

Dem **Wetter** und der **Umwelt** trotzen

Wetter- und Umweltdaten zu sammeln ist eine besondere Herausforderung, denn kaum etwas anderes zerstört Ihre Technik schneller, wenn sie nicht gut geschützt wird. Hinzu kommt oft noch das Problem, dass es in der Natur keine Steckdosen gibt und die meisten Sensoren nur für den Innenraum gebaut wurden. Mit etwas Aufwand lassen sich aber viele Hürden überwinden.

Wenn Sie das Wetter beobachten wollen oder Umweltdaten sammeln, dann müssen Sie sich mit Ihren Sensoren und Messgeräten nach draußen begeben – und da herrschen raue Bedingungen: Feuchtigkeit in Form von Regen, Schnee oder Nebel fällt einem sicher sofort ein und Elektronik verträgt sich so gut wie gar nicht damit. In Meeresnähe kommt noch Salz in der Luft und im Wasser hinzu, das stark korrosiv wirkt. Die UV-Strahlung ist aber ebenfalls ein ernster Gegner, denn sie lässt so gut wie alle Materialien altern, macht sie spröde und zersetzt sie sogar. Kabelbinder werden brüchig, Gehäuse verfärben sich und verziehen sich durch die Wärmewirkung, Dichtungen werden hart, weil die Weichmacher ausdünsten. Temperatur ist sowieso ein schwieriges Thema: Werte von -20 °C bis $+45\text{ °C}$ (bei direkter Sonneneinstrahlung sogar deutlich mehr, wie jeder Autofahrer schon erlebt haben wird) sind selbst in Mitteleuropa keine Seltenheit. Sobald Sie etwas in die Erde stecken, machen sich Mikroorganismen (mehr oder weniger erfolgreich) darüber her und Kleinsttiere wie Asseln, Insekten und Ameisen kommen einfach irgendwie überall rein, wo sie nicht erwünscht sind – wenn Sie schon mal Geocaching gemacht haben, dann wissen Sie selbst, was sich in einer vermeintlich dichten Tupperdose alles tummeln kann. In extremen Situationen kann auch entscheidend sein, wie gut Sie die Technik vor Erschütterungen und Stößen schützen können.

Ihre Technik einfach in eine dichte Bleikiste stecken, ist aber leider keine Lösung, denn dann gibt es auch nicht mehr viel zu messen. Es heißt also einen Kompromiss zu finden zwischen Abschottung, Verschleiß, Kosten und Nutzen. Outdoor-Technik ist nicht ohne Grund oft ein zehnfaches und mehr teurer als Geräte für den geschützten Innenraum.

SCHUTZARTEN

Die Schutzart gibt an, wie gut sich ein (im Prinzip immer elektrisches) Gerät für unterschiedliche Umgebungen eignet. Dabei geht es allerdings nur um den Schutz vor großen und kleinen Teilen wie Staub, Wasser, Gegenständen oder auch Körperteilen. Über die Widerstandsfähigkeit gegen UV-Strahlung, Salzwasser oder anderes wird keine Aussage getroffen und ist auch anderweitig nur schwer zu bekommen.

Am bekanntesten sind die IP-Codes (International Protection), die mit einer zweistelligen Zahl angeben, wie gut das Innere vor Fremdkörpern und vor Wasser geschützt ist – je größer die jeweilige Zahl, desto besser ist der Schutz.



linke Ziffer	Schutz
0	ohne Schutz
1	Geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser ≥ 50 mm
2	... $\geq 12,5$ mm
3	... $\geq 2,5$ mm
4	... $\geq 1,0$ mm
5/5K	Geschützt gegen schädigenden Staub
6/6K	staubdicht

Die erste Ziffer der IP-Codes gibt den Schutz gegen Fremdkörper bzw. Berührung an

IP54 ist für den Außenbereich als geringster Schutz im privaten Bereich gerade noch akzeptabel, schützt aber nicht gegen Kleintiere und große Wassermengen. IP67 bietet hingegen einen guten Schutz auch gegen Vandalismus und mutwillige Zerstörungsversuche. Grundsätzlich sind die Angaben der Hersteller oft eher mit Vorsicht zu genießen. Vor allem bei Produkten aus Fernost sind die Klassen nicht selten schon auf den ersten Blick falsch. Wenn Sie schon einmal eine Lichterkette für den Außenbereich

(selbst im Baumarkt) gekauft haben, werden Sie dies vermutlich bereits selbst erlebt haben. Hier kann es schnell sogar zu gefährlichen Situationen kommen, wenn Kinder in Geräte für die Steckdose Drähte stecken können, sich die Gehäuse lösen oder Drähte abreißen.

