

Sensor BaseLine - Benutzerhandbuch

Referenzwerte verwalten und langsame Veränderungen von Messwerten verfolgen

Stand: 25.10.2026 · Gruppe **Messwertverarbeitung**

Sensor BaseLine vergleicht einen aktuellen Messwert mit einer festen Kalibrierreferenz und drei langsam nachgeführten Referenzlinien. Dieses Handbuch beschreibt die Einrichtung, die Bedienung und die Bedeutung der Ausgänge. Am Ende erläutert ein MOx-Gassensor das Verhalten bei sinkendem Widerstand und nach einer Änderung der Lüftung.



Symbolbild: Sensorsignal und mehrere Hintergrundlinien; keine reale Messkurve.

Inhalt

1. Aufgabe und Funktionsweise	3
2. Erste Inbetriebnahme	4
3. Eingänge und Einstellungen	5
4. Ausgänge richtig lesen	7
5. Ereignisse erkennen und Anpassung sperren	9
6. Kalibrieren und Rücksetzen	10
7. Speichern und Wiederanlauf	11
8. Statusmeldungen und Fehlersuche	13
9. Fachliche Quellen	14
10. Anwendungsbeispiel: MOx-Gassensor	15

1. Aufgabe und Funktionsweise

1.1 Feste Referenz und bewegliche Referenzlinien

Der Block verwendet vier Bezugswerte:

Wert	Bedeutung
Kalibrierreferenz	Ein unter bekannten Bedingungen ermittelter und ausdrücklich übernommener Wert. Er bleibt bis zur nächsten Kalibrierung unverändert.
Baseline Tag	Die am schnellsten nachgeführte Referenzlinie.
Baseline Woche	Die mittlere Referenzlinie.
Baseline Monat	Die am langsamsten nachgeführte Referenzlinie.

Nach einer Kalibrierung beginnen alle drei Linien beim Kalibrierwert. Anschließend folgen sie dem freigegebenen Messwert, jede mit ihrer eigenen Geschwindigkeit. Alle drei Linien werden direkt aus dem Sensorwert nachgeführt.

Die Linien beschreiben den beobachteten Messhintergrund. Eine Veränderung kann vom Sensor oder von seiner Umgebung stammen. Der Block unterscheidet diese Ursachen nicht. Er berechnet auch keine Gaskonzentration oder prozentuale Sensoralterung.

1.2 Was die Anpassungszeit bedeutet

Die Anpassungszeit gibt an, nach welcher **freigegebenen Anpassungszeit etwa 95 Prozent einer dauerhaften Änderung** übernommen sind. Diese Zeit wird auch T95 genannt.

Rechenbeispiel: Eine Linie steht auf 100. Der Messwert steigt dauerhaft auf 200. Bei einer Anpassungszeit von 24 Stunden steht die Linie nach 24 Stunden ununterbrochen freigegebener Anpassung ungefähr auf 195. Die Zahlen erläutern das Verhalten des Blocks; sie sind keine Sensormessung.

Tag, Woche und Monat sind die Namen der drei Zeitskalen. Die Linien sind keine Mittelwerte über feste Kalenderzeiträume. Wird die Anpassung zeitweise gesperrt, dauert die Annäherung entsprechend länger.

1.3 Eine Richtung langsamer nachführen

Unter **Anpassungsrichtung** stehen drei Einstellungen zur Wahl:

Auswahl	Verhalten
Symmetrisch	Steigende und fallende Werte werden mit der eingestellten Anpassungszeit übernommen.
Nach oben langsamer	Liegt der Messwert oberhalb einer Linie, wird deren Anpassungszeit mit dem Richtungsfaktor verlängert. Nach unten gilt die normale Zeit.
Nach unten langsamer	Liegt der Messwert unterhalb einer Linie, wird deren Anpassungszeit mit dem Richtungsfaktor verlängert. Nach oben gilt die normale Zeit.

Beide Richtungen bleiben möglich. Bei **Richtungsfaktor 1** sind alle drei Einstellungen gleich schnell. Erst ein größerer Faktor verlangsamt die gewählte Richtung.

Beispiel: 24 Stunden Anpassungszeit und Faktor 4 ergeben in der langsameren Richtung 96 Stunden. Die andere Richtung bleibt bei 24 Stunden. Die Richtung wird für jede Linie anhand ihrer Lage zum aktuellen Messwert bestimmt.

2. Erste Inbetriebnahme

Der Block benötigt einen aufbereiteten Sensorwert und eine Bestätigung, dass dieser Wert verwendet werden darf. Sensoranlauf, Datenfrische und physikalische Messbereichsgrenzen werden in der vorgelagerten Verarbeitung geprüft.

