

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Sciences

Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung des  
Messunsicherheitsanteils, der durch die Berechnung des  
NO<sub>2</sub> Mittelwertes im NO<sub>x</sub> Analysator entsteht.

Bachelorarbeit

Im Studiengang  
Umwelttechnik

vorgelegt von  
Paul Studenin  
1959173

Hamburg, Bergedorf  
Am 16. August 2012

**Gutachter:** Prof. Dr. Olaf Elsholz HAW Hamburg  
**Gutachter:** Dr. Dagmar Gömer Institut für Hygiene und Umwelt Hamburg

## Danksagung

Diese Bachelor-Arbeit wurde im Institut für Hygiene und Umwelt beim Luftmessnetz-Hamburg angefertigt, wo auch das Praxissemester zuvor absolviert wurde. Die Gelegenheit wird von mir genutzt um mich für die Betreuung und Unterstützung während des Praxissemesters und beim Anfertigen der Bachelor-Arbeit zu bedanken. Mein besonderer Dank gilt Harald Kessel, dem Leiter des Servicebereiches des Hamburger Luftmessnetzes und meinem Betreuer während des Praxissemesters und der Bachelorarbeit. Danken möchte ich auch Frau Dr. Dagmar Gömer, Leiterin der Abteilung, die Zweitgutachterin dieser Bachelor-Arbeit ist. Ferner gilt mein Dank den anderen Angestellten der Abteilung Luftmessnetz für ihre stetige Hilfsbereitschaft. Nachfolgend möchte ich Dr. Wolfgang Olsowski von der Firma Sick Maihak für die Bereitstellung der Software zur Messwertaufnahme und -visualisierung danken. Zuletzt danke ich Herr Prof. Dr. Olaf Elsholz, der Erstgutachter dieser Bachelorarbeit ist.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	1
Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	3
Einleitung.....	4
1 Messprinzip und Eignungsprüfung nach DIN EN 14211.....	5
1.1 Messprinzip .....	5
1.2 Eignungsprüfung.....	6
1.2.1 Prüfbedingungen .....	6
1.2.2 Einstellzeit .....	7
1.2.3 Mittelungsprüfung.....	9
2 Entwicklung eines Verfahrens auf der Basis der Anforderungen der Eignungsprüfung nach DIN EN 14211 für NO <sub>x</sub> -Analysatoren .....	11
3 Anwendung des Verfahrens und Auswertung der Versuche.....	18
3.1 Inbetriebnahme des Gasschalters.....	18
3.2 Ermittlung der Einstellzeit .....	19
3.3 Ermittlung des Mittelungseinflusses.....	23
4 Unsicherheitenbetrachtung .....	28
5 Diskussion .....	30
Zusammenfassung .....	31
Literaturverzeichnis .....	32
Geräte- und Softwareliste.....	33
Anhang.....	34

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gaslaufplan (schematisch) eines NO <sub>x</sub> -Messgerätes.....	5
Abbildung 2 Ablauf der Prüfung der Einstellzeit [DIN EN 14211].....	8
Abbildung 3 Ablauf der Mittelungsprüfung[DIN EN 14211].....	10
Abbildung 4 Darstellung des Gasverteilers mit 1,2 und 3 als Nummerierung der Anschlüsse....	11
Abbildung 5 Null-Modus des Gasverteilungssystems.....	12
Abbildung 6 Span-Modus des Gasverteilungssystems.....	12
Abbildung 7 Gasverteilungssystem mit Nadelventilen und Rotameter.....	13
Abbildung 8 Darstellung des Gasversorgungssystems bei der Mittelungsprüfung.....	14
Abbildung 9 Darstellung des Ablaufs während der Zeitspanne $t_v$ mit $t_A$ als Einstellzeit.....	15
Abbildung 10 Elektronische Schaltung des Gasverteilers.....	16
Abbildung 11 Photo des Gasverteilers von oben.....	17
Abbildung 12 Photo des Gasverteilers von vorne.....	17
Abbildung 13 Bedienoberfläche Gasmischsystem.....	19
Abbildung 14 GraMon Bedienoberfläche.....	20
Abbildung 15 GraMon Schnittstellen-Optionsmenü.....	20
Abbildung 16 NO-Signal vom Messgerät bei der Prüfung der Einstellzeit.....	21
Abbildung 17 Bedienoberfläche vom GasLab bei der Mittelungsprüfung.....	23
Abbildung 18 Bedienoberfläche des Zeitsteuerungsmoduls.....	24
Abbildung 19 Signalverläufe der Messwerte während der Mittelungsprüfung.....	25

## Einleitung

Mit der Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 wurden die Ziele für Luftqualität in Europa definiert und festgelegt. Ferner dienen die in der Richtlinie festgelegten Maßnahmen dem Ziel, die Beurteilung der Luftqualität und die damit einhergehende Überwachung in den Mitgliedsstaaten anhand einheitlicher Methoden und Kriterien zu regeln. Die Richtlinie 2008/50/EG wurde mit der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) in deutsches Recht überführt.

Die im Stadt-Staat Hamburg für die Überwachung der Luftqualität zuständige Behörde ist das Institut für Hygiene und Umwelt, welches das Luftmessnetz Hamburg betreibt. Mit den im Hamburger Ballungsraum verteilten Stationen wird die Luftqualität in Hamburg überwacht. Die Messungen werden nach den in der 39. BImSchV. aufgeführten Normen für Referenzmessverfahren ausgeführt. Im Rahmen der Qualitätssicherung werden für jede Messkomponente Prüfungen nach Anforderungen der jeweiligen Norm des Referenzmessverfahrens durchgeführt, um die Unsicherheit der Messung zu ermitteln. Das Luftmessnetz Hamburg verfügt über ein Labor in dem Prüfungen nach Normen für Referenzmessverfahren unter darin beschriebenen Prüfbedingungen durchgeführt werden. Die in dieser Bachelor-Arbeit betrachtete Messkomponente ist  $\text{NO}_x$  und damit die Norm DIN EN 14211.

Bisher war es nicht möglich den Mittelungseinfluss der  $\text{NO}_x$ -Analysatoren bei schwankender  $\text{NO}_x$ -Konzentration im Labor des Instituts zu bestimmen. Aufgrund dessen ging bei der Berechnung der Unsicherheit für das Horiba APNA-370  $\text{NO}_x$ -Messgerät der Mittelungseinfluss mit 4,4 % [4] ein. Dieser Wert wurde aus dem Bericht zur vom TÜV Rheinland durchgeführten Eignungsprüfung für das Messgerät übernommen. Aus der Bestrebung heraus diesen Beitrag an Messunsicherheit zu verringern, entstand die Idee, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem nach Anforderungen aus DIN EN 14211 die Mittelungsprüfung sich im Labor des Instituts bewerkstelligen ließe. Diese Idee wurde im Rahmen des Praxissemesters diskutiert und für die Bachelorarbeit aufgegriffen. Dabei sollte das Verfahren mit vorhandenen Mitteln des Instituts in Form eines Versuchsaufbaus realisiert werden.

Im Folgenden dieser Bachelor-Arbeit werden die Prüfungen von Einstellzeit und Mittelungseinfluss nach DIN EN 14211 beschrieben. Auf der Basis der Anforderungen an die Prüfungen wird ein Verfahren entwickelt, mit dem die Prüfungen im Labor durchgeführt werden können. Mit einem Versuchsaufbau wird das Verfahren getestet und die Einstellzeit und der Mittelungseinfluss bestimmt. Die Versuche finden im Labor des Instituts unter normgerechten Prüfbedingungen statt. Dabei liegen die Konzentrationen der Messkomponenten innerhalb der Zertifizierungsbereiche für die Eignungsprüfung nach DIN EN 14211. Dieser beträgt für die Messkomponenten  $\text{NO}$  0 ppb bis rund 960 ppb und  $\text{NO}_2$  0 ppb bis rund 260 ppb. Anschließend findet die Auswertung der Versuche statt. In den darauf folgenden Kapiteln wird die Unsicherheitenbetrachtung durchgeführt und das Verfahren diskutiert.

# 1 Messprinzip und Eignungsprüfung nach DIN EN 14211

Die DIN EN 14211 beschreibt das Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenzverfahren. Ferner wird die Eignungsanerkennung der Messgeräte geregelt. Dabei werden relevante Leistungskenngrößen und Leistungskriterien definiert und darüber hinaus die Verfahren zur Bestimmung dieser Leistungskenngrößen bei der Laborprüfung beschrieben.

## 1.1 Messprinzip

Das bei den Messgeräten angewandte Messprinzip beruht auf der Chemilumineszenz. Dabei wird in Folge der Reaktion von Stickstoffmonoxid,  $\text{NO}$ , mit Ozon,  $\text{O}_3$ , in einer Reaktionskammer Strahlung emittiert. Diese Strahlung ist proportional zur Anzahl der Stickstoffmonoxid-Moleküle im Detektionsvolumen und damit proportional zur  $\text{NO}$ -Konzentration. Die emittierte Strahlung wird mit einem selektiven optischen Filter gefiltert, mit einem Photomultiplier oder einer Photodiode erfasst und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Mit dieser Methode wird Distickstoffdioxid,  $\text{N}_2\text{O}$ , nicht erfasst.

Der Gehalt an Stickstoffdioxid wird bestimmt, indem die Probenluft durch einen Konverter geleitet und dabei Stickstoffdioxid zu Stickstoffmonoxid reduziert wird. Wie zuvor beschrieben wird anschließend die Stickstoffmonoxid-Konzentration ermittelt. Das emittierte Licht und damit einhergehende Signal ist proportional zur Summe der Konzentrationen von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid. Die Differenz der Signale der beiden Proben, der durch einen Konverter und der nicht durch einen Konverter geleiteten, entspricht im Mittel der Stickstoffdioxid-Konzentration.

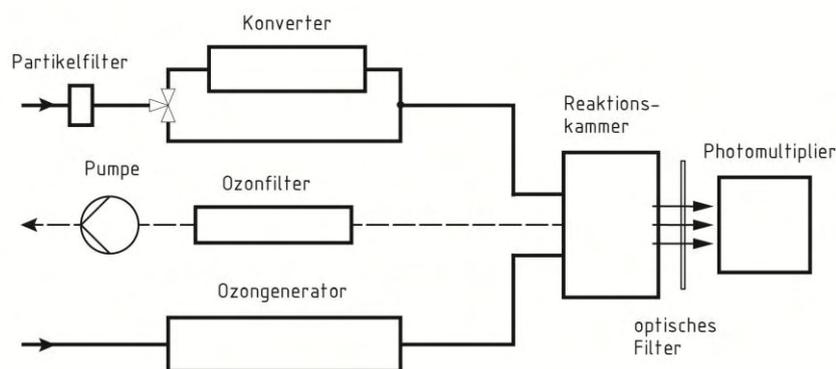


Abbildung 1 Gaslaufplan (schematisch) eines  $\text{NO}_x$ -Messgerätes.

In Abbildung 1 ist der Gaslaufplan eines  $\text{NO}_x$ -Messgerätes dargestellt. Im Gegensatz zu einer  $\text{NO}$ - wird bei einer  $\text{NO}_x$ -Messung das Probengas nach dem Partikelfilter durch einen Konverter

in die Reaktionskammer geleitet. In der Reaktionskammer vermischt sich das Gas mit Ozon und reagiert. Die in Folge der Reaktion entstehende Strahlung wird mit einem optischen Filter gefiltert und von einem Photomultiplier erfasst.

