

# Kalibrierung

Durchführbar über: [Webserver: /calibration](#) [Webserver: /usercalibration](#)

Diese Kalibrierung ist eine Nullpunkt-Kalibrierung. Die Sensitivitätskalibrierung der Sensoren wird dabei nicht verändert, sondern ein Offset eingestellt, welcher selbst für individuelle Sensoren der selben Herstellungsreihe variieren kann. Dafür wird der aktuelle Ist-Wert übergeben. Es sind also zuvor Bedingungen zu schaffen, bei denen die zu kalibrierende Gas-Konzentration bekannt ist.

Kalibriert werden können nur die unten angegebenen Sensoren sowie optionale Plugin-Sensoren.

Die Route [/usercalibration](#) trägt die Änderungen in einer internen Datei ein, welche durch Zurücksetzen des Gerätes gelöscht wird; es kann also der Werkszustand wieder hergestellt werden. Hingegen trägt die Route [/calibration](#) die Werte direkt in die zu den Sensoren gehörigen Speicher ein. Letztere Route wird während der Herstellungskalibrierung des air-Q verwendet. Zurücksetzen ist nur durch Senden der alten Werte möglich. Bitte nutzen Sie, wenn kein zwingender Grund vorliegt, die Route [/usercalibration](#)!

## ! Hinweis

Wird die Route [POST /calibration](#) genutzt, wird der unter [/usercalibration](#) eingestellte Wert auf Null zurückgesetzt.

Nach jedem Auslösen einer Kalibrierung blinken alle LEDs kurz zur Bestätigung in den Regenbogenfarben auf.

## CO<sub>2</sub>

Die Außenluft hat eine CO<sub>2</sub>-Konzentration ca. 410 ppm. Dieser Wert kann als Referenz genommen werden. Wenn das Gerät an die Außenluft gebracht wird, kann eine Kalibrierung mit 410 ppm gerechtfertigt werden. Ein sehr gut gelüfteter Raum, in dem sich noch Menschen aufhalten, hat aber eine höhere Konzentration. Hier kann man von 460 ppm bis 500 ppm ausgehen.

Im Regelfall sollte eine Kalibrierung unnötig sein, da der Sensor intern selbst eine automatische Korrektur durchführt.

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den CO<sub>2</sub>-Sensor auf 460 ppm:

```
{  
  "co2": 460  
}
```

## CO

In Außenluft hat sich ein Grundlevel von 1,0 mg/m<sup>3</sup> als vernünftige Vorannahme erwiesen.

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den CO-Sensor auf 1,0 mg/m<sup>3</sup>:

```
{  
  "co": 1.0  
}
```

## O<sub>2</sub>

Die Außenluft hat eine O<sub>2</sub>-Konzentration ca. 20,95 %. Dieser Wert kann als Referenz genommen werden. Wenn das Gerät an die Außenluft gebracht wird, kann eine Kalibrierung mit 20,95 % gerechtfertigt werden. Ein sehr gut gelüfteter Raum, in dem sich noch Menschen aufhalten, hat aber eine geringere Konzentration. Hier kann man von 20,85 % bis 20,90 % ausgehen.

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den O<sub>2</sub>-Sensor auf 20,95 %:

```
{  
  "oxygen": 20.95  
}
```

## NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S und optionale elektrochemische Sensoren

Die Konzentrationen dieser Gases sind im Außenbereich meist erhöht. Jedoch hat man sie genau so im Innenraum, selbst bei geschlossenem Fenster, denn sie werden - außer O<sub>3</sub>- im Allgemeinen nicht sehr schnell abgebaut. Das macht eine Kalibrierung besonders schwierig. Auch die örtlichen amtlichen Messstationen können nicht als Referenz gesehen werden, wenn nicht direkt daneben kalibriert wird, da die Konzentration zwischen Straßenzügen oder gar Stadtteilen erheblich variiert. Als Anhaltspunkt sind hier Karten mit Hochrechnungen aus gemessenen Werten zu empfehlen, auf denen die Außenkonzentration am Standort des air-Q

abgelesen werden kann, wie zum Beispiel das Umweltbundesamt sie anbietet (<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/karten>). Mit offenem Fenster kann dieser Wert dann gesetzt werden.

