



**in.RET**

Institut für  
Regenerative Energietechnik

**Jahresbericht des Instituts für  
Regenerative Energietechnik (in.RET)**

**2011**

## Vorbemerkungen

Das Jahr 2011 war von einer Konsolidierung der wissenschaftlichen Arbeit des Instituts bei gleichzeitigem Auslaufen der Anschubfinanzierung seitens des Thüringer Wissenschaftsministeriums gekennzeichnet. So ist es besonders erfreulich, dass neben einer kontinuierlichen Ausweitung der Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen eine Forschergruppe zum Thema „Systembedingte Degradationsmechanismen von Photovoltaikmodulen“ erworben werden konnte. In diesem aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) finanzierten Projekt werden in den Jahren 2012 bis 2014 drei wissenschaftliche Mitarbeiter die begonnen Forschungsarbeiten insbesondere im Bereich der Dünnschicht-Photovoltaikmodule fortsetzen.

Auch in 2011 wirkten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Regenerative Energietechnik wieder an zahlreichen Projekten im Land Thüringen mit, so zum Beispiel als Jurymitglieder bei den Architektenwettbewerben *Heizhaus am Brühl* in Erfurt und *Otto-Grotewohl-Ring/ Röttlein* in Zeulenroda-Triebes oder bei der Verleihung des Thüringer Umweltpreises. Im Juni 2011 wurde Prof. Wesselak durch die Ministerpräsidentin des Freistaats Thüringen für eine zweite Amtszeit in den Beirat für nachhaltige Entwicklung berufen und von diesem als Beiratssprecher bestätigt.

Im Juli besuchte die Ministerpräsidentin des Freistaats Thüringen Christine Lieberknecht auf ihrer Energietour durch Thüringen die Fachhochschule Nordhausen und konnte sich einen Überblick über den Stand der Energieforschung am in.RET und in dem August-Kramer-Institut machen.



**Abbildung 1:**  
Prof. Link informiert die Ministerpräsidentin im Rahmen ihrer Energietour über die strömungstechnische Optimierung von Flügelprofilen an Kleinstwindrädern.  
(Foto: FHNPresse)

Nordhausen, der 22. Februar 2012

Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak  
(Institutssprecher)

# 1. Institut

## 1.1 Wissenschaftliches Personal

Das wissenschaftliche Personal des in.RET umfasst derzeit vier Professuren, je eine Stelle für eine Lehrkraft für besondere Aufgaben (LfbA) und einen Laboringenieur, sowie eine Teilzeitstelle für Teamassistenten. Neben diesen aus Hochschulmitteln finanzierten Stellen arbeiten derzeit drei wissenschaftliche Mitarbeiter, drei Projektmitarbeiter sowie zwei Lehrkräfte für besondere Aufgaben (LfbA) am Institut. Diese werden projektbezogen finanziert; Bausteine dieser projektbezogenen Finanzierung sind das Lubom-Projekt „Institut für Regenerative Energietechnik“, das den Anlauf der wissenschaftlichen Institutsarbeit sicherstellen soll, der Qualitätspakt Lehre sowie Drittmittelprojekte. Derzeit sind die folgenden Personen im Institut beschäftigt:

Professoren:	Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer (Bioenergiesysteme) Prof. Dr.-Ing. Thomas Link (Kraft- und Arbeitsmaschinen) Prof. Dr.-Ing. Thomas Schabbach (Thermische Energiesysteme) Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak (Regenerative Energiesysteme)
LfbA:	Dipl.-Phys. Andreas Dohle B. Eng. Johannes Haller Dipl.-Ing. Jürgen Hickmann B. Eng. Rio Marco Rathje
Laboringenieurin:	Dipl.-Ing. Birgit Lustermann
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	B. Eng. Maria Nuschke Dipl.-Ing. (FH) Pascal Steinert M.Eng. Sebastian Voswinckel
Projektmitarbeiter:	Dipl.-Ing. (FH) Jutta Carow B. Eng. Steffi Klenner B. Eng. Oliver Mercker
Teamassistenten:	Annika Rausch

## 1.2 Selbstverwaltung

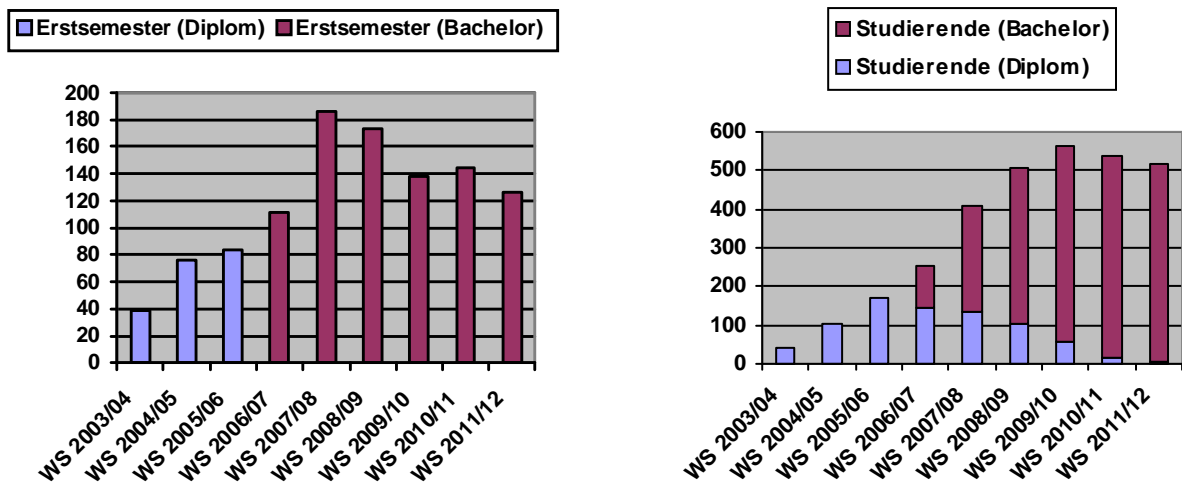
Das Institut für Regenerative Energietechnik (in.RET) wird von einem kollegialen Leitungsgremium geführt, das aus den dem Institut angehörenden Professoren sowie einem Vertreter der Mitarbeiter gebildet wird. Der Institutsvorstand konstituierte sich in der Mitgliederversammlung vom 18.02.2009 und setzt sich aus Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer, Prof. Dr.-Ing. Thomas Link, Prof. Dr.-Ing. Thomas Schabbach, Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak und Dipl.-Phys. Andreas Dohle zusammen. Zum Institutssprecher wurde Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak bestellt.

Die Mitgliederversammlung des Instituts tagte im Jahr 2011 während der Vorlesungszeit wöchentlich. Diese hohe Sitzungsfrequenz hat sich bewährt, da so alle inhaltlichen und organisatorischen Fragestellungen der Lehr- und Forschungsorganisation sowie des Institutsaufbaus auf kurzen Wegen geklärt werden konnten. Die erstmalige Einberufung des Kuratoriums ist nach Abschluss der Aufbauphase vorgesehen.

## 2. Studiengang RET

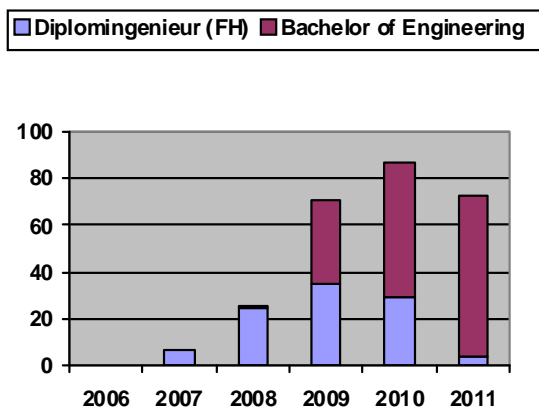
### 2.1 Die Entwicklung des Studiengangs

Die Nachfrage nach dem Studiengang „Regenerative Energietechnik“ hat sich auch im Jahr 2011 ausgesprochen positiv dargestellt. Die Anzahl von 126 Erstsemestern entspricht einer Überlast von mehr als 100 Prozent. Erfreulicherweise konnte durch das Engagement aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts und des Fachbereichs Ingenieurwissenschaften sowie durch die Bereitstellung von zusätzlichen Mitteln aus dem Hochschulpakt 2020 und dem Qualitätspakt Lehre, auch weiterhin von Überlegungen hinsichtlich einer Zulassungsbeschränkung abgesehen werden. Die Funktion des Studiendekans wurde auch 2011 durch Prof. Dr.-Ing. Thomas Schabbach ausgefüllt.



