

Projektthema:

Retrofit der Anlage zur Schattenabschaltung einer bestehenden Windkraftanlage



Abbildung 1: Neuer Sensor auf der Windkraftanlage

Name des Projektleiters
Name des 2. Teammitgliedes
Name des 3. Teammitgliedes
Name des 4. Teammitgliedes

Alexander Wiedemann, ME22
Christoph Baumann, ME22
Martin Schlegel, ME22
Raphael Högg, ET22a

Projektlehrer

Werner Schramm
werner.schramm@technikerschule-augsburg.de

Externe Firma

Windrad Peiting UG & Co. KG
Werner Schramm (GeFü)

Schuladresse:

Technikerschule Augsburg
Alter Postweg 101, 86159 Augsburg
info@technikerschule-augsburg.de

Hinweis: In dieser Zusammenfassung wurde auf Bild- und Quellennachweise verzichtet.

1. Projektmotivation und Projektidee

Schlagschatten von sich drehenden Windkraftanlagen stellt eine Belastung für Siedlungen dar, die im Schattenbereich von Anlagen liegen. Die Windkraftanlage in Peiting wurde vor 20 Jahren errichtet und hat eine Gesamthöhe von 94m bis zur Rotorblattspitze. Einige Siedlungen in Peiting liegen vor allem in den Wintermonaten vormittags im Schattenbereich der Anlage.

Aus diesem Grund verfügt die Windkraftanlage über eine automatische Schattenabschaltung, die die Anlage deaktiviert, wenn in den Morgenstunden bei Sonnenschein ein zu langer Schatten auf nahegelegene Siedlungen fällt. Die Schattenzeiten werden mithilfe eines Schattensensors erfasst und in einem Speicher protokolliert. Wenn die Schattenzeiten für den jeweiligen Bereich pro Tag 30 Minuten oder pro Jahr 8 Stunden überschreiten, wird die Anlage automatisch gestoppt, bis der Schatten weitergewandert ist.

Die Anlage zur Schattenabschaltung funktionierte nicht mehr zuverlässig und der Hersteller existiert nicht mehr. Aus diesen Gründen wurde von der Betreiberfirma der Windkraftanlage das Schülerprojekt zur Reparatur bzw. Erneuerung der Anlage an der Technikerschule Augsburg ausgeschrieben. Gesucht wurden für dieses Gruppenprojekt 4 bis 5 Schülerinnen und Schüler aus den Fachrichtungen Mechatroniktechnik und Elektrotechnik.

2. Projektziele und Projektteam

Projektziele

- Bestandsaufnahme der bestehenden Anlage zur Schattenabschaltung
- Entscheidung über Reparatur oder Neubeschaffung von Komponenten
- Einkauf bzw. Herstellung der benötigten Hardware
- Erstellung und Test der Software für Schattensensor und Steuerung
- Test und Inbetriebnahme der Anlage.

Zuordnung der Teammitglieder zu Aufgabenbereichen

Name, Vorname	Projektteil
Wiedemann, Alexander	Projektleitung und Dokumentation
Baumann, Christoph	Konzeption und Software der Sensoreinheit
Högg, Raphael	Hardware Auswahl und Beschaffung
Schlegel, Martin	Konzeption und Software der Steuerung

Tabelle 1: Projektteam

3. Pflichtenheft

Im Pflichtenheft wurden folgende Punkte definiert, die in dieser Zusammenfassung nicht separat aufgeführt werden:

- Definition der Arbeitspakete für die einzelnen Projektmitglieder
- Meilensteine mit Zeitplan

4. Realisierung

4.1 Bestandsaufnahme und Entscheidung zur Neubeschaffung

Ziel der Bestandsaufnahme war es, den IST-Zustand genau zu dokumentieren, sowohl hinsichtlich der Hardwarekomponenten als auch durch die Erstellung eines Schaltplans, der die Struktur der aktuellen Anlage widerspiegelt.

Die erfassten Hardwarekomponenten wurden überprüft, um festzustellen, ob sie den Anforderungen des Projekts entsprechen.

