



**Beuth Hochschule
für Technik
Berlin**
University of Applied Sciences

**Fachbereich VIII
Maschinenbau Erneuerbare Energien**



CFX Berlin Software GmbH
Karl-Marx-Allee 90
10243 Berlin

Bachelorarbeit

Numerische Simulation zur Umströmung einer Photovoltaikanlage

Irmela Blaschke

Verfasserin: Irmela Blaschke Matrikel-Nr. s746529
Studiengang: Maschinenbau Erneuerbare Energien
E-Mail-Adresse: s26975@beuth-hochschule.de
Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Peter Bartsch Beuth Hochschule für Technik Berlin
Zweitgutachter: Dr. rer. nat. Andreas Spille-Koffo CFX Berlin Software GmbH

Inhalt

Formelzeichenverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis	V
Verwendete Abkürzungen.....	VIII
Tabellenverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund der Arbeit	1
1.2 Stand der Technik.....	2
1.3 Aufgabenstellung und Übersicht.....	3
2 Grundlagen Numerischer Strömungssimulation.....	5
2.1 Grundgleichungen	5
2.1.1 Massenerhaltung.....	7
2.1.2 Impulserhaltung.....	8
2.2 Reynoldsgemittelte Navier-Stokes-Gleichungen	9
2.3 Diskretisierung der Erhaltungsgleichungen	15
2.3.1 Räumliche Diskretisierung	17
2.3.2 Zeitliche Diskretisierung.....	22
2.4 Lösen der Erhaltungsgleichungen	23
2.5 Fehlerquellen.....	25
2.6 Das Programmpaket ANSYS Workbench.....	26
3 Trägersysteme für Photovoltaikmodule.....	29
3.1 Typische Geometrien.....	29

3.2	Ausgewählte Varianten.....	31
4	Simulation mit ANSYS CFX	34
4.1	ANSYS DesignModeler	34
4.1.1	Geometrie Modul.....	35
4.1.2	Anordnung der Module.....	36
4.1.3	Geometrie Strömungsraum	36
4.2	Die Vernetzung	37
4.3	Randbedingungen.....	39
4.4	Voruntersuchungen.....	41
5	Parameterstudie.....	44
5.1	Geometrie I.....	44
5.1.1	Ergebnisse Variante 7.....	51
5.1.2	Ergebnisse Variante 11	55
5.2	Geometrie II	58
5.2.1	Variante 12.....	64
5.2.2	Variante 7	67
5.3	Gitterstudie.....	70
5.4	Vergleich Geometrie I und II	74
6	Zusammenfassung und Ausblick	78
	Literatur.....	80

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Auf den ersten Blick lassen sich die Ergebnisse dieser Untersuchung wie folgt zusammenfassen: Um die wirkende Gesamtkraft möglichst gering zu halten, ist es sinnvoll, die Module mit einem Schott zu versehen, da dies die angreifenden Kräfte merklich verringert. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass diese Kräfte maßgeblich sowohl von den gewählten Spaltmaßen als auch von der Geometrieform beeinflusst sind. Um sie so klein wie möglich zu halten, gilt es Geometrien zu finden, die zu möglichst geringen C_A - und C_W -Werten führen.

Die Arbeit zeigt, dass Variante 11 der Geometrie I und Variante 12 der Geometrie II erst einmal die günstigsten Werte aufweisen. Der mit der Moduloberkante auf einer Ebene liegende Spalt, scheint geringere Auftriebskräfte hervorzurufen, wohingegen der unterhalb der Modulunterkante liegende Spalt geringere Widerstandskräfte bewirkt. In der Summe scheint aber Variante 11 (Spalt A unten) etwas günstiger abzuschneiden.

Wie in Kapitel 5 schon erwähnt, kommt zu der durch die Strömung hervorgerufenen Bodenkraft noch die Gewichtskraft der Schott-Modul-Einheit so wie die entstehende Auftriebs- und Widerstandskraft hinzu. Ist der C_A - bzw. C_W -Wert relativ hoch, muss dies durch entsprechend kompaktere Befestigungskomponenten ausgeglichen werden, was zwangsläufig zu höherem Gewicht und damit zu einer höheren Gewichtskraft führt. Auch die Schottgröße hat Einfluss auf das Gewicht. Variante 11 hat auf Grund der relativ geringen Schottfläche vermutlich das geringste Eigengewicht, und es ist theoretisch vorstellbar, dass hier in der Summe die geringsten Dachlasten auftreten.

Die ermittelten Werte beziehen sich allerdings nur auf die gewählten „optimalen“ Bedingungen im Strömungsraum. Berücksichtigt sind weder das Verhalten bei Windböen oder Schräganströmung noch Umweltbedingungen wie z.B. Bodenrauigkeiten und städtisches oder ländliches Gelände. Auch repräsentiert diese Arbeit auf Grund des gewählten Strömungsraumes mehr den Charakter einer Freiland- als den einer Dachanlage. Eine umlaufende Dachbrüstung z.B. würde vermutlich zu anderen Ergebnissen führen. Es ist also auf Grund dieser Untersuchung nur bedingt feststellbar, welches die wirklich günstigste Geometrieform ist.

Ein in diesem Zusammenhang weiterer wichtiger Punkt ist die hier durchgeführte 2D-Simulation, d.h. die ermittelten Werte sind eigentlich nur auf eine Reihe hintereinander liegender Module anwendbar und das auf Grund der vereinfachten Geometrie (s. Modellfehler) auch nur bedingt. Man kann sich leicht vorstellen, dass bei einer aus mehreren Reihen bestehenden Anlage die außen liegenden Module andere Werte aufweisen als die in der Mitte. In weiteren Untersuchungen muss also auf jeden Fall auch eine 3D-Simulation durchgeführt werden.

Abschließend soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass eine Strömungssimulation immer nur eine Annäherung an die Realität ist. Es ist wichtig, parallel dazu auch immer Versuche im Windkanal oder besser noch im Freiland durchzuführen. Erst der Vergleich mit solchen Ergebnissen zeigt, wie „brauchbar“ die durchgeführten Simulationen wirklich sind.

Um die wirklich günstigste Geometrieform zu finden, bedarf es also vieler weiterer Untersuchungen. Diese Arbeit ist als eine Grundlage für solche Untersuchungen aufzufassen.