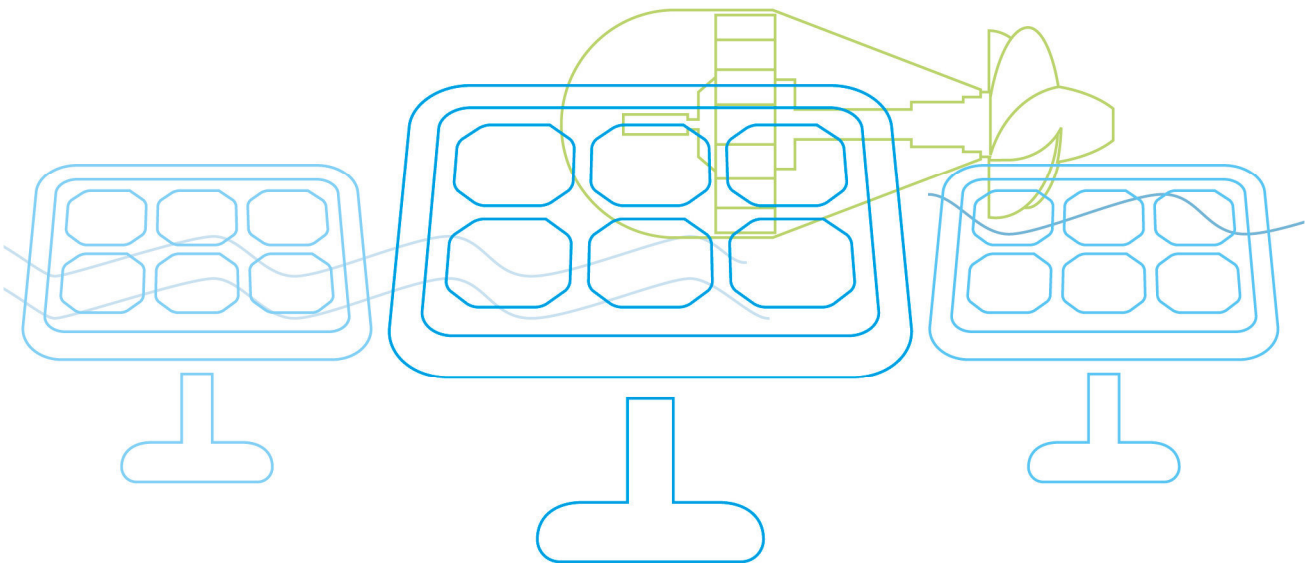




SOWA

Solar betriebene Beschattung und
Wärmerückgewinnung aus der Abluft



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

1Inhaltsverzeichnis	2
2Einleitung	3
2.1Aufgabenstellung und Schwerpunkte	3
2.2Einordnung in das Programm	4
2.3Verwendete Methoden, Aufbau der Arbeit	4
3Inhaltliche Darstellung	5
3.1Ausgangslage	5
3.1.1Stand der Technik bei Verschattungseinrichtungen	8
3.1.2Stand der Technik Photovoltaik und Photovoltaik-Integration	10
3.1.3Detaillierte Beschreibung Projektansatz	13
3.1.4 Gewählte Vorgehensweise	15
4Ergebnisse und Schlussfolgerungen	17
4.1Nutzerakzeptanz	17
4.2Technologie PV-Integration Rollladen	18
4.3Energieautonomie Steuerung und LED-Spots	19
4.4Kosten-Nutzen	24
5Ausblick und Empfehlungen	28
5.1Tageslichtnutzung in Büros & Verschattungseinrichtungen	28
5.2Verteilte Hausintelligenz – drahtlose Sub-Steuereinrichtungen	30
5.3PV Integration Verschattungseinrichtungen	30
5.4Zielgruppenspezifische Empfehlungen:	31
5.4.1Energiepolitiker	32
5.4.2Hersteller PV-Module	32
5.4.3Hersteller Verschattungseinrichtungen	32
5.4.4Gebäudeerrichter/-planer	33
5.4.5Hersteller Gebäudeautomation	33
5.4.6Nutzer	34

1 Kurzfassung

Eine steigende Anzahl von installierten Klimaanlage erhöht in Europa den Energieverbrauch im Sommer. Im SoWa Projekt wurde eine Alternative analysiert, die bei der Erhaltung der Komfortbedingungen und einer hohen Produktivität der Mitarbeiter allein mit Solarenergie zum Betrieb auskommt. Die Regelung der Rollläden senkt die Anforderungen an die Klimatisierung durch eine adaptive Verschattung, verhindert Blendung und ermöglicht eine Nutzung der Sonneneinstrahlung in Form von Heizenergie im Winter. Mit einer Reihung der Effizienz der drei Beleuchtungsmöglichkeiten (Tageslicht, PV-gespeiste LED-Spots und Leuchtstoffröhren) je nach prognostiziertem Wetter kann die Gesamtenergiebilanz bestehend aus Heizungs- und Kühlenergiebedarf und Beleuchtungsenergie optimiert werden.

Nach dem Ausscheiden nicht nutzbarer oder sinnvoller Verschattungskonzepte mittels Multi-Kriterien-Analyse, wurden Innovationen bei Rollläden analysiert. Die technische Machbarkeit der Sensorik und Aktorik wurde mittels Hardware in-the-loop und einer Implementierung der Logik mit Fuzzy-Komponenten in PYTHON und Messwertaufnahme/Steuerung über Labjack Hardware getestet. Das Einsparungspotential wurde für typische Fälle über eine Simulation bestimmt und eine mikroskopische Simulation genutzt, um die Qualität der Lösung für verschiedene Wetterphänomene zu testen. In einem zweiten Ansatz wurde eine Lösung implementiert, die eine über TCP/IP angeschlossene Einheit ohne Programmierbarkeit nutzt. Der mit Photovoltaik gespeiste Betrieb der LED-Beleuchtung und der Rollläden minimiert die solaren Wärmelasten im Sommer und erlaubt eine sichere „freie Kühlung“ während der Nacht. Die Analyse der PV-Varianten führte zu einer Bestimmung der Methoden wie PV in die Rolllädenstäbe integriert werden kann. Eine Ausblick zeigt einen Fahrplan für die Einführung einer PV-Ausrüstung von Verschattungseinrichtungen.

2 Abstract

Soaring cooling installations are increasing the energy consumption in Europe during the summer. In the SoWa project an alternative, securing comfort conditions and high working productivity of staff whilst using only solar energy was analyzed. The control of the roll-able blinds helps reducing the air conditioning requirements via adaptive shading but also avoids dazzling effects and allows for a harvesting of the solar heat gain in winter. By ranking the energy efficiency of the three lighting (day-lighting, PV fed LED-spots, fluorescent tubes) alternatives according to the actual future climatic conditions the total energy balance is optimized, comprising heating, air conditioning and illumination demand.

After eliminating non usable shading concepts via multi-criteria analysis, innovation in roll-able blind technology was analyzed in depth. The technical feasibility of the light sensing and actuation of the roll-able blinds was tested using an hardware in the loop implementation of the control and the partly fuzzy control logic developed within the PYTHON framework and Labjack DAQ hardware. The savings potential was determined for typical scenarios via a simulation, a microscopic simulation was used to analyze quality of the control for different weather phenomena. A second wireless control approach was tested employing a control unit connected via TCP/IP. PV-fed LED-lighting and roller blind/shutter operation is minimizing solar heat gain; but allows for a safe nightly pre-cooling with open windows in summer via controlling the gaps between the slats. Analysis of new PV-variants was a precursor for determining methods to integrate PV into the salts. An outlook presents a road-map of implementing PV in shading facilities.

2.1 Aufgabenstellung und Schwerpunkte

SoWa ist ein von Laufzeit und Budget her kleines Projekt mit einem relativ komplexen Forschungsansatz. Der Anspruch des Projektes SoWa war die Machbarkeit einer durch Photovoltaik gespeisten Regelung einer Verschattungseinrichtung in umfassender Art und Weise zu überprüfen. Die Regelungs-Einheit, bestehend aus Rollläden mit integrierter PV, Laderegler, Akku, Sensoren, LED-Spots und mit dem Internet verbundenem Controller soll den Strom für ihren Betrieb vollständig selbst erzeugen. Durch Einsparungen bei den Energiekosten für Klimatisierung- und Beleuchtung soll die Einheit trotz erhöhter Investitionskosten eine entsprechende Rückzahlzeit garantieren. Darüber hinaus wird ein gänzlicher Verzicht auf eine Klimaanlage und Stromversorgung des Rollladenantriebs angestrebt, wodurch die Investitionskosten weniger stark steigen.

Wiewohl die energetische Autarkie der Anlage zur Verschattung¹ kein Muss-Ziel ist, so trägt sie ein wenig dazu bei, die Betriebskosten zu verringern. Bei der Montage sind die ersparten Kosten für die Verlegung der 230V oder 24V Stromleitungen zum Rollladenantrieb den Mehrkosten der PV-Integration gegenüber zu stellen. Eine Erleichterung für die Montage besteht in Gründerzeit-Häusern, wo bei vorhandenen Rollläden nur Antriebe und Regelung nachgerüstet werden müssen und die Sensorik und LED-Spots in vorhandenen Abdeckungen von Rollladenkästen untergebracht werden können. Der Nachweis der Machbarkeit beschränkt sich im Projekt aber nicht auf diesen Anwendungsfall, da nur in Innenstädten Büros in solchen Gebäudetypen zu finden sind. Die Überprüfung der Machbarkeit umfasste auch die folgenden Themen:

- Akzeptanz der Nutzer ihre Autonomie über die Steuerung der Verschattungseinrichtungen aufzugeben
- Machbarkeit einer verteilten Systemarchitektur mit Integration von Internetdaten und Nutzerschnittstellen über das Intranet
- technische Umsetzungsmöglichkeit der PV-Integration in Rollladenstäbe, insbesondere Stromübertragung über den Rahmen
- energetische Autarkie im Betrieb (PV vs. Verbraucher wie Antrieb, CPU, LED...)
- Amortisationsdauer bzw. jährliche Gesamtkosten
- CO₂-Relevanz

2.2 Einordnung in das Programm

Das Projekt SoWa – Solar betriebene Steuerung von Beschattung und Wärmeschutz wurde im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“ des Klima und Energiefonds durchgeführt. Das Projekt wurde in das Themenfeld Photovoltaik eingegliedert, wobei hier die Integration der Photovoltaik (PV) und die Stromübertragung von bewegten Modulen die Forschungsthemen darstellten. Insbesondere ist aber auch das Thema Energieeinsparung über

¹ Ein Rollladen bringt auch eine temporäre Isolierung, bei der Renovierung ändert dies aber an der IST-Situation nur wenig wenn z.B. dünnes Holz mit Lichtschlitzen in der Mitte durch geschäumte dicht schließende PVC Profile ersetzt wird.

eine bessere Regelung als „Energiequelle“ von Relevanz für das Programm „Neue Energien 2020“.

2.3 Verwendete Methoden, Aufbau der Arbeit

Im Projekt wurden unterschiedliche Methoden zur Erforschung der Thematik zur Anwendung gebracht. Im zweiten Arbeitspaket wurde nach der eingehenden Recherche der Technologien für Verschaltung und Soft- und Hardware für die Regelung eine zweistufige Multi-Kriterien Bewertung für die Verschattungseinrichtungen durchgeführt um sicher gehen zu können, dass Rollläden am besten als Zielplattform für das Vorhaben geeignet sind. Die eingehende Behandlung aller verfügbaren mechanischen und elektronischen Komponenten hat es ermöglicht zwei unterschiedliche Versuchsanlagen zu spezifizieren und zu implementieren.

Im dritten Arbeitspaket wurden dann Messungen an Systemteilen durchgeführt, um die machbaren Lösungen weiter einengen zu können. Es wurde die Regelung in zwei Versuchsansätzen in der Praxis erprobt. Für die Untersuchung der technischen Machbarkeit der Regelung wurde zusätzlich eine Simulation in Python programmiert, die auf einer in Mathcad erstellten Berechnungsvorlage für ein dynamisches Modell basiert, aber die Regelungskomponenten in einer mikroskopischen Simulation abbildet, die mit interpolierten Minuten werten für die Sonneneinstrahlung arbeitet und die Verfahrenwege bei der Regelung richtig wiedergibt. Die praktische Implementierung erfolgte einerseits in einer prototypischen Umgebung mit über USB angeschlossener *Labjack U3* Mess- und Steuereinheit und andererseits über eine über TCP/IP angeschlossenen Einheit die auch als Webcontrol bezeichnet wird. Die Steuerung wurde dann auch in einer Konfiguration mit drahtloser Kommunikationsstrecke erprobt. Wesentliche Teilberichte über die technologischen Details wurden in Form einer Validierung von Hypothesen geschrieben um die Machbarkeit wissenschaftlich zu überprüfen. Die Technologie für die Stromübertragung wurde anhand einer Einreichung eines Gebrauchsmusters weiter verfeinert und geschützt.

Versuche mit Prototypen dienten dazu, die Machbarkeit der Stromübertragung bei beweglichen Systemen zu überprüfen. Messtechnisch wurde die Arbeit durch verschiedene Datenlogger unterstützt - wobei einige als selbständige Einheiten, andere mit USB Anbindung an Computer arbeiten und dazu genutzt wurden Stromerträge und -verbräuche aufzuzeichnen. Die Prototypen nutzten beide ein unter *Ubuntu* laufendes *Python 2.7* (wo einerseits der *Labjack* über USB und andererseits das *Webcontrol* über TCP/IP angesteuert wurden) und die erfassten Daten wurden bei den Testläufen mitgeloggt.

Im vierten Arbeitspaket wurde eine detaillierte Abschätzung der Systemkosten durchgeführt und die möglichen Energie-Einsparungen auf Basis einer Systemsimulation über ein Jahr für schlussendlich sieben Varianten berechnet. Die Simulation wurde mit Daten für Klagenfurt durchgeführt die Stundenwerte für die Sonneneinstrahlung bereitstellten und die Simulation benötigte jeweils über einen Tag Laufzeit pro Jahr, da die Rollladenbewegungen und die Fuzzy-Regelung der Beleuchtung im Detail also nicht nur einmal pro Stunde simuliert werden mussten.

Der publizierbare Endbericht gliedert sich grundsätzlich in drei Abschnitte: Das Kapitel „Inhaltliche Darstellung“ beschreibt das System und sein Umfeld als auch die Vorgehensweise, das Kapitel „Arbeit, Ergebnisse und Schlussfolgerungen“ die Resultate aus der theoreti-

schen und praktischen Arbeit im Projekt und das Kapitel „Ausblick und Empfehlungen“ sinnvolle und notwendige zukünftige Aktivitäten die sich aus der Projektarbeit ergeben haben.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Ausgangslage

Im Handel und im öffentlichen Sektor ist der Stromverbrauch für Beleuchtung (inkl. ADV/IT) mit 16% viel höher als im industriellen Sektor, wo er nur 3% beträgt². In Büros sollte der Strombedarf für Beleuchtung geringer als im Handel sein, weil im Handel keine Sonneneinstrahlung auf Lebensmittel gewünscht wird und daher künstliche Beleuchtung dominiert. Oft sind an den hohen Verbräuchen an Lichtstrom falsche Verhaltensweisen oder mangelhafte Lichtführung schuld, wie z.B. das Vollständige Schließen der Jalousien bei Blendung und auch im Sommer- bei gleichzeitiger Nutzung der künstlichen Beleuchtung mit maximaler Leistung. Dabei ist eine entsprechende Nutzung des Tageslichtes bei gleichzeitiger Blendfreiheit und der Möglichkeit ins Freie zu sehen eine wichtige Vorbedingung für produktives Arbeiten. Das Sonnenlicht, auf das sich das Auge in der Frequenz sehr gut einstellt, hat eine sehr hohe Effizienz und kann über den Leuchtstrom (Lumen) eine hohe Beleuchtungsstärke (Lux) realisieren. Leider nehmen die Beleuchtungsstärken mit der Raumtiefe - besonders in weniger hohen Räumen ohne Oberlichtern - aber stark ab und eine indirekte Beleuchtung über die Decke erhöht durch Absorption - auch wenn sie bei hellen Flächen nur klein ist - die Kühllasten. Die Wirkung von zusätzlichen Licht leitenden Einrichtungen am Fenster darf auch nicht überschätzt werden. Um eine Tiefe von 4,5 m ausreichend auszuleuchten sind 20cm lange Einheiten nötig³, was bei normalen Fensterlaibungen unmöglich unterzubringen ist.

