie Beleuchtung, sowie ausgezeichneten Wärmeschutz sorgt und keinen Platz im Innen- oder Außenbereich wegnimmt. Das System ist bei entsprechendem Einsatz nahezu wartungsfrei.

Nachteilig ist neben den Kosten, dass das System wenig flexibel im Einsatz ist und vor Überhitzung durch Strahlung geschützt werden muss. Sollte es zu so einer Überhitzung kommen, kann das System zerstört werden.

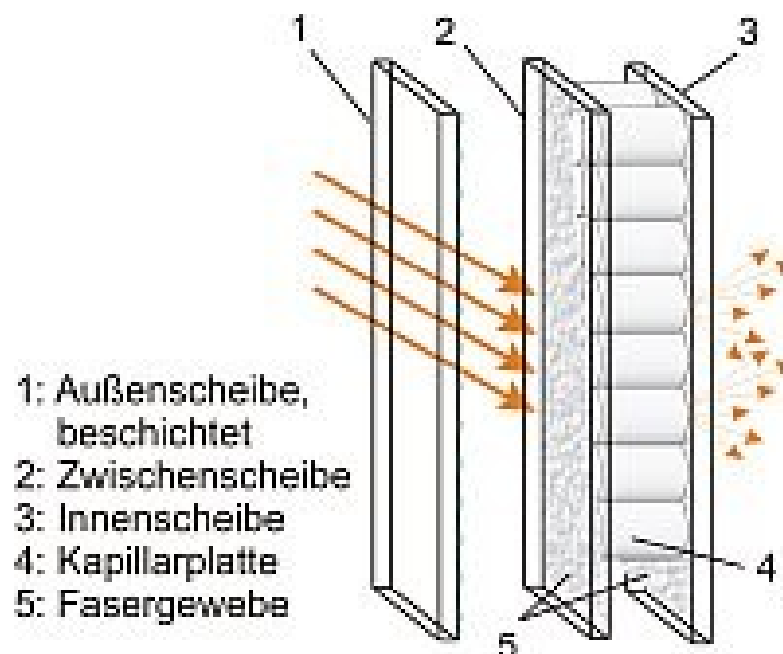


Abbildung 15: Kapillarsystem [4]

2.2.2.4.5 Mikroraster

Funktionsweise

Das Mikroraster besteht aus starren verspiegelten längs und quer verlaufenden Lamellen, die in einem Isolierglas eingebracht sind. Durch dieses Raster wird üblicherweise das direkte aus dem Süden einfallende Licht reflektiert und das diffuse vom Zenit bzw. aus dem Norden einfallende Licht in den Raum eingeleitet.

Anwendungsgebiet

Ähnlich wie andere komplexe Systeme hat auch dieses keinen speziellen Anwendungsbereich. Es sorgt jedoch für eine blendfreie Lichtversorgung des Raumes.

Vor- und Nachteile

Vorteilhaft sind die geringe Wartung des Systems und die ebenfalls geringen Anforderungen für den Einbau. Die Funktionen des Blendungsschutzes und der Lichtversorgung sind sehr gut realisiert.

Als Nachteil gelten auch hier die hohen Investitionskosten sowie die Notwendigkeit dieses System mit Wärmeschutzfolien zu kombinieren.

2.2.2.4.6 Schaltbare Gläser

Funktionsweise

In das Isolierglas sind schaltbare Schichten integriert welche durch elektrischen Strom, den Kontakt mit Gas, Sonnenlicht oder ähnlichem aktiviert werden können und dabei ihre Lichtdurchlässigkeit ändern. Auch die Überschreitung einer Grenztemperatur kann zur Änderung der Lichtdurchlässigkeit führen.

Anwendungsgebiet

Die Anwendungsbereiche hier sind sehr zahlreich, vor allem im Bereich der elektrischen Aktivierung von Flüssigkristallen. So können sie zum Beispiel genutzt werden um die Sichtverbindung zwischen Räumen je nach Bedarf zu unterbrechen.

Vor- und Nachteile

Das System kann nach Belieben den Lichteinfall ändern, so kann eine Glasfläche die ansonsten die Sicht gewährt verdunkelt werden und so veränderlichen Lichtverhältnissen dynamisch angepasst werden. Das System ist recht verbreitet und kann daher für verschiedene Zwecke und in unterschiedlichen Ausführungen eingesetzt werden.

Das System ist leider auch recht teuer in der Anschaffung und kann nur zum Lichtschutz aber nicht zur Lichtlenkung eingesetzt werden.



2.3 Wärmetechnische Rechenbeispiele

2.3.1 Benötigte Daten

Im folgenden Beispiel soll nachgerechnet werden welche Spiegelfläche und damit wie viele der nachfolgend beschriebenen Sonnenpaneele zum Einsatz kommen müssen um die Heizkosten in einem Haushalt relevant zu senken. Auch die daraus resultierende Minderung der CO₂-Emmission wird betrachtet.

Als Referenz werden 3 Einfamilienhäuser verschiedener Größe betrachtet. Die Häuser sind jeweils rechteckig und mit 2 Stockwerken ausgeführt. Die Dachfläche wird als Flachdach angenommen. Ein eventueller Keller spielt in der Berechnung keine Rolle.

Tabelle 1: Daten der betrachteten Häuser [6]

Daten der betrachteten Häuser			
	Typ I klein	Typ II mittel	Typ III groß
Grundfläche [m ²]	65	90	120
Gebäudebreite b [m]	7,2	8,2	10
Gebäuelänge l [m]	9	11	12
Gebäudehöhe h [m]	6	6	6
Geschossfläche [m ²]	130	180	240
Zimmeranzahl [-]	4 - 5	5 - 6	6 - 7
Äußere Oberfläche [m ²]	259	320	384
Baukostenschätzung [€]	300.000	395.000	480.000

Weitere Werte in Tabelle 2 kommen durch Annahmen und Richtwerte zustande. So ist in der deutschen Bauverordnung eine Mindestfensterfläche von 10% der Grundfläche angegeben. Da die betrachteten Gebäude 2 Stockwerke aufweisen muss natürlich für jedes 10% eingerechnet werden. Die eingebauten Fenster werden als alte Doppelfenster angenommen. Die Wand selbst wird als 35 cm dicke Ziegelmauer einmal ohne und einmal mit einer Isolierung von 15 cm Mineralwolle angenommen. Der Wärmeleitwert der Mauer ergibt sich dabei zu 85% aus jenem der Ziegelsteine, 10% des Mörtels und 5% des Putzes. Die Berechnung dazu ist in Kapitel 2.3.2.1.2 zu sehen.

Die Beispiele der 3 Häuser werden für 5 spezielle geographische Lagen in Österreich berechnet. Dabei handelt es sich um Bad Radkerburg, eine südliche Stadt mit niedriger Höhenlage, Schladming, eine etwa mittig gelegenen Stadt mittlerer Höhenlage, Freistadt, eine nördliche gelegene Stadt geringer Höhenlage, Ischgl, eine mittig gelegenen Stadt mit großer Höhenlage sowie Leoben als bekannte Referenz. Die Orte sind auch als farbige Fähnchen auf der Karte in

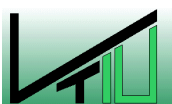


Abbildung 16 zu sehen wobei dunkelblau Bad Radkersburg, rot Leoben, gelb Schladming, hellgrün Ischgl und hellblau Freistadt ist.

Die solartechnischen Daten für die Berechnung stammen aus dem deutschen Solarserver (siehe Quelle [8] des Literaturverzeichnisses). Es handelt sich dabei jeweils um die genaue geographische Position sowie die Energieeinstrahlung bei optimaler Neigung und die Durchschnittstemperatur für die Monate März, Juni, September und Dezember also jeweils zu den Monaten der Jahreszeitenwechsel.

In Summe wurden mit den Daten also Ergebnisse für 120 verschiedene Annahmen erzielt.



Abbildung 16: Übersicht der gewählten Orte [9]

Tabelle 2: Materialdaten [7]

Materialdaten				
Mauerwerk				
Dicke	λ Ziegel	λ Mörtel	λ Putz	λ Mauerwerk
[m]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
0,35	0,45	1,00	0,36	0,50
Isolierung und Übergang				
Dicke	λ Mineralwolle	α Wand innen	α Wand außen	k Glas
[m]	[W/mK]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
0,10	0,04	3,00	8,00	2,30



Tabelle 3: Solartechnische Daten Bad Radkersburg [8]

Bad Radkersburg 46°41'19" Nord, 15°59'26" Ost, 209 m über dem Meeresspiegel			
Sonneneinstrahlung [W/m²]			
März	Juni	September	Dezember
145,4	212,9	181,3	52,5
Durchschnittstemperatur [°C]			
März	Juni	September	Dezember
5,8	19,2	15,6	0,2

Tabelle 4: Solartechnische Daten Bad Ischgl [8]

Ischgl 47°0'54" Nord, 10°17'37" Ost, 1371 m über dem Meeresspiegel			
Sonneneinstrahlung [W/m²]			
März	Juni	September	Dezember
180,0	210,8	173,3	53,3
Durchschnittstemperatur [°C]			
März	Juni	September	Dezember
1,2	12,9	10,7	-1,7

Tabelle 5: Solartechnische Daten Leoben [8]

Leoben 47°22'35" Nord, 15°5'28" Ost, 542 m über dem Meeresspiegel			
Sonneneinstrahlung [W/m²]			
März	Juni	September	Dezember
151,7	207,9	172,5	56,7
Durchschnittstemperatur [°C]			
März	Juni	September	Dezember
4,1	17,4	10,7	-0,9

Tabelle 6: Solartechnische Daten Schladming [8]

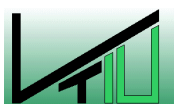
Schladming 47°23'37" Nord, 13°41'12" Ost, 737 m über dem Meeresspiegel			
Sonneneinstrahlung [W/m²]			
März	Juni	September	Dezember
160,0	196,3	165,8	50,4
Durchschnittstemperatur [°C]			
März	Juni	September	Dezember
3,3	16,2	13,0	-2,0

Tabelle 7: Solartechnische Daten Freistadt [8]

Freistadt 48°30'7" Nord, 14°30'7" Ost, 549 m über dem Meeresspiegel			
Sonneneinstrahlung [W/m²]			
März	Juni	September	Dezember
138,3	199,2	157,1	44,2
Durchschnittstemperatur [°C]			
März	Juni	September	Dezember
3,5	16,6	14,6	-1,2

Tabelle 8: Weitere technische Daten

Weitere technische Daten			
Modulfläche	Modulneigung	Reflexionsgrad Modul	Innentemperatur
[m ²]	[°]	[%]	[°C]
0,5	optimal laut Tabelle	60	25
Dichte Heizöl (15°C)	Heizwert Heizöl (25°C)	Kosten Heizöl	CO ₂ Emission Heizöl
[kg/l]	[kWh/l]	[€/l]	[g CO ₂ /Wh]
840	10,7	0,83	0,32



2.3.2 Durchführung der Berechnung

Die notwendigen Rechenschritte werden nachfolgend exemplarisch an dem Beispiel eines nicht isolierten Hauses des Typus I in Bad Radkersburg im März durchgeführt. Alle weiteren Berechnungen laufen nach dem gleichen Schema ab ausgenommen, dass bei den Häusern mit Isolierung diese in den Wärmeübergangskoeffizienten der Wand miteinbezogen wird.

2.3.2.1 Wärmeverlust des Gebäudes

Wichtig für den Wärmedurchgangskoeffizienten sind die Zusammensetzung der Wand, das eventuelle Vorhandensein einer Isolierung und der Anteil an Fensterfläche. Über all diese Werte kann man einen Wärmedurchgangskoeffizient über die Gebäudeaußenfläche definieren und dann mit der vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Umgebung den Wärmeverlust berechnen.

2.3.2.1.1 Glasfläche

Laut Gesetzesvorgabe müssen 10% der Grundfläche als Fensterfläche ausgeführt werden. Da die betrachteten Häuser zwei Stockwerke haben verdoppelt sich dieser Wert auf 20%.

$$F_G = GF * 0,2$$

$$F_G = 65 * 0,2 = \underline{13[m^2]}$$

$$F_G \quad \text{Fläche aus Glas [m}^2\text{]}$$

$$GF \quad \text{Grundfläche [m}^2\text{]}$$

2.3.2.1.2 Wärmeleitwert Mauerwerk

Laut Annahmen besteht die von uns betrachtete Wand zu 85% aus Ziegeln, zu 10% aus Mörtel und zu 5% aus Putz. Der Wärmeleitwert wird als entsprechende Mischung der einzelnen Wärmeleitwerte errechnet.

$$\lambda_{MW} = 0,85 * \lambda_Z + 0,1 * \lambda_M + 0,05 * \lambda_P$$

$$\lambda_{MW} = 0,85 * 0,45 + 0,1 * 1,00 + 0,05 * 0,36 = \underline{0,50 \left[\frac{W}{m * K} \right]}$$



$$\lambda_Z \quad \text{Wärmeleitwert der Ziegel} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$\lambda_M \quad \text{Wärmeleitwert des Mörtels} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$\lambda_P \quad \text{Wärmeleitwert des Putzes} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$\lambda_{MW} \quad \text{Wärmeleitwert des Mauerwerks} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

2.3.2.1.3 Wärmedurchgangskoeffizient des Mauerwerks

Für den Wärmeübergangskoeffizienten benötigen wir neben dem Wärmeleitwert, der eben berechnet wurde auch noch die Wärmeübergangswerte zur und von der Wand. Diese werden für unsere Beispiele mit Fixwerten angenommen da nur laminare Strömungsbedingungen und geringe Temperaturunterschiede an der Wand betrachtet werden.

$$k_{MW} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{WI}} + \frac{d_{MW}}{\lambda_{MW}} + \frac{1}{\alpha_{WA}}}$$

$$k_{MW} = \frac{1}{\frac{1}{3,00} + \frac{0,35}{0,50} + \frac{1}{8,00}} = 0,86 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$k_{MW} \quad \text{Wärmedurchgangskoeffizient des Mauerwerks} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$\alpha_{WI} \quad \text{Wärmeübergangskoeffizient des Mauerwerks innen} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$\alpha_{WA} \quad \text{Wärmeübergangskoeffizient des Mauerwerks außen} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$d_{MW} \quad \text{Dicke des Mauerwerks} [m]$$

$$\lambda_{MW} \quad \text{Wärmeleitwert des Mauerwerks} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

2.3.2.1.4 Wärmestrom nach außen

Mit den nun bekannten Daten kann eine allgemeine Formel für den Wärmestrom aufgestellt werden. Die Temperaturen müssten laut Formel in Kelvin eingesetzt werden, da aber eine Differenz gebildet wird macht es keinen Unterschied, wenn man sie in °C einsetzt.



$$\dot{Q} = (k_{MW} * (F_A - F_G) + k_F * F_G) * (T_{WI} - T_{WA})$$

$$\dot{Q} = (0,86 * (259,2 - 13,0) + 2,30 * 13,0) * (25,0 - 5,8) = \underline{\underline{4638,2[W]}}$$

\dot{Q} Wärmestrom [W]

k_{MW} Wärmedurchgangskoeffizient des Mauerwerks $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$

k_F Wärmedurchgangskoeffizient der Glasfenster $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$

F_A Äußere Gebäudefläche [m²]

F_G Fläche aus Glas [m²]

T_{WI} Temperatur innerhalb des Mauerwerks [K]

T_{WA} Temperatur außerhalb des Mauerwerks [K]

2.3.3 Energetischer, wirtschaftlicher und umwelttechnischer Nutzen

Im Folgenden sollen 3 für den Kunden nützliche Aspekte beleuchtet werden. Erstens der rein energetische Nutzen, also jene Menge an Heizenergie die eingespart werden kann. Zweitens wird daraus abgeleitet wie viel Geld für Beheizung gespart werden kann. Zuletzt wird noch ermittelt in welchem Umfang Emissionen an CO₂ vermieden werden können.

2.3.3.1 Eingelenkte Sonnenenergie

Aus den Daten des deutschen Solarservers [8] können Werte der Energieeinstrahlung in Europa für die verschiedenen Monate des Jahres entnommen werden. Diese werden in Kombination mit dem Reflexionsgrad des Moduls zu Energiewert pro m² Spiegelfläche bzw. pro Modul umgerechnet.

$$e_M = e_S * \frac{\rho}{100\%}$$

$$e_M = 145,4 * \frac{60}{100\%} = \underline{\underline{87,24 \left[\frac{W}{m^2} \right]}}$$

e_S je m² eingestrahlte Sonnenenergie $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

e_M je m² eingelenkte Sonnenenergie $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

ρ Reflexionsgrad des Moduls [%]



2.3.3.2 Notwendige Spiegelfläche bzw. Modulanzahl

Zuletzt wird berechnet welche Spiegelfläche bzw. Modulanzahl von Nöten ist um einen gewünschten Anteil der Energie zu ersetzen. Die Rechnung wird hier exemplarisch für eine Substitution von 10% der Heizenergie ausgeführt.

$$F_S = \frac{\dot{Q}}{e_M} * \frac{f_S}{100[\%]}$$

$$F_S = \frac{4638,2}{87,25} * \frac{10[\%]}{100[\%]} = \underline{\underline{5,3[m^2]}}$$

$$M = F_S * 2$$

$$M = 5,3 * 2 = 10,6 \Rightarrow \underline{\underline{11}}$$

$$F_S \quad \text{Spiegelfläche [m}^2\text{]}$$

$$\dot{Q} \quad \text{Wärmestrom [W]}$$

$$e_M \quad \text{je m}^2 \text{ eingelenkte Sonnenenergie } \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$f_S \quad \text{Prozentsatz der zu substituierenden Energie [\%]}$$

$$M \quad \text{Modulanzahl [-]}$$

2.3.3.3 Heizkosten- und CO₂-Emissionssenkung

Mit allgemeinen Kennwerten von Heizöl kann die Ersparnis bei den Heizkosten und die Minderung der CO₂ Emissionen abgeschätzt werden.

$$V_M = \frac{\dot{Q}}{HW_{H\ddot{O}}} * 720 \left[\frac{h}{\text{Monat}} \right]$$

$$V_M = \frac{4638,2}{10700} * 720 \left[\frac{h}{\text{Monat}} \right] = \underline{\underline{312,2 \left[\frac{l}{\text{Monat}} \right]}}$$

$$HK_M = V_M * K_{H\ddot{O}}$$

$$HK_M = 312,2 * 0,83 = \underline{\underline{259,05 \left[\frac{\text{€}}{\text{Monat}} \right]}}$$

$$\Delta HK_M = HK_M * \frac{f_S}{100[\%]}$$

$$\Delta HK_M = 259,05 * \frac{10[\%]}{100[\%]} = \underline{\underline{25,91 \left[\frac{\text{€}}{\text{Monat}} \right]}}$$



$$CO_{2M} = \dot{Q} * CO_{2H\ddot{O}} * 720 \left[\frac{h}{Monat} \right]$$

$$CO_{2M} = 4638,2 * 0,32 * 720 \left[\frac{h}{Monat} \right] = 1068,6 \left[\frac{kg}{Monat} \right]$$

$$\Delta CO_{2M} = CO_{2M} * \frac{fs}{100[\%]}$$

$$\Delta CO_{2M} = 1068,6 * \frac{10[\%]}{100[\%]} = \underline{\underline{106,9 \left[\frac{kg}{Monat} \right]}}$$

$$V_M \quad \text{monatlicher Heizölverbrauch} \left[\frac{l}{Monat} \right]$$

$$\dot{Q} \quad \text{Wärmeström} [W]$$

$$HW_{H\ddot{O}} \quad \text{Heizwert von Heizöl} \left[\frac{Wh}{l} \right]$$

$$HK_M \quad \text{monatliche Heizkosten} \left[\frac{\text{€}}{Monat} \right]$$

$$K_{H\ddot{O}} \quad \text{Kosten von Heizöl} \left[\frac{\text{€}}{l} \right]$$

$$\Delta HK_M \quad \text{Änderung der monatlichen Heizkosten} \left[\frac{\text{€}}{Monat} \right]$$

$$fs \quad \text{Prozentsatz der zu substituierenden Energie} [\%]$$

$$CO_{2M} \quad \text{monatliche } CO_2 \text{ Emissionen} \left[\frac{g CO_2}{Monat} \right]$$

$$CO_{2H\ddot{O}} \quad \text{heizwertbezogene } CO_2 \text{ Emissionen} \left[\frac{g CO_2}{Wh} \right]$$

$$\Delta CO_{2M} \quad \text{Änderung der monatlichen } CO_2 \text{ Emissionen} \left[\frac{kg CO_2}{Monat} \right]$$

2.3.3.4 Ergebnisse

In den folgenden Tabellen und Diagrammen sind die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt. Dabei finden sich jeweils die Tabelle und nachfolgend die zugehörige graphische Darstellung und zwar so, dass immer erst die Ergebnisse mit dann jene ohne Isolierung angegeben werden.

In den Diagrammen mussten die Städtenamen angekürzt werden Bad Radkersburg als BR, Leoben als Le, Schladming als Sc, Ischgl als Is und Freistadt als Fr. Die Daten einer Stadt haben im Diagramm die gleiche Farbe, jene von gleichen Monaten das gleiche Koordinatensymbol.



Tabelle 9: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung

Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung [m ²]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	1,1	2,7	3,7	5,3	6,4	8,0	9,0	10,6	13,3
B. Radkersb. Jun.	0,0	0,2	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,7
B. Radkersb. Sep.	0,0	0,4	1,0	1,5	2,1	2,5	3,1	3,5	4,2	5,2
B. Radkersb. Dez.	0,0	3,8	9,5	13,3	19,0	22,8	28,5	32,3	38,0	47,5
Leoben Mär.	0,0	1,1	2,8	3,9	5,5	6,7	8,3	9,4	11,1	13,9
Leoben Jun.	0,0	0,3	0,7	1,0	1,5	1,8	2,2	2,5	2,9	3,7
Leoben Sep.	0,0	0,5	1,3	1,8	2,6	3,1	3,9	4,4	5,2	6,5
Leoben Dez.	0,0	3,7	9,2	12,9	18,4	22,1	27,6	31,3	36,8	46,0
Schladming Mär.	0,0	1,1	2,7	3,8	5,5	6,6	8,2	9,3	10,9	13,7
Schladming Jun.	0,0	0,4	0,9	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,5
Schladming Sep.	0,0	0,6	1,5	2,0	2,9	3,5	4,4	5,0	5,8	7,3
Schladming Dez.	0,0	4,3	10,8	15,1	21,6	25,9	32,3	36,7	43,1	53,9
Ischgl Mär.	0,0	1,1	2,7	3,7	5,3	6,4	8,0	9,1	10,6	13,3
Ischgl Jun.	0,0	0,5	1,2	1,6	2,3	2,8	3,5	3,9	4,6	5,8
Ischgl Sep.	0,0	0,7	1,7	2,3	3,3	4,0	5,0	5,6	6,6	8,3
Ischgl Dez.	0,0	4,0	10,1	14,1	20,2	24,2	30,2	34,3	40,3	50,4
Freistadt Mär.	0,0	1,3	3,1	4,4	6,3	7,5	9,4	10,6	12,5	15,6
Freistadt Jun.	0,0	0,3	0,8	1,2	1,7	2,0	2,5	2,9	3,4	4,2
Freistadt Sep.	0,0	0,5	1,3	1,9	2,7	3,2	4,0	4,5	5,3	6,7
Freistadt Dez.	0,0	4,8	11,9	16,7	23,9	28,7	35,8	40,6	47,8	59,7

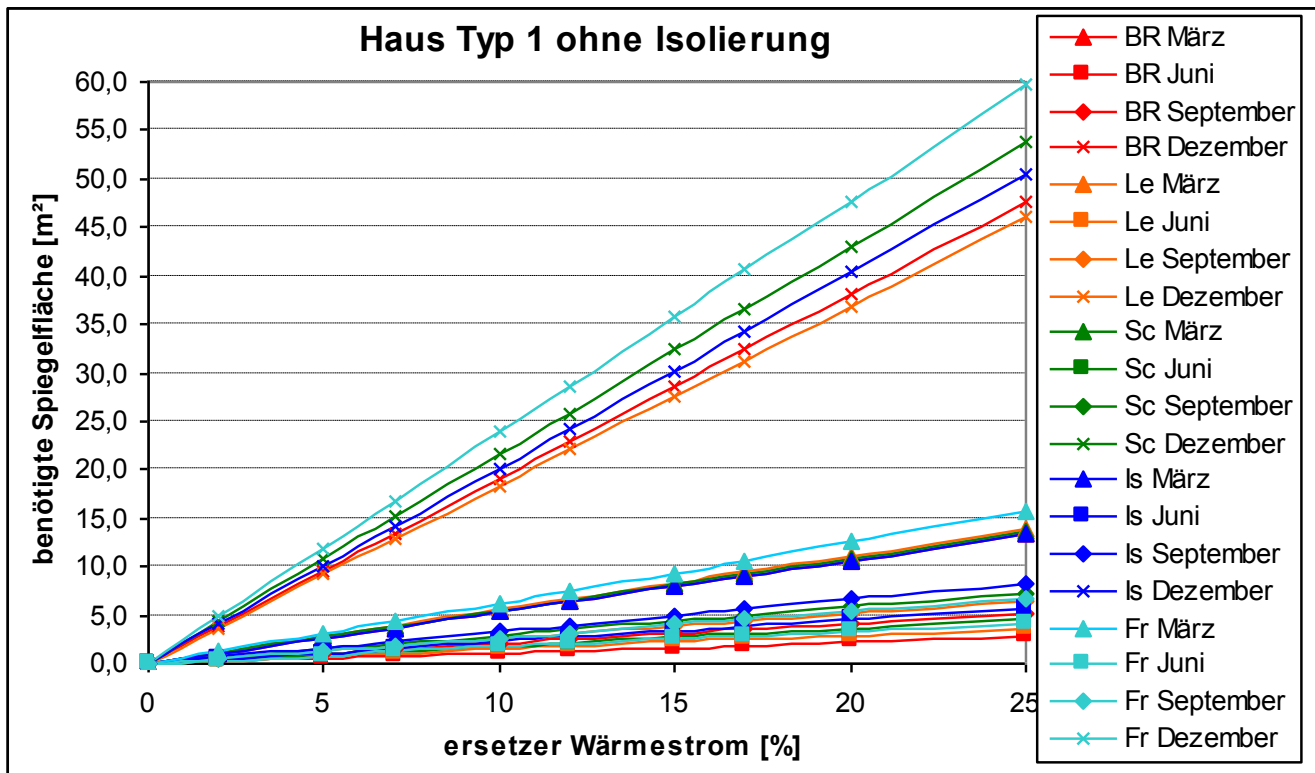


Abbildung 17: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung



Tabelle 10: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I mit Isolierung

Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I mit Isolierung [m ²]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	0,5	1,2	1,7	2,4	2,9	3,7	4,2	4,9	6,1
B. Radkersb. Jun.	0,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,3
B. Radkersb. Sep.	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,4
B. Radkersb. Dez.	0,0	1,7	4,4	6,1	8,7	10,5	13,1	14,9	17,5	21,9
Leoben Mär.	0,0	0,5	1,3	1,8	2,6	3,1	3,8	4,3	5,1	6,4
Leoben Jun.	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7
Leoben Sep.	0,0	0,2	0,6	0,8	1,2	1,4	1,8	2,0	2,4	3,0
Leoben Dez.	0,0	1,7	4,2	5,9	8,5	10,2	12,7	14,4	16,9	21,2
Schladming Mär.	0,0	0,5	1,3	1,8	2,5	3,0	3,8	4,3	5,0	6,3
Schladming Jun.	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1
Schladming Sep.	0,0	0,3	0,7	0,9	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,3
Schladming Dez.	0,0	2,0	5,0	6,9	9,9	11,9	14,9	16,9	19,8	24,8
Ischgl Mär.	0,0	0,5	1,2	1,7	2,4	2,9	3,7	4,2	4,9	6,1
Ischgl Jun.	0,0	0,2	0,5	0,7	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,7
Ischgl Sep.	0,0	0,3	0,8	1,1	1,5	1,8	2,3	2,6	3,1	3,8
Ischgl Dez.	0,0	1,9	4,6	6,5	9,3	11,1	13,9	15,8	18,5	23,2
Freistadt Mär.	0,0	0,6	1,4	2,0	2,9	3,5	4,3	4,9	5,8	7,2
Freistadt Jun.	0,0	0,2	0,4	0,5	0,8	0,9	1,2	1,3	1,6	2,0
Freistadt Sep.	0,0	0,2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	3,1
Freistadt Dez.	0,0	2,2	5,5	7,7	11,0	13,2	16,5	18,7	22,0	27,5

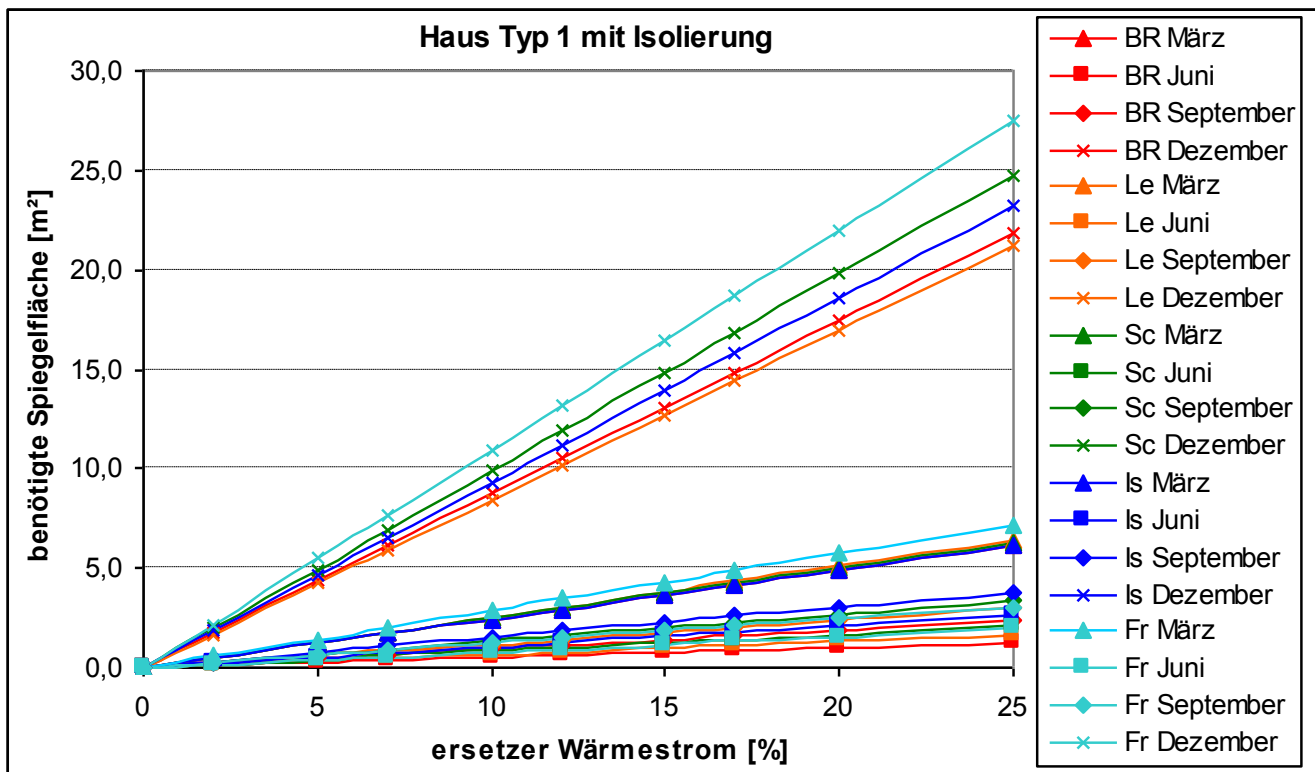


Abbildung 18: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I mit Isolierung



Tabelle 11: Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung

Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung [€/Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,00	5,18	12,95	18,13	25,90	31,09	38,86	44,04	51,81	64,76
B. Radkersb. Jun.	0,00	1,57	3,91	5,48	7,83	9,39	11,74	13,30	15,65	19,56
B. Radkersb. Sep.	0,00	2,54	6,34	8,88	12,68	15,22	19,02	21,56	25,37	31,71
B. Radkersb. Dez.	0,00	6,69	16,73	23,42	33,46	40,15	50,19	56,88	66,92	83,65
Leoben Mär.	0,00	5,64	14,10	19,74	28,20	33,84	42,30	47,94	56,40	70,50
Leoben Jun.	0,00	2,05	5,13	7,18	10,25	12,30	15,38	17,43	20,51	25,63
Leoben Sep.	0,00	3,00	7,49	10,48	14,98	17,97	22,46	25,46	29,95	37,44
Leoben Dez.	0,00	6,99	17,47	24,46	34,94	41,93	52,42	59,41	69,89	87,36
Schladming Mär.	0,00	5,86	14,64	20,49	29,28	35,13	43,92	49,77	58,56	73,19
Schladming Jun.	0,00	2,37	5,94	8,31	11,87	14,25	17,81	20,18	23,75	29,68
Schladming Sep.	0,00	3,24	8,10	11,33	16,19	19,43	24,29	27,52	32,38	40,48
Schladming Dez.	0,00	7,29	18,21	25,50	36,43	43,71	54,64	61,93	72,86	91,07
Ischgl Mär.	0,00	6,42	16,06	22,48	32,11	38,53	48,17	54,59	64,22	80,28
Ischgl Jun.	0,00	3,27	8,16	11,43	16,33	19,59	24,49	27,75	32,65	40,81
Ischgl Sep.	0,00	3,86	9,65	13,51	19,29	23,15	28,94	32,80	38,59	48,23
Ischgl Dez.	0,00	7,20	18,01	25,22	36,02	43,23	54,04	61,24	72,05	90,06
Freistadt Mär.	0,00	5,80	14,50	20,31	29,01	34,81	43,51	49,31	58,02	72,52
Freistadt Jun.	0,00	2,27	5,67	7,93	11,33	13,60	17,00	19,27	22,67	28,33
Freistadt Sep.	0,00	2,81	7,02	9,82	14,03	16,84	21,05	23,85	28,06	35,08
Freistadt Dez.	0,00	7,07	17,67	24,74	35,35	42,42	53,02	60,09	70,70	88,37

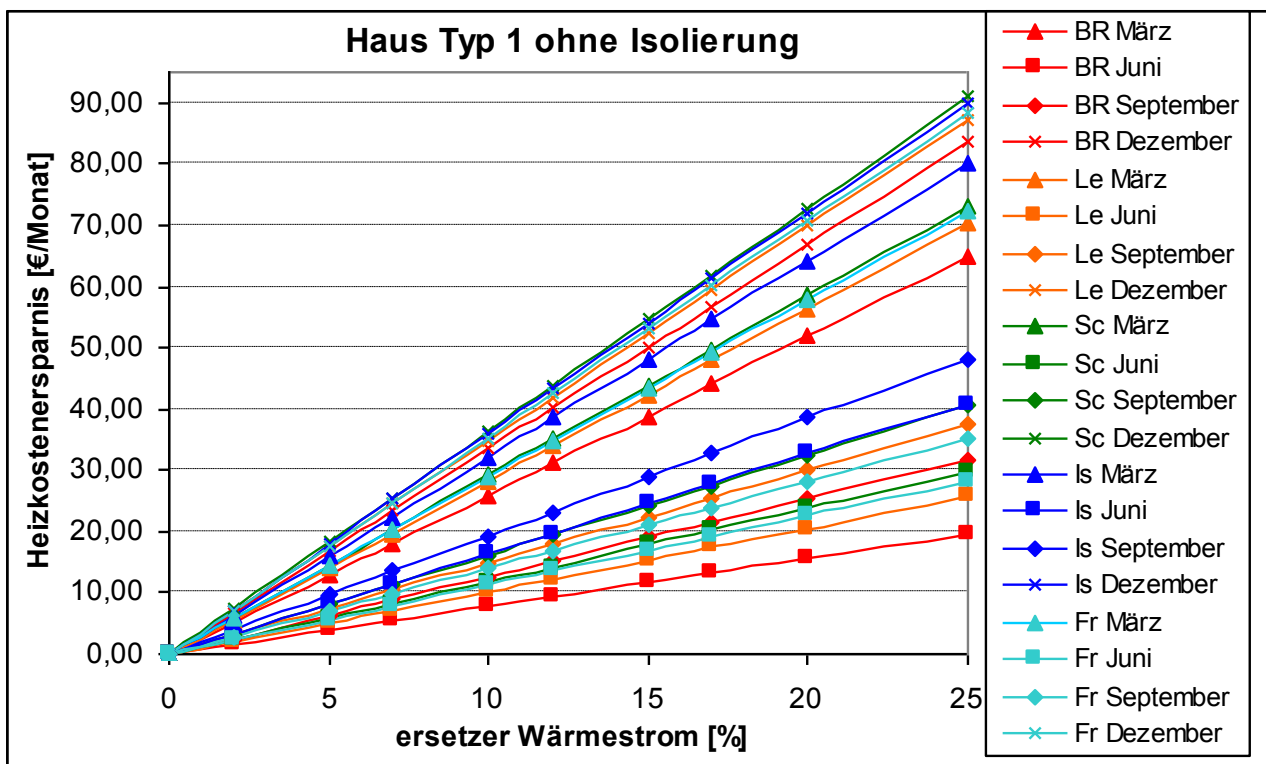


Abbildung 19: Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung



Tabelle 12: Heizkostensparnis Haus Typ I mit Isolierung

Heizkostensparnis Haus Typ I mit Isolierung [€/Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,00	2,38	5,96	8,34	11,91	14,29	17,87	20,25	23,82	29,78
B. Radkersb. Jun.	0,00	0,72	1,80	2,52	3,60	4,32	5,40	6,12	7,20	8,99
B. Radkersb. Sep.	0,00	1,17	2,92	4,08	5,83	7,00	8,75	9,91	11,66	14,58
B. Radkersb. Dez.	0,00	3,08	7,69	10,77	15,38	18,46	23,08	26,15	30,77	38,46
Leoben Mär.	0,00	2,59	6,48	9,08	12,96	15,56	19,45	22,04	25,93	32,41
Leoben Jun.	0,00	0,94	2,36	3,30	4,71	5,66	7,07	8,01	9,43	11,79
Leoben Sep.	0,00	1,38	3,44	4,82	6,89	8,26	10,33	11,71	13,77	17,21
Leoben Dez.	0,00	3,21	8,03	11,25	16,07	19,28	24,10	27,31	32,13	40,17
Schladming Mär.	0,00	2,69	6,73	9,42	13,46	16,15	20,19	22,88	26,92	33,65
Schladming Jun.	0,00	1,09	2,73	3,82	5,46	6,55	8,19	9,28	10,92	13,65
Schladming Sep.	0,00	1,49	3,72	5,21	7,44	8,93	11,17	12,65	14,89	18,61
Schladming Dez.	0,00	3,35	8,37	11,72	16,75	20,10	25,12	28,47	33,50	41,87
Ischgl Mär.	0,00	2,95	7,38	10,33	14,76	17,72	22,15	25,10	29,53	36,91
Ischgl Jun.	0,00	1,50	3,75	5,25	7,51	9,01	11,26	12,76	15,01	18,76
Ischgl Sep.	0,00	1,77	4,44	6,21	8,87	10,64	13,31	15,08	17,74	22,18
Ischgl Dez.	0,00	3,31	8,28	11,59	16,56	19,87	24,84	28,16	33,12	41,41
Freistadt Mär.	0,00	2,67	6,67	9,34	13,34	16,00	20,01	22,67	26,67	33,34
Freistadt Jun.	0,00	1,04	2,61	3,65	5,21	6,25	7,82	8,86	10,42	13,03
Freistadt Sep.	0,00	1,29	3,23	4,52	6,45	7,74	9,68	10,97	12,90	16,13
Freistadt Dez.	0,00	3,25	8,13	11,38	16,25	19,50	24,38	27,63	32,50	40,63