**Abbildung 2:** Entwicklung der Erstsemester (links) und der Studierenden insgesamt (rechts) im Studiengang Regenerative Energietechnik. Dabei wird zwischen im Diplom- und Bachelorstudiengang Immatrikulierten unterschieden

Die Gesamtzahl der Studierenden der „Regenerativen Energietechnik“ lag im Wintersemester 2011/2012 bei 511. Damit stellt der Studiengang RET weiterhin mit Abstand das größte Kontingent an der Fachhochschule Nordhausen: gut jeder fünfte Studierende ist hier immatrikuliert. Der Anteil der weiblichen Studierenden betrug im Wintersemester 2011/2012 8 Prozent (42 von 511).



**Abbildung 3:** Entwicklung der Absolventenzahlen im Studiengang Regenerative Energietechnik nach Abschlussart.

Im Jahr 2011 beendeten 73 Studierende ihr Studium der Regenerativen Energietechnik erfolgreich, davon 4 als Diplomingenieur (FH) und 69 als Bachelor of Engineering. Beim Übertritt in das Berufsleben konnten – sicherlich auch bedingt durch den zunehmenden Fachkräftemangel der Branche – keine Akzeptanzprobleme des neuen Bachelorabschlusses festgestellt werden, wenngleich ein nicht unerheblicher Anteil der Absolventinnen und Absolventen

sich für die Aufnahme eines Masterstudiums entschieden hat. Davon profitieren konnte insbesondere der konsekutive Masterstudiengang „Systems Engineering“ der Fachhochschule Nordhausen.

In Vorbereitung der Reakkreditierung aller Studiengänge wurde im Fachbereich Ingenieurwissenschaften ein gemeinsames, zweisemestriges Grundstudium für alle Bachelorstudiengänge eingeführt. Gleichzeitig wurde aus Gründen der Studierbarkeit die Regelstudienzeit der Bachelorstudiengänge auf sieben Semester erhöht. Beide Maßnahmen wurde bereits zum Wintersemester 2011/12 umgesetzt. Das Reakkreditierungsverfahren wird voraussichtlich erst Anfang 2012 abgeschlossen werden.

## 2.2 Exkursion zum Braunkohlekraftwerk Lippendorf

Im Rahmen der Lehrveranstaltung Elektrische Energiesysteme findet jährlich eine Exkursion zum Braunkohlekraftwerk Lippendorf der Vattenfall AG statt. Ziel der Veranstaltung ist es, den meist 120 teilnehmenden Studierenden einen Eindruck von modernen Großkraftwerken zu vermitteln und die im Rahmen der Vorlesungen erworbenen Kenntnisse mit eigenen Eindrücken zu unterlegen. Das 1999 in Betrieb genommene Grundlastkraftwerk verfügt über eine Bruttonennleistung von  $2 \times 920$  MW. Zwei baugleiche im Zwangsdurchlauf betriebene Dampferzeuger mit einer Dampfleistung von 2420 t/h stellen als Dampfparameter einen Druck von 267 bar und eine Temperatur von 550 °C bereit. Als Turbinen kommen zwei fünfgehäusige Hochtemperatur-Kondensationsturbinen zum Einsatz welche je einen 1167 MVA Generator antreiben (wasserstoff-/wassergekühlt). Blocktransformatoren speisen die erzeugt Energie nach der Übersetzung 27 / 400 kV in das Netz ein. Die notwendige Rauchgasreinigung beinhaltet eine Entstaubung mit Elektrofiltern, Stickoxidminderung, Entschwefelung und ein Brantkalk-Nasswaschverfahren (REA).



**Abbildung 4:** Fünfgehäusige Hochtemperatur-Kondensationsturbine  
(Foto: Steinert)



**Abbildung 5:** Außenansicht der Kraftwerksblöcke  
(Foto: Steinert)

(Bearbeiter:  
Pascal Steinert, Maria Nuschke)

### 3. Tagungen

#### 3.1 Green IT - 6. Nordhäuser Energieforum

Bereits zum sechsten Mal wurde im November 2011 die Veranstaltung *Nordhäuser Energieforum* durchgeführt. In Zusammenarbeit mit der Heinrich Böll Stiftung Thüringen, der Verbraucherzentrale sowie Stadt- und Landkreis Nordhausen stand diesmal das Thema *Green IT* mit Vorträgen und Diskussionsrunden im Zentrum.



**Abbildung 6:**  
Logo des 6. Nordhäuser Energieforums

Auch die Informations- und Kommunikationstechnologie verursacht durch hohen Energieverbrauch jährlich einen nicht unwesentlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Er entspricht in etwa dem Niveau von 320 Millionen Kleinwagen. Wichtigster Treiber für den rapiden Anstieg des weltweiten Stromverbrauchs von Rechenzentren ist vor allem die global rasant steigende Nutzung internetbasierter Dienste mit jährlichen Wachstumsraten von 34 Prozent, z.B. für den Warenhandel und -verkauf sowie für die Kommunikation und Informationsgewinnung. Hinzu kommen die Zunahme der IT-unterstützten Zusammenarbeit von weltweit verteilten Expertenteams und die Steuerung globaler Unternehmensnetzwerke auf Basis von Internettechnologien. Ganz konkret bedeutet das einen immer höheren Stromverbrauch für Hardwarebetrieb und Kühlung.

Durch eine konsequente Umsetzung von bereits bekannten Energiesparkonzepten könnte die IT ihren eigenen CO<sub>2</sub>-Ausstoß halbieren. Die wichtigsten Maßnahmen dazu sind die Reduktion der physischen Server durch die Virtualisierung und Harmonisierung von Anwendungen. Da Server meist nur weniger als ein Drittel ausgelastet sind, würde dies allein in Deutschland eine Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um etwa fünf Millionen Tonnen pro Jahr bedeuten. Durch energieeffiziente Kühllösungen für bestehende Systeme und ein optimiertes Gebäudedesign für zukünftige Rechenzentren könnten etwa eine Million Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden. Green IT bedeutet zudem den Einsatz energieeffizienter Hardware und unter Umständen auch ein Auslagern von Hardware und Betrieb an energieeffiziente Dienstleister, die Leerkapazitäten besser auslasten können. Durch diese Maßnahmen ließe sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um weitere 4 Millionen Tonnen pro Jahr reduzieren.

Aus dem Veranstaltungsprogramm sollen nur einige Vorträge herausgehoben werden: Ein realisiertes Projekt stellte Gerd Kruse von der Stadtverwaltung Nordhausen vor. Hier wurde der IT-Bereich völlig neu strukturiert und durch den Einsatz virtualisierter Server nachweislich Energie und Kosten eingespart. Das Projekt wurde im Rahmen des Wettbewerbs *Bundeshauptstadt im Klimaschutz* mit einem Sonderpreis gewürdigt. Ralph Wölpert vom Unterneh-

men *RITTAL* als Hersteller von Hardware und Zubehör für den Einsatz von IT-Systemen berichtete von innovativen Maßnahmen an eigenen Produkten, die in Form neuartiger Kühlsysteme und -mechanismen den jährlichen Energiebedarf reduzieren können. Björn Ahrens zeigte, daß auch bei den immer zahlreicher werdenden Heim-PCs ein enormes energetisches Sparpotential liegt. Die Veranstaltung wurde mit einer Podiumsdiskussion abgeschlossen.