Im gewerblichen Bereich - besonders in Büros - steht darüber hinaus Energieeffizienz nicht im Vordergrund der ökonomischen Überlegungen obwohl doch die befragten angeben sich energiesparend. Solare Zugewinne - zusammen mit inneren Wärmelasten durch Informations- und Bürotechnik, Beleuchtung und Körperwärme - werden im Sommer meist elektrisch über Klimaanlage weggekühlt. Durch die hoch getakteten Rechner (mehrere GHz) und Zunahme der Bildschirmzahl pro Arbeitsplatz und Zunahme der Bildschirmdiagonalen entstand im Verein mit höheren Außentemperaturen in verbauten Gebieten ohne Vegetation und hoher direkter und indirekter Sonneneinstrahlung im Sommer ein signifikanter Kühlbedarf. Dieser kann durch technische Entwicklungen bei der EDV wieder zurückgehen, die Anforderungen der Mitarbeiter an das Raumklima steigen aber auch gleichzeitig, da in öffentlichen Räumen überall eine Klimatisierung stattfindet. Dadurch kann davon ausgegangen werden, dass der Energieverbrauch durch Klimatisierung weiter zu nehmen wird. Die Importe kostengünstiger Kühlgeräte boomen. Die Gekühlte Nutzfläche stieg von 1195 auf 2000 je nach Art der Klimaanlage von 2,5 bis 14%, die Zahl der kleinen Anlagen (+10%) ebenso wie ganz

² Lesch KH, Markowitz G., Industrie, Gewerbe und öffentlicher Bereich, Maßnahmenanalyse und Potentiale in Graz, Mag. Graz - Amt für Umweltschutz, Ref. für Energie und Klima Sept. 1995
<http://www.umweltservice.graz.at/infos/kek/KB-013.pdf>

³ Eicker ., Solar Technologies for Buildings, Fachhochschule Stuttgart, Deutschland 2003

große (+14%) nahm zu⁴. Zwar ist im Unterschied zur Heizung mit einem Kessel der Energiebedarf für die Kühlung geringer als die Nutzenergie, jedoch gibt es schon auch starke Schwankungen bei der Effizienz der Klimageräte. Luft kühlende Anlagen streuen mit 1,9 bis 3,29 für die in der Praxis erzielbare Leistungszahl stark. Im Teillastbetrieb kann diese Leistungszahl noch geringer sein⁵.

Im gegenständlichen Projekt wird versucht, eine technische Alternative besonders zu diesen Kleinstanlagen zu schaffen, die separat in jedem Büro aufgestellt werden und im schlimmsten Fall als Einheit die Luft über einen Schlauch durch das tw. geöffnete Fenster abführen. Im Unterschied zu großen Anlagen, wo eine solare Kühlung zum Stand der Technik gehört⁶, ist bei dezentralen Klimaanlage eine solare Versorgung schwierig bis unmöglich. Die über integrierte PV betriebene Verschattungseinrichtungen sind hier eine Lösung, die für solche Gebäude attraktiv ist, wo entweder bereits Rollläden existieren oder wo diese einfach nachrüstbar sind. Damit kann eine Klimatisierung vermieden werden, wenn Speichermassen mit benützt werden können, um Spitzen bei der Wärmelast abzufedern.

In der Praxis treten noch andere vermeidbare Energieverbräuche in Gebäuden auf. Im Winter sind nächtliche Wärmeverluste mangels temporärer Isolierung der Fenster hoch und es entsteht in den Morgenstunden ein höherer Wärmebedarf, der in vielen Fällen individuell unter den Schreibtischen durch elektrische Heizlüfter gedeckt wird. Damit entsteht Sommer (mit steigender Tendenz) wie Winter ein vermeidbarer Strombedarf. Durch eine bewusste Steuerung der in den Raum eintretenden solaren Wärme, kann bei Wissen über die Tagesminima und die Wettervorhersage verhindert werden, dass außerhalb der Heizperiode zugeheizt werden muss. Eine prädiktorische Regelung ist in der Gebäudeautomation bereits erhältlich (z.B. *Siemens DESIGO*) und besonders bei der Nutzung von Speichern sehr gewinnbringend⁷. Bei dezentralen Verschattungseinrichtungen ist - wie bei vielen nicht vernetzten Energieverbrauchern - eine solche aufwendigere Regelung nicht üblich, da die Mehrkosten hier nicht darstellbar sind. Im Projekt SoWa wird über eine drahtlose Vernetzung der Verschattungseinrichtungen ermöglicht, dass diese von einer zentral vorgehaltenen Prognose profitieren können. Als Speicher für die in Voraussicht zugelassenen erhöhten solaren Energiegewinne wird dabei die massive Decke unter dem Fußboden gesehen.

Zuletzt ist zu beobachten, dass in nicht klimatisierten Räumen in Unkenntnis der Energiebilanzen die Jalousien ganz geschlossen werden und mit künstlichem Licht gearbeitet wird. Dies kann je nach Beleuchtungsart zu zusätzlichen Wärmelasten führen, wie die folgende Abb. zeigt⁸. Damit entsteht bei vollständigem Schließen der Jalousien nicht nur ein Mehrverbrauch an Strom für die Beleuchtung - besonders bei nur gemeinsam zu schaltenden Leuchtstoffröhren - sondern auch zusätzlich innere Wärmen durch die mit Maximalleistung betriebenen Leuchtkörper. Dazu wurde ein Sommer-Tages-Szenario berechnet:

⁴ Adnot J., „central“ (Commercial) air-conditioning Systems in Europe, Ecole des Mines, 2002
<http://www.cenerg.enscm.fr/english/themes/mde/pdf%20J%20Adnot/pdf10.pdf>

⁵ K. Fitzner, U. Finke, O. Zeidler, Wirksamkeit von mobilen Klimageräten Forschung Projekt F 2073 2007
http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2073.pdf?__blob=publicationFile&v=7

⁶ Symposium am Rande der CEP erläutert Stand der Technik, Die Solare Kühlung ergänzt die Solarthermie 2010 <http://www.enbausa.de/solar-geothermie/aktuelles/artikel/die-solare-kuehlung-ergaenzt-die-solarthermie-974/1.html>

⁷ Cananedo J., Athienitis A., Application of Predictive Control Strategies in a Net Zero Energy Solar House, PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City 22-24 Juni 2009

⁸ Cebrat G., Innovation in PV-Operated Shading and Heat Recovery, EuroSun 2010 Graz

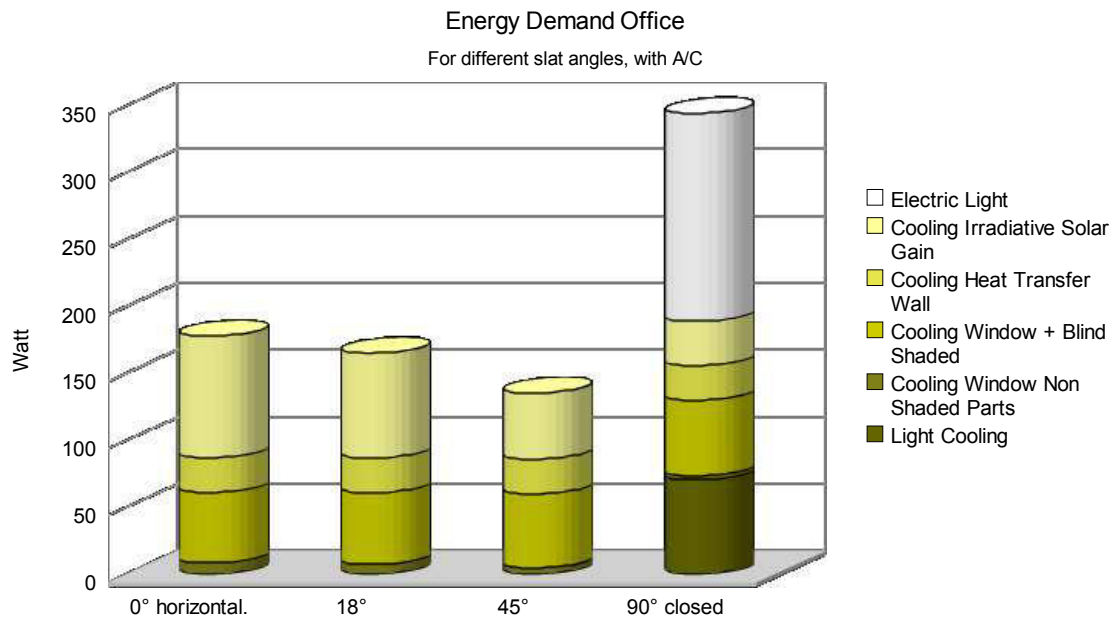


Abbildung 1: Energieverbrauch für verschiedene Winkel einer Jalousie

Bei einem Jalousiewinkel von 45° wären im berechneten Szenario ohne dimmbares Licht die Kühllasten am geringsten. Eine solche Verschattungseinrichtung die den Energiebedarf minimiert, muss also über die Beleuchtungssysteme Bescheid wissen, außer die Beleuchtung erzeugt kaum Kühllasten. Im gegenständlichen Projekt wird dieser Weg versucht, indem die Beleuchtung über LED Spots realisiert wird, dessen Strom über die integrierte PV erzeugt wird und bezogen auf die eingesetzte Endenergie (Strom) eine sehr effiziente Ausleuchtung ermöglichen. Damit kann die Regelung einerseits vereinfacht werden, da nur mehr der solare Wärmezugewinn in Abhängigkeit vom Wärme bzw. Kühlbedarf gesteuert werden muss. Die Regelkomponenten beschränken sich auf die Einhaltung der gewünschten Beleuchtungsstärke(n) auf den Arbeitsplätzen. Die Kunst bei dem System ist es, nun optimale Bedingungen ohne Blendung zu schaffen. Dazu ist auch eine Überwachung der Umgebungshelligkeit nötig und ggf. eine Nachregelung über die Verschattungseinrichtung oder Beleuchtung der Wände, falls die zulässigen Kontraste zwischen Arbeitsfläche und Umfeld überschritten werden (so genannte Infeldblendung).

Unterstützt kann die Regelung durch besondere Verschattungseinrichtungen werden die eine Lichtführung ermöglichen, daher wurden auch Alternativen zu Rollläden untersucht. Im Projekt SoWa soll der Nutzen von Lichtleiteinrichtungen und flexiblen leichten Verschattungseinrichtungen nicht schlechtgeredet werden, alle Anforderungen werden jedoch nach wie vor mit den Holzrollläden ebenso erfüllt und auch der größte Kritikpunkt, die Haltbarkeit wurde durch neue Verfahren der Harztränkung verbessert. Bei Altbauten mit alten Kastenfenstern ist eine temporäre Isolierung notwendig und an befahrenen Straßen auch ein Schallschutz, wodurch viele Verschattungseinrichtungen für Fenster im Altbau ausscheiden. Die so genannten Wiener Stöcke haben neben einer hervorragenden Schalldämmung auch sehr schmale Rahmen und eine Oberlichte, wodurch die Räume sehr gut durch Tageslicht ausgeleuchtet werden können. Auch haben die in den Gründerzeit verwendeten Holz-Rollläden

in Bezug auf die Lichtdurchlässigkeit bei teilweiser Öffnung Vorgaben gemacht, die mit herkömmlichen heutigen Rollläden und ihren kleinen Lichtschlitzen nicht zu erzielen sind. SoWa zielt darauf ab, durch den gezielten und dosierten Einsatz von Regelungstechnik und Automatisierung, den Betrieb von Büros in solchen Häusern effizienter zu machen. Natürlich profitieren durch die Ergebnisse der Arbeit auch andere Gebäudetypen, schon allein die *Economy of Scale* zwingt dazu, sich bei der Gestaltung des Produktes nach größeren Märkten umzusehen. Die Machbarkeitsstudie SoWa soll hier fundierte Grundlagen für ein Geschäftsmodell schaffen und konkrete Absatzchancen erheben. Die Regelung kann natürlich auch für andere Verschattungseinrichtungen adaptiert werden, wo eine PV-Versorgung nicht zweckmäßig erscheint, weil z.B. bei Jalousien diese tw. zu wenig exponiert sind. Wie sich das Thema weiter entwickelt wird u.a. davon abhängen wie hoch die Kosten für eine PV-Aufbringung in Zukunft sein werden. Berichte über neue kostengünstigere Verfahren zur alternativen Herstellung der Zellen lassen hoffen.

3.1.1 Stand der Technik bei Verschattungseinrichtungen

Im Zuge des Projektes wurde wie gesagt eine intensive Suche nach Alternativen zu herkömmlichen Rollläden und Jalousien durchgeführt. Es würde zu weit führen hier alle Systeme aufzulisten. Die Ergebnisse für die vorausgewählten Varianten wurden in einem Netzdiagramm dargestellt:

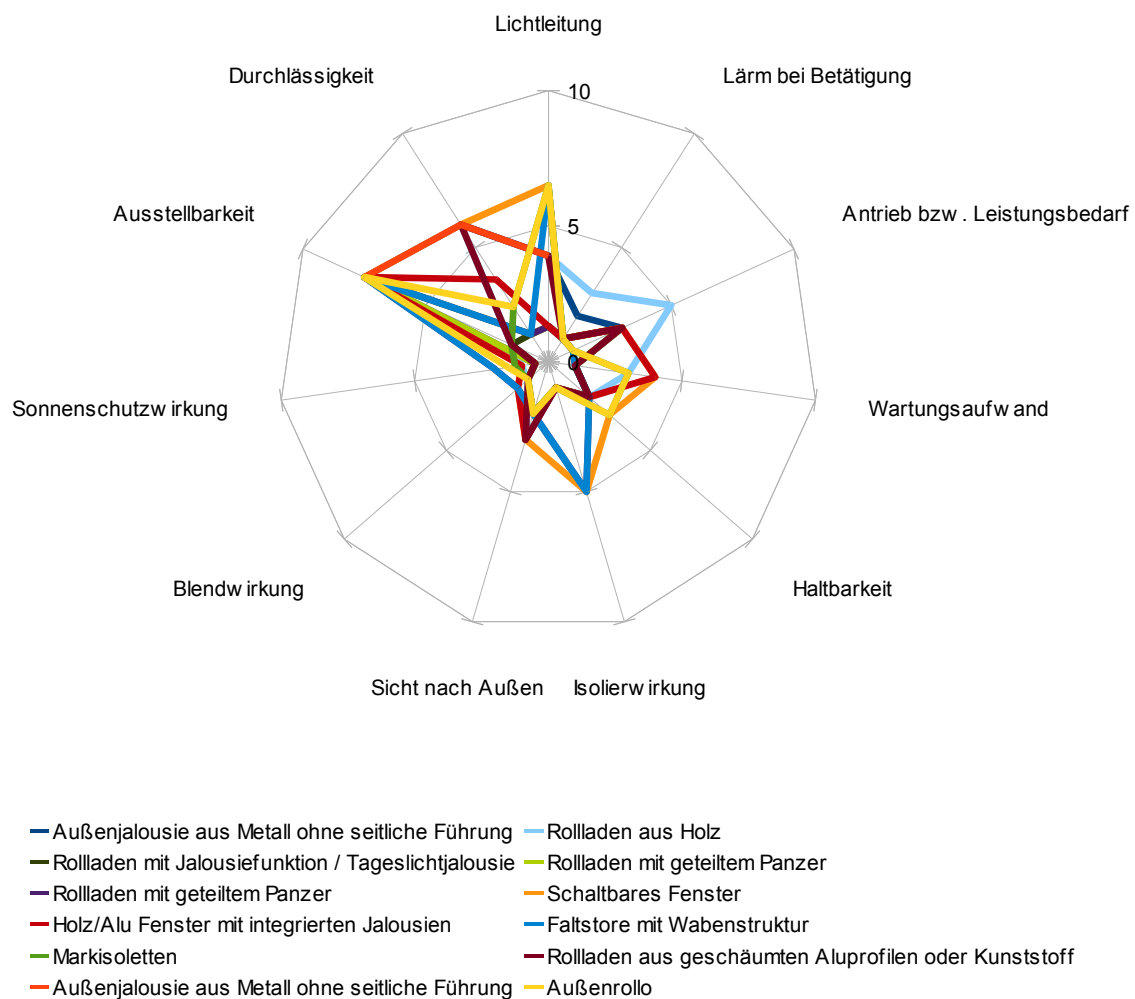


Abbildung 2: Ergebnis Grobbewertung Verschattungseinrichtungen

Neue Technologien ermöglichen Rollladenabschnitte separat zu bewegen, oder integrieren Jalousien in Rollläden um die Belichtung des Raumes zu optimieren und gleichzeitig die Vorteile der Rollläden aufrecht zu erhalten. Dies kann aber nicht 100%-ig gelingen. Besonders die Haltbarkeit wird durch mehrere bewegte Teile bzw. mehrere Antriebe sicher verschlechtert. Weiters ist bei nicht massiven Verschattungseinrichtungen die Isolierwirkung tw. schlechter. Innen liegende Verschattungseinrichtungen scheiden aus wärmetechnischen Gründen aus, da ein Teil der durch die Sonne eingebrachten Wärme im Raum verbleibt.