Wird bei einer chemischen Reaktion Licht emittiert, so bezeichnet man das als Chemilumineszenz. In Folge der Gasphasenreaktion von NO und Ozon wird Licht emittiert, das proportional zur NO-Konzentration ist. Es entsteht wenn Elektronen der angeregten NO<sub>2</sub>-Moleküle in einen niedrigeren Energiezustand übergehen.

Das Chemilumineszenz-Verfahren basiert auf der Reaktion:



Dabei emittieren angeregte Stickstoffdioxid-Moleküle Strahlung im nahen Infrarotbereich (von 600 nm bis 3000 nm) mit einem Maximum um 1200 nm. Zur Bestimmung der Stickstoffdioxid-Konzentration wird Stickstoffdioxid haltige Probenluft durch einen Konverter geleitet, wobei Stickstoffdioxid in Stickstoffmonoxid umgewandelt wird:



und anschließend die NO-Konzentration nach (1) und (2) ermittelt wird.

## 1.2 Eignungsprüfung

Die EU-Gesetzgebung schreibt eine maximal zulässige Messunsicherheit bei einer Messung am Grenzwert für die Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid in Luft vor. Diese muss eingehalten werden. Bei der Eignungsprüfung werden Leistungskenngrößen der NO<sub>x</sub>-Messgeräte mit vorgeschriebenen Prüfverfahren bestimmt und bewertet. Die Prüfverfahren werden in der DIN EN 14211 beschrieben. Bei der Bewertung der Eignungsanerkennung eines Messgerätes wird die erweiterte Messunsicherheit, welche aus den numerischen Werten der geprüften Leistungskenngrößen abgeleitet wird, berechnet. Die erweiterte Messunsicherheit wird mit der maximal zulässigen erweiterten Unsicherheit verglichen. Im Rahmen der Bachelorarbeit werden die Leistungskenngrößen Einstellzeit und Mittelungseinfluss betrachtet. Die Prüfverfahren dieser Kenngrößen werden im Folgenden beschrieben.

### 1.2.1 Prüfbedingungen

Vor Inbetriebnahme des Messgerätes sind die Herstellerangaben hinsichtlich der Aufstellung des Gerätes und Zubehör zu beachten. Ferner ist die vom Hersteller angegebene Einlaufzeit (falls nicht angegeben, mindestens 4 h) zu beachten. Bevor die Prüfgase auf das Messgerät gegeben werden, muss das Prüfgassystem ausreichend lange betrieben worden sein, damit sich stabile Konzentrationen einstellen können. Während der einzelnen Prüfungen der Eignungsprüfung müssen alle Einstellungen den Herstellerangaben entsprechen.

Während der Teilprüfungen müssen die in folgender Tabelle aufgeführten Parameter innerhalb angegebener Bereiche konstant gehalten werden um stabile Messungen zu gewährleisten.

**Tabelle 1 Parameter der Eignungsprüfung, ihre Werte und Stabilitätsgrenzen**

Parameter	Festgelegte Werte	Stabilität
Probengasdruck	Herstellerangaben	Umgebung $\pm 0,2$ kPa
Probengastemperatur	20 °C bis 23 °C	$\pm 2$ °C
Umgebungstemperatur	20 °C bis 23 °C	$\pm 2$ °C
Elektrische Spannung	Herstellerangaben	$\pm 1$ %
Probengasdurchfluss	Herstellerangaben	$\pm 1$ %

Zur Prüfung der einzelnen Leistungskenngrößen sollen auf nationale Standards rückführbare Prüfgase verwendet werden. Dabei sind bei den im Rahmen der Bachelorarbeit durchgeführten Prüfungen angewandte Verfahren:

- Druckgasflasche, bei der NO oder NO<sub>2</sub> als Gasgemisch in N<sub>2</sub> vorliegt,
- dynamische Verdünnung, wobei das Gas aus Druckgasflaschen mit synthetischer oder gereinigter Luft vermischt wird
- und die Gasphasentitration, wobei NO mittels Ozon in NO<sub>2</sub> umgewandelt wird.

Die maximal zulässige Unsicherheit der Konzentration der verwendeten Prüfgase von  $\pm 3$  % darf nicht überschritten werden.

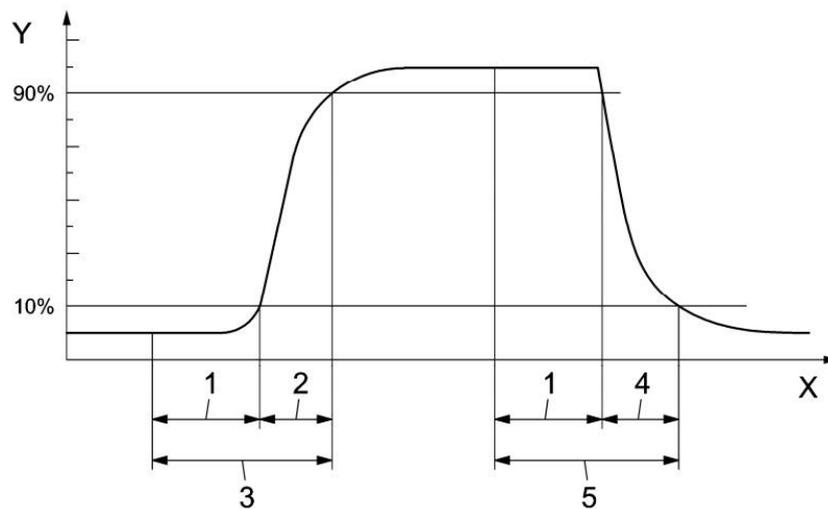
### 1.2.2 Einstellzeit

Mit der Einstellzeit, der ersten Prüfung im Eignungstest, wird eine spezifische Eigenschaft des Messgerätes erfasst. Die darauf folgenden Prüfungen beziehen sich stets auf die Einstellzeit, welche zuvor ermittelt wird.

Die Einstellzeit wird bestimmt, indem die NO-Konzentration im Probengas sprunghaft von weniger als 20 % auf ca. 80 % des Zertifizierungsbereichs des Gerätes geändert wird und umgekehrt. Der Wechsel von Null- auf Spangas muss sehr schnell erfolgen. Hierfür muss ein geeignetes Ventil oder eine Ventilkombination verwendet werden. Die Gasdurchflüsse von Null- und Spangas müssen so gewählt werden, dass die Totzeit (Verweilzeit im Leitungssystem) vor dem Einströmen ins Gerät im Vergleich zu der Totzeit des Gerätes vernachlässigbar ist. Der Umschaltvorgang von Null- auf Spangas am Geräteeinlass ist der Startpunkt ( $t=0$ ) der Totzeit beim Anstieg. Ändert sich die Messwertanzeige am Gerät nicht um mehr als 2 % der NO-Konzentration im aufgegebenen Spangas, kann auf Nullgas umgeschaltet werden, dieser Vorgang ist der Startpunkt ( $t=0$ ) der Totzeit beim Abfall. Ändert sich die Messwertanzeige am Gerät nicht um mehr als 2 % der NO-Konzentration im aufgegebenen Probengas, ist der Messzyklus beendet.

Die Einstellzeit ist die zwischen der sprunghaften Änderung der NO-Konzentration und dem Erreichen von 90 % der stabilen Messwertanzeige vergangene Zeit. Der Messzyklus wird vier Mal wiederholt. Aus den vier Einstellzeiten beim Anstieg und aus vier Einstellzeiten beim Abfall werden die Mittelwerte errechnet.

Die folgende Abbildung stellt den Ablauf vom Messzyklus der Einstellzeit schematisch dar.



**Abbildung 2 Ablauf der Prüfung der Einstellzeit [DIN EN 14211]**

In Abbildung 2 ist der Ablauf der Prüfung der Einstellzeit dargestellt. Mit Y als Konzentration und X als Zeit. 1 als Totzeit, 2 als Anstiegszeit, 3 Einstellzeit (Anstieg), 4 als Abfallzeit und 5 als Einstellzeit (Abfall)

Die relative Differenz der Einstellzeiten wird nach folgender Formel errechnet:

$$t_d = \left| \frac{\bar{t}_r - \bar{t}_f}{\bar{t}_r} \right| 100 \% \quad (4)$$

Dabei ist:

$t_d$  Die relative Differenz der Einstellzeiten (Anstieg und Abfall) in %

$\bar{t}_r$  Mittelwert der vier gemessenen Einstellzeiten beim Anstieg in s

$\bar{t}_f$  Mittelwert der vier gemessenen Einstellzeiten beim Abfall in s

### 1.2.3 Mittelungsprüfung

Im Rahmen der Bachelorarbeit wird die Mittelungsprüfung nach DIN EN 14211 betrachtet und ein Verfahren zur Durchführung dieser entwickelt. Im Folgenden wird die Mittelungsprüfung nach DIN EN 14211 beschrieben.

Werden kurzzeitige Änderungen der Konzentration im Prüfgas verursacht, so liefert die Mittelungsprüfung ein Maß für die Unsicherheit der gemittelten Werte während dieser Schwankungen. Dabei wird eine Bezugskonzentration (null) und die tatsächliche Konzentration bestimmt. Die Ausgabe des Messgerätes ist das Ergebnis dieser Bestimmung. Dafür wird eine gewisse Zeit benötigt.

Die auf den Mittelungsprozess im Messgerät zurückgehende Unsicherheit wird bestimmt, indem auf das Gerät folgende Konzentrationen gegeben und die Messwerte erfasst werden.

- eine konstante  $\text{NO}_2$ -Konzentration  $c_{t,\text{NO}_2}$  von etwa 200 ppb
- eine sprunghaft ändernde NO-Konzentration  $c_{t,\text{NO}}$  zwischen null und 600 ppb.

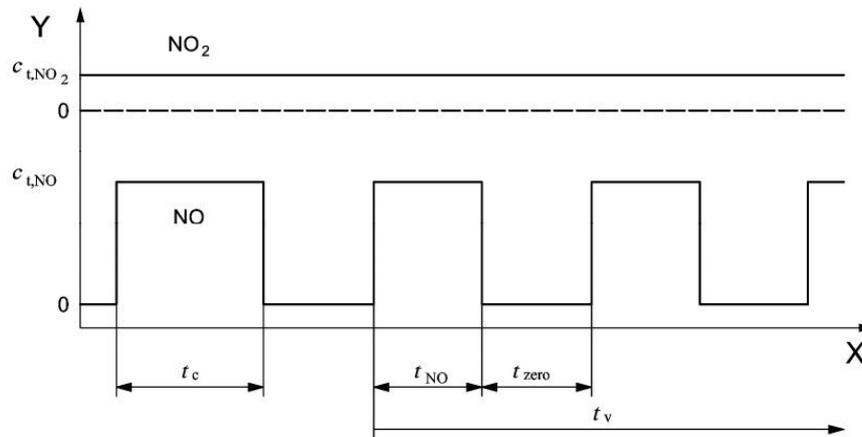
Die Zeitspanne  $t_c$ , während der eine konstante NO-Konzentration auf das Gerät gegeben wird, muss mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Anzeigewerten notwendigen Zeitspanne sein. Die Zeitspanne  $t_v$ , während der eine sich ändernde NO-Konzentration auf das Gerät gegeben wird, muss mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Anzeigewerten notwendigen Zeitspanne sein. Die Zeitspanne  $t_{\text{NO}}$ , während der das Prüfgas mit der NO-Konzentration von 600 ppb auf das Gerät gegeben wird, muss 45 s betragen, gefolgt von einer Zeitspanne  $t_{\text{Zero}}$  mit ebenfalls 45 s, während der eine NO-Konzentration von null ppb auf das Gerät gegeben wird. Weiterhin gilt:

- $c_t$  ist die Prüfgaskonzentration in ppb und
- $t_v$  ist die Gesamtzeit der  $t_{\text{NO}}$ - und  $t_{\text{Zero}}$ -Paare und umfasst mindestens drei Paare.