Thema	Referent
Green IT – die Modernisierung der IT in der Stadtverwaltung Nordhausen	Gerd Kruse, Stadt Nordhausen
Green IT – Energieeffizienz als Gebot der Stunde	Florian König, BITKOM e.V
Green Computing Portal	Björn Ahrens, Green Computing Portal, Ahrens+Kontos GbR
Beispiele und Potenziale von Green IT	Steffen Holzmann, Deutsche Umwelthilfe
Green IT in Rechenzentren und IT-Umgebungen	Ralph Wölpert, Leiter Systemberater Planung, Rittal GmbH & Co. KG

(Bearbeiter: Andreas Dohle)

### 3.2 3. Symposium „Zukunftsperspektiven Regenerativer Energietechnik“

Am 3. November 2011 veranstaltete das Institut für Regenerative Energietechnik das 2. Symposium „Zukunftsperspektiven Regenerativer Energietechnik“ an der Fachhochschule Nordhausen. Bei der diesjährigen Veranstaltung wurde als Schwerpunktthema die Windkraftbranche ausgewählt. Ziel der Veranstaltung war es, den Studierenden des Studiengangs Regenerative Energietechnik und der interessierten Öffentlichkeit aktuelle Problemstellungen und zukünftige Entwicklungen im Bereich der Windkraft zu vermitteln. Insgesamt waren drei Themenblöcke bestehend aus einem Fachvortrag und einer anschließenden Diskussion vorgesehen. An dem Symposium nahmen etwa 200 Personen teil, überwiegend Studierende der Regenerativen Energietechnik aus höheren Semestern.

Thema	Referent
BorWin1 - Die weltweit erste HGÜ-Netzanbindung eines Offshore-Windparks	Dr.-Ing. Constantin Steinhilber, TenneT TSO GmbH
Entwicklung und Bau von Rotorblättern für Windenergieanlagen der Multimegawattklasse	Dipl.-Ing. Niels Ludwig, SINOI GmbH
Innovative Windkraftanlagen am Beispiel der Vestas V112	MSc. Stephan Jeznita, Vestas

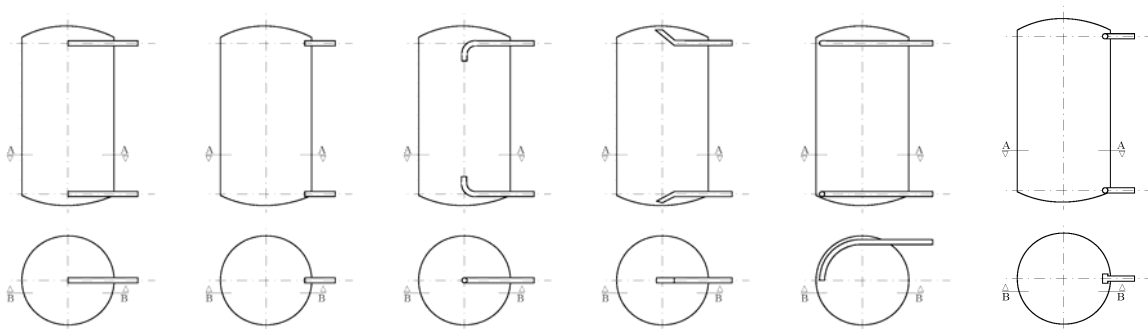
(Bearbeiter: Thomas Link)

## 4. Forschung

Innerhalb des Berichtszeitraums wurden durch Mitarbeiter des Instituts Einnahmen aus Drittmittelprojekten von über 100.000 € erzielt. Gleichzeitig wurden Projekte mit einem Gesamtvolumen von über 400.000 € neu eingeworben. Alle eingeworbenen Drittmittel sind KLUG-fähig. Die folgenden Kapitel stellen ausgewählte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie Gutachten des Instituts vor.

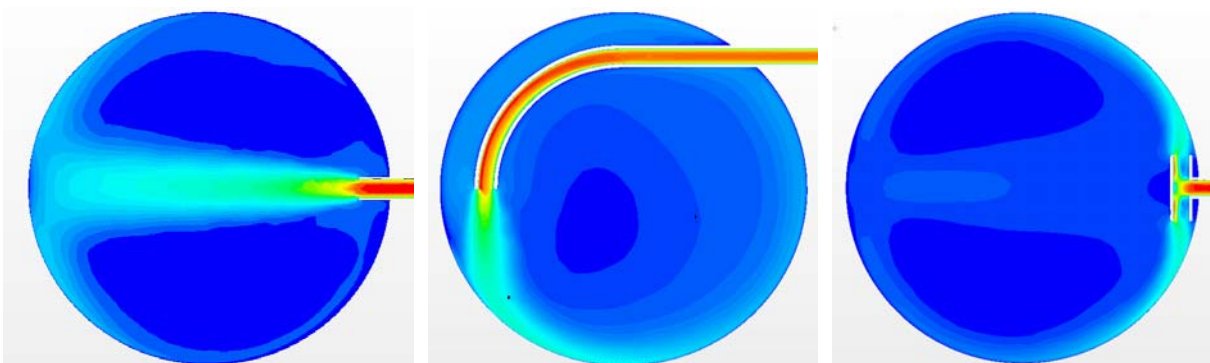
### 4.1 Optimierung der Leistungsparameter von Standard-Solarspeichern durch Optimierung der Ein- und Ausläufe mit Strömungssimulation

Im Hinblick auf die gesetzgeberischen nationalen und EU-weiten Anstrengungen zur Erhöhung der Energieeffizienz im Wärmemarkt erscheint es dringlich, Standardspeicher zur Trinkwassererwärmung energieeffizienter zu gestalten.



**Abbildung 7:** Versionen V00 bis V05. Erste Versionen untersuchter Ein- und Auslaufkonstruktionen

Die Verbesserung der Energieeffizienz dieser Speicher lässt sich durch verschiedenste Ansätze erhöhen, hier wird besonders eine Anpassung der Ein- und Auslaufrohre zur Optimierung der Strömungsvorgänge bei der direkten Entladung bei Zapfvorgängen untersucht. Eine ungünstige Einströmung des nachströmenden kalten Leitungswassers in den beheizten Speicher bei Zapfung resultiert in einer Minderung der Speichertemperatur in der jeweiligen Schicht und vergrößert die Mischungszone, der Abbau der hohen Speichertemperatur ist mit einem Exergieverlust gleichzusetzen.



**Abbildung 8:** Schnittebenen in Einlaufhöhe der Versionen V01, V04 und V05. Die Beurteilung der Einlaufgeschwindigkeiten mit Hilfe des Geschwindigkeitsbetrages

Die Realisierung der beschriebenen Ziele erfolgt zweistufig, wobei in der ersten Entwicklungsphase unterschiedliche Geometrien, Anordnungen und Bauformen der Ein- und Auslaufrohre mittels Strömungssimulationen untersucht und optimierte Versionen abgeleitet werden. In der folgenden zweiten Stufe der Entwicklung werden die identifizierten optimalen



Konstruktionsvarianten anhand von Prototypen messtechnisch validiert. Dies geschieht an einem an der Fachhochschule Nordhausen im Rahmen eines Drittmittelprojektes entstandenen Speicherprüfstand.

Die Bewertung optimaler Ein- und Ausströmungsvorgänge erfolgt mittels Gegenüberstellung instationärer Speichersimulationen anhand der Entladekurve (zeitabhängige Temperatur am Speicheraustritt bei konstanter Frischwassertemperatur). Eine erste Grobeinschätzung der Strömungsvorgänge kann mit Hilfe stationärer Strömungsbilder vorgenommen werden (vgl. Abbildung 8).

(Bearbeiter: Pascal Steinert)

## 4.2 Qualifizierung und Test von Photovoltaikmodulen

Im Jahr 2011 konnte das in.RET seine Tätigkeiten im Bereich der Tests von Photovoltaikmodulen weiter ausbauen. Für verschiedene Hersteller wurden zahlreiche Tests durchgeführt und bestehende Versuchsmöglichkeiten erweitert. So wurde beispielsweise ein Bias-Damp-Heat Test zur beschleunigten TCO-Korrosion durchgeführt. Durch Anlegen einer Spannung von 2000V zwischen Frontglas und den kurzgeschlossenen Verbindungsleitungen des Moduls wird ein negatives Potential aufgebaut. Im Zusammenspiel mit Temperaturen von 85 °C und einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit wird eine beschleunigte Diffusion von Na<sup>+</sup>-Ionen aus dem Frontglas in die TCO-Schicht hervorgerufen. Damit bietet das in.RET regionalen und überregionalen Herstellern von Photovoltaikmodulen die Möglichkeit die Gefahr dieses Effekts in vergleichsweise kurzer Zeit zu überprüfen.

