



Nachhaltig
Innovativ
Digital

IoT²-Werkstatt

MINT macht Mut



Klaus-Uwe Gollmer
Guido Burger



CO₂-Ampel, Schimmelwarner, intelligente Steckdose,
Balkonkraftwerk, Starkregenpegel und Datenpuls:

Wie wir mit MINT, Making und neuen Ideen unsere
gemeinsame Zukunft meistern können.

Hintergrund

Der Klimawandel, die endlichen Ressourcen unserer Erde und die digitale Transformation werden unsere Gesellschaft gravierend verändern. Gerade erleben wir die disruptiven Auswirkungen der künstlichen Intelligenz (KI). Mit ChatGPT, einer texterzeugenden KI, gehören Hausarbeiten, Referate und Aufsätze der Vergangenheit an. Innerhalb weniger Wochen müssen nun neue Lehr- und Lernmethoden Einzug ins Bildungssystem halten.

Design-Thinking und Making trainieren die kreativen Fähigkeiten die uns Menschen von der Maschine unterscheiden. Genau das ist das Ziel der IoT²-Werkstatt (**Internet of Things and Thinking**, IoT²). Gelingt es uns, der jungen Generation das Werkzeug und die Motivation an die Hand zu geben, um die Probleme der Zukunft zu bewältigen?

Von „Fridays for Future“, über „Extinction Rebellion“ und die „Letzte Generation“ – überall demonstrieren junge Menschen für den Erhalt unseres Planeten.

Unser Appell richtet sich deshalb sowohl an die Jugend: **„Einfach machen, studiert MINT oder geht ins Handwerk, verändert die Welt mit Euren Ideen“**.

Als auch ans Bildungssystem: **„Gebt der Jugend endlich das digitale Werkzeug an die Hand, die zukünftigen Probleme nicht nur zu beklagen, sondern selbst neue Lösungen zu entwickeln**.“ Erfolgreiche Konzepte der IoT²-Werkstatt zeigen hier die technischen Möglichkeiten.

Dieses Büchlein soll Mut machen, die Dinge selbst in die Hand zu nehmen:

Die **CO₂-Ampel** und der **Schimmelwarner** zur intelligenten Innenraumlüftung, eine **smarte Steckdose**, die elektrische Verbraucher nur dann anschaltet, wenn erneuerbare Energie aus der heimischen Steckdose kommt, dem **Balkonkraftwerk**, welches plötzlich Strom IN die Steckdose speist oder dem **Starkregenpegel**, der uns vor hohem Wasserstand im Dorfbach warnt. All diese Ideen stehen für **tragfähige MINT-Konzepte, die wir als Graswurzel in der Gesellschaft und dem Bildungssystem ad hoc umsetzen können** und deren Realisierung wir am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier seit Jahren durch vielfältige Initiativen propagieren und fördern.

IoT²-Werkstatt

Mit der IoT²-Werkstatt dazu haben wir ein quelloffenes schlüsselfertiges Konzept entwickelt. Das vorliegende Büchlein gibt eine kurze Einführung, liefert konkrete Beispiele und dient als Blaupause für die Umsetzung eigener Ideen.

Umwelt-Campus Birkenfeld

Als **Deutschlands Nummer Eins und führende Hochschule im Sektor Energie- und Klimawandel** des internationalen GreenMetric Rankings, engagiert sich der Campus unter dem Motto **„Nachhaltig.Innovativ.Digital“** für Themen der Zukunftssicherung.

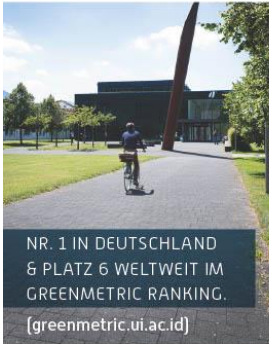




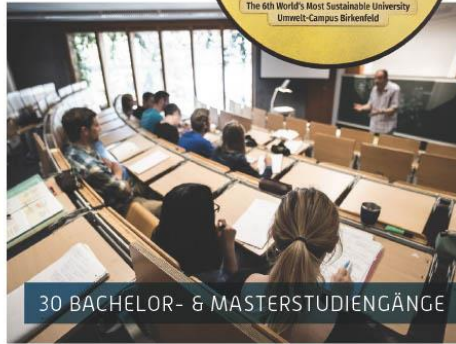
**Unsere Flaschenpost zum nationalen IT-Gipfel 2016
„ Digitale Bildung für alle “
... ist noch immer auf hoher See ...**

UMWELT-CAMPUS BIRKENFELD

DEUTSCHLANDS NACHHALTIGSTER HOCHSCHULSTANDORT



NR. 1 IN DEUTSCHLAND
& PLATZ 6 WELTWEIT IM
GREENMETRIC RANKING.
[greenmetric.ui.ac.id]



30 BACHELOR- & MASTERSTUDIENGÄNGE

FACHRICHTUNGEN

BETRIEBSWIRTSCHAFT, ERNEUERBARE ENERGIEN, INFORMATIK,
MEDIZIN- & PHARMATECHNIK, MASCHINENBAU, NONPROFIT-
& NGO-MANAGEMENT, VERFAHRENSTECHNIK, WIRTSCHAFTS-
INGENIEURWESEN SOWIE WIRTSCHAFTS- & UMWELTRECHT.

www.umwelt-campus.de

IoT²-Werkstatt

Internet of Things and Thinking

CO₂-Ampel, Schimmelwarner, intelligente Steckdose, Balkonkraftwerk, Starkregenpegel und Datenpuls:

Wie wir mit MINT, Making und neuen Ideen unsere gemeinsame Zukunft meistern können.

Prof. Dr.-Ing. Klaus-Uwe Gollmer, Umwelt-Campus Birkenfeld der HS Trier
Guido Burger, Maker, fab-lab.eu

Danksagung

Mitstreiterinnen und Mitstreiter am Umwelt-Campus für die stete Unterstützung und die Notausgänge beim Passierschein A38

Studierende am Umwelt-Campus mit tollen Ideen und Engagement

Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler, die an ihren Schulen viel bewegen

Ehrenamtliche mit viel Herzblut z. B. an den Jugendforschungszentren

Expertengruppe IoT im nationalen Digitalgipfel der Bundesregierung

Maker aus aller Welt, die mit Open Source unsere Basis bereitstellen

Der Carl-Zeiss-Stiftung für die Förderung unseres Makerspace INNODIG



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Die IoT²-Werkstatt versteht sich als OER-Tool zur Aus- und Weiterbildung.
Für alle von uns erstellten Beiträge gilt:



Copyright © 2023 Klaus-Uwe Gollmer, Guido Burger, IoT²-Werkstatt

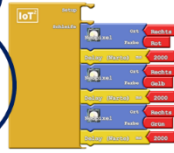
Inhalt

Vorwort.....	i
1 Das Internet der Dinge und des Denkens, IoT².....	6
1.1 Algorithmisches Denken - Unsere Tür zur Digitalisierung.....	8
1.2 Die IoT-Hardware – Unser Octopus Mikrocontroller	11
1.3 Fertiggerichte – Einfache Beispiele ohne IoT	12
1.3.1 Nachhaltigkeit im Finanzsystem – Besser in Bildung investiert.....	12
1.3.2 Auf Wahrheitssuche – Der Lügendetektor.....	14
1.3.3 Viel Applaus für MINT – Die Lärmampel.....	16
2 IoT²-Werkstatt – Dein Einstieg in eigene IoT²-Projekte	18
2.1 Hackathon-Veranstaltungen – Einfach machen	18
2.2 Die digitale Flaschenpost – Hallo eigener Webserver.....	20
2.3 Unser Forschungsschiff – Hallo IoT im Thingspeak.....	25
2.4 Die Apfel-KI – Künstliche Intelligenz anfassbar.....	31
3 Anwendung: Lüftung nicht nur in Pandemiezeiten.....	33
3.1 Gute Luft in Innenräumen	33
3.1.1 MINT Hintergründe Luftqualität	34
3.2 Der Bau einer einfachen Raumlüftüberwachung.....	42
3.3 Bau einer IoT-Raumlüftungämpel mit Webserver.....	44
3.4 Bau einer cloudbasierten IoT-CO ₂ -Ampel	47
3.5 Dashboard Schule – So geht Lüftung im Technologieland	49
4 Anwendung: Energiesparen beim Lüften	52
4.1 Hintergründe Temperatur, Luftfeuchte und Schimmel.....	52
4.2 Schimmelüberwachung mit der IoT ² -Werkstatt.....	56
5 Anwendung: Elektrischer Energie	62
5.1 Leistung, Arbeit und was müssten wir bezahlen?	62
5.2 Lastgang analysieren mit der IoT ² -Werkstatt.....	65
5.3 Datenpuls - Wir färben den Strom aus der Steckdose	68
5.4 Die intelligente Steckdose – Schaltet bei grünem Strom	71

6	Balkonkraftwerk und Solartisch	72
6.1	Was ist ein Balkonkraftwerk?	72
6.2	Eigenverbrauch der solaren Energie	73
6.2.1	Messung der Einspeiseleistung Balkonkraftwerk.....	74
6.3	IoT und Akku erhöhen den Eigenverbrauchsanteil	75
7	Anwendung: Klimafolgenbeherrschung	77
7.1	IoT-Starkregenpegel.....	78
8	Basis der Anwendungen - Algorithmisches Denken.....	81
8.1	Die Küche: Arduino und IoT-Ardublock.....	81
8.2	Kochrezepte: die Algorithmen.....	83
8.2.1	Einfacher Octopus - Licht an	83
8.2.2	Drei Gänge Menü - Sequenzen.....	85
8.2.3	Mensa-Essen - Wiederholungen	86
8.2.4	Vorratsgefäße für Daten - Variablen.....	90
8.2.5	Schmeckt es überhaupt? - Fallunterscheidung	94
8.2.6	Eis schmeckt nur bei Sonnenschein – Logische Verknüpfung	96
8.2.7	Grundrezepte - Unterprogramme	97
8.2.8	So kocht der Experte - Prozedurale Sprachen	99
8.3	Ein Fertiggericht - Blink-Nachricht im Morsecode.....	99
9	Anhang.....	101
9.1	Übersicht über Sensoren und Aktoren der IoT ² -Werkstatt.	101
9.2	Octopus und Schaltplan.....	101
9.3	Weitere Ressourcen zur IoT ² -Werkstatt.....	101
9.4	Über die Autoren	102

1. Digitalisierung IoT²

Gestalten statt konsumieren
Resilienzstärkung, Fachkräfte
IoT², was ist das, ...
wo berührt es meine Lebenswelt?



8. Algorithmen

Ich habe da eine Idee, aber ...
... wie sage ich es
meinem Rechner?

IoT² Werkstatt

2. Design Thinking / Hackathon

Ich habe da eine Idee ...
gemeinsam im Team
IoT²-Hackathon



2. Internet of Things and Thinking

Webserver und WLAN
Datenplattformen
Künstliche Intelligenz

3. Pandemie und Lufthygiene



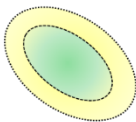
Was ist CO₂, wie messe ich das?
CO₂: Klimawandel, Pandemie, Gesundheit
Hygienische Aspekte des Lüftens
CO₂-/ VOC -Ampel mit IoT

7. Klimafolgenbeherrschung



Starkregenpegel, Dürre, Feuer, Feinstaub
Montage im Feld
Autarke Energieversorgung
LoRaWAN-Netz zur Kommunikation

4. Energiesparen und Raumklima



Feuchte, wie messe ich das?
Schimmelvorsorge durch Lüften
Energetische Aspekte des Lüftens
Schimmelwarner mit IoT

5. Energiesparen und grüner Strom



Arbeit, Leistung, Messung mit IoT
Lastprofil, Analyse mit IoT
IoT färbt meinen Strom bunt ein
IoT-Steckdose für grünen Strom

6. Erneuerbare Energie und Balkonkraftwerk



Photovoltaik, Energiegewinnung
IoT zur Messung der Einspeiseleistung
IoT zur Optimierung der Eigennutzung
Speicherung mit IoT-Unterstützung

Vorwort

Der Klimawandel, die endlichen Ressourcen unserer Erde und die digitale Transformation werden unsere Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten gravierend verändern. Aktuell erleben wir die Auswirkungen der **Künstlichen Intelligenz (KI)**. Mit ChatGPT, einer texterzeugenden KI, gehören Hausarbeiten, Referate und Aufsätze nun der Vergangenheit an¹. Innerhalb weniger Wochen müssen neue Lehr- und Lernmethoden Einzug halten. **Design-Thinking und Making** nutzen und trainieren die kreativen Fähigkeiten, die uns Menschen von der Maschine unterscheiden. Genau das ist das Ziel der IoT²-Werkstatt (**Internet of Things and Thinking, IoT²**).

Hauptfrage wird sein: Gelingt es uns im Bildungssystem, der jungen Generation das Werkzeug und die Motivation an die Hand zu geben, um die Probleme der Zukunft zu bewältigen?

Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik (MINT) bilden das Rückgrat unseres bisherigen wirtschaftlichen Erfolges. In Anbetracht der Zukunftsfestigkeit unserer Gesellschaft muss das N dort auch immer für Nachhaltigkeit stehen. Denn vom Reden zum Handeln führt der Weg direkt über MINT. Der Schlüssel zur Beherrschung vieler Krisen ist genau dort zu finden. Unser Bildungssystem liegt bei der integralen Vermittlung leider weit zurück. Ob erneuerbare Energieversorgung, Wärmepumpen, intelligente Stromnetze, oder Künstliche Intelligenz: Der Arbeitsmarkt braucht dringend **MINT-Fachkräfte**.

Die Abbildung 1 führt uns diese Dramatik deutlich vor Augen: In den nächsten Jahren gehen 13 Millionen Menschen in den Ruhestand, nur 8 Millionen Jugendliche rücken nach. Waren in den 80er Jahren noch KFZ-Mechaniker, Energieanlagenelektroniker oder Radio- u. Fernsehtechniker gefragte Ausbildungsziele, so hat sich die Situation aktuell stark gewandelt. Sowohl das Handwerk als auch die Hochschulen beklagen das mangelnde Interesse der Jugend an MINT-Berufen. Zusätzlich zum sinkenden Bevölkerungsanteil nimmt der prozentuale Anteil der MINT Interessierten unter den Studienanfängern stark ab.

Ohne MINT-Studium gibt es aber in wenigen Jahren keine Fachkräfte zur Entwicklung, Planung und Umsetzung der Energiewende².

Ohne im Bildungssystem JETZT zu reagieren, werden wir bei der geplanten Transformation allein aus personellen Gründen scheitern.

¹ Dieses Büchleins ist noch „handgemacht“, was aufgrund der vielen Schwächen in Rechtschreibung und Grammatik nicht extra erwähnt werden müsste.

² <https://www.che.de/download/check-studienanfanger/>

Das Positive: Die Menschen, die wir motivieren möchten, sind schon geboren, wir müssen sie nur stärker für MINT begeistern. Gerade diese Berufe bieten viele Chancen für Jugendliche aus nichtakademischen Elternhäusern, wie übrigens auch unsere eigene Vita belegt. Diese Erkenntnisse sind Motivation für die Erstellung unseres kleinen Büchleins, denn: **MINT macht Mut.**

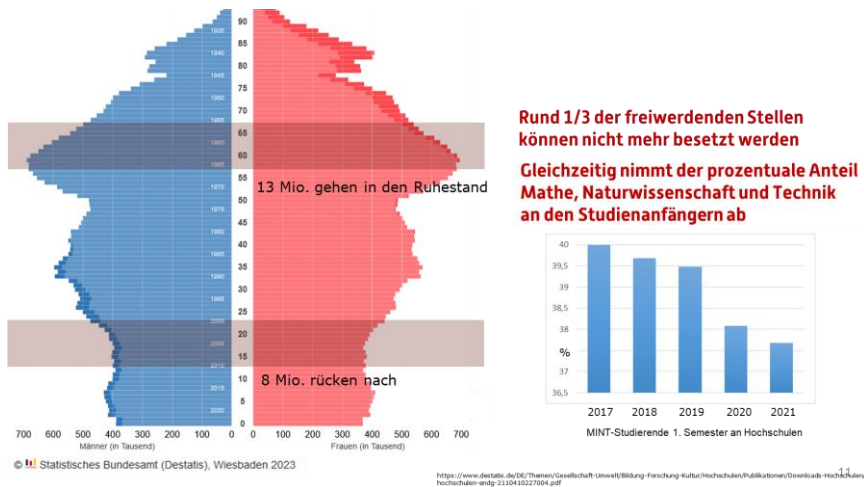


Abb. 1: Ohne MINT-Fachkräfte gelingt keine Klima- und Energiewende (www.destatis.de).

Die Problematik ist längst bekannt, denn die Anfänge der IoT²-Werkstatt reichen zurück zum IT-Gipfel 2016 der Bundesregierung in Saarbrücken. Dabei haben die Mitglieder der Expertengruppe IoT gemeinsam mit engagierten Markern und dem Umwelt-Campus der Hochschule Trier **ein quelloffenes schlüsselfertiges Konzept** entwickelt und bei strukturierten **Hackathon**-Großveranstaltungen mit vielen Schulteams erprobt.

Ein solcher strukturierter Hackathon richtet sich nicht, wie sonst üblich, an Nerds die ihre Werkzeuge bereits beherrschen, sondern an digitale Novizen mit tollen eigenen Ideen³. Aus dem anfänglichem Kongress-Konzept ist mittlerweile ein regionales Schulnetzwerk entstanden, welches die Werkstatt erfolgreich im Unterricht einsetzt. Exemplarisch seien hier die 21 Informatik-Profileschulen in Rheinland-Pfalz oder die Carl-Benz-Schule in Koblenz mit ihrem prämiertem Futurelab genannt⁴. Viele Schülerinnen und Schüler (SuS) beteiligen sich mit spannenden Projekten erfolgreich am Wettbewerb „Jugend Forscht“⁵.

³ Wie das funktionieren kann, hat die Expertengruppe 2017 in einem [Positionspapier](#) beschrieben

⁴ <https://informatik.bildung-rp.de/ips.html> und <https://bbs-technik-koblenz.de/futurelab-innovatives-digitales-lernen/>

⁵ <https://schuelerforschungszentrum-worms.de/projekte/> und <https://vimeo.com/665237563>

Erste Schulen richten **eigene Hackathon-Veranstaltungen** aus und fungieren so als **Multiplikatoren** die auch die SuS der Nachbarschulen integrieren⁶.

Seit Pandemiebeginn ist die IoT²-Werkstatt Mitglied in der **MINT-Allianz der Bundesregierung**⁷. Mit der **IoT²-Klimawerkstatt**, einer Sammlung von Ideen zur Klimafolgenbeherrschung, wurden wir 2021 als Aussteller bei der alle 4 Jahre stattfindenden „**Woche der Umwelt**“ **des Bundespräsidenten** eingeladen⁸.

Bei allen bisherigen Aktivitäten zeigt sich, dass vom IoT² eine intrinsische Motivation ausgeht, die die Schülerinnen und Schüler dazu ermutigt, sich mit vernetzten Systemen zu beschäftigen und ganz nebenbei das algorithmische Denken trainiert. **Programmieren nicht als Selbstzweck**, sondern als Werkzeug zur Verwirklichung eigener Ideen aus der eigenen Lebenswelt.

Das vorliegende Büchlein zeigt, wie MINT die Resilienz unserer Gesellschaft stärken kann. Als herausragende Anwendung hat sich dabei die **IoT-CO₂-Ampel**⁹ erwiesen. Hunderte Schulen im ganzen Bundesgebiet haben zu Beginn der Pandemie ihre Ampeln gemeinsam selbst gebaut. In tausenden Klassenräumen helfen sie seither beim nachhaltigen Lüften. Lebensmittel- und Wasserhygiene sind für uns heute selbstverständlich. Angesichts weltweit drohender Pandemien gibt es aber erheblichen Nachholbedarf bei der Raumluftqualität. Da ist es schon etwas deutlich Anderes, ob ein gekaufter Sensor an der Wand hängt, oder ob ein selbstgebautes und durchschautes System an die MINT Hintergründe der Lüftungsregeln erinnert. **IoT² für den Schutz der Menschen**, nicht nur vor Pandemien, sondern auch vor Klimafolgen, wie den Starkregenereignissen im Sommer 2021 an Ahr und Kyll. Von Schulteams gebaute und gemeinsam mit THW und DRK installierte **IoT-Starkregenpegel** überwachen nun Gewässer in verschiedenen betroffenen Landkreisen¹⁰. Aktuell fokussieren wir uns auf den sparsamen Umgang mit Energie. Sei es beim **energiesparenden Lüften** oder der **Vermeidung von Feuchteschäden** bei niedrigen Raumtemperaturen.

Außerdem im Büchlein: Das **Monitoring von elektrischen Energieverbräuchen** mittels intelligenter Steckdosen und das Schalten in Abhängigkeit vom Angebot an erneuerbaren Energien. Mit der Datenpuls-App¹¹ **färben wir erstmals den Strom** aus der heimischen Steckdose bunt ein. Außerdem unterstützt uns IoT² beim **Balkonkraftwerk** und dem **Solartisch**¹².

⁶ <http://hackathon.informatik-sgh.de/> und <http://hackathon.bbs-technik-koblenz.de/>

⁷ <https://www.bildung-forschung.digital/digitalzukunft/de/bildung/iot.html>

⁸ <https://www.woche-der-umwelt.de/ausstellerKonkret/1679>

⁹ <https://www.umwelt-campus.de/campus/aktuelles/medien-presse/pressemitteilungen/covid-19-co2-lueftungsampel-im-selbstbau-sorgt-fuer-bundesweites-aufsehen>

¹⁰ <https://messpegel.de/> und https://www.saarbruecker-zeitung.de/saarland/st-wendel/tholey/zwei-monate-hat-das-thw-tholey-pegelsensoren-an-weiher-und-bach-getestet_aid-76898765

¹¹ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/datenpuls>

¹² <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/iot-werkstatt-in-der-make-4-22>

All diese Ideen stehen für tragfähige MINT-Konzepte, die **wir als Graswurzel** in der Gesellschaft und dem Bildungssystem sofort umsetzen können und deren Realisierung wir an **Deutschlands nachhaltigstem Hochschulstandort**¹³, **dem Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB)**, seit Jahren durch vielfältige Initiativen propagieren und fördern. Immer unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit (Retrofit, Rebound, Blauer Engel für Software (auch ein Projekt vom UCB)¹⁴).

Von „Fridays for Future“, über „Extinction Rebellion“ und die „Letzte Generation“ – überall demonstrieren junge Menschen zurecht für den **Erhalt unseres Planeten**. Unser Appell richtet sich deshalb **sowohl an die Jugend**: Wenn die Transformation gelingen soll, braucht es dringend Fachkräfte, die die notwendigen Veränderungen auch in die Tat umsetzen.

„Einfach machen, **studiert MINT oder geht ins Handwerk**. Werdet mit innovativen Ideen **Teil der Veränderung der Welt.**“

Als auch ans Bildungssystem: „Gebt der Jugend endlich das digitale Werkzeug an die Hand, die zukünftigen Probleme nicht nur zu beklagen, sondern selbst neue Lösungen zu entwickeln.“ CO₂ als Messgröße erlaubt es uns, sowohl Klimawandel, als auch Pandemie anfassbar zu machen, Probleme zu thematisieren, Verhalten zu ändern und Lösungen zu entwickeln.

Dieses Büchlein soll Mut machen, die Dinge selbst in die Hand zu nehmen. Digitalisierung ist im Kern die Grundlage für unser aller Zukunft. MINT Zusammenhänge erkennen (messen) und gemeinsam innovative Lösungen in einer ungeahnten Geschwindigkeit zu finden, wird zum entscheidenden Faktor. Heutige Investitionen in die Bildung werden sich in der Zukunft um ein Vielfaches bezahlt machen ... **Tun wir es - jetzt!**

Nach einer kurzen Einführung starten wir mit anfassbaren Anwendungen in die Welt des IoT². Keine Angst: Moderne grafische Oberflächen erleichtern den Zugang auch ohne tiefe Programmierkenntnisse. Absolute Anfänger sollten allerdings vorher im Kapitel 8 vorbeischaun und beim Kochkurs fürs algorithmische Denken mitmachen.

Dabei werden wir sehen: wer kochen und puzzeln kann, der kann auch programmieren.

Klaus-Uwe Gollmer und Guido Burger, Februar 2023

¹³ <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2022>

¹⁴ <https://www.umwelt-campus.de/campus/aktuelles/medien-presse/pressemitteilungen/erster-blauer-engel-ressourcen-und-energieeffiziente-software>

STUDIERN AM UMWELT-CAMPUS BIRKENFELD



MAKE IoT!

AN DEUTSCHLANDS GRÜNSTER HOCHSCHULE

Weitere Informationen unter
informatik.umwelt-campus.de



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

1 Das Internet der Dinge und des Denkens, IoT²

Wesentliche Triebfeder der rasanten Entwicklung im IT-Sektor ist das von Gordon Moore 1965¹⁵ vorhergesagte exponentielle Wachstum der Komplexität unserer Hardware. Die vom Mooreschen Gesetz alle 18-24 Monate postulierte Verdopplung der Transistoren auf einem Chip führt dazu, dass die Hardware immer billiger und immer leistungsfähiger wird. Das 1991 gestartete World-Wide-Web ist für die Menschen heute nicht mehr aus ihrem Alltag wegzudenken. Leider haben wir diese exponentielle Entwicklung der digitalen Plattformen in Europa und seinen Bildungssystemen komplett verschlafen¹⁶.

Während seit 200x vor allem die Kommunikation zwischen Menschen im Mittelpunkt steht (Soziale Medien), **erobern nun die Maschinen das Internet**. Die uns umgebenden Gegenstände werden intelligent und tauschen untereinander Nachrichten aus. Die damit einhergehende Erweiterung der Funktionalität, bei gleichzeitig marginalen Kostensteigerungen, führt auch hier zu einem exponentiellen Anstieg der internetfähigen Geräte.

Angefangen im **Smart-Home**, bei dem der Nutzer Teile seines Zuhauses fernsteuern kann, über den selbst für Nachschub sorgenden Kühlschrank, bis hin zum Fitnessarmband mit Motivationsfunktion (**Quantified Self**), werden viele Gegenstände des Alltags gerade neu erfunden. So können persönliche IoT²-Assistenten wie Siri oder Alexa z. B. umgangssprachliche Anweisungen entgegennehmen und einfache Tätigkeiten wie Notizenverwaltung und Terminplanung übernehmen. Gleichzeitig wird es für den **Konsumenten** immer schwieriger, die komplexen Interaktionen der verteilten Systeme zu überblicken und gar zu durchschauen und die **eigene Privatsphäre** zu wahren.

Auch für den **Wirtschaftsstandort Deutschland**, mit seinem Schwerpunkt im Maschinenbau und der Automobilindustrie (alles „Dinge“), ergeben sich einschneidende Veränderungen. Maschinen (Autos) werden intelligente Partner, neue Plattformen und neue Geschäftsmodelle entstehen. Im Handel profitiert die Logistik vom **Tracking** einzelner Pakete, Fahrzeugen oder gar Personen. Auch die Autos auf unseren Straßen besitzen mittlerweile mit eCall einen Netzzugang zur automatisierten Alarmmeldung im Falle eines Unfalls. Im industriellen Sektor erleben wir **Industrie 4.0** (Industrial Internet of Things) und die Möglichkeit, personalisierte Produkte herzustellen. Zusammen mit der **künstlichen Intelligenz** (KI) und der Auswertung großer Datenmengen ergeben sich so ungeahnte neue Möglichkeiten.

¹⁵ www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf

¹⁶ <https://www.netzökonom.de/plattform-oekonomie/#top>

Auch und insbesondere bei der Transformation des **Energiesektors**. So kennt das Smart Home bereits viele Energieverbraucher und -produzenten im Haushalt und deren aktuellen Bedarf. Zukünftige Aufgabe ist der Abgleich von Angebot und Nachfrage unter Optimierung der CO₂-Emissionen (**Intelligentes Stromnetz = Smart-Grid**). Prognose und Steuerung der Lasten bei gleichzeitigem Vorrang von emissionsarmen Quellen ist ein Schlüssel zum Erfolg, ohne für den häuslichen Verbraucher merkbare Komforteinbußen zu verursachen.

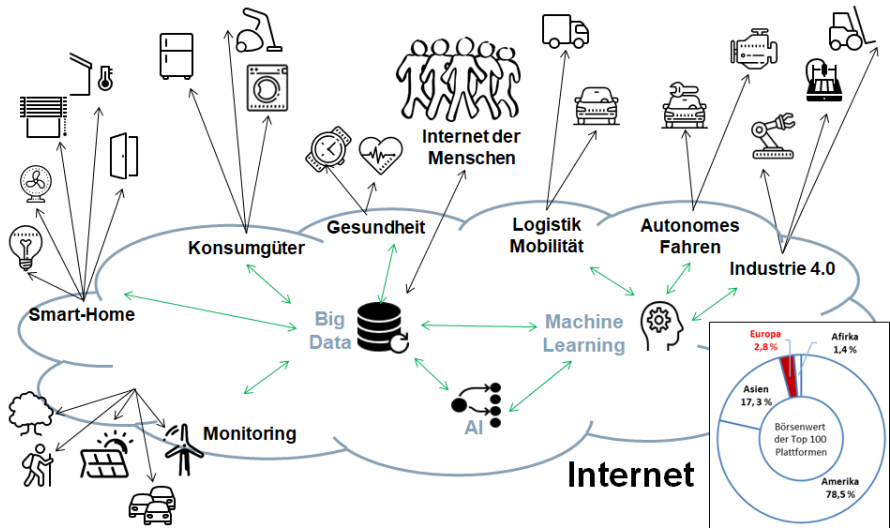


Abb. 2: IoT² stellt uns vor große Herausforderungen. Bei digitalen Plattformen im Internet der Menschen ist Europa weit abgeschlagen¹⁷. Jetzt erobern die Maschinen das Internet. (Icons¹⁸)

All diese Anwendungen verdeutlichen die Schlüsselstellung als Vermittler zwischen einem realen „Ding“ und seinem digitalen Abbild (**Digitaler Zwilling**) in der **Cloud** (dem Internet). Hier gilt es, die vielen unerforschten Schätze einer gemeinwohlorientierten Digitalisierung zu heben und innovative Ideen zügig umzusetzen (s. unser Kompass KI¹⁹ zum Gipfel 2018). Zum Beispiel durch **Hackathon-Veranstaltungen, Design Thinking** und **Makerspaces**.

¹⁷ <https://www.netzoeconom.de/plattform-oekonomie/#top>

¹⁸ <https://icons8.com/#>

¹⁹ <https://charta-digitale-vernetzung.de/veroeffentlichung-kompass-kuenstliche-intelligenz-plaedoyer-fuer-einen-aufgeklarten-umgang/>

1.1 Algorithmisches Denken - Unsere Tür zur Digitalisierung

Um die Chancen der digitalen Transformation für sich persönlich zu nutzen, ist es unumgänglich, ein gewisses Grundverständnis der Funktionen und der Zusammenhänge zu erlangen. **Das Herz unserer digitalen Welt schlägt nun mal im Algorithmus**, d.h. ohne Kenntnis der Möglichkeiten und Grenzen, die eine Programmiersprache bietet, bleibt ein Computernutzer immer nur Anwender, der nur die bereits von anderen vorgedachten Programme bedient. Der einfache Umgang mit Apps und Co. am Smartphone führt uns zu leicht in eine Abhängigkeit und macht uns anfällig für die Manipulation derjenigen, die diese Programme für uns entwickelt haben²⁰. Glücklicherweise können wir diese Fesseln einfach sprengen und selbst zu Gestaltern digitaler Systeme werden.

Unter einem **Algorithmus** verstehen wir die genaue Beschreibung eines Ablaufs, in unserem Fall also die Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems am Computer.

Wirft man den Overhead eines Betriebssystems mit komplexer Funktionalität über Bord, so reduziert sich das algorithmische Denken fast schon auf die Anwendung von einfachen Kochrezepten in der Küche. Kommt dann noch eine grafische Programmiersprache dazu, dann entstehen Programme am Computer praktisch wie ein Puzzle auf dem Küchentisch.

Nur Mut: Wer kochen und puzzeln kann, der wird auch unsere kleinen Programme verstehen und schnell eigene Erweiterungen entwickeln.

Insbesondere Programmieranfänger kämpfen ständig mit der Syntax der jeweiligen Programmiersprache. Diese „Rechtschreibung“ (Syntax) einzelner Befehle muss in der Regel mühevoll im Handbuch nachgeschlagen werden und die Anordnung von Klammern, Blöcken, Semikolon usw. erscheint Anfängern wie ein Buch mit sieben Siegeln. Hier hilft der Einsatz einer grafischen Sprache²¹, bei der einzelne Programmblöcke per Mausklick zu einem Programm zusammengepuzzelt werden. Passende Schloss/Schlüssel-Mechanismen sorgen so ganz automatisch für ein **syntaktisch korrektes Programm**.

²⁰ Die alleinige Nutzung fertiger Apps von iPad und Co. im Unterricht ist wie „Lesen lernen ohne Schreiben“ in der Grundschule. Erst wenn wir auch „Schreiben“ können, sind wir in der Lage, unsere Gedanken zu konservieren, eigene Vorstellungen zu teilen, Ideen zu verbreiten und die Zukunft aktiv zu gestalten.

²¹ <https://sensebox.github.io/blockly/> oder <http://blog.ardublock.com/> oder <https://scratch.mit.edu/>

Wir können uns ganz auf die algorithmische Umsetzung unserer eigentlichen Idee konzentrieren. Dazu starten wir mit der Installation der Werkstatt-Küche (Details auch weiter hinten im Kapitel 8.1)²².