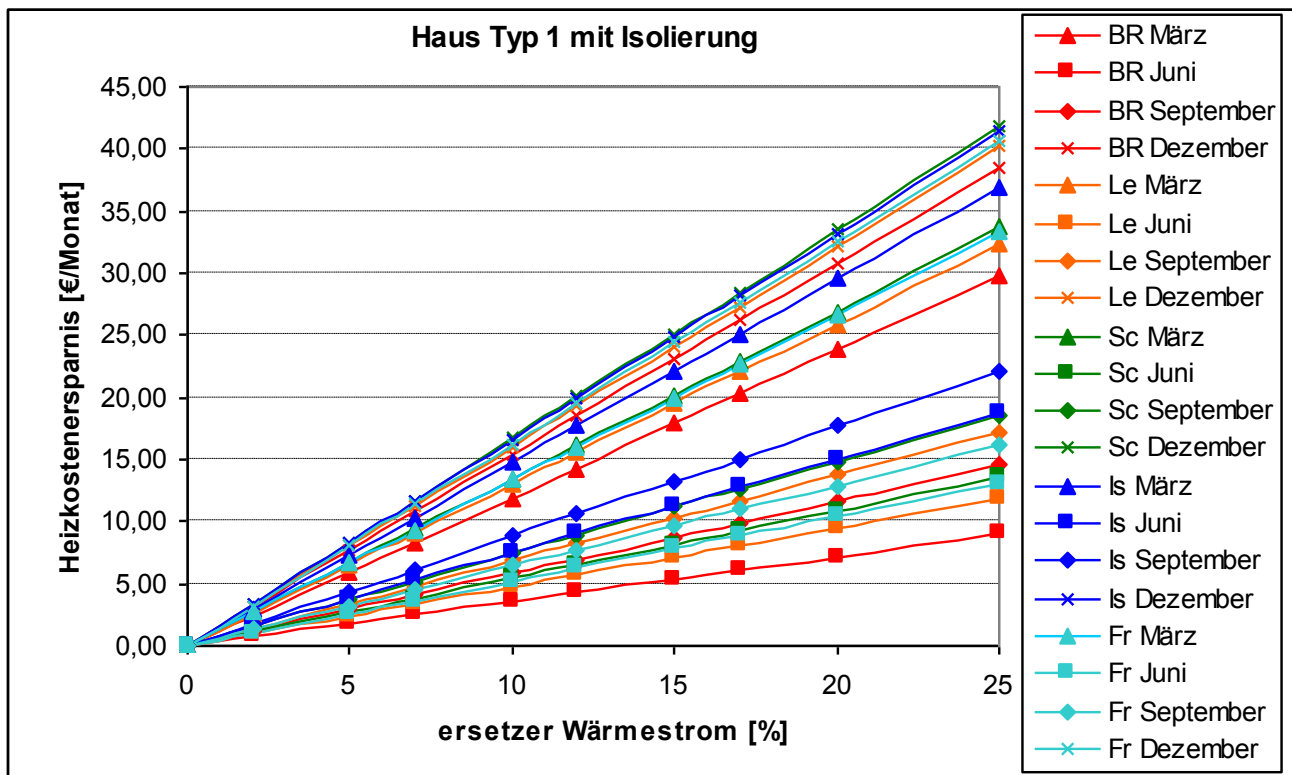


Abbildung 20: Heizkostensparnis Haus Typ I mit Isolierung



Tabelle 13: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung

CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung [kg CO ₂ /Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	21,4	53,4	74,8	106,9	128,2	160,3	181,7	213,7	267,2
B. Radkersb. Jun.	0,0	6,5	16,1	22,6	32,3	38,7	48,4	54,9	64,6	80,7
B. Radkersb. Sep.	0,0	10,5	26,2	36,6	52,3	62,8	78,5	88,9	104,6	130,8
B. Radkersb. Dez.	0,0	27,6	69,0	96,6	138,0	165,6	207,1	234,7	276,1	345,1
Leoben Mär.	0,0	23,3	58,2	81,4	116,3	139,6	174,5	197,8	232,7	290,8
Leoben Jun.	0,0	8,5	21,2	29,6	42,3	50,8	63,5	71,9	84,6	105,8
Leoben Sep.	0,0	12,4	30,9	43,2	61,8	74,1	92,7	105,0	123,6	154,5
Leoben Dez.	0,0	28,8	72,1	100,9	144,2	173,0	216,2	245,1	288,3	360,4
Schladming Mär.	0,0	24,2	60,4	84,5	120,8	144,9	181,2	205,3	241,6	301,9
Schladming Jun.	0,0	9,8	24,5	34,3	49,0	58,8	73,5	83,3	98,0	122,4
Schladming Sep.	0,0	13,4	33,4	46,8	66,8	80,1	100,2	113,5	133,6	167,0
Schladming Dez.	0,0	30,1	75,1	105,2	150,3	180,3	225,4	255,5	300,6	375,7
Ischgl Mär.	0,0	26,5	66,2	92,7	132,5	159,0	198,7	225,2	264,9	331,2
Ischgl Jun.	0,0	13,5	33,7	47,1	67,3	80,8	101,0	114,5	134,7	168,4
Ischgl Sep.	0,0	15,9	39,8	55,7	79,6	95,5	119,4	135,3	159,2	199,0
Ischgl Dez.	0,0	29,7	74,3	104,0	148,6	178,3	222,9	252,6	297,2	371,5
Freistadt Mär.	0,0	23,9	59,8	83,8	119,7	143,6	179,5	203,4	239,3	299,2
Freistadt Jun.	0,0	9,4	23,4	32,7	46,8	56,1	70,1	79,5	93,5	116,9
Freistadt Sep.	0,0	11,6	28,9	40,5	57,9	69,5	86,8	98,4	115,8	144,7
Freistadt Dez.	0,0	29,2	72,9	102,1	145,8	175,0	218,7	247,9	291,7	364,6

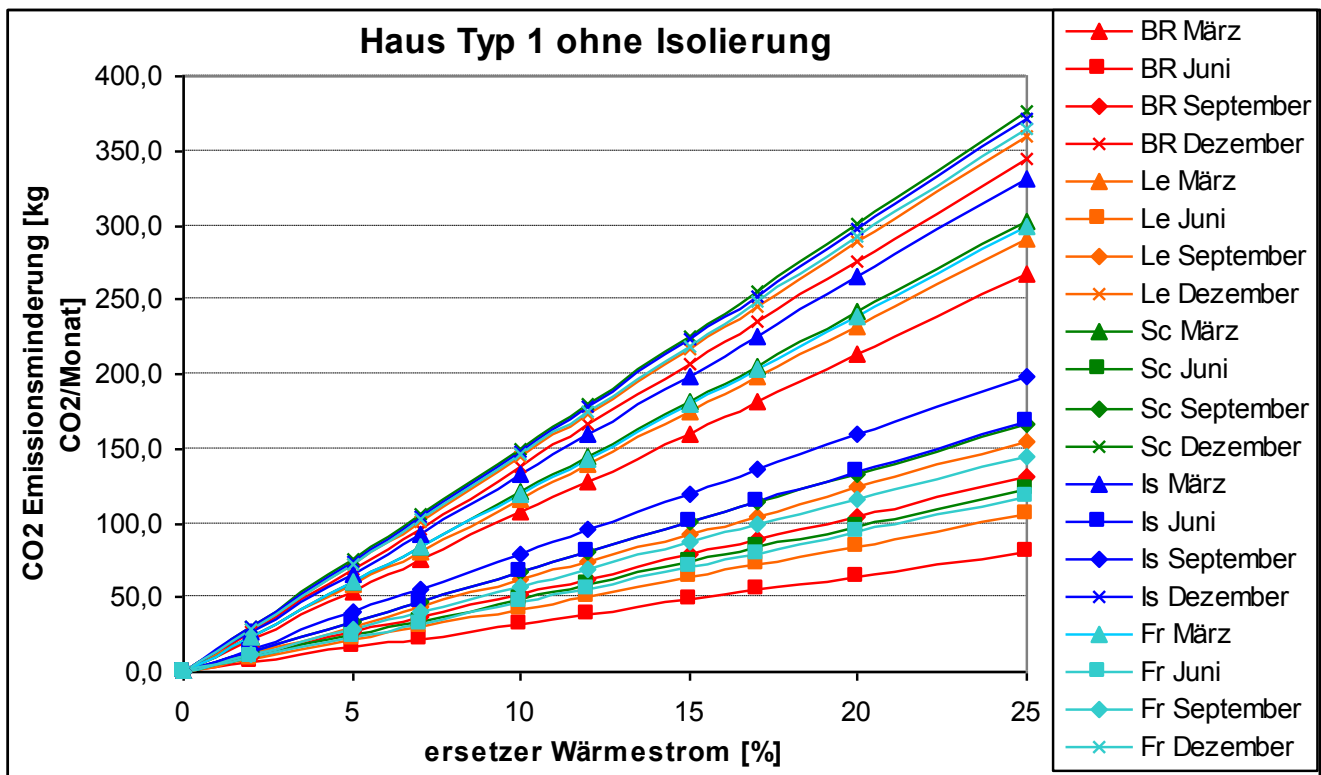


Abbildung 21: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung



Tabelle 14: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ I mit Isolierung

CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I mit Isolierung [kg CO ₂ /Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	9,8	24,6	34,4	49,1	59,0	73,7	83,5	98,3	122,8
B. Radkersb. Jun.	0,0	3,0	7,4	10,4	14,8	17,8	22,3	25,2	29,7	37,1
B. Radkersb. Sep.	0,0	4,8	12,0	16,8	24,1	28,9	36,1	40,9	48,1	60,1
B. Radkersb. Dez.	0,0	12,7	31,7	44,4	63,5	76,2	95,2	107,9	126,9	158,7
Leoben Mär.	0,0	10,7	26,7	37,4	53,5	64,2	80,2	90,9	107,0	133,7
Leoben Jun.	0,0	3,9	9,7	13,6	19,4	23,3	29,2	33,1	38,9	48,6
Leoben Sep.	0,0	5,7	14,2	19,9	28,4	34,1	42,6	48,3	56,8	71,0
Leoben Dez.	0,0	13,3	33,1	46,4	66,3	79,5	99,4	112,7	132,6	165,7
Schladming Mär.	0,0	11,1	27,8	38,9	55,5	66,6	83,3	94,4	111,1	138,8
Schladming Jun.	0,0	4,5	11,3	15,8	22,5	27,0	33,8	38,3	45,0	56,3
Schladming Sep.	0,0	6,1	15,4	21,5	30,7	36,8	46,1	52,2	61,4	76,8
Schladming Dez.	0,0	13,8	34,5	48,4	69,1	82,9	103,6	117,5	138,2	172,7
Ischgl Mär.	0,0	12,2	30,5	42,6	60,9	73,1	91,4	103,5	121,8	152,3
Ischgl Jun.	0,0	6,2	15,5	21,7	31,0	37,2	46,4	52,6	61,9	77,4
Ischgl Sep.	0,0	7,3	18,3	25,6	36,6	43,9	54,9	62,2	73,2	91,5
Ischgl Dez.	0,0	13,7	34,2	47,8	68,3	82,0	102,5	116,2	136,6	170,8
Freistadt Mär.	0,0	11,0	27,5	38,5	55,0	66,0	82,5	93,5	110,0	137,5
Freistadt Jun.	0,0	4,3	10,7	15,0	21,5	25,8	32,2	36,5	43,0	53,7
Freistadt Sep.	0,0	5,3	13,3	18,6	26,6	31,9	39,9	45,2	53,2	66,5
Freistadt Dez.	0,0	13,4	33,5	46,9	67,0	80,5	100,6	114,0	134,1	167,6

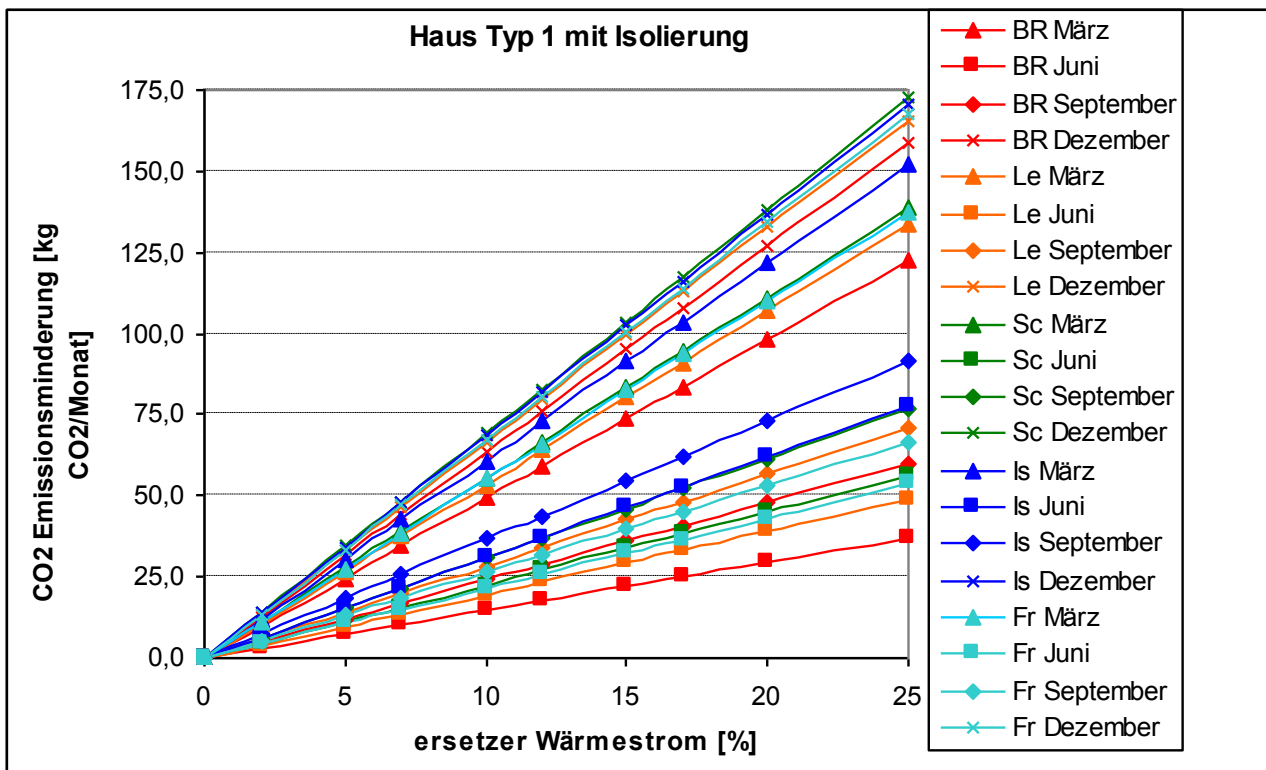


Abbildung 22: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ I mit Isolierung



Tabelle 15: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II ohne Isolierung

Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II ohne Isolierung[m ²]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	1,3	3,3	4,6	6,6	8,0	10,0	11,3	13,3	16,6
B. Radkersb. Jun.	0,0	0,3	0,7	1,0	1,4	1,6	2,1	2,3	2,7	3,4
B. Radkersb. Sep.	0,0	0,5	1,3	1,8	2,6	3,1	3,9	4,4	5,2	6,5
B. Radkersb. Dez.	0,0	4,8	11,9	16,6	23,8	28,5	35,6	40,4	47,5	59,4
Leoben Mär.	0,0	1,4	3,5	4,9	6,9	8,3	10,4	11,8	13,9	17,3
Leoben Jun.	0,0	0,4	0,9	1,3	1,8	2,2	2,8	3,1	3,7	4,6
Leoben Sep.	0,0	0,6	1,6	2,3	3,2	3,9	4,9	5,5	6,5	8,1
Leoben Dez.	0,0	4,6	11,5	16,1	23,0	27,6	34,5	39,1	46,0	57,5
Schladming Mär.	0,0	1,4	3,4	4,8	6,8	8,2	10,2	11,6	13,6	17,0
Schladming Jun.	0,0	0,5	1,1	1,6	2,3	2,7	3,4	3,8	4,5	5,6
Schladming Sep.	0,0	0,7	1,8	2,5	3,6	4,4	5,5	6,2	7,3	9,1
Schladming Dez.	0,0	5,4	13,5	18,8	26,9	32,3	40,4	45,8	53,9	67,3
Ischgl Mär.	0,0	1,3	3,3	4,7	6,6	8,0	10,0	11,3	13,3	16,6
Ischgl Jun.	0,0	0,6	1,4	2,0	2,9	3,5	4,3	4,9	5,8	7,2
Ischgl Sep.	0,0	0,8	2,1	2,9	4,1	5,0	6,2	7,1	8,3	10,4
Ischgl Dez.	0,0	5,0	12,6	17,6	25,2	30,2	37,8	42,8	50,3	62,9
Freistadt Mär.	0,0	1,6	3,9	5,5	7,8	9,4	11,7	13,3	15,6	19,5
Freistadt Jun.	0,0	0,4	1,1	1,5	2,1	2,5	3,2	3,6	4,2	5,3
Freistadt Sep.	0,0	0,7	1,7	2,3	3,3	4,0	5,0	5,7	6,7	8,3
Freistadt Dez.	0,0	6,0	14,9	20,9	29,8	35,8	44,7	50,7	59,7	74,6

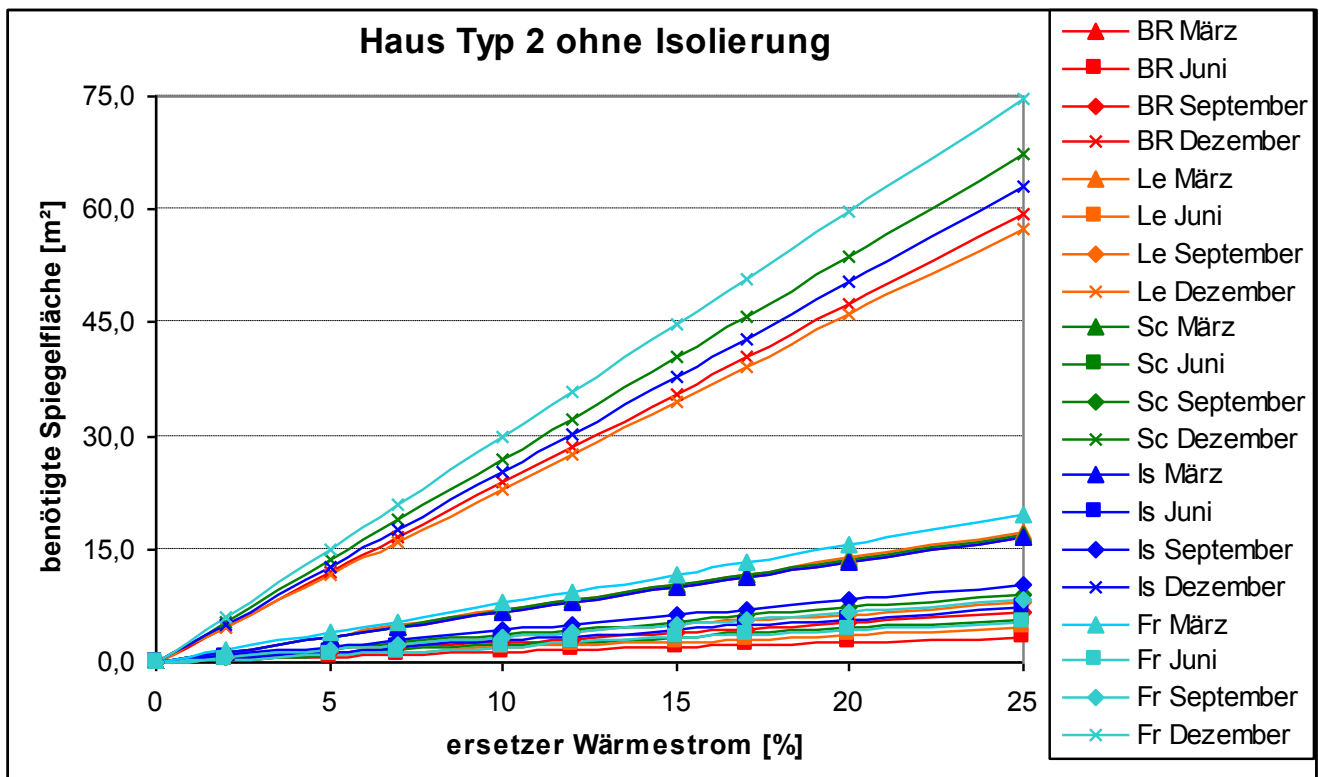


Abbildung 23: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ II ohne Isolierung



Tabelle 16: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II mit Isolierung

Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II mit Isolierung [m ²]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	0,6	1,6	2,2	3,1	3,7	4,7	5,3	6,2	7,8
B. Radkersb. Jun.	0,0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,6
B. Radkersb. Sep.	0,0	0,2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3,1
B. Radkersb. Dez.	0,0	2,2	5,6	7,8	11,1	13,4	16,7	18,9	22,3	27,8
Leoben Mär.	0,0	0,6	1,6	2,3	3,2	3,9	4,9	5,5	6,5	8,1
Leoben Jun.	0,0	0,2	0,4	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	1,7	2,2
Leoben Sep.	0,0	0,3	0,8	1,1	1,5	1,8	2,3	2,6	3,0	3,8
Leoben Dez.	0,0	2,2	5,4	7,5	10,8	12,9	16,1	18,3	21,5	26,9
Schladming Mär.	0,0	0,6	1,6	2,2	3,2	3,8	4,8	5,4	6,4	8,0
Schladming Jun.	0,0	0,2	0,5	0,7	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,6
Schladming Sep.	0,0	0,3	0,9	1,2	1,7	2,0	2,6	2,9	3,4	4,3
Schladming Dez.	0,0	2,5	6,3	8,8	12,6	15,1	18,9	21,4	25,2	31,5
Ischgl Mär.	0,0	0,6	1,6	2,2	3,1	3,7	4,7	5,3	6,2	7,8
Ischgl Jun.	0,0	0,3	0,7	0,9	1,4	1,6	2,0	2,3	2,7	3,4
Ischgl Sep.	0,0	0,4	1,0	1,4	1,9	2,3	2,9	3,3	3,9	4,9
Ischgl Dez.	0,0	2,4	5,9	8,3	11,8	14,2	17,7	20,0	23,6	29,5
Freistadt Mär.	0,0	0,7	1,8	2,6	3,7	4,4	5,5	6,2	7,3	9,2
Freistadt Jun.	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5
Freistadt Sep.	0,0	0,3	0,8	1,1	1,6	1,9	2,3	2,7	3,1	3,9
Freistadt Dez.	0,0	2,8	7,0	9,8	14,0	16,8	21,0	23,8	27,9	34,9

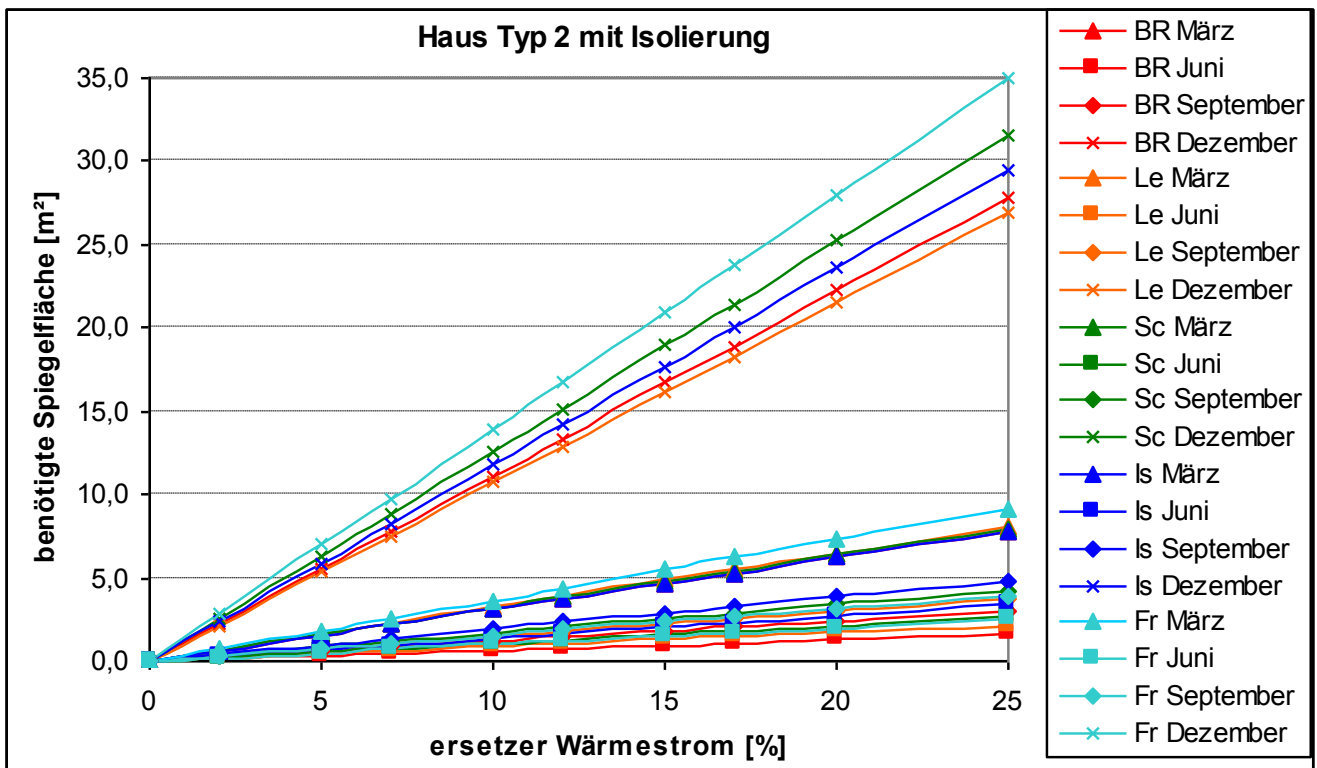


Abbildung 24: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II mit Isolierung



Tabelle 17: Heizkostensparnis Haus Typ II ohne Isolierung

Heizkostensparnis Haus Typ II ohne Isolierung [€/Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,00	6,47	16,18	22,65	32,35	38,82	48,53	55,00	64,70	80,88
B. Radkersb. Jun.	0,00	1,95	4,89	6,84	9,77	11,73	14,66	16,61	19,55	24,43
B. Radkersb. Sep.	0,00	3,17	7,92	11,09	15,84	19,01	23,76	26,93	31,68	39,60
B. Radkersb. Dez.	0,00	8,36	20,89	29,25	41,79	50,14	62,68	71,04	83,57	104,4
Leoben Mär.	0,00	7,04	17,61	24,65	35,22	42,26	52,82	59,87	70,43	88,04
Leoben Jun.	0,00	2,56	6,40	8,96	12,81	15,37	19,21	21,77	25,61	32,01
Leoben Sep.	0,00	3,74	9,35	13,09	18,70	22,44	28,05	31,80	37,41	46,76
Leoben Dez.	0,00	8,73	21,82	30,55	43,64	52,37	65,46	74,19	87,28	109,1
Schladming Mär.	0,00	7,31	18,28	25,59	36,56	43,88	54,85	62,16	73,13	91,41
Schladming Jun.	0,00	2,97	7,41	10,38	14,83	17,79	22,24	25,21	29,66	37,07
Schladming Sep.	0,00	4,04	10,11	14,15	20,22	24,26	30,33	34,37	40,44	50,55
Schladming Dez.	0,00	9,10	22,75	31,85	45,49	54,59	68,24	77,34	90,99	113,7
Ischgl Mär.	0,00	8,02	20,05	28,07	40,10	48,12	60,15	68,17	80,20	100,2
Ischgl Jun.	0,00	4,08	10,19	14,27	20,39	24,47	30,58	34,66	40,78	50,97
Ischgl Sep.	0,00	4,82	12,05	16,87	24,10	28,91	36,14	40,96	48,19	60,24
Ischgl Dez.	0,00	9,00	22,49	31,49	44,99	53,99	67,48	76,48	89,98	112,4
Freistadt Mär.	0,00	7,25	18,11	25,36	36,23	43,47	54,34	61,59	72,45	90,57
Freistadt Jun.	0,00	2,83	7,08	9,91	14,15	16,98	21,23	24,06	28,31	35,38
Freistadt Sep.	0,00	3,50	8,76	12,27	17,52	21,03	26,29	29,79	35,05	43,81
Freistadt Dez.	0,00	8,83	22,07	30,90	44,15	52,98	66,22	75,05	88,29	110,3

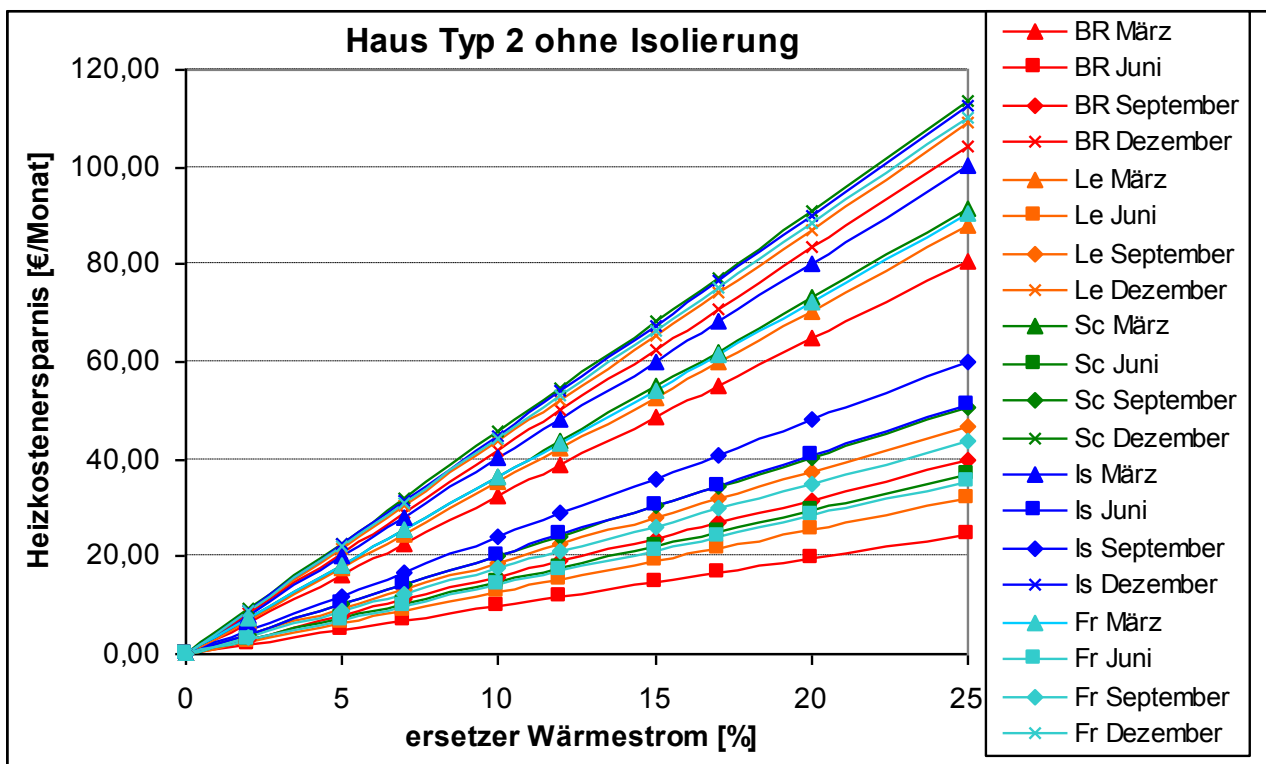


Abbildung 25: Heizkostensparnis Haus Typ II ohne Isolierung



Tabelle 18: Heizkostensparnis Haus Typ II mit Isolierung

Heizkostensparnis Haus Typ II mit Isolierung [€/Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,00	3,03	7,58	10,61	15,16	18,19	22,73	25,77	30,31	37,89
B. Radkersb. Jun.	0,00	0,92	2,29	3,20	4,58	5,49	6,87	7,78	9,16	11,45
B. Radkersb. Sep.	0,00	1,48	3,71	5,19	7,42	8,90	11,13	12,61	14,84	18,55
B. Radkersb. Dez.	0,00	3,92	9,79	13,70	19,58	23,49	29,36	33,28	39,15	48,94
Leoben Mär.	0,00	3,30	8,25	11,55	16,50	19,80	24,75	28,05	33,00	41,24
Leoben Jun.	0,00	1,20	3,00	4,20	6,00	7,20	9,00	10,20	12,00	15,00
Leoben Sep.	0,00	1,75	4,38	6,13	8,76	10,51	13,14	14,90	17,52	21,91
Leoben Dez.	0,00	4,09	10,22	14,31	20,44	24,53	30,67	34,76	40,89	51,11
Schladming Mär.	0,00	3,43	8,56	11,99	17,13	20,56	25,69	29,12	34,26	42,82
Schladming Jun.	0,00	1,39	3,47	4,86	6,95	8,34	10,42	11,81	13,89	17,37
Schladming Sep.	0,00	1,89	4,74	6,63	9,47	11,37	14,21	16,10	18,94	23,68
Schladming Dez.	0,00	4,26	10,66	14,92	21,31	25,58	31,97	36,23	42,63	53,28
Ischgl Mär.	0,00	3,76	9,39	13,15	18,79	22,54	28,18	31,94	37,57	46,97
Ischgl Jun.	0,00	1,91	4,78	6,69	9,55	11,46	14,33	16,24	19,10	23,88
Ischgl Sep.	0,00	2,26	5,64	7,90	11,29	13,55	16,93	19,19	22,58	28,22
Ischgl Dez.	0,00	4,22	10,54	14,75	21,08	25,29	31,61	35,83	42,15	52,69
Freistadt Mär.	0,00	3,39	8,49	11,88	16,97	20,37	25,46	28,85	33,94	42,43
Freistadt Jun.	0,00	1,33	3,32	4,64	6,63	7,96	9,95	11,27	13,26	16,58
Freistadt Sep.	0,00	1,64	4,10	5,75	8,21	9,85	12,31	13,96	16,42	20,52
Freistadt Dez.	0,00	4,14	10,34	14,48	20,68	24,82	31,02	35,16	41,36	51,70

