

Informatik, Balkonkraftwerk und DIY-Energiewende



Ein Plädoyer für eine Informatik im Kontext

KLAUS-UWE GOLLMER – JOACHIM BRINKMANN – GUIDO BURGER

Die Klima- und Energiewende ist das zentrale gesellschaftliche Thema der nächsten Jahre. Eine erfolgreiche Umsetzung gelingt nur im Zusammenspiel aller MINT-Disziplinen und wird maßgeblich davon abhängen, ob wir es schaffen, der jungen Generation die notwendige Fachkenntnis, das Selbstvertrauen, sowie den Spaß am Making und den MINT-Berufen zu vermitteln. Am Beispiel der IoT²-Werkstatt möchten wir Mut machen, das Silodenken der eigenen Fachdisziplin zu durchbrechen und sich gemeinsam der Herausforderung zu stellen.

1 Motivation

Aktuelle Entwicklungen der künstlichen Intelligenz rücken Algorithmen verstärkt ins Bewusstsein der Gesellschaft. In der Folge wird die Informatik als Pflichtfach in der Schule in allen Bundesländern mit hoher Priorität behandelt. Die dabei in der Regel präferierte Orientierung der Bildungspläne an der Fachdisziplin und die Gliederung entsprechend akademischer Sichtweise ist ein naheliegender Ansatz.

Auf der anderen Seite beklagen wir eine zunehmende Resignation in der Gesellschaft. Junge Menschen sehen sich vermehrt als „Letzte Generation“ und verlieren die Hoffnung auf eine bessere Zukunft. Die Informatik, auch im Kontext der neuen

Anwendungsdisziplinen Klima und Nachhaltigkeit, kann hier einen signifikanten Beitrag zur intrinsischen Motivation liefern. Die Fähigkeit eigene digitale Selbstwirksamkeit zu erfahren, wird so zum Erfolgsfaktor nicht nur für die Bildung in der digitalen Welt.

Auch die Energiewende benötigt Algorithmen zum Management der erneuerbaren Energie. Wann wird verbraucht, produziert, gespeichert? Die Intelligenz bewegt sich weg von den Zentralen der Netzbetreiber, hin zu verteilten Systemen in unseren Häusern. Hier brauchen wir Fachkräfte, die das Zusammenspiel orchestrieren. Neben der Anwerbung ausländischer Kräfte sollten wir unseren eigenen Nachwuchs befähigen, im Konzert der Energiewende mitzuwirken.

Im internationalen Vergleich der Bildungssysteme gibt es üblicherweise wenig Positives über den Stand der Innovationskraft in Deutschland zu berichten. Eine Ausnahme bildet der Umwelt-Campus Birkenfeld der HS Trier, der seit Jahren zu den Top 10 in Sachen Digitalisierung und Nachhaltigkeit gehört (UI-greenmetric, 2023). Mit dem folgenden Beitrag möchten wir Mut machen, die sich bietenden Chancen im Unterricht zu nutzen und die Informatik nicht nur als Schlüssel zur Klima- und Energiewende neu zu denken.

2 Informatik im MINT-Kontext

Deutschland als Land der „Dinge“ (Automobilindustrie, Maschinenbau, Prozesstechnik) blickt auf eine einmalige wirtschaftliche Wachstumsgeschichte zurück. Grundlage des Erfolgs ist nicht zuletzt die solide Verankerung mathematischer, naturwissenschaftlicher und technischer Fächer in den Lehrplänen unserer Schulen. Mit dem Internet of Things (IoT, Internet der Dinge) und des Denkens (KI, künstliche Intelligenz) erleben wir nun, wie die Informatik diese traditionellen Fachgebiete revolutioniert. Ähnlich wie bei den sozialen Netzen der Menschen, beginnen die „Dinge“, selbstständig Informationen auszutauschen, algorithmisch zu verknüpfen und automatisiert Wissen abzuleiten. Parallel finden wir eine Transformation der Anwendungsgebiete in Richtung Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Zukünftig sind es „Dinge“ wie E-Autos, Wärmepumpe und Photovoltaik, deren erfolgreicher Einsatz ohne IoT und KI überhaupt nicht denkbar ist. Auch in der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) führt der Weg vom Reden zum Handeln immer direkt über MINT (z.B. EU-Batterieverordnung, EU Recht auf Reparatur). Für den modernen Unterricht bedeutet dies, das Silodenken der Fachdisziplinen zu überwinden und Wissen übergreifend zu verknüpfen. Denn nur wer die Zusammenhänge versteht, kann zukünftig in der Gesellschaft mitreden und muss nicht resignieren oder schlimmer – wie in der Pandemie häufig geschehen – den Alu-Hut aufsetzen.

Parallel erleben wir eine umfassende gesellschaftliche Einflussnahme der Algorithmen. Mit ChatGPT wird die Informationsgewinnung und Wissensvermittlung unsere gesamte Arbeitswelt grundlegend verändern. Auch die Informatik bleibt davon nicht verschont. So wird das reine Codieren zukünftig zweifellos in großen Teilen direkt von der Maschine erledigt. „We think the future of coding is no coding at all,“ sagte der CEO von github schon 2017 (Business Insider, 2017). Algorithmen jedoch, kann der KI-Prompt noch nicht selbst entwickeln. Dazu braucht es Wissen, Kreativität und neue Ideen.

Um all diesen Veränderungen Rechnung zu tragen, erscheint uns eine frühzeitige Förderung der kreativen, forschenden, handwerklich technischen Fähigkeiten, die uns Menschen von der Maschine unterscheiden, als das geeignete Mittel der Wahl.

Hier bedeutet dies Design-Thinking, Making und die Möglichkeit, z.B. eigene Ideen gleich am realen Objekt (Ding) auszuprobieren. Die Informatik der Zukunft findet im anwendungsbezogenen Verbund der MINT-Disziplinen und idealerweise im kreativen Ambiente eines schulischen Makerspaces statt. Ein Makerspace ist eine Werkstatt, in dem mit digitalen Werkzeugen neue Ideen erarbeitet, erprobt und produziert werden. Fazit unserer langjährigen Erfahrung an der Hochschule: Dort werden zukünftige Fachkräfte und Hopemaker geboren (INNO-DIG, 2023).

3 Die IoT²-Werkstatt (Internet of Things and Thinking)

Gestartet als digitale Bildungsidee zum nationalen IT-Gipfel 2016 (Nationaler Digitalgipfel, 2017) und fortgeführt u.a. an den 21 Informatik-Profilschulen in RLP, erweist sich das Konzept eines anfassbaren Internets der Dinge als universelles Werkzeug.

