

# Hydroponikanlage mit ESP32-Steuerung

Auch mit wenig Platz lassen sich Salat und Gemüse selbst anziehen und automatisch im geschlossenen Kreislauf bewässern. Mit Teilen aus dem Baumarkt und einem ESP32 als Steuerung ist diese Anlage schnell gebaut und individuell anpassbar.

von Florian Grimm





**M**aker, die trotz wenig Platz von selbst angebautem Gemüse und eigenen Kräutern träumen, sollten sich einen vertikalen Aufbau an der Wand ansehen. Mit einer Photovoltaikzelle lässt sich das System autark mit Energie versorgen, während ein Anschluss ans Haus-WLAN Kontrollmöglichkeiten bietet. Zum Bau so einer Hydrokulturanlage reichen einfache Baumarktmaterialien.

## Grundprinzip Hydrokultur

Bei der Gestaltung des Systems orientiert man sich zunächst an der Natur: Pflanzen brauchen nur Licht, Luft, Wasser und einige Nährstoffe, damit sie wachsen und Biomasse aufbauen. Als Nebeneffekt sprießen manchmal Früchte, Blätter oder Samen, die wir essen können. Klassischerweise geschieht das Wachstum in der Erde. Sie gibt den Wurzeln eine Stützstruktur, speichert Feuchtigkeit und versorgt die Pflanze mithilfe von Mikroorganismen mit Nährstoffen. Da dieses System nicht geschlossen ist, kann allerdings Wasser in den Boden versickern oder Nährstoffe auswaschen, außerdem ist der Anbau in Erde sehr platzintensiv.

Hydrokultur versucht daher, einen geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreislauf herzustellen. Hier wachsen die Pflanzen in einem anorganischen Substrat wie Kies oder Blähton, das vor allem als Stützstruktur dient. Die Versorgung mit Nährstoffen und Wasser erfolgt über eine Nährlösung, die die Wurzeln umspült. Die Nährstoffe werden lediglich in der benötigten Menge eingebracht und gelangen nicht in die Umwelt. Da das Wasser nicht versickert, ist auch der Wasserbedarf erheblich niedriger. Lediglich der Teil, der durch Verdunstung und Pflanzenwachstum entzogen wird, muss ersetzt werden. Mithilfe künstlicher Beleuchtung und Beheizung kann der Pflanzenanbau so unter Extrembedingungen erfolgen, wie auf der Internationalen Raumstation oder auf der Neumayer-Station in der Antarktis.

## Aufbau des Projektes

Als Grundstruktur für mein Projekt auf dem heimischen Balkon nutze ich die bewährten HT-Rohre aus dem Baumarkt. Diese sind günstig, überall verfügbar, individuell konfigurierbar, gut zu bearbeiten und wasserdicht. Viele Zubehörteile wie Deckel, Übergänge, Winkel und Wandhalterungen gibt es für wenig Geld von der Stange. Die Struktur habe ich mit verschiedenen Teilen aus dem 3D-Drucker ergänzt.

Die Rohre bilden ein wasserleitendes Grundgerüst. Aus einem Vorratstank (Eurobox aus dem Baumarkt) pumpt eine kleine Pumpe die Nährlösung in das oberste Rohr, von dort aus fließt sie an den Pflanzen vorbei in einen Sandfilter, der ebenfalls in einem HT-

## Kurzinfo

- » Grundgerüst aus HT-Rohren bauen
- » Steuerung mit ESP32
- » Google Charts in Homepage einbinden

### Checkliste



#### Zeitaufwand:

ca. drei Tage (ohne Druckzeit)



#### Kosten:

300 Euro (ohne autarke Stromversorgung nur 220 Euro)



#### Maschinen:

3D-Drucker, Lochsäge, Forstnerbohrer



#### Löten:

einfache Lötarbeiten



#### Programmieren:

Arduino IDE

### Material

» Die Materialliste finden Sie online unter dem Kurzlink.

### Mehr zum Thema

- » Florian Schäffer, Umweltsensoren für Mikrocontroller, Make 1/19, S. 8
- » Elke Schick, Alleskönner Abflussrohr, Make 3/18, S. 76
- » Make: ESP32 Special, 2019

Alles zum Artikel  
im Web unter  
[make-magazin.de/xj99](https://make-magazin.de/xj99)

Rohr untergebracht ist. Vom Filter aus wird die Flüssigkeit schließlich zurück in den Tank geleitet. Die Energieversorgung erfolgt autark über eine Solarzelle und eine Autobatterie. Die Steuerung lasse ich zusammen mit einem Webserver über einen ESP32 laufen, der auch Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren auswertet.

