

Abschlussbericht zum
AGIP-Projekt 2007.800

„Bildgestützte Planung und Messung von Solardachanlagen“

Prof. Dr. Thomas Luhmann
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Voigt

In Kooperation mit:
aleo solar AG, Oldenburg



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Kurzfassung des Abschlussberichts | 3 |
| 2 | Einleitung | 4 |
| 3 | Projektivtransformation | 5 |
| 3.1 | Mathematisches Modell | 5 |
| 3.2 | Referenzkörper | 6 |
| 4 | Bildanalyse und Mustererkennung | 8 |
| 4.1 | Least Squares Matching | 8 |
| 4.2 | Beispielhafte Messbilder | 9 |
| 5 | Die Programmoberfläche | 9 |
| 6 | Teilnahme an Messen, Öffentlichkeitsarbeit | 10 |
| 6.1 | Messen und Veranstaltungen | 10 |
| 6.2 | Presseartikel | 11 |
| 6.3 | Projekttag an der Berufsbildenden Schule Wildeshausen | 11 |
| 6.4 | Innovationsrunde | 11 |
| 6.5 | Sonstige Medien | 11 |
| 7 | Genauigkeitsanalyse | 12 |
| 7.1 | Monte-Carlo-Simulation | 12 |
| 7.2 | Simulationsergebnisse | 13 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 15 |
| 9 | Unterschrift | 15 |

1 Kurzfassung des Abschlussberichts

Die im Projektantrag formulierten Aufgaben und die daraus resultierenden Ergebnisse haben die Erwartungen bestätigt und gezeigt, dass sich die bisher in der Praxis angewendeten Methoden zur Vermessung einer potentiell für den Einsatz von PV- oder Solarthermie geeigneten Dachfläche durch photogrammetrische Verfahren nicht nur unterstützen, sondern in ihrer Genauigkeit deutlich verbessern lassen.

Die wesentlichen Kerninhalte des Projekts lassen sich stichpunktartig wie folgt zusammenfassen:

- Entwicklung des numerischen Modells für die Nutzung geometrischer Bedingungs-gleichungen zur Projektivtransformation
 - Bestimmung der für die projektive Entzerrung von unkalibrierten Bildern benötigten Parameter
 - Definition der zusätzlichen geometrischen Bedingungen und Bildung von entsprechenden Gleichungen
 - Abschätzung der Gewichtung der einzelnen geometrischen Bedingungen
- Entwicklung eines praktikablen Orientierungswerkzeugs
 - Bestimmung der Größe des Orientierungswerkzeugs unter Berücksichtigung der Relation zwischen Referenzobjekt und Dachfläche
 - Identifizierung eines geeigneten Materials, welches formbeständig, robust und trotzdem leicht zu handhaben und mobil sein soll
- Entwicklung der Bildanalysemethoden zur Mustererkennung und Zuordnung
 - Entwicklung von Algorithmen zur automatisierten Identifikation des Orientierungswerkzeugs in herkömmlichen Digitalfotos, unabhängig von der Aufnahmesituation
 - Implementierung von Bildbearbeitungstools, um ggf. im Vorfeld notwendige Bildkorrekturen vornehmen zu können
- Optimierung der grafischen Visualisierung
 - Auf Basis der zuvor entwickelten Algorithmen wurde eine Programmumgebung geschaffen, die es auch dem nichtfachlichen Anwender erlaubt, hinreichend genaue und visuell ansprechende Ergebnisse zu produzieren
- Integration in Solarberechnungsprogramme
 - Ein rudimentäres Programm zur Berechnung der Effizienz einer PV-Anlage wurde der Programmumgebung hinzugefügt
- Praxistests und Optimierung
 - Das oben geschilderte Verfahren wurde auf diverse reale Objekte bei unterschiedlichsten Aufnahmesituationen angewendet
 - Simulation der Fehlerfortpflanzung, um die Genauigkeitsgrenzen definieren zu können

2 Einleitung

Das Thema Photovoltaik gewinnt immer mehr an Bedeutung. Lange Zeit waren es rein ökologische Gründe, die zu einer Entscheidung „pro Photovoltaik“ geführt haben. Durch die Subventionen für erneuerbare Energien treten vermehrt auch ökonomische Gründe in den Vordergrund. Die Renditen, die mit einer PV-Anlage (privat betrieben oder als sog. Bürgersolaranlage organisiert) erreicht werden können, liegen mittlerweile oftmals höher als bei üblichen Bank- und Sparkassenanlagen. Für die Amortisierung (und die ab diesem Zeitpunkt beginnende gewinnbringende Stromproduktion) einer PV-Anlage werden Zeiträume von bis zu 17 Jahren ab Inbetriebnahme angenommen. Für diesen Zeitraum müssen qualifizierte Aussagen über die Effizienz einer Anlage getroffen werden. Grundlage einer Effizienzberechnung ist immer das Wissen über die zur Verfügung stehende, mit PV-Modulen belegbare Fläche. Eine möglichst präzise Planung im Vorfeld trägt zu einer gesteigerten Effizienz bei. Ausgangspunkt einer Planung ist dabei die Vermessung der zu beplanenden Fläche, um die Anzahl der zu installierenden Module sowie Art und Menge des benötigten Montagematerials zu ermitteln. Die bisherige Bestimmung der erforderlichen Maße geschah und geschieht vielfach durch Berechnung der Länge und Breite eines Daches auf Grund der Anzahl der auf dem Dach liegenden Ziegel.

