
Entwicklung, Erprobung und Etablierung eines interdisziplinären,
experimentellen Umweltbildungsmoduls zur Energiewende
für Schülerinnen und Schüler im Schülerlabor dEIn Labor
der Technischen Universität Berlin



Abschlussbericht
für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Az: 31949–41
1. September 2014 bis 31. Oktober 2015

Fakultät Elektrotechnik und Informatik
Technische Universität Berlin

Projektleiterin:
Dr. Claudia Ermel



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az **31949-41**

Referat

Fördersumme

7526,- Euro

Antragstitel **Entwicklung, Erprobung und Etablierung eines interdisziplinären, experimentellen Umweltbildungsmoduls zur Energiewende für Schülerinnen und Schüler im Schülerlabor dEIn Labor der Technischen Universität Berlin**

Stichworte Energiewende, Erneuerbare Energien, Photovoltaik, Windkraftanlage, Robotik, Elektronik, Informatik, Smart Grid

Laufzeit

Projektbeginn

Projektende

Projektphase(n)

1 Jahr**1.09.2014****31.8.2015****1**

Zwischenberichte

4.2.15 (Zeitraum 1.9 – 31.12.14),
29.3.15 (Halbzeitbericht), 17.7.15
(Zeitraum 1.1.– 30.6.15)

Bevollziehungsempfänger

dEIn Labor
Fakultät IV, Technische Universität Berlin
Sekt. MAR6-1
Marchstr. 23
10587 Berlin

Tel 030 314 24654

Fax

Projektleitung

Dr. Claudia Ermel

Bearbeiter

Kooperationspartner

DBU-Projekt BNE-Lehramtsausbildung, Leiter Prof. Nordmeier, FU Berlin,
Fachbereich Physik, Arnimallee 14, D- 14195 Berlin

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die im Schülerlabor dEIn Labor bestehenden Angebotsformate sind entweder im Bereich Elektrotechnik oder im Bereich Informatik angesiedelt. Ein Angebot zum Thema Energiewende gibt es noch nicht. In der Schule werden im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien hauptsächlich grundlegende physikalische Themen behandelt. Ein wesentliches Merkmal der Energiewende-Thematik ist aber das Zusammenspiel elektrotechnischer Aspekte (Erneuerbare Energien, Energiespeicher, Übertragungsleitungen) mit Aspekten der Informatik (Smart Grid, Systemmodellierung, Simulation, Datenschutz). Diese Zusammenhänge erfahrbar zu machen, ist unser zentrales Anliegen im geplanten interdisziplinären Energiewende-Projekt für Schüler_innen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Folgende Arbeitspakete sind für die Entwicklung von Projektmodulen für Schüler_innen geplant:

- Entwicklung eines „Smart Homes“-Moduls, in dem Schüler_innen lernen, was Mikrocontroller sind und wie man sie zur Energieeffizienzsteigerung einsetzen kann. (3 Monate).
- Entwicklung eines Robotik-Moduls unter Verwendung von Lego Mindstorms-Bausätzen und Ergänzungssets „Erneuerbare Energien“ (2 Monate)
- Entwicklung einer Simulationsumgebung zur visuellen Modellierung und computergestützten Simulation von Energieerzeugung und -verbrauch (z.B. Lastensteuerung durch Smart Grid, Ausrichtung der Energieerzeugung nach Verbrauchsprofilen, Wetterabhängige Energieerzeugung von Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen) (4 Monate)
- Entwicklung eines Moduls zum Bau einer Farbstoffsolarzelle für Photovoltaikanlagen (1 Monat)
- Praktische Erprobung der Module (Durchführung von Probeläufen, Evaluierung) (2 Monate).

Die praktische Erprobung schließt sich dabei unmittelbar an die Fertigstellung eines Projektmoduls an. Für jedes Modul werden Handouts und Arbeitsaufträge entwickelt, die in didaktisch angemessener Form die Einführung in die jeweilige Thematik und die praktischen Arbeiten der Schüler_innen begleiten.

Ergebnisse und Diskussion

Im Projekt „Energiewende-Module für Schüler_innen im dEIn-Labor der TU Berlin“ konnten drei Projektmodule für Schüler_innen von Klasse 10 bis 13 erfolgreich entwickelt und erprobt werden:

1. das Informatik-Modul *Virtuelles Kraftwerk*,
2. das Elektrotechnik-Modul *Farbstoffsolarzelle* ,
3. das Robotik-Modul *Windrad-Dynamo*.

Alle drei Umweltbildungsmodule sind anschließend in das Angebots-Repertoire des Schülerlabors übergegangen. Im Informatik-Modul lernen Jugendliche die visuelle Modellierung und Simulation von Energieversorgungsnetzen, bei denen die Wetterabhängigkeit erneuerbarer Energiequellen durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden müssen. Im Robotik-Workshop geht es darum, Windkraftanlagen (in unserem Fall aus Lego) und Speicher so zu programmieren, dass ein Fahrtwind-getriebener Dynamo am Fahrrad für zuverlässige Beleuchtung beim Fahren und für Standlicht sorgt. Im Workshop Farbstoffsolarzelle bauen die Schüler_innen Solarzellen, bei denen ein Farbstoff, ähnlich wie bei der Photosynthese, unter Sonneneinstrahlung Energie freisetzt. Zu allen Modulen wurden Arbeitsunterlagen (Folien, Aufgabenblätter, Tutorials und Handouts) entwickelt und in Probedurchläufen eingesetzt.

Die kostenneutrale Verlängerung des Projekts um zwei Monate erlaubte es uns, Probeläufe und Evaluierungen für alle drei Module vorzunehmen. Die Auswertung der Fragebögen vor und nach Durchlauf der jeweiligen Module ergab, dass eine deutliche Mehrheit der Schüler_innen den Besuch der Module weiterempfehlen würde. Die Bewertungen waren gut bis sehr gut, das emotionale Interesse war hoch. Die Schüler_innen gaben mehrheitlich an, über das betreffende Thema gut informiert worden zu sein und darüber hinaus interessante Informationen über ein Studium bekommen zu haben. Vereinzelt wurde mehr bzw. weniger Theorie im Modul gewünscht. Der experimentelle Teil wurde von allen als bereichernd empfunden (besonders das selbstständige Arbeiten), gelegentlich auch als zu kurz.

Im Hinblick auf die im Projektantrag beschriebenen Vorhaben hat sich für das Elektrotechnik-Modul eine Veränderung ergeben: Unsere Partnerschule *Herder-Gymnasium* hat den Wunsch an uns herangetragen, mit Schülern die eigenhändige Herstellung von Farbstoffsolarzellen durchzuführen, was in der Schule nicht möglich ist. Diesem Wunsch haben wir mit der Entwicklung des Moduls *Farbstoffsolarzelle* entsprochen, das nun auch anderen Schulen im dEIn-Labor angeboten werden kann.

Wir haben dafür die Entwicklung des eigentlich geplanten Moduls *Smart Home* zurückgestellt. Zum einen sind beide Module als gleichwertig zu betrachten, sowohl, was den Kosten- und Arbeitsaufwand angeht, als auch was die inhaltliche Ausrichtung betrifft (beides sind interdisziplinäre experimentelle Elektrotechnik-Module). Zum anderen passt die Entwicklung eines Smart-Home-Moduls auch sehr gut in eine weitere Reihe geplanter Module, die die Funktionsweise und Verwendung von Sensoren in der Elektrotechnik und Informatik zum Thema hat.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projekts (die entwickelten Bildungsmodule für Schüler_innen) wurden auf Vorträgen vorgestellt (MNU-Landeskongress, LeLa-Jahrestagung, Berliner Energietage, Workshop Lehrerbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Lehr-Lern-Labor), sowie veröffentlicht im Umweltbericht der TU Berlin 2015 und in der Festschrift zur 10. LeLa-Jahrestagung.

Fazit

Die bisher entstandenen Energiewende-Module sind als Beginn der Entwicklung einer Reihe experimenteller Projektmodule zu sehen, die sowohl Umweltaspekte, als auch deren technische Realisierung und wissenschaftliche Untersuchung für Schüler_innen altersgerecht aufbereiten und in Experimenten anschaulich und nachhaltig vermitteln. Es ist vorgesehen, mit einem weiteren Projektantrag finanzielle Unterstützung für die Entwicklung einer sensor-basierten Projektmodulreihe zu beantragen.

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	6
2 Motivation und Ausgangssituation des Projekts	8
3 Projektablauf	10
3.1 Arbeitsschritte bei der Entwicklung der Projektmodule	10
3.2 Testläufe	12
3.3 Evaluierung	13
4 Durchführung der entwickelten Module	14
4.1 Robotik-Modul	14
4.2 Elektrotechnik-Modul	18
4.3 Informatik-Modul	21
5 Öffentlichkeitsarbeit	24
6 Diskussion, Fazit	25
A Anhänge	27
A.1 Unterlagen zum Robotik-Modul	27
A.2 Unterlagen zum Elektrotechnik-Modul	27
A.3 Unterlagen zum Informatik-Modul	27
A.4 Evaluierungsbögen	28
A.5 Öffentlichkeitsarbeit	28

1 Zusammenfassung

Das Projekt folgt den Schwerpunkten der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). Idealerweise hilft BNE dabei, Menschen in die Lage zu versetzen, ihre Gesellschaft gerecht und zukunftsfähig zu entwickeln und Verhaltensweisen und Lebensstile zu finden, die das Leben der eigenen und künftiger Generationen lebenswert machen. Um in der Lage zu sein, bei Entscheidungen zu Fragen der Energieversorgung immer auch die Konsequenzen für andere Menschen, die Natur und die Zukunft mit einzubeziehen, ist das Wissen um komplexe technische Zusammenhänge notwendig. Die entwickelten Projekt-Module vermitteln Schüler_innen anhand eigener Experimente Erkenntnisse zu folgenden interdisziplinären Themenbereichen:

1. Robotik/Elektrotechnik: Wie funktionieren Windkraftgeneratoren und Solaranlagen? Wie wird Energie gemessen und wie werden Messwerte gespeichert/verarbeitet? Wie kann man Messwerte nutzen, um damit Energiesteuerung zu programmieren?
2. Elektrotechnik/Chemie: Wie funktionieren Silizium-Solarzellen? Was sind deren Nachteile? Wie kann man chemische Eigenschaften von Stoffen zur Energieerzeugung aus Sonnenlicht nutzen? Wie funktionieren Farbstoffsolarzellen? Wie kann man die erzeugte Energie messen und nutzen? Wieviele Farbstoffsolarzellen sind nötig, um einen Taschenrechner zu betreiben?
3. Informatik/Elektrotechnik: Welche Arten von Energieerzeugung gibt es? Wie steuert man schwankende Energieerzeugung und -verbrauch so, dass die Netzfrequenz stabil gehalten werden kann und es keine Engpässe gibt?

Folgende Experimente werden zur Beantwortung der oben aufgeworfenen Fragen in den von uns im Rahmen des Projekts entwickelten Modulen durchgeführt:

1. **Robotik-Modul:** Die Verwendung der Lego-Mindstorms-Komponenten Windgenerator und Solaranlage erlaubt es, dass Schüler_innen Energie selbst erzeugen und messen. Sie lernen dabei den Umgang mit LabView, einem gängigen Softwarepaket in allen Ingenieur-Disziplinen, kennen. Sie nutzen LabView zur Aufnahme und Verarbeitung von Messreihen, wobei zur Energieoptimierung die Parameter der Modellgeneratoren selbstständig variiert werden (z.B. Rotorzahl und -abstand bei Windkraftanlagen). Sie programmieren eine Steuerung, die es gestattet, Wind- bzw. Solarenergie situationsabhängig zu speichern oder direkt zu verbrauchen. Dabei lernen sie praktische Aspekte der Steuerung bei Smart Grids am eigenen Modell kennen.
2. **Elektrotechnik-Modul:** Die Schüler_innen lernen die Unterschiede im Aufbau von Siliziumsolarzellen und Farbstoffsolarzellen kennen. Sie erkennen Zusammenhänge zur im Schulunterricht behandelten Elektrolyse (Chemie) bzw. Photosynthese (Biologie). Sie bauen jeweils aus zwei Glasplättchen mit Titandioxid, Farbstoff und Graphit eine Solarzelle, wobei die Mengen der verwendeten Substanzen zu Vergleichszwecken variiert werden können. Durch Messen ermitteln sie Strom und

Spannung ihrer Solarzellen und vergleichen die Werte. Sie stellen Berechnungen an, welche Solarzellen wie geschaltet werden müssen, um einen Taschenrechner antreiben zu können und schalten ihre Solarzellen entsprechend in Reihen- oder Parallelschaltung. Bei den Experimenten wird der Zusammenhang chemischer Prozesse und elektrotechnischer Grundlagen direkt erfahrbar gemacht.

- 3. Informatik-Modul:** Durch eigenständiges Verwenden einer Simulationssoftware werden *Virtuelle Kraftwerke* modelliert, simuliert und angepasst. Die Entwicklung eines Simulationsmodells verlangt eine Kategorisierung von Energieerzeugern und -verbrauchern, sowie die Festlegung von Netzeigenschaften. Das Verhalten in einem dynamischen Modell wird durch Regeln modelliert, die Abhängigkeiten von bestimmten Gegebenheiten und Parametern festlegen. Die Schüler_innen sollen eigenständig die Parameter ihres Modells variieren und sich die Folgen in Simulationsläufen veranschaulichen. So lernen sie einerseits das Wesen der dynamischen Modellierung in der Informatik kennen, andererseits gewinnen sie Erkenntnisse über ihr Modell und damit über das Zusammenspiel von Energieerzeugung, -verbrauch, -transport und -speicherung in der Elektrotechnik.

Alle drei Module behandeln überschneidende Themen, bauen auf Stoff verschiedener Schulfächer auf und verhelfen Schüler_innen so zu interdisziplinärem Wissen. Das Projekt leistet einen Beitrag zur Bildung in Nachhaltiger Entwicklung, indem Schüler_innen deutlich gemacht wird, wie eng verzahnt Disziplinen unterschiedlicher Ingenieurwissenschaften und Informatik in Forschung und Industrie zusammenwirken, um ein übergeordnetes Ziel (Energiewende) zu erreichen. Der Workshop-Charakter der Projekt-Module ermöglicht einen experimentell-forschenden Zugang zu Themen der Ingenieurwissenschaften. In allen Modulen stehen die Ziele der nachhaltigen Energieerzeugung mit erneuerbaren Energien im Vordergrund und zeigen deren Einbettung in ingenieurwissenschaftliche Disziplinen. Die Vermittlung der Erkenntnisse geschieht experimentell, erlebnisreich und somit effektiv und nachhaltig. Es wird den Schüler_innen die Möglichkeit geboten, sich Forschungszielen mit wissenschaftlichen Methoden zu nähern (automatisierte Simulation, vergleichende Messungen, Verwendung etablierter Softwarewerkzeuge und Methoden). Testläufe mit Schülergruppen und eine Evaluierung begleiten die Entwicklung der Module im Projekt.

Mit dem Projekt entstanden dauerhaft Module zu Erneuerbaren Energien für Schulklassen und andere Schülergruppen. Speziell zu Aktionstagen wie dem *Green Day* sollen diese Module genutzt werden, um Schüler_innen *grüne* Berufe bzw. Studienfächer nahezubringen, ihnen aber gleichzeitig zu vermitteln, dass grundlegende technische Studienfächer wie Informatik und Elektrotechnik in diesen Berufen eine zentrale Rolle spielen.

2 Motivation und Ausgangssituation des Projekts

Hintergrund an der Fakultät IV der TU Berlin: dEIn Labor. Das Schülerlabor dEIn Labor („das Elektrotechnik- und Informatik-Labor“) der Fakultät IV besteht seit 2012 und bündelt Projektangebote mit Bezug zu Elektrotechnik und Informatik. Das dEIn Labor arbeitet eng mit den Partnerschulen der TU Berlin zusammen und verfolgt das Ziel, Schüler_innen (von Klasse 5 bis Oberstufe) an Themen der Elektrotechnik und Informatik auf experimentelle Art und Weise heranzuführen. Experimentierworkshops ermöglichen eine praxisnahe Zugangsweise zu komplexen Themen, die das Spektrum der Schulausbildung ergänzen (Elektronik, Robotik, Elektroakustik, Mikrocontroller-Programmierung, ...). Auf diese Weise wird bei Schüler_innen Interesse an technischen Fächern und ggf. an der Aufnahme eines MINT-Studiums an der TU Berlin geweckt [1].

Problemstellung. Die im dEIn Labor bestehenden Angebotsformate waren vor Beginn der Projektförderperiode entweder im Bereich Elektrotechnik oder im Bereich Informatik angesiedelt. Ein Angebot zum Thema Energiewende gab es noch nicht. Auch in der Schule werden im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien hauptsächlich grundlegende physikalisch-elektrotechnische Themen behandelt. Ein wesentliches Merkmal der Energiewende-Thematik ist aber das Zusammenspiel elektrotechnischer Aspekte (Erneuerbare Energien, Energiespeicher, Übertragungsleitungen) einerseits mit Aspekten der Informatik (Steuerung des Lastenausgleichs über Smart Grid, Systemmodellierung, Simulation, Datenschutz, ...), andererseits mit grundlegenden Aspekten der Chemie/Biologie (Elektrochemie, Elektromagnetische Verträglichkeit, Ökologie, ...). Einen ersten Schritt zu tun, um diese vielschichtigen Zusammenhänge erfahrbar zu machen, war unser zentrales Anliegen im beantragten interdisziplinären Projekt für Schüler_innen.

Ausgangssituation und eigene Vorarbeiten. In einer Kooperation der GI-Regionalgruppe Berlin-Brandenburg, der TU Berlin (dEIn Labor), der FU Berlin (Informatik-Didaktik) und der Technologiestiftung Berlin wurde eine Unterrichtseinheit zum Thema „Smart Grid“ ausgearbeitet, die im Schuljahr 2012/2013 erstmalig an zwei Berliner Schulen durchgeführt wurde. Beide Schulen verfügen über eine Ausstattung mit Lego-Mindstorms-Robotern, und so konnten im Klassenverband an den Schulen Modellbauten für Windkraftanlagen gebaut und untersucht werden. Da die meisten Berliner Schulen nicht über die benötigte Ausstattung mit Lego-Mindstorms-Robotern und entsprechende Erneuerbare-Energien-Sets verfügen, entstand so der Wunsch, auf Basis der durchgeführten Unterrichtseinheit einen Workshop im dEIn-Labor zu entwickeln und ihn kostenfrei mit Berliner Schulklassen durchzuführen. Dieses Ziel wird im entwickelten Robotik-Modul realisiert.

Eine weitere Kooperation besteht mit dem Techno-Club an der TU Berlin, der Arbeitsgemeinschaften (AGs) für Berliner Schülerinnen an der TU Berlin organisiert, um junge Frauen über Berufsfelder der Ingenieurwissenschaften zu informieren. Im Wintersemester 2013/14 wurde zum ersten Mal eine „Fortgeschrittenen-AG“ beim Techno-Club durchgeführt. Zwanzig motivierte Oberstufenschülerinnen, die sich bereits ein Schulhalbjahr in einer Einsteiger-AG engagiert hatten, nahmen an der Fortgeschrittenen-AG teil,

die sie an ihren Schulen als Zusatzkurs mit ins Abitur einbringen können. Im Rahmen der Fortgeschrittenen-AG lernten die Schülerinnen an zwei Nachmittagen im dEIn Labor Vor- und Nachteile verschiedener Energieerzeugungsmethoden kennen und erstellten eine Simulation am Computer, die Ursachen und Wirkungen bei der Energieversorgung mit erneuerbaren Energien verdeutlicht. Die Erfahrungen im ersten Durchlauf der Fortgeschrittenen-AG wurden auf der Konferenz *Diversity: Neue Wege in der Informatikausbildung* im November 2013 an der TU Berlin präsentiert [2]. Aus den Erfahrungen ergaben sich diverse Anregungen, das in der AG verwendete, an der TU Berlin entwickelte Simulationstool auszubauen und für die Verwendung durch Schüler_innen zu optimieren. Auch fehlte eine didaktisch aufbereitete Programmdokumentation/Tutorial. Das Ziel, ein Modul zur Simulation der Verwendung Erneuerbarer Energiequellen im Stromnetz, wird im entwickelten Informatik-Modul realisiert.

Eine unserer Partnerschulen (das Herder-Gymnasium in Charlottenburg) besucht regelmäßig Elektrotechnikworkshops im dEIn-Labor. Auf Basis der im Schulunterricht behandelten Grundlagen von Halbleitern wurde der Wunsch an uns herangetragen, mit Schülern die eigenhändige Herstellung von Farbstoffsolarzellen durchzuführen, was in der Schule nicht möglich ist. Diesem Wunsch haben wir mit der Entwicklung des Moduls Farbstoffsolarzelle entsprochen, das nun auch anderen Schulen im dEIn-Labor angeboten werden kann.

3 Projektablauf

In diesem Kapitel werden die Entwicklungsschritte der einzelnen Projektmodule tabellarisch dargestellt, sowie Testläufe mit Schülergruppen und deren Evaluierung beschrieben.

3.1 Arbeitsschritte bei der Entwicklung der Projektmodule

Die drei folgenden Tabellen 1, 2 und 3 fassen zusammen, in welchen Arbeitsschritten die Entwicklung der jeweiligen Projektmodule abgelaufen ist. Die rechte Spalte (Dokumentation) verweist auf die im Projekt entstandenen Arbeitsmaterialien wie Folien, Handouts, Aufgabenstellungen, Musterlösungen und Programme. Alle Arbeitsmaterialien sind in den jeweiligen Anhängen dieses Berichts zu finden.

Tabelle 1: Ablauf der Entwicklung des Projektmoduls *Robotik*

Datum	Entwicklungsschritte für Robotik-Modul	Dokumentation (Anhänge A.1)
September 2014	Planung und erste Versuche mit dem Set „Erneuerbare Energien“ für Lego-Mindstorms NXT-Roboter	
Oktober 2014	Softwareseitige Integration eines neuen NXT-Bausteins „Energimeter“ in Labview 2.9	
November 2014	Erstellung eines Labview-Tutorials zu grundlegenden Programmierbefehlen, insbesondere der Dateiverarbeitung (Öffnen, Schreiben, Lesen, Schließen von Dateien)	Anleitung <i>Log Data</i> S. 35, Übersicht <i>NXT-Bausteine</i> S. 37
	Erstellung von Tutorials zum Messen, Speichern und Verarbeiten von Werten mit dem Energiemeter in Labview und Tabellenkalkulation	Tutorials <i>Messen</i> S. 34, <i>Verarbeiten von Messwerten</i> S. 41
Dezember 2014	Erstellung von Folien zur Thematik Erneuerbare Energien, Fokus Windgeneratoren (Quelle [3, 4, 5])	Folien <i>Windkraftanlagen</i> , S. 29,
Januar 2015	Erstellung von Musterlösungen zur Programmierung von Messreihen mit Windgeneratoren in Labview; Planung der Tafelbilder zum Messwertreihenvergleich	Programm <i>Windmessung</i> , S. 39, Tafelbild <i>Auswertung</i> S. 42
	Formulierung der Aufgabenstellung „Windrad-Dynamo“ und Erstellung der Musterlösung	Aufgabenblatt S. 43, Musterlösung S. 44

Tabelle 2: Ablauf der Entwicklung des Projektmoduls *Elektrotechnik*

Datum	Entwicklungsschritte für E-Technik-Modul	Dokumentation (Anhänge A.2)
Februar 2015	Testreihen zur Optimierung der Materialmengen, des Farbstoffs und der Backtemperatur bei der Herstellung von Farbstoffsolarzellen	Bauanleitung S. 58
März 2015	Erstellung von animierten Folien zur Wirkungsweise von Silizium-Halbleitern und von Farbstoffsolarzellen	Folien zur Funktionsweise S. 45
April 2015	Erstellung eines Handouts für Schüler_innen zu Aufbau und Funktionsweise von Farbstoffsolarzellen	Handout Farbstoffsolarzelle S. 47

Tabelle 3: Ablauf der Entwicklung des Projektmoduls *Informatik*

Datum	Entwicklungsschritte für Informatik-Modul	Dokumentation (Anhänge A.3)
Mai 2015	Entwurf der Folien zum Modul „Visuelle Modellierung und Simulation eines Energieversorgungsnetzes“ (Quellen [3, 6])	Folien <i>Virtuelles Kraftwerk</i> S. 60
Juni 2015	Programmierung von GUI-Features zur vereinfachten Datei-Verwaltung und visueller Darstellung von Graphen in AGG [6]	Tool AGG online unter http://www.tfs.tu-berlin.de/agg
Juli 2015	Programmierung einer Datenbankanbindung für AGG, so dass Wetterdaten im Simulationsmodell aus einer Textdatei ausgelesen werden können	
Sept. 2015	Dokumentation der Menüs und Befehle des Simulationswerkzeugs AGG	Übersicht <i>AGG-Kurzreferenz</i> S. 79
	Erstellung des Aufgabenblattes „Virtuelles Kraftwerk“ und der Musterlösungen: Stufe 1: Basismodell mit Erzeugern, Verbrauchern und Netz. Stufe 2: Wetterabhängigkeit, Stufe 3: Tarifmix-Bezahlmodell	Arbeitsblatt <i>Virtuelles Kraftwerk</i> S. 81
	Erstellung eines Handouts zur regelbasierten Simulation dynamischer Systeme	Handout <i>Virtuelles Kraftwerk: Modellierung mit Graphtransformation</i> : Seite 64

3.2 Testläufe

Nach Fertigstellung des ersten Moduls (Robotik) starteten im April 2015 Testläufe mit Schulklassen. Die Testläufe zum Elektrotechnik-Modul fanden im Juni 2015 statt. Da die Entwicklung des Informatik-Moduls erst im September 2015 abgeschlossen wurde, erfolgte die Beantragung einer kostenneutralen Verlängerung der Laufzeit bis 31. Oktober 2015 mit der Begründung, dass weitere Testläufe, speziell beim Informatik-Modul mit Schüler:innen durchgeführt werden sollten. In der verlängerten Projektlaufzeit erfolgten weitere Testläufe sowie deren Evaluierung anhand von Fragebögen (siehe Kapitel 3.3).

Tabelle 4 zeigt die teilnehmenden Schulen und Bildungsinitiativen. Insgesamt nahmen 164 Schüler:innen der Sekundarstufen 1 und 2 an den Testläufen teil.

Tabelle 4: Teilnehmende Schulen an Testläufen und Evaluierung

Modul	Datum	Std.	Schule	Klasse	Anzahl
Windenergie messen	20.04.2015	2	Schiller-Gymnasium	10	12
Windenergie messen	27.04.2015	2	Schiller-Gymnasium	10	12
Windenergie messen	04.05.2015	2	Schiller-Gymnasium	10	12
Windrad-Dynamo	07.05.2015	5	Femtec Try-It	10	10
Windenergie messen	18.05.2015	2	Schiller-Gymnasium	10	12
Farbstoffsolarzelle	17.06.2015	5	Herder-Gymnasium	10	30
Farbstoffsolarzelle	29.06.2015	5	Herder-Gymnasium	10	30
Windrad-Dynamo	12.11.2015	5	Evangelische Schule Spandau	10	12
Virtuelles Kraftwerk	19.10.2015	5	Waldorfschule Märkisches Viertel	12	10
Virtuelles Kraftwerk	02.11.2015	5	Techno-Club TU Berlin	11	8
Windrad-Dynamo	09.11.2015	5	Freiwilliges Jahr Wissenschaft & Technik	13+	16

Die TU-Partnerschule **Schiller-Gymnasium** integrierte das Modul *Windenergie messen* in den wöchentlich stattfindenden Wahlpflicht-Unterricht im Fach Physik. Da sich das Schiller-Gymnasium in unmittelbarer Nähe der TU Berlin befindet, verbrachten die Schüler vier Doppelstunden im dEIn-Labor. Jeweils die halbe Klasse (12 Schüler) absolvierte einen Teil des Windenergie-Moduls, die andere Hälfte hatte im Raum nebenan regulär Unterricht. Nach zwei Terminen wechselten sich die Gruppen ab.

Das Hochschulkarrierezentrum **Femtec** ist ein enger Kooperationspartner des dEIn-Labors. Femtec fördert Mädchen aus ganz Deutschland und bietet mehrtägige Studienorientierungsreisen für Oberstufenschülerinnen nach Berlin an ("Try it. Junge Frauen erobern die Technik"¹). In diesem Rahmen besuchten zehn interessierte Schülerinnen den Workshop "Windrad-Dynamo" im dEIn-Labor.

¹ <https://www.femtec.org/de/try-it-junge-frauen-erobern-die-technik>

Das **Herder-Gymnasium** ist ebenfalls Partnerschule der TU Berlin. Aufgrund der Anfrage nach einem praktischen Workshop zur Herstellung von Farbstoffsolarzellen haben wir entschieden vom ursprünglichen Plan der Entwicklung eines Smart-Home-Moduls abzuweichen und als Elektrotechnik-Modul stattdessen ein Modul zu Farbstoffsolarzellen zu entwickeln. Inhaltlich passt dieses Modul hervorragend zur übergeordneten Thematik der Energiewende. Der weitere Vorteil ist das große Interesse unserer Partnerschule, die mit je 30 Schüler_innen das Modul zweimal in der Projektlaufzeit absolviert hat und stark zur dessen Entwicklung und Verbesserung beigetragen hat.

Bei der **Evangelischen Schule Spandau** handelt es sich nicht um ein Gymnasium, sondern um eine Integrierte Sekundarschule. Die Schüler_innen besuchten im Rahmen des *Green Day* den Workshop "Windrad-Dynamo". Auch die **Waldorfschule Märkisches Viertel** ist kein Gymnasium, verfügt aber über eine gymnasiale Oberstufe. Ihre Abiturienten wählten das Modul "Virtuelles Kraftwerk".

Der **Techno-Club**² ist ein Zusatz-Grundkurs, der von Oberstufenschülerinnen an TU-Partnerschulen ins Abitur eingebracht werden kann. Im Rahmen des Zusatzkurses absolvierten die acht Schülerinnen das Modul *Virtuelles Kraftwerk*.

Bei der letzten Teilnehmergruppe handelt es sich um eine Gruppe von Absolventen des **Freiwilligen Jahrs Wissenschaft & Technik**³, die alle 17 bis 20 Jahre alt waren, also vergleichbar mit Schülern der Sekundarstufe 2. Sie entschieden sich für das Modul "Windrad-Dynamo".

3.3 Evaluierung

Zur Evaluierung der Testläufe wurden zwei an der TU Berlin entwickelte Fragebögen verwendet, die von den teilnehmenden Schüler_innen ausgefüllt wurden, je ein Fragebogen vor dem Workshop und ein Fragebogen hinterher. Darüber hinaus wurde eine eigene Evaluierung des Informatik-Moduls "Virtuelles Kraftwerk" vom Techno-Club durchgeführt (Anhang A.5).

Die Auswertung der Fragebögen vor und nach Durchlauf der jeweiligen Module ergab, dass eine deutliche Mehrheit der Schüler_innen den Besuch der Module weiterempfehlen würde. Die Bewertungen waren gut bis sehr gut, das emotionale Interesse war hoch. Die Schüler_innen gaben mehrheitlich an, über das betreffende Thema gut informiert worden zu sein und darüber hinaus interessante Informationen über ein Studium bekommen zu haben. Vereinzelt wurde mehr bzw. weniger Theorie im Modul gewünscht. Der experimentelle Teil wurde von allen als bereichernd empfunden (besonders das selbstständige Arbeiten), gelegentlich auch als zu kurz. Das emotionale Interesse und der "Spaßfaktor" waren bei allen Teilnehmern groß. Diese positive Resonanz wird auch in den wörtlichen Kommentaren der Techno-Club-Teilnehmerinnen deutlich (siehe Anhang A.5).

Beim Vergleich der Beurteilung des Fähigkeitsselbstkonzepts (für wie gut halte ich mich in dem betreffenden Fach) konnte kein signifikanter Einfluss der Workshops festgestellt werden. Allerdings gelingt es uns in den entwickelten Modulen, grundsätzlich Interesse an den behandelten Themen zu wecken.