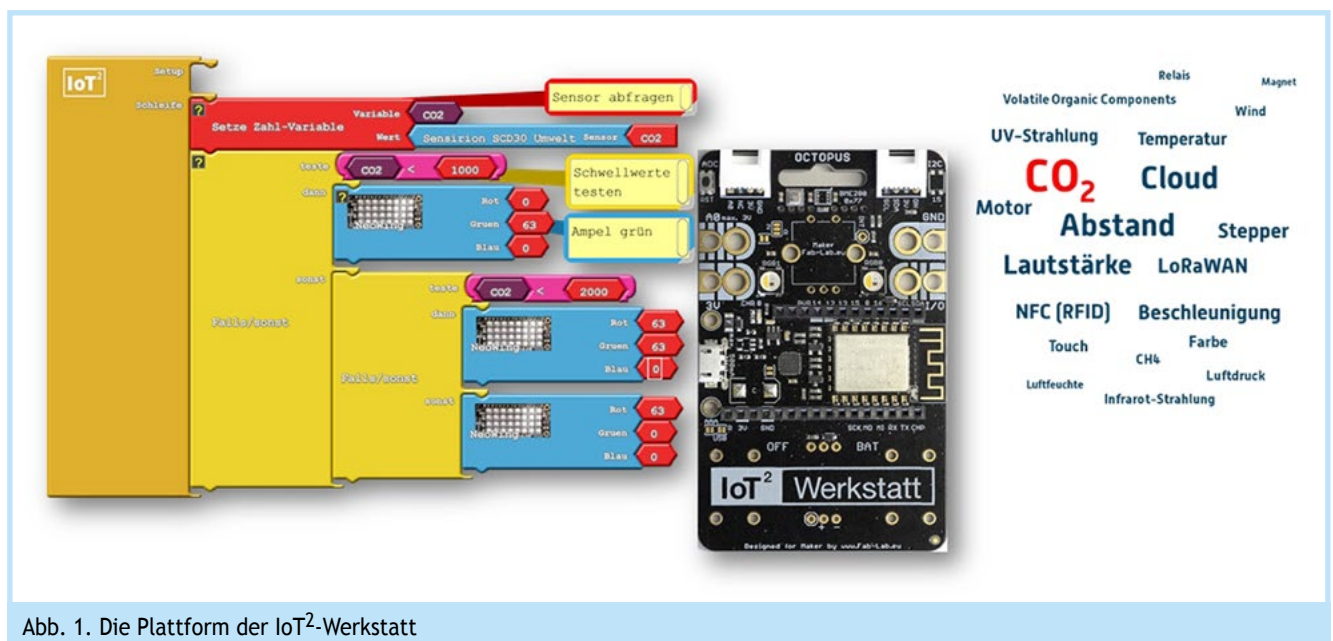


Abb. 1. Die Plattform der IoT²-Werkstatt

Grundlage bildet der IoT-Octopus mit ESP8266, Bosch BME680 Umweltsensor, Neopixel und diversen standardisierten Interfacekomponenten. Die im Rahmen des Beitrags vorgestellten Anwendungen lassen sich jedoch auch mit jedem anderen ESP8266 realisieren (NodeMCU, Wemos D1). Eine grafische Programmierumgebung (Ardublock) in Verbindung mit Open-Source (Arduino-IDE) und professionellen IoT-Standards (LoRa, MQTT) ermöglicht einen niederschweligen Zugang, Sensoren, Aktoren und verteilte Algorithmen zu verstehen, selbst zu nutzen und neue Ideen zu entwickeln (Abb. 1).

Ob Apfel-KI (prognostiziert Geschmack anhand der Farbe), intelligente CO₂-Ampel (die sich mittels RKI-API über die aktuelle Inzidenz im Landkreis informiert), Starkregenpegel, Schimmelwarner (intelligente Lüftung in Gebäuden), eine künstliche Nase (zur Getränkeerkennung) oder die Schultasche, die anhand von RFID/NFC selbst erkennt, wenn der Tuschkasten fehlt oder der Atlas unnötigerweise in der Schultasche steckt. In mittlerweile über 100 gemeinsam mit Schüler/innen und Lehrkräften initiierten Projekten konnten wir zeigen, dass die Idee funktioniert, Innovation und Selbstvertrauen fördert und dabei auch skalieren kann. Ein Beispiel sind die ca. 3000 CO₂-Ampeln, deren Selbstbau wir während der Pandemie bundesweit initiiert haben und die, im Gegensatz zu käuflichen Produkten, ganz konkret als „Trojanisches Pferd“ für MINT im Kollegium der Schule gewirkt haben.

Über allem steht das Ziel „*readiness to act*“ und bildet damit die grundlegende Voraussetzung für eine gestaltende und gemeinwohlorientierte Digitalisierung.

4 Anwendung Balkonsolar und Smart-Grid

Angesichts der aktuellen multiplen Krisen haben wir neben dem Bildungssystem auch ein großes Potential zur Resilienzstärkung in der Gesellschaft identifiziert (Abb. 2) und unsere Ideen deshalb in Form eines kostenlosen Büchleins publiziert [GOLLMER & BURGER, 2023]. Im folgenden Abschnitt möchten wir die einmaligen Möglichkeiten im Umfeld der Energiewende verdeutlichen.

4.1 Physik: Leistung, Energie, Smart-Meter im Haushalt

Innovation und Hoffnung kann nur dort gedeihen, wo eine solide Wissensgrundlage existiert. Frei nach dem Philosophen Wittgenstein „Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenze meiner Welt“ müssen MINT-Fächer zukünftig um die meistgesprochene Sprache der Welt, nämlich der Sprache der digitalen Systeme erweitert werden. Im Kontext der Physik sind dies die altbekannten Begriffe Strom, Leistung und Energie, die wir digital neu denken können. Zum einen gehört die Informations- und Kommunikationstechnik sicher zu den bedeutendsten Energieverbräuchen (Bitcoin, Streaming, KI-Training, Blauer Engel für Software). Zum anderen bildet die Informatik auch den Schlüssel zur Nutzung einer volatilen Energieinfrastruktur.

4.1.1 Physik: Leistung und Energie

Elektrische Leistung und Energie sind wohl die am häufigsten von Verwirrung geprägten physikalischen Begriffe unserer Gesellschaft. Kilowatt (kW) und Kilowattstunden (kWh) gehen nicht nur in der politischen Diskussion munter durcheinander.

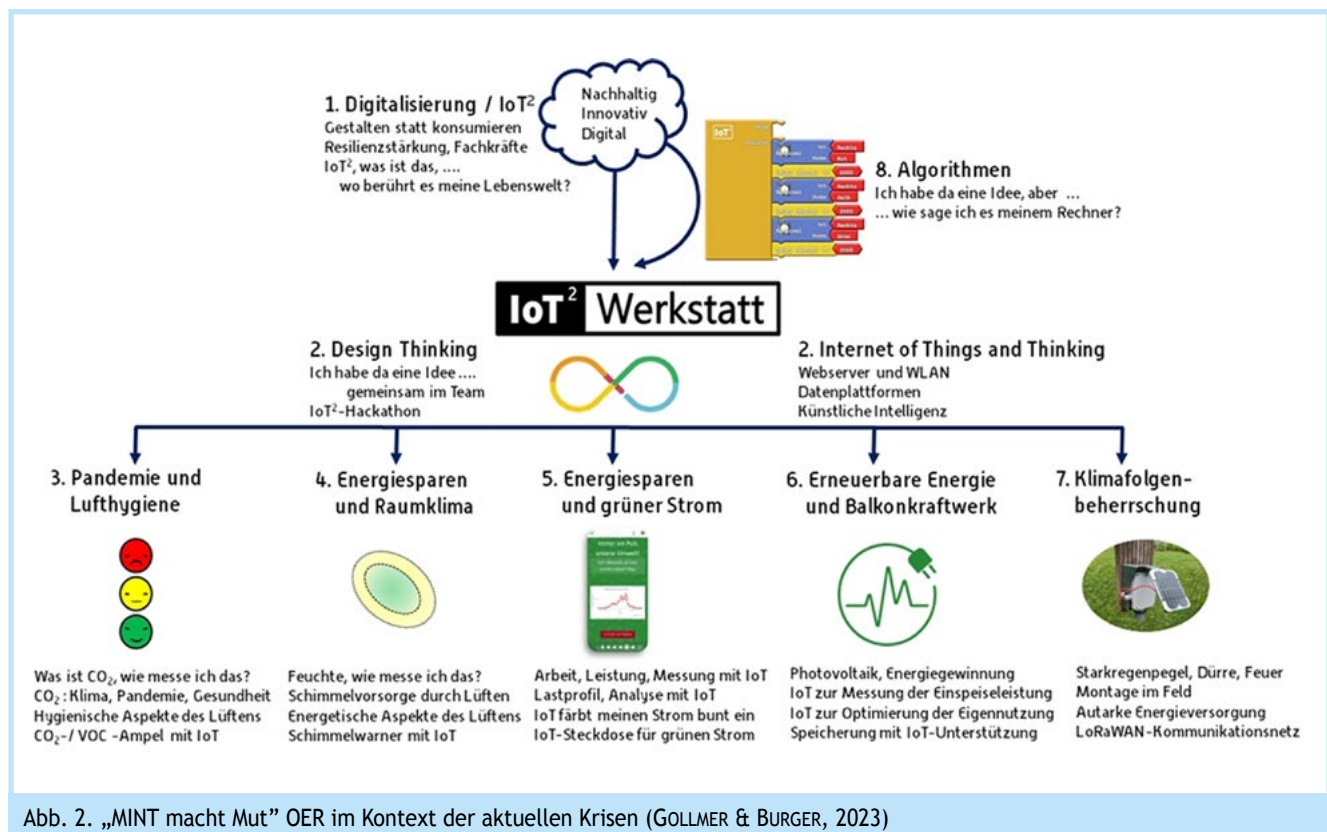



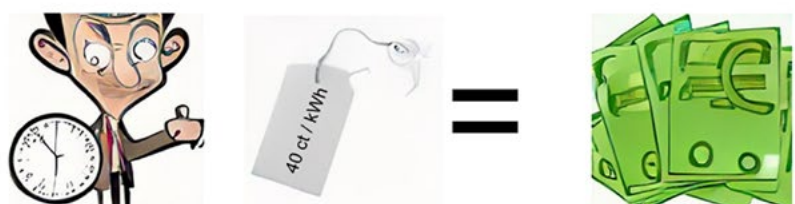
Abb. 2. „MINT macht Mut“ OER im Kontext der aktuellen Krisen (GOLLMER & BURGER, 2023)