Prinzipiell nimmt die Anlage durch die wandhängende Montage wenig Platz in Anspruch. Der Standort sollte jedoch genau be-

dacht und gegebenenfalls optimiert werden. Denn auch wenn Pflanzen Licht brauchen, sollte pralle Sonne vermieden werden. Sonst verdunstet über die Pflanzen zuviel Wasser und in heißen Sommern verbrennen die Blätter. Gerade junge Pflanzen sind direkt nach dem Ausbringen in die Hydrokultur sehr sensibel. Ein weiterer Nachteil ist, dass bei zu hohen Temperaturen die Nährlösung überhitzt und ihre Sauerstoffsättigung sinkt. Ebenso sollte der Standort nach Möglichkeit wind-



Bild: NASA

Hydrokulturexperimente in der Schwerelosigkeit auf der Internationalen Raumstation



Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Forscher Paul Zabel mit der ersten Salaternte der Antarktis

und wettergeschützt sein. In der Übergangszeit im Frühjahr muss man ansonsten bei Starkregen oder Hagel mit Beschädigungen der Pflanzen rechnen. Wer nur beschränkte Aufstellmöglichkeiten hat, sollte beispielsweise mit einem Sonnensegel den Schutz gegen die Elemente optimieren.

## Hardware

Zu den 3D-gedruckten Teilen gehören Wasserstandsbegrenzer und Pflanztöpfe. Optional sind ein Gehäuse für die Unterbringung der Hauptplatine und die Verschlüsse für die Griffe der Eurobox, in denen ich eine Konnektor-

platine für die Pumpe untergebracht habe. Schließlich empfehle ich ein paar Deckel zu drucken, mit denen nicht benötigte Pflanzöffnungen verschlossen werden. Es gibt sie in zwei Varianten: Eine passt auf die Pflanztröge, die andere kann auf das HT-Rohr gesteckt werden. Die 3D-Druckteile finden Sie über den Kurzlink zum Download, ebenso wie eine Materialliste mit den jeweiligen Typenbezeichnungen der Baumarktteile. Ich habe alles mit PLA gedruckt und auch nach zwei Jahren Außeneinsatz keine Probleme.

Eine Anpassung des Aufbaus an den eigenen Balkon ist dank der breiten Auswahl an HT-Rohren flexibel möglich. Für den Anfang empfehle ich eine überschaubare Anzahl an Windungen und Pflanzplätzen. Die Rohre habe ich einfach zusammengesteckt – sie haben integrierte Dichtungen und können mit einer Handsäge passend gekürzt werden. Übereinanderliegende Segmente werden durch vier 45°-Winkel-Rohrstücke verbunden. Zur Planung der Bohrungen für die Pflanztröge eignet sich die aufgedruckte Markierung. Ich habe im Abstand von 15 cm erst vorgebohrt und die Löcher dann mit einer 45mm Lochsäge langsam und vorsichtig eingebracht. Die Markierung kann dann für eine schönere Optik mit verdünntem Aceton entfernt werden.