Alle Puzzleteile der grafischen Programmiersprache verstecken sich in bunten Baukästen auf der linken Seite unserer Programmierumgebung zur IoT²-Werkstatt. Beim Programmstart liegt schon das erste Puzzleteil für unser Hauptprogramm auf dem Tisch. Bevor wir mit dem eigentlichen Programmieren beginnen, schauen wir ganz kurz, was uns in den Baukästen erwartet:

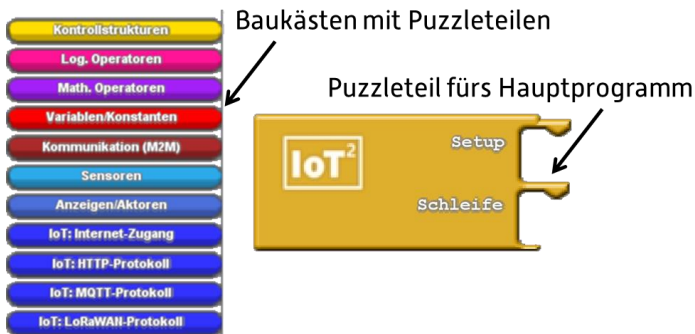


Abb. 3: Unser Puzzletisch zur Algorithmenentwicklung: Die Puzzleteile im Setup werden beim Start einmalig ausgeführt, anschließend werden die Puzzleteile in der Schleife endlos abgearbeitet.

Die **Kontrollstrukturen** als wichtigstes Element bilden das Rückgrat all unserer Algorithmen. Ohne Fallunterscheidungen, Schleifen und bedingten Wiederholungsanweisungen wären unsere Programme langweilige Anweisungsketten nach dem Motto „immer zuerst das Mehl, dann den Zucker und schließlich die Butter in die Schüssel geben“. Ganz ohne Anpassung an die konkrete Situation (z. B. durch bedingte Wiederholungen wie „rühre solange, bis die Masse schaumig ist“) würde ein jedes Kochrezept sicher nicht gut gelingen. Diese Puzzleteile sind bei unseren Programmen zukünftig gelb/orange eingefärbt.

Logische Operatoren (violette Puzzleteile) werden benötigt, um unsere Algorithmen über den Test von Bedingungen an die zur Laufzeit herrschenden Zustände anzupassen. Ein Beispiel aus der Küche ist „bis die Creme schaumig ist“. Die dafür benötigte Zeitdauer hängt von den verwendeten Zutaten (den Daten) ab und kann bei jedem Kochvorgang etwas anders ausfallen.

Mathematische Operatoren kennen wir schon aus der Schule. Hier steht ein kompletter Taschenrechner zur Verfügung. Wer hat nicht schon mal „ein halbes Pfund Butter“ in die Grammanzeige der Küchenwaage umrechnen müssen?

²² <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/schnellstart-octopus-anschiessen-und-einrichten>

In Verbindung mit den anderen Bausteinen können wir nun viele Berechnungen komplett automatisieren. Als eine der ersten Aufgaben werden wir gleich algorithmisch ermitteln, wieviel Geld wir heute auf dem Konto hätten, wenn bei Christi Geburt jemand für uns einen Cent aufs Sparbuch gelegt hätte?

Dazu müssen wir uns den berechneten Kontostand in einer **Speicherzelle (Gedächtnis)** bis zum nächsten Jahr merken. Wichtig beim Kochen ist es nämlich auch, den Überblick über die verwendeten Zutaten nicht zu verlieren. Hier helfen z. B. beschriftete Gefäße zur Zwischenlagerung, oder kleine Merktzettel, um eine Strichliste über die bereits in den Kuchenteig gegebenen Zutaten zu führen. Der Informatiker nennt diese (Informations-)Speicher auch **Variablen** (rote Puzzleteile). Wie im richtigen Leben gibt es auch hier Merktzettel mit unterschiedlicher Kapazität (Datentyp). Angefangen vom kleinen Post-it für eine ja/nein Entscheidung (Binär-Variable), über größere Zettel für Zahlen (Zahl-Variable) bis hin zu ganzen Seiten zur Speicherung von Texten (Text-Variable). Wenn wir etwas im Computer speichern, dann wollen wir die gespeicherte Information auch irgendwann auslesen oder an andere Programme weiterreichen. Diese **Kommunikationsaufgaben** (braune Puzzleteile) nutzen z. B. einen Druckbefehl (print) zur Ausgabe auf dem Bildschirm. Sind die Ausgaben gar zum Datenaustausch mit einem anderen Computer bestimmt, so spricht man auch von einer Maschine zu Maschine Kommunikation (M2M). Analog zum Küchenchef können wir z. B. die Ergebnisse unserer Kochkünste anderen Personen mitteilen und sie so zur Verkostung der zubereiteten Speisen einladen.

Für den letzten Pfiff sorgt der Küchenchef durch ausgewählte Zutaten (Daten) und Abschmecken seiner Gerichte. Dabei verlässt er sich auf seinen Geruchs- und Geschmacksinn. Auch unser IoT-Experimentierbord Octopus bietet die Möglichkeit, mittels **Sensoren** (hellblaue Puzzleteile) auf äußere Einflüsse zu reagieren. Es verfügt z. B. über Umweltsensoren zur Messung von Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck, sowie einem universellen Eingang zur Messung einer elektrischen Kleinspannung.

Das Auge isst bekanntlich mit. Diese Funktion übernehmen **Aktoren** (Anzeigen, Stellglieder, blaue Puzzleteile), mit denen wir die Umwelt beeinflussen und die wir zur Anzeige unserer Ergebnisse verwenden können (Leuchtdioden).

Wer noch keine Berührung zum algorithmischen Denken hatte und für den die Bestandteile dieser Baukästen neu sind, der schaue jetzt bitte beim Anfängerkochkurs im Kapitel 8 vorbei. Soweit unterscheidet sich die Werkstatt kaum von der anderer grafischen Programmierplattformen auf dem Markt. Der entscheidende Unterschied steckt in den **IoT²-Baukästen** (dunkelblaue Puzzleteile). Diese erschließen uns das Internet der Dinge in einer spielerischen Weise und werden in den nächsten Kapiteln ausführlich behandelt.

1.2 Die IoT-Hardware – Unser Octopus Mikrocontroller

Jeder Küchenchef legt Wert auf einen gut ausgestatteten Arbeitsplatz mit vielen praktischen Geräten. Für die ersten Gehversuche in Sachen algorithmisches Denken und IoT² erscheint ein kompletter PC, also die vollausgestattete Profiküche, nicht das ideale Werkzeug zu sein. Funktionen des Betriebssystems möchten dort nämlich sofort von uns versorgt werden, die erstellten Programme werden dadurch unnötig verkompliziert. Gerade für den Ausbildungsbetrieb ist das „Anfassen“ und die kostengünstige flexible Erweiterungsmöglichkeit ein wesentlicher Spaßfaktor. Einem teuren PC möchte man die eigenen Experimente mit Strom und Spannung vielleicht auch lieber nicht zumuten. Mikrocontroller-Kits sind hier eine ideale und kostengünstige Alternative.

Ein Mikrocontroller ist ein kompletter Rechner mit Prozessor, Speicher und Interfacetechnik auf einem einzigen Chip.

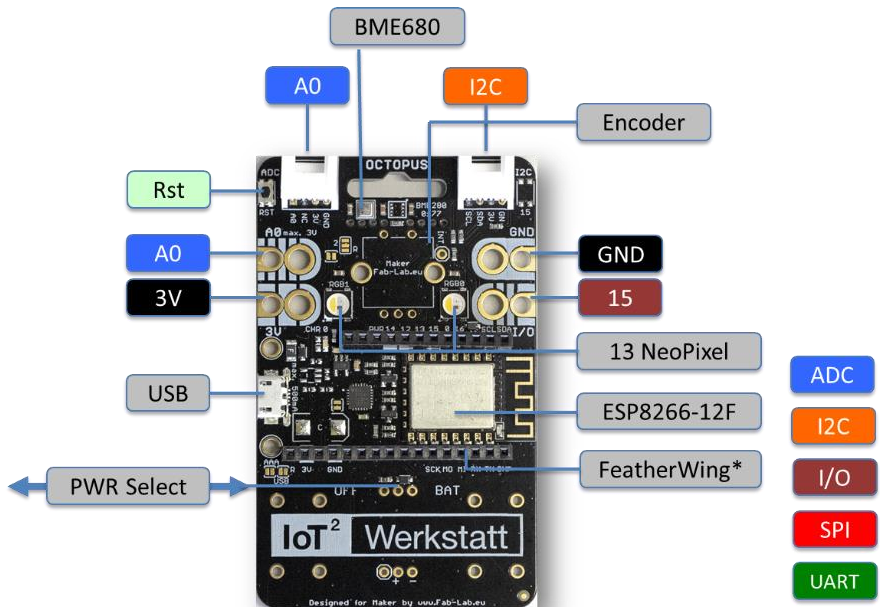


Abb. 4: Das internetfähige Experimentier-Kit IoT-Octopus²³

²³ <https://www.tindie.com/products/fablab/iot-octopus-badge-for-iot-evaluation/>

Die Wahl fiel auf die Arduino²⁴-Plattform und einem ESP8266 Mikrocontroller zur eigentlichen Programmausführung. Das von der IoT²-Werkstatt entwickelte IoT-Octopus-Kit reduziert dabei durch auf dem Board integrierte Sensor-, Akto- und IoT-Komponenten die Verdrahtungsproblematik erheblich.

Produziert und entwickelt in Deutschland folgt es folgenden Prinzipien:

- **Kein Löten:** Erweiterungen werden einfach angesteckt, und sind durch eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren flexibel anpassbar (s. Kapitel 9.1).
- **Sensorik:** ausgestattet mit einem BME 680 Umweltsensor (Barometer, Feuchtigkeit, Temperatur, VOC) erforschen wir unsere Umgebung.
- **Interaktiv:** durch farbige Neopixel und einfarbige LED.
- **Flexible Energie:** über USB-Schnittstelle. Unter Verwendung von Standard-Batterien bzw. Akkus bis hin zur solaren Energieversorgung ist alles möglich.
- **Kompatibel:** zur Schulausstattung (Bananenstecker, WLAN und USB) und vorhandenen Communities mit vielen Anwendungsbeispielen (Arduino, Adafruit, SeeedStudio Grove).

1.3 Fertiggerichte – Einfache Beispiele ohne IoT

Bevor wir ins IoT² eintauchen, MINT-Probleme lösen und unsere Daten um die halbe Welt senden, verbleiben wir aber noch einen kurzen Moment am heimischen Küchentisch. Die folgenden Beispiele veranschaulichen die algorithmischen Möglichkeiten, einfache Aufgaben mittels Puzzleblöckchen zu realisieren.

1.3.1 Nachhaltigkeit im Finanzsystem – Besser in Bildung investiert

Im Bildungssystem hören die Akteure häufig, es sei nicht genügend Geld vorhanden, um all die Wünsche nach modernen Komponenten (WLAN, Notebooks, Software) zu erfüllen. Bedenkt man die dynamische Entwicklung im Bereich der Digitalisierung, so erfordert eine schritthaltende Ausbildung jedoch zwingend auch kontinuierliche Investitionen. Seit Gründung der IoT²-Werkstatt im Sommer 2016 sind nun bereits vier Mooresche Verdopplungsschritte erfolgt, d.h. die Leistung der aktuellsten Hardware hat sich mit $2^4 = 16$ fast verzwanzigfacht. Nach weiteren drei Verdopplungsschritten verfügen wir dann wahrscheinlich über eine mehr als hundertfache Leistungsfähigkeit unserer Hardware ($2^7 = 128$). Oder anders ausgedrückt, haben sich dann vermutlich auch die Kosten für den Einbau eines IoT-Chips in ein Gerät deutlich reduziert.

²⁴ <https://www.arduino.cc/>

Wir müssen unser Bildungssystem deshalb umgehend kompatibel mit der Zeitkonstante der Digitalisierung machen und pragmatisch investieren. Denn nicht in Bildung zu investieren, kostet uns letztlich viel mehr Geld²⁵. Auch beim Klimaschutz hören wir häufig das Argument der **begrenzten finanziellen Ressourcen und der schwarzen Null**. Jede Verzögerung erhöht die Folgekosten.

Deshalb hier die **rhetorische Frage an alle Entscheider**:

Angenommen, einer ihrer Vorfahren hätte bei Christi-Geburt²⁶ einen Cent auf das Konto einer Bank eingezahlt, die das Kapital mit 4 % jährlich verzinst und die spätere Auszahlung in Goldtaler²⁷ versprochen hat. Wie würden Sie heute zur Bank gehen, um ihr Vermögen abzuholen, reicht ein 10 t LKW, oder muss es gar ein Güterzug sein?

Diese Frage lösen wir natürlich algorithmisch: Jedes Jahr gibt es 4 % Zinsen, d.h. das Kapital wächst um einen bestimmten Prozentsatz. Diese Prozedur wiederholen wir dann einfach für 2022 Jahre.

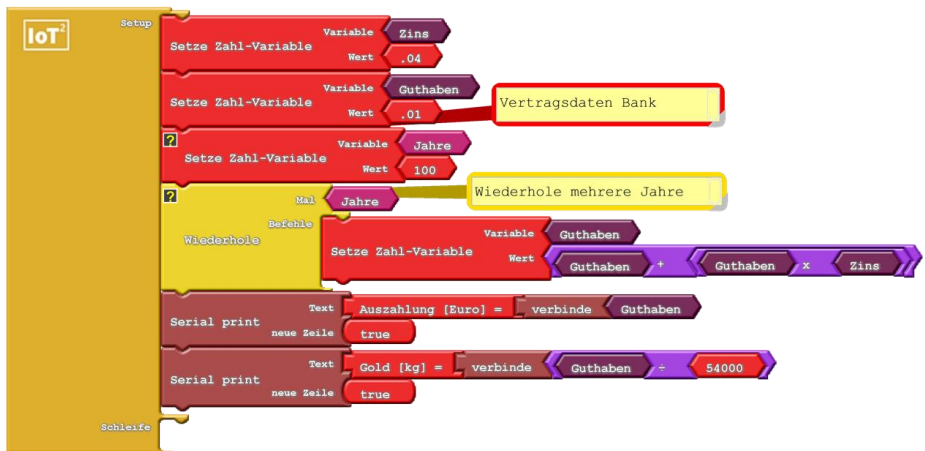


Abb. 5: Berechnung bei der Bank (Variable Guthaben, Wiederholungsschleife, hier 100 Jahre)

Schauen wir skeptisch zuerst einmal auf den Erlös nach hundert Jahren: Stolze 0.51 € zahlt uns die Bank. Setzen wir aber statt 100 auf 2022 Wiederholungen, d.h. der Cent liegt für 2022 Jahre auf der Bank, so sind es plötzlich:

276320364055132472458353731781244.27 € oder

5117043574337770905913203023.37 kg Gold

²⁵ <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/schule-2020/322681/was-kostet-es-nicht-in-bildung-zu-investieren/>

²⁶ Sogenannter Josephspfennig

²⁷ Aktueller Goldpreis: 54.000 €/kg

Bevor wir nun den Güterzug zur Abholung schicken, klären wir lieber vorab die Frage, ob die Bank überhaupt zahlungsfähig ist?

Die Erdmasse beträgt $5,9736 \cdot 10^{24}$ kg, daraus folgt für uns ernüchternd:

Wir besitzen die 856fache Masse der Erde in Gold

Die Bank kann uns also nur einen großen „Geldschein“ aus Papier mit vielen Nullen aushändigen. Wir sehen, ein nachhaltiges Finanzsystem ist so nicht realisierbar, irgendwann muss das System zwangsläufig in Probleme laufen. Und lernen ganz nebenbei den wichtigsten Satz fürs Leben:

Investiere in Bildung – denn das Wissen kann dir niemand nehmen.

1.3.2 Auf Wahrheitssuche – Der Lügendetektor

Bei Diskussionen um Bildung, Klimaveränderung und den Umbau auf erneuerbare Energien hätten wir oft gern einen Lügendetektor dabei, um die Aussagen der Gesprächspartner gleich vor Ort zu überprüfen. Ganze Generationen an Geheimdienstforschern beschäftigen sich bereits mit der Entwicklung eines solchen Gerätes. Ein einfacher Parameter zur Einschätzung des Wahrheitsgehaltes der Aussagen, ist die Hautfeuchte. Denn beim Lügen geraten wir leicht ins Schwitzen, der Hautwiderstand sinkt.

Können wir einen Lügendetektor bauen, der diese Eigenschaft ausnutzt?

Auch hier bemühen wir uns um eine anschauliche (anfassbare) algorithmische Lösung. Unser Board verfügt über verschiedene eingebaute Sensoren. Als einfachster Vertreter sei hier exemplarisch der Messeingang für analoge Spannungen genannt. Die an den mit „A0“ beschrifteten Kontakten anliegende Kleinspannung wird durch einen **Analog-Digital-Wandler** (ADC) in einen proportionalen Zahlenwert umgewandelt. In unserem Fall hat der ADC eine Auflösung von 10 Bit, was bedeutet, dass unser Messbereich von 0 bis 3 V in die Zahlenwerte 0 bis $2^{10}-1 = 1023$ umgewandelt wird. Das entsprechende Puzzleteil zum Einlesen des Zahlenwertes finden wir im **Baukasten für Sensoren**.

Kleinspannung
0 bis 3 V



Analog-Digital-Wandlung

Messwert
0 bis 1023

Abb. 6: ADC zur Messung der Spannung am Eingang A0

Die Kontaktbelegung des IoT-Kits bietet schon von Hause aus die einfache Möglichkeit, auch ohne Sensor eine Spannungsänderung am analogen Eingang zu provozieren. Dazu brauchen wir nur den Finger auf die Bananenstecker-Kontakte auf der linken Seite des IoT-Kits zu legen. Unser Finger sorgt dann für eine leitfähige Verbindung zwischen „A0“ und dem darunter anliegenden 3V Kontakt. Je nach Hautfeuchte und Kontaktdruck kann der Messwert so in weiten Grenzen schwanken.

Zum Test des Algorithmus soll die Farbe des Neopixels (der farbigen LED) in Abhängigkeit vom eingelesenen Messwert verändert werden. Dazu benötigen wir eine erste Idee für den Schwellwert in der Vergleichsoperation der Fallunterscheidung. Je nach Hautfeuchte kann dieser Wert individuell verschieden ausfallen. Idealerweise verfolgen wir den aktuellen Messwert deshalb zusätzlich über eine Ausgabe auf dem Seriellmonitor. Dazu dient der println-Befehl im **Baukasten Kommunikation**.

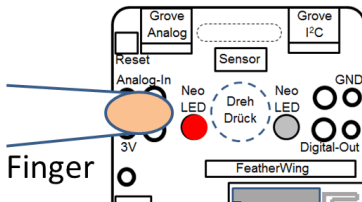


Abb. 7: Messung der Hautleitfähigkeit am Finger

Bei geschickter Wahl des Schwellwertes in der Vergleichsoperation gelingt der Wechsel zwischen roter und grüner Anzeige auf einfache Weise.

Ist die Haut feucht, z. B., weil wir bei einer Lüge ertappt wurden, ist die Leitfähigkeit hoch und das Signal wird rot. Bei trockener Haut bleibt das Signal grün.



Abb. 8: In Abhängigkeit der Hautfeuchte ändert sich die Farbe

1.3.3 Viel Applaus für MINT – Die Lärmampel

Die vorherigen Beispiele lassen sich natürlich leicht abwandeln. Diese Strategie (eines Entwurfsmusters, **design patterns**) werden wir im Rahmen dieses Büchleins häufig wiederfinden. Eine einfache Variante wäre die Entwicklung einer Lärmampel fürs Klassenzimmer oder eines „Clap-o-meters“ zur Applausmessung bei Wettbewerben. Dabei nutzen wir statt des Fingers einen Grove-Lärmsensor (Mikrofon) zur Erzeugung der Eingangsspannung am analogen Eingang, den wir auch an der linken oberen Grove-Buchse finden. Auch CO₂-Ampel und Schimmelwarner werden später so funktionieren.

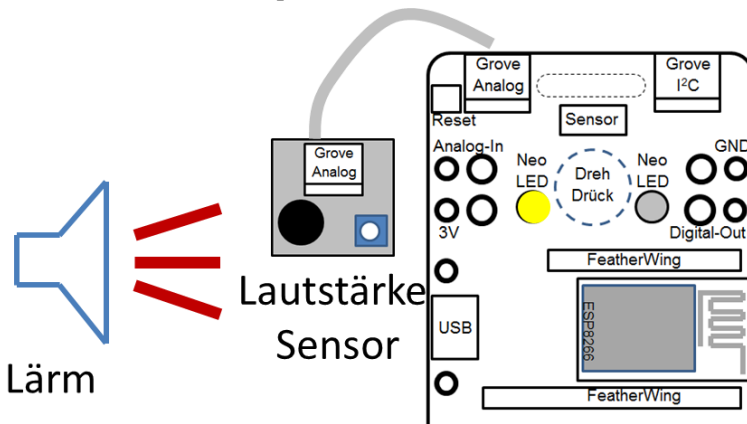


Abb. 9: Der Lärmsensor erzeugt je nach Lautstärke eine Spannung zwischen 0 und 3 V und kann am analogen Eingang AO gemessen werden.

In Abhängigkeit vom eingelesenen Messwert schaltet das Neopixel dann auf grün, gelb oder rot. Formulieren wir unsere Anzeige-Strategie als Algorithmus:

Endlosschleife:

```

Falls Messwert < 30
  dann Neopixel ist grün
sonst
  Falls Messwert < 100
    dann Neopixel ist gelb
  sonst Neopixel ist rot
  
```



Abb. 10: Algorithmus der Lärmampel im Pseudocode

Solch ein **Pseudocode** lässt sich später relativ problemlos von Hand in ein entsprechendes C-Programm übersetzen. Wir implementieren unseren Algorithmus natürlich in gewohnter Puzzle-Manier:

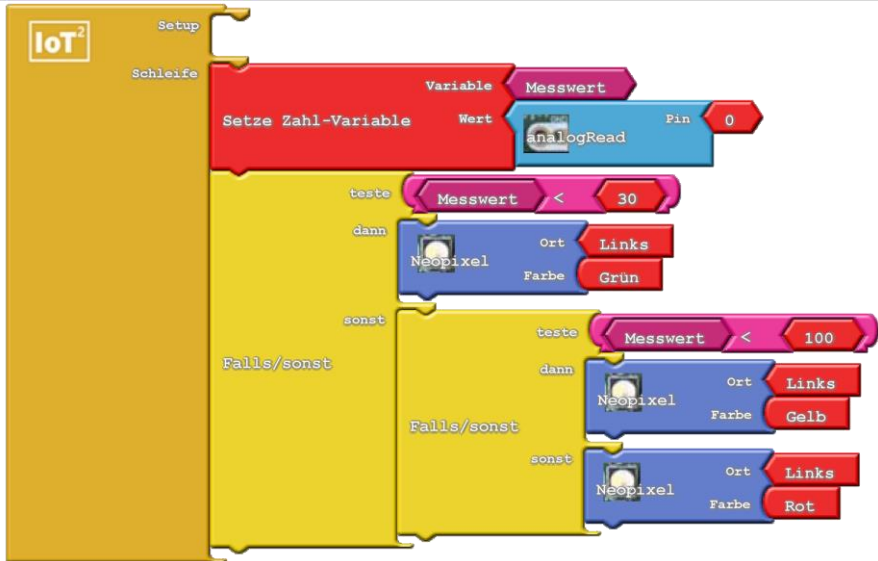


Abb. 11: Der Algorithmus als ArduBlock-Programm

Im Editor der Arduino-Entwicklungsumgebung sehen wir den automatisch generierten C-Code:

```

1: void loop() { // Kontinuierliche Wiederholung
2:   Messwert = analogRead(0) ;
3:   if (( ( Messwert ) < ( 30 ) )) {
4:     pixels.setPixelColor(true,0,30,0);
5:     pixels.show();
6:   } else {
7:     if (( ( Messwert ) < ( 100 ) )) {
8:       pixels.setPixelColor(true,30,30,0);
9:       pixels.show();
10:    } else {
11:      pixels.setPixelColor(true,40,0,0);
12:      pixels.show();
13:    }
14:  }
15: }

```

Die Ähnlichkeit zur Formulierung im Pseudocode ist deutlich sichtbar. Damit haben wir drei gleichwertige Beschreibungsmöglichkeiten für Algorithmen kennengelernt²⁸: Als Pseudocode, als ArduBlock-Programm und als Code in der Hochsprache C.

²⁸ Mit dem Struktogramm und dem Programmablaufplan gibt es weitere Möglichkeiten zur Darstellung.

2 IoT²-Werkstatt – Dein Einstieg in eigene IoT²-Projekte

Nach Einrichtung der Entwicklungsumgebung und der ersten algorithmischen Gehversuche, können wir nun endlich mit der Umsetzung spannender IoT²-Beispielprojekte (unserer Blaupausen) beginnen:

- Im Projekt „**digitale Flaschenpost**“ senden wir eine Nachricht an unseren Flaschenpost-Server. Hierdurch lernen wir, wie ein WLAN-Accesspoint arbeitet. Wir bauen ein Intranet, einen Webserver und eine einfache HTML-Seite zur Eingabe der Nachricht, die Ausgabe nutzt eine Matrixanzeige.

Ziel: Wir lernen eine Kommunikationsstrecke aufzubauen, welche wir für unser späteres Forschungsschiff benötigen!

- Im Projekt „**Forschungsschiff**“ senden wir nun Daten von Sensoren in das Internet und visualisieren diese. Dabei nutzen wir diesmal eine WLAN-Verbindung zur Cloud und ein einfaches REST (Representational State Transfer) basiertes Protokoll. **Ziel:** Wir können eine erste Datenauswertung machen: Wie entwickelt sich die Luftfeuchtigkeit? Wovon ist diese abhängig (z.B. draußen: Temperatur, Sonnenstand, drinnen: Fenster)?

Mehr: Welche Sensoren können das Forschungsschiff ergänzen? Wo könnte das Forschungsschiff ausgesetzt werden? (Tipp: Es muss nicht im Wasser unterwegs sein: Auto, Tasche, Fahrrad, ...). Eine Liste weiterer Sensoren gibt es in Kapitel 9.1.

Ihr habt sicher ganz viele tolle Ideen ... ran an die Umsetzung!

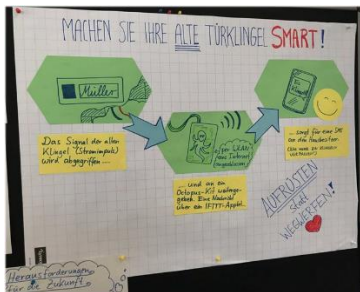
2.1 Hackathon-Veranstaltungen – Einfach machen

Wenn die eigene Idee plötzlich „Flügel“ bekommt, anfassbar wird und getestet werden kann, dann ist das Ziel erreicht: Informatik und MINT nicht als trockene Theorieveranstaltung im stillen Kämmerlein am Computer oder im „langweiligen“ Unterricht, sondern praktisch im Team erlebbar und als Teil der gemeinsamen Zukunftsgestaltung.

Wichtigstes Werkzeug ist das **Maker-Mindset**:

“Nichts ist unmöglich, einfach anfangen, machen“

Hier liegt das Erfolgsrezept unserer strukturierten IoT²-Hackathon-Veranstaltungen. Junge Menschen sprühen vor Phantasie und Innovationskraft, verlassen eingetretene Pfade, entwickeln Ideen, die dann vor Ort im Team mit unserer Unterstützung zu einem konkreten Prototyp heranreifen. Dabei ist es oft sogar von Vorteil, wenn die Teilnehmerinnen und Teilnehmer noch kein „digitales Korsett“ besitzen, welches dem Denken vielleicht Grenzen setzt. Denn zu Beginn einer jeden Veranstaltung steht eine Einführung in die Werkstatt und unsere generischen Blaupausen, welche als Grundstruktur anschließend sukzessive zum eigenen Projekt ausgebaut werden. Wie vielfältig die Möglichkeiten dieser Entwurfsmuster sind, werden wir in den Folgekapiteln sehen.



Hackathon:

Beobachten,
Verstehen,



Ideen finden,
Prototyp bauen,
Testen, ...

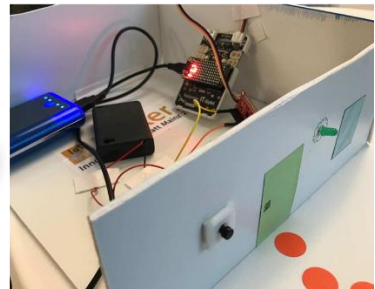


Abb. 12: Die smarte Türklingel: Idee des Teams der IGS Anna Seghers. Hackathon 2018 in Mainz²⁹

Mittlerweile können wir stolz **auf über 100 anfassbare und bisher noch nicht dagewesene Projekte** verweisen, die im Laufe der unzähligen strukturierten Hackathon-Veranstaltungen entstanden sind³⁰:

Vom automatisierten Kleiderschrank, der die vorhandenen Kleidungsstücke erkennt und je nach online Wetterlage (IoT) passende Kombinationen vorschlägt, über die intelligente Schultasche, die den Stundenplan online abrufen (IoT) und die Bücher kontrolliert, bis hin zum intelligenten Wecker, der Stundenausfall online abfragt (IoT) und ggf. erst später klingelt. Oder einer Leckage-Erkennung in der Wandkonstruktion des Hauses, die undichte Wasserleitungen frühzeitig erkennt, die smarte Wäscheklammer, die per Handy alarmiert, wenn es zu regnen anfängt. Oder die obige smarte Türklingel, die mittels Cloudfunktion und Voice-over-IP beim eigenen Handy anruft, wenn es an der Haustür klingelt.

Amazon und Ring waren gestern³¹ – nun digitalisieren wir selbst.

²⁹ <https://www.rlp.de/de/aktuelles/einzelsicht/news/detail/News/innovationswerkstatt-digitalisierung-im-alltag-nutzen/>

³⁰ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/100-ideen>

³¹ www.heise.de/news/Smarte-Tuerlingel-Amazon-gibt-Ring-Aufnahmen-ohne-Einwilligung-an-US-Polizei-7179946.html

2.2 Die digitale Flaschenpost – Hallo eigener Webserver

Natürlich lassen sich auch mehrere LEDs oder Neopixel zu einer LED-Matrix zusammenschalten. Bei unserem Kit geschieht dies durch optionale Nutzung eines externen Erweiterungsboards: Das CharlieWing Matrix-Display³². Dieses wird auf die FeatherWing Steckleisten unseres Kits gesetzt und dient der erweiterten Visualisierung.

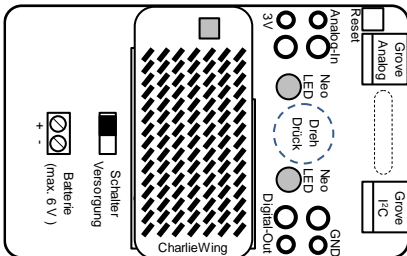


Abb. 13: IoT-Kit mit LED-Matrix

Durch Verwendung der Bibliotheksfunktion aus dem Baukasten Anzeigen gelingt die Textausgabe des „Hallo IoT“ mit nur wenigen Programmzeilen. Sollte kein Wing greifbar sein, so können die Ausgaben per serial print Blöckchen auf der seriellen Schnittstelle erfolgen.



Abb. 14: IoT-Ardublock HalloMatrix.abp

Als IoT-Device auch mit Netzwerkzugriff

Allerdings ist die Ausgabe eines festen Textes nach einiger Zeit recht langweilig und wir wünschen uns mehr Flexibilität.

Da wir über ein internetfähiges Kit verfügen, wäre es doch toll, wenn wir den auszugebenden Text per Web-Interface vom Handy aus ändern könnten. Dazu werden wir jetzt mit wenigen Puzzleteilen einen eigenen http-Webserver implementieren und per Internet-Browser im Smartphone darauf zugreifen. Die entsprechenden Bibliotheksfunktionen finden wir im **Baukasten „IoT: Internet-Zugang“** und „IoT: HTTP-Protokoll“.

³² learn.adafruit.com/adafruit-15x7-7x15-charlieplex-led-matrix-charliewing-featherwing

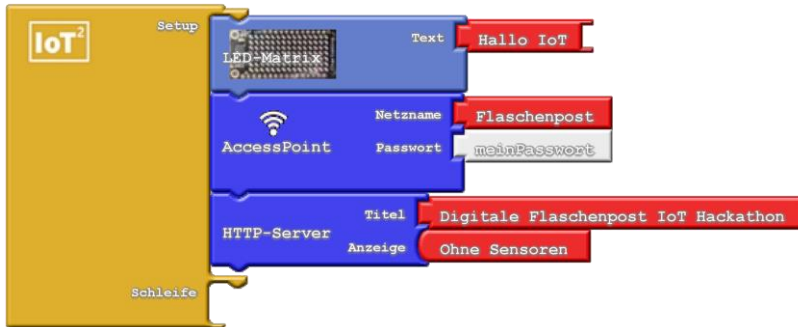


Abb. 15: IoT-ArduBlock HalloMatrixServer.abp

Das Programm begrüßt uns mit einer Startmeldung „Hallo-IoT“ und baut einen eigenen Access-Point mit dem Namen „Flaschenpost“ auf.

Ein **WLAN** (Wireless Local Area Network) ist ein kabelloses Netzwerk. Der Netzname (SSID, Service Set Identifier) identifiziert das Netzwerk. Ein optionales Passwort dient der Sicherheit.

Alle Teilnehmer in diesem Netzwerk können miteinander kommunizieren. Damit es kein heilloses Durcheinander gibt, nutzen alle Teilnehmer bestimmte Vereinbarungen, in unserem Fall die Regeln des **TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)** zur Kommunikation.

Das **Netzwerkprotokoll** vereinbart Kommunikationsregeln .

Neben der Möglichkeit, einen eigenen WLAN Access-Point aufzubauen, könnte unser Kit auch Teilnehmer in einem fremden WLAN werden und dann tatsächlich Verbindung zum Internet aufnehmen (Station-Mode, WLAN-Client. späteres Beispiel zum Forschungsschiff).

Melden wir uns mit dem Handy (oder einem anderen Rechner) an unserem WLAN-Netz „Flaschenpost“ an, so können wir die Homepage unseres Moduls unter der lokalen **IP-Adresse** (192.168.4.1) erreichen. Bei vorhandener LED-Matrix wird diese Adresse auch auf der Matrix angezeigt.

