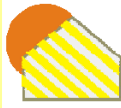




Universität
Siegen



Bauphysik & Solarenergie
Prof. Dr.-Ing. F.D. Heidt

SOMBRERO

Ein PC-Programm zur zeitabhängigen
Berechnung des Schattenwurfs von
Objekten auf eine beliebig orientierte Fläche

Benutzungshandbuch

Entwicklung:

Dipl.-Phys. A. Eicker
Dipl.-Phys. A. Niewianda,
Dipl.-Phys. J. Clemens

Kontaktadresse und Copyright:

Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie
Leitung: Prof. Dr.-Ing. F.D. Heidt
Universität Siegen
D-57068 Siegen

Gefördert durch:

AG SOLAR
NORDRHEIN-WESTFALEN



SOMBRERO

Benutzungshandbuch - Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Installation	5
2.1	Systemvoraussetzungen.....	5
2.2	Programm installieren	6
2.3	Programm deinstallieren	6
2.4	Starten des Programms	6
3	Dateneingabe.....	7
3.1	Koordinatensysteme und Winkel	7
3.2	Das Erdoberflächen-System (EOS)	8
3.3	Das u-v-System	8
3.4	Eingeben von Flächen	9
3.4.1	Zielflächen (Targets).....	9
3.4.2	Rechtecke	10
3.4.3	n-Ecke.....	11
3.4.4	Überhänge	11
3.5	Häuser generieren	12
3.5.1	Allgemeines	12
3.5.2	Editieren der Hausparameter.....	13
3.6	Bäume generieren	14
3.6.1	Allgemeines	14
3.6.2	Editieren der Baumparameter.....	14
3.7	Horizontverschattung	15
3.8	Projektbeschreibung	15
3.9	Geografische Lage.....	15
3.10	Bodenreflexion	16
3.11	Projekt öffnen und speichern.....	16
3.12	3D-Darstellung der Projektdaten	16
4	Online-Ausgabe	17
5	Schnelldurchlauf.....	18
5.1	Einstellung der Simulationsparameter	18
5.2	Ausgabedateien benennen	20
5.3	Simulation starten	21
6	Ausgabedaten	21
6.1	Mittelwert-Datei (*.mit)	21
6.2	Report-Datei (*.rep).....	22
6.3	VRML-Datei (*.wrl)	22
6.4	Export-Formate	22
6.4.1	Text.....	22
6.4.2	TRNSYS	23
6.4.3	SUNCODE.....	23
7	Simulationsliste	23
7.1	Simulationsliste erstellen	24
7.2	Simulationsliste abarbeiten	24
8	Beispiel für die Dateneingabe in SOMBRERO	25
8.1	Neues Projekt beginnen.....	25
8.2	Generieren der rechteckigen Kollektorfläche	26
8.3	Generieren des schattenwerfenden Hauses.....	27
8.4	Daten speichern	29

8.5	VRML - Darstellung der Projektdaten	30
8.6	Verschattungssimulation	30
9	Berechnung der Diffusstrahlung mit <i>SOMBRERO</i>	30
9.1	Motivation	30
9.2	Geometrisches Modell	31
9.3	Wichtungsfaktoren	32
9.4	Umsetzung mit dem Projektionsalgorithmus	34
10	Haftungsausschluss	35
11	Kontakt	35

1 Einleitung

Sowohl bei aktiver Sonnenenergienutzung (Brauchwasser-Erwärmung, Photovoltaik) als auch bei passiver Solararchitektur spielt die Verschattung bzw. Belichtung von Flächen eine große Rolle. *SOMBRERO* ermöglicht die quantitative Bestimmung der Verschattung von Kollektoren oder Fenstern durch Gebäude, Bäume, Überhänge oder Horizontprofile.

Nach einer Idee von J. A. Clarke wurde ein Algorithmus entwickelt, der es gestattet, beliebige, dreidimensionale Objekte, die durch ihre Oberflächen charakterisiert werden, in die Ebene eines Kollektors bzw. Fensters zu projizieren. Die Projektion wird als Funktion des Sonnenstands in Abhängigkeit von Jahrestag, Tageszeit, Zeitzone, geographischer Länge und Breite durchgeführt.

Dreidimensionale Objekte werden aus ihren Begrenzungsflächen aufgebaut. Objekte wie Häuser und Bäume sind vordefiniert und werden durch Parameter wie Höhe, Breite und Position im Ortsraum beschrieben. Einzelne Flächen werden durch ihre Eckpunkte im zweidimensionalen, körpereigenen Koordinatensystem beschrieben (im Falle von Rechtecken einfach durch Länge und Höhe) und durch Angabe von Azimut, Elevation und Aufpunkt im dreidimensionalen Raum positioniert.

Wir wünschen Ihnen bei der Anwendung des Programms ein angenehmes Arbeiten und viele wertvolle Erkenntnisse.

Ihr *SOMBRERO*-Team

Leitung: Prof. Dr.-Ing. F.D. Heidt
Autoren: Dipl.-Phys. A. Eicker
Dipl.-Phys. A. Niewianda
Dipl.-Phys. J. Clemens

2 Installation

2.1 Systemvoraussetzungen

Minimale Systemanforderungen

Die minimalen Systemanforderungen für die Arbeit mit *SOMBRERO* sind:

- PC, ab 300 MHz (empfohlen: mind. 1000 MHz);
- Festplatte mit 5 MB verfügbar;
- Windows XP, 2000, Me, NT oder 98;
- Grafikauflösung mit mind. 1024 x 768 Bildpunkten.

2.2 Programm installieren

Zur Installation des Programms gehen Sie wie folgt vor:

Installation von CD-ROM:

- Legen Sie die *SOMBRERO* -CD in ihr CD- oder DVD-Laufwerk;
- Öffnen Sie im "Explorer" oder "Arbeitsplatz" das CD- bzw. DVD-Laufwerk;
- Starten Sie das Installationsprogramm "*SOMBRERO_Setup*";
- Folgen Sie den Anweisungen des Installationsprogramms.

Installation des Downloads aus dem Internet:

- Starten Sie das Installationsprogramm "*Sombrero_Setup*";
- Folgen Sie den Anweisungen des Installationsprogramms.

2.3 Programm deinstallieren

Zur Deinstallation des Programms gehen Sie wie folgt vor.

- Öffnen Sie die Systemsteuerung (Start - Einstellungen - Systemsteuerung);
- Öffnen Sie den Ordner "Software";
- Wählen Sie in der Liste "*SOMBRERO*" aus und klicken sie auf "Entfernen";
- Folgen Sie den Anweisungen des Deinstallationsprogramms.

2.4 Starten des Programms

Sie starten *SOMBRERO* wie jede andere Windows-Applikation. Das Programm kann sowohl mit der Maus, als auch mit der Tastatur bedient werden. Nur Text- und Zahleneingaben werden verlangt. Die Titelseite verschwindet, nachdem Sie diese durch einen Klick auf "OK" (oder durch Tastendruck) bestätigt haben.

3 Dateneingabe

Nach dem Start von SOMBRERO befindet sich der Nutzer im Programmteil "Dateneingabe". Dieser dient der komfortablen Erstellung einer Beschreibung der geometrischen Randbedingungen für eine Schattenwurfsimulation. Flächen können als beliebige n-Ecke definiert werden. Bei Zielflächen (Targets) besteht die Möglichkeit, an beliebigen Seiten Überhänge zu generieren. **Es muss mindestens eine Targetfläche definiert werden.** Außerdem können als schattenwerfende Objekte auch Normhäuser und Bäume eingegeben werden. Häuser haben eine rechteckige Grundfläche und ein symmetrisches Giebeldach. Bäume können durch Angabe von Höhe, Durchmesser des Stammes und Durchmesser der Baumkrone definiert werden. Hierbei kann optional durch Angabe eines monatlichen Verlaufs (Schedule) die unterschiedliche Belaubung des Baumes innerhalb eines Jahres berücksichtigt werden.

Die Gesamtzahl der Flächen ist auf 500 beschränkt, wobei für die Generierung eines Normhauses oder eines Baumes 7 Flächen benötigt werden.

3.1 Koordinatensysteme und Winkel

Zur Definition von Flächen werden zwei Koordinatensysteme und zwei Winkel benötigt. Deren Beschreibung wird anhand des folgenden Beispiels erläutert:

Zwei Fenster in der SO-Fassade eines Hauses werden durch ein benachbartes Haus verschattet. Die Beschattung soll untersucht werden.

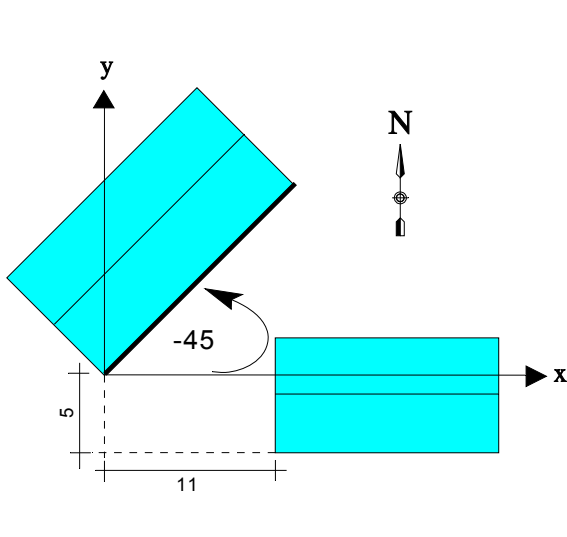


Abb. 1: Lageplan (Aufsicht) der beiden Häuser.

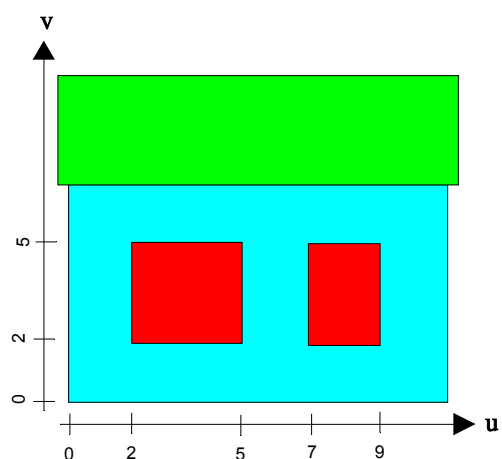


Abb. 2: Ansicht der beschatteten Hauswand.

Aus dem vorliegenden Lageplan (Aufsicht) kann die Größe und Ausrichtung der Häuser und deren Lage zueinander entnommen werden (Abbildung 1). Die beschattete Hauswand mit den beiden Fenstern ist fett eingezeichnet. Die Größe und Lage der beiden Fenster ist dem

entsprechenden Aufriss zu entnehmen (Abbildung 2). Diese beiden Pläne sind hier schematisch dargestellt, wobei die verwendeten Koordinatensysteme bereits eingezeichnet sind. Der Benutzer ist in der Wahl des Ursprungs frei und kann diesen so wählen, dass eine Beschreibung der Geometrie möglichst einfach wird.

3.2 Das Erdoberflächen-System (EOS)

Zunächst wird ein ortsfestes, rechtshändiges, kartesisches Koordinatensystem mit den Achsen x , y und z zur Beschreibung des 3-dimensionalen Raumes eingeführt. In diesem **Erdoberflächensystem (EOS)** ist die y -Achse nach Norden gerichtet und die z -Achse zum Himmel. Die x -Achse zeigt nach Osten. Der Ursprung des Systems kann vom Benutzer festgelegt werden. Es ist sinnvoll, den Ursprung in eine Ecke eines Objektes zu legen und $z = 0$ als Oberkante der Bodenplatte zu wählen, so dass z die Höhe über der Bodenplatte angibt. Unser System ist in den Lageplan eingezeichnet. Die z -Achse zeigt nach oben und $z = 0$ liegt in Höhe der Bodenplatte.