Der Abbau der Schattenabschaltung in Peiting erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Betreiber-gesellschaft der Windkraftanlage. Vor Beginn der Demontage war es erforderlich, eine Sicherheitsunterweisung durchzuführen, um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten.

Abbildung 2 zeigt den bisher genutzten Schatten-sensor. Aufgrund des Zustandes und der erkannten Notwendigkeit einer grundlegenden Überarbeitung wurde in Absprache mit dem Betreiber beschlossen, eine neue Sensoreinheit zu entwickeln.



Abbildung 2: Sensor der alten Schattenabschaltung

Der Schaltschrank enthielt eine Steuerung der Firma Beckhoff. Diese verfügt über keine Auslesefunktion, wodurch das Programm nicht mehr rekonstruiert werden konnte. Ebenfalls fehlte jegliche Programm-Dokumentation. Dies führte zu der Entscheidung, die Schattenanlage mit einer neuen Steuerung auszurüsten.

Für die Rekonstruktion des Schaltplans wurde die Software ProfiCAD Home genutzt. Die Überprüfung der aktuellen Verdrahtung und das Einzeichnen in den Schaltplan erfolgten schrittweise. Die abgeklemmten Drähte wurden anhand der zuvor angefertigten Bilder nachgezeichnet. Aufgrund der nicht optimalen Qualität der Abbildungen erforderte dies zusätzlichen Zeitaufwand, um einen präzisen Schaltplan zu erstellen und den aktuellen Zustand akkurat zu dokumentieren.

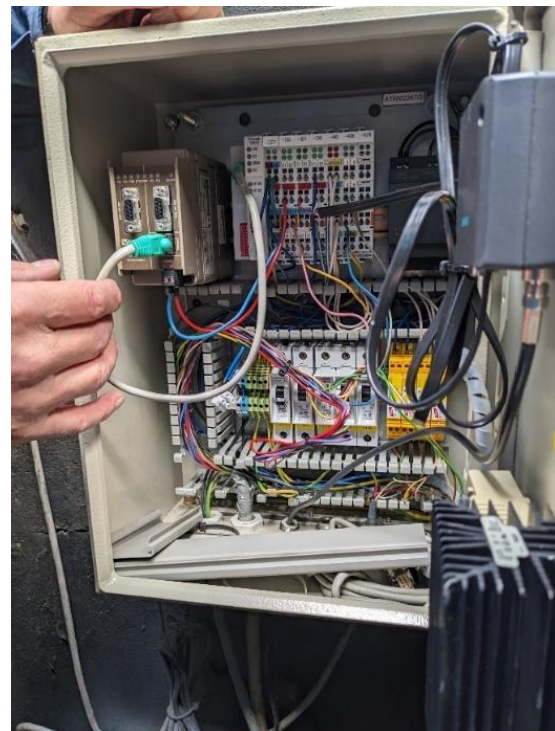


Abbildung 3: Schaltschrank der alten Schattenabschaltung

Erste Ideen für die Umsetzung der neuen Schattenabschaltung wurden gesammelt und in den folgenden Meilensteinen erarbeitet.

4.2 Neubau des Schattensensors

Die Sensoreinheit ist ein separates, eigenständiges Modul, welches über der Gondel mit freier Sicht zum Himmel positioniert wird, um eine optimale Datenerfassung zu gewährleisten. Sie beinhaltet alle Komponenten, die für die Erfassung der Lichtverhältnisse erforderlich sind. Wichtig ist, dass die Komponenten den Temperaturen im Verlauf des Jahres standhalten, daher sollen alle Komponenten im Temperaturbereich von -40°C bis $+80^{\circ}\text{C}$ problemlos arbeiten können. Die Bauteile, die im direkten Sonneneinfluss stehen, sollen zudem UV-beständig sein. Das Gehäuse soll die Wasser- und Staubfestigkeit nach IP-67 erhalten.