Neben Modultests für Hersteller von Photovoltaikmodulen bietet das in.RET auch kundenspezifische Tests für Systemintegratoren an. Im Rahmen der Errichtung eines Solarparks im europäischen Ausland lösten sich beispielsweise zahlreiche Anschlussdosen von Photovoltaikmodulen. Anhand eines kurzfristig realisierten Versuchsaufbaus konnte der Fehler auf die Lagerung der Module am Montageort zurückgeführt werden.



**Abbildung 9:** Abgelöste Anschlussdose eines Photovoltaikmoduls  
(Foto: Voswinkel)

## Sonnensimulator

Zur Verbesserung der Qualität von Forschung und Lehre wurde 2011 ein Dauerlichtsonnensimulator am in.RET angeschafft und in Betrieb genommen. Mit Hilfe des Sonnensimulators können Photovoltaikmodule mit einer konstanten Bestrahlung von 200 bis 1200 W/m<sup>2</sup> und einer einstellbaren Temperatur getestet werden. Das Spektrum der künstlichen Sonnenstrahlung entspricht dem Standardspektrum AM1,5, wobei der Sonnensimulator die Klassen BBA erfüllt. Der Sonnensimulator wird zur Durchführung von Hot-Spot-Tests und zur Untersuchung von Alterungseffekten eingesetzt. Ferner dient er zur Ermittlung der Strom-

Spannungs-Kennlinie unter STC-Bedingungen, d.h. bei einer konstanten Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$ , einer Zelltemperatur von  $25^\circ\text{C}$  und einem AM1,5 Spektrum.

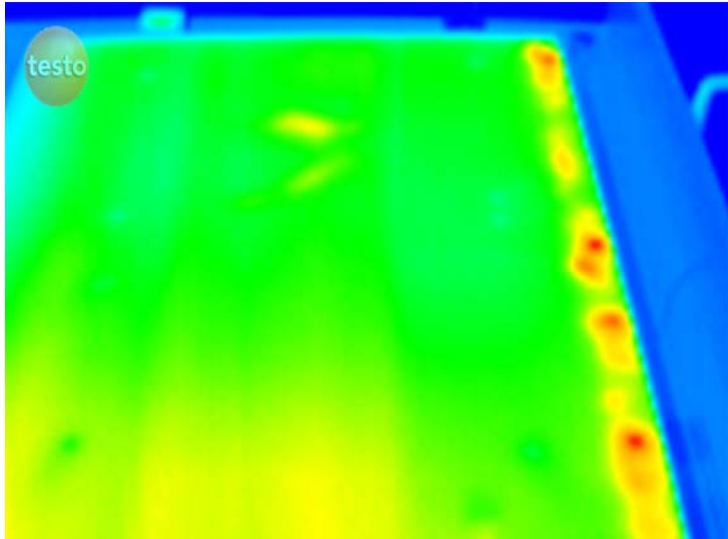


**Abbildung 10:**  
Dauerlichtsonnensimulator am in.RET  
(Foto: Voswinckel)

### Hot-Spot-Tests

Während der langen Nutzungsdauer von 20 Jahren werden Photovoltaikmodule aufgrund von Pflanzen, Gebäuden oder der Photovoltaikanlage selbst immer wieder vollständig oder partiell beschattet. Wird eine Zelle abgeschattet, so wird diese im Sperrbereich betrieben und es kann bei Überschreiten der Durchbruchspannung zur Zerstörung der Zelle kommen. Ferner können aufgrund der Abschattung lokale Temperaturerhöhungen, sogenannte Hot-Spots, auftreten. Durch Hot-Spots besteht die Gefahr der Delamination und der thermischen Überlastung der Zelle. Um der Zerstörung der Zelle entgegenzuwirken müssen von Herstellern entsprechende Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

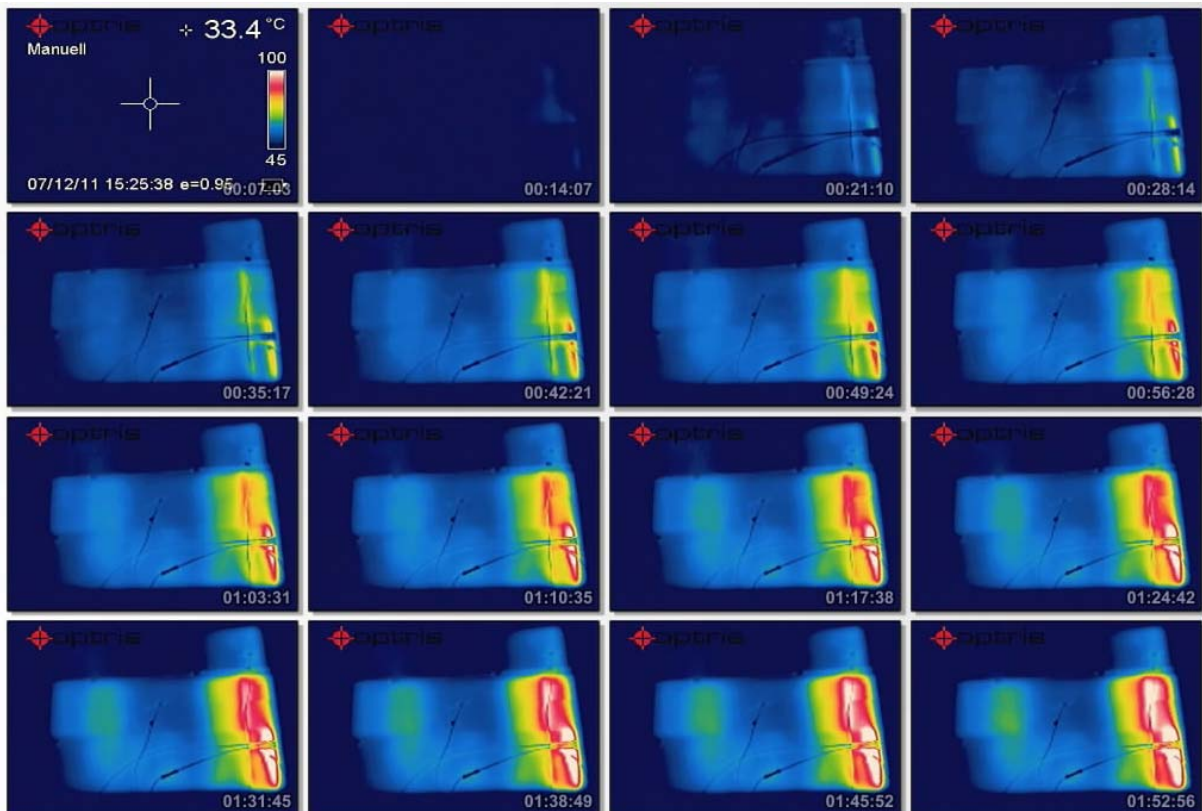
Das in.RET hat im Jahr 2011 in Zusammenarbeit mit Herstellern von Photovoltaikmodulen Hot-Spot-Tests zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit durchgeführt. Die Tests erfolgten unter einem Dauerlicht Sonnensimulator. Mit Hilfe des Sonnensimulators können die Photovoltaikmodule unter konstanten Einstrahlungsbedingungen zwischen  $200$  und  $1200 \text{ W/m}^2$  getestet werden. Während der Tests wurde die Temperaturverteilung aufgenommen und analysiert. Daraus können fehlerhafte Kontaktstellen, fehlerhafte Zellen und Hot-Spots aufgespürt werden. Weiterhin wurden zur Bewertung der Modulleistung die Strom-Spannungs-Kennlinien sowohl vor als auch nach den Hot-Spot-Tests ermittelt. Desweiteren dienen die Tests der Überprüfung und Anpassung von Schutzmaßnahmen gegen diesen Effekt.



**Abbildung 11:** Infrarotaufnahmen eines Photovoltaikmoduls nach einem Hot-Spot-Test. Das Modul wurde im rechten Bereich abgeschattet, wo deutlich die Bildung von Hot-Spots zu erkennen ist.