Mr. Bean hat eine kleine **Leistung** (z.B. 10 Watt) und braucht lange, um eine Arbeit zu verrichten.

Supermann hat eine große **Leistung** (z.B. 1000 Watt) und kann so viel mehr Arbeit pro Stunde leisten

-> **Arbeit (Energie) ist also Leistung mal Zeit** ($E = P \cdot t$), Einheit: Watt mal Stunden, Wh



-> **Der Stromzähler im Keller zählt Energie, die wir dem Energieversorger bezahlen müssen**

Abb. 3. Elektrische Helferlein im Haushalt (KI-generiert: crayion.com)

Dabei sind die Unterschiede mittels Mr. Bean und Supermann als Helfer im Haushalt einfach zu veranschaulichen (Abb. 3).

Viele von uns werden einen Ferraris „Stromzähler“ im Keller haben, ein elektromechanisches Messgerät für elektrische Energie (schwarzer Kasten mit Drehscheibe). Hier kann man seinen Verbrauch im Haushalt jederzeit visuell ablesen. Einmal im Jahr erfolgt die Abrechnung des Energieversorgers, wobei jede kWh mit ca. 40 ct zu Buche schlägt und gemäß bundesweitem Energiemix für ca. 450 g CO₂- Emissionen verantwortlich ist (Stand 2023).

4.1.2 Lebenswelt: Was kostet mich der Betrieb eines Haushaltsgerätes?

Typische Haushaltsgeräte lassen sich in verschiedene Leistungsklassen einteilen (allen voran der Supermann Herd mit 4 kW, Wasserkocher 1 kW, TV 100 W, Notebook 50 W, Handyladegerät 5 W, Standby 0.5-1 W). Nur arbeiten diese Haushaltshelfer oft sporadisch für wenige Minuten und nicht 24 Stunden am Tag. Um zu verstehen, welchen Beitrag die einzelnen Geräte zum Gesamtverbrauch liefern, ist ein fiktiver Verbraucher mit 1 W Standby (täglich 24 Stunden) sehr interessant:

$1 \text{ W} \cdot 24 \text{ Stunden/Tag} \cdot 365 \text{ Tage/Jahr} = 8760 \text{ Wh/Jahr} \rightarrow \text{Mit } 40 \text{ ct pro kWh sind das } 3.50 \text{ € oder fast } 4 \text{ kg CO}_2 \text{ pro Jahr}$

Der im Zuge der Energiekrise oft diskutierte Heizlüfter mit 1000 W würde in einem halben Jahr Dauerbetrieb Heizkosten von 1750 € verursachen. Die Erzeugung der gleichen Wärme mittels Wärmepumpe (eigentlich ein Wärmehebel mit Jahresarbeitszahl 3) würde nur 1/3 kosten.

Den maximalen Leistungsbedarf der meisten Haushaltsgeräte findet sich auf dem Typenschild. Nur sagt dieses wenig über den Gebrauch und den dadurch zu erwartenden mittleren Energie-

bedarf aus. Ein typischer Kühlschrank besitzt einen Kompressor mit 150 W, der in Abhängigkeit der Außentemperatur nur wenige Minuten pro Stunde läuft (brummt). Um den mittleren Energiebedarf auszurechnen, bedarf es der genauen Beobachtung mit Stoppuhr und Buchführung über die Laufzeiten.

4.1.3 Selbstwirksames Handeln durch Informatik

Viel einfacher geht es mit Informatik. Sogenannte Smart-Meter sind intelligente Stromzähler, die in kurzen Intervallen den aktuellen Leistungsbedarf der elektrischen Verbraucher bestimmen und die Gesamtenergie über die Zeit aufsummieren (integrieren). Heute besitzen kostengünstige intelligente Zwischensteckdosen zusätzlich IoT-Funktionalität (z.B. Shellyplug-s, 20 €). Damit lassen sich Leistung und Energiebedarf der angeschlossenen Verbraucher niederschwellig erfassen und das Zeitprofil visualisieren.

4.1.4 Selbstbau im Makerspace: Die intelligente Steckdose als Energiedetektiv

Jede eingesparte kWh ist besser als eine umweltfreundlich produzierte kWh. Den Energieverschwendern kommen wir mittels Smart-Meter auf die Spur. Ein Beispiel ist der Verbrauch des Geschirrspülers bei verschiedenen Programmen. Ein Kurzprogramm (30 Minuten) benötigt, entgegen der Intuition (Energie gleich Leistung mal Zeit), aufgrund der höheren Temperaturen (Heizleistung) mehr Energie, als das Eco-Normalprogramm (3 h) und bietet so Potential zum Energiesparen. Mit wenigen grafischen Programmierblöcken der IoT2-Werkstatt erstellen wir ein individuelles Lastprofil des jeweiligen elektrischen Verbrauchers in der Cloud, welches wir im Webbrowser visualisieren können (Abb. 4).

Im Beispiel nutzen wir exemplarisch die auf http-REST basierende und für Schulen kostenlose Datencloud Thingspeak.