Im Verteilerkasten wurde ein individuell modellierter 3D-Druck mit Hilfe der Software Autodesk Inventor erstellt und anschließend integriert. Hierzu wurde die Position der Bauteile im Sensorkasten ermittelt, um möglichst kurze Verdrahtungswege zu gewährleisten. Alle Bauteile sind fest auf dem Grundgerüst verschraubt und ein länglicher Zapfen ragt durch ein mittiges Loch im Deckel nach oben. An der Spitze des Zapfens sind die Photowiderstände befestigt.

Damit die Sensoren nicht herausfallen können wurde eine Abdeckung entwickelt, die auf die Sensoren gesetzt wird. Auf dem Deckel des Sensorkastens wurde eine Kunststoffkuppel installiert, die mit einem UV-beständigen und witterungsfesten Klebstoff abgedichtet und zusätzlich verschraubt wurde, um die geforderte IP-Schutzart einzuhalten.

Für die Datenauswertung und Signalübertragung hat sich das Projektteam für den Arduino Uno Rev. 3 Microcontroller entschieden. Dieses Modell erfüllt alle Anforderungen und bietet ausreichend Ein- und Ausgänge, um alle Komponenten miteinander zu verbinden. Außerdem ist der Arduino leicht zu programmieren und kann aufgrund seiner kompakten Bauweise einfach im Sensorkasten befestigt werden. Die Spannungsversorgung erfolgt über das Netzteil im Schaltkasten in der Gondel der Windkraftanlage.

Die Sensoren sind über vier analoge Eingänge mit jeweils einem Lichtsensor verbunden, der in Reihe mit einem Widerstand geschaltet ist. Die Sensoren sind so angeordnet, dass sie alle Himmelsrichtungen abdecken können. Dadurch können die Lichtstärke genau ausgewertet werden.

Der Microcontroller sendet nur ein Signal an die SPS der Schattensteuerung. Dabei handelt es sich um einen Relaisausgang, der das Relais schließt, wenn Sonnenschein und damit Schattenwurf erkannt wird. Die weitere Verarbeitung erfolgt in der SPS der Schattenauswertung, die weiter unten beschrieben wird.

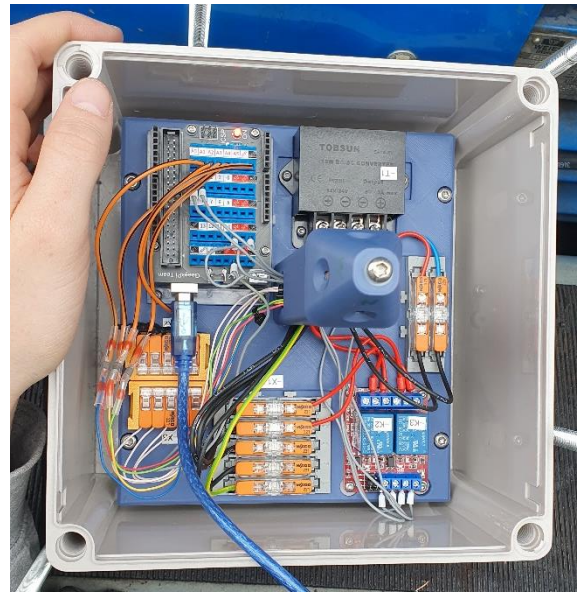


Abbildung 4: Schaltkasten mit Photowiderständen

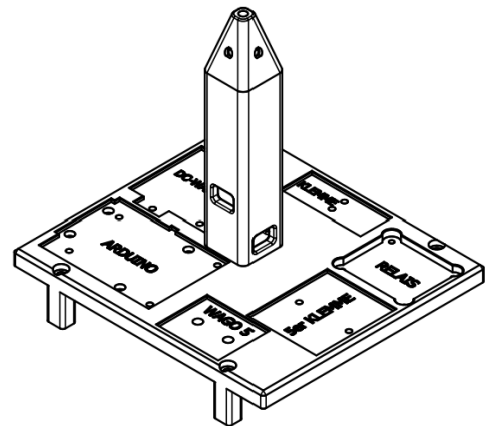


Abbildung 5: Modell des 3D-Drucks der Montageplatte

4.3 Entwicklung und Test der Software des Schattensensors

Das Hauptziel dieses Meilensteins bestand darin, eine effektive Steuerung zur Erkennung der Licht-Schatten-Verhältnisse zu entwickeln. Dies beinhaltete eine genaue Messung der Lichtintensität, die sich nach den herrschenden Wetterbedingungen richtet.