Eine unabhängige Messung ist nach DIN EN 14211 definiert, als Einzelmessung, die nicht durch eine vorangegangene Einzelmessung beeinflusst ist, da diese durch mindestens vier Einstellzeiten voneinander getrennt sind.

Der Wechsel  $t_{NO}$  und  $t_{zero}$  muss innerhalb von 0,5 s erfolgen. Der Wechsel zwischen  $t_c$  und  $t_v$  muss innerhalb einer Einstellzeit des Geräts erfolgen.

Die folgende Abbildung stellt den Ablauf der Mittelungsprüfung schematisch dar.



**Abbildung 3 Ablauf der Mittelungsprüfung[DIN EN 14211]**

In Abbildung 3 ist der Ablauf der Mittelungsprüfung dargestellt, mit Y als Konzentration und X als Zeit.

Der Mittelungseinfluss  $X_{av}$  wird nach folgender Formel ermittelt:

$$X_{av} = \frac{c_{const}^{av} - 2c_{var}^{av}}{c_{const}^{av}} 100 \% \quad (5)$$

Dabei ist:

$X_{av}$  Mittelungseinfluss in %

$c_{const}^{av}$  Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne  $t_c$

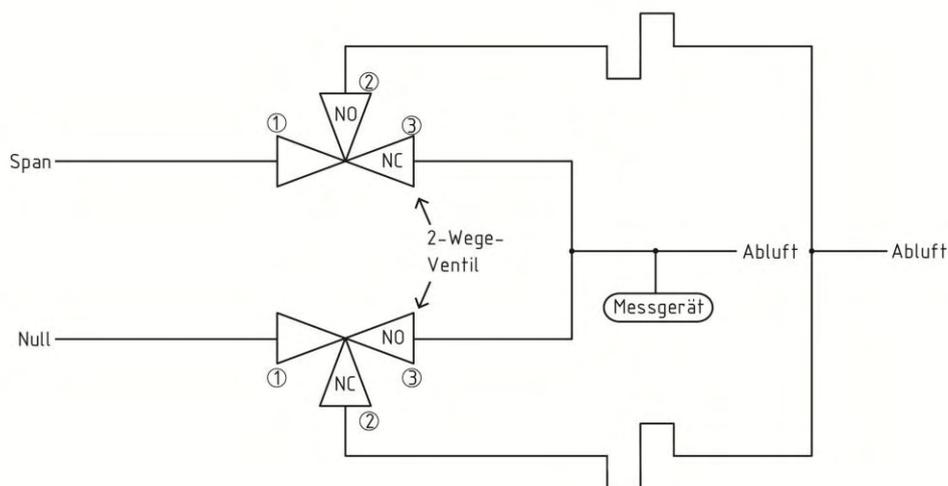
$c_{var}^{av}$  Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne  $t_v$

## 2 Entwicklung eines Verfahrens auf der Basis der Anforderungen der Eignungsprüfung nach DIN EN 14211 für NO<sub>x</sub>-Analysatoren

Die Prüfung der Leistungskenngrößen von Messgeräten nach DIN EN 14211 stellt Anforderungen an die Prüfungsverfahren. Im Folgenden werden die Kriterien für das Ermitteln der Einstellzeit und des Mittelungseinflusses beschrieben. Anhand dieser wird ein Verfahren entwickelt, welches das Durchführen beider Prüfungen ermöglichen soll. Zunächst wird die Prüfung der Einstellzeit betrachtet

Das Bestimmen der Einstellzeit muss bei dem vom Hersteller angegebenen Volumendurchfluss bestimmt werden. Das verwendete Gerät verfügt über eine Pumpe, mit der das benötigte Volumen konstant angesaugt wird.

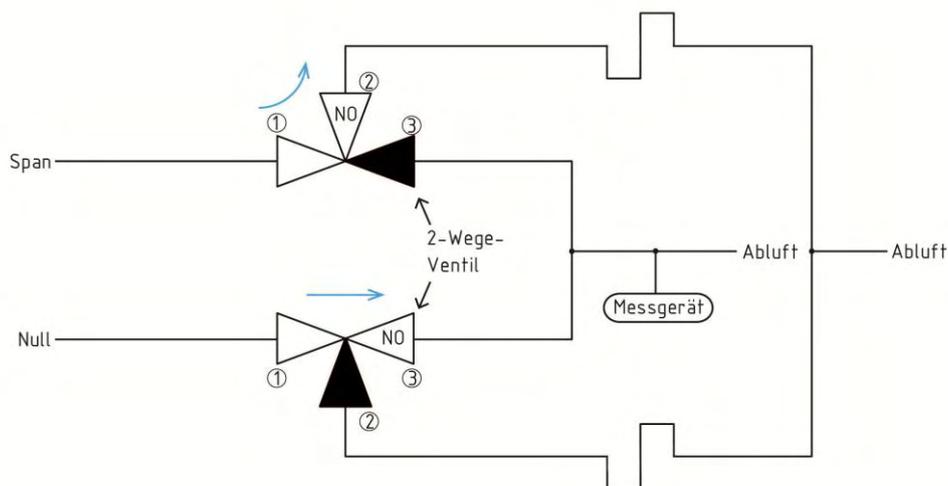
Zum Ermitteln der Einstellzeit ist es notwendig, dass der Wechsel von Null- auf Spangas innerhalb von 0,5 s geschieht. Hierfür wird ein Leitungssystem mit zwei 2-Wege-Ventilen verwendet, das wie in folgender Abbildung dargestellt, aufgebaut ist



**Abbildung 4 Darstellung des Gasverteilers mit 1,2 und 3 als Nummerierung der Anschlüsse**

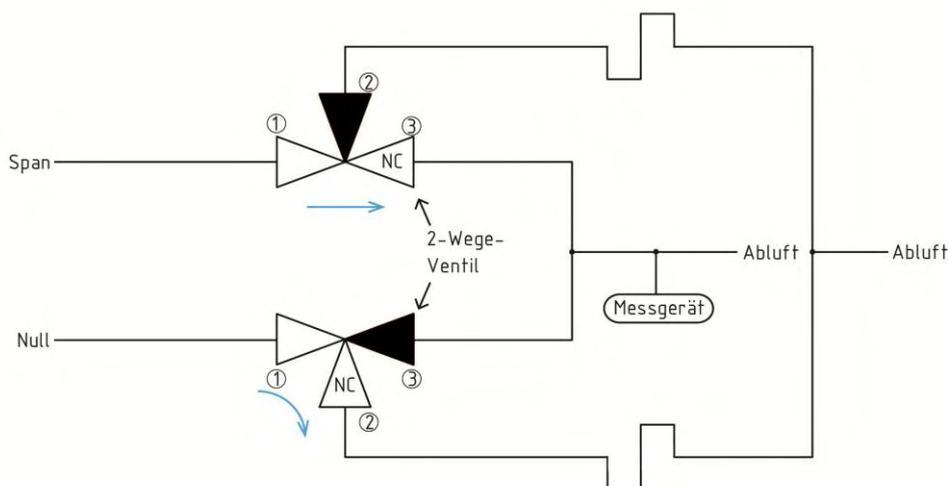
Die Abbildung 4 zeigt schematisch den Aufbau des Gasumschaltungssystems. Die Anschlüsse 1 der 2-Wege-Ventile werden mit Span- und Nullgas belegt. Die Anschlüsse 2 und 3 dienen als Ausgänge. Die Bezeichnungen NO (normally open) und NC (normally closed) beschreiben die Stellung der Ventile, wenn diese nicht geschaltet sind. Die Anschlüsse 2 sind zusammengeführt mit dem Abluftsystem verbunden. Die Anschlüsse 3 werden zusammengeführt und mit dem Eingang des Messgerätes verbunden. Die Ventile werden synchron geschaltet. Dies ermöglicht ein schnelles Umschalten zwischen Null und Spangas, das zum Messgerät geleitet wird, während das nicht benötigte Probengas in das Abluftsystem abströmen kann.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die jeweiligen Stellungen der Ventile in den verschiedenen Modi des Gasumschaltungssystems.



**Abbildung 5 Null-Modus des Gasverteilungssystems**

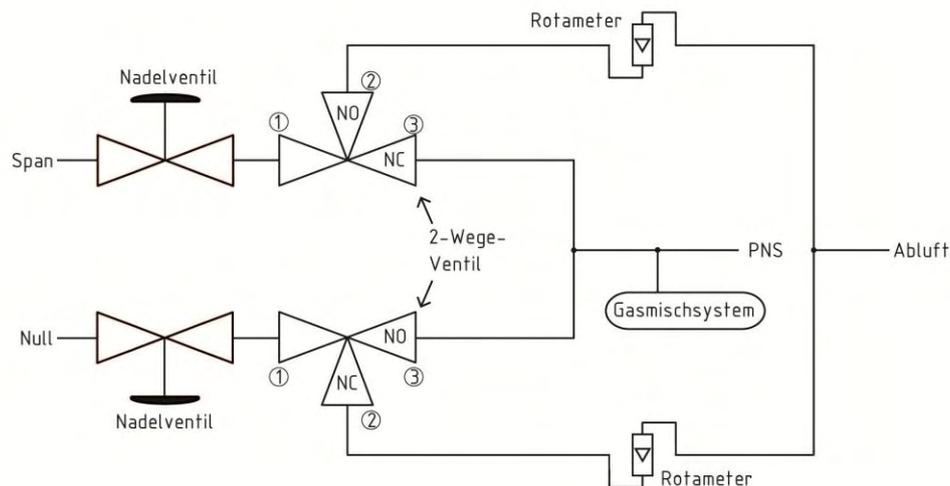
In Abbildung 5 ist das Gasumschaltungssystem im Null-Modus dargestellt. Dabei strömt das Spangas in Abluft und das Nullgas zum Messgerät. Dies wird realisiert indem das Spangas-Ventil Anschluss 2 öffnet und Anschluss 3 schließt, während das Nullgas-Ventil Anschluss 3 öffnet und Anschluss 2 schließt.



**Abbildung 6 Span-Modus des Gasverteilungssystems**

In Abbildung 6 ist das Gasumschaltungssystem im Span-Modus dargestellt. Dabei strömt das Nullgas in Abluft und das Spangas zum Messgerät. Dies wird realisiert indem das Nullgas-Ventil Anschluss 2 öffnet und Anschluss 3 schließt, während das Spangas-Ventil Anschluss 3 öffnet und Anschluss 2 schließt.