3.3 Das u-v-System

Zur Beschreibung von Flächen wird ein 2-dimensionales, kartesisches Koordinatensystem mit den Achsen u und v eingeführt. **Das u-v-System ist ein körpereigenes Koordinatensystem.** Es bildet eine Ebene, die die zu beschreibende Oberfläche enthält. Alle in dieser Ebene gelegenen Polygone werden durch die Angabe der Koordinaten (u,v) ihrer Eckpunkte definiert.

Um die beiden Fenster (Targets) zu beschreiben, wird zunächst die **Targetebene** durch ein körperfestes $u-v$ -Koordinatensystem definiert. Die Targetebene in Abbildung 1 ist eine Südostwand und der Ursprung des $u-v$ -Systems wird sinnvollerweise in die untere linke Ecke gesetzt (Abbildung 2). Nun kann die Lage und Geometrie der beiden Fenster durch Angabe der Koordinaten (u,v) ihrer Eckpunkte leicht definiert werden.

Abschließend muss noch die Position und Ausrichtung der Targetebene im Erdoberflächen-System (EOS) festgelegt werden. Die Ausrichtung einer Ebene wird durch ihren Azimut- und ihren Elevationswinkel bestimmt. Der **Azimut** gibt die Ausrichtung des Normalenvektors der Targetebene in der $x-y$ -Ebene des EOS an. Ein Azimut von 0° bedeutet, dass der Flächennormalenvektor nach Norden zeigt. Der Azimut kann zwischen 0° und 360° liegen, und es wird im Uhrzeigersinn gezählt (Abbildung 3).

Die **Elevation** gibt die Neigung der Ebene gegen die $x-z$ -Ebene des EOS an. Eine Elevation von 0° bedeutet eine senkrechte "Wand". Die Elevation kann zwischen -90° und 90° liegen, wobei positive Winkel einen aufwärts und negative Winkel einen abwärts gerichteten Normalenvektor bedeuten (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5).

Die Position der Targetebene im 3-dimensionalen EOS wird durch die Wahl des Ursprungs (u_0, v_0) des $u-v$ -Systems im $x-y-z$ -System festgelegt.

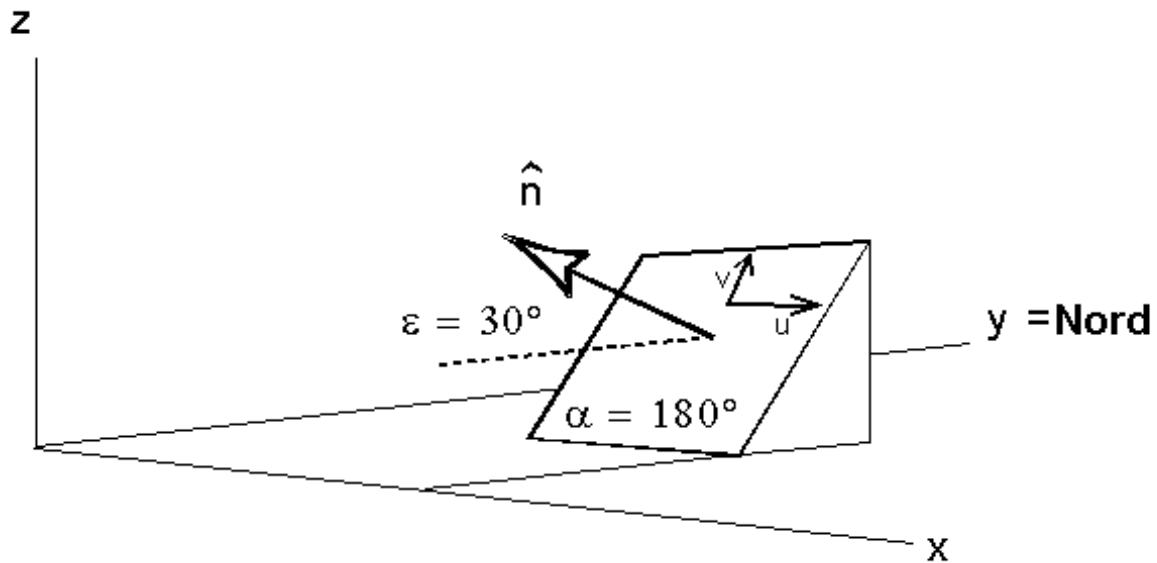


Abb. 3: Diese Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen EOS und u-v-System. Außerdem sind die Winkel α (Azimut) und ε (Elevation) zur Beschreibung der relativen Orientierung der beiden Systeme eingezeichnet. Die Lage einer Fläche im EOS wird durch einen Aufpunkt (u_0, v_0) und die Richtung des Normalenvektors \hat{n} beschrieben. Der Normalenvektor zeigt von der Fläche nach außen, d.h. z.B. von einer Fassade in Richtung der Umgebung. Der Aufpunkt stellt die linke, untere Ecke der Fläche dar, wenn der Betrachter von außen auf die Fassade blickt.

3.4 Eingeben von Flächen

3.4.1 Zielflächen (Targets)

Um eine Berechnung mit *SOMBRERO* starten zu können, muss mindestens eine Zielfläche (ein Target) vorhanden sein. Existieren mehrere Targets und liegen diese alle in der gleichen Ebene, so berechnet *SOMBRERO* die mittlere Verschattung aller Flächen. (Das Programm bietet aber auch die Möglichkeit, für jedes Target eine eigene Simulation durchzuführen (siehe hierzu Abschnitt 7 - Simulationsliste). In diesem Fall brauchen die verschiedenen Targets nicht unbedingt in einer Ebene zu liegen). Die Targetebene(n) wird (werden) durch ein körperfestes, kartesisches u-v-Koordinatensystem beschrieben, so dass durch Angabe der Koordinaten (u,v) ein Punkt in der jeweiligen Targetebene festgelegt wird. Sie können Rechtecke (Abschnitt 3.4.2) oder n-Ecke (Abschnitt 3.4.3) als Targetflächen definieren, indem Sie im entsprechenden Eingabedialog der Fläche die Checkbox "Targetfläche" aktivieren.

Bei der Eingabe der Targetflächen ist wichtig, dass diese so eingegeben werden, als ob der Betrachter von außen auf die Fläche blickt (so wie in Abbildung 3). So wird die Fläche üblicherweise auch im Aufrissplan dargestellt. Danach wird die Position und Ausrichtung dieser Targetebene im raumfesten, 3-dimensionalen x-y-z-System festgelegt.

An anderen Flächen anliegende Targetflächen sollten etwas (≈ 1 cm) abgesetzt werden.

Abschließend können noch Überhänge mit beliebiger Ausrichtung an beliebigen Positionen der Targetebene(n) generiert werden, die bei Verschiebungen oder Drehungen der Targetebene(n) mittransformiert werden.

3.4.2 Rechtecke

Editieren von Rechtecken im u-v-System

Um ein neues Rechteck zu erzeugen, klicken Sie in der Dateneingabe die Schaltfläche "Objekt hinzufügen" und wählen Sie anschließend "Rechteck". Im sich öffnenden Dialog geben Sie zunächst die Bezeichnung der Fläche an. Sie können hier einen beliebigen Namen mit bis zu 80 Zeichen verwenden. **Die einzige Beschränkung besteht darin, dass der Name nicht mit 'Baum', 'Stamm', 'Frontseite', 'Target', 'Horizont' oder 'Standort' beginnen darf**, da es sich bei diesen Begriffen um reservierte Bezeichnungen handelt.

Geben Sie die Kantenlängen in u- und in v-Richtung und die Koordinaten des unteren, linken Eckpunktes ein.

Die Lage der Rechtecke im x-y-z-System

Hier machen Sie die nötigen Angaben für die Position und Ausrichtung der Objektebene im 3-dimensionalen x-y-z-System. Im Einzelnen werden folgende Angaben benötigt:

- **Azimut der Fläche:**

Hier können Sie einen Winkel zwischen 0° und 360° eingeben. Dabei bedeutet 0° eine Nordfläche und es wird im Uhrzeigersinn gezählt, d.h. 90° ist eine Ostfläche, 180° eine Südfläche und 270° eine Westfläche (Abbildung 3).

- **Elevation der Fläche:**

Hier können Sie einen beliebigen Winkel zwischen -90° und 90° eingeben, wobei der Winkel zwischen der Flächennormalen und der Horizontale gemeint ist. Ist der Normalenvektor nach oben geneigt, wird der Winkel positiv gezählt; bei nach unten geneigtem Normalenvektor wird der Winkel negativ gezählt. D.h. 0° bedeutet eine senkrechte Fläche, 90° eine waagerechte Fläche mit Normalenvektor nach oben und -90° eine waagerechte Fläche mit Normalenvektor nach unten (siehe auch Abbildungen 4 und 5).

Anmerkung: Für einen horizontalen Überhang ist es unerheblich, ob die Elevation $+90^\circ$ oder -90° beträgt.

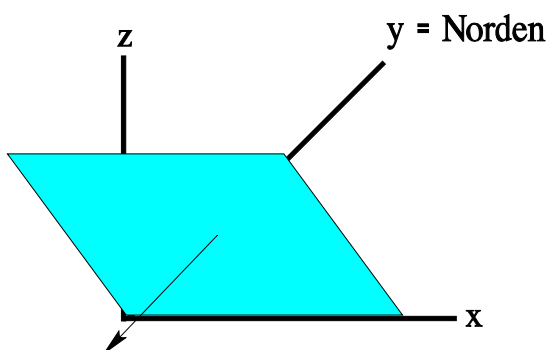


Abb. 4: Der Normalenvektor ist nach unten geneigt. Der Elevationswinkel ist negativ.

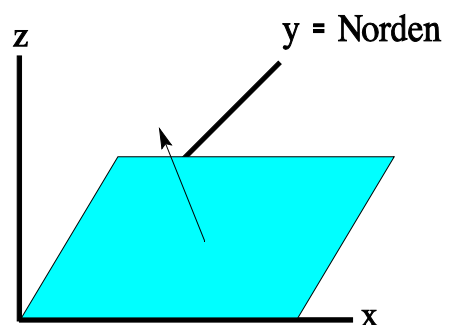


Abb. 5: Der Normalenvektor ist nach oben geneigt. Der Elevationswinkel ist positiv.

- **Position des Aufpunktes:**

Hier legen Sie fest, an welcher Position (x,y,z) im 3-dimensionalen Raum sich der Aufpunkt (u_0, v_0) der Fläche befinden soll.

Wurden alle Eingaben für das Rechteck korrekt vorgenommen, so klicken Sie die Schaltfläche "OK" um das neu definierte Rechteck in die Objektliste zu übernehmen.

3.4.3 n-Ecke

Editieren von n-Ecken im u-v-System

Klicken Sie "Objekt hinzufügen" und danach "n-Eck" um ein neues n-Eck zu definieren. Legen Sie zunächst einen Namen für die Fläche fest, wobei die selben Beschränkungen wie in Abschnitt 3.4.2 gelten. Sobald Sie die Anzahl der Eckpunkte eingegeben haben, wird die Schaltfläche "Eckpunkte im u-v-System festlegen" aktiv. Hier können Sie nun die Lage jedes Eckpunktes explizit angeben.

Anmerkung: Ist das einzugebende n-Eck ein Target, so müssen zur richtigen Ausrichtung der Fläche die Eckpunkte entgegen dem Uhrzeigersinn eingegeben werden. (Blickrichtung von außen auf die Zielfläche.)

Die Lage der n-Ecke im x-y-z-System

Die Transformation in das EOS geht analog zu Abschnitt 3.4.2.