Die Schaltung wurde zunächst auf einem Breadboard in kompletter Dunkelheit aufgebaut und mit einer leistungsstarken Taschenlampe unter verschiedenen Widerständen beleuchtet, um den optimalen Widerstand für den Spannungsteilern der Photowiderstände zu ermitteln.

Nach erfolgreicher Identifikation des optimalen Widerstands wurde eine weitere Versuchsreihe gestartet. Hinzu kam das Relais, das bei Sonnenschein ein Signal an die SPS weitergibt. Mit einem Multimeter wurde das Durchschalten der Relais überprüft.

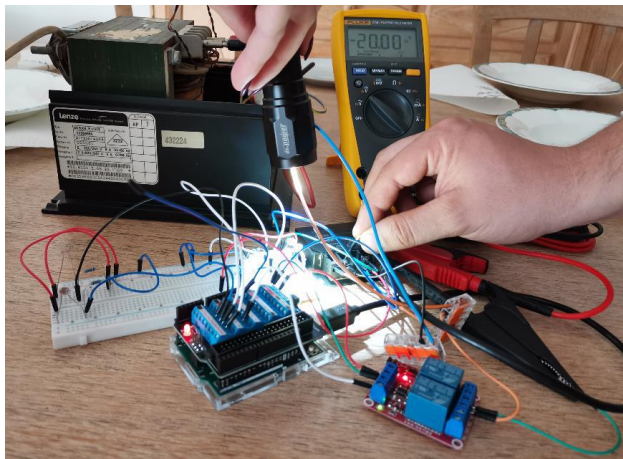


Abbildung 2: Testaufbau Funktionskontrolle

Basierend auf den optimierten Ergebnissen wurde ein Sensorplan in ProfiCAD Home erstellt und archiviert, um die Konfiguration und die Werte für zukünftige Referenzen festzuhalten.

Zur Verifizierung der im Labor erhaltenen Werte wurde der Sensor im Freien aufgebaut und Messdaten über mehrere Tage hinweg aufgezeichnet.

Die Abbildung zeigt den Verlauf der Lichtstärke in vier Himmelsrichtungen an einem sonnigen Tag.

Die Lichtstärke in den Morgenstunden ist im Osten wesentlich höher als im Westen. Durch Auswertung mehrerer Tage mit unterschiedlicher Bewölkung konnten Parameter ermittelt werden, die eine gute Erkennung von Sonnentagen mit Schattenwurf möglich machen.

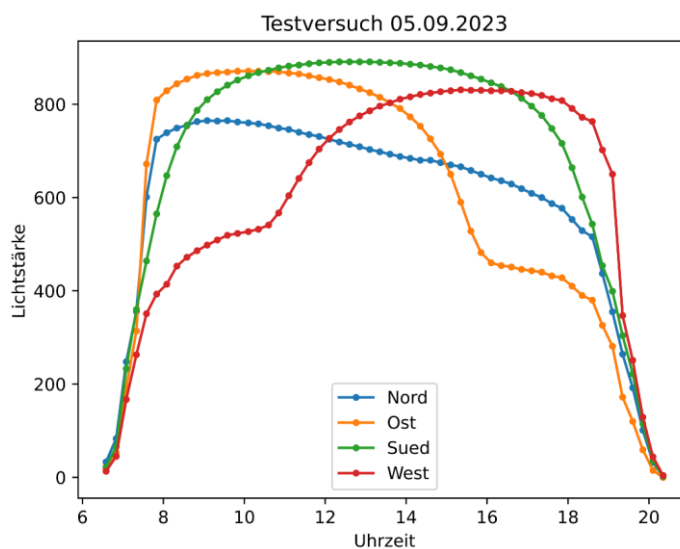


Abbildung 3: Lichtstärkenverlauf an einem Sonnentag

Die Sensoreinheit wurde erfolgreich fertiggestellt. Sie konnte im Folgenden mit dem Steuerungskasten verbunden und für die Montage auf der Windkraftanlage vorbereitet werden.

