

IoT basierende Technologien für Bruträume in Beuten zur Observation von Bienenvölkern

Bachelor-Thesis

zur Erlangung des akademischen Grades B.Sc.

Alexander Grill

2249876



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Design, Medien und Information

Department Medientechnik

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Sabine Schumann

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Jan Mietzner

Hamburg, 13. 11. 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Aktualität und Relevanz der Thematik	7
1.2	Motivation	9
1.3	Abgrenzung	9
1.4	Gliederung der Arbeit	10
2	Einführung in die Thematik	11
2.1	Grundlagen des Imkerns	11
2.1.1	Aufgabenteilung der Bienen	12
2.1.2	Bienenbeuten	12
2.1.3	Honigsorten	13
2.1.4	Vermarktung des Honigs	13
2.1.5	Wer darf imkern?	14
2.2	Wozu Technik im Bienenstock?	14
3	Technische Grundlagen	16
3.1	Stockwaagen	16
3.2	Diebstahlsicherung	17
3.3	Temperaturmessung	18
3.4	Kameratechnik	18
3.5	Datenübermittlung	19
3.6	Energieversorgung	20

Inhaltsverzeichnis

3.7	LiPo-Akkus	20
3.8	Machine to Machine (M2M)	21
3.9	Internet of Things (IoT)	21
3.10	AT-Befehlssatz	22
3.11	GSM/GPRS	22
3.12	GNSS	23
3.13	IMEI	23
4	Konzept	24
4.1	Gehäuse	26
4.2	Hardware	28
4.2.1	Arduino	29
4.2.2	Sendemodule	31
4.2.3	Sensorik	32
4.3	Software	32
5	Umsetzung	34
5.1	Hardware	34
5.1.1	WLAN	36
5.1.2	GPRS	37
5.1.3	Sensoren	38
5.2	Programmierung	39
5.2.1	Arduino	39
5.2.2	Server	41
5.3	Das Gehäuse	43
6	Praxistest	44
7	Fazit	46
7.1	Zusammenfassung	47

Inhaltsverzeichnis

7.2 Gehäuse	47
7.3 Technik	48
7.4 Weiterentwicklung	49
Abbildungsverzeichnis	50
Literaturverzeichnis	51

Abstract

This bachelor thesis will be investigating the opportunities of IoT-Devices for beekeepers and will produce a prototype to be tested within an actual beehive. Therefore this thesis will first have an insight into the work of a beekeeper to understand what sorts of problems appear when working with bees and how those can be resolved. Furthermore existing technologies will be listed and a working concept will be developed. Based on that the concept will be realised and tested. Finally the results will be analysed and the possibility of a further development of the prototype will be described.

Zusammenfassung

Diese Bachelor Arbeit wird sich mit IoT-Anwendungen im Bereich der Imkerei auseinandersetzen und einen Prototypen entwickeln, der in einem Bienenstock getestet wird. Zu Anfang wird sich die Arbeit daher mit dem Imkern im Allgemeinen auseinandersetzen um zu verstehen, welche Probleme sich beim Imkern stellen und wie diese gelöst werden können. Daran anknüpfend wird zusammengetragen, welche Technologien es bereits gibt und ein Konzept daraus erstellt. Im Anschluss folgt eine Umsetzung dessen und ein Praxistest. Schließlich wird eine Ergebnisanalyse stattfinden und eine mögliche Weiterentwicklung beschrieben.

1 Einleitung

1.1 Aktualität und Relevanz der Thematik

Seit einigen Jahren ist immer wieder von dem Insektensterben die Rede. Darunter versteht sich eine drastische Abnahme der Biomasse von fliegenden Insekten über die letzten dreißig Jahre ([Quarks 2019](#)). Dabei sprechen Studien von einem Rückgang der Biomasse von mehr als 75 % ([Plos One 2017](#)). Dass dieses Thema in den Köpfen der Menschen angekommen ist, zeigte 2019 das sehr erfolgreiche Artenschutzvolksbegehren “Rettet die Bienen” in Bayern, mit 1,75 Millionen gesammelter Unterschriften ([Landtag Bayern 2019](#)). Dabei ging es um mehr Natur- und Artenschutz durch eine deutliche Reduzierung von Pestiziden sowie mehr Blühwiesen und dem Ausbau der ökologischen Landwirtschaft in Bayern ([Spiegel Online 2019](#)).

Um dem Artensterben gegenzusteuern, gibt es viele Probleme zu lösen. So gelten die vielen Monokulturen in der Landwirtschaft und die Pestizide, aber auch die Flächenversiegelung durch Städte und Straßen als Problemursachen ([Planet Wissen 2019](#)). Zuletzt standen jedoch vor allem die Pestizide oft im Mittelpunkt der Diskussion. So werden beispielsweise Neonicotinoide immer wieder direkt in Verbindung mit dem Insektensterben gebracht ([Naturschutzbund Deutschland e.V. 2019](#)). Demnach legen verschiedene Studien nahe, dass auch Bienen von diesen Mitteln angegriffen werden. Dennoch sind gleich mehrere Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff in Deutschland zugelassen ([Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit - ohne Datum](#)). Doch auch in Naturschutzgebieten und Städten ist das Insektensterben zu beobachten. Noch ist nicht ganz klar, warum dies der Fall ist.

1 Einleitung

Was dies für das Ökosystem bedeutet, wenn es immer weniger Insekten gibt, wurde 2018 bei einem Experiment in Süddeutschland erforscht. So wurden auf einer Apfelplantage drei Parzellen eingerichtet, die unterschiedlich bestäubt wurden:

- Von Hand bestäubt
- Bestäubung nur durch den Wind
- Mit Bienen als Bestäuber

Im Ergebnis zeigte sich, eine Bestäubung von Hand ist zwar möglich, kostet aber viel Zeit, etwa eine Stunde pro Baum. Des Weiteren führte diese Methode zu vielen kleinen Äpfeln, die nur zur Weiterverarbeitung gut waren. Die Windbestäubung brachte zwar größere Äpfel hervor, jedoch ein Drittel weniger als bei der herkömmlichen Bestäubung durch Bienen. Das Ergebnis des Versuchs lautete folglich: Bienen machen die beste Arbeit, wenn es darum geht die Bäume zu bestäuben ([SWR 2018](#)).

Viele Menschen entscheiden sich daher angesichts des Insektensterbens aktiv zu werden und fangen an, selber zu imkern. Auch wenn das Halten von Honigbienen als solches das Insektensterben nicht direkt bekämpft, so sensibilisiert es dennoch viele Menschen, mehr für die Insekten und deren Lebensräume zu tun. Das bedeutet unter anderem, es werden vermehrt wieder Obstgärten, Blühflächen sowie Blühstreifen angelegt ([Deutschlandfunk 2018](#)). Auch das Image der Insekten profitiert von dieser Entwicklung, denn Bienen gelten als fleißig und nützlich.

Um diese Entwicklung zu unterstützen, kann das Einsetzen von Technik zum Halten von Bienen einen Beitrag leisten. So kann Hobby-Imkern das Arbeiten mit den Bienen interessanter gestaltet und professionellen Imkern die Arbeit erleichtert werden.

1.2 Motivation

Der Einsatz von Technik in der Imkerei ist kein komplettes Neuland. Einige Anwendungen sind schon länger weit verbreitet, wie zum Beispiel Stockwaagen zur Ermittlung der Menge des produzierten Honigs. Doch viele dieser Anwendungen sind zum selber Nachbauen gedacht oder dienen nur speziell einer Aufgabe. Daher ist das erklärte Ziel dieser Arbeit, eine einfach anzuwendende “all-in-one” Lösung zu entwickeln und zu bauen. Das Projekt steht dabei im Zusammenhang mit einer Vertriebsplattform für Produkte aus der Imkerei und soll den Imkern zur Verfügung gestellt werden.

Diese Arbeit wird sich daher mit den Problematiken des Imkerns auseinandersetzen und IoT-basierte Lösungen für diese finden. Dabei ist das Ziel, nicht nur ein Konzept zu liefern, sondern auch einen eigenen Prototypen zu entwickeln und in einem Praxistest im Bienenstock anzuwenden. Dies umfasst das Erfassen der Daten im Bienenstock, das Senden dieser zu einem Server bis hin zur Verarbeitung und Bereitstellung jener Daten auf einer Website.

1.3 Abgrenzung

Mit dieser Arbeit möchte ich das IoT-Potential für Bienenstöcke erkunden und dabei eine simple und kostengünstige Lösung für ein eigenes IoT-Device finden. Zu diesem Zweck werden vorhandene Konzepte beispielhaft an Produkten erklärt sowie ihre Vor- und Nachteile aufgeführt. Als Ergebnis möchte ich einen funktionierenden Prototyp vorstellen und mögliche Weiterentwicklungen an diesem aufzeigen.

1.4 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit unterteilt sich in sieben Kapitel, beginnend mit der Einleitung. In dieser wird das Thema erörtert sowie die Motivation zur Umsetzung eines Prototypen dargelegt. Im folgenden Kapitel "Einführung in die Thematik" werden der Beruf des Imkers und der Bienenstock näher betrachtet. Daran anschließend werden die technischen Grundlagen, auf denen diese Arbeit aufbaut, erklärt. Dabei werden sowohl bereits vorhandene Hilfsmittel für die Imkerei als auch grundlegende technische Entwicklungen beschrieben. Das Kapitel "Konzept" befasst sich mit den Möglichkeiten zum Bau eines Prototypen und der dazu benötigten Hardware und Software. Im Anschluss wird in dem Kapitel "Umsetzung" die Realisierung des Konzeptes beschrieben. Der aus der Umsetzung hervorgehende Prototyp wird dann einem Praxistest unterzogen. Der Verlauf des Testes findet sich im sechsten Kapitel mit dem Titel "Praxistest" wieder. Zum Abschluss der Arbeit wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick auf eine mögliche Weiterentwicklung gegeben.

2 Einführung in die Thematik

Im Folgenden soll beleuchtet werden, wie das Imkern eigentlich vonstatten geht und welche Probleme sich in dem Prozess stellen. Hierfür konnte auf Kontakte zu Imkern für Fragen und Erklärungen zurückgegriffen werden. Weiterhin wird auch die Biene als Nutztier näher vorgestellt und die Rechtslage in Deutschland grob umrissen.

2.1 Grundlagen des Imkerns

Bei der Honigbiene handelt es sich um die Art *Apis mellifera*. Diese lebt in Beuten, welche aus Brutraum und Honigraum bestehen. Die meisten Imker setzen bei der Haltung Magazinbeutesysteme ein, dies ermöglicht einen unkomplizierten Umgang mit dem Bienenvolk. In einer Magazinbeute befinden sich sogenannte Rähmchen, in denen die Bienen ihre Waben anlegen. Dabei werden die Waben im Brutraum in der Mitte mit Brutzellen angelegt und drumherum ein Ring mit Honigwaben. Im Honigraum befindet sich die eigentliche Ernte des Imkers. Hier sammeln die Bienen ausschließlich den Honig. In einem normalen Jahr kann zweimal Honig geerntet werden, zusätzlich fallen auch noch Bienenwachs und weitere Produkte an, die der Imker vermarkten kann. Da die Bienen den Honig jedoch eigentlich für das Überwintern anlegen, muss der Imker im Tausch für den Honig einen Ersatz geben. Hierzu wird meist ein Zucker-Wassergemisch genutzt, mit Hilfe dessen die Bienen ihren Wintervorrat wieder aufstocken können. Beim Überwintern bilden die Bienen eine Traube im Brutraum, um so die Wärme zu halten. Vor allem die Zeit bis zum Jahresende ist dabei kritisch für das Überleben eines Volkes. Hat ein Volk den Winter erfolg-

reich überlebt, fängt es an, wieder neue Brutzellen zu bilden und neue Arbeiterinnen heranzuziehen. Ein Volk kann mit 20.000 Bienen den Winter überleben und in den Sommermonaten bis zu 60.000 Bienen stark werden ([Naturschutzbund Deutschland e.V. - ohne Datum](#)).

2.1.1 Aufgabenteilung der Bienen

Bei den Bienen gibt es eine klare Arbeitsteilung. Dabei gibt es drei Kasten, die jeweils ihr eigenes Aufgabengebiet haben. An oberster Stelle steht die Königin, sie kümmert sich um den Nachwuchs. Dabei paart sie sich am Anfang ihres Lebens mit bis zu 20 männlichen Drohnen. Mit diesem Spermiovorrat muss sie ihr ganzes Leben auskommen. Die mit Abstand größte Kaste stellen die Arbeiterinnen dar. Sie kümmern sich um das Sammeln des Nektars, aber auch um das Sammeln von Pollen, Wasser und Harz. Außerdem entfallen noch weitere Aufgaben auf sie, wie das Reinigen, Bauen und Verteidigen des Nestes. Die Aufgaben werden je nach Bedarf des Volkes ausgeführt. Schließlich gibt es noch die Drohnen, deren einzige Aufgabe es ist, die junge Königin zu begatten. Wenn sie für diesen Zweck nicht gebraucht werden, werden sie aus dem Volk vertrieben ([Julius Kühn-Institut - Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen - ohne Datum](#)).

2.1.2 Bienenbeuten

Die Behausung der Bienen ist die Beute. Zieht ein Volk ein, wird es zu einem Bienenstock. Bei der Haltung von Bienen gibt es verschiedene Beutearten, auf die ein Imker zurückgreifen kann. Dabei gibt es bei den Behausungsmöglichkeiten Unterschiede in der Aufbauart, dem Rähmchenmaß, der Bauart, der Anbringung und noch einigen weiteren Merkmalen. Klassischerweise wird in der konventionellen Bienenhaltung die Magazinbeute verwendet. Dabei handelt es sich um ein modulares System, welches die Module aufeinander stapelt. In den einzelnen Modulen legen die Bienen dann ihre Bruträume und Honigräume an. Für die in den Modulen verwendeten Rähmchen gibt

es die Möglichkeit zwischen verschiedenen Maßen zu wählen. Die am weitesten verbreiteten Maße in Deutschland sind das Zandermaß, nach dem Zoologen Enoch Detlef Hartwig Zander ([Universität Rostock 2012](#)) und das Deutsch Normalmaß. Im Süden Deutschlands ist dabei das Zandermaß verbreitet, während im Norden des Landes zu meist das Deutsch Normalmaß Anwendung findet ([Stadtbienen 2016](#)). Für Stadt- und Hobbyimker ist diese Beutenart oft zu groß und materialaufwändig, deshalb werden oft kleinere Trogbeuten verwendet.

2.1.3 Honigsorten

Die verschiedenen Honigsorten ergeben sich aus der Art des gesammelten Nektars. Dabei ist es meist nicht schwer zu bestimmen, welcher Nektar eingetragen wird. Bienen sammeln immer so lange von der gleichen Quelle Nektar, bis diese versiegt. Das bedeutet, wenn in der Nähe des Bienenstocks beispielsweise viel Raps blüht, bevorzugen sie diesen gegenüber anderen Pflanzen. Dadurch entsteht als Endprodukt ein Rapshonig ([Honig und Bienen 2018](#)). Somit hängt der produzierte Honig direkt von der Umgebung der Bienen ab.

2.1.4 Vermarktung des Honigs

Bei der Vermarktung des Honigs kommt es darauf an, ob der Imker die Imkerei beruflich betreibt oder als Hobby. Die meisten Hobby-Imker haben eine feste Stammkundschaft, an die sie ihre Produkte verkaufen. Für sie stellt sich oft nicht der Bedarf einer professionellen Vermarktung.

Bei Berufsimkern ist der Ertrag im Jahr um ein Vielfaches höher, demzufolge reicht hier eine Stammkundschaft in der Regel nicht aus, um den Honig zu verkaufen. Traditionell findet eine lokale Vermarktung hier über Märkte in der Umgebung statt.

2.1.5 Wer darf imkern?

Das Halten von Bienen ist zunächst nicht an weitere Bedingungen geknüpft. Der Gesetzgeber schreibt in der Bienenseuchen-Verordnung (BGBI. I S. 2738) vor, dass der Bienehalter die Bienenvölker zu registrieren hat ([Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2019](#)). Weiterhin gilt, grundsätzlich können Bienen überall gehalten werden, sofern es nicht explizit im Bebauungsplan verboten wird. Auch das Halten von Bienen auf Balkonen ist grundsätzlich kein Problem, sofern im Falle einer Mietwohnung der Vermieter dies erlaubt ([anwalt.de 2018](#)).

2.2 Wozu Technik im Bienenstock?

Imker haben eine große Verantwortung. Ein Bienenvolk besteht aus bis zu 45.000 Tieren. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass der Imker möglichst gut über die Gesundheit seiner Schützlinge Bescheid weiß, um im Notfall angemessen zu reagieren. Daher ist es für den Imker von Interesse zu wissen, wie es im Innern des Bienenstocks aussieht. In den Sommermonaten kann er dazu einfach einen Blick in das Innere des Stocks werfen, aber dies ist für die Bienen mit Stress verbunden und für den Imker mit Aufwand. So muss er unter anderem aufpassen, dass die Königin dabei nicht zu Schaden kommt, dies könnte leicht das Ende eines Bienenvolks herbeiführen.

Im Winter kommt erschwerend hinzu, dass der Imker mit dem Öffnen des Bienenstocks die Verkittung des Stocks durch die Bienen zerstört. Entweicht die Wärme aus dem Bienenstock dann zu schnell, kann dies ebenfalls das Bienenvolk töten. Aus diesen Gründen ist es für den Imker interessant, Informationen aus dem Inneren des Bienenstocks zu erhalten, ohne diesen zu öffnen.

Die Idee, Sensoren zu verwenden um uns den Alltag leichter zu machen, ist nicht neu. Bekannte Vertreter dieser Idee sind zum Beispiel Kühlschränke mit eingebauter Kamertechnik, um einen Blick in den Kühlschrank zu werfen, wenn man gerade im Supermarkt steht oder die Thermostate von Heizungen mit dem Heimnetzwerk zu

2 Einführung in die Thematik

verbinden um die Temperatur gezielt zu steuern, selbst wenn man nicht zuhause ist.

Für den Imker bedeutet dies, dass er einen Einblick in seine Bienenstöcke erhält, ohne diese physisch zu öffnen oder gar vor Ort sein zu müssen. Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer Anwendungsmöglichkeiten, um das Betreuen eines Bienenvolkes leichter und sicherer zu gestalten. Menschengemachte Probleme, wie der Diebstahl von Bienenstöcken mit ganzen Völkern darin, können so beispielsweise bekämpft werden. Dabei spielt das Internet of Things (IoT) eine große Rolle. Daten aus dem Bienenstock können so an einen Server übermittelt und dem Imker jederzeit ortsunabhängig zur Verfügung gestellt werden. Mit der Technik können, zumindest in der Theorie, auch Diebstähle aufgeklärt oder sogar verhindert werden. Zusätzlich rückt auch der wissenschaftliche Aspekt in den Mittelpunkt. Insektensterben, Parasitenbefall und Krankheiten könnten mithilfe flächendeckender Datenerhebung aus Bienenstöcken analysiert und infolgedessen effektiver bekämpft werden.

3 Technische Grundlagen

Schon heute gibt es Technik, die dem Imker den Alltag erleichtert. Das betrifft nicht nur die Honigernte als solche, sondern auch die Pflege der Bienenstöcke und deren Sicherung vor Diebstahl. Viele der technischen Helfer stehen jedoch für sich allein, und sind nicht vernetzt. Im Folgenden werden einige dieser Konzepte vorgestellt.

3.1 Stockwaagen

Der Zustand eines Bienenvolkes lässt sich von außen ohne Blick in das Innere am besten durch eine Gewichtsmessung des gesamten Bienenstocks abschätzen. So kann man mit einer Stockwaage ermitteln, wie viel Honig produziert wird und wie der Zustand des Volkes über den Winter hinweg ist.

Dabei wird bei einer Stockwaage ein Rahmen unter dem Bienenstock aufgebaut, welcher mit Gewichtssensoren ausgestattet ist. Auf diesem wird dann der Bienenstock platziert. Somit kann der Imker jederzeit nachverfolgen, wie viel Honig seine Bienen produzieren. Es gibt bereits Systeme, die das Gewicht des Bienenstocks nicht nur messen, sondern über das Internet direkt auf einen Server hochladen. Ein Beispiel hierfür ist die Stockwaage von Wolf Waagen ([Wolf Waage GmbH & Co. KG 2017](#)). Nachteilig ist jedoch, dass jeder Bienenstock auf seiner eigenen Waage stehen muss, um das Gewicht zu ermitteln. Das bedeutet ein enormer finanzieller Aufwand, wenn der Imker mehrere Bienenstöcke damit ausrüsten möchte. Gerade bei Bienenstöcken, die frei im Gelände stehen, kann dies leicht zu Diebesgut werden.

3.2 Diebstahlsicherung

Immer wieder gibt es das Problem, dass Bienenstöcke Ziel von Diebstahl werden. Um dem entgegenzuwirken werden Diebstahlsicherungen für Bienenstöcke angeboten. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Diebstahl eines Bienenstocks festzustellen. Mit einer Stockwaage kann eine plötzliche Änderung im Gewicht als Indikator für einen Diebstahl dienen, ein Sensor kann eine Erschütterung detektieren oder ein GPS-Tracker bemerkt eine Positionsverschiebung. Systeme die es bereits gibt nutzen meist GNSS, um die Position des Bienenstocks zu ermitteln und bei einer Änderung Alarm zu schlagen. Ein weiterer Vorteil dabei ist: die GPS-Daten werden weiter gesendet, somit kann im Notfall sogar eine Suche nach den vermissten Bienenstöcken eingeleitet werden.

Ein Nachteil der bisherigen Systeme ist jedoch, dass diese oft nur an den Bienenstock angebracht werden. Bei einem Diebstahl finden die Diebe den GPS-Tracker und entfernen ihn. Um dies zu verhindern müsste ein GPS-Tracker möglichst gut im Bienenstock versteckt sein. Nur so ist es möglich, den Diebstahl der Bienenstöcke zu erschweren. Die Idee dabei ist: Haben genug Bienenstöcke solche versteckten Sensoren, schreckt es Diebe grundsätzlich ab, das Risiko einzugehen.

Weiterhin gibt es auch den Diebstahl von Bienenvölkern, die ausschwärmen. Dabei verlässt das Volk die Beute und sucht sich eine neue. Dies kann vom Imker durchaus gewollt sein, da es gemeinhin zur Gesundheit eines Volkes beiträgt. Diebe nutzen dies jedoch oft aus und sammeln das Bienenvolk selbst ein. Dass es sich dabei um Diebstahl handelt ist rechtlich geregelt. Der Bienenschwarm wird erst herrenlos, wenn der Imker die Verfolgung des Schwarms aufgibt. Ein Verstoß gegen dieses Recht zu ahnden erweist sich jedoch als besonders schwierig, auch weil der Nachweis nicht immer problemlos möglich ist. Sensorik im Bienenstock kann hierbei nicht viel helfen.

3.3 Temperaturmessung

Bei der Temperaturmessung gibt es bereits verschiedene Konzepte, welche sich oft nicht nur auf das Messen der Temperatur beschränken, sondern auch Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und sogar Geräuschpegel mitmessen. Ein einfaches Konzept ist dabei, einen Temperaturfühler in den Bienenstock einzuführen.

Ein anderes Konzept ist das Messen mit einem kabellosen Sensor, der in den Bienenstock gelegt wird. Ein Beispiel dazu stellt das Stockherz von Bee Hive Monitoring dar. Dabei handelt es sich um einen kleinen batteriebetriebenen Sensor, der mit Bluetooth die Daten an ein Handy oder einen GSM-Sender sendet ([Bee Hive Monitoring 2018](#)). Der Sender ist jedoch vergleichsweise teuer und kann keine eigene Verbindung mit dem Mobilfunknetz aufbauen. Andere Systeme wie die BuzzBox Mini von osbeehives stellen ein ähnliches System dar, arbeiten aber mit WLAN anstelle von Mobilfunk ([osbeehives 2015](#)).

Zuletzt wäre eine Messung durch Infrarotsensoren ebenfalls denkbar, jedoch muss hierzu die gesamte Beute angepasst werden, da bei Infrarotmessungen die Sensoren so angebracht werden müssen, dass sie in die Zwischenräume im Bienenstock blicken können. Eine Nachrüstung einer Standard Magazinbeute mit Infrarotsensoren gestaltet sich somit schwierig. Denkbar ist jedoch eine Beute zu designen, die ein solches Messverfahren von vorneherein berücksichtigt.

3.4 Kameratechnik

Die einfachste Methode, um einen Blick ins Innere des Bienenstocks zu erhaschen, wäre, eine Kamera zu installieren. Leider ist dies jedoch aus verschiedenen Gründen nicht möglich. So fehlt es im Bienenstock an Lichtquellen, ohne die eine herkömmliche Kamera nicht arbeiten kann. Infrarotkameras könnten zwar Abhilfe verschaffen, lösen jedoch nicht das Problem des Platzmangels. So ist zwischen den Rähmchen in einer Magazinbeute nur wenige Zentimeter Platz, nicht genug um dazwischen eine

Kamera zu installieren. Einzig das Flugloch könnte mit Kameratechnik beobachtet werden. Um die produzierten Bilder jedoch sinnvoll auszuwerten, bedarf es genügend Rechenleistung. Ein Senden der Bilder an den Server ist über das Mobilfunknetz derzeit zu teuer. Aus diesem Grund wird darum im weiteren Verlauf der Arbeit von Kameratechnik abgesehen.

3.5 Datenübermittlung

Die gewonnenen Daten der Messungen müssen dem Imker zur Verfügung gestellt werden. Ein einfacher Ansatz wäre, diese auf einem Display an der Bienenbeute anzuzeigen. Die Umsetzung ist vergleichsweise unkompliziert und der Imker hat auf einem Blick alle wichtigen Informationen zu der Beute.

Doch ist der Imker nicht vor Ort, reicht eine solche Lösung nicht aus. So gibt es entweder die Möglichkeit, die gesammelten Daten über WLAN an einen Server zu senden, wie bei der BuzzBox Mini von osbeehives ([osbeehives 2015](#)), oder man versendet die Daten über ein GSM-Modul. Diese Möglichkeit gibt dem Anwender die größtmögliche Ortsunabhängigkeit. Ein Konzept, das davon schon Gebrauch macht, ist das GSM-Gateway von Bee Hive Monitoring ([Bee Hive Monitoring 2018](#)). Dabei handelt es sich um eine Box, die sich mit den Sensoren von Bee Hive Monitoring verbindet und die Daten über das Mobilfunknetz an einen Server sendet. Im Prinzip ist die Funktionsweise ähnlich der eines Hotspots, welcher typischerweise ein WLAN-Netzwerk aufbaut, durch das ein Endnutzegerät Zugang zum Internet erhält.

3.6 Energieversorgung

Bei der Energieversorgung von Technik für Bienenstöcke gibt es grundsätzlich zwei Ansätze. Ein Akku, welcher groß genug ist um mehrere Wochen zu überleben oder ein Ladesystem mit Solarzellen. Bei der Variante mit einem Akku, der entnommen werden kann um zu laden, besteht der Vorteil darin, dass das Messgerät in sich geschlossen sein kann und keine Verbindung nach außerhalb des Bienenstocks benötigt. Nachteil jedoch ist, dass der Akku so groß wie möglich sein sollte, um eine lange Laufzeit zu gewähren.

Die zweite Möglichkeit ist eine Solarzelle. Diese lädt einen Akku und stellt damit sicher, dass die Sensorik das ganze Jahr über ununterbrochen läuft. Ein großer Nachteil dabei ist, dass ein Kabel ins Innere des Bienenstocks gelegt werden muss. Außerdem ist so von außen erkennbar, dass in dem Bienenstock Elektronik verbaut ist. Gerade bei Diebstahlsicherungen kann dies von Nachteil sein, da Diebe die Elektronik so lokalisieren können und gezielt entfernen.

3.7 LiPo-Akkus

Lithium-Ionen Batterien gibt es seit den 1970er Jahren. Sie haben eine hohe Energiedichte, entladen sich sehr wenig, haben keinen Memory-Effekt und je nach Bauart können sie kurzzeitig viel Ampere liefern. Sie benötigen jedoch eine Sicherheitsschaltung gegen Überspannungen, sie altern, sind teuer in der Produktion und sind leicht entflammbar bei falschem Umgang. Anwendung findet diese Art von Akkumulatoren heute vor allem in Mobiltelefonen. Eine Art der Bauform stellt der Lithium-Polymer-Akkumulator dar. Seine Vorteile gegenüber anderen Bauformen ist, dass er sehr flach gebaut werden kann, es gibt keinen festen Formfaktor, er ist vergleichsweise leicht und etwas sicherer in der Anwendung. Dagegen hat er aber weniger Kapazität und ist teurer in der Herstellung. ([Battery University 2010](#))

3.8 Machine to Machine (M2M)

Unter M2M versteht man das automatische Austauschen von Informationen zwischen Maschinen und Objekten oder zwischen diesen und einem Kontrollzentrum ([Telekom 2017](#)). Das bedeutet, sie können ohne das Zutun einer menschlichen Interaktion Daten austauschen und Aktionen auslösen. Seinen Ursprung findet M2M in der Industrie ([IoT Agenda 2019](#)). Heute liefert M2M außerdem den Grundstein für das Internet of Things.

3.9 Internet of Things (IoT)

Mit dem Begriff “Internet of Things” ist das Verbinden unterschiedlichster Geräte mit dem Internet gemeint. Dabei entsteht ein Netzwerk aus Objekten und Menschen, die Daten sammeln und mitteilen ([IBM 2016](#)). Von der Mikrowelle bis zum Fitnessarmband, das eigenständig Trainingspläne erstellt finden sich bereits heute schon viele Beispiele in Haushalten. Darüber hinaus gibt es weitere Anwendungsfelder, die sich in Forschung und Industrie wiederfinden.

Als erste praktisch umgesetzte IoT-Anwendung gilt ein Cola-Automat an der Carnegie Mellon Universität. Dieser wurde in den 1980er Jahren mit einem “micro-switch” ausgestattet um zu ermitteln, ob noch Cola im Automaten ist und wie es sich um deren Temperatur verhält. Diese Information wurde an den Uni-Server gesendet, auf welchen man über das Internet zugreifen konnte ([Carnegie Mellon University 2005](#)).

Ein Gerät gilt als IoT-Device, wenn es in der Lage ist, mittels Sensoren Daten zu sammeln und diese an einen Server zu senden. Dabei findet die Auswertung der Daten entweder erst auf dem Server statt oder bereits zuvor auf dem IoT-Device selbst. Dies alles geschieht ohne die Interaktion eines menschlichen Nutzers. Daraus können sich Automatisierungen von Prozessen und Vereinfachungen von Arbeitsabläufen ergeben. Weiterhin können IoT-Devices auch mit anderen Geräten interagieren und auf Basis ihrer Daten Anweisungen erteilen ([IoT Agenda 2019](#)).

3.10 AT-Befehlssatz

Der AT-Befehlssatz wurde von der Firma Hayes Associates 1977 (später Hayes Communications), entwickelt, um Modems zu konfigurieren. Seine erste Anwendung fand der Befehlssatz im Smartmodem 300, dem ersten PC-Modem aus dem Jahr 1981 ([TechTarget 2007](#)). Der Aufbau der Befehle sieht zu Anfang immer ein “AT” vor. Dies steht für englisch attention und wird dann von einem weiteren Buchstaben gefolgt. Beispielsweise steht ATA für Attention Answer. Das Modem soll folglich auf einen eingehenden Anruf antworten ([Electronics For You 2019](#)).

Eine Erweiterung des Befehlssatzes stellen die AT-Befehle gefolgt von einem Zeichen wie &, +, % oder * dar. Ein solcher Befehl kann folgendermaßen aussehen: AT+GSN. Als Antwort erhält man die Serial Number des Modems. Durch die Verwendung dieses Systems kann auf Treiber verzichtet werden ([Engineers Garage 2018](#)).

3.11 GSM/GPRS

Bei GSM handelt es sich um einen digitalen Mobilfunkstandard für das Übertragen von Sprachnachrichten in Mobilfunknetze. Dabei können Datentransferraten von bis zu 9,6 kbps erreicht werden ([GSMA 2019](#)). Einige Jahre nach seiner Einführung wurde es mit GPRS erweitert, um auch Paketdaten zu übertragen ([GSMA 2019](#)). Dabei kann GPRS eine Datenrate von bis zu 40 kbps erreichen ([GSMA 2019](#)). So ist es beispielsweise möglich, eine Verbindung zwischen einem Endnutzengerät und einem Server über das Internet herzustellen.

3.12 GNSS

Die Abkürzung GNSS steht für Global Navigation Satellite System und ist, wie der Name schon andeutet, ein globales Satellitensystem, welches Positions- und Zeitdaten an ein Empfängergerät sendet. Anhand dieser empfangenen Daten kann die Position des Empfängers berechnet werden. Das System setzt sich dabei aus dem Europäischen Galileo, dem US-Amerikanischen NAVSTAR GPS, dem Russischen GLONASS und dem Chinesischen BeiDou Navigation Satelliten System zusammen ([GSA 2017](#)).

3.13 IMEI

Jedes GSM-fähige Gerät hat eine 15stellige Seriennummer anhand derer es identifiziert werden kann ([Android Authority 2019](#)). So hat jedes Handy eine oder mehrere IMEI Nummern, abhängig von der möglichen SIM-Kartenanzahl im Handy.

4 Konzept

Am Anfang stand die Frage, ob eine ganze Bienenbeute entwickelt werden sollte, ein Modul für die Nutzung in einer Magazinbeute oder eine Box, welche am Bienenstock befestigt wird.

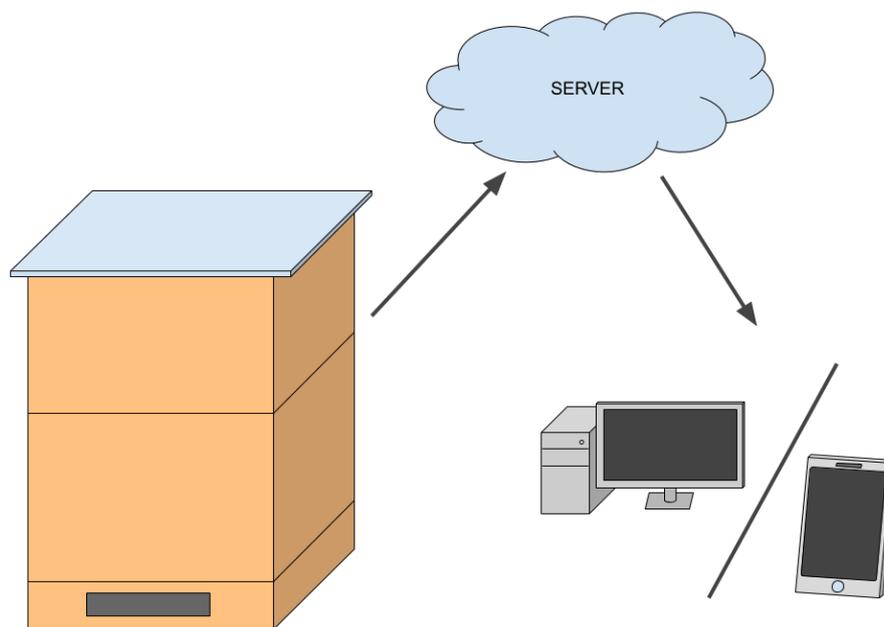


Abbildung 4.1: Konzeptzeichnung: Messinstrumente im Bienenstock senden an den Server, welcher die Daten an die Endnutzergeräte weitergibt

Für eine komplette Eigenentwicklung einer Beute spräche, dass man sehr viel präziser Sensoren anbringen kann, um auch sonst schwer zugängliche Bereiche in einer Beute mit Sensoren zu bestücken. Jedoch wäre nicht nur der Aufwand, sondern auch

4 Konzept

der Preis bei der Herstellung eines solchen Produkts ungleich höher. Der nächst kleinere Schritt wäre ein Modul für eine Magazinbeute zu bauen, das mit Sensoren bestückt wird. Da Magazinbeuten die am weitesten verbreiteten Beutearten sind, wäre es bei vielen Imkern kompatibel mit ihrem vorhandenen Equipment. Auch hier könnten Sensoren innovativ eingesetzt werden um z.B. Infrarotmessungen im Innenraum zu ermöglichen. Doch ein großes Problem stellt dabei die Aufteilung der Beute in Brut- und Honigräumen dar. Der für die Messungen weitaus interessantere Teil ist der Brutraum, welcher im unteren Bereich des Bienenstocks ist. Darüber befindet sich der Honigraum und erst darüber würde sich das Modul mit den Messinstrumenten befinden. Aus diesem Grund wurde diese Idee trotz einiger Umsetzungsversuche (Abb. 4.2) am Ende fallengelassen.

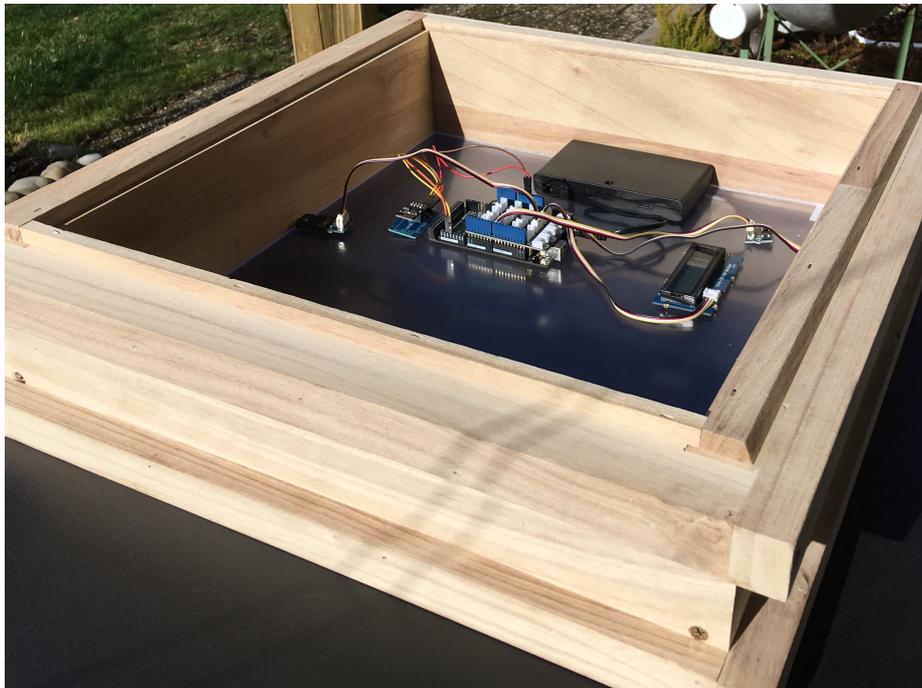


Abbildung 4.2: Prototyp mit einer ganzen Zarge für die Messtechnik

Das vielversprechendste Konzept ist demnach eine Box, welche in den Bienenstock selbst eingebaut wird. Dies stellt bis auf Weiteres die einfachste und günstigste Möglichkeit dar, eine Beute nachträglich mit Sensoren auszustatten. Ein weiterer Vorteil

ist, dass es für fast alle Beutearten funktioniert, sofern die Box klein genug ist um in ein Rähmchen zu passen. Da dieses Konzept nicht komplett neu ist, soll die Box in sich bereits alle zum Funktionieren nötigen Bauteile beinhalten. Das bedeutet, sowohl die Sensoren als auch der Mikrocontroller wie auch der Akku und schließlich ein GPRS-Modul zum Senden.

4.1 Gehäuse

Für das Gehäuse der Technik gibt es mehrere Möglichkeiten: Ein eigener Bienenstock in dem die Technik bereits verbaut ist, ein Deckel oder Bodenelement in dem die Technik untergebracht wird oder ein Element, das in den Bienenstock integriert wird.

Für einen eigens neu entwickelten Bienenstock spricht, dass die Technik optimal platziert werden kann. Da bei einem solchen Konzept auch die Platzierung der Zargen festgelegt werden kann, wäre eine Messung zwischen diesen ebenfalls denkbar, was im Normalfall nicht unbedingt gegeben ist, da verschiedene Maße der Bienenstöcke zu berücksichtigen sind. Jedoch spricht gegen diesen Weg, dass eine Eigenentwicklung vergleichsweise teuer werden würde. Zudem müssten Imker ihre Bienenstöcke komplett austauschen, um auf das neue System umzusteigen.

Die zweite Möglichkeit eines Deckel- oder Bodenelements ist da bereits etwas weiter. Hierbei können vorhandene Bienenstöcke nachgerüstet werden. Problematisch dabei ist jedoch, dass auch hier nicht alle Bienenstöcke die gleichen Maße teilen. So gibt es einen Unterschied zwischen den zwei gängigen Fabrikaten Zandermaß und Normalmaß. Ein weiteres Problem ist der Aufbau einer Magazinbeute, dabei ist im unteren Bereich in der Regel der Brutraum und im oberen der Honigraum. Am Sinnvollsten gestaltet sich die Messung im Brutraum, was mit einem Deckel aufgrund des darüber liegenden Honigraums unmöglich wäre. Eine Bodenplatte ist ebenfalls ungünstig, da sich über dieser das Flugloch befindet.

Die letzte Variante mit einem in den Bienenstock einzuführenden Element ist daher die sinnvollste Lösung zur Messung in einem Bienenstock. Dabei muss das Element

4 Konzept

jedoch möglichst so gestaltet sein, dass es entweder auf oder in eine Zarge passt. Die Lösung besteht darin, ein Gehäuse zu entwickeln, das in ein Rähmchen passt und dabei nicht viel breiter ist als dieses (Abb. 4.3). Um dies zu erreichen darf das Gehäuse nicht tiefer als 3 cm sein. Weiterhin, um auch in kleine Beuten zu passen, ist eine Höhe von etwa 13 cm sowie eine Breite von 19 cm sinnvoll. Zur Befestigung an dem Rähmchen ohne Schrauben, befinden sich an drei Stellen des Rahmens kleine Beinchen. Diese haben zwei Funktionen: Zum einen dienen sie als Befestigung für einen Draht am Gehäuse, der um das Rähmchen herumgeschlungen wird, um so das Gehäuse sicher am Rähmchen zu befestigen. Zum anderen wird dadurch eine Lücke geschaffen, die es den Bienen ermöglicht, sich frei am Gehäuse vorbei zu bewegen.



Abbildung 4.3: Fertiges Gehäuse für den 3D-Druck

Die verwendeten Materialien für den Prototypen sind ausnahmslos Kunststoffe, größtenteils aus dem 3D-Drucker. Dies ist nötig, um das Design kostengünstig für den ersten Test zu realisieren. Für das Endprodukt ist es jedoch nicht die optimale Lösung. Diese sollte möglichst nachhaltig sein. Daher kommen vor allem natürliche Materialien infrage. Eine mögliche Lösung wäre daher Flüssigholz.

4.2 Hardware

Für die Umsetzung der Hardware im Prototypen gibt es mehrere Bereiche, die separat betrachtet werden können. Dabei handelt es sich um:

- Controller
- Sendemodul
- Sensorik
- Energiespeicher

Für den Controller kommen bei der Entwicklung RaspberryPi oder Arduino infrage. Diese sind im Prinzip einfache Miniaturcomputer, die jedoch jeweils andere Grundvoraussetzungen mitbringen. So hat der RaspabarryPi von sich aus mehr Funktionen, wie WLAN, Ethernet, Bluetooth und die Möglichkeit, ein eigenes Betriebssystem mit Nutzeroberfläche zu installieren.

Der Arduino hingegen kommt in seiner Grundversion ohne Netzwerksupport oder Nutzeroberfläche. Diese lassen sich jedoch mit geeigneten Modulen erweitern, um so die gewünschten Funktionen zu implementieren. Weil der Prototyp so schlank wie möglich werden sollte, fiel die Wahl auf den Arduino, da dieser dem gewünschten Endprodukt am nächsten kommt.

Für die Energieversorgung gibt es mehrere Möglichkeiten, die in Betracht gezogen werden können. So war zunächst die Idee einen Bleiakkumulator zu verwenden, der vergleichsweise lange Laufzeiten ermöglicht und dabei in der Anschaffung sehr günstig ist. Sein Nachteil ist die enorme Größe und ein hohes Gewicht. Für einen Prototypen, der in einen Bienenstock kommen soll, ist diese Art von Akku daher ungeeignet. Übrig bleiben daher nur Nickelmetall-, Lithium-Ionen- oder Lithium-Polymer-Akkumulatoren. Ausschlaggebend für die Entscheidung, einen Lithium-Polymer-Akkumulator zu nutzen, ist seine Fähigkeit, vergleichsweise hohe Stromstärken zur Verfügung zu stellen. Diese Eigenschaft ist für das Senden über das GSM-Modul zwingend nötig.

4.2.1 Arduino

Hinter dem Namen Arduino verbirgt sich eine “open-source electronic platform”, basierend auf einfach zu nutzender Hardware sowie Software. Arduinos können in der Regel sowohl analoge als auch digitale Inputs lesen und verarbeiten. Zur Programmierung kann eine Entwicklungsumgebung von der Website des Herstellers heruntergeladen werden. Durch ihren einfachen Aufbau bietet die Plattform eine günstige, simple und offene Grundlage für Projekte. Zusätzlich kommen eine umfangreiche Dokumentation sowie eine breite Nutzerbasis, welche Erfahrungen und Tipps in Foren teilt. Weiterhin gibt es viele Anwendungen und Module, die für Arduino ausgelegt sind. ([Electronics Hub 2016](#)).

Bei der Entwicklung soll zunächst auf einen Arduino Mega Rev2 (Abb. 4.4) zurückgegriffen werden, da dieser genug Rechenleistung bietet, um mit verschiedenen Sensoren und Modulen zu experimentieren. Im späteren Verlauf der Entwicklung soll dann evaluiert werden, ob ein Umstieg auf ein anderes Arduino Modell infrage kommt. Insbesondere die Größe des Mega Rev2 spielt eine wichtige Rolle.

Dadurch, dass die Wahl zunächst auf den Mega Rev2 fällt, eröffnet sich die Möglichkeit, auf Shields zurück zugreifen. Dabei handelt es sich um Steckmodule, die auf den Arduino aufgesteckt werden und diesen um Funktionen erweitern. So kann dieser um eine Ethernetverbindung erweitert werden, was zu Anfang die einfachste Methode darstellt, um eine Internetverbindung herzustellen. Eine weitere Anwendung des Shield-Konzepts findet sich in der Verwendung eines Steckmodul-Shields, welches ein Steckverbindungssystem bietet, um festes Verlöten von Bauteilen zunächst zu vermeiden. Dies ermöglicht ein unkompliziertes Testen verschiedener Konfigurationen und Bauteile, sowie das Minimieren von Fehlerquellen und die Vereinfachung von Arbeitsabläufen. Die zum Einsatz kommenden Shields sind das Ethernet Shield W5100 ([Sunfounder - Wiki 2019](#)) sowie das Base Shield V2 (Abb. 4.5) von Seeed ([GitHub - Seeed Document 2019](#)).

4 Konzept

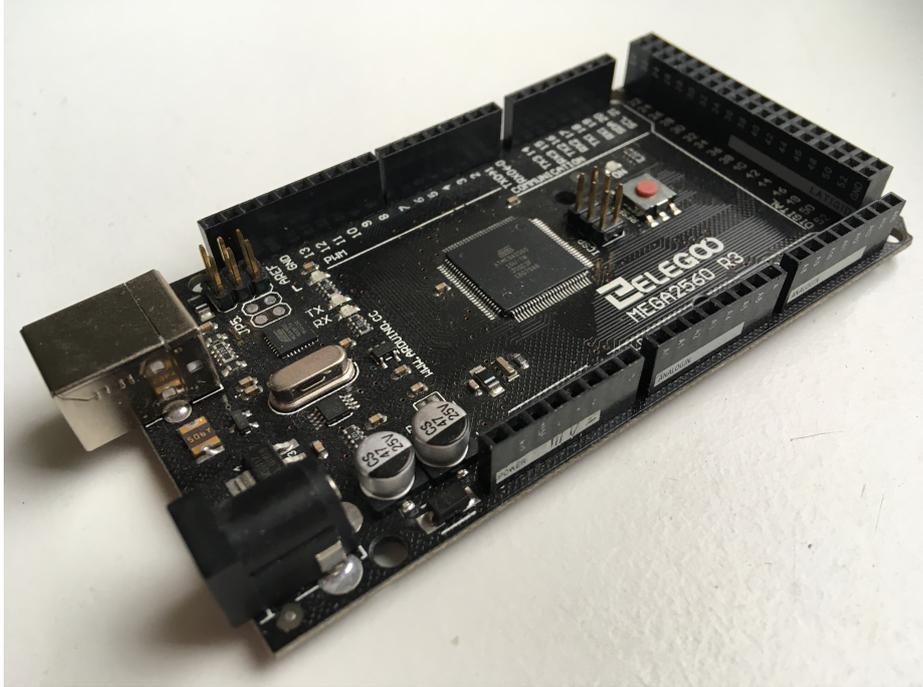


Abbildung 4.4: Der verwendete Arduino Mega Rev2

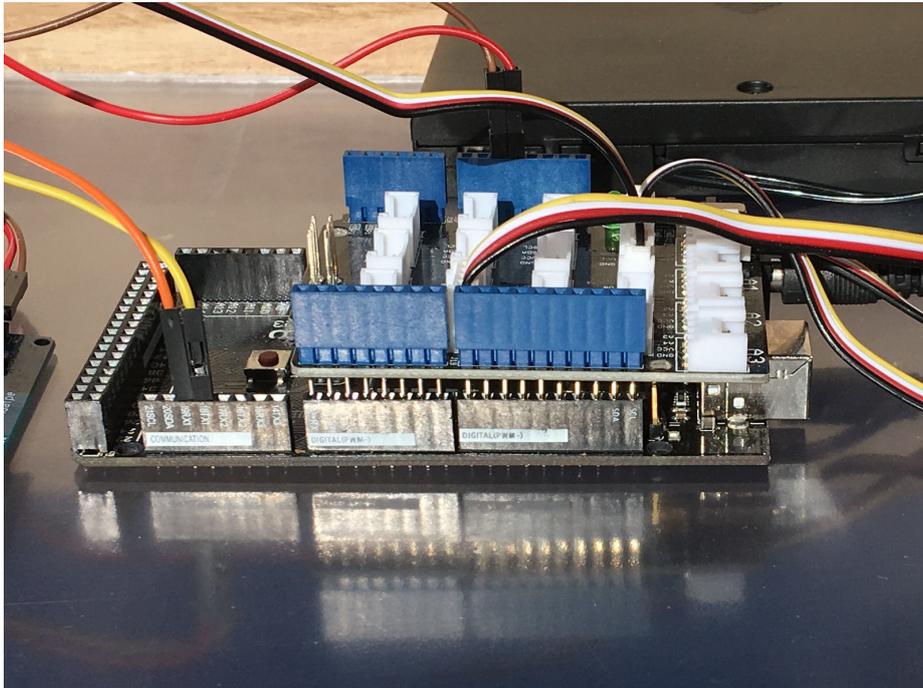


Abbildung 4.5: Das Base Shield V2 auf dem Mega Rev2

4.2.2 Sendemodule

Um die Daten an den Server zu übermitteln gibt es verschiedene Möglichkeiten. Option eins, eine WLAN-Verbindung mit einem Router aufbauen und so eine Kommunikation mit dem Server herstellen. Für die Variante spricht, dass WLAN sehr einfach zu implementieren ist und das Senden über WLAN nicht sehr energieaufwändig ist. Die Verfügbarkeit von WLAN-Netzen ist jedoch keineswegs sichergestellt, da Bienenstöcke oft abseits von Wohngebieten stehen.

Eine weitere Option ist ein GSM-Modul zu nutzen, und das Senden über das Mobilfunknetz stattfinden zu lassen. Dabei ist flächendeckende Netzabdeckung von Vorteil. Jedoch ist es vergleichsweise teuer, Daten zu senden und auch der Energieaufwand ist im Vergleich zum WLAN-Netz für den Sender höher, was vor allem bei der Auswahl des passenden Akkus berücksichtigt werden muss.

Die letzte Option ist eine Kombination aus GSM-Modul und Bluetooth. Dabei nutzt man zwei separate Module, eines zum Sammeln der Daten im Bienenstock und eines zum Senden der Daten an den Server. Der Vorteil besteht darin, dass mehrere Bienenstöcke über ein Modul senden können, was den Energiebedarf reduziert und auch die Kosten für das Senden der Daten minimiert. Nachteilig ist jedoch, dass ein Fehlen des Sendemoduls zur Folge hat, dass alle anderen Module ihre Verbindung zum Server verlieren, und somit auch beispielsweise keine Standortdaten mehr senden können.

Für den Prototypen fiel die Wahl auf ein einzelnes GSM-Modul. Grund dafür ist, dass getestet werden soll, ob ein GSM-Modul pro Bienenstock realisierbar ist um so das gesamte System so simpel wie möglich zu halten. Da es sich dabei um eine klassische M2M-Anwendung handelt, kann eine SIM-Karte für IoT-Devices genutzt werden. Dabei handelt es sich um eine SIM-Karte mit einem abgespeckten Tarif, der primär auf das Senden und Empfangen kleiner Datenpakete ausgelegt ist.

4.2.3 Sensorik

Die Sensoren sind die Ohren und Augen des Prototypen. Dabei kommen verschiedene Arten von Sensoren infrage. Am Naheliegensten sind Temperatursensoren. So sorgen die Bienen in einem Bienenstock für ihr eigenes Klima. Wird es beispielsweise zu warm, fangen sie an, mit ihren Flügeln am Flugloch für Luftzirkulation zu sorgen. Eine weitere Messtechnik sind Hydrometer, um die Luftfeuchtigkeit zu messen. Auch diese wird von den Bienen beeinflusst und kann folglich Indikator für Veränderungen im Bienenstock sein. Ein etwas anderes Messfeld stellt der Schallpegel dar. Bienen sind nicht lautlos, folglich kann eine Messung ihrer Geräusche etwas über ihre Aktivität verraten.

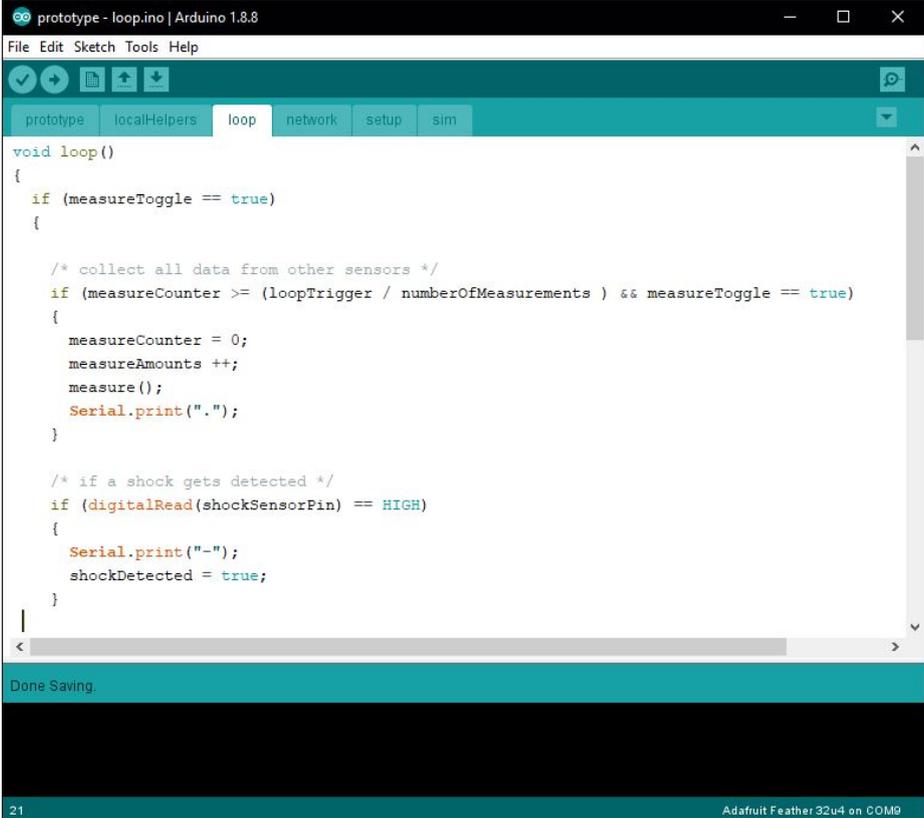
4.3 Software

Grundsätzlich kann zur Programmierung eines Arduinos jede Sprache verwendet werden, die sich in Maschinensprache übersetzen lässt. Arduino bietet dabei eine eigene IDE an (Abb. 4.6), welche kostenlos zur Verfügung steht. Die IDE basiert auf Wiring, ein open-source Framework speziell für das Programmieren von Mikrocontrollern ([GitHub - Wiring 2012](#)). Diese wird bei der Programmierung des Prototypen zum Einsatz kommen. Die Programmiersprache basiert dabei auf C und C++ und kann um entsprechende Libraries erweitert werden ([Electronics Hub 2016](#)). Des Weiteren ist die IDE in der Lage, das fertige Programm auf den Arduino zu laden und eine Kommunikation mit diesem herzustellen um ein Feedback von dem laufenden Programm auf dem Arduino zu erhalten.

Auf dem Server wird im Backend mit Php gearbeitet. Aufbauend darauf wird das Framework Laravel verwendet, welches sich unter anderem um das Routing auf dem Server sowie um eine sichere Verbindung mit der Datenbank kümmert ([GitHub - Laravel 2019](#)). Für das Frontend wird mit HTML, CSS und JavaScript gearbeitet. Zusätzlich kommen die Libraries jQuery und Chart.js. Bei jQuery handelt es sich um

4 Konzept

eine weit verbreitete Library, die für das Manipulieren von Elementen auf der Website sowie das Eventhandling und Ajax Requests einfache Lösungen bietet ([GitHub - jQuery 2019](#)). Chart.js wiederum ist eine Open-Source Library, welche für das Erstellen von Charts mit JavaScript gedacht ist ([Medium 2018](#)).



```
void loop()
{
  if (measureToggle == true)
  {
    /* collect all data from other sensors */
    if (measureCounter >= (loopTrigger / numberOfMeasurements) && measureToggle == true)
    {
      measureCounter = 0;
      measureAmounts ++;
      measure();
      Serial.print(".");
    }

    /* if a shock gets detected */
    if (digitalRead(shockSensorPin) == HIGH)
    {
      Serial.print("-");
      shockDetected = true;
    }
  }
}
```

Done Saving.

21 Adafruit Feather 32u4 on COM9

Abbildung 4.6: Die verwendete Arduino Entwicklungsumgebung

5 Umsetzung

Im Folgenden wird beschrieben wie aus dem Konzept ein funktionierender Prototyp entstand. Die Beschreibung folgt dabei chronologisch der Entwicklung des Prototypen und geht auf alle Aspekte, von der Hardware bis zur Software, ein.

5.1 Hardware

Die Entwicklung begann mit einem Arduino Mega Rev2, welcher zu den leistungstärksten Arduinos zählten. Damit war genug Spielraum, um verschiedene Sensoren, Sendarten und Hardware zu testen. Auch ermöglichte dies, mit der Datenauswertung zu experimentieren. Was kann auf dem Arduino selbst schon ausgewertet werden und was soll zunächst an einen Server übermittelt werden? Bei der Datenübertragung ist als Erstes das Ethernet Shield W5100 ([Sunfounder - Wiki 2019](#)) zum Einsatz gekommen. Dabei ging es hier zunächst darum, eine stabile Verbindung zu dem Server zu haben, um die grundlegende Struktur des Programms zu bestimmen. Im nächsten Schritt ist WLAN als mögliche Übertragungsmethode ins Spiel gekommen. Zu diesem Zweck kam der ESP8266EX von der Firma Espressif Systems zum Einsatz ([Mouser Electronics 2019](#)). Nachdem klar wurde, dass die einzige Übertragungsmethode im fertigen Prototypen GPRS sein würde und des Weiteren sämtliche Daten zunächst auf den Server übermittelt und im weiteren Verlauf ausgewertet werden würden, bestand die Möglichkeit, einen kleineren Arduino zu verwenden. Dies ist gerade in Hinblick auf die Platzersparnis von Interesse. Doch auch die zu verwendende Sendemethode war bei der Entscheidung ausschlaggebend. So gibt es kleine Arduino Boards

5 Umsetzung

von der Firma Adafruit, welche ein fest verbautes Sendemodul mit auf dem Bord tragen. Der Adafruit Feather 32u4 FONA (Abb. 5.1) ist bereits mit einem GPRS-Modul ausgestattet und hat genügend Anschlussmöglichkeiten für Sensoren ([Adafruit 2016](#)). Bei dem verbauten GPRS-Modul handelt es sich um ein SIM800H-Modul, welches vom Hersteller SIMCOM Wireless Solutions kommt, einer Tochtergesellschaft der SIM Technology Group ist. Das SIM800H-Modul ist dabei in der Lage, bei geringem Energiebedarf Sprachnachrichten, SMS sowie Daten über GPRS zu senden ([SIMCOM Wireless Solutions - ohne Datum](#)).

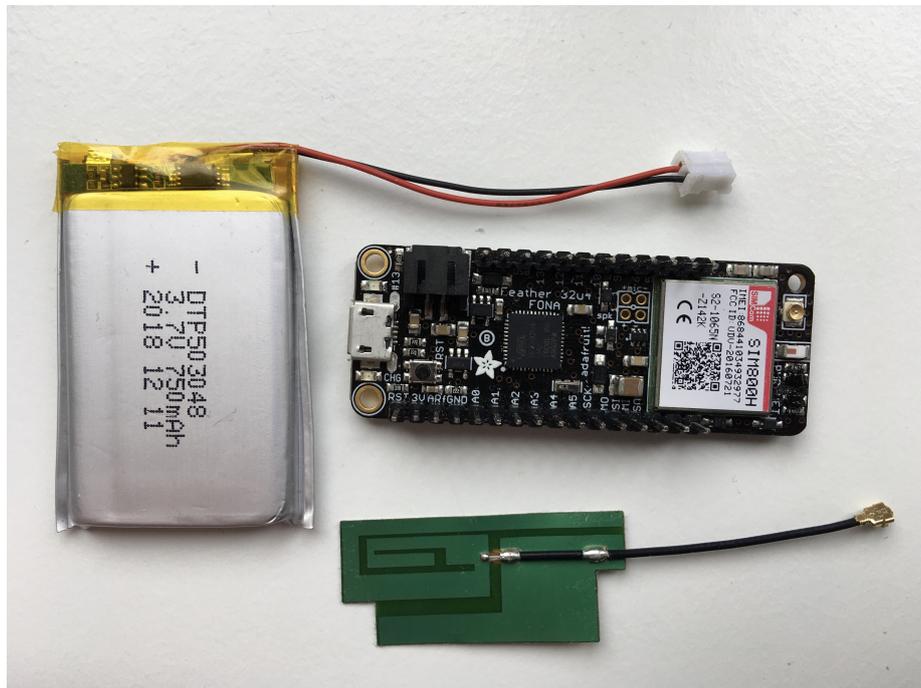


Abbildung 5.1: Adafruit 32u4 FONA mit Antenne und Lithium-Polymer-Akkumulator

5.1.1 WLAN

Bei der angedachten Umsetzung des Projekts war zunächst noch offen, ob eine WLAN-Verbindung ausreichen würde. Weiterhin könnte es für spätere Anwendungsfelder interessant sein auch eine WLAN-Version des Prototypen zu entwickeln, um flexibel zu sein, wenn ein Produkt aus dem Prototypen hervorgehen sollte. WLAN stellt dabei eine kostengünstigere, energieeffizientere Variante als GPRS dar, weshalb diese Möglichkeit offengehalten werden sollte.

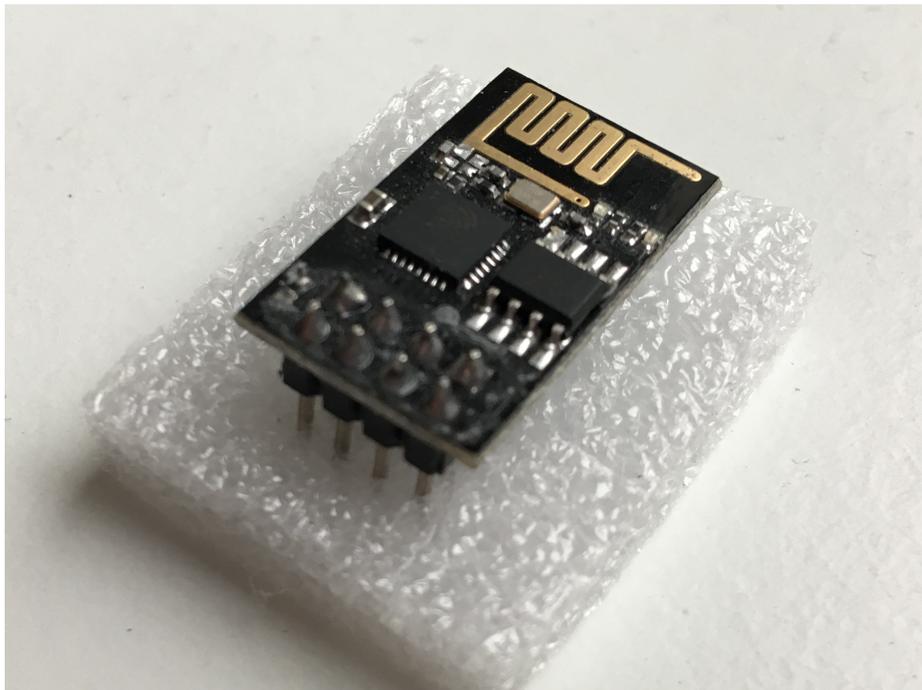


Abbildung 5.2: Der ESP8266EX verbaut auf einem Chip mit Antenne

Da Arduino, anders als RaspberryPi, keine eigene Möglichkeit besitzt sich mit WLAN zu verbinden, musste dies erst mithilfe eines Chips nachgerüstet werden. Ein gängiger Chip, der für die WLAN-Verbindung genutzt wird, ist der ESP8266EX (Abb. 5.2). Auf diesem befindet sich ein 32-Bit-Microcontroller der Firma Cadence (Cadence 2007). Damit ist er in der Lage, selbst kleine Programme auszuführen. Alternativ kann er über einen RX- und TX-Pin, die für eine Serial-Verbindung genutzt werden können, zum Beispiel an einen Arduino angeschlossen werden. Zusätzlich

hat der verwendete ESP8266EX noch zwei GPIO-Pins, diese finden allerdings für den Prototypen keine Verwendung ([Mouser Electronics 2019](#)). Um eine Verbindung mit einem Arduino herzustellen, müssen die RX- und TX-Pins der beiden Geräte verbunden und eine Energieversorgung mit einer 3,3 V Quelle hergestellt werden. Dies ließ sich ohne weiteres für den Prototypen umsetzen. Das Senden der Daten läuft dabei ähnlich dem beim GPRS Modul ab, wobei das Verbinden mit dem WLAN-Netz sich als wesentlich einfacher herausstellte als es das beim Mobilfunknetz tat. Zur Kommunikation zwischen dem Arduino und dem jeweiligen Sendemodul werden in beiden Fällen die AT-Befehle verwendet. Diese ermöglichen es, ohne Treiber oder ähnlichem, Anweisungen an das Sendemodul zu senden und die Antwort zu erhalten.

5.1.2 GPRS

Um die Kommunikation zwischen Bienenstock und Server auch ohne vorhandenes WLAN-Netz zu ermöglichen, ist die beste Alternative das Mobilfunknetz zu nutzen. Für diese Zwecke sind die SIM-Kartenmodule der Firm Simcom bestens geeignet. Dabei gibt es die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Varianten zu wählen. Es gibt Module die nur GSM/GPRS können, andere sind in der Lage, GNSS oder sogar LTE zu unterstützen ([SIMCOM Wireless Solutions - ohne Datum](#)). Für den Prototypen kommt das SIM800H zum Einsatz, welches mit einer einfachen GSM/GPRS-Verbindung ohne GNSS auskommt ([SIMCOM Wireless Solutions - ohne Datum](#)). Für die Ortung wird im Prototypen zunächst die einfache GSM-Ortung verwendet, welche lediglich die Mobilfunkzelle ausgibt, in der sich das Gerät befindet. Dies ist zwar nicht optimal, da die Genauigkeit sehr gering ist, soll jedoch für den Prototypen zunächst ausreichen.

Ein weiteres Problem bei der Nutzung von GPRS ist die SIM-Karte. Weil es sich bei dem Prototypen um eine M2M-Anwendung handelt, ist es möglich, eine SIM-Karte zu nutzen, welche nur ein kleines Datenkontingent zur Verfügung stellt, da die gesendeten Datenpakete nur einige Bytes groß sind. Die für den Prototypen verwen-

de SIM-Karte stammt von 1NCE, einem deutschen Unternehmen, das sich auf die Vermarktung von SIM-Karten für IoT-Geräte spezialisiert hat ([Telekom 2018](#)). Die in dem Tarif zugesicherten 500 MB Datenkontingent wurden in der gesamten Entwicklung und Testphase nicht überschritten. Das tatsächlich verbrauchte Datenvolumen betrug sogar weniger als 50 MB.

5.1.3 Sensoren

Das durch die Verwendung des Base Shield V2 von Seeed ([GitHub - Seeed Document 2019](#)) eingeführte Steckverbindungssystem hat den Vorteil, dass Sensoren mit selbigem System ohne zusätzliche Jumper-Kabel oder Lötverbindungen einfach angeschlossen werden können. Dabei bietet der Hersteller des Shields eine große Auswahl an Sensoren an, welche für die Realisierung des Prototypen infrage kommen ([GitHub - Seeed Document 2019](#)). Für die Umsetzung werden insgesamt drei Sensoren verwendet (Abb. 5.3), dazu zählt der Barometersensor von Seeed, welcher das Kernstück der Sensorik bildet. So handelt es sich dabei um einen BME280-Sensor, welcher in der Lage ist, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur zu bestimmen ([GitHub - Seeed Document 2019](#)). Zur Lautstärkebestimmung wird ein Sound-Sensor von waveshare mit einem LM386-Sensor an Bord zum Einsatz kommen ([Waveshare 2016](#)). Als letztes soll ein Shock-Sensor getestet werden, welcher ein möglicher Kandidat für die Umsetzung einer Diebstahlsicherung ist. Die Idee dabei: Wenn eine Erschütterung oder Bewegung des Bienenstocks erkannt wird, startet die GPS-Lokalisierung und ein Alarm wird ausgelöst. Dies soll ein häufiges Ermitteln der Positionsdaten über GPS überflüssig machen und so Energie sparen. Zu diesem Zweck soll im Prototypen der Piezo Vibrationssensor von Seeed Studio getestet werden. Dieser arbeitet mit einem LDT0-028-Sensor, um Vibrationen zu messen ([GitHub - Seeed Document 2019](#)).

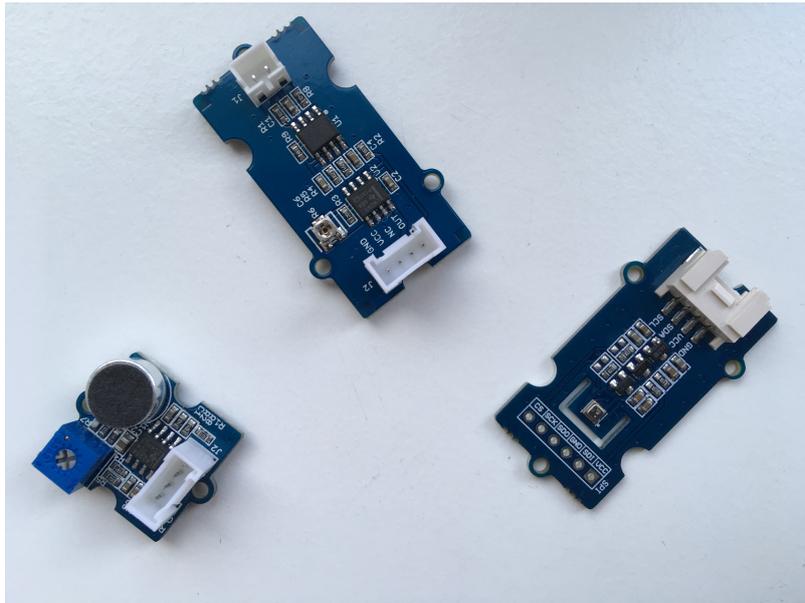


Abbildung 5.3: Von links nach rechts: BME280-Sensor, LM386-Sensor und der LDT028 Sensor

5.2 Programmierung

Die Programmierung ist in zwei Teile aufgeteilt. Im ersten Teil geht es um die Programmierung des Arduinos. Dabei werden die Grundlagen des Prototypen beleuchtet und was zu berücksichtigen ist. Im zweiten Teil geht es dann um die Programmierung des Servers, der die Datenpakete entgegennimmt und verarbeitet.

5.2.1 Arduino

Zunächst werden bei der Programmierung eines Arduinos die einzelnen Libraries importiert, welche im Code Anwendung finden. Danach werden die Pins definiert, an denen die einzelnen Sensoren angeschlossen sind und globale Variablen festgelegt, auf die funktionsübergreifend zurückgegriffen werden kann. Ein Beispiel dafür ist die Geräte-ID, mit der sich die jeweilige Messstation auf dem Server ausweisen kann. Außerdem sind Variablen, die zu Konfigurationszwecken leicht wiederzufinden sein sollen, hier aufgeführt.

5 Umsetzung

Die erste aufgerufene Funktion ist bei Arduinos immer die Setup-Funktion. Hier werden zunächst Verbindungen, die über einen Serialport laufen, gestartet. Als nächstes werden, sofern nötig, Pin-Modi eingestellt. Auch wird hier das erste Mal mit dem SIM-Karten-Modul kommuniziert um die IMEI zu erhalten, die eine Identifizierung des an den Server sendenden Gerätes ermöglicht.

Der Hauptteil des Programms besteht aus der loop-Funktion, welche auf dem Arduino in Dauerschleife läuft. Innerhalb der Funktion wird die Messung der Sensorik kontrolliert und aus den Messungen, die verteilt über den Zeitraum zwischen der Kommunikation mit dem Server stattfinden, wird ein Mittelwert gebildet, welcher schließlich an den Server gesendet wird. Dabei geschieht dies alles durch den Aufruf einzelner Funktionen, die jeweils einen Teil der Aufgaben übernehmen. Die Anzahl sowie die Häufigkeit der Messungen lässt sich dabei über die anfangs erwähnten globalen Variablen steuern.

Die übrigen Funktionen sind in drei Aufgabenbereiche aufgeteilt:

- Datenverarbeitung von Sensoren
- Kommunikation mit dem GSM-Modul
- Senden über das Netzwerk

Die Datenverarbeitung findet sich dabei im Segment mit dem Titel “localHelpers” wieder. Die wichtigste Funktion hier ist die “endMeasurePeriod” Funktion, welche die von den Sensoren gesammelten Daten zusammenträgt und in einen String verarbeitet. Weiterhin koordiniert sie den Sendeablauf und übergibt der für das Senden zuständigen Funktion den fertigen zu sendenden String.

Bei der Kommunikation mit dem GSM-Modul ist ein gut durchdachter Ablauf nötig, da es bei einem Austausch von langen Zeichenketten zwischen Modul und Arduino schnell zu Fehlern kommen kann. Mehrere Lösungsansätze wurden probiert um diese Fehler zu minimieren, bis schließlich die open-source Library von Adafruit eingesetzt wurde ([GitHub - Adafruit 2019](#)). Diese stellte sich als weitgehend fehlerresistent heraus. Da jedoch nur ein Bruchteil der Funktionen aus der Library Verwendung finden,

wurden nur die benötigten Funktionen entnommen und angepasst. Diese finden sich unter dem Titel “sim” im Code wieder. Die eigentliche Kommunikation zwischen GSM-Modul und Arduino findet dann mit dem AT-Befehlssatz statt.

Im noch ausstehenden Teil des Codes geht es um die Kommunikation zwischen Arduino und dem Server über das Netzwerk, folglich ist dieser Teil im Code mit “network” betitelt. Bei der Kommunikation über GPRS muss dieses zunächst im GSM-Modul aktiviert und ein HTTP-Post vorbereitet werden. Ist dies geschehen, wird der zu sendende String geladen und wahlweise als GET, POST oder HEAD gesendet. Für den Prototypen bot sich ein Senden über die POST-Methode an, da diese für das Übermitteln von Daten an den Server ursprünglich erdacht wurde. Um zu verifizieren, dass die Daten erfolgreich hochgeladen wurden, übermittelt der Server einen kurzen String. So kann ein erneutes Senden beim Ausbleiben dieser Nachricht eingeleitet werden.

5.2.2 Server

Der Server hat zwei Funktionen. Zum einen muss er die Daten der Sensorik entgegennehmen und speichern, zum anderen muss er diese verarbeiten und dem Nutzer in sinnvoller Form darstellen. Für die Kommunikation mit dem Arduino wird eine URL eingerichtet hinter der ein Php-Script steht, welches die eingehenden Datenströme auf Fehler analysiert und im Folgenden in eine MySQL-Datenbank schreibt. Diese bietet eine schnelle, zuverlässige und kosteneffektive Möglichkeit große Mengen von Daten zu verarbeiten. Die im Vorfeld stattfindende Fehleranalyse hat die Aufgabe, darauf zu achten, dass Werte Sinn ergeben. So hat zum Beispiel die ID des sendenden Gerätes eine feste Länge, wird diese unterschritten oder überschritten, dann handelt es sich um einen fehlerhaften Senderversuch. Folglich werden mögliche anhängende Daten nicht entgegengenommen und der Sender erhält eine Fehlernachricht als Antwort. Entsprechen hingegen alle Daten dem zu erwartenden Format, werden diese in der Datenbank gespeichert und dem Sender wird das erfolgreiche Abschließen des

5 Umsetzung

Prozesses mitgeteilt. Des Weiteren stellt das Php-Script sicher, dass es sich bei dem sendenden Gerät auch wirklich um eine in der Datenbank registrierte Messstation handelt. Dies geschieht über den Vergleich der zuvor erwähnten Geräte-ID mit den in der Datenbank gespeicherten ID's.

Die zweite Aufgabe des Servers ist es, dem Nutzer die Daten von den Sensoren mit Zeitbezug anzuzeigen. Dazu greift der Nutzer zunächst auf eine spezielle URL zu. An dieser Stelle wurde für den Prototypen zunächst noch auf einen Login verzichtet, im späteren Verlauf wird dies jedoch unabdingbar sein. Im Folgenden werden dann eine ID aus der URL entnommen und in der Datenbank mit den internen IDs für die Sendegeräte abgeglichen. Gibt es einen Treffer, werden sämtliche vorliegenden Daten zu dem passenden Sendegerät gesammelt und eine feste Anzahl der neuesten Datensätze ausgelesen. Die auszulesende Menge ist vom Nutzer zu konfigurieren. Aus den gesammelten Datensätzen werden mithilfe eines JavaScriptes Graphen erstellt (Abb. 5.4). Will der Nutzer die Daten zu einem bestimmten Tag sehen, kann er dies ebenfalls als Suchkriterium hinzufügen.



Abbildung 5.4: Ansicht der Website aus Sicht des Nutzers

5.3 Das Gehäuse

Bei der Umsetzung des Gehäuses ist der 3D-Druck die beste Wahl zum Erreichen der gewünschten Maße. Insbesondere der Rahmen der Konstruktion profitiert von dieser Herstellungsmethode. Bei der Planung des Drucks stellte sich jedoch heraus, dass ein 3D-Druck der gesamten Konstruktion zeitlich zu aufwändig für das zur Verfügung stehende Equipment sein würde. Daher sind Vorder- und Rückseiten des Prototypen vorläufig aus einem Stück Plexiglas gefertigt und mit Schrauben am Gehäuse montiert. Dazu befinden sich im Rahmen des Gehäuses Aussparungen, in denen die Muttern befestigt werden. Ist die Hardware für den Praxistest bereit, wird die Rückwand dann durch eine 3D-gedruckte Rückwand ersetzt, welche die Technik fest im Gehäuse anordnen und das Kabelmanagement übernehmen soll.

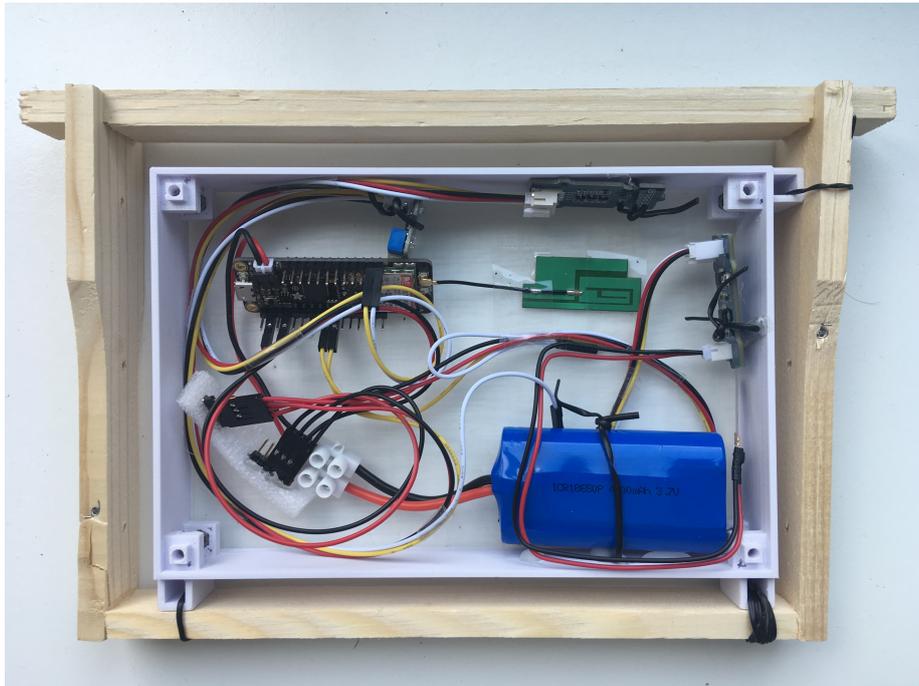


Abbildung 5.5: Fertiger Prototyp in seiner ersten Version, mit einfacher Rückwand, befestigt an einem Rähmchen

6 Praxistest

Für den Praxistest wurde ein Prototyp vorbereitet, der über drei Wochen im Bienenstock platziert wurde (Abb. 6.1). Dabei sollte getestet werden, ob die Messinstrumente zuverlässig funktionieren, wie lange der Akku hält, und ob die Bienen sich gestört fühlen würden. Zudem ist von Interesse, ob das Senden der Daten an den Server problemlos funktioniert.



Abbildung 6.1: Der Prototyp beim Test im Bienenstock (2. Rähmchen von Links)

Der Test lief in zwei Phasen ab. Zuerst wurde ein Trockentest durchgeführt. Dabei sollte sichergestellt werden, dass alle Bauteile ordnungsgemäß funktionieren und

auch bei längerer Nutzung keine Probleme auftreten. In der zweiten Phase wurde dann im Bienenstock selber getestet. So sollte sichergestellt werden, dass die Technik reibungslos funktioniert und es zu keinen Zwischenfällen während des eigentlichen Tests im Bienenstock kommt.

In der ersten Testphase wurde zunächst deutlich, dass das GSM-Modul im Standby noch zu viel Energie verbraucht. Da eine Lösung des Problems jedoch den eigentlichen Test in einem Bienenstock weiter verschoben hätte, wurde es bei der vorläufigen Konfiguration belassen. Ein weiteres Problem war der Akku an sich. Dieser hatte mit 4400 mAh nicht annähernd genug Kapazität, um einen Langzeittest zu ermöglichen. Insgesamt belief sich in ersten Tests die Laufzeit auf ca. 3 Tage. Ein weiterer Grund mag jedoch auch die vergleichsweise hohe Sendefrequenz von etwa einer Datenübertragung alle 10 Minuten sein. Dass diese Einfluss auf die Akkulaufzeit hat wurde zuvor im Trockentest bereits deutlich, als zunächst eine noch höhere Sendefrequenz konfiguriert war. Durch eine Verfünffachung der Pausenlänge zwischen dem Senden konnte so in Folge dessen die Akkulaufzeit um fast 30 % verlängert werden.

Im eigentlichen Praxistest in einem Bienenstock zeigte sich, dass das Konzept an sich aufgeht. Die Sensoren erheben zuverlässig Daten und senden diese über GPRS alle 10 Minuten an den Server. Durch die Aufzeichnung des letzten Sendeversuchs können folgende Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit gezogen werden: Vereinzelt kommt es zu Fehlern bei der Kommunikation mit dem Server, diese beheben sich jedoch automatisch, da ein zweiter Sendeversuch eingeleitet wird, welcher in der Regel problemlos verläuft. Weiterhin ist ab und zu ein Netzwerkfehler zu beobachten, dies geschieht jedoch vernachlässigbar selten.

Der Einbau der Sensorik in die Beute funktioniert hingegen problemlos, selbst in kleinen Beuten ist genug Platz für das Gehäuse. Der Imker konnte das Befestigen dieser am Rähmchen ohne große Erklärung durchführen und das Laden des Akkumulators war dank des USB-Ports kein Problem. Die Bienen zeigten sich von der Messstation in ihrer Beute unbeeindruckt und ließen diese weitgehend unbeachtet.

7 Fazit

Ziel der Arbeit ist es, ein funktionierendes IoT-Gerät für Bienenstöcke zu konstruieren, welches in der Lage ist, ortsunabhängig Messwerte zu erheben, diese an einen Server zu senden, wo sie verarbeitet und dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Im Folgenden werden die einzelnen Aspekte des Prototypen (Abb. 7.1) evaluiert und ein Fazit gezogen. Außerdem soll das zukünftige Potential besprochen werden.



Abbildung 7.1: Fertiger Prototyp an einem Rähmchen befestigt

7.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde auf Basis der IoT-Technologie ein Konzept entwickelt, welches in Bienenstöcken Daten mittels Sensoren sammelt und diese auf einer Website zur Verfügung stellen soll. Sinn des Konzeptes ist es, dem Imker Daten über seine Bienenvölker ortsunabhängig zur Verfügung zu stellen. Dies wurde umgesetzt und einem Praxistest unterzogen.

Zu diesem Zweck wurde in Kapitel 2 zunächst eine Einführung in das Imkern gegeben. Dabei wurde auch erläutert, wie der Einsatz von Technik in Bienenstöcken Probleme beim Umgang mit Bienen lösen kann. Im Folgekapitel ist ein Überblick über das heute zur Verfügung stehende technische Equipment in der Imkerei zu finden. Zudem werden hier alle grundlegenden Technologien für IoT-Geräte aufgeführt. Das vierte Kapitel beschreibt die Konzeptionierung eines Prototypen welcher in Kapitel 5 umgesetzt wurde. Dabei werden Hardware, Software und Design berücksichtigt und getrennt betrachtet. Für das anschließende Kapitel 6 wurde ein Praxistest durchgeführt, welcher die Funktionsfähigkeit des Prototypen beweisen sollte. Dazu wurde dieser in einen Bienenstock verbaut und über drei Wochen hinweg getestet. Die gewonnenen Erfahrungen aus dem Test werden hier ebenfalls aufgeführt.

7.2 Gehäuse

Die grundlegende Idee des Designs hat sich im Praxistest bewährt. Das Befestigen des Gehäuses an einem Rähmchen ist für den Imker problemlos durchführbar und bietet den nötigen Halt im Umgang, so dass der Prototyp an diesem fixiert bleibt. Der Platz zwischen Rähmchen und Gehäuse bietet den Bienen die Möglichkeit, sich frei daran vorbei bewegen zu können. Der Innenraum ist großzügig verglichen mit der verbauten Technik. So ist der Einsatz eines größeren Akkumulators durchaus realisierbar.

Die verwendeten Materialien hingegen funktionieren zwar gut in der Anwendung und sind leicht zu verarbeiten, jedoch sind diese, wie bereits zuvor angesprochen,

nicht nachhaltig, weshalb über ein Austausch dieser nachgedacht wird. Auch der Verschlussmechanismus ist nicht einfach im Umgang. So müssen vier Schrauben entfernt werden, um die Deckplatte zu entfernen. Eine einfachere Lösung wäre ein Schiebemechanismus wie man ihn zum Beispiel aus Batteriefächern für Fernbedienungen kennt. Des Weiteren wäre ein Anschluss zum Aufladen des Akkus an der Außenseite noch ein wichtiger Punkt bei der Umsetzung eines Produktes. Insgesamt ist das Design gerade bei der Form jedoch ein Erfolg.

7.3 Technik

Im Bereich der Technik hat der Praxistest gezeigt, dass das Konzept aufgeht. Doch in der Umsetzung wurden die Grenzen der verwendeten Technik klar. So muss das GSM-Modul bei Bedarf zuschaltbar sein. Um Energie zu sparen sollte es aber den Rest der Zeit komplett von der Versorgung getrennt werden. Bei den Sensoren hat das Barometer mit Temperatur- und Luftdrucksensoren tadellos funktioniert. Der Soundsensor hingegen war zu schwach, um durch das Gehäuse hindurch sinnvoll zu operieren. Auch der Vibrationssensor erwies sich als unpraktikabel, da dieser nicht sensibel genug für diese Art von Anwendung ist. Hier müsste zusätzlich auch ein Beschleunigungssensor getestet werden, um auch Dreh- und Kippbewegungen zu erkennen. Der Akkumulator ist ebenfalls ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung des Prototypen. So ist die genutzte Akku-Art zwar in der Lage, wenn nötig hohe Stromstärken zu liefern, jedoch sind diese Akkumulatoren teuer und gelten zudem als empfindlich bei Kurzschlüssen und beim Aufladen. Grundsätzlich hatte der Imker im Praxistest jedoch keine Probleme mit der Technik. Abgesehen davon, dass für den Ladevorgang das Gehäuse jedes Mal geöffnet werden muss, ist dies dank USB-Schnittstelle dennoch unkompliziert durchzuführen.

Serverseitig gab es bei der Umsetzung hingegen keine größeren Hindernisse. Die empfangenen Daten ließen sich leicht verarbeiten und in einer Datenbank abspeichern. Das Anzeigen der Datensätze in Form von Graphen ist einfach umzusetzen

und bietet einen schnellen und unkomplizierten Überblick. Das Feedback des Imkers war positiv, als Verbesserung wurde lediglich vorgeschlagen, das jeweils letzte Messergebnis hervorzuheben, um den momentanen Status besser erkennbar zu machen. Insgesamt funktioniert der serverseitige Part jedoch zuverlässig und bietet eine gute Grundlage.

7.4 Weiterentwicklung

Der Prototyp hat gezeigt, dass ein Modul, welches komplett im Bienenstock eingesetzt wird ohne eine Verbindung nach außen, grundsätzlich möglich ist. Die zu überwindenden Probleme sind überschaubar. Dennoch ist die Option, ein Solarmodul anzuschließen oder das Senden über einen Hotspot stattfinden zu lassen, ein wichtiger Punkt für die Weiterentwicklung. Auch sollte es die Möglichkeit geben, zusätzliche Sensoren anzuschließen oder umgekehrt auf welche zu verzichten. So kann der Imker ein auf seine Bedürfnisse optimal abgestimmtes Produkt erhalten.

Abbildungsverzeichnis

4.1	Konzeptzeichnung: Messinstrumente im Bienenstock senden an den Server, welcher die Daten an die Endnutzengeräte weitergibt	24
4.2	Prototyp mit einer ganzen Zarge für die Messtechnik	25
4.3	Fertiges Gehäuse für den 3D-Druck	27
4.4	Der verwendete Arduino Mega Rev2	30
4.5	Das Base Shield V2 auf dem Mega Rev2	30
4.6	Die verwendete Arduino Entwicklungsumgebung	33
5.1	Adafruit 32u4 FONA mit Antenne und Lithium-Polymer-Akkumulator	35
5.2	Der ESP8266EX verbaut auf einem Chip mit Antenne	36
5.3	Von links nach rechts: BME280-Sensor, LM386-Sensor und der LDT0-028 Sensor	39
5.4	Ansicht der Website aus Sicht des Nutzers	42
5.5	Fertiger Prototyp in seiner ersten Version, mit einfacher Rückwand, befestigt an einem Rähmchen	43
6.1	Der Prototyp beim Test im Bienenstock (2. Rähmchen von Links) . .	44
7.1	Fertiger Prototyp an einem Rähmchen befestigt	46

Literaturverzeichnis

Adafruit: *Adafruit Feather 32u4 FONA*, <https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-32u4-fona/overview>, 2016, letzter Zugriff: 10. 10. 2019

Android Authority: *What is IMEI and why should you care?*, <https://www.androidauthority.com/what-is-imei-923061/>, 2019, letzter Zugriff: 11. 10. 2019

anwalt.de: *Bienenvölker in Wohngebieten grundsätzlich erlaubt, wenn § 906 BGB beachtet wird*, https://www.anwalt.de/rechtstipps/bienenvoelker-in-wohngebieten-grundsatzlich-erlaubt-wenn-bgb-beachtet-wird_137833.html, 2018, letzter Zugriff: 12. 11. 2019

Battery University: *Is Lithium-ion the Ideal Battery?*, https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery, 2010, letzter Zugriff: 19. 10. 2019

Bee Hive Monitoring: *Hive heart (ohne Akku)*, <https://beehivemonitoring.com/de/startseite/1-hive-heart-ohne-akku-8588007887012.html>, 2018, letzter Zugriff: 03. 10. 2019

Bee Hive Monitoring: *Hive GSM gateway without battery*, <https://beehivemonitoring.com/en/home/25-hive-gsm-gateway-without-battery.html>, 2018, letzter Zugriff: 12. 10. 2019

Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*, <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>, ohne Datum, letzter Zugriff: 23. 09. 2019
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Bienen halten, aber wie? Rechtliche Regelungen*, https://www.bmel.de/DE/Tier/Nutztierhaltung/Bienen/_texte/BienenRechtlicheRegelungen.html, 2019, letzter Zugriff: 12. 11. 2019
- Cadence: *Tensilica Unveils Diamond Standard 106Micro Processor; Smallest Licensable 32-bit Core*, <https://ip.cadence.com/news/243/330/Tensilica-Unveils-Diamond-Standard-106Micro-Processor-Smallest-Licensable-32-bit-Core>, 2007, letzter Zugriff: 10. 10. 2019
- Carnegie Mellon University: *The "Only" Coke Machine on the Internet*, https://www.cs.cmu.edu/~coke/history_long.txt, 2005, letzter Zugriff: 26. 09. 2019
- Deutschlandfunk: *Naturretter nach Feierabend*, https://www.deutschlandfunk.de/hobbyimkerei-boomt-naturretter-nach-feierabend.1769.de.html?dram:article_id=424569, 2018, letzter Zugriff: 23. 09. 2019
- Electronics For You: *All You Wanted To Know About AT And GSM AT Commands*, <https://electronicsforu.com/resources/cool-stuff-misc/gsm-at-commands>, 2019, letzter Zugriff: 22. 10. 2019
- Electronics Hub: *Arduino Introduction*, <https://www.electronicshub.org/arduino-introduction/#Introduction>, 2016, letzter Zugriff: 30. 09. 2019
- Engineers Garage: *AT Commands, GSM AT command set*, <https://www.engineersgarage.com/tutorials/at-commands-gsm-at-command-set/>, 2018, letzter Zugriff: 22. 10. 2019
- GitHub - Adafruit: *Adafruit FONA Library*, https://github.com/adafruit/Adafruit_FONA, 2019, letzter Zugriff: 11. 10. 2019

Literaturverzeichnis

- Laravel: *Laravel*, <https://github.com/laravel/laravel>, 2019, letzter Zugriff: 03. 10. 2019
- GitHub - Seeed Document: *Base Shield V2*, https://github.com/SeeedDocument/wiki_english/blob/master/docs/Base_Shield_V2.md, 2019, letzter Zugriff: 30. 09. 2019
- GitHub - Seeed Document: *Sensor Introduction*, https://github.com/SeeedDocument/wiki_english/blob/master/docs/Sensor.md, 2019, letzter Zugriff: 14. 10. 2019
- GitHub - Seeed Document: *Grove - Temp&Humi&Barometer Sensor (BME280)*, https://github.com/SeeedDocument/wiki_english/blob/master/docs/Grove-Barometer_Sensor-BME280.md, 2019, letzter Zugriff: 14. 10. 2019
- GitHub - Seeed Document: *Grove - Piezo Vibration Sensor*, https://github.com/SeeedDocument/wiki_english/blob/master/docs/Grove-Piezo_Vibration_Sensor.md, 2019, letzter Zugriff: 14. 10. 2019
- jQuery: *jQuery ? New Wave JavaScript*, <https://github.com/jquery/jquery/blob/master/README.md>, 2019, letzter Zugriff: 03. 10. 2019
- GitHub - Wiring: *About Wiring*, <https://github.com/WiringProject/Wiring/blob/master/readme.md>, 2012, letzter Zugriff: 03. 10. 2019
- GSA: *What is GNSS*, <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>, 2017, letzter Zugriff: 11. 10. 2019
- GSMA: *Mobile Technology*, <https://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology>, 2019, letzter Zugriff: 11. 10. 2019
- GSMA: *Brief History of GSM & the GSMA*, <https://www.gsma.com/aboutus/history>, 2019, letzter Zugriff: 11. 10. 2019

Literaturverzeichnis

- Honig und Bienen: *Honigsorten? ein allgemeiner Einblick*, <https://honig-und-bienen.de/honigsorten/>, 2018, letzter Zugriff: 17. 10. 2019
- IBM: *What is the Internet of Things?*, <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>, 2016, letzter Zugriff: 26. 09. 2019
- IoTAgenda: *machine-to-machine*, <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/machine-to-machine-M2M>, 2019, letzter Zugriff: 24. 09. 2019
- IoT Agenda: *internet of things (IoT)*, <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>, 2019, letzter Zugriff: 26. 09. 2019
- Julius Kühn-Institut - Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen: *Sozialstaat Honigbiene*, <http://geobee.julius-kuehn.de/index.php?id=218>, ohne Datum, letzter Zugriff: 14. 10. 2019
- Landtag Bayern: *Landtag nimmt Artenschutz-Volksbegehren an*, <https://www.bayern.landtag.de/aktuelles/sitzungen/aus-dem-plenum/landtag-nimmt-artenschutz-volksbegehren-an/>, 2019, letzter Zugriff: 23. 09. 2019
- Medium: *How to use Chart.js*, <https://medium.com/javascript-in-plain-english/exploring-chart-js-e3ba70b07aa4>, 2018, letzter Zugriff: 03. 10. 2019
- Mouser Electronics: *ESP8266EX*, <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP8266EX?qs=chTDxNqvsnorwcu2ADV3g%3D%3D>, 2019, letzter Zugriff: 10. 10. 2019
- NABU: *Notfall-Zulassung für insektenschädliches Neonikotinoid*, <https://www.nabu.de/news/2019/03/26106.html>, 2019, letzter Zugriff: 23. 09. 2019
- Naturschutzbund Deutschland e.V.: *Das fleißige Lieschen*, <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/insekten-und-spinnen/hautfluegler/bienen/01949.html>, ohne Datum, letzter Zugriff: 14. 10. 2019

Literaturverzeichnis

- osbeehives: *osbeehives*, <https://docs.osbeehives.com/docs/how-it-works>, 2015, letzter Zugriff: 03. 10. 2019
- Planet Wissen: *Artensterben*, <https://www.planet-wissen.de/natur/umwelt/artensterben/index.html>, 2019, letzter Zugriff: 28. 10. 2019
- Plos One: *More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas*, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0185809>, 2017, letzter Zugriff: 28. 10. 2019
- Quarks: *Darum ist das Insektensterben ein echtes Problem*, <https://www.quarks.de/umwelt/tierwelt/darum-ist-das-insektensterben-ein-echtes-problem/>, 2019, letzter Zugriff: 28. 10. 2019
- Stadtbienen: *Stadtbienen*, <https://www.stadtbienen.org/wissen/imkerwissen/bienenbeuten/>, 2016, letzter Zugriff: 08. 10. 2019
- SIMCOM Wireless Solutions: *Featured Modules*, <https://simcom.ee/?gsm-gprs-gnss>, ohne Datum, letzter Zugriff: 11. 10. 2019
- SIMCOM Wireless Solutions: *SIMCOM Wireless Solutions*, <https://simcom.ee/modules/gsm-gprs/sim800h/>, ohne Datum, letzter Zugriff: 10. 10. 2019
- Spiegel Online: *“Rettet die Bienen” wird in Bayern Gesetz*, <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/nach-volksbegehren-rettet-die-bienen-wird-in-bayern-gesetz-a-1261075.html>, 2019, letzter Zugriff: 28. 10. 2019
- Sunfounder - Wiki: *Ethernet Shield W5100*, http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=Ethernet_Shield_W5100, 2019, letzter Zugriff: 30. 09. 2019
- SWR: *Das Bestäubungsexperiment*, <https://www.swr.de/odysso/mensch-gegen-biene-bestaebung-experiment-teil-1/-/id=1046894/did=22348828/nid=1046894/o8mqa/index.html>, 2018, letzter Zugriff: 23. 09. 2019

Literaturverzeichnis

- TechTarget: *Hayes command set*, <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Hayes-command-set>, 2007, letzter Zugriff: 22. 10. 2019
- Telekom: *M2M*, <https://www.telekom.com/en/glossary#glossar381580>, 2017, letzter Zugriff: 24. 09. 2019
- Telekom: *1NCE - The startup and its product*, <https://www.telekom.com/en/company/details/1nce-the-startup-and-its-product-525540>, 2018, letzter Zugriff: 11. 10. 2019
- Universität Rostock: *Universität Rostock*, <http://matrikel.uni-rostock.de/id/200005224>, 2012, letzter Zugriff: 08. 10. 2019
- Waveshare: *Sound Sensor*, https://www.waveshare.com/wiki/Sound_Sensor, 2016, letzter Zugriff: 14. 10. 2019
- Wolf Waage: *Wolf Bienenstockwaage*, <https://www.wolf-waagen.de/bienenstockwaage/>, 2017, letzter Zugriff: 02. 10. 2019

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangaben eindeutig kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Alexander Grill