1. **Messkanal anschließen.** Den Sensorwert mit **x** verbinden. Für Messwert, Kalibrierwert und Eventschwellen dieselbe Einheit verwenden, beispielsweise überall kΩ.
2. **Gültigkeit anschließen. Messwert gültig** nur bei verwendbaren Messwerten auf 1 setzen. Der Eingang ist zunächst 0.
3. **Zeiten einstellen.** Die Tageszeit muss kleiner als die Wochenzeit und diese kleiner als die Monatszeit sein.
4. **Richtung wählen.** Bei gewünschter Richtungsbevorzugung zusätzlich einen Richtungsfaktor größer als 1 einstellen.
5. **Anlaufzeit festlegen.** Eine passende Wartezeit nach Neustart einstellen, falls sie nicht bereits vollständig über die vorgelagerte Messwertfreigabe abgebildet wird.
6. **Anpassungsfreigabe festlegen.** Ohne externe Sperre bleibt **Anpassung freigegeben** auf 1. Eine externe Ereignisauswertung kann diesen Eingang auf 0 setzen.
7. **Eventerkennung bei Bedarf einrichten.** Ereignisrichtung wählen und Eventschwelle, Rückkehrschwelle sowie maximale Sperrdauer einstellen. Anschließend **Eventerkennung** einschalten. Die Vorgabe ist Aus.
8. **Referenz bestimmen und übernehmen.** Einen unter bekannten Bedingungen bestimmten Wert an **Kalibrierwert** anlegen. **Kalibrieren** von 0 auf 1 und anschließend wieder auf 0 setzen.
9. **Ausgänge kontrollieren.** **Kalibrierreferenz vorhanden** muss 1 sein. **Baseline bereit** wird erst nach Anlaufzeit und gegebenenfalls Mindest-Anpassungszeit 1.

10. **Verlauf prüfen und sichern.** Messwert, Linien, Abweichungen und Status gemeinsam beobachten. Soll die neue Referenz sofort gespeichert werden, den bestehenden FB **SaveBlock** verwenden. Andernfalls erfolgt bei laufendem Betrieb der nächste automatische Sicherungsversuch innerhalb einer Stunde.

Die vorgegebenen Zeiten sind Startwerte für die Einrichtung. Sie sind keine nachgewiesenen optimalen Einstellungen für einen BME688 oder einen anderen bestimmten Sensor.

3. Eingänge und Einstellungen

3.1 Digitale Eingänge

Eingang	Vorgabe	Bedienung
Messwert gültig	0	1 erlaubt die Verwendung von x. Bei 0 bleiben die Linien und die zuletzt berechneten Abweichungen stehen.
Anpassung freigegeben	1	1 erlaubt die Nachführung. 0 hält die Linien und die gesammelte Anpassungszeit fest. Gültige Abweichungen werden weiterhin berechnet.
Kalibrieren	0	Ein Wechsel von 0 auf 1 übernimmt den Kalibrierwert als neue Referenz und setzt die drei Linien darauf.
Rücksetzen	0	Ein Wechsel von 0 auf 1 setzt die drei Linien auf die bestehende Kalibrierreferenz zurück.

Messwert gültig muss die Verwendbarkeit des aktuellen Messwerts bestätigen. Der Block weist zusätzlich ungültige Zahlen wie NaN oder Unendlich zurück. Einen physikalisch unplausiblen, aber numerisch gültigen Wert muss die vorgelagerte Sensorprüfung erkennen.

Ein unveränderter Messwert ist nicht automatisch veraltet. Die Aktualität muss anhand der Messwerterfassung beurteilt werden.

3.2 Messwert und Anpassung

Einstellung	Einheit	Vorgabe	Bedeutung
x	nach Sensor	0	Aktueller Sensorwert.
Kalibrierwert	wie x	0	Extern bestimmter Referenzwert. Wird erst durch Kalibrieren übernommen.
Aktualisierung [ms]	ms	1000	Abstand, ab dem die Linien wieder nachgeführt werden. Stellt nicht die Messrate des Sensors ein.
Anpassungszeit Tag [h]	h	24	Zeit für etwa 95 Prozent einer dauerhaften Änderung der Tageslinie.
Anpassungszeit Woche [h]	h	168	Entsprechende Zeit für die Wochenlinie.
Anpassungszeit Monat [h]	h	720	Entsprechende Zeit für die Monatslinie; 720 Stunden entsprechen 30 Tagen.
Richtungsfaktor	ohne	1	Verlängert die Zeit in der ausgewählten langsameren Richtung.
Mindest-Anpassungszeit [h]	h	0	Benötigte gesammelte Anpassungszeit, bevor Baseline bereit gesetzt wird.

Aktualisierung und Anpassungszeiten müssen größer als 0 sein. Es gilt **Tag < Woche < Monat**. Der Richtungsfaktor muss mindestens 1 sein, die Mindest-Anpassungszeit mindestens 0. Alle Werte müssen gültige, endliche Zahlen sein.

Der Kalibrierwert 0 gilt erst dann als übernommene Referenz, wenn kalibriert wurde. Ob 0 oder ein negativer Wert physikalisch zulässig ist, hängt vom angeschlossenen Sensor ab.

3.3 Anlauf und Ereigniserkennung

Einstellung	Einheit	Vorgabe	Bedeutung
Anlaufzeit [s]	s	0	Wartezeit mit durchgehend gültigen Messwerten nach Neustart. 0 schaltet diese zusätzliche Wartezeit aus.
Eventschwelle	wie x	0	Ab diesem Abstand zur Tageslinie in der gewählten Ereignisrichtung beginnt ein Ereignis. Bei eingeschalteter Eventerkennung muss der Wert größer als 0 sein.
Event Rückkehrschwelle	wie x	0	Abstand für die Rückkehrgrenze; die Regeln stehen in Kapitel 5. Mindestens 0 und kleiner als die Eventschwelle einstellen.
Maximale Eventsperre [s]	s	3600	Längste interne Anpassungssperre pro Ereignis. 0 bedeutet unbegrenzt.

Anlaufzeit und **Maximale Eventsperre** dürfen nicht negativ sein. Die Eventeinstellungen werden nur bei eingeschalteter Eventerkennung verwendet und geprüft.

Im Parameterbereich des Designers werden **Anpassungsrichtung**, **Eventerkennung** und **Ereignisrichtung** ausgewählt. Die interne Eventerkennung ist standardmäßig ausgeschaltet. Ihre vorgegebene Eventschwelle 0 muss vor dem Einschalten passend eingestellt werden.

Die beiden Richtungseinstellungen sind unabhängig: **Anpassungsrichtung** bestimmt die Nachführgeschwindigkeit. **Ereignisrichtung** bestimmt, welche Abweichungen ein Ereignis auslösen. Ihre Vorgabe ist **Beide Richtungen**.

3.4 Zeitverhalten bei Unterbrechungen

Bei einer Anpassung verwendet der Block den dann vorliegenden gültigen Messwert. Er bildet keinen Mittelwert über alle zwischenzeitlich eingegangenen Messwerte. Falls eine solche Mittelung benötigt wird, muss sie vorgeschaltet werden.

Sperrzeiten und ungültige Messabschnitte werden nicht nachgeholt. Nach einer Unterbrechung beginnt die Zeit für den nächsten Anpassungsschritt neu. Sehr kurze Freigaben, die jeweils das Aktualisierungsintervall nicht erreichen, können deshalb ohne Anpassung bleiben.

Eine Änderung der Anpassungszeiten oder der Richtung setzt die Linien nicht neu auf den Kalibrierwert. Eine Änderung des Aktualisierungsintervalls beginnt die Zeit bis zum nächsten Anpassungsschritt neu.

4. Ausgänge richtig lesen

4.1 Referenz, Linien und Abweichungen

Kalibrierreferenz zeigt den zuletzt übernommenen festen Bezugspunkt. **Baseline Tag**, **Baseline Woche** und **Baseline Monat** zeigen die drei nachgeführten Linien.

Die drei Abweichungsausgänge vergleichen den aktuellen Sensorwert mit der jeweiligen Linie:

Ausgang	Berechnung
Abweichung Tag	Sensorwert x - Baseline Tag
Abweichung Woche	Sensorwert x - Baseline Woche
Abweichung Monat	Sensorwert x - Baseline Monat

Ein positiver Wert bedeutet: Der Messwert liegt oberhalb der Linie. Ein negativer Wert bedeutet: Er liegt darunter. Die Abweichung hat dieselbe Einheit wie der Sensorwert.

Die Abweichungen beziehen sich auf die nachgeführte Linie des aktuellen Berechnungsschritts. Bei gesperrter Anpassung wird der gültige Sensorwert mit der festgehaltenen Linie verglichen. Bei ungültigem Messwert bleiben die letzten Abweichungen stehen; sie sind dann keine aktuelle Messung.

4.2 Zeiten und Vergleiche

Ausgang	Aussage
Anpassungszeit gesammelt [h]	Bisher verarbeitete Zeit mit freigegebener Anpassung. Sperrzeiten zählen nicht. Kalibrieren und Rücksetzen beginnen diese Zeit neu.
Laufzeit seit Kalibrierung [h]	Betriebszeit seit letzter Kalibrierung. Anpassungssperren zählen mit, ausgeschaltete Zeiten nicht.
Tag minus Woche	Abstand zwischen schneller und mittlerer Linie.
Woche minus Monat	Abstand zwischen mittlerer und langsamer Linie.
Monat minus Kalibrierreferenz	Langfristiger Abstand zum festen Bezugspunkt.

Auch ein gleichbleibender Messwert kann Anpassungszeit sammeln. Der Richtungsfaktor verändert die Nachführgeschwindigkeit, nicht die Zählung dieser Zeit.

Die Unterschiede zwischen den Linien beschreiben einen Verlauf. Sie belegen weder seine Ursache noch eine bestimmte Sensoralterung.

4.3 Digitale Zustände

Ausgang	Bedeutung bei 1
Kalibrierreferenz vorhanden	Eine gültige Referenz wurde übernommen oder nach Neustart wiederhergestellt.
Baseline bereit	Referenz und Linien sind verwendbar, Einstellungen sind gültig, Anlaufzeit und Mindest-Anpassungszeit sind erfüllt.
Event erkannt	Ein internes Ereignis besteht noch. Der Ausgang kann auch nach Ablauf der Eventsperre weiter 1 sein.
Eventsperre aktiv	Die interne Ereigniserkennung hält die Anpassung an.

Eine externe Sperre wird über **Eventsperre aktiv** nicht angezeigt. Bei ungültigem Messwert bleibt der letzte Eventzustand erhalten.

Baseline bereit beschreibt den Zustand der Referenzlinien. Ein später ungültiger Messwert oder eine Anpassungssperre nimmt eine bereits erreichte Bereitschaft allein nicht zurück. Für die Auswertung aktueller Abweichungen deshalb zusätzlich **Messwert gültig** und **Status** berücksichtigen.

Bereitschaft bestätigt keine saubere Luft, keine erreichte Messgenauigkeit und keinen abgeschlossenen Sensoranlauf.

5. Ereignisse erkennen und Anpassung sperren

5.1 Interne Eventerkennung

Bei **Eventerkennung** = **Ein** vergleicht der Block x mit der bisherigen Tageslinie. **Ereignisrichtung** legt fest, welche Seite berücksichtigt wird. Die Prüfung erfolgt vor der Anpassung; der auslösende Messwert wird noch nicht in die Linien übernommen.

Ereignisrichtung	Wann beginnt ein Ereignis?	Wann endet es?
Beide Richtungen	x liegt mindestens um die Eventschwelle unter oder über der Tageslinie.	Der Betrag des Abstands ist höchstens so groß wie die Rückkehrschwelle.
Unterhalb der Baseline	x liegt mindestens um die Eventschwelle unter der Tageslinie.	x erreicht Tageslinie minus Rückkehrschwelle oder liegt darüber. Auch ein Sprung über die Tageslinie beendet das Ereignis.
Oberhalb der Baseline	x liegt mindestens um die Eventschwelle über der Tageslinie.	x erreicht Tageslinie plus Rückkehrschwelle oder liegt darunter. Auch ein Sprung unter die Tageslinie beendet das Ereignis.

Bei einseitiger Erkennung lösen Werte auf der Gegenseite kein Ereignis aus. Sie dürfen die Linien verändern, wenn die übrigen Anpassungsbedingungen erfüllt sind. Eine externe Sperre bleibt wirksam.

Situation	Event erkannt	Eventsperre aktiv	Wirkung
Abweichung erreicht Eventschwelle in gewählter Richtung	1	1	Linien bleiben stehen.
Rückkehrbedingung noch nicht erfüllt, Sperrzeit läuft	1	1	Sperre bleibt bestehen.
Maximale Sperrzeit ist erreicht	1	0	Anpassung darf wieder beginnen, sofern sie sonst freigegeben ist.
Passende Rückkehrbedingung erfüllt	0	0	Ereignis beendet; ein neues Ereignis kann erkannt werden.

Nach Ablauf der Sperrzeit löst dieselbe anhaltende Abweichung keine neue Sperre aus. Erst die passende Rückkehrbedingung beendet das Ereignis. Damit kann ein dauerhaft veränderter Hintergrund nach der eingestellten Sperrzeit aufgenommen werden.

Die kleinere Rückkehrschwelle verhindert ständiges Umschalten nahe der Eintrittsschwelle. Diese Trennung der beiden Schwellen heißt Hysterese.

Rechenbeispiel für Unterhalb der Baseline: Die Tageslinie steht bei 100, die Eventschwelle beträgt 10 und die Rückkehrschwelle 5. Ein Messwert von 90 oder niedriger löst ein Ereignis aus. Ohne zwischenzeitliche Nachführung endet es bei 95 oder höher. Ein Wert von 110 beendet ebenfalls ein laufendes Ereignis und löst kein neues aus. Diese Zahlen sind keine empfohlenen Gasgrenzwerte.

Wird die Ereignisrichtung während des Betriebs geändert, beginnt eine neue Bewertung ohne die bisherige Eventsperrezeit. Beim nächsten gültigen Messwert wird geprüft, ob in der neu gewählten Richtung ein Ereignis vorliegt.

Die maximale Sperrzeit zählt nur Zeit mit gültigen Messwerten. Ungültige Abschnitte werden nicht nachgeholt. Eine externe Anpassungssperre hält den Zeitgeber der internen Eventsperre nicht an. Bei maximaler Sperrzeit 0 bleibt die interne Sperre bis zur Rückkehr bestehen.

5.2 Externe Anpassungssperre

Eine externe Auswertung sperrt über **Anpassung freigegeben = 0**. Diese Sperre bleibt so lange bestehen, bis der Eingang wieder 1 ist. Die maximale interne Eventsperre hebt sie nicht auf.

Wird eine externe Störung erst anhand bereits ausgegebener Baselinewerte erkannt, kann ihr erster Messwert schon in die Linien eingegangen sein. Eine spätere Sperre entfernt diesen Anteil nicht rückwirkend. Die interne Eventerkennung prüft dagegen vor der Nachführung.

5.3 Eine dauerhafte Änderung zulassen

Soll eine neue Raumumgebung langfristig als Hintergrund eingehen, muss die Anpassung wieder freigegeben werden. Bei der internen Eventerkennung kann dafür eine begrenzte Sperrdauer verwendet werden. Eine externe Dauersperre muss die Anwendung selbst aufheben.

Eine lange anhaltende Abweichung ist damit technisch verarbeitbar. Ob sie als neuer Hintergrund akzeptiert werden soll, bleibt eine Entscheidung der Anwendung.

6. Kalibrieren und Rücksetzen

6.1 Neue Referenz übernehmen

Eine Kalibrierung benötigt einen außerhalb des Blocks bestimmten Referenzwert. Die Messbedingungen sollten dokumentiert werden, damit spätere Vergleiche möglich sind.

Den Wert an **Kalibrierwert** anlegen und **Kalibrieren** von 0 auf 1 setzen. Der Block übernimmt die Referenz, setzt alle drei Linien darauf und beginnt beide Zeitangaben neu. Eine bestehende interne Eventepisode wird beendet. Anschließend Kalibrieren wieder auf 0 setzen.

Ein dauerhaftes Signal 1 kalibriert nicht wiederholt. Auch eine bloße Änderung des Kalibrierwerts löst keine Übernahme aus. Die Referenz kann jederzeit auf diese Weise neu gesetzt werden.

Die Übernahme ist auch bei gesperrter Anpassung oder ungültigem laufendem Sensorwert möglich, sofern der separat bereitgestellte Kalibrierwert gültig ist. Bei ungültigem Kalibrierwert bleiben die bisherigen Linien erhalten. Die entsprechende Statusmeldung bleibt bis zu einer gültigen Kalibrierung oder einem Rücksetzen sichtbar.

6.2 Linien auf die vorhandene Referenz zurücksetzen

Rücksetzen von 0 auf 1 setzt alle drei Linien auf die letzte gültige Kalibrierreferenz. Die gesammelte Anpassungszeit beginnt neu. Die Referenz selbst und die Laufzeit seit Kalibrierung bleiben erhalten; eine interne Eventepisode endet.

Rücksetzen bestimmt keinen neuen Referenzwert. Ohne vorhandene Referenz ist weiterhin eine Kalibrierung erforderlich. Es macht auch keinen einzelnen früheren Messwert rückgängig.

Werden Kalibrieren und Rücksetzen gleichzeitig ausgelöst, hat eine gültige Kalibrierung Vorrang. Ist der Kalibrierwert ungültig, wird stattdessen das angeforderte Rücksetzen ausgeführt.

Ein Geräte-Neustart ist davon zu unterscheiden: Er lädt den gespeicherten Zustand und setzt die Linien nicht automatisch auf die Kalibrierreferenz zurück.

7. Speichern und Wiederanlauf

7.1 Was gespeichert wird

Bei vorhandener Referenz sichert der Block seinen Zustand automatisch einmal pro Betriebsstunde in der bestehenden Konfiguration. Wiederhergestellt werden:

- die Kalibrierreferenz;
- die drei Referenzlinien;
- die gesammelte Anpassungszeit;
- die Betriebszeit seit Kalibrierung.

Eine neue Kalibrierung oder ein Rücksetzen löst keine sofortige Sicherung aus. Soll dieser Zustand unmittelbar erhalten bleiben, kann **SaveBlock** verwendet werden. Eine manuelle Sicherung verschiebt den nächsten automatischen Sicherungstermin nicht.

Nach einem unerwarteten Neustart können Änderungen seit der letzten erfolgreichen Sicherung fehlen. Der Block setzt dann beim gespeicherten Stand fort. Kleine Rundungsabweichungen bei der Wiederherstellung sind möglich. Ein fehlgeschlagener Speichervorgang kann den wiederherstellbaren Stand weiter zurückliegen lassen.

7.2 Ablauf nach einem Neustart

Nach dem Neustart stehen Referenz und Linien aus der letzten Sicherung zur Verfügung. Ab dem ersten gültigen Messwert läuft die Anlaufzeit. Bis zu ihrem Ende bleiben die Linien stehen und **Baseline bereit** ist 0.

Ein ungültiger Messwert während dieser Wartezeit startet sie neu. Nach ihrem Ende gelten wieder Eventerkennung und externe Freigabe. Spätere Messwertfehler lösen keine neue Anlaufzeit aus.

Die gesammelte Anpassungszeit bleibt erhalten; ausgeschaltete Zeit zählt nicht mit. Ein internes Ereignis wird neu bewertet, seine frühere Sperrzeit wird nicht fortgesetzt. Abweichungen werden mit dem nächsten gültigen Messwert neu berechnet.

Bei **Anlaufzeit 0** entfällt die zusätzliche Wartezeit. Die vorgelagerte Sensorprüfung bleibt erforderlich. Eine passende Anlaufzeit hängt vom Sensor und seiner Betriebsweise ab.

Ohne gespeicherte Referenz ist eine Kalibrierung erforderlich. Das gilt auch bei einem erkennbar ungültigen gespeicherten Zustand.

7.3 Sensorwechsel und Versionswechsel

Nach Sensorwechsel oder einer Änderung von Einheit oder Messbetrieb muss die Referenz neu bestimmt werden. Solche Änderungen erkennt der Block nicht selbst.

Beim Umstieg auf diese Blockfassung müssen Designer und Firmware zusammenpassen: Konfiguration neu übertragen, Block neu kalibrieren und anschließend sichern.

8. Statusmeldungen und Fehlersuche

8.1 Statusmeldungen

Der Statusausgang zeigt eine Meldung als Zahlenwert an. Bei mehreren gleichzeitig bestehenden Bedingungen wird die vorrangige Meldung ausgegeben. Deshalb auch Messwertgültigkeit, Anpassungsfreigabe und digitale Ausgänge prüfen.

Code	Meldung	Was tun?
0	Normalbetrieb	Referenz, Messwert und Einstellungen sind verwendbar; Anlaufzeit und Mindestzeit sind erfüllt, aktuell besteht keine Anpassungssperre.
4	Nicht genügend Arbeitsspeicher	Ursache beheben und den Block neu initialisieren. Bis dahin arbeitet er nicht.
16	Funktion nicht verfügbar	Einen Firmwarestand verwenden, der Sensor BaseLine unterstützt.
256	Ungültige Einstellungen	Zeiten, ihre Reihenfolge, Richtungsfaktor und gegebenenfalls Eventschwellen prüfen.
512	Kalibrierwert abgewiesen	Gültigen Kalibrierwert bereitstellen und erneut kalibrieren. Die bisherige Referenz bleibt erhalten, sofern vorhanden.
768	Kalibrierreferenz fehlt	Referenzwert bestimmen und mit Kalibrieren übernehmen.
1024	Messwert ungültig	Sensorwert und Eingang Messwert gültig prüfen.
1280	Anpassung extern gesperrt	Eingang Anpassung freigegeben prüfen. Eine gewollte Sperre ist kein Fehler.
1536	Mindest-Anpassungszeit noch nicht erreicht	Weitere freigegebene Anpassungszeit abwarten; Sperren und Aktualisierungsintervall kontrollieren.
1792	Zahlenbereich überschritten	Skalierung und Größenordnung der Messwerte prüfen. Letzte gültige Linien bleiben erhalten.
2048	Anlaufzeit läuft	Durchgehend gültige Messwerte bereitstellen und die eingestellte Zeit abwarten.
2304	Interne Eventsperre aktiv	Abweichung, Rückkehrschwelle und maximale Sperrdauer prüfen.
2560	Gespeicherter Zustand ungültig	Eine gültige neue Referenz übernehmen. Rücksetzen allein genügt nicht.