In diesem Projekt wurde eine Lösung erarbeitet, die in ihrer Anwendung einfach ist und auch dem fachlich nicht versierten Nutzer ein Ergebnis ermöglicht, dabei die Qualität und die Genauigkeit der Planung aber deutlich steigert.

Als Lösungsweg wurde ein Referenzkörper entwickelt, der als Maßstab fungiert und sich zum Zeitpunkt der Bildaufnahme auf der zu beplanenden Fläche befinden muss. Weiterhin muss der Referenzkörper mindestens vier (in der Aufnahme) sichtbare Punkte besitzen, um die acht Parameter der ebenen Projektivtransformation bestimmen zu können (Kapitel 3 Projektivtransformation). Ein Bildverarbeitungsalgorithmus erkennt nun automatisch diesen Referenzkörper und wertet die Lage der einzelnen Punkte zueinander aus. Auf Grund der Bijektivität der Projektivtransformation lassen sich einzelne Maße in der Ebene des Referenzkörpers (im Bild) bestimmen und für weitere Planungsschritte (transformiert in reale Maße) verwenden.

Mit dem im Projekt entwickelten Programm können alle wichtigen Flächen (Dachfläche, Stör- und Fensterflächen sowie Gauben) erfasst und grafisch dargestellt werden. Aus einer in die Software integrierten Moduldatenbank können in diesen Flächen Planungsvarianten mit verschiedenen Modultypen angefertigt und visualisiert werden. Durch weitere Programmfunktionen wie Textfelder, Bemaßungen, Grundrissansichten und Export der Planungsdaten begleitet das Programm den Nutzer durch den gesamten Erfassungsprozess. Die gesamte Software erlaubt eine interaktive, an typische CAD- und Zeichenprogramme angelehnte Nutzung des Programms.

Schon während der Projektlaufzeit wurde ständig der Kontakt zu Unternehmen gesucht. Viele der Handwerks- und Elektrobetriebe, Architekten und Solarteure haben zusätzlich zum Kooperationspartner immer wieder zur Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit der Software beigetragen. Da ein Softwareentwickler sein Programm mit ganz anderen Kriterien als der spätere Anwender bewertet, hat diese Unterstützung maßgeblich zum Erfolg des Projektes beigetragen.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Projekttag (mit entsprechender Vor- und Nachbereitung) an der Berufsbildenden Schule Wildeshausen durchgeführt. Dafür wurden die Schüler (größtenteils Anlagen- und Elektrotechniker) einen Tag vom regulären Unterricht befreit und ha-

ben sich in einem Theorie- mit anschließendem Praxisteil, begleitet von einer Lehrkraft und dem FH-Projektmitarbeiter, in die Thematik der solaren Energiegewinnung eingearbeitet.

Die Teilergebnisse des Projekts wurden auf verschiedenen Messen und Veranstaltungen in der Region vorgestellt und das Feedback der Messebesucher in den nächsten Projektphasen berücksichtigt. Das Projekt stieß hierbei auf durchweg positive Resonanz und hat die Jade Hochschule in den Fokus sowohl von Solarbetrieben als auch Energienetzwerken gerückt. Hierdurch konnten weitere themenverwandte Projekte initiiert und drittmittelfinanzierte Arbeitsstellen an der Jade Hochschule geschaffen werden, so dass die Hochschule weiterhin als gefragte Forschungseinrichtung und Kooperationspartner in der Region gesehen wird.

Die Software wurde während der regulären Projektlaufzeit an diversen Anlagen und unter verschiedensten Bedingungen getestet. Auf Grund der individuellen Aufnahmesituation bei den einzelnen Anlagen konnten jedoch noch keine allgemeingültigen Aussagen über die Mess- und Planungsgenauigkeit der Software getroffen werden. Aus diesem Grund wurde eine (kostenneutrale) Projektverlängerung beantragt, um diese Genauigkeiten durch Simulationsrechnungen angeben zu können (Kapitel 7 Genauigkeitsanalyse). Das Ergebnis dieser Simulationen zeigt, dass die Genauigkeit der Messungen um den Faktor 3 auf 1dm gesteigert werden konnte; bei gleichzeitiger Vereinfachung des Messablaufs.

3 Projektivtransformation

3.1 Mathematisches Modell

Ausgangspunkt für die Lösung der gestellten Aufgabe in diesem Projekt ist die ebene Projektivtransformation. Bei der Projektivtransformation werden zwei ebene Koordinatensysteme zentralperspektiv aufeinander abgebildet. Die Transformationsgleichungen lassen sich unter bestimmten Bedingungen aus den Formeln der Kollinearitätsgleichungen herleiten.

Die Kollinearitätsgleichungen

$$\begin{aligned} x' &= x'_0 - c \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_0) + r_{21} \cdot (Y - Y_0) + r_{31} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} \\ y' &= y'_0 - c \cdot \frac{r_{12} \cdot (X - X_0) + r_{22} \cdot (Y - Y_0) + r_{32} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

beschreiben eine räumliche zentralperspektive Transformation von Objektkoordinaten (X, Y, Z) in entsprechende Bildkoordinaten (x', y') unter Kenntnis der inneren Orientierung $(x'_0, y'_0, c=z')$ und der äußeren Orientierung $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa)$ eines Bildes.