Das zuvor beschriebene System lässt sich mit zusätzlichen Komponenten für die Prüfung des Mittelungseinflusses verwenden. Dies wird bewerkstelligt, indem das Ventilsystem mit zwei Nadelventilen ausgestattet wird, was das Einstellen der Durchflussmengen für Null- und Spangas ermöglicht. Damit lässt sich der Gasschalter in Kombination mit einem Gasmischsystem für die Einstellzeit- und die Mittelungsprüfung benutzen. Die folgende Abbildung zeigt das beschriebene Ventilsystem, ergänzt mit Nadelventilen und in Verbindung mit einem Gasmischsystem.



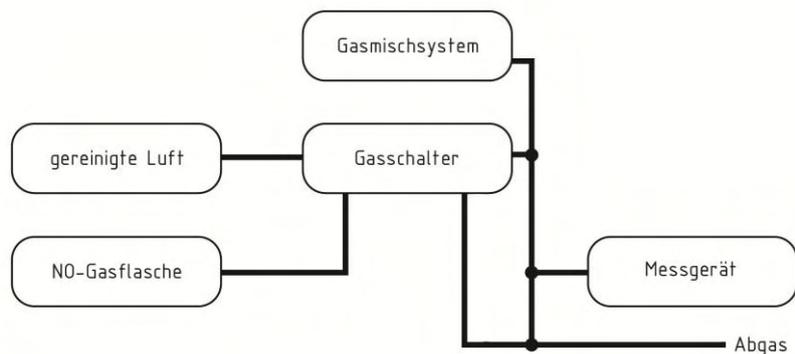
**Abbildung 7 Gasverteilungssystem mit Nadelventilen und Rotameter**

In Abbildung 7 ist das Gasumschaltungssystem ausgestattet mit Zusatzkomponenten dargestellt. Die Rotameter dienen der Überprüfung der Durchflussraten und der optischen Kontrolle der Ventilstellungen. Das Messgas vom Gasschalter wird zusammengeführt mit dem Messgas aus dem Gasmischsystem zu einem Probenahmesystem, im Bild als PNS gekennzeichnet, geleitet. Anschließend wird das Gas von der geräteinternen Pumpe aus dem Probenahmesystem angesaugt.

Die Vorteile von Nadelventilen sind zu einem, die Möglichkeit kleine Durchflussraten genau einstellen zu können. Zum anderen geschieht das Einstellen mechanisch und bedarf weder Stromversorgung noch Steuerung. Bei Verwendung von Mass-Flow-Controller wären hingegen Stromversorgung und Steuerung nötig, wodurch das Gasschalter-System komplizierter werden würde. Bei auftretenden Druckschwankungen, durch Umschalten der Ventile verursacht, würden die Mass-Flow-Controller die Durchflussmengen nachregeln. Das Regelverhalten, für welches Zeit benötigt wird, würde das ganze Gasschalter-System zusätzlich träger machen.

Der Gasschalter muss möglichst nah am Gasmischsystem platziert werden. Um die Totzeit zusätzlich zu verringern sollte der Durchfluss möglichst groß eingestellt werden, das Volumen des Probenahmesystems möglichst klein gewählt werden. Ferner ist darauf zu achten, dass der Durchmesser der Verbindungsleitungen möglichst klein und die Länge dieser möglichst kurz sind. Im Folgenden sollen weitere Kriterien im Rahmen der Mittelungsprüfung betrachtet werden.

Zur Bestimmung des Mittelungseinflusses ist es notwendig, dass eine konstante  $\text{NO}_2$ -Konzentration von 200 ppb und eine sich sprunghaft zwischen 0 ppb und 600 ppb ändernde  $\text{NO}$ -Konzentration auf das Messgerät gegeben werden. Die konstante  $\text{NO}_2$ -Konzentration lässt sich mittels Gasphasentitration mit Ozon, wobei  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  umwandelt wird, herstellen. Das Labor des Instituts für Hygiene und Umwelt verfügt über ein Gasmischsystem mit einer Gasphasentitrationsanlage. Das Ganze ist ein kommerzielles System von der Firma Breiffuss, bestehend aus mehreren Mass-Flow-Controller, Ventilen und der dazu gehörigen Steuerungselektronik. Damit werden hergestellte Gasgemische oder Gase aus Gasflaschen in einem Trägerstrom aus gereinigter Luft oder Stickstoff vermischt. Bedient wird das System mit Hilfe eines Computers und dazugehöriger Software. Über eine Bedienoberfläche werden die gewünschten Konzentrationen eingestellt. Das sprunghafte Umschalten zwischen 0 ppb und 600 ppb lässt sich mit dem für das Bestimmen der Einstellzeit verwendeten Gasschalter realisieren. Das Gasmischsystem und der Gasschalter werden gemeinsam verwendet. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau schematisch.



**Abbildung 8 Darstellung des Gasversorgungssystems bei der Mittelungsprüfung**

Abbildung 8 zeigt wie der Gasschalter und das Gasmischsystem bei der Mittelungsprüfung verwendet werden. Dabei wird ein Trägerstrom mit benötigter  $\text{NO}_2$ -Konzentration mit dem Gasmischsystem erzeugt und über ein T-Stück der Ausgang vom Gasschalter dazu geschaltet. Einer der Eingänge des Gasschalters wird mit synthetischer Luft belegt. Während an dem anderen Eingang eine Gasflasche mit einer  $\text{NO}$ -Konzentration  $>600$  ppb angeschlossen wird. Zum Einstellen der  $\text{NO}$ -Konzentration von 600 ppb wird das Gas mit der höheren  $\text{NO}$ -Konzentration aus der Gasflasche im Trägerstrom verdünnt. Dieser neue Gasstrom wird dem Messgerät angeboten, wobei der Überschuss in den Abgas geht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch das Dazuschalten des Gasschalterausgangs, der Trägerstrom ebenfalls verdünnt wird und die  $\text{NO}_2$ -Konzentration sinkt. Die beiden am Gasschalter einzustellenden Durchflüsse müssen gleich groß sein, um den Einfluss auf den Trägerstrom, während des Umschaltens zwischen 0 ppb und 600 ppb  $\text{NO}$ , nicht zu verändern.

Ist die NO-Konzentration in der Gasflasche bekannt und der Trägerstrom ebenfalls, so lässt sich mit Hilfe der gewünschten NO-Konzentration der am Nadelventil des NO-Eingangs vom Gasverteiler einzustellende Durchfluss berechnen. Nachfolgend sind die Beziehungen nach dem Verdünnungsgesetz ausformuliert.

$$\frac{c_{t,NO}}{c_{F,NO}} = \frac{V_V}{V_G + V_V} \quad (6)$$

Dabei ist:

$c_{t,NO}$  Die Soll-Konzentration NO (600 ppb)

$c_{F,NO}$  Die NO-Konzentration in der Gasflasche

$V_V$  Der einzustellende Durchfluss am Gasverteiler

$V_G$  Der Trägerstrom vom Gasmischsystem

Wird die Gleichung (6) nach  $V_V$  umgestellt, ergibt sich folgende Beziehung.

$$V_V = \frac{V_G}{\frac{c_{F,NO}}{c_{t,NO}} - 1} \quad (7)$$

Damit lässt sich der einzustellende Durchfluss in Abhängigkeit von Trägerstrom, NO-Konzentration in der Gasflasche und der geforderten NO-Konzentration berechnen.

Die Zeitspannen  $t_c$  und  $t_v$ , der konstanten und sich ändernden NO-Konzentration, müssen jeweils mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Messungen notwendigen Zeitspanne sein. Wobei eine unabhängige Messung eine Einzelmessung ist, die durch vier Einzelmessungen von der nächsten unabhängigen Messung getrennt ist. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Ablauf schematisch.

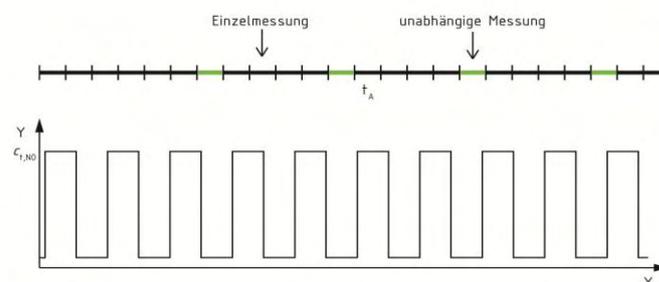
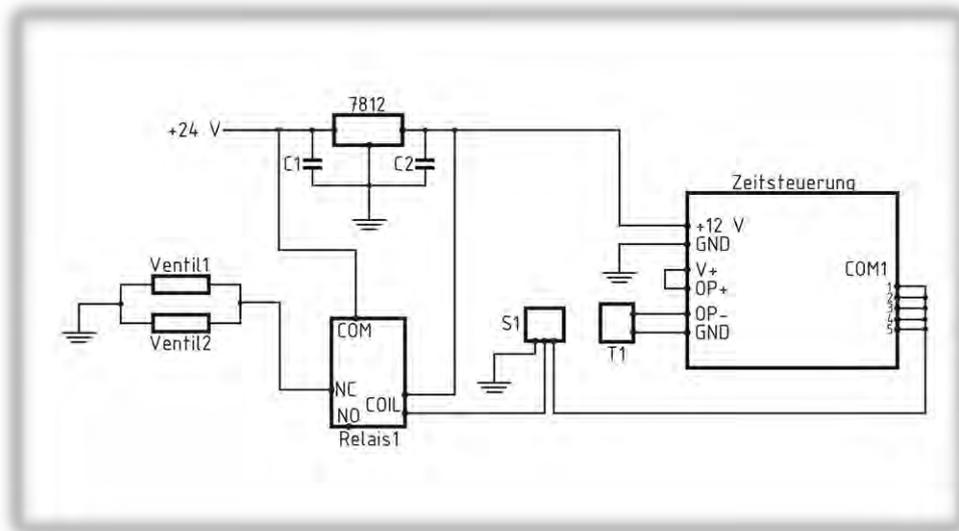


Abbildung 9 Darstellung des Ablaufs während der Zeitspanne  $t_v$  mit  $t_A$  als Einstellzeit

Die Zeitspannen  $t_{NO}$  und  $t_{Zero}$  müssen jeweils 45 s betragen, wobei der Wechsel zwischen diesen innerhalb von 0,5 s geschehen muss. Dies wird realisiert, indem die Magnetventile des Gasverteilers alle 45 s abwechselnd in einen der beiden Modi geschaltet werden.

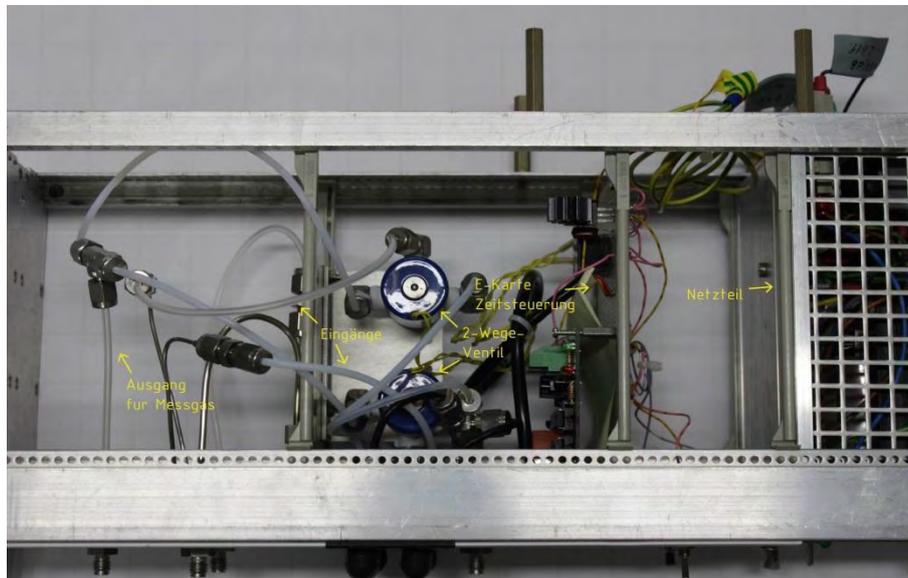
Das Umschalten alle 45 s wird automatisiert mit Hilfe eines universalen Zeitrelais. Dieses wird zusammen mit den Ventilen des Gasverteilers und anderen für den Betrieb notwendigen Komponenten verdrahtet und so programmiert, dass der Gasverteiler alle 45 s zwischen den Modi schaltet. Im Nachfolgenden ist die elektronische Schaltung dargestellt.