3.4.4 Überhänge

Nachdem Sie eine Fläche als Target definiert haben, wird im Dialog "Objekt hinzufügen" die Schaltfläche "Überhang" aktiv gesetzt. Hiermit ist eine Fläche gemeint, die an mindestens einem Punkt an der Targetebene "aufgehängt" ist, d.h. mindestens ein Eckpunkt der Fläche liegt in der Targetebene. Überhänge sind keine Targets, sondern schattenwerfende Objekte. Als Beispiele hierfür sind ein Balkon über einem Fenster oder ein seitlicher Mauervorsprung neben einem Fenster anzuführen, wobei das Fenster das Target und die Hauswand die Targetebene sind.

Editieren von Überhängen im u-v-System

Dieser Teil ist völlig identisch mit Abschnitt 3.4.3. Zuerst legen Sie einen Namen für den Überhang fest, anschließend definieren Sie die Fläche durch die Eckpunkte im u-v-System. Dieses u-v-System ist unabhängig vom u-v-System der Targetebene, es dient ausschließlich der Festlegung der Geometrie des Überhanges.

Wichtig: Der erste Eckpunkt muss ein Aufhängepunkt des Überhanges sein, d.h. er muss in der entsprechenden Targetebene liegen.

Position und Ausrichtung der Überhänge

Hier legen Sie die Position und Ausrichtung des Überhanges relativ zur vorher definierten Targetebene fest. Daraus wird dann die Lage der Eckpunkte im 3-dimensionalen x-y-z-System berechnet. Anfangs liegt die neudefinierte Fläche in der Targetebene. Durch Angabe eines Azimut- und Elevationswinkels kann der Überhang nun aus der Targetebene gedreht und gekippt werden.

- **Seitlicher Anbau (Wingwall):**

Der Überhang wird um einen relativen Azimutwinkel zwischen 0° und 180° um die v -Achse aus der Targetebene gedreht. Anschließend wird der Aufhängepunkt ($u = 0, v = 0$) an die gewünschte Position in der Targetebene verschoben (Abbildung 6 bis Abbildung 8).

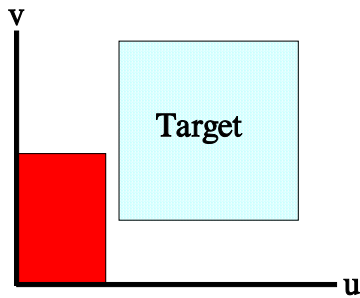


Abb. 6: Die Geometrie der Fläche wird im u - v -System festgelegt.

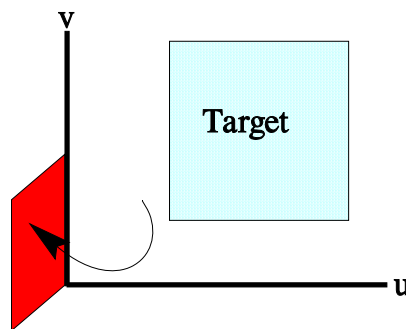


Abb. 7: Die Fläche wird um 90° um die v -Achse aus der Targetebene gedreht.

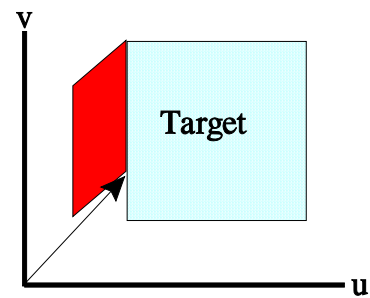


Abb. 8: Der Aufhängepunkt wird in die Targetebene verschoben.

- **Überhang:**

Der Überhang wird um einen relativen Elevationswinkel zwischen 0° und -180° um die u -Achse aus der Targetebene gekippt. Der Winkel wird hier negativ gezählt, da der Normalenvektor der Fläche nach unten geneigt wird (vgl. Abbildung 4). Anschließend wird der Aufhängepunkt ($u = 0, v = 0$) an die gewünschte Position in der Targetebene verschoben (Abbildung 9 bis Abbildung 11).

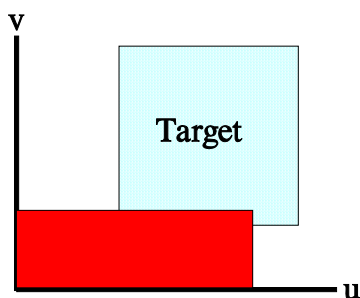


Abb. 9: Die Geometrie der Fläche wird im u - v -System festgelegt.

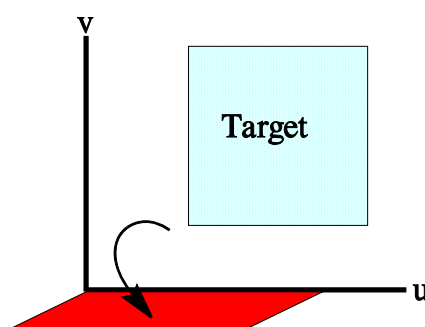


Abb. 10: Die Fläche wird um -90° um die u -Achse aus der Targetebene gekippt.

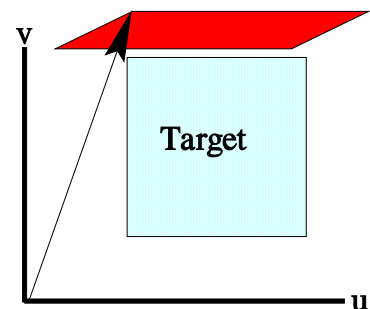


Abb. 11: Der Aufhängepunkt wird in die Targetebene verschoben.

3.5 Häuser generieren

3.5.1 Allgemeines

Mit den Schaltflächen "Objekt hinzufügen" und "Haus" können Sie ein einfaches Haus mit rechteckiger Grundfläche und einem Giebeldach generieren. Das Haus wird durch 7 Flächen

(4 Seitenwände, 2 Dachflächen, 1 Giebelfläche) dargestellt. Zuerst werden die Abmessungen des Hauses festgelegt und anschließend die Lage im x-y-z-System bestimmt. Häuser können in SOMBRERO nicht als Targets, sondern ausschließlich als schattenwerfende Objekte definiert werden.

3.5.2 Editieren der Hausparameter

Die verschiedenen Parameter werden durch die folgende Abbildung 12 verdeutlicht:

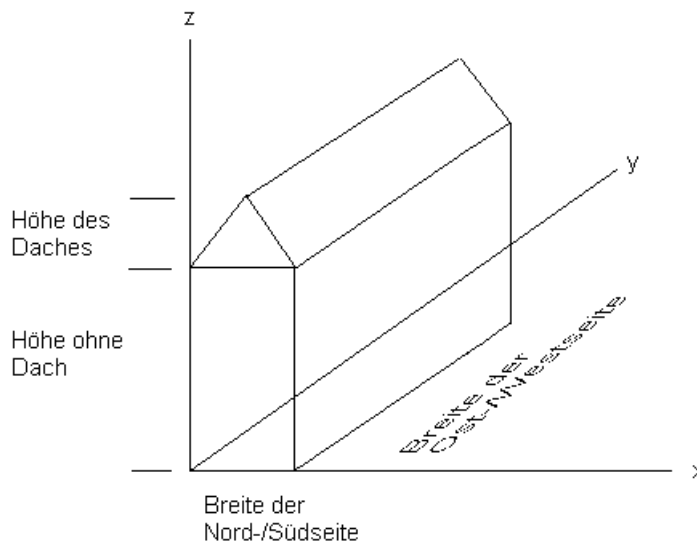


Abb. 12: Lage des Hauses in Ursprungsposition und Hausparameter

Folgende Parameter müssen eingegeben werden:

- **Breite der Ost-/Westseite:**

Die Länge der Grundfläche parallel zum First.

- **Breite der Nord-/Südseite:**

Die Länge der Grundfläche senkrecht zum First.

- **Höhe ohne Dach:**

Die Höhe der (senkrechten) Seitenwände.

- **Höhe des Daches:**

Die Höhe des Firsts über den Seitenwänden.

- **Drehung des Hauses im Uhrzeigersinn:**

Der First des Hauses liegt anfangs in Nord-Süd Richtung (y-Richtung) und kann hier um einen beliebigen Winkel im Uhrzeigersinn um die z-Achse gedreht werden.

- **Verschiebungsvektor:**

Das Haus befindet sich vor der Drehung im 1. Quadranten mit positiven Koordinaten x und y . Die Bodenfläche liegt bei $z = 0$. Sie können das Haus nun nach der Drehung durch Angabe eines Verschiebungsvektors an die gewünschte Position im x - y - z -System verschieben.

Anmerkung: Die Transformationen im x - y - z -System sind nicht kommutativ. Erst wird (um die z -Achse) gedreht und dann verschoben.

Durch Klicken des "OK"-Buttons wird der Eingabedialog für das Haus verlassen und die 7 Flächen des Hauses werden in den Datensatz übernommen. Näheres zur Eingabe eines Hauses erläutert das Beispiel in Kapitel 8.

3.6 Bäume generieren

3.6.1 Allgemeines

Analog zu vordefinierten Häusern können auch Laubbäume generiert werden. Diese bestehen in SOMBRERO aus einem rechteckigen Stamm und einer kugelförmigen Krone.

Der **rechteckige Stamm** wird durch 3 Seitenflächen dargestellt. Der Schatten der vierten Seitenfläche wird in jedem Fall durch den Schatten der drei übrigen überdeckt, so dass auf die vierte Fläche verzichtet werden kann.

Die **kugelförmige Krone** wird durch drei senkrecht stehende und ein waagrecht liegendes Achteck dargestellt. Die senkrechten Achtecke sind jeweils um 60° gegeneinander gedreht und jeweils zwei schneiden sich in einer Linie. Das waagrechte Achteck schneidet die Übrigen in der Mitte. Insgesamt werden somit 7 Flächen zur Darstellung des Baumes benötigt.

Um die **variable Belaubungsdichte** unterschiedlicher Bäume im Verlauf eines Jahres zu berücksichtigen, kann für jeden Monat ein Wichtungsfaktor zwischen 0 % und 100 % für den Schattenwurf des Baumes eingegeben werden. Ein Faktor von 60 % bewirkt also, dass zum Beispiel die Verschattung eines zur Hälfte vom Schatten des Baumes verdeckten Targets mit 30% anstatt 50% angegeben wird.

3.6.2 Editieren der Baumparameter

Im Eingabedialog des Baumes werden folgende Parameter festgelegt:

- **Höhe des Stammes:**

Die Länge des Stammes gemessen vom Fußpunkt bis zum unteren Rand der Baumkrone.

- **Durchmesser des Stammes:**

Die Breite der 3 senkrechten Rechtecke, die den Stamm darstellen.

- **Durchmesser der Baumkrone**

Der Abstand zweier gegenüberliegender Seiten der Achtecke, mit denen die Baumkrone dargestellt wird.

- **Belaubung**

Hier können Wichtungsfaktoren der Belaubung für die einzelnen Monate eingestellt werden. Um bei mehreren Bäumen mit derselben Belaubung nicht jedes Mal alle Belaubungsdaten neu einzugeben, können die Daten in eine externe Datei gespeichert, bzw. aus einer externen Datei eingelesen werden.

Nachdem alle Parameter korrekt eingegeben wurden, verlassen Sie die Baumeingabe durch Klicken des "OK"-Buttons. Der generierte Baum wird in den Datensatz übernommen.

3.7 Horizontverschattung

In SOMBRERO besteht die Möglichkeit, eine azimutabhängige Horizontverschattung bei den Beschattungsberechnungen zu berücksichtigen. Hierzu wird ein Azimutintervall mit der dazugehörigen Horizontelelevation festgelegt. Liegt der Azimutwinkel der Sonne im vorgegebenen Intervall, und ist die Sonnenelevation kleiner oder gleich der Horizontelelevation, so steht die Sonne hinter dem Horizont und die Targetfläche ist vollständig beschattet. Im Reportfile "*.rep" (siehe Abschnitt 6.2) wird dieser Fall durch $GSC_B = -2$ gekennzeichnet.