## Rückstromtests

Auch im Jahr 2011 wurden umfangreiche Tests zur Rückstrombelastbarkeit von PV-Modulen durchgeführt. Rückströme können bei der Parallelschaltung von mehreren in Reihe geschalteten PV-Modulen auftreten. In diesem Fall fließt der Strom in Durchlassrichtung und das PV-Modul arbeitet als elektrischer Verbraucher. Dadurch können je nach Stromstärke hohe thermische Belastungen auftreten, die zu Delamination und zur Zerstörung der Zellen führen können. Weiterhin kann aufgrund von mechanischen Spannungen, hervorgerufen durch Temperaturunterschiede im PV-Modul, das Glas brechen. Die auftretenden hohen Temperaturen und ggf. durch Glas- und Zellbrüche entstehenden Lichtbögen können zu Bränden führen. Daher ist das vornehmliche Ziel dieses Tests der Schutz von Mensch und Umwelt.



**Abbildung 12:** Aufheizvorgang während eines Rückstromtests

Um einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb von PV-Anlagen zu gewährleisten, wird in Folge der Tests eine maximale Rückstrombelastbarkeit ermittelt, anhand deren eine maximale Strangsicherungszahl bestimmt werden kann. Das auftretende Temperaturprofil wird während der Testdauer mit einer Infrarotkamera aufgezeichnet und analysiert (vgl. Abbildung 12). Anhand der Aufnahmen können Rückschlüsse sowohl auf Fehler in der Kontaktierung der einzelnen Zellen als auch auf Fehler in den Zellen selbst geschlossen werden.

(Bearbeiter: Sebastian Voswinckel)

#### 4.3 Erstellung von Energieertragsgutachten für Photovoltaikanlagen

Das in.RET ist als von der Deutsche Kreditbank AG (DKB) anerkannter Gutachter in der Erstellung von Energieertragsgutachten für Photovoltaikanlagen tätig. Im Jahr 2011 wurden 23 Energieertragsgutachten für Freiland- und Aufdachanlagen angefertigt. Als Grundlage der Gutachten dienen die Planungsunterlagen der Auftraggeber sowie die Besichtigung und Dokumentation des Anlagenstandortes durch Mitarbeiter des in.RET.

Die vorgelegten Planungsunterlagen werden auf Plausibilität geprüft, woraufhin anhand der ermittelten Daten eine Verschattungsanalyse durchgeführt wird. Die Modellierung der elektrischen Eigenschaften sowie der Verschattungssituation der geplanten Photovoltaikanlage erfolgen mit Hilfe des Zeitschritt-Simulationsprogramms PVSyst Version 5.53. Weiterhin werden die Verlustpfade aller Anlagenkomponenten analysiert. Auf Basis langjähriger, gemittelter Wetterdaten - wie Global- und Diffusstrahlung, Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit - wird der Anlagenenertrag in stündlichen Intervallen berechnet und in Monats- bzw. Jahressummen dokumentiert. Von besonderer Wichtigkeit für den Auftraggeber ist hierbei der spezifische Jahresertrag.

Das in.RET unterstützt Anlagenbetreiber, -planer und -installateure auch im Nachgang der Planung, d.h. bei der Inbetriebnahme und Endabnahme von Photovoltaikanlagen. So konnten beispielsweise noch im Dezember 2011 6,5 MW<sub>p</sub> Anlagenleistung in Betrieb genommen und der für das Jahr 2011 aktuelle Vergütungssatz für diese Anlagen gesichert werden.



**Abbildung 13:** Inbetriebnahme einer Photovoltaikanlage Ende 2011 (Foto: Voswinckel)

(Bearbeiter: Jutta Carow, Maria Nuschke, Sebastian Voswinckel)

#### 4.4 Optimierung thermischer Energiespeicher

Das im Jahr 2010 begonnenen Forschungsprojekt zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Standard-Solarspeichern konnte im Jahr 2011 erfolgreich fortgeführt werden. Das Hauptaugenmerk lag im Jahr 2011 auf dem Bau des Speicherprüfstandes zur Bestimmung der Leistungsparameter und Gebrauchswerte. Nach der Auswahl der Komponenten und der Hydraulikplanung erfolgten der Bau des Be- und Entlademoduls sowie die Kopplung der Speicher an dieses. Parallel wurde eine eigens entwickelte Software zum automatisieren Betrieb der Testeinrichtung entwickelt und optimiert. Im Jahr 2012 werden die Kalibrierung der Sensoren und die Erweiterung der Prüfsoftware erfolgen bevor das Projekt mit der Übergabe des Prüfstandes an den Auftraggeber abgeschlossen wird.

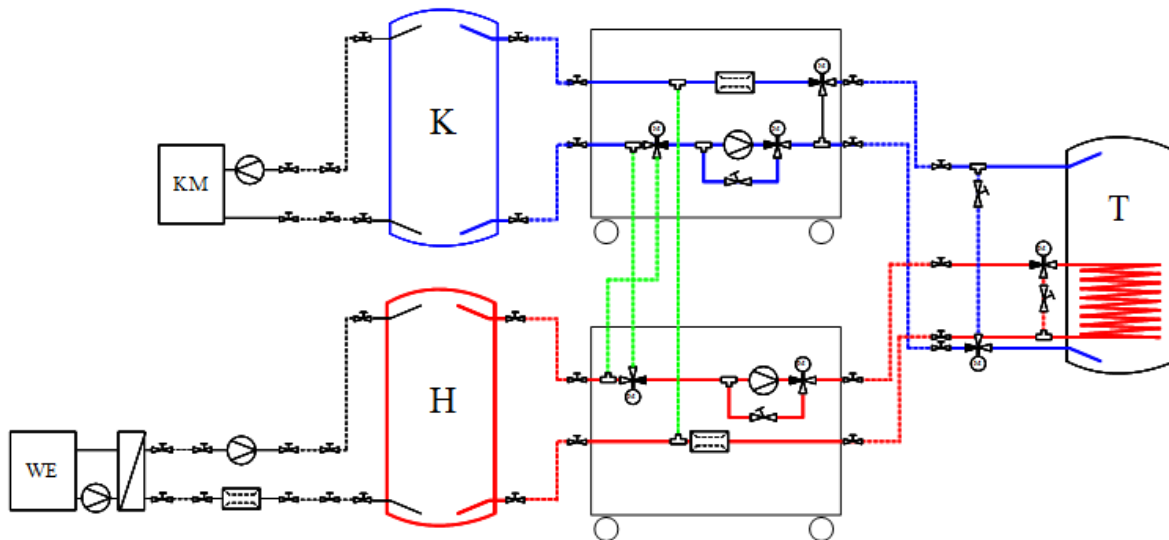


Abbildung 14: Hydraulikplan der Testeinrichtung

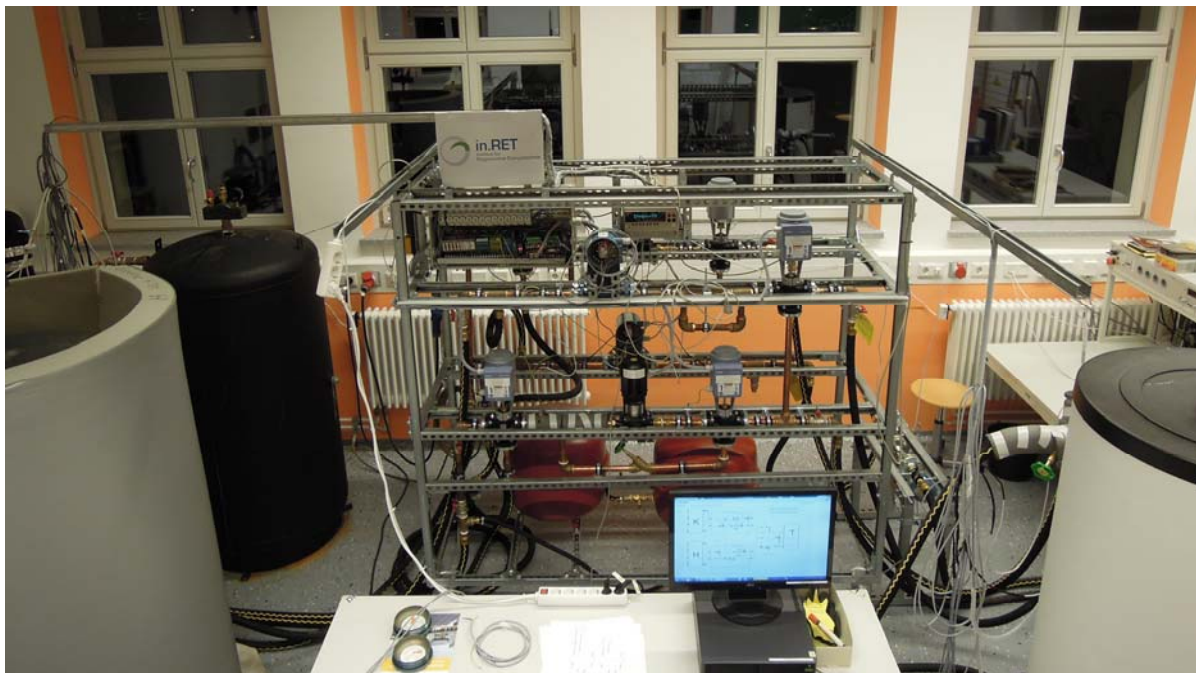


Abbildung 15: Der Prüfstand im Aufbau (Foto: Steinert)