² <http://www.techno-club.tu-berlin.de/>

³ <http://www.ijgd.de/dienste-in-deutschland/fsj-in-wissenschaft-technik-und-nachhaltigkeit.html>

Durch die Befragung wurde aber auch festgestellt, dass in den Schulen sehr wenig Vor- und Nachbereitung von Besuchen im Schülerlabor stattfindet. Als Fazit zu zukünftigen Verbesserungen der Nachhaltigkeit des Besuchs eines unserer Module schlagen wir vor, spezielle Vorbereitungsmaterialien zu entwickeln, die in der Schule zu vermittelnden Stoff aufgreifen, der in unseren Modulen eine Rolle spielt:

- **Robotik-Modul:** Funktion von Windkraftgeneratoren
- **Elektrotechnik-Modul:** Redox-Reaktion und Photosynthese
- **Informatik-Modul:** Strukturen in Programmiersprachen (Schleifen, Bedingungen), sowie Klassendiagramme

Diese Vorbereitungsmaterialien sollen zukünftig Lehrer_innen bei der Buchung eines unserer Module an die Hand gegeben werden (zusätzlich zu den entwickelten Handouts) mit der Bitte, diese Themen in einer vorbereitenden Unterrichtsstunde zu besprechen, um den Besuch bei uns optimal vorzubereiten.

4 Durchführung der entwickelten Module

In diesem Kapitel beschreiben wir die Durchführung der entwickelten Module und zeigen Impressionen der durchgeführten Testdurchläufe.

4.1 Robotik-Modul

Das Robotik-Modul beginnt mit einer Vorstellungsrunde, bei der auch Berufswünsche und Interessen der Teilnehmer_innen abgefragt werden. Es folgt eine Einführung in die Thematik der Energiewende anhand von Folien (siehe Anhang A??), wobei ein besonderer Fokus auf die Funktionsweise von Windkraftanlagen und Generatoren gelegt wird.

Nach der Einführung erhalten die Schüler_innen das LabView-Tutorial zu grundlegenden Programmierbefehlen, sowie das Tutorial zum Messen und Speichern von Werten mit dem Energiemeter (Anhang A.1, Seiten 34 und 35). Sie führen damit Versuche mit unterschiedlichen Windradparametern durch und vergleichen die Messwerte.

Beim Robotik-Modul gibt es zwei Varianten, die Modulvariante *Windenergie messen* (zugeschnitten auf das Thema *Messen* im Physikunterricht der 10. Klasse) und die Modulvariante *Windrad-Dynamo*, die darüberhinaus noch weitere Programmieranteile enthält. Die Modulvariante *Windenergie messen* dauert ca. 3 Stunden, während Modulvariante *Windrad-Dynamo* ca. 4 Stunden dauert.

Bei der Modulvariante *Windenergie messen* wird nun ein Labview-Programm entwickelt, was gestattet, mehrere Testreihen hintereinander durchzuführen. Die Schüler_innen experimentieren hier mit unterschiedlichen Schleifenvarianten, Timeouts und Warnhinweisen. Sie erzeugen so Messwert-Dateien, die mehrere Messreihen enthalten. Diese werden anschließend in MS Excel (bzw. LibreOffice) weiterverarbeitet und als Diagramme dargestellt. Ein Messwertreihenvergleich der einzelnen Gruppen an der Tafel rundet diese Modulvariante ab.

Die Modulvariante *Windrad-Dynamo* geht über das reine Messen hinaus: Nach der Labview-Einführung und einigen Probe-Messdaten-Erfassungen erhalten die Schüler_innen das Aufgabenblatt *Windrad-Dynamo* (Anhang A.1, Seite 43). Es soll der aktuelle Zustand der Windkraftanlage (erzeugt sie Energie, hat das Speichermodul Energie gespeichert, weht Wind?) abgefragt werden. Je nach Ergebnis soll eine Windkraft-gesteuerte Fahrrad-Lichtanlage so programmiert werden, dass beim Fahrradfahren bzw. im Stillstand die entsprechenden Lichter leuchten. Auch in dieser Modulvariante werden am Ende die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen präsentiert und diskutiert.

Kurzüberblick Robotik-Modul

<i>Themenbereich</i>	Erneuerbare Energien, Windkraftanlagen, Generator, Programmieren, Messdatenverarbeitung
<i>Jahrgangsstufe/Kursart</i>	9. - 10. Klasse, Grundkurs, Leistungskurs
<i>Einbindung in den Unterricht</i>	Kann als Exkurs in den Bereichen Programmierung (Informatik-Wahlpflichtfach, -Grundkurs oder -Leistungskurs) oder Messen bzw. Erneuerbare Energien (Physik) genutzt werden. Da kein informatisches Vorwissen vorausgesetzt wird, kann es jederzeit durchgeführt werden.
<i>Benötigtes Vorwissen</i>	Genügend mathematisches Verständnis um Strukturen der Informatik (Schleifen, Variablen, Abfragen) zu verstehen; grundlegende Kenntnisse zu Erneuerbaren Energien und zum Messen physikalischer Größen.
<i>Lernziel</i>	Erlernen der Funktionsweise von Windkraftgeneratoren; Erfassen von Energiemesswerten und -messwertreihen; Aufbereiten von Messwerten in Tabellenkalkulationsprogrammen; grundsätzliche Programmierkonstrukte (Sequenzen, Schleifen, Datenerfassung und -speicherung); Teamarbeit.

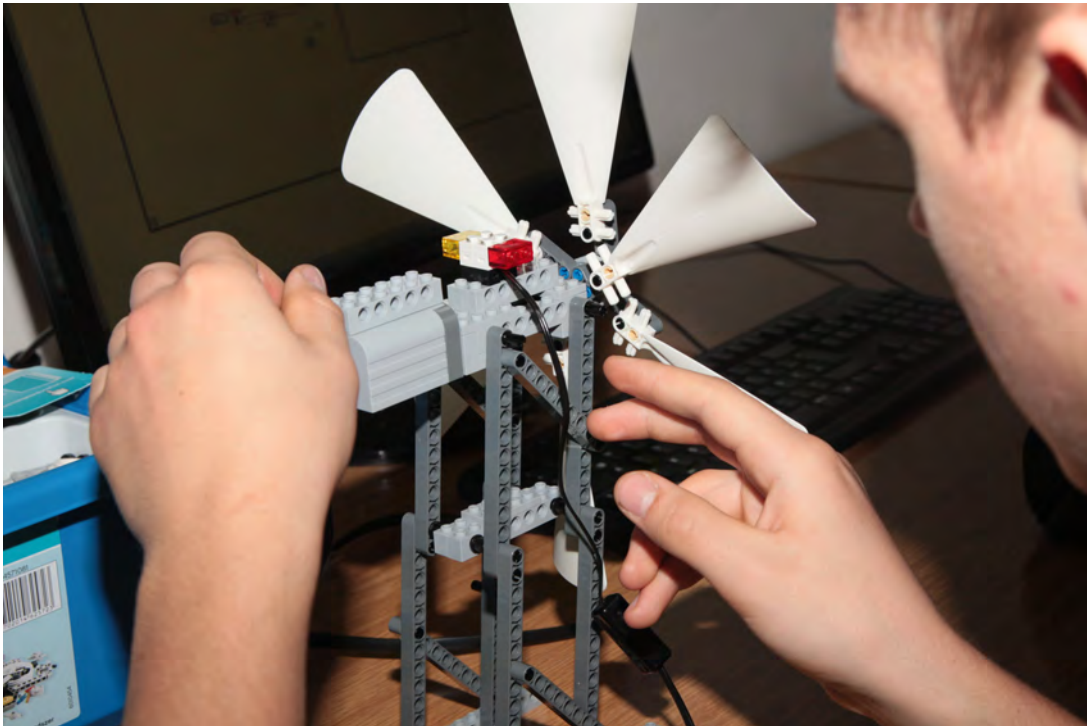
Ablaufbeschreibung

Tabelle 5 zeigt den zeitlichen Ablauf der Durchführung des Robotik-Moduls.

Tabelle 5: Zeitlicher Ablauf des Projektmoduls *Informatik*

Zeit	Inhalt	Medien	Sozialform	Teillernziel
15 Min.	Vorstellung, Interessenabfrage		Diskussion mit der Gruppe	Fragen entwickeln: Wie wird Energie "gewonnen"?
45 Min.	Erneuerbare Energien, Windenergie, Generator	Folien mit Animationen S. 29	Dozenten-Vortrag, Diskussion	Lernen der Funktionsweise von Generatoren, Bewusstsein für Problematik von Windenergie
30 Min.	Erste Messung mit dem NXT-Energiemeter	Labview, Windräder, NXT-Übersicht S. 37, Tut. Messen S. 34	Selbstständiges Arbeiten zu zweit am Computer	Messwerte aufzeichnen, als Datei speichern, mit LabView auslesen
Modul-Variante <i>Windenergie messen</i>				
60 Min.	Programmierung und Durchführung von Versuchsmessreihen	Labview, Windräder, Tut. <i>Data-Log</i> S. 35, Tut. <i>Tab.kalk.</i> S. 41	Selbstständiges Arbeiten zu zweit am Computer	Programmstrukturen begreifen (Schleifen, Abfragen, Dateien), Datenauswertung mit Tabellenkalkulation.
Modul-Variante <i>Windrad-Dynamo</i>				
120 Min.	Progr. einer Steuerung für windabhängige Fahrradbeleuchtung	Labview, Windräder und LEDs, Tut. <i>DataLog</i> S. 35, Aufgabenblatt <i>Dynamo</i> S. 43,	Selbstständiges Arbeiten zu zweit am Computer und mit den Robotikkomponenten	Programmstrukturen begreifen (Schleifen, Abfragen), programmierte Steuerung von Lichtanlagen
30 Min.	Vorstellen der Ergebnisse	Tafel, Diskussion (Bsp. siehe S. 42)	Schüler_innenvortrag und -demo	Ergebnisse (unterschiedliche Messwerte bzw. Steuerungen) präsentieren, vergleichen und diskutieren

Die folgenden Abbildungen zeigen Schüler_innen des Schiller-Gymnasiums beim Workshop "Windenergie messen" im dEIn Labor.



4.2 Elektrotechnik-Modul

Auch dieses Modul beginnt mit einer Vorstellungsrunde, bei der auch Berufswünsche und Interessen der Teilnehmer_innen abgefragt werden. Es folgt eine Einführung in die Thematik der Energiewende, wobei der Fokus hier auf Photovoltaik gelegt wird. Basiswissen über Halbleiter (speziell Silizium) wird vorausgesetzt, die Funktionsweise von Silizium-Solarzellen wird im einführenden Vortrag wiederholt. Anhand eines Videos (Interview mit dem Erfinder der Farbstoffsolarzelle Martin Grätzel) wird die Funktion der Grätzel-Solarzelle motiviert und mit der Photosynthese bei Pflanzen zur Energiegewinnung verglichen.

Nach der Einführung erhalten die Schüler_innen das Aufgabenblatt zur Herstellung von Grätzel-Zellen. Es werden Aufgaben verteilt (Herstellung der Titandioxid-Paste, Früchtetee kochen, Glasplättchen mit Graphitstiften einreiben). Jede_r Schüler_in bestreicht dann ein Glasplättchen mit Titandioxid. Alle Glasplättchen werden bei ca. 400°C erhitzt. Anschließend werden sie von den Schüler_innen mit dem Farbstoff beträufelt, sowie mit der Elektrolyttinktur und mit Büroklammern fest miteinander verbunden.

Es folgt eine Messreihe, bei der jede_r Schüler_in die Spannung und Stromstärke der selbstgebauten Solarzelle mit einem Multimeter misst, und zwar sowohl bei Raumlicht als auch bei Bestrahlung mit unterschiedlichen Lichtquellen – vom Baustrahler (liefert eher gelb-warmes Licht) bis zur weißen LED (liefert eher kaltes Licht). Je nach Lichtspektrum ergeben sich gemessene Spannungen zwischen 100 und 600 mV.

Die gestellte Aufgabe lautet, die leistungsfähigsten Solarzellen nun so zu schalten, dass ein Taschenrechner betrieben werden kann, der ca. 1V Spannung benötigt. Dazu werden Kenntnisse über Reihen- und Parallelschaltungen angewendet. Die Solarzellen werden mittels Krokodilklemmen miteinander und mit den Anschlüssen von Taschenrechnern verbunden.

Kurzüberblick Elektrotechnik-Modul

<i>Themenbereich</i>	Elektrotechnik (Reihen- und Parallelschaltung, Halbleiter, Photovoltaik), Erneuerbare Energien
<i>Jahrgangsstufe/Kursart</i>	10. Klasse, Grundkurs, Leistungskurs
<i>Einbindung in den Unterricht</i>	Kann als Exkurs in den Bereichen Chemie (ab 10. Klasse, Redox-Reaktion) oder Erneuerbare Energien (Physik, Halbleiter) genutzt werden.
<i>Benötigtes Vorwissen</i>	Chemie (Schreibweise chemischer Reaktionen, Redox-Reaktion), Biologie (Photosynthese), Physik (Halbleiter); grundlegende Kenntnisse zu Erneuerbaren Energien.
<i>Lernziel</i>	Anwendung chemischer Grundgesetze in der Praxis (Redox-Reaktion, Elektrolyse); Teamarbeit; Messen elektrischer Größen; Aufbau von Parallel- und Reihenschaltung von Energiequellen.

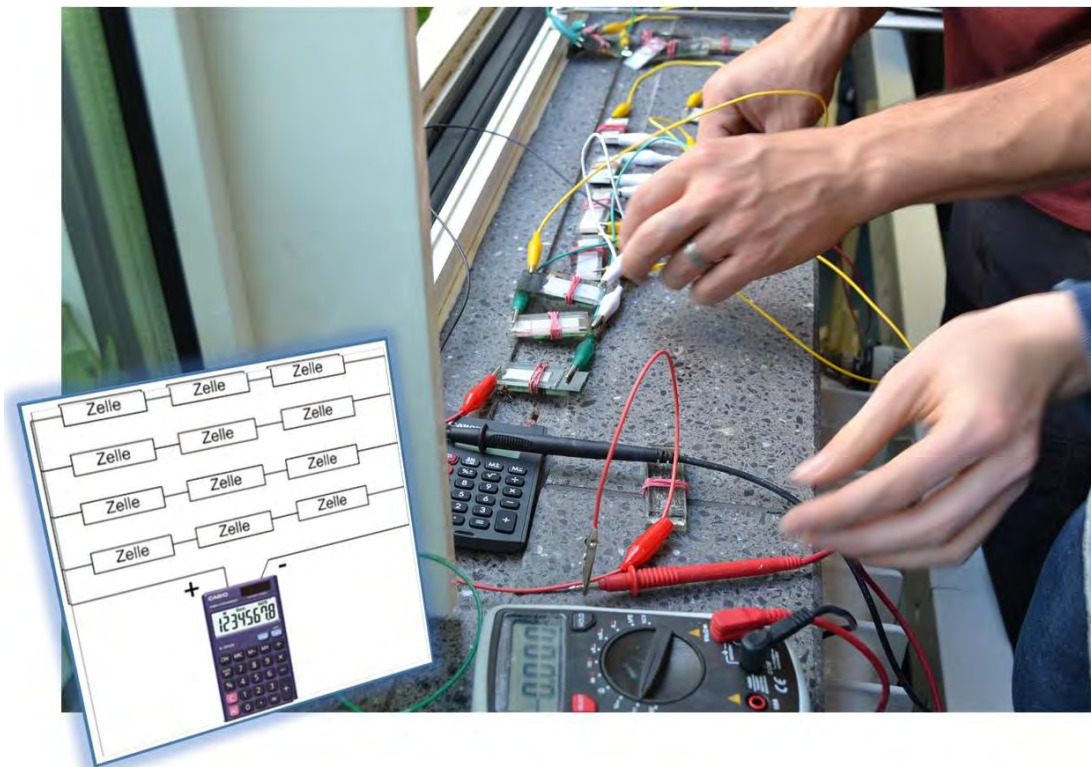
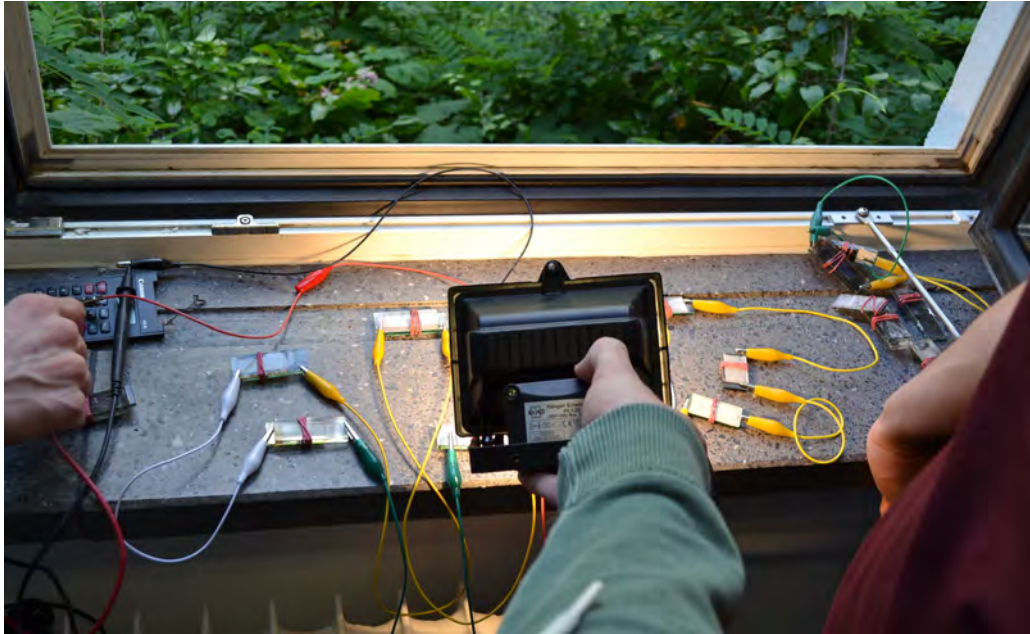
Ablaufbeschreibung

Tabelle 6 zeigt den zeitlichen Ablauf der Durchführung des Elektrotechnik-Moduls.

Tabelle 6: Zeitlicher Ablauf des Projektmoduls *Elektrotechnik*

Zeit	Inhalt	Medien	Sozialform	Lernziel
15 Min.	Vorstellung, Interessenabfrage		Diskussion mit der Gruppe	Fragen entwickeln: Rolle der Solarenergie für die Energiewende
60 Min.	Solarzellen aus Silizium, Grätzel-Zellen	Folien S. 45, Video mit Michael Grätzel	Dozenten-Vortrag, Video	Kennenlernen der Funktion der Farbstoffsolarzelle
60 Min.	Bauen der Farbstoffso-larzelle	Bauanleitung S. 58, Baumaterialien, Backofen, Multimeter	Selbstständiges Arbeiten, Aufteilung von Aufgaben	Herstellung einer Farbstoffsolarzelle
30 Min.	Messen der Energie von Farbstoffso-larzellen	Baustrahler, LED-Lampen, Multimeter, Krokodilklemmen	Selbstständiges Arbeiten	Messen elektrischer Größen.
30 Min.	Schaltung zum Betreiben eines Taschenrechners	Messgerät, Krokodilklemmen, Taschenrechner	Tafelbild (Reihenschaltung, Parallelschaltung) und Gruppenarbeit	Aufbau einer Parallelschaltung aus in Reihe geschalteter Solarzellen
15 Min.	Zusammenfassen der Ergebnisse		Gruppen-gespräch	Reflektion der Ergebnisse aus dem Experiment; Gab es Probleme?

Die folgenden Abbildungen zeigen, wie Schüler_innen des Herder-Gymnasiums im Workshop "Farbstoffsolarzelle" im dEIn Labor mit unterschiedlichen Lichtquellen experimentieren und eine Reihenschaltung zum Betreiben eines Taschenrechners aufbauen.



4.3 Informatik-Modul

Das Modul beginnt mit einer Vorstellungsrunde, bei der auch Berufswünsche und Interessen der Teilnehmer_innen abgefragt werden. Es folgt eine Einführung in die Thematik der Energiewende, ihrer Akteure und Probleme anhand von Folien (siehe Anhang A1). Das Hauptthema des Einführungsvortrags ist jedoch die Modellierung und Simulation in der Informatik, da bei Schüler_innen von solidem Basiswissen zum Thema Erneuerbare Energien ausgegangen werden kann.

Nach der Einführung erhalten die Schüler_innen das Aufgabenblatt zur Modellierung eines Virtuellen Kraftwerks. Aufgabe 1 zielt auf die Vermittlung von Kenntnissen zur Bedienung des Simulationswerkzeugs AGG [7] ab. Die Schüler_innen lernen das Laden und Speichern von Dateien, das Erstellen von Konzeptmodellen, Szenarios und Regeln, sowie das Simulieren eines regelbasierten dynamischen Systems kennen.

Die weiteren Aufgaben appellieren an die Kreativität der Schüler_innen. Hier sollen sie das Basismodell erweitern, so dass bestimmte Ziele im Hinblick auf den Energieverbrauch erreicht werden. Hier werden die gelernten Techniken frei angewendet.

Kurzüberblick Informatik-Modul

<i>Themenbereich</i>	Softwaretechnik (Modellierung), Energienetze, Erneuerbare Energien
<i>Jahrgangsstufe/Kursart</i>	10. Klasse, Grundkurs, Leistungskurs
<i>Einbindung in den Unterricht</i>	Kann als Exkurs in den Bereichen Simulation (Informatik-Wahlpflichtfach, -Grundkurs oder -Leistungskurs) oder Erneuerbare Energien (Physik) genutzt werden. Da kein informatisches Vorwissen vorausgesetzt wird, kann es jederzeit durchgeführt werden.
<i>Benötigtes Vorwissen</i>	Genügend mathematisches Verständnis um Strukturen der Informatik (Schleifen, Variablen, Abfragen) zu verstehen; grundlegende Kenntnisse zu Erneuerbaren Energien.
<i>Lernziel</i>	Erlernen von Modellierungskompetenzen für dynamische Systeme; Formulierung von Optimierungsaufgaben und Lösung von Optimierungsproblemen; Teamarbeit; Erfassen der Zusammenhänge bei Energiesystemen mit Erneuerbaren Energien.

Ablaufbeschreibung

Tabelle 7 zeigt den zeitlichen Ablauf der Durchführung des Informatik-Moduls.

Tabelle 7: Zeitlicher Ablauf des Projektmoduls *Informatik*

Zeit	Inhalt	Medien	Sozialform	Lernziel
15 Min.	Vorstellung, Interessenabfrage		Diskussion mit der Gruppe	Fragen entwickeln: Wozu dient Modellierung in der Informatik?
60 Min.	Virtuelle Kraftwerke, Erneuerbare Energien, Modellierung	Folien S. 60, Spielregeln von PacMan als Beispiel	Dozenten-Vortrag, Spiel PacMan am Computer	Kennenlernen der Formalisierung und Abstraktion von Verhalten als Regeln
60 Min.	Modellierung und Simulation mit AGG	Werkzeug AGG, Befehlsübersicht S. 79, Basismodell, Aufgabenblatt (1. Aufgabe) S. 81	Selbstständiges Arbeiten zu zweit am Computer	Editieren von Modellen und Regeln, schrittweise und automatische Simulation
90 Min.	Eigene Modelle mit AGG entwickeln und verifizieren	Werkzeug AGG, Befehlsübersicht, Basismodell, Aufgabenblatt (2. und 3. Ausbaustufe)	Selbstständiges Arbeiten zu zweit am Computer	Verhalten eines dynamischen Systems verstehen. Veränderliche Parameter und ihre Wirkung simulieren und erkennen (Energieerzeugung, Speicher).
30 Min.	Vorstellen der Ergebnisse	Werkzeug AGG, Beamer	Schüler_innenvortrag und -demo	Ergebnisse (eigene Steuermaßnahmen) präsentieren und diskutieren

Die folgenden Abbildungen zeigen Schüler_innen des Femtec-Programms "Try It." beim Workshop "Virtuelles Kraftwerk" im dEIn Labor.



5 Öffentlichkeitsarbeit

Vorträge auf Tagungen und Workshops

- Claudia Ermel, TU Berlin und Stefan Moll, Universität Oldenburg: *Das Unterrichtsthema SmartGrid aus zwei verschiedenen Perspektiven*. 12. Berlin-Brandenburger MNU-Landeskongress 2014, FU Berlin, 11. September 2014. (Programm siehe Anhang auf Seite 93, sowie unter <http://www.mnu-bb.de/kongress14/vortraege.html>)
- Claudia Ermel, TU Berlin: *dEIn Labor - Wer wir sind und was wir machen*. 10. LeLa-Jahrestagung 2015, TU Berlin, 9. März 2015.
- Claudia Ermel, TU Berlin: *Das DBU-geförderte Projekt Energiewende im Schülerlabor dEIn Labor der TU Berlin*. Berliner Energietage 2015: Bildung für den Klimaschutz – Berliner Ansätze. IHK Berlin, 29. April 2015. (Folien siehe Anhang auf Seite 92, sowie unter <http://www.berliner-energietage.de/index.php?id=191&vid=371>)
- Claudia Ermel (TU Berlin): *Elektrotechnik- und Informatik-Module zum Thema Energiewende im Schülerlabor "dEIn Labor" der TU Berlin*. Workshop Lehrerbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Lehr-Lern-Labor. FU Berlin, 11. September 2015. (Programm siehe Anhang auf Seite 94, sowie unter http://didaktik.physik.fu-berlin.de/home/aktuelles_mitteilungen.html)

Veröffentlichungen

- Claudia Ermel, TU Berlin: *Lizenz zum Löten - das Elektrotechnik- und Informatik-Labor „dEIn Labor“ an der Technischen Universität Berlin*. Festschrift zur 10. LeLa-Jahrestagung. Herausgeber: LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e.V., 2015. ISBN 978-3-00-049593-9
- Claudia Ermel: *Energiewende-Workshops im dEIn Labor*. In: Umweltbericht 2015 der Technischen Universität Berlin, Herausgeber: Sicherheitstechnische Dienste und Umweltschutz der TU Berlin, 2015.

Kooperationen und Mitgliedschaften

Im Rahmen des Themenschwerpunkts des DBU-geförderten Projekts (Energiewende, Smart Grid) ist besonders die Kooperation mit den Schülerlaboren PhysLab und MI-Lab der FU Berlin im Rahmen des DBU-geförderten Projekts *Lehrerbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Lehr-Lern-Labor* hervorzuheben (Helen Krofta, Prof. Nordmeier, Prof. Carsten Schulte, Malte Buchholz). Hier fand ein reger Austausch über die jeweiligen DBU-Projektinhalte statt, einerseits in Workshops (MNU-Tagung 2014, LeLa-Jahrestagung 2015, Workshop Lehrerbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Lehr-Lern-Labor 2015), andererseits durch wechselseitiges Hospitieren bei der Durchführung der in den Projekten entwickelten Module für Schüler_innen und für Lehramtsstudierende.

Ein weiterer Schritt zur Vernetzung nachhaltiger Umweltmodule im Schülerlabor ist der Beitritt des dEIn-Labors am 8. Juni 2015 als Gründungsmitglied zum Netzwerk *MINT-Umweltbildung (MINT.ub)*, <http://mint-ub.lernortlabor.de>. Hier sind Schülerlabore vertreten, die interdisziplinäres Wissen über Fragen zur Umweltbildung im Bereich der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik vermitteln.

6 Diskussion, Fazit

Das Projekt “Energiewende-Module für Schüler_innen im dEIn-Labor der TU Berlin“ bestand in der Entwicklung von Projektmodulen für Schüler_innen von Klasse 10 bis 13:

1. Informatik-Modul *Virtuelles Kraftwerk*,
2. Robotik-Modul *Windrad-Dynamo*,
3. Elektrotechnik-Modul *Farbstoffsolarzelle*.

Im Informatik-Modul lernen Jugendliche die visuelle Modellierung und Simulation von Energieversorgungsnetzen, bei denen die Wetterabhängigkeit erneuerbarer Energiequellen durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden müssen. Im Robotik-Workshop geht es darum, Windkraftanlagen (in unserem Fall aus Lego) und Speicher so zu programmieren, dass ein Fahrtwind-getriebener Dynamo am Fahrrad für zuverlässige Beleuchtung beim Fahren und für Standlicht sorgt. Im Workshop Farbstoffsolarzelle bauen die Schüler_innen Solarzellen, bei denen ein Farbstoff, ähnlich wie bei der Photosynthese, unter Sonneneinstrahlung Energie freisetzt.

Im Hinblick auf die im Projektantrag beschriebenen Vorhaben hat sich für das Elektrotechnik-Modul eine Veränderung ergeben: Unsere Partnerschule *Herder-Gymnasium* hat den Wunsch an uns herangetragen, mit Schülern die eigenhändige Herstellung von Farbstoffsolarzellen durchzuführen, was in der Schule nicht möglich ist. Diesem Wunsch haben wir mit der Entwicklung des Moduls *Farbstoffsolarzelle* entsprochen, das nun auch anderen Schulen im dEIn-Labor angeboten werden kann. Wir haben dafür die Entwicklung des eigentlich geplanten Moduls *Smart Home* zurückgestellt. Zum einen sind beide Module als gleichwertig zu betrachten, sowohl, was den Kosten- und Arbeitsaufwand angeht, als auch was die inhaltliche Ausrichtung betrifft (beides sind interdisziplinäre Elektrotechnik-Module). Zum anderen passt die Entwicklung eines Smart-Home-Moduls auch sehr gut in eine weitere Reihe geplanter Module, die die Funktionsweise und Verwendung von Sensoren in der Elektrotechnik und Informatik zum Thema hat. Es ist vorgesehen, mit einem neuen Projektantrag finanzielle Unterstützung für die Entwicklung einer solchen sensor-basierten Projektmodulreihe zu beantragen.

Somit sind die bisher entstandenen Energiewende-Module als Beginn der Entwicklung einer Reihe von Projektmodulen zu sehen, die sowohl Umweltaspekte, als auch deren technische Realisierung und wissenschaftliche Untersuchung für Schüler_innen altersgerecht aufbereiten und in Experimenten anschaulich und nachhaltig vermitteln.

Literaturverzeichnis

- [1] Christoph Pawek. *Schülerlabore als interessenfördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2009.
- [2] Claudia Ermel and Inka Greusing. Experiment Studentin: Ein schulübergreifender Oberstufenkurs des Techno-Clubs an der Technischen Universität Berlin und sein Informatik-Projekt. In Carmen Leicht-Scholten and Ulrik Schroeder, editors, *Informatikkultur neu denken - Konzepte für Studium und Lehre*, pages 57–70. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [3] Volker Quaschnig. *Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe, Techniken und Planung, Ökonomie und Ökologie, Energiewende*. Carl Hanser Fachbuchverlag, 2013.
- [4] W. Osterhage. *Die Energiewende: Potenziale bei der Energiegewinnung: Eine allgemeinverständliche Einführung*. essentials. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [5] Klaus-Dieter Maubach. *Strom 4.0: Innovationen für die deutsche Stromwende*. Springer Vieweg, 2015.
- [6] Hartmut Ehrig, Claudia Ermel, Ulrike Golas, and Frank Hermann. *Graph and Model Transformation: General Framework and Applications*. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer Berlin Heidelberg, 2015.
- [7] Fachgebiet Theoretische Informatik und Formale Spezifikation (TFS), TU Berlin. *AGG – Modellierung und Simulation mit Attributierten Graph-Grammatiken*, 2015. <http://www.tfs.tu-berlin.de/agg>.

A Anhänge

Die Anhänge enthalten die Arbeitsunterlagen (Folien, Aufgabenblätter, Tutorials, Handouts, Musterlösungen, Programme), die wir zu den einzelnen Modulen entwickelt haben. Darüber hinaus hängen die verwendeten Evaluierungsbögen an, die von den Schüler_innen vor und nach Besuch der Workshops ausgefüllt wurden, sowie Programme und Vortragsfolien von Workshops, in denen das geförderte Projekt im Förderzeitraum vorgestellt wurde.