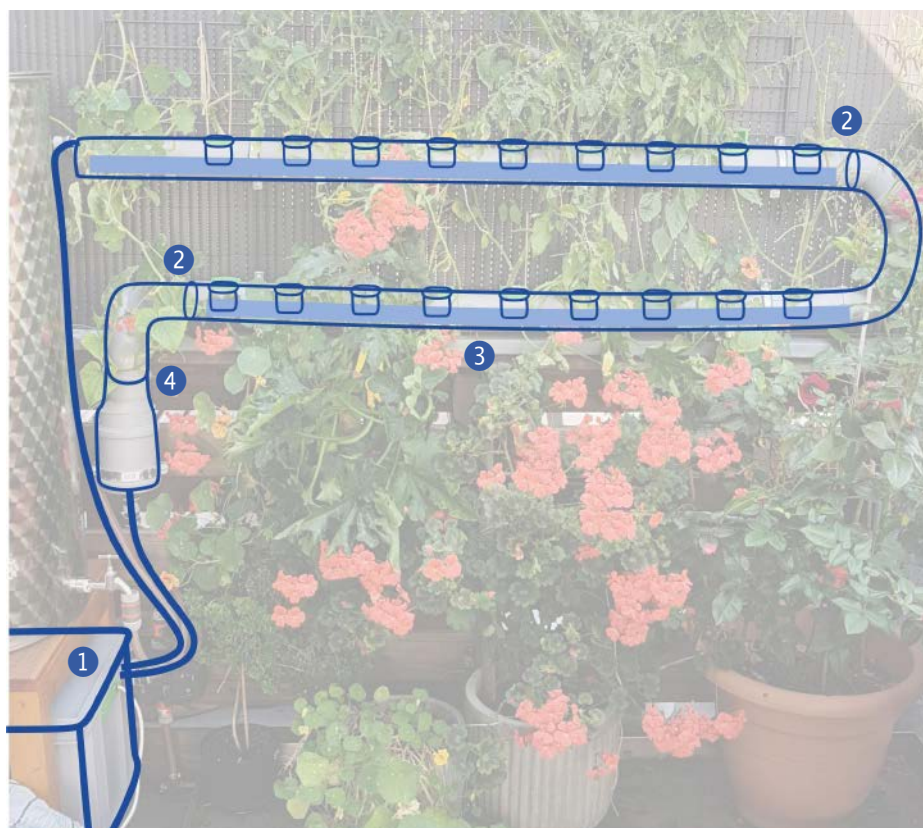
## Wasserstand

Da die Nährstofflösung nur in Intervallen ersetzt werden soll, muss beim Aufbau stets auf wasserdichte Verbindungen geachtet werden. Innerhalb der Rohre soll außerdem ein kontinuierlicher Flüssigkeitsstand gewährleistet sein. Dafür habe ich Wasserstandsbegrenzer mit 100 Prozent Füllung 3D-gedruckt. Mit einem O-Ring versehen werden sie in die HT-Rohre gesteckt, wobei HT-Gleitmittel aus dem Baumarkt hilft. Um den Wasserstand zu regulieren, kann der Begrenzer später einfach im HT-Rohr gedreht werden.

Das oberste Rohr habe ich mit einem modifizierten Muffenstopfen verschlossen, durch den die Wasserzuführung erfolgt. Dazu habe ich in die Oberseite ein 20mm großes Loch gebohrt und einen Hahnanschluss ( $\frac{3}{4}$ " IG) mit einem innenliegenden Regentonnenanschluss ( $\frac{3}{4}$ " IG, 1" AG) verbunden. Wichtig ist die sichere Verschraubung mit einem Dichtungsring, die den Hebelkräften beim Ein- und Ausstecken des Schlauches standhalten muss.

## Wandmontage

Mit HT-Schellen kann das System nun an einer Terrassenwand oder am Mauerwerk montiert werden. Die Schellen müssen dabei möglichst waagrecht positioniert sein, da später keine größere Nivellierung mehr möglich ist. Damit sich abgestorbene Pflanzenteile nicht absetzen und das geschlossene System verstopfen, ist eine kontinuierliche Filterung unabding-



Die Nährflüssigkeit wird mit einer 12-Volt-Pumpe im Tank ① über das Schlauchsystem in das obere HT-Rohr gepumpt. Über einen Wasserstandsbegrenzer ② wird ein einheitlicher Füllstand gewährleistet. Durch die Schwerkraft fließt die Nährflüssigkeit vorbei an den Pflanztrögen ③ bis zum Sandfilter ④ und von dort in einem geschlossenen Kreislauf wieder zurück in den Vorrattank.



bar. Den Filteranschluss habe ich mit einem 87°-Bogen und einem 45°-Bogen vorbereitet. Um einen höheren Querschnitt für den Filter zu ermöglichen, nutze ich schließlich eine HT-Reduzierung DN 110/75.

Der Sandfilter ist platzsparend in einer DN-110-Muffe untergebracht. Zuerst habe ich den HT-Muffenstopfen (DN 110) mittig mit einem 25mm großen Forstnerbohrer durchbohrt. Hier wird ein weiterer Regentonnenanschluss ( $\frac{3}{4}$ " IG, 1" AG) mit Dichtung fest eingeschraubt. Auf die Innenseite kommt ein Saugkorb ( $\frac{1}{2}$ " AG), sodass kein größeres Material aus dem Sandfilter in das Schlauchsystem gelangen kann. Außen habe ich einen Hahnanschluss (1" IG) aufgeschraubt, auf den der Ablaufschlauch gesteckt wird. Die Befüllung des Sandfilters erfolgt in drei Schichten mit grobem und mittlerem Aquarienkies und einer Lage Sand. Nun kann der Filter an das Reduzierstück gesteckt werden. Aufgrund seines Gewichts sollte er mit einer weiteren Schelle an der Rückwand fixiert werden.

Als Tank für die Nährstoffflüssigkeit dient eine Stapelbox mit Deckel, die 64 Liter fasst. Die Griffstücke habe ich mit 3D-Druckteilen verschlossen. In einem Griff ist zusätzlich eine kleine Platine für die Spannungsversorgung der Pumpe untergebracht. Direkt daneben sind zwei Anschlüsse für die Wasserdurchführung. So kann die Box bis knapp unterhalb der Griffe befüllt werden.

Da der Platz durch die Stege sehr begrenzt ist, habe ich die Bohrlöcher (15 mm) genau ausgemessen und aufgezeichnet. Bei den Schlauchanschlüssen ist Kreativität gefragt: Die Hahnanschlüsse ( $\frac{3}{4}$ " IG) habe ich mit Schlauchverschraubungen ( $\frac{3}{4}$ " AG) kombiniert. Diese werden von außen durch die Bohrung gesteckt und innen mit den Schläuchen und einer Rohrschelle verbunden. Den ablaufenden Schlauch habe ich auf Bodenni-



Vorbohren der HT-Rohre (oben), dann langsames Aussägen der Pflanzhalterungen mit einer Lochsäge (unten)

veau gekürzt und am Zulauf die Wasserpumpe mit weiteren Rohrschellen gesichert. Für die Ansaugung habe ich noch ein weiteres kurzes Schlauchstück mit einer Verschraubung ( $\frac{3}{4}$ " IG) und einem Saugkorb angefügt. Nun ist die Hardware vollständig aufgebaut.