Jeder Computer im Internet besitzt eine solche IP-Adresse als weltweit eindeutiges Identifikationsmerkmal. Die mit 192.168. beginnenden Adressen sind dabei für private Netzwerke reserviert und werden nicht ins Internet verbunden.

Mit diesem einfachen Puzzleteil „AccessPoint“ haben wir praktisch **ein eigenes „Internet“** in Form eines eigenen privaten Netzwerks aufgebaut. Dieses private

Netz hat keine Verbindung zum echten Internet und wird oft als **Intranet** bezeichnet. Alle mit unserem WLAN verbundenen Teilnehmer bekommen vom Access-Point unseres IoT-Kits automatisch eine eigene IP-Adresse zugewiesen. Das Handy hat jetzt vielleicht die Adresse 192.168.4.2, der nächste Teilnehmer dann die 192.168.4.3 usw.

Auch bei der IP-Vergabe kommt mit dem **DHCP-Dienst (Dynamic Host Configuration Protocol)** wieder ein Profi-Netzwerkprotokoll zum Einsatz.

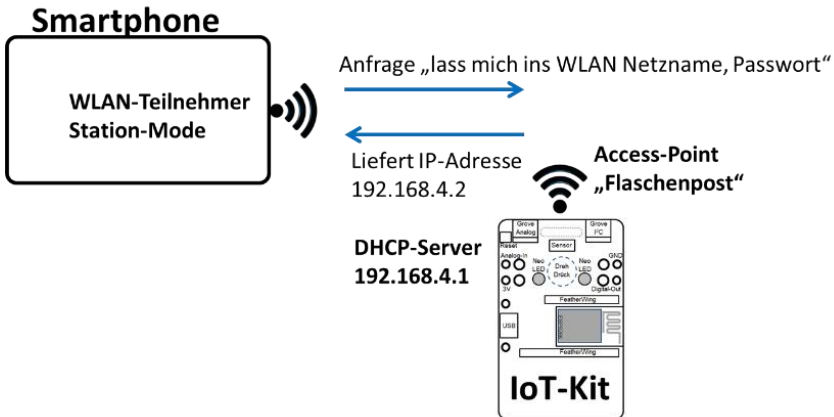


Abb. 16: Das IoT-Kit als WLAN Access-Point bildet ein Intranet

Normalerweise werden die an der Kommunikation Teilnehmenden unter einem eigenen Namen (**Uniform Resource Locator, URL**, z. B. www.umwelt-campus.de) angesprochen. Spezielle DNS-Server im Internet sorgen unsichtbar für die Konvertierung in die IP-Adresse (**DNS-Dienst, Domain Name System**). Auch der Rechner des Umwelt-Campus hat eine eigene IP (143.93.47.25), die wir alternativ statt des Namens im Browser eingeben könnten³³.

Bei unserem ersten kleinen Eigenbaunetz existiert ein solcher DNS-Service leider nicht, weswegen wir notgedrungen die unkomfortable IP-Adresse unseres IoT-Kits kennen müssen (192.168.4.1). Später wird uns allerdings das echte Internet ein eigenes Netzwerk mit DNS-Dienst zur Verfügung stellen.

Was noch fehlt, ist das aus Anwendersicht wichtigste Netzwerkprotokoll HTTP. Bei Nutzung des WWW (World Wide Web) rufen wir täglich Webseiten auf, ohne uns Gedanken über den dahinterliegenden Mechanismus zu machen.

³³ Vorteil der Entkopplung zwischen Domain-Namens und IP-Adresse ist auch die erhöhte Flexibilität. Bei Änderungen im Rechenzentrum, Providerwechsel, oder Lastverteilung kann der Name [umwelt-campus.de](http://www.umwelt-campus.de) auch mit einer anderen IP-Adresse verknüpft werden.

Hier erlaubt die IoT²-Werkstatt einen Blick hinter die Kulissen.

Eine Webseite ist ein von einem Dienstbringer (**Webserver**) angebotener Text, den wir mit unserem Webbrowser (**Webclient**) anfragen.

Das dabei genutzte Protokoll heißt **Hypertext Transfer Protocol (HTTP)**. Unser Puzzleteil „HTTP-Server“ beschreibt also einen Dienst, der ständig am Netzwerk lauscht und bei Anfrage durch einen Client die Homepage ausliefert.

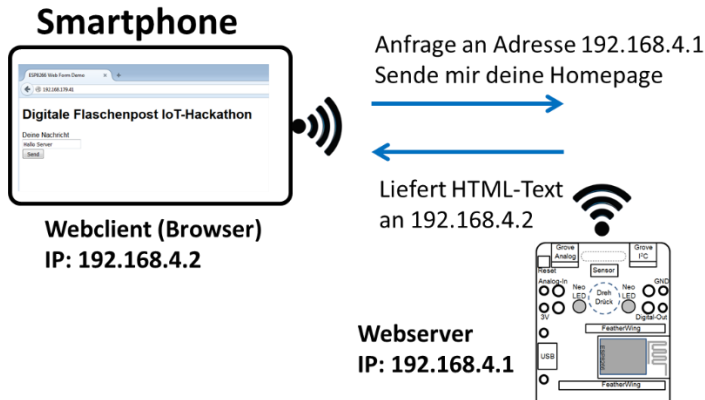


Abb. 17: Abruf einer Webseite von unserem HTTP-Webserver

Eine Homepage besteht normalerweise aus einer Textdatei in einem speziellen Format (**Hypertext Markup Language, HTML**).

Da unser System keine Dateien verwalten kann, erstellt der Codegenerator stattdessen eine Textkonstante mit dem gewünschten Inhalt. Die im Puzzleteil angegebene Titelzeile erscheint als Überschrift auf der Webseite. Hier einmal ein Blick in den C-Source zur Beschreibung unserer Homepage:

```

1:  const char INDEX_HTML[] =
2:  <html>"
3:  <head>"
4:  <title>ESP8266 Web Form Demo</title>"
5:  </head>"
6:  <body>"
7:  <h1>Digitale - Flaschenpost IoT Hackathon </h1>"
8:  <FORM action="/\" method="post">"
9:  <P>"
10:     "Deine Nachricht<br>"
11:     <INPUT type="text" name="message"><br>"
12:     <INPUT type="submit" value="Send">"
13:     </P>"
14: </FORM>"
15: </body>"
16: </html>";

```

Dabei enthält die HTML-Seite neben dem Titeltext auch einen Input-Tag für ein im Webbrowser editierbares Textfeld. Der Inhalt dieses Feldes wird später über den Send-Button an unseren Webserver übermittelt. Über diesen Mechanismus aktualisieren wir den anzuzeigenden Text. Stolz präsentieren wir die erste eigene Homepage im Browser unseres Handys oder PCs:



Abb. 18: Homepage unserer Flaschenpost

In einer Flasche verpackt, kann das Kit so eine digitale Nachricht an den Empfänger senden – ähnlich wie eine Flaschenpost in unserer analogen Welt.

Hurra, wir haben mit der **Flaschenpost** den ersten eigenen Webserver erstellt. Ein- und Ausgaben im Browser sind kein Problem!³⁴

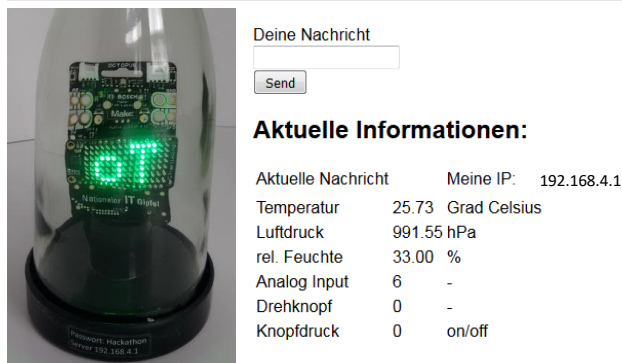


Abb. 19: Auch die Flaschenpost ist ein Webserver mit Sensorinformation

³⁴ Übrigens: Es gibt keine Sicherheitsfunktionen. Wer unsere IP-Adresse kennt und im selben WLAN angemeldet ist, der kann uns so eine Nachricht schicken! (Tipp: Wir können die Flaschenpost z. B. mit einem geheimen Code vor dem eigentlichen Text schützen!)

Das Puzzleteil „HTTP-Server“ erlaubt noch mehr. Wählen wir die Option „mit Sensoren“, so kommt richtig Leben in unsere Webseite. Der eingebaute Bosch-Sensor BME 680³⁵ ist in der Lage, die Temperatur, die Luftfeuchte, den Luftdruck und den Gehalt an organischen Komponenten (VOC) der Luft zu bestimmen. Über eine digitale Schnittstelle, den sogenannten **I²C-Bus** (Inter IC-Bus)³⁶, lassen sich die Messwerte auslesen und auf der Homepage anzeigen.

Damit könnten wir unseren Ausflug ins Internet eigentlich beenden, wir können die aktuellen Umweltdaten abfragen (Sensoren) und Textmeldungen an unser Kit schicken – alles über die Homepage eines Webservers.

Eine ziemlich komplexe Operation, die die IoT²-Werkstatt in dieses Puzzleteil des HTTP-Servers gepackt hat. Wer an Details interessiert ist, der sollte sich den generierten C-Code genauer anschauen und ihn ggf. auf seine Bedürfnisse zuschneiden. Im Kapitel CO₂-Ampel werden wir eine erweiterte Serverfunktion benutzen, um die Messwerte der Raumluftqualität als Zeitreihe auf dem Handy zu visualisieren.

2.3 Unser Forschungsschiff – Hallo IoT im Thingspeak

So ein Serverbetrieb hat einen entscheidenden Nachteil: Ein Server muss 24 Stunden und 365 Tage im Jahr durchgängig erreichbar sein. Eine Funktionalität, die batteriebetriebene Geräte nur schwer gewährleisten können³⁷. Denken wir an unser Smartphone, welches trotz Energiesparmaßnahmen im Betrieb nur wenige Tage durchhält. Hier ist eine alternative Strategie gefragt: Wir nutzen einen Server im Internet, um unsere Sensorinformationen an einem anderen Ort abzulegen. Die Daten sind dann dort rund um die Uhr verfügbar, während unser Kit als Client für einige Zeit in den energiesparenden Tiefschlaf fallen kann. Zwingende Voraussetzung für solch ein Szenario ist der Zugriff auf eine Cloud-Plattform, wie ein Server zur Datenspeicherung im Internet auch genannt wird. Im folgenden Abschnitt wollen wir unsere Flaschenpost als mobiles Forschungsschiff auf Reisen schicken und uns selbst um das Handling der erfassten Daten kümmern.

³⁵ <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme680/>

³⁶ <http://www.elektronik-magazin.de/page/der-i2c-bus-was-ist-das-21>

³⁷ Der Strombedarf unseres IoT-Kits liegt bei ca. 100 mA. Was das für den mobilen Betrieb bedeutet, lässt sich einfach ausrechnen: Mikrozellen (AAA) mit ca. 800 mAh erlauben eine Betriebsdauer von maximal 800 mAh / 100 mA = 8 Stunden – in der Praxis eher weniger.

Im Baukasten Sensoren finden wir den Bosch Umweltsensor mit der Auswahlmöglichkeit des jeweiligen Sensors. Dieser Sensor liefert den Messwert als Zahl zurück. Ein spezielles Schnittstellenmodul „verbinde“ als Adapter wandelt dabei den numerischen Messwert in einen Text, der über die LED-Matrix ausgegeben werden kann (Typcast). Ist keine Matrix vorhanden, kann stattdessen auch der `serial println`-Befehl zur Ausgabe auf die serielle Schnittstelle genutzt werden.



Abb. 20: Forschungsschiff zur Messung der Wassertemperatur (Foto: Guido Burger)

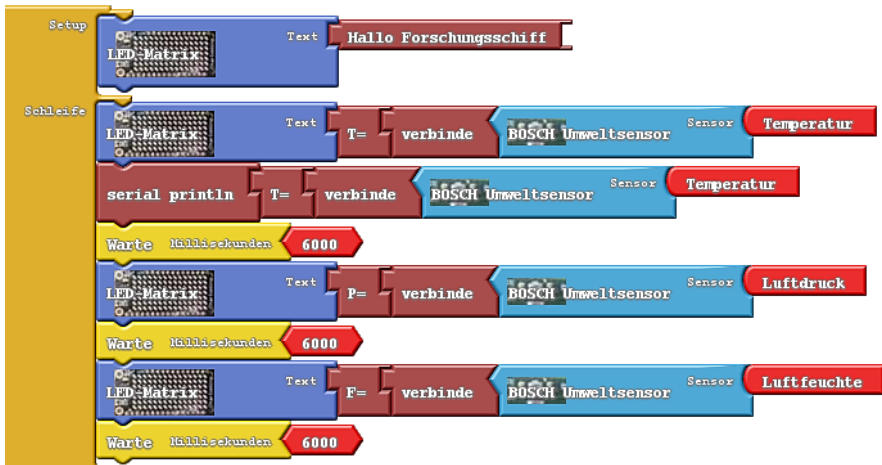


Abb. 21: ForschungsschiffMatrix.abp

Zu einem **Datenlogger** gehört natürlich neben der eigentlichen Messdatenerfassung noch mehr, nämlich die Speicherung der gemessenen Werte. Üblicherweise geschieht dies auf einem USB-Stick oder einer SD-Karte. Da wir ein internetfähiges Kit besitzen, können wir glücklicherweise auf diese externen Speicher verzichten und unsere Daten direkt dem Internet anvertrauen.

In diesem Fall spricht der Informatiker von einer Cloud-Lösung, bei der ein im Internet verfügbarer Server unsere Daten entgegennimmt und archiviert. Hierzu existieren eine Reihe von Diensten verschiedener Anbieter³⁸.

Im Rahmen der IoT-Werkstatt verwenden wir dazu das ehemals auch als Open-Source Plattform verfügbare Thingspeak. Zur Nutzung dieses Dienstes müssen wir uns vorher beim Server registrieren. Der offizielle Server wird nun von Mathworks™ betrieben und ist weltweit unter www.thingspeak.com erreichbar. Vor der ersten Nutzung müssen wir uns dort leider registrieren. Die kostenlose Lizenz für die private Nutzung unterliegt zum Zeitpunkt der Buchproduktion kleinen Einschränkungen (max. 4 Kanäle, Update-Rate > 15 s). Wer mehr möchte, muss auf kostenpflichtige Lizenzen ausweichen, oder per github³⁹ seinen eigenen lokalen Server aufsetzen.

The image shows the registration page for Thingspeak. At the top, there is a blue header with the Thingspeak logo and the word 'Channels'. Below the header, there is a light gray box with the text 'Sign up to start using ThingSpeak'. The registration form consists of several input fields: 'User ID' with the value 'IoTWerkstatt', 'Email' with the value 'Dummy oder email', 'Time Zone' with a dropdown menu showing '(GMT-05:00) Eastern Time (US & Canada)', 'Password' with a masked field of dots, and 'Password Confirmation' which is currently empty. A blue 'Create Account' button is located at the bottom of the form.

Abb. 22: Registrierung Thingspeak-Cloud (Quelle: thingspeak.com)

Anschließend konfigurieren wir unter „Channels“ -> „New Channel“ einen Messkanal für die Werkstatt. Dort erstellen wir Feldeinträge für Temperatur, Luftdruck, Feuchte und dem Analogeingang. Wichtig ist, dass wir uns die Reihenfolge merken, denn ein Feld wird bei der späteren Datenspeicherung durch den Feldindex identifiziert. Nach Speichern der Konfiguration steht der Kanal ab sofort zum Zugriff bereit.

³⁸ phant.io, thingspeak.com, io.adafruit.com

³⁹ <https://github.com/iobridge/thingspeak>

Signed in successfully.

My Channels

New Channel

Search by tag

New Channel

Name: Demo

Description: Test IoT-Werkstatt

Field 1: Temperatur

Field 2: Luftfeuchte

Field 3: Luftdruck

Field 4:

Field 5:

Field 6:

Field 7:

Field 8:

Abb. 23: Erstellung eines Messkanals und API-Key (Quelle: thingspeak.com)

Wer möchte, kann die Messdaten später auch für andere Nutzer weltweit sichtbar machen (Make Public-Flag bei „Channel Settings“ (Open-Source Version), oder im Reiter „Sharing“ bei thingspeak.com).

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys

Channel Sharing Settings

Keep channel view private
 Share channel view with everyone
 Share channel view only with the following users:

Email Address:

Private View	Public View	Channel Settings	API Keys
Percentage Complete	15%		
Channel ID	970		
Name	Demo		
Description	Anwendung der IoT-Werkstatt Lokaler Open-Source Server		
Elevation	<input type="text"/>		
Make Public?	<input checked="" type="checkbox"/>		
URL	<input type="text"/>		

Abb. 24: So können unsere Daten später weltweit geteilt werden (Thingspeak.com)

Bevor wir aber Daten mit unserem Kit dort ablegen können, benötigen wir eine Zugangsberechtigung, den sogenannten **API-Key (Application Programming Interface)**. Nur wer in Besitz dieses Schlüssels ist, kann Daten schreiben. Sicherheit spielt beim IoT eine große Rolle. Wir notieren uns also unseren Key

und setzen ihn später an geeigneter Stelle in unserem Programm ein (oder kopieren ihn besser mit cut & paste aus der Browseranzeige).

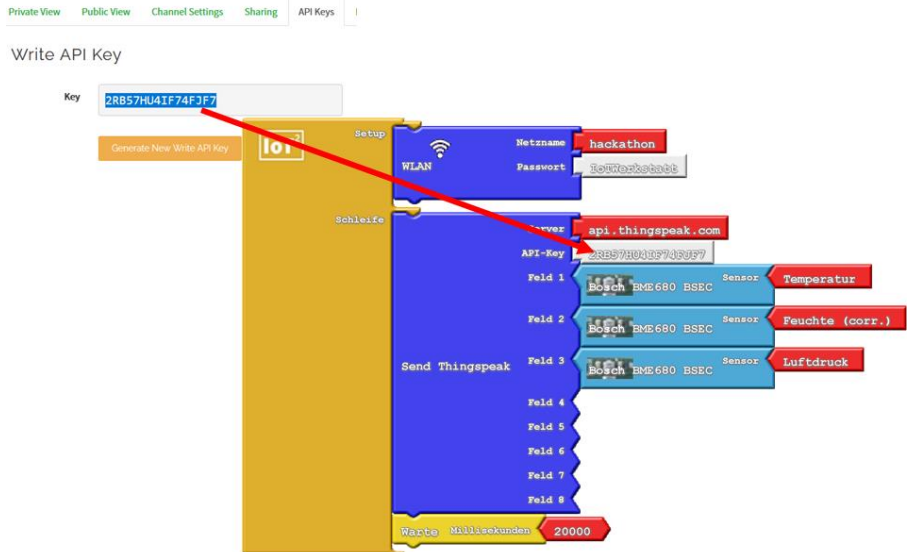


Abb. 25: API-Key als Verbindung zwischen Server und unserem Client

Nach erfolgreicher Konfiguration können die Daten mittels einfacher HTTP-GET Nachricht in der Datenbank des Servers abgelegt werden. Zum Test lässt sich diese GET-Nachricht von jedem Webbrowser aus generieren. Dazu im Browser die URL

<http://thingspeak.com/update?key=54BLRFQLCT00JC1M&field1=34.5>

aufzurufen, wobei der API-Key an den eigenen Kanal angepasst werden muss. Der Server (host) übernimmt die Daten für die Temperatur (hier 34.5 für das erste Feld) und antwortet mit der laufenden Nummer des aktuellen Eintrags in seiner Datenbank. Eine solche GET Nachricht lässt sich auch einfach per entsprechendem Thingspeak-Puzzleteil generieren.

Zur individuellen Festlegung des Messkanals muss natürlich der API-Key im Thingspeakblock an unseren persönlichen Key angepasst werden. Der Server Thingspeak.com lässt nur Aktualisierungsraten von mehr als 15 Sekunden zu. Deshalb fügen wir noch einen Wartebefehl von 20 s = 20000 ms ein. Die Umweltdaten ändern sich ja auch nicht so schnell, dass eine Aufzeichnung im Sekundentakt notwendig wäre. Kontrollieren können wir den Erfolg auf der Thingspeak-Seite:

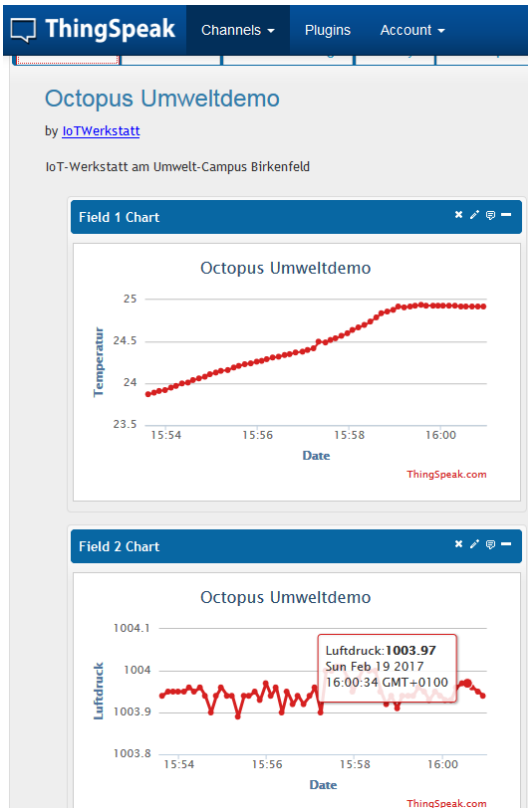


Abb. 26: Visualisierung eines Messkanals (Quelle: thingspeak.com)

Dort sind unsere Messwerte bei Bedarf (thingspeak.com) ab sofort weltweit verfügbar. Damit haben wir mit wenig Programmcode einen tollen Datenlogger für Umweltinformationen erstellt, auf den wir nun immer wieder zurückgreifen können.

Hurra, wir haben unsere Flasche in ein **Forschungsschiff** mit IoT-Anbindung verwandelt. Über die Cloud sind die Daten nun weltweit verfügbar!

2.4 Die Apfel-KI – Künstliche Intelligenz anfassbar

Zum Abschluss unserer generischen Blaupausen noch ein (essbares) Beispiel aus dem Themenfeld der künstlichen Intelligenz (Internet of Thinking), genauer des maschinellen Lernens (**Machine Learning**).

Unsere Aufgabe: Gut **schmeckende Äpfel anhand der Farbe von schlecht schmeckenden Äpfeln unterscheiden**⁴⁰. Oder im Kontext der Personalakquise in der Wirtschaft: Gute (wohlschmeckende) Bewerber anhand der Bewerbungsmappe von schlechten (ungeeigneten) Bewerbern unterscheiden.

Wir werden dazu einen sogenannten „**Nächste-Nachbar-Klassifikator**“ verwenden. Dieser benötigt eine Lernstichprobe (Trainingsdaten) in Form von Äpfeln, die wir abgebissen haben und deren Geschmack wir kennen. Bzw. Personen, die wir eingestellt haben und deren Leistung wir beurteilen können.

Mit der Lernstichprobe besitzen wir das gewünschte Ergebnis (gut, mittel, schlecht) und die Sensoreigenschaften (RGB-Farbkanäle, d.h. Farbanteil rot, grün, blau), bzw. Arbeitsleistung und Parameter der Bewerbungsmappe⁴¹.

Ein Nächster-Nachbar-Klassifikator bestimmt in der dem Training anschließenden Anwendungsphase die Eigenschaften eines neuen unbekanntem Bewerbers (RGB-Apfelfarbe) und schaut in der Liste der Trainingsstichprobe, welcher Trainingsapfel diesem in der Farbe am nächsten kommt (Ausgang des nächsten Nachbarn). Dessen durch das Training ja bekannter Geschmack wird nun als Prognose für den neuen unbekanntem Apfel ausgegeben. Die erste anfassbare KI ist entstanden. Testen kann man den Algorithmus prima an einem Beutel wohlschmeckender roter Äpfel und einem Satz grüner Viezäpfel (sauer).

Nach kurzer Trainingsphase kann unsere Apfel-KI die wohlschmeckenden (roten) Äpfel von den schlechten (grünen) unterscheiden.

Tauschen wir den RGB-Farbsensor gegen den auf dem Octopus befindlichen VOC Sensor und betreiben diesen auf unterschiedlichen Temperaturen, so können wir sogar verschiedene Getränke am Geruch unterscheiden, d.h. wir haben eine künstliche Nase gebaut⁴².

Dank Klassifikator-Puzzleteil ist der Algorithmus einfach zusammgebaut:

⁴⁰ <https://www.umwelt-campus.de//iot-werkstatt/tutorials/apfelki>

⁴¹ In unserem Fall eine Matrix mit 4 Spalten: R, G, B als Eingang und Geschmack als Ausgang.

⁴² <https://cosy.umwelt-campus.de/kuenstliche-nase/>

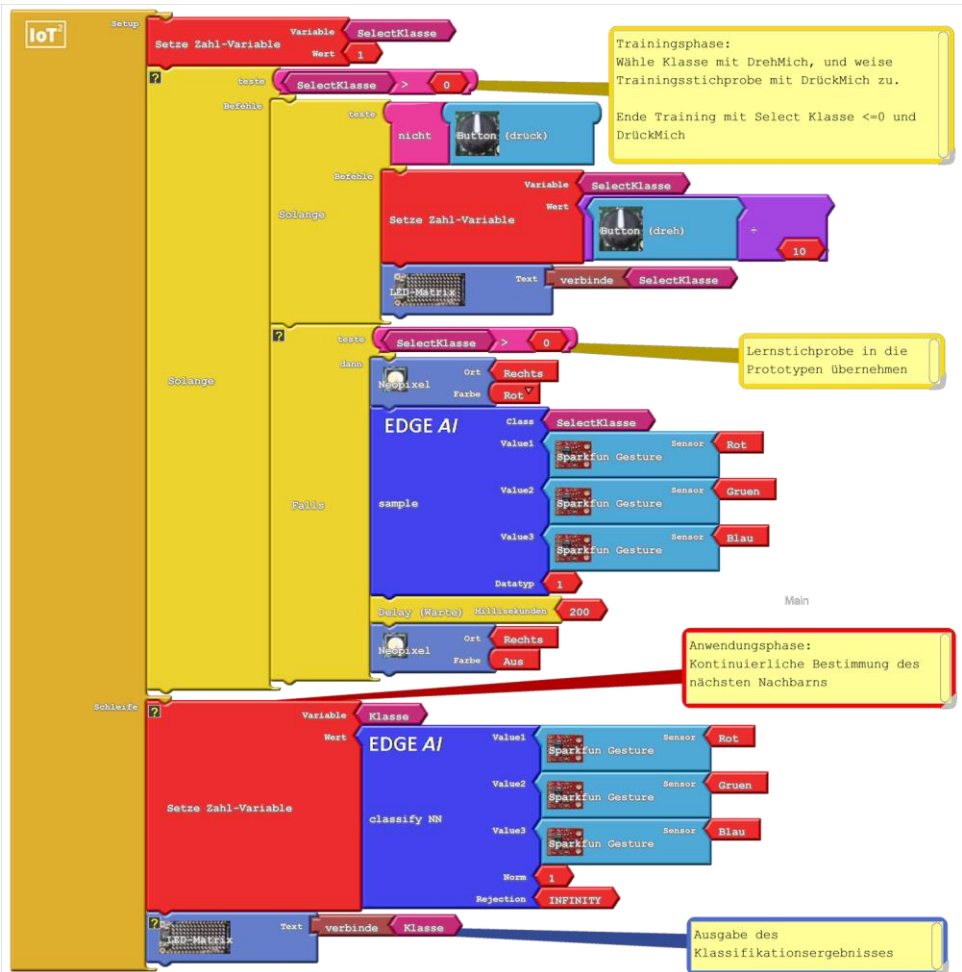


Abb. 27: Apfel-KI der IoT-Werkstatt ist eine EDGE-KI, d.h. im Gegensatz zur Cloud-KI wird die Entscheidung direkt vor Ort (Octopus) durchgeführt (Datei: Apfel_KI.abp).

Hier wird auch der Begriff „**Bias in der KI**“ klar: Haben wir in den Trainingsdaten nur grüne Viezapfel, so wird ein Golden Delicious, d.h. ein wohlschmeckender grüner Apfel bei der Bewerbung keine Chance haben. Jedes Mal ist ihm ein grüner Viezapfel in der Farbe am ähnlichsten, er wird als sauer aussortiert (und nicht zum Bewerbungsgespräch eingeladen). Die KI ist **rassistisch**, d.h. besitzt in den Trainingsdaten begründete Vorurteile. Abhilfe: Trainingsdaten repräsentativ wählen (mit Golden Delicious).

3 Anwendung: Lüftung nicht nur in Pandemiezeiten

Die folgenden Abschnitte beschreiben innovative Lösungen rund um das Thema Nachhaltigkeit und Resilienzstärkung. Viele der aktuellen gesellschaftlichen Krisen betreffen naturwissenschaftliche Phänomene, die Teil der MINT Ausbildung in der Schule sind und sich mit fundiertem MINT-Wissen beherrschen lassen. Bei der COVID 19 Pandemie hat sich z. B. schnell gezeigt, dass die Übertragung Mensch zu Mensch hauptsächlich durch feine, in der Innenraumluft schwebende Tröpfchen stattfindet. Ursache sind virushaltige Aerosole, die ausgeatmet lange Zeit unsichtbar schweben und messtechnisch kaum greifbar sind. Als Ersatzgröße dient hier die CO₂-Konzentration, die über die Atemluft mit den Aerosolen korreliert. CO₂ ist wiederum einfach messbar und damit als Messgröße für eine **Raumluftüberwachung** prädestiniert. Neben COVID 19 gibt es eine Vielzahl weiterer Atemwegserkrankungen (Grippe, RSV), die sich durch Lüften⁴³ erheblich reduzieren lassen. Angesichts einer durch SARS-CoV-2 verursachten Schwächung des Immunsystems kommt dem postpandemischen Aerosolmanagement eine erhöhte Bedeutung zu. Viele Länder haben deshalb mit entsprechenden **Hygieneverordnungen für Innenräume in Schulen und Gaststätten** reagiert⁴⁴ und fordern z. T. ein Monitoring mit CO₂-Ampeln. Lüften bedeutet aber auch Energieverluste, denen wir uns später widmen werden.

3.1 Gute Luft in Innenräumen

Gute Luft in Innenräumen **erhöht das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit**. Gerade in Bildungseinrichtungen sollte eine einwandfreie Luftqualität deshalb eigentlich eine Selbstverständlichkeit sein, denn aktuelle Studien belegen auch einen signifikanten Einfluss auf den Lernerfolg⁴⁵:

- Schlechte Luft reduziert die Aufmerksamkeit um bis zu 5%
- Gute Lüftung erhöht die schulischen Testergebnisse in Mathematik und Lesen um 2 bzw. 3 %
- Ein Anstieg um 100 ppm CO₂ erhöht die krankheitsbedingte Abwesenheit um etwa 0.4 Tage/Jahr.

⁴³ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/infektionsgefahr-im-alltag>

⁴⁴USA: <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2022/03/23/lets-clear-the-air-o>

Belgien: <https://t.co/Hbx4uBlevb> Frankreich: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LE-GITEXT000006074220/LEGISCTA000024912670/

⁴⁵<https://static1.squarespace.com/static/5ef3652ab722df11feb2ba5d/t/60a3d1251fcc67243e91119/1621348646314/Safe+Work+TF+Designing+infectious+disease+resilience+April+2021.pdf>

Kann sich ein Land wie Deutschland eine solche Verschwendung von Humanressourcen überhaupt leisten?

Die Überwachung von Lebensmitteln und Wasserqualität ist seit Jahren eine Selbstverständlichkeit und gelebte Praxis. Aber bei der Raumluft hat erst die Corona-Krise zu einem Aufwachen geführt. 20-5-20 war das Mantra der Bildungspolitik: 20 Minuten Unterricht, 5 Minuten Lüften, 20 Minuten Unterricht. So haben Millionen von Schülerinnen und Schüler in den letzten Jahren ihre Unterrichtsstunden strukturiert.

Aber funktioniert die Lüftung in meinem Klassenraum überhaupt, reichen 5 Minuten? Wie Lüfte ich energiesparend? All diese Fragen lassen sich mit einer Selbstbau-Ampel für die Raumluftqualität quantitativ beantworten. Im ersten Pandemiejahr hat die IoT-Werkstatt ad hoc mehr als 3000 Selbstbauprojekte in der ganzen Bundesrepublik betreut⁴⁶.

3.1.1 MINT Hintergründe Luftqualität

Bevor wir zur Umsetzung unserer IoT-Raumluftmessung kommen, diskutieren wir kurz die Hintergründe im Hinblick auf MINT und Nachhaltigkeit. Ein digitales Messgerät, später selbstgebaut und programmiert – dadurch wird dieses MINT-Wissen dann direkt erlebbar.

20-5-20 Lüften mit Stoppuhr funktioniert das wirklich?

Fensterlüftung funktioniert nur richtig, wenn die Austauschfläche groß ist (kein Kippfenster) und eine genügend große Temperaturdifferenz zwischen innen und außen gegeben ist (im Sommer lüftet es sich schlecht) oder es durch Luftdruckunterschiede zur einer Strömung kommt (Querlüften). Ein Lüften nach Stoppuhr ist deshalb **ein Armutszeugnis für ein Technologieland**⁴⁷.

Der Lüftungserfolg ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten

Wie kann man gute Luft von schlechter Luft unterscheiden?

Der Hygieniker Max von Pettenkoffer erkannte schon 1858 die „dicke Luft“ in Innenräumen an ihrem Gehalt an CO₂-Molekülen. Kohlendioxid CO₂ ist ein Atemgas und Abbauprodukt unseres Stoffwechsels.

⁴⁶ <https://www.heise.de/select/make/2020/5/2022015381334973804>

⁴⁷ In Deutschland gibt es lt. Destatis 11 Mio. SuS. Geht man von einer Klassenstärke von 25 Personen aus, so wären 440.000 Klassenräume auszustatten. Bei 150 € pro Messgerät wäre das eine Investition von 66 Mio. €.