A.1 Unterlagen zum Robotik-Modul

- Folien *Windkraftanlagen*: Seite 29
- Tutorial *Messungen mit LabView*: Seite 34
- Anleitung *Dateiverarbeitung (DataLog) mit LabView*: Seite 35
- Merkblatt *Übersicht über NXT-Bausteine in Labview*: Seite 37
- Musterlösung *Labview-Programme Messreihen aufnehmen*: Seite 39
- Anleitung *Verarbeitung von Messreihen in Tabellenkalkulationsprogrammen (MS Excel, LibreOffice Calc)*: Seite 41
- Tafelbild *Vergleichen von Messreihen und Auswertung*: Seite 42
- Aufgabenstellung *Windrad-Dynamo*: Seite 43
- Musterlösung *Windrad-Dynamo*: Seite 44

A.2 Unterlagen zum Elektrotechnik-Modul

- Folien *Farbstoffsolarzellen – Funktionsweise*: Seite 45
- Handout *Farbstoffsolarzellen*: Seite 47
- Bauanleitung *Farbstoffsolarzellen – Aufbau*: Seite 58

A.3 Unterlagen zum Informatik-Modul

- Folien *Virtuelles Kraftwerk*: Seite 60
- Handout *Virtuelles Kraftwerk: Visuelle Modellierung mit Graphtransformation*: Seite 64
- Übersicht *AGG-Editor: Kurzzreferenz*: Seite 79
- Aufgabenblatt *Virtuelles Kraftwerk: Arbeitsblatt*: Seite 81

A.4 Evaluierungsbögen

- Evaluierungsbogen *Vor dem Workshop*: Seite 82
- Evaluierungsbogen *Nach dem Workshop*: Seite 85
- Feedback von Schülerinnen des Techno-Clubs (nach Besuch des Informatik-Moduls *Virtuelles Kraftwerk*): Seite 90

A.5 Öffentlichkeitsarbeit

- Vortragsfolien *Energiewende-Projekt für Schüler_innen* bei den Berliner Energieta-
gen, 29. April 2015: Seite 92
- Programm MNU-Landeskongress 2014. FU Berlin, 11. September 2014: Seite 93
- Programm Workshop Lehrerbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im
Lehr-Lern-Labor. FU Berlin, 11. September 2015: Seite 94



Was ist überhaupt Energie ?

- kommt vor in Physik, Technik, Chemie, Biologie und Wirtschaft
 - "die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten"
 - Energie ist nötig, um
 - einen Körper zu beschleunigen,
 - einen Körper entgegen einer Kraft zu bewegen,
 - eine Substanz zu erwärmen,
 - ein Gas zusammenzudrücken,
 - um elektrischen Strom fließen zu lassen.
 - Energie kann in verschiedenen **Energieformen** vorkommen
 - potentielle/kinetische Energie,
 - elektrische Energie
 - chemische Energie
 - thermische Energie
- und lässt sich von einer in die andere Form umwandeln.

Wie messen wir Energie ?

- Einheit **Joule**
- $$1 \text{ J} = 1 (\text{kg} \cdot \text{m}^2) / \text{s}^2 = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ VAs}$$

Anschaulicher:

Ein **Joule** ist gleich der Energie, die benötigt wird, um:

- den Angriffspunkt einer Kraft von einem Newton um einen Meter zu verschieben (**1 Newtonmeter**) – etwa um einen Körper mit der Masse 0,102 kg (das entspricht etwa einer Tafel Schokolade) um einen Meter anzuheben – oder
- eine Sekunde lang die Leistung von einem Watt – das ist ungefähr die Leistung des menschlichen Herzens – zu erbringen (**1 Wattsekunde**) oder
- bei einer elektrischen Spannung von einem Volt für die Dauer einer Sekunde einen elektrischen Strom von einem Ampere fließen zu lassen (**1 Voltamperesekunde**) oder
- ein Gramm Wasser von 15 °C um ca. 0,24 °C zu erwärmen.

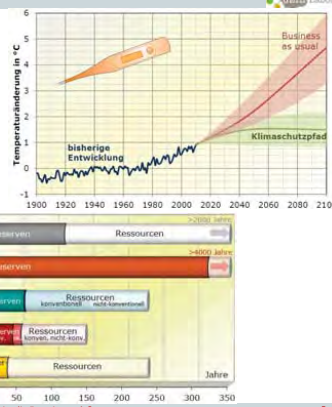
Woraus gewinnen wir Strom?

	Anteil 2013
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fossile Energien ▪ Braunkohle, Steinkohle, Erdgas, Erdöl, Torf 	55,7 %
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regenerative Energien ▪ Sonnenenergie ▪ Biomasse ▪ Windenergie ▪ Wasserkraft ▪ Hausmüll 	23,9 %
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kernenergie ▪ Kernspaltung, Radioaktivität, Kernfusion 	15,4 %

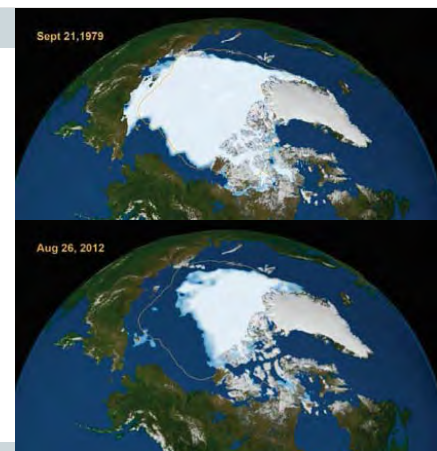
Jeder Mensch in Deutschland verbraucht mehr Energie im Jahr, als in sechs Tonnen Steinkohle steckt!

Warum sollte sich etwas ändern?

- Klimaschutz
 - schädliche CO₂-Emission führt zu Treibhauseffekt
 - Führt zu Erderwärmung und steigenden Meeresspiegeln
- Ressourcenknappheit
- Sicherheit (Kernenergie)



Erderwärmung



Anstieg der Meeresspiegel: Auswirkung auf Deutschland

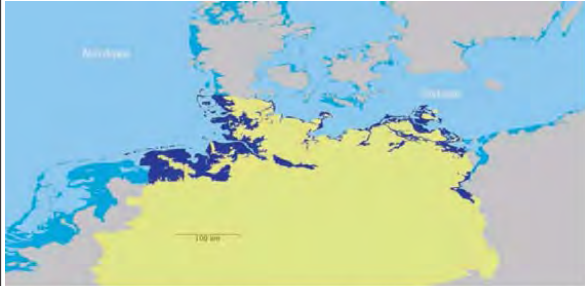


Abbildung 2.10 Bedrohte Gebiete in Norddeutschland, wenn der Meeresspiegel längerfristig um sieben Meter ansteigen würde. Grafik: Geuder, DLR

Projekt: Was ist die Energiewende?

8

Was soll sich ändern?

Idee 1: Mehr Energieeffizienz und Sauberkeit

- Wirkungsgrad von Kraftwerken verbessern (zur Zeit bei fossil befeuerten Kraftwerken: 38 %)
- CO₂-Filter einsetzen
- beim Hausbau: bessere Techniken und Materialien verwenden
- energieeffiziente Elektroniksysteme (zur Zeit muss ein Smartphone 1 x täglich aufgeladen werden)
- Brennstoffzellen zur "sauberen Energiegewinnung"
- LEDs als sparsame Lichtquellen (Ampeln, Straßenbeleuchtung)

Projekt: Was ist die Energiewende?

9

Was soll sich ändern?

Idee 2: Erneuerbare Energien statt Kernenergie und Fossiler Energie

- Windkraft
- Wasserkraft
- Biogas
- Solarthermie
- Photovoltaik
- Erdwärme



Projekt: Was ist die Energiewende?

10

Windkraftanlagen ... gar keine so neue Idee

12. Jhdt.



16. Jhdt.



Wilhelm Busch (1832-1908): „Ärgerlich“

Aus der Mühle schaut der Müller,
Der so gerne mahlen will,
Stiller wird der Wind und stiller,
Und die Mühle steht still.

So gehts immer, wie ich finde,
Rief der Müller voller Zorn...
Hat man Korn, so fehlt's am Winde,
Hat man Wind, so fehlt das Korn.

13

Windkraft

- Prinzip Generator
- 2013: > 25.000 Anlagen produzierten 8,4 % des Stroms (32 Gigawatt)
- Anteil Offshore: nur 1,2%
- ABER:**
- Soziale, politische und ökologische Aspekte:**
 - Geräusche, die stören könnten; verändertes Landschaftsbild
- Technische Aspekte:**
 - Schwankungen des Windes müssen kompensiert werden
 - Lange Leitungen sind erforderlich (Industrie als größter Stromverbraucher sitzt eher im Süden Deutschlands);

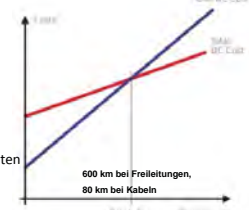
Projekt: Was ist die Energiewende?

14

Windkraft: Leitungsproblem

Technische Probleme mit langen Leitungen:

- Wechselstromübertragung** (heutige Technik)
 - hohe Verluste bei hohen Spannungen
 - aber gut manipulierbar, gut ab- und anzuschalten
- Gleichstromübertragungen**
 - weniger Verluste in den Leitungen, billiger bei langen Strecken
 - am Ende braucht man **Wechselrichter** (zur Wandlung von Gleich- in Wechselstrom), um vom Fortleitungsnetz in die Verteilernetze zu kommen (hochgradig komplizierte und sehr teure High-Tech-Komponenten) **???**
 - Gleichstrom kann man nur schwer an- und abschalten und steuern **???**



Projekt: Was ist die Energiewende?

15

Windkraft: Leitungsproblem

Das Innere eines Wechselrichters, den man am Ende einer Gleichstromübertragungsleitung braucht:



Projekt: Was ist die Energiewende?

Windkraft: Leitungsproblem

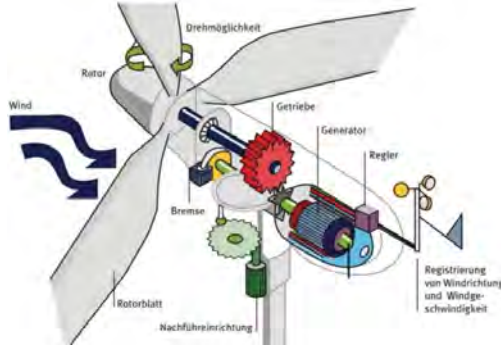
Stromrichterstation von außen:



Projekt: Was ist die Energiewende?

Windkraftanlagen

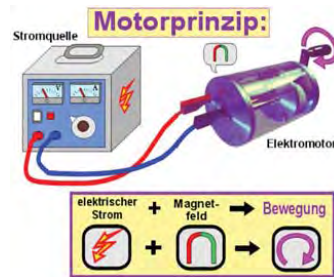
Funktionsweise:



Projekt: Was ist die Energiewende?

Generatoren und Motoren: Das gleiche Prinzip

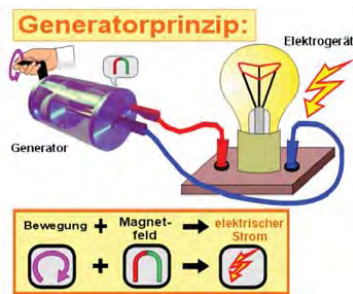
Prinzip: Umwandlung mechanischer Leistung in elektrische Leistung (Generator) und umgekehrt (Elektromotor)



Projekt: Was ist die Energiewende?

Generatoren und Motoren: Das gleiche Prinzip

Prinzip: Umwandlung mechanischer Leistung in elektrische Leistung (Generator) und umgekehrt (Elektromotor)



Projekt: Was ist die Energiewende?

Generatoren und Motoren: Das gleiche Prinzip

Prinzip: Umwandlung mechanischer Leistung in elektrische Leistung (Generator) und umgekehrt (Elektromotor)

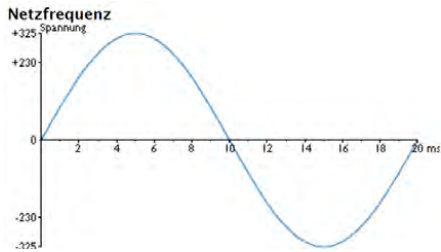
Video: Gleichstrom-Elektromotor

<http://www.zum.de/dwu/depotan/apem105.htm>

Projekt: Was ist die Energiewende?

Wechselstrom-Generator

Prinzip: Umwandlung mechanischer Leistung in elektrische Leistung



Projekt: Was ist die Energiewende?

23

Wechselstrom-Generator

Prinzip: Umwandlung mechanischer Leistung in elektrische Leistung

Video: Wechselstrom-Generator

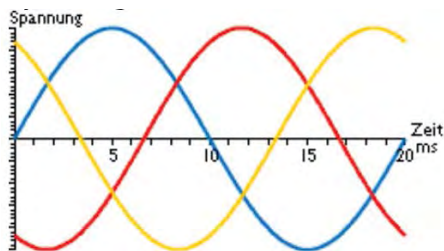
<http://www.zum.de/dwu/depotan/apem111.htm>

Projekt: Was ist die Energiewende?

24

Wechselstrom-Generator

Unser Stromnetz: Dreiphasen-Wechselstrom



Projekt: Was ist die Energiewende?

25

Wechselstrom-Generator

Unser Stromnetz: Dreiphasen-Wechselstrom

Video: Dreiphasen-Wechselstrom-Generator

<http://www.zum.de/dwu/depotan/apem112.htm>

Projekt: Was ist die Energiewende?

26

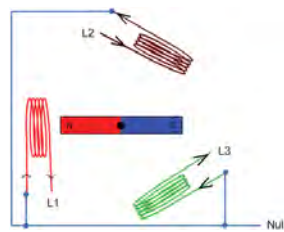
Wechselstrom-Generator in Windanlagen

Synchrongenerator:

läuft immer mit der gleichen Netzfrequenz

Asynchrongenerator:

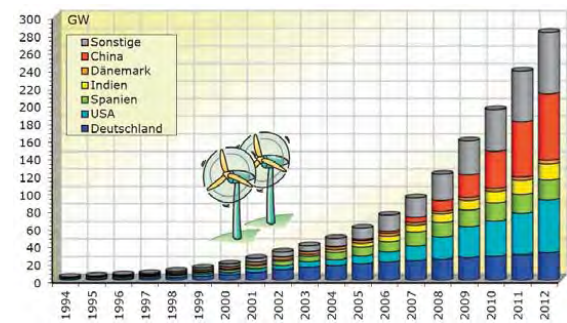
variable Frequenz;
muss anschließend in die Netzfrequenz transformiert werden.



Projekt: Was ist die Energiewende?

28

Entwicklung von Windkraftleistung weltweit



Projekt: Was ist die Energiewende?

29

Windkraftanlagen

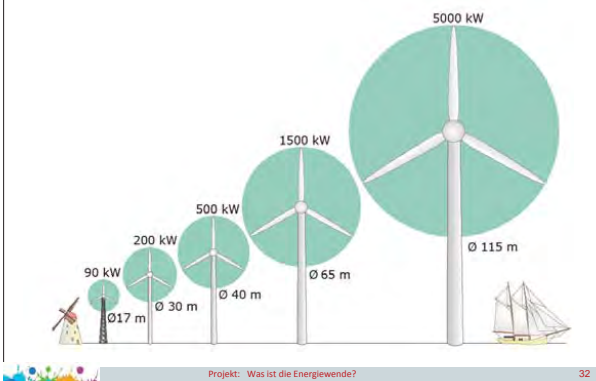


Windkraftanlagen



Windkraftanlagen

Größenentwicklung:

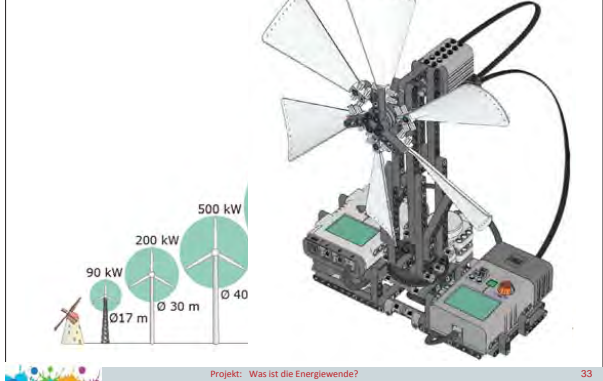


Projekt: Was ist die Energiewende?

32

Windkraftanlagen

Größenentwicklung:



Projekt: Was ist die Energiewende?

33

Experiment: Messen und Verarbeiten von Windenergie-Daten

Analog-Digital-Umsetzer

Das Lego-Energiemeter kann die vom Windrad induzierte analoge Spannung messen.

Es kann Spannung [V], Energie [J] und Stromstärke [A] an den NXT-Brick (Datenverarbeitungsbaustein) weitergeben.

Wie macht man aus analogen Größen digitale Werte?

Abtasten (Messen der Spannungswerte in kurzen Abständen), gemessene Amplituden digitalen Werten zuordnen.

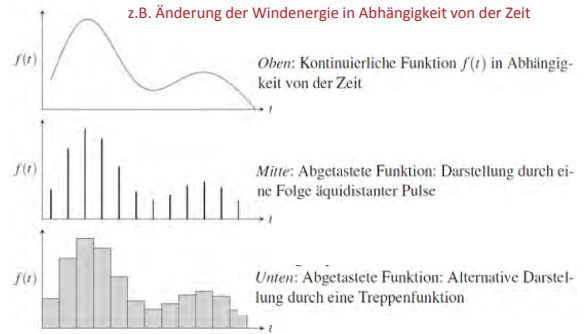
Projekt: Was ist die Energiewende?

34

Experiment: Messen und Verarbeiten von Windenergie-Daten

Abtastung einer Funktion $f(t)$

z.B. Änderung der Windenergie in Abhängigkeit von der Zeit




Projekt: Was ist die Energiewende?

35



Messungen mit LabVIEW

1. LabVIEW starten:

Starte LabVIEW (Desktop) 
 Wähle >Blank VI Targeted to NXT<
 Gehe auf die "weiße Oberfläche" (Block Diagram)

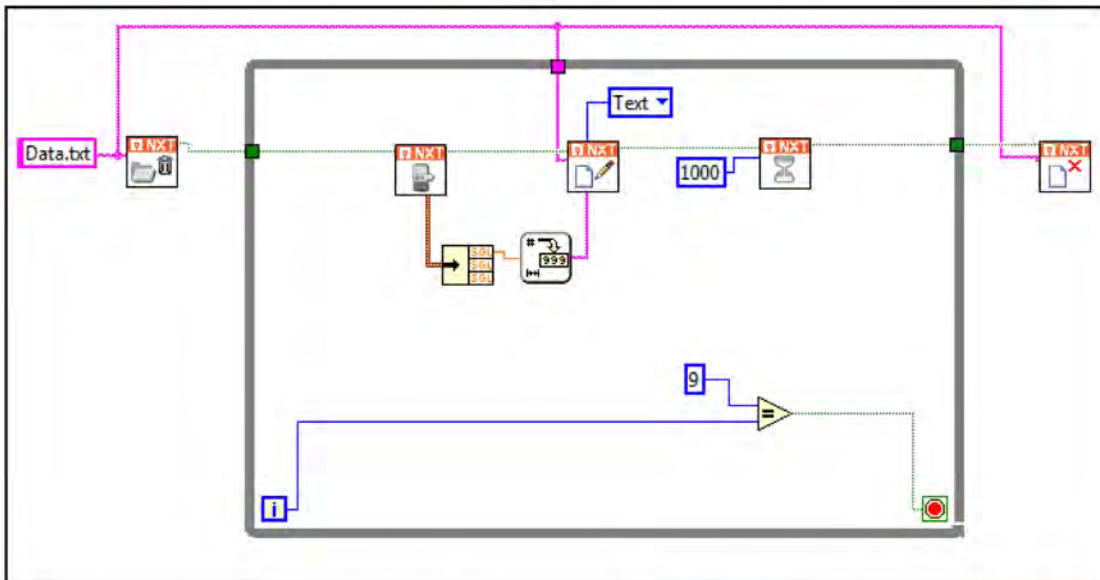


2. Öffne die Functions Palette

diese findest du unter >View< , >Functions Palette<

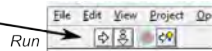
3. Erstelle das Programm DataLog

Verwende dafür die "Übersicht nützlicher Bausteine" und gegebenenfalls die "Anleitung DataLog"



4. Führe eine Messung durch

Schließe die Bauteile folgendermaßen an:
 Schalte den NXT-Baustein ein (orangener Knopf)
 Lade das Programm DataLog auf den NXT-Baustein und führe es aus.



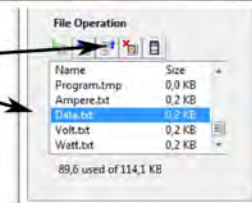
Drehe dabei an der Achse des Generators um Energie umzuwandeln.



5. Übertrage die Datei mit deinen gemessenen Daten auf den Computer

Öffne den "NXT Terminal" über >Tools< und >NXT Tools<
 Suche die deine Textdatei unter "File Operation".
 Wähle sie aus.

Klicke dann auf "Send File(s) to PC" und speicher die Datei auf dem Desktop
 Öffne die Datei auf dem Desktop.



Anleitung DataLog



1



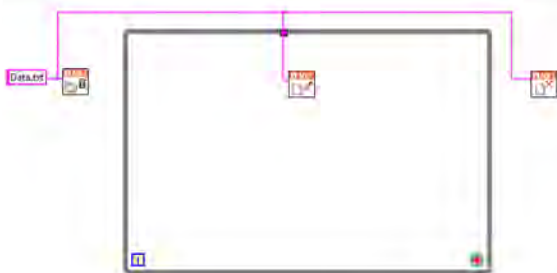
Wähle die "while"-Schleife und spanne einen Bereich auf. Die Befehle innerhalb der Schleife werden solange wiederholt, bis eine bestimmte Abbruchbedingung erfüllt ist.

2



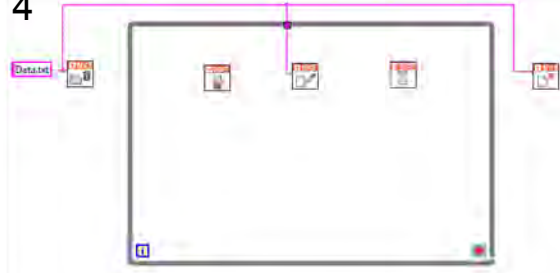
Füge die Bausteine "Delete File", "Easy Write File" und "Easy File Close" an entsprechende Positionen ein. Mit einem "Klick" auf den Baustein in der "Functions Palette" nimmt man ihn auf und positioniert ihn mit einem weiteren "Klick".

3



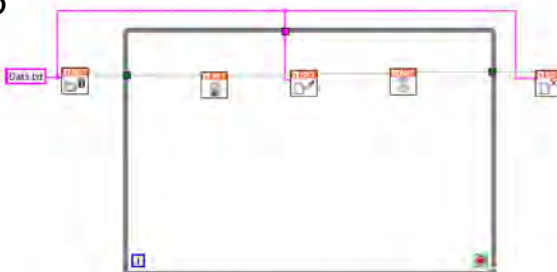
Benenne die Datei indem du mit einem "Rechtsklick" auf den Punkt für den Dateinamen gehst. Wähle dann >Create< und >Constant<. Gebe einen Dateinamen ein, der auf ".txt" endet. Verbinde nun die Punkte für den Dateinamen der beiden anderen Bausteine mit dem ersten. Dadurch ist klar, dass es sich immer um die selbe Datei handelt.

4



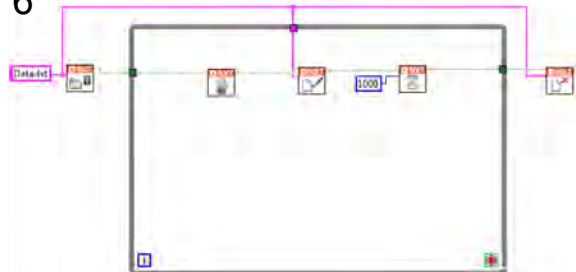
Füge nun die Bausteine "Wait" und das "EnergyMeter" hinzu. Das "EnergyMeter" findest du unter >Select a VI...<, >Desktop<, dann wähle >Energy_Meter.vi<.

5



Verbinde nun die Bausteine mit den "grünen Kabeln". Dadurch werden die Befehle/Bausteine nacheinander ausgeführt, wobei die Bausteine in der Schleife mehrfach wiederholt werden.

6



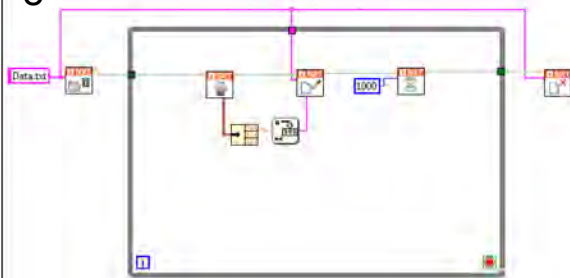
Stelle die zu wartende Zeit am Baustein "Wait" ein indem du mit der rechten Maustaste auf den linken blauen Punkt klickst. Wähle dann >Create< und >Constant<. Gebe die zu wartende Zeit in Millisekunden ein.

7



Füge die Bausteine "Unbundle" und "Number to String" hinzu.

8

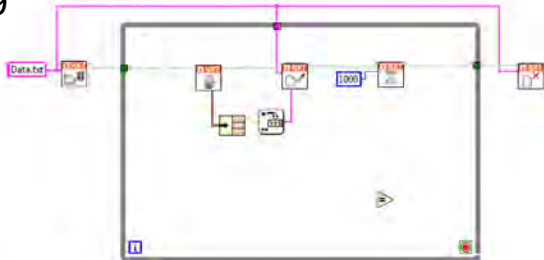


Verbinde den "Input" des "EnergyMeters" mit dem Input vom Baustein "Unbundle".

Jetzt kann auf die einzelnen Messwerte (Volt, Ampere und Watt) einzeln zugegriffen werden.

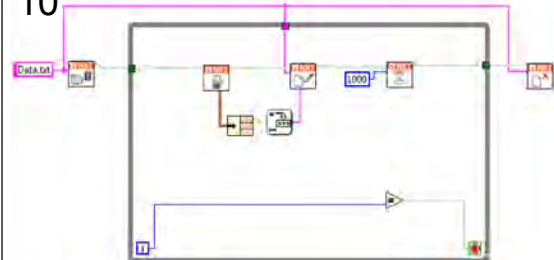
Verbinde den Messwert Volt (Integer) mit dem Baustein "Number to String" und diesen dann mit dem Input des Bausteins "Easy Write File". Dadurch wird bei jedem Durchgang die Messung in die Datei geschrieben.

9



Füge den Baustein "Equal?" hinzu.

10

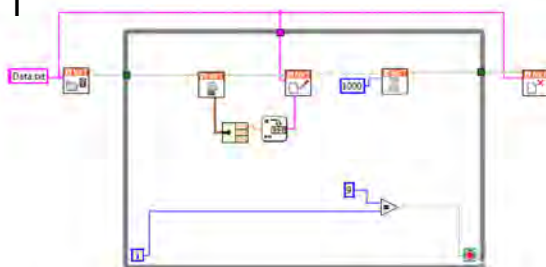


Verbinde den y-Eingang mit dem Index. Dieser startet bei "Null" und wird mit jedem Durchgang in der Schleife um eins größer.

Verbinde außerdem den Output des „Equal?“-Bausteins mit der Abbruchbedingung der Schleife.

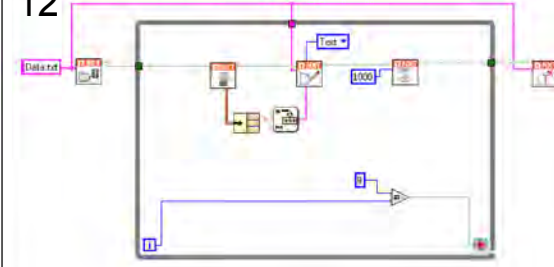
Es werden nun die Befehle in der Schleife solange wiederholt, bis die Abbruchbedingung erfüllt ist.

11



Klicke mit der rechten Maustaste auf den Punkt für den x-Wert. Wähle >Create< und dann >Constant<.
Jetzt kannst du die Anzahl der Durchgänge bestimmen (Wie oft soll gemessen werden?), indem du eine Zahl eingibst.

12



Definiere nun noch die Art der Datei also Textdatei.

Klicke mit der rechten Maustaste auf den oberen blauen Punkt am Baustein "Easy Write File".

Wähle >Create< und dann >Constant<.



Übersicht nützlicher Bausteine in LabVIEW mit NXT



NXT Programmierung

▶ Structures ▶ While Loop

Die While-Schleife wiederholt Befehle so lange, bis die eingestellte Abbruchbedingung erfüllt ist (Wahrheitswert „True“).

Platz für Befehle
Abbruchbedingung

▶ Cluster ▶ Unbundle

Ein Cluster (Gruppe von Datenobjekten) wird in einzelne Objekte aufgespalten.

Input Cluster
Output
Objekt 1 (Int, Boolean, ...)
Objekt 2 (Int, Boolean, ...)
...

▶ String ▶ String/Num... ▶ Number to S...

Wandelt eine Zahl (Integer oder Float) in einen Text (String) um.

▶ Comparison ▶ Equal?

Vergleicht zwei Zahlen x und y miteinander und gibt „True“ aus, falls $x = y$ gilt und „False“, falls $x < y$ oder $x > y$.

x
y
 $x > y?$

NXT I/O

▶ NXT Native I... ▶ Wait

Wartet für eine variierbare Zeit, bevor der nachfolgende Befehl ausgeführt wird.

Vorangegangene Befehle
Zeit in ms
Nachfolgende Befehle

▶ File Access ▶ Delete File

Löscht bereits vorhandene Datei mit entsprechendem Namen.

Dateiname
Typ der Datei (Text)

▶ Easy Write File

Schreibt Text („String“) in eine Textdatei.

Input String
Dateiname

▶ Easy File Close

Schließt die Datei und speichert sie auf dem NXT-Baustein.

Dateiname

▶ Display ▶ Display Text

Location – gibt an, wo auf dem Display der Text ausgegeben werden soll.

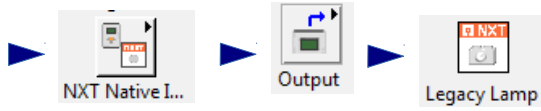
Text – hier kann der zu zeigende Text eingegeben werden.

▶ Sound ▶ Play Tone

Dauer des Tons in ms

Lautstärke

▶ NXT I/O



Output – hier wird der Port eingestellt, an dem die Lampe angeschlossen ist.

Intensity – gibt die Intensität an, mit der die Lampe leuchten soll.

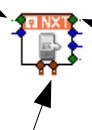


▶ Select a VI... ▶ >Desktop< ▶ >Energy_Meter.vi<

Symbolisiert den Baustein Energy Meter und ermöglicht einen Zugriff auf die Messwerte.