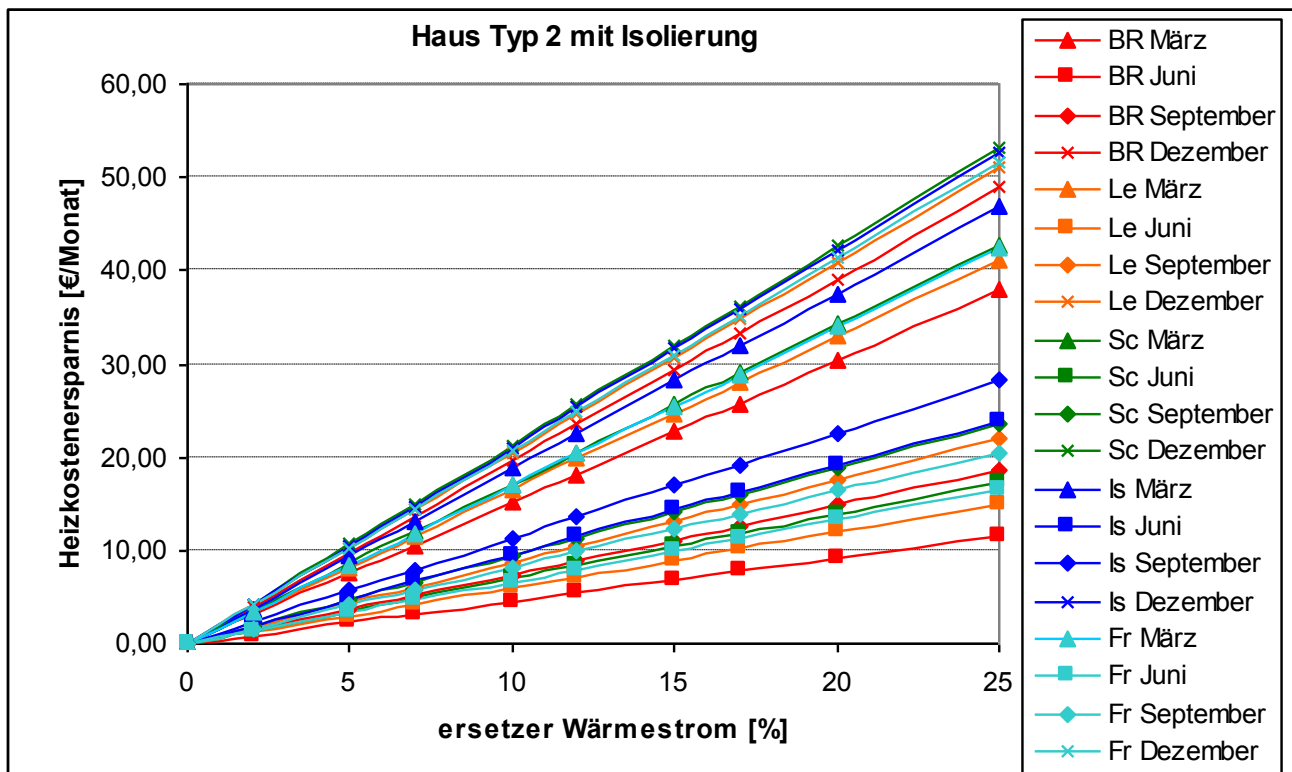


Abbildung 26: Heizkostensparnis Haus Typ II mit Isolierung



Tabelle 19: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ II ohne Isolierung

CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ II ohne Isolierung [kg CO ₂ /Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	26,7	66,7	93,4	133,5	160,2	200,2	226,9	266,9	333,6
B. Radkersb. Jun.	0,0	8,1	20,2	28,2	40,3	48,4	60,5	68,5	80,6	100,8
B. Radkersb. Sep.	0,0	13,1	32,7	45,7	65,3	78,4	98,0	111,1	130,7	163,3
B. Radkersb. Dez.	0,0	34,5	86,2	120,7	172,4	206,9	258,6	293,1	344,8	431,0
Leoben Mär.	0,0	29,1	72,6	101,7	145,3	174,3	217,9	247,0	290,6	363,2
Leoben Jun.	0,0	10,6	26,4	37,0	52,8	63,4	79,2	89,8	105,7	132,1
Leoben Sep.	0,0	15,4	38,6	54,0	77,2	92,6	115,7	131,2	154,3	192,9
Leoben Dez.	0,0	36,0	90,0	126,0	180,0	216,0	270,0	306,1	360,1	450,1
Schladming Mär.	0,0	30,2	75,4	105,6	150,8	181,0	226,3	256,4	301,7	377,1
Schladming Jun.	0,0	12,2	30,6	42,8	61,2	73,4	91,8	104,0	122,3	152,9
Schladming Sep.	0,0	16,7	41,7	58,4	83,4	100,1	125,1	141,8	166,8	208,5
Schladming Dez.	0,0	37,5	93,8	131,4	187,7	225,2	281,5	319,1	375,4	469,2
Ischgl Mär.	0,0	33,1	82,7	115,8	165,4	198,5	248,2	281,2	330,9	413,6
Ischgl Jun.	0,0	16,8	42,1	58,9	84,1	100,9	126,2	143,0	168,2	210,3
Ischgl Sep.	0,0	19,9	49,7	69,6	99,4	119,3	149,1	169,0	198,8	248,5
Ischgl Dez.	0,0	37,1	92,8	129,9	185,6	222,7	278,4	315,5	371,2	464,0
Freistadt Mär.	0,0	29,9	74,7	104,6	149,4	179,3	224,2	254,1	298,9	373,6
Freistadt Jun.	0,0	11,7	29,2	40,9	58,4	70,1	87,6	99,3	116,8	146,0
Freistadt Sep.	0,0	14,5	36,1	50,6	72,3	86,7	108,4	122,9	144,6	180,7
Freistadt Dez.	0,0	36,4	91,1	127,5	182,1	218,5	273,2	309,6	364,2	455,3

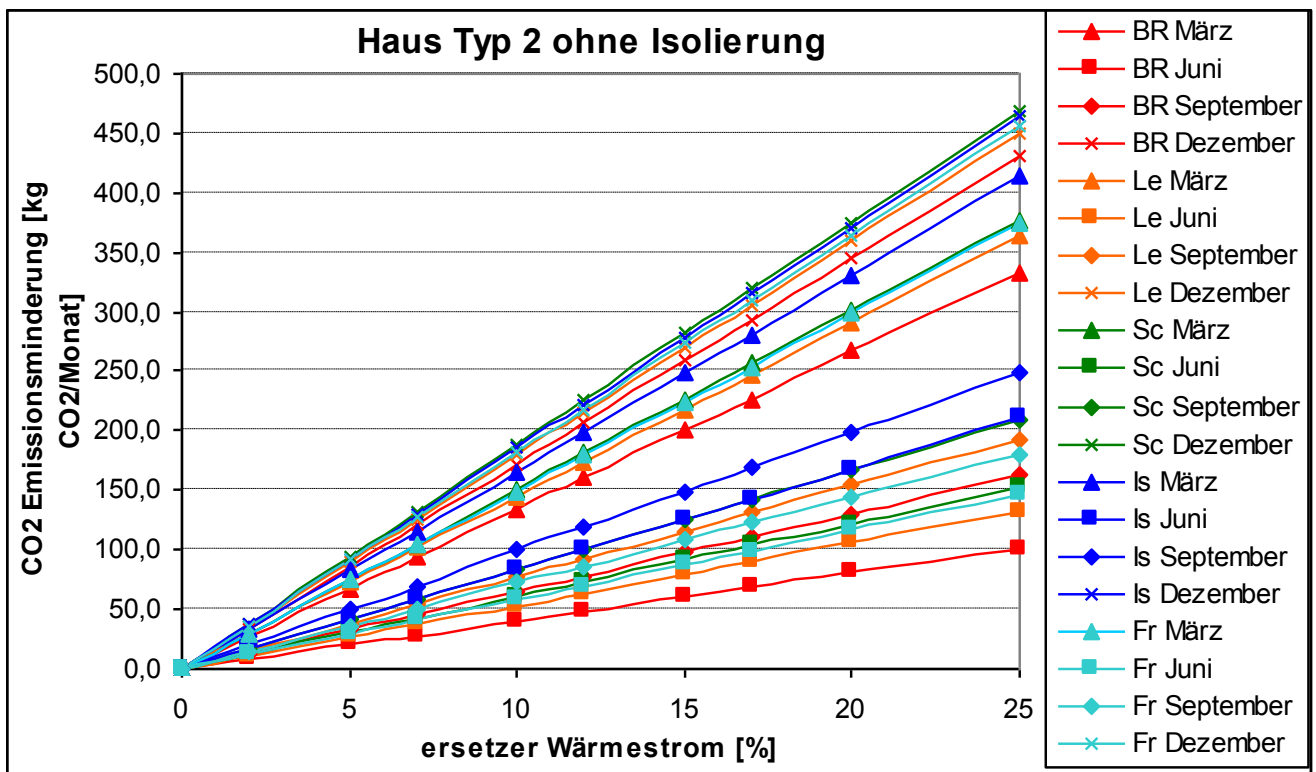


Abbildung 27: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ II ohne Isolierung



Tabelle 20: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ II mit Isolierung

CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ II mit Isolierung [kg CO ₂ /Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	12,5	31,3	43,8	62,5	75,0	93,8	106,3	125,0	156,3
B. Radkersb. Jun.	0,0	3,8	9,4	13,2	18,9	22,7	28,3	32,1	37,8	47,2
B. Radkersb. Sep.	0,0	6,1	15,3	21,4	30,6	36,7	45,9	52,0	61,2	76,5
B. Radkersb. Dez.	0,0	16,2	40,4	56,5	80,8	96,9	121,1	137,3	161,5	201,9
Leoben Mär.	0,0	13,6	34,0	47,6	68,1	81,7	102,1	115,7	136,1	170,1
Leoben Jun.	0,0	4,9	12,4	17,3	24,7	29,7	37,1	42,1	49,5	61,9
Leoben Sep.	0,0	7,2	18,1	25,3	36,1	43,4	54,2	61,4	72,3	90,4
Leoben Dez.	0,0	16,9	42,2	59,0	84,3	101,2	126,5	143,4	168,7	210,9
Schladming Mär.	0,0	14,1	35,3	49,5	70,7	84,8	106,0	120,1	141,3	176,7
Schladming Jun.	0,0	5,7	14,3	20,1	28,7	34,4	43,0	48,7	57,3	71,6
Schladming Sep.	0,0	7,8	19,5	27,4	39,1	46,9	58,6	66,4	78,2	97,7
Schladming Dez.	0,0	17,6	44,0	61,5	87,9	105,5	131,9	149,5	175,8	219,8
Ischgl Mär.	0,0	15,5	38,8	54,3	77,5	93,0	116,3	131,8	155,0	193,8
Ischgl Jun.	0,0	7,9	19,7	27,6	39,4	47,3	59,1	67,0	78,8	98,5
Ischgl Sep.	0,0	9,3	23,3	32,6	46,6	55,9	69,8	79,2	93,1	116,4
Ischgl Dez.	0,0	17,4	43,5	60,9	86,9	104,3	130,4	147,8	173,9	217,4
Freistadt Mär.	0,0	14,0	35,0	49,0	70,0	84,0	105,0	119,0	140,0	175,0
Freistadt Jun.	0,0	5,5	13,7	19,1	27,4	32,8	41,0	46,5	54,7	68,4
Freistadt Sep.	0,0	6,8	16,9	23,7	33,9	40,6	50,8	57,6	67,7	84,7
Freistadt Dez.	0,0	17,1	42,7	59,7	85,3	102,4	128,0	145,0	170,6	213,3

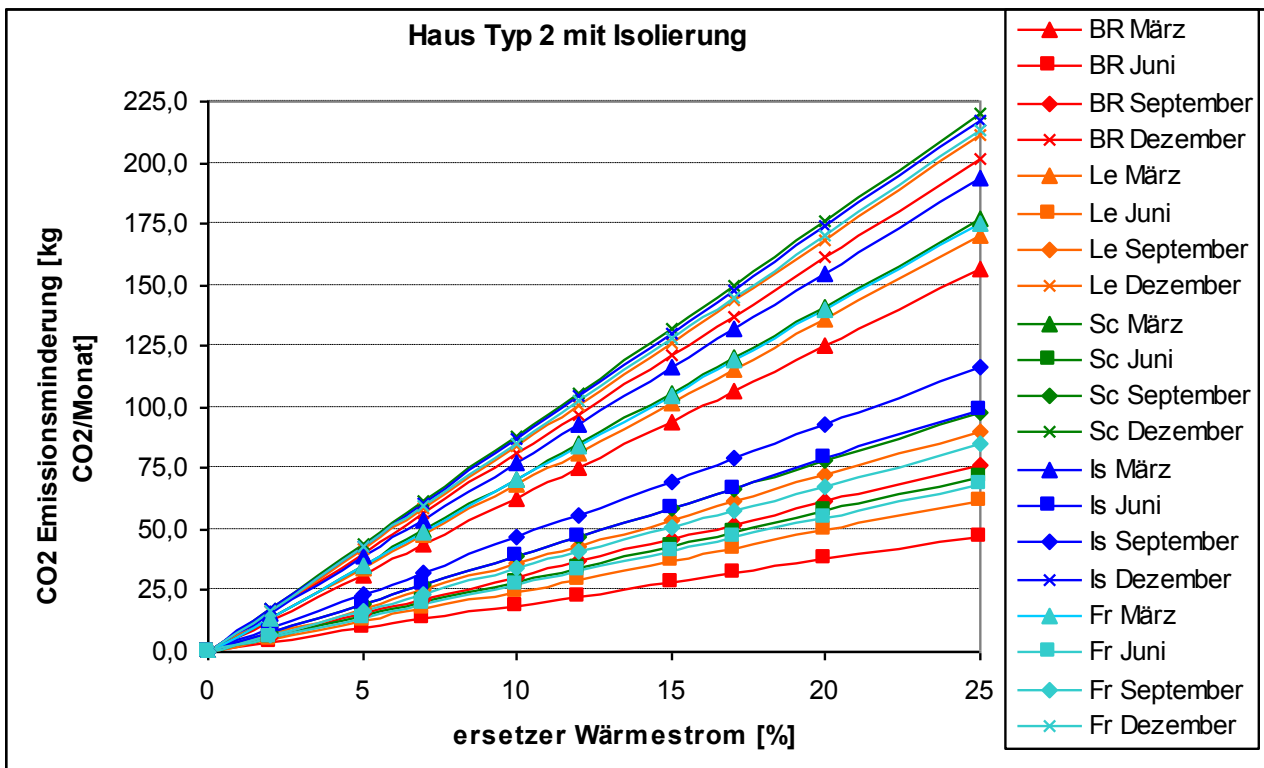


Abbildung 28: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ II mit Isolierung



Tabelle 21: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III ohne Isolierung

Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III ohne Isolierung[m ²]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	1,6	4,0	5,6	8,0	9,6	12,0	13,6	16,1	20,1
B. Radkersb. Jun.	0,0	0,3	0,8	1,2	1,7	2,0	2,5	2,8	3,3	4,1
B. Radkersb. Sep.	0,0	0,6	1,6	2,2	3,2	3,8	4,7	5,4	6,3	7,9
B. Radkersb. Dez.	0,0	5,7	14,4	20,1	28,7	34,5	43,1	48,8	57,4	71,8
Leoben Mär.	0,0	1,7	4,2	5,9	8,4	10,1	12,6	14,2	16,8	20,9
Leoben Jun.	0,0	0,4	1,1	1,6	2,2	2,7	3,3	3,8	4,4	5,6
Leoben Sep.	0,0	0,8	2,0	2,7	3,9	4,7	5,9	6,7	7,8	9,8
Leoben Dez.	0,0	5,6	13,9	19,5	27,8	33,3	41,7	47,2	55,6	69,5
Schladming Mär.	0,0	1,6	4,1	5,8	8,2	9,9	12,4	14,0	16,5	20,6
Schladming Jun.	0,0	0,5	1,4	1,9	2,7	3,3	4,1	4,6	5,5	6,8
Schladming Sep.	0,0	0,9	2,2	3,1	4,4	5,3	6,6	7,5	8,8	11,0
Schladming Dez.	0,0	6,5	16,3	22,8	32,6	39,1	48,8	55,4	65,1	81,4
Ischgl Mär.	0,0	1,6	4,0	5,6	8,0	9,6	12,1	13,7	16,1	20,1
Ischgl Jun.	0,0	0,7	1,7	2,4	3,5	4,2	5,2	5,9	7,0	8,7
Ischgl Sep.	0,0	1,0	2,5	3,5	5,0	6,0	7,5	8,5	10,0	12,5
Ischgl Dez.	0,0	6,1	15,2	21,3	30,4	36,5	45,7	51,7	60,9	76,1
Freistadt Mär.	0,0	1,9	4,7	6,6	9,4	11,3	14,2	16,1	18,9	23,6
Freistadt Jun.	0,0	0,5	1,3	1,8	2,6	3,1	3,8	4,4	5,1	6,4
Freistadt Sep.	0,0	0,8	2,0	2,8	4,0	4,8	6,0	6,8	8,1	10,1
Freistadt Dez.	0,0	7,2	18,0	25,2	36,1	43,3	54,1	61,3	72,1	90,2

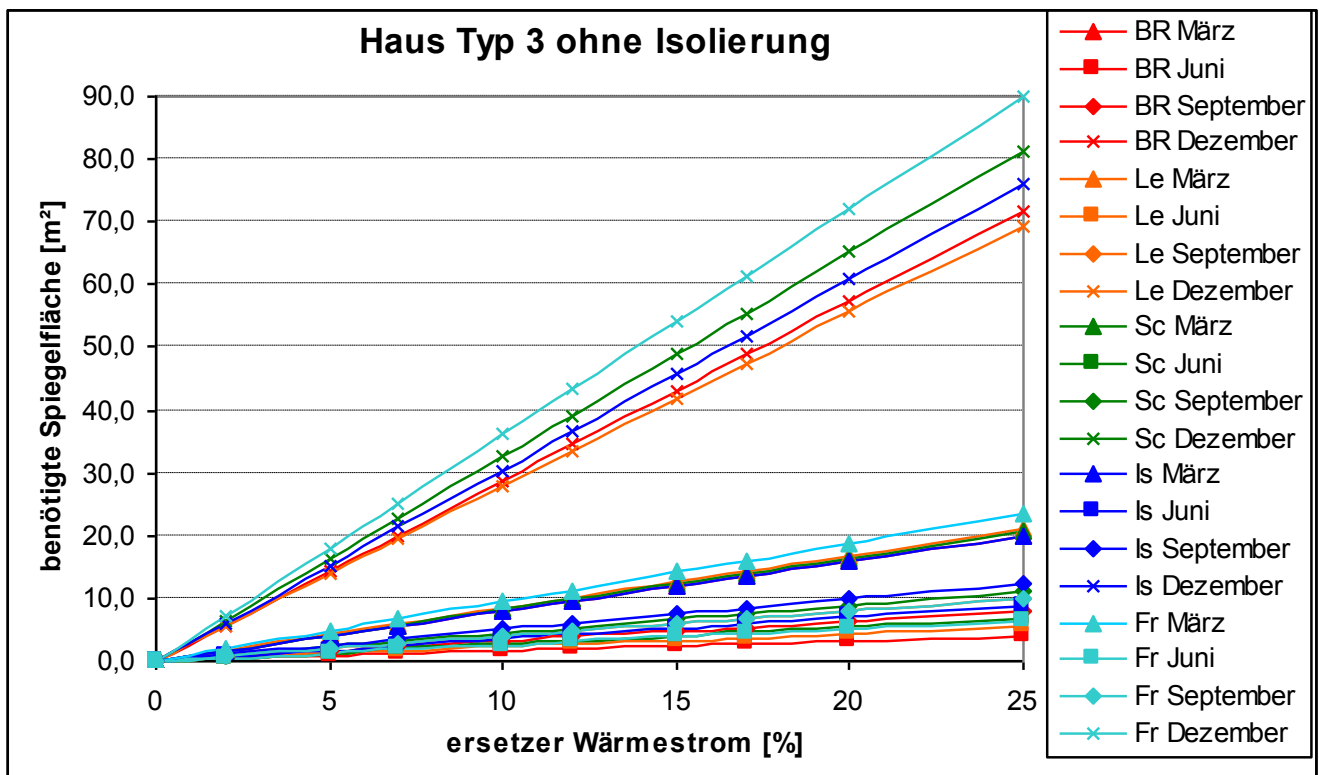


Abbildung 29: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ III ohne Isolierung



Tabelle 22: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III mit Isolierung

Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III mit Isolierung [m ²]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	0,8	1,9	2,7	3,8	4,6	5,7	6,5	7,7	9,6
B. Radkersb. Jun.	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,2	1,3	1,6	2,0
B. Radkersb. Sep.	0,0	0,3	0,8	1,1	1,5	1,8	2,3	2,6	3,0	3,8
B. Radkersb. Dez.	0,0	2,7	6,8	9,6	13,7	16,4	20,5	23,3	27,4	34,2
Leoben Mär.	0,0	0,8	2,0	2,8	4,0	4,8	6,0	6,8	8,0	10,0
Leoben Jun.	0,0	0,2	0,5	0,7	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,7
Leoben Sep.	0,0	0,4	0,9	1,3	1,9	2,2	2,8	3,2	3,7	4,7
Leoben Dez.	0,0	2,7	6,6	9,3	13,3	15,9	19,9	22,5	26,5	33,1
Schladming Mär.	0,0	0,8	2,0	2,8	3,9	4,7	5,9	6,7	7,9	9,8
Schladming Jun.	0,0	0,3	0,7	0,9	1,3	1,6	2,0	2,2	2,6	3,3
Schladming Sep.	0,0	0,4	1,0	1,5	2,1	2,5	3,1	3,6	4,2	5,2
Schladming Dez.	0,0	3,1	7,8	10,9	15,5	18,6	23,3	26,4	31,1	38,8
Ischgl Mär.	0,0	0,8	1,9	2,7	3,8	4,6	5,8	6,5	7,7	9,6
Ischgl Jun.	0,0	0,3	0,8	1,2	1,7	2,0	2,5	2,8	3,3	4,2
Ischgl Sep.	0,0	0,5	1,2	1,7	2,4	2,9	3,6	4,1	4,8	6,0
Ischgl Dez.	0,0	2,9	7,3	10,2	14,5	17,4	21,8	24,7	29,0	36,3
Freistadt Mär.	0,0	0,9	2,3	3,2	4,5	5,4	6,8	7,7	9,0	11,3
Freistadt Jun.	0,0	0,2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3,1
Freistadt Sep.	0,0	0,4	1,0	1,3	1,9	2,3	2,9	3,3	3,8	4,8
Freistadt Dez.	0,0	3,4	8,6	12,0	17,2	20,6	25,8	29,2	34,4	43,0

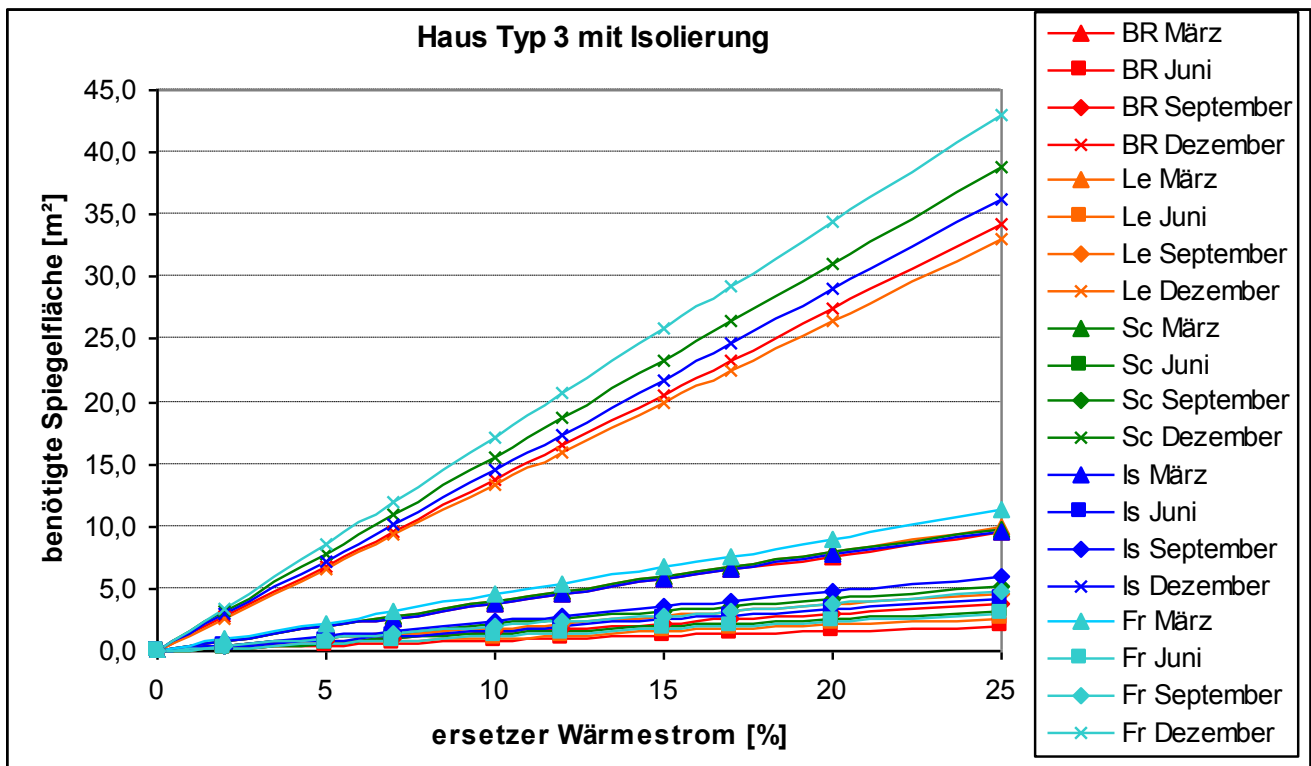


Abbildung 30: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III mit Isolierung



Tabelle 23: Heizkostensparnis Haus Typ III ohne Isolierung

Heizkostensparnis Haus Typ III ohne Isolierung [€/Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,00	7,82	19,56	27,38	39,12	46,94	58,68	66,50	78,24	97,80
B. Radkersb. Jun.	0,00	2,36	5,91	8,27	11,82	14,18	17,73	20,09	23,63	29,54
B. Radkersb. Sep.	0,00	3,83	9,58	13,41	19,15	22,98	28,73	32,56	38,30	47,88
B. Radkersb. Dez.	0,00	10,11	25,26	35,37	50,53	60,63	75,79	85,90	101,0	126,3
Leoben Mär.	0,00	8,52	21,29	29,81	42,58	51,10	63,87	72,39	85,16	106,4
Leoben Jun.	0,00	3,10	7,74	10,84	15,48	18,58	23,23	26,32	30,97	38,71
Leoben Sep.	0,00	4,52	11,31	15,83	22,62	27,14	33,92	38,45	45,23	56,54
Leoben Dez.	0,00	10,55	26,38	36,94	52,77	63,32	79,15	89,71	105,5	131,9
Schladming Mär.	0,00	8,84	22,11	30,95	44,21	53,05	66,32	75,16	88,42	110,5
Schladming Jun.	0,00	3,59	8,96	12,55	17,93	21,52	26,89	30,48	35,86	44,82
Schladming Sep.	0,00	4,89	12,22	17,11	24,45	29,34	36,67	41,56	48,90	61,12
Schladming Dez.	0,00	11,00	27,51	38,51	55,01	66,01	82,52	93,52	110,0	137,5
Ischgl Mär.	0,00	9,70	24,25	33,94	48,49	58,19	72,74	82,43	96,98	121,2
Ischgl Jun.	0,00	4,93	12,33	17,26	24,65	29,58	36,98	41,91	49,31	61,63
Ischgl Sep.	0,00	5,83	14,57	20,39	29,14	34,96	43,70	49,53	58,27	72,84
Ischgl Dez.	0,00	10,88	27,20	38,08	54,40	65,28	81,60	92,48	108,8	136,0
Freistadt Mär.	0,00	8,76	21,90	30,66	43,80	52,57	65,71	74,47	87,61	109,5
Freistadt Jun.	0,00	3,42	8,56	11,98	17,11	20,54	25,67	29,09	34,23	42,79
Freistadt Sep.	0,00	4,24	10,59	14,83	21,19	25,43	31,78	36,02	42,38	52,97
Freistadt Dez.	0,00	10,68	26,69	37,37	53,38	64,06	80,07	90,75	106,7	133,4

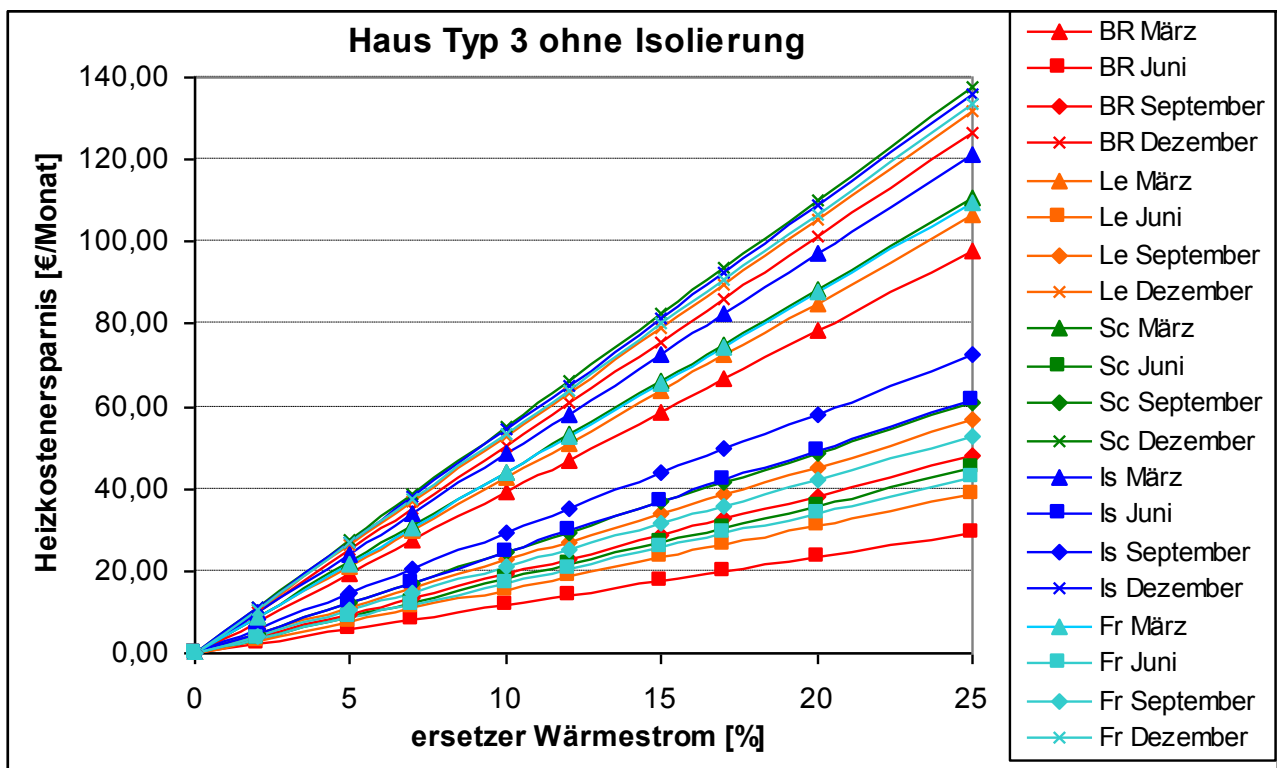


Abbildung 31: Heizkostensparnis Haus Typ III ohne Isolierung



Tabelle 24: Heizkostensparnis Haus Typ III mit Isolierung

Heizkostensparnis Haus Typ III mit Isolierung [€/Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,00	3,73	9,33	13,06	18,66	22,39	27,99	31,72	37,32	46,65
B. Radkersb. Jun.	0,00	1,13	2,82	3,95	5,64	6,76	8,45	9,58	11,27	14,09
B. Radkersb. Sep.	0,00	1,83	4,57	6,39	9,13	10,96	13,70	15,53	18,27	22,84
B. Radkersb. Dez.	0,00	4,82	12,05	16,87	24,10	28,92	36,15	40,97	48,20	60,25
Leoben Mär.	0,00	4,06	10,16	14,22	20,31	24,37	30,47	34,53	40,62	50,78
Leoben Jun.	0,00	1,48	3,69	5,17	7,39	8,86	11,08	12,56	14,77	18,46
Leoben Sep.	0,00	2,16	5,39	7,55	10,79	12,94	16,18	18,34	21,57	26,97
Leoben Dez.	0,00	5,03	12,58	17,62	25,17	30,20	37,75	42,79	50,34	62,92
Schladming Mär.	0,00	4,22	10,54	14,76	21,09	25,31	31,63	35,85	42,18	52,72
Schladming Jun.	0,00	1,71	4,28	5,99	8,55	10,26	12,83	14,54	17,10	21,38
Schladming Sep.	0,00	2,33	5,83	8,16	11,66	13,99	17,49	19,82	23,32	29,15
Schladming Dez.	0,00	5,25	13,12	18,37	26,24	31,49	39,36	44,61	52,48	65,60
Ischgl Mär.	0,00	4,63	11,56	16,19	23,13	27,75	34,69	39,32	46,26	57,82
Ischgl Jun.	0,00	2,35	5,88	8,23	11,76	14,11	17,64	19,99	23,52	29,40
Ischgl Sep.	0,00	2,78	6,95	9,73	13,90	16,68	20,85	23,62	27,79	34,74
Ischgl Dez.	0,00	5,19	12,97	18,16	25,95	31,14	38,92	44,11	51,89	64,87
Freistadt Mär.	0,00	4,18	10,45	14,63	20,89	25,07	31,34	35,52	41,79	52,23
Freistadt Jun.	0,00	1,63	4,08	5,71	8,16	9,80	12,24	13,88	16,33	20,41
Freistadt Sep.	0,00	2,02	5,05	7,07	10,11	12,13	15,16	17,18	20,21	25,27
Freistadt Dez.	0,00	5,09	12,73	17,82	25,46	30,55	38,19	43,28	50,92	63,65

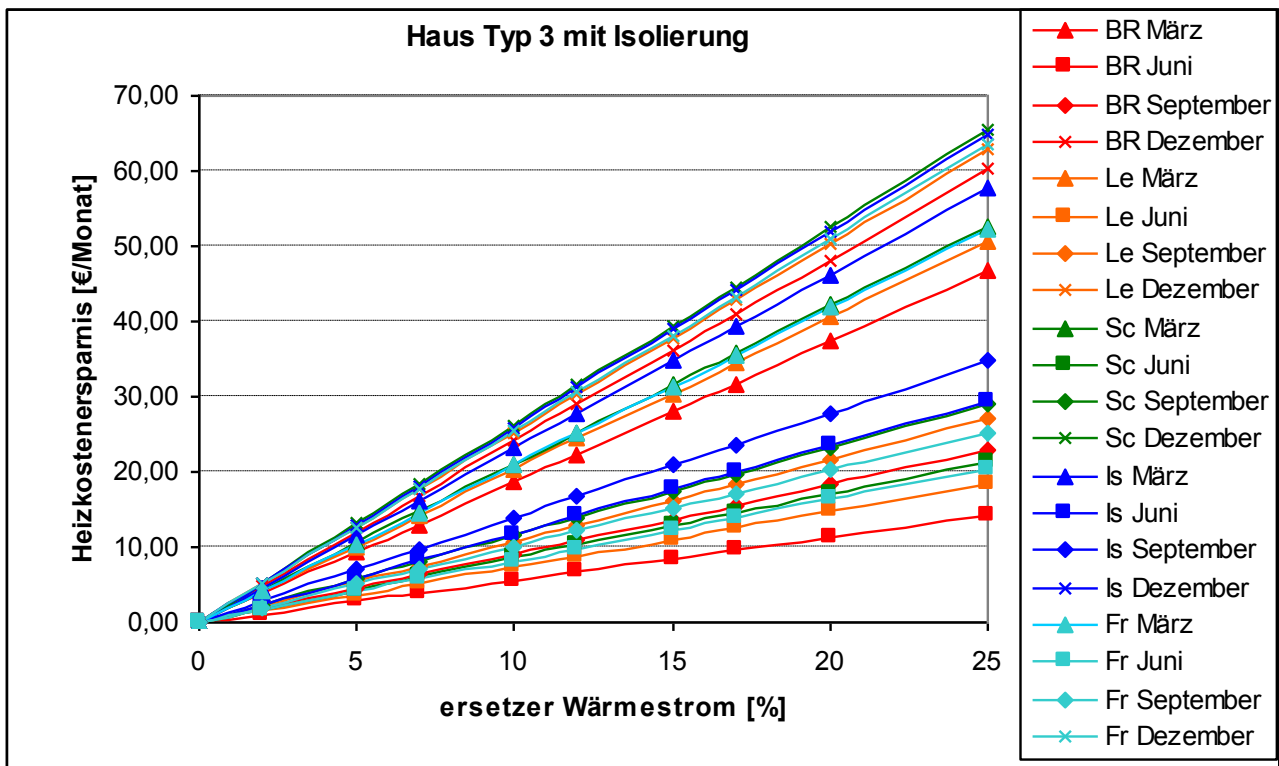


Abbildung 32: Heizkostensparnis Haus Typ III mit Isolierung



Tabelle 25: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ III ohne Isolierung

CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ III ohne Isolierung [kg CO ₂ /Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	32,3	80,7	113,0	161,4	193,7	242,1	274,3	322,8	403,4
B. Radkersb. Jun.	0,0	9,7	24,4	34,1	48,7	58,5	73,1	82,9	97,5	121,9
B. Radkersb. Sep.	0,0	15,8	39,5	55,3	79,0	94,8	118,5	134,3	158,0	197,5
B. Radkersb. Dez.	0,0	41,7	104,2	145,9	208,4	250,1	312,7	354,4	416,9	521,1
Leoben Mär.	0,0	35,1	87,8	123,0	175,7	210,8	263,5	298,6	351,3	439,2
Leoben Jun.	0,0	12,8	31,9	44,7	63,9	76,7	95,8	108,6	127,8	159,7
Leoben Sep.	0,0	18,7	46,6	65,3	93,3	112,0	139,9	158,6	186,6	233,2
Leoben Dez.	0,0	43,5	108,8	152,4	217,7	261,2	326,5	370,1	435,4	544,2
Schladming Mär.	0,0	36,5	91,2	127,7	182,4	218,9	273,6	310,1	364,8	456,0
Schladming Jun.	0,0	14,8	37,0	51,8	74,0	88,8	110,9	125,7	147,9	184,9
Schladming Sep.	0,0	20,2	50,4	70,6	100,9	121,0	151,3	171,5	201,7	252,1
Schladming Dez.	0,0	45,4	113,5	158,9	226,9	272,3	340,4	385,8	453,9	567,3
Ischgl Mär.	0,0	40,0	100,0	140,0	200,0	240,0	300,1	340,1	400,1	500,1
Ischgl Jun.	0,0	20,3	50,9	71,2	101,7	122,0	152,6	172,9	203,4	254,3
Ischgl Sep.	0,0	24,0	60,1	84,1	120,2	144,2	180,3	204,3	240,4	300,5
Ischgl Dez.	0,0	44,9	112,2	157,1	224,4	269,3	336,6	381,5	448,8	561,0
Freistadt Mär.	0,0	36,1	90,4	126,5	180,7	216,8	271,1	307,2	361,4	451,8
Freistadt Jun.	0,0	14,1	35,3	49,4	70,6	84,7	105,9	120,0	141,2	176,5
Freistadt Sep.	0,0	17,5	43,7	61,2	87,4	104,9	131,1	148,6	174,8	218,5
Freistadt Dez.	0,0	44,0	110,1	154,1	220,2	264,3	330,3	374,4	440,4	550,5