DICHTE GEHÄUSE

Für die Technik wie den Mikrocontroller, Stromversorgung und Antennen eignen sich Schaltschränke mit entsprechender IP-Klasse oder ABS-Gehäuse mit Dichtung gut. Umhausungen aus Metall schirmen Strahlung ab, was bei Funktechniken wie WLAN oder Bluetooth zu deutlichen Reichweitenverlusten führt. In dem Fall ist eine externe Antenne notwendig. ABS ist weniger problematisch und trotzt auch den anderen Umwelteinflüssen lange. Zur Befestigung eignet sich Montagematerial aus Edelstahl (oder sogar seewassergeschütztem Edelstahl), der nicht rostet und sich auch nach Jahren in der Natur noch demontieren lässt.

Bei guten Gehäusen liegen die Schraubenbolzen für den Deckel außerhalb des geschützten Innenraums und es gibt Montagelöcher, die ebenfalls keine Durchbrüche in das Innere erfordern. Ein transparenter Deckel ist zwar praktisch, um die Technik im Inneren zu betrachten und einen Blick auf LEDs und Displays zu ermöglichen, aber er lässt auch UV-Strahlung hinein und dadurch die Technik altern. Die Preise für IP67-Gehäuse lassen den Hobbybastler gerne nach Luft schnappen angesichts dessen, dass ein Entwicklerboard und Zubehör weniger als zehn Euro kosten. Kompromisse lohnen sich aber auf Dauer für Langzeitaufbauten nicht.

rechte Ziffer	Schutz gegen ...
0	ohne Schutz
1	... Tropfwasser
2	... fallendes Tropfwasser, wenn das Gehäuse bis zu 15° geneigt ist
3	... fallendes Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte
4 (4K)	... allseitiges Spritzwasser (mit erhöhtem Druck)
5	... Strahlwasser (Düse) aus beliebigem Winkel
6 (6K)	... starkes Strahlwasser (mit erhöhtem Druck bei Straßenfahrzeugen)
7	... zeitweiliges Untertauchen
8	... dauerndes Untertauchen bis 1 m
9 (9K)	Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung Landwirtschaft (Straßenfahrzeuge)

Die zweite Ziffer gibt den Schutz gegen Wasser an



IP67-Gehäuse mit Gummidichtung, außen liegenden Bolzen für die Schrauben im Deckel und Montageflansch.

Als primitiven aber teils wirkungsvollen Schutz kann schon ein Brettchen mit leichter Neigung als Dach über der Technik dienen: Schnee und Regen, aber auch Sonneneinstrahlung wird dadurch zu einem großen Teil vom Gerät abgehalten und kleine Patzer bei der Dichtheit des Gehäuses werden verziehen.

Es mag sich widersprüchlich anhören, aber ein wirklich dichtes Gehäuse wollen Sie gar nicht. Kühlt das Gehäuse nach einem heißen Sommertag oder durch Regen etc. ab, bildet sich im Inneren ein Unterdruck. Dieser reicht aus, um kleinste Mengen Feuchtigkeit durch jede noch so gute Dichtung hinein zu saugen und es wird sich immer mehr ansammeln. Notwendig ist deshalb immer ein Druckausgleichselement aus einer Membran, die Wassertropfen nicht durch lässt, aber die Luft — so wie bei atmungsaktiver Kleidung einer bekannten Marke. Die Poren der Membran aus PTFE (Teflon) sind vom Durchmesser mehrere zehntausendstel kleiner als der Durchmesser eines Wassertropfens aber hundertfach größer als Wasserdampfmoleküle. Es gibt Ausgleichselemente in Form von Kabeldurchführungen oder Stopfen, in denen die Membran sitzt und es gibt sie als selbstklebende Pads, die einfach auf ein kleines Loch von etwa 1 mm Größe (je nach Durchmesser der Membran) geklebt werden. Die Schutzklasse IP67 bleibt dabei erhalten aber es findet ein Druckausgleich statt.