Vorangegangene Befehle

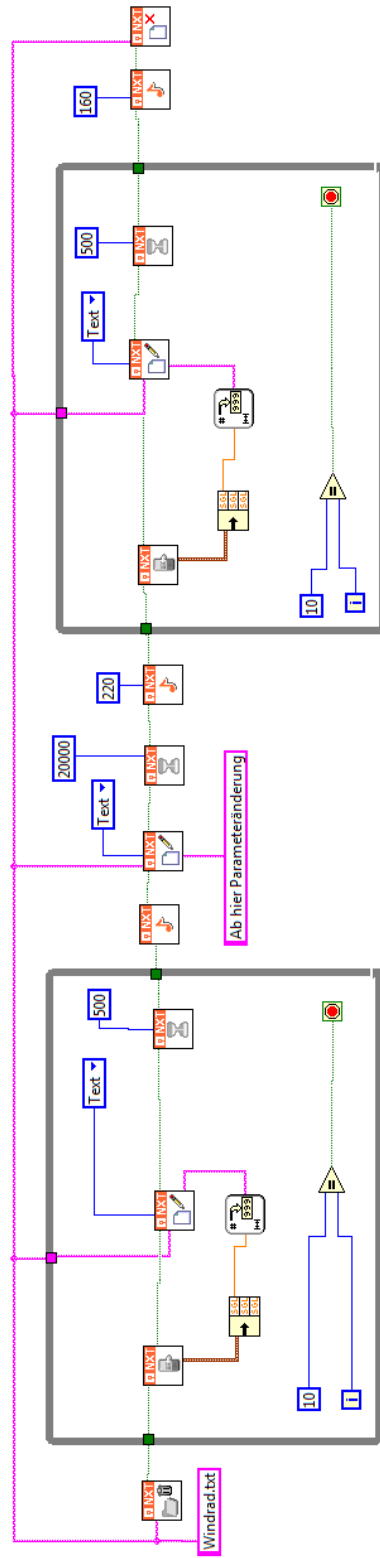
Nachfolgende Befehle



Messwerte vom Input (zugeführte Energie) -->Cluster

Programm DemoWindradZweiMessungen.vi: Zwei Messungen nacheinander aufnehmen

Nach 10 Messwerten ertönt ein Piepton, dann wird der Text „Ab hier Parameteränderung“ in die Datei geschrieben und es wird 20 Sekunden gewartet, damit man etwas im Messaufbau ändern kann. Nach Ablauf der 20 Sekunden ertönt ein weiterer Piepton (tiefer) und die zweite Messreihe beginnt. Nach weiteren 10 Werten piept es noch einmal zum Abschluss.

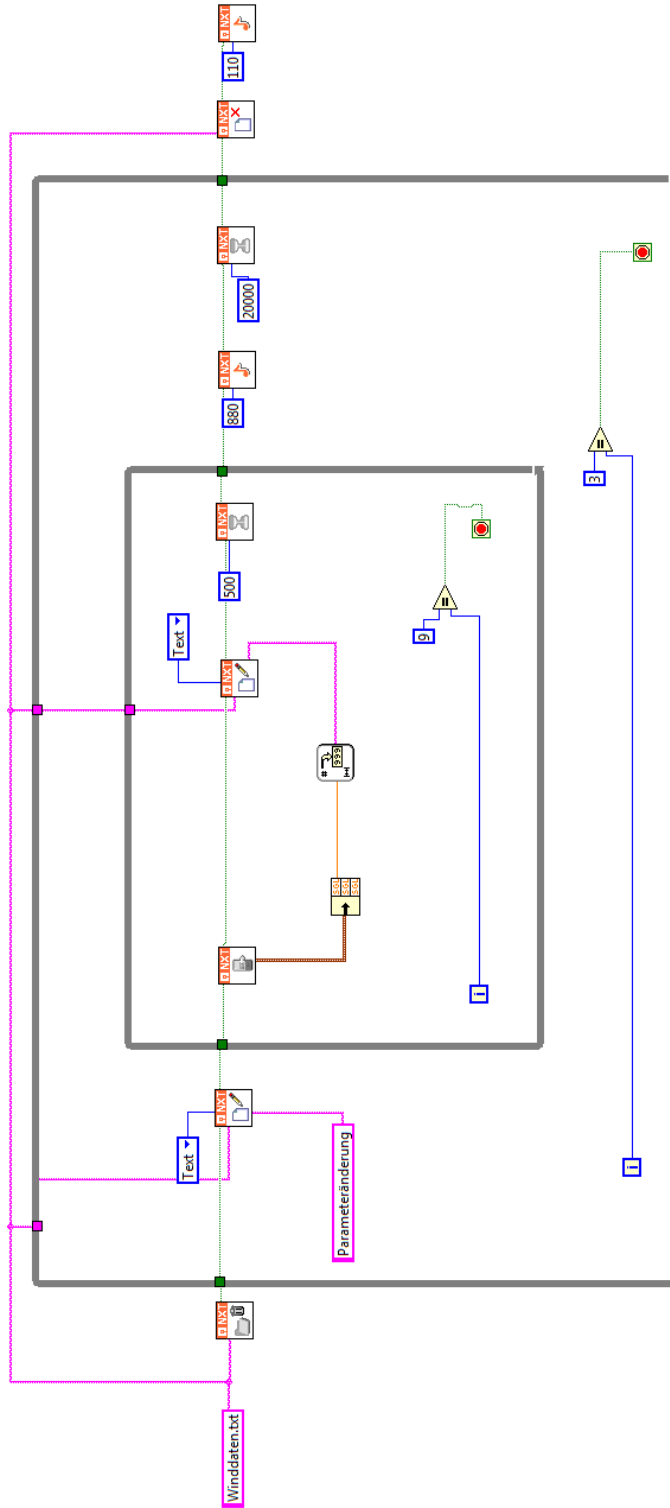


Programm Demo-Windrad-viele-Messungen.vi: Viele Messungen nacheinander aufnehmen:

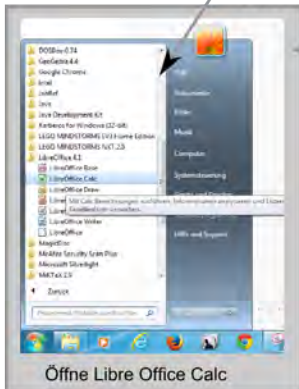
Anzahl der Messungen ist die Durchlaufzahl der großen Schleife außen (hier: 3)

Nach 9 Messwerten wird das Wort „Parameteränderung“ in die Datei geschrieben, ein hoher Signalton erklingt und es wird 20 Sekunden gewartet.

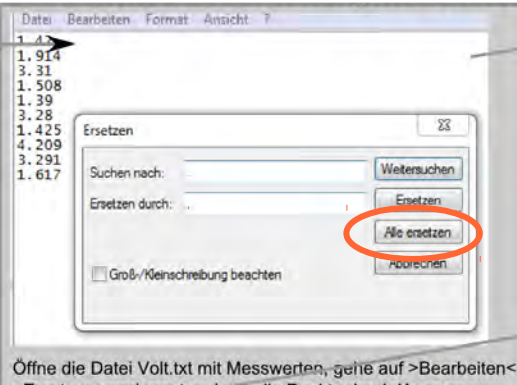
Nach Ende aller Messungen (hier: 3 mal je 9 Werte) erklingt ein tiefer Signalton.



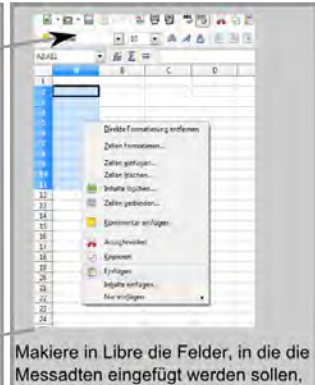
Beispiele zur Weiterverarbeitung der Messwerte



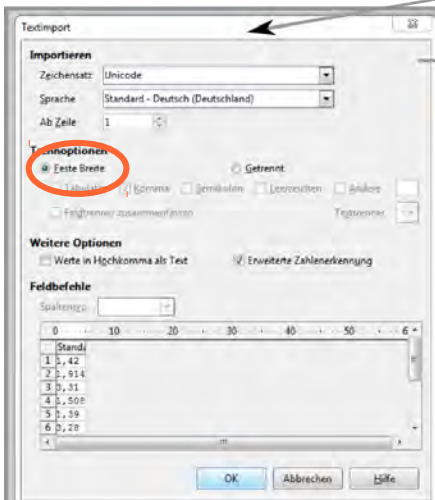
Öffne Libre Office Calc



Öffne die Datei Volt.txt mit Messwerten, gehe auf >Bearbeiten<, >Ersetzen< und ersetze dann alle Punkte durch Kommas



Makiere in Libre die Felder, in die die Messdaten eingefügt werden sollen, Rechtsklick - >Einfügen<.



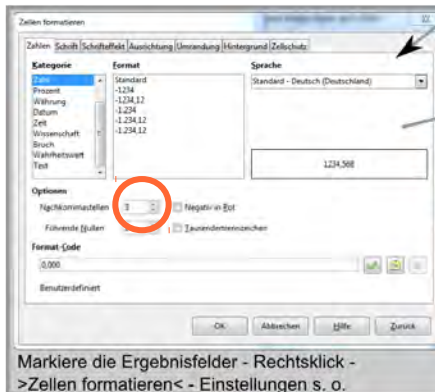
Es öffnet sich das folgende Fenster. Wähle unter >Trennoptionen< >Feste Breite< aus und klicke dann auf >OK<.

	A	B	C
1	U in V	I in A	P in W
2	1,42	0,001	=A2*B2
3	1,914	0,029	
4	3,31	0,03	
5	1,508	0,002	
6	1,39	0,001	
7	3,28	0,069	
8	1,425	0,001	
9	4,209	0,02	
10	3,291	0,037	
11	1,617	0,005	

Füge die Daten aus "Ampere.txt" in gleicher Weise ein. Beschrifte die Werte. Führe für die erste Zeile die Rechnung durch, um die Leistung zu berechnen.

	A	B	C	E
1	U in V	I in A	W in J	E in J
2	1,420	0,001	0,001	0,001
3	1,914	0,029	0,056	0,056
4	3,310	0,030	0,099	0,099
5	1,508	0,002	0,003	0,003
6	1,390	0,001	0,001	0,001
7	3,280	0,069	0,226	0,226
8	1,425	0,001	0,001	0,001
9	4,209	0,020	0,084	0,084
10	3,291	0,037	0,122	0,122
11	1,617	0,005	0,008	0,008
12				

Ziehe das Feld über die Spalte nach unten. Dadurch wird die Rechnung für die anderen Spalten in gleicher Weise durchgeführt.



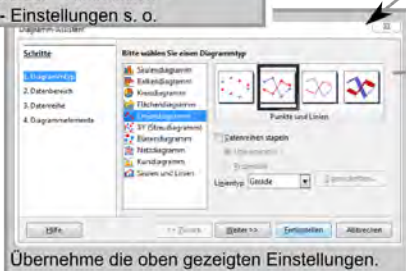
Markiere die Ergebnisfelder - Rechtsklick - >Zellen formatieren< - Einstellungen s. o.

	A	B	C
1	U in V	I in A	P in W
2	1,420	0,001	0,001
3	1,914	0,029	0,056
4	3,310	0,030	0,099
5	1,508	0,002	0,003
6	1,390	0,001	0,001
7	3,280	0,069	0,226
8	1,425	0,001	0,001
9	4,209	0,020	0,084
10	3,291	0,037	0,122
11	1,617	0,005	0,008

Markiere die Ergebnisfelder um sie in einem Diagramm darzustellen.



Klicke auf das Symbol:



Übernehme die oben gezeigten Einstellungen.

	A	B	C	D
1	U in V	I in A	W in J	E in J
2	1,420	0,001	0,001	=SUMME(C2:C11)
3	1,914	0,029	0,056	
4	3,310	0,030	0,099	
5	1,508	0,002	0,003	
6	1,390	0,001	0,001	
7	3,280	0,069	0,226	
8	1,425	0,001	0,001	
9	4,209	0,020	0,084	
10	3,291	0,037	0,122	
11	1,617	0,005	0,008	
12				

Berechne die Summer der Leistungen. Diese gibt dir die in 10 Sekunden umgewandelte Energiemenge an.

Forschung

Warum Variation des Parameters? - Entwicklung

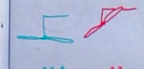

hohe Effektivität !!

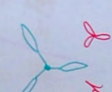

Ergebnis

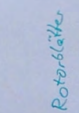
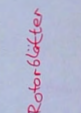
Warum automatisierte Messung? - Schnell

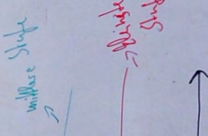
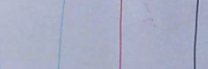
Was kann man ändern?

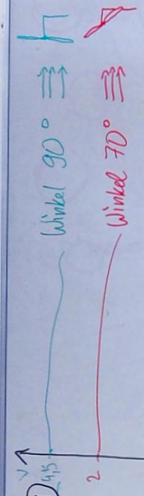
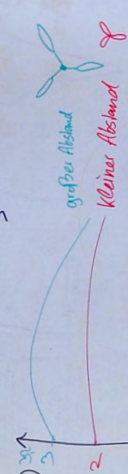
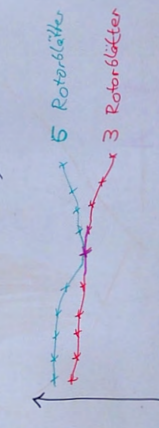
- 1 Ausrichtung / Winkel zum Wind
- 2 Windrädels Form, Größe, Abstand der Blätter von der Achse
- 3 Anzahl des Blattes n_d
- 4 Windstärke variieren
- 5 Last an das Windgennd erhöhen

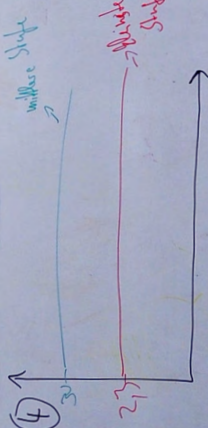
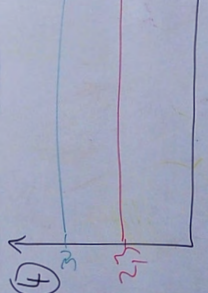
Winkel 90°  Winkel 70° 

großer Abstand  kleiner Abstand 

5 Rotorsblätter  3 Rotorsblätter 

influsst Stufe  \rightarrow flache Stufe 

①  ②  ③ 

④  ⑤ 



Herzlich willkommen bei der **dEIn-Labor Windkraft GmbH**. Wir wollen die Fahrradbeleuchtung revolutionieren!

Unser Ziel ist es, mit dem Fahrtwind ein Windrad anzutreiben. Dieses Windrad wird mit einem Smart-Interface verbunden (Lego Energiemeter und NXT). Über diese Schnittstelle steuern wir unsere Fahrradbeleuchtung.

Unsere Features sind:

Zwei dauerhaft leuchtende weiße Lampen, ein rotes Standlicht und eine grüne Warnleuchte, die uns anzeigt, dass wir zu wenig Energie haben.



1. Weißes Licht

Die weißen Lampen werden direkt an das Energiemeter angeschlossen. Im Energiemeter befindet sich ein Akku, der über den Windgenerator geladen wird.

Solange genug Energie vorhanden ist, werden diese beiden Lampen dauerhaft leuchten.

Ob sich das Windrad dreht oder nicht, die Lampen leuchten Akku-betrieben. Weht Wind, so wird der Akku aufgeladen.

Steht das Windrad aber dauerhaft, wird nach und nach die Energie verbraucht, der Akku wird entladen; bald kann er keine Versorgungsspannung mehr liefern und die Lampen gehen aus.

2. Rotes Licht (Standlicht)

Die rote Lampe wird mit dem NXT verbunden, das ist der Baustein, den wir programmieren können. Der NXT bezieht seine Versorgungsspannung über den USB-Port vom PC.

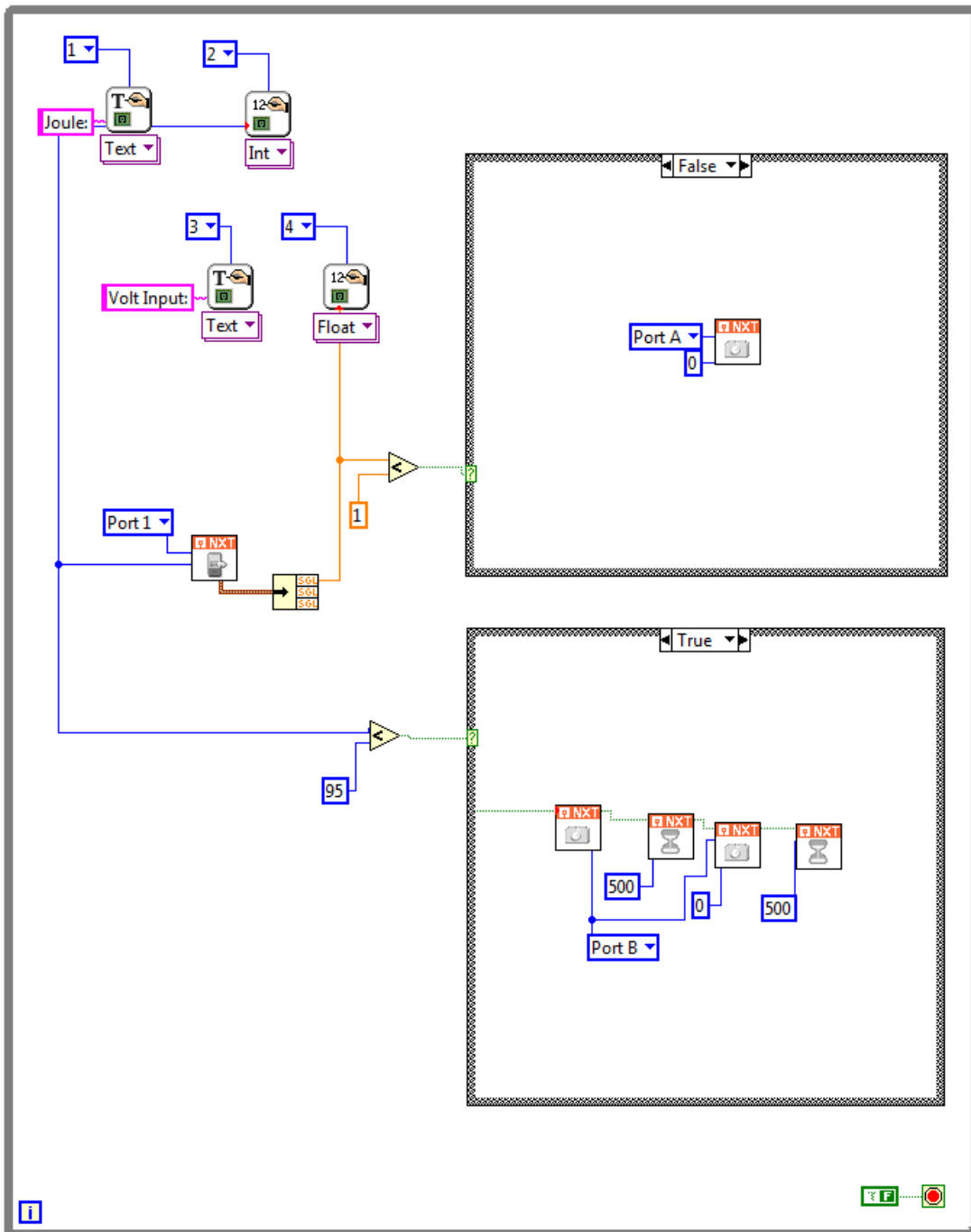
Wenn das Windrad steht (kein Fahrtwind), soll die rote Lampe leuchten.

Im windstillen Zustand sendet das Energiemeter eine „0“ an den Input vom NXT-Baustein. Im Zustand „drehendes Windrad“ sendet das Energiemeter eine „1“ an den Input vom NXT-Baustein.

3. Grünes Licht (Anzeige für zu wenig Energie)

Die grüne Lampe wird mit dem NXT verbunden.

Wenn die Joule-Daten am Output vom Energiemeter einen bestimmten Wert unterschreiten, dann soll die grüne Lampe blinken. Wobei *Blinken* eine andere Bezeichnung ist für Einschalten-Warten-Ausschalten-Warten-Einschalten...



Farbstoffsolarzellen: Funktionsweise

gefördert durch
DBU
Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

Technische Universität Berlin

dEin Labor.

Funktion einer Siliziumsolarzelle

Dotierung von Silizium (4 Elektronen außen)

Oben: mit Phosphor (5 Elektronen außen): n-Halbleiter

Unten: mit Bor (3 Elektronen außen): p-Halbleiter

Seite 2

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Technische Universität Berlin

dEin Labor.

Funktion einer Siliziumsolarzelle

Dotierung von Silizium (4 Elektronen außen)

Oben: mit Phosphor (5 Elektronen außen): n-Halbleiter

Unten: mit Bor (3 Elektronen außen): p-Halbleiter

Vereinfachte Darstellung:

Seite 3

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Technische Universität Berlin

dEin Labor.

Funktion einer Siliziumsolarzelle

An der Grenzschicht zwischen n- und p-Schicht diffundieren die Löcher in die n-Schicht und die Elektronen in die p-Schicht und es entsteht dadurch eine von freien Ladungsträgern verarmte Raumladungszone

Seite 4

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Technische Universität Berlin

dEin Labor.

Trifft Licht (Photonen - grün) in die Raumladungszone, so kann es ein Elektron aus dem Atom lösen. Das Restatom ist dann positiv geladen, es besitzt eine Elektronenfehlstelle, also ein Loch.

Es kommt also zu einer Ladungstrennung und somit einer Spannung.

Seite 5

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Technische Universität Berlin

dEin Labor.

Verbindet man die Metallkontakte der Solarzelle mit einem Verbraucher, so fließt Strom. Dabei bewegen sich die Elektronen durch die n-Schicht nach oben und gelangen in den äußeren Stromkreis.

Die Löcher fließen durch die p-Schicht nach unten und werden durch die Elektronen, die über den äußeren Stromkreis zur p-Schicht fließen aufgehoben (Rekombination).

Seite 6

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Technische Universität Berlin

dEin Labor.


Michael Grätzel: Erfinder der Farbstoffsolarzelle



(<https://www.youtube.com/watch?v=WIYTXrCbK70> ab 4:35)

Seite 7 Farbstoffsolarzellen selber bauen

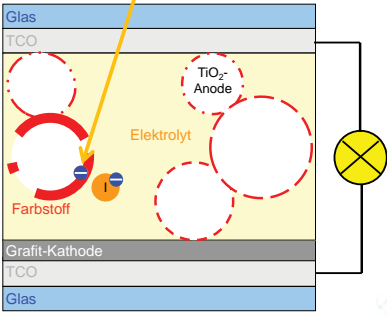
Anwendungsbeispiel



Aufladen des Smartphones im Vorübergehen...

Seite 8 Farbstoffsolarzellen selber bauen

Funktionsweise der Grätzel-Zelle

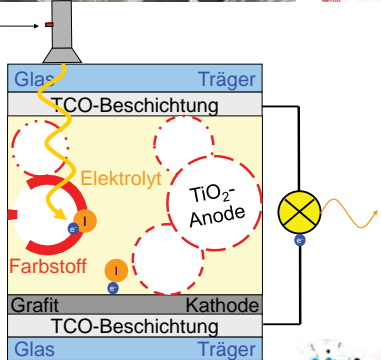


The diagram shows a cross-section of the cell with layers: Glas, TCO, TiO₂-Anode, Elektrolyt, Farbstoff, Grafit-Kathode, TCO, and Glas. It illustrates the flow of electrons and ions during operation.

Seite 9 Farbstoffsolarzellen selber bauen

Funktionsweise der Grätzel-Zelle

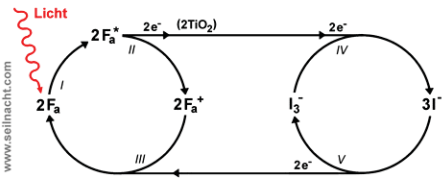
Für Start click auf



The diagram shows a cross-section of the cell with layers: Glas, Träger, TCO-Beschichtung, Elektrolyt, Farbstoff, TiO₂-Anode, Kathode, TCO-Beschichtung, and Glas. It illustrates the flow of electrons and ions during operation.

Seite 10 Farbstoffsolarzellen selber bauen

Regelkreise in der Farbstoffsolarzelle



The diagram shows two coupled redox cycles. Cycle I: 2F_a → 2F_a⁺ + 2e⁻ (Anregung des Farbstoffes durch Licht). Cycle II: 2F_a⁺ + 2e⁻ → 2F_a (Oxidation und Elektronenübertragung ans Titandioxid). Cycle III: 2F_a⁺ + 2e⁻ → 2F_a (Reduktion des oxidierten Farbstoffes). Cycle IV: I₃⁻ + 2e⁻ → 3I⁻ (Reduktion der Triiodid-Ionen zu Iodid-Ionen). Cycle V: 3I⁻ → I₃⁻ + 2e⁻ (Oxidation der Iodid-Ionen).

Seite 11 Farbstoffsolarzellen selber bauen

Anforderungen an das Solarzellen-Design

Leider ist der erzeugte Strom *sehr* klein. Um dennoch das maximal Mögliche herauszuholen braucht es:

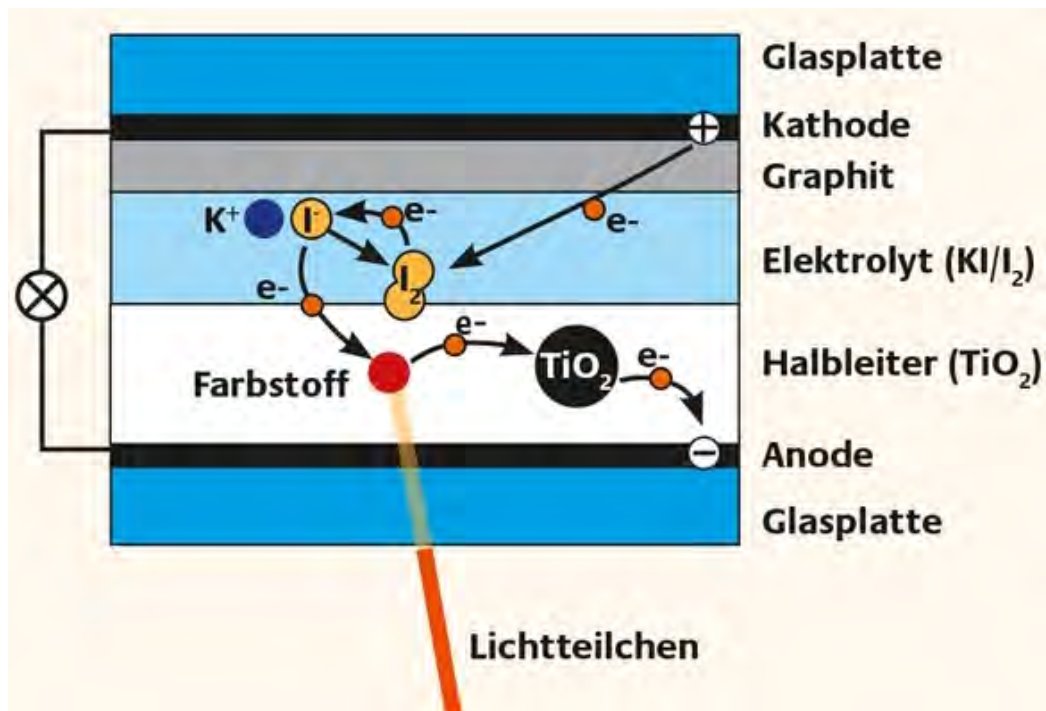
- Eine sehr dünne TiO₂-Schicht
 - Lichtdurchlässigkeit, schlechte Leitfähigkeit des TiO₂
- Möglichst „flüssiges“ Elektrolyt
 - Kurze Laufzeit der Iod-Moleküle zur Graphitschicht
- Eine starke Färbung des TiO₂
 - Viel Farbstoff, viel Licht wird umgewandelt
- Einen sehr kleinen Abstand zwischen TiO₂ und Anode
 - Aber keine Berührungsstellen zwischen beiden
 - Sonst Kurzschluss, und der Ausgleichsstrom fließt *in* der Zelle.

Seite 12 Farbstoffsolarzellen selber bauen



Projekt: Farbstoffsolarzelle

Elektrische Energie aus Licht



das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV
<http://www.dein-labor.tu-berlin.de>





Handout zum Projekt:

Farbstoffsolarzelle Elektrische Energie aus Licht

In diesem Projekt lernt ihr die Funktionsweise von Farbstoffsolarzellen kennen. Dazu werden wir uns erst ein paar Begriffe aus der Elektrotechnik ansehen, z.B. Ladung, Strom, Spannung und Halbleiter. Was sind Solarzellen eigentlich?

Und wie werden sie üblicherweise hergestellt? Was ist der Unterschied von Silizium-Solarzellen und Farbstoffsolarzellen? Und wer ist Michael Grätzel? Wenn wir das alles geklärt haben, geht es an den Aufbau der Farbstoffsolarzelle. Nach dem Bauen schauen wir, wieviel Energie unsere selbstgebauten Farbstoffsolarzellen aus Sonnenlicht liefern können. Reicht die Energie zum Beispiel aus, um einen elektronischen Taschenrechner zu betreiben?

Die Entwicklung des Projekts wurde gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Was ist eine Farbstoffsolarzelle?	2
2 Elektrotechnik	2
2.1 Strom und Spannung	3
2.2 Ladung und Energie	4
3 Solarzellen aus Silizium	4
4 Farbstoffsolarzellen	4
4.1 Photosynthese	4
4.2 Elektrolyte	5
4.3 Aufbau der Farbstoffsolarzelle	5
4.4 Funktionsprinzip	7
4.4.1 Die chemischen Reaktionen	8
4.5 Was bringt die Grätzel-Zelle?	9

1 Einleitung

Die Photovoltaik bezeichnet die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen. Der Umwandlungsprozess beruht auf dem 1839 von Alexander Bequerel entdeckten



Projekt: Farbstoffsolarzelle

Photoeffekt, das heißt auf der Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.

Bis 1990 nahm man dafür nur Halbleitermaterialien, zum Beispiel Silizium.

WICHTIG

Halbleiter sind Stoffe, die unter Zufuhr von Licht oder Wärme elektrisch leitfähig werden, während sie bei tiefen Temperaturen isolierend wirken.

Halbleitermaterialien haben allerdings eine Reihe von Nachteilen:

- Man benötigt sie als Element und muss sie aufwendig aus Verbindungen herstellen.
- Da sie extrem rein sein müssen, sind sie aufwendig zu reinigen.
- Sie funktionieren nur mit bestimmten, genau dosierten Verunreinigungen (Dotierungen).
- Die Materialien sind spröde, d.h. Solarmodule benötigen einen stabilen Träger, der sie vor Verbiegen schützt.

Seit der Erfindung der Farbstoffsolarzelle 1991 wird intensiv daran geforscht, ob diese Art der Energiegewinnung aus Sonnenlicht nicht besser und effizienter gemacht werden kann als die Verwendung von Solarzellen aus Silizium.

1.1 Was ist eine Farbstoffsolarzelle?

Die Farbstoffsolarzelle wird nach ihrem Erfinder auch Grätzel-Zelle genannt.¹ Sie arbeitet mit ungiftigem Titandioxid, erreicht einen Wirkungsgrad von 12 Prozent und ist sehr billig.

Das Funktionsprinzip ähnelt der Photosynthese: In der Grätzel-Zelle werden die Elektronen einer hauchdünnen Farbstoffschicht durch das einfallende Sonnenlicht angeregt und fließen dann durch eine Halbleiterschicht aus Titandioxid in die auf Glas angebrachte Leiterschicht. Der Farbstoff selbst gleicht sein Ladungsdefizit mit Elektronen aus einer darüberliegenden Schicht Jodlösung wieder aus. Was das alles genau bedeutet, das weißt Du (hoffentlich) am Ende unseres Projekts.

2 Elektrotechnik

Die Elektrotechnik findet man an jeder Straßenecke. Überall blinkt es, große Leuchttafeln erzählen uns, was wir als nächstes kaufen sollen, und zu Hause flimmern im Fernseher die neuesten Nachrichten vor sich hin. Aber auch in der Natur finden wir die Elektrotechnik: wenn die grauen, dunklen Wolken am Himmel ihre Blitze zucken lassen.

¹ Der deutsche Chemiker Michael Grätzel erfand 1991 zusammen mit dem amerikanischen Forscher Brian O'Regan die erste effiziente Farbstoffsolarzelle in Lausanne in der Schweiz.



Richtig, ein Blitz ist reine Elektrizität. Die Elektrotechnik hat sich zur Aufgabe gemacht, die Elektrizität näher zu erforschen und dessen Auswirkungen zum Wohle der Menschheit einzusetzen. Wir lassen damit Lampen leuchten, Motoren drehen oder Musik erklingen.

WICHTIG

Die Elektrotechnik beschäftigt sich mit der Änderung von Strom und Spannung.

2.1 Strom und Spannung

Wenn man von einer „Strömung im Fluss“ spricht, weiß jeder, was damit gemeint ist. Wenn ein Fluss schnell fließt, dann hat er eine hohe Strömung. Das gleiche gibt es in der Elektrotechnik. Statt Wasser haben wir ganz kleine Teilchen, die sich in einem Draht bewegen. Wir nennen diese Teilchen Ladungsträger.