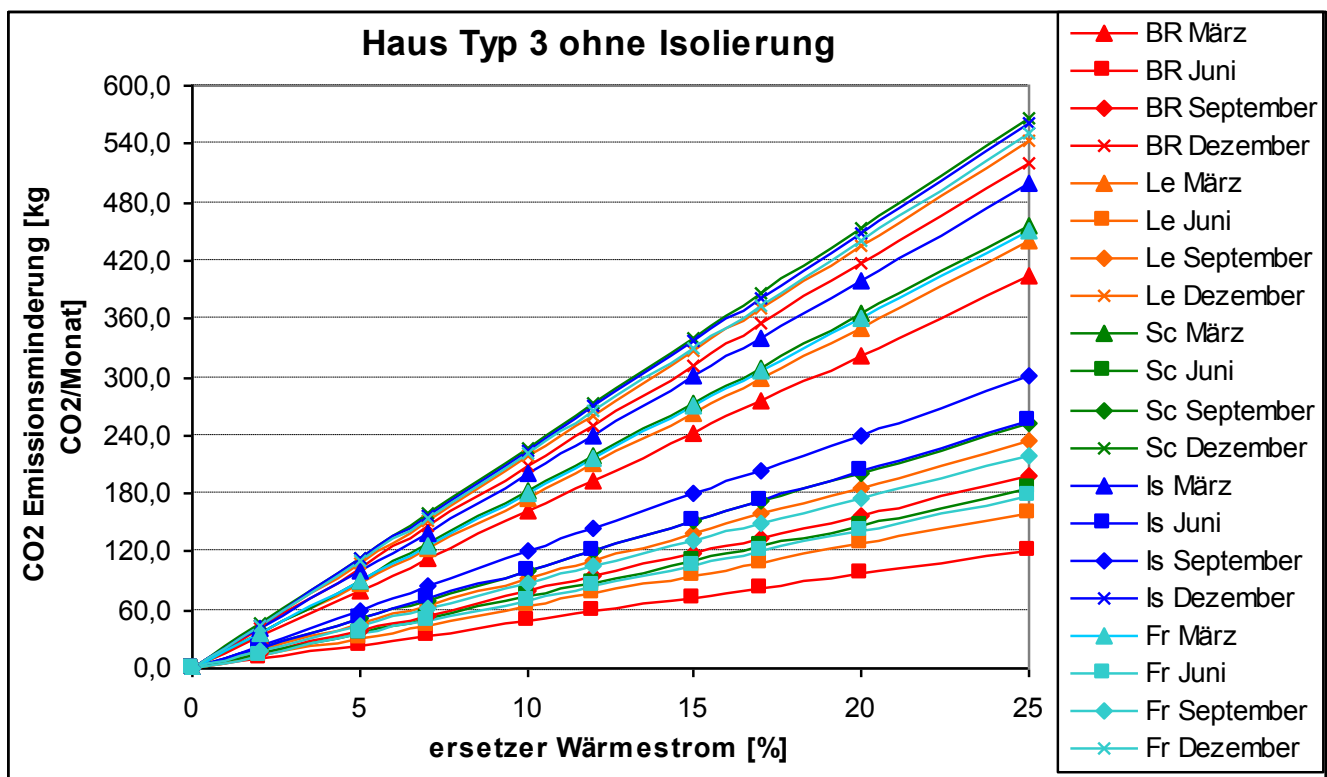


Abbildung 33: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ III ohne Isolierung



Tabelle 26: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ III mit Isolierung

CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ III mit Isolierung [kg CO ₂ /Monat]										
Q ersetzt [%]	0	2	5	7	10	12	15	17	20	25
B. Radkersb. Mär.	0,0	15,4	38,5	53,9	77,0	92,4	115,5	130,9	153,9	192,4
B. Radkersb. Jun.	0,0	4,7	11,6	16,3	23,3	27,9	34,9	39,5	46,5	58,1
B. Radkersb. Sep.	0,0	7,5	18,8	26,4	37,7	45,2	56,5	64,1	75,4	94,2
B. Radkersb. Dez.	0,0	19,9	49,7	69,6	99,4	119,3	149,1	169,0	198,8	248,6
Leoben Mär.	0,0	16,8	41,9	58,7	83,8	100,5	125,7	142,4	167,6	209,5
Leoben Jun.	0,0	6,1	15,2	21,3	30,5	36,6	45,7	51,8	60,9	76,2
Leoben Sep.	0,0	8,9	22,2	31,1	44,5	53,4	66,7	75,6	89,0	111,2
Leoben Dez.	0,0	20,8	51,9	72,7	103,8	124,6	155,7	176,5	207,7	259,6
Schladming Mär.	0,0	17,4	43,5	60,9	87,0	104,4	130,5	147,9	174,0	217,5
Schladming Jun.	0,0	7,1	17,6	24,7	35,3	42,3	52,9	60,0	70,6	88,2
Schladming Sep.	0,0	9,6	24,1	33,7	48,1	57,7	72,2	81,8	96,2	120,3
Schladming Dez.	0,0	21,6	54,1	75,8	108,2	129,9	162,4	184,0	216,5	270,6
Ischgl Mär.	0,0	19,1	47,7	66,8	95,4	114,5	143,1	162,2	190,8	238,5
Ischgl Jun.	0,0	9,7	24,3	34,0	48,5	58,2	72,8	82,5	97,0	121,3
Ischgl Sep.	0,0	11,5	28,7	40,1	57,3	68,8	86,0	97,5	114,7	143,3
Ischgl Dez.	0,0	21,4	53,5	74,9	107,0	128,4	160,6	182,0	214,1	267,6
Freistadt Mär.	0,0	17,2	43,1	60,3	86,2	103,4	129,3	146,5	172,4	215,5
Freistadt Jun.	0,0	6,7	16,8	23,6	33,7	40,4	50,5	57,2	67,4	84,2
Freistadt Sep.	0,0	8,3	20,8	29,2	41,7	50,0	62,5	70,9	83,4	104,2
Freistadt Dez.	0,0	21,0	52,5	73,5	105,0	126,0	157,6	178,6	210,1	262,6

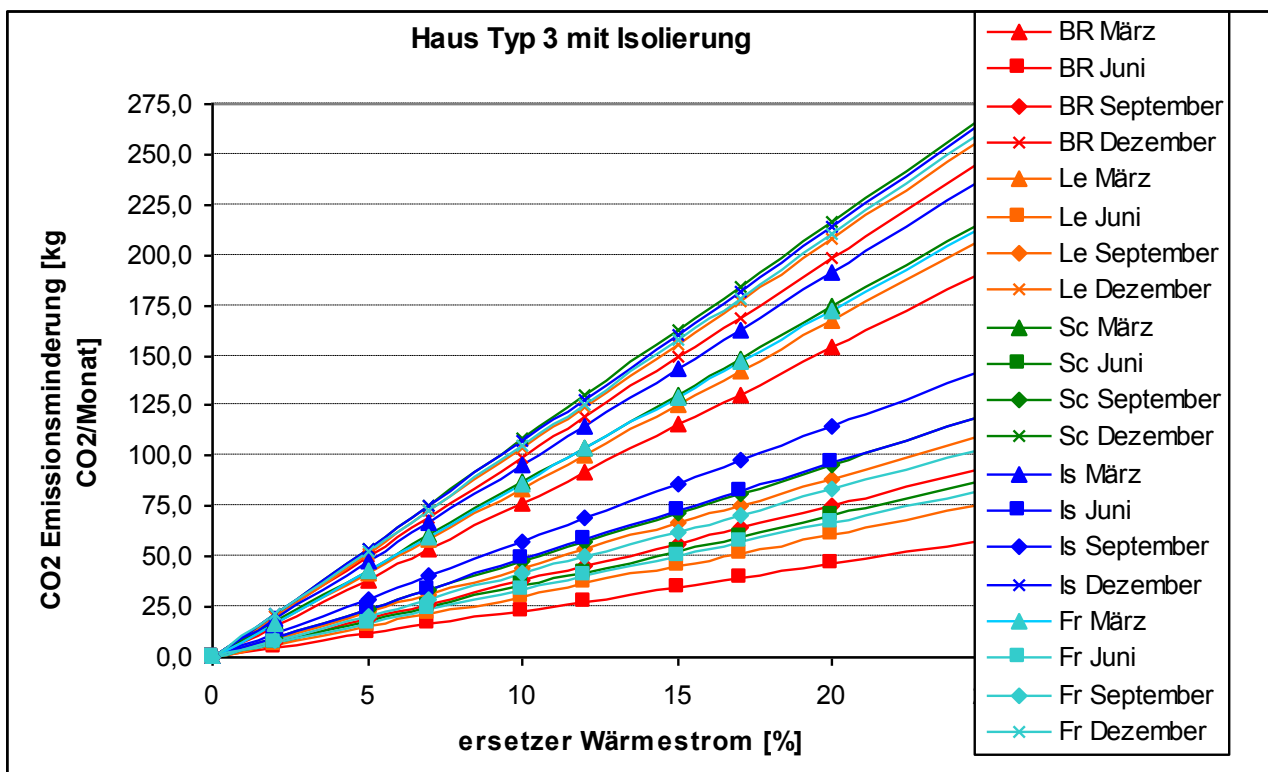


Abbildung 34: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ III mit Isolierung



2.3.4 Amortisierungszeit

Da nun das Einsparpotential und die damit verbundene benötigten Modulflächen berechnet wurden, stellt sich die Frage ob diese Ersparnis als Kaufanreiz eingesetzt werden kann. In Zahlen also ob der anfängliche Kauf nach einer entsprechenden Zeit durch die eingesparten Heizkosten überstiegen wird. Die Zeit bis eine Investition sich durch zusätzliche Einnahme oder verringerte Ausgaben quasi selbst bezahlt nennt man Amortisierungszeit und genau diese wird nun in Abhängigkeit von den Modulkosten berechnet.

2.3.4.1 Statische flächenspezifische Heizkostensparnis

Um einen allgemein gültigen Wert zu erhalten werden Mittelwerte der benötigten Modulfläche und der resultierenden Heizkostensparnis in Abhängigkeit von dem ersetzten Wärmestrom erstellt. Wie auf Grund der allgemein linearen Zusammenhänge nicht anders zu erwarten war ergibt sich für alle betrachteten Fälle der gleiche spezifische Einsparungswert.

$$hk_{F,Stat} = \frac{\overline{\Delta HK_M} * 12}{\overline{F_S}}$$

$$hk_{F,Stat} = \frac{22,8 * 12}{7,9} = \underline{\underline{34,6 \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Jahr}} \right]}}$$

$$hk_{F,Stat} \quad \textit{statische flächenspezifische Heizkostensparnis} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Jahr}} \right]$$

$$\overline{\Delta HK_M} \quad \textit{Durchschnittswert monatlicher Heizkostensparnis} \left[\frac{\text{€}}{\text{Monat}} \right]$$

$$\overline{F_S} \quad \textit{Durchschnittswert der notwendigen Spiegelflächen} \left[\text{m}^2 \right]$$

2.3.4.2 Statische Amortisierungszeit

Wird das statische Berechnungsmodell gewählt so findet die Tatsache, dass investiertes Geld aus diesem Jahr nicht dem Wert der gleichen Menge Geld des darauf folgenden Jahres entspricht sowie die zu erwartende preisliche Veränderung von Heizöl und damit der Heizkosten keine Beachtung. Diese Annahme ist dadurch gerechtfertigt, dass nur sehr geringe Investitionen und Zeiträume betrachtet werden.

$$t_{A,Stat} = \frac{MP_F}{hk_{F,Stat}}$$

$$t_{A,Stat} = \frac{50}{34,6} = \underline{\underline{1,4 \left[\text{Jahre} \right]}}$$



$$t_{A,Stat} \quad \text{statische Amortisierungszeit [Jahre]}$$

$$hk_{F,Stat} \quad \text{flächenspezifische Heizkostensparnis} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Jahr}} \right]$$

$$MP_F \quad \text{flächenspezifischer Modulpreis} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right]$$

2.3.4.3 Dynamische Amortisierungszeit

Zum Vergleich werden hier die zuvor beschriebenen Effekte durch einen Zinssatz berücksichtigt wodurch die Investitionen aber auch die Heizkostensparnis mit der Zeit anwachsen. Dabei wurde ein Zinssatz für Sparkonten von 1% und eine jährliche Heizkostensteigerung von 10% angenommen. Zudem wird eine jährliche Inflation von 2,2% berücksichtigt.

Dabei ist eine Iteration notwendig um die endgültige Amortisierungszeit zu erhalten. Diese etwa 15 Iterationsschritte geschehen, indem man als erstes den Wert der statischen Amortisierungszeit einsetzt und daraus die neue flächenspezifische Heizkostensparnis errechnet. Mit dieser erhält man eine dynamische Amortisierungszeit, welche man im nächsten Schritt wieder in die Formel für die flächenspezifische Heizkostensparnis einsetzt. So verfährt man, bis die erhaltene dynamische Amortisierungszeit konstant bleibt.

$$hk_{F,Dyn} = \frac{\overline{\Delta HK}_M * 12 * \left(1 + \frac{z_1}{100}\right)^{t_{A,Dyn}}}{\overline{F}_S * \left(1 + \frac{z_2}{100[\%]}\right)^{t_{A,Dyn}}} * \left(1 - \frac{z_3}{100[\%]}\right)^{t_{A,Dyn}}$$

$$hk_{F,Dyn} = \frac{22,8 * 12 * \left(1 + \frac{10[\%]}{100[\%]}\right)^{1,4}}{7,9 * \left(1 + \frac{1}{100[\%]}\right)^{1,4}} * \left(1 - \frac{2,2}{100[\%]}\right)^{1,4} = 38,03 \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Jahr}} \right]$$

$$hk_{F,Dyn} \quad \text{dynamische flächenspezifische Heizkostensparnis} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Jahr}} \right]$$

$$\overline{\Delta HK}_M \quad \text{Durchschnittswert monatlicher Heizkostensparnis} \left[\frac{\text{€}}{\text{Monat}} \right]$$

$$\overline{F}_S \quad \text{Durchschnittswert der notwendigen Spiegelflächen} [\text{m}^2]$$

$$z_1 \quad \text{Aufzinsfaktor der Anfangsinvestition} [\%]$$

$$z_2 \quad \text{erwartete Heizölpreisteigerung} [\%]$$

$$z_3 \quad \text{erwartete Inflation} [\%]$$



$$t_{A,Dyn} = \frac{MP_F}{hk_{Dyn}}$$

$$t_{A,Dyn} = \frac{50}{38,03} = \underline{\underline{1,3[Jahre]}}$$

$t_{A,Dyn}$ statische Amortisierungszeit [Jahre]

$hk_{F,Dyn}$ flächenspezifische Heizkostensparnis $\left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Jahr}} \right]$

MP_F flächenspezifischer Modulpreis $\left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right]$

2.3.4.4 Ergebnisse

In den folgenden Tabellen und Diagrammen sind die Änderung der flächenspezifischen Heizkostensparnis im dynamischen Falle über die Amortisierungszeit sowie die statische und dynamische Amortisierungszeit über die Modulkosten dargestellt.

Tabelle 27: Statische Amortisierungszeiten

Statische Amortisierungszeiten [Jahre]						
Modulpreis	[€/m ²]	50	100	150	200	250
-	-	1,4	2,9	4,3	5,8	7,2
Modulpreis	[€/m ²]	300	350	400	450	500
-	-	8,7	10,1	11,6	13,0	14,5

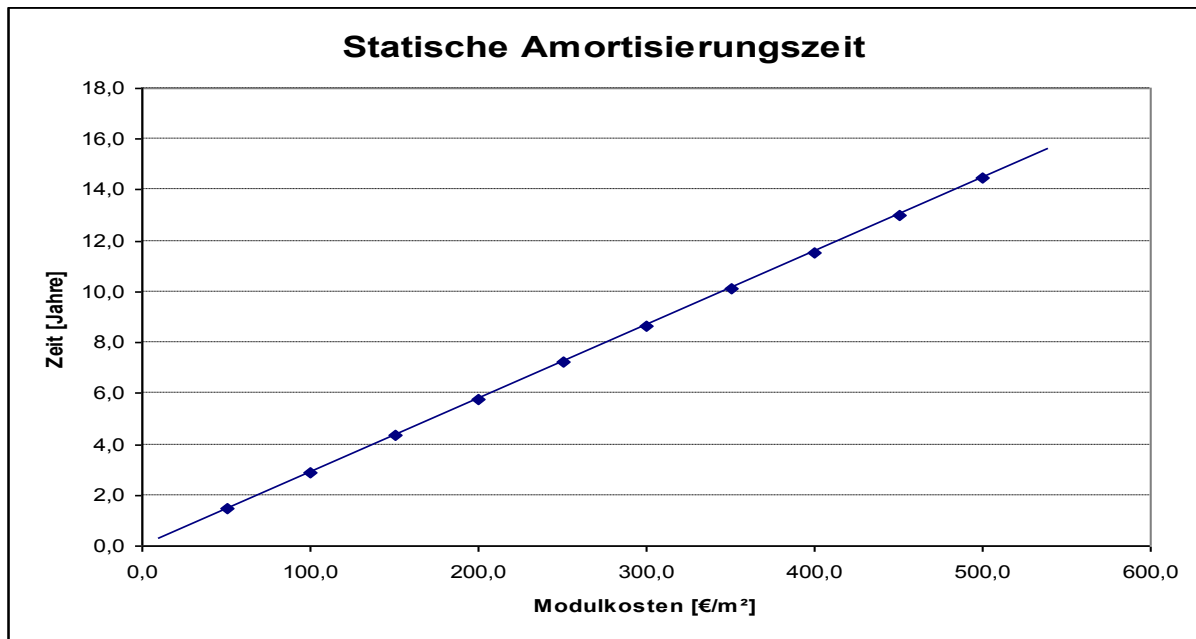


Abbildung 35: Statische Amortisierungszeiten



Tabelle 28: Dynamische flächenspezifische Heizkostensparnis

Dynamische flächenspezifische Heizkostensparnis [€/m ² *Jahre]						
Zeit	[Jahre]	1	2	3	4	5
-	-	36,85	39,26	41,81	44,54	47,44
Zeit	[Jahre]	6	7	8	9	10
-	-	50,53	53,82	57,33	61,06	65,04
Zeit	[Jahre]	11	12	13	14	15
-	-	69,28	73,79	78,60	83,72	89,17

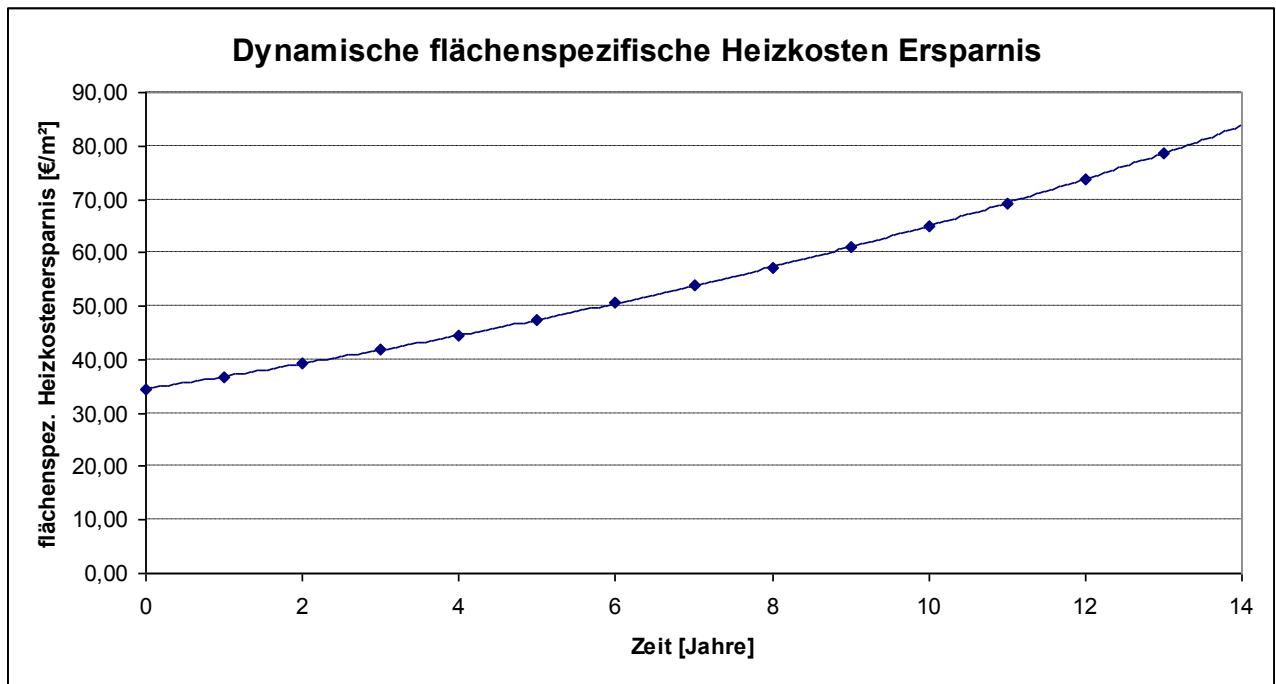


Abbildung 36: Dynamische flächenspezifische Heizkostensparnis

Tabelle 29: Interration dynamische Amortisierungszeit

Dynamische Amortisierungszeit [Jahre]																	
Modulpreis [€/m ²]	Interrationsschritt																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
50	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
100	2,9	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
150	4,3	2,8	3,3	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
200	5,8	3,3	4,2	3,8	4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
250	7,2	3,6	5,1	4,4	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
300	8,7	3,7	6	4,8	5,4	5,1	5,3	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
350	10,	3,8	7	5,1	6,1	5,6	5,9	5,7	5,8	5,7	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
400	11,	3,7	8	5,3	6,9	5,9	6,5	6,1	6,4	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
450	13,	3,7	9,1	5,4	7,7	6,1	7,2	6,5	6,9	6,6	6,8	6,7	6,8	6,7	6,8	6,7	6,7
500	14,	3,5	10,	5,3	8,6	6,3	7,9	6,7	7,5	7	7,3	7,1	7,3	7,1	7,2	7,2	7,2



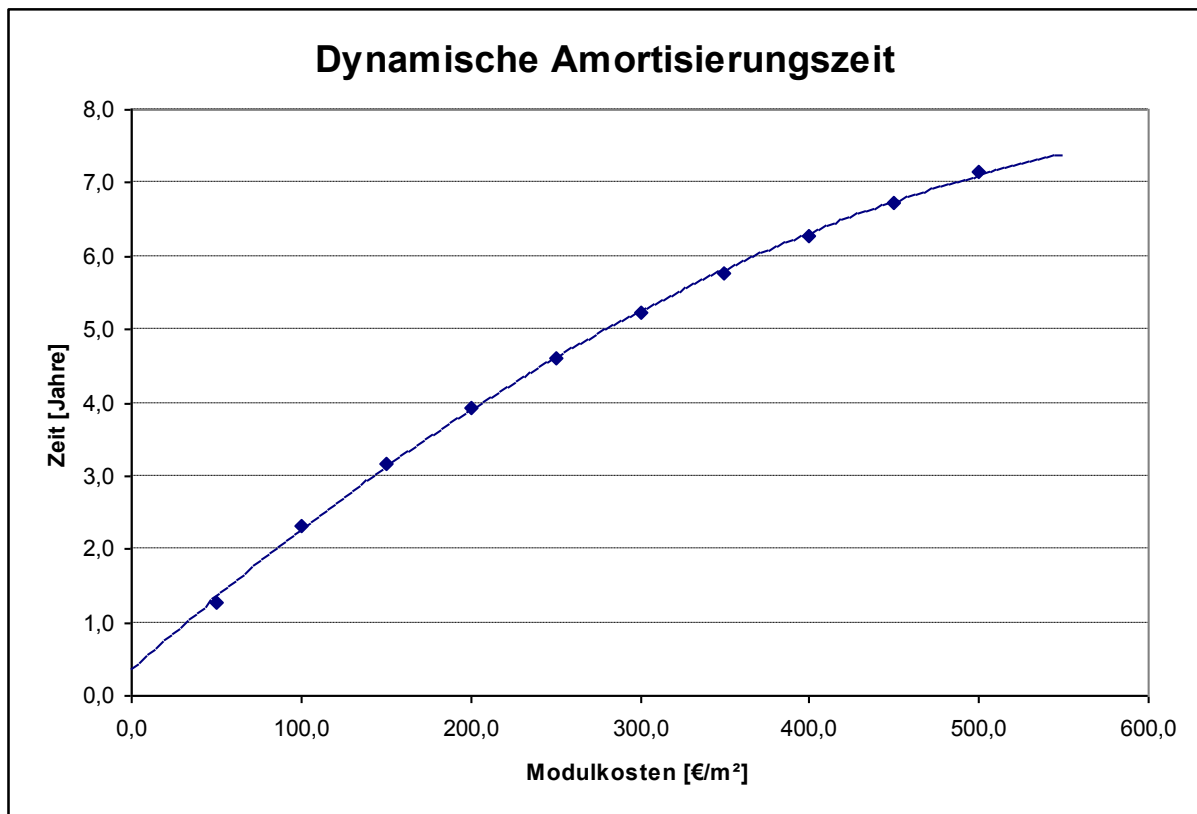


Abbildung 37: Dynamische Amortisierungszeit

2.3.5 Diskussion der Ergebnisse

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen einige Umstände auf, die im Folgenden kurz besprochen werden.

Die Wintermonate stechen erwartungsgemäß mit den schlechtesten Werten hervor, das heißt zu dieser Zeit sind für relevante Einspareffekte die größten Spiegelflächen notwendig, aber entsprechen sind die hiesigen Einsparmöglichkeiten an CO₂ und Heizkosten am größten. Dies ergibt sich aus den natürlichen Gegebenheiten, da es im Winter weniger Sonnenstunden als im Sommer gibt und die Sonneneinstrahlung zudem schwächer ist. Die Hohen Einsparpotentiale im Winter ergeben sich logischer Weise nicht aus der geringeren Sonneneinstrahlung sondern aus den niedrigeren Umgebungstemperaturen, die einen stärkeren Wärmeverlust verursachen, welcher durch intensivere Beheizung kompensiert werden muss.

Die Höhenlage des Ortes ist laut den vorliegenden Ergebnissen kaum bis gar nicht erheblich für den Nutzen eines solchen Systems. Die Werte von Leoben (542 m Seehöhe), Schladming (737 m Seehöhe) und Ischgl (1371 m Seehöhe), drei Städte die sich in ihrem Breitengrad kaum unterscheiden, liegen trotz großer Unterschiede in der Höhenlage kaum auseinander. Abweichungen bei Heizeffekten ergeben sich hier nur durch die Außentemperaturen.

Sehr wohl einen Einfluss auf die Sonneneinstrahlung hat der Breitengrad, so ist zu beobachten, dass die Werte von Freistadt, der nördlichsten betrachteten Stadt, immer den Spitzenwert der betrachteten Monatsgruppe bilden. Erklären kann man dies darüber, dass Sonnenstrahlen in Norden im unter einem flacheren Winkel als im Süden eintreffen und somit um einiges weniger Kraft haben. Der Unterschied ist jedoch gering, so ergeben sich für die einzelnen Monatsgruppen immer Geradenscharen.

Die Werte mit angebrachter Isolierung sind erwartungsgemäß um einiges besser als jene ohne Isolierung. So lassen sich die Werte für Spiegelflächen, Heizkosten und Emissionen nahezu immer halbieren.

Die Unterschiede in der Hausgröße machen sich mit einer Erhöhung der Spiegelflächen, Heizkosten und Emissionen bemerkbar. Diese steigen jedoch nicht linear an, da sich die Werte mit der Außenfläche des Gebäudes steigen und nicht mit der Grundfläche.

Die Rechnung zeigt ebenso, dass eine Heizkostensparnis möglich ist, aber je nach Modulkosten ein relativ langer Zeitraum eingeplant werden muss damit sich die Anlage amortisiert. Die Senkung der Heizkosten alleine kann somit nur dann als Kaufargument angeführt werden, wenn die Amortisierung im Bereich unter 5 am besten im Bereich von 3 Jahren liegt. In diesem Bereich liegen die Amortisierungszeiten von Solaranlagen, da sich großer Beliebtheit erfreuen. Jedoch werden diese auch finanziell gefördert, ein Anreiz den dieses Sonnenpanel nicht bieten kann. Zusätzlich sollte daher auf die zusätzlichen Effekte des Wohnkomforts durch vermehrtes Tageslicht und die außerdem zu erwartende Ersparnis bei der Raumbelichtung hingewiesen werden.

Bei den Panelkosten weisen dynamische und statische Amortisierungszeit starke Unterschiede auf. Während man im statischen Fall die 6 Jahre bereits mit Kosten von 200 € pro m² also 100 € pro Modul erreicht kann im dynamischen Fall ein doppelt so hoher Preis noch gerechtfertigt werden. Dies liegt daran, dass während dem durch die Zinsen von etwa 1% geringen Anstieg der Investitionskosten die Heizölkosten mit 10% nahezu explodieren.

In der Bewerbung sollte also auf jeden Fall eine dynamische Betrachtung gewählt werden so bietet das Modul sogar bei viel geringerer Effizienz noch einen guten Kaufanreiz. Der preisliche Spielraum kann nach einer erfolgreichen Produkteinführung genutzt werden um komplexere Systeme mit höherem Preis auf den Markt zu bringen, auf unvorhergesehene Teuerungsfaktoren zu reagieren oder aber einfach um den eigenen Gewinn zu erhöhen. Der anfängliche Modulpreis von 50 – 100 € scheint aus wirtschaftlicher Sicht vernünftig zu sein.



3 Projektdurchführung

Die Projektdurchführung unterteilt sich in fünf Bereiche. Die anfängliche Ideenfindung, in der jene Gedankengänge dargelegt werden die von den anfänglichen Ideen zur ersten Konstruktion führen. Die Konstruktion unterteilt in die drei Funktionsbereiche Panel, Fokussiereinrichtung und Halterung, wobei jeweils die grundlegenden Ideen samt Auswahl und Optimierungsvorgang beschrieben sind. Zuletzt noch ein Kapitel zu Antrieb und elektrischer Schaltung, welches sich auf die Bakkalaureatsarbeit von Marco Michelli und die dortigen Erkenntnisse bezieht.

3.1 Ideenfindung

Die anfängliche Aufgabe war es ein kompaktes Panel zu entwickeln, das für Einfamilienhäuser, öffentliche Gebäude und große Wohnkomplexe eingesetzt werden kann. Das System soll in der Lage dazu sein dem Sonnenstand sowohl in Bezug auf die Wanderung tagsüber als auch auf die Winkeländerung über das Jahr hinweg zu folgen. Das System soll zudem klein und leicht aufzustellen sein. Im idealen Fall ist eine Vermarktung als Bausatz ähnlich Möbeln oder anderen Einrichtungsgegenständen möglich. Zusätzlich soll eine Umsetzung als Großbau nach Kundenanforderung als Auftragsprodukt möglich sein.

3.1.1 Anfängliche Ideen

Anfangs konzentrierten sich die Ideen vor allem darauf ein möglichst simples, aber dennoch innovatives Sonnenpanel zu entwickeln. Klar war, dass das Projekt in den Bereich der Heliostaten oder Lichtrohre gehen soll. Dabei trennten sich die Ideen schnell in eine Innenhofbeleuchtungseinrichtung, eine in einer Wand eingebrachte Fensterbeleuchtung sowie mehreren Spiegel- und Spiegelfoliensystemen. Da alle Lösungsansätze bis auf einen verworfen wurden, sind deren Beschreibungen nicht sehr detailliert.

3.1.1.1 Lichtbrunnen

Die erste Idee war der Lichtbrunnen. Er ist ein Heliostatensystem, das für die Beleuchtung von Innenhöfen genutzt werden soll. Der Brunnen steht dabei als fixe Installation in einem überdachten oder nicht überdachten Innenhof auf den Giebeln der nebenstehenden Hausmauern sind Spiegel angebracht, welche Licht auf den Brunnen einlenken. Diese Spiegel können wahlweise starr sein oder dem Sonnenstand nachgeführt werden. Je nach Sonnenstand wird somit Licht auf den Lichtbrunnen geworfen.

Der Lichtbrunnen selbst besteht aus reflektierenden Kunststoffhalbellipsoidschalen die mittels einer Führungsstange in der Mitte in einem konstanten Abstand übereinander angebracht sind. Die Größe der Schalen nimmt dabei von der untersten zur obersten Schale



Der Lichtbrunnen ist vor allem ein dekoratives Element, da er bei entsprechendem Material quasi als leuchtende Mitte des Innenhofes dient. Durch künstliche Beleuchtung kann er auch bei Nacht als gestalterisches Element dienen und auch in verschiedenen Farben erstrahlen. Der Name Lichtbrunnen wurde zudem gewählt da unter Umständen eine zusätzliche Nutzung als Brunnen denkbar ist, was zu angenehmen Lichteffekten und einem sehr wohlnlichen Klima führen kann.

3.1.1.2 Leuchtleisten und -streben

Grundlage der Leuchtleisten und -streben ist die Tatsache, dass viele Häuser mit Eternit oder anderen Außenwandbelägen ausgestattet sind, sodass ein Spalt zwischen Mauerwerk und Platten genutzt werden kann.

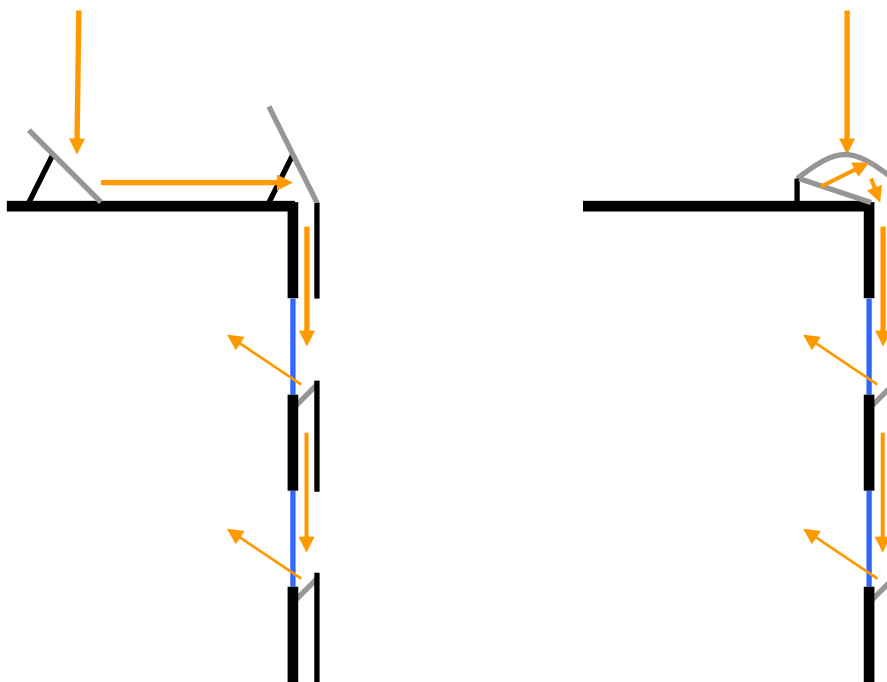


Abbildung 39: Leuchtleisten

Das System der Leuchtleiste wird über Spiegel oder eine Kuppel auf dem Dach mit Licht versorgt. Diese Spiegel bzw. Kuppeln sorgen dafür, dass den ganzen Tag über Licht eingebracht werden kann. Das Licht wird in die Wand eingeleitet und dann in dieser mittels eines Strahlteilers so zerlegt, dass ein Teil des Lichtes in das Fenster eingestrahlt wird, während ein anderer Teil weiter in tiefer liegende Stockwerke fließt. Eine alternative Möglichkeit zu Strahl teilenden Materialien sind Platten mit Flüssigkristallschichten, die durch elektrische Impulse so umgeschaltet werden können, dass sie einen beliebigen Teil des Lichtes in den Raum einstrahlen. Abbildung 39 zeigt ein solches System von der Seite betrachtet.

Die Leuchtstreben haben eine ähnliche Funktionsweise, denn auch sie liegen in dem Zwischenraum von Mauerwerk und Platten. Das Licht wird ebenso mittels Spiegel oder Kuppel eingeleitet. Es gelangt in verspiegelte Rohre oder einen normalen Schacht, der das Licht über Strahlteiler führt. Diese Strahlteiler können so wie bei den Leuchtleisten aus Licht teilendem Material oder aber aus Isolierglas mit Flüssigkristallen angefertigt werden. Dabei wird ein Teil des Lichtes in ein quer liegendes Rohr eingeleitet welches wie eine Neonröhre funktioniert. Das Licht wird so gestreut, dass dieses Rohr leuchtet. Je nach Bauweise können unter und/oder über dem Fenster, aber auch an den Seiten solche Rohre angebracht werden.

Das System ist in Abbildung 40 als Vorderansicht dargestellt. Dabei ist die vordere Eternitschicht nicht zu sehen.