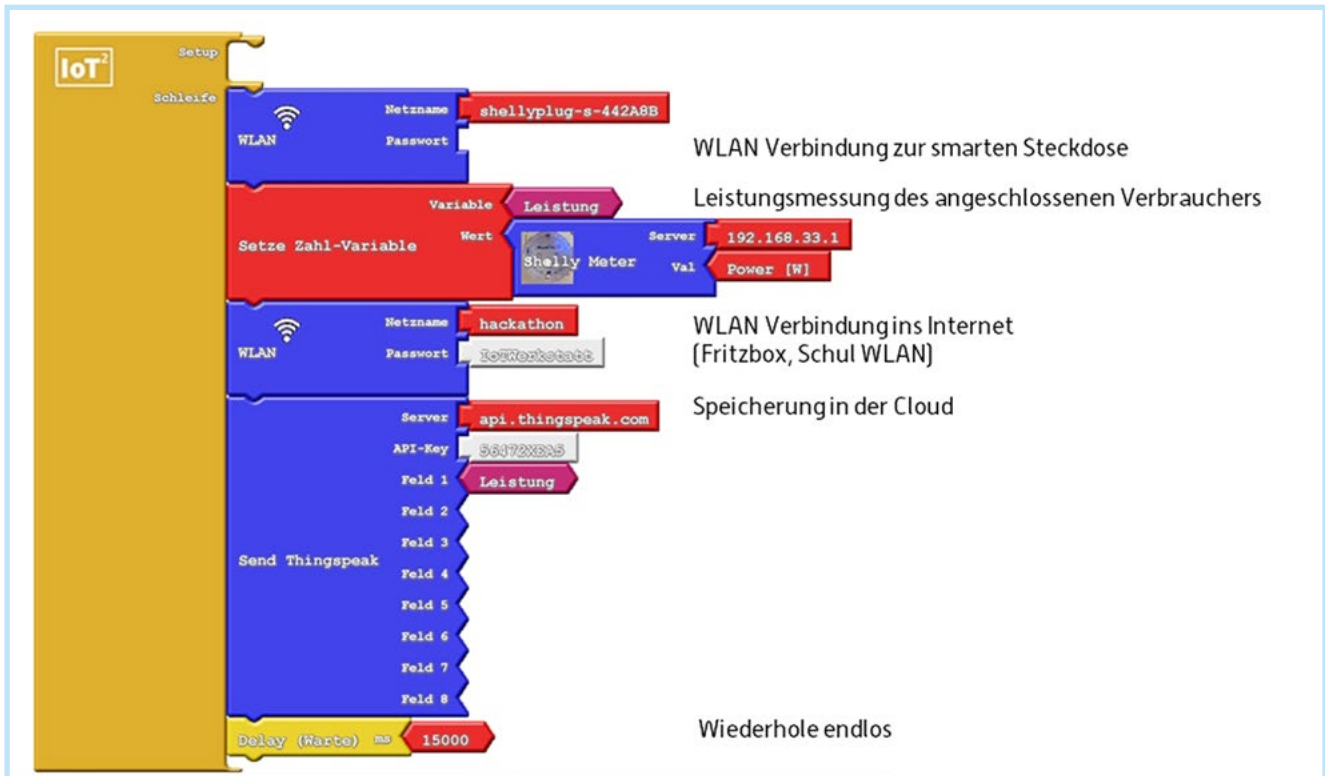


Abb. 4. Leistungsmessung und Datenspeicherung in der Cloud

Industrielle Protokolle würden sich auf das IoT effiziente MQTT-Protokoll fokussieren, für das es aber ebenfalls ein grafisches Blöckchen gibt. Wichtig ist das Ergebnis, welches den zyklischen Betrieb des Kompressors (mit 150 W) bestätigt.

Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit ist der orangene Schalter in der Kühlschranktür von entscheidender Bedeutung. Wird dieser gedrückt, so heizt die im Beispiel dargestellte Kühl-/Gefrierkombination den Kühlraum per Heizmodul auch im Standby mit 10 Watt (Abb. 5). Damit läuft der Kompressor häufiger (10 Watt Heizung muss weggekühlt werden), infolgedessen sich der Gefrierteil auf deutlich unter $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ abkühlt. Diese Funktion nennt sich Schnellfrost und soll den Einfriervorgang von Nahrungsmitteln beschleunigen. Wird der Schalter aber vergessen,

so bedeutet dies einen Mehrbedarf von mindestens 20 Watt oder Kosten von 70 € im Jahr.

Unterrichtsidee: Shelly-Zwischenstecker zur online Analyse typischer Verbraucher in der Schule (Kopierer, Getränkeautomat, Kaffeemaschine). Sensibilisierung Privatsphäre: Wann öffnet sich die Kühlschranktür? Verteilen von Steckern in der Klasse zur Messung im eigenen Haushalt.

Kasten 1. Unterrichtsidee zur Messung zu Hause

Nun kann man diese detaillierte zeitaufgelöste Betrachtung der Leistung als „nice to have“ betrachten, im Ferraris-Zähler im Keller wird schließlich alles integriert und nur die Energie spielt



Abb. 5. Leistungsbedarf einer Liebherr Kühl-/Gefrierkombination

beim Fußabdruck und den Kosten eine Rolle. Aber spätestens beim Balkonkraftwerk und der eigenen Energieproduktion im übernächsten Kapitel gewinnen diese Messwerte entscheidende Bedeutung. Bei der ökonomischen Betrachtung eines Balkonkraftwerkes zählt die Differenz der momentanen PV-Leistung und dem Leistungsbedarf im Haushalt.

4.2 BNE: Erneuerbare Energie (EE) in Deutschland

Um den Klimawandel zu stoppen, ist die Reduzierung von Treibhausgasen unabdingbar. Ziel der Klimawende ist deshalb eine Sektorenkopplung, bei der Strom-, Wärme- und Verkehrsinfrastruktur technisch miteinander verbunden und erneuerbare Energien so in allen Verbrauchssektoren genutzt werden können (Wärmepumpe statt fossiler Heizung). Aus Sicht des Klimaschutzes muss zukünftig ein möglichst großer Anteil des elek-

trischen Stromes aus erneuerbaren Quellen stammen. Im Jahr 2023 wurden in Deutschland rund 450 Milliarden kWh aus inländischer Produktion in das Netz eingespeist. Der Anteil erneuerbarer Energien stieg dabei auf 56 % (Destatis, 2024).

4.2.1 Lebenswelt: Was kann ich als Verbraucher tun, um EE zu fördern?

Die Anbieter von Ökostromverträgen versuchen ein auf dem Papier CO₂ neutrales Angebot zu schaffen. Physikalisch kommt aus der Steckdose unabhängig vom Vertrag jedoch immer der gleiche Energiemix. Auch wenn es im Internet unsinnige Angebote für „Atomstromfilter“ gibt, kann man den Ladungsträgern natürlich nicht ansehen, aus welcher Quelle die Energie letztlich stammt. „100 % Öko“ aus der Werbung bezieht sich also auf eine fiktive Bilanzierung (Verbraucherzentrale, 2022).

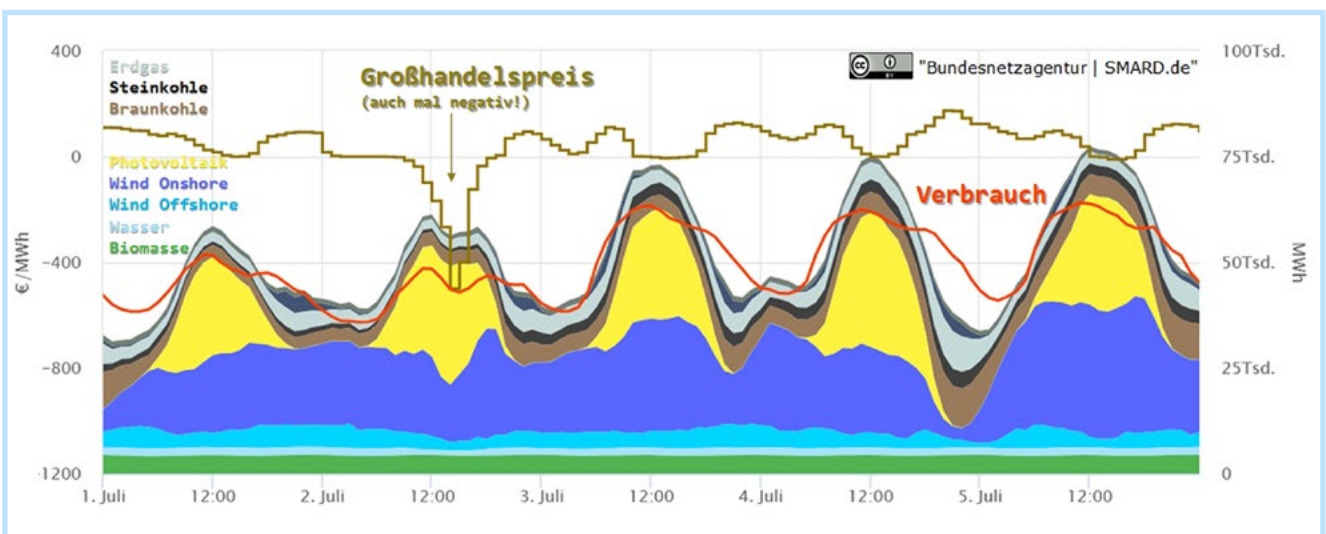


Abb. 6. Volatiler Verlauf der Marktdaten (Bundesnetzagentur, 2023)