Um eine Horizontverschattung festzulegen oder eine bestehende zu ändern, wählen Sie in der Dateneingabe den Punkt "Horizont". Hier können Sie tabellarisch bis zu 25 Azimutintervalle mit der zugehörigen Horizontelelevation festlegen.

3.8 Projektbeschreibung

In dieses Textfeld können beliebig viele Kommentarzeilen eingegeben werden, welche zum Beispiel der Erläuterung des Projekts dienen. Diese Kommentarzeilen werden an den Anfang des Datenfiles geschrieben und durch einen "*" als erstes Zeichen gekennzeichnet. Der "*" wird von SOMBRERO automatisch an den Anfang der Kommentarzeile gesetzt. Diese Zeilen werden von SOMBRERO bei der Berechnung ignoriert.

3.9 Geografische Lage

Für die Berechnung des Sonnenstandes ist die Angabe von Längengrad, Breitengrad und Zeitzone des Standorts erforderlich:

- **Breitengrad:**

Der Breitengrad ist positiv für die Nordhalbkugel (0° bis 90°) und negativ für die Südhalbkugel (0° bis -90°).

- **Längengrad:**

Westlich Länge: 0 bis 180°
Östlich Länge: 0 bis -180°

- **Zeitzone westlich von Greenwich:**

Geben Sie hier die Abweichung ihrer Zeitzone von der Greenwich-Zeit in Stunden an. Ein positiver Wert entspricht dabei einem Ort westlicher Länge, ein negativer Wert einem Ort östlicher Länge.

3.10 Bodenreflexion

Da der Reflexionsfaktor des Bodens zeitlich variieren kann (z.B. durch Schneefall), gibt es in SOMBRERO die Möglichkeit, diesen Parameter zeitabhängig festzulegen. Durch Anklicken des Buttons "Ändern" im Abschnitt "Bodenreflexion" kann die Bodenreflexion festgelegt werden. Möglich sind Werte zwischen 0 und 100 %.

Die Bodenreflexion wird nur bei der Berechnung der View-Faktoren für die Diffusstrahlung benötigt (siehe Abschnitt 9). Soll nur die Verschattung der Direktstrahlung bestimmt werden, so sind die hier angegebenen Faktoren ohne weitere Bedeutung.

3.11 Projekt öffnen und speichern

Über den Hauptmenüpunkt "Projekt" kann das aktuelle Projekt gespeichert, ein bestehendes Projekt geöffnet oder ein neues Projekt begonnen werden.

Die Voreinstellung für das Verzeichnis zum Öffnen und Speichern entspricht dem Unterverzeichnis "Daten" des SOMBRERO-Ordners. Soll standardmäßig ein anderes Verzeichnis benutzt werden, so kann das Standard-Arbeitsverzeichnis im Hauptmenü unter "Einstellungen - Arbeitsverzeichnis" geändert werden. Der Name des aktuellen Projekts wird in der Titelleiste des Hauptformulars angezeigt.

3.12 3D-Darstellung der Projektdaten

Zur Überprüfung der Eingaben können diese dreidimensional dargestellt werden. Folgende beiden Methoden werden dabei von SOMBRERO verwendet:

3D-Darstellung mittels OpenGL

Sobald ein Projekt aus wenigstens einer Fläche besteht, werden die eingegebenen Daten im Schirm "Dateneingabe" in einer kleinen Grafik am rechten unteren Fensterrand dreidimensional dargestellt. Auf diese Weise kann der Nutzer seine Eingaben sehr einfach auf evtl. Fehler überprüfen. Durch Anklicken des Buttons ">>" können verschiedene Sichtweisen abgerufen werden (Aufsicht, Nord-, Süd-, Ost- und Westansicht). Zusätzlich kann die dargestellte Szene "per Hand" gedreht und verschoben werden. Hierzu klicken Sie einfach mit der Maus auf die 3D-Darstellung und bewegen Sie den Mauszeiger bei gedrückter Maustaste (linke Maustaste: Szene drehen; rechte Maustaste: Szene verschieben).

3D-Darstellung mittels VRML

Zusätzlich können die Eingabedaten von SOMBRERO als VRML-Datei gespeichert werden. Hierzu wählen Sie in Menü den Punkt "Projekt - VRML-Darstellung". Die auf diese Weise erzeugte Datei erhält den gleichen Name wie die aktuell geöffnete Datei, nur mit der Endung ".wrl".

Nach der Erzeugung wird die VRML-Datei automatisch angezeigt. Hierzu benötigt SOMBRERO einen (externen) VRML-Player. Dieser kann als eigenständiges Programm oder als Plug-In eines Internet-Browsers vorliegen. Ist bereits ein VRML-Player auf Ihrem System installiert, so findet SOMBRERO diesen selbstständig. Ist auf Ihrem System kein VRML-Player installiert, können Sie aus dem Internet eine Reihe kostenloser VRML-Player zur Installation laden.

SOMBRERO wurde mit folgenden VRML-Playern getestet:

- Cosmoplayer (Version 2.1 - dt.)
Plug-In für Netscape Navigator und Internet Explorer,
Download: 'http://www.cosmosoftware.com'
- GLView (Version 4.4)
Eigenständiger VRML-Player,
Download: 'http://www.glview.com'
- Blaxxun (Version 4.3)
Plug-In für Netscape Navigator und Internet Explorer,
Download: 'http://www.blaxxun.com' oder 'http://www.blaxxun.de'
- Cortona (Version 2.2)
Plug-In für Netscape Navigator und Internet Explorer,
Download: 'http://www.parallelgraphics.de'

Falls auf Ihrem Rechner ein lauffähiger VRML-Player installiert ist und SOMBRERO diesen nicht findet oder Sie einen anderen als Ihren Standard-Player benutzen möchten, so geben Sie dessen Programmnamen (einschließlich Laufwerk und vollständigem Programmpfad) im Hauptmenü unter "Einstellungen - VRML Darstellung - anderer Browser" an.

4 Online-Ausgabe

Wichtig: *Die Online-Ausgabe ist nur dann möglich, wenn nur ein Target vorhanden ist oder alle Targets in der selben Ebene liegen, s. a. Abschnitt 5.*

Wurden alle Eingaben korrekt durchgeführt, so kann mit Hilfe der Schaltfläche am unteren Fensterrand in die Online-Ausgabe gewechselt werden. Die Grafik in der Schirmmitte zeigt die Targetebene, wobei die Targetfläche (bzw. -flächen, falls mehrere Targets vorhanden sind) in Blau dargestellt ist. Hierauf werden nun die verschiedenen verschattenden Flächen projiziert. Um diese auseinander halten zu können, werden den Schatten der einzelnen Flächen verschiedene Farben zugeordnet. Dadurch kann der Schattenwurf auch einzelner Flächen beim Wechsel des Tages oder der Uhrzeit verfolgt werden.

Die Auswahl des Datums und der Uhrzeit der dargestellten Verschattungsszene wird mit den Schaltflächen unterhalb der Grafik festgelegt. Die Textfelder links und rechts neben der Grafik zeigen Tag, Stunde, Minute sowie Sonnen- und Targetelevation und -azimut. Rechts oben neben der Grafik ist der aktuelle Verschattungsgrad der Targetfläche (bzw. -flächen) abzulesen.

Hinweise:

- Die Online-Ausgabe rechnet mit nur einer geringeren Genauigkeit und dient vor allen Dingen der Kontrolle. Für Berechnungen mit höherer Genauigkeit benutzen Sie bitte den Modus "Schnelldurchlauf".
- Eine Berechnung der Diffusstrahlung ist nur im Schnelldurchlauf möglich.

5 Schnelldurchlauf

Um in den Programmteil "Schnelldurchlauf" zu gelangen, drücken Sie die Schaltfläche "Schnelldurchlauf" im Menü am unteren Fensterrand.

Wichtig: *Die direkte Anwahl des Schnelldurchlaufs im Hauptmenü ist nur dann möglich, wenn nur ein Target vorhanden ist oder alle Targets in der selben Ebene liegen. Bei mehreren Targets, die nicht in einer Ebene liegen, muss zunächst eine Simulationsliste erstellt werden, siehe Abschnitt 7. Für Eingaben, die bei gleicher Orientierung de facto die gleiche Ebene beschreiben, bei denen die Ebenen aber nicht exakt identisch sind (Rundung), kann ebenfalls ein Schnelldurchlauf durchgeführt werden. Allerdings ist dies auch für größere Ebenenabstände möglich. Der Benutzer hat also z.B. durch graphische Verifikation selbst dafür Sorge zu tragen, dass die eingestellten Targetebenen de facto die gleiche Ebene darstellen. Anderenfalls beziehen sich die Berechnungen nicht (direkt) auf die graphisch dargestellte Situation.*

Im Gegensatz zur Online-Ausgabe führt SOMBRERO hier die Simulation selbständig für einen gewählten Zeitraum durch und speichert die Berechnungsergebnisse in zwei Dateien ab (siehe Kapitel 6). Haben Sie außerdem monatliche Simulation gewählt, so können die Mittelwerte des Beschattungsgrads für Direktstrahlung für jeden Monat als Funktion der Tageszeit in Liniendiagrammen verfolgt werden.

5.1 Einstellung der Simulationsparameter

In den Eingabefeldern im linken Bildschirmteil werden die Simulationsparameter festgelegt:

Die Berechnung der Beschattung erfolgt jeweils für einen diskreten Zeitpunkt, der durch die Tagesnummer im Jahr und die Uhrzeit in Stunden und Minuten festgelegt ist. Möchten Sie die Beschattung über einen längeren Zeitraum untersuchen, so empfiehlt es sich aufgrund der benötigten Rechenzeit, nicht jeden möglichen Zeitpunkt innerhalb dieses Zeitraumes zu berechnen.

Da sich der Sonnenstand zu einer festen Tageszeit T im Verlauf eines Monats nur sehr langsam ändert, ist es im Rahmen der Mess- und Rechengenauigkeit meistens nicht sinnvoll, eine Schattensimulation für jeden einzelnen Tag durchzuführen. Im Tagesverlauf ist ein zeitlicher Abstand von mehreren Minuten zwischen den einzelnen Berechnungen meist ausreichend.

Die zur Festlegung des Simulationszeitraumes und der einzelnen Simulationszeitpunkte benötigten Parameter werden im Folgenden erläutert.

- **Monatliche Simulation**

Bei Wahl der Option "monatliche Simulation" werden ausgewählte Tage jedes Monats im Simulationsintervall berechnet und die Ergebnisse für jeden Monat getrennt zu stündlichen Mittelwerten zusammengefasst.

Der Simulationszeitraum wird bei der monatlichen Simulation durch die Angabe von "Startmonat" und "Stopmonat" festgelegt. Durch Angabe der Parameter "Starttag für monatliche Simulationen" (siehe unten) und "Zeitintervall in Tagen" werden die zu simulierenden Tage eines Monats definiert. Diese sind für alle Monate gleich.

Bei nicht monatlicher Simulation wird der Simulationszeitraum durch die Angabe von "Starttag" und "Stoptag" bestimmt. Beginnend mit dem Starttag werden jeweils einzelne Tage im Abstand von "Zeitintervall" in Tagen simuliert, bis der Stoptag erreicht wird.

- **Diffusstrahlung berechnen**

Die Berechnung der Diffusstrahlung ist nur bei "monatlicher Simulation" möglich. Ist das Feld "Diffusstrahlung berechnen" aktiviert, so wird zu Beginn für jeden Monat des Simulationszeitraums ein Faktor für die Diffusstrahlung errechnet. Diese Faktoren werden für jeden Monat nach den 24 stündlichen Mittelwerten für Direktstrahlung zur Tageszeit T in die Datei "*.mit" geschrieben.