Ausgeatmete Luft enthält mit 40.000 ppm viel mehr CO₂-Moleküle, als die eingeatmete Luft. Das entspricht 40.000 Kohlendioxid-Moleküle auf 1 Million Luftteilchen (parts per million, ppm). Frische Außenluft enthält dagegen nur ca. 400 ppm CO₂. Als Grenzwert für gute Luft definierte Pettenkoffer 1000 ppm (die Pettenkofferzahl). Heute haben sich außerhalb von Pandemiezeiten folgende Kriterien etabliert:




CO ₂ [ppm]	UBA-Bewertung	
>2000	unakzeptabel	
1000-2000	auffällig	
<1000	unbedenklich	

Abb. 28: Grenzwerte des Umweltbundesamtes⁴⁸

CO₂ ist ein idealer Surrogatmarker, d.h. Ersatzgröße für „Dicke Luft“.

Was hat CO₂ mit dem COVID Infektionsrisiko zu tun?

Die Aerosole und CO₂ werden beim Ausatemvorgang in der Lunge freigesetzt. Viruspartikel in den Aerosolen werden durch Sauerstoff inaktiviert (Biologie, Halbwertszeit 2.7 Stunden)⁴⁹. Und Aerosole sedimentieren (Physik, wenigen Metern pro Stunde)⁵⁰. Die Luft in einem Übernacht stehenden Innenraum ist deshalb wahrscheinlich trotz hoher CO₂-Werte nicht mehr risikobehaftet. Masken reduzieren den Ausstoß von Aerosolen, nicht aber die CO₂-Emission.

CO₂ ist selbst nicht gefährlich, aber ein Indikator für das Infektionsrisiko.

Was hat CO₂ mit der Energiekrise zu tun?

Wie hängt der Heizbedarf eines Klassenzimmers mit der Lüftungsstrategie zusammen, wieso darf die Luft im Raum abkühlen, die Betonwände sollten es aber nicht? Beim Lüften erfolgt idealerweise ein reiner Luftaustausch, ohne unnötige Wärmeverluste zu verursachen. Dies lässt sich nur mit Querlüften erreichen (gegenüberliegende Fenster).

⁴⁸ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/umweltbundesamt_lueften_in_schulen.pdf

⁴⁹ <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.09.20033217v1.full.pdf>

⁵⁰ <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1359089/1359089.pdf>

Bei Kipplüftung geht die Heizkörperwärme direkt aus dem Fenster, kühlt die Wände, ohne dass die Luftströmung Aerosole aus der hinteren Zimmerecke mitnimmt. Mehr dazu mit Beispielrechnung im Kapitel 4.

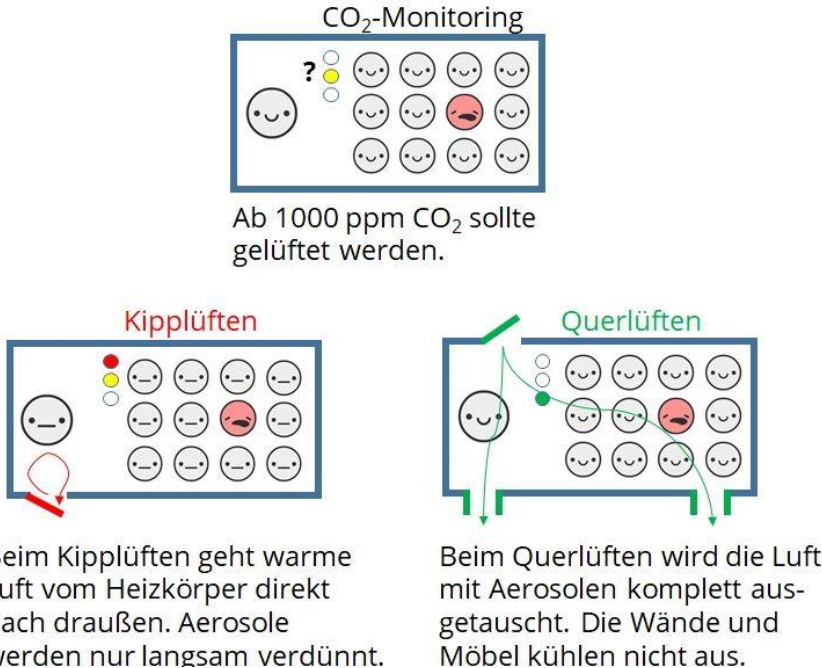


Abb. 29: Unterschiedliche Lüftungsszenarien beeinflussen den Erfolg und den Energiebedarf

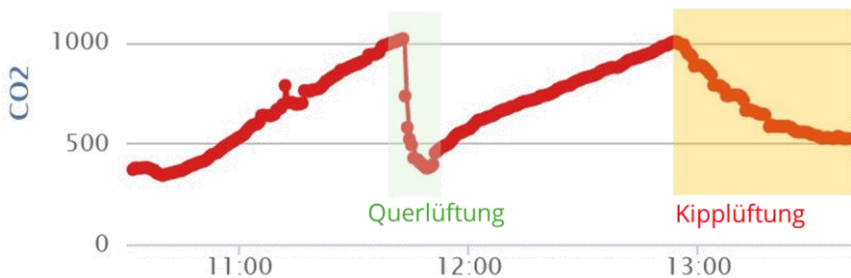


Abb. 30: IoT-Messung des Zeitverlaufs offenbart den schlechten Lüftungserfolg einer Kipplüftung

Was ist CO₂ und wie lässt es sich messen?

Kohlendioxid ist ein farbloses, geruchloses Gas. Mit ca. 400 ppm = 0.04 % Volumenanteil ist es nur ein Spurengas in unserer Luft, dessen Anteil aufgrund der fossilen Verbrennung aber ständig ansteigt (2022:420 ppm).

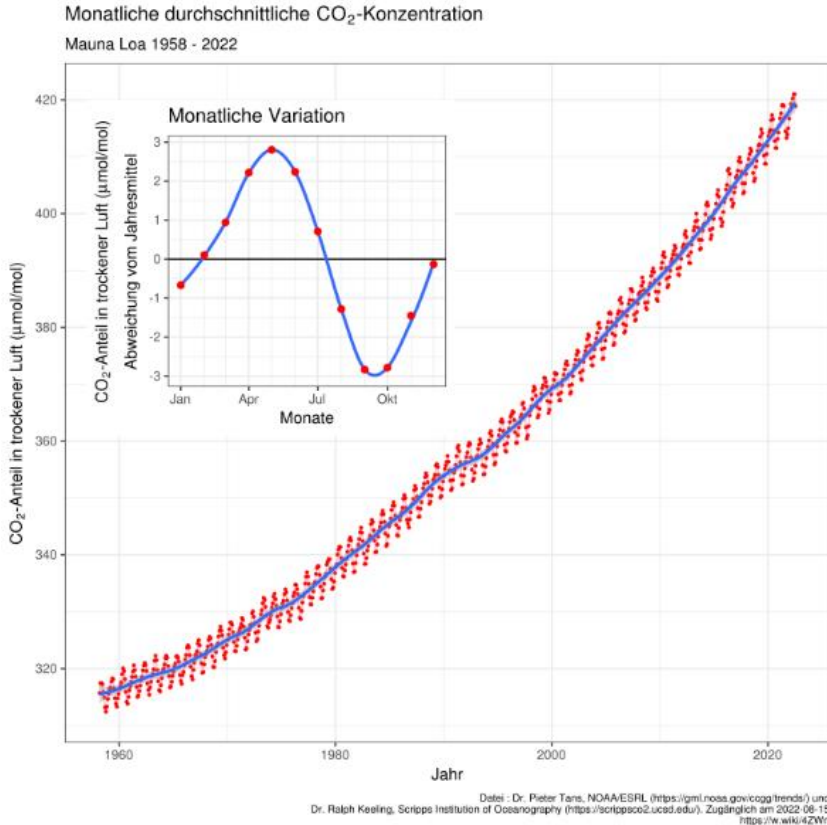


Abb. 31: Der Anstieg des atmosphärischen Gehalts an Kohlenstoffdioxid⁵¹

Problematisch ist dieses Gas vor allem deshalb, weil es ganz erheblich zum menschengemachten Klimawandel beiträgt. CO₂ absorbiert einen Teil der von der Erde in den Weltraum zurückgestrahlten Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung), während der kurzwelligere Teil der Sonnenstrahlung die Atmosphäre nahezu ungehindert passieren kann (physikalische Chemie).

⁵¹ Von Delorme - Eigenes Werk. Data from Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography., CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46146497>

Diese Infrarotabsorption macht sich nun das Messprinzip zunutze: Der Sensor besitzt eine Infrarot (IR) – Quelle und durchstrahlt zwei Messküvetten mit der zu analysierenden Raumluft. Eine Küvette besitzt im Strahlengang einen speziellen Filter, der die Absorptionsbande der CO₂ Moleküle vorher herausfiltert. Aus der Differenz des an den beiden Detektoren gemessenen Lichtstroms am Ende der Küvette berechnet der intelligente Sensor die aktuelle CO₂-Konzentration in ppm. Alterung und Querempfindlichkeiten wie Temperatur und Luftfeuchte werden durch einen integrierten Mikrocontroller direkt kompensiert.

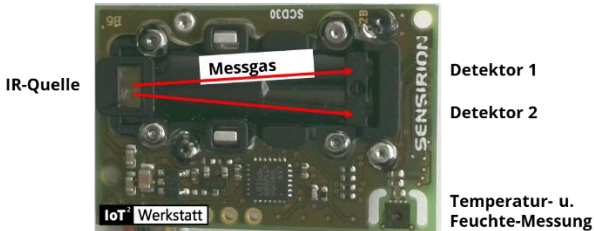


Abb. 32: Messprinzip des SCD 30 der Firma Sensirion⁵²

Wir nutzen die physikalischen Eigenschaften des CO₂ zur Messung, die global zum Treibhauseffekt führen.

Was bedeutet eine Konzentration von 1200 ppm?

Im geschlossenen Klassenraum akkumulieren sich die ausgeatmeten CO₂-Moleküle zwangsläufig im Laufe der Zeit (Massenbilanz). Um die oben angegebenen Warn Grenzen einer CO₂-Ampel anschaulich zu machen, bemühen wir die Physik / Mathematik und fragen uns, wieviel von hundert Atemzügen, die wir im Klassenraum machen, bereits in der Lunge unserer Mitschüler gewesen sind?

Wäre die Luft komplett einmal ausgeatmet, würden wir etwa 40.000 ppm messen. Bei einer Messung von 1200 ppm, davon 400 ppm der frischen Luft, bedeutet dies, $1200 - 400 = 800$ ppm müssen über Ausatemvorgänge entstanden sein. 800 ppm sind 2 % von 40.000 ppm, d.h. ca. jeder 50 zigte Luftzug stammt direkt aus der Lunge einer anderen Person⁵³. Ein weiterer Grund, sich um die Luftqualität im Klassenzimmer zu kümmern.

Bei 1200 ppm ist jeder 50. Atemzug schon in einer anderen Lunge gewesen.

⁵² <https://sensirion.com/products/catalog/SCD30/>

⁵³ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1034/j.1600-0668.2003.00189.x>

Kann ich mit dem SCD 30 den Klimawandel verfolgen?

Schaut man sich die Anreicherung der Atmosphäre an, könnte man auf die Idee kommen, mittels CO₂-Außensensor seine eigene Beobachtungsstation zu bauen. Der Hersteller gibt eine Genauigkeit seines Sensors von $\pm(30 \text{ ppm} + 3\% \text{ Messwert}@400\text{-}10000 \text{ ppm})$ an. Außerdem existiert eine jährliche Drift von maximal 80 ppm/Jahr. Damit sind die für eine Außenmessung erforderlichen Genauigkeiten leider nicht erreichbar.

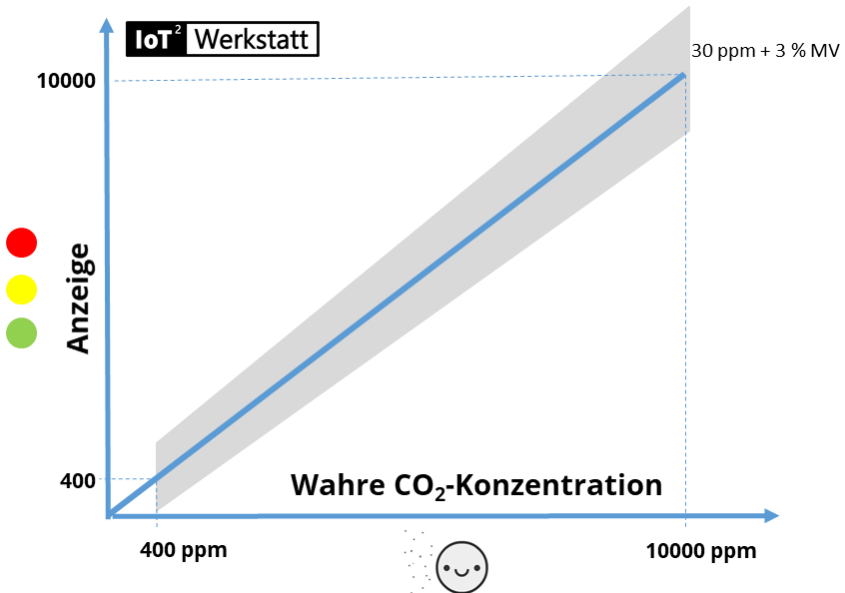


Abb. 33: Zur Genauigkeit des CO₂-Sensors SCD 30

Muss ich den Sensor kalibrieren?

Ein optomechanischer Sensor reagiert empfindlich auf mechanische Beanspruchung. Fällt der Sensor auf die Erde, muss er neu kalibriert werden. Gleiches empfiehlt sich bei der ersten Inbetriebnahme (Transport). Bei einem unkalibrierten Sensor (rote Linie) würde ein tatsächlicher Wert von 600 ppm in der Anzeige z.B. mit 400 ppm wiedergegeben. Eine initiale Kalibrierung vor Ort ist daher unbedingt zu empfehlen. Hierzu wird eine manuelle Einpunktkalibrierung mit Frischluft (400 ppm) durchgeführt. Über ein entsprechendes Programmblöckchen wird dann die neue Basislinie im Sensor gespeichert, ist also fortan bis zur nächsten Kalibrierung gültig⁵⁴.

⁵⁴ <https://www.umwelt-campus.de/fileadmin/Umwelt-Campus/IoT-Werkstatt/octopus/QuickstartKalibrierung.pdf>

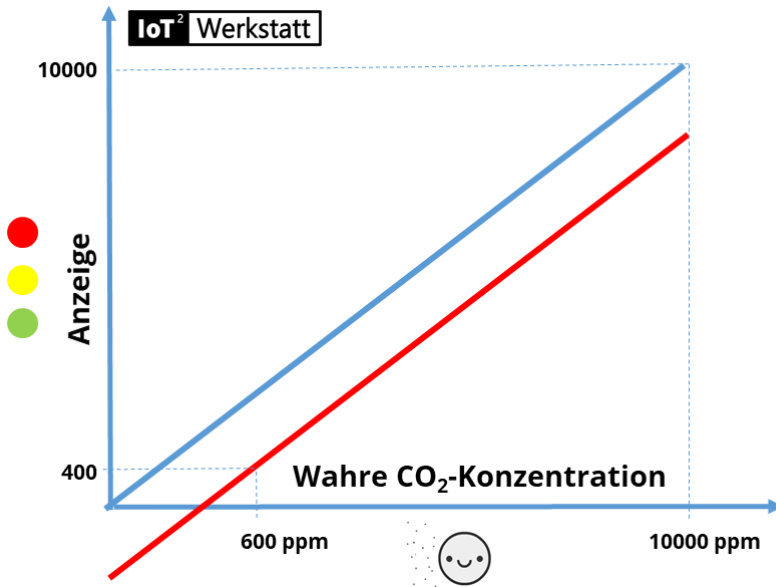


Abb. 34: Ein Systematischer Fehler kann durch Kalibrierung mit Außenluft kompensiert werden.

Durch Verschiebung der Basislinie wird die rote auf die blaue Kennlinie gehoben. Aufgrund des geringen jährlichen Drifts, ist die vom Hersteller vorgesehene automatische Kalibrierung (ASC) bei uns im Blöckchen deaktiviert. Denn bei ASC muss der Sensor täglich für mindestens eine Stunde Frischluft sehen. Eine Randbedingung, die in der Praxis des Schulbetriebes vor Ort oft nicht einzuhalten ist. Falls gewünscht, kann die Funktion im C-Code aktiviert werden. Außerdem besitzt der Sensor eine Eigenerwärmung, die je nach Einbausituation variieren kann. Dieser Offset (normalerweise ca. 2.8 °C) lässt sich beim Kalibrieren gleich mit kompensieren (nur einmalig, wird dann im Sensor gespeichert).



Abb. 35: Kalibrierung an Frischluft

Eine Kalibrierung über frische Außenluft erhöht die Zuverlässigkeit.

Was ist bei der Aufstellung des Sensors zu beachten?

Das Umweltbundesamt gibt folgende Empfehlung⁵⁵: "Die Geräte werden am besten in Atemhöhe (ca. 1,5 m bei sitzenden Personen) und mittig im Raum platziert. Eine Positionierung im Bereich der Fenster oder das Aufstellen direkt entlang einer Wand oder zum Flur hin ist nicht sinnvoll. Es ist nicht unbedingt erforderlich, in jeden Klassenraum eine CO₂-Ampel dauerhaft zu installieren. Vielmehr reicht es, wenn in einem Raum zunächst mit Hilfe der Ampel das Lüftungsverhalten einstudiert wird, das dann auch ohne Ampel beibehalten wird. Dann kann die CO₂-Ampel anschließend im nächsten Klassenraum eingesetzt werden." Wir fügen hinzu: Nicht im Durchzugbereich (Wind stört die Messung), nicht direkt an Wärmequellen (Raumtemperatur messen), nicht in der direkten Nähe von Personen montieren (Ausatemluft hat 40.000 ppm).

Der Sensor ist empfindlich gegen Zugluft. Fenster / Tür sind kritisch.

Gibt es noch andere Messgrößen für Raumluftqualität?

Echte IR-CO₂-Sensoren sind aufgrund ihrer optomechanischen Komponenten relativ kostspielig (SCD 30 ca. 60 €). Außerdem gibt es noch weitere Luftbestandteile, die schlechte Luft beinhalten kann. Schweiß, Käsefuß, Pups, Mundgeruch oder Ausdünstungen von Lösungsmitteln in Möbeln, Fußboden oder Putzmittel. All diese Komponenten sind organischer Natur, man spricht auch von VOC (volatile organic components). Diese Stoffe lassen sich auch mit einem kostengünstigen VOC-Gassensor qualitativ bestimmen. Solch ein Sensor findet oftmals in der Raumlufttechnik (Klimaanlagen) Verwendung und steuert den Luftaustausch entsprechend des aktuellen Lüftungsbedarfs. Kostengünstige kommerzielle CO₂-Ampeln verzichten deshalb teilweise auf einen IR-Sensor und berechnen stattdessen einen Schätzwert eCO₂ (estimated CO₂) aus einer Korrelation der organischen Blutgase in der Ausatemluft mit dem CO₂. Dieser eCO₂ ist deutlich unzuverlässiger als die direkte Messung mittels IR-Sensor. Der IoT-Octopus besitzt mit dem BME 680 Umweltsensor bereits einen eingebauten VOC Raumluftsensor, der unter anderem auch eCO₂-Werte liefern kann.

⁵⁵<https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen#was-nutzen-co2-ampeln-und-wie-setze-ich-sie-richtig-ein>

Einen innovativen Weg geht die Firma Bosch-Sensortec mit dem **Indoor Air Quality (IAQ)** - Softwaresensor. Hier handelt es sich um einen VOC-Sensor, der mit Hilfsgrößen, wie Feuchte, Temperatur, Luftdruck, auf die Eigenschaften des jeweiligen Raumes trainiert wird (KI-Algorithmus BSEC). Als Ergebnis liefert der BME 680 einen IAQ als Maßzahl für die Luftgüte und eine IAQ Accuracy für die Verlässlichkeit der Schätzung (0 = Sensor noch in der Anlernphase bis 3 = verlässliche IAQ Werte).

IAQ Index	Air Quality	Impact (long-term exposure)	Suggested action
0 – 50	Excellent	Pure air; best for well-being	No measures needed
51 – 100	Good	No irritation or impact on well-being	No measures needed
101 – 150	Lightly polluted	Reduction of well-being possible	Ventilation suggested
151 – 200	Moderately polluted	More significant irritation possible	Increase ventilation with clean air
201 – 250	Heavily polluted	Exposition might lead to effects like headache depending on type of VOCs	optimize ventilation
251 – 350	Severely polluted	More severe health issue possible if harmful VOC present	Contamination should be identified if level is reached even w/o presence of people; maximize ventilation & reduce attendance
> 351	Extremely polluted	Headaches, additional neurotoxic effects possible	Contamination needs to be identified; avoid presence in room and maximize ventilation

Abb. 36: Indoor Air Quality der Bosch-Sensortec⁵⁶

Auch der eingebaute BME 680 kann die Raumluftqualität messen.

3.2 Der Bau einer einfachen Raumluftüberwachung

Die Raumluftüberwachung per Ampel unterscheidet sich kaum von der Lärmampel aus Kapitel 2. Auch hier haben wir es mit einer geschachtelten Fallunterscheidung zu tun. Statt Mikrofon (Schallsensor) verwenden wir den eingebauten BME680 mit dem IAQ-Messwert:

⁵⁶ bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf

Falls IAQ noch nicht bereit
dann Farbe blau
sonst
Falls IAQ \leq 100
dann Farbe grün
sonst
Falls IAQ \leq 200
dann Farbe gelb
sonst Farbe rot



Abb. 37: Algorithmus Raumluftqualität mit IAQ

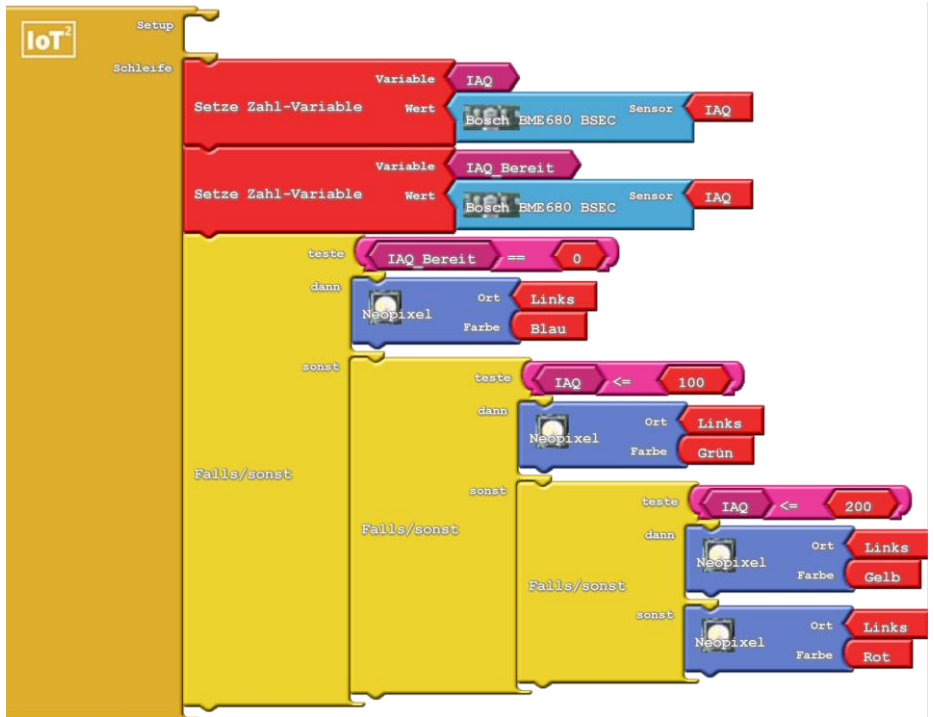


Abb. 38: Raumluftüberwachung mit dem BME 680, Der Sensor benötigt mehrere Stunden, bis er sich an den Raum angepasst hat (solange Ampel blau). Ab und zu Lüften beschleunigt die Adaption.

Bei Verwendung des externen SCD 30 Infrarotsensors (s. folgende Abbildung) ändert sich außer dem Sensor am Algorithmus nur wenig.

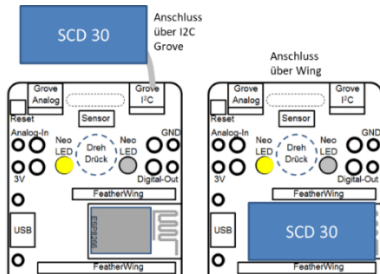


Abb. 39: Anschlussmöglichkeiten SCD 30

3.3 Bau einer IoT-Raumluftgüteampel mit Webserver

Beim SCD 30 müssen wir natürlich auch die bereits erwähnte Kalibrierung berücksichtigen. Hierzu bedarf es entweder eines Bedienknopfes (Taster am digitalen Eingang) oder gleich der Verwendung unserer IoT-Funktionen. In diesem Fall nutzen wir einen erweiterten Webserver⁵⁷ aus unserer Blaupause zur Flaschenpost, um Werte anzuzeigen und die Kalibrierung zu initiieren. Die Auslösung erfolgt passwortgeschützt („IoT“) über die vom Webserver angebotene Webseite (192.168.4.1). Zur Kalibrierung bitte den Raum gut lüften, etwas warten, bis sich der Messwert stabilisiert hat und dann per Passwordeingabe die Kalibrierung starten. Während dieses Vorgangs leuchtet der Neopixel blau.

Die Homepage dieses Servers stellt die Zeitreihe der Messwerte dynamisch dar. Neben CO₂ auch gleich Raumtemperatur und relative Luftfeuchte. Die Temperatur benötigt einen Offset, da der SCD 30 im kontinuierlichen Betrieb eine Eigenwärmerung besitzt. Je nach Position (Grove, Feather-Wing) kann der Offset etwas unterschiedlich ausfallen. Ggf. mit einem Raumthermometer kalibrieren.

Der Webserver-Block bietet darüber hinaus viele Möglichkeiten, um die Darstellung an die lokalen Randbedingungen anzupassen (Titel der Webseite, Abtastzeit, Kanäle). Auf der Homepage findet man unterhalb der Bezeichnung für den Messkanal auch die Möglichkeit, einen csv Download zu initiieren. Dann bekommt man im Browser eine Excel-Datei angeboten, die sich zur Weiterverarbeitung und Dokumentation speichern.

Die Reichweite des WLANs unseres AccessPoints der Ampel ist begrenzt. Das Netz (hier „MeinOctiWLAN“) ist deshalb wahrscheinlich nur innerhalb des

⁵⁷ Autor: Jason Rietzke, Studierender am UCB, <https://github.com/jason-rietzke>

Klassenraums sichtbar. Alternativ kann der Webserver aber auch in ein bestehendes WLAN-Netz der Schule integriert werden. Dazu muss das Blöckchen für den AccessPoint im Setup gegen das WLAN-Blöckchen getauscht werden. Vom Accesspoint der Schule bekommt die Ampel dann eine eigene IP Adresse zugewiesen, unter der sie über das Schulnetzwerk erreicht werden kann⁵⁸.

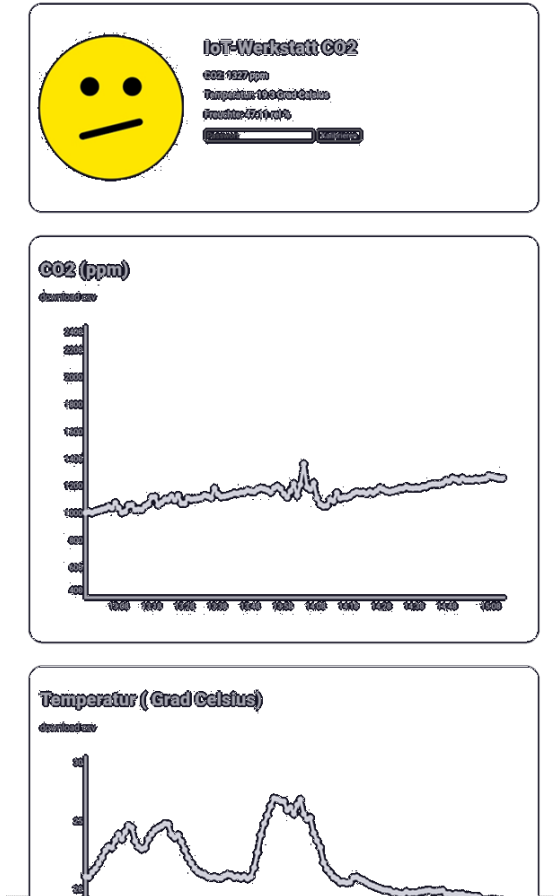


Abb. 40: Homepage unseres Webserver mit Zeitverlauf der Messdaten (IP Adresse 192.168.4.1)

⁵⁸ Für Profis: über einen iframe kann die Ampel (oder mehrere in verschiedenen Klassenräumen dann auf der Schulwebseite angezeigt werden.)

```
<body>
  <iframe src="http://192.168.1.100/widget.html" style="height: 500px; width: 1200px;" frame-
border="0"></iframe>
</body>
```

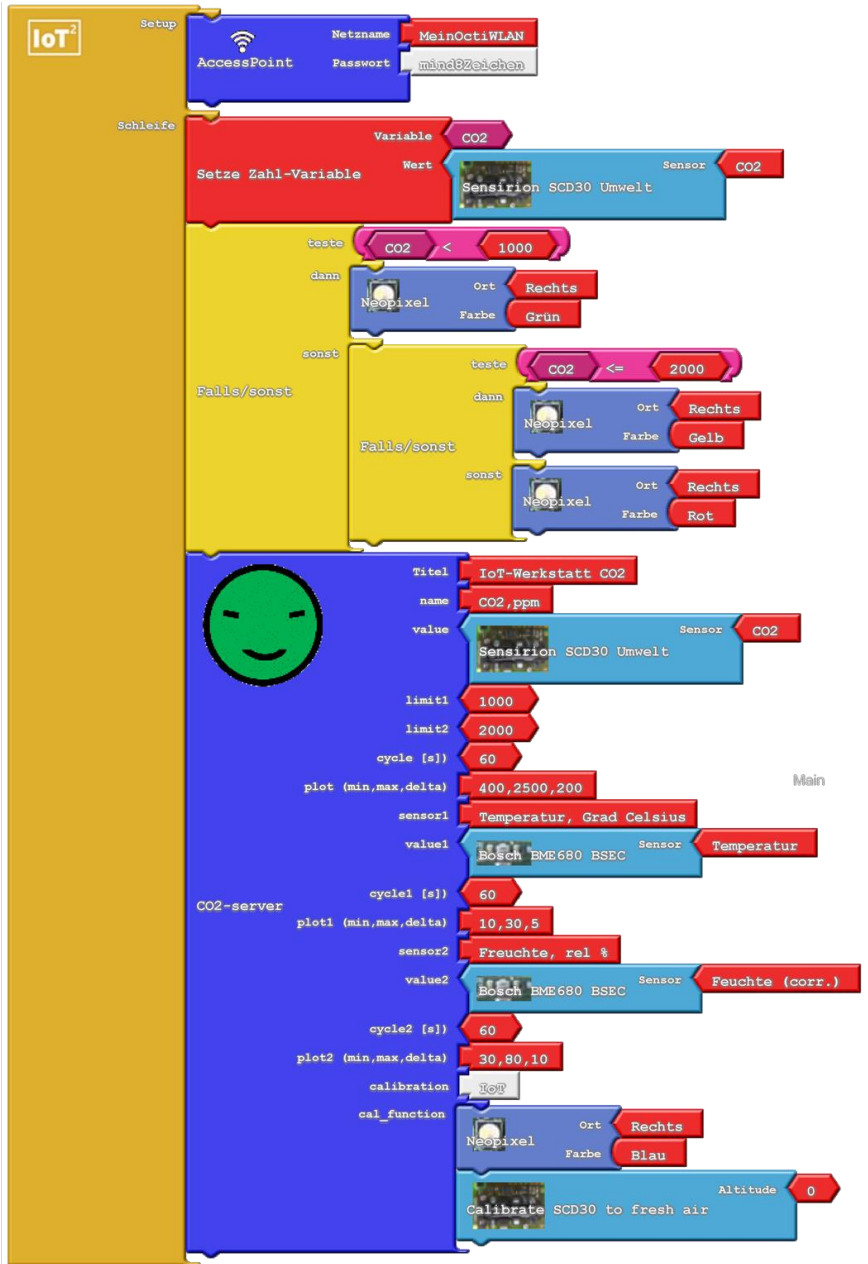


Abb. 41: IoT-Ampel mit Webserver und eigenem WLAN-Accesspoint (Datei: Ampel_Server.abp)

3.4 Bau einer cloudbasierten IoT-CO₂-Ampel

Unsere Blaupause zum Forschungsschiff hatte bereits den Einstieg in die Nutzung der IoT-Cloud im Internet ermöglicht. Natürlich können wir auch unsere Messdaten zur Raumluftüberwachung in die Thingspeak-Cloud einbetten und dort vielleicht mehrere Klassenräume oder Schulgebäude überwachen.

Das folgende kleine Beispielprogramm checkt zuerst, ob das WLAN überhaupt vorhanden ist. Dann erfolgt die kontinuierliche Ausführung der Ampelfunktion und ggf. auch eine Übertragung der Messwerte in die Cloud. Hier exemplarisch die Raumluftparameter mit CO₂ vom SCD 30 und dem IAQ vom Bosch Sensor.