WICHTIG

Wenn sich in der Elektrotechnik Ladungsträger bewegen, spricht man von einem Strom.

Formelzeichen: I für die Stromstärke Einheit: A zum Andenken an den Physiker *André Marie Ampère*, gesprochen „Ampehr“

Wie fließt ein Fluss? Natürlich nur bergab, denn an dem Wasser zieht eine Kraft. Die Kraft ist die Anziehungskraft der Erde. Alles will nach unten, ein Apfel, den ich fallen lasse oder das Wasser, welches bergab fließt. In der Elektrotechnik gibt es ebenfalls so eine Kraft, diese nennen wir Spannung. Und wenn wir eine Spannung anlegen, dann bewegen sich Ladungsträger, also fließt ein Strom.

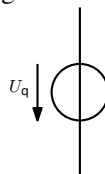
WICHTIG

Eine Spannung ist eine Kraft, die Ladungsträger in Bewegung setzt.

Formelzeichen: U

Einheit: V zum Andenken an den Physiker *Alessandro Volta*, gesprochen „Volt“.

In der Elektrotechnik gibt es Schaltungssymbole, damit jeder elektrotechnisch Begeisterte auf der Welt weiß, was man in einer Schaltung meint. Hier das Symbol für eine Spannungsquelle:





Projekt: Farbstoffsolarzelle

2.2 Ladung und Energie

Um die *elektrische Ladung* verstehen zu können, muss man sich den Aufbau eines Atoms einmal näher ansehen. Ein Atom besteht aus einer Atomhülle, in der sich elektrisch negativ geladene Elektronen befinden. Im Atomkern hingegen befinden sich die elektrisch neutralen Neutronen und die positiv geladenen Protonen. Von Natur aus sind Stoffe nach außen hin nicht geladen, man spricht dann von elektrisch neutral. Hat ein Körper hingegen mehr Elektronen als Protonen, ist er negativ geladen. Und umgekehrt: Hat ein Körper mehr Protonen als Elektronen, ist er positiv geladen. Dabei besitzt ein Elektron die kleinste elektrische Ladung, welche als Elementarladung bezeichnet wird. Ladung wird in der Einheit *Coulomb* angegeben und mit dem vom lateinischen Wort ‚quantum‘ abgeleiteten Formelzeichen Q oder q ausgedrückt. Sich bewegende elektrische Ladung bedeutet elektrischen Strom.

Die *elektrische Energie* E , die auch als elektrische Arbeit W bezeichnet wird, ergibt sich aus dem Produkt der beiden Größen Spannung und Stromstärke (wenn beide konstant sind):

$$E = U \cdot I \cdot \Delta t \text{ mit der Zeitdifferenz } \Delta t = t_1 - t_0.$$

Elektrische Energie kann wie jede andere Energie nicht vernichtet oder erzeugt werden, sondern wird grundsätzlich in eine andere Erscheinungsform gewandelt. Mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes kann die elektrische Energie bestimmt werden, indem man die zu ihrer Erzeugung notwendige mechanische Energie berechnet.

3 Solarzellen aus Silizium

Zur Herstellung einer Solarzelle aus Silizium wird das Halbleitermaterial „dotiert“: Es wird ein weiteres chemisches Element aufgebracht, mit dem man entweder einen positiven Ladungsträgerüberschuss (*p*-leitende Halbleiterschicht) oder einen negativen Ladungsträgerüberschuss (*n*-leitende Halbleiterschicht) im Halbleitermaterial erzeugt. Werden zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterschichten gebildet, entsteht an der Grenzschicht ein sogenannter *p-n*-Übergang. An diesem Übergang baut sich ein inneres elektrisches Feld auf, das zu einer Ladungstrennung der bei Lichteinfall freigesetzten Ladungsträger führt. Über Metallkontakte (Sammelschiene) kann eine elektrische Spannung abgegriffen werden (siehe [Abbildung 1](#)). Wird der äußere Kreis geschlossen, das heißt ein elektrischer Verbraucher angeschlossen, fließt ein Gleichstrom.

4 Farbstoffsolarzellen

Bei der Entwicklung seiner Farbstoffsolarzelle hat sich Michael Grätzel vom Prinzip der Photosynthese inspirieren lassen.

4.1 Photosynthese

Bei der Photosynthese werden energiereiche Stoffe aus energieärmeren Stoffen erzeugt, und zwar mit Hilfe von Lichtenergie. Die Photosynthese wird von Pflanzen, Algen und einigen Bakterien betrieben. Bei diesem biochemischen Vorgang wird zunächst mit Hilfe von den lichtabsorbierenden Farbstoffen Chlorophyll oder Bakteriochlorophyll Lichtenergie in chemische Energie

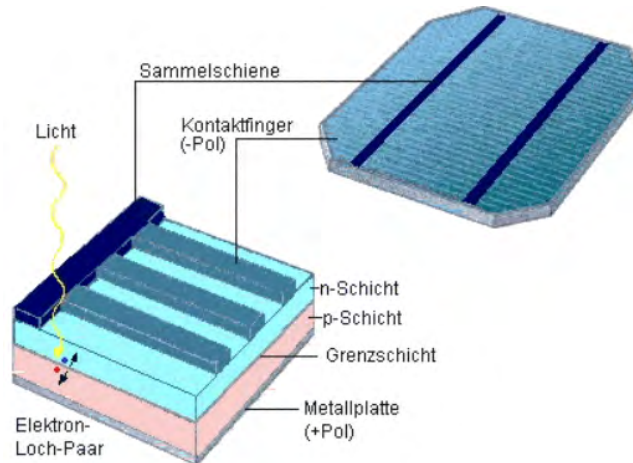


Abbildung 1: Aufbau einer Solarzelle

umgewandelt. Diese wird dann unter anderem zum Aufbau energiereicher organischer Verbindungen – sehr oft Kohlenhydrate - aus energiearmen, anorganischen Stoffen, hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid CO_2 (Kohlenstoffdioxid-Assimilation) und Wasser H_2O , verwendet.

Der Unterschied zur Farbstoffsolarzelle ist nun, dass man aus Lichtenergie keine Kohlenhydrate, sondern elektrischen Strom erzeugen will. Daher brauchen wir für die chemische Reaktion Stoffe, die auch Strom leiten können, sogenannte *Elektrolyte*.

4.2 Elektrolyte

Ein *Elektrolyt* ist ein Stoff, der bei Vorhandensein eines elektrischen Feldes den elektrischen Strom leitet, wobei seine elektrische Leitfähigkeit und der Ladungstransport durch die gerichtete Bewegung von Ionen (elektrisch geladenen Teilchen) bewirkt wird. Elektrolyte sind also wie ionisierte Gase Ionenleiter. Außerdem treten an den Elektroden chemische Vorgänge auf.

Eine Elektrode ist ein Elektronenleiter, der im Zusammenspiel mit einer Gegenelektrode mit einem zwischen beiden Elektroden befindlichen Medium in Wechselwirkung steht. Die meisten Elektroden bestehen aus Metall oder aus Graphit. Oft dienen sie vor allem der Stromzuführung, sie können aber auch an chemischen Reaktionen teilnehmen, z. B. löst sich die Zinkelektrode einer Batterie bei Stromfluss auf, indem Zinkionen in Lösung gehen.

Für die elektrochemischen Elektroden gilt: Die Elektrode, an der die Oxidation abläuft, ist die *Anode* (die Vorsilbe *ana* bedeutet *aufwärts*). Die Elektrode, an der die Reduktion abläuft, ist die *Kathode* (die Vorsilbe *kata* bedeutet *abwärts*).

4.3 Aufbau der Farbstoffsolarzelle

Man kann sich den Bau einer Grätzel-Farbstoffsolarzelle ungefähr wie den eines Hamburgers vorstellen:



Projekt: Farbstoffsolarzelle

Titandioxid und pflanzliche Farbstoffe – das Fleisch im Burger Am wichtigsten ist ein Material, das Lichtteilchen (Photonen) aufnehmen und dafür Elektronen abgeben kann (beim Hamburger ist es natürlich das Fleisch). Michael Grätzel verwendete dafür Titandioxid, ein weißes Pulver, das auch in Wandfarbe enthalten ist. Die Lichtaufnahme kann sehr stark verbessert werden, wenn die Titandioxid-Körnchen von Farbstoffen umgeben sind (Hackfleisch schmeckt mit Gewürzen auch besser). In unserer Selbstbau-Zelle ist dies der Farbstoff aus Malven- oder Hibiskusblüten.

Iod-Lösung – der Saft im Fleisch Damit die abgegebenen Elektronen alle eingefangen werden können, sollte möglichst jedes Titandioxid-Körnchen von leitendem Material umgeben sein. In der Grätzel-Zelle ist dies eine Iod-Lösung, die als Flüssigkeit sehr gut in die Poren zwischen die Titandioxid-Körnchen eindringen kann (im Hamburger-Fleisch der Saft).

Glasplättchen als Träger – die Brötchenhälften Leider ist auch Titandioxid spröde und benötigt einen geeigneten Träger. Wir verwenden Glasplättchen, sowohl als Basisträger, als auch zum Abdecken (im Hamburger: die beiden Brötchenhälften).

Leitende Materialien – Soße und Salat Das Trägermaterial Glas leitet den elektrischen Strom nicht. Damit die Elektronen aus der Zelle heraus können und als elektrischer Strom zur Verfügung stehen, sind die Träger mit leitenden Materialien beschichtet (Abb. 2). In der Grätzel-Zelle ist es eine dünne, durchsichtige Schicht aus dem Material TCO (transparent conducting oxide), das am Plus-Pol des Selbstbau-Modells mit Graphit aus einem Bleistift verbessert werden kann (im Hamburger: die Soßen, auf einer Seite mit Salat).

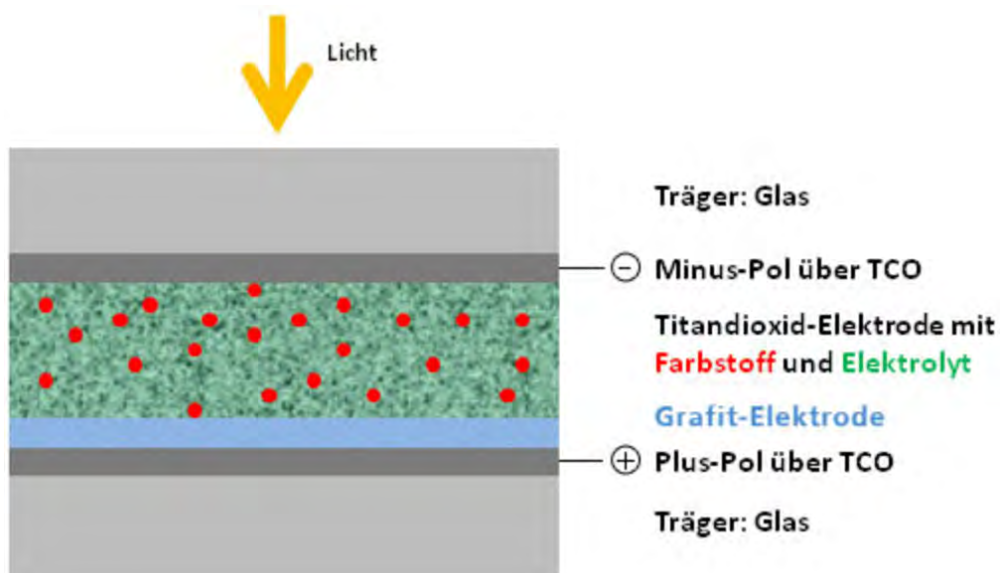


Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer Farbstoffsolarzelle



Zur Übersicht hier noch eine Zusammenfassung der verwendeten Materialien und Werkzeuge für den Bau der Farbstoffsolarzelle:

- je 2 elektrisch leitende Glasplättchen
- Elektrolytlösung (Kaliumiodid)
- Titandioxid
- Ein natürlicher Farbstoff (z.B. Hibiskusblütensaft)
- Graphit zur Beschichtung der Kathoden-Glasplatte
- Pipette zum Auftragen der Chemikalien
- Ofen zum Sintern der Chemikalien
- Krokodilklemmen und Kabel, um die erzeugte Spannung zu messen
- Taschenrechner, als Testobjekt

4.4 Funktionsprinzip

Der Einfachheit halber gehen wir von der Teilchennatur des Lichts und der Elektronen aus: Die Sonne schickt uns Photonen-Teilchen, deren Energie wir auf Elektronen-Teilchen übertragen wollen. Das Trägermaterial ist an den im Folgenden beschriebenen chemischen Reaktionen nicht beteiligt:

Photonen regen Elektronen an Titandioxid (Titandioxid) besitzt den richtigen energetischen Abstand zwischen mit Elektronen besetzten Energieniveaus und vielen unbesetzten Energieniveaus (etwa drei Elektronenvolt). Dieser Abstand kann von Elektronen überwunden werden, wenn sie von einem UV-Photon getroffen werden. Zusätzliche Farbstoffe nehmen Photonen aus einem breiteren Energiebereich des sichtbaren Spektrums auf, geben sie an das Titandioxid weiter und erhöhen so die Ausbeute an energiereichen Elektronen (Abb. 3).

Ein Elektrolyt liefert Elektronen nach Ein Elektronenfluss kommt nur zustande, wenn die durch Photonen bewegten Elektronen sofort ersetzt werden können. Dafür sorgt der Elektrolyt. Es handelt sich um ein Redox-System aus Triiodid-Anionen, die Elektronen abgeben, und Iod-Molekülen, die Elektronen aufnehmen können. Triiodid-Anionen liefern Elektronen gemäß der Gleichung: $2I_3^- \rightarrow 3I_2 + 2e^-$

Rückfluss der Elektronen in den Elektrolyten Die leitfähige TCO-Schicht (transparent conducting oxide) besteht in vielen Fällen aus ITO (Indium Tin Oxide), einem halbleitenden Indium(III)-oxid, das mit 10 Prozent Zinndioxid gezielt verunreinigt (dotiert) wurde. Nun leitet das ITO sehr gut, nimmt die Elektronen vom Titandioxid (Anode) auf und gibt sie an den metallischen Leiter des Stromkreises, meistens einen Kupferdraht, weiter. Der Stromkreis ist erst geschlossen, wenn die Elektronen wieder in den Elektrolyten fließen können. Das geschieht am anderen Ende der Zelle wieder über eine ITO-Schicht, die mit leitendem Graphit (Kathode) belegt ist und die an den Elektrolyten grenzt. Die Materialien sind so gewählt, dass der Strom nur in eine Richtung fließt. Der Stromkreis wird durch die folgende Reaktion geschlossen: $3I_2 + 2e^- \rightarrow 2I_3^-$.



Projekt: Farbstoffsolarzelle

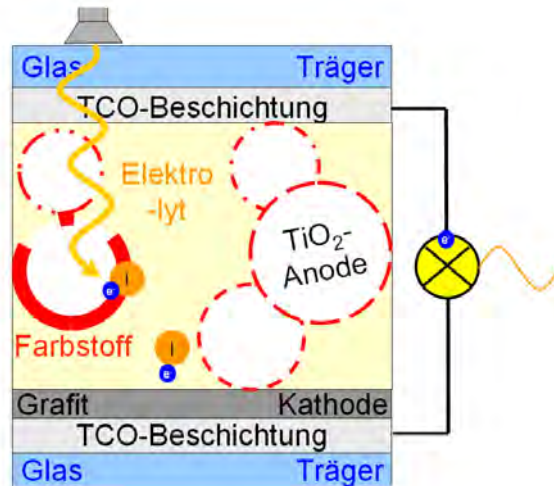
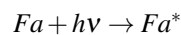


Abbildung 3: Funktion einer Farbstoffsolarzelle: Weg der Elektronen

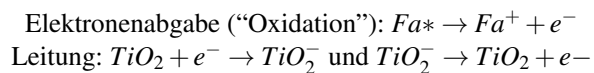
4.4.1 Die chemischen Reaktionen

Hier die genauen Schritte der Redox-Reaktion:

Anregung Durch einfallende Lichtstrahlen (Quanten) werden in den Farbstoff-Molekülen Fa Elektronen energetisch angeregt und durch deren Energie auf ein höheres Energieniveau gebracht.

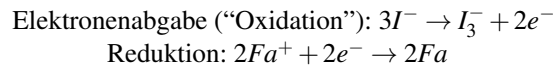


Elektronenabgabe Da sich das Energieniveau oberhalb des Leitungsbandes von Titandioxid befindet, kann das Elektron übertreten (ein wenig "herunterfallen"): aus dem angeregten Zustand der Farbstoff-Moleküle werden die Elektronen auf das Leitungsband des Titandioxids übertragen.

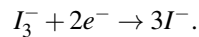


Dieser Ladungsinjektion stehen Deaktivierungsprozesse entgegen. Mit ausgewählten Farbstoffen erzielt man heute bereits Ausbeuten von etwa 90%.

Rückfluss der Elektronen in den Elektrolyten Aus der Anode fließen die Elektronen über den Verbraucher, der die zugeführte Energie "verbraucht" (eigentlich: umwandelt), zur Kathode. Die Kathode führt diese Elektronen dem System zurück. Nur deshalb bleibt der Elektronenfluss aufrecht. Zunächst wird der Elektronenverlust des Farbstoffs aus dem Iodid der Elektrolyt-Lösung ausgeglichen, indem es zu Triiodid oxidiert wird.



Dann wird das Iodid mit Hilfe der Elektronen aus der Kathode zurückgebildet:



Das System befindet sich nun wieder in der Ausgangslage.

4.5 Was bringt die Grätzel-Zelle?

Vorteile

Gegenüber den oben bereits beschriebenen Nachteilen herkömmlicher Solarzellen bietet das Konzept der Farbstoffsolarzellen folgende Vorteile:

- Man benötigt kein Element mehr (zum Beispiel Silizium). Man kann sich also den energieaufwendigen Schritt seiner Reduktion aus Verbindungen sparen.
- Titandioxid muss zwar rein, aber nicht hochrein sein. Damit hält sich der Aufwand bei der Herstellung in Grenzen.
- Titandioxid muss nicht dotiert werden. Titandioxid ist zwar – wie die Halbleitermaterialien – spröde. Das macht in seinem Fall aber nichts, weil es als Pulver aufgetragen und die leitende Funktion vom Elektrolyten (flüssig!) übernommen wird.

Neue Probleme

Man hat sich mit dem Konzept der Farbstoffsolarzelle allerdings einige neue Probleme eingehandelt, die zum Teil immer noch nicht gelöst werden konnten:

- *Lebensdauer der Farbstoffe*: Die Farbstoffe werden durch Licht mit der Zeit zerstört. Man hat jedoch schon künstliche Farbstoffe entwickelt, die die Lebensdauer der natürlichen weit übertreffen.
- *Verschluss der Zelle*: Der Elektrolyt sollte kein Wasser enthalten. Aber alle Lösemittel verdampfen recht leicht. Zudem ist Iod als Halogen ein sehr reaktives Element, dem die Materialien in der Zelle über viele Jahre standhalten müssen, besonders auch der Farbstoff. Aus beiden Gründen muss eine Grätzel-Zelle sehr effektiv verschlossen werden können. Dieses Problem ist bis heute nicht gelöst.
- *Trägermaterial*: Ein Trägermaterial, das alle Anforderungen erfüllt (gasdicht, flexibel und UV-beständig über einen Zeitraum von 15 bis 30 Jahren), konnte bisher nicht entwickelt werden.
- *Energieausbeute*: Was die Energieausbeute betrifft, nähern sich Farbstoffsolarzellen (Stand 2009: etwa 12 Prozent) den Silizium-Solarzellen (Stand 2008: etwa 20 Prozent) allmählich an; preislich gesehen sind sie deutlich günstiger. Seit wenigen Jahren werden Grätzel-



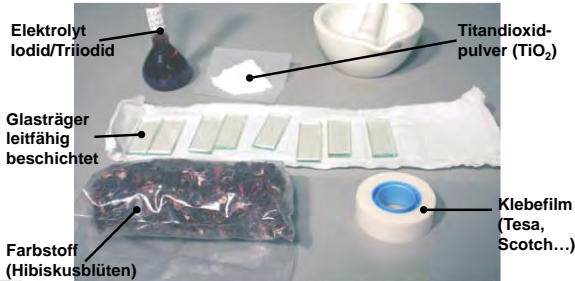
Projekt: Farbstoffsolarzelle

Zellen und davon abgeleitete Varianten industriell hergestellt und finden Prototyp-Anwendungen als Ladegeräte für Akkus geringer und mittlerer Kapazität, wobei die Wirkungsgrade der Module mit zwei bis fünf Prozent aber deutlich hinter den Laborwerten zurückbleiben.

Quellenangaben

- [Che15a] Chemie.de. Elektrode. 2015. <http://www.chemie.de/lexikon/Elektrode.html>.
- [Che15b] Chemie.de. Elektrolyt. 2015. <http://www.chemie.de/lexikon/Elektrolyt.html>.
- [FL15] Frustfrei-Lernen.de. Elektrische Ladung. 2015. <http://www.frustfrei-lernen.de/elektrotechnik/elektrische-ladung.html>.
- [LP15] LEIFI-Physik. Funktion einer Silizium-Solarzelle. 2015. <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/halbleiterdiode/ausblick#lightbox=/themenbereiche/halbleiterdiode/lb/funktion-einer-silizium-solarzelle-funktion-einer-silizium>.
- [Wik15] Wikipedia. Elektrische Energie — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. 2015. [Online; Stand 16. Juni 2015].
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektrische_Energie&oldid=143092235
- [You15] YouTube. Michael Grätzel entwickelt in Lausanne kostengünstige Solarzellen. 2015.
<https://www.youtube.com/watch?v=W1YTXrCbK70>.

Zur Herstellung benötigte Materialien



Farbstoffsolarzellen selber bauen

13



Vorbereitungen

Färbebad:

- Aufkochen von ca. 1-2 L Wasser
- In ein Glas kippen, reichlich Hibiskusblüten zugeben

 TiO_2 -Paste:

- 12g Pulver mit 15-20mL Polyethylenglycol mischen
- Alternativ geht auch Wasser, dann etwas mehr Flüssigkeit
- Die Paste sehr fein zerreiben, sie darf keine Krümel o.ä. enthalten
- Also: Lang und intensiv rühren ☺
- Sie sollte etwa die Konsistenz von Sirup haben



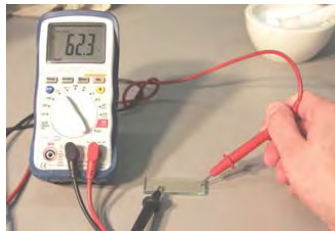
Seite 14

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Aufbringen der TiO_2 -Schicht

Bevor wir nun loslegen: Welche Seite der Gläser leitet?
Die Lösung: Herausfinden.

- Man nehme ein Multimeter,
- stelle auf „ Ω “,
- und messe.
- Es sollten auf der leitenden Seite ca. 60Ω sein.

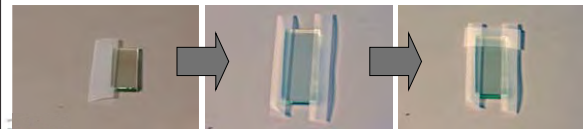


Seite 15

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Aufbringen der TiO_2 -Schicht

- Zuerst stellen wir fest, welche Glasseite leitfähig ist
- Dann kleben wir eine Maske auf das Glas
- Dazu verwenden wir einfach Tesa- oder Scotch-Film
- Wichtig: Die Maske muss sehr glatt sein, darf keine Luftblasen oder Falten enthalten



Seite 16

Farbstoffsolarzellen selber bauen

Aufbringen der TiO_2 -Schicht

- Einen Tropfen Paste in die Mitte der Aussparung aufbringen
- Mit dem Glasstab verteilen: möglichst dünn, möglichst gleichmäßig verteilt
- Am besten: Auf beiden Seiten gleich viel Druck ausüben, mehrmals nach vorne ziehen
- Furchen und Krümel stören später gewaltig, also vermeiden



Farbstoffsolarzellen selber bauen

Sintern der TiO_2 -Schicht

- Beim Sintern wird die TiO_2 -Schicht angeschmolzen
- Sintertemperatur bei ca. 350°C
- Langsam abkühlen lassen, da sonst das Glas zerspringt
- An dieser Stelle machen wir eine Pause.
- Nach dem Abkühlen sollte man den Rand der Schicht abkratzen, maximal 1mm pro Seite, da er unregelmäßig ist und eventuell stört (mit Schraubendreher oder Messer)



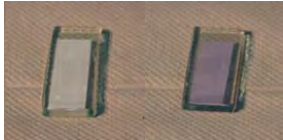
Farbstoffsolarzellen selber bauen



Färben der TiO₂-Schicht

- Das abgekühlte (!) Glas in die vorbereitete Farbstofflösung geben
- Nach ca. 10 Min. im Farbstoffbad ist die Schicht violett gefärbt

Ungefärbt



Gefärbt

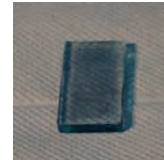


Farbstoffsolarzellen selber bauen



Beschichten der Kathode

- Zuerst wieder feststellen welche Seite des Glases leitet
- Dann mit einem Bleistift die leitfähige Seite so lange schraffieren, bis das Glas vollständig bedeckt ist
- Mit viel Druck geht es besser ☺
- Zuletzt mit einem Tuch die Krümel abreiben



Farbstoffsolarzellen selber bauen



Biegen der Halter

- Einen Clip zur Befestigung der Gläser kann man einfach aus einer Büroklammer biegen
- Man sollte bei der zweiten Biegung allerdings schon wissen, wie dick die beiden Gläser zusammen sind

Eine Büroklammer



1. Knick



2. Knick - fertig



Seite 21

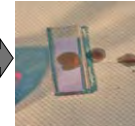
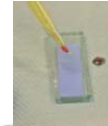
Farbstoffsolarzellen selber bauen



Zusammenbau der Zelle

Zusammenfügen der Zelle

- Zuerst einen Tropfen Elektrolyt, nicht zu viel, in die Mitte der TiO₂-Schicht
- Dann beide Gläser übereinander legen und mit den Büroklammerclips fixieren
- Das war's!



Seite 22

Farbstoffsolarzellen selber bauen



Virtuelles Kraftwerk

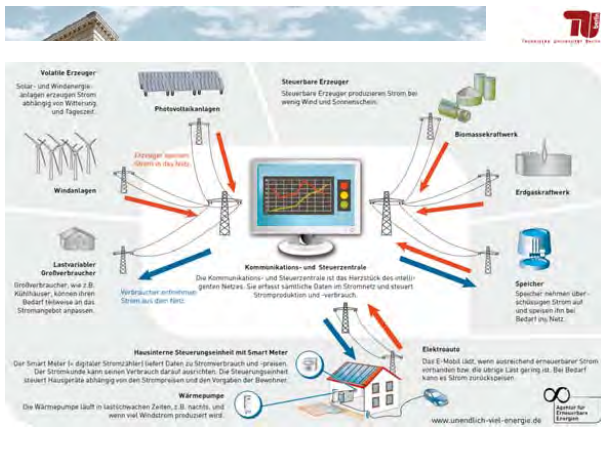
Visuelle Modellierung mit Graphtransformation

gefördert durch

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

dEIn Labor
Technische Universität Berlin



Modelle: Was versteht man darunter?

Definitionen von Modell:

- “[...] ital. modello = Muster, Entwurf, zu lat. modulus = Maßstab [...]”, althochdeutsch modul, model = Muster, Form, **Vorbild** (Das große Wörterbuch der deutschen Sprache)
- “[...] **Abbild** von etwas, oft unter Weglassen von Details, also im Sinne einer vereinfachten Darstellung. [...]” (Duden Informatik)
- “[...] Vereinfachtes Abbild der Realität; Muster, Vorbild, Entwurf von Etwas [...]; in der Wissenschaft vereinfachte Darstellung eines Objekts oder Objektbereiches mit Betonung seiner speziellen Eigenschaften [...]” (Schülerduden Informatik)

....

Quellen:

“Schülerduden Informatik”, Dudenverlag, Mannheim Leipzig Wien Zürich, 4. aktualisierte Auflage, 2003

“Duden Informatik”, Dudenverlag, Mannheim Leipzig Wien Zürich, 3. Auflage, 2003

“Das große Wörterbuch der deutschen Sprache”, www.duden.de

Abstraktion!

Projekt: In Bildern programmieren 2

Modelle als Ergebnis von Abstraktion

Ein Modell ist eine Menge von Aussagen über ein reales (geplantes) System („system under study“)

System under study (airplane) → **Interpretation (Abstraktion)** → **Model(s)** (mathematical equations, simplified airplane, circuit diagram)

* E. Seidewitz, “What models mean”, IEEE Software, Sept./Oct. 2003

Projekt: In Bildern programmieren 3

Warum Modelle in der Informatik?

Beispiel eines Programms in einer Programmiersprache:

```

SC_MODULE(producer)
{
    sc_outmaster<int> out1;
    sc_in<bool> start; // kick-start
    void generate_data ()
    {
        for(int i =0; i <10; i++) {
            out1 = i; //to invoke slave;}
        }
    SC_CTOR(producer)
    {
        SC_METHOD(generate_data);
        sensitive << start;});
    SC_MODULE(consumer)
    {
        sc_inslave<int> in1;
        int sum; // state variable
        void accumulate () {
            sum += in1;
        }
    }
    SC_CTOR(consumer)
    {
        SC_SLAVE(accumulate, in1);
        sum = 0; // initialize
    };
    SC_MODULE(top) // container
    {
        producer *A1;
        consumer *B1;
        sc_link_mp<int> link1;
        SC_CTOR(top)
        {
            A1 = new producer("A1");
            A1.out1(link1);
            B1 = new consumer("B1");
            B1.in1(link1);
        }
    }
}
    
```

Projekt: In Bildern programmieren 4

Warum Modelle in der Informatik?

... und das entsprechende Modell in einer Modellierungssprache:

start → **#sc_method> A1:producer** → out1 → **#sc_link_rmp> link1** → in1 → **#sc_slave> B1:consumer**

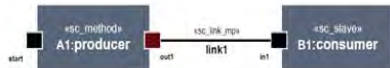
Projekt: In Bildern programmieren 5

Warum Modelle in der Informatik?

Unterschied?

```
SC_MODULE(producer)
{
  sc_outmaster<int> out1;
  sc_in<bool> start; // kick-start
  void generate_data ()
  {
    for(int i =0; i <10; i++) {
      out1 = i; //to invoke slave;}
    }
  SC_CTOR(producer)
  {
    SC_METHOD(generate_data);
    sensitive << start;});
  SC_MODULE(consumer)
  {
    sc_inslave<int> in1;
    int sum; // state variable
    void accumulate () {
      sum += in1;
    }
  }
}
```

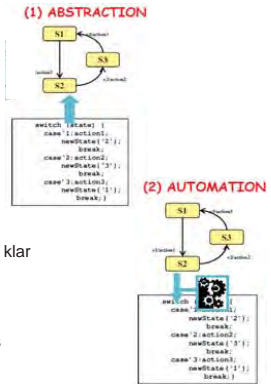
```
SC_CTOR(consumer)
{
  SC_SLAVE(accumulate, in1);
  sum = 0; // initialize
}
SC_MODULE(top) // container
{
  producer *A1;
  consumer *B1;
  sc_link mp<int> link1;
  SC_CTOR(top)
  {
    A1 = new producer("A1");
    A1.out1(link1);
    B1 = new consumer("B1");
    B1.in1(link1);
  }
}
```



Projekt: In Bildern programmieren

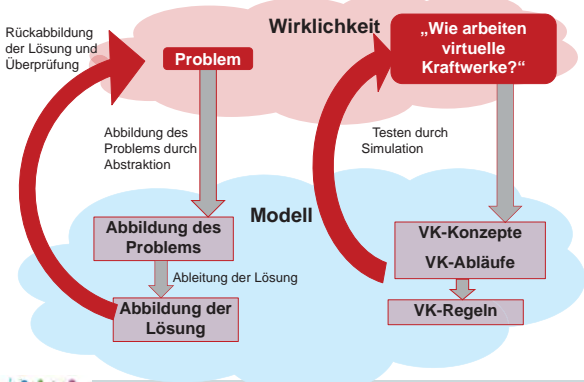
Warum bauen Informatiker Modelle?