Simulationsdauer:

- **Start- und Stopmonat**

Bei monatlicher Simulation wird hier der erste bzw. letzte Monat der Simulation festgelegt. Der Monat wird durch eine Nummer von 1 bis 12 festgelegt (Januar = 1, Dezember = 12).

- **Start- und Stoptag**

Haben Sie keine monatliche Simulation gewählt, wechseln die Labels des Panels "Simulationsdauer", und Sie legen Sie hier den ersten bzw. letzten Tag der Simulation mit einer Zahl zwischen 1 und 365 (1. Januar = 1 usw.) fest.

Zeitintervalle:

- **Simulationsintervall in Tagen**

Abstand zwischen je zwei zu simulierenden Tagen.

Bei monatlicher Simulation wird der erste Simulationstag eines Monats durch "Starttag für monatliche Simulationen" (siehe Abschnitt "Zusatzparameter") festgelegt. Die weiteren Simulationstage des Monats ergeben sich dann jeweils durch Addition von "Simulationsintervall in Tagen".

*Beispiel: Starttag für monatliche Simulationen = 5
Zeitintervall in Tagen = 10
Es wird jeweils der 5., 15. und 25. Tag aller gewählten Monate simuliert.*

Bei nicht monatlicher Simulation wird mit dem Starttag beginnend jeder n-te Tag bis zum Erreichen des Stoptages simuliert, wobei Sie hier den Wert für n festlegen.

*Beispiel: Starttag = 120
Stoptag = 150
Zeitintervall in Tagen = 8
Es werden folgende Tage simuliert: 120, 128, 136, 144.*

- **Zeitintervall in Minuten**

An jedem Simulationstag ist der erste Simulationszeitpunkt 0:00 Uhr. Alle weiteren Simulationszeitpunkte des Tages ergeben sich durch Addition von "Zeitintervall in Minuten". Die Intervalldauer kann zwischen 1 und 60 Minuten gewählt werden (nur ganzzahlige Werte sind zulässig).

Beispiel: *Zeitintervall in Minuten = 20*
Es werden folgende Zeitpunkte eines Tages berechnet:
0:00, 0:20, 0:40, 1:00, 1:20 ... 23:40 .

Zusatzparameter:

- **Starttag für monatliche Simulation**

Hier können Sie den ersten zu simulierenden Tag des Monats für monatliche Simulation wählen.

- **Auflösung (Pixels) für Schnelldurchlauf**

Für die Berechnung des beschatteten Anteils der Fläche wird ein (virtuelles) Raster (in Pixeln) zugrunde gelegt. Mit diesem Parameter kann die Auflösung für das Raster im Bereich zwischen 1 und 25 festgelegt werden. Der Wert 7 bedeutet z.B., dass nur jedes siebte Pixel gezählt wird. Beim Wert 1 wird jeder Pixel gezählt. Dies bedeutet die höchste Genauigkeit, aber damit auch die längste Berechnungsdauer.

- **Auflösung (Pixels) für Diffusstrahlung**

Wie oben, für Diffusstrahlung.

- **Zahl der Elevationsintervalle für Diffusstrahlung**

Intervallanzahl für den Bereich von 0° bis 90° (vgl. Kapitel 9). Die Anzahl der Intervalle im Azimutwinkelbereich (0° bis 360°) wird automatisch viermal so groß gewählt.

- **Reduktionsfaktor für die Himmelsstrahlung in %**

Der Wichtungsfaktor für den Anteil der Himmelsstrahlung beträgt 100 % bei hellem, ungetrübtem Himmel, andernfalls weniger.

- **Reflexionsfaktor der Hindernisse in %**

Reflexionsfaktor für die diffuse Strahlung, die auf die beschattenden Flächen fällt.

5.2 Ausgabedateien benennen

Durch Betätigen der Schaltfläche "Ausgabedatei ändern" können Sie festlegen, welchen Namen die Ausgabedateien tragen sollen. Sollten Sie die Namen nicht explizit angeben, übernimmt das Programm diese Aufgabe für Sie. Die Ausgabedateien haben dann den Namen des Datenfiles mit den entsprechenden Erweiterungen (siehe Kapitel 6).

5.3 Simulation starten

Sind alle Eingabedaten korrekt und wurden die Simulationsparameter den Anforderungen entsprechend gewählt, so wird die Simulation durch Klicken der Schaltfläche "Simulation starten" gestartet. Abhängig vom Umfang des Projekts, der Leistung des Computers und der Anzahl der durchzuführenden Simulationsschritte kann die Simulation einige Minuten bis hin zu mehreren Stunden dauern.

Wurde der Modus "Monatliche Simulation" gewählt, so werden für bereits gerechnete Monate die Mittelwerte der Verschattung im Diagramm angezeigt. Alle Berechnungsergebnisse werden außerdem in der Mittelwertdatei und der Reportdatei gespeichert (siehe Abschnitt 6), die dann mit gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen geöffnet oder z.B. als Datenquelle für andere Simulationsprogramme genutzt werden können.

6 Ausgabedaten

Bezeichnungen:

GSC_B : **G**eometrical **S**hading **C**oefficient (**b**eam) (Anteil der beschatteten Fläche für Direktstrahlung)
 v_S : View-Faktor für Himmel und Hindernisse,
 v_G : View-Faktor für Boden und Horizont.

6.1 Mittelwert-Datei (*.mit)

In dieser Datei werden die stündlichen Mittelwerte des GSC_B zeilenweise ausgegeben. Der Mittelwert des GSC_B für die Stunde N ergibt sich durch die Mittelung aller Werte im Zeitraum (N-1):30 Uhr bis N:30 Uhr.

*Beispiel: Zeitintervall in Minuten = 20
Es werden jeweils 3 Zeitschritte zu einem Stundenschritt gemittelt,
z.B. 8:40 Uhr, 9:00 Uhr und 9:20 Uhr werden zum 9:00 Uhr-Wert gemittelt.*

Bei monatlicher Simulation werden anschließend die stündlichen Mittelwerte aller simulierten Tage eines Monats zu 24 stündlichen Mittelwerten für den gesamten Monat gemittelt. Diese werden dann zeilenweise für jeden simulierten Monat separat ausgegeben, wobei jeweils zu Beginn der Zeile die zugehörige Uhrzeit angegeben ist.

Wurde keine monatliche Simulation durchgeführt, enthält die Datei die 24 stündlichen Mittelwerte des GSC_B für den gesamten Simulationszeitraum, welche durch Mittelung über alle simulierten Tage berechnet werden.

Wurde die Diffusstrahlung berechnet, werden für jeden Monat im Anschluss an die 24 Mittelwerte des GSC_B in einer zusätzlichen Zeile die Faktoren v_S und v_G ausgegeben, deren

genaue Bedeutung in der Veröffentlichung von Niewianda & Heidt (1995)¹ erläutert wird. Diese Faktoren ändern sich monatlich aufgrund der Bodenreflexion und des Belaubungsgrades von Bäumen, deren Werte in zeitabhängigen, monatlichen Schedules festgelegt werden.

Weitere Erläuterungen zu den verwendeten Algorithmen bei der Berechnung der Diffusstrahlung entnehmen Sie bitte Kapitel 9.

6.2 Report-Datei (*.rep)

In der Report-Datei werden die Ergebnisse aller Einzelzeitschritte abgelegt.

Intervallnummer	Tag des Jahres	Stunde	Min	GSC _B	1-GSC _B	v _S	1-v _S	v _G	1-v _G
1	5	0	20	-1	2	0.5	0.5	0.1	0.9
...

Ein Wert für GSC_B von -1 bedeutet, dass die Sonnenelevation < 0 ist (vor Sonnenaufgang). Bei positiver Elevation und Horizontbeschattung wird -2 ausgegeben.

6.3 VRML-Datei (*.wrl)

Diese Datei beinhaltet die Eingabedaten im VRML- (Virtual Reality Modeling Language-) Format. Damit können die eingegebenen Daten mit Hilfe eines VRML-Players 3-dimensional betrachtet werden. Von *SOMBRERO* aus kann die 3-dimensionale Darstellung im Hauptmenü unter "Projekt - VRML-Darstellung" gestartet werden (siehe auch Kapitel 3.12).

6.4 Export-Formate

Sie können die im Mittelwert-File abgelegten Ergebnisse einlesen und in einem anderen Format wieder exportieren, um diese als Eingabe für andere Programme zu verwenden. Dazu wählen Sie im Hauptmenü den Punkt "Daten exportieren". Hier können Sie das zu exportierende Mittelwert-File "*.mit", das gewünschte Exportformat und den Dateinamen der Exportdatei auswählen.

Es stehen drei Formate für den Export der mit *SOMBRERO* erzielten Ergebnisse zur Verfügung.

6.4.1 Text

Hier werden die Zeilen der Mittelwertdatei in Tabellenform ausgegeben, d.h. die einzelnen Monate befinden sich zeilenweise nebeneinander. Dieses Format eignet sich besonders gut zum Einlesen in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Die Exportdatei hat die Erweiterung ".txt".

¹ Niewianda A., Heidt F.D.: *SOMBRERO*, a PC-tool to calculate shadows on arbitrarily oriented surfaces. Solar Energy, Vol. 58, No. 4 - 6, pp. 253 - 263, 1996

6.4.2 TRNSYS

Die Reportdatei kann für die Erzeugung von stündlichen Werten verwendet werden, die beispielsweise mit dem Data-Reader von TRNSYS gelesen werden können. Dazu ist ein Zeitschritt von 1 Tag und 60 min erforderlich.

Um jedoch auch die wesentlich schnellere Berechnung mit der monatlichen Simulation für diese Zwecke zu nutzen, können stattdessen die monatlichen, stündlichen Mittelwerte des GSC_B und die View-Faktoren aus der Mittelwertdatei im folgenden Format exportiert werden:

Stundennr.	GSC_B	$1-GSC_B$	v_S	$1-v_S$	v_G	$1-v_G$
745	0.6	0.4	0.5	0.5	0.2	0.8
...

Um ein Datenfile mit je einer Zeile für jede Stunde des simulierten Zeitraumes zu erhalten, werden einfach die 24 Stundenwerte eines Monats so oft untereinander geschrieben, wie der Monat Tage hat.

Zeile 1 entspricht somit 0:00 Uhr am ersten Tag des ersten simulierten Monats. Hat der erste Monat 30 Tage (720 Stunden), so entspricht beispielsweise Zeile 807 ($720 + 3 \cdot 24 + 15$) 14:00 Uhr am vierten Tag des zweiten Monats.

Die Stundennummer zu Beginn jeder Zeile erleichtert die Orientierung innerhalb der Datei. 0:00 Uhr am 1. Januar hat die Stundennummer 1, 23:00 Uhr am 31. Dezember hat die Stundennummer 8760.

Die Exportdatei hat die Erweiterung ".trn".

6.4.3 SUNCODE

Durch diese Routine werden die Werte für den GSC_B mit 1000 multipliziert, von 1000 abgezogen und dann als Fortran-Format I4 zeilenweise untereinander geschrieben. Die View-Faktoren werden nicht ausgegeben. Die Exportdatei hat die Erweiterung ".sun".

7 Simulationsliste

Mit Hilfe einer Simulationsliste können mehrere Projekte bzw. Simulationen nacheinander abgearbeitet werden.