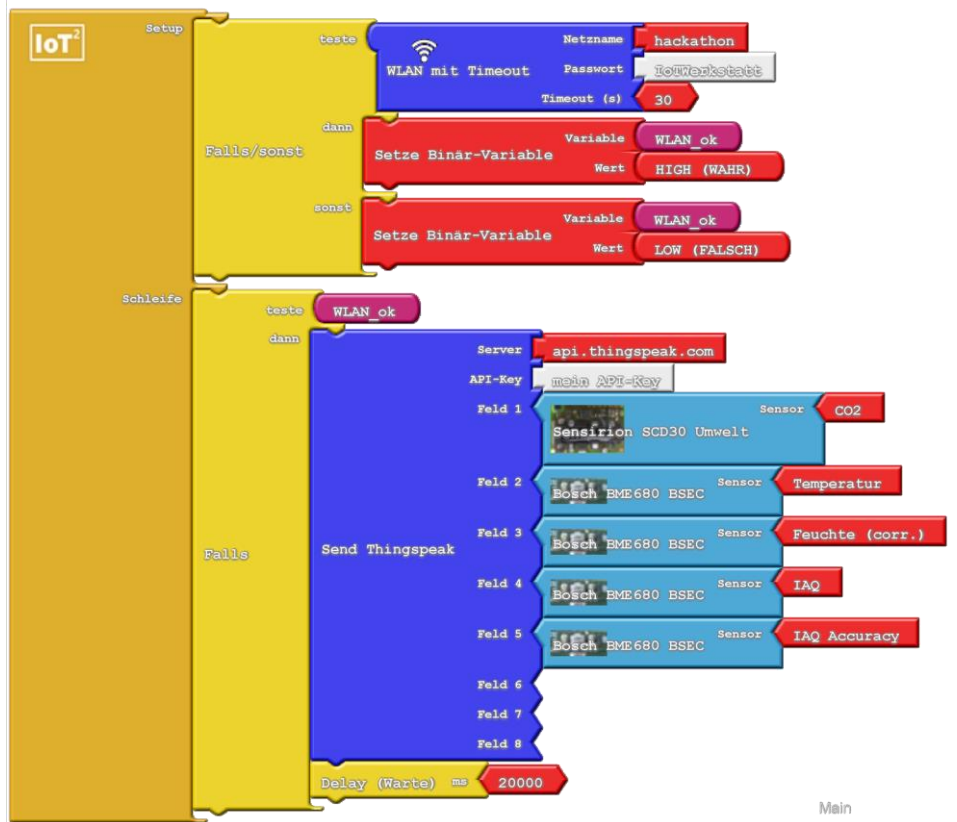


Abb. 42: IoT-Ampel in der Cloud mit Internetzugang

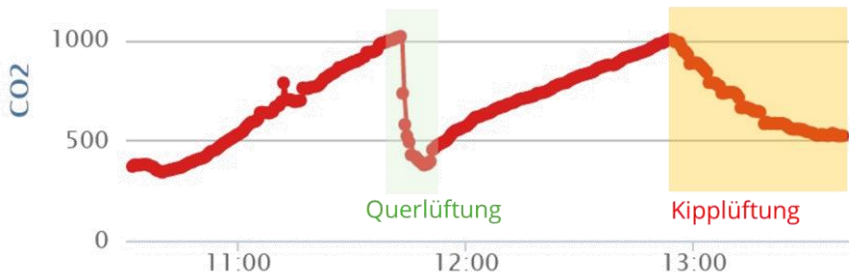


Abb. 43: Thingspeak Visualisierung des CO₂-Gehaltes bei verschiedenen Lüftungsstrategien

Auch muss eine CO₂-Ampel nicht technisch aussehen. Ein eigenes kreatives Gehäuse ist schnell entworfen. Ausgestattet mit 3D-Drucker und Phantasie lassen sich wahre **Kunstobjekte** zaubern. Hier z.B. ein Kolibri, dessen Kopffarbe sich in Abhängigkeit von der Raumluftqualität ändert. Druckvorlage und Nachbauanleitung finden sich auf unserer Webseite⁵⁹. Eine denkbare Erweiterung liegt schon direkt auf der Hand: Der Bauch zeigt die Raumtemperatur an, die Flügel die Luftfeuchte und schon ist man auf einem Blick perfekt informiert.



Abb. 44: Lichtkunst, 3D-Druck und IoT - der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt⁶⁰

⁵⁹ www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/kunst-der-co2-kolibri-bringt-licht-ins-wohzimmer

⁶⁰ Lichtkünstler: Amelie und Vianne, Schülerinnen 5. Klasse

3.5 Dashboard Schule – So geht Lüftung im Technologieland

Natürlich gibt es neben Thingspeak noch andere Cloud-Plattformen, die wir mit entsprechenden Puzzleteilen unterstützen. Viele davon kostenfrei als Open-Source unterwegs und für Bildungsprojekte sehr gut geeignet. Erwähnt seien luftdaten.info, Stadtpuls in Berlin oder OpenSenseMap⁶¹, die jeweils auch Geoinformationen zum Standort der IoT-Anwendung visualisieren. Mehr dazu später in Kapitel 9.3. Ein beliebtes Open-Source Tool im Makerbereich ist Grafana⁶² mit der InfluxDB Datenbank und dem MQTT Protokoll. Damit lassen sich auch komplexe Visualisierungen einfach realisieren. Ein Schüler einer unserer Selbstbau-Schulen hat ein Dashboard zur Visualisierung aller CO₂-Ampeln in den über 50 Klassenräumen der Schule entwickelt.

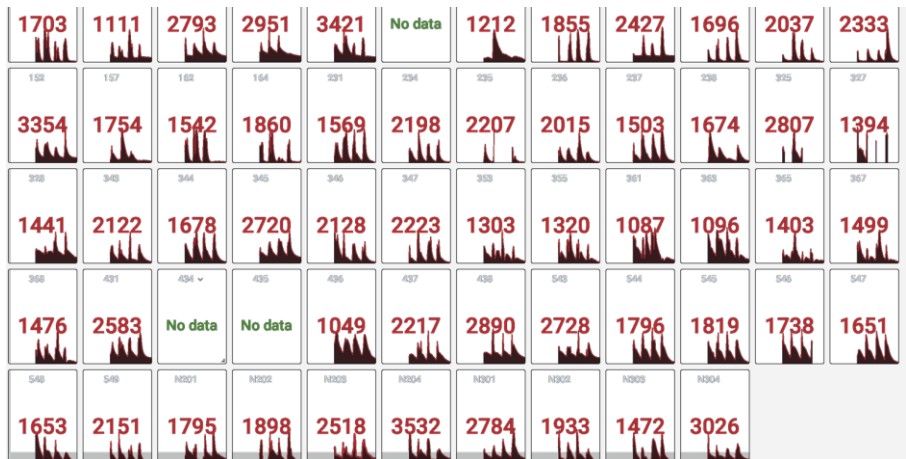


Abb. 45: DIY-Dashboard Schule - Davon träumt der Bürgermeister der Smart-City heute noch[©]

In obiger Abbildung ist jeder Klassenraum im 5stöckigen Gebäude als kleines Piktogramm mit maximaler CO₂-Konzentration und Zeitreihe der Schulstunden dargestellt. Visualisiert ist ein Verlauf, der sich ohne Beachtung der im Klassenraum installierten CO₂-Ampeln ergibt. Wie man sieht, wird in fast jedem Raum die vom Umweltbundesamt angegebene maximale Konzentration überschritten. Angesichts der Auswirkung von CO₂ nicht nur in der Pandemie, sondern auch auf die Konzentrationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler ein Desaster.

⁶¹ <https://citylab-berlin.org/de/projects/stadtpuls/> oder <https://opensensemap.org/>

⁶² <https://grafana.com/> und <https://www.influxdata.com/>

Werden die Ampelvorschläge dagegen befolgt, weil die Inzidenzen im Landkreis gerade sehr hoch sind, so ergibt sich ein sehr positives Lüftungsbild.

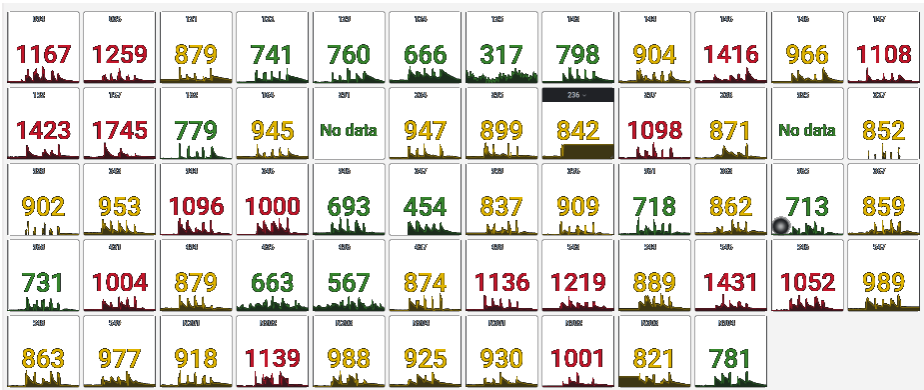


Abb. 46: Dashoard mit überwachter Lüftung zur Einhaltung der UBA-Regeln

Natürlich sind hier dem Forschungsdrang keine Grenzen gesetzt. Z.B. ließe sich mittels Blöckchen zum **Pax-Counter**⁶³ auch die Anzahl der Smartphones (und damit Menschen) im Raum ermitteln und aufzeichnen⁶⁴.

Aus der Steigung der CO₂-Konzentration bei geschlossenem Fenster ließe sich bei gegebener Raumgröße auch auf die Anzahl der CO₂-Quellen (Menschen) schließen. Bei konstanter Quelle ist die Zunahme annähernd linear, d.h. es bietet sich die lineare Gleichung zur Modellbildung an. Über zwei Punkte gewinnt man Steigung und Offset und damit sogar eine sehr einfache Möglichkeit, in die Zukunft zu schauen. Fertig ist der **Digitale Zwilling** als Modell⁶⁵ des Klassenraums. Dieses Modell beantwortet uns zum Beispiel die Frage, wie lange es bis zum Erreichen der nächsten Lüftungsgrenze dauert?

Das Schönbuch Gymnasium in Holzgerlingen hat während der Pandemie einen eigenen IoT-Hackathon zum Thema CO₂ in der Pandemie ausgerufen⁶⁶.

Kennzeichnend für das Infektionsrisiko ist eigentlich nicht die aktuelle CO₂-Konzentration, sondern die **Integraldosis** der man über eine gewisse Zeit ausgesetzt ist. Hierzu gibt es mittlerweile auch ein eigenes Blöckchen⁶⁷.

⁶³ <https://www.heise.de/make/meldung/Paxcounter-Personen-zahlen-mit-WLAN-Modul-4301556.html>

⁶⁴ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/privatsphaere-mit-ueberwachung-das-klima-retten>

⁶⁵ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/klimavorhersage-prognosemodelle>

⁶⁶ <http://hackathon.informatik-sgh.de/>

⁶⁷ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/update-v619-integraldosis-fuer-co2-ampel>

Außerdem besteht die Möglichkeit, beim **Robert-Koch Institut online über ein API auf die Inzidenzen im eigenen Landkreis** zuzugreifen. Damit könnten die Warn Grenzen an die aktuelle Infektionssituation vor Ort angepasst werden⁶⁸.



⁶⁸ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/so-geht-zukunft>

4 Anwendung: Energiesparen beim Lüften

Unsere größte Herausforderung der Zukunft ist die Begrenzung des menschengemachten Klimawandels und damit die Abkehr von den fossilen Energieträgern. Auch hier möchten wir zeigen, wie MINT viele der Probleme beherrschbar macht. Zwei Teilaspekte seien exemplarisch näher betrachtet: Zum einen die Heizung und Lüftung von Gebäuden, zum anderen die ressourcengerechte Nutzung elektrischer Geräte. Beides über die CO₂-Emmission der fossilen Brennstoffe direkt mit dem Klimawandel verbunden.

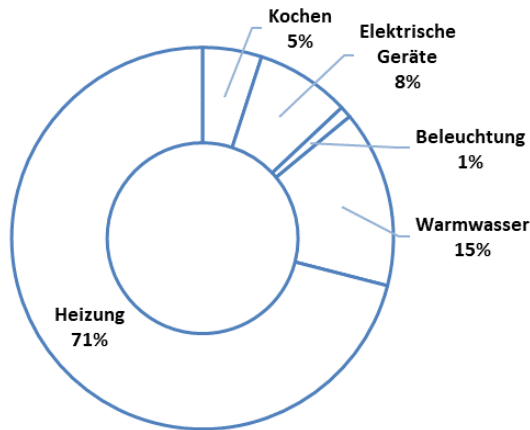


Abb. 47: Energieverbrauch für Wohnen (in % von 17.678 kWh pro Haushalt und Jahr, 2019)⁶⁹

Zur Einordnung der Gesamtheizbedarf für ein EFH (Gas, 140 m²): Vor 1977: 28.000 kWh/Jahr, KfW70: 8.400 kWh/Jahr, Passivhaus 2.100 kWh/Jahr⁷⁰.

4.1 Hintergründe Temperatur, Luftfeuchte und Schimmel

Die **Heizung ist also der größte Energieverbraucher** im privaten Umfeld. Geht es um Energiesparen im Gebäudebestand, so wird gerade überall die Absenkung der Raumtemperatur auf 16 - 19 Grad Celsius empfohlen.

Die Absenkung um 1 Grad Celsius spart ca. 6 % an Heizenergie⁷¹.

⁶⁹ https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/08/PD21_383_85.html

⁷⁰ <https://www.heizspiegel.de/heizkosten-pruefen/archiv-heizspiegel-nach-gebäudebaujahr/>

⁷¹ <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/heizung-10-einfache-tipps-zum-heizkosten-sparen-13892>

Damit ist die grobe Richtung vorgegeben: Räume, die nicht genutzt werden, sollen nicht unnötig erwärmt werden. Klingt logisch und birgt ein großes Einsparpotential. Wäre da nicht die Physik, die uns hier wieder unsere Grenzen aufzeigt.

Was kann ich ad hoc tun, um jetzt sofort Heizenergie zu sparen?

Heizenergie wird benötigt, um **Wärmeverluste durch die Gebäudehülle** zu kompensieren. Oft sind da die Fenster ein kritischer Schwachpunkt: Frühmorgens sind die Ecken beschlagen, d.h. die Luftfeuchtigkeit hat sich dort kondensiert. Das ist ein deutliches Zeichen, dass die Fenster den kältesten Punkt im Zimmer darstellen. Nachhaltige Abhilfe (und damit weniger Heizenergiebedarf) schafft natürlich der Austausch durch moderne Mehrfachverglasung. Ist das aber nicht möglich, so hilft eine zusätzliche isolierende Luftschicht vor dem Glas, z.B. durch Anbringen einer einfachen transparenten Folie am Fensterrahmen⁷². Weitere Tipps für den kleinen Geldbeutel findet man bei passipedia.de⁷³.

Aber Achtung: sind die Fenster isoliert, dann sind es vielleicht die Außenwände (auch hinter Möbeln), an denen die Feuchtigkeit kondensiert.

Um das zu vermeiden, ist ein **Monitoring der Luftfeuchte** fast unumgänglich.

Was bedeutet absolute und relative Feuchte?

Wir alle wissen unsere Luft nimmt Wasserdampf auf, die sogenannte Luftfeuchtigkeit. Die Luftfeuchte ist unsichtbar und beschreibt den Anteil an Wasserdampf am Gasgemisch der Luft. Wir haben das im vorherigen Kapitel bereits messtechnisch erfasst. Unsere Sensoren (BME 680, SCD 30) ermitteln dabei die relative Luftfeuchte. **Relative Feuchte** (in Prozent) bedeutet, das Verhältnis der tatsächlich enthaltenen Menge zur maximal möglichen Masse an Wasserdampf in der Luft. Die **absolute Feuchte** (in g / m^3) beschreibt dagegen die Masse an Wasser in der Luft. Bei 100 % relativer Feuchte ist die absolute Feuchte damit gleich der maximalen Menge an Wasserdampf, der sich in der Luft befinden kann. Unser MINT-Problem: Die maximale Menge an Wasserdampf, die sich in der Luft befinden kann ist temperaturabhängig. Bei 0 Grad Celsius sind es etwa 5 g / m^3 bei 30 Grad Celsius dagegen ca. 30 g / m^3 .

Die gemessene relative Feuchte ist temperaturabhängig.

⁷² https://passipedia.de/baulich/verglasungen_verbessern

⁷³ <https://passipedia.de/sofortmassnahmen>

Kühlt sich die Luft ab, so wird die maximale Kapazität geringer, die relative Feuchte steigt. Überschreiten wir die maximale Kapazität (rel. Feuchte 100 %), so kondensiert das Wasser (Nebel, Tröpfchen, Tau)⁷⁴. Und das passiert leider aufgrund des gerade geschilderten Zusammenhänge an den kältesten Stellen im Haus. Das ist der Grund, warum Außenwände, Fensternischen oder Gebäudeecken häufig als erstes von Feuchtigkeitsschäden betroffen sind. Feuchte Umgebung ist gleichzeitig eine Voraussetzung für das Wachstum von Schimmelpilzen (Biologie). Das unerfreuliche Resultat: **Schimmel in der Wohnung**.

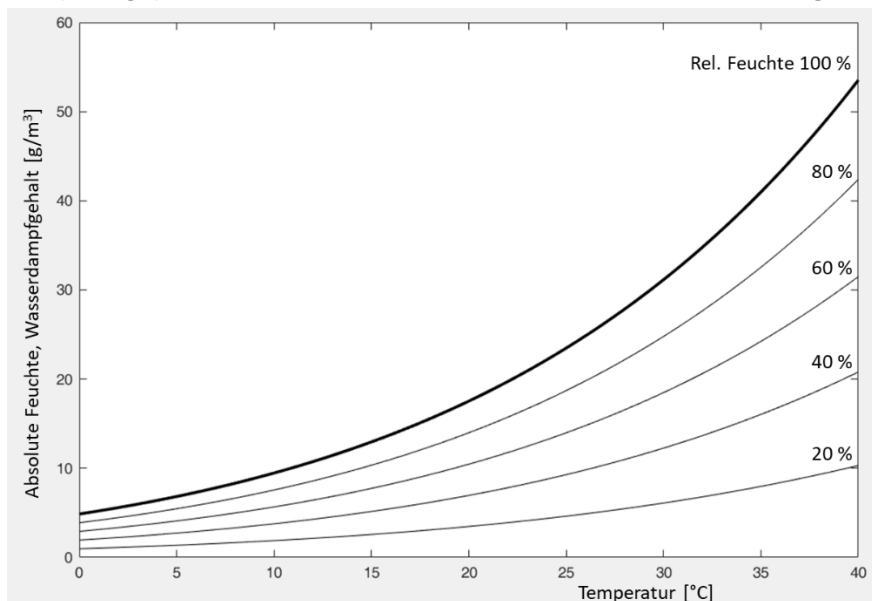


Abb. 48: Der maximale Wassergehalt der Luft (dicke Linie) ist temperaturabhängig

Warum gibt es Schimmelgefahr vor allem im Altbau?

Bei Absenkung von Innenraumlufttemperaturen unter 16-18 °C steigt das Risiko für Schimmelbildung in genutzten Wohnungen massiv an⁷⁵. Denn bei älteren Gebäuden, mit den oft schlecht gedämmten Außenwänden, besteht bei niedrigen Raumtemperaturen häufig die Gefahr, dass die Wandflächen (insbesondere hinter Schränken) die Taupunkttemperatur unterschreiten. Der **Taupunkt** ist die Temperatur, auf die man die Luft abkühlen muss, bis Kondensation beginnt. Ermitteln kann man diese einfach grafisch dadurch, dass man bei gegebener

⁷⁴ <https://physikbuch.schule/humidity.html>

⁷⁵ <https://blog.vdi.de/wie-sich-schimmel-vermeiden-laesst>

Raumtemperatur und relativer Feuchte im Diagramm solange nach links geht, bis man die maximale Kapazität (100 % rel. Feuchte) erreicht hat.

Im folgenden Beispiel sind das knapp 15 Grad Celsius bei 80 % relativer Feuchte (rote Linie), bzw. 10 Grad bei 60 % relativer Feuchte (blaue Linie).

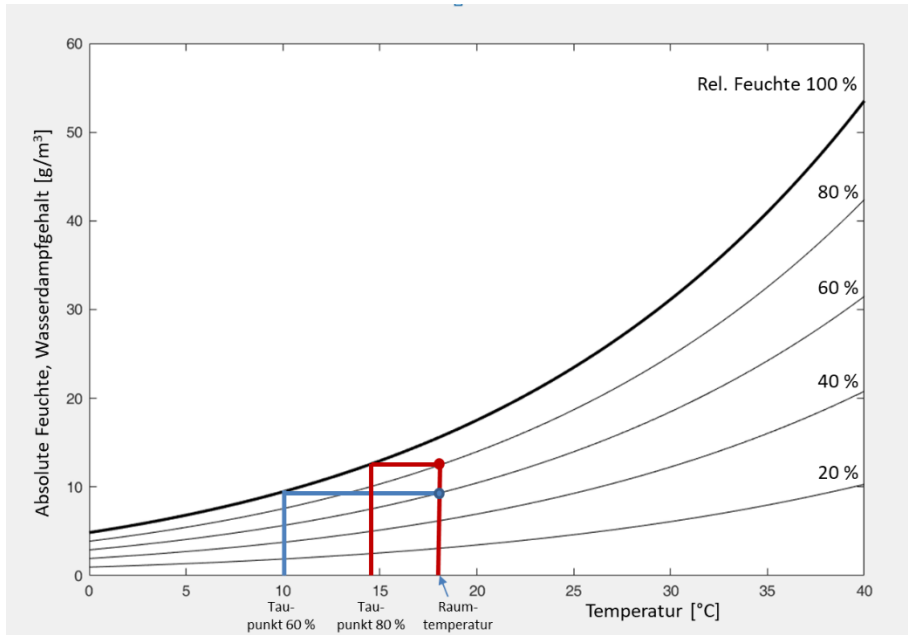


Abb. 49: Taupunktbestimmung. Bei 18 Grad Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchte von 80 % darf die Wand nicht kälter als ca. 15 Grad werden. Sonst besteht Schimmelgefahr. Bei 60 % Luftfeuchte liegt die Taupunkttemperatur deutlich niedriger, das Schimmelrisiko ist also kleiner.

Außenwände, die den Taupunkt unterschreiten, führen zu Schimmelrisiko.

Welche Luftfeuchtigkeit ist ideal für mich?

Gleichzeitig brauchen wir zum Wohlfühlen auch eine gewisse Menge an Luftfeuchtigkeit. **Trockene Luft verursacht Augen-, Haut- und Schleimhautreizungen**, dies macht uns anfällig für Infektionskrankheiten. Die ideale relative Luftfeuchte liegt bei ca. 40 und 60 %. Deren Einhaltung stellt schon bei normalen Raumtemperaturen eine Herausforderung dar. Denn beim Duschen, Kochen, Blumengießen, überall entsteht Wasserdampf, der die Luftfeuchte in der Wohnung erhöht.

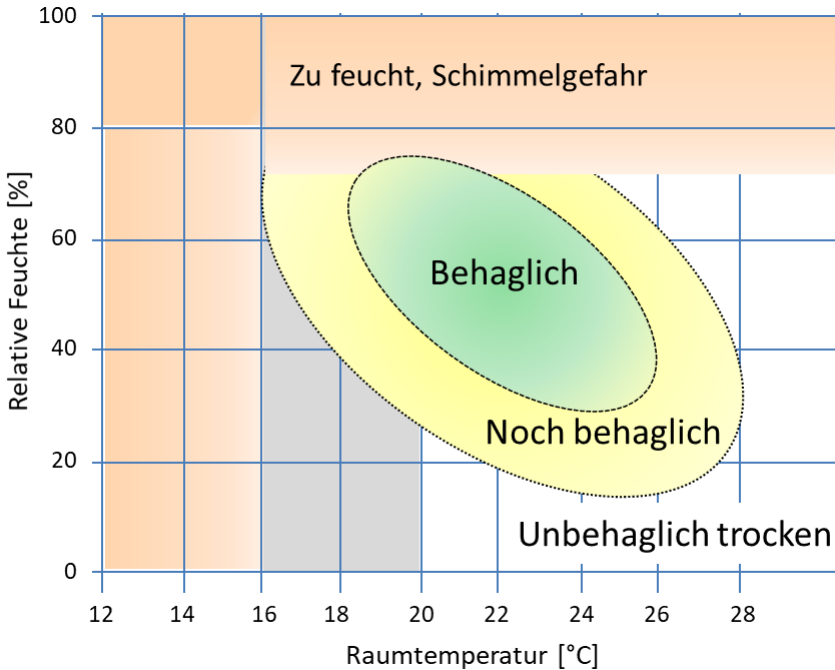


Abb. 50: Die Behaglichkeit und der Taupunkt bei Temperaturen zwischen 16-18 Grad C beeinflussen die Warngrenzen unseres Schimmelwarners für die relative Feuchte bei 40 bis 60 %

Erhöhen der rel. Feuchte:

- Luftbefeuchter
- Pflanzen
- Zimmerbrunnen

Verringern der rel. Feuchte:

- Lüften
- Luftentfeuchter
- Wäsche nicht in der Wohnung trocknen, Dusche abtrocknen

4.2 Schimmelüberwachung mit der IoT²-Werkstatt

Zur Überwachung können wir ein analoges Hygrometer verwenden. Zum Ritt auf der Rasierklinge wird das Ganze aber bei den aktuell abgesenkten Temperaturen, sei es im Schlafzimmer oder in der Abstellkammer. Wie das obige „Wohlfühlendiagramm“ verdeutlicht, empfinden wir bei niedrigen Temperaturen eine höhere Luftfeuchte von 60-70 % als behaglich, die gleichzeitig aber auch den

Taupunkt gefährlich anhebt. Oft gibt es Feuchtigkeitsprobleme vor allem in Küche, Bad oder Schlafzimmer. Kein Wunder, verdunstet ein Mensch im Schlaf doch ca. 500 ml Flüssigkeit, welche die Feuchtigkeit im Laufe der Nacht erhöht. Oft sehen wir das morgens am Schlafzimmerfenster in Form von Wassertöpfchen an der Glasscheibe. Warum das so ist, wissen wir ja jetzt: Die Scheibe ist die kälteste Fläche im Zimmer, die Luft dort kann nicht so viel Wasser aufnehmen, Tropfen kondensieren.

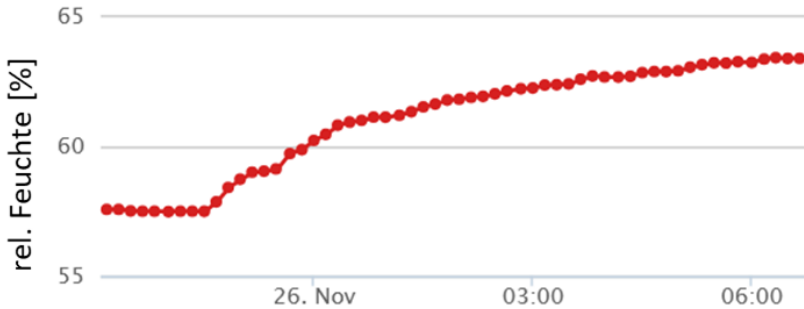


Abb. 51: Im Schlafzimmer steigt die Feuchtigkeit über Nacht an

Hier ist die ständige Überwachung der Luftfeuchte essentiell, möchte man Schimmelbildung vorbeugen. Dabei hilft unsere Raumluftgüteeampel aus dem vorherigen Kapitel und regelmäßiges Stoß- bzw. Querlüften. Denn beim Lüften wird warme Luft mit einem hoher absoluter Feuchte durch kalte Außenluft mit geringer absoluter Feuchte ersetzt. Diese Luft erwärmt sich durch die Heizung, wodurch die maximal mögliche Kapazität steigt, die relative Feuchte aber sinkt. Die Raumluft wird insgesamt trockener, die Schimmelgefahr nimmt ab.

Lüften vermindert die relative Luftfeuchte, fördert das Wohlbefinden und beugt Schimmel vor.



Abb. 52: Durch Stoß-/Querlüften können wir die Feuchte reduzieren

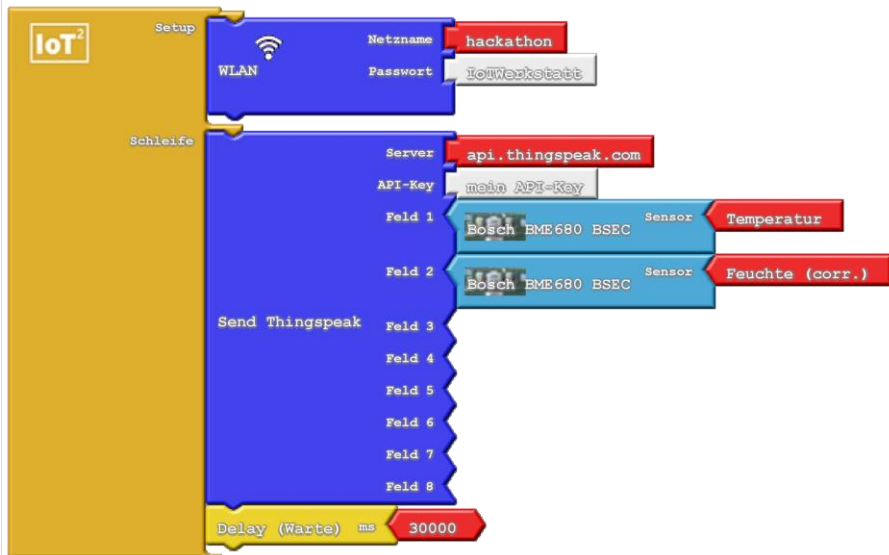


Abb. 53: Ardublock-Programm zur Feuchtemessung und Visualisierung in der Cloud

Kann ich einen Raum auch feucht lüften?

Natürlich funktioniert das Lüftungsprinzip auch umgekehrt. Gerade an schwülwarmen Sommertagen sollte man die Fenster zum kalten Keller geschlossen halten. Andernfalls kommt die feuchtehaltige warme Luft von draußen mit den kalten Kellerwänden in Berührung, unterschreitet dort den Taupunkt und der Keller fängt an zu schwitzen. Will man so ein Phänomen vermeiden, sollten die Fenster nur geöffnet werden, wenn die absolute Feuchte draußen geringer ist als die absolute Feuchte im kalten Keller. Dabei hilft ein externer Außensensor (z. B. der BME 280 über I²C-Grove am Octopus) und der interne Umweltsensor BME 680. Beide Sensoren werden genutzt, um jeweils die absolute Feuchte zu berechnen. Die Formeln dazu sind komplex⁷⁶, aber gut in einem fertigen Puzzleteil gekapselt. Natürlich sollten die Sensoren vorher so kalibriert werden, dass sie unter gleichen Bedingungen (z. B. Innenraum) beide die gleichen Werte liefern. In Kombination mit einem Shelly (Kapitel 5) und einem Badventilator im Kellerfenster, lässt sich der Lüftungsprozess automatisieren: Das folgende Programm zeigt, wie kinderleicht so eine Entfeuchtung ohne elektrische Luftentfeuchter oder chemische Trocknungsreaktionen gehen kann.

⁷⁶ H.Turan, Masterarbeit TU München, mediatum.ub.tum.de/doc/1485555/1485555.pdf

Ein Badventilator benötigt nur einen Bruchteil der Energie gegenüber dem Kompressor eines Entfeuchtungsgerätes.

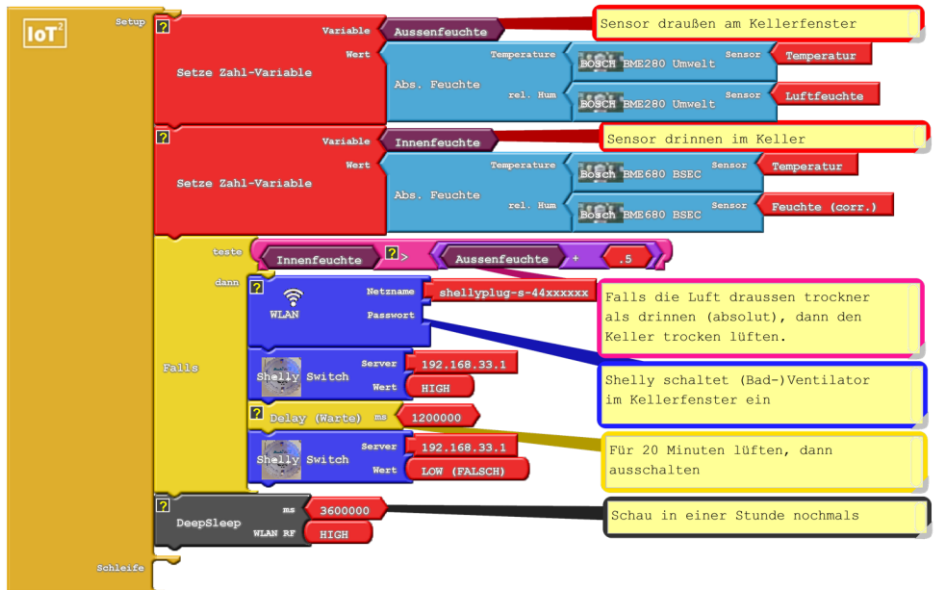


Abb. 54: Selbstbau Kellertrocknung: Der Lüfter läuft nur, wenn es draussen trockner ist als drinnen.

Was kostet die frische Luft?

Als Hausbewohner hat man das Gefühl, dass Querlüften sehr viel Energie kostet, Kipplüftung dagegen fast so nebenbei funktioniert. Machen wir deshalb einmal eine Übersichtsrechnung für beide Lüftungsarten.

Größe des Zimmers: 3 m mal 5 m, Raumböhe 2.5 m. Das ergibt ein Luftvolumen von 37.5 m³. Die Luftdichte beträgt ca. 1.2 kg/m³. Somit tauschen wir beim kurzen Querlüften maximal den kompletten Raum mit $m = 45$ kg Luft und 20 °C gegen die gleiche Menge an Außenluft mit z. B. 0 °C. Natürlich erscheint uns der Raum dadurch sehr stark ausgekühlt. Die spezifische Wärmekapazität c_p von Luft beträgt ca. 1 kJ / (kg K). Damit verlieren wir bei kurzer Querlüftung maximal die Wärmemenge $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 900$ kJ = 250 Wh.