Verhalten der Lösung	Konsequenz	Lösung
Innen liegende transluzente Rollo wegen starker Sonneneinstrahlung geschlossen	Erhöhter Kühlbedarf	Außen liegende Abschattung
Außen liegende Rollo wegen starker Sonneneinstrahlung geschlossen	Erhöhter Beleuchtungsbedarf	Steuerung der Abschattung
Gesteuerte außen liegende Abschattung	Keine Isolation im Winter	Integration von Abschattung und Isolation

Tabelle 1: Konsequenzen und Lösungen verschiedener Verschattungsvarianten

Jalousien bzw. Rollos (im Unterschied zu Rollläden) bieten kaum bzw. keine Isolierwirkung, sie können aber im Neubau mit Fenstern mit gutem Wärmeschutz (U-Werte) eingesetzt werden.

Als Fazit der Grobbewertung wurde bestätigt, dass Rollläden für das Vorhaben geeignet sind, besonders wenn sie auch eine Steigerung der Lichtdurchlässigkeit ermöglichen (breite Lichtschlitze). Leider ist der Lichtdurchlass bei modernen gängigen Konstruktionen im Vergleich zu den alten Holzrollländen geringer geworden, so genannte Tageslichtrollländen mit breiteren Spalten (es gibt auch solche mit transparenten Rolllädenstäben) haben durch den größeren Hohlraum in den Rolllädenstäben für den durchbrochenen Zwischenstab eine geringere Isolierwirkung. Denkbar wäre eine neue Konstruktion die die lichttechnischen Vorteile der Verbindung der Rolllädenstäbe über längere Plättchen (oder ähnliche Konstruktionen die nicht über die gesamte Länge die Isolierwirkung beeinträchtigen) mit der guten Isolierwirkung ausgeschäumter Rolllädenstäbe vereint.

Es wurden mehrere Konzepte der PV-Einbettung in die Rolllädenstäbe in der Praxis untersucht:

- ✧ Einschub flexibler PV-Zellen in transparente Rolllädenstäbe
- ✧ Einschub von polykristallinen starren Zellen in transparente Rolllädenstäbe
- ✧ Einbetten von in Kunststoff verkapselten kristallinen PV-Zellen in Holzstäben

Alle Varianten haben im Test funktioniert. Bei industrieller Umsetzung und für die Kostenanalyse wurde davon ausgegangen, dass herkömmliche Rolllädenprofile aus unterschiedlichen Materialien verwendet werden können, weil die Fotovoltaik Dünnschichttechnologie in Zukunft eine kostengünstige Beschichtung anbieten wird (ink-jet, reel to reel etc.).

3.1.2 Stand der Technik Photovoltaik und Photovoltaik-Integration

Gebäude-integrierte PV abgekürzt GIPV wurde seit 1991 in verschiedenen Projekten in Österreich untersucht und ist im Prinzip Stand der Technik⁹. Probleme ergeben sich bei der Gebäudeintegration durch die hohen Investitionskosten und die lange Amortisationsdauer - selbst für Dünnschichtmodule - infolge der geringeren Einstrahlung auf die vertikalen Flächen¹⁰. Flexible Dünnschichtmodule unter der Verwendung von ETFE Folien werden dzt. noch für andere Anwendungen und zu Preisen angeboten, die eine Nutzung im gegenständlichen Fall verbieten. Der Durchbruch ist dann möglich, wenn eine PV-Ausrüstung nicht viel mehr kostet als die z.B. Aufbringungen einer Spezialbeschichtung als Wetterschutz.

Amorphe Silizium Zellen (a-Si) haben einen niedrigeren Temperaturkoeffizienten, wodurch die Verluste bei höherer Einstrahlung mit hohen Zelltemperaturen geringer sind. In der Herstellung sind die a-Si Zellen ungefähr 20% günstiger als kristalline Zellen, wobei hier durch atmosphärische Abscheide- bzw. Beschichtungsprozesse die Kosten weiter gesenkt werden können. Der Wirkungsgrad der amorphen Zellen (a-Si) ist aber weniger als halb so hoch als bei kristallinen Zellen die nun Mitte 2011 22%-24% auf Zellebene und 20% auf Modulebene erreichen. A-Si Zellen können das bei bedecktem Himmel dominierende blaue Licht besser nutzen, haben also einen höheren Ertrag bei diffusem Licht.¹¹ Neuere Entwicklungen bei a-Si Abscheidung auf Aluminiumträgern lassen Wirkungsgrade bis 10% bei moderaten Kosten bei Weiterentwicklung vielleicht in Richtung Inkjet-Verfahren oder reel-to-reel erwarten. Die Industrie hat sich aus dem Dünnschichtbereich aufgrund der kostengünstigeren polykristallinen Silizium Poly-Si Produktion 2010 etwas zurückgezogen. CIGS-Module haben aber bereits 2009 Wirkungsgrade von 11,7% erreicht¹² und hier ist mit CIGSe und Wirkungsgraden bis 17% eine Konkurrenz für Poly-Si im Wachsen, wobei auch flexible Träger möglich sind¹³. Bei der Bewertung von Beispielen mit limitierter Fläche darf auch nicht vergessen werden, dass die Füllgrade bei billigeren schmalen Modulen mit Siliziumzellen nicht so hoch sind, besonders wenn kostengünstiger Bruch verarbeitet wird. Damit wird der niedrigere Wirkungsgrad von a-Si und CIGS etwas kompensiert.

Ein „Blight“ genannter Lösungsansatz von Vincent Gerkens¹⁴ besteht aus Lamellen, deren eine Hälfte mit photovoltaischen Zellen und andere Hälfte mit einer Licht erzeugenden Folie belegt ist. Die Idee stammt aus 2009, käufliche Produkte sind dazu nicht bekannt. Dieser Lösung fehlt als Jalousie im Vergleich zum Rollladen die Isolierwirkung, und die Möglichkeit

⁹ Fanninger G., Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Anlagen Forschungsprojekte im Rahmen der internationalen Energieagentur IEA/OECD, iff-Studienzentrum für Weiterbildung, Universität Klagenfurt

¹⁰ International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity IEA PVPS Task 12, Subtask 20, LCA Report IEA-PVPS T12-01:2009 http://www.iea-pvps.org/products/download/rep12_09.pdf

¹¹ Energy and Power Market Research Report 2010 http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0198-728595/4-Thin-film-PV-cells.html

¹² Masia S., PV efficiency advances, September 17, 2009, http://www.ases.org/index.php?option=com_myblog&show=Pv-efficiency-advances.html&Itemid=27

¹³ Wang U., How CIGS Solar Can Become Mainstream, Mar. 4, 2011, 3: <http://gigaom.com/cleantech/how-cigs-solar-thin-film-can-become-mainstream/>

¹⁴ Quick D., The (unfortunately named) Blight solar blind, March 12, 2009 <http://www.gizmag.com/blight-solar-blind/11233/>

der Ausstellung – ein Anstellen gegen die Sonne ist jedoch möglich. Die Teillösung der leuchtenden Lamellen ist am Markt erhältlich <http://www.radiantblinds.com/>

Andere einfachere PV-Lösungen befinden sich bereits auf dem Markt, haben aber noch keine weitere Verbreitung gefunden. Diese am Markt verfügbare Lösungen mit kleinen Solarzellen auf dem Rollladenkasten, auf der Fensterbank oder dem Rahmen scheiden wegen zu geringem Ertrag für die angedachte Anwendung mit kontinuierlichem Energiebedarf für die aufwändigere Regelung und die LED-Spots aus.

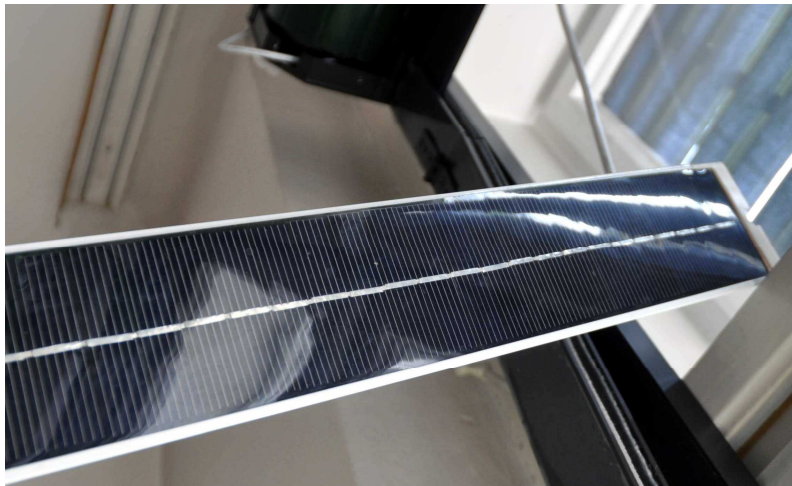


Abbildung 3: PV-Elemente für den Aufsatz auf außen liegendem Rollladenkasten (eigene Aufnahme)

Photovoltaik, die kostengünstig auf Stoffe (Sonnenstores) aufgebracht werden kann, ist noch nicht verfügbar, obwohl erste Versuche mit der so genannten „dye“ Technologie bzw. „dye sensitized solar cells“ DSSC^{15 16} gemacht wurden. Probleme dabei sind Wirkungsgrad und Haltbarkeit¹⁷. Die Verwendung von DSSC in Glasflächen bei Studien für Elektrofahrzeuge¹⁸ und unbemannten Luftfahrzeugen¹⁹ weist darauf hin, dass die Technologie Marktreife erreicht haben könnte. Von der anderen Seite nähert sich die Siliziumtechnologie durch dünnere Zellen und damit geringere Kosten an. Neue Ansätze wie Nanosolar-Tinte könnten es schaffen die Kosten pro Watt mit angeblich 1/10 der Herstellkosten für die CIGS Beschichtung von Aluminium für amorphes Silizium wieder unter die Kosten von kristallinem Silizium zu bringen²⁰. Diese Lösungen kamen für die Prototypen im Projekt mangels Verfügbarkeit

¹⁵ 1. K. Kalyanasundaram <http://solarcellsinfo.com/dyecell/>

2. Matthias Junghänel, Novel aqueous electrolyte films for hole conduction in dye sensitized solar cells and development of an electron transport model, Dissertation im Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie der Freien Universität Berlin, 2007 http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000002568/00_autor.pdf?hosts=

¹⁶ Turning windows into a source of power, <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/turning-windows-into-a-source-of-power-00003325.asp>

¹⁷ Burger, Next Generation Dye Sensitive & Organic PV, Part 1, <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/07/next-generation-dye-sensitive-organic-pv-part-1-53133>

¹⁸ <http://green.autoblog.com/2009/10/06/tokyo-preview-toyota-ft-ev-ii-brings-the-tiny/>

¹⁹ UAVs to be Powered by Dye-sensitized Solar Cells Alternative-Energy News July 16th, 2009 - 4 Comments <http://www.alternative-energy-news.info/uavs-to-be-powered-by-dye-sensitized-solar-cells/>

²⁰ Cheyney T., Innovalight signs on Grandway Wonice to sell solar nanosilicon inks, processes to Taiwanese firms- 29 April 2011, 16:50 http://www.pv-tech.org/news/innovalight_signs_on_grandway_wonice_to_sell_solar_nanosilicon_inks_process

nicht in Betracht. Sehr wohl konnten aber leichte Kunststoffmodule mit in Kunststoff eingebetteten Solarzellen genutzt werden.

Heute erhältliche flexible PV-Module haben auch bereits einen ausreichend kleinen Rollradius, um in Rollos eingesetzt werden zu können wie die folgende Demonstration in Abbildung 4 zeigt.



Abbildung 4: Flexible amorphe Solarmodule zwischen ETFE Folien (eigene Aufnahme)

Die beschafften flexiblen und kristallinen Zellen wurden testweise in Tageslichtrollladen eingeschoben und im Vergleich gemessen. Die Kosten dieser Art flexibler PV sind aber für eine verkaufbare Lösung derzeit um ein vielfaches zu hoch, obwohl im Prinzip Streifen in der Länge der Rollladenstäbe herstellbar wären.

3.1.3 Detaillierte Beschreibung Projektansatz

Die Basis für das Projekt SoWa stellt eine technische Innovation dar, bei der mit Photovoltaik ausgerüstete Lamellen beweglich sind und auch insgesamt gemeinsam mit dem Rahmen gegen die Sonne angestellt werden können (Neigungswinkel veränderlich) und sich dadurch auch der Abstand von der Hausmauer und damit der Solarertrag vergrößern lässt.

Im Unterschied zu Lösungen wie „Blight“ und den in der Praxis häufig defekten Jalousien wird im Projekt eine Lösung betrachtet, die sich im Altbaubestand bereits ein Jahrhundert bewährt hat. Durch das Ausstellen eines Teils der Rollos wird nicht nur ein höherer PV-Solarertrag sichergestellt, sondern es verringert sich auch der Bedarf an künstlicher Beleuchtung im Gebäude während der Beschattung und es wird ein Blick ins Freie ermöglicht.

In der folgenden Abbildung 5 wird gezeigt wie durch Ausstellen des unteren Teils der Rollo die Ausrichtung der PV verbessert wird, und wie die Stromübertragung bei beweglichen Lamellen angedacht ist.