Folgende Möglichkeiten stehen dem Programmnutzer zur Verfügung:

1. Mehrere Projekte (Dateien) mit jeweils einem Target können ausgewählt und nacheinander durchgerechnet werden. In diesem Fall werden für jedes Projekt eine Mittelwert- und eine Reportdatei erstellt (siehe Abschnitt 6). Die Namen und Verzeichnisse der Ausgabedateien entsprechen denen der Datendatei mit den Dateiendungen ".mit" bzw. ".rep".
2. Ein Projekt (eine Datendatei) mit mehreren Targets wird der Simulationsliste

hinzugefügt. Beim Abarbeiten der Simulationsliste wird in diesem Fall für jedes einzelne Target eine eigene Simulation durchgeführt und die Ergebnisse in eigenen Dateien ausgegeben. (Die Simulation eines Projekts mit 6 Targets führt somit zu 6 Mittelwert- und 6 Reportdateien). Ausgabenname und -verzeichnis der Mittelwert- und der Reportdatei entsprechen dem Namen der Datendatei plus einer laufenden Nummer plus dem Targetnamen.

3. Kombinationen aus 1. und 2. sind ebenfalls möglich.

7.1 Simulationsliste erstellen

Zum Erstellen einer Simulationsliste wählen Sie im Hauptmenü den Punkt "Simulation - Simulationsliste erstellen". Das sich öffnende Dialogfenster zeigt zunächst eine noch leere Simulationsliste.

Zum Hinzufügen einer Datendatei klicken Sie die Schaltfläche "Datei zur Liste hinzufügen" und wählen Sie im sich öffnenden Dialog eine Dateidatei aus. Die Simulationsliste zeigt nun den Namen der gewählten Datendatei an. Darunter befindet sich eine Aufzählung aller in der Datendatei gefundenen Targets, jeweils mit den Namen der (bei einer Simulation zu erstellenden) Report- und Mittelwertdateien.

Klicken Sie erneut die Schaltfläche "Datei zur Liste hinzufügen", um weitere Dateien an die Liste anzuhängen.

7.2 Simulationsliste abarbeiten

Sind alle gewünschten Projektdateien zur Simulationsliste hinzugefügt, so klicken Sie die Schaltfläche "Simulationsliste abarbeiten". Nach einem kurzen Hinweis erscheint der Bildschirm "Schnelldurchlauf". Hier werden zunächst wie beim Schnelldurchlauf eines einzelnen Projekts die Simulationsparameter eingestellt (siehe Abschnitt 5.1). Alle Projekte der Simulationsliste werden mit den gleichen Parametern durchgeführt!

Mit einem Klick auf den Button "Simulation starten" beginnt die eigentliche Abarbeitung der Simulationsliste. Den Fortschritt können Sie an der Statusleiste am unteren Bildschirmrand ablesen.

Sind alle Simulationen durchgeführt, so öffnet sich wieder das Fenster "Simulationsliste erstellen", wo Sie entweder eine neue Simulationsliste erstellen oder durch Anklicken der Schaltfläche "Schließen" zum "normalen" Programm zurückkehren können.

8 Beispiel für die Dateneingabe in SOMBRERO

In dem folgenden Beispiel soll die Verschattung eines Kollektors auf dem Dach eines Hauses durch ein anderes Haus simuliert werden. Das Problem ist in Abbildung 14 graphisch dargestellt.

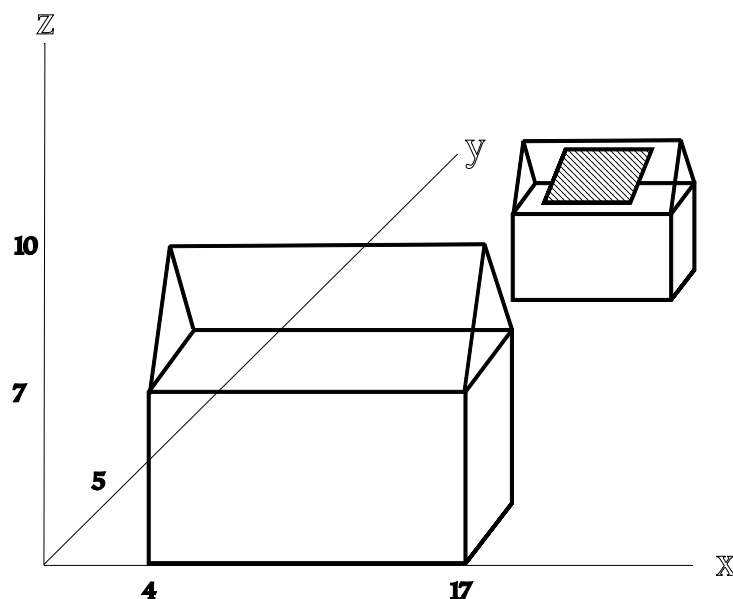


Abb. 14: Darstellung des zu behandelnden Problems.
Alle Längenangaben in Metern.

Das schattenwerfende Haus im Vordergrund hat eine Länge von 13 Metern und eine Breite von 5 Metern. Die Höhe ohne Dach beträgt 7 Meter, der Giebel ist 3 Meter hoch. Die zu untersuchende Kollektorfläche befindet sich auf dem Dach des im Hintergrund gelegenen kleineren Hauses und ist nach Süden ausgerichtet. Der Kollektor hat eine Länge von 4 Metern und eine Breite von 3 Metern. Die Fläche ist genau wie das Dach des Hauses um 45 Grad geneigt. Der Aufpunkt des Kollektors soll sich bei den Koordinaten ($x = 12$, $y = 10$, $z = 5$) befinden.

8.1 Neues Projekt beginnen

Beginnen Sie ein neues Projekt indem Sie im Hauptmenü den Punkt "Projekt" - "Neues Projekt" anwählen. Sie gelangen dadurch automatisch in die Dateneingabe und haben ein noch leeres Projekt vor sich. Bevor Sie nun mit der eigentlichen Eingabe der verschatteten und der verschattenden Flächen beginnen, können Sie zunächst eine kurze Projektbeschreibung (z.B. "Verschattung eines Solarkollektors durch ein Gebäude") eingeben. Durch Anklicken des Buttons "Geografische Lage" legen Sie danach den genauen Standort des Projekts fest (z.B. 50° Nord, 8° Ost).

8.2 Generieren der rechteckigen Kollektorfläche

Um ein neues Objekt (Fläche, Haus oder Baum) zu erstellen, klicken Sie zunächst in der noch leeren Objektliste die Schaltfläche "Objekt hinzufügen". In dem sich dann öffnenden Formular wählen Sie "Rechteck" und der Rechteck-Generator erscheint.

Zuerst wird der Name der Fläche abgefragt. Geben Sie hier z.B. "Kollektor" ein. Tippen Sie nun bei Länge des Rechtecks in u-Richtung "4" und in v-Richtung "3" ein. Dadurch haben Sie die Größe und Geometrie des Kollektors festgelegt. Als Ursprung des u-v-Koordinatensystems wird die linke untere Ecke des Kollektors angenommen, d.h. die "Position der unteren linken Ecke" des Kollektors ist $u = 0$ und $v = 0$.

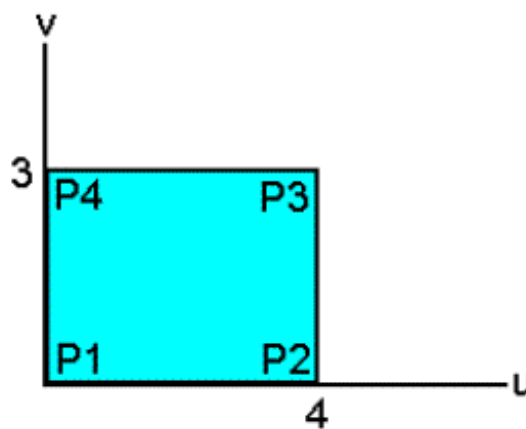


Abb. 15: Lage der Fläche im u-v-System.
Alle Längenangaben in Metern.

Nun muss die Lage der Fläche im 3-dimensionalen x-y-z-System festgelegt werden. Zuerst wird die Fläche von der u-v-Ebene in die x-y-Ebene übertragen. Da der Kollektor nach Süden ausgerichtet sein soll, geben Sie einen Azimutwinkel von 180 Grad ein. Die Neigung des Kollektors wird durch Angabe des Elevationswinkels eingestellt, in unserem Beispiel 45°. (Zur Erläuterung der Winkel siehe Abschnitt 3.4 und Abbildung 3).

Im Anfangszustand fallen der Ursprung von EOS und u-v-System zusammen (siehe Abbildung 16). Daher muss jetzt die Fläche noch an die gewünschte Position im Raum verschoben werden. Hierzu ist eine Verschiebung um den Vektor ($x = 12$, $y = 10$, $z = 5$) erforderlich.

Nachdem die Fläche sich nun an der gewünschten Position befindet, muss nur noch festgelegt werden, ob es sich um ein Target handeln soll. Klicken Sie dazu die Checkbox "Targetfläche". Nachdem Sie Ihre Eingaben durch "OK" bestätigt haben, wird die Fläche in das aktuelle Projekt übernommen und Sie können weitere Objekte generieren.

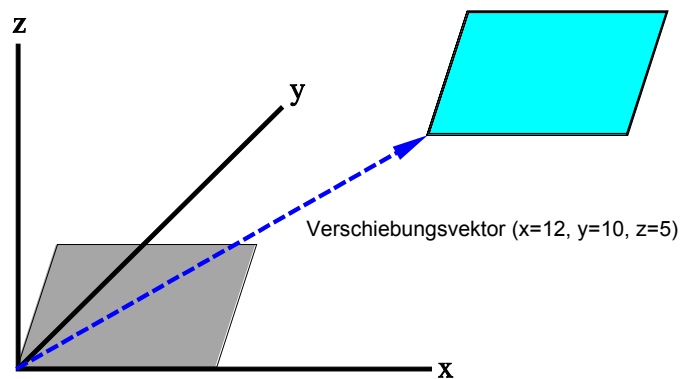


Abb. 16: Verschiebung der Fläche an die gewünschte Position im Raum.
Alle Längenangaben in Metern.

Nachdem nun das erste Objekt des Projekts erstellt wurde, erscheint unten rechts im Fenster der Dateneingabe die 3D-Ansicht, die nun eine blau Fläche (den Kollektor) zeigt. Zur Nutzung der 3D-Ansicht, siehe Abschnitt 3.12).

8.3 Generieren des schattenwerfenden Hauses

Zum Hinzufügen des schattenwerfenden Hauses klicken Sie zunächst wieder die Schaltfläche "Objekt hinzufügen" in der Objektliste. In dem sich dann öffnenden Objektauswahlmenü wählen Sie nun "Haus" aus und Sie gelangen in den Haus-Generator, wo Sie zunächst dem Gebäude einen beliebigen Namen zuordnen können.

Für die Gebäudedimensionen gilt in unserem Beispiel:

Breite der Ost-/Westseite:	13
Breite der Nord-/Südseite:	5
Höhe ohne Dach:	7
Höhe des Daches:	3

Geben Sie diese Werte in die entsprechenden Eingabefelder ein. Dadurch sind die Abmessungen des Hauses (in Metern) festgelegt.

Das Haus liegt nun noch in seiner Ursprungsposition, d.h. die Breitseite liegt in Nord-Süd-Richtung im ersten Quadranten zu positiven x- und y-Koordinaten hin. Der Boden des Hauses liegt in der Ebene $z = 0$.

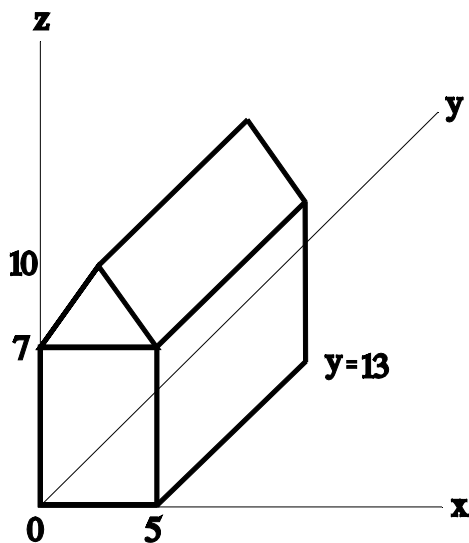


Abb. 17: Lage des Hauses in der Ursprungsposition. Das Haus steht auf der Ebene $z = 0$ im ersten Quadranten.