Würden wir das Zimmer mit einem elektrischen Heizlüfter wieder auf 20 Grad aufheizen, so würden wir 250 Wh dafür benötigen. Mit aktuell 40 ct/kWh kostet uns das ungefähr 10 Cent oder 0.39 kg an zusätzlicher fossiler CO₂ Emissionen (Tabelle unten).

Wieviel Gramm CO₂ aus unserer Atmung sind eigentlich in der weggelüfteten verbrauchten Raumluft (hier mit 1000 ppm CO₂) enthalten und verstärken diese die Klimakrise?

1000 ppm CO₂ entspricht 0.1 Volumen Prozent. Damit sind $37.5 \text{ m}^3 * 0.001 = 37.5$ Litern reines CO₂ in der Abluft. Bei Gasen hat ein Mol das Volumen von 22.4 Litern. Ein Mol CO₂ wiegt (C 12 + O₂ 2*16) = 44 g. Damit sind in der weggelüfteten Raumluft $37.5/22.4*44 = 73$ g (die allerdings nicht klimawirksam sind, da dieses CO₂ aus nachwachsender Quelle – unserer Nahrung - stammt).

Durch ein Kippfenster strömen bei einer Temperaturdifferenz von $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ etwa $F = 100 \text{ m}^3$ Luft pro Stunde⁷⁷. Typischerweise befinden sich die Heizkörper direkt unter dem Fenster. Die kalte Außenluft strömt von unten durch das Kippfenster, fällt auf den Heizkörper und wird dort erwärmt. Warme Luft steigt auf und geht oben direkt aus dem Kippfenster wieder nach draußen. Und das ohne Luftfeuchte oder CO₂ (Aerosole) aus dem Raum mitzunehmen. Im Raum merken wir somit auch kaum eine Abkühlung. Im Kapitel 4 (CO₂-Ampel) haben wir den schlechten Lüftungserfolg einer Kipplüftung grafisch dargestellt und uns schon dort über den schlechten Erfolg gewundert.

Aber was bedeutet das Kipplüften energetisch?

Ein Kippfenster für eine Stunde öffnen tauscht 120 kg warme Luft gegen kalte Luft und kostet damit in unserem Beispiel $Q = 120 * 1 * 20 = 666$ Wh oder bei einem Heizlüfter rund 26 Cent – pro Stunde und pro Fenster!

Eine Kipplüftung sollten wir uns im Winter nicht leisten

Zusammen mit dem CO₂-Fußabdruck⁷⁸ verschiedener Energieträger unserer Wohnraumheizung können wir die Lüftungsstrategie auch im Kontext des Klimaschutzes individuell betrachten:

	Emissionsfaktor kg CO ₂ / kWh	Kippfenster pro Stunde kg CO ₂ /h
Strom (Strommix)	0.6	0.39 (s.o.)
Wärmepumpe (JAZ=3) ⁷⁹	0.2	0.13
Gas	0.24	0.16
Heizöl	0.3	0.2

⁷⁷ <https://enbau-online.ch/bauphysik/4-luftstroemungen/>

⁷⁸ https://www.klimaktiv.de/media/docs/Studien/20642110_uba_die_co2-bilanz_des_buergers.pdf, Tabelle 8

⁷⁹ die Jahresarbeitszahl (JAZ) berechnet sich anhand der erzeugten Wärmeenergie pro Jahr geteilt durch den verbrauchten Heizstrom pro Jahr, beides angegeben in Kilowattstunden (kWh). Die Heizung mit Wärmepumpe wird nur dann klimaneutral, wenn auch der Strom zum Betrieb über erneuerbare Energien produziert wird. Mehr dazu im Kapitel zum Balkonkraftwerk.

Außerdem wird ein Teil der **Wärmeverluste im Gebäude durch eine undichte Hülle** verursacht. Ob die Fenster noch dicht sind, lässt sich z.B. nach Schulschluss beobachten:

Auch kaputte (schlecht schließende) Fenster lassen sich erkennen.

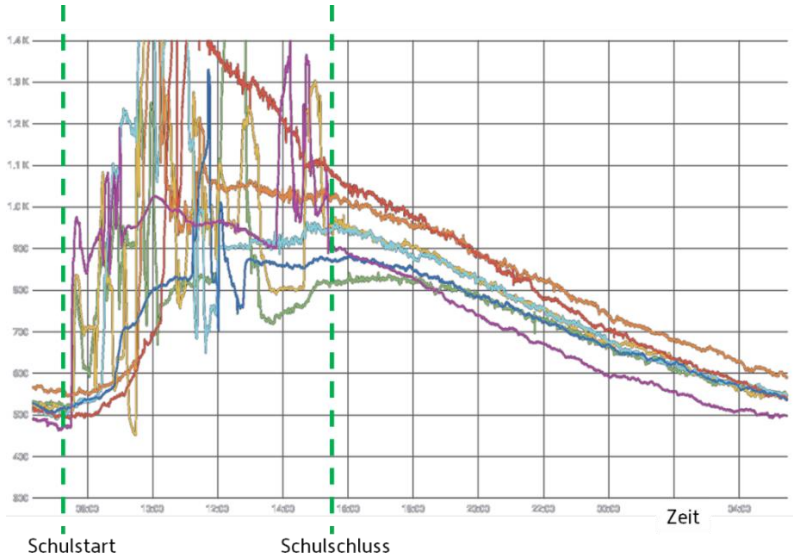


Abb. 55: CO₂-Zeitreihe eines Schultages für verschiedene Klassenräume. Die CO₂-Reduktion nach Schulschluss resultiert unter anderem aus der undichten Gebäudehülle.

5 Anwendung: Elektrischer Energie

Ein weiterer wichtiger Ansatz zum Energiesparen im Haushalt ist die Überwachung der elektrischen Haushaltsgeräte und die Identifikation von unnötigen Standby-Verbräuchen. Smart-Meter (Energiesmessgeräte) und schaltbare Steckdosen sind heute für kleines Geld zu haben und ermöglichen eine einfache und sichere Leistungs- bzw. Energiemessung. Dank IoT-Funktionalität ist die Mess- und Schalteinrichtung **galvanisch über das WLAN-Netz vom Octopus-Board getrennt** Wir können also gefahrlos auf elektrische Spurensuche gehen.

5.1 Leistung, Arbeit und was müssten wir bezahlen?

Ein typischer Haushalt beherbergt viele elektrische Helferlein. Die Arbeitskraft dieser Helferlein unterscheidet sich, wie im folgenden Bild dargestellt, durch ihre Leistung:



Mr. Bean hat eine kleine **Leistung**
(z.B. 10 Watt)



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

Abb. 56: Die elektrische Anschlussleistung der Geräte steht meist auf dem Typenschild. Bildquelle <https://www.craiyon.com/>

Geht es aber darum, eine bestimmte Arbeit zu verrichten, dann benötigen Geräte mit kleiner Leistung P mehr Zeit als die Geräte mit großer Leistung P .

Wollen wir z. B. unser Hausdach eindecken lassen, würde Mr. Bean etwa 100 Stunden benötigen (10 W mal 100 h). Supermann wäre in einer Stunde fertig (1000 W mal 1 h). Beider verrichten die gleiche Arbeit, die hier im Falle der Haushaltsgeräte vom Energieversorger in Rechnung gestellt wird.

Arbeit ist Leistung mal Zeit ($E=P*t$).



Abb. 57: Bezahlt wird die elektrische Arbeit (Energie), hier 40 ct / kWh. Bildquelle www.craiyon.com

Ein „Stromzähler“ im Keller (häufig ein schwarzer Kasten = Ferraris-Zähler) zählt die elektrische Arbeit, also elektrische Leistung mal Zeit.

Was kostet mich ein Helferlein in Standby (1 Watt) pro Jahr?

Viele Haushaltsgeräte gehen bei Nichtgebrauch automatisch in ihren Standby Modus. Die Mikrowelle zeigt die Uhr, der Fernseher wartet auf Befehle der Fernbedienung. Bei neueren Geräten bedeutet dies eine Standby-Leistung von weniger als 1 Watt, bei älteren Geräten können das auch mal 5 Watt sein.

*Die Kosten von 1 Watt über das Jahr lassen sich wie folgt berechnen: $1\text{ W} * 24\text{ Stunden/Tag} * 365\text{ Tage/Jahr} = 8760\text{ Wh/Jahr}$. Mit $0,4\text{ €/kWh}$ sind das ca. $3,50\text{ €}$ oder $5,2\text{ kgCO}_2$ pro Jahr.*

Ein Watt Dauerleistung kostet uns pro Jahr etwa 3.50 €

Herd:	4000 Watt
Elek. Heizlüfter	2000 Watt
Föhn:	2000 Watt
Wasserkocher:	1000 Watt
TV:	100 Watt
Notebook:	50 Watt
Handyladegerät:	5 Watt
Ladegerät Standby	0.5 Watt

Abb. 58: Die elektrische Leistung typischer Haushaltshelfer

Wie ermittle ich das Leistungsprofil meiner Verbraucher?

Heute gibt es Zwischenstecker (Smart-Meter) zur Energiemessung. Einfach zwischen Verbraucher und Steckdose geschaltet, lassen sich die elektrischen Parameter z. B. mittels Smartphone auslesen. Hier ein Shelly-Plug genanntes Modell.

Das vom Shelly aufgebaute WLAN-Netzwerk ist am Notebook oder Handy sichtbar (z.B. „shellyplug-s-446677“. Wir können unser Endgerät mit diesem WLAN verbinden und direkt die Webseite vom Shelly aufrufen. Dazu bitte im Webbrowser URL die lokale Internetadresse 192.168.33.1 des Shellys eingeben. Es erscheint die „Homepage“ des Steckers:

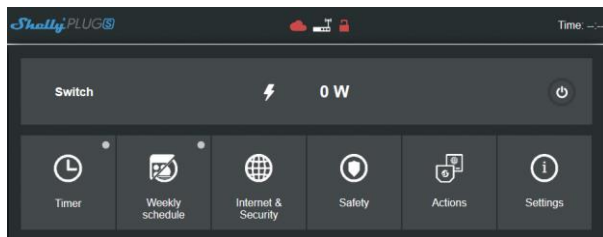


Abb. 59: Lokale Homepage des Shelly Plug S (URL 192.168.33.1) ^{80,81}

Da noch kein elektrischer Verbraucher angeschlossen ist, sehen wir in der oberen Zeile die Angabe 0 W (Watt). Jetzt können wir den elektrischen Verbraucher einstecken und den virtuellen Einschaltknopf drücken. Damit wird der Verbraucher angeschaltet und die **Leistungsmessung** gestartet.

Kurz danach ist der aktuelle Leistungsbedarf auf der Webseite abzulesen⁸².

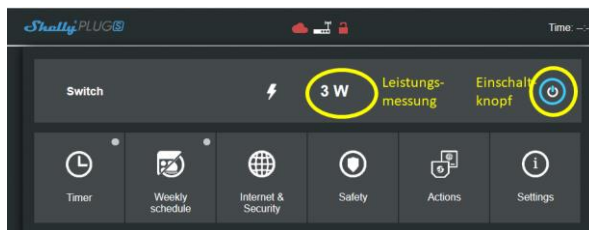


Abb. 60: Aktivierte Leistungsmessung

⁸⁰ <https://www.shelly.cloud/products/shelly-plug-s-smart-home-automation-device/>

⁸¹ Um den Shelly bei der ersten Verwendung auf Werkzustand zurückzusetzen wird der Stecker ohne angeschlossenen Verbraucher in die Steckdose gesteckt und der Power-Knopf für ca. zehn Sekunden gedrückt. Der Shelly blinkt jetzt schnell blau und baut anschließend ein eigenes WLAN-Netzwerk auf. Dies muss nur einmalig durchgeführt werden, um eventuell vom Vorbesitzer veränderte Netzwerkeinstellungen zurück zu setzen.

⁸² Aus Sicherheitsgründen ist die maximale elektrische Leistung der angeschlossenen Verbraucher vom Hersteller auf 1800 W begrenzt. Bei Überlast schaltet der Shelly ab. Unter dem Menüpunkt Safety läßt sich die Maximalleistung auf 2.5 kW erhöhen.

5.2 Lastgang analysieren mit der IoT²-Werkstatt

Viele elektrische Geräte besitzen eine veränderliche Leistung, d.h. der Bedarf ist abhängig vom aktuellen Betriebszustand. Die Geschirrspülmaschine heizt das Wasser auf (hohe Leistung) und reinigt dann mit niedriger Leistung. Der Kompressor vom Kühlschrank läuft im an-/aus-Modus (Pulsweitenmodulation). Das Balkonkraftwerk speist in Abhängigkeit von Tageszeit und Wetter mehr oder weniger Energie in unser Hausnetz. Um dieses Verhalten zu visualisieren, nutzen wir den Shelly als externen Sensor für den Octopus. Dazu verbinden wir uns mit dem WLAN des Shellys („shellyplug-s-xxxx“ ohne Passwort), holen uns den aktuellen Leistungsmesswert und senden diesen zur Visualisierung und Speicherung in die Cloud. Alles Weitere (Thingspeak) kennen wir schon aus unserer Blaupause zur Flaschenpost.

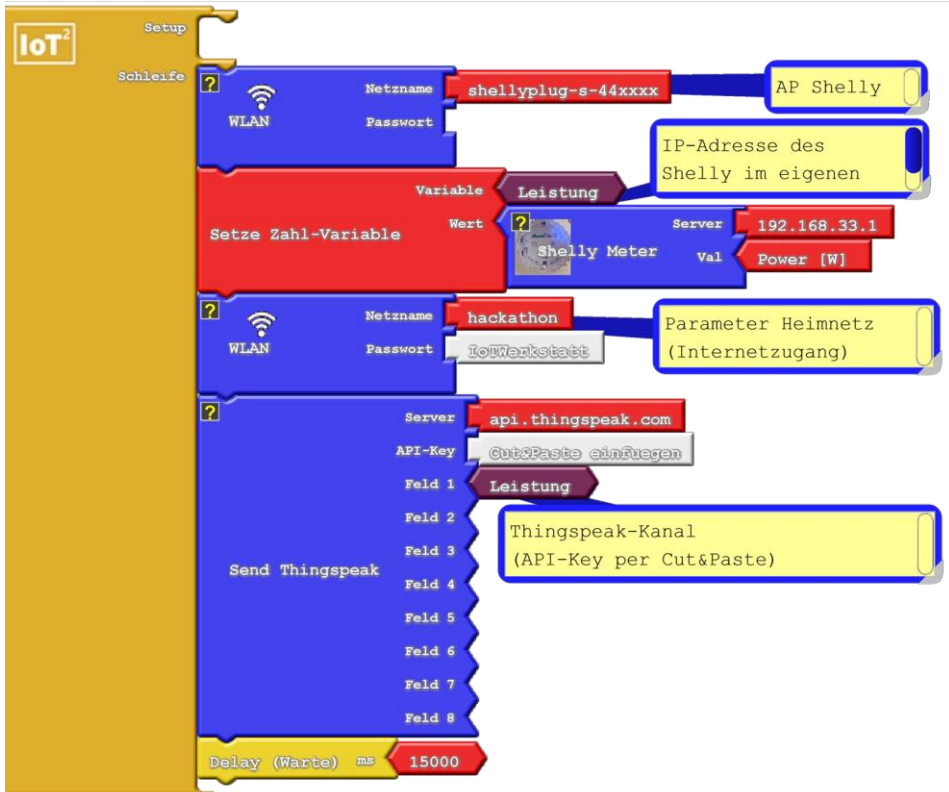


Abb. 61: Leistungsmessung mit dem Shelly und Visualisierung in der Thingspeak-Cloud (Datei: Shelly_Thingspeak_AP.abp)

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis einer Leistungsmessung bei einem Geschirrspüler:

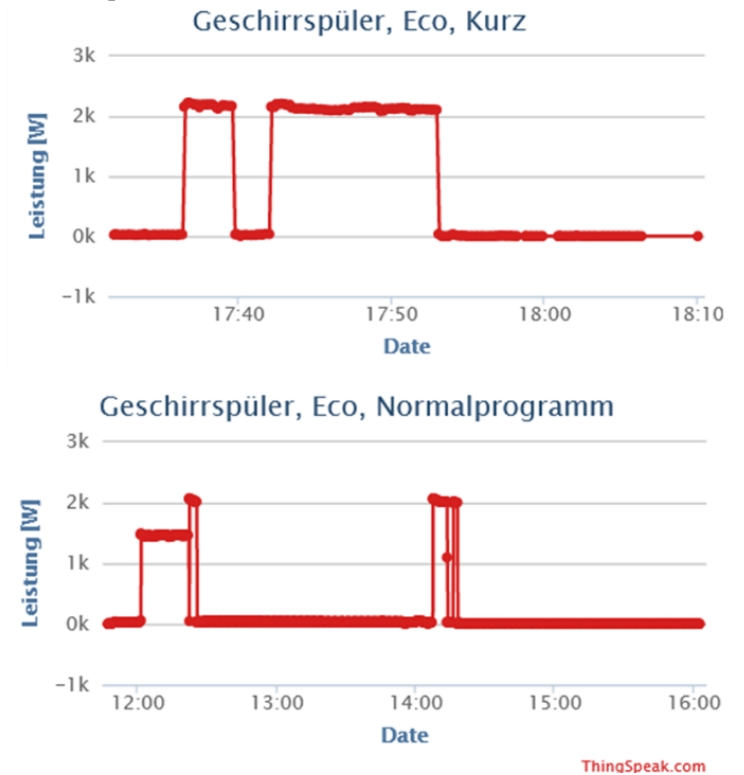


Abb. 62: Leistungsmessung beim Geschirrspüler (verschiedene Programme)

Deutlich sieht man verschiedene Leistungsaufnahmen (heizen, spülen, trocknen). Beim Energievergleich⁸³ wird deutlich, dass das Kurzprogramm mit 1.180 kWh ca. 15 % mehr Energie erfordert, als das Normalprogramm (960 kWh). Bei täglicher Nutzung und 40 ct / kWh sind das jährlich 32 € (oder 48 kg CO₂-Emissionen) Unterschied.

Programme der Haushaltsgeräte haben Einfluss auf den Energiebedarf. Nicht immer ist kurz auch kostengünstig und klimaschonend.

⁸³Zur Energiemessung benötigt der Shelly-Zwischenstecker allerdings einen **NTP-Server (Network Time Protocol)** um den Zeitbezug zu bekommen. Das gelingt nur, wenn der Shelly auch als Client im heimischen WLAN-Netz angemeldet ist.

Ein anderes Beispiel für Ressourceneffizienz bietet der Kühlschrank. Deutlich sieht man das Taktverhalten des Kompressors am Leistungsprofil. In der Tür gibt es außerdem zwei Schalter. Der erste Schalter aktiviert den internen Ventilator, welcher 6 W Leistung benötigt und die kalte Luft im Kühlschrank verteilt. Im ersten Betriebsmodus läuft der Ventilator im Dauerbetrieb und sorgt so für mindestens 6 W Standby Verbrauch. Im anderen Modus ist der Ventilator nur aktiv, wenn der Kompressor läuft, d.h. der Kühlschrank auch gekühlt wird und kalte Luft verteilt werden muss. Bedenkt man, dass der Ventilator im Kühlfach sitzt und die 6 W damit als Abwärme gleichzeitig den Kühlraum heizt, die der Kompressor zusätzlich wegkühlen muss, so ist die Schalterstellung durchaus ein Kostenfaktor ($6 \cdot 3.5\text{€} = 21\text{€}$). Noch dramatischer ist die Situation beim zweiten Schalter. Dieser schaltet direkt eine Zusatzheizung von 10 W, die den Kühlraum aktiv beheizt. Die folgende Abbildung zeigt das Verhalten bei unterschiedlicher Schalterstellung:

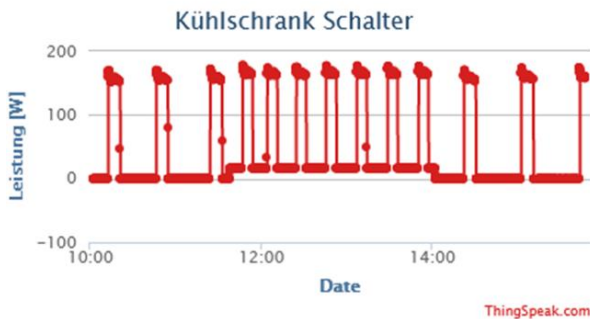


Abb. 63: Leistungsbedarf Liebherr Kühl-Gefrierkombination aus dem Jahre 2000.

Warum gibt es so einen „Heizschalter“?

Der Kühlschrank ist eigentlich eine Kühl-/Gefrierkombination mit nur einem Kompressor. Der Sensor zur Steuerung sitzt im Kühlabteil. Soll jetzt das Gefrierfach im „Schnellfrost“ – Modus stärker kühlen, weil neues Gefriergut eingelegt werden soll, wird einfach der Kühlraum beheizt. Deutlich sind die 10 W an der Basislinie zu sehen. Natürlich muss der Kompressor auch hier die Zusatzwärme wegkühlen und der Kompressor taktet schneller. Mehrkosten bei vergessenem Schalter dadurch: ca. 70 € oder 105 kg CO₂-Emission pro Jahr.

Betriebsanleitung lesen, Auswirkungen verstehen/messen.

Das spart viel Geld und hilft dem Klimaschutz.

5.3 Datenpuls - Wir färben den Strom aus der Steckdose

Im Jahr 2021 wurden mehr als 41 Prozent des bundesweiten Strombedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt⁸⁴. Ein beachtlicher Anteil, der jedoch noch deutlich höher ausfallen könnte, wäre da nicht das fluktuierende Angebot der grünen Energiequellen. An Sonnentagen und wenn Wind in ausreichender Menge vorhanden ist, kann das Angebot den aktuellen Bedarf aller Privathaushalte und der Industrie heute durchaus schon überschreiten. Dann wird die überschüssige Energie über den länderübergreifenden Verbund ins Ausland exportiert und erzielt dabei ggf. auch negative Preise, das heißt, große Verbraucher werden für die Abnahme sogar bezahlt. Nachts oder bei Windstille dagegen müssen fossil betriebene Backup-Kraftwerke den regenerativen Strom ersetzen, weshalb einige Akteure bisher abschätzig von „grünem Flutterstrom“ sprechen.

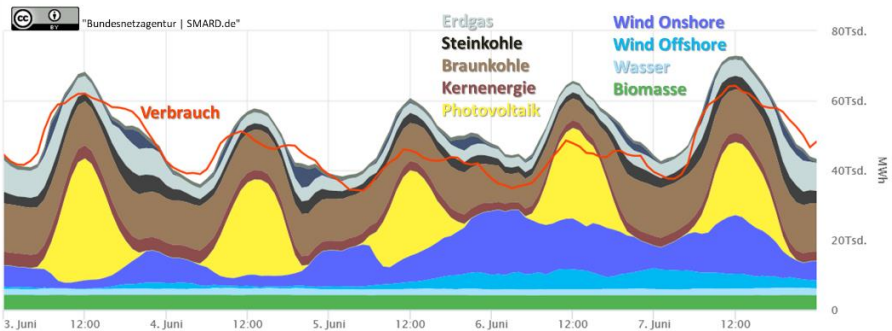


Abb. 64: Angebot und Nachfrage auf dem Strommarkt⁸⁵

Die Balance dieses Wechselspiels aus Angebot und Nachfrage ist Aufgabe der großen Netzbetreiber. Die dazu nötige **Regelenergie** stammt zum großen Teil aus **schnell reagierenden Gaskraftwerken**. Aber spätestens seit dem Kriegsbeginn in der Ukraine fragen sich Millionen Haushalte im Lande: Was kann ich persönlich tun, um die regenerativen Energien besser zu nutzen und den Import von fossilen Energieträgern zu minimieren? Wie können wir uns einbringen, ohne dabei allzu große Komforteinschränkungen zu verzeichnen?

Eine wichtige Antwort darauf ist die dezentrale Eigennutzung von Photovoltaik, sei es in Form einer Solaranlage auf dem Hausdach oder in Form eines Balkonkraftwerks auf der Terrasse bzw. Garage (s. folgendes Kapitel). Abgesehen von aktuellen Lieferproblemen sind dazu jedoch größere Investitionen erforderlich.

⁸⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>

⁸⁵ <https://www.smard.de/home>

Außerdem hat nicht jeder Platz und Gelegenheit zum Aufstellen der erforderlichen Solarmodule. Was uns darüber hinaus bleibt, ist die Unterstützung der bereits installierten Anlagen durch Abschluss spezieller **Ökostromverträge**. Hierzu bieten die Energieversorger entsprechende Vereinbarungen an und verpflichten sich, den jeweiligen Haushalt mit „grünem“ Strom zu beliefern.

Aber auch hier hadern wir wieder mit den physikalischen Grundlagen: Auch beim zertifizierten Ökostromtarif beziehen wir **physikalisch einen Mix von regenerativen und fossilen Energien**, wie ihn die obige Abbildung visualisiert.

Aber warum eigentlich nicht auf den aktuellen Mix schauen und regenerative Energien zeitgenau dann nutzen, wenn sie ausreichend vorhanden sind? Genau das ist seit langem die Idee des „**Smart Grid**“, oder **intelligenten Stromnetzes**. Nur entsprechende Tarife der Energieversorger, die auf ein wechselndes Stromangebot reagieren und smarte Haushaltsgeräte, die dann automatisch schalten, lassen bisher noch auf sich warten.



Abb. 65: Mit der WebApp Datenpuls (www.datenpuls.umwelt-campus.de) wird der Strom bunt

Hier bietet die IoT²-Werkstatt mit ihrer WebApp [Datenpuls](#)⁸⁶ eine einfache Möglichkeit, den aktuellen Anteil der regenerativen Energien aus der heimischen Steckdose live zu beobachten.

Der erste Schritt zum eigenverantwortlichen Handeln ist das Wissen

Gleichzeitig bietet die App eine Vorhersage zur Abschätzung der kurzfristigen Entwicklung. Prognostiziert das Modell einen höheren Anteil regenerativer

⁸⁶ Autoren: Norman Feiß, Jan Dupont, Julian Krauser, Marvin Hauptenthal, Studierende am UCB

Energie, dann lohnt sich vielleicht das Verschieben der Wäsche oder des geplanten Ladevorgangs fürs e-Auto, bis bessere Bedingungen herrschen.

Hier findet jeder seinen Lieblingsverbraucher, sei es Wäschetrockner, Geschirrspüler oder Elektromobil. Im Falle des Smartphones oder e-Bike sind das nur wenige Wattstunden, die aber in Summe von Millionen Haushalten helfen können, den aktuellen Bedarf an fossilen Energieträgern signifikant zu reduzieren.

Wir färben den Strom aus der Steckdose: So ist die Energiewende auch in einem Haushalt ohne eigene Photovoltaik möglich!

Die Idee hinter der App ist die Abfrage der aktuellen Stromproduktion über das API der **SMARD Datenbank der Bundesnetzagentur**⁸⁷ und online Berechnung des Anteils an erneuerbarer Energie.⁸⁸

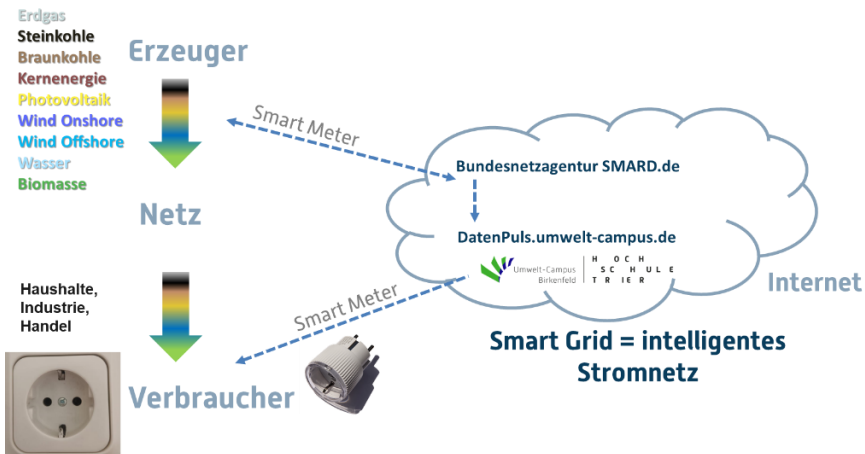


Abb. 66: Energie- und Datenfluss im Smart-Grid

Anders als beim physikalisch unmöglichen Atomstromfilter⁸⁹, können wir über die online Energiebilanz natürlich auch ganz automatisch die Erneuerbaren bevorzugt ins Haus lassen: Eine IoT-Steckdose, die elektrische Verbraucher nur dann anschaltet, wenn genügend erneuerbare Energie zur Verfügung steht, ist mit dem Werkzeugkasten der IoT²-Werkstatt schnell gebaut.

⁸⁷ <https://www.smard.de/home>

⁸⁸ Dies ist nur ein erster Ansatz, der von einem „Kupfplattenmodell“ ausgeht. Dazu muss der Windstrom an der Nordsee den Verbraucher in Bayern erreichen. Solange entsprechende Stromtrassen fehlen, dürften wir eigentlich nur den regional verfügbaren Strom visualisieren. Mangels Ortsbezug in der SMARD-Datenbank ist dies aber leider aktuell nicht realisierbar. Autoren Bilanzmodell: Julien Murach, Danja Steinberg, ehemalige Studierende am UCB

⁸⁹ <http://www.nucleostop.de/>

5.4 Die intelligente Steckdose – Schaltet bei grünem Strom

Zuerst verbinden wir uns mit dem Server am Umwelt-Campus, der die SMART-Daten regelmäßig abrufen, analysiert und in einer IoT gerechten Form darstellt. Dort holen wir uns den aktuellen Anteil an erneuerbaren Energien. Übersteigt der Anteil im Beispiel die 45 % Grenze, so schalten wir unseren, an der Shelly-Steckdose angeschlossenen, Verbraucher an. Die Shelly-Steckdose erreichen wir, wie schon im vorherigen Kapitel, über ihren lokalen WLAN-Accesspoint und der internen IP-Adresse. Danach warten wir 10 Minuten, bis wir erneut die Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien überprüfen.

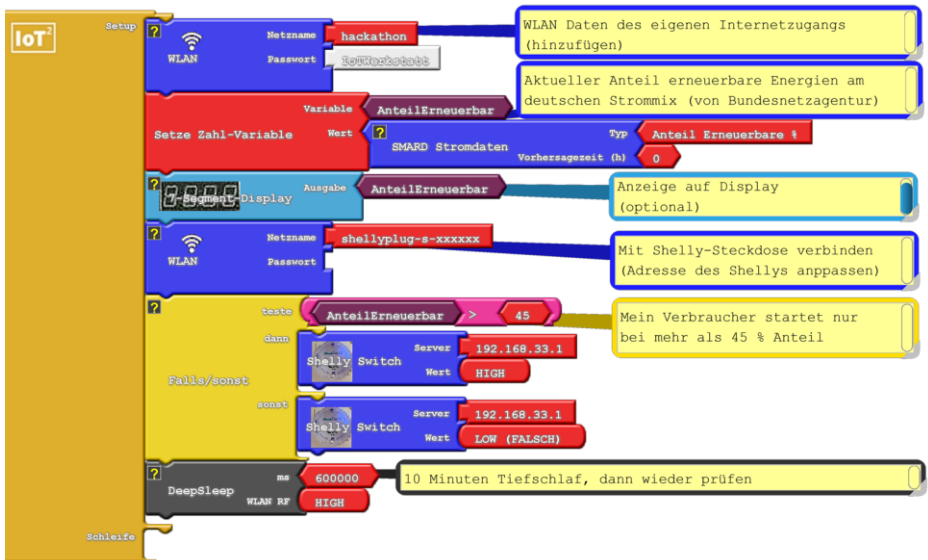


Abb. 67: Die grüne Steckdose - schaltet den Verbraucher nur an, wenn es erneuerbare Energie gibt (Datei: Grüne_Steckdose.app)

Ein Warten im DeepSleep spart Standby-Energie für den Octopus (vermeidet Rebound-Effekte⁹⁰). Diese Strategie setzt voraus, dass der elektrische Verbraucher jederzeit ausgeschaltet werden kann (e-Bike, Handy). Andernfalls sollten wir den Algorithmus nach Anschalten des Verbrauchers aktiv belassen (Geschirrspüler, Waschmaschine). Hier muss jeder seine individuelle Lösung finden. Damit ermöglichen wir ein Retrofit alter Geräte und erstmals die Ertüchtigung bestehender Haushaltsgeräte für das zukünftige Smart-Grid.

⁹⁰ umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/klimaschutz-iot-stromboerse-und-co2

6 Balkonkraftwerk und Solartisch

Angetrieben durch hohe Strompreise setzen immer mehr Haushalte zusätzlich zu Einsparmaßnahmen auf die Eigenproduktion von Solarstrom. Der Markt an Photovoltaikanlagen für das Hausdach steigt kontinuierlich. Auch hier gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten für das Internet der Dinge. „Dinge“ in diesem Kontext sind z. B. das eigene Elektrofahrzeug, die Klimaanlage, Wärmepumpe zur Raumheizung oder die Pufferbatterie im Keller. An den Herausforderungen, diese IoT-Geräte miteinander zu vernetzen und in eine optimale Gesamtstrategie zu integrieren wird aktuell intensiv geforscht.

Angesichts der Kosten von mehreren 10.000 €, dem bürokratischen Aufwand und der Notwendigkeit geeigneter Dachflächen, wird es noch einige Zeit dauern, bis jeder Haushalt im intelligenten Stromnetz der Zukunft angekommen ist.

Warum nicht jetzt anfangen und ein Balkonkraftwerk betreiben?

6.1 Was ist ein Balkonkraftwerk?

Eine genehmigungsfreie Stecker-Solaranlage, Kleinst-PV oder auch Balkonkraftwerk genannte Photovoltaikanlage besitzt maximal zwei Solarpanels (1) und einem Wechselrichter (3) mit einer maximalen Einspeiseleistung von 600 W⁹¹. Kostenpunkt inklusive Verkabelung und Montagematerial < 1000 €. Erzeugte Energie, je nach Standort und Ausrichtung, ca. 530 kWh/Jahr. Die Amortisationszeit liegt, je nach Eigenverbrauch, damit bei 5-9 Jahren.