- Um zu verstehen
 - Probleme und Lösungen
 - Wissenserwerb
- Um zu kommunizieren
 - Verständnis und Absichten des Designs vermitteln
 - Wissenstransfer
- Um zu spezifizieren
 - Eigenschaften von Programmen klar vorgeben
 - Modelle als „Baupläne“ für Programme. Ziel: Automatische Generierung von Programmen aus Modellen



Projekt: In Bildern programmieren

Unser heutiges Modellierungsprojekt



Projekt: In b...

- Problem/Forschungsfrage:
 - Wie gehen wir um mit dem Problem der „Flüchtigen“ (Volatilen) Erzeuger Wind und Sonne?
- Experiment:
 - Modellieren und Simulieren des Verhaltens eines Virtuellen Kraftwerks
- Drei Anteile eines Modells:
 - Konzepte (Bestandteile),
 - Zustände (Schnappschüsse),
 - Verhaltensregeln (führen Zustandsübergänge herbei: Szenarios)

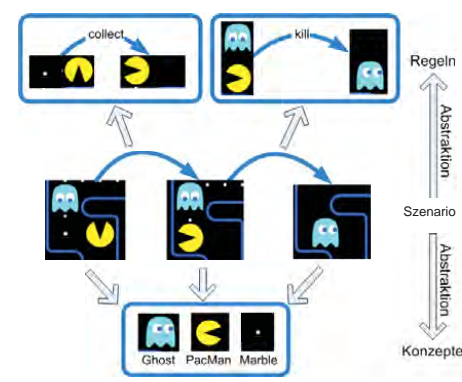
Wer ist eigentlich „PacMan“?

- 1980 in Japan erfunden (Puck Man)
- „paku paku“ = „happa happa“, „puck“ = „Kobold“
- ab 1981 in USA in den Spielcasinos;
- umbenannt in PacMan (warum wohl?)
- Geister: Blinky, Pinky, Inky und Clyde

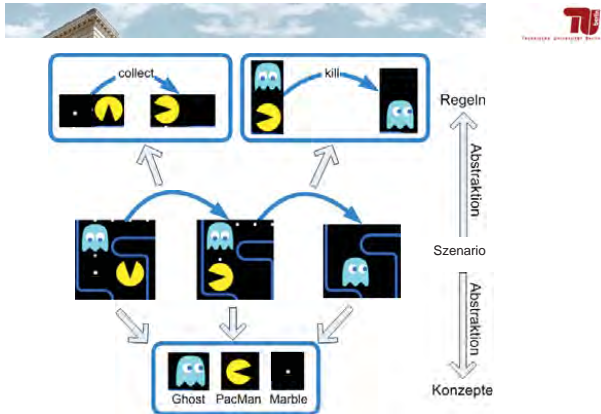
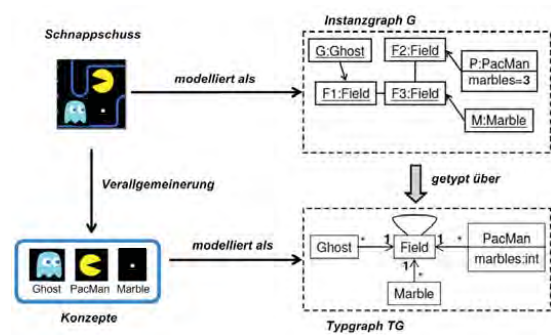


http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Kpacman_screenshot.png

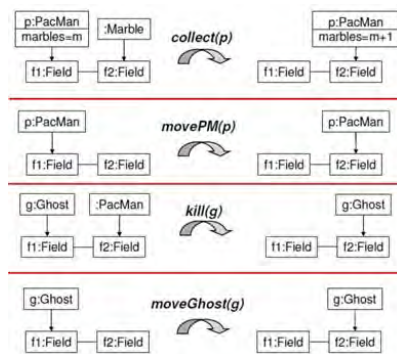
Projekt: In Bildern programmieren



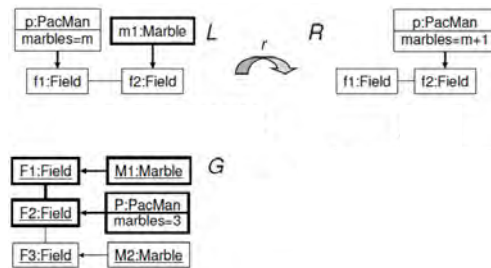
Konzepte des Spiels als Typphraph modelliert



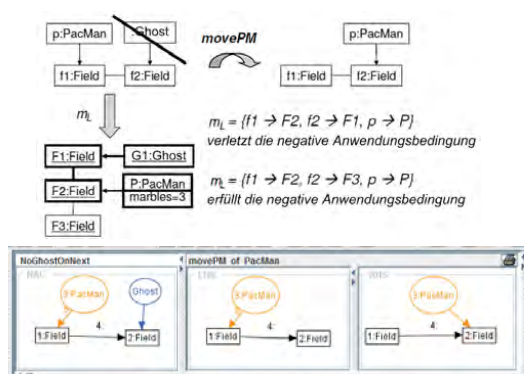
Spielregeln als Graphtransformationenregeln



Ein Schritt im Spiel im Modell (Regelanwendung)



Erweiterung: Negative Anwendungsbedingungen



Modellieren mit AGG: 1. Stufe "Basismodell"

- Lade die Datei „Stufe1-Basis.ggx“ in AGG. Mach Dich mit den Modellen vertraut:
 - Wo ist das **Konzeptmodell**? Wie ändert man es? Füge einen neuen „Steuerbaren Erzeuger“ hinzu: eine Biogas-Anlage
 - Wo findest Du das **Szenariomodell**? Stelle die Stromzähler aller Häuser zurück auf Null. (Tipp: Der verbrauchte Strom wird in der Zahlenvariablen „Verbrauch“ aufsummiert)
 - In welcher Reihenfolge (Layer) werden die **Regeln** angewendet? Was passiert in jedem **Layer**? Wende die Regeln schrittweise an und achte darauf, was sich ändert. Wende nun die Regeln im Simulationsmodus an. Wie ist hier die Anwendungsstrategie?
 - Erstelle eine Regel „BiogasErzeugtStrom“. Orientiere Dich dabei an den entsprechenden Regeln für Wind und Sonne. Simuliere wieder. Was ändert sich?

Das Werkzeug AGG <http://www.tfs.tu-berlin.de/agg>

- **Laden einer bestehenden Grammatik**
 - Öffnet die Datei mit unserem Konzept-Modell und dem Startgraphen (Spielfeld im Anfangszustand)
- **Malen von Graphen**
 - Drei Rollen der Maus: malen, auswählen, verschieben
 - Attribute von ausgewähltem Graphknoten definieren

(Das ist Java-Code)

Type	Name	Expression
int	marbles	0
- **Malen von Spielregeln**
 - Regel hinzufügen **R** und zur Regel eventuell NAC hinzufügen **NAC**
 - Linke Seite **LHS** der neuen Regel malen
 - Linke Seite in die Rechte Seite kopieren **R** und eventuell in die NAC **IN**
 - In NAC **NAC** und Rechter Seite **RHS** nötige Änderungen vornehmen

Eine Regel einmal auf den Spielfeldzustand anwenden

- Regel im Baum auswählen und mit **⇒** einmal an zufälliger Stelle anwenden
- oder: mit **⇒** durch alle möglichen Stellen durchklicken (Knoten werden durch Nummern hervorgehoben) und dann an der gewünschten Stelle mit **⇒** anwenden

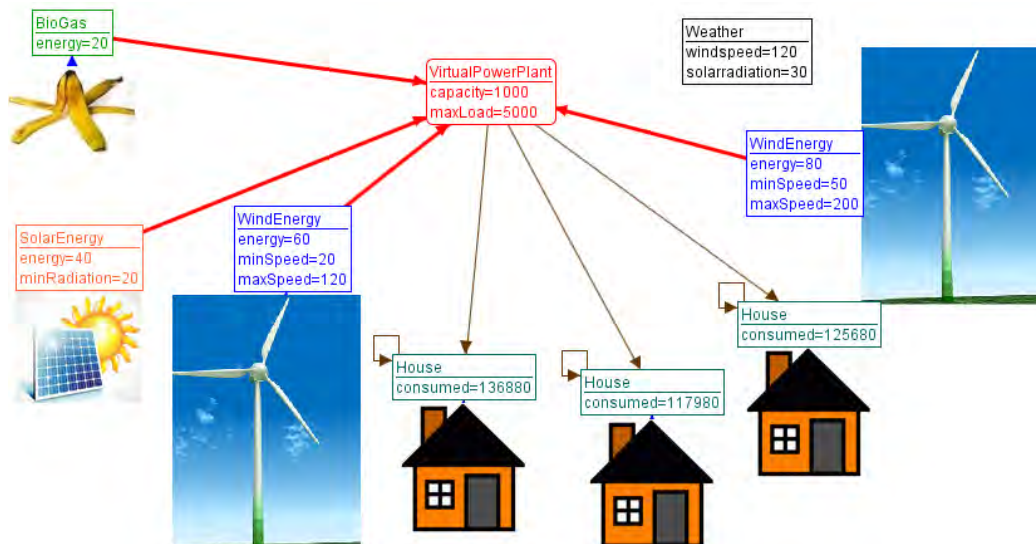
Alle Regeln, solange es geht, durcheinander anwenden (Simulation)

- Transformation mit **S** starten.
- Eventuell muss nach jeder Regelanwendung eine Taste gedrückt werden, damit man Zeit hat, sich die Zwischenzustände anzusehen.
- Das kann man ändern im Menü **Transform > Options... > General:**
- Falls der Lauf nicht von alleine stoppt, mit **⏹** abbrechen.
- Damit das ganze ein bisschen mehr wie im echten Leben aussieht, kann man den "Image View" einschalten mit **Mode > Image_view**



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

Visuelle Modellierung mit Graphtransformation



das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV
<http://www.dein-labor.tu-berlin.de>





Handout zum Projekt:

Virtuelles Kraftwerk

Visuelle Modellierung mit Graphtransformation

In diesem Projekt lernt ihr grundlegende Techniken der Modellierung in der Informatik kennen. Modellierung ist ein wichtiger Bestandteil von Simulationen, mit denen wir Systeme am Computer nachbilden, um deren Verhalten zu studieren. Häufig kann man solche Studien (Tests) in der Realität nicht machen, da es zu aufwändig, teuer oder gefährlich wäre.

Für eine korrekte Programmierung von Computersteuerungen braucht man aber sehr viele Informationen, um die Gewissheit zu haben, dass am Ende alles in jeder denkbaren Situation funktioniert.

Wir wenden unsere neuen Kenntnisse über Modellierung in diesem Projekt auf Systeme an, die für die Energiewende sehr wichtig sind: *Virtuelle Kraftwerke*. Das sind lokale Verbände von Energieerzeugern und Verbrauchern. Was ist das Ziel eines solchen Systems, Worauf muss man bei der Steuerung achten, was darf nicht schiefgehen?

Die Entwicklung des Projekts wurde gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Inhaltsverzeichnis

1	Modellierung in der Informatik: Konzepte und Regeln	2
2	Grundlagen der Graphtransformation	3
2.1	Typgraphen und Instanzgraphen	3
2.2	Regeln und Transformationen	4
3	Fortgeschrittene Konzepte	7
3.1	Erweiterung des Typgraphen um Multiplizitäten	8
3.2	Komplexe Bedingungen	8
3.3	Negative Anwendungsbedingungen für Regeln	8
4	AGG: Ein Werkzeug zur visuellen Modellierung und Simulation	9
4.1	Erstellen von Modellen: Graphische Editoren	9
4.2	Simulieren von Modellen: Regeln anwenden	10
5	Virtuelles Kraftwerk als Modell in AGG	12



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

1 Modellierung in der Informatik: Konzepte und Regeln

Modellierung ist immer auch Verallgemeinerung (Abstraktion): Beim Erstellen von Modellen als Repräsentation der Realität leiten wir allgemeine *Konzepte* von konkreten Objekten ab, sowie allgemeine *Regeln* aus beobachtetem Verhalten. Diese Art der Modellierung wird auch als *deskriptiv* (beschreibend) bezeichnet. Andererseits erstellen wir Modelle als Repräsentanten eines noch nicht vorhandenen, zu realisierenden Systems. Diese Art der Modellierung nennt man *präskriptiv* (vorschreibend). Hierbei gilt es, diese Modelle genau zu testen und zu überprüfen, ob sie das gewünschte System (die zukünftige Realität) wirklich so abbilden, wie sie es sollen. Denn heutzutage lässt sich in der Informatik aus Modellen Software (teilweise) automatisch generieren, und diese generierte Software soll natürlich möglichst fehlerfrei sein.

Wir befassen uns hier mit Modellierung, indem wir das Videospiel *PacMan* [Wik13] die Rolle der realen Welt übernehmen lassen. Betrachten wir zunächst die deskriptive Herangehensweise. **Abbildung 1** zeigt, wie wir sowohl Konzepte als auch Verhaltensregeln von Beobachtungen einzelner Schritte im Ablauf des *PacMan*-Spiels ableiten. Unsere Beobachtung ist das Szenario in der Mitte von **Abbildung 1**, was aus drei hintereinander erfolgenden Spielzuständen besteht.

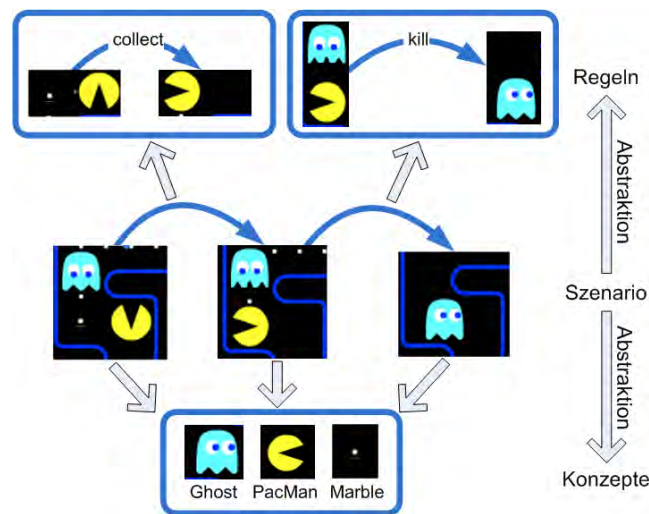


Abbildung 1: Von konkreten Szenarien zu abstrakten Konzepten und Regeln

Wir sehen einerseits drei Typen von Spielfiguren, *PacMan*, *Ghost* (Geist) und *Marble* (Murmel), die wir im unteren Teil von **Abbildung 1** als *Konzepte* notieren. Von jedem Typ Spielfigur gibt es während eines echten Spiels dann mindestens eine, meistens aber mehrere Objekte (genannt Instanzen). Andererseits können wir aus dem konkreten Szenario bereits zwei Regeln für das Verhalten der Spielfiguren ableiten. Im ersten Schritt des Szenarios sammelt *PacMan* eine Murmel auf (d.h. die *PacMan*-Spielfigur wandert auf die Position der Murmel, und die Murmel verschwindet). In diesem Schritt ist in unserem Beispielszenario zwar auch eine *Ghost*-Spielfigur vorhanden, aber mit ihr passiert nichts. Wir leiten daher eine Regel *collect* ab, in der wir von der *Ghost*-Spielfigur abstrahieren.



Im zweiten Schritt des Szenarios beobachten wir, wie *PacMan* verschwindet und die *Ghost*-Spielfigur seine Position einnimmt. Wir leiten daher die Regel *kill* ab, wobei wir mit der Benennung der Regel implizit unsere Annahme mit einfließen lassen, dass *PacMan* nicht einfach verschwindet, sondern vom Geist getötet wird.

Natürlich sind die abgeleiteten Konzepte und Regeln noch nicht genau genug, wenn man nur ein einziges Szenario beobachtet. Weitere Szenarien können uns z.B. zeigen, dass es auch Äpfel im Spielfeld geben kann, die von *PacMan* aufgegessen werden. Solche Beobachtungen führen dann zu einer Verfeinerung unseres Konzeptmodells und zur Ableitung neuer Regeln.

Im Folgenden gehen wir präskriptiv vor: Wir nehmen an, das Spiel *PacMan* sei noch nicht implementiert (programmiert) worden. Wir wollen jetzt eine abstrakte Modellierung aus Konzepten und Spielregeln erstellen, dass wir damit alle erlaubten Spielszenarien abbilden, aber verbotene Spielszenarien nicht (es sollte z.B. keine Regel geben, in der *PacMan* das Spielfeld verlässt).

Weil es für die Spielregeln und Konzepte unerheblich ist, wie eine Figur konkret aussieht, werden wir die Darstellung vereinheitlichen: das macht es einfacher, die Modelle am Computer zu malen, und wir brauchen weniger Regeln. Wir verwenden *Graphen* als Mittel, um Spielzustände, Konzepte und Regeln zu visualisieren.

2 Grundlagen der Graphtransformation

Graphen sind ein gängiges Modell für Objekte und ihre Beziehungen. Graphtransformation ist die schrittweise Veränderung von Graphen, die durch Regeln beschrieben wird.¹ Ein *Graph* besteht aus einer Menge V von Knoten (engl. vertices) und einer Menge E von Kanten (engl. edges), so dass jede Kante e in E einen Quellknoten $s(e)$ und einen Zielknoten $t(e)$ in V hat.

2.1 Typgraphen und Instanzgraphen

Mit Graphen können wir Spielzustände (Schnappschüsse) darstellen, wie z.B. oben rechts in **Abbildung 2**, wo Objekte als Knoten und Beziehungen zwischen den Objekten als Kanten repräsentiert werden. In unserem Modell stellen wir die jeweiligen Spielfiguren als Knoten $P: PacMan$, $G: Ghost$ und $M: Marble$ dar und verwenden einen weiteren Knotentyp für die Spielfelder, also die Bereiche, in denen sich eine Spielfigur aufhalten kann. Kanten verwenden wir, um die aktuelle Position von Spielfiguren zu modellieren, und die Nachbarschaftsbeziehungen von Spielfeldern.

In unserem Schnappschuss-Graphen haben wir bereits angenommen, dass Knoten einen Typ haben, z.B. sind die Knoten $F1$ bis $F4$ vom Typ *Field*. Der Typ eines Knoten oder einer Kante entspricht dem allgemeinen Konzept des entsprechenden Objekts. Auch die verschiedenen Konzepte stehen in Beziehung zueinander, was wiederum als Graph dargestellt werden kann, dem sogenannten *Typgraph*. Unten rechts in **Abbildung 2** sehen wir den Typgraphen, der die Konzepte des *PacMan*-Spiels für Instanzgraphen wie den Graphen oben rechts bereitstellt.

Zusätzlich zu Knoten und Kanten können Graphen noch Attribute enthalten, worin man sich Werte merken kann. In unserem Beispiel enthält ein Knoten vom Typ *PacMan* immer einen

¹ Kapitel 1 - 3 dieses Handouts sind eine leicht vereinfachte Übersetzung eines Teils des Skripts der Lehrveranstaltung *Graph Transformation* [Hec04].



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

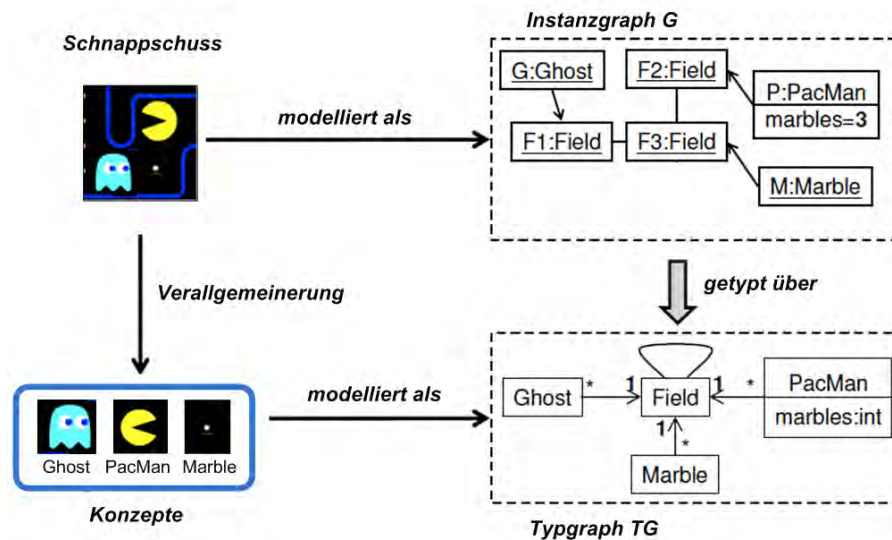


Abbildung 2: Typgraph und ein Instanzgraph im PacMan-Modell

Wert für die Anzahl der Murmeln, die PacMan bereits gesammelt hat. Das wird im Typgraphen durch den Attributnamen *marbles* dargestellt, wobei *int* bedeutet, dass es sich dabei immer um eine ganze Zahl handelt (integer). In Instanzgraphen steht dann im *PacMan*-Knoten immer eine konkrete Zahl, in unserem Beispiel die Zahl 3.

Die Beziehung zwischen Konzepten (Typen) im Typgraphen und deren Instanziierung in Instanzgraphen wird mathematisch durch den Begriff des *getypten Graphen* beschrieben. Ein Instanzgraph ist genau dann korrekt über einen Typgraphen *getypt*, wenn sich für jeden Knoten und jede Kante im Instanzgraphen ein Knotentyp bzw. ein Kantentyp zwischen den entsprechenden Quell- und Zielknotentypen im Typgraphen finden lässt. Außerdem müssen die Attributwerte im Instanzgraphen zu den Attributtypen im Typgraphen passen. Im Instanzgraphen oben rechts in **Abbildung 2** ist jeder Knoten mit der Bezeichnung "Knotenname: Typname" beschriftet. Die Kantentypen sind damit automatisch bestimmt, da es zwischen je zwei verschiedenen Knotentypen nur höchstens einen Kantentyp gibt. Der einzige Attributwert *marbles=3* ist eine ganze Zahl, passt also auch zum Attributtyp *int* von *marbles*.

2.2 Regeln und Transformationen

Nachdem wir nun Schnappschüsse von Spielzuständen als Instanzgraphen modelliert haben, die *getypt* sind über einen Typgraphen, der die Konzepte des Spiels beschreibt, wenden wir uns nun dem eigentlichen Kern des Spiels zu: den Spielregeln. Wir wollen damit alle möglichen Szenarien (regelgerechte Spielabläufe) erfassen. Solche Szenarien bestehen aus Schritten von Spielzustandsänderungen, so wie das aus zwei Schritten bestehende Szenario in der Mitte von **Abbildung 1**.

Analog zu Spielzuständen, modellieren wir Spielregeln jetzt auch mit *getypten Graphen* und



abstrahieren damit vom konkreten Aussehen der Spielfiguren und Felder, sowie von konkreten Positionen. Wichtig für die Regeln ist ja nur, welche Spielfelder benachbart sind und welche Figur sich jeweils auf welchem Feld befindet. **Abbildung 3** zeigt die Spielregeln, die wir in **Abbildung 1** schon aus dem Szenario abgeleitet haben, als *getypte Graphtransformationsregeln*, sowie zwei weitere Regeln zum Bewegen von PacMan und den Geistern.

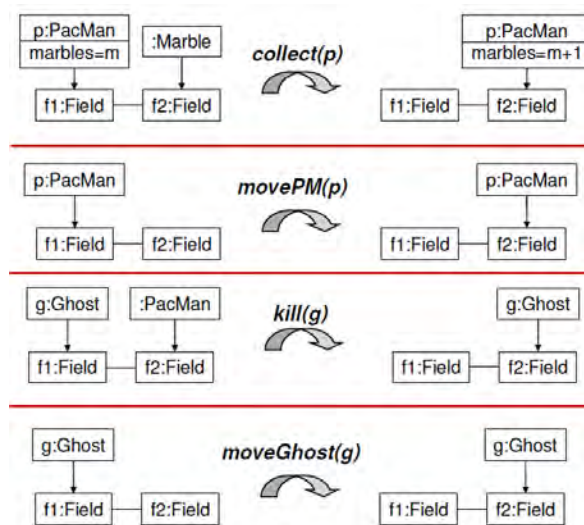


Abbildung 3: Erste Spielregeln für das PacMan-Spiel

Wie wir sehen, besteht eine Graphtransformationsregel $r : L \rightarrow R$ aus einem Regelnamen r und zwei über den Typgraph getypten Instanzgraphen L und R , die linke und rechte Regelseite genannt werden. Die linke Regelseite beschreibt die Vorbedingung, die in einem Spielzustand vorliegen muss, und die rechte Regelseite beschreibt die Nachbedingung, also die Änderungen, die an dem Spielzustand durch die Anwendung der Regel vorgenommen werden. Knoten mit den gleichen Namen in L und R müssen auch den gleichen Typ haben (ebenso wie Kanten dazwischen und die Attribute der Knoten).

Ein Spielablauf wird nun durch eine Abfolge von Regelnanwendungen (genannt *Graphtransformation*) beschrieben. Die Anwendung von einer Regel p auf eine Graphen G mit dem Ergebnisgraphen H , notiert $G \xrightarrow{r(m)} H$, geschieht in vier Schritten:

- Finde ein Vorkommen m_L (genannt *Match*) der linken Regelseite L im Graphen G ,
- lösche aus G alle Knoten und Kanten, die im Match liegen, aber nicht in R ,
- füge eine Kopie aller Knoten und Kanten hinzu, die in R liegen, aber nicht in L ,
- ändere Attributwerte wie beschrieben. Das Ergebnis ist der transformierte Graph H .

In **Abbildung 4** wird der Match m_L der linken Regelseite neben dem nach unten gerichteten Pfeil angegeben. Für das Attribut *marbles* wird in der Regel kein konkreter Wert definiert, son-



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

dern eine Variable. Durch den Match wird die Variable für diese eine Regelanwendung mit der Zahl 3 belegt.

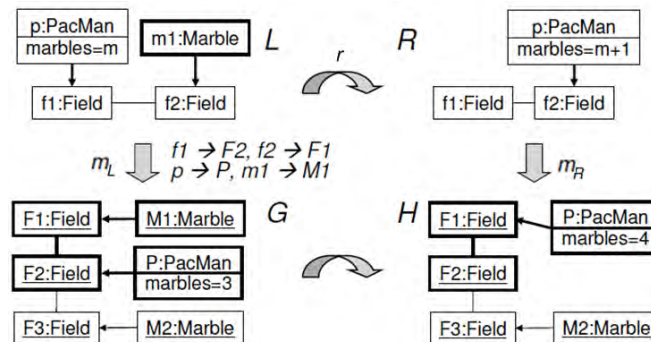


Abbildung 4: Graphtransformationsschritt $G \xrightarrow{r(m)} H$, beschrieben durch eine Regelanwendung

Die Regelanwendung löscht die Kante vom *PacMan*-Knoten *P* zum *Field*-Knoten *F2*, weil genau diese Kante im Match der Kante von *p* nach *f1* liegt und diese Kante nicht in *R* vorkommt. Das gleiche gilt für den *Marble*-Knoten *M1*, der auch gelöscht wird. Da es keine Knoten und Kanten in der Regel gibt, die in *R* liegen, aber nicht in *L*, werden bei Anwendung der Regel keine Knoten und Kanten hinzugefügt. Es gibt allerdings eine Attributänderung in der Regel: die Zahl der gesammelten Murmeln *marbles=3* wird um eins erhöht, also *marbles=4*. Das beschreibt die Regel abstrakt dadurch, dass in *L* die Anzahl der Murmeln vor Regelanwendung durch die Variable *m* beschrieben wird, und die Anzahl in *R*, also nach Regelanwendung, durch $m + 1$ berechnet, also um 1 erhöht werden muss.

Es gibt allerdings noch andere Möglichkeiten, diese Regel anzuwenden. Zum Beispiel könnte ein weiterer Match folgendermaßen abbilden: $f1 \mapsto F2, f2 \mapsto F3, p \mapsto P, m1 \mapsto M2$. Dieser Match modelliert, wie PacMan die untere Murmel einsammelt. Eine weitere Spielvariante, die im Spielzustand *G* möglich ist, können wir spielen, indem wir einfach eine andere Regel anwenden, z.B. Regel *movePM*. Das heißt, das wir in jedem Spielzustand zwei Entscheidungen treffen müssen: 1. welche Regel wir anwenden wollen, und 2. an welchem Match wir die Regel anwenden wollen.

Das gesamte Spiel (also alle möglichen Spielvarianten) ist durch unser Modell definiert als die Menge aller Graphtransformationen $G_0 \xrightarrow{r_1(o_1)} \dots \xrightarrow{r_n(o_n)} G_n$, bei denen die Regeln des Spiels angewendet werden und die in einem (gültigen) Spielzustand G_0 (genannt Startzustand) beginnen. So wird beispielsweise das 2-Schritte-Szenario in [Abbildung 1](#) modelliert durch eine Graphtransformation, bei der zuerst Regel *collect* und anschließend Regel *kill* angewendet wird.

Bei der Anwendung von Graphtransformationen gibt es allerdings zwei Probleme: Wir müssen sicherstellen, dass der Ergebnisgraph *H* auch immer ein gültiger Graph ist, und wir müssen sicherstellen, dass der Ergebnisgraph eindeutig ist. Es kann nämlich unter Umständen passieren, dass sogenannte *hängende Kanten* übrigbleiben, wenn die Regel Knoten löscht, aber nicht sichergestellt wird, dass alle mit dem Knoten verbundenen Kanten auch gelöscht werden. Das Problem der hängenden Kanten wird in der linken Hälfte von [Abbildung 5](#) veranschaulicht.



Die Regel löscht Knoten a , wird aber auf einen Knoten gematcht, der Quellknoten der Kante von a nach b ist.

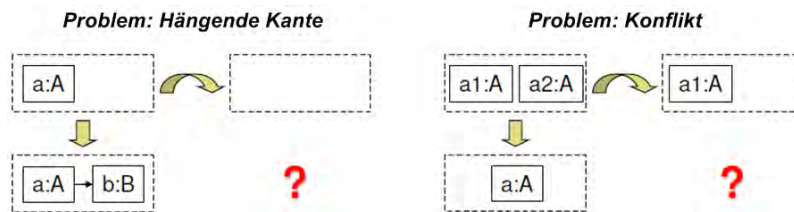


Abbildung 5: Probleme bei Graphtransformationen

Ein weiteres Problem ist in der rechten Hälfte von **Abbildung 5** dargestellt. Hier soll Knoten $a2$ von der Regel gelöscht und Knoten $a1$ bewahrt werden, aber der Match bildet sowohl $a1$ als auch $a2$ auf den gleichen Knoten a im Graphen ab. Was also soll nun mit Knoten a geschehen? Löschen oder bewahren? Wir haben einen Konflikt, der zu zwei unterschiedlichen Ergebnisgraphen führen könnte.

Für beide Fälle gibt es eine radikale und eine vorsichtig-konservative Lösung: Die radikale Lösung besteht darin, dem Löschen eine höhere Priorität einzuräumen als dem Bewahren. Das heißt, hängende Kanten werden einfach mitgelöscht und in dem Konfliktfall in der rechten Hälfte von **Abbildung 5** werden einfach beide Knoten gelöscht. Damit wären die Ergebnisse beider Transformation eindeutig und auch wieder gültige Graphen. Allerdings passieren bei dieser radikalen Lösung Dinge, die nicht in Regeln beschrieben wurden. Das kann zu bösen und unerwünschten Überraschungen führen.

Die vorsichtig-konservative Lösung vermeidet solche unerwünschten Seiteneffekte und wird daher von uns bevorzugt. Zum einen vereinfachen wir uns das Leben, indem wir Matches verbieten, die verschiedene Knoten aus der linken Regelseite auf denselben Knoten im Graphen abbilden. In der Sprache der Mathematik heißt das, wir schränken uns ein auf *injektive* Matches. Damit vermeiden wir Konflikte wie den in der rechten Hälfte von **Abbildung 5**. Das Problem der hängenden Kanten wird dadurch allerdings nicht gelöst. Für dieses Problem besteht die vorsichtig-konservative Lösung darin, dass man Regeln *Anwendungsbedingungen* hinzufügt, die das Entstehen von hängenden Kanten ausschließen. Wir lernen Anwendungsbedingungen für Regeln in **Abschnitt 3.3** kennen.