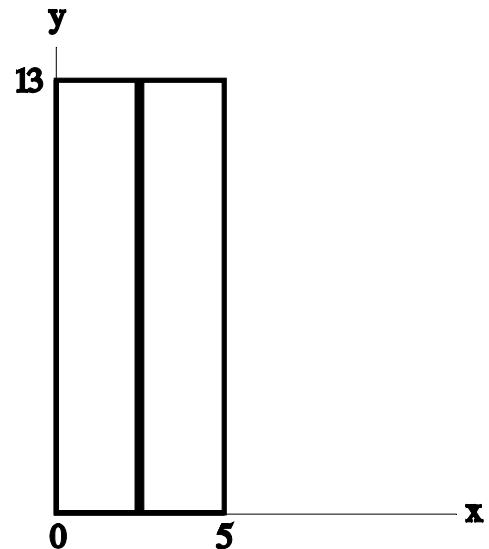


Abb. 18: Aufsicht auf die x - y -Ebene. Der First ist als dicke Linie in y -Richtung (Nord-Süd-Richtung) eingezeichnet.

Alle Längenangaben in Metern.

In unserem Beispiel soll die Breitseite des Hauses in West-Ost-Richtung liegen, d.h. das Haus muss um 90 Grad im Uhrzeigersinn um die z -Achse gedreht werden. Geben Sie hierzu bei Drehung des Hauses den Winkel 90 Grad ein.

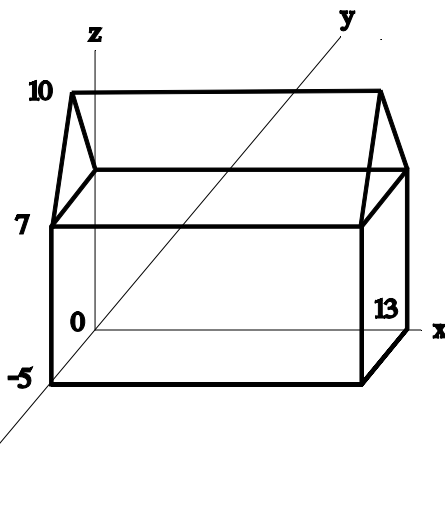


Abb. 19: Position des Hauses nach der Drehung um 90 Grad um die z -Achse.

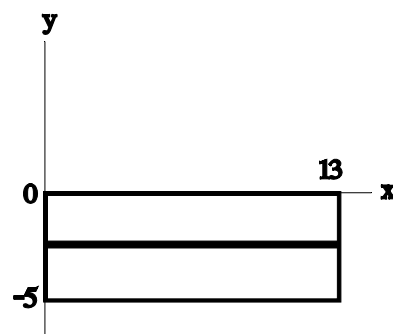


Abb. 20: Aufsicht auf die x - y -Ebene nach der Drehung. Der First liegt nun in West-Ost-Richtung (x -Richtung).

Alle Längenangaben in Metern.

Zuletzt muss das Haus noch an die gewünschte Position im x - y - z -System verschoben werden. Hierzu ist eine Verschiebung um den Vektor $(x = 4, y = 5, z = 0)$ erforderlich. Geben Sie diese drei Werte für den Verschiebungsvektor ein.

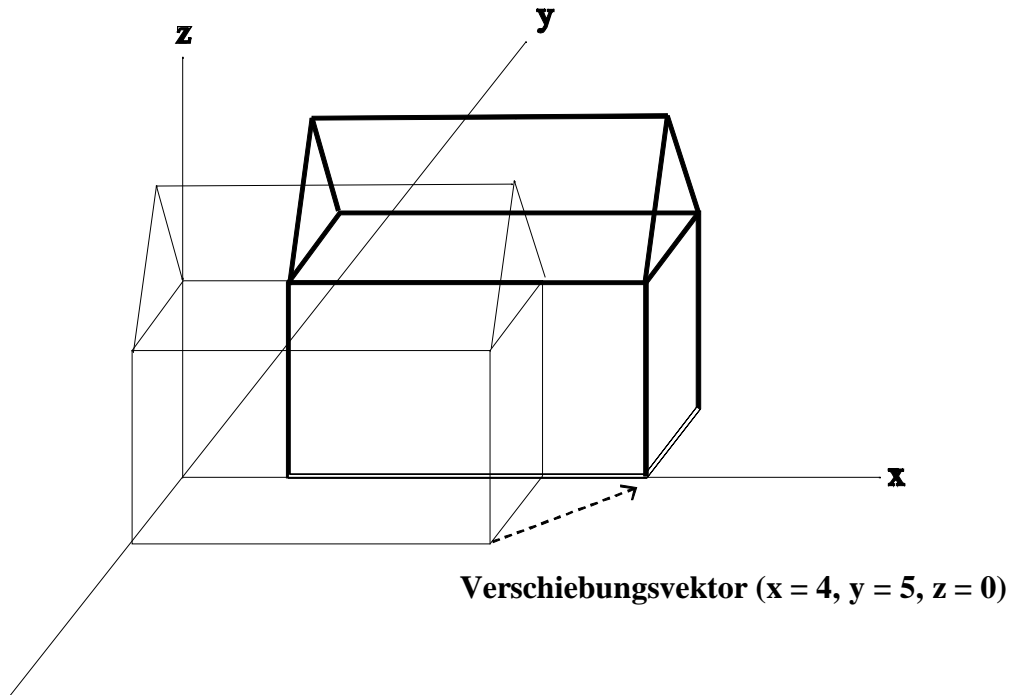


Abb. 21: Verschiebung des Hauses um den Vektor ($x = 4, y = 5, z = 0$) an die gewünschte Position. Alle Längenangaben in Metern.

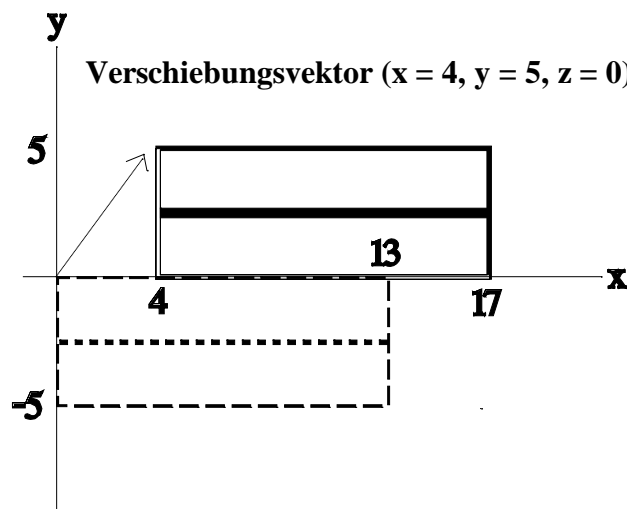


Abb. 22: Aufsicht auf die x-y-Ebene. Das Haus wird um den Vektor ($x = 4, y = 5, z = 0$) verschoben. Alle Längenangaben in Metern.

Nun befindet sich das Haus an der gewünschten Position im Raum. Bestätigen Sie Ihre Eingaben durch "OK" und das Haus wird in das aktuelle Projekt übertragen und in der 3D-Ansicht angezeigt.

8.4 Daten speichern

Sie haben jetzt die Targetfläche und das schattenwerfende Haus definiert und können mit der Simulation beginnen. Um das Projekt zu einem späteren Zeitpunkt weiterzubearbeiten, wird empfohlen, dieses jetzt zu speichern. Klicken Sie dazu im Hauptmenü auf "Projekt" -

"Speichern unter ..." und geben Sie Ihrem Projekt einen eindeutigen Namen. Die Dateiendung ".dat" wird automatisch angehängt.

8.5 VRML - Darstellung der Projektdaten

Sie können ihr Projekt auch noch einmal in einem externen 3D-Player betrachten. Klicken Sie hierzu im Hauptmenü auf "Projekt - VRML Darstellung". Sollte kein VRML-Player vom Programm gefunden werden, so folgen Sie bitte den Anweisungen unter Abschnitt 3.12.

8.6 Verschattungssimulation

Wurden alle Daten richtig eingegeben, so können Sie mit der Berechnung der Verschattung des Kollektors beginnen. Dabei haben Sie die Wahl zwischen der Online-Ausgabe und dem Schnelldurchlauf.

Bei der Online-Ausgabe (siehe Kapitel 4) können Sie den Schattenwurf auf den Kollektor zu bestimmten, vorzugebenden Zeiten grafisch betrachten. Außerdem werden der aktuelle Verschattungsgrad sowie weitere Ergebnisse numerisch angezeigt.

Beim Schnelldurchlauf (siehe Kapitel 5) können Sie einen Start- und einen Endzeitpunkt der Simulation sowie das Zeitintervall zwischen zwei Simulationsschritten festlegen. Nach Drücken der Schaltfläche "Simulation starten" wird die Verschattung des Kollektors für den angegebenen Zeitraum berechnet und die Ergebnisse in der Mittelwert- und der Reportdatei gespeichert (siehe Kapitel 6).

9 Berechnung der Diffusstrahlung mit SOMBRERO

9.1 Motivation

Die Mehrzahl der thermischen Simulationsprogramme berechnen die auf die geneigte Fläche auftreffende Diffusstrahlung unter Berücksichtigung flächeneigener Parameter wie der Elevation ε der Fläche nach Duffie & Beckman (1980)², (siehe Gl. 1). Der Einfluss von Objekten wie Gebäuden oder Bäumen in der Umgebung der zu untersuchenden Fläche wird vernachlässigt und die Ergebnisse damit verfälscht. Steht zum Beispiel ein Haus nahe vor einem zu untersuchenden Fenster, so wird die auftreffende Diffusstrahlung erheblich vermindert.

Weiterhin hängt die Diffusstrahlung auf geneigte Flächen vom Reflexionsgrad ρ der Erdoberfläche ab. Dieser ist jedoch in der Regel nicht konstant, sondern variiert im Laufe des Jahres zum Beispiel durch Schneefall. *SOMBRERO* berücksichtigt sowohl den Einfluß von Hindernissen als auch die zeitliche Änderung des Bodenreflexionsfaktors ρ .

² Duffie J.A., Beckman W.A. (1980) Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 86.

$$\begin{aligned}
 H_d(\varepsilon) &= H_{\text{dhor}} \cdot \left(\frac{1 + \sin \varepsilon}{2} \right) + (H_{\text{bhor}} + H_{\text{dhor}}) \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \sin \varepsilon}{2} \right) \\
 &= H_{\text{dhor}} \cdot v_S + (H_{\text{bhor}} + H_{\text{dhor}}) \cdot v_G
 \end{aligned}
 \tag{Gl. 1}$$

mit

H_{dhor} :	Diffusstrahlung auf die Horizontale
H_{bhor} :	Direktstrahlung auf die Horizontale
ρ :	Boden-Reflexionsfaktor (monatlich variierend)
ε :	Elevation der Oberfläche
v_S	View-Faktor für den Himmel
v_G	Boden-Faktor

Die Berechnung der Faktoren v_S und v_G wird im Folgenden erklärt. Sie können von Simulationsprogrammen als monatlich variierende Parameter eingelesen werden. Die Strahlungsintensitäten H_{dhor} und H_{bhor} werden nach wie vor vom Strahlungsprozessor des thermischen oder photovoltaischen Simulationsprogramms auf Basis von gemessenen Wetterdaten berechnet und mit den von SOMBRERO ermittelten, geometriebedingten Faktoren multipliziert. Eine solche Kopplung wurde bereits mit TRNSYS 14.1 durchgeführt und wird in der Veröffentlichung von Niewianda & Heidt (1996)³ beschrieben.