**Abbildung 10 Elektronische Schaltung des Gasverteilers**

In Abbildung 10 ist die im Gasverteiler verwendete Schaltung dargestellt. Das Bauteil 7812 transformiert die +24 V auf +12 V runter, mit denen das Zeitrelais gespeist wird. Die Kondensatoren, C1 und C2, mit der Kapazität 500 nF jeweils, dienen der Entstörung. Das Zeitrelais ist eine elektronische Schaltung, die viele Funktionen bietet. Im Gasverteiler wird diese als mehrkanaliger Ein-/Ausschalt-Sequenzer verwendet. Mittels eines USB-Anschlusses lässt sich das Zeitrelais an einen Computer anschließen, wodurch das Einstellen der Dauer der Ein- und Ausschalt-Sequenzen über eine Bedienoberfläche ermöglicht wird. Mit dem Taster, T1, wird das am Zeitrelais eingestellte Programm ausgelöst. Der Schalter, S1, wird in zwei Stellungen, Betrieb und Wartung, betrieben. In der Position Wartung sind die Ventile dauerhaft geschaltet. In der Position Betrieb wird das Steuern der Ventile durch das Zeitrelais geregelt. Wird der Gasverteiler im Leerlauf betrieben, so ist die Spule, Coil, des Relais1 stromlos geschaltet und der mit +24 V belegte COM-Eingang ist mit dem NO-Ausgang verbunden. Dabei liegt an Ventil1 und Ventil2 keine Spannung an und der Gasschalter befindet sich im Leerlaufmodus. Schaltet das Zeitrelais indem es einen der COM1-Ausgänge, welche Open-Kollektor-Anschlüsse sind, ansteuert, fließt durch die Spule des Relais1 ein Strom und der NC-Ausgang wird bedient. Dabei wird der Ventilblock unter Spannung gesetzt und befindet sich im Betriebsmodus. Durch das vom Zeitrelais gesteuerte Umschalten zwischen Leerlauf- und Betriebsmodus werden die 45 s-Intervalle für die Mittelungsprüfung realisiert.

Das ganze System, bestehend aus der elektronischen Schaltung und dem Ventilblock mit Leitungssystem, wird in ein 19"-Einschubgehäuse eingebaut. Das Netzteil vom Gehäuse liefert die +24 V Spannung. Nachfolgend ist ein Photo des aufgebauten Gasverteilers zu sehen.



**Abbildung 11 Photo des Gasverteilers von oben**

Auf der Abbildung 11 ist die Leitung links der Ausgang vom Gasverteiler. Rechts daneben sind die Anschlüsse für die Gasversorgung. Bei den Anschlüssen befinden sich die Nadelventile, welche auf dem Photo nicht zu sehen sind. Weiter rechts befindet sich der Ventilblock, bestehend aus Ventil1 und Ventil2. Daneben ist die elektronische Schaltung, mit Zeitrelais und anderen Komponenten, platziert auf einer Experimentierplatine. Ganz rechts auf dem Bild ist das Gehäusenetzteil. Das nachfolgende Photo zeigt den Gasverteiler von vorne.



**Abbildung 12 Photo des Gasverteilers von vorne**

Die Abbildung 12 zeigt den Gasverteiler von vorne. Darauf sind die Gasanschlüsse, die Einstellschrauben der Nadelventile, die Rotameter und die Bedienelemente zu sehen.

### 3. Anwendung des Verfahrens und Auswertung der Versuche

Nach der Inbetriebnahme und einigen Testläufen, sollen die Einstellzeit und der Mittelungseinfluss mit Hilfe des Gasschalters ermittelt werden. Hierfür wird der Versuchsaufbau wie im Kapitel zuvor beschrieben, verwendet. Die Parameter der Zeitsteuerung werden mit Hilfe eines Computers über die USB-Schnittstelle mit einer Bedienoberfläche eingestellt. Das Gasmischsystem wird mit Hilfe eines Computers über eine Bedienoberfläche gesteuert. Damit werden die Parameter der Durchflussregler und anderer Komponenten des Gasmischsystems eingestellt. Die Messwerte werden mit einem Computerprogramm erfasst. Dabei findet die Kommunikation über serielle Schnittstellen von Computer und Messgerät statt. Nachdem die Schnittstellenparameter eingestellt sind, werden, unter Verwendung eines Standardprotokolls, die Messwerte vom Computerprogramm abgefragt, gespeichert und graphisch dargestellt. Im Folgenden werden die Inbetriebnahme des Gasschalters und die Versuche zu Einstellzeit und Mittelungseinfluss beschrieben.

#### 3.1 Inbetriebnahme des Gasschalters

Der Gasschalter wird in Betrieb genommen und in einem Vorversuch soll die Wiederholungsgenauigkeit dessen untersucht werden. Hierfür wird der Versuchsaufbau wie in Abbildung 8 dargestellt verwendet. Dabei wird an die Gasschaltereingänge gereinigte Luft aus einem Kompressor und eine 100 ppm-NO-Gasflasche mit gleichem Vordruck angeschlossen. Am Abgas vom Gasschalter wird ein digitales Durchflussmessgerät angeschlossen und der Durchfluss gemessen. Das Durchflussmessgerät ist vom Typ DryCal von Bios International und hat einen Messbereich zwischen 2 mL/min und 500 mL/min. Mit dem Hauptschalter wird manuell zwischen den beiden Eingängen geschaltet. Das Durchflussmessgerät misst zehn Mal und bildet daraus einen Mittelwert für die Durchflussrate. Während des Versuchs wird für jede Stellung der Ventile eine Serie a zehn Messungen fünf Mal wiederholt. Folgend ist eine Tabelle mit den Messwerten dargestellt.

Tabelle 2 Messwerte des Vorversuchs

Wiederholung	Eingang 1 in mL/min	Eingang 2 in mL/min
1	47,57	47,89
2	47,4	47,78
3	47,63	47,68
4	47,88	47,56
5	47,74	47,65
<b>Mittelwert</b>	<b>47,64</b>	<b>47,71</b>
<b>Standartabweichung</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>

Die gemessenen Werte für Eingang 1 und 2 schwanken gering um ihre Mittelwerte. Die Standardabweichung für beide Eingänge beträgt <1 %. Damit ist eine hohe Wiederholungsgenauigkeit des Gasschalters gegeben.

### 3.2 Ermittlung der Einstellzeit

Die Einstellzeit wird bestimmt, indem dem Messgerät ein Probengas angeboten wird, dessen NO-Konzentration sich sprunghaft von 0 ppb auf 600 ppb ändert. Die Zeit zwischen der Konzentrationsänderung am Geräteeingang und dem Erreichen von 90% des Signalpegels der neuen Konzentration ist die Einstellzeit. Dabei wird der Versuchsaufbau wie in Abbildung 8 dargestellt verwendet. Mit dem Gasmischsystem wird ein Trägerstrom aus gereinigter Luft erzeugt. Dies wird über die GasLab-Bedienoberfläche am Computer eingestellt. Nachfolgend ist die Bedienoberfläche des Gasmischsystems dargestellt.

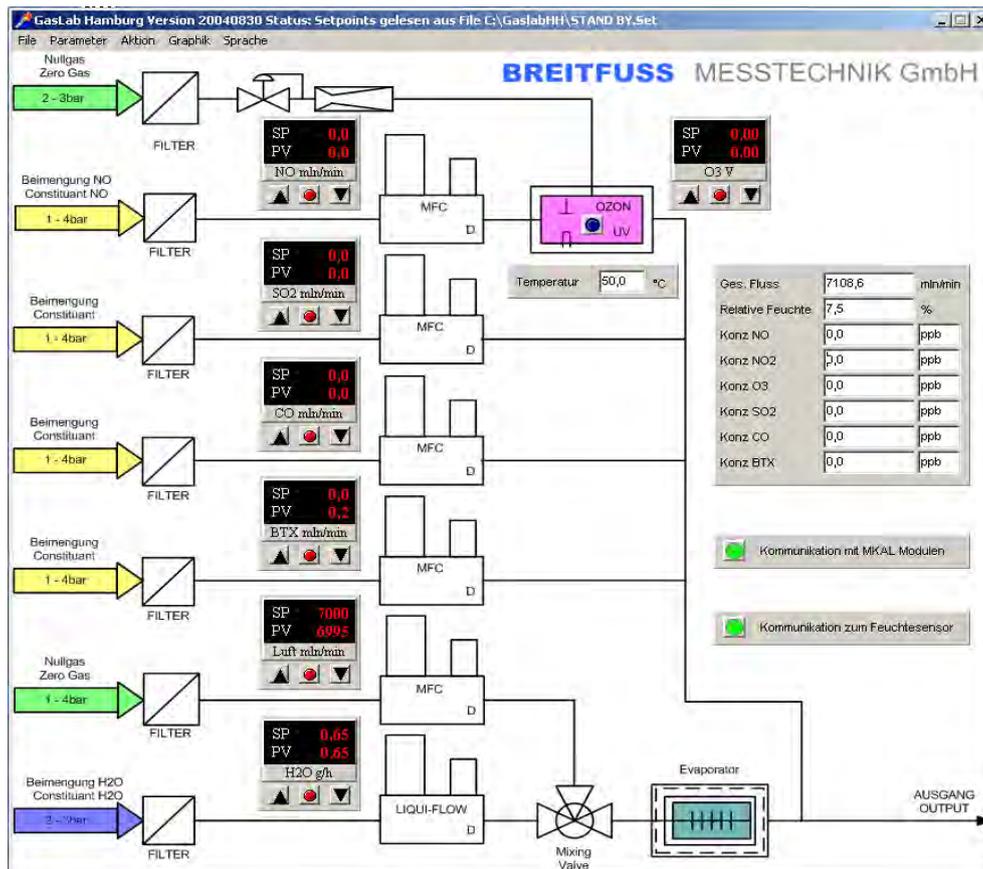


Abbildung 13 Bedienoberfläche Gasmischsystem

Abbildung 13 zeigt die Bedienoberfläche mit der der Trägerstrom eingestellt wird. Dabei werden am zweiten Regler von unten über die Pfeilkнопfen per Mausklick der Nullgasdurchfluss auf 7000 mL/min eingestellt. Dem Nullgasstrom wird zusätzlich Wasserdampf mit 0,65 g/h beigemischt. Aus Erfahrung im langjährigen Betrieb des Systems haben sich diese Einstellungen bewährt und werden bei den Versuchen übernommen. Der Nullgasstrom und die Wasserbeimischung ergeben einen Gesamtstrom von rund 7109 mL/min. Am Gasschalter wird eine 100 ppm-NO-Gasflasche angeschlossen. Mit der Trägerstromgröße und der Flaschenkonzentration wird nach (7) der am Gasschalter einzustellende Durchfluss ermittelt um ein Probengas mit 600 ppb NO herzustellen. In (7) eingesetzt und aufgelöst ergibt es rund 43 mL/min, die es einzustellen gilt. Mit den Nadelventilen werden die für die Durchflüsse geforderten rund 43 mL/min eingestellt. Dabei werden die Ventile manuell geschaltet und mit dem DryCal am Abgasstrom des Gasschalters der Durchfluss gemessen.