## Elektronik

Im Griffstück des Tanks ist eine 2cm × 8cm Lochrasterplatine untergebracht, die Platz für zukünftige Erweiterungen wie Sensoren oder Füllstandsschalter bietet. Aktuell wird damit nur die Spannungsversorgung der Pumpe auf



Eingesetzter Wasserstandsbegrenzer im HT-Rohr: Der Flüssigkeitsspiegel wird durch Drehen des Begrenzers eingestellt.



Montageteile der Wasserzuführung





Fertig montierte Grundstruktur der Hydrokultur



Innenliegender Saugkorb im Filter



Befüllung des Sandfilters mit Kies und Sand

eine 2,54mm Buchsenleiste gelegt und in den Tank geführt. Eine zusätzliche Freilaufdiode fängt die Induktionsströme beim Abschalten der Pumpe ab.

Die Stromversorgung des Projektes habe ich über eine kleine Autobatterie mit 50Ah und einem 10-Watt-Solarpanel gesichert. Dadurch läuft es autark, kostet aber um die 100 Euro mehr. Alternativ kann man den Aufbau über ein günstigeres 12-Volt-Netzteil realisieren. Der Basisstromverbrauch bei eingeschaltetem WLAN und laufendem Webserver liegt bei 0,3 bis 0,4 Watt. Der größte Anteil des Gesamtverbrauchs entfällt auf die Wasserpumpe mit 12 Watt im Betrieb. Allerdings wird die Pumpe je nach Größe des Aufbaus und je nach Außentemperatur nur alle 30 bis 180 Minuten etwa 20 bis 30 Sekunden betätigt. Die Verbindung von Solarpanel, Batterie und Elektronik übernimmt ein herkömmlicher Solarladeregler. Auf dem eigentlichen Mainboard werden dann 5 Volt über einen Step-Down-Regler und die 12-Volt-Batteriespannung bereitgestellt. Sämtliche Komponenten finden in einem 3D-gedruckten Gehäuse Platz.

## Hauptplatine

Das Herzstück der Elektronik ist das ESP32-Board auf der Hauptplatine, das vom Step-Down-Regler mit 5 Volt versorgt wird. Die Pumpe wird mit 12 Volt betrieben, während die eigentliche Steuerung über Pin D19 erfolgt, mit einem 470-Ohm-Vorwiderstand (R14) und einem TIP120-Transistor. Dieser Aufbau ist nicht zum Dauerbetrieb geeignet, bei nur bis zu 30 Sekunden Schaltleistung ist jedoch keine Kühlung des Transistors notwendig. Die drei LEDs geben optische Statusmeldungen nach außen und sind an den Pins D12, D14 und D27 angeschlossen. Zur Temperaturregelung habe ich einen DHT22-Sensor an Pin D13 verbaut. Die Messung der Batteriespannung er-

folgt über den Spannungsteiler mit R10 (47 kOhm) und R11 (10 kOhm) am Pin D32, einem Eingang des Analog-Digital-Wandlers.

Für zukünftige Erweiterungen gibt es einen 5-Kanal-Navigationsschalter an den Pins D25, 26, 34, 36 und 39. Dafür sind derzeit noch Pull-Down-Widerstände (R4 bis R8) vorgesehen, statt denen beim ESP32 aber auch die internen genutzt werden können. In der aktuellen Programmierung nutze ich nur einen Taster. Der weitere Sensoreingang wird ebenfalls noch nicht verwendet, wobei ich eine 5-Volt-Spannungsversorgung und einen Spannungsteiler (R12 und R13 an D33) vorgesehen habe. Schließlich sind am oberen Ende des Boards weitere Leiterbahnstreifen für individuelle Erweiterungen übrig.

## Software

Ein Arduino-Sketch erledigt die Pumpensteuerung, die Abfrage der Messwerte und die Steuerung eines Webserver mit Status-Homepage, über den die Anlage im heimischen Intranet überwacht werden kann. Im Folgenden werde ich nur exemplarisch auf wichtige Funktionsabschnitte eingehen. Das komplette Skript ist online (siehe Downloadlink) abrufbar, wie auch Anleitungen zum Einbinden des ESP in die Arduino IDE. Beim Programmieren habe ich mich am *Make ESP32 Special* orientiert.