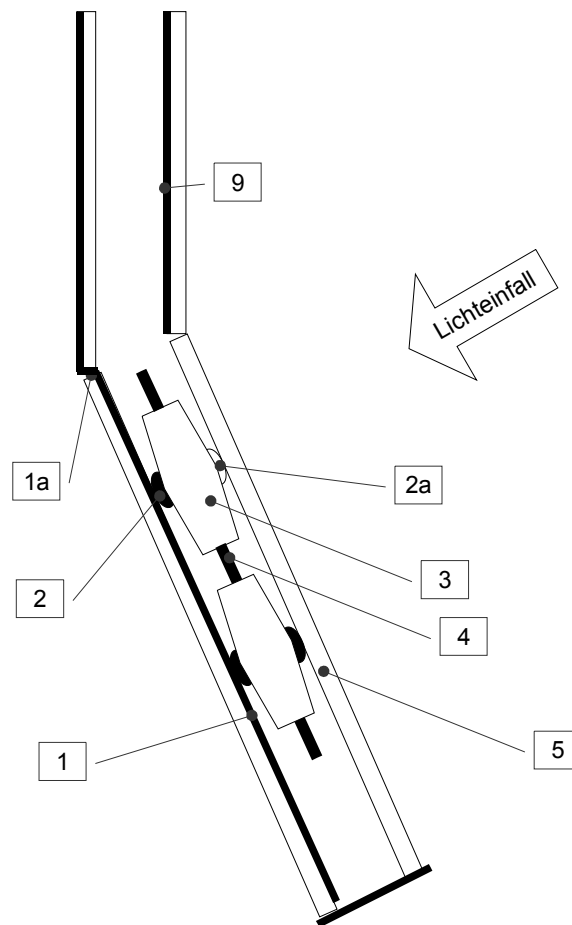


Abbildung 5: PV-ausgerüstete Lamellen ausstellbaren Rahmen (österr. Gebrauchsmuster Nr. 11700 12.3.2011)

Abbildung 5 zeigt eine Führung mit zwei beispielhaften Lamellen und eine zusätzliche elektrische Verbindung, die nur im senkrechten Teil der Führung wirkt. Eine Lamelle (3) hat eine leitende Verbindung (2) zur Leiterbahn (1), die auf die Führung (5) aufgebracht wird und eine führende jedoch nicht leitende Verbindung (2a). Eine andere Lamelle hat zwei leitende Verbindungen, wobei die Verbindungen im ausgestellten Teil der Führung eine Leiterbahn (1) bedienen, und im oberen Teil eine andere Leiterbahn (9). Die Lamellen sind untereinander durch flexible Verbindungen (4) verbunden oder haken ineinander ein.

Neben den Kosten der Herstellung ist es wichtig, dass die Anlage im Winterhalbjahr **bei geringer Einstrahlung den Ertrag für den Eigenverbrauch** schafft. Dazu wäre eine separate *Maximum Power Point* Regelung für den senkrechten und den ausgestellten Teil sinnvoll. Gute Laderegler sind für die kleinen Ströme (noch) nicht verfügbar, aber die Entwicklung am Markt lässt hoffen, dass zumindest vertikaler (9) und ausgestellter Bereich (1) getrennt geregelt werden können. Ökonomisch ist eine Einzelregelung für jeden Rollladenstab nicht darstellbar.

Grundsätzlich kann sich bei der Untersuchung der Varianten natürlich eine andere Lösung als die vorgestellte als nutzbringender bzw. wirtschaftlicher erweisen, daher wird nun auf die Alternativlösungen eingegangen, die existieren:

	ohne PV	PV am Kasten	PV am Rahmen	PV auf Rollo	PV auf Scheibe
Solarertrag Strom	0	gering	gering	hoch	hoch
Abschattungs- wirkung	Rollo/ Jalousie	Rollo/ Jalousie	Rollo/ Jalousie	Integriert in Rollo	Dauernd und nicht veränderbar
Wärmeisolierung	Rollo	Rollo	Rollo	Rollo	Nur innen möglich, da sonst PV inaktiv

Tabelle 2: Funktionen der Alternativlösungen

Es verbleiben also „PV am Rahmen“ oder „PV auf Rollo“ als Möglichkeiten, wobei der Stromertrag nur bei der Lösung „PV auf Rollo“ ausreichend ist, falls nicht ein bewusst breiter Rahmen genutzt wird und auf LED-Spots verzichtet wird.

Eine erste Analyse vor Projektbeginn hatte ergeben, dass ein kontinuierlicher Lüfterbetrieb für die Wärmerückgewinnung im Winter im Inselbetrieb nur sehr teuer realisierbar ist (über Akkus als Stromspeicher) und daher der **PV-Einsatz ausschließlich für die Abschattung** genauer analysiert werden soll, wobei bei den damit abdeckbaren Funktionen eine temporäre Isolierung und auch ein Witterungsschutz bei offenen Fenstern ohne Mehraufwand dazukommen:

	Lichtkontrolle	Witterungsschutz	(temporäre) Isolierung	Bewegungsvorgänge
Winter	Nur bei tief stehender Sonne		ja	2 Vorgänge am Tag
Frühjahr	Teilweise		ja	Doppel-Wirkung – Mikrosteps kontinuierliche Lichtsteuerung und 2 Vorgänge temporäre Isolierung
Sommer	Voll im Betrieb	Bei über Nacht zur Kühlung geöffnetem Fenster	Nicht nötig	Mikrosteps kontinuierliche Lichtsteuerung, ggf. Zufahren für Witterungsschutz in der Nacht
Herbst	Teilweise im Betrieb		ja	Mikrosteps Doppel-Wirkung – kontinuierliche Lichtsteuerung und 2 Vorgänge temporäre Isolierung

Tabelle 3: Überblick über die Funktionen während der Jahreszeiten

3.1.4 Gewählte Vorgehensweise

Im Projekt werden folgende Ziele auf ihre Umsetzung hin untersucht.

- Kann die Einheit die Absenkung der Rollläden zur Beschattung energieautark durchführen (Schaltung und Blockierung bzw. Bremse solar versorgt, Absenkung mit Hilfe Schwerkraft)? - als Muss-Ziel
- Kann der Beschattungsgrad über die Höhe der Spalte (und das Ausstellen der Rollläden) im Betrieb selbständig variiert werden? - als Kann-Ziel
- Ist es möglich Photovoltaikzellen nicht nur in den Rahmen zu integrieren, sondern auch in die beweglichen Lamellen? - als Muss-Ziel

Die Ergebnisse können neben dem Hauptfokus Bürobauten, auch im Wohnbau nützlich sein, wobei hier je nach Benutzungsschema andere Prioritäten vorherrschen werden wie weniger Lichtbedarf während des Tages - mehr Fokus auf geringe Geräuschentwicklung durch den Rollladenantrieb.

Im Projekt wurde das folgende Optimierungsschema für die Steuerung weiter verfeinert bzw. auf die Machbarkeit hin untersucht.

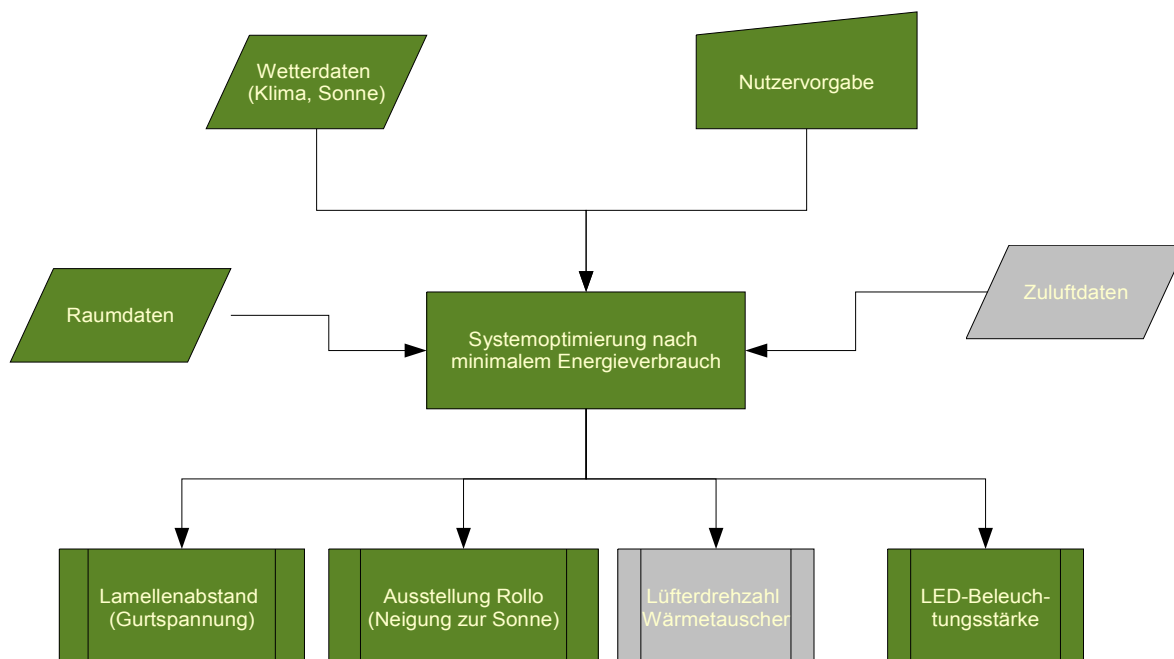


Abbildung 6: grobes Optimierungsschema (graue Teile nicht betrachtet im Inselbetrieb)

Die folgende Abbildung zeigt das Vorgehensmodell im Projekt in grafischer Form.

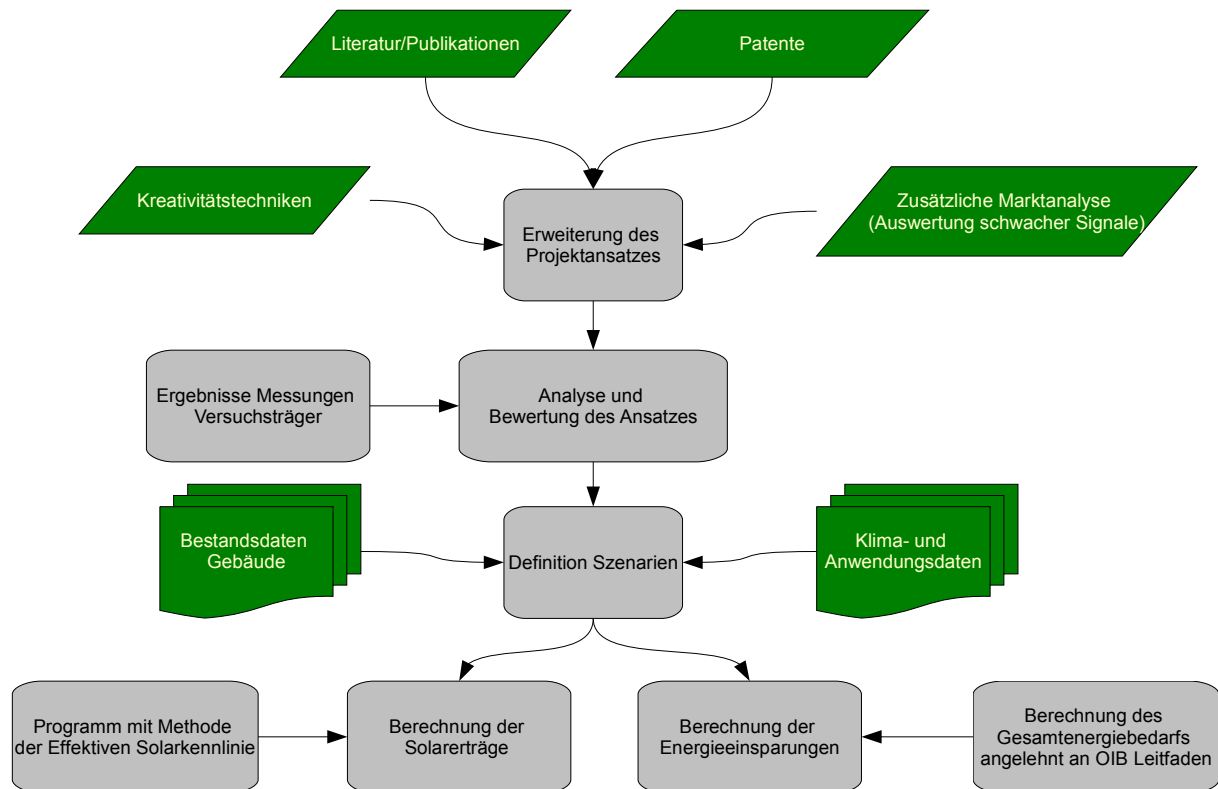


Abbildung 7: Zusammenschau Vorgehenskonzept

Die lang anhaltende Suche nach Komponenten für Prototypen über beinahe den gesamten Projektzeitraum hinweg und deren Erprobung hat es erlaubt, viel Praxiswissen zu generieren. Es konnte der tatsächlich erzielbare Ertrag, die Funktion der Stromübertragung von den Rollladenstäben zum Rahmen und die Regelung in der Praxis überprüft werden. Die Regelung wurde sowohl in Form von *Hardware in the Loop* also mit Labor-Datenerfassung getestet, aber auch mit einer zwischen geschalteten Hardware Steuereinheit (die Logik verblieb am Computer), die der Wunschlösung soweit entspricht, dass Schlüsse im Bezug auf die Machbarkeit gezogen werden können. Zuletzt wurde noch die Regelung in eine Tages- und Jahres-Simulation übertragen, um die mögliche Energieeinsparung für die Kosten-Nutzen Betrachtung bestimmen zu können.

Art	HIL/Versuchseinheit	Praxistest Webcontrol
Steuerungshardware	Computer/Ubuntu/Python	Computer/Python
Messwerterfassung	Labjack U3	10 bit Analog Input Web Control
Kommunikation	USB via Exodriver	TCP/IP via GET
Ansteuerung Rollladen	230V Relais an Labjack Relais Driver	Webcontrol TTL output auf Fernbedienung Solarrollladen
Ansteuerung LED Licht	12V DC Relais an Labjack Relais Driver	-

Tabelle 4: Beschreibung Versuchseinheiten

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Nutzerakzeptanz

Im Projekt wurden - um einen Erfolg am Markt besser planen zu können - die Wünsche der Nutzer genauer untersucht. Die kontinuierliche Regelung konventioneller Rollladenantriebe mit deutlich hörbarem Motor ist aus Gründen der **akustischen Belästigungen** nur in Ausnahmefällen möglich oder es wird der Bereich der erlaubten Helligkeit öfter verlassen werden müssen, um die akustische Belästigung gering zu halten. Ein geräuschvolles Anfahren führt in einer ruhigen Umgebung aber auch so zum Erschrecken der im Raum befindlichen Personen. Bei Diskussionen sind die Geräusche wiederum nicht so störend, was einige Projekt-Besprechungen bei laufender Regelung bewiesen haben. Die Nutzung Drehzahl-geregelter Motore wird das Problem aber beseitigen können.

Die befragten Nutzer sehen jedoch die akustische Belästigung nicht als Hauptproblem - vielleicht mangels Erfahrungen - sondern betonen den **Wunsch nach Tageslicht und freier Sicht aus dem Fenster**. Grundsätzlich ist ein Wissen über die Sparmöglichkeiten einer automatischen Regelung der Verschattung vorhanden. Aber es wird eine Verdunklungsmöglichkeit im Sommer nicht von allen Befragten gefordert. Aus diesen Aussagen lässt sich indirekt eine Präferenz für eine gute Klimaanlage (und gegen Ventilatoren) erkennen, da die Hälfte der befragten **Zugprobleme** erwähnen.