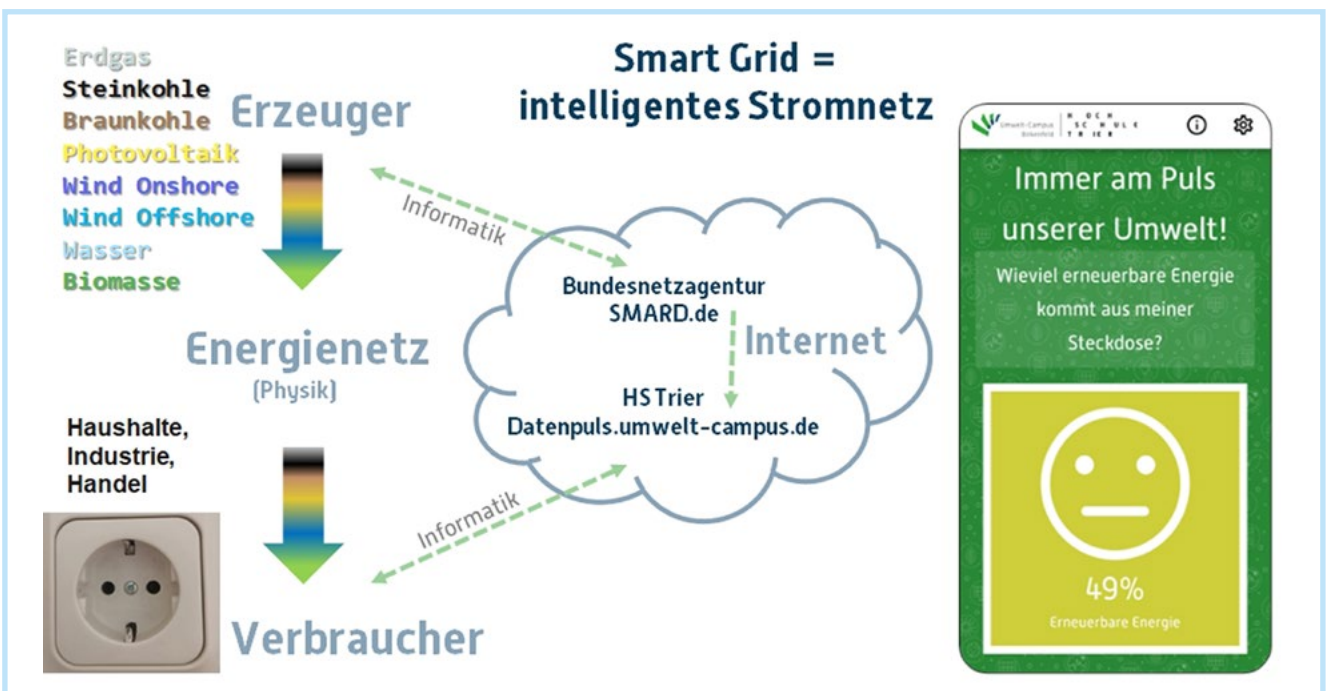


Abb. 7. Smart Grid – Informatik im Kontext: datenpuls.umwelt-campus.de

4.2.2 Doch welche Farbe hat der Strom, der gerade aus meiner eigenen Steckdose kommt?

In Deutschland regelt die Bundesnetzagentur den Energiemarkt und vertritt gleichzeitig die Interessen der Verbraucher. Die technologische Basis bildet das intelligente Stromnetz (Smart Grid), welches Energie- und Daten kombiniert. Mit Hilfe der Smart-Datenbank lassen sich aktuelle Marktdaten online analysieren (Bundesnetzagentur, 2023). Hier sieht man den bundesweiten Anteil und das volatile Verhalten der einzelnen Energieträger (Abb. 6).

Gleichzeitig gibt der Großhandelspreis einen guten Überblick über das aktuelle Marktgeschehen. Erstaunlicherweise gibt es auch Zeiten mit negativen Marktpreisen, d.h. die Energieerzeuger zahlen für die Abnahme. Nur wenn bekannt ist, wie hoch der Anteil an EE ist, kann das persönliche Handeln auch wirklich den CO₂-Fußabdruck beeinflussen. Hier sind neue Ideen gefragt, wie z.B. die automatische Warmwasserbereitung in Haushalten mit fossiler Heizung in Zeiten negativer Strompreise.

4.2.3 Selbstwirksames Handeln durch Informatik

Wieder ist es die Informatik, die in Form der intelligenten Netze und einer Anwendungsschnittstelle (API) für innovative Lösungen sorgt. Die von Studierenden am Umwelt-Campus entwickelte Web-App kommuniziert mit der Smart-Datenbank und visualisiert die Farbe des aktuellen Strommix. (Hintergrund: leider lassen die Daten der Bundesnetzagentur einen räumlichen Bezug vermissen, so dass die App von einem „Kupferplattenmodell“ der Bundesrepublik ausgehen muss. Transportprobleme durch fehlende Leitungen werden also nicht abgebildet).

4.2.4 Selbstbau im Makerspace: Die intelligente Steckdose

Die App erzeugt Notifications auf dem Smartphone, falls der Anteil erneuerbarer Energien aktuell über oder unter einer von mir individuell bestimmten Grenze fällt. Als mündiger Verbrau-

cher kann ich reagieren, die Waschmaschine, den Geschirrspüler anschalten, oder die Klimaanlage ausschalten (Abb. 7).

„Was aber, wenn ich in der Schule oder auf der Arbeit bin?“

Sofort kommt der Wunsch nach mehr Komfort und einer intelligenten Steckdose. Smart-Home Geräte, die ein bequemes Schalten der Beleuchtung oder der Stereoanlage vom Sofa aus ermöglichen, finden sich heute in fast jedem Haushalt. Diese können natürlich auch als integraler Teil der Energiewende wirken. Mit der IoT2-Werkstatt bietet sich die Möglichkeit, den Mikrocontroller zu nutzen, um über den bereits bekannten Shelly – Smart-Meter Plug verschiedene elektrische Verbraucher zu steuern. Statt darauf zu warten, dass die Industrie uns mit einer neuen „Smart Grid ready“ Gerätegeneration versorgt, können wir z.B. den Akku des e-Bikes oder des vorhandenen Rasenmähers laden, wenn es EE im Überfluss gibt (Abb. 8). Aus Nachhaltigkeitssicht ist das ein tolles Retrofit alter Haushaltsgeräte.

4.3 Physik: Photovoltaik Theorie

Im folgenden Abschnitt werden wir die der Photovoltaik (PV) zugrundeliegende Volatilität genauer untersuchen. Das Potential der Sonne liegt hierzulande bei etwa 1000 kWh m⁻² Jahr⁻¹. Theoretisch sollten 5 m² Fläche ausreichen, um den Bedarf eines 4 Personenhaushalts (5000 kWh Jahr⁻¹) zu decken. In der Realität erreichen moderne PV-Module einen Wirkungsgrad von ca. 20 %, d.h. in der Praxis wäre die benötigte Dachfläche entsprechend größer.

4.3.1 Lebenswelt Jahreszeiten, Standort und Aufstellwinkel

Wichtigster Einflussfaktor ist die Position der Sonne über dem eigenen Standort. Er verändert sich durch die Erdrotation über dem Tag und infolge des Erdumlaufs über die Jahreszeiten. Der erste Hebel zur Optimierung der Energieausbeute eines PV-