(Bearbeiter: Pascal Steinert, Thomas Schabbach)

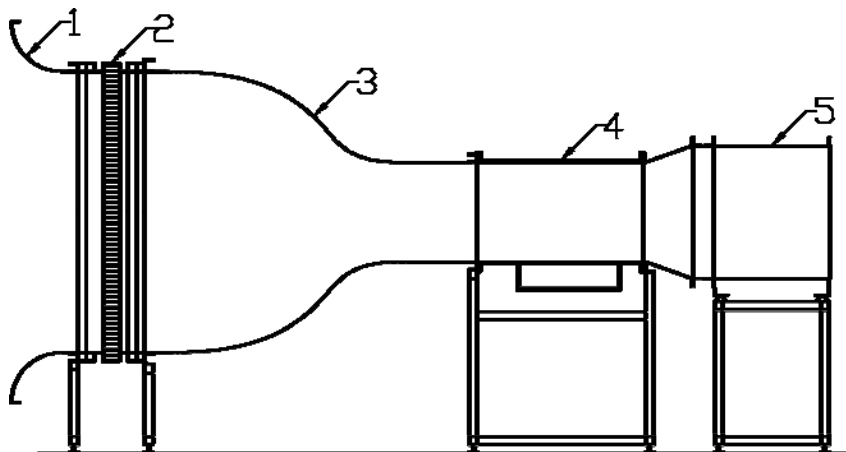
## 4.5 Inbetriebnahme des Windkanals

Im August 2011 wurde der Windkanal des Institutes erstmalig im Testlauf und zur Vorführung angefahren. Aus Anlass der „Langen Nacht der Wissenschaften“ der Fachhochschule Nordhausen wurden unter großer Anteilnahme der Öffentlichkeit erste Demonstrationsversuche gezeigt.



**Abbildung 16:** Fotografie des Windkanals, Ausbaustand 26.07.2011 (Foto: Rathje)

Die Planung, Konstruktion und die Anschaffung der Einzelteile wurden zum Großteil in der zweiten Jahreshälfte 2010 getätigt. Zu Beginn des Jahres 2011 wurde der Windkanal aufgebaut und zu ersten Tests in Betrieb genommen. Im Wintersemester 2011 wurden im Zuge eines studentischen Projektarbeitsmoduls diverse Messinstrumente installiert, sodass die abschließende Inbetriebnahme voraussichtlich im Frühjahr 2012 stattfinden kann.



**Abbildung 17:** Windkanal im Querschnitt (Skizze)

1 – Einströmung, 2 – Strömungsgleichrichter, 3 – Düse, 4 – Messkammer, 5 - Ventilator

In der Messkammer, die aus durchsichtigem Acrylglas besteht, werden Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu ca. 25 m/s erreicht, wobei der Querschnitt der Messkammer  $60 \times 60 \text{ cm}^2$  beträgt. Für die Regelung der Windgeschwindigkeit im Windkanal dient ein Frequenzumrichter, der über einen Computer angesteuert wird. In diesem Computer werden gleichzeitig die

ausgelesenen Messgrößen weiterverarbeitet und dargestellt. Bei den aufgenommenen Messgrößen handelt es sich um Differenzdrücke und Kräfte in drei Dimensionen. Beispielsweise können an einem Flügelprofil durch Druckmessungen an verschiedenen Stellen auf dem Profil der Über- bzw. Unterdruck gemessen und gleichzeitig die dadurch resultierenden Auftriebskräfte mittels Kraftsensoren ermittelt werden.

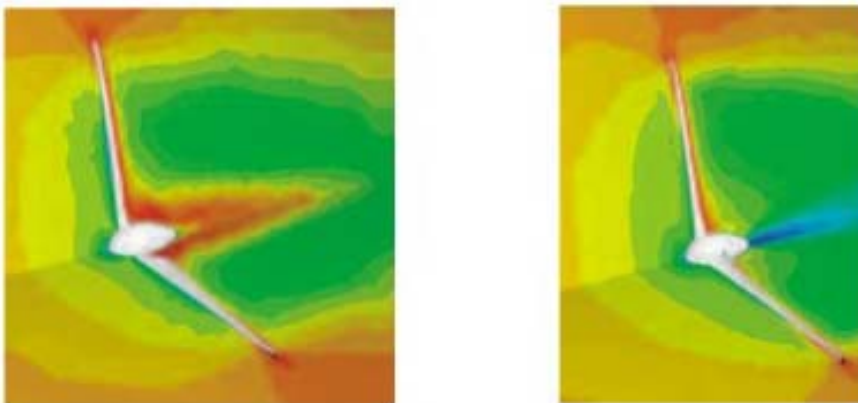
(Bearbeiter: Rio Marco Rathje, Thomas Link)

#### 4.6 Entwicklung eines innovativen Rotorblattes für Windkraftanlagen kleiner und mittlerer Leistung

Im Vergleich zu Großanlagen ist der Absatz von kleinen und mittleren Windkraftanlagen deutlich geringer. Ein entscheidender Nachteil für dieses Marktsegment besteht aufgrund von höheren leistungsspezifischen Installationskosten. Da diese höheren Kosten bisher nicht wie im Falle der Photovoltaik durch eine entsprechende Einspeisevergütung aufgefangen werden, sind kleine und mittlere Windkraftanlagen einem vergleichsweise hohen Kostendruck ausgesetzt. Aus diesem Grund muss bei einer erfolgreichen Konzeption einer Windkraftanlage mittlerer Größe eine konsequent kostenorientierte Konstruktion erfolgen. Insbesondere für Windkraftanlagen, die in Deutschland gefertigt werden sollen, spielt daher die Fertigungstechnik eine Schlüsselrolle, die den wirtschaftlichen Erfolg einer Windkraftanlage entscheidend beeinflussen kann.

In dem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) geförderten Projektes wird ein Rotorblatt für eine Windkraftanlage mittlerer Größe entwickelt. Das Rotorblatt zeichnet sich durch eine innovative und kostengünstige Fertigungstechnologie sowie eine materialgerechte Konstruktion aus. Darüber hinaus werden hervorragende aerodynamische Eigenschaften angestrebt und ein Blitzschutz in das Blatt integriert.

Durch das in.RET soll der aerodynamischer Entwurf des Rotorblattes unter Einsatz geeigneter aerodynamischer Profile in Hinblick auf eine wirkungsgradoptimierte Auslegung im Außenbereich des Rotorblattes sowie eine festigkeitsoptimierte Konstruktion im Bereich der Nabe erfolgen. Dazu werden dreidimensionale Simulationen (CFD) der Strömungsverhältnisse am rotierenden Rotor zur Optimierung der aerodynamischen Eigenschaften (wie in Abbildung 18 anhand der Optimierung einer Windkraftanlage im MW-Bereich demonstriert) vorgenommen. Schließlich sind die Definition der Einbausituation in Bezug auf eine spätere Verwendung des Rotorblattes in Windkraftanlagen kleiner und mittlerer Leistung, die Konstruktion des Blattes sowie die Vordimensionierung und Berechnung vorzunehmen.