Für Österreich findet man ähnliche Daten hier:

<https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/luft/daten-luft>

Für die Schweiz hier:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung-aktuelle-daten.html>

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den NO<sub>2</sub>-Sensor auf 10,0 µg/m<sup>3</sup>:

```
{  
  "no2": 10.0  
}
```

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den SO<sub>2</sub>-Sensor auf 30,0 µg/m<sup>3</sup>:

```
{  
  "so2": 30.0  
}
```

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den O<sub>3</sub>-Sensor auf 10,0 µg/m<sup>3</sup>:

```
{  
  "o3": 10.0  
}
```

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den H<sub>2</sub>S-Sensor auf 12,0 µg/m<sup>3</sup>:

```
{  
  "h2s": 12.0  
}
```

### ⚠ Vorsicht

Diese Sensoren reagieren sehr sensibel auf Änderungen in der Luftfeuchtigkeit. So kann ein Öffnen des Fensters zu starken Ausschlägen führen, die keinen realen Gaskonzentrationen entsprechen. Achten Sie vor der Kalibrierung unbedingt darauf, dass

genügend zeitlicher Abstand zum Fenster öffnen besteht, so dass sich die Werte wieder auf einem konstanten Niveau befinden!

## Temperatur

air-Q erzeugt im Betrieb Abwärme mit ca. 1,5 W. Diese entsteht beim Wandeln der Spannung in 3,3 V für den Betrieb des Controllers, beim Betrieb des Controllers selbst (hier insbesondere für WLAN), durch den Lüfter des Feinstaubsensors und das Heizelement des VOC-Sensors. Das führt dazu, dass sich ein Temperaturunterschied zwischen dem Geräteinneren, dort wo die Temperatur gemessen wird, und dem zu messenden Außenraum einstellt. Dieser Unterschied hängt auch ein wenig von den Aufstellbedingungen des air-Q ab. In einem Regal oder dicht umstellt mit anderen Gegenständen, kann air-Q ggf. weniger Wärme abführen und ein Unterschied mit einem externen Thermometer ist feststellbar. Dann sollte mit dem externen Thermometer abgeglichen werden.

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den Temperatur-Sensor auf 23,2 °C:

```
{  
  "temperature": 23.2  
}
```

### ! Bemerkung

Die Kalibrierung der relativen Luftfeuchtigkeit hängt an diesem Wert. Die relative Luftfeuchtigkeit wird aus der absoluten Luftfeuchtigkeit mit dem kalibrierten Temperaturwert berechnet. Ist die Temperatur falsch kalibriert, zeigt auch die relative Luftfeuchtigkeit fehlerhafte Werte.

## Relative Luftfeuchtigkeit

(nur über POST /usercalibration)

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den relativen Luftfeuchtigkeits-Sensor auf 43,6 %:

```
{  
  "humidity": 43.6  
}
```

### ! Vorsicht

Die Kalibrierung der relativen Luftfeuchtigkeit hängt auch vom Temperaturwert ab. Die relative Luftfeuchtigkeit wird aus der absoluten Luftfeuchtigkeit mit dem kalibrierten Temperaturwert berechnet. Ist die Temperatur falsch kalibriert, zeigt auch die relative

Luftfeuchtigkeit fehlerhafte Werte. Der hier gesetzte Offset-Wert wird am Ende zusätzlich addiert. Es wird empfohlen zuerst die Temperatur zu kalibrieren und dann die relative Luftfeuchtigkeit, falls nötig.