Das Öffnen einer WLAN-Verbindung ist mit den Bibliotheken *WiFi* und *WiFiClient* schnell und zuverlässig erledigt, wenn die Angaben SSID und PASSWORD mit den heimischen Einstellungen gefüllt sind. Der ESP32 wird dann im *Station-Mode* initialisiert (`WiFi.mode(WIFI_STA);`) und die Verbindung zum WLAN mit `WiFi.begin(SSID, PASSWORD);` hergestellt. Setzt man `DEBUG` auf `true`, erfolgt jeweils eine Statusausgabe über den seriellen Monitor über die Helferfunktion `debug(String Msg)`. Das ist vor allem am Anfang hilfreich, um alle Funktionen zu testen.

Zur Einstellung der Systemzeit nutze ich den *Network Time Protocol Server* `de.pool.ntp.org`. In `void setup` werden mit `configTzTime(TZ_INFO, NTP_SERVER);` die Zeitzone und der Servername übergeben. Danach erfolgt die Synchronisation über `getLocalTime(&local, 10000);`. In `void loop` wird die Zeit dann über `time(&now)` abgespeichert und mit `localtime_r(&now, &local);` zerlegt. Über die Struktur `local` lässt sich auf die Unterelemente der Zeitangaben zugreifen (`local.tm_mday`, `local.tm_hour`, etc...). Alle 24 Stunden erfolgt ein Update der Systemzeit, wenn die Bedingung `local.tm_mday != last-day` nicht mehr zutrifft.

## Messen und Pumpen

In der Hauptroutine (siehe Listing 1) werden außerdem regelmäßig die Temperatur-, Luft-



Griffstück mit Elektronik und Wasserein- und -ausgang. Das Kabel zur Steuerplatine wird durch den Deckel des Griffstücks nach außen geführt.



Anschlüsse zum ablaufenden Schlauch (oben) und 12-Volt-Pumpe (unten) im Innenraum der Tankbox

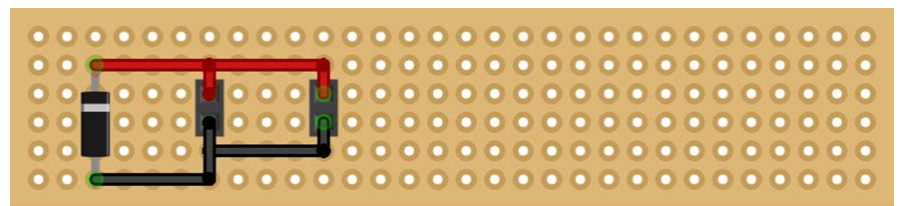
feuchtigkeits- und Spannungswerte ermittelt und nach einem Pumpvorgang in einen Ringpuffer geschrieben sowie das Pumpintervall festgelegt. In Zeile 2 bis 4 wird zunächst überprüft, ob seit der letzten Messung (`time_m`) mehr als 300 Sekunden (`tm`) vergangen sind. Ist dies der Fall, werden die Messergebnisse über die Funktion `messen()` aktualisiert und der WLAN-Status wird über die Funktion `wlanstatus()` geprüft. Ab Zeile 6 überprüft eine ähnliche Abfrage das Ablaufende des Gießintervalls (`intervall`). Soweit kein Fehler vorliegt (`error==0`), wird die Pumpe angeschaltet und das Gießintervall auf die Gießzeit `tp` gesetzt (in meinem Fall 25 Sekunden). Nach dem Gießen wird die Pumpe über die `else-if`-Abfrage abgeschaltet (ab Zeile 17) und die Messergebnisse in den Ringpuffer mit der Größe `int Punkte` geschrieben. Diese können später auf der Webseite ausgegeben werden. Je nachdem, wie heiß es gerade ist, wird außerdem das Pumpintervall neu festgelegt (Zeile 21 bis 27).

In `void messen()` liest der ESP über `dht.readHumidity()` die Luftfeuchte und über `dht.readTemperature()` die Temperaturwerte des DHT und speichert die Ergebnisse in `luftfeuchte` bzw. `temp`. Die am Spannungsteiler anliegende Spannung des Akkus wird über `analogRead(adcAkku)` gemessen. Mit 3,3 Volt multipliziert und durch die Auflösung 4095 geteilt sollte sie eigentlich genau berechenbar sein. In der Praxis arbeiten die Analog-Digital-Wandler des ESP32 weder sehr genau noch linear, weshalb ich eine anschließende Korrekturformel ( $V_{akku} = 1.11 + 5.56 \cdot V_{ADC}$ ) ermittelt habe. Dafür habe ich bei unterschiedlich anliegenden Spannungen zwischen 10 und 15 Volt eine Eichkurve erstellt und daraus Steigung und y-Achsenabschnitt der Korrekturgleichung bestimmt. `VADC` gebe ich daher ebenfalls auf dem Webserver aus. Sollte die Batteriespannung auf unter 10 Volt sinken, wird `error=1`; gesetzt und die Pumpe nicht mehr betätigt, bis die Spannung wieder ansteigt.