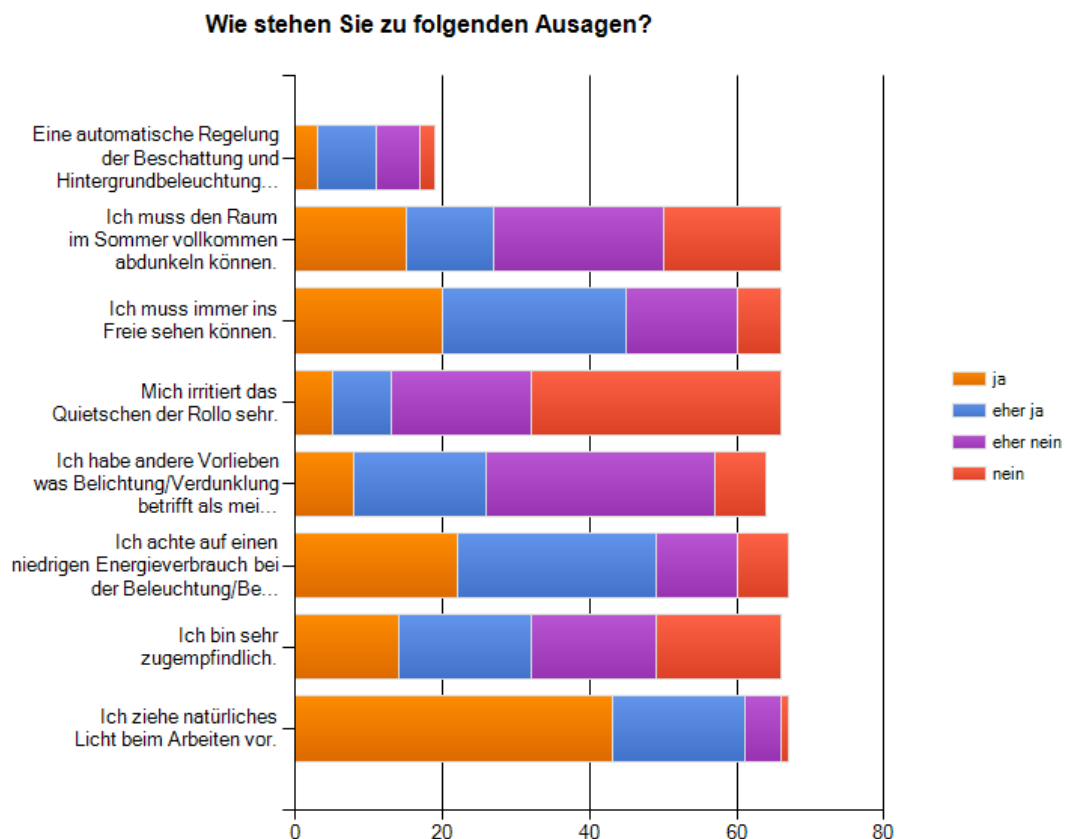


Abbildung 8: Umfrageergebnisse Nutzer (Frage 1 zielt auf die Energieeinsparung)

4.2 Technologie PV-Integration Rollladen

Es wurden auf der Basis verschiedener Konstruktionen Varianten entwickelt, wie PV in die Rollladenstäbe integriert werden könnte. Dabei ergaben sich zwei Wege - einmal die Nutzung bestehender Zellen in transparenten Rollladenstäben und andererseits das Anbringen oder sogar Aufbringen von PV auf opaken Rollladenstäben. Letzteres verspricht durch die geringen Herstellungskosten die beste Ökonomie. Details über Zwischenvarianten, die ohne hohe technologische Investition mit steckbaren Rollladenstäben herstellbar sind, sind ebenfalls Teil des geschützten Gebrauchsmusters *GM 11.700 vom 15.3.2011*.

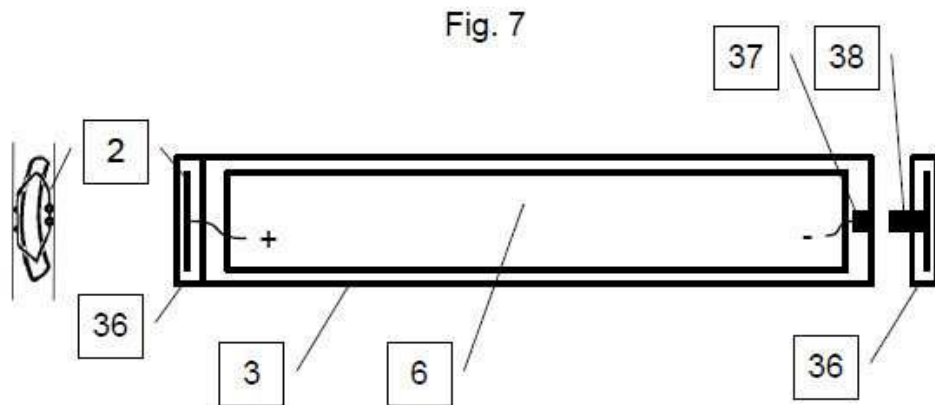


Abbildung 9: Skizze PV-Integration in den Rollladenpanzer und Stromabnehmer österr. Gebrauchsmuster 11700 15.3.2011

Die Abbildung zeigt die elektrische Verbindung der PV (6) über Schleifer (2) in den Rollladenstäben (6) die den Strom in die Leiterbahnen im Rahmen leiten.

Im Rahmen der Versuche wurde neben der Integration von starren und flexiblen PV-Zellen in transparente Rollladenstäbe auch die Integration gekapselter Zellen in Holz-Rollladenstäben erfolgreich getestet. Die Holz-Variante wird aber durch die notwendige Bearbeitung und damit Zerschneidung der Fasern bei Bewitterung die geringste Lebensdauer haben, in ariden Zonen kann bei lokaler Produktion jedoch ein Produkt schnell auf den Markt gebracht werden und eine Imprägnierung des Holzes mit natürlichen Harzen unter Wärmeeinfluss wird ebenso neuerdings angeboten (z.: unter dem Markenbegriff Natwood), wodurch die Lebensdauer des Holzes ansteigen wird.

Die Machbarkeit der Stromübertragung über Schleifer zwischen Rollladenstäben und Rahmen wurde bewiesen. Im Versuch mit auf Federdraht befestigten Laufrollen wurde bei Bewegungen mit kurzen Aussetzern Widerstände von 1 Ohm gemessen. Aufgrund der geringen Ströme – die Stäbe werden sind parallel geschaltet - wird der Spannungsabfall gering sein. Die Testinstallation mit zwei mit PV ausgerüsteten Stäben ist nun bereits Monate stationär erfolgreich zum Laden eines Akkus im Einsatz, ohne dass auf den Aluminiumbahnen Veränderungen sichtbar wären. Es sind allerdings beim Produkt technologisch hochwertigere Lösungen (Graphitlager) vorzusehen, um während der gesamten Lebensdauer und in allen Fällen niedrige Kontaktwiderstände zu erhalten.

4.3 Energieautonomie Steuerung und LED-Spots

Für die Simulation wurden Fuzzy Regler (als Python Bibliothek) genutzt, um das gewünschte Helligkeitsband auf der Basis einer Berechnung von Heiz- oder Kühlfall zu bestimmen. Die Abbildung 10 zeigt eine Variante mit LED-Spots. Die Leistung der Leistungs-geregelten LED-Beleuchtung wird anhand des Ladezustandes begrenzt. Die Leuchtstoffröhren ergänzen - falls nötig - in Varianten mit und ohne Leistungsregelung der Leuchtstoffröhren.

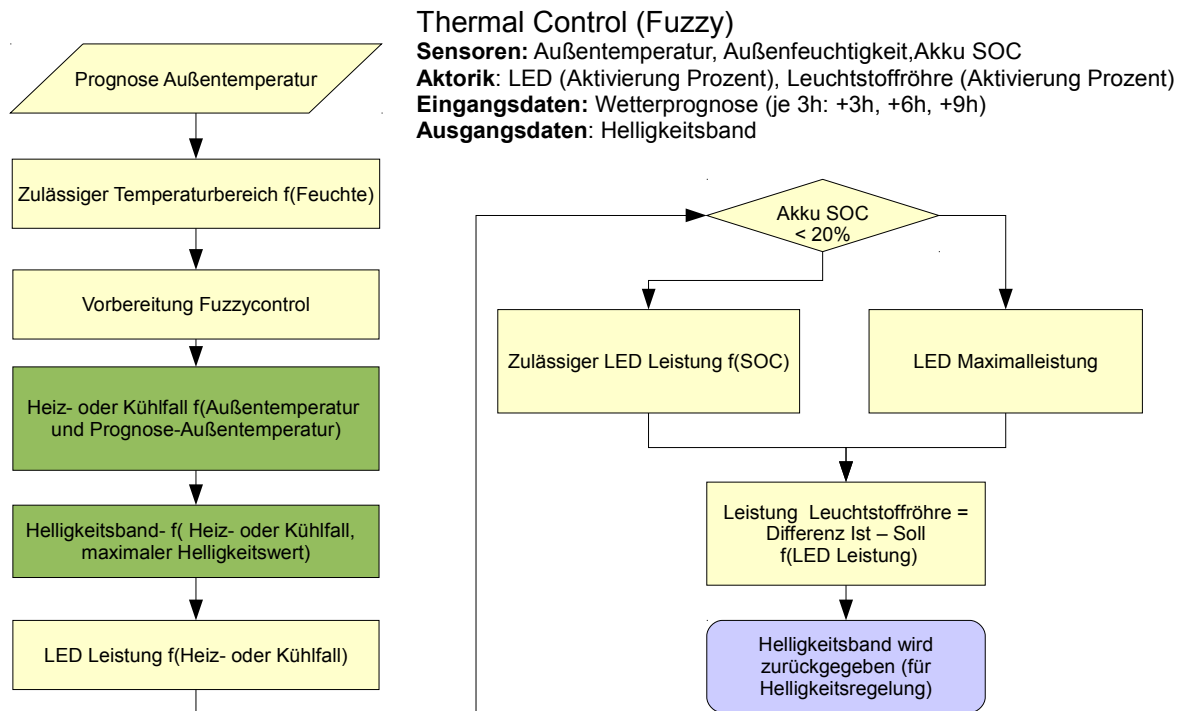


Abbildung 10: Ablauf Fuzzy Controller Helligkeitsbestimmung

Im Prototypen für die Regelung wurden im Unterschied zur Simulation vergleichsweise einfachere mathematische Zusammenhänge genutzt, damit auch energieautarke Zielplattformen mit wenig Rechenleistung in der Lage sind, die Aufgabe zu bewältigen. Es hat sich gezeigt, dass die Rollladenbewegung in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht der Hauptverbraucher sein wird, sondern das Hauptaugenmerk bei der Minimierung der Stromverbräuche auf den Controller inkl. Schnittstellen zu legen ist. Es wurde im Frühjahr eine Messung des Energieertrages über einen längeren Zeitraum für eine Orientierung nach Osten - durchgeführt.

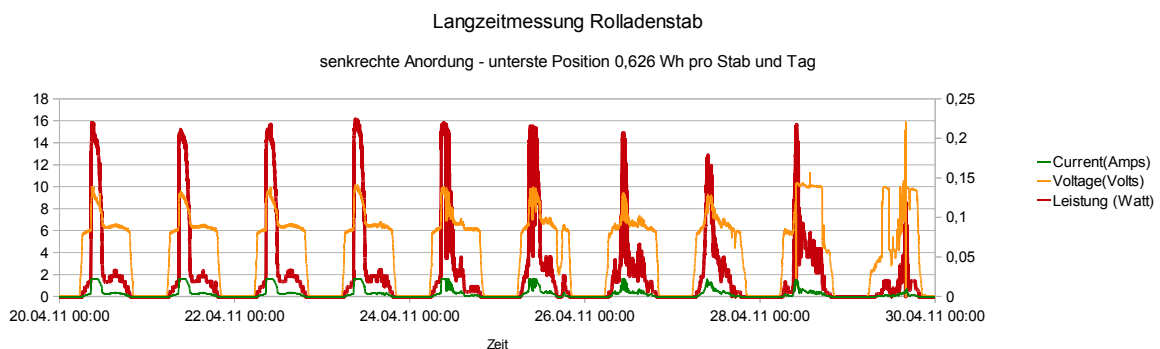


Abbildung 11: Langzeitmessung Ertrag Ost-Orientierung

Die Langzeitmessung hat unter diesen ungünstigen Umständen im April einen Messwert von ca. 0,6 Wh pro Tag und Stab ergeben. Die Verbesserung des Füllfaktors kann aber diesen Ertrag wesentlich erhöhen, da im Prototypen nur 5 kleine Module mit selbst geringem Füllfaktor genutzt wurden. Eine Verdopplung des Ertrages ist möglich, wie das Foto links mit nur lockere Besetzung der Stäbe mit PV-Zellen und die Berechnungen zeigen.



Abbildung 12: Versuchseinheit mit zwei zusätzlichen mit PV-ausgerüsteten Lamellen im ausgestellten Zustand (links)

Eine weitere und wesentliche Steigerung des Ertrages ist durch das Ausstellen des Rollladens möglich wie die folgende Abbildung die eine Messung mit dem Versuchsträger wiedergibt zeigt:

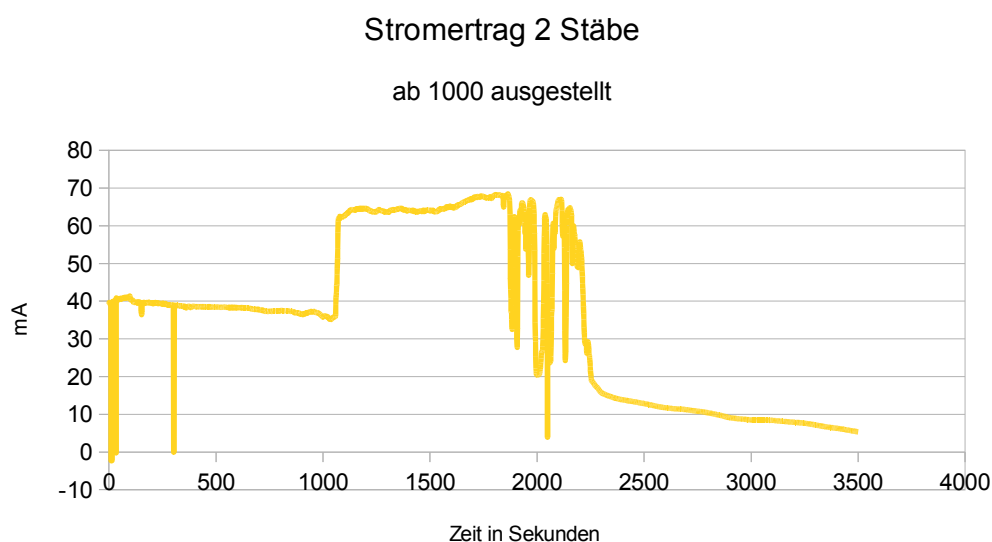


Abbildung 13: Strom in den Akku (nach Laderegler)

Das **Ausstellen erhöht** hier bei Ostausrichtung **den Ertrag** nicht nur absolut sondern, kehrt auch die am Vormittag fallende Tendenz des Ertrages in eine steigende um. Gegen Mittag nimmt durch den Winkelfaktor der Ertrag ab und geht nach eintretender Beschattung gegen Null. Der zusätzliche Nutzen des Ausstellens für die MitarbeiterInnen ist eine **Sichtmöglich-**

keit in die Umgebung, wie dies in den im Projekt durchgeführten Umfragen gewünscht wurde.

Die Ergebnisse der Messung der Erträge ohne Besonnung und die Messung der Verbraucher hatte zur Folge, dass bei der autarken Steuereinheit stärker **auf geringen Stromverbrauch geachtet** wurde d.h. Die dauernde Leistung des Controllers musste bei der Spezifikation von ca. 2W auf 0,5W gesenkt werden.

Einheit	Leistung	Betriebsdauer	Energiebedarf
Controller	0,5W	12	6 Wh
Funkmodul	0,1W	12	1,2 Wh
Solarregler	0,1W	24	2,4 Wh
Sensoren	0,1W	24	2,4 Wh
Motor (Ostfenster)	8W	0,05	0,4 Wh
Summe			12,4Wh

Tabelle 5: Ziel Stromverbrauch Systemkomponenten

Der Stromverbrauch des Antriebes ist nur bei sehr unstetem Wetter relevant, da dann der Rollladen ständig in Bewegung ist, und was auch den Wunsch nach einem Sanftanlauf geweckt hat. Ansonsten dominiert der Stromverbrauch des Controllers inkl. Netzwerkanbindung.