4.4 Auswahl der Hardware für die Steuerung, den Schaltschrank und das Echtzeitmodul

Ziel dieses Meilensteins war es, die notwendigen Hardwarekomponenten auszuwählen. Dabei sollte so weit wie möglich auf bereits vorhandene Komponenten zurückgegriffen werden, um Kosten zu sparen und die Nachhaltigkeit des Projekts zu verbessern. Letztlich konnten auf Grund des Alters der Komponenten nur der Schaltschrank selbst, das Schaltnetzteil, Sicherungen und die Heizung übernommen werden.

Die Abbildung zeigt den neu aufgebauten Schaltschrank.

Steuerung

Aufgrund der bereits vorhandenen Kenntnisse in der Entwicklungsumgebung der Siemens-Steuerungen fiel die Wahl auf eine SPS dieses Herstellers. Die Steuerungen der Baureihe S7 1200 erfüllen alle definierten Anforderungen. Unter Berücksichtigung des benötigten Speichers und der I/Os fiel die Wahl auf das Modell S7 1212C DC/DC/RLY.

Zeitsynchronisation

Die Abschaltung der Windkraftanlage bei Schattenwurf muss sekundengenau nach festgelegten Kalenderdaten erfolgen. Da die Anlage nicht an ein Netzwerk angebunden ist, musste ein Weg gefunden werden, die ungenaue interne Uhr der Steuerung zu synchronisieren.

Dafür wurde das GPS-Signal genutzt. Ein im Schaltschrank verbautes GPS-Empfangsmodul empfängt das Signal und ein Microcontroller verarbeitet dieses. Um ein Signal zu erhalten, das von der SPS verarbeitet werden kann, gibt der Microcontroller zu einem definierten Zeitpunkt ein 24V-Signal über ein Relais aus, das von der Steuerung eingelesen wird und die Uhrzeit synchronisiert.



Abbildung 4: Schaltschrank mit Steuerung und Peripherie

Human Maschine Interface (HMI)

Die Anlage ist zwar auf einen automatischen Betrieb ausgelegt, sollte aber bei Bedarf überwacht und konfiguriert werden können. Aus diesem Grund wurde ein HMI vorgesehen. Die Entscheidung für das Human Machine Interface fiel auf das Siemens KTP700. Die Benutzerfreundlichkeit und die unkomplizierte Integration mit der bestehenden SPS spielten hierbei eine zentrale Rolle.

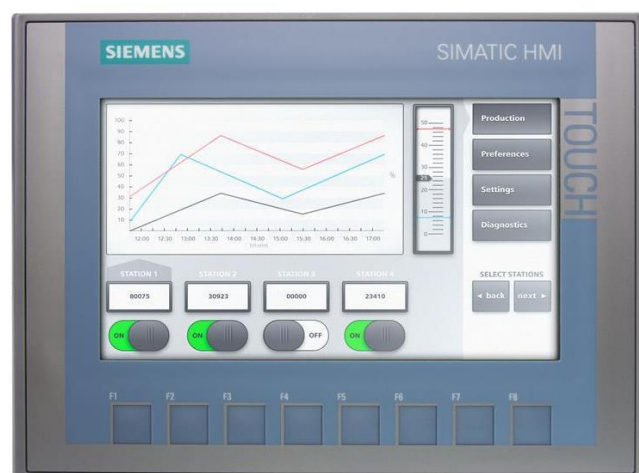


Abbildung 5: Siemens HMI, KTP 700 Basic

4.5 Modellierung und Programmierung der Software für die Schattenabschaltung sowie Visualisierung

Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Schattenwurfkalender des Schattenwurfgutachtens, das Grundlage für die Abschaltung der Windkraftanlage bei Sonnenschein ist.