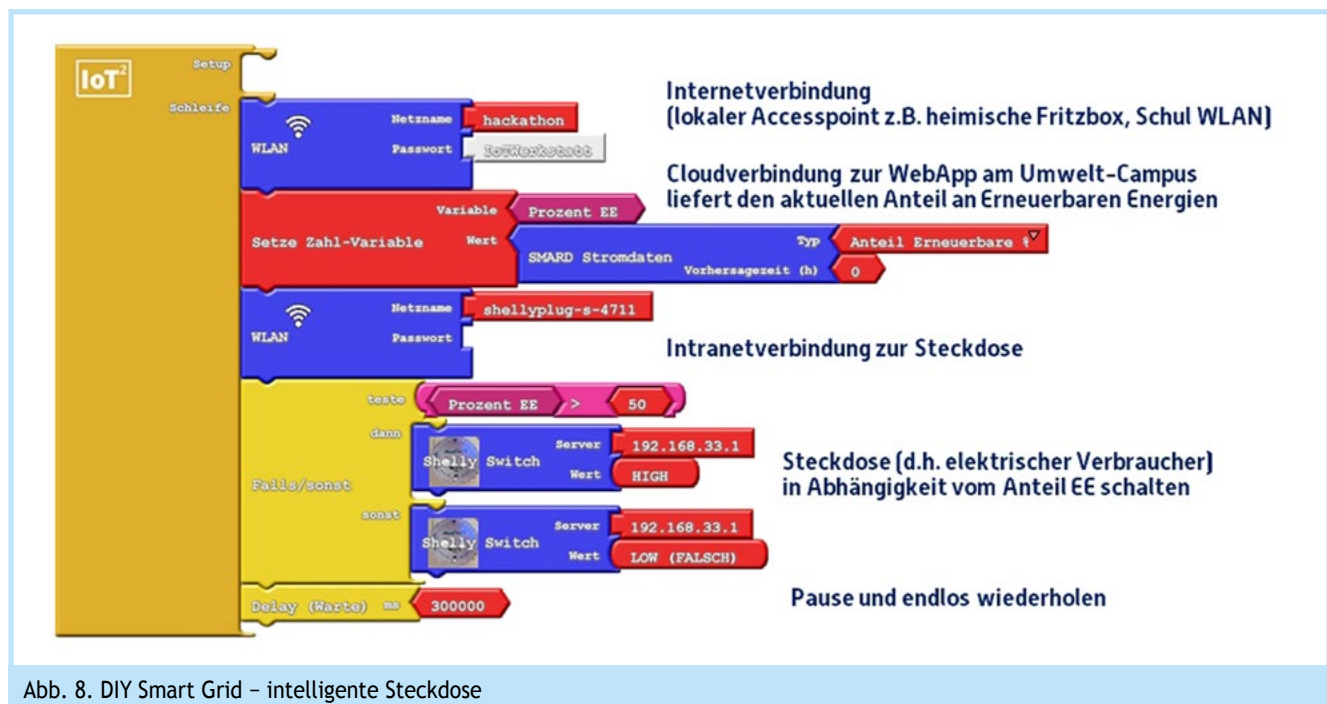


Abb. 8. DIY Smart Grid – intelligente Steckdose

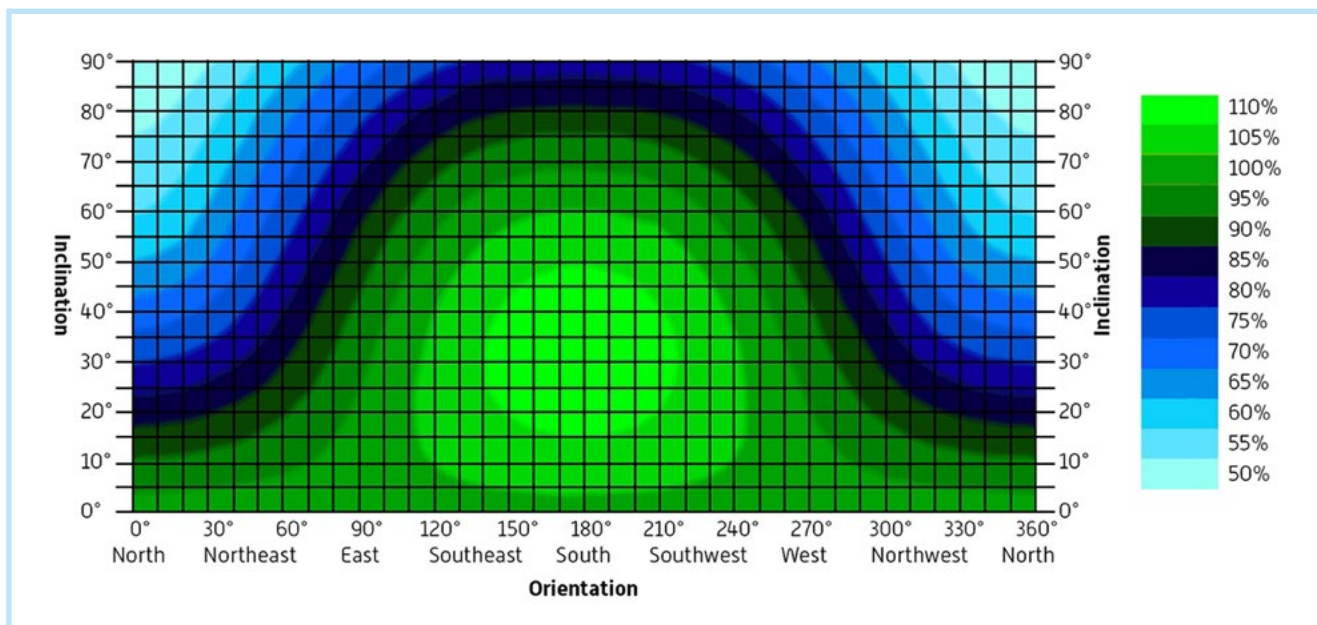


Abb. 9. Solarertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung und Neigung zur Horizontalen

Panels setzt also bei der Ausrichtung zur Sonne an. Optimal sind eine Südlage und eine Neigung von 30 Grad zur Horizontalen. Die Neigung vergrößert die wirksame Strahlungsfläche und somit den Strahlungsgewinn gegenüber der horizontalen Empfängerfläche. Auch die Ost- bzw. Westausrichtung lässt akzeptable Gewinne zu. Schaut man Abbildung 9 genauer an, so ist erstaunlicherweise sogar an der Nordseite ohne direkte Sicht zur Sonne noch eine Einstrahlung von 50 % zu verzeichnen. In Deutschland beträgt das Verhältnis direkter zu indirekter Sonneneinstrahlung etwa 1:1. Diesen Effekt macht sich z.B. der Solartisch mit ebener Ausrichtung der Tischplatte zu nutze.

Im Sommer werden die 5-fachen Einstrahlungswerte gegenüber dem Winter erreicht. Überdies ist die Einstrahlung von weite-

ren Faktoren, wie Bewölkung, Verschattung, Höhenlage und Panel-Temperatur abhängig. Im Internet gibt es verschiedene Simulatoren, um die zu erwartende jährliche Energieausbeute konkret abzuschätzen (Abb. 10).

4.4 BNE: Balkonkraftwerk

4.4.1 Lebenswelt: Balkonkraftwerk, was ist das?

Unter einem Balkonkraftwerk oder Stecker-Solar, versteht man eine kleine Photovoltaikanlage mit aktuell maximal 800 W elektrischer Leistung (Abb. 11). Neben PV-Panel und Wechselrichter bedarf es nur eines Anschlusses ans Hausnetz (geduldet Schuko-stecker) und einer Anmeldung beim Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur. Und schon wird Jedermann vom einfachen Konsumenten zum Prosumer (Produzent & Konsument)

STECKER-SOLAR-SIMULATOR		1 Modul (300 W, 470 €)	2 Module (800 W, 600 €)
Stromerzeugung pro Jahr		207 kWh	554 kWh
Vermiedener Strombezug pro Jahr		200 kWh	440 kWh
Nutzungsgrad		97 %	79 %
Selbstversorgung		5 %	11 %
Jährliche Ersparnis		80 €	176 €
Ersparnis während der Betriebszeit		1.201 €	2.640 €
Bilanz nach Betrachtungszeitraum		731 €	2.040 €
Stromgestehungskosten pro kWh		15,7 ct	9,1 ct
Amortisationszeit		6 Jahre	4 Jahre
Vermiedene CO ₂ -Emissionen		844 kg	1.856 kg

Abb. 10. Prognoserechner für Stecker-Solar, 2 Module mit aktuellen Panels erzeugen rund 550 kWh a-1 (htw Berlin, 2023)