8.2 Häufige Fragen

Beobachtung	Erklärung oder Prüfung
Die Linien bleiben stehen.	Referenz vorhanden? Messwert gültig? Anlauf beendet? Externe Freigabe und Eventsperre prüfen.
Der Kalibrierwert wurde geändert, die Referenz bleibt gleich.	Erst ein neuer Wechsel von Kalibrieren von 0 auf 1 übernimmt den Wert.
Die Richtungswahl zeigt keinen Unterschied.	Bei Richtungsfaktor 1 ist die Nachführung in beiden Richtungen gleich schnell.
Baseline bereit ist 1, obwohl der Messwert ungültig ist.	Bereitschaft bewertet die Referenzlinien. Die aktuelle Messwertgültigkeit muss separat geprüft werden.
Event erkannt ist 1, die Linien folgen aber wieder.	Die maximale interne Sperrdauer ist abgelaufen. Das Ereignis bleibt bis zur Rückkehr angezeigt.
Die Eventsperre ist beendet, trotzdem erfolgt keine Anpassung.	Die externe Freigabe und alle übrigen Anpassungsbedingungen bleiben erforderlich.
Die Abweichung wird nach langer Belastung klein.	Die freigegebene Baseline hat sich angenähert. Das belegt keine Verbesserung der Umgebung.
Nach Neustart fehlen die letzten Änderungen.	Der Block hat den letzten gespeicherten Stand übernommen. Änderungen seit dieser Sicherung können fehlen.
Nach Rücksetzen liegen die Linien wieder auf einem alten Wert.	Rücksetzen verwendet bewusst die letzte Kalibrierreferenz. Für einen neu bestimmten Bezugspunkt kalibrieren.

9. Fachliche Quellen

Die folgenden Quellen begründen die physikalischen Aussagen im abschließenden Beispiel. Die genannten Alterungsversuche betreffen jeweils die dort untersuchten Sensoren; sie legen keine allgemeine Alterungsrichtung für den BME688 fest.

Quelle	Verwendete Aussage
Bosch Sensortec: BME688-Datenblatt, Abschnitt 3.3	Rohwiderstand bei reduzierenden VOCs und Einfluss der Luftfeuchtigkeit.
Sun et al., 2020: Alterungsversuche an MQ-5-Sensoren, DOI 10.1016/j.microrel.2020.113808	Beobachteter sinkender Referenzwiderstand unter untersuchten Belastungsbedingungen.
Müller und Sberveglieri, 2022: SnO ₂ -Nanodrahtsensoren, DOI 10.3390/chemosensors10050171	Beobachtete abnehmende Grundleitfähigkeit, entsprechend steigender Grundwiderstand.
US EPA: Improving Indoor Air Quality	Außenluftzufuhr zur Verdünnung von Innenraumbelastungen und Bedeutung der Außenluftqualität.

10. Anwendungsbeispiel: MOx-Gassensor

10.1 Ausgangslage und physikalische Einordnung

Das Beispiel beschreibt einen MOx-Widerstandskanal, dessen längerfristiger Messwert sinkt. Der Block soll fallenden Werten bevorzugt folgen und eine spätere Erhöhung des Hintergrundwerts ebenfalls aufnehmen können.

Für den **BME688** beschreibt Bosch einen sinkenden Rohwiderstand bei zunehmender Konzentration reduzierender VOCs und den umgekehrten Verlauf bei abnehmender Konzentration. Auch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst das Rohsignal. Ein Widerstandsverlauf allein trennt deshalb Gasbelastung, Umgebungseinflüsse und Sensorveränderungen nicht. [Bosch-Datenblatt](#)

Eine allgemein fallende Alterungskurve ist für MOx-Sensoren nicht belegt. Sinkender Referenzwiderstand wurde beispielsweise in beschleunigten Versuchen an MQ-5-Sensoren beobachtet. Andere Untersuchungen an SnO₂-Nanodrahtsensoren zeigen steigenden Grundwiderstand. Diese Ergebnisse dürfen nicht als nachgewiesener Alterungsverlauf eines konkreten BME688 übernommen werden. [Sun et al.](#), [Müller und Sberveglieri](#)

Für die Einstellung **Nach oben langsamer** ist daher eine beobachtete beziehungsweise für die Anwendung begründet gewählte bevorzugte Abwärtsnachführung maßgeblich. Sie ist keine allgemeine Bosch-Vorgabe.

10.2 Den Messkanal einrichten

Anschluss oder Einstellung	Verwendung im Beispiel
x	Gaswiderstand in einer durchgängigen Einheit, beispielsweise kΩ.
Messwert gültig	Freigabe durch die Sensorprüfung; nur aktuelle und verwendbare Messwerte zulassen.
Kalibrierwert	Unter dokumentierten Referenzbedingungen bestimmter Widerstand desselben Sensors.
Anpassungsrichtung	Nach oben langsamer.
Ereignisrichtung	Unterhalb der Baseline: Nur niedrigere Widerstandswerte können eine interne Eventsperre auslösen.
Richtungsfaktor	Größer als 1, damit steigende Werte tatsächlich langsamer übernommen werden.
Anpassungszeiten	Passend zur gewünschten Beobachtungsdauer einstellen. Die Vorgaben sind keine Materialkennwerte des Sensors.
Anlaufzeit	Zum verwendeten Sensorbetrieb passende Wartezeit beziehungsweise vorgelagerte Anlauffreigabe.
Eventerkennung	Bei Bedarf aktivieren und anhand eigener Messverläufe Schwellen sowie Sperrdauer festlegen.