Mit der Funktion `void wlanstatus()` prüft der ESP schließlich, ob eine WLAN-Verbindung besteht (`WiFi.status() != WL_CONNECTED`). Ist dies nicht der Fall, versucht er alle 30 Sekunden lang, eine neue Verbindung herzustellen.

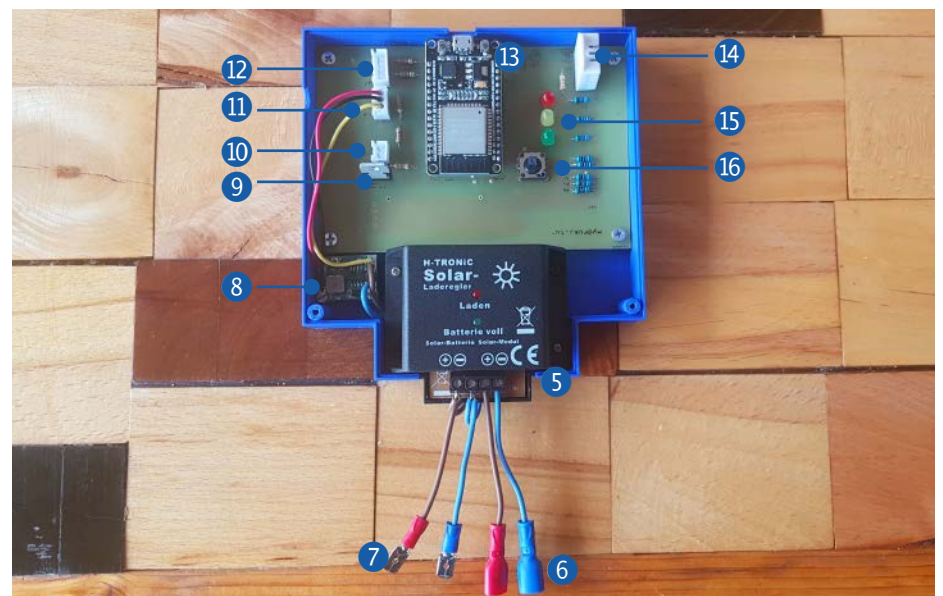
## Server und Homepage

Für den Webserver kommen noch die Bibliotheken `Webserver` und `ESPmDNS` hinzu. Zunächst wird das `WebServer`-Objekt `server` auf Port 80 erzeugt. In Form von Eventhändlern



fritzing

Schaltbild der Lochrasterplatine zur Verbindung der Hauptplatine mit der Pumpe im Tank



Aufbau der Elektronik: Solar-Laderegler 5, Anschlüsse des Solarpanels 6, Anschlüsse zur Batterie 7 – verbunden zum Step-Downregler 8, TIP120-Transistor 9, Pumpenausgang 10, 12- und 5-Volt-Eingänge 11, Sensoreingang 12, ESP32-Board 13, DHT22-Sensor 14, LEDs 15 und Navigationsschalter 16.



## 1. Hauptroutine

```

01 void loop() {
02   if (diffTime(time_now, time_m)>tm){
03     messen();
04     wlanstatus();
05   }
06   if (diffTime(time_now, time_p)>intervall){
07     time_p=time_now;
08     if (!pON){
09       intervall=92*60;
10       if (error==0){
11         pON=true;
12         intervall=tp;
13         digitalWrite(led, HIGH);
14         digitalWrite(pumpe, HIGH);
15       }
16     }
17     else if (pON) {
18       pON=false;
19       digitalWrite(led, LOW);
20       digitalWrite(pumpe, LOW);
21       if (temp<=10) {intervall=360;}
22       else if (temp>10 && temp<=15) {intervall=180*60;}
23       else if (temp>15 && temp<=20) {intervall=120*60;}
24       else if (temp>20 && temp<=25) {intervall=90*60;}
25       else if (temp>25 && temp<=30) {intervall=60*60;}
26       else if (temp>30) {intervall=30*60;}
27       else {intervall=91*60;}
28       // Ringpuffer
29       azeit[indx]=zeitstr2();
30       atemp[indx]=temp;
31       aVakku[indx]=Vakku;
32       aLF[indx]=luftfeuchte;
33       indx=indx+1;
34       if (indx==punkte) {indx=0;}
35     }
36   }
37 }

```

## 2. Homepage

```

01 void handleRoot() {
02   String message="<html><head>"
03   //...
04   message += "data.addColumn('number', 'Volt');data.addColumn('number',
05     'Luftf');data.addRow(['";
06   int j= indx-1;
07   if (j<0) {j=punkte-1;}
08   for (int i = 1; i <= rows; i++) {
09     message += "[new Date(" +String(azeit[j]) +"),"+ String(atemp[j])
10       +","+ String(aVakku[j]) +","+ String(aLF[j]) + "],";
11     j=j-1;
12     if (j<0) {j=punkte-1;}
13   }
14   message += "]]";
15   //...
16   message += "</body></html>";
17   server.send(200,"text/html", message);
18 }

```

ist in void setup das weitere Vorgehen bei Serveranfragen definiert. Durch server.on("/", handleRoot); wird bei einer Abfrage ohne Pfadangabe void handleRoot() aufgerufen. Wird ein unbekannter Pfad angefragt, wird über void handleNotFound() eine Fehlermeldung an den Browser ausgegeben. Mit server.begin(); wird der Server gestartet. Die eigentlichen Anfragen werden in der

Hauptroutine mit server.handleClient(); abgehandelt.

