

Die künstliche Nase als autonomer Online-Learner - KÜNOL

BENUTZERANLEITUNG

PROJEKT COSY – UMWELT-CAMPUS BIRKENFELD

Einleitung

Wie schön wäre es, könnte man in Echtzeit und ohne großen Rechenaufwand einen Computer darauf trainieren, bestimmte Gaskonzentrationen zu unterscheiden. Dies wird nun möglich, mit dieser neuen Variante der künstlichen Nase, die auf Online-Learning ausgelegt ist, wir nennen sie kurz KÜNOL.

In dieser Anleitung erfahren Sie, wie Sie als Endnutzer die fertig konfigurierte KÜNOL verwenden.

Aufbau

Das gesamte System besteht aus

- 1x IoT-Kit „Octopus“,
- 1x Breakout mit dem Gassensor,
- 1x I2C-Connectorkabel,
- 1x Micro-USB-2.0-Kabel zur Stromversorgung.
- WLAN-Access Point mit Internetzugang und MQTT-Broker (optional)

Standardmäßig arbeitet die KÜNOL mit dem Grove Multichannel Gas Sensor, welcher dreidimensionale Daten (von je einem einzelnen Komponentensensor) liefert.

Verbinden Sie das Breakout per I2C-Connectorkabel mit dem Octopus, wobei das Kabel am Octopus in den rechten Anschluss (I2C) eingesteckt wird. Anschließend verbinden Sie den Octopus per USB-Kabel mit einer Stromquelle.

Überblick über den Ablauf

Direkt nach dem Anschluss an die Stromquelle fährt die KÜNOL hoch. Zunächst startet sie einen Verbindungsversuch mit dem Internet, um aufgenommene Daten zu exportieren (rein optional, kann auch werkseitig deaktiviert sein). Dann beginnt eine Vorwärmphase, in welcher der Sensor kontinuierlich arbeitet, um in einen betriebsbereiten Zustand zu gelangen.

Nach Abschluss der Vorwärmphase geht die Nase in den Klassifikationsmodus über, und ist bereit zum Klassifizieren und Lernen. Zusätzlich lässt sich die Nase dann auch in einen separaten Lernmodus umschalten, in dem die Bedienung auf das reine Lernen ohne Klassifikation ausgelegt ist.

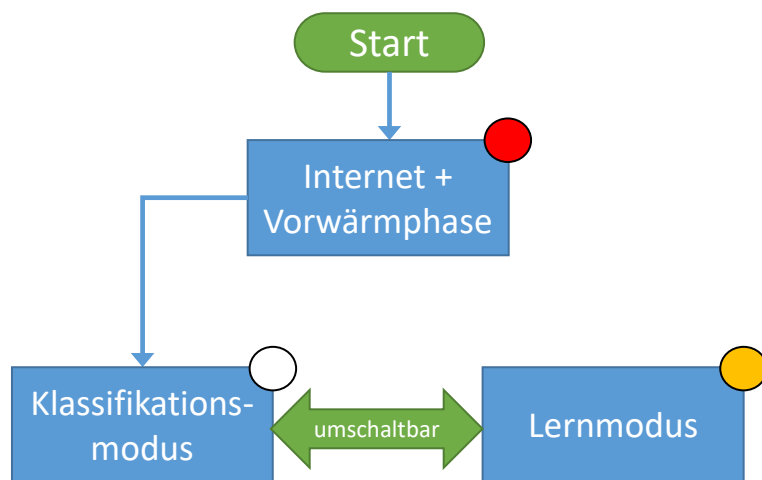


Abbildung 1 Überblicksgrafik zum Ablauf. Kreise zeigen Farbe der rechten LED.

Der aktuelle Betriebsmodus der Nase wird mit der **rechten LED** des Octopus dargestellt, siehe Abbildung 1.

Wichtig: Bei Trennung der Nase vom Strom wird der Speicher zurückgesetzt, jegliches gesammeltes Wissen geht verloren! Die KÜNOL bietet zwei Mechanismen, um die Daten während der Benutzung zu exportieren: Per MQTT (Internet) oder per USB. Exportierte Daten lassen sich mit Zugriff auf den Quellcode der Nase wieder einspeisen, es gibt allerdings keinen bequemen Mechanismus dafür.

Start, Internetverbindung und Vorwärmphase

Sobald die Nase an eine Spannungsquelle angeschlossen wird, startet nach kurzer Zeit der Verbindungsversuch zum Internet. Die **rechte LED** leuchtet **rot**. Während des Verbindungsversuchs zeigt das Display eine entsprechende Animation. Hierbei verbindet sich die KÜNOL mit einem WLAN-Netzwerk mit vordefinierter SSID und Passwort. Ist die Verbindung erfolgreich, folgt anschließend die Anmeldung an einem MQTT-Broker, Zugangsdaten wieder vorgegeben.

Wichtig: Je nach werkseitiger Konfiguration der Nase kann die gesamte Internet-/MQTT-Funktionalität auch deaktiviert sein. In diesem Fall startet die Nase direkt in der Vorwärmphase.

Standard-Zugangsdaten:

WiFi-SSID:	enose-net
WiFi-Passwort:	enose-pw-USB
MQTT-Server-Adresse:	thingspeak.umwelt-campus.de:1883

Änderbar über die entsprechenden #define-Deklarationen im Quellcode.

Nach erfolgreichem (oder abgebrochenem, s. u.) Verbindungsaufbau startet die Vorwärmphase. Diese dauert **10 Minuten**. Während der Sensor vorgewärmt wird, füllt sich auf dem Display ein Fortschrittsbalken. Nach Ablauf der Zeit geht die Nase über in den Klassifikationsmodus.

Sowohl der Verbindungsaufbau zum Internet als auch die Vorwärmphase lassen sich per Druck auf den Drehknopf überspringen. Im ersten Fall arbeitet die Nase dann zunächst

offline, verbindet sich aber dennoch, sobald ein passendes Netzwerk in ihre Reichweite kommt.

Klassifikationsmodus

In diesem Betriebsmodus (erkennbar an einer **weiß** leuchtenden **rechten LED**) lassen sich Stoffe klassifizieren, sowie klassifizierte Stoffe lernen.

1. Messung und Klassifikation

Ist die linke LED dunkel, so ist die Nase bereit. Haben Sie ein Getränk zum Messen da, drücken Sie den Drehknopf, und halten Sie **direkt im Anschluss** das Getränk unter den Sensor. Nach Ablauf einer fünfsekündigen Wartezeit (**linke LED pink**) findet die Abnahme der Messwerte statt.

Das Ergebnis, in Form der Klasse des erkannten Getränks, erscheint textuell auf dem Display. Des Weiteren wird die gesamte Messung mit erkannter Klasse über USB und MQTT ausgegeben. Nun sollten Sie das Getränk wieder vom Sensor entfernen.

Je nachdem, wie „sicher“ der Algorithmus in seiner Aussage ist, kommentiert er die Klassifikation mit einem „?“ (unsicher, Ergebnis geraten), „!“ (sehr sicher) oder er setzt gar kein Satzzeichen (es gibt eine Tendenz, aber nicht ganz eindeutig).



Nach jeder Messung wird der Sensor für 50 Sekunden gesperrt (**linke LED rot**). Sie können keine neue Messung starten, solange der Sensor gesperrt ist.

2. Optional: Lernen der Klassifikation

Hatte der Algorithmus recht oder unrecht? Er würde es gerne wissen. Deshalb lässt er sich nach einer Messung gerne die korrekte Klasse mitteilen. Dazu können Sie nun am Drehknopf drehen, bis die korrekte Klasse auf dem Display erscheint. Ein Druck auf den Knopf bestätigt die Auswahl, der Algorithmus lernt, und auch die gelernte Information wird über USB und MQTT übertragen.

Möchten Sie hingegen nicht lernen, drehen Sie den Knopf einfach in die Ausgangsposition zurück, sodass kein Schriftzug mehr auf dem Display erscheint.

Ein Druck auf den Knopf ohne Schriftzug leitet die nächste Messung ein, sofern der Sensor nicht gesperrt ist.

3. Dynamisch neue Klassen erzeugen

Eine Sonderrolle nimmt die Funktion „Neu“ ein, welche Sie neben den anderen Klassen beim Lernen auswählen können. Zusätzlich zu den voreingestellten und mit Labels (Namen) versehenen Klassen können Sie mit einem Druck auf „Neu“ eine weitere Klasse anlegen und Ihre Messung als zu dieser Klasse gehörend lernen. Diese neue Klasse bekommt keinen Namen, sondern wird mit einer Nummer dargestellt. Sind beispielsweise drei Klassen vorgespeichert (etwa Wein, Sprudel und Apfelsaft), so wird die neue Klasse in Zukunft mit „4“ angesprochen. Von diesem Zeitpunkt an bis zur Unterbrechung der Stromversorgung ist „4“ eine voll funktionsfähige Klasse, die gelernt und klassifiziert werden kann.

Achtung: Die Klasse „4“ bekommt bei der Übertragung per MQTT die ID „3“ (4 minus 1), da die Klassen bei der Übertragung nullindiziert sind.

Wichtig: Je nach werkseitiger Konfiguration der Nase kann die dynamische Erzeugung neuer Klassen auch deaktiviert sein. In diesem Fall gibt es keinen Eintrag „Neu“ beim Drehen des Knopfes.

Wechsel zwischen den Modi

Sofern gerade keine Messung durchgeführt wird, und kein Klassifikationsergebnis angezeigt wird, lässt sich beliebig zwischen Klassifikations- und Lernmodus hin- und herschalten. Halten Sie dazu den Drehknopf für ca. eine Sekunde gedrückt.

Lernmodus

Das Lernen ist im Grunde auch im Klassifikationsmodus möglich. Der Lernmodus fügt keine neuen Funktionen hinzu. Möchten Sie allerdings eine Reihe von Proben nacheinander anlernen, ohne das Feedback des Algorithmus zu betrachten (z. B. beim initialen Anlernen vor einer Demonstration), bietet dieser Modus Ihnen mehr Bedienkomfort.

Der Lernmodus ist an einer **gelben** rechten **LED** erkennbar. Auf dem Display ist der Schriftzug einer Klasse dargestellt. Durch Drehen des Drehknopfes lassen sich die Klassen durchschalten. Wählen Sie die Klasse aus, die Sie als nächstes lernen möchten.

Ist die linke LED dunkel, so ist die Nase bereit. Drücken Sie den Drehknopf, und halten Sie **direkt im Anschluss** das Getränk unter den Sensor. Es startet eine fünfsekündige Pause (**linke LED pink**). Nach dieser Pause finden die Abnahme der Messwerte und die Übertragung statt.



Nach jeder Messung wird der Sensor für 50 Sekunden gesperrt (**linke LED rot**). Sie können keine neue Messung starten, solange der Sensor gesperrt ist.

Nach Ende der Sperrzeit lässt sich der Vorgang beliebig oft wiederholen.

Vollständige Übersicht

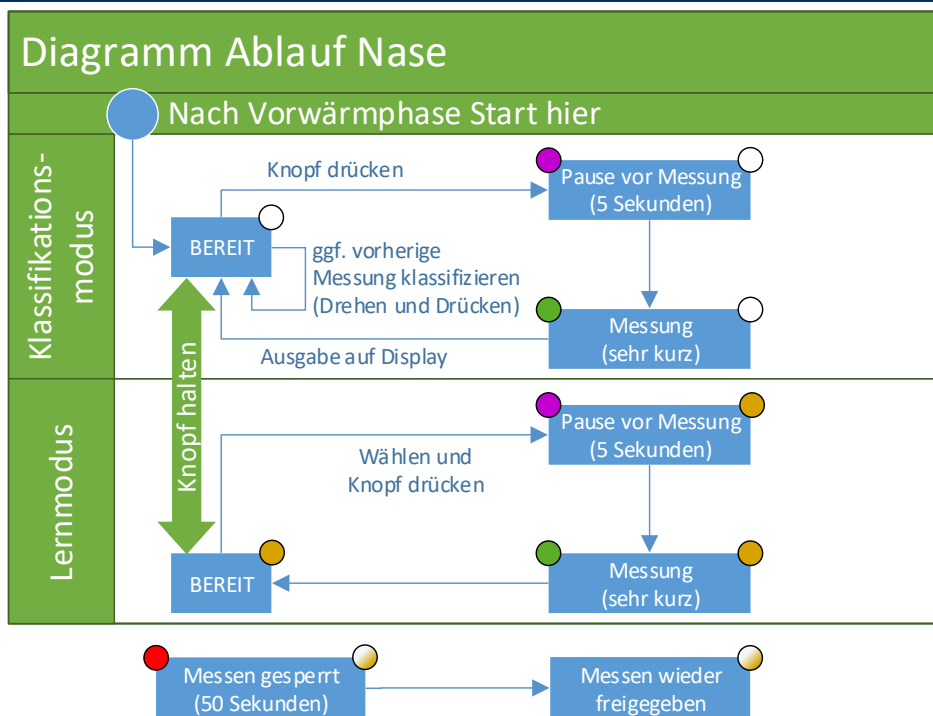


Abbildung 2 Vollständige Übersicht zur Bedienung der KÜNOL. Kreise zeigen LED-Farben.

Übertragung per MQTT

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie genau die KÜNOL die gemessenen Daten über MQTT ausgibt. MQTT sollte verwendet werden, wenn Sie Ihre eigene Anwendung entwickeln wollen, welche die Messwerte speichert und interpretiert. Die Übertragung per USB wurde speziell für die mitgelieferte Plotting-Software *Online Learning E-Nose Plotter* entwickelt und ist an dieser Stelle nicht dokumentiert.

Beim Start der KÜNOL meldet sich diese beim oben angegebenen MQTT-Broker an, mit der Client-ID *online-learner-nose* ohne Benutzername oder Passwort.

Erneuter Hinweis: Wie bereits erwähnt kann diese Funktionalität werkseitig deaktiviert sein.

Die KÜNOL publiziert ihre Daten auf drei verschiedenen Topics: *e-nose/labels*, *e-nose/classified* und *e-nose/learned*.

1. e-nose/labels und das ID-System

Sobald die Verbindung erfolgreich hergestellt wurde, veröffentlicht die KÜNOL hier die Labels, welche beim Start klassifiziert werden können. Das Datenformat ist ein kommaseparierter ASCII-String, z. B. *Wein,Apfelsaft,Sprudel*. Die Klassen werden in aufsteigender Reihenfolge nach ihrer ID angegeben. Wein hat im Beispiel die ID 0, Apfelsaft die 1, Sprudel die 2 etc. Im späteren Verlauf werden die Klassen nur noch anhand ihrer ID referenziert.

ID	Label
0	Wein
1	Apfelsaft
2	Sprudel

führt zu

Label-String
Wein,Apfelsaft,Sprudel

Wenn im Verlauf der Benutzung der KÜNOL weitere Klassen über die Funktion „Neu“ hinzugefügt werden, so bekommen diese ebenfalls fortlaufende IDs zugewiesen, haben aber keine eigenen Labels. Im Beispiel hätte die erste nachträglich zugefügte Klasse die ID 3, wäre aber ohne Label, also „anonym“. Eine weitere hinzugefügte Klasse bekäme ID 4.

2. e-nose/classified

Sobald die KÜNOL einen Stoff misst und klassifiziert, werden die verfügbaren Informationen im Topic *e-nose/classified* abgelegt. Hierzu gehören: Eine Messungs-ID, die Messdaten sowie die ID der Klasse, welche von der Nase erkannt wurde. Jeder Datensatz besteht aus 14 Byte in folgendem Format:

M_ID	RS0 (4 Byte Big Endian)				RS1 (4 Byte Big Endian)				RS2 (4 Byte Big Endian)				C_ID
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

- **M_ID:** Messungs-ID, wird nach jeder Messung hochgezählt, Start bei 1 (**0x01**). Wenn Überlauf, beginnt von vorn. Dient dazu, dass Datensätze auf den Topics *e-nose/classified* und *e-nose/learned* miteinander in Verbindung gebracht werden können. Warum das nötig ist, siehe Abschnitt zu *e-nose/learned*.
- **RS0–RS2:** Die eigentlichen Messwerte in Form von drei 32-Bit-Integer-Zahlen – das ergibt einen dreidimensionalen Datenvektor. Ablage in Big Endian, heißt das erste Bit im ersten Byte ist das MSB, das letzte Bit im letzten Byte ist das LSB.
- **C_ID:** ID der Klasse, welche vom Algorithmus zugewiesen wurde, im Beispiel von oben wäre das z. B. „2“ (**0x02**) für Sprudel.

3. e-nose/learned

Dieses Topic wird bedient, sobald die wahre Klasse eines Stoffs gelernt wird. Dies kann entweder im Klassifikationsmodus geschehen, im Nachgang hinter der Klassifikation und Veröffentlichung der Daten in *e-nose/classified*, oder aber im Lernmodus. Auch hier werden die gesamten Messdaten mitgesendet. Findet das Lernen im Klassifikationsmodus statt, so ist die Messungs-ID dieselbe und erlaubt die topicübergreifende Zuordnung. Im Lernmodus wird eine neue Messungs-ID vergeben.

M_ID	RS0 (4 Byte Big Endian)				RS1 (4 Byte Big Endian)				RS2 (4 Byte Big Endian)				L_ID
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

- **M_ID:** Messungs-ID, wird nach jeder Messung hochgezählt, Start bei 1 (**0x01**). Wenn Überlauf, beginnt von vorn. Dient dazu, dass Datensätze auf den Topics *e-nose/classified* und *e-nose/learned* miteinander in Verbindung gebracht werden können.
- **RS0–RS2:** Die eigentlichen Messwerte in Form von drei 32-Bit-Integer-Zahlen – das ergibt einen dreidimensionalen Datenvektor. Ablage in Big Endian, heißt das erste Bit im ersten Byte ist das MSB, das letzte Bit im letzten Byte ist das LSB.
- **L_ID:** ID der Klasse, welche manuell vom Benutzer als die „wahre Klasse“ angegeben und gelernt wurde, im Beispiel von oben wäre das z. B. „2“ (**0x02**) für Sprudel.

PC-Software: Online Learning E-Nose Plotter

Mit der auf MATLAB basierten Plotting-Software lassen sich Datenpunkte einfach im dreidimensionalen Raum visualisieren, und die Entscheidungsfindung der Online-Learning-Nase dadurch erklären.

Wichtig für den Betrieb ist, dass die passende MATLAB Runtime installiert ist (wird von der Installationsroutine ggf. aus dem Internet nachgeladen) und der Treiber für die USB-Kommunikation ebenfalls aufgespielt ist.

Nach Start der Software und Auswahl des korrekten COM-Ports werden neu eintreffende Datenpunkte im 3D-Plot sichtbar gemacht. Messungen, welche die Nase klassifiziert hat, aber zu denen keine Klasse gelernt wurde, erscheinen schwarz. Gelernte Messungen (auch nachträglich im Klassifikationsmodus) erscheinen in ihrer jeweiligen Farbe.

Die Software bezieht die Liste der Label von der Nase direkt, sodass bei Änderung der Label im Nasen-Code hier keine weitere Anpassung notwendig ist. Auch das dynamische Erzeugen neuer Klassen wird unterstützt.

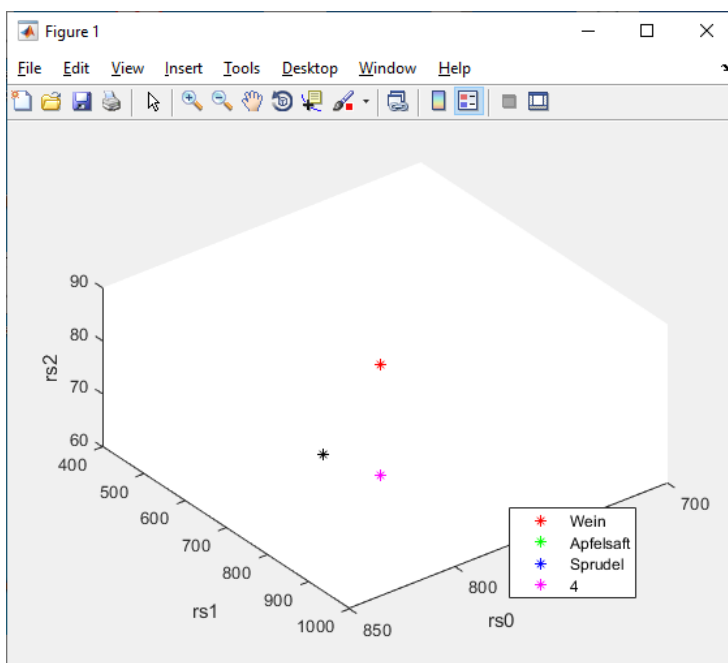


Abbildung 3 Screenshot der Software. Rot: Wein; Pink: Neue dynamische Klasse; Schwarz: Nicht gelernt

Die Software hat folgende Limitierung: Sie fügt im Laufe des Betriebs neue Messungen stetig zum Plot hinzu. Allerdings: Ist der Speicher der Nase voll und es werden Messungen aus dem Speicher der Nase gelöscht, so werden diese nicht aus dem Plot entfernt. Im aktuellen Zustand stellt die Software also den Zustand des Speichers der Nase nur korrekt dar, bis der Speicher voll ist.

Wichtig: Auch die Kommunikation mit der PC-Software kann werkseitig deaktiviert sein.