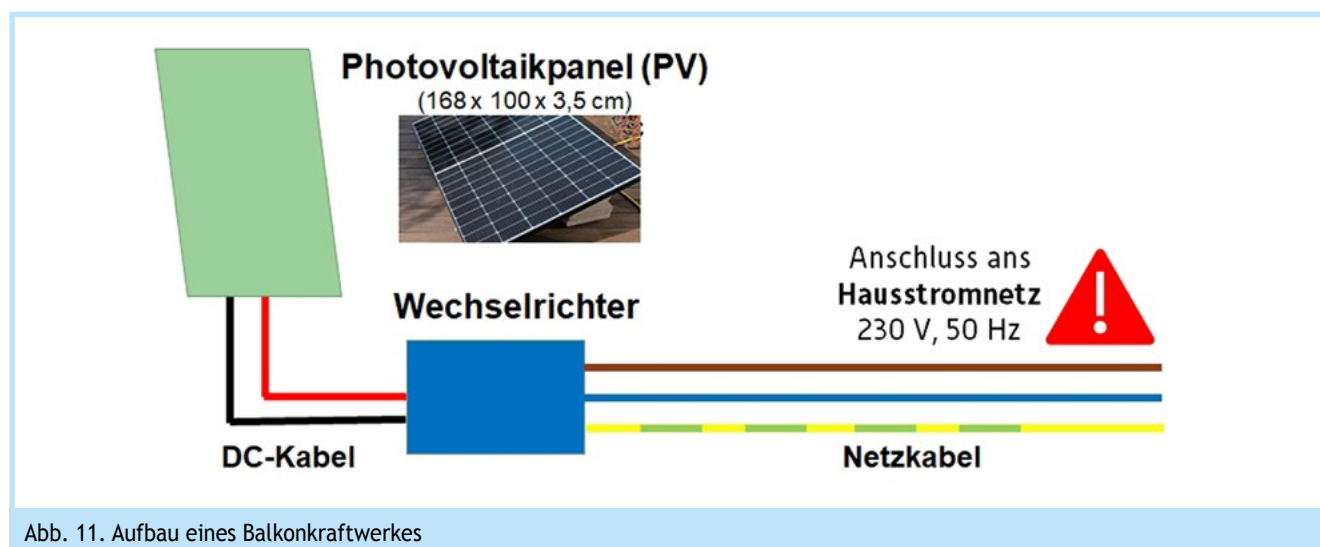


Abb. 11. Aufbau eines Balkonkraftwerkes

und kann einen Teil seines Stroms selbst erzeugen. Je nach lokalen Gegebenheiten erfolgt die Montage am Balkon, auf dem Garagendach oder in der Schule vielleicht als mobiler Solartisch.

4.4.2 Umwelt und Geldbeutel

Leider wirkt diese solare Energie zwar vollständig in einer Betrachtung der CO₂-Emissionen, aber nicht lokal im eigenen Geldbeutel. Dies liegt daran, dass aufgrund der Gesetzeslage ein neuer Zähler im Keller eingebaut werden muss, der ein Rückwärtsdrehen der Zählerplatte (und damit vermeintliches „Speichern im Zählwerk“) verhindert. Überschüssige Leistung, die nicht sofort im eigenen Haushalt verbraucht wird, wird zwar im Netz eingespeist und kommt direkt dem Nachbar und der Umwelt zugute, zählt aber nicht bei der persönlichen Abrechnung mit dem Energieversorger. Damit schließt sich der Kreis zu den im vorherigen Kapitel betrachteten Leistungsprofil der häuslichen Energieverbraucher. Ein Kühlschrank, der im Mittel 40 Watt Leistung aufweist, kann durchaus für 15 Minuten

den Kompressor mit 150 W betreiben und anschließend 45 Minuten bei niedrigem Bedarf im Standby laufen. Die Sonne dagegen ist tagsüber relativ konstant. Eine mittlere solare Leistung von 40 Watt würde zwar bilanziell ausreichen, in der Realität aber auch nur einen Anteil von 40 Watt der kurzzeitig benötigten 150 Watt abdecken. Der Rest der Kompressorleistung wird aus dem Netz bezogen, obwohl in der Standby-Periode des Kühlschranks ein gehöriger Leistungsüberschuss besteht.

Ziel eines Balkonkraftwerkes ist also ein möglichst vollständiges Nutzen der solaren Gewinne. Glücklicherweise gibt es neben dem Kühlschrank noch viele weitere sogenannte Grundlastverbraucher (Internetzugang, Heizungspumpe, Standbygeräte), die je nach Haushaltsgröße für eine sinnvolle Eigenverbrauchsquote sorgen. Mit 79 % (Eigenverbrauch im 4 Personenhaushalt) von 550 kWh nutzen wir im Jahr etwa 440 kWh, was bei 40 ct/kWh eine Ersparnis von ca. 176 €/Jahr bedeutet. Bei typischen Anschaffungskosten von 600 € hat sich das Balkonkraftwerk also nach 4 Jahren finanziell amortisiert (Abb. 10).

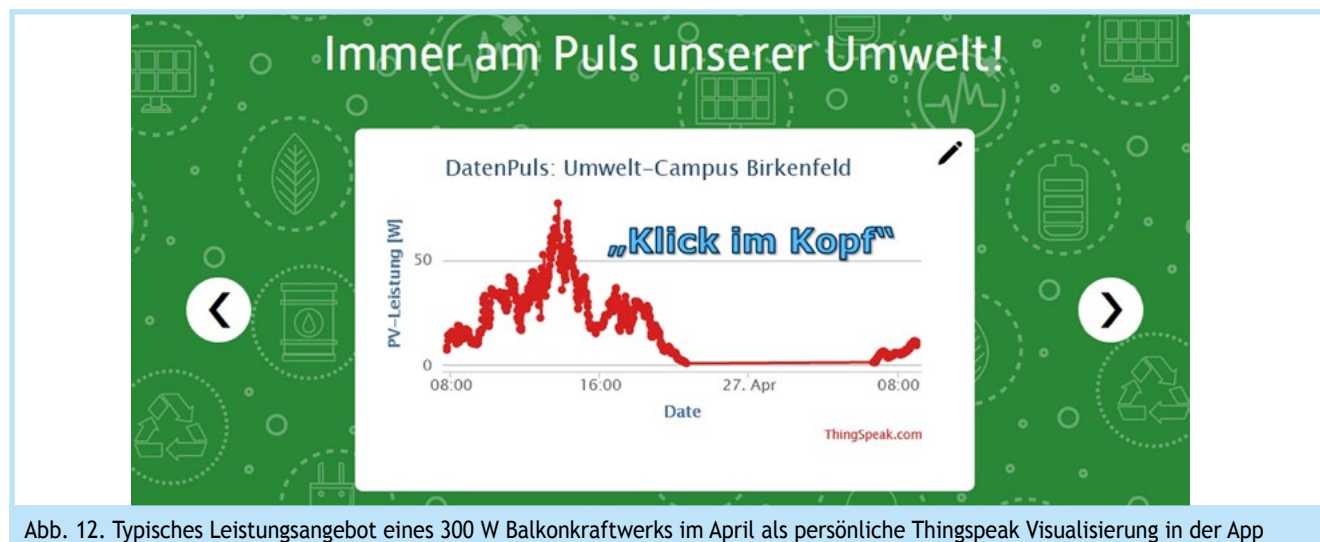


Abb. 12. Typisches Leistungsangebot eines 300 W Balkonkraftwerkes im April als persönliche Thingspeak Visualisierung in der App