3 Fortgeschrittene Konzepte

Das Problem hängender Kanten hat seine Ursache ja darin, dass der Match einen Regelknoten auf einen Graphknoten abbildet, aber wir nicht wissen, wieviele Kanten an diesem Graphknoten hängen. Regeln verkörpern eben nur ein beschränktes lokales Wissen, es fehlt ihnen an Kontextwissen. Es gibt deshalb für die Modellierungstechnik Graphtransformation eine Vielzahl von Erweiterungen, um solche Probleme in den Griff zu bekommen. Einige dieser Erweiterungen wollen wir in diesem Kapitel kennenlernen.



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

3.1 Erweiterung des Typgraphen um Multiplizitäten

Eine Möglichkeit das Problem der hängenden Kanten zu lösen ist die Anzahl der Kanten einzuschränken. Wir wissen z.B., dass eine Spielfigur (Geist, PacMan, Murmel) sich immer nur auf genau einem Feld befinden kann; es kann daher immer nur genau eine Kante zwischen einem Knoten vom Typ *PacMan*, *Ghost* oder *Marble* zu einem Knoten vom Typ *Field* geben. Solche Einschränkungen können wir direkt in den Typgraphen hineinschreiben. Wir notieren minimale und maximale Anzahlen (*Multiplizitäten*) direkt an den Kantentypen. Für unser PacMan-Modell haben wir dies in [Abbildung 2](#) bereits getan: die Zahl 1 am *Field*-Ende der Kanten von Spielfiguren zum Typ *Field* bedeutet, dass eine konkrete Spielfigur im Graphen mit genau einem *Field*-Knoten verbunden ist (nicht mit mehr aber auch nicht mit weniger als einem *Field*-Knoten). Im Gegensatz dazu bedeutet das Symbol “*” auf der Spielfigur-Seite einer Kante, dass ein konkreter *Field*-Knoten im Graphen mit beliebig vielen Spielfiguren verbunden sein darf. Es dürfen sich z.B. eine Murmel und mehrere Geister auf demselben Feld befinden, ein Feld darf aber auch leer sein. Analog lässt sich natürlich auch die maximale oder minimale Anzahl von Knoten eines bestimmten Typs vorgeben. Wir können z.B. fordern, dass es maximal eine PacMan-Figur im Spiel geben darf (also eine oder keine), indem wir das Intervall “0..1” am *PacMan*-Knotentyp notieren.

3.2 Komplexe Bedingungen

Komplexere Bedingungen (genannt *Constraints*), die die erlaubten Spielsituationen weiter einschränken, können wir direkt als verbotene oder geforderte Graphmuster notieren. Ein Beispiel für ein Constraint, was bestimmte Spielsituationen verbietet, zeigt [Abbildung 6](#). Hier wird jede Spielsituation verboten, in der ein Geist und PacMan sich auf dem selben Feld befinden. So eine verbotene Situation ist mathematisch definiert als getypter Instanzgraph (Spielzustand), in den hinein es eine Abbildung vom Constraint-Graphen gibt.

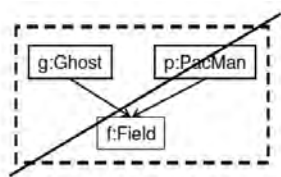


Abbildung 6: Graphisches Constraint, was verbotene Zustände beschreibt

3.3 Negative Anwendungsbedingungen für Regeln

Um gar nicht erst in eine Situation zu geraten, die verboten ist, können wir auch bei der Definition von Regeln Vorkehrungen treffen. Wir versehen Regeln, die in bestimmten Matches eine verbotene Spielsituation herbeiführen könnten, mit zusätzlichen *negativen Anwendungsbedingungen* (sogenannte NACs, negative application conditions). Solche NACs können die Matches der Regel auf die Fälle einschränken, die ungefährlich sind. Im PacMan-Modell könnte die Regel *movePM* dazu führen, dass sich PacMan nach Anwendung der Regel auf dem selben Feld



befindet wie ein Geist. Dies passiert aber nur in den Anwendungssituationen, in denen sich ein Geist auf dem Feld befindet, auf das PacMan zusteuert.

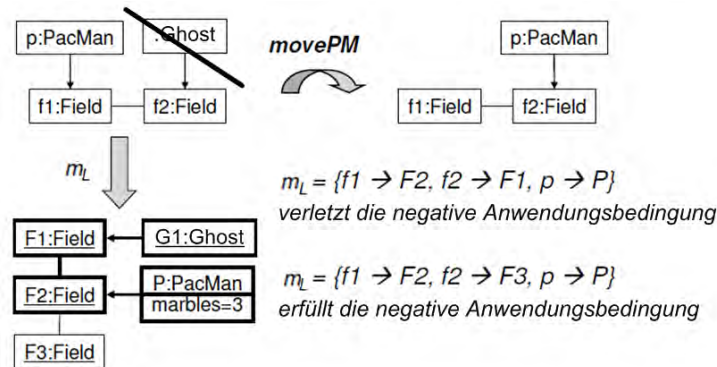


Abbildung 7: Regelanwendung mit negativer Anwendungsbedingung

In **Abbildung 7** haben wir die Regel *movePM* in der linken Seite um einen verbotenen Knoten vom Typ *Ghost* ergänzt. Wir verbieten also die Anwendung der Regel, wenn die linke Regelseite so gematcht wird, dass sich auf PacMans Zielfeld ein Geist befindet. Wie wir in **Abbildung 7** sehen, gibt es zwei mögliche Matches, wobei der obere Match die NAC nicht erfüllt (die verbotene Situation liegt hier vor), und der untere Match die NAC erfüllt (hier ist alles in Ordnung, weil auf dem Zielfeld *F3* kein Geist sitzt). Ist die NAC erfüllt, so darf die Regel an diesem Match angewendet werden, sonst nicht.

4 AGG: Ein Werkzeug zur visuellen Modellierung und Simulation

In diesem Kapitel beschreiben wir kurz, wie man das Werkzeug AGG (Attributierte Graph-Grammatiken) verwendet, um Modelle wie unser PacMan-Spiel zu modellieren und zu testen (simulieren). Das Werkzeug mit Anleitung und vielen Beispielen kann von der AGG-Homepage heruntergeladen werden [[AGG13](#)].

4.1 Erstellen von Modellen: Graphische Editoren

AGG stellt Editoren bereit zum Definieren von Typgraph, Instanzgraphen und Regeln. Alle diese Editoren sind graphisch, d.h. wir malen Knoten in ein weißes Rechteck durch Klicken auf die gewünschte Stelle und verbinden diese Knoten durch Kanten, indem wir erst auf den Quellknoten und dann auf den Zielknoten der Kante klicken. Der erste graphische Editor, den wir verwenden, ist der *Typgrapheditor* ([2](#) in **Abbildung 8**). Doch bevor wir den benutzen können, muss es erstmal eine Liste mit Typnamen geben, damit wir im Editor Knoten und Kanten verschiedener Typen erstellen können. Diese Liste wird im *Typeditor* zusammengestellt ([1](#)), wo wir Namen und Aussehen von Knoten- und Kantentypen bestimmen.

Als nächstes erstellen wir den Typgraphen, indem wir aus der Typliste einen Typ auswählen und dann im Typgrapheditor einen Knoten für diesen Typ malen oder für einen Kantentyp die



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

Typen ihrer Quell- und Zielknoten bestimmen, indem wir eine Typkante ziehen [2].

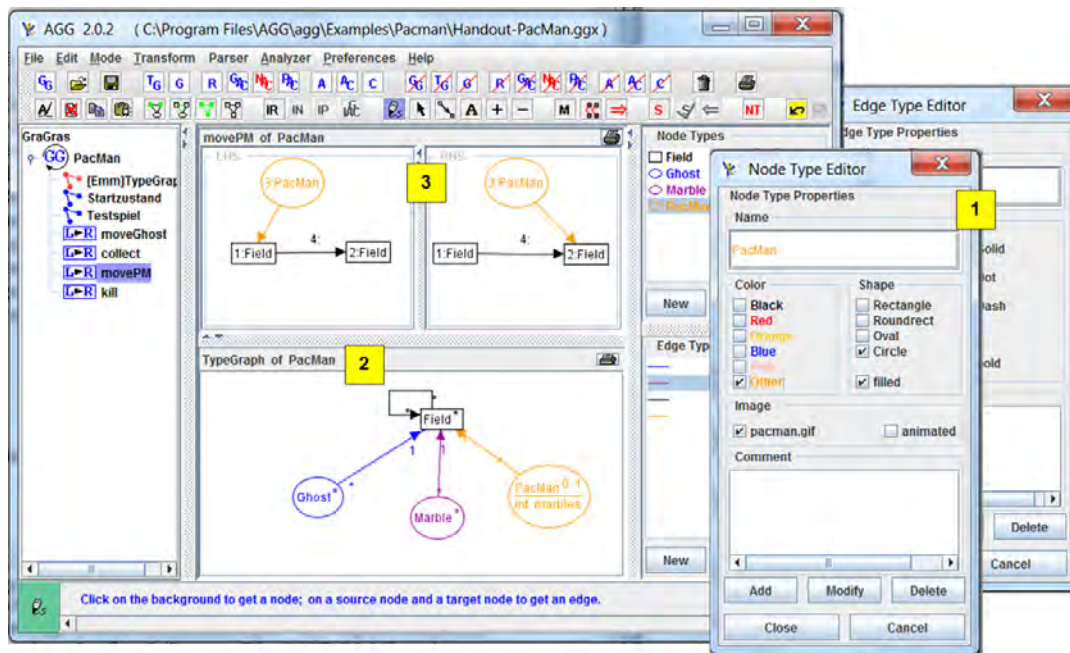


Abbildung 8: AGG-Tool: Erstellen von Typen (1), Typgraph (2) und einer Regel (3)

Ist der Typgraph fertig, können wir den graphischen *Regeleditor* verwenden und Regeln zeichnen ([3] in [Abbildung 8](#)). Um klarzustellen, dass mit einem bestimmten *Field*-Knoten in der linken Regelseite derselbe Knoten gemeint ist wie mit einem *Field*-Knoten der rechten Regelseite, kann man zwischen den entsprechenden Knoten ein *Mapping* hinzufügen (vorher den Button `framebox+` drücken), indem man zuerst auf den Knoten links und danach auf den Knoten rechts in der Regel klickt. Das Mapping wird dann dadurch angezeigt, dass beide Knoten dieselbe Nummer erhalten. In der Regel *movePM* werden alle Knoten und Kanten von links nach rechts gemappt, außer der Kante, die PacMan mit *1:Field* verbindet, denn diese Kante wird durch die Regel gelöscht. Dafür wird eine neue Kante erzeugt, die PacMan mit *2:Field* verbindet.

[Abbildung 9](#) zeigt die wichtigsten Buttons und Menüs von AGG, die beim Erstellen von Graphen und Regeln gebraucht werden.

4.2 Simulieren von Modellen: Regeln anwenden

Sind alle Regeln fertig, können wir sie ausprobieren, indem wir einen Instanzgraphen für den Startzustand unseres Spiels angeben. Dieser wird im *Grapheditor* ([4] in [Abbildung 10](#)) erstellt.

AGG prüft, ob der Instanzgraph korrekt über den Typgraphen getypt ist. Außerdem müssen wir darauf zu achten, dass wir für alle Attributwerte konkrete Belegungen angeben und keine Variablen (wie in den Regeln) verwenden. In unserem PacMan-Spiel heißt das, dass wir die Zahl für Murmeln mit *marbles=0* festlegen, da PacMan am Anfang noch keine Murmeln hat.



Laden einer bestehenden Grammatik

- Öffnet die Datei mit unserem Konzept-Modell und dem Startgraphen (Spielfeld im Anfangszustand)

Malen von Graphen

- Erweitert den Startgraphen:
 - Malt noch ein paar Felder und verteilt noch ein paar Murmeln und Geister
- Attribute von ausgewähltem Graphknoten definieren **A**
(hier schummeln wir ein bisschen: das ist Java-Code)

Type	Name	Expression
int	marbles	0

Malen von Spielregeln

- Regel hinzufügen **R** und zur Regel eventuell NAC hinzufügen **NAC**
- Linke Seite **L** der neuen Regel malen
- Linke Seite in die Rechte Seite kopieren **IR** und eventuell in die NAC **IN**
- In Linker und Rechter Seite **M** nötige Änderungen vornehmen

Abbildung 9: Wichtigste Bedienelemente von AGG zum Editieren

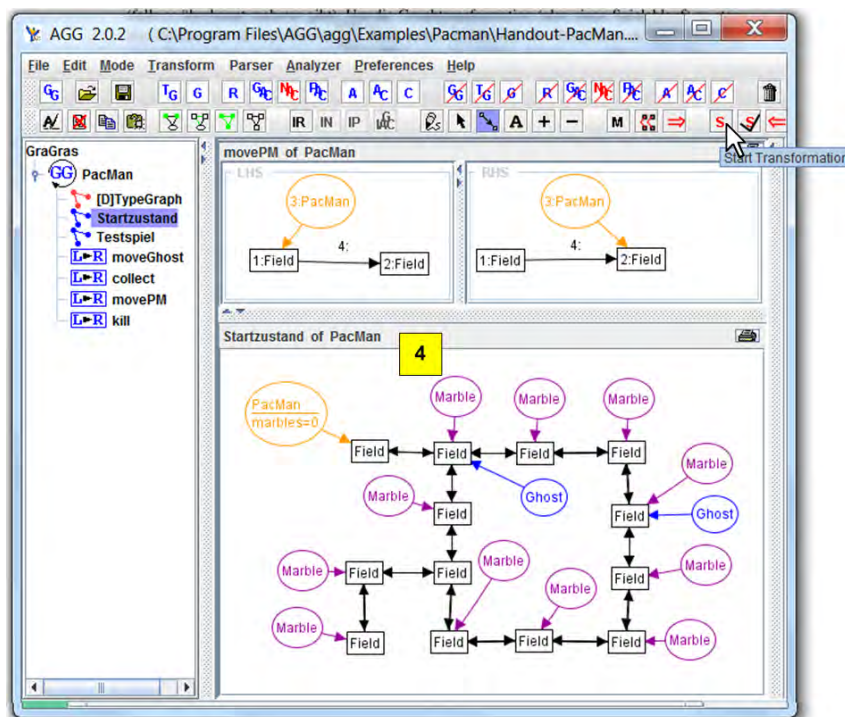


Abbildung 10: AGG-Tool: Erstellen von Instanzgraph (4) und Simulieren eines Spielablaufs

Ist der Instanzgraph fertig, wenden wir jetzt Regeln nacheinander an, wobei AGG selbst bestimmt, welche der anwendbaren Regeln als nächstes ausgewählt wird, und an welchem Match



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

(falls es überhaupt mehrere gibt). Um die Graphtransformation (also einen Spielablauf) zu starten, klicken wir auf den Button **S**. Nach jedem Schritt hält die Simulation an und wartet auf einen Tastendruck des Benutzers, woraufhin dann der nächste Schritt ausgeführt wird. Alternativ kann man einstellen, dass nicht nach jedem Schritt angehalten werden soll. Dies ist dann eher dazu gedacht, zu sehen, ob ein gewünschter Endzustand erreicht wird, denn so rattern die Spielzustände sehr schnell durch.

Abbildung 11 zeigt im Überblick die wichtigsten Buttons und Menüs von AGG, die beim Anwenden von Regeln gebraucht werden.

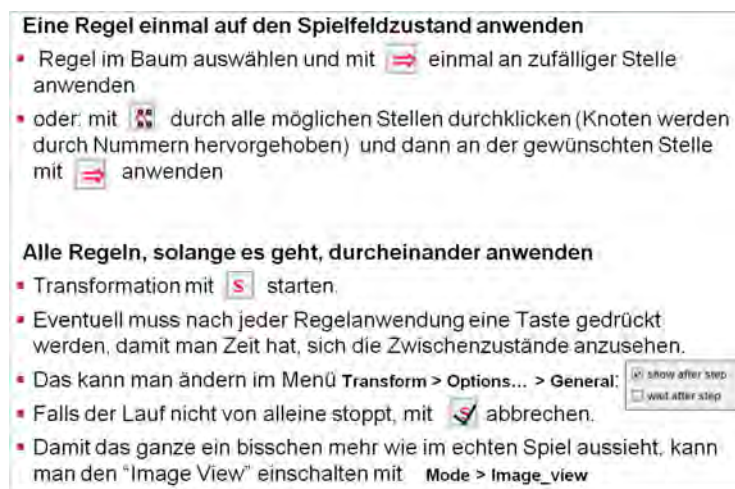


Abbildung 11: Wichtigste Bedienelemente von AGG zum Simulieren

5 Virtuelles Kraftwerk als Modell in AGG

Virtuelle Kraftwerke sind vernetzte lokale Energie-Infrastrukturen. Sie brauchen eine umfassende IT-basierte Vernetzung von Energiequellen und -verbrauchern, damit die nötigen Maßnahmen zur Aussteuerung der Fluktuationen in der Energieproduktion realisiert werden können. Die Grundlage der Modellierung ist hier, wie beim Pacman-Spiel, ein Konzeptmodell. Wichtig sind für ein Virtuelles Kraftwerk die Energieproduzenten (z.B. Windkraft, Sonnenenergie, Wasserkraft, Biomasse, Erdgas, Kohle, ...) und die Verbraucher (private Haushalte, Industrieanlagen, ..), aber auch Übertragungsnetze, sowie Steuerungseinheiten (Smart Grid) und Speicher (Pumpspeicher, Batterien, Wasserstoff) [Qua13, Ost15, Mau15]. Wir modellieren das Konzeptmodell als Klassendiagramm, wie in [Abbildung 12](#) gezeigt. Zur besseren Visualisierung können Konzepten (Klassen) auch Bilder zugeordnet werden.

Aktuelle Systemzustände eines Virtuellen Kraftwerks sind dann unsere Szenario-Modelle, also zum Konzeptmodell passende Graphen. Ein Beispiel eines Szenario-Modells ist im unteren Teil von [Abbildung 13](#) zu sehen. Dynamisch wird das Modell nun durch Verhaltensregeln, die zum Konzept-Modell passen. Sie beschreiben das Zusammenwirken von kleinen, dezent-

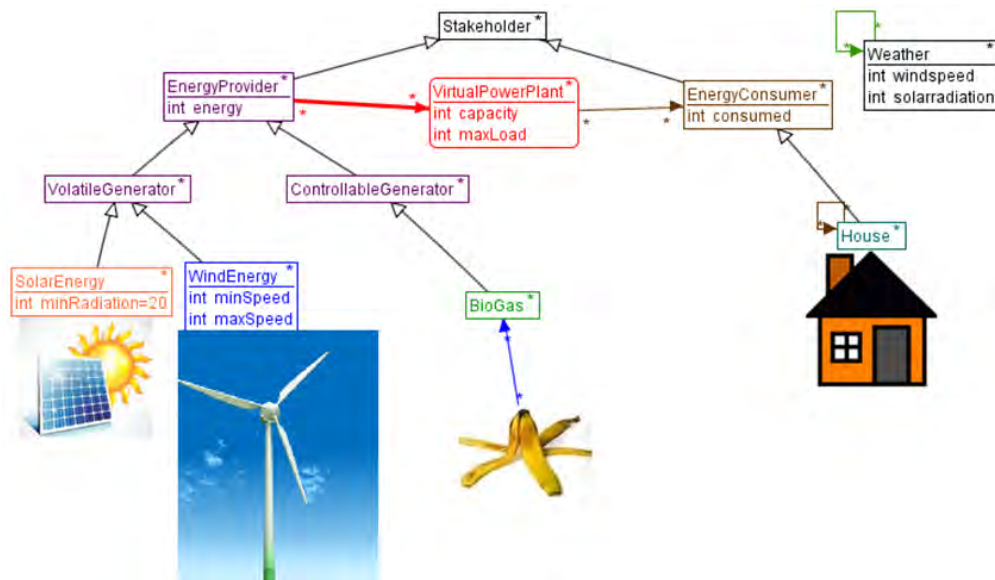


Abbildung 12: Teil des Konzeptmodells eines Virtuellen Kraftwerks als Klassendiagramm

tralen Anlagen zu einem Stromerzeugungsverbund. Die Regeln sind wieder in "Wenn-Dann-Form" gegeben, wie zum Beispiel "Wenn der aktuelle Wind eine bestimmte Windgeschwindigkeit überschreitet, so wird das Windrad abgeschaltet und kann keine Energie mehr einspeisen." Werden solche Regeln dann auf aktuelle Systemzustände angewendet, ergeben sich Modellzustandsänderungen, die das Verhalten des Modells beschreiben. Durch die Vielzahl von Regeln, die zufällige Auswahl der jeweils angewendeten Regeln und der betroffenen Modellanteile können sich dann auch unerwünschte Systemzustände ergeben. Die Simulation des dynamischen Modellverhaltens hilft dabei, solche Systemzustände aufzudecken. Ein Beispiel für eine Verhaltensregel wird im oberen Teil von [Abbildung 13](#) gezeigt.

Die Regel *switchOnWindEnergy* prüft in der LHS, ob es im aktuellen Systemzustand ein Windkraftwerk gibt, das abgeschaltet ist (nicht mit dem VirtualPowerPlant-Knoten verbunden), obwohl die aktuelle Windstärke einen Betrieb zulässt (Bedingung im Conditions-Fenster über den Attributwerten der Knoten WindEnergy und Weather). Dies ist der Fall, die Regel kann auf den mit 1 nummerierten WindEnergy-Knoten angewendet werden und verbindet ihn dann mit dem VirtualPowerPlant-Knoten, wie in der rechten Regelseite (RHS) gezeigt. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass Windenergie ins Netz eingespeist werden kann. Die Abbildung auf der Titelseite zeigt den Szenario-Systemzustand nach Anwendung der Regel *switchOnWindEnergy*.

Weitere Regeln (nicht gezeigt) modellieren Wetteränderungen (durch Auslesen einer Wetterdatenbank), Produzieren und Verbrauchen von Energie. Ein Constraint fordert, dass immer genügend Energie für Verbraucher zur Verfügung steht. Das System bricht die Simulation ab, sobald das Constraint verletzt wird. Dies ist die erste Stufe unseres Modells, was nun von euch durch Hinzufügen von Konzepten und Regeln für weitere Energieerzeuger, -verbraucher, Speicher und Netzeigenschaften verfeinert werden kann.



Projekt: Virtuelles Kraftwerk

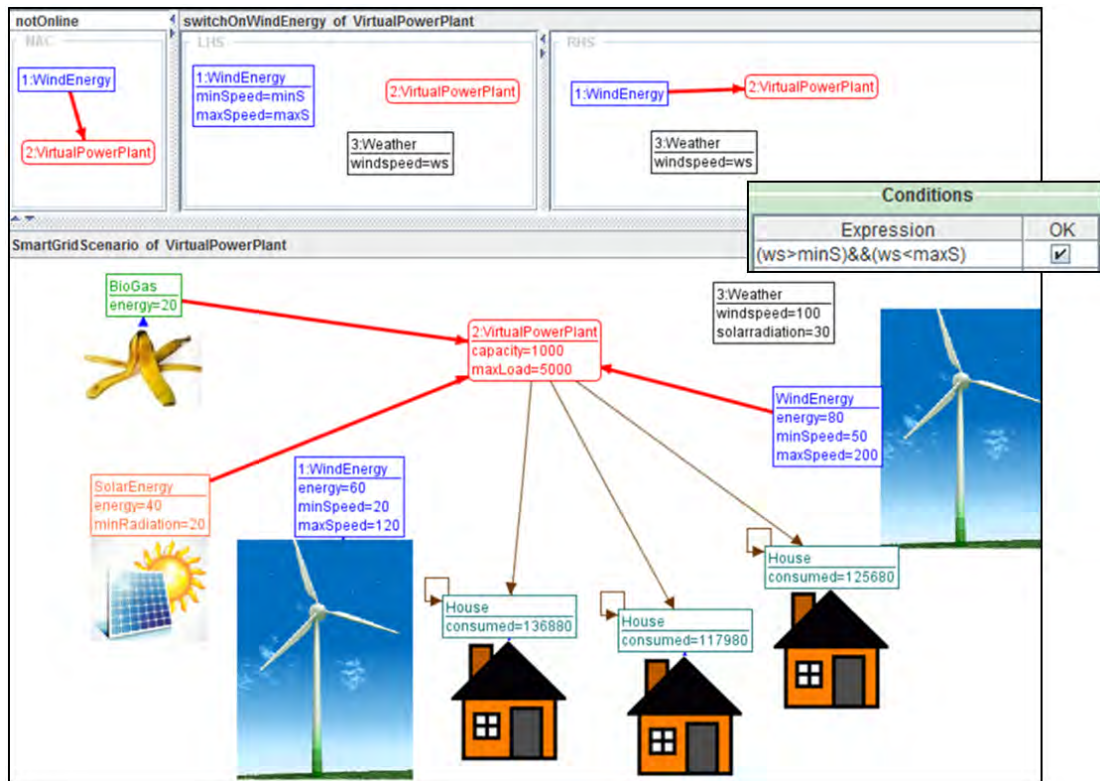


Abbildung 13: Szenario-Systemzustand und Verhaltensregel vor ihrer Anwendung

Quellenangaben

- [AGG13] AGG: Attributierte Graph-Grammatiken. Fachgebiet Theoretische Informatik - Formale Spezifikation, TU Berlin. 2013. <http://www.tfs.tu-berlin.de/agg>.
- [Hec04] R. Heckel. Graph Transformation and Software Technology – Script. 2004. Universität Paderborn.
- [Mau15] K.-D. Maubach. *Strom 4.0: Innovationen für die deutsche Stromwende*. Springer Vieweg, 2015.
- [Ost15] W. Osterhage. *Die Energiewende: Potenziale bei der Energiegewinnung: Eine allgemeinverständliche Einführung*. essentials. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [Qua13] V. Quaschnig. *Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe, Techniken und Planung, Ökonomie und Ökologie, Energiewende*. Carl Hanser Fachbuchverlag, 2013.
- [Wik13] Wikipedia. Pac-Man. 2013. [Online; Stand 24. Juli 2013]. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pac-Man&oldid=119163419>



Projekt Virtuelles Kraftwerk

 AGG (<http://www.tfs.tu-berlin.de/agg>)

Editor-Kurzreferenz



Was will man tun?	Wie tut man es? Was passiert?
Grammatik	
Neue Grammatik erstellen	: Neue Grammatik enthält eine Regel, einen Graphen und ein Typset. Alle sind leer.
Laden einer Grammatik	: Öffnet eine vorhandene Datei in AGG-Format (.ggx)
Speichern einer Grammatik	oder <Strg+S> oder mit rechter Maustaste auf klicken und weiter mit Save oder Save As
Knoten- und Kantentypen	
Editor für Knoten- und Kantentypen	Rechts im Fenster sieht man den Typ-Editor (evtl. rechts auf den Rand klicken) mit Node Types und Edge Types untereinander.
Knotentyp erstellen	New in Node Types öffnet den Node Type Editor . Name, Color, Shape setzen und mit Add hinzufügen. Close schließt den Editor.
Knotentyp ändern	Knotentyp in Node Types auswählen, mit Edit den Node Type Editor öffnen. Name, Color, Shape ändern und mit Modify bestätigen. Mit Close schließen.
Knotentyp löschen	Knotentyp in Node Types auswählen und mit Del löschen.
Kantentyp erstellen/ändern/löschen	Analog zu Knotentypen in Edge Types neue Kantentypen erstellen oder vorhandene Kantentypen ändern / löschen.
Typgraph	
Typgraphen erstellen	oder mit rechter Maustaste auf klicken und New → TypeGraph wählen
Typgraphen mit Typknoten und Typkanten editieren	Typgraphen enthalten von jedem Knotentyp nur einen Typknoten und von jedem Kantentyp eine Typkante zwischen zwei Typknoten. Wie man sie malt, siehe Malen von Graphen .
Multiplizität von Typknoten setzen	Über das Knoten-Pop-up-Menü Operations → Multiplicity kann man in einem Dialog die minimale und maximale Anzahl von Knoten eines Knotentyps in einem Graphen bestimmen.
Multiplizität von Typkanten setzen	Die Multiplizität einer Typkante wird für den Quell- und den Zielknoten gesetzt. Die Zahlen an dem Quellknoten zeigen wie viele ausgehenden Kanten dieses Kantentyps für einen Knoten des Quelltyps erlaubt sind. Die Zahlen an dem Zielknoten zeigen, wie viele eingehende Kanten dieses Kantentyps für einen Knoten des Zieltyps erlaubt sind.
Status eines Typgraphs	Über das TypeGraph -Pop-up-Menü (rechte-Maustaste-Klick auf) wählt man: <input type="radio"/> disabled - um den Typgraphen zu deaktivieren (dann wird er ignoriert). <input checked="" type="radio"/> enabled - um den Typgraphen zu aktivieren (dann wird er beachtet). <input type="radio"/> enabled with max - um den Typgraphen zu aktivieren, so dass zusätzlich maximale Multiplizität von Typknoten und Typkanten beachtet wird. <input type="radio"/> enabled with min and max - um den Typgraphen zu aktivieren, so dass zusätzlich minimale und maximale Multiplizität von Typknoten und Typkanten beachtet wird.
Typgraphen löschen	oder mit TypeGraph -Pop-up-Menü → Delete
Graph (Instanzgraph)	
Graphen erstellen / löschen/wiederherstellen	einen Graphen hinzufügen oder über Graph -Pop-up-Menü → Delete einen ausgewählten Graphen löschen Graph -Pop-up-Menü → Reset stellt den ursprünglichen Graphen wieder her.
Malen von Graphen	Mit Malen/Auswählen/Verschieben wählt man den Bearbeitungsmodus aus.
Knoten malen	Einen Knotentyp auswählen, Modus auf setzen und mit linker Maustaste auf die Graphfläche klicken, um einen Knoten vom ausgewählten Knotentyp zu erstellen.
Knoten verschieben	Modus auf oder setzen. Knoten mit linker Maustaste anklicken, halten und ziehen.