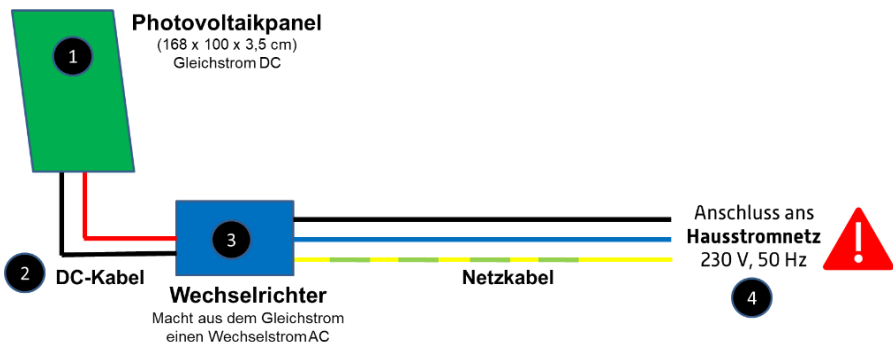


Abb. 68: Aufbau eines Balkonkraftwerks

⁹¹ <https://www.umwelt-campus.de/forschung/projekte/workshop-balkonkraftwerk>

Aber wichtiger als die finanziellen Vorteile ist der „**Kick im Kopf**“, d.h. das durch die erste eigenproduzierte kWh initiierte Umdenken im Umgang mit elektrischer Energie.

Für diese Anlagen existiert in Deutschland ein **vereinfachtes Verfahren zur Inbetriebnahme**: Die Anzeige beim Netzbetreiber und Anmeldung im Marktstammdatenregister⁹² sind in wenigen Minuten erledigt. Je nach Stromzähler im Keller wird ggf. der alte Drehscheibenzähler vom Netzbetreiber durch eine moderne Version mit Rücklauf Sperre ersetzt. Dann wird der Stecker ans eigene Hausnetz angeschlossen und fortan kommt der **Strom** nicht nur aus der Steckdose, sondern **fließt bei Sonnenschein auch IN die Steckdose**.

6.2 Eigenverbrauch der solaren Energie

Und schon stehen wir vor der MINT-Herausforderung, diese Energie auch möglichst vollständig selbst zu verbrauchen⁹³. Das Helferlein „Solarfee“ mit ihrer Arbeitsleistung von maximal 600 W arbeitet gern in unserem Haushalt, aber wenn es dort nichts zu tun gibt, dann hilft die Fee einfach beim Nachbarn aus. Physikalisch sucht sich unser Solarstrom den kürzesten Weg im Netz – und das ist meist ein Verbraucher in der unmittelbaren Nähe. Dort ersetzen wir den aktuellen Netzstrom (\varnothing 0.6 kg CO₂ / kWh) durch emissionsfreien Solarstrom und reduzieren die weltweiten Emissionen so um 318 kg CO₂ pro Jahr. Für eingespeiste Solarenergie gibt es leider keine Vergütung, sodass wir für unseren Geldbeutel natürlich gleichzeitig auf eine hohe Eigennutzung achten sollten.



Abb. 69: Ein Balkonkraftwerk ist die ideale Ergänzung zur heimischen Energieversorgung (Foto: J. Brinkmann, HS Trier)

⁹² <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>

⁹³ <https://solar.htw-berlin.de/rechner/stecker-solar-simulator/>

6.2.1 Messung der Einspeiseleistung Balkonkraftwerk

Aufgrund des angestrebten Eigenverbrauchsanteil ist das Internet der Dinge ein natürlicher Partner unseres Balkonkraftwerks. Eine Shelly-Steckdose zwischen Balkonkraftwerk und Hausnetz und schon sehen wir die aktuell selbst produzierte Einspeiseleistung unseres Kraftwerks. Dem Shelly ist es nämlich egal, ob er die aktuelle Leistungsaufnahme des Kühlschranks analysiert, oder die Einspeiseleistung des Wechselrichters ermittelt.

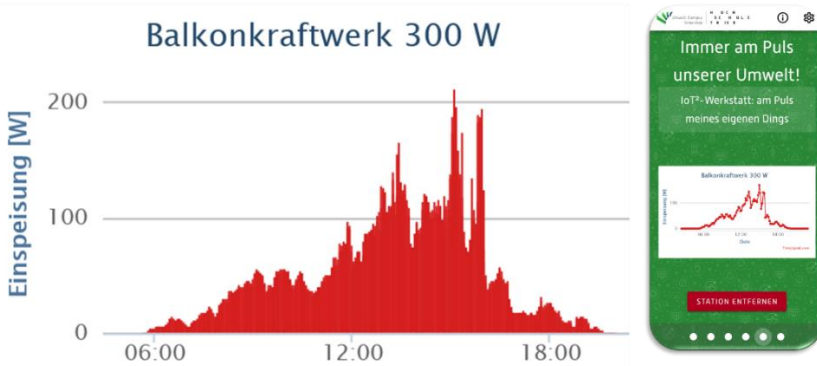


Abb. 70: Ob im Thingspeak oder unserer unserer Datenpuls-App: Dank IoT haben wir die Einspeiseleistung jederzeit im Blick

Wie nicht anders zu erwarten, ist die **Einspeisung stark abhängig von Ausrichtung, Tages- und Jahreszeit, sowie dem aktuellen Wetter.**

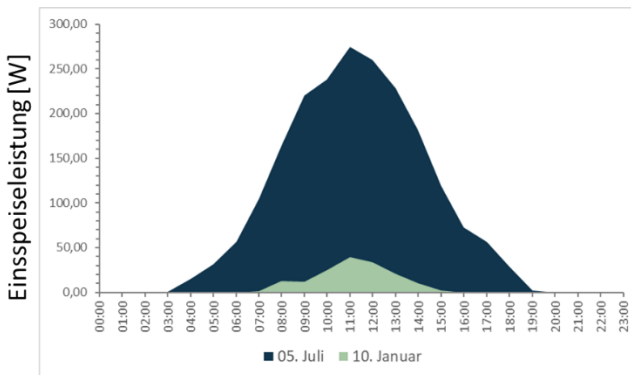


Abb. 71: Momentane Einspeisung in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit (J. Brinkmann, UCB)

In Sonnenphasen können wir damit aber sicher einen großen Teil der Grundlast im Haushalt (Kühlschrank, Zirkulationspumpe Warmwasser, Internetzugang, Standby-Geräte) durch unser Balkonkraftwerk decken.

6.3 IoT und Akku erhöhen den Eigenverbrauchsanteil

Aber was machen wir mit dem Überschuss zur Mittagszeit?

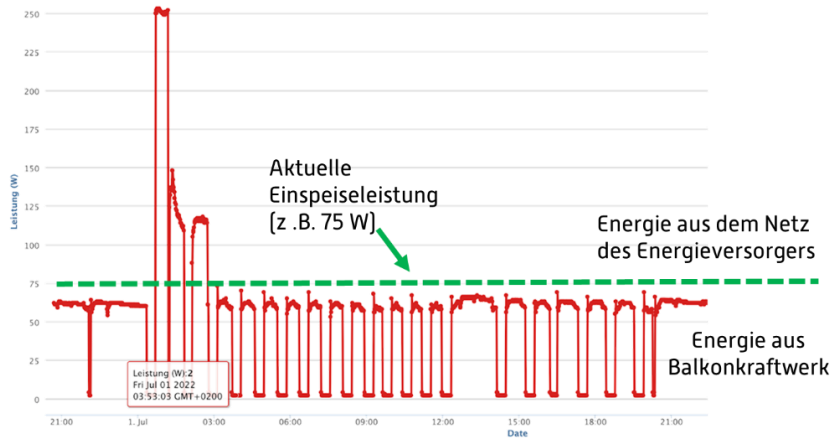


Abb. 72: Momentane Einspeiseleistung (hier 75 W, grün) und die Grundlast eines Kühlschranks (rote Linie). Lastspitzen (über 75 W) werden weiterhin vom Energieversorger abgedeckt. Bei Zeiten mit geringem Bedarf (Kühlschrankpausen) wird überschüssige Energie ins Netz eingespeist

Hier kann der Octopus mit der IoT²-Werkstatt quasi als Vermittler zwischen Balkonkraftwerk und schaltbarer Steckdose dienen (s. folgende Abbildung):

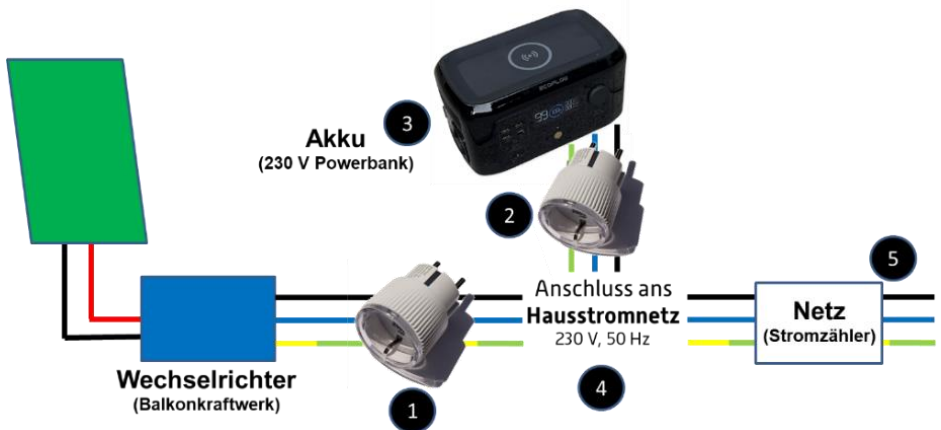


Abb. 73: Smart-Grid im Eigenbau: Eine Powerbank (3) dient als Puffer für überschüssige Energie. Gesteuert wird das System vom Octopus und zwei Shelly-Steckdosen. Das Hausnetz transportiert die Energie, die IoT-Werkstatt sorgt für den Informationsfluss.

Ähnlich wie beim vorherigen Beispiel zum Anteil an regenerativer Energie im Stromnetz, messen wir jetzt den vorhandenen Eigenstrom (Shelly 1) und aktivieren bei Überschuss (hier mehr als 200 W) einfach Shelly (2), der wiederum z. B. einen Akku laden kann. Dieser Akku (in diesem Fall eine 230 V-Powerbank mit 250 Wh⁹⁴) kann unsere überschüssige Energie speichern und diese z.B. zum abendlichen Betrieb des Fernsehers nutzbar machen.

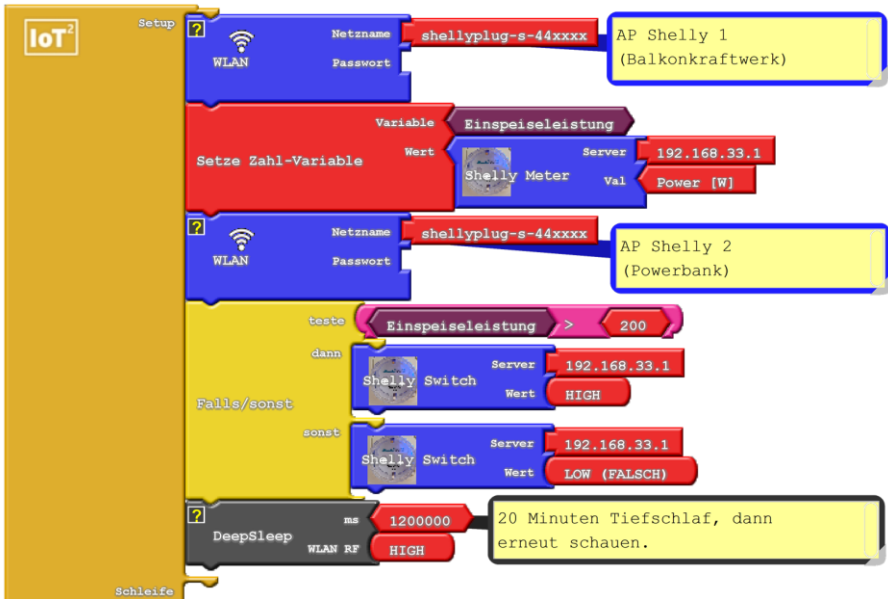


Abb. 74: Eine einfache Strategie zur Überschussladung bei Sonnenschein erhöht den Eigenverbrauchsanteil und damit die Rentabilität. Allerdings kostet eine 230 V Powerbank auch Geld (Datei: Shelly_Balkon_Einspeisung.abp).

Mit IoT² kinderleicht die individuell beste Strategie realisieren.

Gibt es z. B. in einer Mietwohnung keinen Platz oder die Erlaubnis für die Montage eines Solarpanels, so kann stattdessen einfach ein Solartisch⁹⁵ die Energieversorgung sichern. So ein mobiles System hat auch enorme Vorteile bei einem späteren Wohnortwechsel.

⁹⁴ <https://de.ecoflow.com/products/river-2-portable-power-station>

⁹⁵ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/iot-werkstatt-in-der-make-4-22>



Abb. 75: Der Solartisch als Alternative für Mietwohnungen

7 Anwendung: Klimafolgenbeherrschung

Ob Hochwasser an Ahr und Kyll, Dürre-Sommer oder Waldbrand: Die Folgen des Klimawandels sind inzwischen nicht zu übersehen. Das Internet der Dinge und des Denkens kann auch hier hilfreiche Dienste leisten.

Nutzen wir einen Ultraschallentfernungssensor, so kann der Octopus den Abstand zu einem Ding messen. In diesem Fall vielleicht den Abstand zur Oberfläche des zu überwachenden Gewässers.

Fertig ist der Starkregenpegel.

Oder wir nutzen einen Leitfähigkeitssensor zur Messung der Bodenfeuchte. Eingegraben am Fußpunkt der Stadtbäume liefert der Sensor zuverlässige Informationen über den zusätzlichen Wasserbedarf bei Trockenheit.

Fertig ist der Dürresensor.

Ein Feinstaubsensor kann dagegen Informationen über Rauchbildung liefern.

Fertig ist er Waldbrand- oder Feinstaubwarner (letzteres für die Stadt)

Diese Liste der sinnvollen Sensoren zur Klimafolgenbeherrschung ließe sich sicher noch erweitern – **Raum für eigene Ideen.**

7.1 IoT-Starkregenpegel

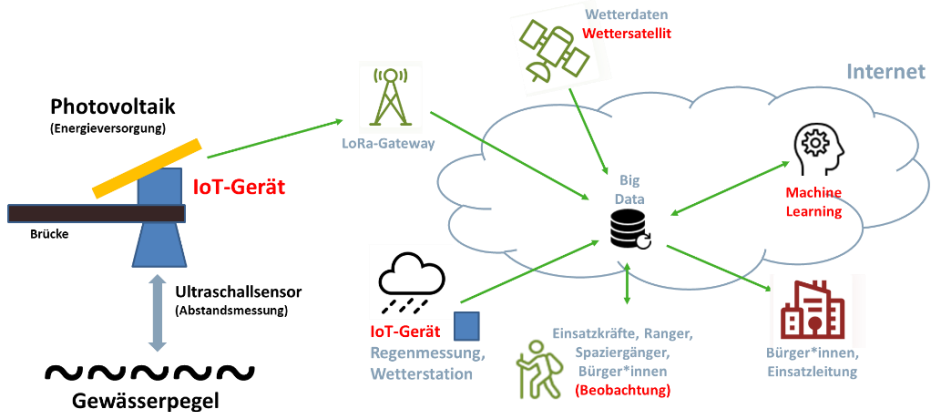


Abb. 76: Ein Starkregenpegel als offenes Bürgerprojekt (Icons: <https://icons8.com/>)

Energieversorgung

Eine große Herausforderung bei der Anwendung im Feld ist der energieautarke Betrieb des z. B. an einer Brücke montierten Sensors. Zum einen kann einfach eine entsprechend dimensionierte Batterie Verwendung finden. Dabei ist eine konsequente Nutzung des Tiefschlafmodus und der Energiesparjumper selbstverständlich. Entsprechende Möglichkeiten finden sich in den online-Blaupausen⁹⁶. Alternativ ist der Betrieb per Mini-Solkraftwerk mit Akku und wenigen mW Einspeiseleistung möglich⁹⁷.

LoRaWAN™ Netzwerk

Draußen im Feld gibt es kein WLAN und somit auch kein Internet. Wie man seine Umweltdaten trotzdem kosten- und energieeffizient in die Cloud bekommt erklärt unsere online-Blaupause zum LoRaWAN™ Netzwerk⁹⁸. LoRa funkt auf der freien Frequenz des Babyfons und überbrückt Entfernungen von bis zu 30 km. Das tolle daran: Mit The Things Network (TTN) steht eine crowd-basierte Infrastruktur zur Verfügung, die jederzeit selbst erweitert werden kann.

⁹⁶ www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/klimaschutz-iot-stromboerse-und-co2

⁹⁷ <https://www.hackster.io/fablabeu/citizen-science-box-bd074d>

⁹⁸ www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/mitmachklima-lorawan-als-offenes-netz-zur-daseinsvorsorge

Mitnahme der Gesellschaft

Damit ergibt sich die Möglichkeit einer **gemeinwohlorientierten Digitalisierung**, bei der die Bürger- und Bürgerinnen nicht nur Konsumenten sind. Eigene Starkregenpegel sind z. B. in der Schule oder im Verein schnell gebaut und in die Infrastruktur integriert. Ein Beispiel ist der gemeinsam mit der Hochwasserhilfe des Deutschen Roten Kreuz in der Vulkaneifel installierte Pegel an der Brücke in Jünkerath⁹⁹. Auch im Saarland haben sich engagierte Schulen bereits erfolgreich an einem Gemeinwohlprojekt beteiligt.



Abb. 77: Ultraschallsensor, wasserdichtes Gehäuse, Solarzelle, LoRa-Netzwerk. IoT-Gerät als Starkregenpegel an der Kyll, programmiert mit der grafischen Oberfläche der IoT²-Werkstatt.

Künstliche Intelligenz zur Prognose

Die künstliche Intelligenz könnte aus den Beobachtungen des Gewässers und den Umweltdaten einer lokalen Wetterstation¹⁰⁰ lernen und ein einfaches Prognosemodell für den zu erwartenden Pegelstand generieren. Wie so ein Modell im Prinzip funktioniert, findet sich bereits in den online-Blaupausen der IoT²-Werkstatt¹⁰¹. Hier lassen sich die vielfältigen Simulationsmöglichkeiten von MatlabTM nutzen, die direkt im Thingspeak aktivierbar sind.

Also viel Potential für eine zukünftige, gemeinwohlorientierte KI.

⁹⁹ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/news-detailansicht/erste-hilfe-klimawandel>

¹⁰⁰ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/universeller-datenlogger>

¹⁰¹ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/klimavorhersage-prognosemodelle>

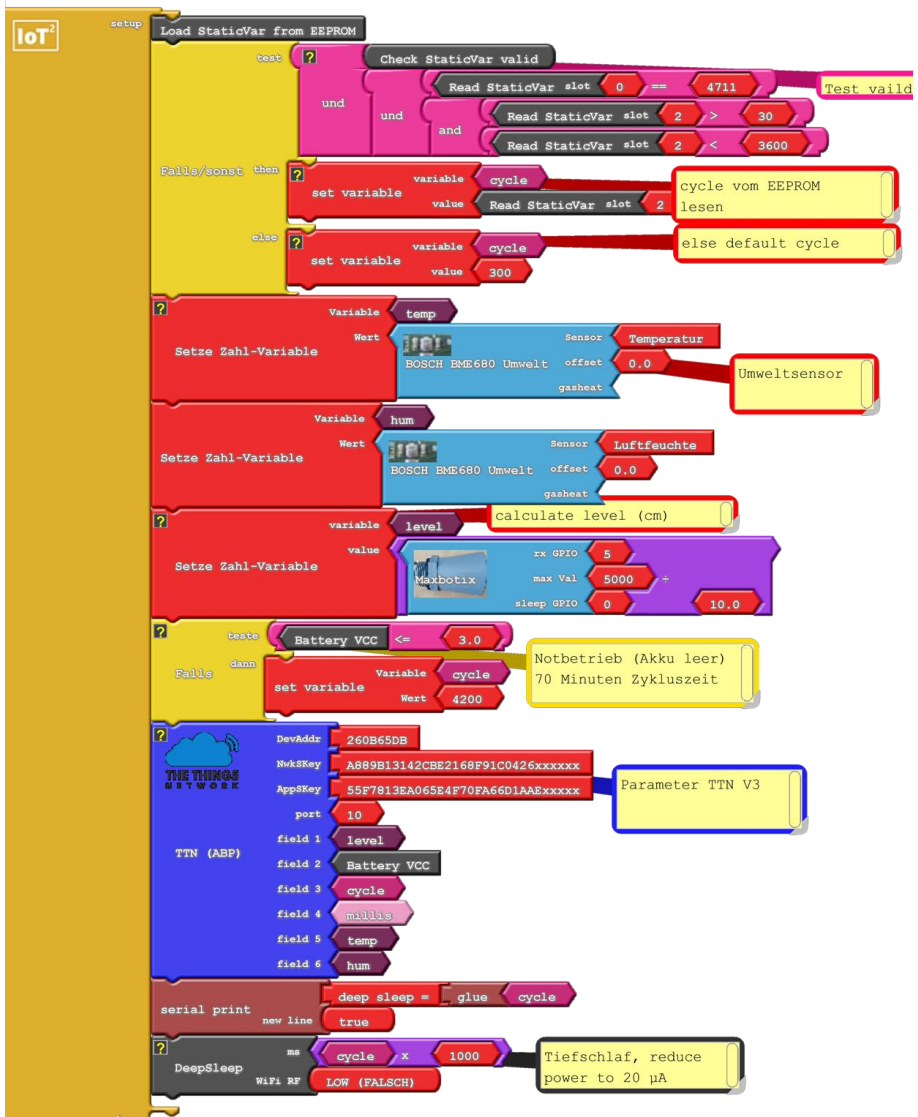


Abb. 78: Pegelmessung mit TTN-LoRaWAN und Nutzung des RTC-RAM zur Datenspeicherung z.B. in den Landkreisen St. Wendel (Saarland) und Vulkaneifel (Rheinland-Pfalz)¹⁰². (Datei: TTN-Pegel.abp).

¹⁰² <https://www.facebook.com/thwvtheley/posts/pfbid02onH61P97ZkZuDSHPkohqNStD1FqfuPPpqYckLCicfPF-NSejZxEVQoGjV6i37pkp> und <https://messpegel.de/>

8 Basis der Anwendungen - Algorithmisches Denken

In der Einleitung haben wir bemerkt:




Wer kochen und puzzeln kann, der wird auch unsere kleinen Programme verstehen und schnell eigene Erweiterungen entwickeln.

Diese Behauptung werden wir jetzt mit Leben füllen und veranlassen quasi einen Kochkurs für Anfänger. Profiköche können dieses Kapitel getrost überspringen. Die IoT²-Werkstatt bietet eine fertig eingerichtete und auf die Bedürfnisse eines Anfängers zugeschnittene Komplettküche zum Download¹⁰³. Wir müssen nichts weiter tun, als das zur Verfügung gestellte zip-File in ein Verzeichnis der lokalen Festplatte zu entpacken¹⁰⁴.

Im Unterverzeichnis `Arduino 1.8.19` befindet sich eine Datei namens `Arduino.exe`, die wir starten. Dann noch den Mikrocontroller über USB mit dem PC verbinden und los kann es gehen.

8.1 Die Küche: Arduino und IoT-Ardublock

Mit der Open-Source Entwicklungsumgebung steht eine in vielen Projekten bewährte Plattformtechnologie zur freien Verfügung. Softwareseitig bildet der GNU-C-Compiler den Kern einer einfach zu bedienenden Oberfläche. Schauen wir dazu in der folgenden Abbildung die einzelnen Komponenten der Entwicklungsumgebung an:

Der Editor dient der Programmeingabe in C/C++, einer besonders flexiblen und leistungsfähigen Beschreibungsmöglichkeit für Algorithmen. Textuelle Hochsprachen sind das professionelle Pendant zu unserer graphischen Programmierung. Im Bedienfeld der Arduino-Entwicklungsumgebung besteht die Möglichkeit, das C-Programm zu speichern , in Maschinencode zu übersetzen (überprüfen)  und schließlich auf die Zielhardware zu übertragen (hochladen, upload) . Um zur Laufzeit des Programmes interaktive Nutzereingriffe zu er-

¹⁰³ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/schnellstart-octopus-anschiessen-und-einrichten>

¹⁰⁴ Auf einen kurzen Pfadnamen achten, sonst funktioniert die Arduino DIE nicht richtig. Also nicht auf dem Desktop, besser `C:\IoTW\...`

möglichen, besitzt die Entwicklungsumgebung ein eingebautes Terminal-Programm (hier als Seriellmonitor bezeichnet, Ausgaben im Programm mit dem `serial.print`-Befehl). Etwaige Syntax-Fehler, Warnungen oder Probleme beim Hochladen werden im Statusbereich angezeigt.

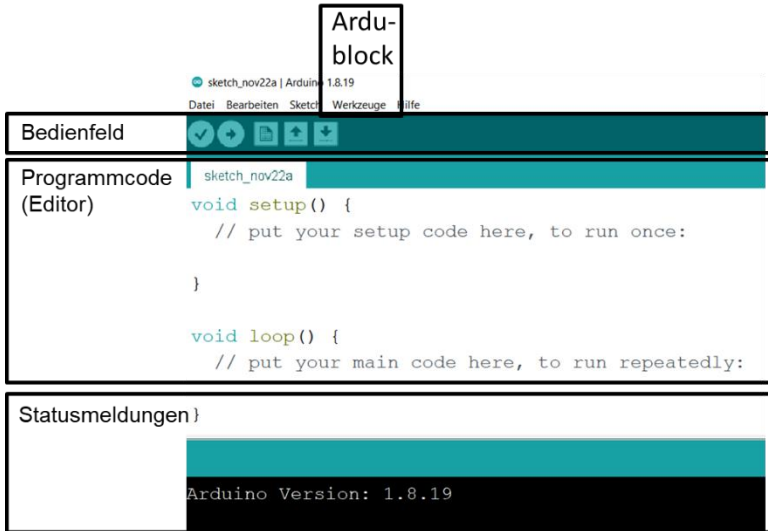


Abb. 79: Elemente der Arduino - IDE

Als Einsteiger überlassen wir diese Werkzeuge getrost den Sterneköchen und widmen uns stattdessen der Programmiersprache Ardublock. Dazu rufen wir unter „Werkzeuge“-> „Ardublock“ die graphische Oberfläche auf.

Dort erstellen wir ein erstes Programm, indem wir die entsprechenden Puzzleteile aus den Baukästen auf der linken Seite auswählen und in den bereits vorhandenen Programmgerüst des Hauptprogramms einrasten lassen.

Leider versteht ein Mikrocontroller keine Puzzlesprache. Das praktische an Algorithmen ist allerdings, dass die von uns erstellte grafische Beschreibung automatisiert in die Hochsprache C übersetzt werden kann. Die Korrespondenz zwischen Puzzleteil und Hochsprache hat dabei die IoT²-Werkstatt bereits im IoT-Ardublock hinterlegt. Das bedeutet, dass jedes Puzzleteil sein Hochsprachenäquivalent schon mitbringt, welches wir uns später einmal etwas genauer anschauen werden. Anschließend wird diese Hochsprache von einem C-Compiler (natürlich auch wieder automatisiert) in die eigentliche Sprache der digitalen Systeme, der Maschinensprache, übersetzt. Diese Maschinensprache wird in den Speicher des Mikrocontrollers übertragen und dort abgearbeitet.

Bevor es soweit ist, müssen wir unser IoT-Kit Octopus über ein USB-Kabel mit dem PC verbinden¹⁰⁵. Das Betriebssystem des PCs sollte das USB-Interface automatisch erkennen und einen virtuellen COM-Port vergeben. Die Nummer des COM-Ports merken wir uns. Haben wir die Windows-Meldung verpasst, so können wir den Port im Gerätemanager unter „Anschlüsse“ als „Silicon Labs CP210x“ identifizieren.

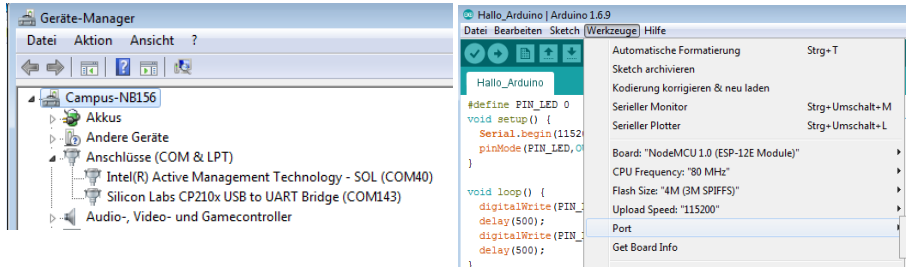


Abb. 80: Unser IoT-Kit ist an COM143 angeschlossen

Diesen COM-Port gilt es in der Arduino-Oberfläche unter „Werkzeuge“ -> „Port“ einzutragen. In der Regel ist dies der letzte Eintrag in der Liste¹⁰⁶.

8.2 Kochrezepte: die Algorithmen

Die Einführung einer neuen Programmiersprache erfolgt üblicherweise anhand eines einfachen Beispiels. Das Kultprogramm dafür ist das „Hallo Welt“, welches normalerweise einen kleinen Begrüßungstext ausgibt. Mangels eigenem Bildschirm beschränkt sich die Begrüßung bei unserem IoT-Kit auf das Ansteuern der Leuchtdioden auf dem Board. Anschließend werden wir die einzelnen Bausteine zur Algorithmenentwicklung kennenlernen. Nur Mut: Zu jedem (lösbaren) Problem gibt es unendlich viele Algorithmen, die es lösen.

8.2.1 Einfacher Octopus - Licht an

Bei einer Leuchtdiode (Light Emitting Diode, LED) handelt es sich um einen Aktor, d.h. ein Element, das die Umgebung beeinflusst (in diesem Fall durch aussenden von Photonen, Licht einer bestimmten Farbe). Wir greifen dazu auf der linken Seite unter der Rubrik **Anzeigen/Aktoren** das Puzzleteil Neopixel und lassen es im Hauptprogramm im oberen Bereich (Setup) einrasten.

¹⁰⁵ Achtung: Wir brauchen ein Datenkabel. Es gibt auch reine Ladekabel, die nicht funktionieren.

¹⁰⁶ Gibt es Probleme mit der automatischen Installation der USB-Treiber, dann müssen diese manuell installiert werden. Die Treiber finden sich unter https://www.silabs.com/documents/public/software/CP210x_VCP_Windows.zip

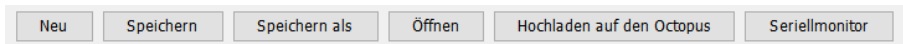


Abb. 81: Unser erstes Programm: Licht an

Alle dort stehenden Puzzleteile (**Befehle**) werden beim Programmstart einmalig ausgeführt. Sollen die Befehle später kontinuierlich ausgeführt werden, z.B. im Rahmen eines Endlosprogrammes, so müssen die Puzzleteile dagegen im unteren Bereich des Hauptprogrammes einrasten (Schleife).

Damit ist unser erstes Programm bereits fertig. Bei der Ausführung wird die rechte LED einmalig angeschaltet und leuchtet danach in grün.

Um das Programm auf das IoT-Kit zu übertragen drücken wir die oben über dem Ardublock-Programm befindliche Taste „Hochladen auf den Octopus“.



Damit wird der von Ardublock generierte C-Code in den Editor des Arduino kopiert und das Arduino-Programm sofort vom C-Compiler in Maschinencode übersetzt. Dieser Maschinencode wird anschließend über die USB-Verbindung auf das IoT-Kit geladen. Nach kurzem Uploadprozess befindet sich das Programm im Hauptspeicher des IoT-Kits und wird, wie von Geisterhand, sofort ausgeführt – die LED leuchtet.

Hurra, wir haben unser IoT-Kit erfolgreich programmiert!

Im Editor lässt sich sogar das automatisch generierte C-Programm bestaunen:

```
sketch nov03a
void setup(){ // Einmalige Initialisierung
  WiFi.forceSleepBegin(); // Wifi off
  pixels.begin(); //----- Initialisierung Neopixel
  delay(1);
  pixels.show();
  pixels.setPixelColor(0,0,0,0,0); // alle aus
  pixels.setPixelColor(1,0,0,0,0);
  pixels.show(); // und anzeigen

  pixels.setPixelColor(0,0,30,0,0);
  pixels.show();
}
```

Abb. 82: Das automatisch generierte C-Programm

8.2.2 Drei Gänge Menü - Sequenzen

Licht anschalten ist langweilig, dazu benötigen wir keinen Algorithmus. Machen wir es doch bunt: Diese Neopixel genannten Leuchtdioden können verschiedene Farben darstellen (rot, grün, blau, RGB). Programmieren wir ein drei Gänge Menü in Form einer Ampel und wechseln nacheinander die Farben rot, gelb und grün. Nichts einfacher - denken wir - brauchen wir doch nur drei Befehle hintereinander puzzeln, die unsere Neopixel entsprechend ansteuern.

Eine Aneinanderreihung von Befehlen wird **Befehlssequenz** genannt.

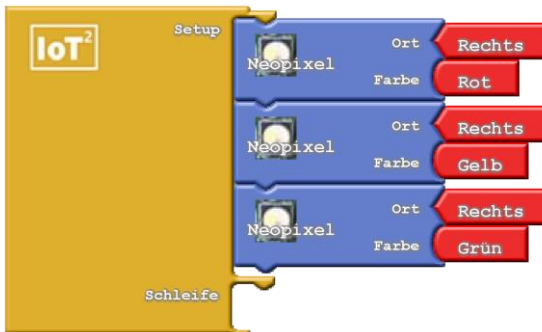


Abb. 83: Ein drei Gänge Menü: Die Verkehrsampel

Führen wir das Programm aus, so sehen wir aber nur ein grünes Dauerlicht.

Was ist passiert?