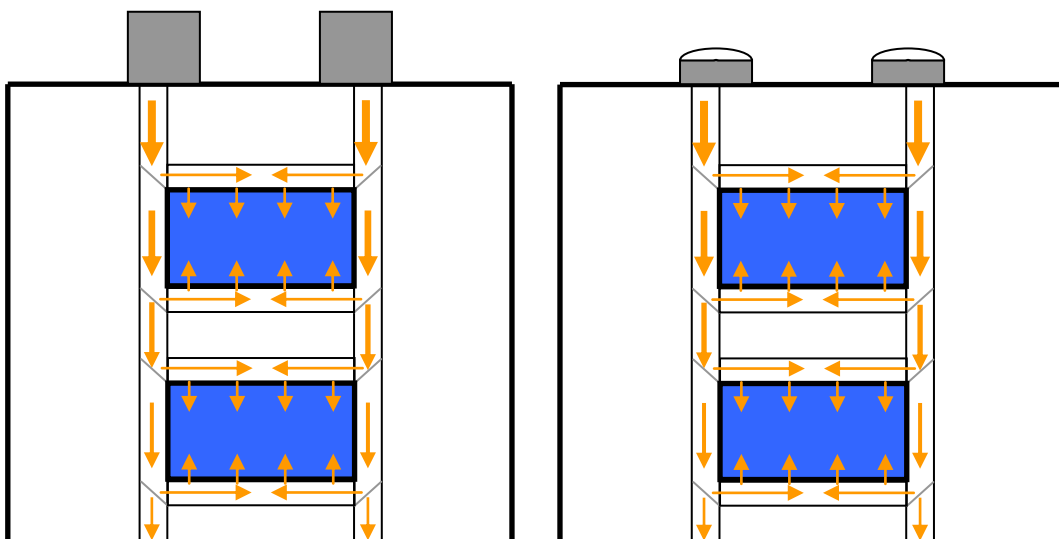


Abbildung 40: Leuchtstreben

3.1.1.3 Rotierender Spiegel

Der rotierende Spiegel ist ein vergleichsweise einfaches System und wahrscheinlich in ähnlichen Form bereits umgesetzt. Ein kreisförmiger Spiegel ist in der Mitte eines Halterungsrings angebracht. Er ist über eine Führungsstange so mit dem Ring verbunden, sodass er um diese Achse rotieren kann. Der Ring selbst ist wie in Abbildung 41 rechts zu sehen über ein Gelenk so an einer Stange angebracht, damit er gedreht und vor und zurück geneigt werden kann. Durch diese Maßnahmen kann der Spiegel Licht in eine beliebige Richtung lenken.

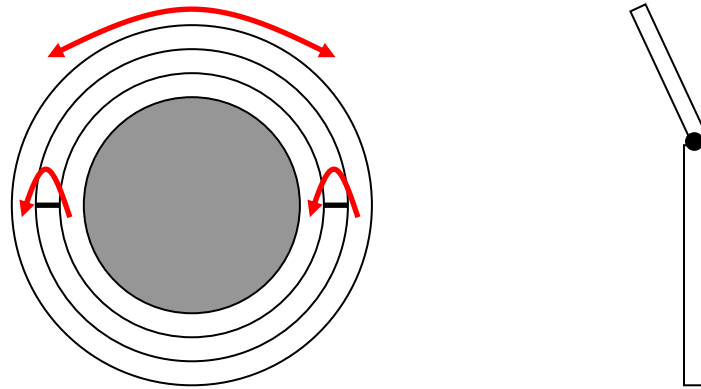


Abbildung 41: Rotierender Spiegel

3.1.1.4 Seerosenspiegel

Der Seerosenspiegel zeichnet sich dadurch aus, dass er wie eine eben solche aussieht und funktioniert. Er soll der Idee nach aus separaten Spiegelementen oder mehreren gespannten Folie bestehen. Diese Spiegelflächen sind in Dreiecken um ein Mehreck (in unserem Falle Sechseck) angeordnet. Mittels Seilen oder anderer Vorrichtungen kann der Spiegel zusammen- bzw. auseinandergefaltet werden um so seine Spiegelfläche stark zu vergrößern. Beim Zusammenfallen neigen sich jeweils zwei Flächen zueinander und eine nach unten, so dass keine Fläche mehr nach außen zeigt. Die Flächen können so vor Umwelteinflüssen wie etwa Hagel geschützt werden. Ebenfalls ist so eine gewisse Fokussierung oder Streuung des Lichtes möglich.

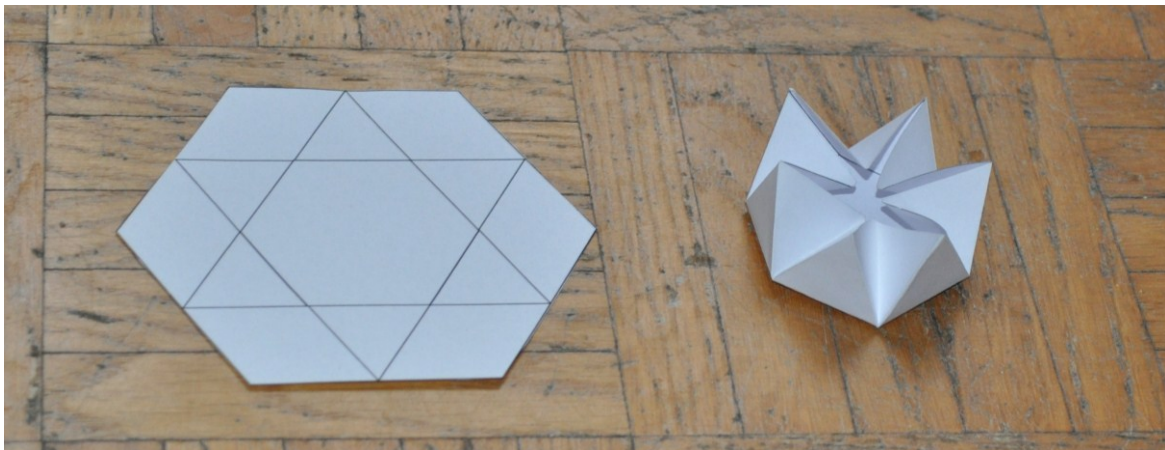


Abbildung 42: Seerosenspiegel

Eine weitere Ausführungsidee geht von einem runden anstelle eines eckigen Zentralelements aus. In diesem Fall sind die äußeren Flächen gewölbt und rutschen beim Schließen der Spiegelflächen übereinander. Es ist daher notwendig eine Führung der einzelnen Spiegelflächen über eine angebrachte kleine Leitschiene auf der einen und einen

in diese greifenden Bolzen auf der anderen Rückseite zu realisieren. So kann auch verhindert werden, dass die Spiegelflächen aneinander reiben, wodurch die Flächen geschont werden und weniger Antriebskraft für die Bewegung benötigt wird.

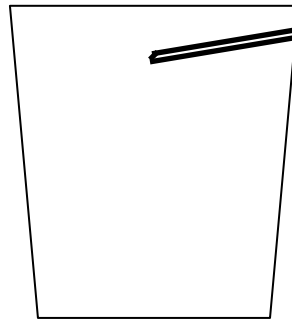


Abbildung 43: Panel mit Leitschiene

3.1.1.5 Mosaikspiegel

Der Mosaikspiegel ist ein recht komplexes System, bei dem um ein mittleres metallisches Sechseck weitere verspiegelte Sechsecke angeordnet sind. Diese Sechsecke sind auf einer Folie angebracht und an den Kanten so zueinander befestigt, dass die Folie ohne Probleme verformt werden kann. Am mittleren Sechseck greift von hinten eine Schraube oder eine andere Vorrichtung an, mit der das Sechseck nach vorne oder nach hinten bewegt werden kann. Die dadurch erfolgende Verformung der Folie führt dazu, dass das Licht gebündelt oder gestreut wird. Die Folie mit den Sechsecken ist in einem metallischen Ring eingespannt, welcher wiederum auf einer Halterung angebracht ist, die dann über ein Gelenk geschwenkt werden kann.

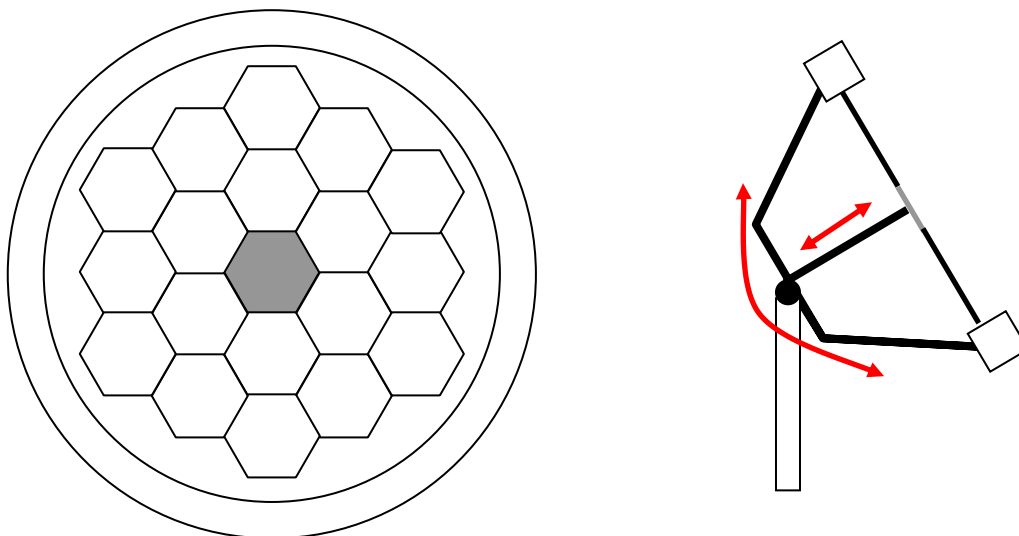


Abbildung 44: Mosaikspiegel

Ein gering veränderte Ausführung wäre es die Sechsecke mit Fünfecken abzuwechseln, ähnlich einem Fußball, um so eine größere Verformbarkeit der Spiegelfläche zu erreichen.

3.1.2 Entscheidung und erste Auslegung

Natürlich fiel die Entscheidung nicht auf eine konkrete Idee, da sie immer Schwächen und Stärken aufweisen. Eine Kombination der zugrunde liegenden Überlegungen wurde herangezogen um eine neue Idee zu entwickeln.

3.1.2.1 Entscheidung

Das Sonnenpanel knüpft an die Idee einer verformbaren Fläche die dazuführt, dass das Sonnenlicht gebündelt oder gestreut werden kann, wie sie beim Mosaiksystem beschrieben ist an. Jedoch ist die Umsetzung mit vielen separaten Spiegelflächen nicht sinnvoll, eine Konstruktion mit Spiegelfolien ist kostengünstiger und einfacher. Um die Fokussierung dennoch zu erreichen bedient man sich der Idee des Seerosenspiegels und führt Teile des Sonnenpanels so aus, dass sie mittels eines Seilzuges oder ähnlichem bewegt werden können. Möglich ist aber auch, dass wie beim Mosaikspiegel das zentrale Element bewegt wird während der Rest des Panels nur nachgezogen wird. Diese Idee schien für die erste Konstruktion als am einfachsten umsetzbar. Zu guter Letzt wurde noch dem rotierenden Spiegel die Idee entnommen, dass das Sonnenpanel möglichst beweglich montiert sein soll. Die beiden Innenwandsysteme wurden für diese Arbeit verworfen.

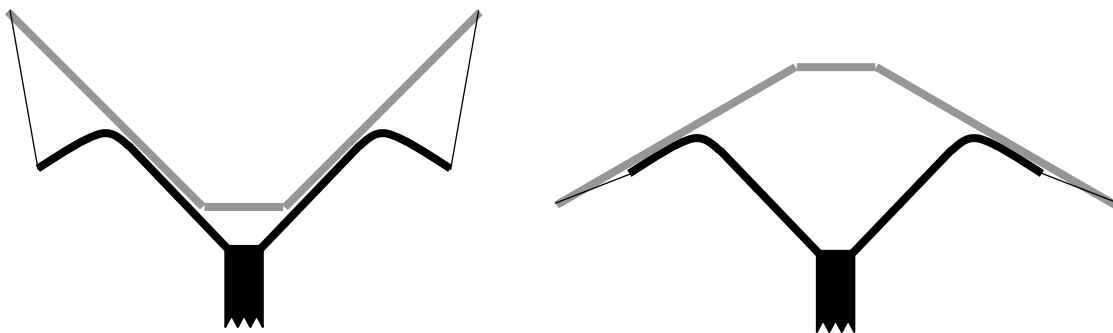


Abbildung 45: Panelfokussierung

Auf Basis dieser Entscheidung soll ein erstes Modell entstehen, das die grundlegenden Funktionen erfüllt. Sechs trapezförmige Panele werden ein zentrales Sechseck umgeben. Zu diesem Sechseck wird eine Verbindung mittels Scharnieren gegeben sein um sie beweglich zu fixieren. Dieses System wird dann auf einem Gestänge ruhen, das es mittels Seilzügen in die gewünschte Form zwingt. Die Seile, welche durch das Gestänge verlaufen und an den äußeren Enden der Paneelen angreifen, werden angezogen um das System anzuheben. Die einzelnen Paneelen bewegen sich entlang von Führungsschienen der Form des Gestänges

nach und werden so in eine das Licht streuende Anordnung gebracht. Wird der Zug von den Seilen genommen, sinkt das Panel aufgrund seines Eigengewichtes zurück oder muss mit entsprechenden Vorrichtungen dazu gezwungen.

3.1.2.2 Auslegung

Nachdem das System in Grundzügen festgelegt war, musste eine erste Auslegung erfolgen um danach ein Modell und schließlich die einzelnen Teile in Originalgröße bauen zu können. Die wichtigste anfängliche Frage waren die Hauptabmessungen.

Als Ausgangspunkt für die Berechnung stand fest, dass das mittlere Sechseck eine Kantenlänge von 10 cm aufweisen wird, damit eine eventuell anzubringende Solarzelle Platz hat. Weiters wurde der gewünschte Gesamtdurchmesser (gegenüberliegende Eckpunkte) des fertigen Moduls auf 1 Meter festgelegt. Nun konnte die äußere Kantenlänge der Panele in Abhängigkeit von der gewünschten erreichbaren Neigung der Panele errechnet werden.

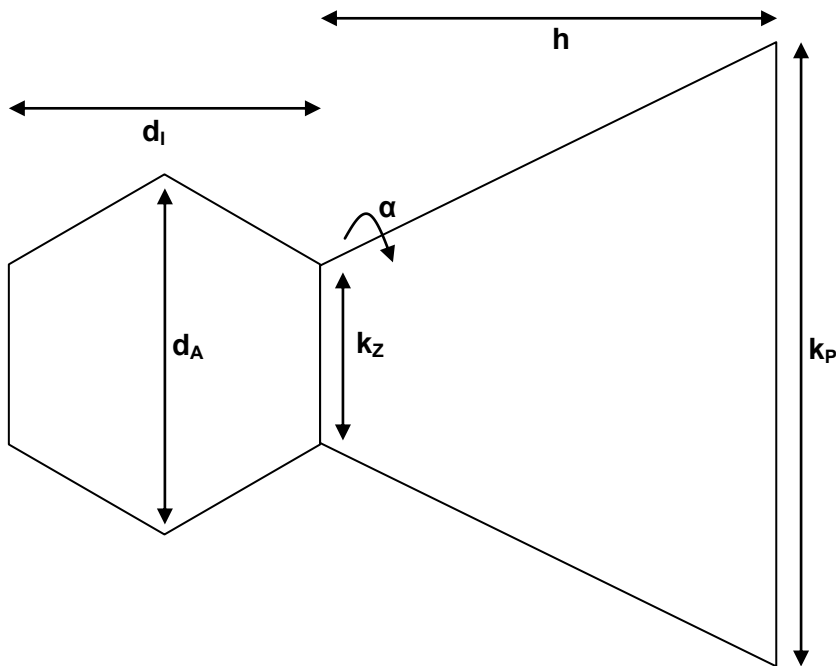


Abbildung 46: Auslegung Panel

3.1.2.2.1 Kantenlänge

Die Kantenlänge des Panels (k_P) muss abhängig davon um welchen Winkel (α) diese zu neigen sein sollen berechnet werden, damit sich die einzelnen Flügel des Systems nicht blockieren. Zur Berechnung dient die Tatsache, dass die aneinander stoßenden Panelkanten immer ein gleichmäßiges Sechseck bilden und in einem solchen Sechseck die Kantenlänge immer der Hälfte des Außendurchmessers (d_A , Abstand gegenüberliegender Ecken!) beträgt.

Auch ist eine fixe mathematische Beziehung zwischen dem Außen- und Innendurchmesser (d_i , Abstand Kantenmitte zu Kantenmitte) vorhanden. Über diese Beziehung, den Neigungswinkel der Panele sowie die Höhe eines Panels und den Außendurchmesser des zentralen Sechsecks kann nun die neue Kantenlänge errechnet werden.

Die Berechnungen der Panelhöhe sowie des Innendurchmessers, des Zentralelements sind allgemein gültig, jene für die Kantenlänge wird exemplarisch für einen Neigungswinkel von $\alpha=30^\circ$ durchgeführt.

$$h = \frac{d_{Ges} - d_A}{4} * \sqrt{3}$$

$$h = \frac{100 - 20}{4} * \sqrt{3} = \underline{34,6[cm]}$$

h Panelhöhe [cm]

d_{Ges} geplanter Gesamtdurchmesser [cm]

d_A geplanter Außendurchmesser des Zentralelements [cm]

$$d_i = \frac{d_A}{2} * \sqrt{3}$$

$$d_i = \frac{20}{2} * \sqrt{3} = \underline{17,3[cm]}$$

d_i Innendurchmesser des Zentralelements [cm]

d_A geplanter Außendurchmesser des Zentralelements [cm]

$$k_p = \frac{2 * h * \cos(\alpha) + d_i}{\sqrt{3}}$$

$$k_p = \frac{2 * 34,6 * \cos(30) + 17,3}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{44,6[cm]}}$$

k_p Kantenlänge des Panels [cm]

h Panelhöhe [cm]

α Neigungswinkel des Panels [°]

d_i Innendurchmesser des Zentralelements [cm]



$$\Delta k_p = \frac{k_p(0) - k_p}{k_p(0)} * 100\%$$

$$\Delta k_p = \frac{50,0 - 44,6}{50,0} * 100\% = \underline{\underline{10,72[\%]}}$$

α Neigungswinkel des Panels [$^\circ$]

$k_p(0)$ Kantenlänge des Panels bei Neigungswinkel $\alpha = 0^\circ$ [cm]

k_p Kantenlänge des Panels [cm]

Δk_p Änderung der Kantenlänge des Panels [cm]

3.1.2.2.2 Spiegelfläche

Die Berechnung der Spiegelfläche ist rein konstruktiv zwar nur notwendig um die entsprechenden Folienflächen zu kennen, die zu kaufen sind, aber insgesamt sind sie wichtig für die Wirkung des Panels. Je größer die Flächen umso mehr Sonnenlicht kann durch das Panel umgelenkt werden. Und diese Fläche steht in indirektem Verhältnis zum erreichbaren Neigungswinkel, da mit einer höheren Neigung auch eine geringere Kantenlänge und somit kleinere Spiegelflächen einhergehen.

$$A = \frac{\left(\frac{d_A}{2} + k_p\right) * 3 * h}{10000}$$

$$A = \frac{\left(\frac{20}{2} + 44,6\right) * 3 * 34,6}{10000} = \underline{\underline{0,57[m^2]}}$$

k_p Kantenlänge des Panels [cm]

h Panelhöhe [cm]

d_A Außendurchmesser des Zentralelements [cm]

A Spiegelfläche [m^2]

$$\Delta A = \frac{A - A(\alpha)}{A} * 100\%$$

$$\Delta A = \frac{0,62 - 0,57}{0,62} * 100\% = \underline{\underline{8,93[\%]}}$$

ΔA Änderung der Spiegelfläche [%]

$A(0)$ Spiegelfläche bei Neigungswinkel $\alpha = 0^\circ$ [m^2]

A Spiegelfläche [m^2]



3.1.2.2.3 Ergebnisse und Fazit

Aus den errechneten Werten ergibt sich wie erwartet ein Absinken der Kantenlänge und Spiegelfläche bei Erhöhung des erreichbaren Neigungswinkels. Es ist also technisch sinnvoll nur soweit eine Neigungsmöglichkeit des Panels zu bieten wie diese auch vom Kunden gewünscht wird. Werte über 60° Neigung wurden gar nicht mehr in Betracht gezogen, da sie technisch unsinnig sind.

Dem Diagramm in Abbildung 47 ist zu entnehmen, dass der ab einer Neigung von etwa 30 – 40° die Reduktionswerte über 10% steigen und somit der Wirkungsgrad des Panels stark absinkt. In der Probekonstruktion wurde dennoch ein möglicher Neigungswinkel von 45° gewählt um die Konstruktion auch darauf auszulegen.

In Tabelle 31 sind die schlussendlich gewählten Werte des Panels aufgelistet. Sie weichen von den berechneten Werten ab, da für die Fertigung nur eine Genauigkeit auf Millimeter angenommen wird. Zudem sind so möglich so genannte schöne also ganze Zentimeterwerte gewählt worden.

Tabelle 30: Winkelabhängig Änderungen des Panels

Änderungen in Abhängigkeit des möglichen Neigungswinkels α						
Neigungswinkel	Kantenlänge			Panelfläche		
	Wert	Reduktion	Reduktion	Wert	Reduktion	Reduktion
[°]	[cm]	[cm]	[%]	[m ²]	[m ²]	[%]
0,0	50,0	0,0	0,00	0,62	0,00	0,00
5,0	49,8	0,2	0,30	0,62	0,00	0,25
10,0	49,4	0,6	1,22	0,62	0,01	1,01
15,0	48,6	1,4	2,73	0,61	0,01	2,27
20,0	47,6	2,4	4,82	0,60	0,03	4,02
25,0	46,3	3,7	7,50	0,58	0,04	6,25
30,0	44,6	5,4	10,72	0,57	0,06	8,93
35,0	42,8	7,2	14,47	0,55	0,08	12,06
40,0	40,6	9,4	18,72	0,53	0,10	15,60
45,0	38,3	11,7	23,43	0,50	0,12	19,53
50,0	35,7	14,3	28,58	0,48	0,15	23,81
55,0	32,9	17,1	34,11	0,45	0,18	28,43
60,0	30,0	20,0	40,00	0,42	0,21	33,33



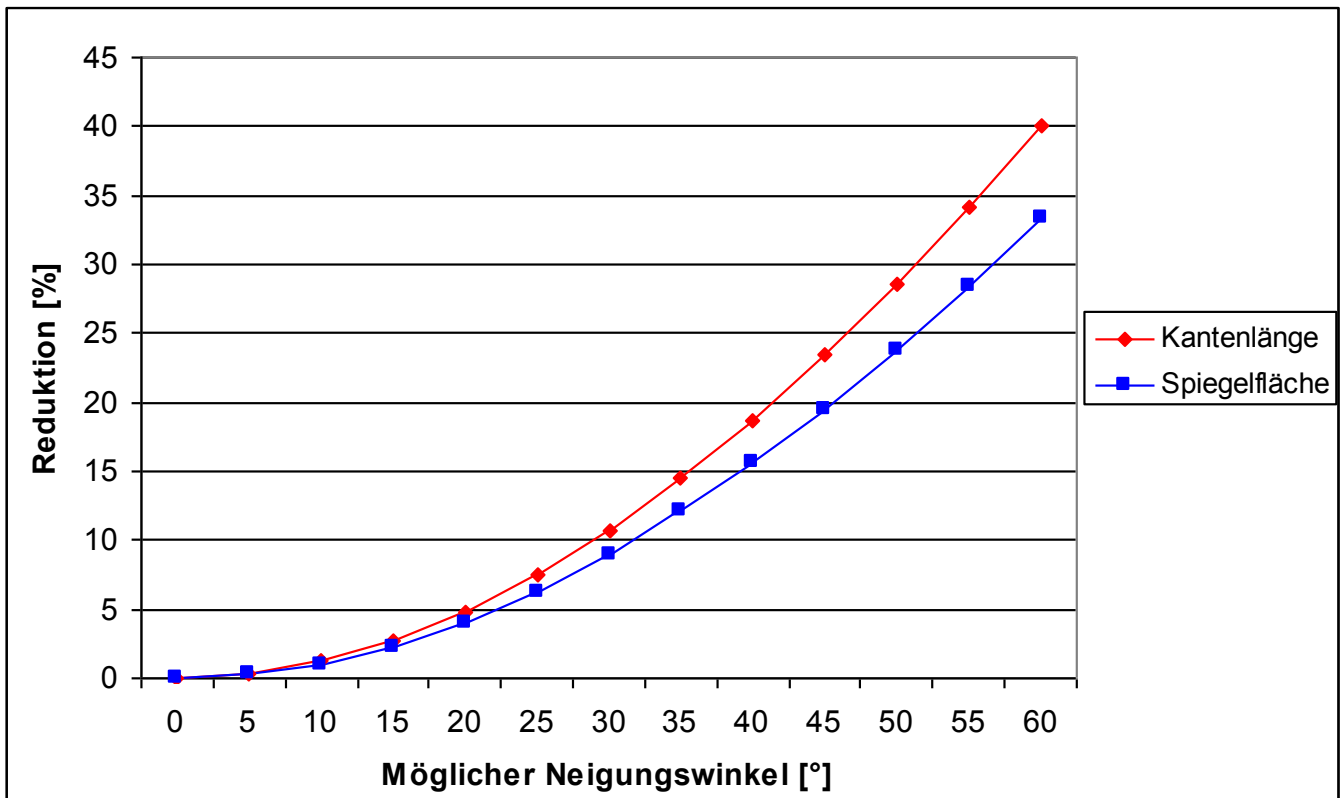


Abbildung 47: Kantenlängen- und Spiegelflächenreduktion

Tabelle 31: Gewählte Panelabmessungen

Abmessungen des Panels		
Panelhöhe	[cm]	35,0
Kantenlänge Zentralelement	[cm]	10,0
Kantenlänge Panel	[cm]	38,0
Außendurchmesser Zentralelement	[cm]	20,0
Möglicher Neigungswinkel	[°]	45,0
Spiegelfläche	[m ²]	0,5

Mit diesen Abmessungen wurde ein erstes Modell des Panels im Maßstab 1:5 aus Bastelmaterialien gebaut. Im Modell stellt die Alufolie die Spiegelflächen dar, die Metallstreben wurden durch Holz, das Gestänge durch Strohhalme und die Seilzüge durch Schnur realisiert. Das Zentralelement wurde aus Karton angefertigt und die Verbindungen mit verschiedenen Bastelmitteln hergestellt. Das Ergebnis ist in Abbildung 48 einmal von oben und einmal von der Seite zu sehen.



Abbildung 48: Modell von oben und von vorne

3.2 Konstruktion Panel

Im folgenden Kapitel soll der Weg vom ersten Panelentwurf, der im Modell (siehe Abbildung 48) verwendet wurde bis hin zum schließlich im Prototyp verbauten Panel zeigen. Die einzelnen Panele haben dabei keinen Namen und werden als Version X benannt. Die Nummer der Version zeigt dabei an um den wievielten Entwurf es sich handelt.

Jedes Unterkapitel behandelt so eine Version und enthält der Reihe nach eine ausführliche Beschreibung der Konstruktion und ihrer Funktionen, eine Aufzählung der Vor- und Nachteile und, ab dem Zeitpunkt da es relevant wurde, eine Kostenbetrachtung. Zusätzlich sind auch Bilder des Panels enthalten, diese werden jedoch je nach Möglichkeit zu Beginn oder zum Schluss eingefügt. Mit Hilfe dieser Informationen soll der Entwicklungsprozess des Panels veranschaulicht werden.

3.2.1 Panel Version 1

3.2.1.1 Beschreibung

Die erste Version des Panels ist quasi als Bauversuch zu sehen und ist daher nicht besonders professionell gestaltet. Die erste wichtige Entwicklung vom Modell zum ersten Panel war die Vereinfachung der Metallstreben, welche die Spiegelfolie halten. Zum ersten wurde aus Kostengründen und wegen Gewicht sowie Verarbeitung Aluminiumstreben als Halterungselemente den Eisenstreben vorgezogen, zum zweiten wurde endgültig eine reflektierende Kunststoffolie als Spiegelfläche gewählt. Verwendete man anfangs noch herkömmliche Klebefolien wurde danach eine 0,2 mm dicke PVC Folie der Firma Modulor GmbH verwendet. Die Folie wird nun nicht wie anfangs gedacht an die Streben geklebt sondern mittels Ösen, Schrauben und Seilen befestigt. Die Metallverstreben wurden insofern verringert, dass vom anfänglichen Plan einen Metallrahmen mit Quer- und Längsstreben zu bauen Abstand genommen wurde. Um Gewicht und Geld zu sparen besteht die Metallverstrebung aus einem am unteren und oberen Ende angebrachte Querbalken der über einen mittigen Längsbalken verbunden ist. Zur Stabilisierung der Seitenränder der Folie wird ein 3 mm dickes Stahlseil durch Ösen geführt und mit den Rändern der Querbalken verbunden. Ansonsten ist die Spiegelfolie provisorisch mit Kabelbindern an den Quer- und dem Längsbalken befestigt. Die Verbindung zwischen Quer- und Längsbalken wird über 90° Winkelbleche hergestellt.

Der Längsbalken verfügt über ein Teleskopsystem mit dem er aus- bzw. eingefahren werden kann. Dadurch ist es möglich die Folie zu spannen um eine möglichst glatte Oberfläche zu erhalten und somit mehr Sonnenlicht zu reflektieren. Das Teleskopsystem ist ähnlich wie ein Gürtel ausgeführt und kann daher leider nur stufenweise aber nicht kontinuierlich verstellt werden.



3.2.1.2 Vor- und Nachteile

Vorteil dieser Version ist, dass es ausgesprochen stabil ausgeführt ist. Durch häufige Befestigung der Folie kann Windlasten widerstanden werden. Die Tatsache, dass auf Streben verzichtet wurde macht das Panel leichter und kostengünstiger als in der anfänglichen Planung vorgesehen. Das Teleskopsystem in der Längsverbinding ermöglicht es die Folie zu spannen und so Falten zu verhindern um mehr Licht reflektieren zu können. So wäre es auch möglich im Gebrauch die Folien auszutauschen ohne das gesamte System abbauen zu müssen.

Der große Nachteil wird in Abbildung 50 sichtbar, denn die Folie ist sehr stark zerknittert und verzogen. Die starke und starre Fixierung am Längsbalken und das dicke unflexible Stahlseil an der Seite lassen trotz Teleskopsystem keine wirkliche Glättung der Spiegelfläche zu. Das Teleskopsystem selbst kann leider nur stufenweise verstellt werden, was nicht optimal für das Spannen der Folie ist. Im Allgemeinen ist das Panel so auch nicht sehr ansehnlich, was man für den späteren Verkauf bedenken sollte.

3.2.1.3 Kostenbetrachtung

Die Kostenbetrachtung spielte in diesem frühen Entwicklungsstadium noch keine Rolle für weitere Verbesserungen.

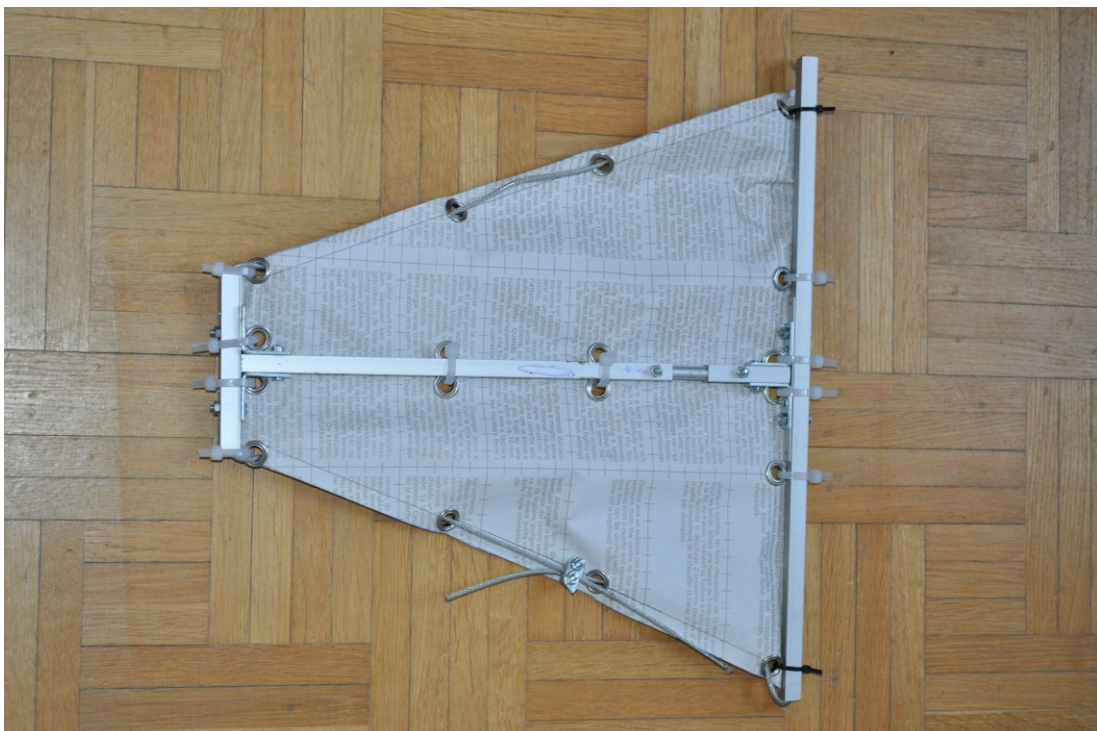


Abbildung 49: Panel Version 1 Unterseite



Abbildung 50: Panel Version 1 Oberseite

3.2.2 Panel Version 2

3.2.2.1 Beschreibung

In Version 2 wurden einige Neuerungen angebracht, da nun auch wichtige Funktionen des Systems bei der Konstruktion stärker in Betracht gezogen wurden. Das Panel wird nach wie vor von einem Längs- und zwei Querbalken gestützt, jedoch sind nun beide mit einem kontinuierlich verstellbaren Teleskopsystem versehen. Im Falle der Längsverbindung besteht dies einfach aus zwei langen Schrauben die in einem kleinen Querbalken am Ende des Längsbalkens und im großen Längsbalken angebracht sind. Während sie im kleinen Querbalken fixiert sind, können sie mittels Sechskant- und Flügelmuttern am großen Querbalken diesen vor und zurückbewegen. Der obere Querbalken selbst wurde in 3 Stücke geteilt. Ein mittleres und zwei äußere Stücke, welche auf einer runden Aluminiumstrebe verschoben werden können. Im mittleren Stück sind die beiden Streben fix miteinander verschraubt. Zwei Ösen sind am Rand des Mittelstück und jeweils eine Öse am inneren Ende der äußeren Querbalkenstücke angebracht. Durch die Öse von Mittelstück und äußerem Stück wird eine Schraube geführt und mit zwei Flügelmuttern so fixiert, dass durch deren Verdrehung die äußeren Teilstücke der Querbalken nach innen oder außen verschoben werden können.

Neben diesen neuen Teleskopsystemen wurde nun von der Befestigung mittels Kabelbindern abgesehen, sie sind durch Schrauben ersetzt worden die nun durch eine Öse in der Folienfläche geführt und mit den Streben verschraubt werden. Die Folie wird nun an fünf Stellen mit dem oberen und an drei mit dem unteren Querbalken verschraubt. Von einer Fixierung am Längsbalken wurde abgesehen, da dies der Spannung der Folie im Weg steht. Um die Spannung mittels oberem Querbalken nicht zu blockieren wird die Folie hier einmal in der Mitte des Mittelstücks und je zweimal auf den äußeren Teilstücken verschraubt.

Die Verbindung der Balken untereinander wird neben dem Teleskopsystem nach wie vor von 90° Metallwinkeln gewährleistet. Das 3 mm Stahlseil welches die Seiten der Folien stabilisiert wurde durch ein etwa gleich dickes Leinenseil ersetzt um die Spannung der Folie zu erleichtern.

Eine weitere Änderung, die in Abbildung 51 und Abbildung 52 zu sehen ist, ist dass nun schon an eine Fokussiereinrichtung gedacht wurde. (Eine genauere Diskussion hiervon befindet sich in Kapitel 3.3.) Hierfür wurde in der Mitte des oberen Querbalken eine zusätzliche Öse angebracht an der dann ein Seil befestigt wurde um später an einer Spule befestigt zu werden, welche das Panel so in eine gewünschte Position hebt. Um das Panel dann wieder in eine gewünscht Ruheposition zu bringen sind am unteren Querbalken Federn angebracht, sie sollen beim Aufrichten des Panel verspannt werden und es sobald der Seilzug nachlässt wieder zurückkippen. So kann mittels eines Zusammenspiels zwischen der Kraft der Federn und dem Antrieb der Spule die Neigung des Panels eingestellt werden.

3.2.2.2 Vor- und Nachteile

Vorteilhaft an diesem System ist, dass nun sowohl eine kontinuierliche Längs- als auch Querverlängerung der Balken möglich sind und somit die Folie besser gespannt werden kann. Die Fixierung der Folie wurde verbessert indem nun Schrauben statt Kabelbindern verwendet werden. Die Fixierungen wurden so angebracht, dass sie einer Spannung der Folie nicht im Weg stehen. Auch wurde das starre Stahlseil durch ein besser spannbares Leinenseil ersetzt.

Das System ist im Bau sehr aufwendig und daher wahrscheinlich auch teuer in der Herstellung. Die Unterbrechung des oberen Querbalkens führt dazu, dass dieser instabil wird und sich verdrehen kann. Durch die zusätzlichen Aufbauten wird das System schwerer. Die Konstruktionen zur Fokussierung sind in dieser Form nicht sinnvoll.