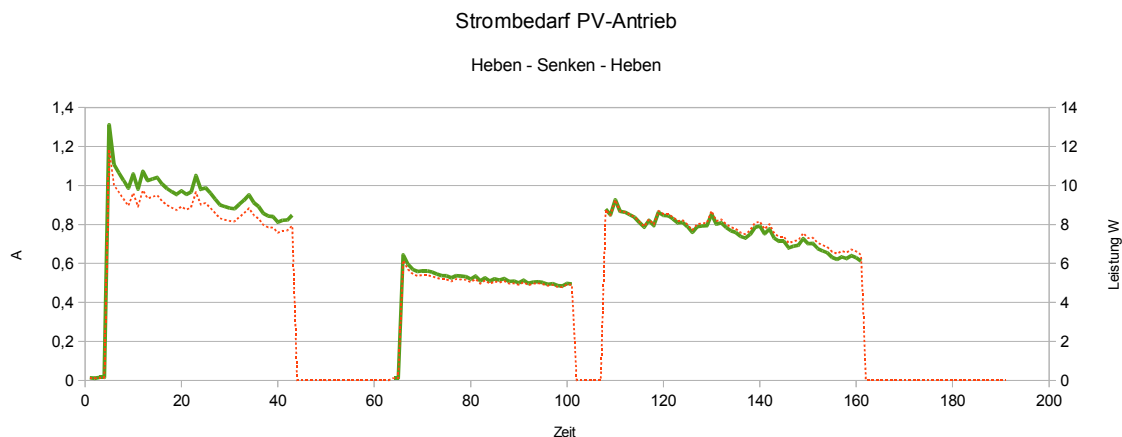


Abbildung 14: Messung Stromverbrauch 12V Rollladenantrieb Alupanzer

Als Konsequenz der Betrachtungen zum Stromverbrauch ist ein durchgehender Betrieb des Controllers nicht mehr zulässig und es muss auch die Art der Kommunikation mit einem zentralen Controller von Push auf Pull geändert werden d.h. der Controller geht für definierte Zeiträume in den Schlafmodus und horcht dann erst auf Befehle von außen bzw. fragt die

Sensoren ab. Ganz besonders nützlich ist dieser Modus in der Nacht oder allgemein bei geringer Helligkeit außen.

Weiters sollen sinnvollerweise die Coulomb'schen Verluste von Bleiakkus durch Umstieg auf Lithium Ionen Technologie vermieden werden. Die Anpassung der Laderegler auf eine Spannung von 11,1V ist dabei ein geringes Problem, wie der Praxisversuch bewiesen hat. Sicherheitshalber wurde bei den Akkus aus dem Bereich Modellflugzeuge eine Schutzschaltung zwischen Blei-Gel Laderegler und Akku integriert. Die Kosten für die Akkus steigen erst bei Nutzung bei den robusteren LiFePO₄ Akkus, wobei durch deren geringere Zellspannung mehr Zellen nötig werden (4 statt dzt. 3) um die 12V zu überschreiten.

Die Anwendung der vorgestellten Lösung ist nicht auf eine vollkommene Südorientierung beschränkt, wie der Test am Ostfenster bewiesen hat. Es ist jedoch bei Südausrichtung möglich, weniger Rollladenstäbe mit PV auszurüsten, wodurch die Kosten sinken. Hilfreich zur Erzielung einer Energieautarkie bei minimalen Investitionskosten ist auch eine dauernde Ausstellung der Rollladen. Für die Simulation wurde hier 15° angenommen. Eine Bewegung des Rollladens im ausgestellten Zustand nach oben ist problemlos möglich, die bestehende mehrer Jahrzehnte alte Lösung mit den Holzstäben bleibt jedoch beim Herabfahren oft bei der Knickstelle des ausgestellten Rahmens stecken. Neuere Lösungen haben die Knickstelle ganz oben und die Problematik ist durch einen kleinern Winkel und glattere Rollladenstäbe entschärft.

Für Arbeitsstätten mit höheren Beleuchtungsanforderungen ist bei Nutzung von PV-Strom zur Beleuchtung eine Energieautarkie nicht herzustellen, bei der Simulation wurde die Beleuchtungsstärke, die über LED Spots hergestellt werden soll auf 200-400 Lux (bei 7% bis 10% PV-Effizienz) beschränkt. Damit muss der Rollladen zur Erzielung der Wunschhelligkeit über 400lx immer leicht geöffnet sein und es ist auch immer der von den Nutzern erwünschte Tageslichtanteil gegeben. Die Prognose des Heiz- oder Kühlbedarfes wurde erfolgreich im Projekt in einem Versuchsträger getestet – indem XML-Daten aus dem Internet bezogen wurden. Der Regelalgorithmus, der bei erwartetem Heizbedarf die Rollladen öffnet, verringert natürlich den PV-Ertrag damit. In der Übergangszeit mit häufigen Wechseln ggf. auch um Blendung zu vermeiden sind hier zusätzliche Maßnahmen zu setzen um einen zu hohen Energieverbrauch zu vermeiden. Zusätzliche Zellen im Rollladenkasten oder -rahmen sind eine Möglichkeit, wobei aber auch eine "energy harvesting" - Schaltung bewusst Rollladenstäbe exponieren kann (den Rollladen teilweise herabfahren kann), wenn das lichttechnisch möglich und vom Ladezustand gefordert ist. Grundsätzlich sind die Lösungen zur Erkennung der Endpositionen nicht so exakt bzw. Toleranzen beim Wickeln vorhanden, sodass davon ausgegangen werden kann dass immer 1-2 Rollladenstäbe exponiert sind. Eine andere Möglichkeit ist kurzfristige Überschreitungen des Helligkeitsbandes zuzulassen und die Messwerte zu glätten oder die Verfahrensgeschwindigkeit zu drosseln. Die Energieautarkie hat im Betrieb eine höhere Bedeutung als eine eventuelle Heizenergieeinsparung durch Nutzung der durch das *energy harvesting* verringerten solaren Gewinne. Im folgenden wird die jahreszeitliche Problematik grafisch dargestellt.

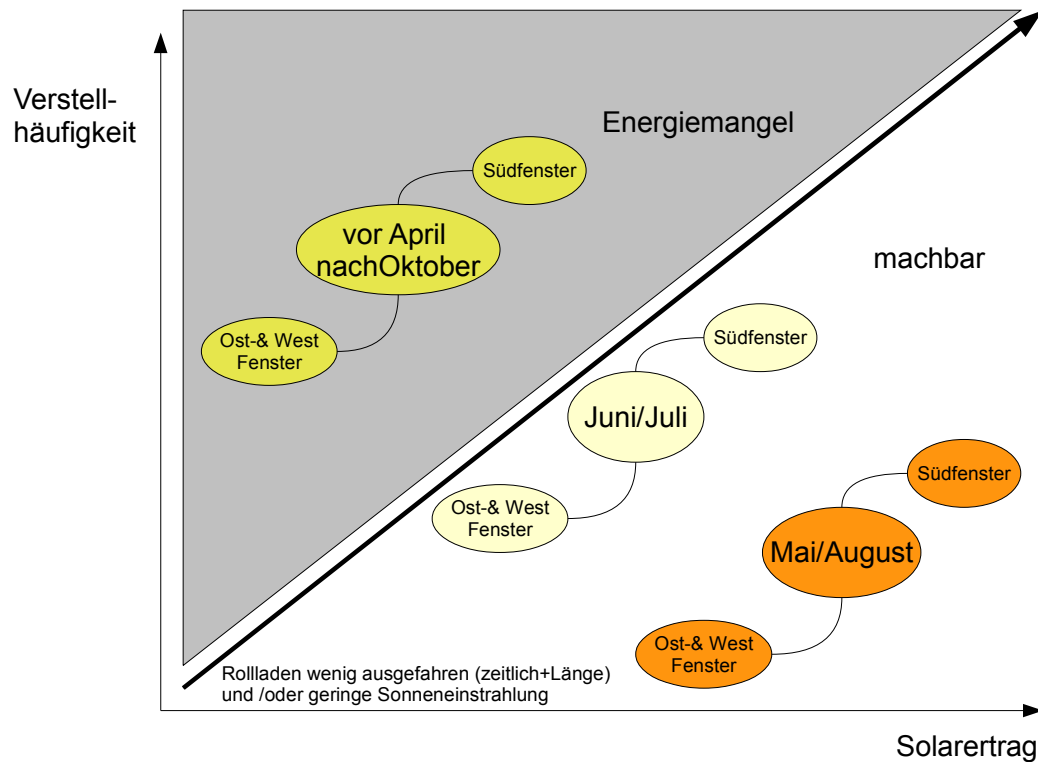


Abbildung 15: Jahreszeitliche Unterschiede bei Ertrag und Energiebedarf

In der Simulation wurde die LED-Beleuchtung reduziert im Falle, dass der Ladezustand des Akkus zu niedrig ist und die Ergebnisse für den berechneten durchschnittlichen SOC zeigen dass die Aufgabe bei entsprechender Akkugröße lösbar ist, da an dunklen Tagen die Verschattung nicht im Einsatz sein muss.

4.4 Kosten-Nutzen

Der Betrieb der *Hardware-in-the-Loop*-Steuerung an einem Computer zeigt, dass eine erfolgreiche Umsetzung in der Praxis möglich ist. Die Werte des Testlaufes wurden aufgezeichnet und werden in Abbildung 16 dargestellt. Am Tagesbeginn ist die Raumhelligkeit gemessen über den Deckensensor noch unter der Vorgabe, sie folgt im Trend dieser, wobei bei sehr unstem Wetter die Ansteuerung nicht in der Lage ist, Schwankungen zu vermeiden. Die beobachteten Ausreißer sind jedoch nicht kritisch, da das Auge bei höheren Beleuchtungsstärken (also von 500-1000 lx) Unterschiede nicht im Detail wahrnehmen kann. Am späteren Vormittag steigt die Vorgabe für die Helligkeit, da Schlechtwetter prognostiziert wurde, solange bis das Verschwinden der Sonne das Folgen bei der Helligkeit verunmöglicht und der Rollladen natürlich ganz hochgefahren wird. Die Raumtemperatur steigt am Morgen und bleibt dann relativ konstant, und steigt erst dann etwas, wenn der Heizfall detektiert wird und die Sollhelligkeit steigt.

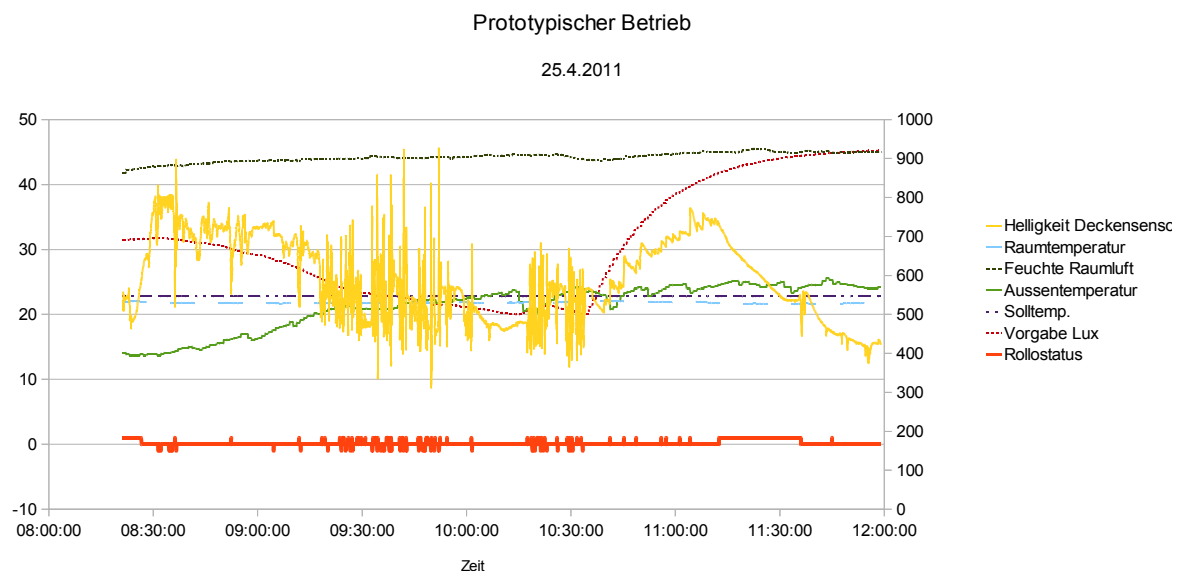


Abbildung 16: Ergebnisse Testbetrieb Versuchsträger (Python, Labjack U3, 230V Rollladenantrieb)

Auf einem unter Ubuntu laufenden Rechner wurde in der Programmiersprache Python eine Oberfläche programmiert, die sowohl eine manuelle Verstellung der Rollläden und ein Ein- und Ausschalten der LED-Spots zulässt, aber auch eine automatische Regelung durchführt (und gleichzeitig die Messwerte und Ereignisse aufzeichnet). Beim Testbetrieb war auch immer die unmittelbare Historie und die aktuellen Messwerte ablesbar, was die Fehlersuche erleichterte. Das Interface wurde auch genutzt um die Lösung auch über einen Embedded-Webcontroller zu testen. Dazu wurden die Bibliotheken für die Schnittstellen zum Ansprechen der Hardware ausgetauscht.

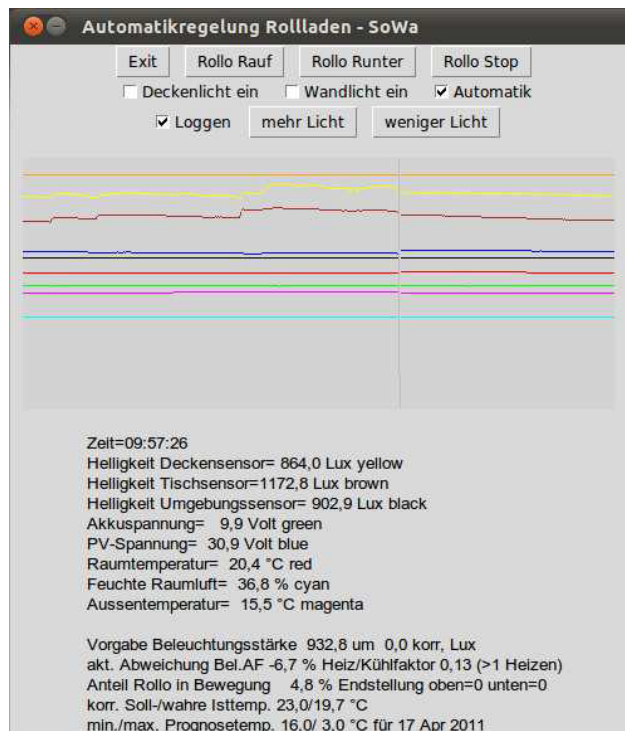


Abbildung 17: Screenshot graphisches Steuerungsinterface (Python tkinter)

Bei konstant sonnigem Wetter kann die Regelung ohne starke Schwankungen der Helligkeit ihren Dienst versehen. Am Morgen wird der Rollladen geschlossen, weil die Sonne aus Osten blenden würde, und dann nach und nach geöffnet, wie folgende Zeitreihe zeigt.



Abbildung 18: Aufnahme Rollladenposition alle 15 Minuten, sonniger Vormittag (Start unten rechts, zeilenweise nach links)

Der Probetrieb mit dem Prototypen zeigt, dass bei direktem Sonneneinfall die Rollläden beinahe ganz geschlossen werden²¹. Der Nutzen im Hinblick auf die Konstanthaltung der Beleuchtungsstärke kann also bestätigt werden.

Ein wichtiger Punkt bei der Kosten-Nutzen Betrachtung ist die Einsparung. Dazu wurde eine Simulation genutzt. Die Annahmen gingen von einem durchschnittlichen Büroraum mit Einspeicherung der Wärme nur in den Fußboden aus. Die Simulation ist als eine exemplarische Analyse zu sehen, leider konnte kein leistungsfähiges Programm gefunden werden, das eine gekoppelte Simulation der Lösung erlaubt hätte und es musste alles selbst von Grund auf programmiert werden. Dann wurde mit diesem in Python entwickelten Programm - das auf Fuzzylogic Bibliotheken zurückgreift - Varianten mit prädiktorischer Regelung und energieoptimaler aber nicht von den Mitarbeitern bemerkbare schleichenden Modifikation der Raumhelligkeit durchgerechnet.