Nun geht es an die Homepage (siehe Listing 2), genauer gesagt void handleRoot(), das bei einer Browseranfrage im Intranet über die IP-Adresse des ESP32 (z.B. http://192.168.1.200/) aufgerufen wird. Zunächst wird der String message schrittweise aufgebaut und über die Funktion server.

send(200,"text/html", message); an den Browser geschickt. Dies ist zugegebenermaßen nicht sehr elegant, da aber etliche Variablen übernommen werden müssen und Veränderungen leichter durchführbar sind, ist es ein pragmatischer Ansatz. Außerdem lässt der ESP-Arbeitsspeicher derart groß angelegte Stringoperationen zu – auf einem einfachen Arduino Mega wären sie speichertechnisch nicht möglich.

Auf der Homepage zeige ich die aktuellen Sensorwerte derzeit in einer einfachen Tabelle, die aus Standard-HTML aufgebaut ist. Die einzelnen Werte werden über Befehle wie +String(luftfeuchte)+ in den String message geschrieben. Zusätzlich sind die Sensorwerte des beschriebenen Ringpuffers in einem Diagramm zu sehen. Hierzu nutze ich die *Google charts library*. Mit ein paar Zeilen Code entstehen so sehr elegante und interaktive Diagramme.

Der Grafikaufbau beginnt im HTML-Header (siehe Listing 3) mit dem Aufrufen des Loaders (Zeile 3). Danach werden die zu ladenden Pakete (Zeile 5) und eine Callbackfunktion (Zeile 6) festgelegt. Innerhalb der Callbackfunktion wird ein Tabellenobjekt aufgebaut und die einzelnen Spalten angehängt (Zeile 8 bis 12). In Zeile 12 werden alle Tabellenreihen, die unsere Sensorwerte enthalten, auf einmal hinzugefügt. Hierbei wird in einer for-Schleife der Ringpuffer durchlaufen (siehe Listing 2, Zeile 10). Die Variable Punkte bezieht sich auf die Größe des Ringpuffers, die Variable rows auf die bereits gespeicherte Anzahl von Datenpunkten. So werden nur die schon beschriebenen Plätze ausgegeben und leere Zeilen ignoriert.

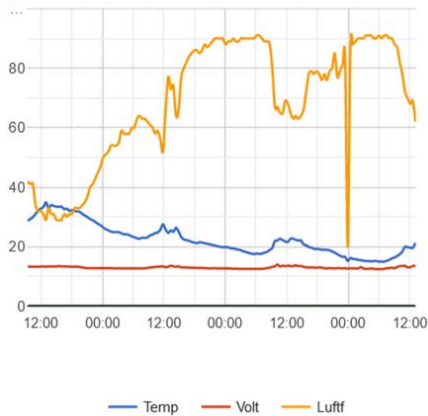
Zeile 14 legt die Datumsformatierung fest, die in Zeile 15 auf die unterschiedlichen Spalten angewendet wird. Mit options können noch weitere Formatierungen angegeben werden, etwa zur grafischen Ausgabe der Messwertverläufe. Mit den Zeilen 16 und 17 wird die Grafik dann aufgebaut und gezeichnet. Im Body des HTML-Dokuments wird das Diagramm in einem festgelegten <div>-Bereich mit 520 Pixeln Breite und 400 Pixeln Höhe eingebunden.

## Im Einsatz

Für die Ermittlung der Korrekturformel der Akkuspannung kann bereits das Webinterface genutzt werden. Im Programmcode muss außerdem die Gießzeit int tp eingetragen werden, die man am Besten individuell durch Ausprobieren ermittelt: In dieser Zeit soll die komplette Flüssigkeit im Röhrensystem einmal ausgetauscht werden. Sie variiert je nach Volumen, Pumpleistung und der Höhe des Systems. Auch der Sandfilter sorgt für einen gewissen Abflusswiderstand. Wählt man tp zu groß, riskiert man ein Überlaufen des Systems. Bei dem Test kann man außerdem die

## Hydrokultur

Luftf.	Temp	VADC	V Solar	Inttp
51.10	22.30	2.12	12.91	90 25
Zeit	min run	Error	Wlan Code	
11:06:36	0.57	no error	3	