3.2.2.3 Kostenbetrachtung

Die Kostenbetrachtung spielte in diesem frühen Entwicklungsstadium noch keine Rolle für weitere Verbesserungen.



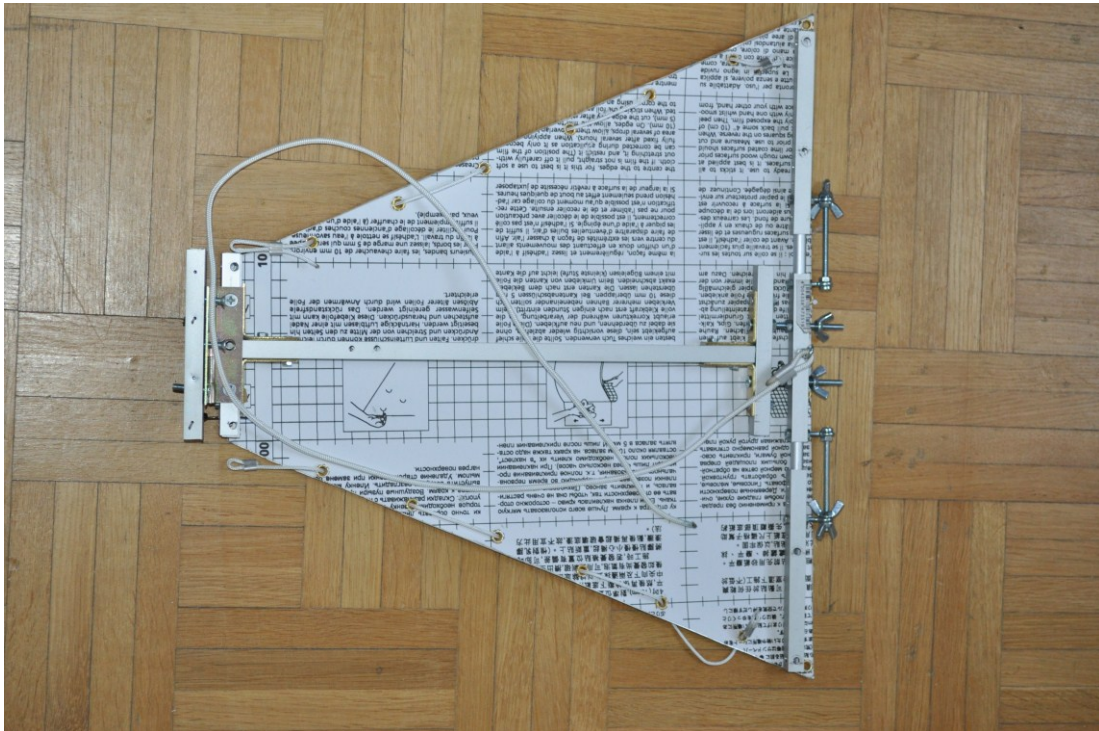


Abbildung 51: Panel Version 2 Unterseite

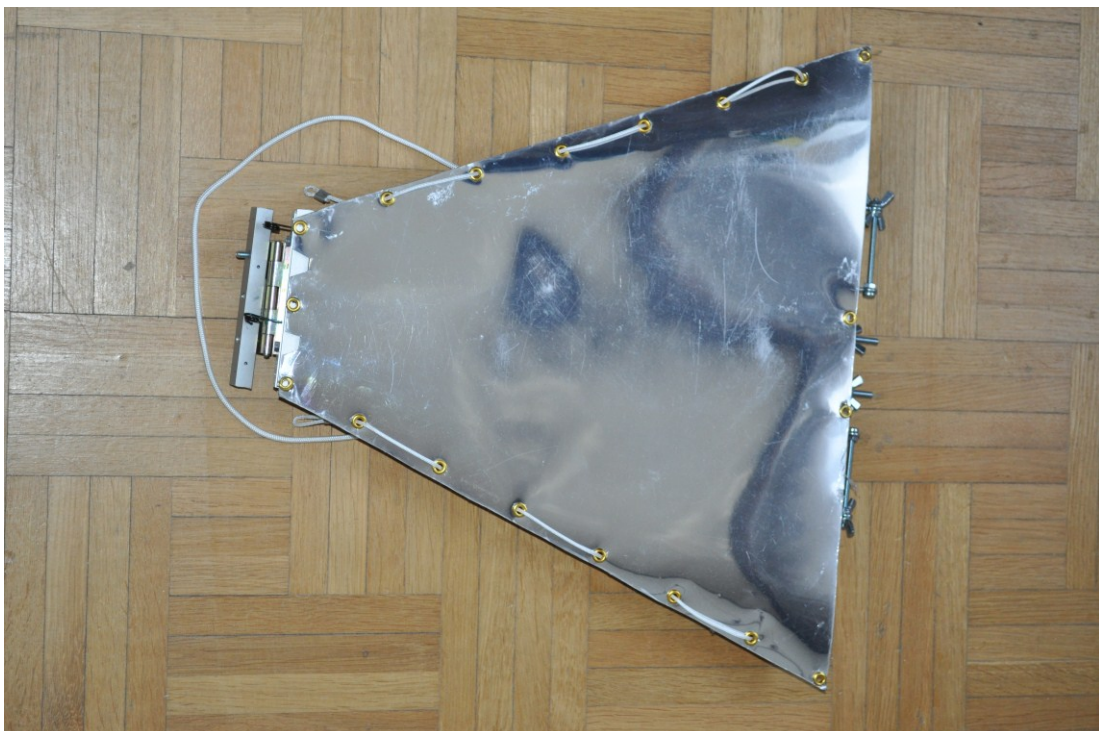


Abbildung 52: Panel Version 2 Oberseite

3.2.3 Panel Version 3

3.2.3.1 Beschreibung

In der Konstruktion der Verstrebungen hat sich nichts im Vergleich zum vorherigen Modell verändert, es basiert nach wie vor auf zwei Quer- und einem Längsbalken. Diese sind auch wie gehabt mittels 90° Metallwinkeln miteinander verschraubt. Auch das Teleskopsystem des Längsbalkens ist gleich geblieben. Geändert hat sich das Teleskopsystem des Querbalkens. Statt 4 Ösen und zwei kurzer Schrauben weist es nun nur noch 3 Ösen und eine lange Gewindestange auf. Eine Öse ist in der Mitte des kurzen Mittelstücks angebracht, die beiden anderen mittig in den äußeren Teilstücken. Die Gewindestange wird durch die drei Ösen geführt und an der mittleren Öse beidseitig fixiert. An den äußeren Ösen werden je zwei Flügelmuttern so angebracht, dass die äußeren Querbalkenstücke durch Drehen der Flügelmuttern bewegt werden können.

Das Seil welches die Seiten der Spiegelfolie stabilisiert wurde wieder durch ein dünneres Leineseil ersetzt um der Spannung nicht im Wege zu stehen. Die Federn und die für die Fokussierung angebrachte Öse wurden weggelassen, stattdessen wurde am unteren Ende des Längsbalkens ein 5 cm hohes Strebenstück mit einem 90° Metallwinkel angebracht an dem dann ein Seilzuge befestigt werden kann.

3.2.3.1.1 Vor- und Nachteile

Durch die durchgehende Gewindestange ist die Verschiebbarkeit der oberen Querstange nun keine Bedrohung für die Stabilität des Systems mehr. Das angebrachte Metallstrebenstück ist eine einfachere und technisch sinnvollere Version für eine Fokussiereinrichtung.

Durch die zusätzlichen Aufbauten wird das System schwerer, komplexer im Bau, unhandlicher in der Montage und teurer.

3.2.3.2 Kostenbetrachtung

Die Entwicklung des Panels hat ein so fortgeschrittenes Stadium erreicht, dass nun die Kosten für Material und der zeitliche Aufwand für den Bau als Kriterium für die weiteren Schritte in den Vordergrund treten.

Die Kosten für das Material wurden den in den Baumärkten bezahlten Preisen entnommen und über Schlüssel wie verbrauchte Stückzahl oder genutzte Seillänge oder Folienfläche einzelnen Funktionsbereichen des Panels zugeordnet. Die Bauzeiten wurden beim Bau ermittelt, sind jedoch stark gerundet worden, da eine Berechnung auf Minuten genau nicht



sinnvoll ist. Auch sie wurden über Schlüssel auf die einzelnen Funktionen umgerechnet. Die errechneten Bauzeiten und –kosten beziehen sich immer auf ein Panel.

Tabelle 32: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 3

Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 3					
Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten
Schrauben	€ 0,90	4,0%	Scharniere	€ 1,40	6,2%
Muttern	€ 0,85	3,8%	Jalousieschnur	€ 0,37	1,7%
Spezialkleineisen	€ 1,95	8,7%	Seilklemmen	€ 1,25	5,6%
Winkel	€ 3,47	15,5%	Ösen	€ 1,43	6,4%
Alurohr vierkant	€ 2,47	11,0%	Gewindestangen	€ 1,92	8,6%
Alurohr rund	€ 0,73	3,3%	Spiegelfolie	€ 5,33	23,8%
Alurohr L	€ 0,35	1,6%	-	-	-
SUMME			€	22,42	

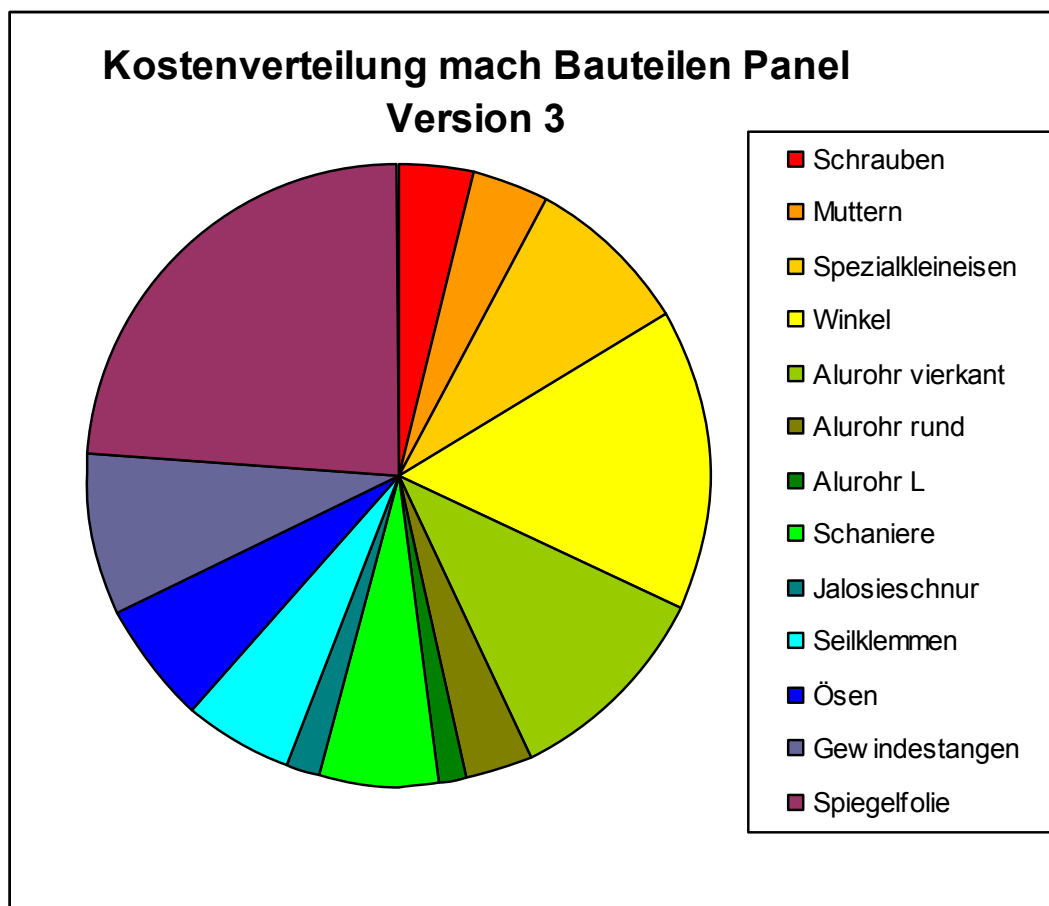


Abbildung 53: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 3

Tabelle 33: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 3

Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 3					
Funktion	Materialkosten		Bauzeit		
Gestänge	€	9,16	40,9%	1,5 h	42,9%
Längsverschiebung	€	1,28	5,7%	0,6 h	17,1%
Querverschiebung	€	2,91	13,0%	0,7 h	20,0%
Folie samt Befestigung	€	5,82	26,0%	0,4 h	11,4%
Seilkonstruktion	€	3,25	14,5%	0,3 h	8,6%
SUMME	€	22,42	100,0%	3,5 h	100,0%

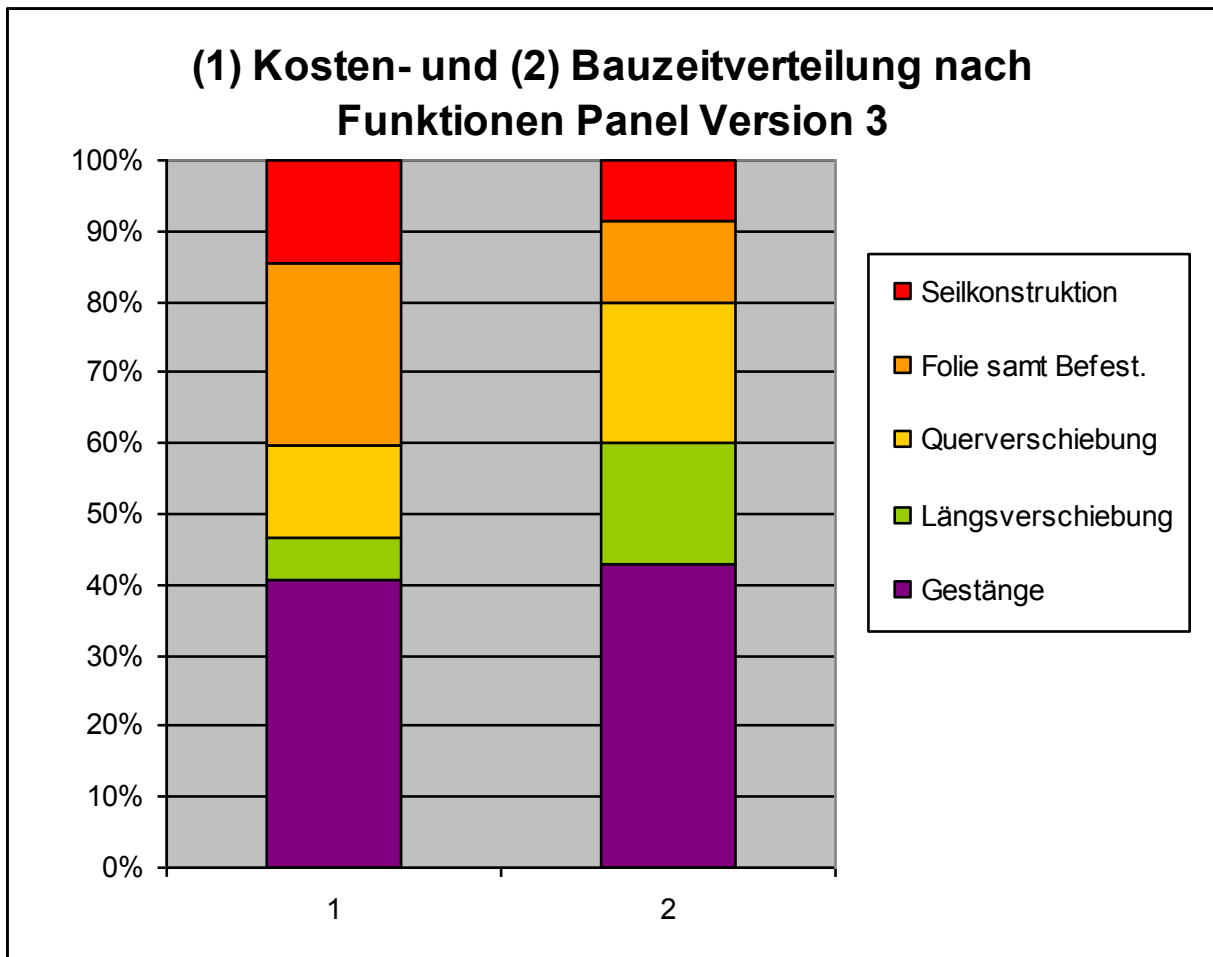


Abbildung 54: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 3

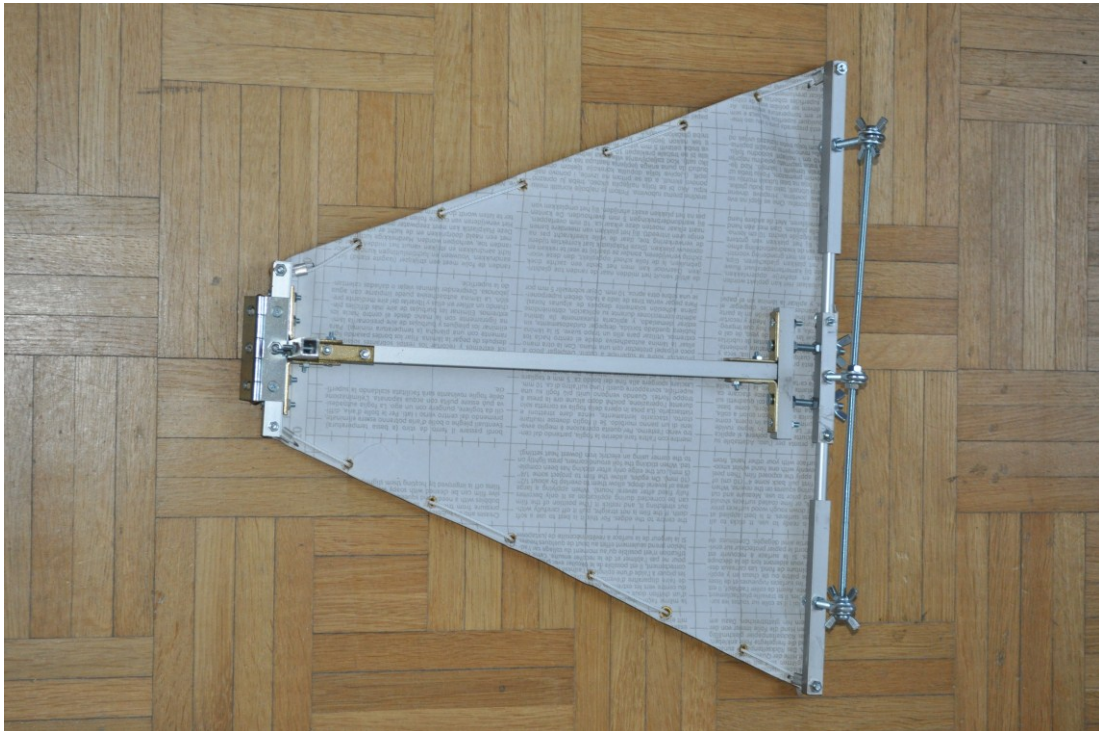


Abbildung 55: Panel Version 3 Unterseite



Abbildung 56: Panel Version 3 Oberseite

3.2.4 Panel Version 4

3.2.4.1 Beschreibung

Die erste Kostenbetrachtung zeigte, dass zwar die Funktionalität der Panele gegeben ist, jedoch ist der zeitliche und materielle Aufwand zu hoch. In der Planungsphase wurde ein Preis für das System von etwa 50 bis 100 € als Ziel definiert. Würde bereits ein Panel 22 € kosten so wäre dieser Preis nicht zu realisieren. Da vor allem die Querverschiebung mit sehr hohem baulichem Aufwand verbunden ist wurde in Version 4 wieder von dieser abgesehen. Weiters wurde die Seilkonstruktion für die Fokussierung und zur Stabilisierung der Spiegelfolie weggelassen. Jene der Spiegelfolie da sie unnötig erschien, es reicht für die gegebenen Ansprüche aus die Folie einmal umzubiegen, jene der Fokussierung da nun bereits ein Gesamtmodell mit alternativer Fokussiervorrichtung gebaut wurde. (Siehe Kapitel 3.3) Zudem wird seit diesem Modell die neue Spiegelfolie der Firma Modulor verwendet.

Ansonsten ist die Konstruktion nicht verändert worden und basiert nach wie vor auf 2 Quer- und einem Längsbalken die über 90° Metallwinkel verbunden sind sowie auf der Fixierung der Folie mittels Ösen und Schrauben.

3.2.4.2 Vor- und Nachteile

Der große Vorteil dieses Systems ist, dass es durch die Vereinfachungen viel leichter und kostengünstiger geworden ist. Da einige Aufbauten weggefallen sind ist die Konstruktion und Montage zudem viel einfacher geworden.

Nachteilig ist, dass durch den Verlust der Querspannvorrichtung die Folie sehr genau angepasst werden muss und schwieriger zu montieren ist.

3.2.4.3 Kostenbetrachtung

Die getätigten Vereinfachungen haben einen ausgesprochen großen Einfluss auf die Kosten, welche um mehr als 50% auf 10,66 € sinken. Auch die Bauzeit kann nahezu halbiert werden.



Tabelle 34: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 4

Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 4					
Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten
Schrauben	€ 0,50	4,7%	Alurohr vierkant	€ 2,47	23,2%
Muttern	€ 0,35	3,3%	Scharniere	€ 1,40	13,1%
Spezialkleineisen	€ 0,90	8,4%	Ösen	€ 0,69	6,5%
Winkel	€ 2,65	24,9%	Spiegelfolie	€ 1,70	15,9%
SUMME			€	10,66	

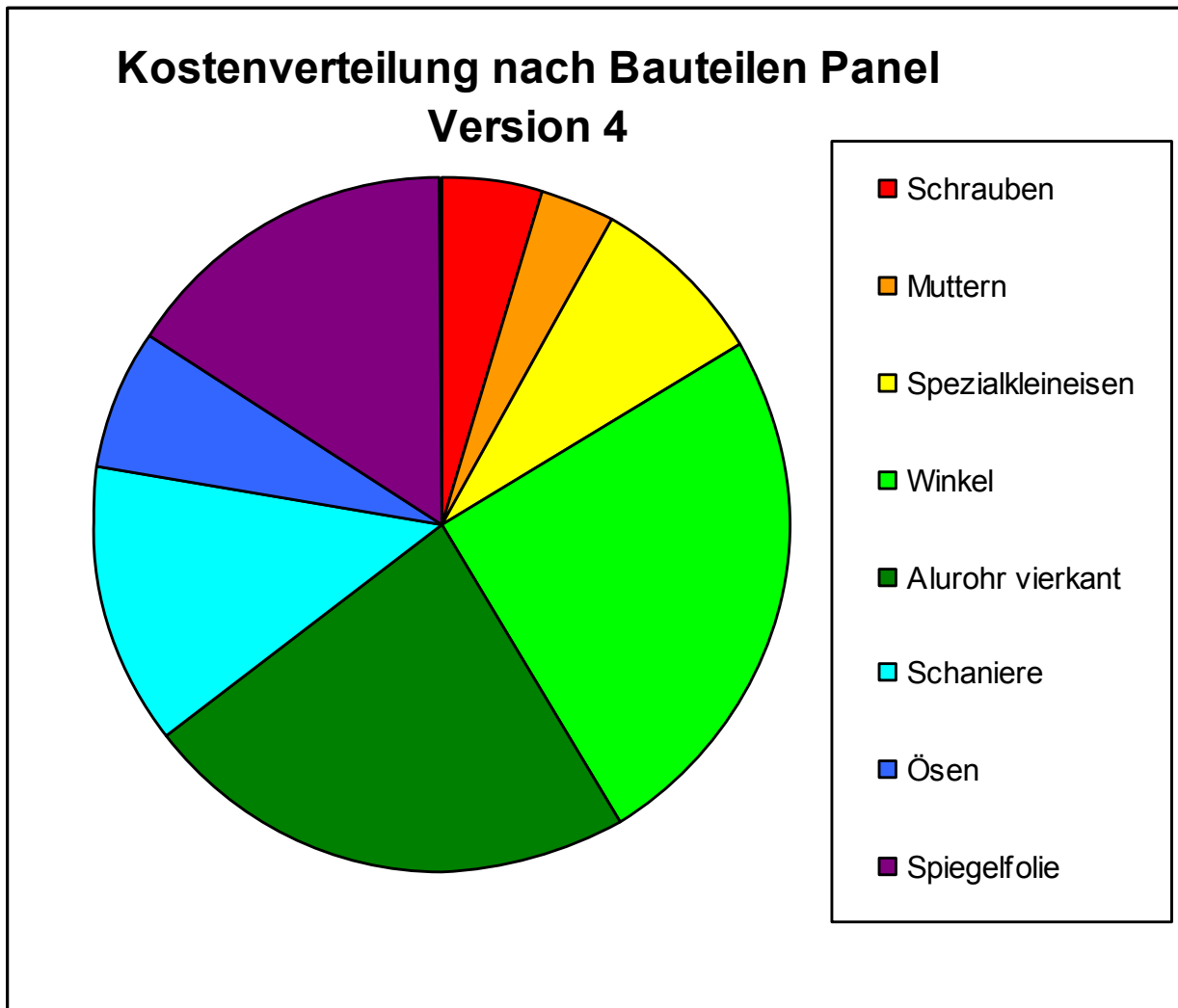


Abbildung 57: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 4

Tabelle 35: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 4

Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 4					
Funktion	Materialkosten		Bauzeit		
Gestänge	€	4,95	46,4%	1,4 h	70,0%
Querverschiebung	€	2,43	22,8%	0,3 h	15,0%
Folie samt Befestigung	€	3,28	30,8%	0,3 h	15,0%
SUMME	€	10,66	100,0%	2,0 h	100,0%

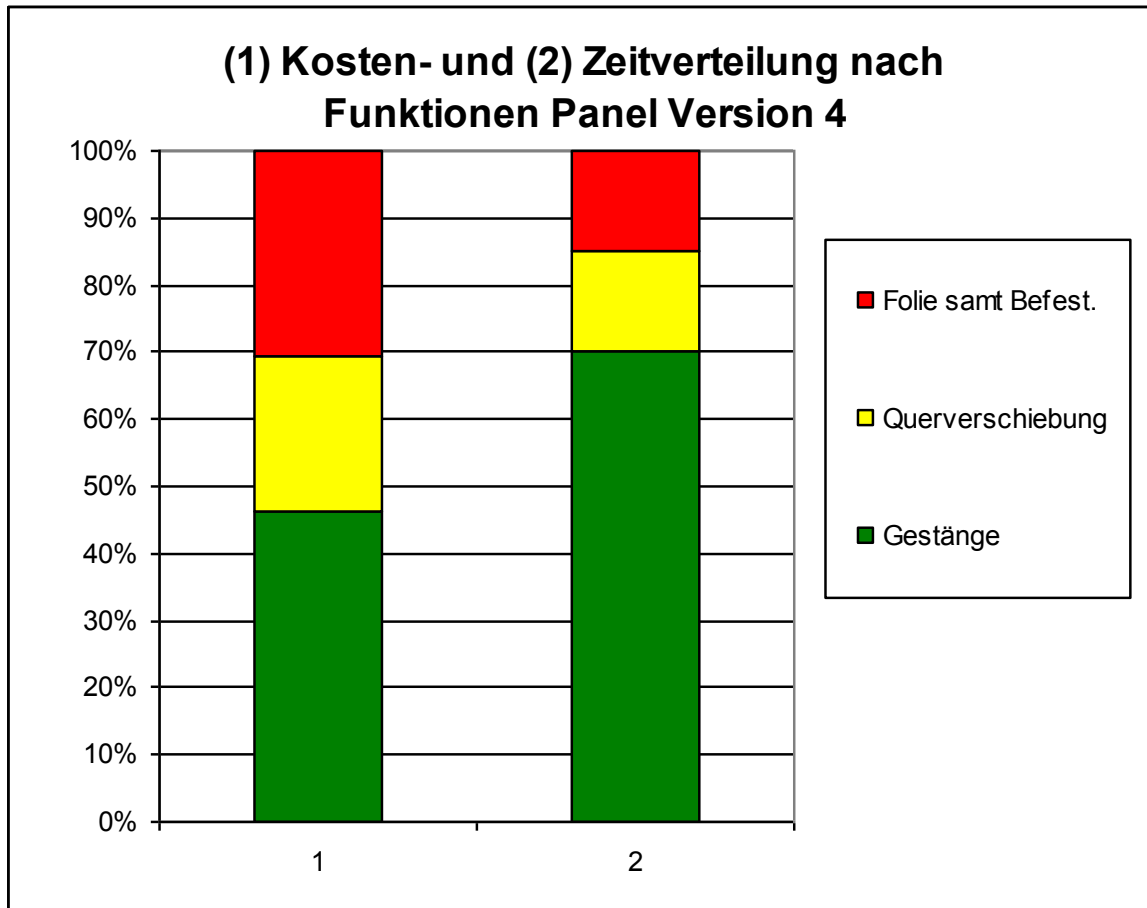


Abbildung 58: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 4



Abbildung 59: Panel Version 4 Unterseite



Abbildung 60: Panel Version 4 Oberseite

3.2.5 Panel Version 5

3.2.5.1 Beschreibung

Die Vereinfachungen aus Version 4 wurden in Version 5 nochmals verstärkt, diesmal wurde sogar die Längsverschiebung ausgespart. Ebenso wie in Version 4 wurde dadurch vor allem eine Reduktion der Kosten und des Zeitaufwandes beim Bau erreicht. Die Reduktion von Gewicht und Komplexität ist jedoch vergleichsweise gering. Die Überarbeitung des Moduls ging in diesem Fall aber noch weiter, so wurden unnötige Winkel (die vergleichsweise teuer sind) und Schraubverbindungen (sorgen für längere Bauzeit) entfernt. Die Anzahl der Schraubverbindungen sinkt dabei von 22 auf 13, jene der Winkel von 4 auf 2.

Ansonsten bleibt die Konstruktion in gewohnter Form erhalten und besteht nach wie vor aus zwei Querbalken und einem Längsbalken, den Winkeln und der Folie samt Ösen.

3.2.5.2 Vor- und Nachteile

Natürlich kommt es wiederum zu einer erheblichen Kostenreduktion und auch das Gewicht und die Komplexität des Systems sinken.

Nachteilig ist entsprechend, dass das System weniger flexibel ist und die Folie genau eingepasst werden muss um auf das System zu passen. Durch den die fehlenden Schrauben und Winkel ist das System nicht mehr so stabil, dies wirkt sich aber im bespannten Zustand kaum aus.

3.2.5.3 Kostenbetrachtung

Erneut konnte eine erhebliche Reduktion der Baukosten des Panels erzielt werden und zwar von 10,66 € auf 6,91 € was etwas mehr als einem Drittel entspricht. Die Bauzeit sank immerhin um eine halbe Stunde also 25%.

Tabelle 36: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 5

Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 5					
Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten
Schraubverbindungen M3*	€ 0,22	3,2%	Scharniere	€ 1,40	20,3%
Schraubverbindungen M4*	€ 0,25	3,6%	Ösen	€ 0,43	6,2%
Winkel	€ 0,78	11,3%	Spiegelfolie	€ 1,70	24,6%
Alurohr vierkant	€ 2,13	30,8%	-	-	-
SUMME		€		6,91	

*Als Schraubverbindung gilt eine MX16 Schraube samt Sechskantmutter



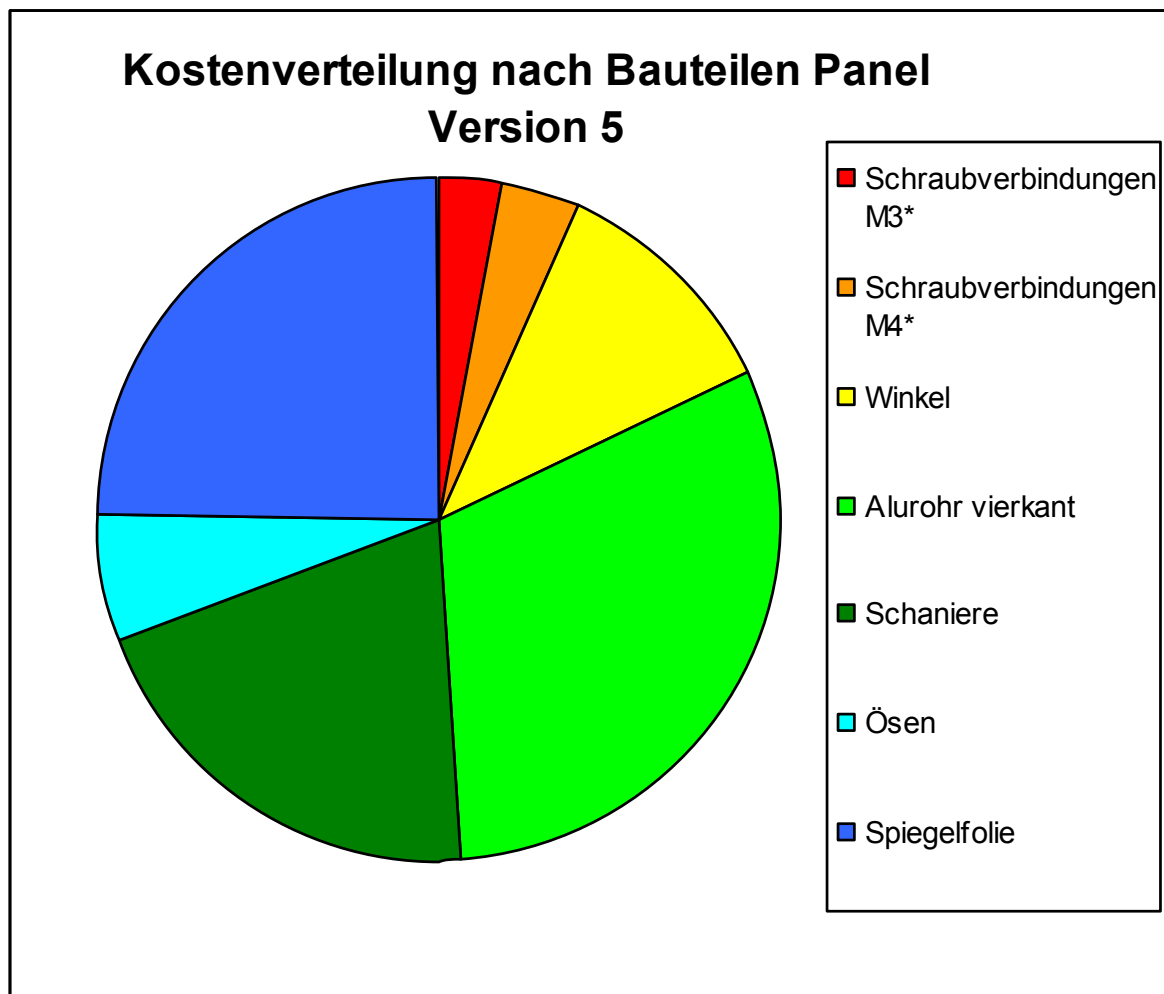


Abbildung 61: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 5

Tabelle 37: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 5

Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 5					
Funktion	Materialkosten		Bauzeit		
Gestänge	€	4,53	65,6%	1,2 h	80,0%
Folie samt Befestigung	€	2,38	34,4%	0,3 h	20,0%
SUMME	€	6,91	100,0%	1,5 h	100,0%

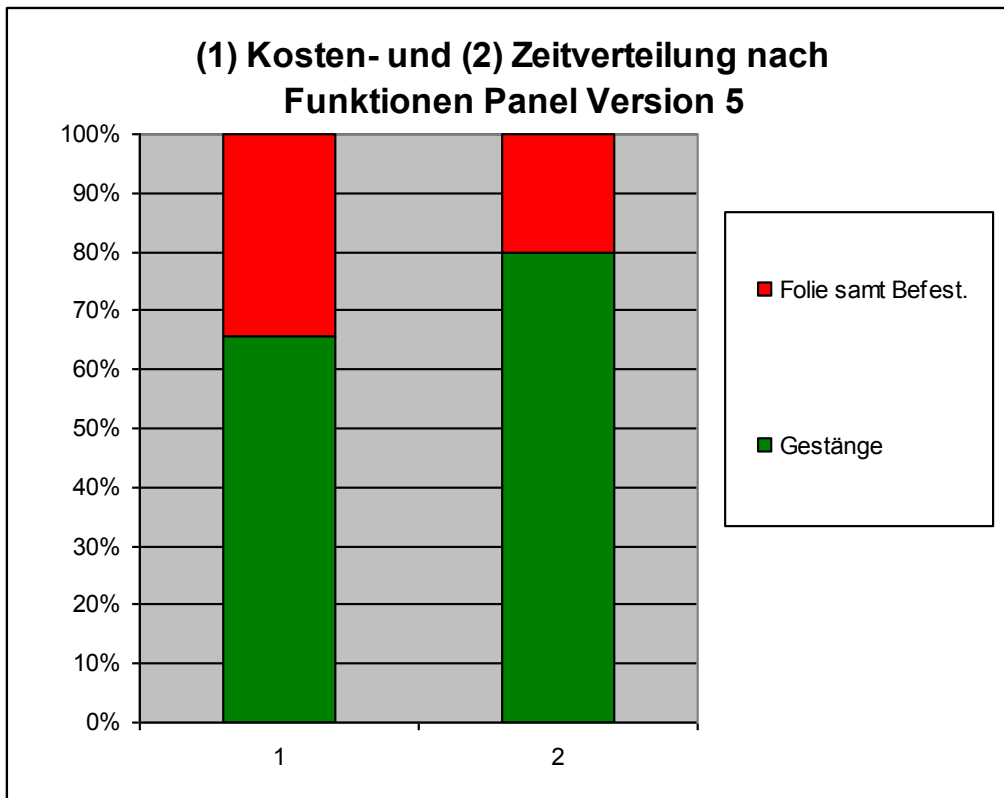


Abbildung 62: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 5



Abbildung 63: Panel Version 5 Unterseite



Abbildung 64: Panel Version 5 Oberseite

3.2.6 Panel Version 6

3.2.6.1 Beschreibung

Nachdem nun mit Version 5 die Vereinfachungen ausgeschöpft sind, ist in dieser letzten Version nur noch eine Vereinfachung bei den verwendeten Bauelementen möglich. Als vergleichsweise teures Element sind die 90° Metallwinkel durch Metallplättchen ersetzt worden. Diese bieten die verlangte Stabilität jedoch nur im gespannten Zustand, dieser Umstand wird jedoch als vernachlässigbar angesehen.