9.2 Geometrisches Modell

Um die auf eine Fläche auftreffende Diffusstrahlung zu bestimmen, muss der komplette Halbraum vor der Fläche daraufhin untersucht werden, in welcher Richtung sich abschirmende, schattenwerfende Objekte befinden. Hierzu wird ein beliebiger, von einem Punkt der Fläche ausgehender Strahl (Richtungsvektor) betrachtet. Die Simulation geht davon aus, dass der Strahl die folgenden drei Möglichkeiten hat (Abbildung 23). Er trifft:

1. auf eine schattenwerfende Fläche.
2. auf die Erdoberfläche oder den Horizont. Der Horizont wird im folgenden mit dem Erdboden gleichgesetzt.
3. weder eine schattenwerfende Fläche noch den Erdboden.

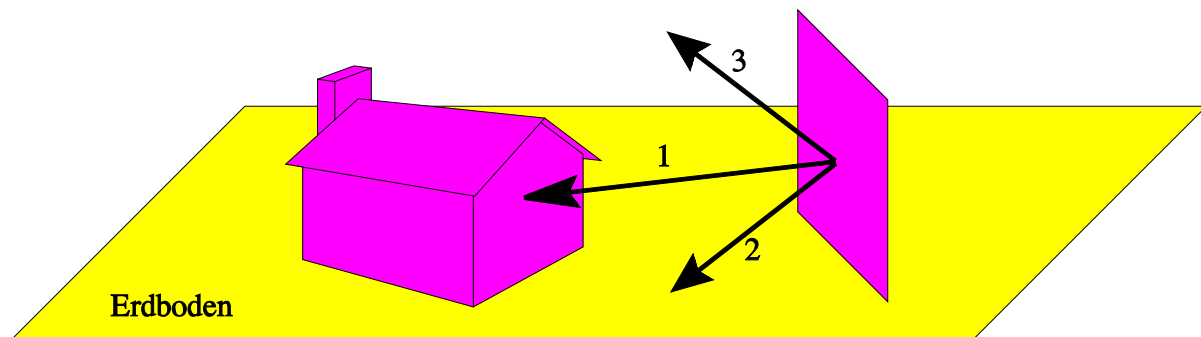


Abb. 23: Der von einem Punkt der Fläche ausgehende Strahl trifft entweder auf ein Objekt (1), auf die Erdoberfläche (2) oder auf kein Hindernis (3).

³ Niewianda A., Heidt F.D.: SOMBRERO, a PC-tool to calculate shadows on arbitrarily oriented surfaces. Solar Energy, Vol. 58, No. 4 - 6, pp. 253 - 263, 1996

Man legt nun ein Punktraster (Abbildung 24) über die Targetfläche und betrachtet für jeden Punkt des Rasters einen Strahl, der von diesem Punkt unter einem festen Azimut- und Elevationswinkel ausgeht. Um zu ermitteln, ob der jeweilige Rasterpunkt in dieser Richtung ein Hindernis "sieht", wird der Projektionsalgorithmus von SOMBRERO verwendet. Die schattenwerfenden Polygone werden analog zur Verschattung der Direktstrahlung gezeichnet. Anstatt entlang des Sonnenvektors wird die Projektion entlang des Richtungsvektors durchgeführt. Anschließend wird für jede Richtung eine Mittelung über alle Rasterpunkte durchgeführt.

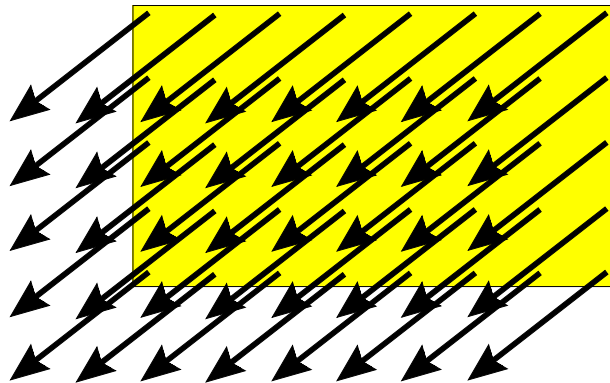


Abb. 24: Auf die Targetfläche wird ein Punktraster gelegt. Von jedem Punkt des Rasters geht unter einem festen Azimut- und Elevationswinkel ein Strahl aus. Einige dieser Strahlen treffen auf Objekte, andere auf die Erde; der Rest trifft auf kein Hindernis.

Um den gesamten Halbraum vor der Targetfläche zu untersuchen, wird der Azimutwinkel der Strahlen im Bereich von 0° bis 360° um den Azimutwinkel der Targetfläche variiert. Für jeden Azimutwinkel wird dann der Elevationswinkel des Strahls im Bereich von 0° bis $+90^\circ$ (vom Elevationswinkel der Fläche an gezählt) variiert. Die Winkeldiskretisierung erfolgt so, dass gleich große Raumwinkelsegmente erzeugt werden. Die Anzahl der Raumwinkelsegmente und damit die Auflösung für die Untersuchung des Halbraumes kann über den Parameter "Zahl der Elevationsintervalle" für Diffusstrahlung (vgl. Abschnitt 5.1) variiert werden.

9.3 Wichtungsfaktoren

Zur Ermittlung der Faktoren v_S und v_G wird zunächst unterschieden, ob der Richtungsvektor zum Himmel oder zum Boden gerichtet ist. Der Boden reflektiert direkte Strahlung **und** diffuse Himmelsstrahlung, während der Himmel als Modellannahme nur isotrop verteilte Diffusstrahlung aussendet. Weiterhin wird angenommen, dass Oberflächen von schattenwerfenden Objekten nur den Diffusanteil der Gesamtstrahlung reflektieren. Diese Flächen zählen also quasi zum Himmel, unabhängig davon, ob der Richtungsvektor nach oben oder unten zeigt. Die Begründung für diese Annahme ist, dass im zeitlichen und räumlichen Mittel eine schattenwerfende Oberfläche hauptsächlich Diffusstrahlung empfängt.

Beispiel: Die Beschattung einer Südfassade soll berechnet werden. Mögliche Hindernisse werden ihr hauptsächlich die Nordseite zuwenden. Diese sieht direktes Sonnenlicht nur im Hochsommer kurz nach Sonnenaufgang.

Der Reflexionsfaktor für Diffusstrahlung von verschattenden Objekten kann vom Benutzer über den Parameter "Reflexionsfaktor der Hindernisse" eingestellt werden. Wie oben bereits

erwähnt, wird jeder Strahl mit einem Wichtungsfaktor versehen, je nach dem, welche der drei Möglichkeiten auf ihn zutrifft. Diese Faktoren werden hier kurz erläutert:

1. Der Strahl trifft auf eine schattenwerfende Fläche.

Durch die Fläche im Strahlengang wird die aus dieser Richtung einfallende Diffusstrahlung verringert. Der Wichtungsfaktor für diesen Fall ist der Parameter "Reflexionsfaktor der Hindernisse".

Ist die schattenwerfende Fläche ein Baum, wird ein monatlich wechselnder Belaubungsfaktor berücksichtigt.

Beispiel: Der Wert des Belaubungsfaktors beträgt 60 %. Zur Ermittlung des Wichtungsfaktors werden 60% eines zum Himmel gerichteten Strahls mit dem Faktor 0,2 (Objekt) gewichtet. Die restlichen 40% des Strahls werden mit dem Reduktionsfaktor für die Himmelsstrahlung (Strahl endet im Unendlichen, siehe 3) gewichtet, der hier den Wert 1,0 hat. Daraus ergibt sich:

$$\text{Wichtungsfaktor} = 0,6 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 1 = 0,52.$$

2. Der Strahl trifft auf die Erdoberfläche.

Der Wichtungsfaktor hängt in diesem Fall von der Bodenreflexion ab, die sich im jahreszeitlichen Verlauf (etwa durch Schnee im Winter) verändern kann. Um diesem Umstand gerecht zu werden, kann für jeden Monat ein separater Wichtungsfaktor festgelegt werden.

3. Der Strahl trifft auf kein Hindernis.

In diesem Fall ist der Wichtungsfaktor gleich dem Reduktionsfaktor für die Himmelsstrahlung, da die auftreffende Diffusstrahlung nicht durch andere Objekte oder die Erdoberflächenbeschaffenheit beeinflusst wird.

Darüber hinaus wird - gemäß dem Lambertschen Gesetz - jeder Strahl mit dem Kosinus seines Abstandswinkels von der Target-Normalen multipliziert.

9.4 Umsetzung mit dem Projektionsalgorithmus

Zur Berechnung des Wichtungsfaktors wird der Projektionsalgorithmus verwendet, der auch zur Schattenberechnung benutzt wird. Hierbei wird folgendermaßen vorgegangen:

Zuerst wird der Projektionsvektor auf einen festen Azimut- und Elevationswinkel gesetzt. Dann werden mit dem Projektionsalgorithmus der Schattenberechnung alle vorhandenen Objekte entlang dieses Projektionsvektors auf die zu untersuchende Targetfläche projiziert. Nun kann für jeden Punkt der Targetfläche anhand seiner Farbe überprüft werden, welche der drei Möglichkeiten für den von diesem Punkt ausgehenden und entlang des Projektionsvektors verlaufenden Strahls zutrifft:

- **Der Punkt hat die Farbe der Targetfläche (hellblau):**

In diesem Fall muss noch untersucht werden, ob der festgesetzte Elevationswinkel kleiner oder gleich dem Horizontwinkel ist. Ist dies der Fall, so trifft der Strahl die Erdoberfläche oder den Horizont (Möglichkeit 2) und erhält den vom Benutzer festgelegten monatlichen Wichtungsfaktor. Ist der Elevationswinkel größer als der Horizontwinkel, so trifft der Strahl weder auf den Erdboden noch auf ein Objekt (Möglichkeit 3) und erhält den Wichtungsfaktor "Reduktionsfaktor für die Himmelsstrahlung".

- **Der Punkt hat die Farbe eines Baumes (hellgrün):**

In diesem Fall trifft der Strahl auf die belaubte Fläche eines Baumes und der Wichtungsfaktor wird unter Berücksichtigung des Belaubungswertes berechnet (Möglichkeit 1, Berechnungsbeispiel).

- **Der Punkt hat eine andere Farbe:**

In diesem Fall trifft der Strahl auf eine schattenwerfende Fläche (Objekt) und der Strahl erhält den Wichtungsfaktor der Oberflächenreflexion (Möglichkeit 1).

Wie bereits beschrieben, werden alle gewichteten Strahlen in Abhängigkeit ihrer Neigung (zum Himmel oder zum Boden) zu einem Flächenwichtungsfaktor gemittelt, dessen Mittelung für die verschiedenen Winkel dann die endgültigen Wichtungsfaktoren v_S und v_G für Diffusstrahlung ergibt.

10 Haftungsausschluss

Die in diesem Benutzungshandbuch enthaltenen Angaben sind ohne Gewähr und können ohne weitere Benachrichtigung geändert werden. Die Programmentwickler gehen hiermit keinerlei Verpflichtung ein.

Aus der Anwendung des Programms sind keine Haftungsansprüche ableitbar. Es obliegt dem Anwender, die Plausibilität und Richtigkeit etwaiger mit dem Programm erzielter Ergebnisse durch eine fachgerechte Kontrolle zu überprüfen.

11 Kontakt

Prof. Dr.-Ing. F.D. Heidt
Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie
Universität Siegen
57068 Siegen

T: +49-271-740-3817
F: +49-271-740-3820
E: heidt@physik.uni-siegen.de
W: <http://nesa1.uni-siegen.de/>