Die Messwerte werden mit dem Computerprogramm GraMon erfasst. Das Programm wurde von einem der Mitarbeiter der Firma Sick Maihak entwickelt. Damit lässt sich die Kommunikation über serielle Schnittstellen bewerkstelligen. Im Folgenden ist die Bedienoberfläche des Programms abgebildet.

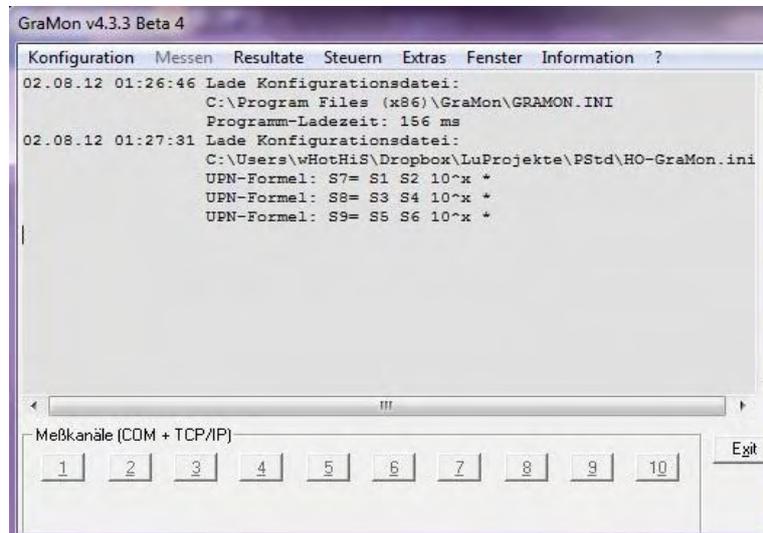


Abbildung 14 GraMon Bedienoberfläche

Abbildung 14 zeigt die Bedienoberfläche von GraMon. Über die Knöpfe der Messkanalauswahl wird die Messdatenaufzeichnung gestartet und gestoppt. Dabei werden Abfragebefehle vom Programm an das Messgerät verschickt, worauf hin dieses dem Programm antwortet. Die Syntax der Abfragebefehle und Antworten wird durch das Bayern-Hessen-Protokoll geregelt. Die Parameter der Schnittstellen werden über ein Optionsmenü eingestellt, in dem ebenfalls der Befehl für die Abfrage definiert wird. Nachfolgend ist dieses abgebildet.

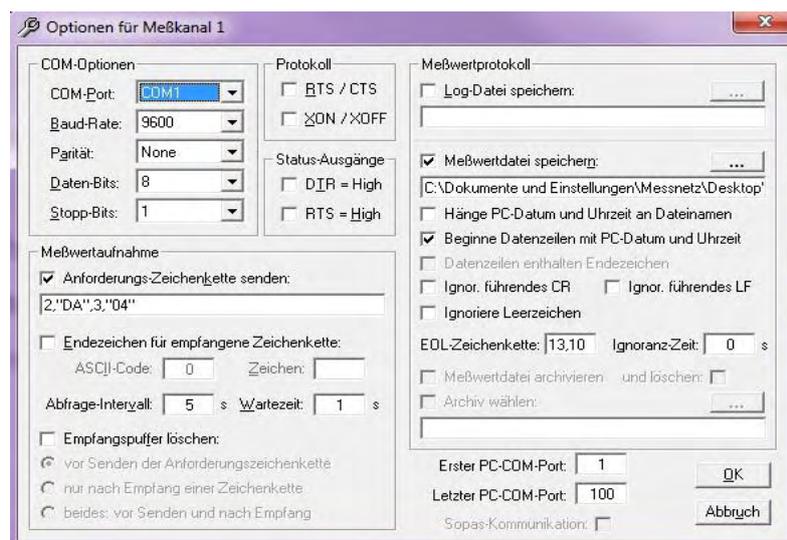
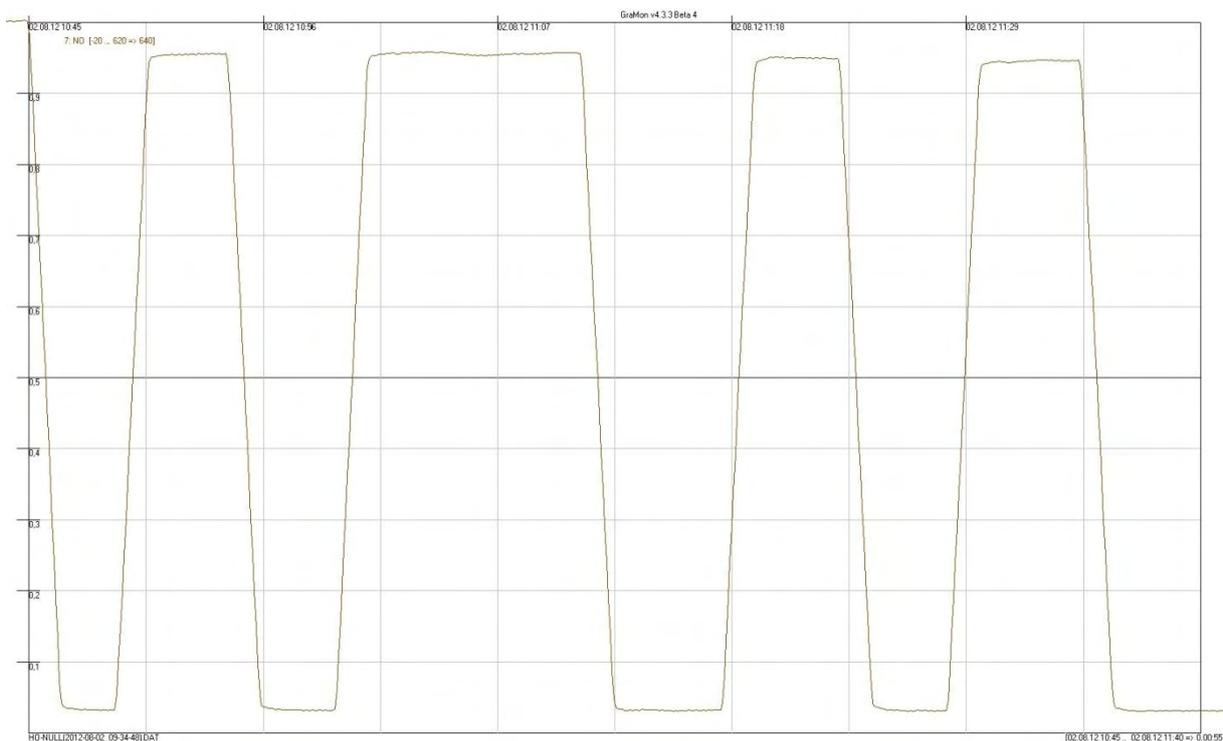


Abbildung 15 GraMon Schnittstellen-Optionsmenü

In Abbildung 15 ist das GraMon Schnittstellen-Optionsmenü dargestellt. Hier werden neben anderen die Schnittstellenparameter, der Abfragebefehl und das Abfrage-Intervall festgelegt. Ferner wird der Speicherort für die Messwertdatei definiert.

Nachdem die Kommunikation zwischen Messgerät und Computer eingerichtet ist wird die Datenerfassung gestartet. Es werden abwechselnd ca. 600 ppb NO und Nullgas dem Messgerät angeboten. Dabei wird manuell am Gasschalter zwischen den Eingängen umgeschaltet. Der Gasstrom aus dem Gasschalter wird am Ausgang des Gasmischsystems über ein T-Stück in den vom Gasmischsystem erzeugten Trägerstrom eingespeist. Der Gesamtstrom wird zu einem Probenahmesystem geleitet. Im Probenahmesystem ist das Messgas im Überschuss vorhanden und das Messgerät saugt sich aus dem Probenahmesystem über eine geräteinterne Pumpe die benötigte Menge an. Nachfolgend ist der NO-Signalverlauf des Messgerätes während der Einstellzeit-Prüfung abgebildet.



**Abbildung 16 NO-Signal vom Messgerät bei der Prüfung der Einstellzeit**

In Abbildung 16 ist der Signalverlauf vom NO-Kanal des Messgerätes gezeigt. Die Unterschiede in den Gasaufgabe-Intervallen ergeben sich aus dem manuellen Betrieb des Gasschalters. Dabei wird zeitgleich mit jedem Wechsel von Nullgas auf Probengas und umgekehrt mit GraMon eine Zeitmarkierung in der Messwertdatei gesetzt. Diese Markierung wird bei der Auswertung des Versuchs verwendet. Die Einstellzeiten während des Anstiegs werden von der gesetzten Markierung bis 90 % des NO-Messsignals, bei Aufgabe von Probengas, gemessen. Während des Abstiegs werden die Einstellzeiten erfasst, indem die Zeit von der gesetzten Markierung bis 10 % des NO-Messsignals, bei Aufgabe von Probengas, gemessen wird. Die Auswertung geschieht am Computer mit Hilfe von GraMon. Aus den Messwerten für die Einstellzeiten während Anstieg und Abfall des Messsignals werden Mittelwerte gebildet. Diese werden anschließend in (4) eingesetzt und damit die relative Differenz  $t_d$  der Einstellzeiten ermittelt.

Nachfolgend ist die Tabelle mit den Werten der im Versuch ermittelten Einstellzeiten und den daraus berechneten Mittelwerten dargestellt.

**Tabelle 3 Ermittelte Einstellzeiten**

Wiederholung	Anstieg in s	Abfall in s
1	101	101
2	106	101
3	101	106
4	101	101
<b>Mittelwert</b>	<b>102</b>	<b>102</b>

Die ermittelten Werte der Einstellzeiten aus Tabelle 3 werden in (4) eingesetzt und die Gleichung ausgewertet. Dabei ergeben sich für Differenz  $t_d$  zwischen Anstiegs und Abfallzeit absolut 0 s und relativ 0 %.

Im Rahmen der Eignungsprüfung vom betrachteten Horiba APNA-370  $\text{NO}_x$ -Analyser beim TÜV wurden die Einstellzeiten ebenfalls ermittelt. In folgender Tabelle sind die Prüfergebnisse für die Einstellzeit aus dem Bericht des TÜV Rheinland über die Eignungsprüfung vom Horiba APNA-370 dargestellt.