## Flüchtige organische Substanzen (VOC)

Der VOC-Sensor hat hinsichtlich der Nulllinienkalibrierung eine Besonderheit, denn der Kalibrierwert wird über eine Basislinienkorrektur im Sensor selbst gesetzt. Das führt dazu, dass der Kalibrierwert nur Näherungsweise erreicht wird. Der Grund ist, dass der Sensorhersteller keine Kalibrierung des Sensors vorsieht. Der Sensor besitzt einen eigenen Algorithmus, der für eine fortlaufende Kalibrierung sorgt. In einigen Fällen hatten Nutzer aber das Phänomen, dass der ausgegebene VOC-Wert dauerhaft bei 50000 ppb oder 0 ppb fest hing. Dabei kann ein externes Eingreifen über die hier erläuterte Kalibrierfunktion erfolgreich Abhilfe schaffen. Jedoch haben wir auch feststellen müssen, dass eine manuelle Kalibrierung, wenn keiner der Extremfälle vorliegt, in einigen Fällen eine Sensitivitäts-Verstellung bewirkt. Dann zeigt der VOC-Sensor zwar noch den gleichen Verlauf an, aber alle Werte sind doppelt so hoch, wie ein zweiter air-Q, der nicht verstellt wurde. Dieser Effekt kann rückgängig gemacht werden, wenn der verstellte air-Q auf den VOC-Wert des unverstellten air-Qs kalibriert wird. Das erfordert aber natürlich einen zweiten air-Q als Referenz. Von daher raten wir ab, diese Funktion zu nutzen, wenn kein dringender Grund besteht und keine zweite Referenz zur Verfügung steht.

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den VOC-Sensor auf 120 ppb:

```
{  
  "tvoc": 120  
}
```

### ! Bemerkung

`Webserver: /calibration` und `Webserver: /usercalibration` führen den selben Vorgang aus, da die Sensor-interne Elektronik selbst beschrieben wird. Eine Addition/Subtraktion durch den air-Q erfolgt in diesem Fall nicht. `Webserver: /usercalibration` fügt einen entsprechenden Eintrag in die Nutzerkonfiguration ein, der den aufsummierten hypothetischen Offset und dessen letzten durch den Nutzer ausgelösten Kalibrierzeitpunkt protokolliert. Das hat jedoch nur protokollierende Funktion. Ein Zurücksetzen des Gerätes bzw. Löschen der Nutzerkalibrierung hat keine Auswirkungen auf das Messergebnis.

# Luftdruck

Der Drucksensor des air-Q misst Druckunterschiede mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,06$  hPa. Mit der Herstellerkalibrierung ist der absolute Druck aber nur auf  $\pm 1,0$  hPa genau. Wenn diese Genauigkeit zu gering ist, kann eine Kalibrierung auf einen exakteren Ist-Wert erfolgen.

**Beispiel:** Setzen des Ist-Wertes für den Druck-Sensor auf 923,12 hPa:

```
{  
  "pressure": 923.12  
}
```

## ⚠ Warnung

Setzen Sie den Wert nur auf Ihren tatsächlich vorherrschenden Luftdruck und nicht auf den meteorologischen, auf Meereshöhe bezogenen Wert. air-Q korrigiert verschiedene Werte hinsichtlich ihrer bekannten Luftdruckabhängigkeit. Diese Werte wären danach falsch. Das betrifft in erster Linie den Sauerstoffsensor.

# Lärm

Der Lärm wird im air-Q mittels eines RMS-Wandlers direkt aus dem Schalldruck ermittelt. Der RMS-Wandler hat am Ausgang einen kleinen Spannungs-Offset im Millivolt-Bereich. Dieser Offset ist bei jedem air-Q leicht unterschiedlich. Aufgrund der Geräuschkulisse bei der Kalibrierung des air-Q während der Produktion kann keine absolute Stille erzeugt werden, um die Kalibrierung - also den Abzug dieses Offsets vom Messergebnis - individuell zu realisieren. Um im Messbereich unter 40 dB optimale Ergebnisse zu erreichen, können Sie den Offset-Wert in Schritten von 1/10 mV ändern.

**Beispiel:** Änderung des Offset-Wertes für den Lärm-Sensor um -1,2 mV:

```
{  
  "sound": -12  
}
```

## 💡 Hinweis

Stellen Sie zuvor den Nachtmodus aktiv und damit den Lüfter des Feinstaubsensors aus! Dieser erzeugt unmittelbar einen gewissen Lärmpegel am Mikrofon im Gerät.

## 💡 Bemerkung

Da die dB-Lärmskala logarithmisch ist, bewirkt eine Änderung des Offsets im mV-Bereich nur für sehr leise Geräusche einen Unterschied im Messergebnis. Im Bereich oberhalb von 55 dB werden Sie keinen Unterschied sehen.

### ! Bemerkung

Ist `AutoDriftCompensation` auf `true` gesetzt, wird der air-Q im Nachtmodus, wenn gleichzeitig der Lüfter des Feinstaubsensors aus ist, automatisch über fünf Stunden den geringsten Wert ermitteln und entsprechend eine Offset-Korrektur vornehmen. Treten Werte unter 20 dB auf, wird der Offset in die andere Richtung korrigiert, um unzuverlässige Messwerte auszuschließen.