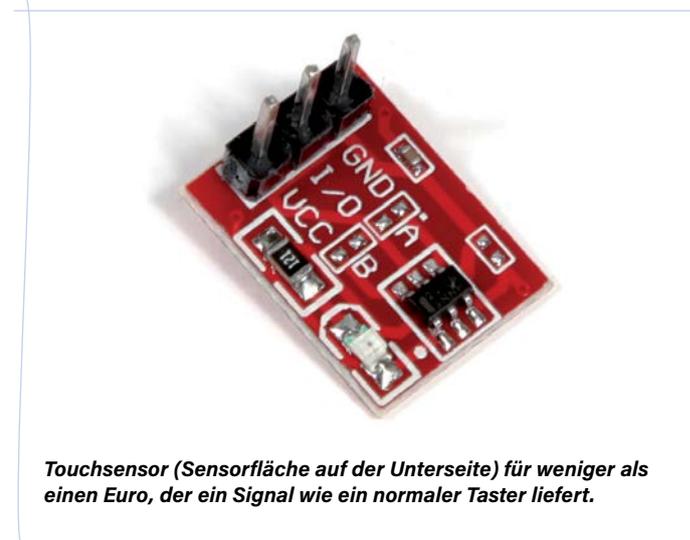
EINBAUTEN

Für Kabel in und aus dem Gehäuse nutzen Sie entsprechende Kabeldurchführungen, die mit einer Mutter von Innen verschraubt werden und einen Dichtungsring gegen das Gehäuse pressen. Im Inneren befindet sich ein Gummistopfen, dessen Durchmesser zum Kabel passen muss und der von der äußeren Verschraubung so gequetscht wird, dass er abdichtet. Nutzen Sie lieber etwas dickere Kabel die stabiler sind und Zug sowie Biegung besser aushalten. Anschlüsse für hohe Gleichströme sind in feuchter Umgebung anfällig für Korrosion: vergoldete Kontakte und zusätzliches Verlöten gecrimpter Kontakte kann helfen.



IP67 Kabeldurchführung (grau) und Steckersystem mit Überwurfmutter und Kappe zur Staubabdeckung zum Einbau in Gehäusewände.

Es gibt auch Steckersysteme, die wasserdicht sind und deren Buchsen wie bei Kabeldurchführungen eingeschraubt werden. Es ist immer vorteilhaft, wenn Kabel nicht fest durch eine Gehäusewand geführt werden. Sie können dann die einzelnen Komponenten getrennt montieren und auch wesentlich einfacher tauschen. Für Schalter und Taster gibt es Varianten, die IP67 erfüllen und die Sie möglichst im Inneren über gute Steckkontakte (die üblichen Jumper-Kabel sind alles andere als zuverlässig) mit der anderen Elektronik verbinden — auch hier mit Blick auf einen Wechsel und die bessere Handhabung, wenn Sie den Deckel beispielsweise komplett entfernen können, nachdem Sie alle Steckkontakte getrennt haben. Äußerst clever sind Touchsensoren, die von Innen angeklebt werden und die eine Annäherung selbst durch das (Kunststoff-) Gehäuse erkennen können.



Touchsensor (Sensorfläche auf der Unterseite) für weniger als einen Euro, der ein Signal wie ein normaler Taster liefert.

Andere Einbauten wie LEDs lassen sich gut mit RTV-Silikon abdichten. Dabei handelt es sich um ein bei Raumtemperatur vulkanisierendes (aushärtendes) Silikon (room-temperature-vulcanizing silicone) mit unterschiedlichen Farben und Fließeigenschaften, das für einen weiten Temperaturbereich geeignet ist.