**Tabelle 4 Prüfergebnisse zu Einstellzeiten von TÜV Rheinland [Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA 370 der Firma Horiba für die Komponente  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}_x$ , Berichts-Nr.: 936/21204643/C]**

Leistungskenngröße	Leistungskriterium	Prüfergebnis
Einstellzeit (Anstieg)	$\leq 180$ s	Max. 87 s
Einstellzeit (Abfall)	$\leq 180$ s	Max. 87 s
Differenz	$\leq 10$ %	4 s

Im Versuch mit dem verwendeten System wurden 102 s für die Einstellzeiten ermittelt. Während der Eignungsprüfung beim TÜV Rheinland wurden 87 s ermittelt. Die Zeit wurde ab dem Moment gemessen in dem am Gasschalter manuell umgeschaltet wurde. Die Abweichung von 15 s zwischen den beiden Werten ist zum Teil der Umleitung über das Probenahmesystem zuzuschreiben. Indem der Gesamtstrom, bestehend aus Träger- und Gasschalterstrom, erst zum Probenahmesystem geleitet wird von wo sich das Messgerät selbst bedient, verlängert sich die Totzeit. Mit dem länger Werden der Totzeit-Spanne vergrößert sich die Einstellzeit. Ferner ist zu beachten, dass die Messwerteabfrage alle 5 s geschieht und auftretende Änderungen alle 5 s erfasst werden. Mit 102 s erfüllt die Einstellzeit das Leistungskriterium dieser Leistungsgröße, siehe Tabelle 4. Bei der folgenden Mittelungseinfluss-Prüfung wird der gleiche Versuchsaufbau wie bei der Einstellzeit-Prüfung verwendet.

### 3.3 Ermittlung des Mittelungseinflusses

Der Messwert der  $\text{NO}_2$ -Konzentration ist das Ergebnis einer geräteinternen Berechnung. Dabei wird die Differenz zwischen der bestimmten  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}$ -Konzentration gebildet und ausgegeben. Für das Bestimmen der  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}$ -Konzentration wird aufgrund des Messverfahrens eine gewisse Zeit benötigt. Die durch Schwankungen in der Probengaskonzentration entstehende Unsicherheit der ermittelten Messwerte ist der Mittelungseinfluss. Dabei wird der Versuchsaufbau wie zur Prüfung der Einstellzeit verwendet. Mit dem Gasmischsystem wird ein Trägerstrom aus gereinigter Luft und 200 ppb  $\text{NO}_2$  erzeugt. Dies wird über die GasLab-Bedienoberfläche am Computer eingestellt. Nachfolgend ist die Bedienoberfläche des Gasmischsystems mit den Einstellungen der Parameter für das Ermitteln des Mittelungseinflusses dargestellt.

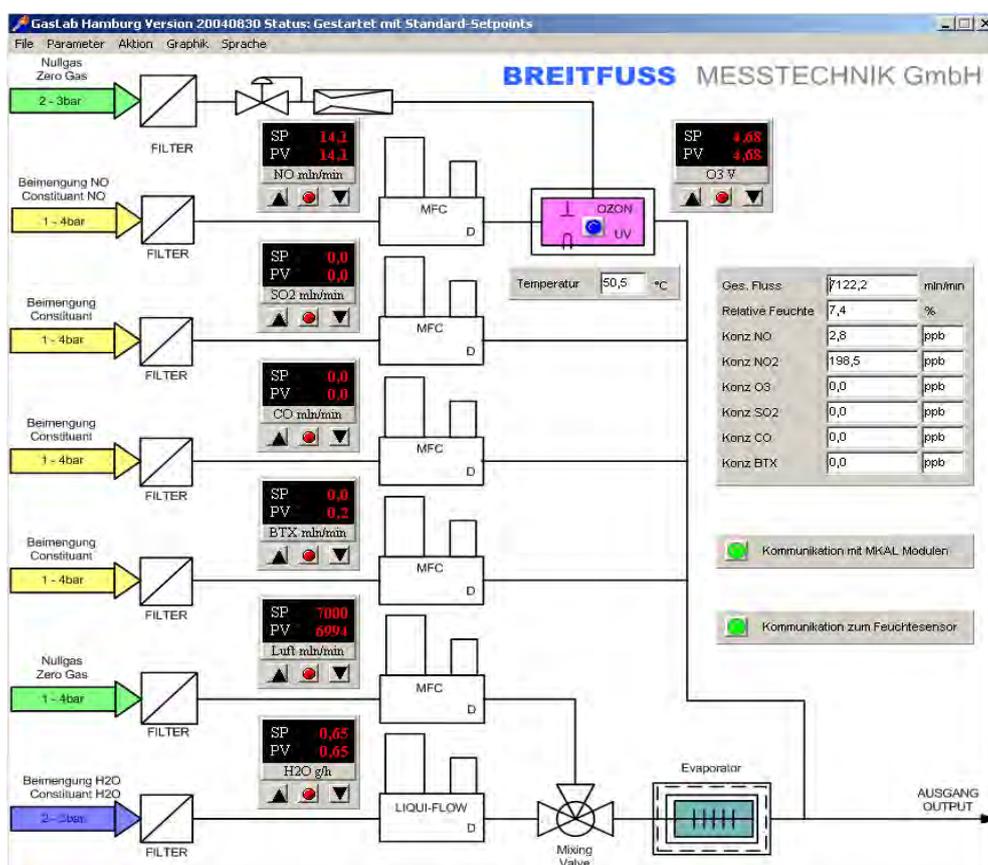


Abbildung 17 Bedienoberfläche vom GasLab bei der Mittelungsprüfung

Abbildung 17 zeigt die Bedienoberfläche mit der der Trägerstrom eingestellt wird. Dabei wird am zweiten Regler von unten über die Pfeilkнопpe per Mausklick der Nullgasdurchfluss auf 7000 mL/min eingestellt. Dem Nullgasstrom wird wie beim Ermitteln der Einstellzeit zusätzlich Wasserdampf mit 0,65 g/h beigemischt. Zusätzlich werden am ersten Massendurchflussregler von oben der  $\text{NO}$ -Gasstrom und die Spannung der UV-Lampe für die Gasphasentitration eingestellt bis sich 200 ppb  $\text{NO}_2$  im Trägerstrom ergeben. In diesen Trägerstrom wird der Gasstrom aus dem Gasschalter eingespeist. Der Gesamtstrom wird über das Probenahmesystem dem Messgerät angeboten.

Der vom Gasmischsystem erzeugte Trägerstrom wird durch die Beimengung von  $\text{NO}_2$  auf rund 7122 mL/min erhöht. Die Einstellungen der Nadelventile werden aus dem Versuch zur Prüfung der Einstellzeit beibehalten.

Die Kommunikation zwischen Computer und Messgerät findet wie zuvor beschrieben über GraMon statt. Dabei fragt GraMon die Messwerte alle 5 s ab und speichert diese für die Visualisierung während des Versuchs und für die spätere Auswertung dessen.

Es wird wie von der Norm gefordert eine konstante NO-Konzentration dem Gerät angeboten. Anschließend werden alle 45 s abwechselnd 100 ppm NO in  $\text{N}_2$  und gereinigte Luft dem Trägerstrom beigemischt. Die Dauer der beiden Perioden sollte nach der Norm mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Messungen sein. Daraus ergibt sich eine Dauer die mindestens der von 20 Einstellzeiten entspricht. Unter Verwendung der in der Vorprüfung ermittelten Einstellzeit von 102 s, ergeben sich mindestens 34 Minuten für die Dauer der Phase der konstanten und der variierenden NO-Konzentration. Der Gasschalter wird manuell in den Span-Modus geschaltet und damit die NO-Konzentration für mindestens 34 Minuten konstant gehalten. Anschließend wird die zuvor programmierte Zeitsteuerung mit dem Taster ausgelöst. Dabei werden die Ventile in Intervallen von 45 s automatisch für mindestens 34 Minuten geschaltet und damit die NO-Konzentration variiert. Folgend ist die Bedienoberfläche zum Programmieren der Zeitsteuerung abgebildet.

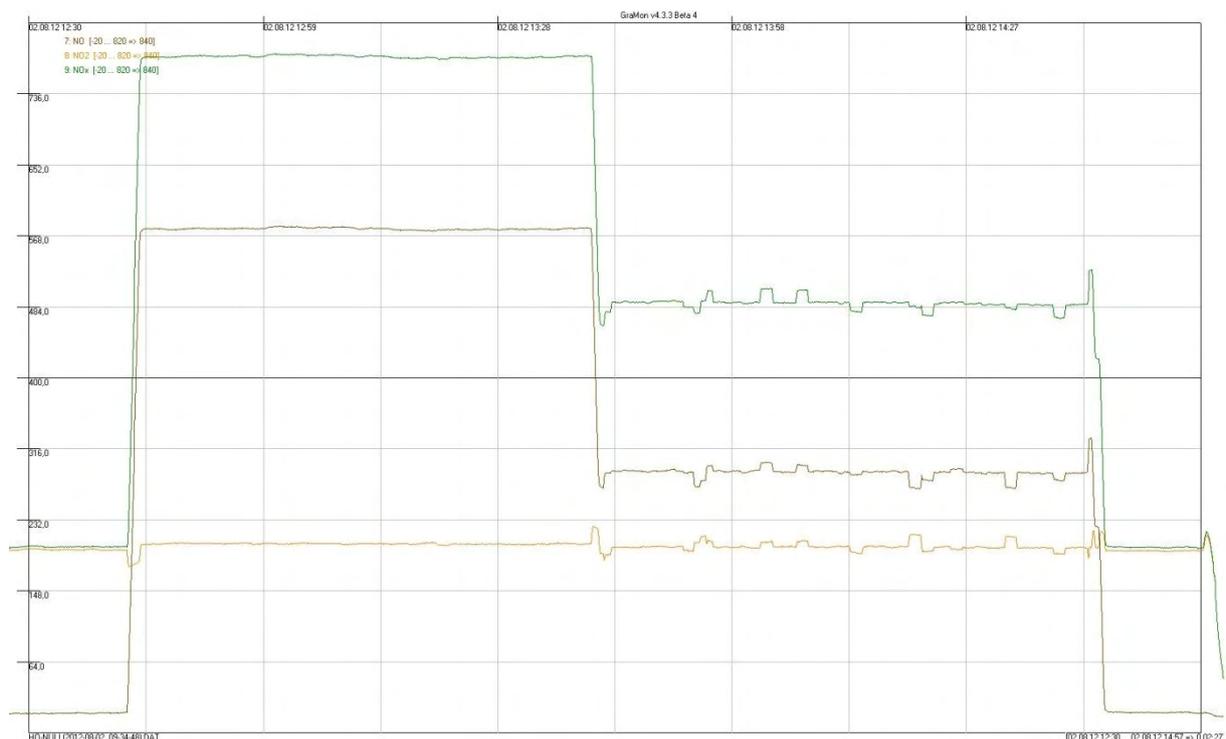


Abbildung 18 Bedienoberfläche des Zeitsteuerungsmoduls

Abbildung 18 zeigt die Bedienoberfläche, über die die Zeitsteuerung mit Hilfe eines Computers eingestellt wird. Hier werden die Start- und Stopzeiten der Einschaltvorgänge nach dem Auslösen des Steuerungsprogramms mit dem Taster festgelegt.

Im der Zeitsteuerung zugrunde liegenden Programm wird der Kanal 1 des COM 1 Anschlusses 45 s nach Auslösen mit dem Taster eingeschaltet und nach 45 s, und damit 90 s nach dem Tastersignal, ausgeschaltet. Entsprechend den 45 s Intervallen werden die Kanäle 2, 3, 4 und 5 durch das Programm nach einander ein- und ausgeschaltet. Nach einem Programmdurchgang wird dieser automatisch wiederholt, so lange bis die Zeitsteuerung manuell abgebrochen wird.