Die Spiegelfolie wird nun nicht mehr an der Oberseite der Balken befestigt sondern an der jeweiligen Außenseite. Dadurch soll es bei der Anbringung erleichtert werden die Folie zu spannen. Zudem wird die Zugkraft auf die Ösen verringert wodurch die Folie länger verwendet werden kann.

3.2.6.2 Vor- und Nachteile

Durch die bauliche Vereinfachung kommt es diesmal nur noch zu einer geringen aber dennoch zu einer Ersparnis. Das Umlegen der Folie um eine Balkenkante macht diese Konstruktion stabiler.

Die Metallplättchen können die 90° Metallwinkel in Hinblick auf Stabilität nicht ersetzen, das neue System ist daher nur unter Spannung stabil.

3.2.6.3 Kostenbetrachtung

Zum Abschluss der Vereinfachungsmaßnahmen kann die erfreuliche Bilanz gezogen werden, dass das Panel von anfänglichen Kosten von 22,42 € auf 6,37 € also um fast 72 % gesenkt werden konnte. Die Bauzeit konnte immerhin um 2 Stunden also um etwa 57% gesenkt werden. Die Qualität des Produktes in unserem Fall also vor allem die Spannung der Folie ist dabei kaum bis gar nicht schlechter geworden.

Tabelle 38: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 6

Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 6					
Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten	Bauteile	Kosten
Schraubverbindungen M3*	€ 0,22	3,5%	Scharniere	€ 1,40	22,0%
Schraubverbindungen M4*	€ 0,25	3,9%	Ösen	€ 0,69	6,8%
Metallplättchen	€ 0,24	3,8%	Spiegelfolie	€ 1,70	26,7%
Alurohr vierkant	€ 2,13	33,4%	-	-	-
SUMME			€	6,37	

*Als Schraubverbindung gilt eine MXx16 Schraube samt Sechskantmutter

Tabelle 39: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 6

Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 6				
Funktion	Materialkosten		Bauzeit	
Gestänge	€ 3,99	62,6%	1,2 h	80,0%
Folie samt Befestigung	€ 2,38	37,4%	0,3 h	20,0%
SUMME	€ 6,37	100,0%	1,5 h	100,0%



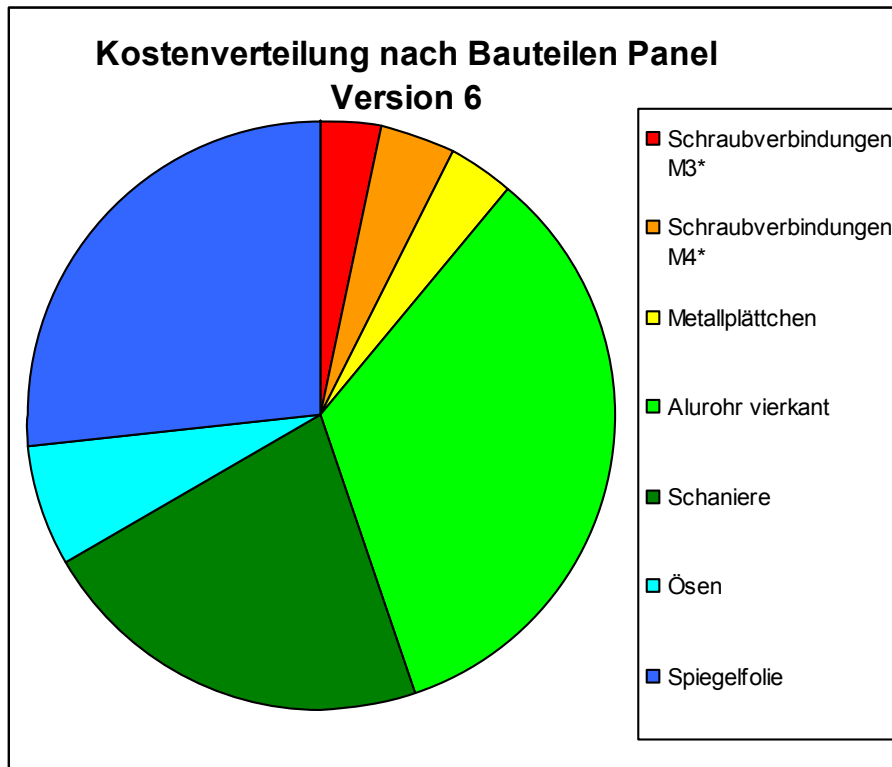


Abbildung 65: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 6

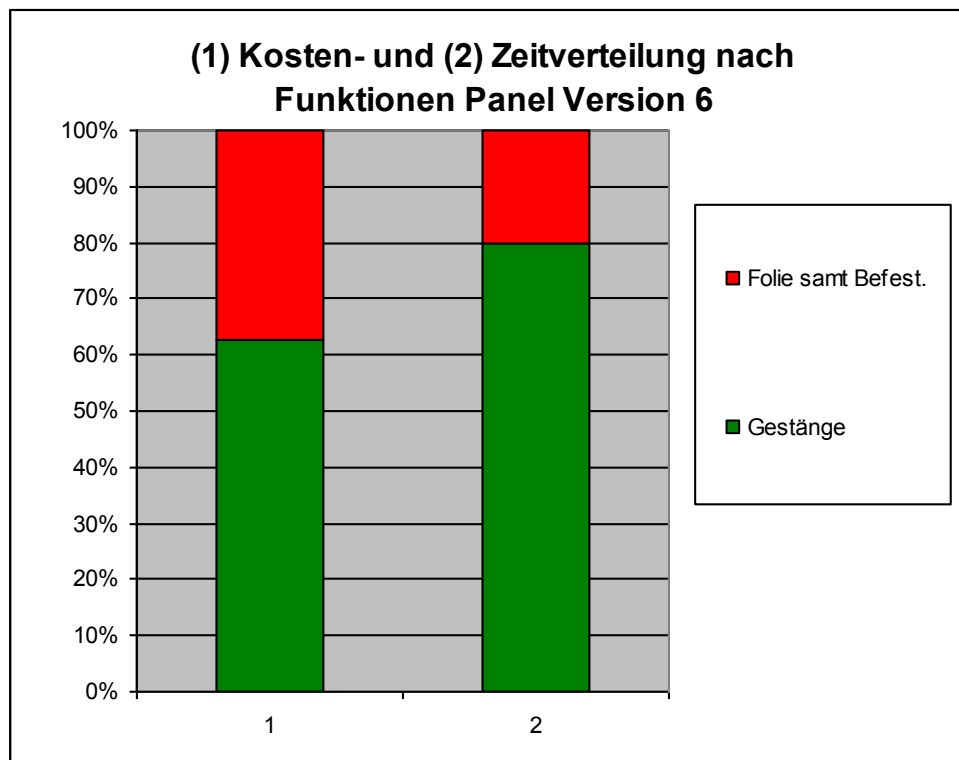


Abbildung 66: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 6



Abbildung 67: Panel Version 6 Unterseite



Abbildung 68: Panel Version 6 Oberseite

3.3 Konstruktion Fokussiereinrichtung

Die allgemeine Anforderung an die Fokussiereinrichtung ist, dass sie in der Lage sein soll die Panele sowohl in eine streuenden als auch eine bündelnde Position zu bringen. Die Einrichtung soll dennoch einfach gehalten werden und mit einem einfachen Antrieb auskommen um nicht zu kostenintensiv oder zu schwer zu werden.

In diesem Kapitel wird beschrieben wie die Fokussiereinrichtung ausgewählt wurde. Die vier näher diskutierten Ideen werden allgemein und die schlussendlich gewählte näher beschrieben.

3.3.1 Seil- und Federsystem

Die anfängliche Idee ging in die Richtung eine Kombination eines Seil- und Federsystems oder ein ausschließliches Seilsystem zu bauen. Diese Systeme sollten vor allem einfach sein und würden mit einem Antrieb, der Zug auf die Seile ausübt funktionieren.

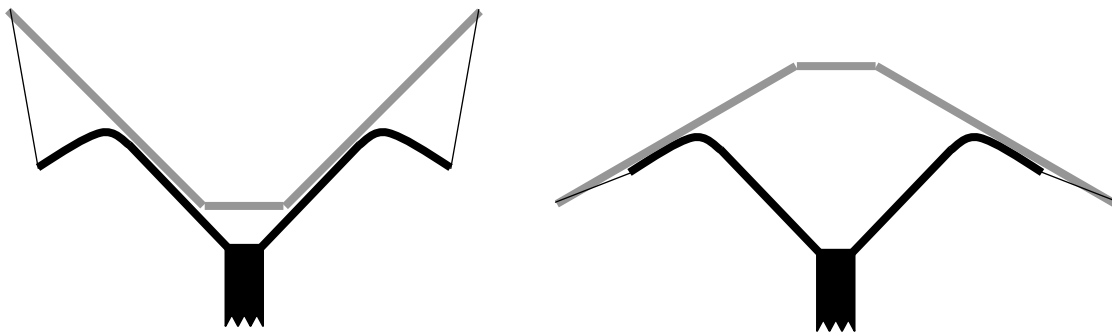


Abbildung 69: Seilsystem

Im Fall des ausschließlichen Seilsystems werden über ein hohles Gestänge Seile von einem zentral liegenden Motor zu den Spitzen der Panele geführt. Die Form des Gestänges ist so gewählt, dass das System darin in seiner Ruheposition die maximale Fokussierung einnimmt. Wenn diese Position verlassen werden soll wird mittels Motor eine Spule angetrieben auf der sich dann das Seil aufwickelt. Dadurch werden die einzelnen Seile an den Panele straff gezogen und die Panele hinunterbewegt. Ist die gewünscht Position erreicht so stoppt der Motor und hält das Panel in der Stellung. Um die Position des Panels wieder zurück zur Fokussierung zu ändern gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste ist, dass das Gewicht des Zentralelements ausreicht um das System wieder in die Grundposition zurückzubewegen. Da dies aber nicht zwingend funktionieren muss kann als zweite Option ein Seil an der Zentralplatte angebracht werden. Das Seil wird zur selben Spule geführt an dem auch die anderen Seile befestigt sind jedoch werden sie umgekehrt über einen Teil mit

kleinerem Radius gelenkt damit bei einem Anziehen an den Panelen das Zentralelement entspannt wird und umgekehrt.

Bei einem kombinierten Feder – Seil – System wird das Panel durch Bogenfedern die an der Verbindungsstelle von Panel und Zentralelement in einer gewünschten Fokussierungsposition gehalten. Um in eine das Licht streuende Position zu gelangen wird wie oben über Seile die an einer mit Motor angetriebenen Spule angebracht sind auf die Panele Zug erzeugt. Durch diesen Zug werden die Panele in die gewünschte Position gebracht. Durch Entspannung der Seile bewegen sich die Panele wieder in eine bündelnde Position zurück. Bei diesem System ist kein spezielles Gestänge von Nöten.

Das Problem dieser Systeme ist, dass sie vergleichsweise komplex in ihren Anforderungen sind. So müssen entsprechende Federn bzw. eine Gestängekonstruktion vorhanden sein. Außerdem sind die Seilführung durch das Gestänge sowie der Antrieb mittels Spule schwierig zu realisieren.

3.3.2 Lassosystem

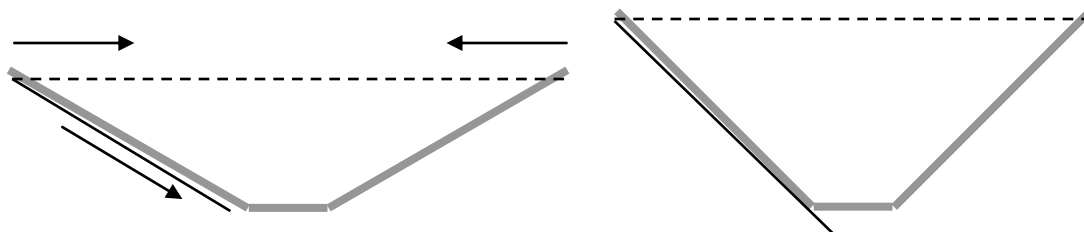


Abbildung 70: Lassosystem

Das Lassosystem ist ein reines Seilsystem, bei dem ein Seil durch einen der Längsbalken der Panele sowie im Kreis durch alle äußeren Querbalken geführt wird. So entsteht ein Lasso, das immer wieder in den Querbalken dann im Freien zwischen zwei Balken und dann wieder in ihnen geführt wird. Das eine durch einen Längsbalken geführte Seil ist mit einer Winde verbunden welche über einen Motor angetrieben wird. Wird die Winde in Bewegung gesetzt zieht sich das Lasso zusammen und die Panele werden zueinander gedrückt. Um die Panele wieder in ihre Ruheposition zurückzuführen sind ähnliche Maßnahmen wie im vorherigen Seilsystem notwendig.

Das Hauptproblem dieses Systems liegt darin, dass es nur eine Bewegung in Richtung der Fokussierung oder der Streuung vollführen kann. Das liegt daran, dass beim Zusammenziehen des Lassos eine horizontale (bezogen auf Abbildung 70) Kraft auf die Panele wirkt. Damit daraus eine vertikale Bewegung resultiert muss das Panel wenigstens ein bisschen aus der horizontalen Ebene ausgelenkt werden. Sollte dies nicht der Fall sein

bewirkt ein Anziehen der Seile gar nichts und das System ist nutzlos. Ein Überwinden dieser Nullebene ist somit nicht möglich.

3.3.3 Gewindesystem

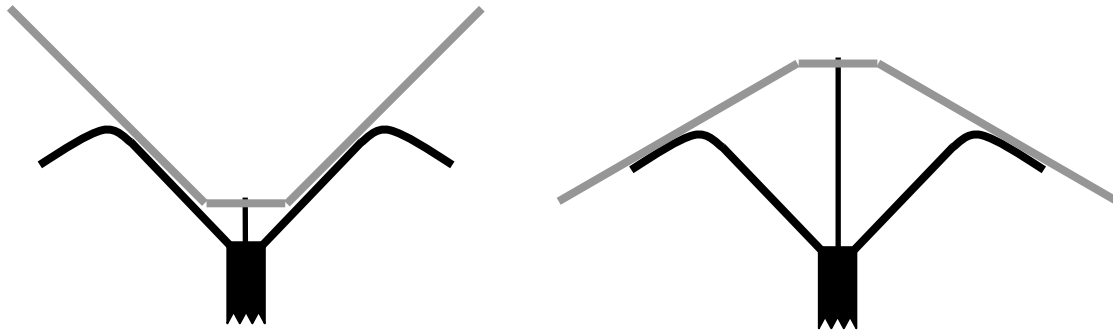


Abbildung 71: Gewindesystem

Das Gewindesystem beruht darauf, dass eine Gewindestange am mittleren Zentralelement befestigt wird. Die Stange ist dabei so befestigt, dass sie sich nicht durch selbiges bewegen kann jedoch in der Lage ist sich zu drehen. Um das System zu bewegen sitzt auf der Gewindestange ein fix angebrachter Antrieb, der die Stange in sich hinein- oder aus sich herausdreht. Durch diese Verkürzung oder Verlängerung der Gewindestange wird das Zentralelement nach vorne gedrückt oder nach hinten gezogen. Infolge dessen werden die Panele mittels eines Gestänges auf eine gewünschte Position gedrängt.

Nachteil dieses Systems ist, dass die Gewindestange je nach möglichem Neigungswinkel hinten weit aus dem System herausstehen wird. Dadurch ist die Stange äußeren Einflüssen ausgesetzt und das System wird sperriger. Bei diesem System ist zudem eine Fixierung der Panele am Gestänge notwendig da sie ansonsten wegen der Schwerkraft in eine beliebige Position (je nach Ausrichtung des Systems) fallen würden.

3.3.4 Schirmsystem

Das Schirmsystem welches schlussendlich für den Bau gewählt wurde zeichnet sich dadurch aus, dass es in jeder Lage des Systems einsetzbar ist. Bei dem Schirmsystem werden Metallstreben so an den Längsbalken angebracht, dass sie geschwenkt werden können. Am anderen Ende werden die Metallstreben mit einem Schirmelement verbunden. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass alle 6 Metallstreben daran schwenkbar befestigt werden können und, dass es in der Mitte eine Gewindebohrung aufweist. Durch diese Gewindebohrung wird eine gleichartige Gewindestange geführt. Diese Gewindestange ist wie im Gewindesystem fix an dem Zentralelement angebracht so dass sie sich jedoch drehen kann. Wird die Gewindestange nun gedreht kann sich das Schirmelement wegen der

Metallstreben nicht mitdrehen und wegen eben dieser auch nicht auf oder ab bewegen. Da die Gewindestange aber in die Gewindebohrung des Schirmelementes eingreift kann sie auch nicht durch das Element rutschen, so wird das Zentralelement (je nach Drehrichtung) an das Schirmelement herangezogen oder von ihm weggedrückt. Da die Metallstreben nicht verschieb- aber schwenkbar angebracht sind kann sich die Distanz zwischen den beiden Fixierungspunkten nicht verändern sehr wohl aber der Winkel zwischen Metallstrebe und Panel. Die Panele werden so je nachdem auf welche Position auf der Gewindestange das Schirmelement gedreht wird in einer bestimmten streuenden oder bündelnden Position fixiert.

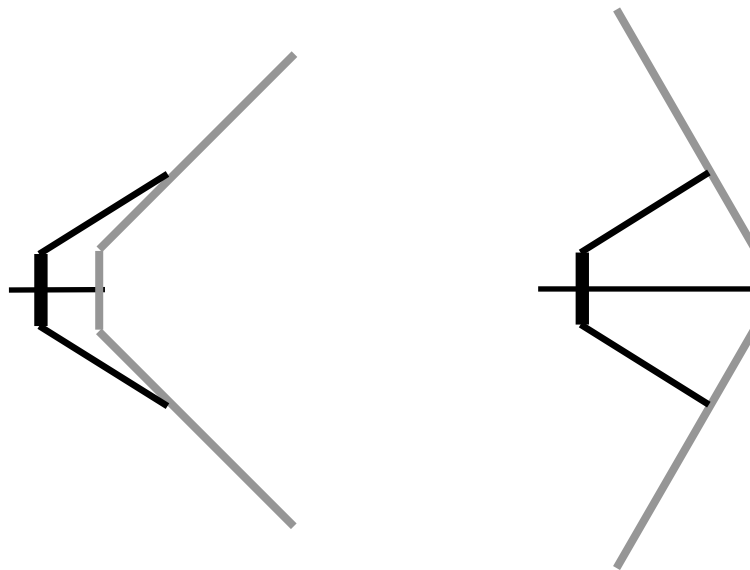


Abbildung 72: Schirmsystem



Abbildung 73: Umsetzung des Schirmsystems

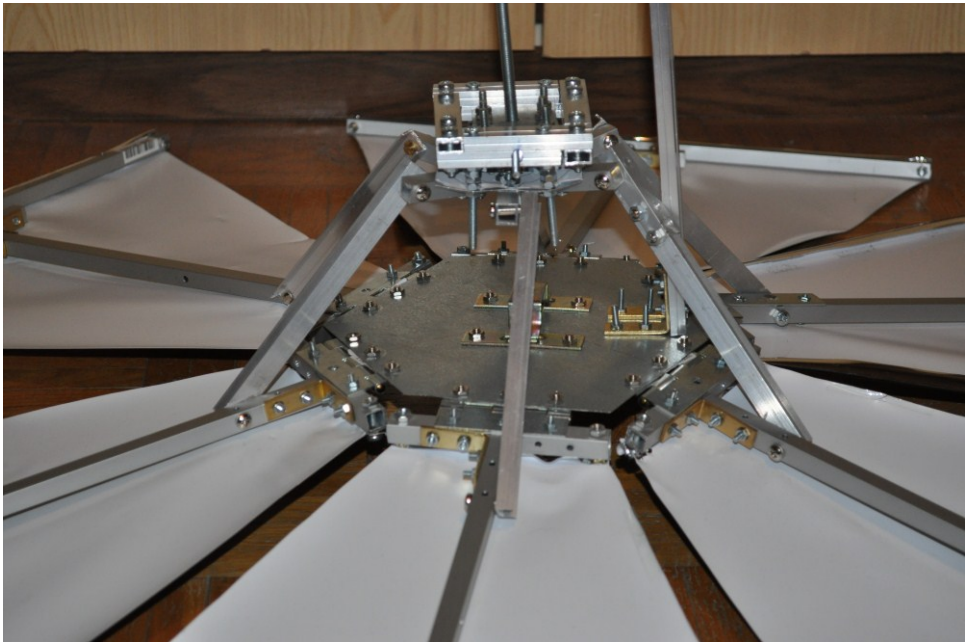


Abbildung 74: Schirmelement mit Gewindestangenfixierung

3.4 Konstruktion Halterung und Schwenkungsvorrichtung

Für das Problemfeld der Halterung und Schwenkung des Systems wurden nur wenige Möglichkeiten in Betracht gezogen, da sich diese Aufgabenstellung erst zu Ende der Konstruktionsphase ergab. Die Bedingung für dieses System war, dass es eine Verstellbarkeit in horizontaler sowie in vertikaler Ebene gewährleisten soll.

Die Schwenkung bzw. Drehbarkeit des Systems in einem horizontalen Kreis war Teil einer anzufertigenden Bakkalaureatsarbeit, sie wird aber ganz einfach dadurch realisiert, dass die Stange auf der das System sitzt im unteren Bereich drehbar gelagert ist und über einen Antrieb samt Batterie verfügt.

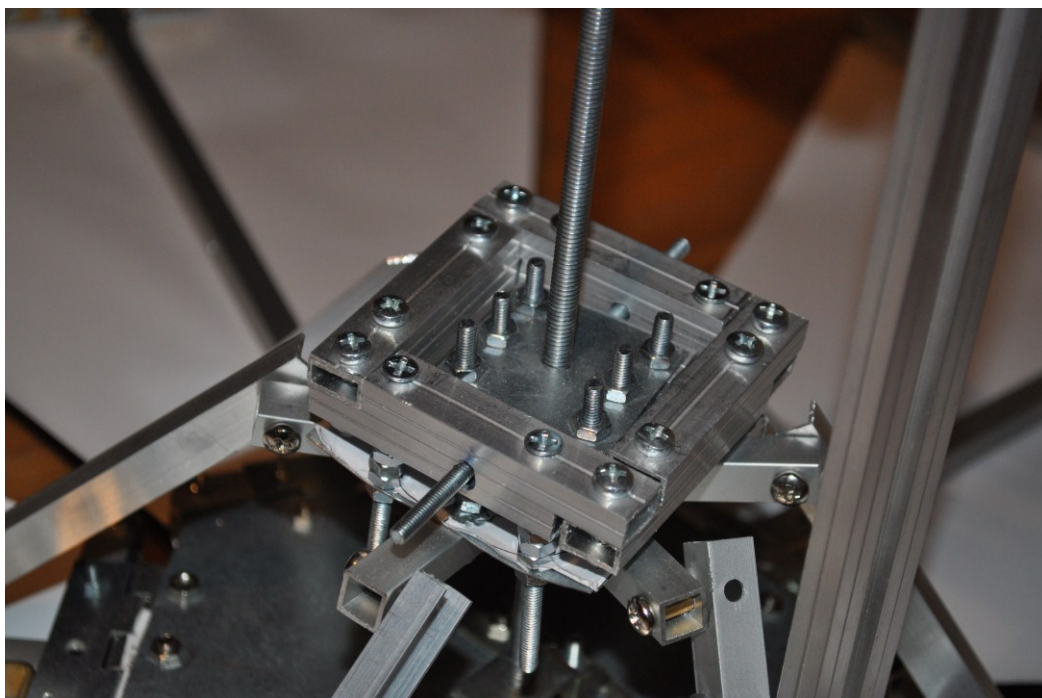


Abbildung 75: Schwenkbare Ausführung des Schirmelements

Die vertikale Schwenkbarkeit wird nicht im klassischen Sinne erreicht sondern durch einen Trick. Das Schirmelement das in Kapitel 3.3.4 beschrieben ist wird nicht als starre Platte ausgeführt, viel mehr besteht es aus einem drehbaren Rahmen an dem die Metallstreben befestigt sind, dieser ist über eine Achse mit jener Platte mit der Gewindebohrung verbunden durch welche die Gewindestange geführt wird. Der Rahmen des Schirmelements kann sich somit drehen und so die Panele nicht gleichmäßig sondern manche steiler und andere weniger steil neigen. Dies geschieht auf Grund der gegebenen Konstruktion immer gegengleich. Wird also das obere Panel stärker geneigt so wird das untere weniger stark geneigt und die anderen vier Panele nehmen eine entsprechende mittlere Neigung ein. Dadurch entsteht eine Situation als wäre die Spiegelfläche nach oben oder nach unten

geneigt wodurch diese Schwenkung umgesetzt ist ohne das System wirklich zu neigen. Damit der Rahmen sich entsprechend neigt sind in der Halterung vorne und hinten Bolzen angebracht, die das System je nach Position vor- oder zurückneigen oder in die vertikale Position bringen. So kann das System mit einem Antrieb sowohl fokussiert als auch vertikal gedreht werden.

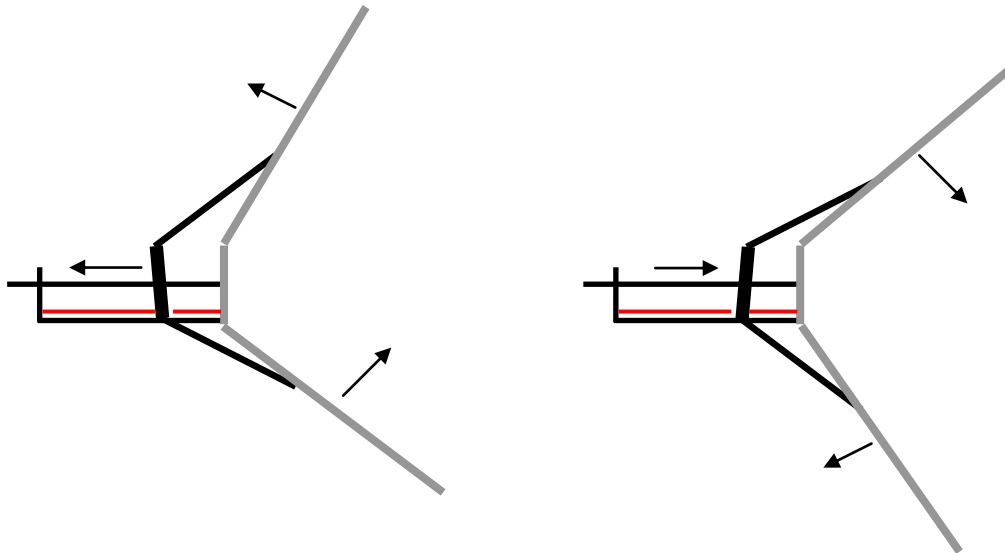


Abbildung 76: Vertikale Schwenkung

Die restliche Halterung ist eine simple Schiene, die verwendet wird um das System auf der drehbaren Stange zu fixieren. Über diese ist das System mit der Aufstellvorrichtung, dem weiteren Motor und dem Akku verbunden.

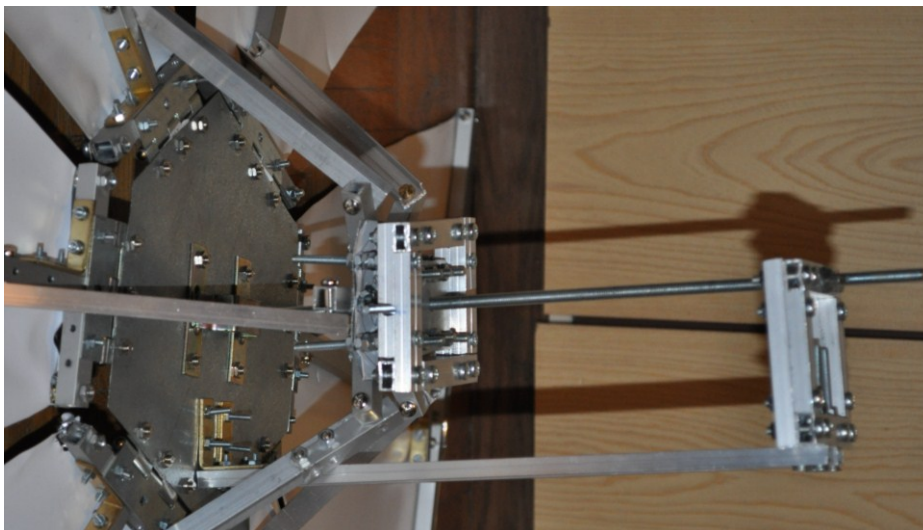


Abbildung 77: Ausführung der Halterung

3.5 Elektrische Schaltung und Antrieb

3.5.1 Allgemein

Die Entwicklung und Optimierung elektrische Schaltung sowie auch der Antrieb waren Teil der Forschungsarbeit des Studenten Marco Micelli und werden in einer eventuell entstehenden Bakkalaureatsarbeit behandelt. In diesem Kapitel sollen die erzielten Erkenntnisse nur kurz dargestellt werden um das Gesamtprojekt näher zu beschreiben.

Die Aufgabe der zu entwickelnden Schaltung war es das System stets so auszurichten, dass ein Maximum an Sonneneinstrahlung eingefangen werden kann. Zu diesem Zweck sollte eine Messung des einfallenden Lichtes erfolgen um bei einer entsprechenden Signaldifferenz darauf zu reagieren indem sich das System zu drehen beginnt. Ist das System wieder auf ein Maximum ausgerichtet soll es wieder zum Stillstand kommen.

Diese Art von Schaltung ist zwar nicht neu, ihre Umsetzung aber dennoch ein zentrales Element des Projektes, da die zuvor beschriebene Konstruktion ohne sie statisch und somit wenig nützlich ist. Im Folgenden werden die zwei Umsetzungsversuche samt ihren Vor- und Nachteilen beschrieben.

3.5.2 Schaltung mittels Operationsverstärkern

3.5.2.1 Beschreibung

In Abbildung 78 ist der Plan der elektrischen Schaltung mittels Operationsverstärkern zu sehen. Die unten gezeigten Photozellen reagieren auf Lichteinstrahlung indem sie ein direkt zu deren Intensität proportionales Signal abgeben. Diese Zellen sind zweckmäßiger Weise auf zwei gegenüberliegenden Panelen angebracht um solange eine Signaldifferenz zu liefern bis das Panel normal zur Einstrahlungsrichtung des Lichtes steht. Dieses Signal wird nun von jeder Photodiode an jeweils zwei Operationsverstärker weitergegeben. In XXX befinden sich die jeweiligen zwei Elemente in einer schwarzen Platine (LM358 und LM 356). Diese Operationsverstärker fungieren je nach Anordnung der Widerstände als Signal verstärkend und invertierend oder nur Signal verstärken. Diese beiden Signale werden mittels vorhanden Schmitt Triggern verglichen und bei der Überschreitung einer gewissen Differenz der Motor in Betrieb genommen. Ist die Differenz positiv so dreht er das Panel in die eine, bei einem negativen in die andere Richtung. Während dieses Drehvorganges messen die Photodioden die einfallende Lichtmenge weiter und sofern aufgrund zu wenig unterschiedlicher Werte die Signaldifferenz einen Grenzwert unterschreitet, wird der Motor abgeschaltet bis wieder ein entsprechender Signalunterschied vorhanden ist. Der Grenzwert für die Signaldifferenz wird eingestellt um zu verhindern, dass das System überempfindlich reagiert und ständig in Bewegung ist.



Weiters in Abbildung 78 zu sehen ist eine externe Energiequelle, diese deutet den später vorhandenen Akku des Systems an. Durch eine Solarzelle wird dieser bei Sonneneinstrahlung aufgeladen um das System auch dann bewegen zu können, wenn momentan zu wenig Strom zur Verfügung gestellt werden kann.

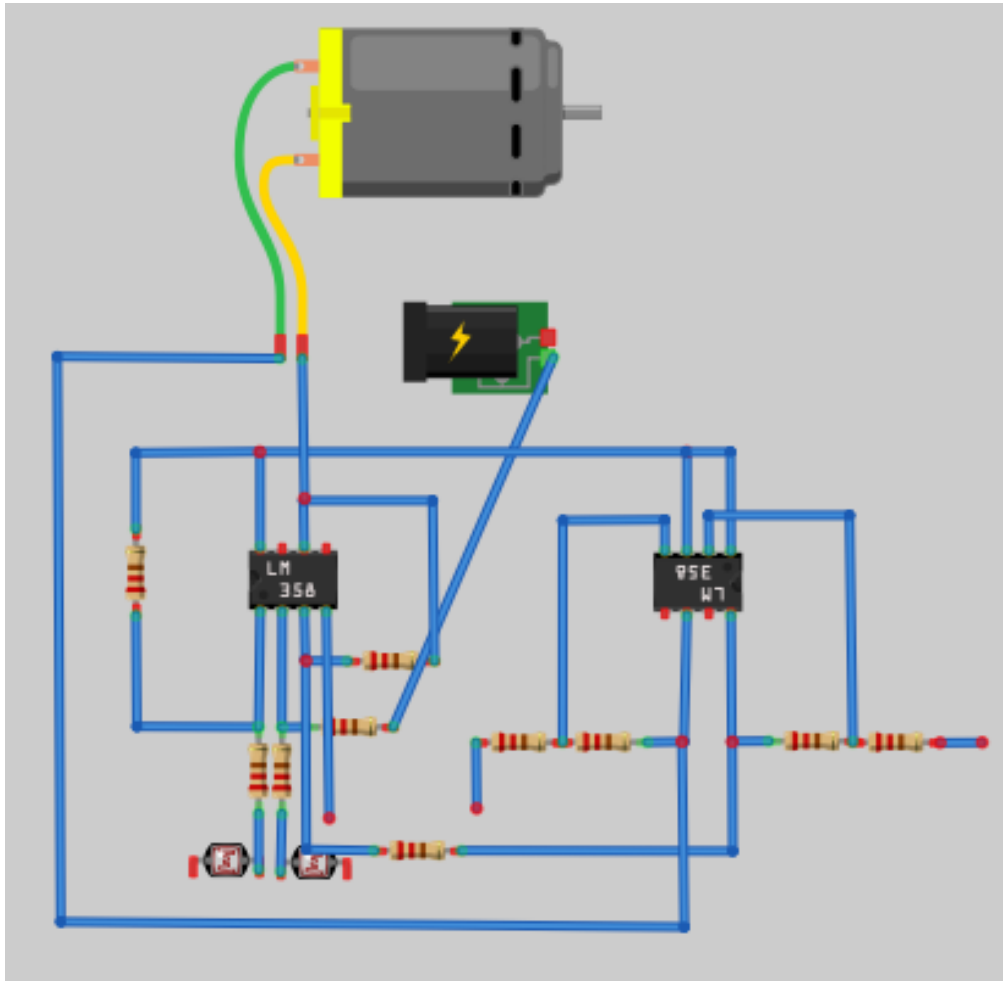


Abbildung 78: Elektrische Schaltung mittels Operationsverstärkern [10]

3.5.2.2 Vor- und Nachteile

Als Vorteil dieser Schaltung sind klar die Kosten zu nennen, die im Vergleich zur Verwendung eines Mikroprozessors um mehr als 50% niedriger sind.

Nachteilig und damit leider als Ausschlussgrund zu nennen ist, dass diese Schaltung in den bisherigen Versuchen einfach nicht funktioniert hat. Die Schmitt Trigger gaben keine negativen Signaldifferenzen aus wodurch der Motor nur in eine Richtung angesteuert wurde. Das ausgehende Signal war außerdem zu gering um den Motor in Bewegung zu versetzen.