Webinterface mit den Messwerten in einer Tabelle und einer Grafik

## 3. HTML-Header

```

01 <html>
02 <head>
03   <script type="text/javascript" src="https://www.gstatic.com/charts/
    loader.js"></script>
04   <script type="text/javascript">
05     google.charts.load('current', {'packages':['corechart']});
06     google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);
07     function drawChart() {
08       var data = new google.visualization.DataTable();
09       data.addColumn('date', 'Zeit');
10       data.addColumn('number', 'Temp');
11       data.addColumn('number', 'Volt');
12       data.addColumn('number', 'Luftf');
13       data.addRows([[new Date(2020,11,2,13,24,59),20.50,12.02,56],
14                     [new Date(2020,11,2,13,24,31),20.60,11.86,55],]);
15       var date_formatter = new google.visualization.DateFormat({
16         pattern: "dd.MM HH:mm"});
17       date_formatter.format(data, 0);var options = {curveType:
18         'function',legend: { position: 'bottom' },hAxis: {format:
19         'HH:mm'},pointSize: 0, chartArea:{left:20,top:10}};
20       var chart = new google.visualization.LineChart(document.
21         getElementById('curve_chart'));
22       chart.draw(data, options);
23     }
24   </script>
25   <style>table {border-collapse: collapse;} table, td, th {border:
26     1px solid black;text-align: left;}</style>
27 </head>

```



Anlage auf Dichtigkeit prüfen und vor allem den Flüssigkeitsstand in den Röhren im Auge behalten. Sollte bei den Füllstandsbegrenzern Flüssigkeit austreten, kann man sich mit einer Lage Teflonband zwischen Gummiring und Plastikteil behelfen. Etwas warmes Wachs versiegelt undichte Oberflächen 3D-gedruckter Teile.

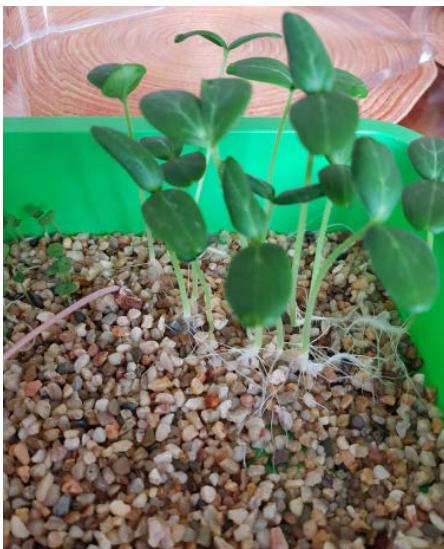
Dann wird die Anlage mit Nährflüssigkeit befüllt, die die Pflanzen vor allem mit Stickstoff, Kalium, Phosphor und Calcium versorgt. Auch Spurenelemente wie Magnesium, Mangan, Kupfer, Zink, Molybdän und Bor müssen vorliegen. Zudem sind Basenpuffer erforderlich, um den pH-Wert der Lösung konstant zu halten. Für den Anfang sollte man eine fertige Flüssig- oder Feststoffmischung im spezialisierten Versandhandel erwerben und nach

Anleitung anmischen. Verbrauchte Menge wird einfach mit neuer Nährflüssigkeit aufgefüllt.

Die Anzucht von Samen im Hydrokultursystem ist meiner Erfahrung nach nicht erfolgreich, stattdessen sollten sie in einem Zimmergewächshaus angezogen werden. Als Substrat eignet sich feiner Aquarienkies und zum Gießen kann die Nährflüssigkeit verwendet werden. Beachtet werden muss die Lichtvorliebe der Planzen beim Keimen. Erst wenn die jungen Pflanzen eine entsprechende Größe erreicht haben und den Umweltbedingungen draußen trotzen können, bringe ich sie vorsichtig in die ausgedruckten Pflanztröge in Kies ein. Dabei werden einige Wurzeln durch die Öffnungen im Boden geführt, so dass sie die Nährflüssigkeit erreichen. Anschließend

wird der Trog vollständig mit Kies befüllt und in die Hydrokultur gestellt. Alternativ können fertige Setzlinge aus der Gärtnerei verwendet werden, was sich besonders bei Salat lohnt. Damit keine zusätzlichen Substrate in die Nährflüssigkeit kommen, muss die Erde vollständig abgewaschen werden. Das gelingt, wenn man die Pflanzen einige Zeit in Wasser einweicht.

Gerade am Anfang bedarf das System noch einiger Aufmerksamkeit: Je nach Pflanze müssen eventuell geeignete Stützstrukturen aufgebaut und der Sonnenschutz optimiert werden. Im Feldversuch habe ich gute Erfahrungen mit Salat, Chillipflanzen, Snackgurken, Zucchini und Kapuzinerkresse gesammelt. Wurzelgemüse ist natürlich ungeeignet, ansonsten steht der Kreativität nichts im Wege. —hch



Anzucht der Keimlinge im Zimmergewächshaus



Die Früchte des Erfolgs: Snackgurken



Zucchini



Chillis



Tomaten mit Basilikum



Kapuzinerkresse