In ihrer alternativen Form

$$\begin{aligned} x' &= \frac{a'_0 + a'_1 X + a'_2 Y + a'_3 Z}{1 + c'_1 X + c'_2 Y + c'_3 Z} \\ y' &= \frac{b'_0 + b'_1 X + b'_2 Y + b'_3 Z}{1 + c'_1 X + c'_2 Y + c'_3 Z} \end{aligned} \quad (2)$$

beschreiben die Kollinearitätsgleichungen eine räumliche Zentralprojektion mit elf Parametern, wie sie auch mit dem Ansatz der Direkten Linearen Transformation (DLT) vorliegt. Für ein ebenes Objekt mit $Z=0$ ergeben sich die Transformationsgleichungen der ebenen Projektivtransformation in der Form

$$\begin{aligned} x' &= \frac{a'_0 + a'_1 X + a'_2 Y}{1 + c'_1 X + c'_2 Y} \\ y' &= \frac{b'_0 + b'_1 X + b'_2 Y}{1 + c'_1 X + c'_2 Y} \end{aligned} \quad (3)$$

bzw. der inversen Form:

$$\begin{aligned} X &= \frac{a_0 + a_1 x' + a_2 y'}{c_1 x' + c_2 y' + 1} \\ Y &= \frac{b_0 + b_1 x' + b_2 y'}{c_1 x' + c_2 y' + 1} \end{aligned} \quad (4)$$

Zur Bestimmung der acht Parameter der ebenen Projektivtransformation genügen vier identische Punkte in beiden Koordinatensystemen, von denen nicht drei auf einer Geraden liegen dürfen. Die direkte Lösung der Koeffizienten ist möglich, wenn der Nenner in Gleichung (3) auf die andere Seite gebracht wird und damit ein lineares Gleichungssystem entsteht (KRAUS 2004, LUHMANN 2003). Bei einer überbestimmten Lösung erfolgt die Berechnung durch Ausgleichung

3.2 Referenzkörper

Die (mindestens) vier benötigten Passpunkte zur Bestimmung der Parameter der ebenen Projektivtransformation lassen sich durch einen Referenzkörper vorgeben. Auf einem solchen Referenzkörper haben die Punkte einen festen, in einer Testumgebung präzise festgelegten Abstand zueinander.

Als erste Größe eines Referenzkörpers wurden Punktabstände von ungefähr 90cm definiert. Wenn man die durchschnittlichen Maße eines Einfamilienhausdaches mit einer Breite von 12m und einer Länge von 8m annimmt, so führt ein Referenzkörper mit einer Kantenlänge von gut einem Meter zu einem Verhältnis von Referenzkörper zu Dachfläche von 1:8 bis 1:12, sodass Mess- und Transformationsfehler immer noch recht stark extrapoliert werden. Trotzdem wurden mit Blick auf die Praxistauglichkeit die Maße des Referenzkörpers entsprechend begrenzt. Die späteren Simulationen (Kapitel 7.2 Simulationsergebnisse) zeigen, dass trotz dieser Einschränkung die zu erreichende Genauigkeit gegenüber herkömmlichen Messmethoden deutlich gesteigert werden konnte.

Das Material des Referenzkörpers muss verschiedenen Ansprüchen genügen: zum einen soll es robust, formbeständig und nicht-spröde sein, zum anderen soll es – mit Blick auf den späteren Praxiseinsatz – mobil, leicht und möglichst klein sein. Des Weiteren sollte es einen hohen Kontrast zwischen den Punkten und dem eigentlichen Material aufweisen und es sollte nicht reflektierend sein. Die Kosten eines solchen Referenzkörpers sind ebenfalls ein Faktor, der bei der Beurteilung der späteren Praxistauglichkeit eine entscheidende Rolle spielt.

Es wurden verschiedene Materialien und Formen auf ihre Tauglichkeit getestet. Ein einem Flugdrachen ähnelndem, auf Diagonalstreben aufgespanntes (schwarzes) Tuch, mit aufgeklebten (weißen) Marken erfüllte zwar die Kriterien zur Mobilität, war zerlegbar und somit transportabel, erfüllte aber nicht die Kriterien zur Formbeständigkeit, da es nach mehrmaligem Gebrauch Falten aufwies und die zuvor ermittelten Punktabstände mehr als die erforderliche Genauigkeit es zuließ schwankten. Durch das sehr geringe Gewicht und die Windanfälligkeit gestaltete sich zudem die Fixierung des Tuchs auf dem Dach als schwierig.

Eine Platte aus kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff (CFK-Platte) weist in Bezug auf Formbeständigkeit und thermaler Unempfindlichkeit insgesamt bessere bis beste Eigenschaften auf, ist aber ebenso windanfällig und nicht gut zu positionieren wie ein aufgespanntes Tuch. Der Preis und die Mobilität einer 1m² großen CFK-Platte sind weitere Ausschlusskriterien.

Als praktikabelste Lösung wurde ein Kreuz als Referenzkörper identifiziert. Ein Kreuz bietet den Vorteil, dass alle für die Entzerrung notwendigen Punkte aufgebracht werden können, nicht genutztes (und somit Gewicht verursachendes) Material ausgeschnitten werden kann. Das Kreuz besteht aus zwei Polyethylenplatten, die in ihrer Mitte miteinander verschraubt werden. Eine gegengleiche Fräsung sorgt für eine passgenaue Montage. Die Latten mit den Maßen 75mm x 970mm x 14mm (Breite, Länge, Dicke) lassen sich gut transportieren und sind auf Grund der PE-Eigenschaften relativ unempfindlich gegenüber äußeren Einflüssen.