Messwert und Referenz müssen zum gleichen Messbetriebspunkt gehören. Widerstände aus unterschiedlichen Heizstufen eines Scanprofils dürfen nicht ohne passende Trennung derselben Referenzlinie zugeführt werden.

10.3 Fall A: Sinkender Referenzwert

Um einen Referenzdrift festzustellen, wird derselbe Sensor zu verschiedenen Zeitpunkten unter vergleichbaren Referenzbedingungen gemessen. Ein dabei reproduzierbar gesunkener Widerstand dokumentiert zunächst die Änderung dieses Referenzwerts. Die genaue Ursache muss gesondert beurteilt werden.

Bei **Nach oben langsamer** folgen die freigegebenen Linien niedrigeren Messwerten mit ihren normalen Anpassungszeiten. Die Kalibrierreferenz bleibt unverändert. **Monat minus Kalibrierreferenz** kann dadurch negativ werden und zeigt den Abstand zum früheren Bezugspunkt.

Soll ein neu bestimmter Referenzwert künftig der feste Bezugspunkt sein, wird ausdrücklich neu kalibriert. Die laufende Nachführung ersetzt diese Entscheidung nicht.

10.4 Fall B: Länger andauernde Belastung im Raum

Auch eine dauerhafte Änderung der Umgebung kann den Widerstand senken. Werden diese Werte zur Anpassung freigegeben, nähern sich die drei Linien dem niedrigeren Hintergrund an. Die Abweichungen werden dabei kleiner, selbst wenn die Ursache weiter besteht.

Eine kleine Abweichung bedeutet dann: Sensorwert und nachgeführter Hintergrund liegen nahe beieinander. Sie bestätigt keine unbelastete Luft.

Die Eventerkennung kann den Beginn einer größeren Änderung zunächst ausblenden. Bei begrenzter Sperrdauer lässt sie anschließend die Aufnahme des neuen Hintergrunds zu. Soll eine bekannte Belastung weiterhin ausgeschlossen bleiben, muss die Anwendung über **Anpassung freigegeben** sperren.

10.5 Fall C: Zusätzliche Lüftung

Geeignete Außenluftzufuhr kann Stoffe aus Innenraumquellen verdünnen oder abführen. Die Wirkung hängt auch von der Außenluft ab. Ein bestimmter Widerstandsanstieg ist deshalb nicht allein durch den Einbau einer Lüftung garantiert. [US EPA](#)

Liegen nach der Änderung dauerhaft gültige und freigegebene Widerstandswerte oberhalb einer Linie, folgt diese nach oben. Bei **Nach oben langsamer** gilt dafür die eingestellte Anpassungszeit mal Richtungsfaktor. Eine externe Dauersperrung muss zuvor aufgehoben sein; eine interne Eventsperre muss beendet oder abgelaufen sein.

Die Linien nähern sich den nun gemessenen Werten. Sie müssen nicht auf den ursprünglichen Kalibrierwert zurückkehren. Eine neue Kalibrierung ist für dieses langsame Nachführen nicht erforderlich.

Mit **Ereignisrichtung = Unterhalb der Baseline** löst der höhere Widerstand keine interne Eventsperre aus. Er beendet auch ein zuvor erkanntes unteres Ereignis, sobald die untere Rückkehrgrenze erreicht ist. Die Aufwärtsanpassung bleibt durch **Nach oben langsamer** verlangsamt.

Ein steigender Widerstand und eine steigende Baseline belegen keine rückgängig gemachte Sensoralterung. Der Block passt den beobachteten Hintergrund an. Eine Aussage über die Empfindlichkeit des Sensors benötigt eigene Referenzmessungen.

10.6 Was sich an den Ausgängen ablesen lässt

Beobachtung	Aussage
Niedrigere Werte werden freigegeben, die Linien fallen.	Ein niedrigerer Messhintergrund wird aufgenommen.
Eine Referenzmessung unter vergleichbaren Bedingungen ergibt einen niedrigeren Wert.	Eine Änderung des gemessenen Referenzwerts ist dokumentiert.
Nach der Lüftungsänderung liegt x höher, die freigegebenen Linien steigen langsam.	Der Block folgt der geänderten Messwertlage in der langsameren Richtung.
Die Abweichungen gehen nach langer Belastung gegen null.	Der nachgeführte Hintergrund hat sich angenähert; daraus folgt keine Luftgütebewertung.
Die Monatslinie liegt weiterhin unter der alten Referenz.	Der aktuelle Hintergrund und der historische Referenzwert unterscheiden sich.

Für diesen Anwendungsfall hält **Nach oben langsamer** beide Korrekturrichtungen offen: Fallende Werte werden mit der normalen Zeit übernommen, dauerhaft höhere Werte mit verlängerter Zeit. Die Referenz bleibt bis zu einer ausdrücklichen neuen Kalibrierung erhalten.