Tag\Obj (h:mm)	A : A Gartenstr	B : B Wohnhaus	C : C Wohnhaus	D : E Schneider	E : F ETL
01.01.	08:06:31-08:25:20	10:31:40-10:55:44		08:37:03-09:03:08	08:35:24-09:03:46
02.01.	08:06:56-08:25:57	10:32:35-10:55:34		08:37:32-09:03:31	08:35:47-09:04:20
03.01.	08:07:21-08:26:32	10:33:34-10:55:16		08:38:02-09:03:52	08:36:08-09:04:52
04.01.	08:07:46-08:27:06	10:34:39-10:54:46		08:38:33-09:04:11	08:36:30-09:05:24

Abbildung 10: Auszug aus dem Schattenwurfgutachten

So muss die Anlage bei Sonnenschein z.B. am 1. Januar von

8:06:31 Uhr bis 8:25:20 Uhr abgeschaltet werden, weil in diesem Zeitraum Schatten auf die Gartenstraße in Peiting fällt. Allerdings darf die Windkraftanlage an jedem Immissionsort täglich bis zu 30 Minuten Schatten werfen, jedoch maximal 8 Stunden pro Jahr.

Zur Programmierung der Anwendung für die Siemens Steuerung wurde das TIA Portal1 in der Version V17 verwendet. Die Implementierung des Steuerprogramms erfolgte in Structured Control Language (SCL) und Funktionsplan (FUP). Das TIA Portal beinhaltet ebenso die Visualisierungssoftware SIMATIC WinCC2, die zur Erstellung der HMI-Software genutzt wurde.

Die Abbildung zeigt als Beispiel für die Visualisierung die bereits verbrauchten jährlichen Schattenzeiten an den jeweiligen Immissionsorten.

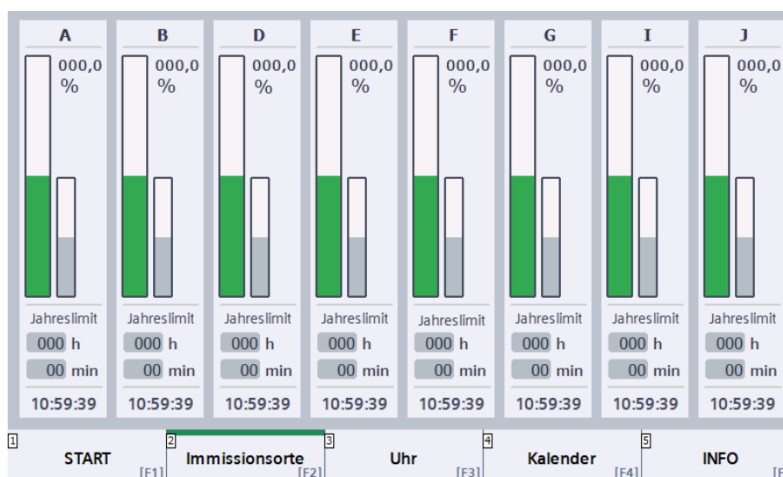


Abbildung 11: Beispielseite der Visualisierung im HMI

Die Ausgabe des Abschaltsignals erfolgt, wenn das Tages- oder Jahreslimit eines Standortes erreicht wurde, zeitgleich das zugehörige Kalenderzeitfenster, das die Möglichkeit eines Schattenwurfes anzeigt, aktiv ist und der Sensor Schattenwurf meldet.

5. Schlusswort des Projektlehrers

Die vorliegende Projektarbeit war eine Herausforderung für alle Teammitglieder. Zum einen war das Projekt technisch anspruchsvoll und jeder konnte seine speziellen Kenntnisse und Fertigkeiten einbringen. Zum anderen ist die Arbeit im Team das, was die angehenden Techniker in ihrer zukünftigen Tätigkeit erwarten. So hat es sich auch als richtig erwiesen, ein Teammitglied allein nur mit der Projektleitung zu beauftragen. Termingerecht konnte das Projekt zum Abschluss gebracht werden und an den Betreiber der Windkraftanlage übergeben werden.