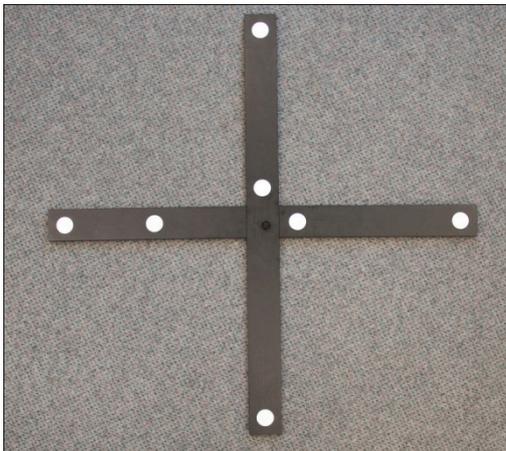


Abbildung 1: Referenzkörper



Abbildung 2: Referenzkörper (Ausschnitt)

Der Referenzkörper wurde im photogrammetrischen Labor des Instituts für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik an der Jade Hochschule in Oldenburg eingemessen. Dazu wurde das Kreuz in ein Referenzfeld aus Codemarken gelegt und mit der Software AICON 3D-Studio innerhalb einer Bündelausgleichung vermessen. Verwendet wurden 77 12-bit-codierte Marken mit einem maximalen Abstand von 30 cm zueinander. Die Aufnahmen wurden mit einer Nikon D2x mit 24mm-Objektiv gemacht.

4 Bildanalyse und Mustererkennung

Entscheidend für eine automatisierte Entzerrung ist das Erkennen des Referenzkörpers bzw. die Identifizierung der auf ihm befindlichen Marken. Der Algorithmus ist so gestaltet, dass die Messmarken automatisch gefunden und identifiziert werden. Die Identifizierung ist durch die eindeutige Verteilung der sieben Marken auf dem Referenzkörper gegeben. Die Genauigkeit der Markenmessung liegt bei ca. 0,1 Pixel.

4.1 Least Squares Matching

Zur Identifizierung der auf dem Referenzkörper befindlichen Punkte in dem Gesamtbild (=Suchbild) wird ein in der Software hinterlegtes (synthetisches) Suchmuster (=Template) mit dem vom Anwender gewählten Suchbildausschnitt abgeglichen. Mittels Least Squares Matching (LSM [FÖRSTNER 1982, GRUEN 1985]) werden dann die geeigneten Kandidaten bestimmt. Beim LSM werden im Zuge der Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen die Grauwertdifferenzen zwischen Template und Suchbild iterativ minimiert.

Das zugehörige funktionale Modell beinhaltet eine radiometrische Transformation zur Anpassung von Kontrast- und Helligkeitsunterschieden und eine geometrische Transformation zur Anpassung der beschriebenen geometrischen Verzerrungen zwischen den Bildausschnitten.