**Abbildung 18:** Vergleich zweier berechneter Strömungsfelder um den Rotor einer Windkraftanlage (links: vor der Optimierung, rechts: nach der Optimierung)

(Bearbeiter: Jutta Carow, Thomas Link)

## 5 Veröffentlichungen und Vorträge

### 5.1 Bücher, Buchkapitel

Wesselak, V.; Schabbach, T.: Energie. Landeszentrale für politische Bildung Thüringen, Erfurt 2011

Fischer, J.; Genske, D.; Jödecke, T.; Klenner, S.; Nuschke, M.; Ruff, A. Schwarze M.: Neue Energie für Thüringen. Ergebnisse der Potentialanalyse - Langfassung. Erfurt 2011

### 5.2 Zeitschriften, Konferenzen und Tagungen

Fischer, J.; Ruff, A.: Erste Ergebnisse der Thüringer Bestands- und Potenzialanalyse Erneuerbare Energien, 1. Kongress Thüringen Erneuer!bar, Weimar 2011

Kloß, C.; Viehmann, M.; Luster mann, B.: Der optisch– elektrische Kombinationsleiter für den Störlichtbogenschutz. Seminar Störlichtbogenschutz in Wechsel- und Gleichspannungsnetzen, München 2011

Luster mann, B.; Viehmann, M.; Kloß, C.: A simulation model for an optical-electrical combination conductor system "CONDUS". 56. IWK International Scientific Colloquium, TU Ilmenau, 2011

Steinert, P.; Nuschke, M.: Fallbeispiel zur energetischen Neukonzeptionierung denkmalgeschützter Gebäudekomplexe. Tagung Erneuerbare Energien, Krakau 2011

Voswinckel, S.: Rückstromtest am Beispiel eines amorphen Dünnschichtphotovoltaikmoduls. Poster, 4. Lange Nacht der Wissenschaften, FH Nordhausen, 2011.

Voswinckel, S.: Hot-Spot-Test am Beispiel eines amorphen Dünnschichtphotovoltaikmoduls. Poster, 4. Lange Nacht der Wissenschaften, FH Nordhausen, 2011.

Wesselak, V.: Photovoltaik, 26. Summer School Renewable Energy, Jülich 2011

### 5.3 Vorträge

Dittes, F.; Schabbach, T.; Wesselak, V.: Reaktorsicherheit und die Zukunft der Kernenergie. Nordhausen 2011

Link, T.: Demonstrationswindkanal der FH Nordhausen. 4. Lange Nacht der Wissenschaften, FH Nordhausen, 2011.

Link, T.: Entwicklung eines Rotorblattes für Windkraftanlagen kleiner und mittlerer Leistung. NEMO-Netzwerktreffen „Leichtbau mit faserverstärkten Kunststoffen – LeiFaK“, 2011





Steinert, P.; Nuschke, M.: Energieeffizienz in Nichtwohngebäuden am Beispiel denkmalgeschützter Bausubstanz unter Berücksichtigung des Einsatzes Regenerativer Energieträger. Thüringer Energieeffizienzworkshop, Erfurt 2011

Steinert, P.: Vorstellung aktueller Forschungsprojekte im Bereich Thermische Energiesysteme. 4. Lange Nacht der Wissenschaften. Nordhausen, 2011

Voswinkel, S.: Vorstellung aktueller Forschungsprojekte im Bereich Photovoltaik. 4. Lange Nacht der Wissenschaften. Nordhausen, 2011

Wesselak, V.: Grundprobleme unseres Energiesystems – Eine Analyse mit Zukunftsperspektiven, 3. Duderstädter Energiespartage, Tiftlingerode 2011

Wesselak, V.: Reaktorsicherheit und die Zukunft der Kernenergie. Geowissenschaftliches Kolloquium der FSU Jena, Jena 2011

Wesselak, V.: Der Nachhaltigkeitsprozess in Thüringen - Wege zu einer Nachhaltigkeitsstrategie. Abschlussworkshop zum Konsultationsprozess zur Thüringer Nachhaltigkeitsstrategie, Erfurt 2011

Wesselak, V.: Potenzialanalyse der Erneuerbaren Energien in Thüringen. Energiegipfel Thüringen, Weimar 2011

Wesselak, V.: Architektur und Energie - zur energetischen Sanierung des Heizwerks, BAU.ART, Erfurt 2011

Wesselak, V.: Energetische Sanierung eines Fachwerkhauses, 2. Fachwerktag Südniedersachsen, Osterode 2011

## **6 Betreute Abschlussarbeiten**

### **6.1 Studienarbeiten**

Gruber-Ballehr, Gero: Planung und Umsetzung von Photovoltaikanlagen. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Lindemann, Beate: Kältemittel in Wärmepumpen. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Schüler, René: Diffusionsexperimente auf p-dotierten monokristallinen Siliziumwafern. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

### **6.2 Diplomarbeiten**

Gruber-Ballehr, Gero: Adaption des Außenprüfverfahrens von Trinkwassererwärmungsanlagen zu einem Indoor-Prüfverfahren im dynamischen Sonnensimulator (theoretisch und experimentell). 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Lucius, Marcus: Energetische Untersuchungen an einem Versuchsstand für einen innen liegenden Wärmetauscher an einem Schachtofen mit Seitenbrennern und Entwürfe zur Nutzung der gewonnenen Energie. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

### **6.3 Bachelorarbeiten**

Asche, Thomas: Ermittlung allgemeiner Planungsgrößen für die Auslegung von Niederspannungsnetzen unter Berücksichtigung von Photovoltaik-Dachanlagen auf Wohngebäuden am praktischen Beispiel der E.ON Thüringer Energie. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Baldy, Robert: Technische Analyse des Teillastverhaltens verschiedener Photovoltaikmodule. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Bednarzik, Markus: Untersuchung und Entwicklung eines Fernwärmeheizsystems mit Einbindung eines solaren Pufferspeichers. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Billert, Tim: Entwurf eines Lastenheftes für die EMSR-technische Ausrüstung einer landwirtschaftlichen Biogasanlage. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lustermann)

Brettschneider, Sebastian: Potentialausgleich am Rahmen von Solarmodulen – Technische Bedeutung, Notwendigkeit und praktische Umsetzung. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Broda, Anika: Möglichkeiten der mechanischen Vorzerkleinerung des Inputmaterials zur Steigerung des Biogasertrags. 2011 (Betreuer: Prof. Vollmer)

Dellian, Daniel: Auslegung einer PV-Dachanlage für ein Einfamilienhaus nach dem Eigenverbrauchsmodell der EEG-Novelle 2010. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Djuric, Dobrivoje: Ökobilanz eines aktiven Leichtbaufahrwerks aus faserverstärkten Kunststoffen. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Eschwe, Julian: Entwicklung und Konstruktion eines Aufbaus zum integrierten Stagnationsschutz eines PVT-Kollektors. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lustermann)

Fichtner, Franziska: Druckprüfung an Biogasbehältern im Niederdruckbereich zur Ermittlung der Gasdichtheit der Behälterabdeckungen. 2011 (Betreuer: Prof. Vollmer)

Firges, Julian: Transmissionsspektroskopische Analysen semitransparenter organischer Photovoltaikzellen. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lustermann)

Fischer, Oliver: Extraktion der Maschinendaten von Windenergieanlagen aus den Messdaten von BLADE-Control®. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Gierse, Jan: Quantifizierung von verschmutzungsbedingten Ertragseinbußen an Photovoltaikanlagen aus Kennlinienmessungen. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Glasow, Felix: Vergleich zwischen realen PV-Erträgen und den Ertragsberechnungen verschiedener Simulationsprogramme. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Grätzel, Michael: Optimierte energetische Nutzung von Lebensmittelreststoffen. 2011 (Betreuer: Prof. Vollmer)

Groß, Martin: Standortanalyse für Kleinwindkraftanlagen und Erstellung einer Berechnungshilfe. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Hagedorn, Benjamin: Planung und Dimensionierung einer PV-Anlage auf den Bedarf eines Einfamilienhauses, unter Berücksichtigung des EEG. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Hentze, Martin: Funktionskontrolle und Endenergieanalyse der solaren Kombi-Anlage in einem Einfamilienhaus. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Herrmann, Marco: Herstellung, Untersuchung und Optimierung von Aluminium- und Aluminiumoxidschichten mit einem Plasma-Monitoring geregelten Sputterverfahren. 2011 (Betreuer: Dr. Haupt)