3.5.3 Schaltung mittels Mikroprozessor

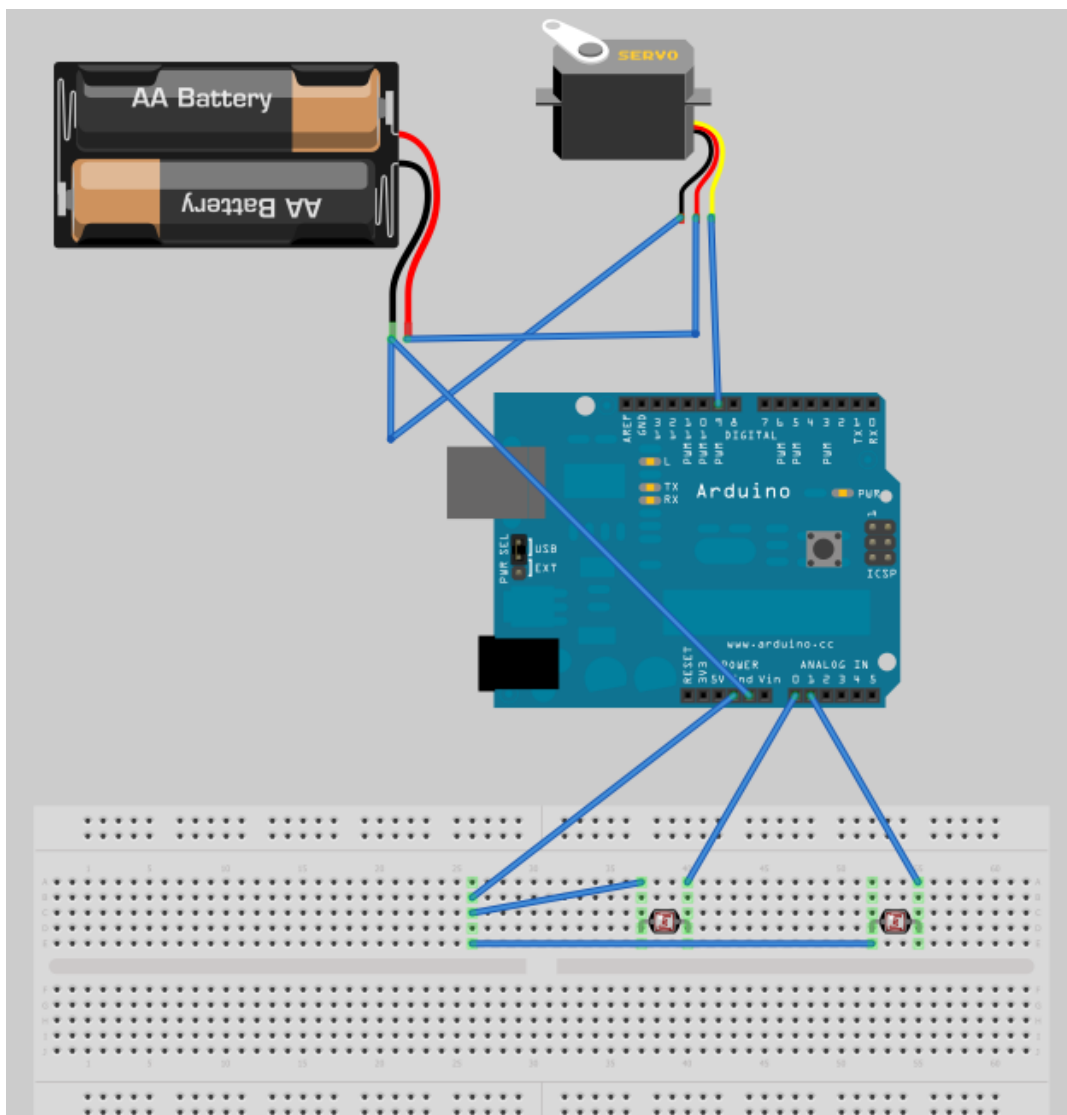


Abbildung 79: Elektrische Schaltung mittels Mikroprozessor [10]

3.5.3.1 Beschreibung

Die Schaltung in Abbildung 79 ist um ein vielfaches einfacher gehalten, da die zuvor von Operatoren und Widerständen übernommenen Aufgaben vom Arduino Mikroprozessor erfüllt werden. In diesem Fall werden von zwei Photodioden, die auch hier so anzubringen sind, dass im Falle einer normaler Stellung des Moduls zur Sonnenstrahlung ein gleich starkes Signal ausgehen, Signale in Abhängigkeit der Einstrahlungsintensität ausgegeben. Diese Signale gelangen in den Mikroprozessor und werden dort verglichen und verstärkt. Wird eine Signaldifferenz überschritten, so steuert der Mikroprozessor je nach negativem oder positivem Signal den Motor in die eine oder andere Richtung. Unterschreitet die Signaldifferenz einen Schwellwert kommen der Motor und so das Modul zum Stillstand. In

die dieser Schaltung befinden sich zusätzliche Dioden, welche jedoch nur als eine Art Ventil zu sehen sind, die Signalarückflüsse zum Mikroprozessor verhindern. Auch hier ist eine externe Stromquelle für den Betrieb bei unzureichender Energieversorgung über die Solarzellen vorhanden.

3.5.3.2 Vor- und Nachteile

Nachteilig ist der Preis, der mit etwa 30 € um 50% über dem der Schaltung aus Operationsverstärkern liegt.

Der momentane Vorteil liegt ganz einfach darin, dass dieses erprobte und gute entwickelte System funktioniert und bis auf den Preis unseren Anforderungen entspricht.

4 Ausblick

4.1 Vermarktung

Die Vermarktung des gebauten Systems steht noch in ihren Anfängen, doch kann ihr bei entsprechender Platzierung eine gute Chance zugeordnet werden. Systeme die von Ingenieurbüros extra an Häuser angebracht werden gibt es in nahezu endlos vielen Ausführungen. Eine gute Chance könnte das System daher haben, wenn es als billiges Selbstbausystem in Baumärkten angeboten wird. Dafür sollte anfangs der angestrebte Preis von 50 bis 100 € unbedingt gehalten werden. Eine zusätzliche Vermarktung im Rahmen einer Ingenieursleistung kann dennoch von der Firma angeboten werden.

Eine Vermarktung über den Vorteil in Heiz- und Beleuchtungskostenersparnis wird wahrscheinlich nicht sehr erfolgreich sein, da sie zu gering ist um als wirkliches Argument geltend gemacht zu werden. Zudem ist die hiesige Berechnung sehr wage und müsste erst mit Versuchen untermauert werden. Viel mehr sollte im Marketing auf die Vorteile zusätzlichen Sonnenlichtes hingewiesen werden. In diesem Bereich, nämlich in der Steigerung der Lebensqualität, liegt das stärkste und wahrscheinlich überzeugendste Argument mit dem dieses System beworben werden kann.

4.2 Optimierungspotential

4.2.1 Panel

Die Panele sind durch einen langen Optimierungsprozess gegangen und daher ist kein allzu großes konstruktives Potential mehr vorhanden. Eine Optimierung ist im Bereich der verwendeten Spiegelfolie möglich, da diese nur einen Reflexionsgrad von etwa 60% aufweist. Eine Folie mit höherem Reflexionsgrad würde den Wirkungsgrad der Panele erhöhen. Weiters könnte die Fläche der Panele entsprechend des endgültig zu erreichenden Neigungswinkels oder aber durch einfache Verlängerung des Längsbalkens vergrößert werden. Vom Baumaterial her wäre es von Vorteil die Aluminiumstreben durch Kunststoff zu ersetzen, da dies sowohl das Gewicht als auch die Kosten senken würde. Sinnvoll zur weiteren Senkung der Kosten wäre es die vielen Schraubverbindungen und Winkel soweit es geht durch Verschweißung und Verklebung zu ersetzen, da es Material und Bauzeit spart.

4.2.2 Fokussiervorrichtung

Auch bei der Fokussiervorrichtung wäre der Wechsel von Aluminium- zu Kunststoffstreben sinnvoll. Das Schirmelement und das zentrale Element müssen auf Grund der Belastungen jedoch weiterhin aus Metall oder hochfestem Kunststoff angefertigt werden. Der Wechsel zu Kunststoff wäre vor allem beim Schirmelement von Vorteil um es vergleichsweise günstig als



Spritzgussteil anfertigen zu lassen. Um Kosten zu sparen sollte außerdem versucht werden die Verbindung der Streben zu den Längsbalken und dem Schirmelement durch normale Bolzen statt durch Hülsenschraube zu konstruieren.

4.2.3 Halterung und Schwenkvorrichtung

Wegen fehlender Zeit ist dieser Teil nicht besonders gut durchdacht, eine weitere Beschäftigung ist also wünschenswert. Ansonsten sind Halterung und Schwenkvorrichtung in der aktuellen Ausführung so einfach, dass neben dem gewünschten Materialwechsel von Aluminium zu Kunststoff kaum weitere relevante Verbesserungsmöglichkeiten gegeben sind. Einzig könnte bei der Schwenkvorrichtung eine Verbesserung der Wirkung durch bessere Auslegung der Bolzen und Metallstreben erreicht werden.

4.2.4 Steuerung und Antrieb

Der Antrieb von Teilen des Systems ist noch vollkommen unklar, da bis jetzt nur eine Drehvorrichtung zur Ausrichtung nach dem Sonnenstand existiert. Ein Antrieb für Fokussierung und Schwenkung fehlt hingegen noch.

Die elektrische Steuerung ist in ersten Versuchsreihen leider nicht erfolgreich gewesen weshalb momentan die teure Version mittels Mikroprozessor geplant ist. Zur Kostenoptimierung wären weitere Anstrengungen zur Realisierung der Steuerung mittels Operationsverstärker wünschenswert. Das System könnte zudem auf Spezialfälle wie Regen, Bewölkung oder andere Wetterphänomene vorbereitet und die Möglichkeit einer externen Steuerung eingebaut werden.

5 Zusammenfassung

Im Zuge dieser Arbeit wurden zuerst die physikalischen Grundlagen der Lichtleitung besprochen. Dabei wurde vor allem auf den Welle–Teilchen-Dualismus des Lichtes eingegangen. Dieser besagt das Licht je nach Umstand die Eigenschaften einer Welle oder eines Teilchenstromes aufweist. Dafür entscheidend ist der Umstand ob der betrachtete Bereich im Vergleich zur Wellenlänge groß oder klein ist.

Ist er groß also im Bereich von cm oder mehr so tritt der Teilchencharakter des Lichtes hervor. So zum Beispiel im Falle der Reflexion von Licht an spiegelnden Oberflächen, bei der Lichtbrechung beim Übergang in ein optisch dichteres oder weniger dichtes Medium oder bei der Lichtablenkung in Prismen und Linsen.

Ist er jedoch klein also im Bereich von mm oder darunter wird der Wellencharakter des Lichtes dominant. Die Beugung von Licht in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge, die Interferenz von einzelnen Lichtwellen untereinander, die Auswirkungen der Kohärenz und die Polarisation von Licht sind hier zu nennen.

Mit diesen physikalischen Grundlagen und den allgemeinen Aufgabenstellungen an ein Tageslichtsystem (Sommerlicher Wärmeschutz, Blendschutz, Tageslichtversorgung, Außenbezug, Gestaltung, Vernetzung, Nutzerbedürfnisse und Wirtschaftlichkeit) wurde der Weg zum besseren Verständnis aktueller Systeme geschaffen. So wurde im nächsten Kapitel ein ausführlicher Stand der Technik von derartigen Systemen ausgearbeitet.

Zuerst wurden außen liegende Systeme also solche, die sich außerhalb des Fensters oder an der Fassade eines Hauses befinden diskutiert. Es handelt sich dabei um Rost- und Lamellensysteme in starrer oder beweglicher Ausführung von denen manche sogar hochgezogen werden können. Diese Systeme können entweder nur dem Lichtschutz dienen oder aber über verspiegelte Flächen verfügen und somit Licht in den Raum einleiten. Besonders hoch entwickelte Systeme weisen separat gesteuerte Teile auf von denen der untere für Lichtschutz und der obere für die Lichtversorgung zuständig ist. Weiters gibt es hier seltener Ausführungen wie Flächen mit kleinen Prismen, welche das Licht abhängig vom Einfallswinkel reflektieren oder umlenken oder Elemente die an Oberlichtern montiert werden um Licht an die Decke des Raumes zu lenken.

Der nächste Bereich sind innen liegende Systeme also solche, die im Raum montiert werden. Hier gibt es großteils ähnliche Lösungen wie bei den außen liegenden Systemen. Zusätzlich jedoch werden Folien genannt die das Licht am Eindringen in den Raum hindern und auf ein besonderes Beispiel, die Genius Lamelle, eingegangen. Dabei handelt es sich um eine spezielle Lichtlenkjalousie die durch ihre spezielle Ausführung zahlreiche Aufgaben erfüllen kann.

Dann werden einige wenige kombinierte Systeme besprochen von denen das wichtigste die Heliostate sind. Es handelt sich dabei um Spiegel oder Spiegelsysteme die dem Licht nachgeführt werden aber immer eine bestimmte Stelle mit Licht versorgen. Zusätzlich gibt es



noch das Lichtrohr und den Lichtschacht, zwei Systeme die über Lucken oder Kuppeln auf dem Dach Licht in die Innenräume eines Gebäudes einleiten wo sie dann in Tageslichtlampen enden und teilweise sogar äußere Erscheinungen wie Wolken abbilden können. Auch wird hier als bekanntes Beispiel das Spiegelprojekt von Viganella erwähnt, bei dem der Hauptplatz eines im Winter im Schatten eines Berges liegenden Dorfes über Spiegel mit Sonnenlicht versorgt wird.

Im letzten Abschnitt werden Systeme im Glas erwähnt, dabei handelt es sich um Einbauten wie etwa Spiegel, Kapillaren, Mikroraster, holographische Folien oder Prismen die in Isolierglas dafür sorgen, dass nur Licht aus einem flachen Einfallswinkel in den Raum durchgelassen wird. Ein spezielles Beispiel hierzu sind die schaltbaren Gläser welche im Glas eine Schicht aus flüssigen Kristallen oder ähnlichen Medien haben. Diese reagieren auf einen äußeren Einfluss wie etwa Wärme, Stromzufuhr oder anderes dadurch, dass sie ihre Lichtdurchlässigkeit ändern.

Zum Abschluss des Theoriekapitels wurde noch ein Rechenbeispiel ausgewertet wobei von drei typischen Einfamilienhäusern unterschiedlicher Größe in verschiedenen Lagen in Österreich über das Jahr hinweg Werte für die Größe der benötigten Spiegelfläche sowie den Umfang der Heizkosten- und CO₂-Emissionsreduktion ermittelt wurden. Dabei wurden Daten des deutschen Solarservers und klassische Werkstoffwerte verwendet. Auch wurde ein Vergleich von isolierten und nicht isolierten Häusern durchgeführt. Daraus wurde auch die zu erwartende Amortisierungszeit des Systems errechnet um so einen vernünftigen Modulpreis festzulegen.

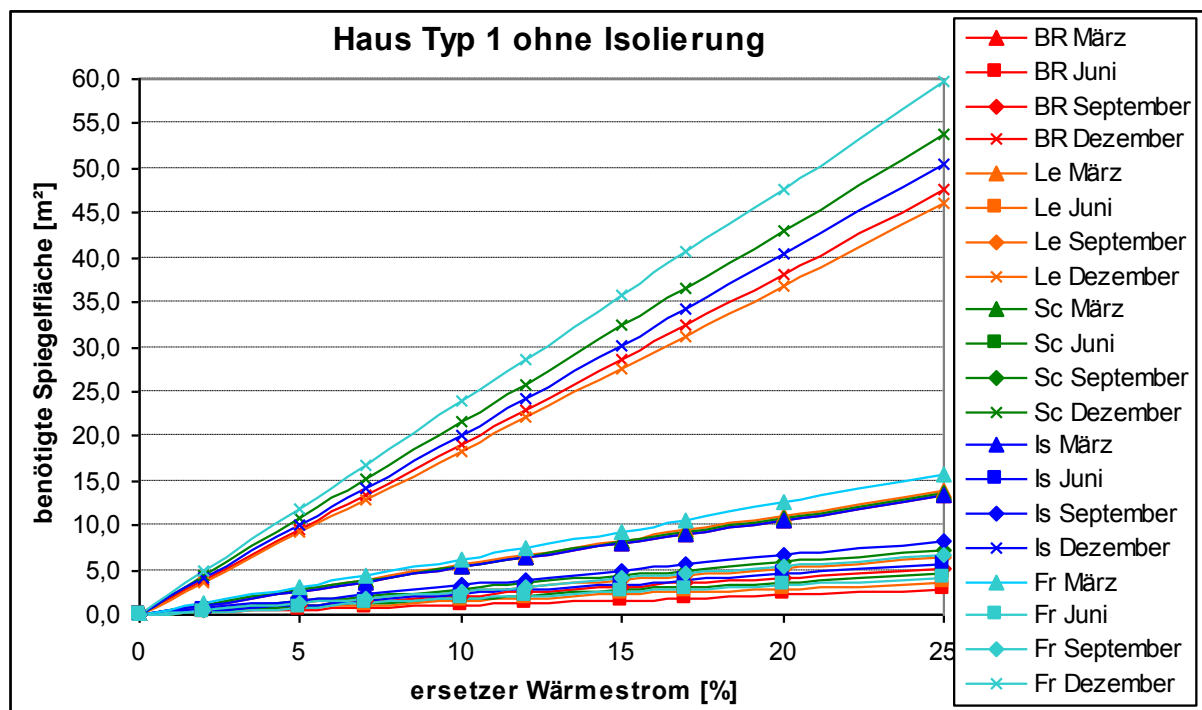


Abbildung 80: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung



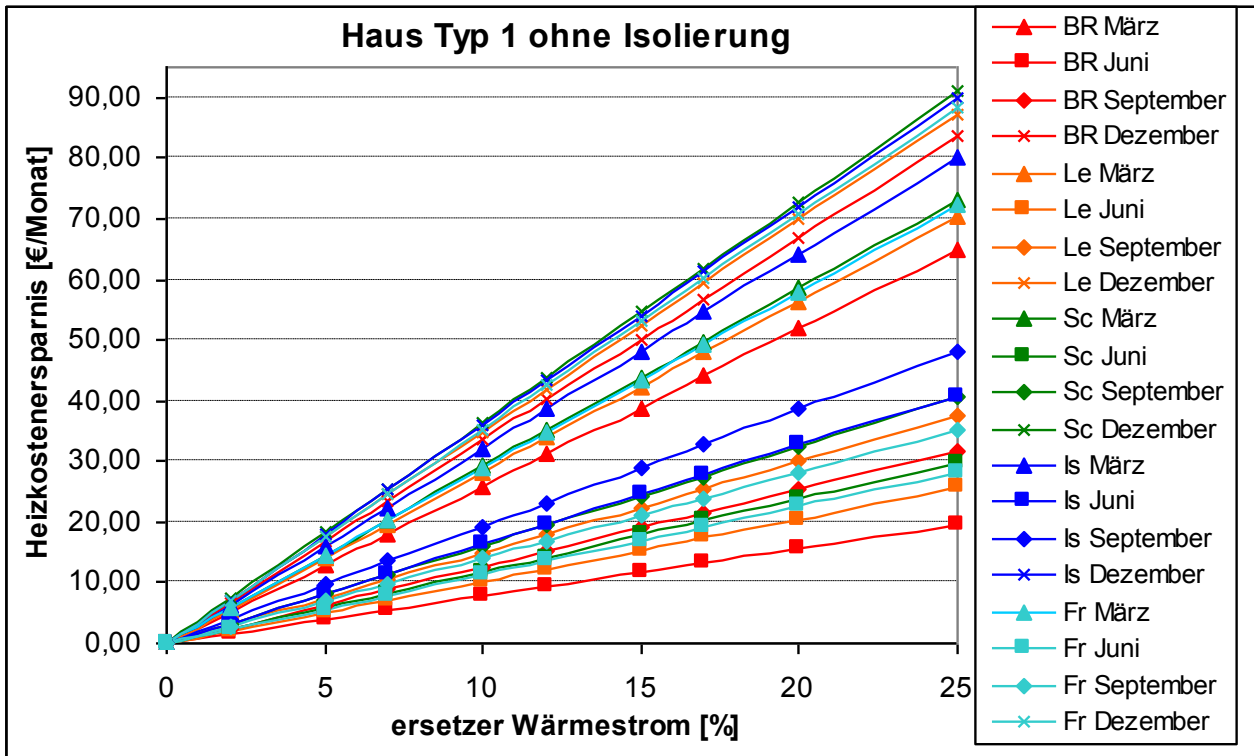


Abbildung 81: Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung

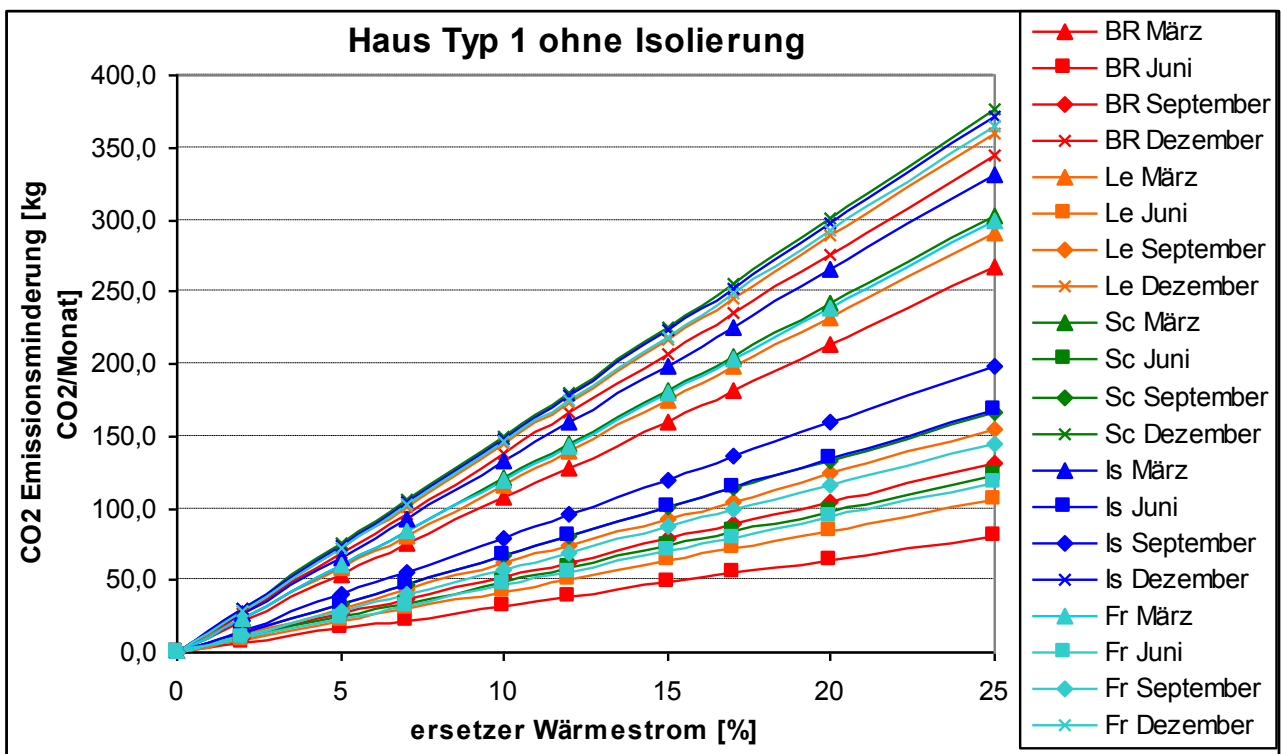


Abbildung 82: CO₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung

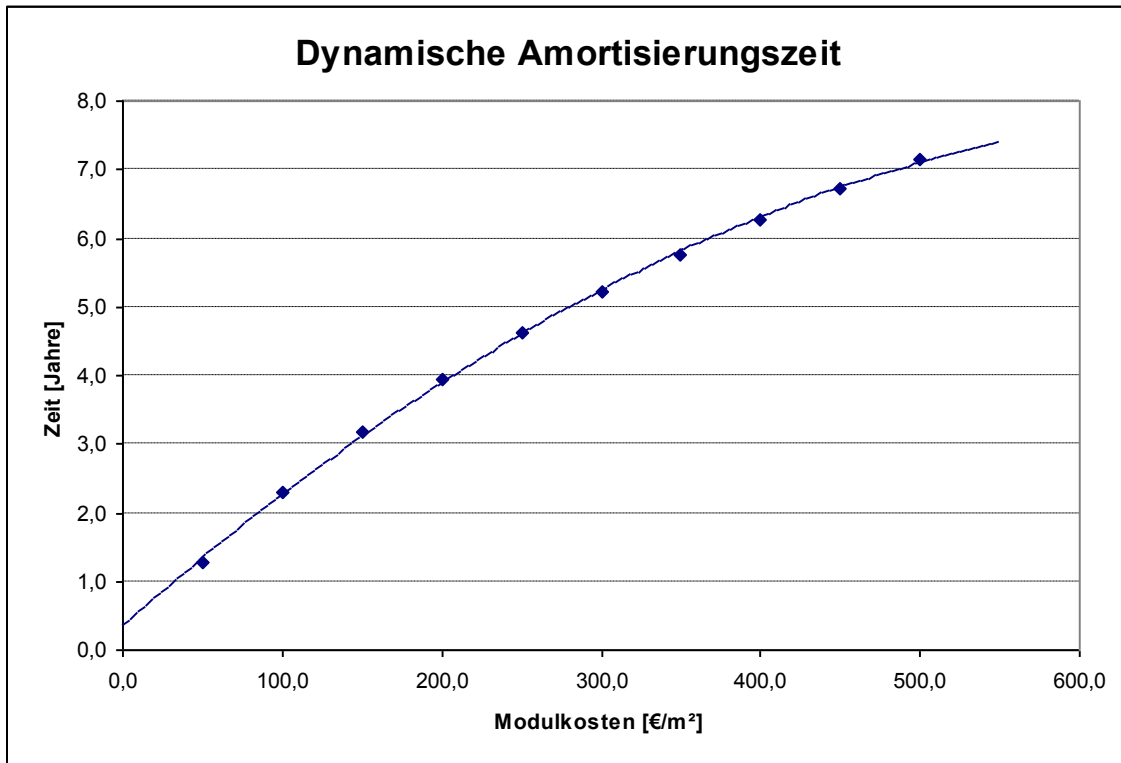


Abbildung 83: Dynamische Amortisierungszeit

Im darauf folgenden Kapitel wurde die Planung und Konstruktion des entwickelten Panels dargelegt begonnen bei den anfänglichen Ideen, die von einem Lichtbrunnen für Innenhöfe über zwei Systeme zur vermehrten Beleuchtung von Räumen mit Eternitwänden bis hin zu verschiedenen Heliostaten führten.

Nachdem die Entscheidung für die gewählte Idee begründet wurde begann die Dokumentation der konstruktiven Entwicklung des Systems. Diese Entwicklung wurde zweckmäßig in die Kapitel Panel, Fokussiereinrichtung, Halterung und Schwenkvorrichtung und Steuerung und Antrieb unterteilt.

Das Kapitel Panel legt dar wie von einem ersten Modell ausgehend 6 weitere Versionen entwickelt wurden. Anfangs stand dabei vor allem die möglichst vielseitige Funktionalität des Panels im Vordergrund, wurde dann aber von Kostenbetrachtungen abgelöst. Dies führte dazu, dass am eine ein vergleichsweise einfaches aber auch sehr kostengünstiges Panel entwickelt werden konnte.

Die Fokussiereinrichtung hat keinen derartig langen Entwicklungsprozess durchlebt, da ihre Konstruktion erst mit der Anfertigung eines Prototyps begann. Jedoch werden die Ideen für Umsetzungsmöglichkeiten von einfachen Seil- und Federsystemen über ein innovatives aber leider schlecht verwendbares Lassosystem sowie das Gewindesystem hin zum schlussendlich umgesetzten Schirmsystem erklärt. Das Schirmsystem arbeitet mit

Metallstreben die über die Verschiebung eines Schirmelements die Panele sowie die Flächen eines Regenschirmes neigen.

Das Kapitel der Halterung ist vergleichsweise kurz, da die Anforderungen hieran sehr klar waren und kaum innovativer Ideen bedurften. Bei der Schwenkvorrichtung hingegen setzte sich schon zu Beginn eine Idee aufbauend auf dem Schirmelement der Fokussierung durch. Mit Hilfe von in der Halterung eingebauten Bolzen sollten Panele unterschiedlich geneigt werden, was den gleichen Effekt wie eine Neigung des Systems erzielt jedoch mit dem gleichen Antrieb wie dem der Fokussierung bewerkstelligt werden kann.

Das Kapitel über Antrieb und Schaltung ist kurz gehalten, da es nur ein Auszug aus einer ebenfalls mit dem Projekt verbundenen Forschungsarbeit des Studenten Marco Micelli stammt, welches eventuell in Form einer Bakkalaureatsarbeit umgesetzt wird. Darin werden die Anforderungen an die Steuerung des Systems dargelegt, welches sich immer in Richtung der maximalen Sonneneinstrahlung ausrichten soll. Die beiden untersuchten Umsetzungsvarianten mit Hilfe eines Mikroprozessors bzw. mit Hilfe von Operationsverstärkern werden beschrieben und bewertet.

Zu guter Letzt werden noch die Aussichten des Projektes besprochen. Im Bereich der Vermarktung wird darauf hingewiesen, dass vor allem der Faktor der Wohnqualitätssteigerung und weniger Ersparniseffekte im der Vermarktung als Argumente angeführt werden sollten. Zudem erscheint es angesichts der zahlreichen Lösungen von Ingenieursfirmen als sinnvoll eine Version des Systems als Baumarktbausatz zu verkaufen um diese Marktlücke zu nutzen. Im Bereich der Optimierung sind vor allem Materialverbesserungen oder aber Maßnahmen zur weiteren Kostensenkung zu nennen. Ein Umstieg von Metall- auf Kunststoffstreben wäre sinnvoll, aber auch die Vereinfachung von Bauteilen in der Fokussierung und Halterung.



Abbildung 84: Fertiges System Vorderseite (links) und Rückseite (rechts)

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] Zinth, Wolfgang; Zinth, Ursula: Optik; 2. verbesserte Auflage; 2009; Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH
- [2] Fischer, Dr. – Ing. Udo: Tageslichttechnik; 1982; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller
- [3] VDI-Berichte 1871, Licht in all seinen Facetten, 7. Fachtagung Elektronik; 2005; VDI Verlag GmbH
- [4] <http://www.ecology.at/lichtblicke/systemliste.htm>; Stand 12.12.2010
- [5] <http://henusodeblog.blogspot.com/2006/12/viganella-bergdorf-berlistet-die-sonne.html>; Stand 15.12.2010
- [6] http://www.roeplaner.ch/buch/text/k_9_4.htm; Stand 15.12.2010
- [7] http://www.schweizer-fn.de/stoff/v2_start_stoff.htm; Stand 15.12.2010
- [8] <http://www.solarserver.de/service-tools/strahlungsdaten.html>; Stand 15.12.2010
- [9] Computer Programm: Österreich Navigator; freytag & berndt; ISBN 3-7079-9043-5
- [10] Forschungsergebnisse Marco Micelli im Rahmen des ICE Projektes Sonnenpanel (April bis September 2010)

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Daten der betrachteten Häuser [6]	40
Tabelle 2: Materialdaten [7]	41
Tabelle 3: Solartechnische Daten Bad Radkersburg [8].....	42
Tabelle 4: Solartechnische Daten Bad Ischgl [8].....	42
Tabelle 5: Solartechnische Daten Leoben [8]	42
Tabelle 6: Solartechnische Daten Schladming [8].....	43
Tabelle 7: Solartechnische Daten Freistadt [8]	43
Tabelle 8: Weitere technische Daten	43
Tabelle 9: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung	49
Tabelle 10: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I mit Isolierung.....	50
Tabelle 11: Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung	51
Tabelle 12: Heizkostensparnis Haus Typ I mit Isolierung	52
Tabelle 13: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung	53
Tabelle 14: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I mit Isolierung	54
Tabelle 15: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II ohne Isolierung.....	55
Tabelle 16: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II mit Isolierung.....	56
Tabelle 17: Heizkostensparnis Haus Typ II ohne Isolierung	57
Tabelle 18: Heizkostensparnis Haus Typ II mit Isolierung	58
Tabelle 19: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ II ohne Isolierung.....	59
Tabelle 20: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ II mit Isolierung	60
Tabelle 21: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III ohne Isolierung.....	61
Tabelle 22: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III mit Isolierung.....	62
Tabelle 23: Heizkostensparnis Haus Typ III ohne Isolierung	63
Tabelle 24: Heizkostensparnis Haus Typ III mit Isolierung	64
Tabelle 25: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ III ohne Isolierung	65
Tabelle 26: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ III mit Isolierung	66
Tabelle 27: Statische Amortisierungszeiten	69
Tabelle 28: Dynamische flächenspezifische Heizkostensparnis	70



Tabelle 29: Interration dynamische Amortisierungszeit.....	70
Tabelle 30: Winkelabhängig Änderungen des Panels.....	83
Tabelle 31: Gewählte Panelabmessungen	84
Tabelle 32: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 3	92
Tabelle 33: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 3	93
Tabelle 34: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 4	96
Tabelle 35: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 4	97
Tabelle 36: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 5	99
Tabelle 37: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 5	100
Tabelle 38: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 6	103
Tabelle 39: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktionen Panel Version 6	103

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Licht als Transversalwelle [1; Seite 10, Bild 2.4]	6
Abbildung 2: Spektren des Lichtes [1; Seite 1, Bild 1.1].....	7
Abbildung 3: Ableitung des Reflexionsgesetzes [1; Seite 73, Bild 3.4].....	9
Abbildung 4: Ableitung des Brechungsgesetzes [1; Seite 75, Bild 3.7]	10
Abbildung 5: Strahlablenkung in einem Prisma [1, Seite 77, Bild 3.10].....	11
Abbildung 6: Strahlengang bei einer Sammel- (a) und Zerstreuungslinse (b) [1, Seite 94, Bild 3.26].....	12
Abbildung 7: Beugung am Doppelspalt (a) Doppelspalt, (b) schematische Darstellung, (c) Intensitätsverlauf [1, Seite 155, Bild 4.19].....	14
Abbildung 8: Verschiedene Lichtwellen [1, Seite 173, Bild 4.33].....	16
Abbildung 9: Zirkular (rechts) und elliptisch (links) polarisiertes Licht [1, Seite 223, Bild 4.68 (a) bzw. Seite 225, Bild 4.69].....	17
Abbildung 10: Einige Jalousiesysteme [3, Seite 5, Tabelle 1]	22
Abbildung 11: Prinzip der nachgeführten Prismen [4]	25
Abbildung 12: Geniuslamelle [2; Seite 6, Bild 1]	32
Abbildung 13: Sonnenspiegelprojekt von Viganella [5]	35
Abbildung 14: System der feststehenden Spiegel [4].....	36
Abbildung 15: Kapillarsystem [4]	38
Abbildung 16: Übersicht der gewählten Orte [9]	41
Abbildung 17: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung	49
Abbildung 18: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ I mit Isolierung.....	50
Abbildung 19: Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung	51
Abbildung 20: Heizkostensparnis Haus Typ I mit Isolierung	52
Abbildung 21: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung	53
Abbildung 22: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I mit Isolierung.....	54
Abbildung 23: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ II ohne Isolierung	55
Abbildung 24: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ II mit Isolierung.....	56
Abbildung 25: Heizkostensparnis Haus Typ II ohne Isolierung	57
Abbildung 26: Heizkostensparnis Haus Typ II mit Isolierung	58



Abbildung 27: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ II ohne Isolierung	59
Abbildung 28: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ II mit Isolierung	60
Abbildung 29: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ III ohne Isolierung	61
Abbildung 30: Notwendige Spiegelflächen Haus Typ III mit Isolierung.....	62
Abbildung 31: Heizkostensparnis Haus Typ III ohne Isolierung	63
Abbildung 32: Heizkostensparnis Haus Typ III mit Isolierung	64
Abbildung 33: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ III ohne Isolierung	65
Abbildung 34: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ III mit Isolierung	66
Abbildung 35: Statische Amortisierungszeiten	69
Abbildung 36: Dynamische flächenspezifische Heizkostensparnis	70
Abbildung 37: Dynamische Amortisierungszeit.....	71
Abbildung 38: Lichtbrunnen	74
Abbildung 39: Leuchtleisten	75
Abbildung 40: Leuchtstreben	76
Abbildung 41: Rotierender Spiegel	77
Abbildung 42: Seerosenspiegel	77
Abbildung 43: Panel mit Leitschiene.....	78
Abbildung 44: Mosaikspiegel.....	78
Abbildung 45: Panelfokussierung	79
Abbildung 46: Auslegung Panel.....	80
Abbildung 47: Kantenlängen- und Spiegelflächenreduktion.....	84
Abbildung 48: Modell von oben und von vorne	85
Abbildung 49: Panel Version 1 Unterseite	87
Abbildung 50: Panel Version 1 Oberseite	88
Abbildung 51: Panel Version 2 Unterseite	90
Abbildung 52: Panel Version 2 Oberseite	90
Abbildung 53: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 3.....	92
Abbildung 54: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 3	93
Abbildung 55: Panel Version 3 Unterseite	94
Abbildung 56: Panel Version 3 Oberseite	94



Abbildung 57: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 4	96
Abbildung 58: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 4	97
Abbildung 59: Panel Version 4 Unterseite	98
Abbildung 60: Panel Version 4 Oberseite	98
Abbildung 61: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 5	100
Abbildung 62: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 5	101
Abbildung 63: Panel Version 5 Unterseite	101
Abbildung 64: Panel Version 5 Oberseite	102
Abbildung 65: Kostenverteilung nach Bauteilen Panel Version 6	104
Abbildung 66: Kosten- und Bauzeitverteilung nach Funktion Panel Version 6	104
Abbildung 67: Panel Version 6 Unterseite	105
Abbildung 68: Panel Version 6 Oberseite	105
Abbildung 69: Seilsystem	106
Abbildung 70: Lassosystem	107
Abbildung 71: Gewindesystem	108
Abbildung 72: Schirmsystem	109
Abbildung 73: Umsetzung des Schirmsystems	109
Abbildung 74: Schirmelement mit Gewindestangenfixierung	110
Abbildung 75: Schwenkbare Ausführung des Schirmelements	111
Abbildung 76: Vertikale Schwenkung	112
Abbildung 77: Ausführung der Halterung	112
Abbildung 78: Elektrische Schaltung mittels Operationsverstärkern [10]	114
Abbildung 79: Elektrische Schaltung mittels Mikroprozessor [10]	115
Abbildung 80: Benötigte Spiegelflächen Haus Typ I ohne Isolierung	120
Abbildung 81: Heizkostensparnis Haus Typ I ohne Isolierung	121
Abbildung 82: CO ₂ Emissionsminderung Haus Typ I ohne Isolierung	121
Abbildung 83: Dynamische Amortisierungszeit	122
Abbildung 84: Fertiges System Vorderseite (links) und Rückseite (rechts)	123