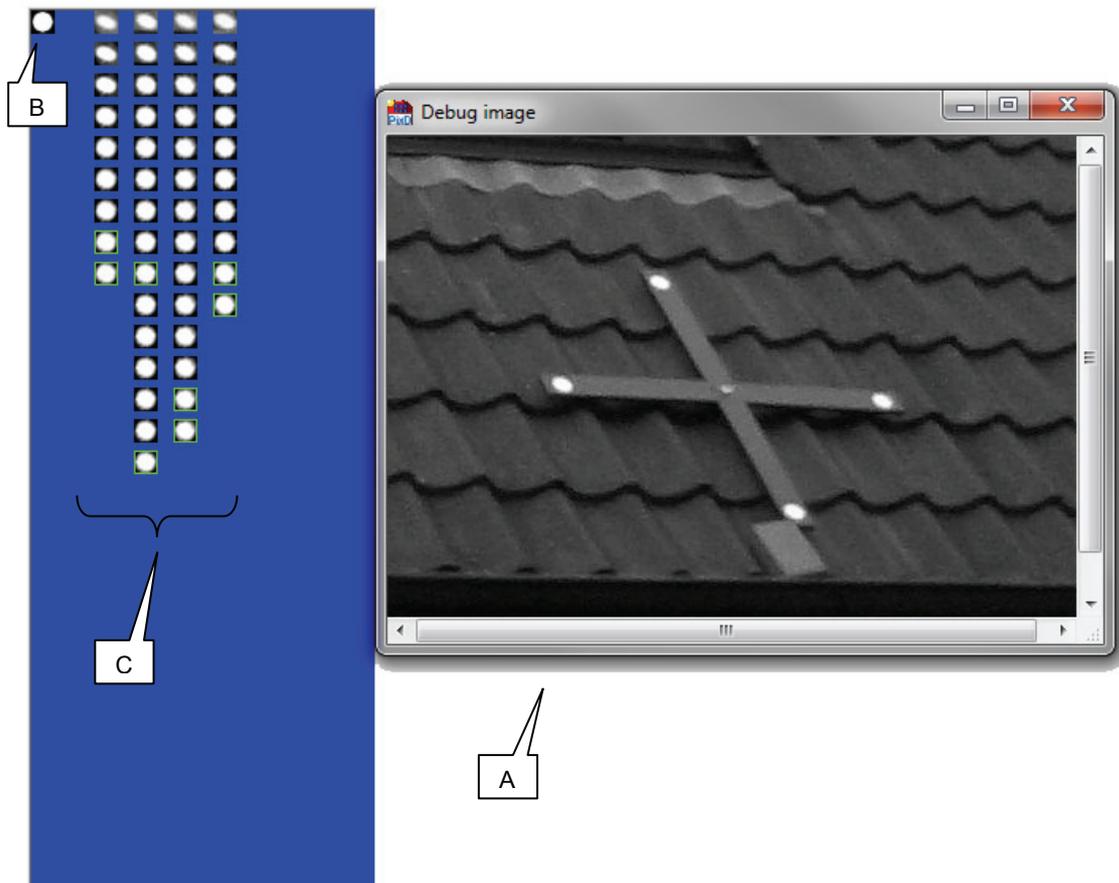


Abbildung 3: Bildanalyse: In einem vom Anwender zu wählenden Ausschnitt (Abbildung 3; „A“) werden mögliche Kandidaten an Hand des in der Software hinterlegten Musters (Abbildung 3, „B“) identifiziert und mittels Least Squares Matching als Referenzpunkte bestätigt (Abbildung 3, „C“).

4.2 Beispielhafte Messbilder

Abbildung 4 zeigt beispielhafte Bildausschnitte der real abgebildeten Zielmarken des Referenzkörpers. Dargestellt sind hier Versionen unterschiedlicher Referenzkörper mit vier bzw. sieben Referenzpunkten. Der entwickelte Algorithmus ist dabei in der Lage, sämtliche dieser oder vergleichbarer Punktmuster ohne Eingriff des Bedieners zu lokalisieren und zu identifizieren.

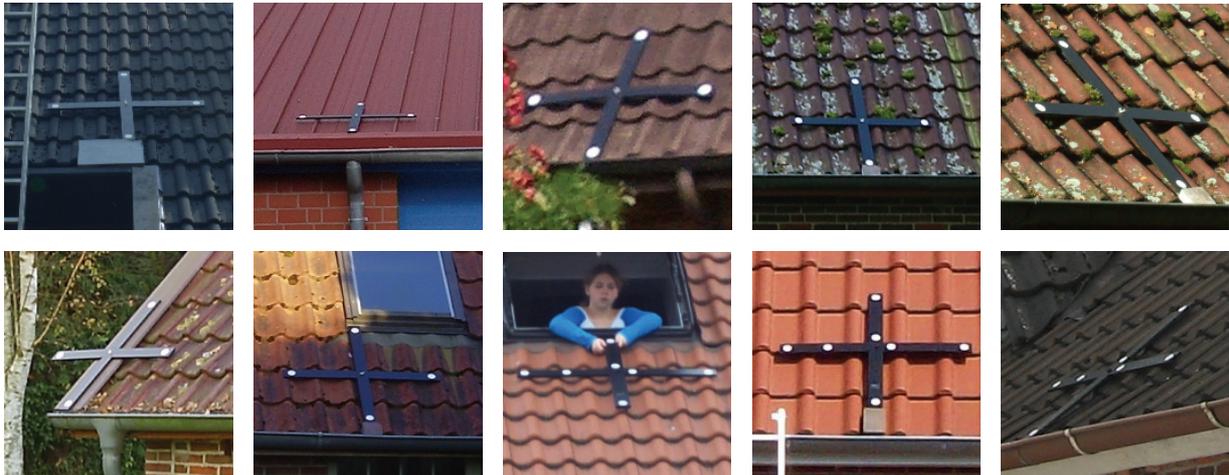


Abbildung 4: Beispielbilder für automatische Punktmessung: Trotz unterschiedlicher Beleuchtungs- und Kontrastverhältnisse werden die jeweiligen Punktmuster automatisch und fehlerfrei erkannt.

5 Die Programmoberfläche

In der Anwendungsumgebung (Abbildung 5) werden alle wesentlichen Arbeitsschritte der Planung als einfach zugängliche Buttons zur Verfügung gestellt.

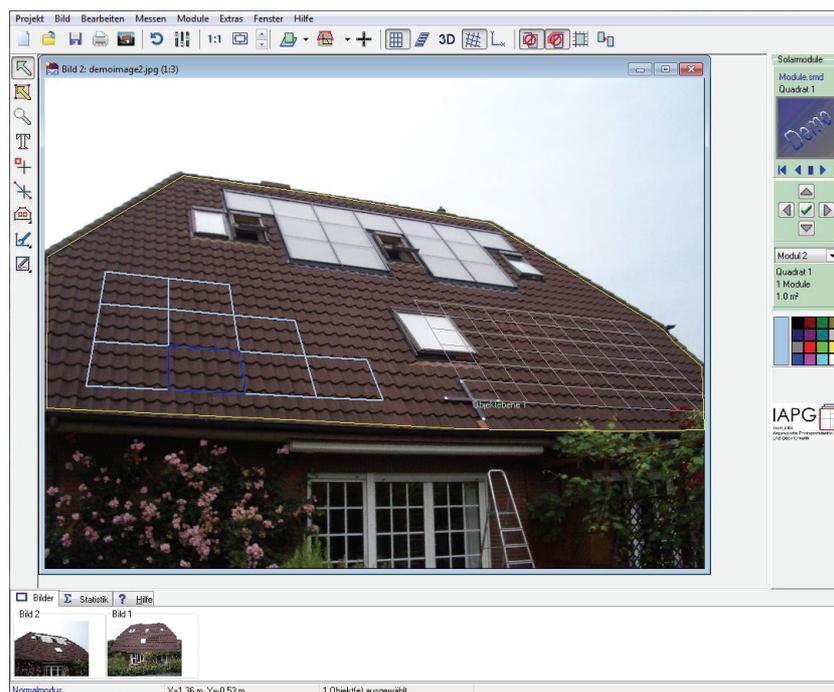


Abbildung 5: Programmoberfläche

Das Programm besitzt zahlreiche Funktionen, die eine passgenaue und kollisionsfreie Planung der Solaranlage erlauben. So wird verhindert, dass Solarmodule auf Störf lächen (z.B. Fenster, Schornsteine) oder in Schattenbereichen liegen können. Viele dieser Optionen und Hilfstools sind voreingestellt und vorkonfiguriert, können aber bei Bedarf durch ein entsprechendes Auswahlfenster geändert werden. CAD-typische Funktionen ermöglichen das Ausrichten, Kopieren oder Einfügen von Modulen. Der implementierte Algorithmus erlaubt außerdem eine vollautomatische Belegung der gesamten zur Verfügung stehenden Dachfläche.