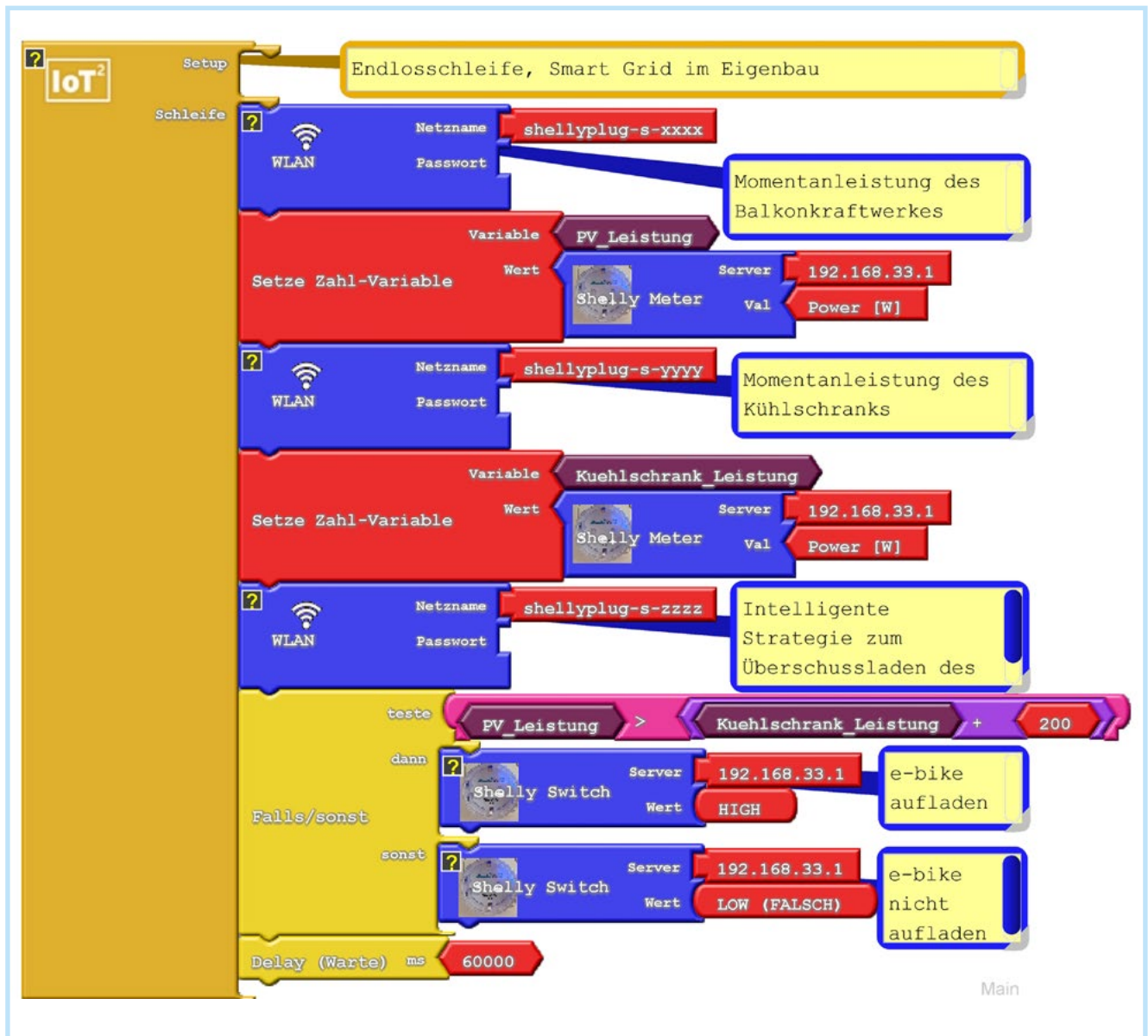


Abb. 13. DIY Smart Grid – Ladesteuerung e-bike

4.4.3 Selbstwirksames Handeln durch Informatik

Noch schneller geht es natürlich, wenn es uns gelingt, die elektrischen Verbraucher in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung zu schalten. Ein Smart-Meter am Wechselrichter gibt Auskunft über den aktuellen Ertrag. Je nach Hersteller kann ich den die aktuelle Leistung häufig in einer App verfolgen und entsprechende Verbraucher manuell aktivieren. Hier liegt auch der wichtigste Gewinn eines Balkonkraftwerkes für die Gesellschaft „Es macht Klick im Kopf“ bei jedem einzelnen (Abb. 12). Und man fragt sich unweigerlich, was könnte ich jetzt unternehmen, um Angebot und Verbrauch zur Deckung zu bringen?

4.4.4 Selbstbau im Makerspace: Das DIY Smart-Grid

Natürlich eröffnet sich auch hier wieder ein weites Innovationsfeld für neue Informatikideen. Eine Shelly-Steckdose am Balkonkraftwerk ermittelt die PV-Leistung. Weitere Steckdosen an elektrischen Verbrauchern bestimmen den momentanen Eigenbedarf. Die Differenz eröffnet Spielräume für die Aktivierung

zusätzlicher Geräte (e-bike, Rasenmäher, Powerbank, Smartphone) oder die Speicherung in einer Batterie fürs 230 V-Netz (Abb. 13).

5 Fazit

Vor einem Jahr noch innovative Zukunftsmusik aus dem Makerspace (BURGER & GOLLMER, 2022), gibt es seit wenigen Tagen bereits kommerzielle Produkte aus China, die einen ähnlichen Ansatz zum Thema Balkonkraftwerk und Speicher verfolgen.

Angesichts der drängenden Herausforderungen von Fachkräftemangel, Klimawandel und sich abzeichnender „Superintelligenz“ der Algorithmen wird es höchste Zeit für mehr Mut zur Veränderung auch in Deutschland.

Warum nicht schon morgen ein Balkonkraftwerk an der Schule bauen und im MINT Unterricht begleiten?

Literatur

BURGER, G. & GOLLMER, K.-U. (2022). Der Solartisch und die grüne Steckdose. *Make* 4/22, S. 10ff. Heise

Business Insider (2017). <https://www.businessinsider.com/github-ceo-wanstrath-says-automation-will-replace-software-coding-2017-10> (25.10.2023)

Bundesnetzagentur (2023). SMARD Strommarktdaten. <https://www.smard.de/home> (25.10.2023)

Destatis (2024). Energieerzeugung. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/03/PD24_087_43312.html (24.04.2024)

GOLLMER, K.-U. & BURGER, G. (2023). MINT macht Mut, OER Büchlein, https://www.umwelt-campus.de/fileadmin/Umwelt-Campus/loT-Werkstatt/octopus/loT_MINT_Making_Zukunft_Gestalten.pdf (25.10.2023)

htw-Berlin (2023). Stecker-Solar. <https://solar.htw-berlin.de/rechner/stecker-solar-simulator/> (25.10.2023)

INNODIG (2023). Innovationslabor Digitalisierung am Umwelt-Campus. <https://www.umwelt-campus.de/forschung/projekte/innovationslabor-digitalisierung-innodig> (25.10.2023)

Nationaler Digitalgipfel (2017). Positionspapier IoT-Werkstatt. https://deutschland-intelligent-vernetzt.org/app/uploads/2017/07/20170608_DIV-Position-IoT-Werkstatt.pdf (25.10.2023)

UI-Greenmetric (2023). Top 10 Most Sustainable Universities. <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overallrankings-2023> (24.04.2024)

Verbraucherzentrale (2022). Ist ein Tarif mit Ökostrom und Ökogas überhaupt sinnvoll?. <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/preise-tarife-anbieterwechsel/ist-ein-tarif-mit-oeokostrom-und-oekogas-ueberhaupt-sinnvoll-8207> (25.10.2023)

Prof. Dr.-Ing. KLAUS-UWE GOLLMER, k.gollmer@umwelt-campus.de, lehrt und forscht im Bereich Angewandte Informatik am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier. Schwerpunkte sind das Internet der Dinge (IoT), Modellbildung/Simulation, KI und deren Einsatz im Bereich der Nachhaltigkeit. Gleichzeitig engagiert er sich an der Schnittstelle Wirtschaft, Hochschule, Schule und Maker-Community.

JOACHIM BRINKMANN, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Erneuerbare Energie am Umwelt-Campus Birkenfeld und promoviert mit dem Schwerpunkt der Energie- und Ressourceneffizienz in der additiven Fertigung. Neben der Lehre der Energietechnik bietet er mit KLAUS-UWE GOLLMER Workshops zum Thema Balkonkraftwerke/Erneuerbare Energien und der intelligenten Verknüpfung zur Informatik und den Internet of Things an.

GUIDO BURGER, Dipl.-Ing. (FH), ist Maker, Segler und Ingenieur. In dieser Konstellation schafft er Freiräume für „einfach machen“, weckt Neugierde neue „Dinge“ zu entdecken und zu hinterfragen. Internet der Dinge (IoT) und algorithmisches Denken sind die Grundlagen für einen nachhaltigen Wandel ... auch in der Bildung.