Projekt Virtuelles Kraftwerk

 AGG (<http://www.tfs.tu-berlin.de/agg>)

Editor-Kurzreferenz



Kanten zwischen zwei Knoten malen	Einen Kantentyp auswählen, Modus auf setzen. Mit linker Maustaste erst auf den Startknoten und dann auf den Zielknoten klicken. Oder den Quellknoten mit der linken Maustaste anklicken, halten und den Mauszeiger auf den Zielknoten ziehen und loslassen.						
einer Kante einen Knickpunkt hinzufügen	Modus auf Verschieben oder Auswählen setzen. Den Anker einer Kante (das grüne Viereck, wenn der Mauszeiger über eine Kante schwebt) mit linker Maustaste anklicken und ziehen.						
Attribute von Knoten und Kanten definieren und Werte setzen	Modus auf A Attribute setzen. Einen Knoten oder Kantenanker mit linker Maustaste anklicken, um den Attribut-Editor zu öffnen. Man gibt ein: Typ, Name, [Wert/Variable] <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Name</th> <th>Expression</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>int</td> <td>marbles</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> Der Typ ist ein primitiver Typ in <i>Java-Code</i> , z.B. int (Zahl) oder String (Text). Ein Mausklick irgendwo im AGG Editor schließt den Attribut-Editor.	Type	Name	Expression	int	marbles	0
Type	Name	Expression					
int	marbles	0					
Regeln							
Regel hinzufügen (leer)	oder mit rechter Maustaste auf klicken und weiter mit New → Rule						
Regel löschen	oder mit rechter Maustaste auf klicken und weiter mit Delete .						
Regel verschieben	Mit rechter Maustaste auf klicken und Move auswählen, danach die gewünschte Position in der Regelliste des Grammatik anklicken.						
Linke Seite LHS malen	Analog zu Malen von Graphen						
Linke Seite LHS in die rechte Seite RHS kopieren	kopiert den LHS-Graphen und setzt Identität-Markierungen von Knoten/Kanten.						
Identität-Markierung bei Knoten und Kanten einer Regel setzen oder ändern	Identität-Markierung [+] setzen oder löschen [-]: Modus [+] auswählen. Mit linker Maustaste erst auf einen Knoten aus LHS und dann auf einen Knoten aus RHS klicken. Modus [-] auswählen. Mit linker Maustaste auf einen Identität-markierten Knoten klicken. Analog für Kanten. Identität-Markierung von Start- und Zielknoten muss vorhanden sein.						
NAC (Negative Anwendungsbedingung)							
NAC zur Regel hinzufügen	oder über Rule-Pop-up-Menü → New NAC						
Ausgewählte NAC löschen	oder mit NAC-Pop-up-Menü → Delete						
NAC Graphen malen	Analog zu Malen von Graphen						
Linke Seite LHS in NAC kopieren	kopiert LHS und setzt Identität-Markierungen von Knoten und Kanten						
Identität-Markierung in NAC	Analog zu Identität-Markierung einer Regel , aber für LHS und NAC Graphen.						
Regelanwendung							
Match für eine Regel manuell definieren	Einen neuen Match erzeugen. Match-Abbildung für Knoten/Kanten manuell setzen: Mit linker Maustaste erst auf einen Knoten/Kanten aus der LHS einer Regel klicken und dann auf einen Knoten/Kanten aus dem Graphen . Erst Knoten abbilden, danach Kanten.						
Match automatisch vervollständigen lassen	Alle Knoten/Kanten aus der LHS einer Regel werden auf Knoten/Kanten aus dem Graphen abgebildet. Dabei müssen alle Anwendungsbedingungen erfüllt sein.						
Regel einmal anwenden	Ausgewählte Regel auf den Graphen einmal anwenden. Der Graph wird verändert.						
Automatische Regelanwendung	Graphtransformation starten (Regeln werden angewendet, so oft es geht) Graphtransformation stoppen Transformationsschritt rückgängig machen						
Optionen für Regelanwendung	Über Menü Transform → Options → General / → Transformation erreicht man Optionen für Match und Regelanwendung						



Virtuelles Kraftwerk: Arbeitsblatt



Stufe 1: Basis-Modell „Erzeuger und Verbraucher“

Lade die Datei „Stufe1-Basis.ggx“ in AGG. Mach Dich mit den Modellen vertraut:

1.a) Wo ist das *Konzeptmodell*? Wie ändert man es? Füge einen neuen „Steuerbaren Erzeuger“ hinzu: eine Biogasanlage

1. b) Wo findest Du das *Szenariomodell*? Stelle die Stromzähler aller Häuser zurück auf Null. (Tipp: Der verbrauchte Strom wird in der Zahlenvariablen „Verbrauch“ aufsummiert)



1.c) In welcher Reihenfolge (Layer) werden die Regeln angewendet? Was passiert in jedem Layer? Wende die Regeln schrittweise an und achte darauf, was sich ändert. Wende nun die Regeln im Simulationsmodus an. Wie ist hier die Anwendungsstrategie von AGG?

1.d) Erstelle eine Regel „BiogasErzeugtStrom“. Orientiere Dich dabei an den entsprechenden Regeln für Wind und Sonne. Simuliere wieder. Was ändert sich?



Stufe 2: Wetterabhängiges Modell

Lade die Datei „Stufe2-ErneuerbareEnergien.ggx“ in AGG.

2.a) Wo kommt hier das Wetter ins Spiel? Schau Dir die „Datenbank“ Wetterdaten.txt an. Was macht die Regel „UpdateWetter“? (Ausprobieren)

2. b) Nimm auch hier eine Biogas-Anlage ins Netz. Wie kannst Du sicherstellen, dass Biogas nur dann eingespeist wird, wenn Sonne und Wind nicht ausreichen?



Stufe 3: Modell Tarifmix Ökostrom/Fossiler Strom

Lade die Datei „Stufe3-ErneuerbareEnergien.ggx“ in AGG.


3.a) Jeder Verbraucher gibt an, wieviel Ökostrom und wieviel Fossilstrom er beziehen will. Wie wird realisiert, dass das auch eingehalten wird?

3. b) Modelliere die Erzeugung und den Verbrauch Fossiler Energie (Orientiere Dich dabei an den Regeln für Ökostrom).

3.c) Modelliere folgende Steuerung: Bei Strommangel soll eine Fabrik (eigentlich: ein Kühlhaus) eine Weile vom Netz genommen werden. Ist wieder genug Strom da, kann die Fabrik wieder ans Netz.



Oberschule - vorher

EvaSys	Evaluation der Schülerlabore an der TU Berlin	Electric Paper Druckempfindlich
Technische Universität Berlin	Erhebungszeitpunkt 1	
Fak. I: Bildungswissenschaften/Schulbüro	DEInLabor	

Bitte so markieren: Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
 Korrektur: Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

1. Bevor es losgeht:

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem Fragebogen möchten wir deine Meinung zum Schülerlabor kennen lernen. Hierbei handelt es sich nicht um einen Test oder eine Klassenarbeit. In diesem Fragebogen gibt es keine falschen Antworten. Gib die Antworten, die für dich am besten passen.

Bitte lies jede Frage sorgfältig durch und beantworte sie so genau wie möglich. Setze als Antwort ein Kreuz in die Kästchen oder schreibe deine Antwort in die dafür vorgesehenen Felder.

Heute im Anschluss an deinen Laborbesuch und einige Zeit nach deinem Besuch werden wir dich erneut befragen. Damit die Fragebögen dann einander zugeordnet werden können, wird jeder befragten Person ein Erkennungscode zugeordnet. Alle drei von dir ausgefüllten Fragebögen bleiben selbstverständlich anonym.

1.1 ERKENNUNGSCODE

--	--	--	--

(bitte nur GROSSBUCHSTABEN in Druckschrift verwenden)

1. Kästchen: Erster Buchstabe **deines Geschlechts** (männlich = M, weiblich = W, anderes = A)
2. Kästchen: Erster Buchstabe des **Vornamens deiner Mutter** (z.B. Maria = M)
3. und 4. Kästchen: Die ersten zwei Ziffern **deines Geburtsdatums** (z.B. 08.05.1996 = 08).

2. Fragen zu deiner Person

- 2.1 Welche Klassenstufe besuchst du? 7. Klasse 8. Klasse 9. Klasse
 10. Klasse 11. Klasse 12. Klasse
 13. Klasse

- 2.2 **Was sind deine zwei Lieblingsfächer? Nenne an erster Stelle dein absolutes Lieblingsfach und an zweiter Stelle dein zweitliebstes Fach.**

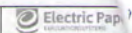
- 2.3 **Welche zwei Unterrichtsfächer magst du am wenigsten? Nenne zuerst das Fach, was du am allerwenigsten magst.**

- 2.4 Besuchst du das Schülerlabor heute zum ersten Mal?
 Ja Nein



EvaSys

Evaluation der Schülerlabore an der TU Berlin



3. Fragen zur Vorbereitung des heutigen Laborbesuchs:

- 3.1 Besuchst du das Schülerlabor heute zusammen mit deiner Klasse bzw. als Schul-Arbeitsgemeinschaft? Ja, im Rahmen eines Schulausfluges Nein, in meiner Freizeit
- 3.2 Wir haben im Unterricht ausführlich über das Schülerlabor gesprochen (z. B. welche Experimente/Aufgaben können durchgeführt werden).
- 3.3 Ich habe mich freiwillig außerhalb der Schulstunden auf das Thema des Schülerlabors vorbereitet.

gar nicht sehr ausführlich

4. Bitte gib an, inwieweit diese Aussagen auf dich zutreffen.

Kreuze bitte für jede Antwort das Zutreffende an.

- 4.1 Naturwissenschaften machen mir Spaß.
- 4.2 Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.
- 4.3 Ich führe in meiner Freizeit nur ungerne Gespräche über naturwissenschaftliche Themen.
- 4.4 In meiner Freizeit habe ich besseres zu tun, als über Naturwissenschaften nachzudenken.
- 4.5 Wenn ich experimentiere, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit vergeht.
- 4.6 Mich würden Naturwissenschaften bestimmt interessieren, wenn nicht alles so kompliziert wäre.
- 4.7 Experimente durchzuführen, macht mir einfach keinen Spaß
- 4.8 Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.
- 4.9 Obwohl ich mir Mühe gebe, fallen mir Naturwissenschaften schwer.
- 4.10 Kein Mensch kann alles. Für Naturwissenschaften habe ich einfach keine Begabung.
- 4.11 Bei manchen Sachen in den Naturwissenschaften, die ich nicht verstehe, weiß ich von vornherein: "Das verstehe ich nie".

5. Was erwartest du vom Besuch des Schülerlabors?

Kreuze bitte für jede Antwort das Zutreffende an.

- 5.1 Der heutige Besuch im Schülerlabor wird mir Spaß machen.
- 5.2 Ich möchte im Schülerlabor viel experimentieren.
- 5.3 Auf Vorträge der Betreuer/innen habe ich keine Lust.
- 5.4 Ich erwarte, dass ich im Schülerlabor eigene Ideen umsetzen kann.
- 5.5 Der Besuch des Schülerlabors wird mir einen Einblick in die tägliche Arbeit von Wissenschaftler/innen geben.
- 5.6 Im Schülerlabor werde ich erleben, wie Forschung funktioniert.
- 5.7 Das Schülerlabor wird mir bei der Entscheidung für einen Leistungskurs helfen.
- 5.8 Das Schülerlabor wird mir bei der Entscheidung für die Wahl eines Studienfaches oder einer Ausbildung helfen.



5. Was erwartest du vom Besuch des Schülerlabors?

Kreuze bitte für jede Antwort das Zutreffende an. [Fortsetzung]

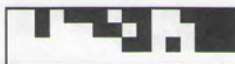
	stimmt gar nicht		stimmt völlig	
5.9 Das Schülerlabor wird mir bei der Entscheidung für meinen zukünftigen Beruf helfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.10 Der Besuch des Schülerlabors wird mir helfen, Themen aus dem Unterricht besser zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.11 Nach dem Besuch werde ich mehr über das Thema des Schülerlabors wissen als vorher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.12 Ich erwarte, mit Geräten zu arbeiten, die uns in der Schule nicht zur Verfügung stehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.13 Ich werde mehr fachliche Zusammenhänge verstehen als an einem normalen Schultag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.14 Im Schülerlabor werden wir mehr Zeit zum Experimentieren haben als in der Schule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.15 Ich erwarte, dass ich im Schülerlabor neue Erfahrungen sammeln und neue Dinge ausprobieren kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.16 Durch das Schülerlabor werde ich interessante Anregungen erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.17 Der Tag im Schülerlabor wird meine Einstellung gegenüber Naturwissenschaften verändern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.18 Der Besuch im Schülerlabor wird nicht mehr sein als ein netter Schulausflug.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.19 Ich erwarte interessante Experimente und Aufgaben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.20 Ich erwarte, mehr über Angebote der Universität für Schülerinnen und Schüler zu erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.21 Ich bin neugierig darauf, was wir in den nächsten Stunden erleben werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.22 Sonstige Erwartungen:

6. Bitte gib eine Einschätzung deines Interesses im jeweiligen Bereich an.

	sehr gering		sehr hoch	
6.1 Wie schätzt du dein allgemeines Interesse an Naturwissenschaften ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2 Wie schätzt du dein Interesse an einem späteren Studium im naturwissenschaftlichen Bereich ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3 Wie schätzt du dein Interesse an einem späteren Beruf im Bereich der Naturwissenschaften ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geschafft! Vielen Dank für deine Mitarbeit!



Oberschule - nachher

EvaSys	Evaluation der Schülerlabore an der TU Berlin	Electric Paper FRAUENBERG
Technische Universität Berlin		Erhebungszeitpunkt 2
Fak. I: Bildungswissenschaften/Schulbüro		Roberta II

Bitte so markieren: Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
Korrektur: Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

1. Bevor es losgeht:

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem zweiten Fragebogen möchten wir nun deine Meinung zum heute besuchten Schülerlabor kennen lernen. Das Ziel ist die Verbesserung der Angebote für Schülerinnen und Schüler, deshalb brauchen wir deine Hilfe! Hierbei handelt es sich wie beim ersten Fragebogen nicht um einen Wissenstest oder eine Klassenarbeit. Es gibt wieder keine falschen Antworten!

Bitte lies jede Frage sorgfältig durch und beantworte sie so genau wie möglich. Setze als Antwort ein Kreuz in die Kästchen oder schreibe deine Antwort in die dafür vorgesehenen Zeilen.

Wir planen, dich in 9-12 Wochen noch ein letztes Mal zu befragen. Damit die Fragebögen dann einander zugeordnet werden können, wird jeder befragten Person ein Erkennungscode zugeordnet. Alle drei von dir ausgefüllten Fragebögen bleiben selbstverständlich anonym.

1.1 ERKENNUNGSCODE

--	--	--	--

(bitte nur GROSSBUCHSTABEN in Druckschrift verwenden)

1. Kästchen: Erster Buchstabe deines Geschlechts (männlich = M, weiblich = W, anderes = A).
2. Kästchen: Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter (z. B. Maria = M).
3. und 4. Kästchen: Die ersten zwei Ziffern deines Geburtsdatums (z. B. 08.05.1996 = 08).

2. Fragen zum Besuch des Schülerlabors

	stimmt gar nicht			stimmt völlig
2.1 Ich wurde im Unterricht ausreichend auf den heutigen Besuch und die durchgeführten Experimente/Aufgaben vorbereitet.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 Ich habe im Schülerlabor gut mit meinen Mitschülerinnen und Mitschülern im Team zusammengearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3 Ich habe heute meinen Mitschüler/innen etwas erklärt oder mir ist von ihnen etwas erklärt worden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4 Ich habe mich bei der Bearbeitung der Experimente/Aufgaben nicht beteiligt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5 Die Experimente/Aufgaben waren eine Herausforderung für mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.6 Ich hatte genügend Kenntnisse, um die Experimente/Aufgaben erfolgreich durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7 Ich habe mich angestrengt, um Erklärungen für die Experimente/Aufgaben zu finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.8 Die Experimente/Aufgaben waren zu leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.9 Mir fehlte die Möglichkeit, eigene Ideen im Schülerlabor umzusetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.10 Mir fehlte die Möglichkeit, selbst Experimente zu entwickeln.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>




4. Gib bitte an, inwieweit die folgenden Behauptungen deiner Meinung nach zutreffen.

	stimmt gar nicht			stimmt völlig
4.1 Die Experimente/Aufgaben waren für mich interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2 Der Besuch im Schülerlabor hat mir keinen Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3 Die Zeit ist heute im Schülerlabor sehr langsam vergangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.4 Die Durchführung der Experimente/Aufgaben war langweilig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.5 Das eigenständige Experimentieren/Arbeiten war mir wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.6 Dass wir heute im Schülerlabor waren, erscheint mir sinnvoll.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.7 Dass wir heute Experimente/Aufgaben gemacht haben, ist mir persönlich wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.8 Ich habe heute einen Zusammenhang zwischen Forschung und meinem Alltag erkannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.9 Nach dem Besuch im Schülerlabor kann ich mir Phänomene aus meinem Alltag erklären.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.10 Ich habe heute etwas über die Bedeutung von Naturwissenschaften für unsere Gesellschaft gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.11 Ich würde gerne mehr über die Themen lernen, die wir im Schülerlabor behandelt haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.12 Solche Experimente und Aufgaben, wie wir sie im Schülerlabor gemacht haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.13 Durch das Schülerlabor habe ich interessante Anregungen erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.14 Ich werde mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge sprechen, die ich im Schülerlabor erlebt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.15 Ich werde in Büchern/im Internet nachgucken, um mehr Informationen über das im Schülerlabor behandelte Thema zu bekommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.16 Ich werde außerhalb des Unterrichts über Dinge nachdenken, die wir im Schülerlabor gesehen oder angesprochen haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Wie schätzt du die Betreuung im Schülerlabor ein?

	stimmt gar nicht			stimmt völlig
5.1 Die Betreuer/innen sind auf meine Fragen gut eingegangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2 Die Betreuer/innen im Schülerlabor haben ausreichend Hilfestellung gegeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3 Wir haben die Ergebnisse der Experimente/Aufgaben ausreichend diskutiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4 Ich habe das Gefühl, dass die Betreuer/innen von Naturwissenschaften fasziniert sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.5 Mir wurde von den Betreuer/innen genug erklärt, um die Experimente/Aufgaben erfolgreich durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.6 Ich habe die Arbeitsanleitungen gut verstanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.7 Das Ziel der Experimente/Aufgaben war mir von Anfang an klar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.8 Die Arbeitsatmosphäre im Schülerlabor fand ich gut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



EvaSys	Evaluation der Schülerlabore an der TU Berlin	
--------	---	---

6. Bitte gib an, inwieweit diese Aussagen JETZT auf dich zutreffen.
Kreuze bitte für jede Antwort das Zutreffende an.

	stimmt gar nicht			stimmt völlig
6.1 Naturwissenschaften machen mir Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.2 Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.3 Ich führe in meiner Freizeit nur ungern Gespräche über naturwissenschaftliche Themen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.4 In meiner Freizeit habe ich besseres zu tun, als über Naturwissenschaften nachzudenken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.5 Wenn ich experimentiere, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit vergeht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.6 Mich würden Naturwissenschaften bestimmt interessieren, wenn nicht alles so kompliziert wäre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.7 Experimente durchzuführen, macht mir einfach keinen Spaß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.8 Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.9 Obwohl ich mir Mühe gebe, fallen mir Naturwissenschaften schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.10 Kein Mensch kann alles. Für Naturwissenschaften habe ich einfach keine Begabung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.11 Bei manchen Sachen in den Naturwissenschaften, die ich nicht verstehe, weiß ich von vornherein: "Das verstehe ich nie".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Wenn du an deine Erwartungen vor dem Besuch denkst - inwieweit haben sie sich deiner Meinung erfüllt?

	stimmt gar nicht			stimmt völlig
7.1 Ich habe im Schülerlabor viel experimentieren können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.2 Die Vorträge der Betreuer/innen waren zu lang.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.3 Das Schülerlabor hat mir bei der Entscheidung für einen Leistungskurs geholfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.4 Das Schülerlabor hat mir bei der Entscheidung für ein Studienfach oder eine Ausbildung geholfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.5 Der Tag im Schülerlabor hat meine Einstellung gegenüber den Naturwissenschaften geändert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.6 Das Schülerlabor hat mir bei der Entscheidung für meinen zukünftigen Beruf geholfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.7 Ich habe mehr fachliche Zusammenhänge verstanden als an einem normalen Schultag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.8 Ich habe mit Geräten gearbeitet, die uns in der Schule nicht zur Verfügung stehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.9 Nach dem Schülerlabor weiß ich mehr über das behandelte Thema als vorher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.10 Im Schülerlabor hatte ich mehr Zeit zum Experimentieren als in der Schule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.11 Ich habe im Schülerlabor neue naturwissenschaftliche Phänomene kennen gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.12 Ich habe im Schülerlabor neue Erfahrungen gesammelt und neue Dinge ausprobiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.13 Der Besuch im Schülerlabor war nicht mehr als ein netter Schulausflug.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



7. Wenn du an deine Erwartungen vor dem Besuch denkst - inwieweit haben sie sich deiner Meinung erfüllt? [Fortsetzung]

	stimmt gar nicht		stimmt völlig	
7.14 Ich habe heute mehr über Angebote der Universität für Schülerinnen und Schüler erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.15 Der Besuch im Schülerlabor war eine Zeitverschwendung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.16 Sonstige Erwartungen:				

8. Bitte gib eine Einschätzung deines Interesses im jeweiligen Bereich zum jetzigen Zeitpunkt an.

	sehr gering		sehr hoch	
8.1 Wie schätzt du dein allgemeines Interesse an Naturwissenschaften zum jetzigen Zeitpunkt ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.2 Wie schätzt du dein Interesse an einem späteren Studium im naturwissenschaftlichen Bereich zum jetzigen Zeitpunkt ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.3 Wie schätzt du dein Interesse an einem späteren Beruf im Bereich der Naturwissenschaften zum jetzigen Zeitpunkt ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geschafft! Vielen Dank für deine Mitarbeit!



Feedback zum Vertiefungsprojekt: dEIn-Labor

Virtuelles Kraftwerk

Techno-Club, Fortgeschrittenen-AG (11. Klasse)

Datum: 2.11.2015

Persönliches Feedback der Techno-Club-Tutorin:

Der Betreuungsschlüssel war extrem gut, da dieser Versuch das erste Mal durchgeführt wurde und somit alle Betreuerinnen teilnehmen wollten. Der Theorieteil bestand aus einem Vortrag mit gelegentlichen Zwischenfragen, bei denen die Schülerinnen sich gut beteiligt haben. Es folgte eine Praxiseinweisung in die Modellierungstechnik und das Werkzeug, schon hier waren die Schülerinnen sehr gut eingebunden. Als sie dann in Zweiergruppen ihre Aufgaben bekommen hatten, waren alle sehr damit beschäftigt, diese zu lösen. Es kamen interessante unterschiedliche Lösungen heraus, die am Ende verglichen wurden. Die Arbeitsatmosphäre war sehr angenehm und die Mädchen hatten offensichtlich viel Spaß.

Frage	Schülerinnen-Feedback	
Persönliches Feedback (alles direkte Zitate)	<ul style="list-style-type: none"> • Etwas zu lang • Spaß gemacht • Interessant, informativ (2x) • Sehr viele Informationen auf einmal (zu später Stunde) • Erfolgreich trotz Hindernissen • Viel Detailarbeit • Viel Neues gelernt • Nette Leute • Anstrengend • Viel praktische Arbeit, aber wenig Theorie zur Energiewende, z.B. Speicherformen • Informatik kann doch Spaß machen • Doch sehr spät geworden • Sehr guter Praxisteil, der uns das Programmieren näher gebracht hat • Guter Überblick • Sehr gut erklärt 	
Schwierigkeitsgrad	Viel zu schwer	
	Etwas zu schwer	1
	Angemessen	9
	Etwas zu leicht	
	Viel zu leicht	

Praxisanteil	Viel zu schwer	
	Etwas zu schwer	1
	Angemessen	8
	Etwas zu leicht	1
	Viel zu leicht	
Theorieanteil	Viel zu schwer	
	Etwas zu schwer	
	Angemessen	9
	Etwas zu leicht	1
	Viel zu leicht	
Einbettung in Studiengang und Beruf	<ul style="list-style-type: none"> • Informatik 8x • Elektrotechnik 2x • Elektronik • Energiewende • Umwelttechnik 	
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> • Nette, hilfsbereite Dozenten • Danke für das Programm und den schönen USB-Stick • Viel Spaß am selbständigen Arbeiten • Mehr Theorie wäre interessant 	
Weiterempfehlung	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, auf jeden Fall • Ja, informativ, man lernt Neues dazu • Ja, einer Freundin, die gern mit Computern arbeitet. Das würde sie sehr interessieren • Ja, definitiv 	

Berliner **ENERGIETAGE** 2015
Energieeffizienz in Deutschland

Energiewende-Projekt für Schüler_innen

Claudia Ermel
das Elektrotechnik- u. Informatik-Labor
Fakultät IV
Technische Universität Berlin

Bettina Liedtke
Schulbüro
Technische Universität Berlin





Berliner **ENERGIETAGE** 2015
Energieeffizienz in Deutschland

Zu entwickelnde Energiewende-Module

gefördert durch
DBU
Deutsche
Bundesstiftung Umwelt
www.dbu.de

- **Informatik-Modul**
Modellierung und Simulation von Smart-Grid-Szenarien
- **Robotik-Modul**
Erneuerbare Energien (LEGO-mindstorms-Modelle)
- **Elektronik-Modul**
Smart Home - Hausautomation mit Mikrocontrollern
- **Elektrotechnik-Modul**
Farbstoffsolarzelle

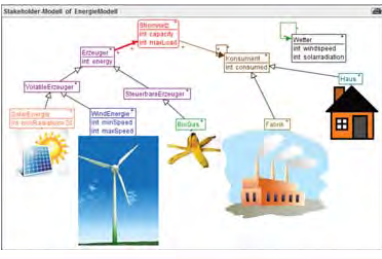


Berliner **ENERGIETAGE** 2015
Energieeffizienz in Deutschland

Informatik-Modul

Simulation von Smart-Grid-Szenarien

- **Konzeptmodell**
Erzeuger, Verbraucher, Netze
- **Simulationsmodell**
Wetterabhängigkeit
Ökostromtarif




Berliner **ENERGIETAGE** 2015
Energieeffizienz in Deutschland

Robotik-Modul

Erneuerbare Energien mit LEGO mindstorms

- **Windkraftanlage**
Experimentieren mit Neigungswinkel und Anzahl der Rotoren
- **Solaranlage**
Experimentieren mit unterschiedlichen Winkeln und Lichtstärken
Bauen einer nachgeführte Anlage

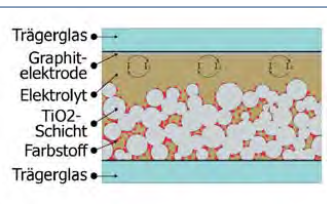


Berliner **ENERGIETAGE** 2015
Energieeffizienz in Deutschland

Elektrotechnik-Modul

Farbstoffsolarzelle

- Solarzellen
- Licht und Energie
- Elektronen und Kristalle
- Dotierung von Halbleitern



Berliner **ENERGIETAGE** 2015
Energieeffizienz in Deutschland

Elektronik-Modul

„Smart Home“ mit Mikrocontrollern

- Alarmanlage
- Automatische Jalousien
- Intelligentes Licht
- Selbstöffnende Türen
- Feuchtigkeitsmessung im Bad



Bild:
InfoSphere
World of Information

12. Berlin-Brandenburger MNU-Landeskongress 2014, Lehrerfortbildung Nr. 14-2-1828, Programm **Vorträge**

Donnerstag 11. September 2014

Raum: Hs 1a Hauptvortrag Prof. Dr. Hans Anand Pant Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I: der IQB-Ländervergleich mit einem Fokus auf die Länder Berlin und Brandenburg		Mathematik Hs 1a	Physik Hs 2	Chemie K 24/21	Biologie KL 24/122d	Informatik KL 24/ 122c	Sachunterricht/NaWi
9:00 bis 10:30	Dr. Elke Warmuth, FU Berlin Was ist eigentlich zu erwarten? – Anregung zum Aufbau adäquater Grundvorstellungen über zufällige Schwankungen	Prof. Dr. habil. Michael Vollmer FH Brandenburg Grüne Sonnen, blaue Monde, rote Wolken	Prof. Dr. Ingo Eilks, Marc Stuckey, Universität Bremen Chemie, die unter die Haut geht - Tätowierungen	Prof. Dr. Ulrich Kattmann, Universität Oldenburg Karrieren an Land und unter Wasser - Evolutionstheoretische Perspektiven im Unterricht der Sek I und darüber hinaus	Claudia Ernel, TU Berlin, Stefan Moll, Universität Oldenburg Das Unterrichtsthema SmartGrid aus zwei verschiedenen Perspektiven		
Mittagspause von 12:30 bis 13:30							
13:30 bis 14:30	Benno Grabinger, Neustadt an der Weinstraße Stochastische Simulationen mit Tabellenkalkulation	Prof. Dr. Friedrich Herrmann KIT, Universität Karlsruhe Der Karlsruher Physikkurs – Mechanikunterricht mit Impulsströmen	Nadia Belova, Prof. Dr. Ingo Eilks, Universität Bremen Lernen mit und über Werbung im naturwissenschaftlichen Unterricht	Wolfgang Ruppert, Universität Frankfurt Chlamydien-Infektionen – eine Herausforderung für den Biologieunterricht	Helen Krofta, FU Berlin Das Smart Grid und das Konzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung		
14:45 bis 15:45	K 24/21 Holger Wiesing, kapierten.de, Berlin Das iPad als praktisches Hilfsmittel im Schulunterricht	KL 24/122d Prof. Dr. Benjamin Lindner, Humboldt-Universität zu Berlin Haariges Hören – die aktive Verstärkung akustischer Signale in der Gehörsschnecke	Hs 2 Dr. Christof Bömer, Dominik Essing, Phaeno Wolfsburg Luft ist nicht Nichts – naturwissenschaftliche Experimente rund um ein spannendes Medium	Physik/Chemie /NaWi verbindend	KL 24/122d Prof. Dr. Benjamin Lindner, Humboldt-Universität zu Berlin Haariges Hören ... Biologie/Physik verbindend	KL 24/122c Helen Krofta, Prof. Dr. Carsten Schulte, FU Berlin Materialbörse zum Thema SmartGrid	Hs 2 Dr. Christof Bömer, Dominik Essing, Phaeno Wolfsburg Luft ist nicht Nichts – naturwissenschaftliche Experimente rund um ein spannendes Medium
16:00 bis 17:00	Hs 1a Schülergruppe der Gesamtschule Hennef „Und täglich grüßt der Physikuss“ eine Naturwissenschafts – Show						

Danach: MNU-Abend



Programm

Workshop „Lehrerbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Lehr-Lern-Labor“ (Berlin, 11.09.2015)

Session 1: Berichte aus der Praxis & Impulse aus der Theorie

- 09:00 – 09:30 Nadine Bergner (RWTH Aachen), Thimo Leonhardt (RWTH Aachen): Mit Informatik die Welt verbessern – Solarzellen ausrichten, kürzeste Wege finden und Stau vermeiden
- 09:30 – 10:00 Claudia Ermel (TU Berlin): Elektrotechnik- und Informatik-Module zum Thema Energiewende im Schülerlabor „dEin Labor“ der TU Berlin
- 10:00 – 10:30 Ira Diethelm (Univ. Oldenburg): Bildung im Lernlabor Informatik der Universität Oldenburg
- 10:30 – 10:50 Kaffeepause
- 10:50 – 11:40 Helen Krofta (FU Berlin): Bildung für Nachhaltige Entwicklung am Beispiel „Smart Grid“
- 11:40 – 12:30 BNE-Graffiti
- 12:30 – 13:00 Carsten Schulte (FU Berlin): Bildung für Nachhaltige Entwicklung – ein Konzept für den Informatikunterricht?
- 13:00 – 14:00 Mittagspause

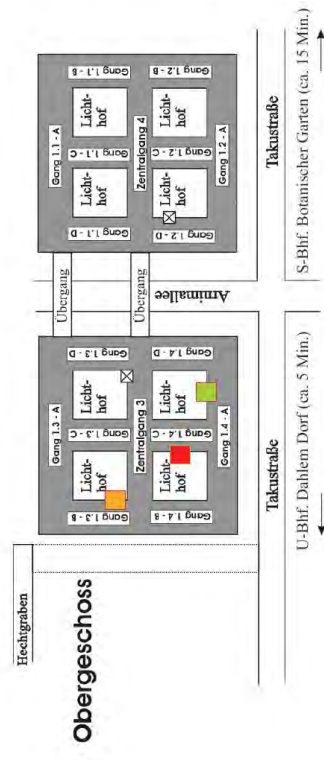
Session 2: Lehrerbildung im Labor

- 14:00 – 14:30 Malte Buchholz (FU Berlin) – Kompetenzorientiertes Unterrichten und Studierenden (Kaffeevortrag)
- 14:30 – 15:30 Der „Post-it-Problemclub“
- 15:30 – 15:45 Pause

Session 3: Aktuelle Ansätze und Entwicklung – Quo vadis Lehr-Lern-Labor?

- 15:45 – 16:00 Benjamin Priéza (FU Berlin): Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore: Forschungsorientierte Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT-Lehrerbildung
- 16:00 – 16:15 Johannes Magenheim (Univ. Paderborn): Aktuelle Ideen und Konzepte der fachdidaktischen Forschung
- 16:15 – 17:00 Abschlussdiskussion

Der Workshop findet im Physikgebäude der Freien Universität Berlin (Arnimallee 14, 14195 Berlin) im Raum 1.3.43 Obergeschoss statt. Der Raum ist in der Karte orange markiert.



Kontakt Malte Buchholz: büro 030 838 75187 // mobil 0177 520 98 42