Die energetischen Einsparungen wurden mit den verfügbaren stündlichen Daten für Klagenfurt für das Jahr 1995 berechnet. Dabei konnte eine Reduktion des Kühlbedarfs von maximal 30% im Vergleich zum Referenzszenario mit konstanter Vorgabe für die Lichtsteuerung fest-

²¹ Es war allerdings im Raum beim Test noch ein zweites Fenster mit vollständig geöffnetem Rollladen vorhanden wodurch der Schliessgrad höher ausfällt.

gestellt werden. Die prädiktorische Regelung brachte dabei überraschend wenig Einsparung nämlich nur 2,5%, die im Winterhalbjahr bei der Fortführung derselben Regelung bis auf ca. 1% wieder kompensiert würde. Eine nähere Analyse ist sinnvoll wenn auch Prognosewerte für den solaren Gewinn zur Verfügung stehen werden. Grundsätzlich ist aber der Nutzen der prädiktorischen Regelung auf den Heizenergiebedarf unbestritten, nur war der Fokus hier nicht auf der Steuerung der Heizung sondern der Verschattung bzw. künstlichen Beleuchtung. Sehr wirksam war die **prädiktorische Regelung um Kühltage beinahe ganz zu vermeiden**. Dies ist energetisch nicht so sichtbar, erzeugt aber einen signifikanten Nutzen wenn auf ein Klimaanlage verzichtet werden kann.

Die Kosten für die PV-gestützte Regelung der Verschattung wurden bei einer angenommenen verkauften Stückzahl von 1000 Stück pro Jahr und entsprechend kleinem Overhead für das Start-up Unternehmen mit 364€ ohne PV bis zu 553€ mit allen Optionen also auch LED-Spots ermittelt. Die Montage wurde separat gerechnet, ebenso wie Wartung und Instandhaltung, bevor auf dieser Basis die Annuitäten mit unterschiedlichen Lebensdauern berechnet wurden. Bei der Kosten-Nutzen Bewertung ist es wichtig, ob bereits eine Klimaanlage im Einsatz ist bzw. angedacht wird. Sprungfixe Kosten wären hier vermeidbar und würden eine bessere Wirtschaftlichkeit der PV-gespeisten Verschattung ermöglichen. Besonders ökonomisch wird es, wenn nur der Rollladenbehang und die zum Raum sehende Abdeckung des Rollladenkastens ausgetauscht und ein 12VAntrieb eingebaut wird. Aufgrund der steigenden Anforderungen der Nutzer und der möglichen Klimaerwärmung wurde dies für die vorgestellte Lösung positive Annahme verworfen.

Die im Projekt getestete Lösung ist bei Südorientierung bei solaren Überhitzungsproblemen und ggf. Unmöglichkeit, Verdampfer für Klimaanlagen an die Hauswand anzubauen als Pilotmarkt zu sehen. Eigentlich wäre es eine Aufgabe der Altstadtschützer mit dem Kulturerbe verträgliche Lösungen für Solaranlagen zu fördern um hier „südeuropäische Zustände“ bei der Anbringung von Split-Einheiten (Verdampfern) zu vermeiden. In Summe wären in Österreich nach eigene Abschätzungen maximal 150.000 Einheiten der PV-ausgerüsteten Rollläden verkaufbar, was einer PV Ausrüstungsleistung von 1 MW entspricht (steigend wenn die Wirkungsgrade der PV-Zellen zunehmen).

Im Projekt wurden **sieben Varianten** mit unterschiedlicher Hard- und Software verglichen. Bei einer Einsparung von maximal 35€ pro Jahr ergibt sich für die Lösung ohne LED und drahtlosen Ansteuerung der vorhandenen Leuchtstoffröhren LR eine statische Amortisationsdauer von ca. 4 Jahren und die Lösung wäre damit verkaufbar, weil zusätzlich auf die Komforterhöhung durch die automatische Regelung hingewiesen werden kann. Die Lösung mit zusätzlich LED Spots hat eine längere Amortisationszeit aber die geringeren Gesamtkosten. Mit prädiktorischer Regelung ändern sich die Zahlen durch die geringen zusätzliche Aufwände - Einrichtung Wetter Feed im Intranet - aber auch den geringen Nutzen - wenn eventuelle Unterschiede beim Verzicht auf eine Klimaanlage und damit den sprungfixen Kosten vernachlässigt werden - kaum.

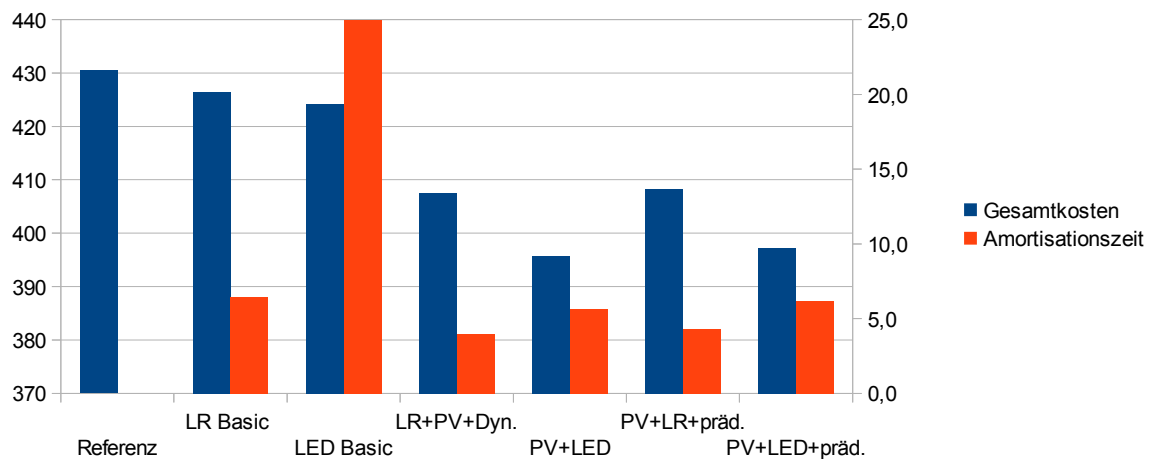


Abbildung 19: Gesamtkosten und Amortisationszeit Varianten im Vergleich zur einfachen Regelung auf konstante Helligkeit

Die LED Basic-Lösung ohne dynamische temperaturabhängige Regelung hat kaum eine Chance auf Amortisation (die Werte sind höher als auf der Abbildung darstellbar), da damit weder geringe Kosten noch sehr kurze Amortisationszeit eintreten. Die Unterschiede zwischen den LR und LED Lösungen sind nicht so gravierend, sodass hier eine individuelle Entscheidung getroffen werden kann, je nachdem welche Beleuchtung sympathischer ist. Es sind auch ohne große Mehraufwände Mischformen mit Ansteuerung der LR-Vorschaltgeräte und LED Spots möglich, wenn Arbeitsplätze soweit im Rauminnen liegen, dass LED Spots zu schräg ausleuchten würden.

5 Ausblick und Empfehlungen

5.1 Tageslichtnutzung in Büros & Verschattungseinrichtungen

LED-Technologie wird die gezielte und Energie-sparende Ausleuchtung von Arbeitsplätzen ermöglichen. Dabei ist eine Modulierung möglich und es kann damit das Tageslicht auch nach den Anforderungen des Wärmebedarfs dosiert werden. Der hohe Wert des Tageslichtes ist bei der Planung zu berücksichtigen. Leider haben moderne Standard- Rollläden zu kleine Durchtrittsöffnungen für das Licht wie das rechte Foto zeigt.

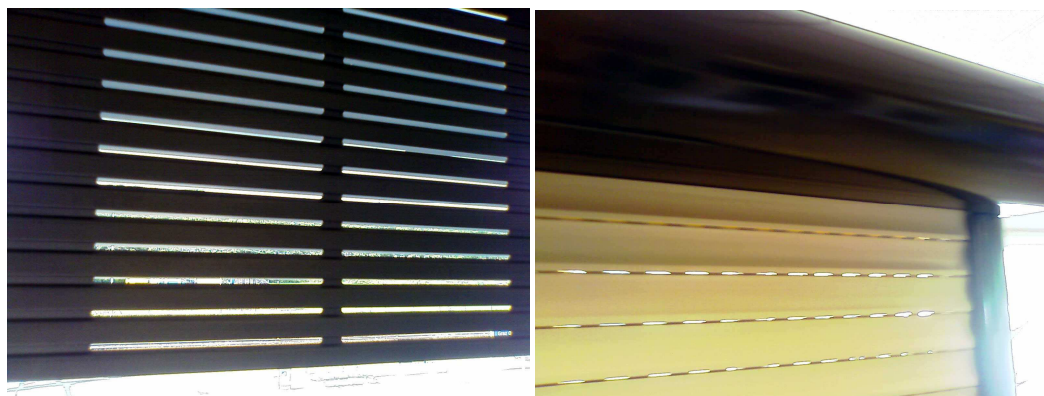


Abbildung 20: Vergleich Lichtdurchtritt hängende Rollo – links Mini-Lamellen (eigene Aufnahmen)

Es sind auch Möglichkeiten vorzusehen einen Blick nach draußen zu ermöglichen, dies kann über das Ausstellen von Rollläden erfolgen. Außen liegende Verschattungseinrichtungen sind thermisch überlegen, sie verringern Wärmeverluste im geschlossenen Zustand. Bei komplizierten Situationen und hohen Ansprüchen kann eine Kombination aus inneren und äußeren Verschattungseinrichtungen erwogen werden. Die Entwicklung der Sensorik und drahtloser Kommunikation in Sensor-Netzwerken erlaubt es, die Lichtsituation automatisch besser an die Anforderungen der Nutzer anpassen zu können.

Für eine automatische Regelung sind die Anforderungen der Nutzer z.B. nach Ungestörtheit und manueller Verstellbarkeit zu berücksichtigen. Auch müssen die Sensorkonzepte mögliche Störungen durch reflektierende Gegenstände, helle Kleidung etc. abfedern, sodass keine unerklärbaren Verstellvorgänge der Rollläden auftreten. Hierbei entsteht möglicherweise ein Konflikt mit den Mitarbeitern, da eine Optik vor den Sensoren verwendet werden muss, was fälschlicherweise eine Erkennung der Mitarbeiter suggeriert.

Für die praktische Umsetzung wurde ein Szenario entwickelt, das mit einer Nutzung der PV in statischen Verschattungseinheiten beginnt um einen Markt für die PV auf allen Verschattungseinrichtungen zu entwickeln. Es sind auch sehr große Anstrengungen notwendig, um Industrie und Gewerbe in Österreich mutiger werden zu lassen neue Ideen auszuprobieren. In den USA gibt es bereits Anbieter für PV in Klappläden. Auch in Österreich besteht die Möglichkeit Jalousien und Rollläden industriell mit PV auszurüsten. Moderne PV-Technologie wird es erlauben PV zu geringen Kosten in viele verschiedene Gebäudeteile zu integrieren – natürlich wird dies mit einfacher Technologie in Fensterbänken starten können. Das Potential ist jedoch erheblich, besonders wenn die Möglichkeiten der alten Rollläden sie ausstellen zu können ausgenützt werden. Es ist bei Förderung der Gebäudesanierung darauf zu achten, dass unabhängig von einer Nutzung der PV im Produkt wenn möglich nur neue Rollläden eingebaut werden die ausreichenden Lichtspalte haben und auch ausstellbar sind. Dies bedeutet, dass die vorgestellte Regelung bereits jetzt den Eingang in bestehende Verschattungsprodukte finden kann und auch tw. mit anderen Ansätzen und ohne PV schon gefunden hat.

Ein besonderer Fokus sollte bei allen gewerblich genutzten Gebäuden auf der Regelung der Verschattung liegen. Hier wurde gleichsam als Beiprodukt im Projekt positive Erfahrung mit der Einbindung von Wetterprognosen in die Regelung gemacht. Auch ist darauf zu achten dass die **künstliche Beleuchtung fein geregelt** werden kann. Standards für die Kommunikation mit Geräten sollen es erlauben Leuchtstoffröhren, Rollladenantriebe etc. über auf der Kommunikationsebene herkömmliche aber Energie sparende drahtlose Verbindungen wie WLAN anzusprechen.

5.2 Verteilte Hausintelligenz – drahtlose Sub-Steuereinrichtungen

Während bei größeren Neubauten oft mit der Gebäudeautomation und Bussysteme eine Intelligenz installiert wird, die den Energieverbrauch reduziert, ist dies beim Gebäudebestand aufwändiger. Es muss daher zulässig sein, abseits der Installationsbusse über Lösungen nachzudenken, die in kleineren Büros machbar sind. Oft sind hier bereits LAN Verkabelung und WLAN vorhanden, es spricht daher nichts dagegen von der Installationswelt in die IT-Welt zu blicken. Hier sind neben http-Protokollen auch SNMP nutzbar, um die Kommunikation (Polling) und damit den Strombedarf der energieautarken Rollladensteuerung zu reduzieren.

Das *energy harvesting* in Sensoren macht diese überhaupt von einer Stromversorgung unabhängig. Die PV-Versorgung von Rollladensteuerungen ist hier eine der Komponenten in einem Konzept, das sich drahtloser Substeuereinrichtungen bedient.

5.3 PV Integration Verschattungseinrichtungen

Es wird empfohlen, die Integration der PV zuerst in feststehenden Verschattungseinrichtungen einzuführen. Aber es könnte auch sein, dass Anwendungen außerhalb der Gebäudetechnik eine Anwendung der PV mehr befördern. So spricht die Energieknappheit in Elektrofahrzeugen hier für eine Anwendung in Fahrzeugen²², wobei mit einer PV-gespeisten Belüftung der Klimatisierungsbedarf bereits verringert wird. Was die Interaktion in Rollladenstäbe betrifft, ist die Entwicklung kostengünstiger atmosphärischer Prozesse wie *ink-jet* oder *reel to reel* für die PV abzuwarten, um die PV Aufbringung direkt in die Produktion der Rollladenstäbe integrieren zu können. Derzeit sind flexible Zellen, die nachträglich auf den Rollladenstäben befestigt werden können, sehr teuer. Eine Übergangslösung ist die Integration von in Kunststoff vergossenen Poly- oder monokristallinen Zellen wie im Versuchsträger gezeigt. Dies scheint nicht nur in Rollladenstäben aus Holz, sondern auch aus PVC möglich zu sein, wenn bei der Extrudierung der Profile vorgesehen.

Die beidseitige Einbettung in ETFE ist bei Einschub in die Rollladenstäbe und Kapselung nicht nötig. Beim Gebrauchsmuster wurden auch mehrteilige Konstruktionen und die Belüftung der Rollladenstäbe zur Kühlung der PV beschrieben. Flexible PV ist für Rollos - also rollbare Stoffbahnen - ideal, da die Biegeradien der flexiblen PV-Zellen sich wesentlich verringert haben – bei aber sehr hohen Kosten, die hauptsächlich im militärischen Bereich genutzten Lösungen (siehe Abbildung 4).

Der Zeithorizont für das Erscheinen geeigneter PV-Lösungen mit

- hohem Wirkungsgrad (> 10%)
- niedrigen Kosten
- Roll-On Aufbringung auf den Rollladenstab oder einen dünnen Träger

könnte hier nur mehr wenige Monate betragen. Auch wenn sich die Dünnschichttechnologie nicht durchsetzen wird, gibt es eine Möglichkeit PV in Rollladenstäbe zu integrieren. Im Projekt wurde bewiesen, dass ein Einschleiben von Zellen wie im obigen Foto gezeigt in transparente Rollladenstäbe möglich ist, ein entsprechendes Verfahren mit komplexerem Ansatz ist auch Teil des geschützten Musters GM11.700.