Zusätzliche Bildbearbeitungsfunktionen ermöglichen das nachträgliche Ausbessern etwaiger Aufnahmefehler. Veränderungen von Helligkeit, Kontrast und Gammawert sind ebenso möglich wie Histogrammebnung und Verzeichnungskorrektur (Abbildung 6).

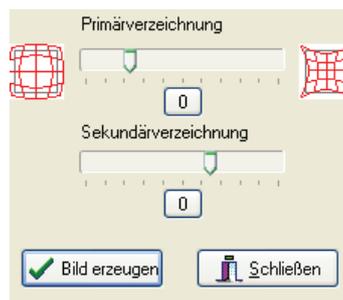


Abbildung 6: Verzeichnungskorrektur

6 Teilnahme an Messen, Öffentlichkeitsarbeit

6.1 Messen und Veranstaltungen

Auf folgenden Veranstaltungen und Messen wurde das Projekt präsentiert:

- | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------|
| • 07.03.2008 | Oldenburger Bautag | Oldenburg |
| • 13. Juni 2008 | Vortrag auf der InterSolar | München |
| • 10. – 11.10.2008 | Energiesparmesse Oldenburger Land | Rastede |
| • 30.09.2008 – 02.10.2008 | InterGEO | Bremen |
| • November 2008 | Energietage Jade-Weser | Wilhelmshaven |
| • 28. – 29.01.2009 | 3D-Tage | Oldenburg |
| • 27. – 29.03.2009 | NordHaus | Oldenburg |
| • 25. – 26.10.2009 | Energiesparmesse Oldenburger Land | Rastede |
| • 03. – 04.02.2010 | 3D-Tage | Oldenburg |
| • 26. – 28.03.2010 | NordHaus | Oldenburg |

Die Resonanz auf diesen Veranstaltungen war durchweg positiv. Sowohl Solarteure und Handwerker als auch Hauseigentümer äußerten sich zu der anzuwendenden Methode und haben durch die Gespräche gezeigt, dass die Idee und die Umsetzung als gelungen betrachtet werden kann. Die Ergebnisse und Anregungen dieser Gespräche wurden, soweit es möglich war, bei den Planungen der nächsten Projektphasen berücksichtigt.

Da einige Veranstaltungen mehrmals besucht wurden, entstanden zusätzlich Kontakte zu anderen Ausstellern, die nicht zwingend oder ausschließlich der Solarbranche angehörten. Somit konnte nicht nur dieses Projekt von den Messeteilnahmen profitieren. So erhielt z.B. das EFRE-geförderte Forschungsprojekt „Nachträgliche Hohlraumdämmung“ oder das, von der Fachhochschule als Lead Partner geführte EU-Projekt „North Sea Sustainable Energy

Planning“ die Möglichkeit, sich zusammen mit diesem Projekt zu präsentieren. Andererseits haben die zuvor erwähnten Projekte in ihren Branchen eine Präsentationsbasis für dieses Forschungsprojekt geschaffen.

6.2 Presseartikel

- November 2008 Hochschule am Markt
- Dezember 2008 Oldenburger Monatszeitung
- 13.01.2009 Nordwestzeitung
- März 2009 Jahresbericht des IAPG
- März 2010 Jahresbericht des IAPG

6.3 Projekttag an der Berufsbildenden Schule Wildeshausen

Die Fachhochschule wurde auf Grund eines Vortrags von den Berufsbildenden Schulen Wildeshausen (BBS) angesprochen. Durch mehrmalige Treffen ist eine Projektidee entstanden, die zu einem Projekttag an der BBS führte.

Die BBS hat in Vorbereitungsstunden erste Grundlagen zum Thema Photovoltaik und Solarthermie vermittelt. An dem eigentlichen Projekttag wurden die Schüler (hauptsächlich Anlagen- und Elektrotechniker) vom regulären Unterricht befreit und haben sich in mehreren Teilaufgaben sowohl theoretisch als auch praktisch mit der Planung und Installation einer PV-Anlage beschäftigt. Begleitet durch einen Lehrer der BBS und den wissenschaftlichen Mitarbeiter des Projekts haben die Schüler eine Einführung in die Planung einer PV-Anlage bekommen und die Kenntnisse an einem schulnahen Gebäude umsetzen müssen. Weiterhin wurde eine PV-Übungsanlage auf dem Schulgelände angeschlossen, so dass das erworbene Wissen um Elektrotechnik, Sicherungsmaßnahmen und Arbeitsablauf umgesetzt werden konnte.

6.4 Innovationsrunde

Am 03. Dezember 2008 wurde von der Technologiebeauftragten am Studienort Oldenburg eine Innovationsrunde mit dem Titel „Planung von Solaranlagen“ organisiert. In den Innovationsrunden bieten die Fachleute der Fachhochschule einen Überblick über den Stand der Technik in unterschiedlichen Disziplinen, zeigen die wichtigsten Entwicklungen und Trends auf und informieren über die Anwendungsmöglichkeiten neuer Technologien. Neben den FH-Referenten und dem Kooperationspartner aleo solar AG konnte ein Vertreter der IFE Projekt- und Beteiligungsmanagement GmbH als Vortragender gewonnen werden.

Den rund 40 Teilnehmern aus dem Handwerk, aus Architektur und Planungsbüros sowie aus regionalen Kreditinstituten wurde ein umfangreiches Themenspektrum vorgestellt. Die anschließende Diskussionsrunde hat erneut zu positiven Reaktionen und Anregungen zum Projekt geführt.

6.5 Sonstige Medien

- 12.06.2009 TV-Bericht im Lokalsender OEins
- 2009; ganzjährig Stele in der Oldenburger Innenstadt inkl. *CultureCall*



Abbildung 7: Stele im Rahmen der "Spur der Wissenschaft"

7 Genauigkeitsanalyse

Die Software wurde, u.a. unterstützt durch den Kooperationspartner, an mehreren realen Objekten getestet. Die sehr individuellen Gegebenheiten (Lage, Größe und Ausrichtung der Dachfläche, verschattende Objekte, Wahl der zu installierenden Modulleistung) kombiniert mit den durch örtliche Umstände bedingten Aufnahmesituationen lassen bisher keine pauschale Aussage über das Fehlverhalten der entwickelten Algorithmen zu. Auf Grund der (kostenneutralen) Projektverlängerung war eine Genauigkeitsanalyse möglich.

7.1 Monte-Carlo-Simulation

Zur Durchführung der Genauigkeitsanalyse wurde die Monte-Carlo-Methode angesetzt. Mit der Methode der Monte-Carlo-Simulation kann das Fehlverhalten eines komplexen Systems numerisch simuliert werden. Allen Eingangsgrößen einer Berechnung werden eine Verteilungsfunktion (z.B. Normalverteilung) sowie systematische und zufällige Rauschteile zugewiesen. Durch wiederholtes Durchlaufen einer Simulationsschleife variieren die Eingangsgrößen gemäß den zugeordneten Abweichungen und führen zu entsprechend variierenden Ausgangsgrößen. Daraus lassen sich statistische Kenngrößen (Standardabweichungen, RMS-Werte, Spannen) ableiten, die das Fehlverhalten des Systems realistisch repräsentieren, sofern die Fehlerverteilungsfunktionen praxisnah definiert worden sind.

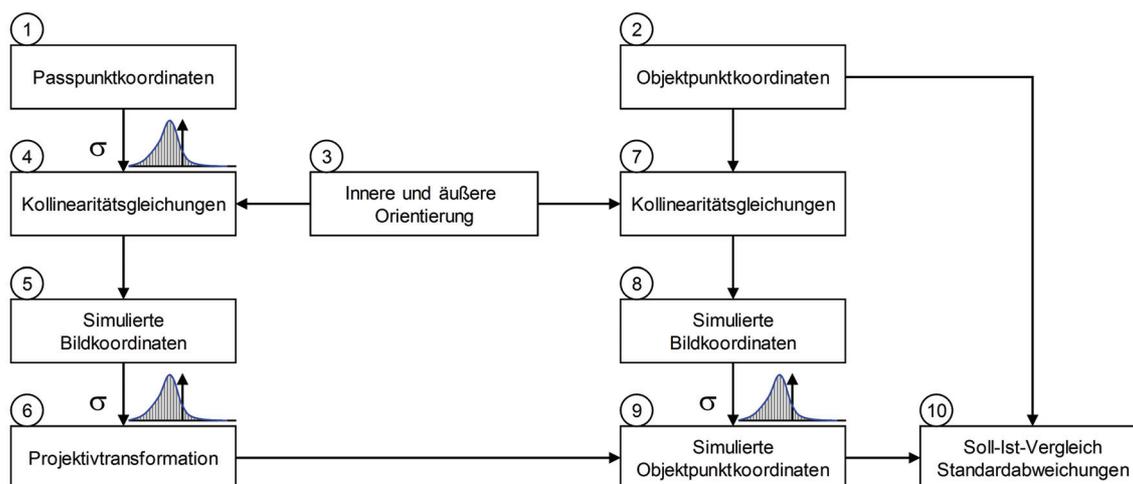


Abbildung 8: Ablauf der Monte-Carlo-Simulation

Abbildung 8 stellt den Ablauf der Monte-Carlo-Simulation für die Genauigkeitsuntersuchung der ebenen Projektivtransformation dar. Ausgehend von fehlerfreien Passpunktkoordinaten (1) und einer angenommenen Kamera mit innerer und äußerer Orientierung (3) werden über die Kollinearitätsgleichungen (4) simulierte Bildkoordinaten (5) berechnet. Aus Pass- und Bildpunktkoordinaten werden die acht Parameter der Projektivtransformation (6) bestimmt. Aus einer Liste gegebener fehlerfreier Objektkoordinaten (Vergleichspunkte) (2) werden mit denselben Orientierungsparametern (3) ebenfalls simulierte Bildkoordinaten (7) berechnet, aus denen mit der vorher berechneten Projektivtransformation (6) neue simulierte Objektkoordinaten (9) erhalten werden. Das in Abb. 3 dargestellte Symbol σ kennzeichnet dabei jeweils die Stellen im Simulationsablauf, an denen ein zufälliges Rauschen angebracht werden kann. Da die simulierte Objektkoordinaten damit verrauscht sind, kann über einen Soll-Ist-Vergleich (10) mit den fehlerfreien Objektkoordinaten das Genauigkeitsverhalten im Objektraum analysiert werden. Der Monte-Carlo-Prozess verläuft dabei über n Iterationen der Arbeitsschritte (4) bis (10). Der dargestellte Simulationsprozess erlaubt auch die Einführung nicht ebener Pass- und Objektpunktkoordinaten. Damit können Abweichungen von der Ebenheit der Objektpunktfelder simuliert werden, z.B. zur Analyse einer unebenen Dachfläche oder einer Schiefelage des Referenzkörpers. Im Einzelnen werden vor allem folgende Fehlereinflüsse untersucht:

- Bildmessgenauigkeit der Referenzpunkte
- Genauigkeit der Referenzpunkte im Objektraum
- Lage des Passkreuzes in der Objektebene
- äußere Orientierung der Kamera (relative Lage und Orientierung von Bild- und Objektebene)
- Einfluss nicht-ebener Objektpunkte

7.2 Simulationsergebnisse

Aus der Vielzahl der möglichen Variationen von Eingangsparametern werden im Folgenden einige exemplarische Simulationsergebnisse dargestellt und bewertet. Ausgehend von einer Objektfläche von 12m x 8m mit 45° Dachneigung wird eine typische Kameraposition gemäß Abbildung 9 simuliert. Der Referenzkörper hat eine Ausdehnung von ca. 1m x 1m und liegt typischerweise am unteren Rand des Daches.

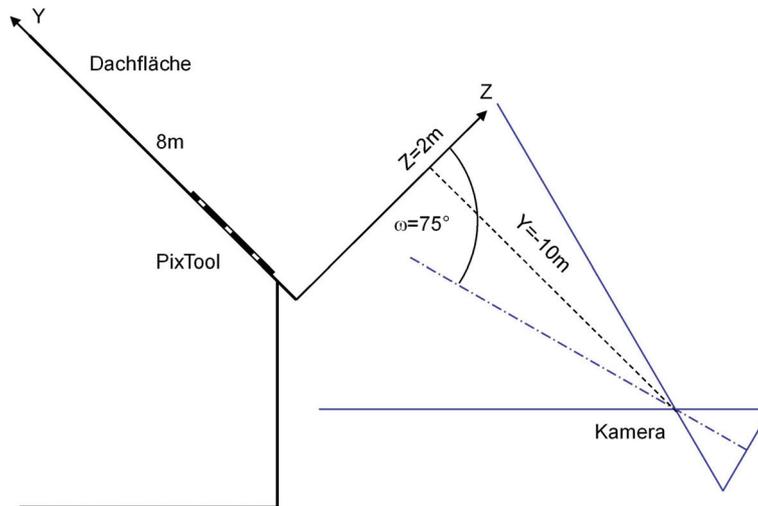


Abbildung 9: typische Aufnahmeconfiguration

Tabelle 1 zeigt beispielhafte Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für zwei unterschiedliche Szenarien. Die jeweilige Bildpunktverteilung zeigt, dass die Aufnahme des Daches unter einem sehr schrägen Winkel erfolgt. Bei zentrischer Lage des Referenzkörper ergeben sich erwartungsgemäß symmetrische Fehlervektoren mit einer mittleren Länge von ca. 42mm (in Y) und einer maximalen Länge von ca. 104 mm (in Y) wobei die genannten Rauschanteile mit >3 Sigma eingehen. Mit identischen Rauschanteilen, etwas günstigerer Blickrichtung und seitlich gelegenem Referenzkörper ergeben sich asymmetrisch verteilte Koordinatenfehler mit einer mittleren Genauigkeit von ca. 46mm (in Y) und einer maximalen Länge von ca. 145 mm (in Y).

| | |
|--|--|
| <p>PixTool zentrisch Omega = 75°</p> <p>Genauigkeit Passpunkte: 0.5mm Genauigkeit Bildmessung: 0.001mm</p> <p>RMSX = 24mm (max. 82mm) RMSY = 42mm (max. 104mm)</p> | <p>PixTool seitlich Omega = 45°</p> <p>Genauigkeit Passpunkte: 0.5mm Genauigkeit Bildmessung: 0.001mm</p> <p>RMSX = 33mm (max. 101mm) RMSY = 46mm (max. 145mm)</p> |
| | |
| <p style="text-align: center;">Fehlervektoren</p> | <p style="text-align: center;">Fehlervektoren</p> |

Tabelle 1: Beispielhafte Simulationsergebnisse

8 Literaturverzeichnis

FÖRSTNER, W., 1982: On the geometric precision of digital correlation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 26/3: 150-166

GRUEN, A., 1985): Adaptive least squares correlation – a powerful image matching technique. In: South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, 14(3): 175-187

KRAUS, K., 2004: Photogrammetrie. Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. Walter de Gruyter, Berlin.

LUHMANN, T., 2003: Nahbereichsphotogrammetrie. Wichmann Verlag, Heidelberg.

LUHMANN, T., VOIGT, A., 2010: Automatische projektive Bildentzerrung am Beispiel der bildgestützten Planung von Solardachanlagen. Publikationen der DGPF, Band 19, S. 469-476.

9 Unterschrift

Prof. Dr. Thomas Luhmann,
Projektleiter