TEMPERATUR

Viele Elektronikteile sind nicht für (extreme) Minusgrade geeignet. Die Kristalle in LCDs frieren beispielsweise dauerhaft geschädigt ein. Zu warm darf es aber auch nicht werden. Besitzer von Raspberry Pi's kennen das Problem: Nicht nur dem Prozessor wird es bei großer Rechenleistung zu heiß, sondern auch den anderen Chips. Um Schäden abzuwenden, taktet der Prozessor dann runter, was die Rechenleistung beeinträchtigt.

Ein Peltier-Element bietet zwar die Möglichkeit zu heizen oder zu kühlen aber die jeweils andere Seite muss dazu außerhalb des Gehäuses die gegensätzliche Energie abgeben.

Zum Heizen eignet sich deshalb ein PTC-Heizelement besser. Es verbraucht zwar recht viel Strom aber ist dafür selbstregulierend: sobald die jeweilige Curie-Temperatur erreicht ist, schaltet es im Prinzip ab, was ein Überhitzen verhindert. Die Module heizen aber meistens auf um die 60 °C, was natürlich zu viel ist. Es wird also erforderlich sein, die Heizung bei Minusgraden einzuschalten und die Innentemperatur zu überwachen, um dann bei leichten Plusgraden abzuschalten.

Kühlung ist wesentlich schwieriger, denn Lüfter untergraben den Schutz vor eindringendem Wasser. Bei einem Metallgehäuse kann eine Heatpipe die Wärme von der CPU abgreifen und ans Gehäuse führen, wo ggf. auf der Außenseite noch Kühlrippen montiert sind. Mit genügend Einsatz von Dichtungsmaterial kann auch die warme Seite eines Peltier-Elements auf einem Kühlkörper montiert werden und der Kühlkörper wird in eine Aussparung im Gehäuse eingesetzt und abgedichtet. Auch hier wird wieder eine aktive Temperaturkontrolle notwendig.

Einfacher ist es eventuell, ein Gehäuse zu benutzen, das so groß ist, dass das Luftvolumen im Inneren sich nicht stärker erwärmt, als durch die natürliche Wärmestrahlung über die Oberfläche ausgeglichen werden kann.

FUNK ODER KABEL?

Die Daten, die Sie erfassen, wollen Sie sicher auch auswerten und müssen deshalb irgendwie raus aus dem Gehäuse und zu Ihnen gelangen. In abgelegenen Regionen bleibt meistens kein anderer Weg, als ein Protokoll auf einem Speichermedium zu sichern und den Speicher von Zeit zu Zeit abzuholen. LoRaWAN ist eine Funktechnik für kleine Datenmengen über große Distanzen. Hier im Heft finden Sie einen extra Artikel dazu. Leider ist die Dichte an Empfängern noch nicht in allen Regionen ausreichend gut, um überall genutzt zu werden. Funknetzwerke für Mobiltelefone decken fast alle Regionen wenigstens in einer Basisleistung ab und können genutzt werden, um Daten per SMS an einen Empfänger zu senden. Mit dem passenden Mobilfunkvertrag ist das eine durchaus bezahlbare Lösung.

WLAN und Bluetooth sind gut geeignet für den Bereich rund um Ihr Heim. Je nachdem, wie frei die Sichtachse zwischen Sender und Empfänger von abschirmenden Bauten wie Wänden oder dichter Vegetation ist, kann mit Bluetooth eine Reichweite von bis zu etwa 5 m und mit WLAN etwa 50 m bis 100 m erreicht wer-

den. Erfahrungsgemäß funktioniert die Funktechnik zwar gut und ist sehr einfach aufzubauen, da keine Infrastruktur benötigt wird, aber es gibt auch immer wieder Probleme bei den Verbindungen, die Nerven kosten können.