²² <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/intense-interest-in-energy-harvesting-for-electric-vehicles-00003318.asp?rsstopicid=474&sessionid=1>

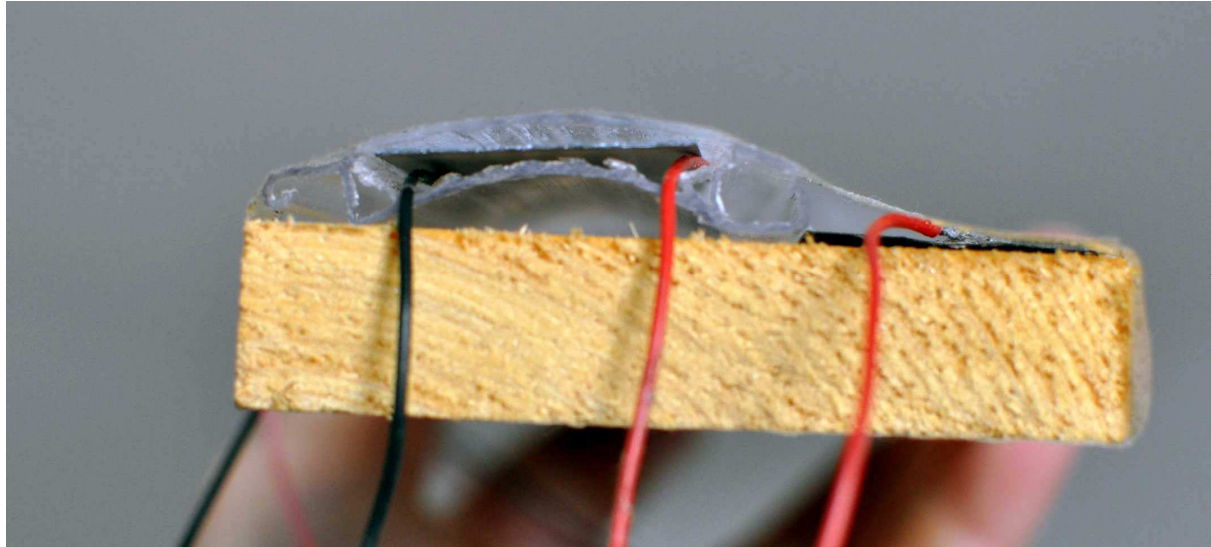


Abbildung 21: kristalline PV-Zelle in transparentem Rollladenstab

zerbrechliche kristalline Zellen mussten aber etwas aufwendiger gegen Biegung geschützt eingebaut werden, die Einbettung konnte wie die Abb. zeigt erprobt werden. Hier sind auf jeden Fall Lösungen mit robustem aber dennoch leichtem Träger für die PV nötig, wobei kein zusätzlicher Schutz der PV vor Bewitterung nötig ist, wenn sich die PV-Zellen in den gekapselten Rollladenstäben befinden. Dzt. sind Dünnschichtzellen eher mit Doppelglasscheiben geschützt, etwas das im Fassadenbereich von Vorteil ist, hier aber nicht möglich und sinnvoll ist.

5.4 Zielgruppenspezifische Empfehlungen:

Im folgenden werden die Empfehlungen für die Zielgruppen getrennt aufgelistet.

5.4.1 Energiepolitiker

Für Österreich lässt sich bei einer Einführung adaptiven und energieautarken Regelung von Rollläden im Vergleich zur Regelung auf konstante Helligkeit ca. 3500 t CO₂ pro Jahr einsparen. Die Bedeutung der vorgestellten Lösung geht aber darüber hinaus, wenn angenommen wird dass damit in vielen Fällen auf Klimaanlage verzichtet werden kann, und dabei die installierte Klimatisierungsleistung um mindestens 62 MW sinken könnte. Besonders bei drohender Beschaffung von Monoblock-Geräten (im Gegensatz zu Split Geräten) durch die Nutzer ist die elektrische Anschlussleistung dann erheblich.

5.4.2 Hersteller PV-Module

Die Anpassung der Herstellung der PV an die besonderen Bedürfnisse von Verschattungseinrichtungen kann nicht PV-Zellen verarbeitenden Betrieben überlassen werden sondern es sind auch neue Produktionsverfahren wie ink-jet oder reel-to-reel nötig die direkt bei den Herstellern der Verschattungseinrichtungen angewandt werden können. Grundsätzlich sind Anwendungen wie Jalousien und Rollläden für den PV-Einsatz beide attraktiv. Der Start sollte aber mit Klappläden gemacht werden, die auch bei geöffneten Läden Strom erzeugen können (ein Gebrauchsmuster wurde dazu angemeldet). Eine Bereinigung des Marktes verschiedener am Markt erhältlicher Verschattungseinrichtungen wird durch „economy of scale“-

Effekte die PV-Integration ökonomischer werden lassen. Die folgende Grafik zeigt eine wahrscheinliche Roadmap für die PV-Integration.

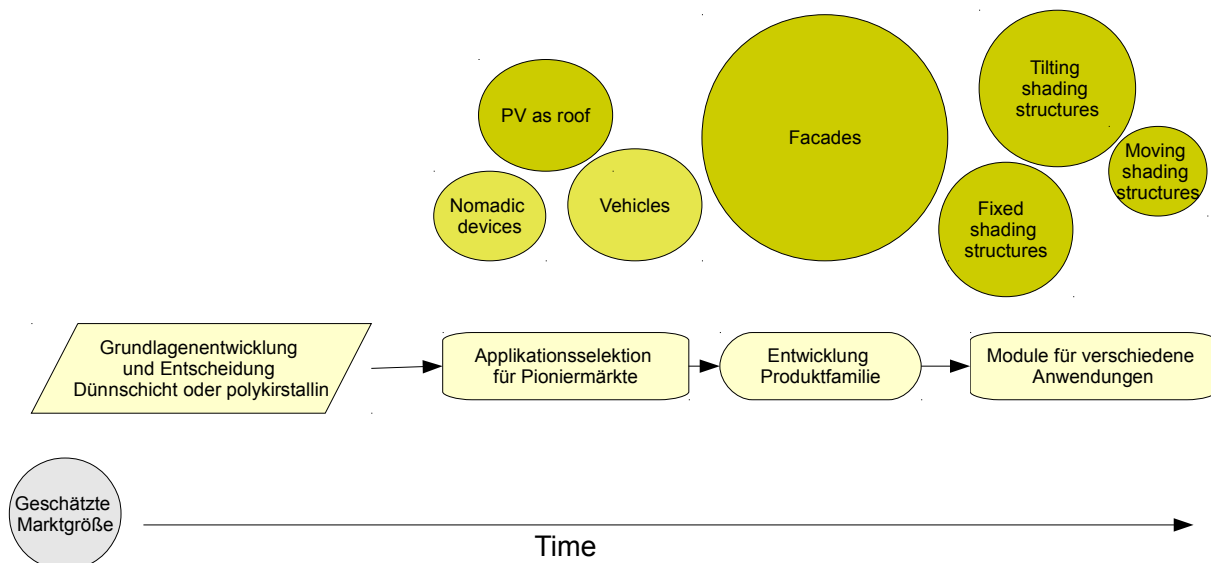


Abbildung 22: Roadmap PV für Energy Harvesting – Blasengröße entspricht Marktgröße

5.4.3 Hersteller Verschattungseinrichtungen

Der kommerzielle Misserfolg bestimmter Tageslichtrollladen hat gezeigt, dass hier eine Bereinigung am Markt wahrscheinlich ist. Die Integration von PV sollte dort erfolgen, wo die PV-Integration am kostengünstigsten vonstatten gehen kann. Aber es soll auch nicht außer Acht gelassen werden, dass neue atmosphärische Produktionsverfahren wie ink-jet oder reel-to-reel in der PV langfristig eine Integration der PV direkt nach der Produktion der Rollladenstäbe ermöglichen wird.

Über die PV-Integration hinaus, darf die Regelung nicht vernachlässigt werden, da sie energetisch über den Wärme- und Klimatisierungsbedarf mehr bringt als die PV alleine. Ein Einbau intelligenter Verschattungseinrichtungen ist wahrscheinlich, aber von den folgenden Einflüssen abhängig:



Abbildung 23: Einflussfaktoren Marktdurchdringung intelligente Verschattungssysteme

5.4.4 Gebäudeerrichter/-planer

Der wichtigste Punkt bei der Planung ist überhaupt einen Sonnenschutz vorzusehen, besonders bei höheren transparenten Fassadenanteilen. Bei der Entscheidung welche Technologie gewählt wird, sollen die Gesamtkosten des Lebenszyklus betrachtet werden. Hier gibt es wesentliche Unterschiede bei den Wartungs- und Instandhaltungskosten.

Bei der Gestaltung neuer Fassaden sind Wärmetechniker heranzuziehen. In der Praxis gibt es immer wieder Lösungen, die überraschenderweise nicht das volle Potenzial von Verschattungseinrichtungen z.B. von Glasfassaden ausnutzen, z.B. um Blendung zu vermeiden und dennoch den solaren Zugewinn zu ermöglichen.

Die in Summe geringen Einsparungen an CO₂ durch die Maßnahme²³ sind für Energiepolitiker natürlich keine Motivation sich besonders auf die intelligente Steuerung von Verschattungseinrichtungen zu konzentrieren. Es muss aber sehr wohl beachtet werden, dass wenn die Entwicklungen schief laufen und für die Klimatisierung der Räume Einzelgeräte mit sehr schlechten Leistungszahlen angeschafft werden und sich die Komfortanforderungen der Nutzer verschärfen, der Beitrag sich um Größenordnungen verändern kann. Eine intelligente Regelung der Verschattung ist also - nachdem sich auch eine Amortisation einstellt - eine sinnvolle Einzelmaßnahme.

5.4.5 Hersteller Gebäudeautomation

Derzeit existieren verschiedene Erfolg versprechende Ansätze, das thermische Management auch auf die Steuerung der Beschattungseinrichtungen auszudehnen. Unbedingt muss aber die künstliche Beleuchtung hier integriert werden. Eine drahtlose Ansteuerung von Vorschaltgeräten ist eine Möglichkeit, bisher nicht vernetzte Systeme zu vernetzen. Auch die vorgestellten Einheiten, die Verschattung und LED-Spots umfassen werden sich in so ein System integrieren lassen. Probleme entstehen dadurch, dass die Sachzwänge beim Design neuer Systemarchitekturen im Konflikt mit Normen bestehender Systeme stehen können. Z.B. ist ein 24V Bus bei einer PV -gespeisten 12V Anlage nicht sinnvoll. Aber hier sollten Anstrengungen unternommen werden, damit die Bereiche Gebäudeautomatisation und EDV-Netzwerktechnik zusammen wachsen können. Batterielose Sensortechnologie, TCP/IP basierte Kommunikationsnetze haben ein erhebliches Potenzial, gefährden natürlich aber bestehende Geschäftsmodelle für Anbieter von Gebäudebus-Systemen. Derzeit sind die TCP/IP basierten drahtlosen Systeme mit 300 USD pro Knoten²⁴ aber noch sehr teuer, wodurch andere Lösungen vorgezogen werden sollen wo möglich und nötig. Der Wettbewerb zwischen Zigbee bzw. IEEE 802.15.4 und WLAN IEEE 802.11 basierten drahtlosen Lösungen stellt ein Problem für kleinere Firmen dar, Investitionen in die Entwicklung beider Lösungen zu finanzieren. Energiemanagement bei WLAN kann die Entscheidung bringen oder eine Integration von ZigBee in WLAN eine Konversion mit Vereinfachung für die Programmierer hervorrufen.

Eine Möglichkeit die Kosten zu senken ist es, auf offene System zu setzen, wo eine Community Entwickler unterstützt und Lösungen ausgetauscht werden. Da in Bürogebäuden sowieso Ethernet vorhanden ist, ist die Mitnutzung dieser Verkabelung kostengünstig möglich.

²³ Eine realistische Abschätzung erbrachte für Österreich einen Wert von 3500t CO₂ pro Jahr

²⁴ <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/battery-less-rf-powered-energy-harvesting-wireless-sensor-system-00003336.asp>

5.4.6 Nutzer

Die Befragung der Nutzer hat doch einige Hürden ergeben. Einige sind stark gegen autonome Systeme – dies muss unbedingt in der Systemarchitektur berücksichtigt werden. Im gegenständlichen System kann der Rollladen händisch über das Intranet bequem vom PC aus verstellt werden und das gewünschte Helligkeitsniveau verändert werden. In gewissen Bereichen muss aber auch darauf geachtet werden, dass nicht falsche Verhaltensweisen perpetuiert werden. Die Nutzung von nur für den Raum gemeinsam schaltbaren Leuchtstoffröhren im Sommer bei vollkommener Verdunklung ist bei unregelmäßigem Leuchtstoffröhren wärmetechnisch kontraproduktiv.

Das System kann den Nutzern aber gut verkauft werden, da durch die gegenständliche Erfindung ohne Zugluft, wie sie durch schlechte Klimalagen oder Ventilatoren erzeugt wird, ein angenehmeres Raumklima mit weniger Überhitzung realisiert wird. Die Vorgaben wo nun Heiz- oder Kühlfall eintritt, soll über eine Beobachtung der Bekleidungsgeohnheiten herausgefunden werden. Es wird erwartet, dass sich beide Seiten also adaptive selbst lernende Regelung wie Nutzer im ersten Jahr aneinander anpassen werden und die Zufriedenheit steigen wird.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieverbrauch für verschiedene Winkel einer Jalousie	7
Abbildung 2: Ergebnis Grobbewertung Verschattungseinrichtungen	9
Abbildung 3: PV-Elemente für den Aufsatz auf außen liegendem Rollladenkasten (eigene Aufnahme).....	12
Abbildung 4 Flexible amorphe Solarmodule zwischen ETFE Folien (eigene Aufnahme)	13
Abbildung 5: PV-ausgerüstete Lamellen ausstellbaren Rahmen (österreich. Gebrauchsmuster Nr. 11700 12.3.2011)	14
Abbildung 6 grobes Optimierungsschema (graue Teile nicht betrachtet im Inselbetrieb)	16
Abbildung 7 Zusammenschau Vorgehenskonzept.....	17
Abbildung 8: Umfrageergebnisse Nutzer (Frage 1 zielt auf die Energieeinsparung)	18
Abbildung 9: Skizze PV-Integration in den Rollladenpanzer und Stromabnehmer österreich. Gebrauchsmuster 11700 15.3.2011	19
Abbildung 10: Ablauf Fuzzy Controller Helligkeitsbestimmung	20
Abbildung 11: Langzeitmessung Ertrag Ost-Orientierung	20
Abbildung 12: Versuchseinheit mit zwei zusätzlichen mit PV-ausgerüsteten Lamellen im ausgestellten Zustand (links).....	21
Abbildung 13: Strom in den Akku (nach Laderegler).....	21
Abbildung 14: Messung Stromverbrauch 12V Rollladenantrieb Alupanzer	22
Abbildung 15: Jahreszeitliche Unterschiede bei Ertrag und Energiebedarf	24
Abbildung 16: Ergebnisse Testbetrieb Versuchsträger (Python, Labjack U3, 230V Rollladenantrieb).....	25
Abbildung 17: Screenshot graphisches Steuerungsinterface (Python tkinter)	25
Abbildung 18: Aufnahme Rollladenposition alle 15 Minuten, sonniger Vormittag (Start unten rechts, zeilenweise nach links)	26
Abbildung 19: Gesamtkosten und Amortisationszeit Varianten im Vergleich zur einfachen Regelung auf konstante Helligkeit	28
Abbildung 20: Vergleich Lichtdurchtritt hängende Rollos – links Mini-Lamellen (eigene Aufnahmen).....	29
Abbildung 21: kristalline PV-Zelle in transparentem Rollladenstab	31
Abbildung 22: Roadmap PV für Energy Harvesting – Blasengröße entspricht Marktgröße ...	32
Abbildung 23: Einflussfaktoren Marktdurchdringung intelligente Verschattungssysteme	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Konsequenzen und Lösungen verschiedener Verschattungsvarianten	10
Tabelle 2: Funktionen der Alternativlösungen.....	15
Tabelle 3: Überblick über die Funktionen während der Jahreszeiten	15
Tabelle 4: Beschreibung Versuchseinheiten.....	17
Tabelle 5: Ziel Stromverbrauch Systemkomponenten	22

IMPRESSUM

Verfasser

EUC Energie- und Umwelt-Consulting

Gerfried Cebrat

Hermann Bahr-Gasse 5/II/12

A- 8020 Graz

Tel: 0316 72 37 57

Web: www.energie-umwelt.at

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH