

Sensoren des eHives & Messfehler

Bienenstock

Temperatur

Als Temperatursensoren innerhalb des eHives werden Pt1000-Messwiderstände der Genauigkeitsklasse AA verwendet, diese sind auf $\pm (0,1 \text{ }^\circ\text{C} + 0,0017 \times T)$ kalibriert, wobei T die Temperatur in $^\circ\text{C}$ repräsentiert. Da die Sensoren per 2-Leiter-Schaltung mit der Auswerteelektronik verbunden sind, gehen auch die Leitungswiderstände in den Fehler mit ein, aufgrund der geringen Leitungslänge sollte der Einfluss allerdings recht gering sein. Auf der Platine sind die Sensoren mit $4,7 \text{ k}\Omega$ Präzisionswiderständen mit einer Toleranz von 0,1 % in Reihe mit einer Referenzspannung von 10 V verbunden, die mit einem ADR01ARZ erzeugt wird, vgl. Abb. 1. Diese Spannung hat eine Toleranz von 0,14 %.

Anschließend wird die Spannung zwischen dem Temperatursensor und dem Referenzwiderstand vom Analog-Digital-Wandler AD7789 abgegriffen und in einen digitalen Wert gewandelt. Der Offset des Wandlers von $\pm 0,3 \text{ }\mu\text{V}$ kann vernachlässigt werden, da die Spannungsänderung bei einer Temperaturdifferenz von $1 \text{ }^\circ\text{C}$ etwa $5,6 \text{ mV}$ beträgt. Die Auflösung des Wandlers liegt effektiv bei 19 bit und bei einer Referenzspannung von $2,5 \text{ V}$ somit etwa bei $4,8 \text{ }\mu\text{V}$ und trägt ebenfalls nicht nennenswert zum Gesamtfehler bei. Die $2,5 \text{ V}$ Referenzspannungsquelle ADR03ARZ hat ebenfalls eine Toleranz von 0,14 %.

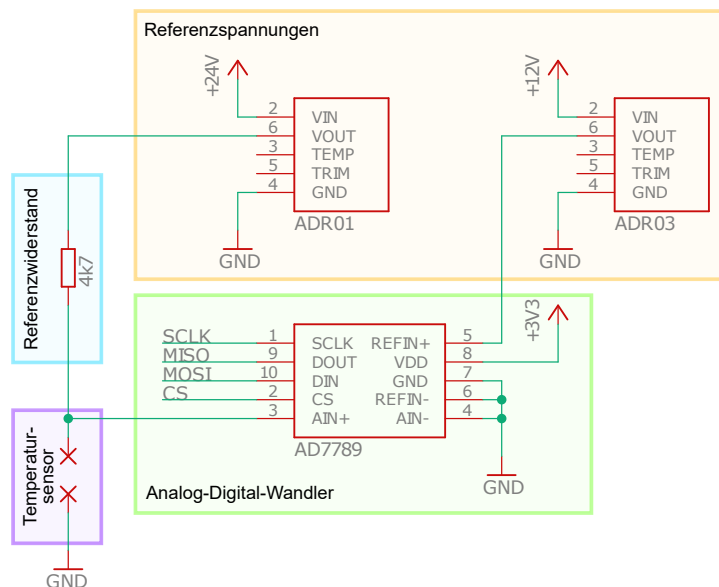


Abb. 1: Schaltkreis der Auswerteelektronik der Temperatursensoren.

Der eigentliche Messwiderstand befindet sich innerhalb einer Edstahlhülse, welche etwa 20 cm in den Bienenstock reicht, ungefähr auf zwei Drittel der Höhe der Waben. Eigentlich sollten sich die Sensoren in den Wabengassen befinden, vor allem bei den Top-Bar-Hives kann es allerdings vorkommen, dass die Sensoren von den Bienen in die Waben eingebaut werden. Da inzwischen einige verschiedene Beuten verwendet werden, ist auch die Verteilung der Sensoren in den einzelnen eHives unterschiedlich und nicht immer symmetrisch. Üblicherweise befindet sich jede zweite Wabengasse ein Sensor. Die genaue Anordnung kann der folgenden Tabelle entnommen werden, wobei jede Spalte einer Wabengasse gemäß der Nummer in der ersten Zeile entspricht. Die maximale Anzahl an Gassen beträgt 14. Die meisten eHives haben jedoch weniger Wabengassen. (Dunkelgrau hinterlegte Zellen repräsentieren nicht-existente Gassen.) Die Zahlen 1-6 (bzw. 1-5 für eHives mit nur 5 Temperatursensoren) in den übrigen Zeilen markieren die Position der Temperatursensoren innerhalb des Stocks entsprechend dem Label des Sensors in der Datenbank.

##	eHive ID	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
01	DEU-DHG-1		1	2		3	4		5	6					
02	DEU-FKG-1		1	2		3	4		5	6					
03	AUT-GSC-1														
04	AUT-WIS-1		1		2		3		4	5	6				
05	AUT-BIE-1		1		2		3		4		5		6		
06	ITA-FEM-1		1		2		3		4		5				
07	ITA-FEM-2		1		2		3		4		5				
10	POL-LOK-1					6	5	4	3	2	1				
12	DEU-BGT-1		1		2		3		4		5				
13	ITA-LFV-1														
14	DEU-MNG-1		1		2		3		4		5		6		
15	DEU-OEG-1		1		2		3		4		5		6		
16	DEU-FDG-1		1		2		3		4		5				
17	DEU-LPG-1		1		2		3		4		5				

Feuchtigkeit

Die Luftfeuchte im inneren des Bienenstocks wird mit dem Feuchtesensor SHT21 gemessen. Da dieses Bauteil nicht direkt verbaut, sondern in einem Gehäuse gekauft wurde, in dem er an einen PIC32MX Mikrocontroller angeschlossen ist, der das digitale Signal in ein analoges wandelt, muss dieses auf der Hauptplatine wieder in einen digitalen Wert übersetzt werden. Die typische Toleranz des Sensors liegt zwischen 20 % und 80 % bei 2 % und steigt bis zu den Maximalwerten linear auf 3 % an. Die zwischenzeitliche Konvertierung zu einem analogen Signal erhöht den Fehler schätzungsweise um 0,5 %.

Da sich der Feuchtesensor sehr weit unten im Bienenstock befindet, korreliert der Wert relativ stark mit der Außenfeuchte. Aufgrund der Größe des verwendeten Sensors war es nicht möglich ihn weiter oben zu platzieren, wo das tatsächliche Klima des Bienenstocks besser abgebildet werden würde.

Waage

Bei einem eHive wird auch das Gewicht des Bienenstocks gemessen. Dazu werden Wägezellen des Typs SEB46B verwendet, vgl. Abb. 2. Auf dem Aluminium-Federkörper sind Dehnungsmessstreifen angebracht, die bei mechanischer Belastung ihren Widerstand verändern. Mehrere dieser Dehnungsmessstreifen sind zu einer Wheatstone-Brücke verbunden, deren Ausgangsspannung mit dem Instrumentenverstärker AD623 verstärkt und anschließend mit einem Analog-Digital-Wandler AD7789 ausgelesen wird (siehe Abschnitt Temperatur). Als Spannungsquelle für die Wägezelle wird dieselbe verwendet wie für die Temperatursensoren. Der Instrumentenverstärker verstärkt das Signal um den Faktor 99, mit einer Abweichung von 0,35 %. Der Faktor wird mittels eines

Widerstandes eingestellt und hat somit auch eine Toleranz von 0,1 %. Von der Wägezelle wird eine Spannung von $0,2 \mu\text{V/g}$ ausgegeben, nach dem Verstärker entspricht die Spannung also $19,8 \mu\text{V/g}$.

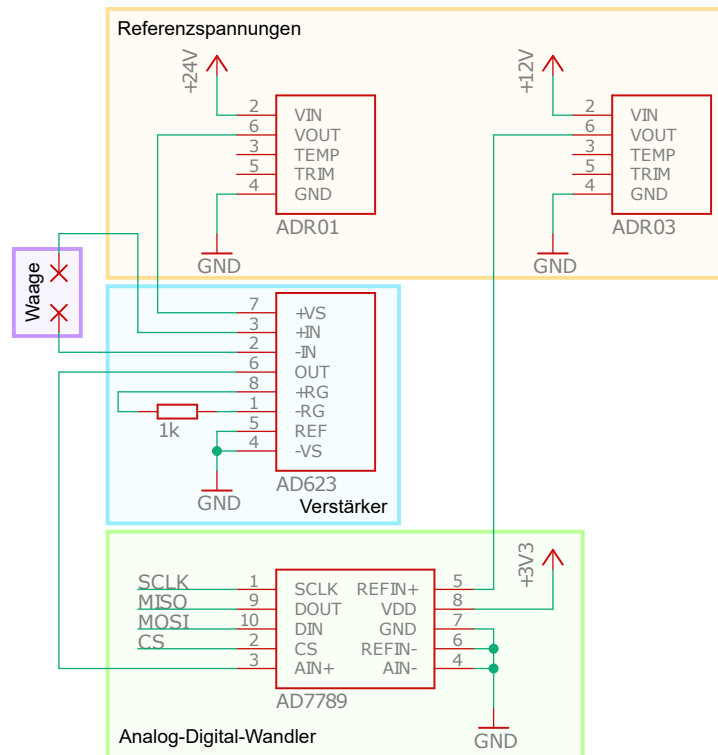


Abb. 2: Schaltkreis der Auswerteelektronik der Waage.

Die kleinste mit der Wägezelle mögliche Auflösung wird im Datenblatt mit 6,6 g angegeben, bei gleichbleibenden Temperaturen werden diese mit dem Gesamtaufbau auch erreicht. Probleme bereiten jedoch Temperaturschwankungen, die insgesamt Gewichtsunterschiede von mehreren hundert Gramm verursachen können. Weitere Abweichungen können durch Niederschläge entstehen, da nicht bei allen eHives ein Dach vorhanden ist (siehe Blogbeitrag Standort & Umgebung der eHives). Der Drift über lange Zeiträume ist unbekannt.

Wetterstation

Bis auf den Luftdruck werden die Wetterdaten von einer Wetterstation des Herstellers Davis, dem Modell Vantage Pro 2, gemessen. Da die Werte digital ausgelesen werden, können die Toleranzen aus dem Datenblatt der Wetterstation übernommen werden. Im Folgenden werden noch einige weitere Beeinflussungen der einzelnen Sensoren aufgezählt.

Außentemperatur & -feuchte

Um die Lufttemperatur und -feuchte vergleichbar zu messen, müssten die Wetterstationen eigentlich auf einer freien Fläche mit definierter Oberfläche und in gleicher Höhe stehen. Dies ist allerdings in der Praxis schwer umzusetzen, so befinden sich manche Wetterstationen auf einer Wiese und andere auf Dächern, was dementsprechend die Werte verändert. Es wurde jedoch versucht, die Stationen jeweils etwa 2 m über dem Bienenstock zu installieren, um das für die Bienen relevante Mikroklima vergleichbar zu erfassen.

Niederschlag

Der Niederschlag wird mittels einer Wippe gemessen, auf die der Regen durch einen Trichter geleitet wird. Hat sich eine gewisse Wassermenge in einem der beiden Löffel der Wippe gesammelt, kippt diese auf die andere Seite und aktiviert durch einen unter der Achse angebrachten Magneten ein Reed-Relais. Ein Umklappen der Wippe entspricht dabei 0,2 mm Niederschlag. Durch diese Technik kann jedoch Schnee erst gemessen werden, wenn er schmilzt und nicht in der Zwischenzeit wieder aus dem Trichter geweht wurde oder diesen überfüllt hat. In manchen eHives sind zwar Heizungen in der Wetterstation verbaut, aufgrund mangelnder Effektivität werden sie allerdings überwiegend nicht verwendet. Des Weiteren verstopft der Trichter des Niederschlagssensors leicht, weshalb manchmal bei einzelnen Stationen der Niederschlag über längere Zeit nicht angezeigt wird.

Windgeschwindigkeit & -richtung

Wie bei den Luftwerten gibt es bei den den Wind betreffenden Messwerten das Problem, dass aus praktischen Gründen die Sensoren nicht immer auf freiem Feld und in selber Höhe installiert sind. Die Höhe sollte bei etwa 5 m liegen, kann aber im Einzelfall deutlich davon abweichen. Der Sensor für die Windrichtung müsste, um exakte Werte anzugeben, genau nach Norden ausgerichtet sein. Das ist allerdings nicht ganz einfach, weshalb die Absolutwerte für die Himmelsrichtung um einige Grad abweichen werden. Der angegebene Fehler ist der Relativfehler.

Sonneneinstrahlung & UV-Index

Bei einzelnen Standorten werden die beiden Strahlungssensoren im Laufe des Tages durch umliegende Bäume oder Gebäude verdeckt. Da die Basisstation der Wetterstation, an der sich auch diese beiden Sensoren befinden, oft an dem gleichen Mast wie die Windsensoren befestigt ist, fällt auch einmal am Tag der Schatten dieses Mastes auf die Strahlungssensoren.

Luftdruck

Um den Luftdruck zu messen, wird ein BMP280 verwendet, der sich direkt auf der Hauptplatine befindet. Auch dieser Sensor gibt einen digitalen Wert aus, so dass der Fehler des Herstellers übernommen werden kann.

Interne Sensoren

Gesamt- & Heizungsstromstärke

Als Stromsensoren werden ACS712 verwendet, die eine zum Strom proportionale Spannung bereitstellt. Diese Spannung wird durch den internen 12 bit Analog-Digital-Wandler des Arduinos digitalisiert, der eine Maximalspannung von 3,3 V und daher eine theoretische Auflösung von 0,81 mV hat. Da der Stromwandler pro Ampere 0,185 V ausgibt, entspricht ein Schritt des Analog-Digital-Wandlers ca. 4,4 mA. Laut Datenblatt hat der Sensor eine Auflösung von 75 mA, aufgrund der geringeren effektiven Auflösung des Arduinos wurde der Fehler auf 0,1 A aufgerundet.

Der Sensor für die Heizspannung kann frei belegt werden, beispielsweise kann damit auch der Ladestrom gemessen werden, falls ein eHive mit Akku betrieben wird.

Ladespannung

Die Ladespannung entspricht der Spannung, mit der das System betrieben wird. Der Begriff ist insofern irreführend, da diese Spannung aktuell bei allen Kästen von Netzteilen bereitgestellt wird, weshalb sie auch sehr konstant ist. Der Wert wird vom internen Analog-Digital-Wandler des Arduinos gemessen, nachdem die Spannung mittels eines Spannungsteilers aus einem 1 k Ω und einem 4,7 k Ω Präzisionswiderstand reduziert wurde, deren Einfluss auf den Messfehler vernachlässigt werden können. Die theoretische Auflösung beträgt somit 4,4 mV, der Fehler wurde jedoch aufgrund der geringeren effektiven Auflösung aufgerundet.

Mikrochiptemperatur

Der auf dem verwendeten Arduino verbaute Mikrocontroller hat einen internen Temperatursensor, dessen Wert allerdings bei jedem einzeln von Hand kalibriert werden müsste. Da dies bei den eHives nicht gemacht wurde, sind die Werte dieses Sensors mit einem sehr großen Offset von $\pm 45\text{ °C}$ behaftet. Der relative Fehler beträgt laut Datenblatt des Herstellers $\pm 3\text{ °C}$.

Tabellarische Übersicht der Messfehler

(für Details und Erläuterungen siehe obige Ausführungen)

Sensor	Fehler	Einheit	Anmerkungen
Innentemperatur	0.2	°C	
Innenfeuchte	2.5	%	unter 20 % und über 80 %: Anstieg auf 3,5 %
Gewicht	0.01	kg	höhere Abweichungen bei Temperaturschwankungen
Außentemperatur	0.5	°C	
Außenfeuchte	3	%	über 90 %: Anstieg auf 4 %
Niederschlag	0.2	mm/h	über 4 mm/h: 5 % des Messwerts
Windgeschwindigkeit	3	km/h	über 60 km/h: 5 % des Messwerts
Windrichtung	7.5	°	Relativfehler
Sonneneinstrahlung	90	W/m ²	
Luftdruck	1	mbar	
UV-Index	0.8	UVI	
Gesamtstromstärke	0.1	A	
Ladespannung	0.01	V	
Heizungsstromstärke	0.1	A	
Mikrochiptemperatur	3	°C	Relativfehler, Offset $\pm 45\text{ °C}$