Auch wenn es sich Old School anhört: ein Kabel zu verlegen ist zwar etwas aufwändiger bei der Installation, bietet aber den Vorteil, auch längere Distanzen überbrücken zu können. Eventuell müssen dazu nur die Signalpegel etwas angehoben werden, wie es bei RS232 oder RS485 üblich ist. Mit einem guten und geschirmten Kabel wie einem CAT-5 für Netzwerke lassen sich einige Kilometer erzielen. Zudem lösen Sie gleich das nächste Problem:

STROMQUELLE

Die Versorgung Ihrer Meßstation ist eine heikle Aufgabe, denn ohne Strom geht gar nichts. Allein schon im eigenen Garten haben Sie vermutlich keine Steckdosen verteilt, sondern lediglich an Gebäuden. Einfach ein Stromkabel zu verbuddeln, verbietet sich, weil es viel zu schnell verrottet und die Gefahr besteht, dass es bei der nächsten Gartenarbeit wieder hochkommt, wenn es nicht tief genug verlegt ist. Mindestens 60 cm tief muss das spezielle Erdkabel verlegt werden, um im frostfreien Erdreich zu liegen. Entweder wird es in ein Leerrohr gelegt oder in einer Sandschicht und oberhalb sollte ein Warnband liegen, damit man bei späteren Erdarbeiten auf das Kabel hingewiesen wird.



Typischer Solar-Laderegler für Starterbatterien der auch 5 V an den USB-Buchsen abgeben kann.

Einfacher scheint es da zu sein, Solarenergie einzusetzen —erst recht, wenn die Station zu weit vom nächsten Stromanschluss ist oder kein Kabel verlegt werden kann. Solarpanels allein reichen aber nicht aus, denn für den Betrieb bei Dunkelheit oder fehlender Sonnenstrahlung brauchen Sie noch einen Akku, der die Versorgungslücken überbrücken kann — eine Woche sollte er durchaus durchhalten. Denn auch Schnee oder Bewuchs durch Moos, Algen oder Kletterpflanzen auf dem Panel reduziert den Stromertrag — ebenso wie ein dauerhaft bewölkter Himmel. Der Wirkungsgrad einer Solar-Akku-Anlage liegt bei ungefähr 70 Prozent und wie jeder Autofahrer weiß: Frost mag keine Starterbatterie. Für eine genaue Abschätzung, was Sie benötigen, müssen Sie zuerst Ihr Projekt aufbauen oder sehr genau planen und dann



den Verbrauch über einen längeren Zeitraum messen, damit alle Situationen durchlaufen wurden (bspw. Funkverbindung aufbauen, Daten versenden, Heizung oder Kühlung usw.). Mit den Verbrauchswerten können Sie sich dann nach einem geeigneten Solarpanel und einem Akku sowie der Schaltung für die Ladeerhaltung umsehen.

Ein Raspberry Pi 5 benötigt beispielsweise unter Voll-Last etwa 7 W – 8 W ohne weitere Peripherie. Um genügend Reserven zu haben, wäre ein Solarpanel mit etwa 20 W bei 12 V eine gute Wahl. Hinzu kommt ein Laderegler für zusammen ca. 35 Euro. Damit können Sie dann problemlos eine Blei-Batterie für Autos etc. laden. Um den Raspi bei 1,6 A Stromaufnahme eine Woche zu betreiben, werden knapp 270 AH benötigt – als Batterie gar nicht verfügbar, so dass Sie zwei bis drei große Batterien zusammen schalten müssen. Zudem sollten auch AGM-Akkus nicht auf unter 70 % entladen werden. Hier bleibt nur, die Ausfallzeit durch fehlende Solarenergie zu reduzieren, was nicht geht, so dass Sie also damit rechnen müssen, dass die Schaltung unter widrigen Bedingungen zeitweise ausfällt.

Naheliegender ist es natürlich, auf einen Mikrocontroller auszuweichen, der deutlich weniger stromhungrig ist. Ein NodeMCU mit ESP32 verbraucht im Betrieb bei eingeschaltetem Bluetooth und WLAN und voller Leistung ca. 240 mA. Das lässt sich drastisch senken, wenn nur noch Bluetooth aktiviert ist (130 mA) oder der Prozessor in den Schlafmodus versetzt wird, weil er sowieso nur jede Stunde einmal Daten erfassen soll (50 mA bis hinab zu ca. 0,8 mA). Bei reduzierter WLAN-Leistung (OFDM: Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren) verbraucht er dauerhaft ca. 180 mA. Dafür reicht eine Batterie mit etwas mehr als 30 AH eine Woche lang aus. So kleine Batterien sind heutzutage eher unüblich und etwas mehr Reserve schadet auch nicht, um die Batterie nicht tief zu entladen. Für ca. 50 € bekommen Sie ein Modell mit ca. 50 AH, das Sie direkt an die Ladeschaltung des Solarreglers anschließen können.