Heß, Johannes: Optimierung der Luftkühlung am Prototyp eines Mini-BHKW der Firma EISygro. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Hilbenz, Stefan: Auslegung einer Turbinenanlage zur Energiegewinnung bei der Entspannung von Erdgas. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Hirsch, Hauke: Latentwärmespeicher auf Wasser/Eis-Basis mit horizontaler Wärmeübertragungsfläche. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Holzschuh, Sabine: Erstellung, Druckverlustberechnung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Erdwärmesondenanlage. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Hupel, Sascha: Nachweis der Erhaltung des schmelzflüssigen Zustandes einer Siliziumschmelze im Havariefall mittels Laser-Bestrahlung. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Ißler, Robert: Untersuchung der Effizienz von Plattenwärmeübertragern als Gaskühler für einen überkritischen CO<sub>2</sub>-Kältekreis. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Jennrich, Christoph: Untersuchung der Leistungsfähigkeit von hocheffizienten Flachkollektoren unter Variation der Rückseitendämmung. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Kamp, Tobias: Einführung EtherCAT in das Prüfstandsmodul „RTS“ -Analyse und Variantenvergleich zwischen hauseigenen Berghof-Ether-CAT-Baugruppen und Beckhoffmodulen. Erstellen eines Programms für den Datenaustausch und Entwicklung einer LabVIEW-Applikation für einen Performance-Test. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lustermann)

Kaufmann, Martin: Untersuchungen zur Errichtung einer Photovoltaikanlage auf Abraumhal-  
den. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Koch, Marcus: Ursachen vagabundierender Ströme am Blockheizkraftwerk. 2011 (Betreuer:  
Prof. Herms)

Kremer, Isabel: Elektroheizung versus Erdwärme in temperierten Straßenabschnitten. 2011  
(Betreuer: Prof. Genske)

Krieg, Torsten: Durchführung einer Energieeffizienzanalyse im Rahmen des KfW-  
Sonderfonds am Beispiel einer privaten Altenpflegeeinrichtung. 2011 (Betreuer: Prof.  
Schabbach)

Lange, Felix: Untersuchung zur Qualität großer Solarthermieanlagen in der Metropolregion  
Nürnberg. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Carow)

Leinhos, Enrico: Bau und Inbetriebnahme einer Gärresttrocknungsanlage unter Ausnutzung  
des Abwärmepotentials biogasbetriebener Blockheizkraftwerke. 2011 (Betreuer: Prof.  
Fischer)

Milz, Alexander: Validierung eines Modells zur Bestimmung der Reihenverschattung bei Pho-  
tovoltaikanlagen. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lustermann)

Müller, Martin: Inbetriebnahme und Optimierung der Fütterungstechnik einer 7 MW Biome-  
thaneinspeiseanlage. 2011 (Betreuer: Prof. Vollmer)

Müller, Thomas: Erstellung eines Wärmekonzepts für die Gedenkstätte „Buchenwald“. 2011  
(Betreuer: Prof. Genske)

Pannenbäcker, Alexander: Aufbau eines Windmesssystems und Untersuchungen der Verei-  
sung an meteorologischen Sensoren unter Realbedingungen. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Pietsch, Christoph: SolvisMax Pellet – Thermische Untersuchung eines holzpelletbefeuerten  
Abgaswärmeübertragers zur Optimierung des Temperaturniveaus. 2011 (Betreuer: Prof.  
Fischer)

Plescher, Eric: Ermittlung und Optimierung des Wärmebedarfes einer SBN-Standard-  
Biogasanlage unter besonderer Berücksichtigung des eingesetzten Wärmeübertragungskon-  
zeptes. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Radermacher, Clemens: Validierung der Schwimmbadsimulation in T\*SOL. 2011 (Betreuer:  
Prof. Schabbach)

Ramin, Tim: Untersuchung der Einrohrkonvektion in Anschlussleitungen thermischer Ener-  
giespeicher. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Reh, Sören: Nutzung von Prozessabwärme zur Wärmerückgewinnung und Klimatisierung  
eines Fertigungsraums. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Reißig, Marcel: Hydraulische Einbindung mehrerer Speicher in ein Großanlagensystem mit  
Solaranlage. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Richert, Martin: Machbarkeitsstudie in technischer, wirtschaftlicher und rechtlicher Hinsicht  
zur Errichtung eines Kleinwasserkraftwerks am Standort „Ilse-Wehr“. 2011 (Betreuer: Prof.  
Link)

Ronge, Rupert: Erstellung eines Schnellentwicklungsprogramms zur Planung von PV-Anlagen. 2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lustermann)

Schenk, Michael: Bewertung der Einsetzbarkeit regenerativer Energiequellen für die Beheizung von Kirchen am Beispiel der Kirche St. Petrus, Rodgau. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Schmelzer, Christoph: Untersuchung eines Sonnenhauskonzepts mit temperaturgeführter Solarwärmeverteilung. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Schmidt, Johannes Daniel: Weiterführende Untersuchung eines Verfahrens zur Erfassung des Isolationswiderstandes von Photovoltaik-Feldern. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Schuchert, Christopher: Entwicklung, Montage und Optimierung eines auf Fresnellinsen basierenden Konzentratorsystems. 2011 (Betreuer: Dr. Haupt)

Seifeddine, Abbas: Aufbau und Inbetriebnahme der Absorptionskältemaschine ROTARTICA-Solar 045v. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Selmaier Florian Johannes: Eine Auswahl an Optimierungsmöglichkeiten für Photovoltaik-Freiflächenanlagen. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Spanger, Alexander: Untersuchung des Wasserhaushalts der Motorenfertigung der MDC Power GmbH in Köllda zur Erstellung einer Wasserbilanz als Ist-Aufnahme und Grundlage für Optimierungsansätze. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Spelters, Oliver: Betrachtung zur Dynamik von Redox-Flow-Zellen. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Stocker, Jakob: Untersuchung zum Nachweis von Turmplattformaufhängungen einer 5 MW Offshore Windenergieanlage unter Berücksichtigung dynamischer Lastfälle. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Uges, Tim-Hendrik: Installation einer inselfetriebenen Photovoltaikanlage im suburbanen Raum Afrikas. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Uhde, Robert: Die Entwicklung eines Kühlkonzepts für das Theater Nordhausen unter Einbeziehung der bestehenden Lüftungsanlage. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Walter, Tobias: Untersuchungen zur Bewertung der Oberschwingungs-emission von Windenergie-Erzeugungsanlagen. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Wedmann, Harry: Erstellung eines nachhaltigen Energiekonzeptes am Beispiel der Klosteranlage Maria Bildhausen. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Werbach, Stefan: Prozessoptimierung in der Genehmigungsplanung von Biogasanlagen. 2011 (Betreuer: Prof. Vollmer)

Winkler, Georg: Verstromung der ausziehenden Wetter im Bergwerk Sondershausen. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

## 6.4 Masterarbeiten

Bergmann, Patrick: Absorptionswärmepumpe zur Entladung von Saisonalspeichern. 2011 (Betreuer: Prof. Fischer)

Borowski, Christian: Konzeption und Simulation einer Automatisierung der Pressbohrmaschine zur Ermittlung des Energie- und Chlorgehaltes von Ersatzbrennstoffen. 2011 (Betreuer: Prof. Dittes)

Derman, Andrej: Simulationswerkzeug zur Größenbestimmung von Energiespeichern. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Fischer, Benjamin: Modellierung von Elementen und Entwurf von Betriebsführungsstrategien des Smart Grid der Fraunhofer AST Forschungsplattform. 2011 (Betreuer: Prof. Krause)

Lindemann, Beate: Simulation und Validierung der indirekten Verdunstungskühlung in einem Kreuzstromwärmeübertrager. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)

Meng, Andreas: Technologiestudie zur Entwicklung eines Multifunktionsspeichers SBM für die Trinkwasserbereitung mit Heizungsunterstützung. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Reichardt, Stefan: Dynamische Simulation und Bewertung eines Solarheizungsunterstützungssystems in Verbindung mit einer Sorptionswärmepumpe. 2011 (Betreuer: Prof. Schabbach)

Schmidt, David: Evaluierung und Validierung von numerischer Strömungssimulationssoftware für den Einsatz in der konstruktiven Entwicklung des Maschinenbaus. 2011 (Betreuer: Prof. Link)

Voswinkel, Sebastian: Modellierung von aSi:H Solarmodulen. 2011 (Betreuer: Prof. Wesselak)