Unser aus den drei Anweisungen bestehendes Programm arbeitet korrekt, nur unser Auge ist nicht schnell genug, um die einzelnen Befehle zu verfolgen. Hier sehen wir förmlich die Stärke der digitalen Systeme:

Ein Mikrocontroller bearbeitet **Millionen Befehle pro Sekunde**.

Abhilfe schafft erst eine Zeitlupe, d.h. quasi ein erzwungener Genuss. Nach jedem Gang eine Wartezeit von 2 Sekunden (oder 2000 Millisekunden) und damit genug Zeit für das Auge, die neue Farbe auch wahrzunehmen. Mit dem Warte-Befehl nutzen wir dazu das erste Element aus unserem **Baukasten für Kontrollstrukturen**.



Abb. 84: Drei Gänge Menü mit Wartezeit

8.2.3 Mensa-Essen - Wiederholungen

Denken wir uns als nächstes Beispiel eine Ampelsteuerung aus, bei der die Ampelfolge rot, gelb, grün dreimal hintereinander abgearbeitet werden soll.

Mit unseren bisherigen Erfahrungen zum Thema Befehlssequenzen haben wir sofort eine Lösung parat. Einfach unseren bisherigen Block dreimal hintereinander kopieren¹⁰⁷.

Wenn wir das zweimal machen, hat unser Programm die gewünschte Funktionalität aber leider auch sehr viel von seiner Übersichtlichkeit verloren – es ist fast unlesbar geworden, wie die nächste Abbildung verdeutlicht.

Und welche Arbeit hätten wir bei 100 Ampeldurchläufen? Da muss es doch ein praktisches Tool geben, mit dem wir solche Wiederholungen durch Kopieren vermeiden können?

Bei einem Kochrezept sagen wir ja auch nicht: „Das erste Ei aufschlagen und in den Teig geben, danach das zweite Ei aufschlagen und in den Teig geben, danach das dritte Ei ...“.

¹⁰⁷ Ardublock bietet hierzu ein Werkzeug zum duplizieren: Gehen wir mit der Maus auf den Anfang unserer Sequenz (der Befehl für das rote Neopixel) und drücken wir die rechte Maustaste, so können wir mit dem Menüeintrag „klonen“ eine exakte Kopie erzeugen und an anderer Stelle (hinter dem Warte – Befehl der grünen Ampel) einfügen.



Abb. 85: Mensa-Essen: Alles wiederholt sich (Programmausschnitt)

Hier lautet die Formulierung besser: „Fünf Eier aufschlagen und in den Teig geben“. Und eine solche Wiederholungsanweisung finden wir tatsächlich im Baukasten für Kontrollstrukturen auf der linken Seite.

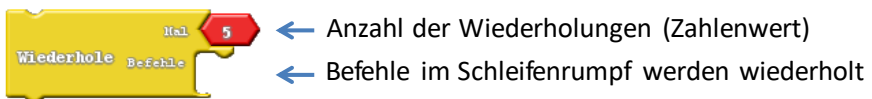


Abb. 86: Wiederholungsanweisung

Die innerhalb einer Wiederholungsanweisung (Schleifenrumpf) stehenden Befehle werden bei der Programmausführung entsprechend oft wiederholt.

Die Zahl im roten Karo am Anfang der Schleife gibt die Anzahl der Schleifendurchläufe an.

Zahlen werden durch ein dreieckiges Schloss/Schlüssel-Prinzip kodiert.

Nutzen wir diese Wiederholungsanweisung, so sieht unser Programm gleich viel übersichtlicher aus.



Abb. 87: Wiederholung mit Zählschleife

Bei Wiederholungen unterscheiden wir verschiedene Strategien:

Die **Zählschleife** arbeitet einen Befehlsblock entsprechend der vorgegebenen Anzahl an Durchläufen mehrmals ab¹⁰⁸.

Aber nicht immer kennen wir schon vorher die Anzahl der benötigten Wiederholungen. Beispiel aus der Küche ist die notwendige Anzahl von Rotationen des Mixers, bis die Schlagsahne steif geschlagen ist. Hier heißt es im Kochrezept: „Die Sahne solange schlagen, bis die gewünschte Konsistenz erreicht ist“.

Die **Solange – Schleife** testet eine Bedingung und wiederholt die Befehle solange, wie diese Bedingung erfüllt ist (bedingte Wiederholung, while).

¹⁰⁸ Auf Wunsch können die Schleifendurchläufe auch gleich mitgezählt werden. Ein entsprechendes Beispiel zur Zählschleife lernen wir im nächsten Kapitel kennen.

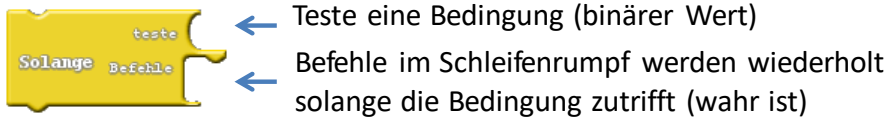


Abb. 88: Bedingte Wiederholung (wiederhole solange)

Bei dieser Bedingung handelt es sich um eine binäre Ja/Nein Entscheidung. Der Test kann also nur WAHR (Bedingung erfüllt) oder FALSCH (Bedingung nicht erfüllt) zurückliefern.

Binäre Werte werden mit rundem Schloss/Schlüssel gekennzeichnet.

Folgendes Programm wiederholt unsere Ampelphasen endlos¹⁰⁹.



Abb. 89: Endlosschleife mit bedingter Wiederholung

Wir erhalten diese Endlosschleife dadurch, dass wir bei der zu testenden Bedingung bewusst immer ein WAHR zurückliefern. Damit ist der Test immer erfolgreich, die Schleife wird nie beendet. Das Puzzleteil für die Konstante WAHR befindet sich im Baukasten für **Variablen/Konstanten**.

Bei der Arduino-Plattform handelt es sich um ein sogenanntes Eingebettetes System, also um einen kleinen Computer, der typischerweise in andere Geräte

¹⁰⁹ Um unbewusste Endlosschleifen zu vermeiden, sollte sich die zu testende Bedingung durch die in der Schleife abgearbeiteten Befehle oder externe Ereignisse (z.B. Tastendruck) auch verändern.

eingebaut wird. Anders als beim PC gibt es kein Betriebssystem, das nach Beendigung des Programmes wieder die Oberhand gewinnt und ggf. den Leerlaufprozess startet. Unser System läuft immer endlos weiter. Dazu hat es eine automatische Endlosschleife eingebaut. Alle Befehle, die im unteren Befehlsblock (Schleife) des Hauptprogrammes eingefügt werden, laufen von sich aus schon in einer Endlosschleife. Wir können uns also den Solange-Block sparen.



Abb. 90: Endlosschleife im Arduino-Hauptprogramm

Mit den vorgestellten Kontrollstrukturen für Schleifen hat unser Programm viel an Struktur gewonnen. Es ist kürzer und wenn wir die Ampelphasen jetzt auf 5 Sekunden verändern wollen, dann müssen wir das nicht an neun Stellen im Programm gleichzeitig machen. Jetzt reichen uns die drei Warte-Befehle innerhalb des Schleifenblocks. Glücklicherweise hatten wir auch nur drei Wiederholungen vorgesehen, bei 100 Wiederholungen wäre der Aufwand mit 300 Änderungen sonst fast nicht zu schaffen. Insgesamt wird das Programm durch diese strukturierte Vorgehensweise deutlich einfacher les- und veränderbar.

8.2.4 Vorratsgefäße für Daten - Variablen

Bei Wiederholungen ist es sicher sinnvoll, gleich mitzuzählen, wie oft wir den jeweiligen Schleifenblock schon durchlaufen haben. Dazu verwenden wir aus dem Baukasten Kontrollstrukturen eine Zählschleife mit Variablen.

Eine **Variable** ist eine Speicherzelle, also ein Vorratsgefäß für Daten oder ein Zettel um sich bestimmte Informationen zu merken.

Hier wird die Variable am Anfang des Schleifenblocks angelegt (deklariert) und mit der Zahl 1 initialisiert. In diesem Fall handelt es sich um eine Zahl-Variable, was wir am dreieckigen Schlüssel des Puzzleteils erkennen. Diese Zahl-Variable wird nun mit jedem Durchlauf durch die Schleife um eins erhöht, bis die angegebene Schleifenanzahl erreicht ist.

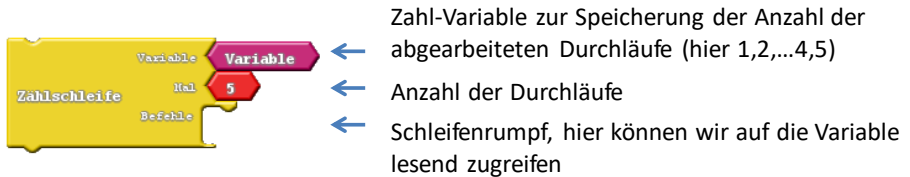


Abb. 91: Zählschleife mit Variable

In einer Variablen können wir uns Zahlen nicht nur merken, sondern diese auch zur Rechnung benutzen. Im **Baukasten für Mathematische Operationen** finden wir z. B. die Multiplikation von zwei Zahlen. Das Ergebnis des Produktes ist wieder eine Zahl, die wiederum in den dreieckigen Ausschnitt (Schloss) eines Puzzleteils passt. Nur wenn Schloss und Schlüssel zusammenpassen, ist die Operation erlaubt und damit syntaktisch korrekt.

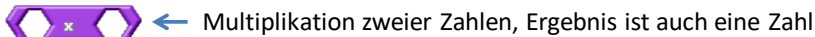


Abb. 92: Mathematische Operation: Multiplikation

Um diesen Mechanismus gleich praktisch zu erforschen, werden wir unsere Ampelphasen in der nächsten Abbildung mit jedem Durchlauf um eine Sekunde verlängern. Die entsprechenden mathematischen Operationen sind einfach per Puzzleteil in die Warte-Anweisung zu integrieren.

Aber nicht nur beim Zählen von Schleifendurchläufen benötigen wir diese Daten-Gefäße. Auch Zwischenrechnungen lassen sich so praktisch aufbewahren und später wieder nutzen. Ardublock spendiert diesen immens wichtigen Programmelementen deshalb einen eigenen **Baukasten für Variablen/Konstanten**.

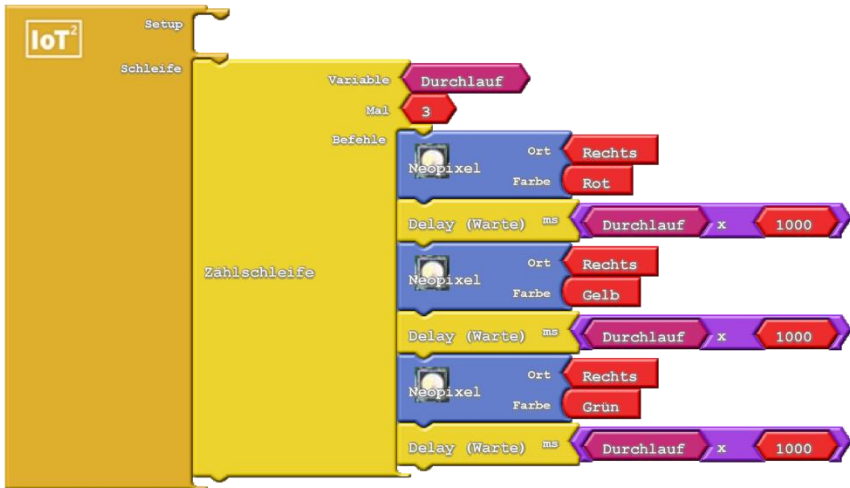


Abb. 93: Die Ampelphasen dauern jetzt mit jedem Durchlauf länger. Gezählt wird in der Variable

Wie funktionieren diese Variablen genau?

Wie auch in der Küche, müssen wir das Vorratsgefäß vor der ersten Nutzung aus dem Schrank holen und auf den Tisch stellen. Und damit wir später bei vielen benutzten Gefäßen nicht den Überblick verlieren, geben wir jedem Gefäß vor der ersten Benutzung einen eindeutigen Namen (den sogenannten Variablen-**Bezeichner**). Im obigen Beispiel ist das die Bezeichnung „Durchlauf“.

Bei diesem, auch Deklaration genannten, Vorgang reserviert der Compiler den entsprechenden Platz (das Gefäßvolumen) im Hauptspeicher, um unsere Daten später dort sicher abzulegen.

Die Bezeichner müssen wir in unseren Programmen natürlich immer eindeutig wählen, denn wie im richtigen Leben ist es ansonsten unmöglich, zwei gleiche Gefäße (gleicher Name) beim Kochen auseinander zu halten.

Für **Bezeichner** gibt es Regeln: Jeder Name muss mit einem Buchstaben beginnen, keine Leerzeichen, keine Umlaute, keine Sonderzeichen.

Im Ardublock wird eine Variable beim ersten Setzen (füllen mit Inhalten) auch gleich deklariert (implizite Deklaration).

Beim Setzen der Variablen wird der Behälter mit einem Inhalt (Wert) gefüllt, der Informatiker spricht auch von einer **Wertzuweisung**.

Erst wenn wir der Variablen einen Wert zugewiesen haben, können wir diesen auch in späteren Rechnungen und Abfragen nutzen.



Abb. 94: Variablen: Wertzuweisung

Im Baukasten liegen deshalb für jeden Typ zwei verschiedene Puzzleteile: Eines für die Zuweisung und eines für den lesenden Zugriff.

Wollen wir **lesend auf den Wert** der Variablen **zugreifen**, so wählen wir einfach das entsprechende Schlosssymbol mit dem Namen der Variablen.

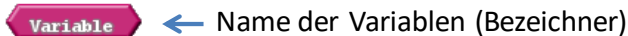


Abb. 95: Variablen: Lesezugriff liefert den Inhalt

Zusammenfassend ist damit klar:

Zu einer Variablen gehören drei Dinge: Der Name (**Bezeichner**), der Behältertyp (**Datentyp**) und der Inhalt (**Wert**).

Der **Datentyp** wird durch die Wahl des Schlosses/Schlüssels bestimmt. Zahlen¹¹⁰ besitzen ein dreieckiges Symbol. Hier gibt es den ganzzahligen Datentyp (**integer**) und den Datentyp für Kommazahlen (**float**). In unserer Programmierumgebung unterscheiden sich diese durch ihre Farbe (integer = helles Violett, float = dunkles Violett). Binäre Variablen, in denen wir uns nur zwei Zustände (Wahr/Falsch, High/Low, An/Aus) merken können, werden durch ein rundes Schloss-/Schlüssel-Symbol markiert (**boolean**). Der dritte Datentyp mit dem Schloss/Schlüssel in Form einer rechteckigen Nase findet Verwendung zur Speicherung von Texten (**string**).

Erst dieses geniale Schloss/Schlüssel-Prinzip entlastet uns von vielen syntaktischen Überlegungen und macht das Programmieren so einfach wie das Puzzeln. Denn natürlich dürfen wir für verschiedene Operationen nur die Daten eines erlaubten Typs verwenden. Niemand würde wohl beim Kochen auf die Idee kommen, die Brötchen mit dem Mixer aufzuschneiden.

¹¹⁰ Float wählen wir nur, wenn es sich wirklich um Kommazahlen handelt. Wie auch bei uns Menschen, ist die Rechnung mit Kommazahlen auf für den Mikrocontroller aufwändiger, als die Rechnung mit ganzen Zahlen. Der PC am Schreibtisch besitzt deshalb eine extra Baugruppe (Floating-Point-Unit) auf der CPU.

Neben den Variablen enthält der Baukasten auch **Konstanten**, deren Wert sich während der Ausführung nicht ändert. Beispiele sind die Binärkonstante WAHR in der bedingten Wiederholung oder die Zahl 3 in der Zählschleife.



Abb. 96: Konstanten: Schloss/Schlüssel-Symbol bestimmt Datentyp

8.2.5 Schmeckt es überhaupt? - Fallunterscheidung

Bei den Wiederholungen haben wir gesehen, wie Kontrollstrukturen den Programmablauf beeinflussen. Ein weiteres wichtiges Element aus diesem zentralen Baukasten ist die Fallunterscheidung nach dem „Wenn dann“ – Prinzip.

Eine **Fallunterscheidung** testet eine Bedingung und führt die angegebenen Befehle nur dann aus, wenn diese Bedingung auch zutrifft.

Nach dem Motto „Wir essen unseren Teller nur auf, wenn es uns auch schmeckt“. Im Programm können wir das beispielsweise so umsetzen, dass wir die gelbe Ampelphase nur beim ersten Durchlauf auch wirklich durchführen, in allen anderen Durchläufen lassen wir diese Phase zukünftig einfach mal weg.

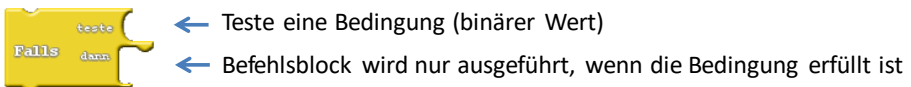


Abb. 97: Bedingte Ausführung (Fallunterscheidung, if ... then ...)

Was uns noch fehlt, ist die Formulierung der Bedingung für unseren Test. Da diese Bedingung nur die zwei Zustände WAHR/FALSCH annehmen kann, wird dafür beim Falls-Puzzleteil das binäre Schloss/Schlüssel-Symbol in Form einer Rundung verwendet. In unserem Fall wollen wir den Inhalt unserer Zählvariable für den Durchlauf abfragen und nur dann in die Befehle für das gelbe Signal verzweigen, wenn der Inhalt der Variable identisch gleich 1 ist. Wir suchen dazu jetzt ein Puzzleteil, welches zwei Zahlen vergleicht und bei Gleichheit einen Wahrheitswert WAHR zurückgibt. Entsprechende Vergleichsoperatoren finden wir im **Baukasten für Logische Operatoren**.



Abb. 98: Logische Vergleichsoperationen: Zahlenvergleich

Sind die zwei verglichenen Zahlen verschieden, so liefert uns die Vergleichsoperation `==` ein `FALSCH` zurück. Neben dem (identisch) gleich `==` gibt es dort auch den Test auf größer, kleiner oder ungleich.

Damit haben wir alle Komponenten zusammen, um unsere Ampel nur im ersten Durchlauf gelb blinken zu lassen:

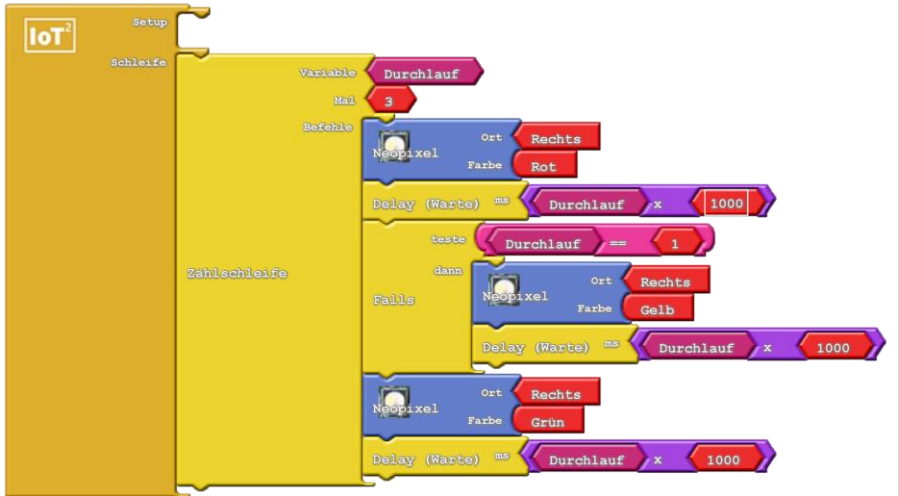


Abb. 99: Zählschleife mit Fallunterscheidung

Oftmals wollen wir in Abhängigkeit einer Bedingung zwei verschiedene Befehle ausführen. Auch dafür gibt es mit dem Falls/sonst- Befehl eine entsprechende Kontrollstruktur.

Eine **Fallunterscheidung mit Alternative** testet eine Bedingung und führt die im ersten Block angegebenen Befehle nur dann aus, wenn diese Bedingung zutrifft. Andernfalls werden die im zweiten Block aufgeführten Befehle abgearbeitet.

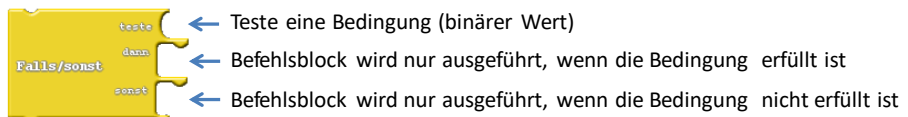


Abb. 100: Fallunterscheidung mit Alternative (if ... then ... else ...)

Das folgende Programm demonstriert den Einsatz: Im ersten Durchlauf sehen wir die normalen rot/gelb/grün Phasen. Bei allen anderen Durchläufen wird gelb durch blau ersetzt.

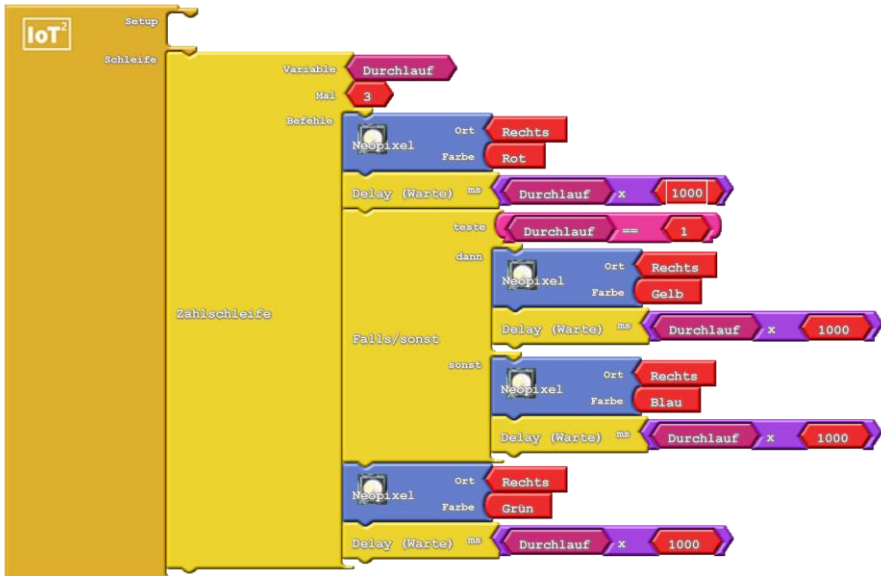


Abb. 101: Fallunterscheidung mit Alternative: Es blinkt nur einmal gelb, sonst blau

Wenn wir genau hinschauen, dann ist die Wartezeit sowohl im gelben Fall, als auch im blauen Fall identisch und wird immer ausgeführt. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, kann man diesen Warte-Befehl also auch aus der Fallunterscheidung herausnehmen und stattdessen dahinter einfügen.

8.2.6 Eis schmeckt nur bei Sonnenschein – Logische Verknüpfung

Unsere Kontrollstrukturen für die Fallunterscheidung oder die bedingte Wiederholung testen bestimmte Bedingungen und entscheiden damit über den aktuellen Programmablauf. Damit bilden sie das Rückgrat unseres Algorithmus. Wie in der realen Welt können Entscheidungen aber häufig von mehreren Faktoren abhängig sein: „Das Eis schmeckt uns am besten, wenn es sich um die richtige Sorte handelt **und** gleichzeitig die Sonne scheint“.

Wir brauchen also eine Verknüpfung, die Einzelentscheidungen zu einem neuen Wahrheitswert verknüpft.

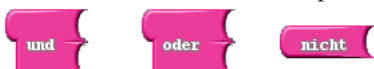


Abb. 102: Logische Verknüpfungen

Beim Eisbeispiel ist das die UND-Verknüpfung, deren Ergebnis nur dann WAHR ist, wenn auch beide Einzelentscheidungen gleichzeitig WAHR sind. Eine weitere logische Verknüpfung ist die ODER-Verknüpfung, bei der es ausreicht, wenn eine der Einzelentscheidungen zutrifft. Beispiel „Wir gehen nicht zur Schule, wenn wir Ferien haben, **oder** wenn wir krank sind“.

Die letzte im **Baukasten Logische Operatoren** zu findende Operation negiert das Ergebnis einer binären Operation. Aus WAHR wird FALSCH und umgekehrt.

8.2.7 Grundrezepte - Unterprogramme

Beim Ampel-Beispiel haben wir gesehen, dass unser Neopixel immer zwingend eine bestimmte Zeit angeschaltet sein muss, damit das Auge dieses Signal überhaupt wahrnimmt. Der Befehl zur Farbansteuerung und der Wartebefehl bilden praktisch eine Einheit, die wir an vielen Stellen gemeinsam verwenden werden. Wenn wir solche Einheiten häufiger im Programm benötigen, dann bietet es sich an, diesen Block zu einem Unterprogramm zu machen.

Aus unserer Küchensicht ist das die Zusammenfassung eines immer wiederkehrenden Ablaufs, beispielsweise der Erstellung eines Grundteigs für einen Hefekuchen. Dieser Grundteig ist sowohl beim Mohnkuchen, als auch beim Apfelstrudel oder dem Rosinenzopf genau gleich, braucht also nur einmal im Kochbuch beschrieben werden.

Ein Unterprogramm ist damit die Zusammenfassung von Befehlen zu einem neuen Befehl, der dann an verschiedenen Stellen im Programm verwendet werden kann. Hierzu bedarf es wieder zweier verschiedener Puzzleteile:

Die **Unterprogrammdeklaration** erstellt das Unterprogramm, definiert die dabei abzuarbeitenden Befehle und vergibt einen eindeutigen Namen (Bezeichner).

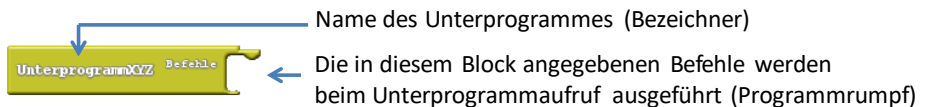


Abb. 103: Unterprogrammdeklaration

Auch hier gilt: Jeder Name muss mit einem Buchstaben beginnen, keine Leerzeichen, keine Umlaute, keine Sonderzeichen.

Im Hauptprogramm können wir das Unterprogramm dann an beliebiger Stelle durch Angabe des Namens aufrufen.

Beim **Unterprogrammaufruf** werden die im Unterprogramm angegebenen Befehle ausgeführt. Nach Abarbeitung springt das Programm wieder in den aufrufenden Programmteil zurück.

UnterprogrammXYZ

Abb. 104: Unterprogrammaufruf

Wir verdeutlichen die Funktion anhand unseres konkreten Ampel-Beispiels. Dazu erzeugen wir jeweils ein Unterprogramm für das rote, gelbe und grüne Signal, welches auch die Wartezeit enthält. Im Hauptprogramm werden diese dann nacheinander aufgerufen.

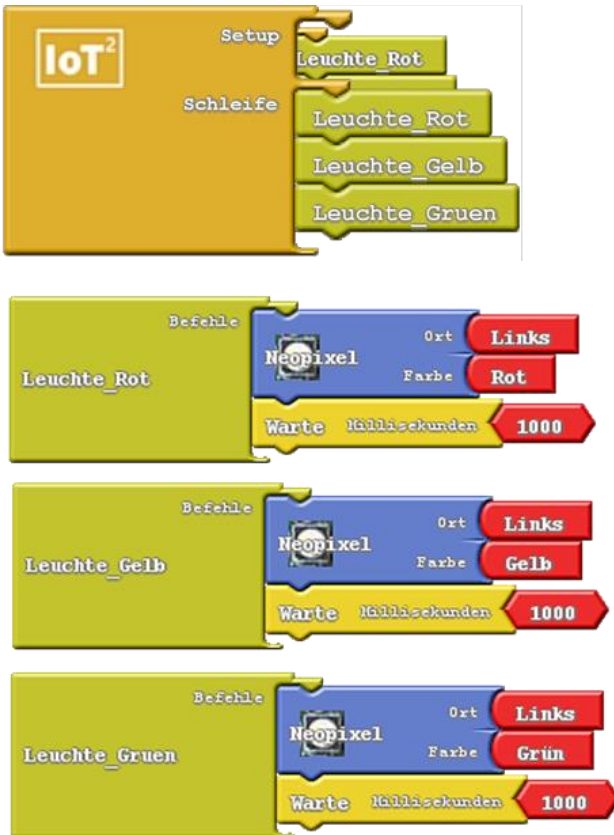


Abb. 105: Das Hauptprogramm ruft Unterprogramme auf

8.2.8 So kocht der Experte - Prozedurale Sprachen

Natürlich kann ein Unterprogramm auch seinerseits wieder ein Unterprogramm aufrufen, dabei spricht man von geschachtelten Unterprogrammen. Diese Funktionalität erlaubt es uns, unsere Programme modular aufzubauen, zu testen und ggf. auch Unterprogramme aus fremder Quelle einzubinden (**Bibliotheken**). Besitzen Unterprogramme die Möglichkeit, Eingangsdaten hineinzustecken und Ergebnisse herauszuholen, spricht man von **Funktionen**.

Alle in unseren weiteren Baukästen bereitgestellten Puzzleteile (z.B. zum Internet der Dinge) sind eigentlich nichts anderes, als von der IoT²-Werkstatt bereitgestellte Bibliotheksfunktionen mit besonderen Aufgaben.

Für den Anwender bleiben die Befehlsfolgen innerhalb des Puzzleteils versteckt (Black-Box-Prinzip). Erst der Blick in den erzeugten C-Code offenbart hier die komplexen Details. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass fortgeschrittene Nutzer die von uns bereitgestellten IoT²-Funktionen gern als Entwurfsmuster für eigene Ideen nutzen können. Die individuelle Verfeinerung der Speisen findet dann durch Modifikation des C-Programmes statt.

8.3 Ein Fertiggericht - Blink-Nachricht im Morsecode

Blinkende Leuchtdioden eignen sich vorzüglich zur Übertragung von Nachrichten. Jeder kennt den Morse-Code zur Übertragung von Buchstaben. Der Morse-Code besteht aus den Symbolen: Punkt (.), Strich (-) und einer Pause verschiedener Länge.

Jeder Buchstabe wiederum wird durch eine eindeutige Folge dieser Symbole repräsentiert. Der Buchstabe „S“ beispielsweise durch drei hinereinander übertragene Punkte (kurze Blinker), der Buchstabe „O“ durch drei hintereinander übertragene Striche (lange Blinker). Das bekannte Seenotrufzeichen „SOS“ hat damit folgenden Aufbau:

S O S
 ● ● ● ■ ■ ■ ● ● ●

Abb. 106: SOS im Morse-Code

Wir wollen jetzt ein Programm schreiben, welches kontinuierlich „SOS“ funkt. Später wäre auch die Erweiterung um weitere Buchstabenfolgen (beliebige Nachrichten) denkbar. Beim Geocaching kann solch ein Blinker vielleicht demnächst die Koordinaten des nächsten Verstärkungskecks anzeigen. Zur Lösung dieses Problems teilen wir unseren Algorithmus sinnvoll in Unterprogramme auf.

Je ein Unterprogramm für Strich und Punkt, die wiederum von den Unterprogrammen für einzelne Buchstaben genutzt werden. Das folgende Puzzle verdeutlicht diesen Algorithmus zur Übertagung der klassischen SOS-Nachricht in einer Endlosschleife.



Abb. 107: Ein komplexes Programm funkt SOS



9 Anhang

9.1 Übersicht über Sensoren und Aktoren der IoT²-Werkstatt.

- Aktuelle Informationen und Bezugsquellen finden sich in der Beschreibung zum MINT-Koffer¹¹¹.

9.2 Octopus und Schaltplan

- Online Informationen hier¹¹².
- Bezugsquelle¹¹³

9.3 Weitere Ressourcen zur IoT²-Werkstatt

- Stadtklima: Blöckchen für Luftdaten.info, opensense.map¹¹⁴
- Internet of Everything: MQTT, ITTT und Konsumergeräte, Alexa steuert den Octopus¹¹⁵
- Ökosysteme beobachten: Klimavorhersage durch Eichhörnchen?¹¹⁶
- Privatsphäre: Müssen wir uns beim Wohnen und Leben zuschauen lassen?¹¹⁷
- Künstliche Intelligenz: Elektronische Nase und andere Anwendungen¹¹⁸.
- Chemie/Physik: Absorptionsspektrometer selbst gebaut¹¹⁹
- Lernstrecke der Informatik Profilschulen in RLP¹²⁰

¹¹¹ https://www.umwelt-campus.de/fileadmin/Umwelt-Campus/IoT-Werkstatt/octopus/IoT-IPS-Koffer_Beschreibung_V10.pdf

¹¹² <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/community>

¹¹³ <https://www.tindie.com/products/fablab/iot-octopus-badge-for-iot-evaluation/>

¹¹⁴ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/internet-of-everything-octopus-trifft-ifttt-mqtt-und-alexa-im-smart-home>

¹¹⁶ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/klimafolgen-oekosysteme>

¹¹⁷ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/privatsphaere-mit-ueberwachung-das-klima-retten>

¹¹⁸ <https://cosy.umwelt-campus.de/>

¹¹⁹ <https://www.umwelt-campus.de/iot-werkstatt/tutorials/mint-absorptions-spektrometer>

¹²⁰ <https://www.umwelt-campus.de/forschung/projekte/iot-werkstatt/schule>

9.4 Über die Autoren

Klaus-Uwe Gollmer ist Professor für Informatik am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier und engagiert sich u. a. bei den Scientists for Future. Guido Burger, Ingenieur und Spezialist für IoT in der Logistik, ist einer der bekanntesten Maker Deutschlands.



Guido, Klaus und Amelie am Stand auf der Makerfaire 2022 in Hannover

Impressum

Texte: Klaus-Uwe Gollmer, Guido Burger

Fotos: wenn nicht anders gekennzeichnet:
G. Burger, K.-U. Gollmer

Titelfotos: Jannik Scheer, UCB

Klaus-Uwe Gollmer, UCB
Campusallee 9914
55768 Hoppstädten-Weiersbach
k.gollmer@umwelt-campus.de

Auflage 2023, 27.02.23