In einem Transportkoffer mit IP67-Klasse für unter 100 Euro können Sie die Batterie problemlos im Freien nutzen, wenn Sie die Hinweise beachten, die schon zuvor zum Abdichten von Gehäusen genannt wurden. In langen und kalten Wintermonaten sinkt naturgemäß die Batterieleistung und es bietet sich eventuell an, eine zweite Batterie zu Hause vollständig zu laden (und ggf. zu regenerieren) und dann die beiden zu tauschen.

Aus den 12 V der Batterie lassen sich mit einem StepDown-Regler oder Schaltnetzteil fast verlustfrei die benötigten Spannungen wie 5,1 V für den Raspberry oder 3,3 V für den ESP und ähnliche Boards erzeugen. Hier müssen Sie nur auf eine ausreichende Leistung des Reglers achten. Der Einsatz von klassischen Netzteilen mit Transformatoren verbietet sich im Grunde, da die Verluste zu hoch sind und dabei Abwärme entsteht, die Sie wieder loswerden müssen.

SENSOREN VERPACKEN

Die nächste Herausforderung sind die eigentlichen Sensoren. Vor allem die günstigen Boards zum Experimentieren und Ler-

nen sind nie für den Außenbereich geeignet. Selbst Sensoren, die angeblich dazu da sind, Nebel oder Abgase zu erkennen, sind viel zu offen, als dass sie auch nur etwas höhere Luftfeuchtigkeit vertragen.

In manchen Fällen gibt es spezielle Modelle extra für den Außenbereich, die für die Industrie angefertigt werden und deshalb auch entsprechend schnell den Hobby-Geldbeutel sprengen. Der hier im Heft vorgestellte Drucksensor TL-231 zum Messen der Wassertiefe ist eine der wenigen Ausnahme – und der kostet schon 50 €.

Eine Möglichkeit sich bei einigen Baugruppen zu behelfen ist, die Module in Epoxidharz zu vergießen und nur die eigentliche Sensoroberfläche rausschauen zu lassen. Alternativ zum Harz können Sie auch das schon erwähnte RTV-Silikon nutzen. Stycast 1265 und ähnliche Produkte von Loctite sind ein ähnliches Harz aber als Zweikomponenten-Material, das vor Gebrauch angerührt werden muss. Spezielle Tauchlacke wie beispielsweise *Rubber Dip* (in Deutschland als *Plasti Dip* vertrieben), die teilweise auf Gummi basieren, eignen sich auch zur vollständigen Versiegelung. Auf Basis von Silikonharz gibt es mit Electrolube SCC3 (und ähnlichen Produkten) Sprays für den Schutz von Leiterplatten und Bauteilen. Manche Bastler benutzen auch einfach Holzschutzlack für den Außenbereich, um Platinen zu konservieren – Erfahrungen hierzu fehlen dem Auto aber bisher.



Der Hersteller verspricht wasserabweisende Wirkung und der Lack wird auch in der Industrie eingesetzt (Foto: Plasti Dip).

Letztendlich gibt es noch eine Herangehensweise, die zwar unorthodox klingt aber bei vielen Sensoren der einzig gangbare Weg ist: Riskieren Sie einfach den Defekt. Schützen Sie den Sensor durch eine Einhausung rudimentär vor den widrigsten Einflüssen und betreiben ihn dann, so lange er hält, um ihn zu ersetzen, sobald er ausfällt. Angesichts dessen, dass ein Sensor manchmal nur wenige Euro kostet aber Schutzmaßnahmen schnell teuer werden, ist das vielleicht der günstige Weg und vermutlich überleben viele Module länger, als man ihnen zutrauen würde. Einzig der Umweltschutzgedanke bleibt dabei auf der Strecke aber die meisten Schutzlacke etc. sind auch alles andere als umweltfreundlich und wenn sie die Elektronik wenigstens fachgerecht zum Recycling bringen, bleibt das Gewissen halbwegs beruhigt.