## Löschen der Nutzerkalibrierung

Die Nutzerkalibrierung kann über den in [Einstellung löschen](#) beschriebenen Weg auch wieder gelöscht werden. Dabei wird speziell für Nutzerkalibrierungen der Offset-Wert des entsprechenden Gases auf Null gesetzt und ein Zeitstempel des Zurücksetzens gespeichert. Das ist nötig für die automatische Kalibrierung und die *smarte Kalibrierung* der Handy-App, da dafür die Werte vor diesem Zeitstempel nicht berücksichtigt werden dürfen, weil sie sich auf einen anderen Kalibrierwert beziehen, als den aktuellen.

## Ändern der Sensitivitätskalibrierung

Der air-Q wird von uns mit der Hersteller-Sensitivitätskalibrierung der elektrochemischen Sensoren ausgeliefert. Dafür lesen wir die vom Hersteller gelieferten Daten bei der Produktion individuell ein und schreiben diese auf den jeweiligen air-Q bzw. im Falle der SPEC-Sensoren direkt auf die kleine air-Q-Einsteckplatine, auf die wir den Sensor löten. Der Sensitivitätswert gibt an, wie viele Nanoampere der Sensor pro ppm Gaskonzentration liefert.

Für den Kohlenmonoxid-Sensor ist der Sensitivitätswert in einer Datamatrix direkt auf dem Sensor codiert:



Für die SPEC-Sensoren (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S etc.) ist die Herstellerkalibrierung entweder in einer Datamatrix:



oder einem QR-Code auf der Unterseite der gesteckten Sensoren angegeben:



Die gesetzte Kalibrierung kann vom Nutzer im Bedarfsfall selbst überschrieben werden. Das ist vor allem im Forschungsumfeld relevant, wenn mehrere air-Q an einem teuren Referenz-Messgerät für ein zu messendes Gas fein-ausgerichtet werden sollen.

```
{  
  "sensitivity": {  
    "o3": [-28.81, 2.9]  
  }  
}
```

Der erste Wert in der eckige Klammer ist dabei der zusetzende Sensitivitätswert, der zweite ist der zugehörige Fehlerwert (im Beispiel mit 10 % angenommen).

Über `POST /calibration` werden diese Werte direkt auf den Sensor bzw. auf das air-Q-Mainboard geschrieben. Über `POST /usercalibration` werden die Einstellungen in einer internen Konfigurationsdatei gespeichert, wodurch die Kalibrierungen auch über einen Gerätereset oder individuelles Löschen zurückgesetzt werden könne.

### **Hinweis**

Die aktuelle Sensitivitätskalibrierung - wenn diese nicht mit einem Eintrag in der Nutzerkalibrierung überschrieben wurde - können Sie unter `GET /config` im Eintrag des jeweiligen Sensors auslesen. Ist eine Nutzerkalibrierung erfolgt, ist der Eintrag unter dem Schlüssel `usercalib` im selben Aufruf zu finden.

### **Hinweis**

Für eine Anpassung der Kalibrierung brauchen Sie meist einen Feinkorrektur-Faktor. Beispielsweise zeigt ihr O<sub>3</sub>-Sensor einen um den Faktor 1,05 zu kleinen Messwerteverlauf zum Referenzgerät und der gesetzte Kalibrierwert ist -28.81, dann setzen Sie als neuen Sensitivitätswert  $-28.81/1.05 = -27.44$ .



Weiteres Beispiel: der air-Q zeigt einen doppelt so hohen Wert an, wie das Vergleichsgerät. Dann müsste die eingestellte Sensitivität mit dem Faktor 2 multipliziert bzw. durch 0,5 geteilt werden:  $-28.81/0.5 = -57,62$ .

Die Nulllinienkalibrierung muss vorm Bestimmen des Faktors korrekt sein!

#### ❗ Bemerkung

Die Nulllinienkalibrierung stimmt im Anschluss nicht mehr und muss neu durchgeführt werden. Dafür nutzen Sie natürlich ebenfalls den Wert des Referenzgerätes, um den Offset anschließend genau einzustellen.