Mit den beschriebenen Einstellungen wird der Mittelungseinfluss ermittelt. Dabei wird der Versuch wie beschrieben durchgeführt und anschließend werden die Messdaten wie in der Norm gefordert ausgewertet. Die folgende Abbildung zeigt die GraMon-Visualisierung der Signalverläufe der Messkomponenten.



**Abbildung 19 Signalverläufe der Messwerte während der Mittelungsprüfung**

Abbildung 19 zeigt den Signalverlauf der jeweiligen Messkomponente. Das  $\text{NO}_x$ -Signal ist als Summe aus der  $\text{NO}$ - und  $\text{NO}_2$ -Konzentration am höchsten. Dem folgen das  $\text{NO}$ -Signal in der Mitte und das  $\text{NO}_2$ -Signal mit dem niedrigsten Ausschlag. Während der ersten Hälfte des Versuchs wird die  $\text{NO}$ -Konzentration konstant gehalten. Die Dauer der Phase der konstanten  $\text{NO}$ -Konzentration beträgt rund 55 Minuten. Damit ist diese länger als die von der Norm geforderten mindestens 20 Einstellzeiten und sich unter Verwendung der in der Vorprüfung ermittelten 102 s Einstellzeit ergebenden 34 Minuten. Wird in der zweiten Hälfte des Versuchs die  $\text{NO}$ -Konzentration variiert, werden die  $\text{NO}$ - und  $\text{NO}_x$ -Signale kleiner, während das Signal der  $\text{NO}_2$ -Komponente annähernd auf dem gleichen Niveau bleibt. Die Phase der variierten  $\text{NO}$ -Konzentration beträgt in diesem Versuch rund 58 Minuten. Damit ist diese länger als die von der Norm geforderten mindestens 20 Einstellzeiten und sich unter Verwendung der ermittelten 102 s Einstellzeit ergebenden 34 Minuten. Der Wechsel von der konstanten zur variierten  $\text{NO}$ -Konzentration geschieht innerhalb einer Einstellzeit.

Vor Aufgabe von NO über den Gasschalter wird Nullgas dem Trägerstrom beigemischt. Während dieser Zeit befinden sich im Probegas Nullgas, rund 200 ppb NO<sub>2</sub> und einige ppb NO, das nicht bei der Gasphasentitration umgewandelt wird. Am Ende der Mittelungsprüfung wird der Gasschalter wieder auf Nullgas geschaltet.

Bei der Auswertung der Daten werden mit Hilfe von GraMon die Mittelwerte gebildet. Dabei wird über die Dauer einer Einstellzeit, 102 s, gemittelt. Im Folgenden werden die gemittelten Messwerte in einer Tabelle dargestellt.

**Tabelle 5 Messwerte der Mittelungsprüfung**

Phase	NO in ppb	NO <sub>2</sub> in ppb	NO <sub>x</sub> in ppb
Null	0,25	-0,69	-0,44
GasLab	3,25	197,10	200,36
GasLab+GSchalter	576,40	204,04	780,42
	578,85	203,56	782,41
	578,06	203,18	781,26
	574,25	203,75	777,99
	575,24	203,33	778,57
	576,84	203,46	780,31
Mittelwert $C_{const}^{av}$	<b>576,61</b>	<b>203,55</b>	<b>780,16</b>
GasLab+GSchalterZ	289,22	198,99	488,20
	289,79	198,81	488,59
	289,58	199,80	489,39
	279,08	207,77	486,86
	287,45	198,94	486,38
	284,90	197,00	481,91
Mittelwert $C_{var}^{av}$	<b>286,16</b>	<b>200,46</b>	<b>486,62</b>
GasLab	4,60	195,26	199,87

In Tabelle 5 sind die Mittelwerte der 5 s Messwerte der Mittelungsprüfung dargestellt. Für die Phasen Null und GasLab wurde jeweils ein Mittelwert aus den im 5 s Takt abgefragten Messwerten gebildet. Während der Phasen in denen zum GasLab-Strom NO vom Gasschalter zugeschaltet wird werden jeweils sechs Mittelwerte aus den im 5 s Takt abgefragten Messwerten ermittelt. Die Abstände zwischen den während dieser Phasen erfassten Mittelwerten entsprechen mindestens vier Einstellzeiten, rund 6,7 Minuten. Aus den Werten während der Mittelungsprüfung werden die Mittelwerte  $C_{const}^{av}$  und  $C_{var}^{av}$  gebildet. Folgend werden die zuletzt gebildeten Mittelwerte bereinigt und anschließend als Ergebnis der Mittelungsprüfung der Mittelungseinfluss  $X_{av}$  nach (5) bestimmt.

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Gasphasentitration nicht das ganze NO zu NO<sub>2</sub> umgewandelt wird, wird vom Messgerät eine Restkonzentration an NO von 3,25 ppb im Probegas während der GasLab-Phase gemessen. Diese von dem Gasmischsystem erzeugte NO-Restkonzentration ist während der ganzen Mittelungsprüfung vorhanden und wird von den Mittelwerten  $C_{const}^{av}$  und  $C_{var}^{av}$  für NO abgezogen. Das neben NO in der Gasflasche vorhandene NO<sub>2</sub> erzeugt bei Zuschalten über den Gasschalter einen Sprung in den Messwerten. Die Sprunghöhe entspricht der Differenz aus NO<sub>2</sub>-Mittelwert während der Phase der konstanten NO-Konzentration, 203,55 ppb, und während der GasLab-Phase zuvor, 197,10 ppb, und damit rund 6,46 ppb. Dieser Beitrag an NO<sub>2</sub> ist während der ganzen Phase der konstanten NO-Konzentration vorhanden und wird vom Mittelwert  $C_{const}^{av}$  für NO<sub>2</sub> abgezogen. Während der Phase der variierenden NO-Konzentration ist der Beitrag an NO<sub>2</sub> aus der Gasflasche aufgrund der Gleichheit der Null- und Gasflaschengas-Phasen des Gasschalters die Hälfte der Sprunghöhe. Daraus ergeben sich rund 3,23 ppb, die vom Mittelwert  $C_{var}^{av}$  für NO<sub>2</sub> abgezogen werden. Vom Mittelwert  $C_{const}^{av}$  für NO<sub>x</sub> werden der NO-Beitrag aus dem Gasmischsystem und der NO<sub>2</sub>-Beitrag aus der Gasflasche abgezogen. Vom Mittelwert  $C_{const}^{av}$  für NO<sub>x</sub> werden der NO-Beitrag aus dem Gasmischsystem und die Hälfte des NO<sub>2</sub>-Beitrags aus der Gasflasche abgezogen. Folgend sind die bereinigten Werte in einer Tabelle dargestellt.

**Tabelle 6 Bereinigte Mittelwerte aus der Mittelungsprüfung und berechneter Mittelungseinfluss**

Mittelwert	NO in ppb	NO <sub>2</sub> in ppb	NO <sub>x</sub> in ppb
$C_{const}^{av}$	573,35	197,10	770,45
$C_{var}^{av}$	282,91	197,24	480,14
$X_{av}$ in ppb	<b>7,53</b>	<b>-0,14</b>	-
$X_{av}$ in %	<b>1,32</b>	<b>-0,07</b>	-

Mit den bereinigten Mittelwerten  $C_{const}^{av}$  und  $C_{var}^{av}$  aus Tabelle 6 für NO wird nach (5) der Mittelungseinfluss  $X_{av}^{NO}$  bestimmt. Durch Einsetzen der Werte und lösen der Gleichung werden 1,32 %, als Ergebnis der Mittelungsprüfung, ermittelt, siehe Tabelle 6. Analog zu (5), jedoch nur mit dem Einfachen vom NO<sub>2</sub>-Mittelwert während der variierenden NO-Konzentration, wird für NO<sub>2</sub> der Mittelungseinfluss  $X_{av}^{NO_2}$  bestimmt. Durch Einsetzen der Werte in die etwas abgewandelte Gleichung und lösen dieser werden -0,07 %, als Ergebnis der Mittelungsprüfung, ermittelt, siehe Tabelle 5. Bei der vom TÜV Rheinland durchgeführten Prüfung des Mittelungseinflusses vom Horiba APNA-370 NO<sub>x</sub>-Analyser wurden 4,4 % [4] ermittelt. Der mit dem entwickelten Verfahren bestimmte Mittelungseinfluss  $X_{av}$  ist kleiner als der vom TÜV Rheinland bestimmte Wert. Die Leistungsanforderung von ≤7 % für den Mittelungseinfluss sind mit 1,32 % erfüllt. Der Mittelungseinfluss für die Messkomponente NO<sub>x</sub> wird im Rahmen der Norm und dieser Bachelorarbeit nicht betrachtet.

## 4. Unsicherheitenbetrachtung

Im Folgenden werden die für den Versuchsaufbau verwendeten Systeme und die dadurch entstehenden Unsicherheiten betrachtet.

Das Labor vom Luftmessnetz Hamburg verfügt über eine kommerzielle Gasmischeinrichtung der Firma Breiffuss. Dies ist ein System zum Erzeugen von Gasgemischen mit verschiedenen Komponenten und in verschiedenen Konzentrationen. Es besteht aus mehreren Mass-Flow-Controller, Ventilen und zusätzlicher Anlagen, wie der zur Gasphasentitration und dem dazugehörigen Anschluss-, Leitungs- und Steuerungssystem. Das erzeugte Gemisch wird einem Probenahmesystem zugeführt, von wo die Messgeräte das Probegas zur Analyse ansaugen. Die verwendeten Mass-Flow-Controller sind aufgrund ihrer Eigenschaften eine Quelle für Unsicherheit. Durch auftretende Schwankungen im Vor- und Hinterdruck regelt der Mass-Flow-Controller den Fluss nach, um die gewünschte Einstellung zu halten. Das Regelverhalten nimmt Zeit in Anspruch. Während dieser Zeit weicht die Konzentration von den Soll-Einstellungen ab. Bei dem Versuch werden MFCs verwendet um den NO-Strom von der Gasflasche und die Nullgasversorgung zur GPT-Anlage zu regulieren. Ein weiterer MFC regelt den Strom mit dem erzeugten NO<sub>2</sub> von der GPT-Anlage zum Hauptstrom. Der Hauptstrom, gereinigte Luft aus einem Kompressor, wird ebenfalls mit einem MFC reguliert. Mit den Regelschwankungen der MFCs würden die eingestellten Ströme variieren. Dies würde sich im verwendeten System in Abweichungen in der NO<sub>2</sub>-Konzentration äußern. Des Weiteren würde bei schwankendem Nullgasfluss das vom Gasschalter zugeführte Gas unterschiedlich stark verdünnt werden. Dies hätte Schwankungen der NO-Konzentrationen zur Folge. Vollständigkeitshalber sei hier die Nichtlinearität der MFCs erwähnt, wodurch die Einstellungen von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichen können. Das Erfassen der durch den Betrieb von GasLab entstehenden Unsicherheit würde den Rahmen dieser Bachelorarbeit jedoch sprengen und wird nicht durchgeführt.

Eine weitere Quelle für Unsicherheit ist der Gasschalter. Die Gasströme vom Gasschalter und vom Gasmischsystem verdünnen sich gegenseitig. Werden die Nadelventile des Gasschalters nicht auf das gleiche eingestellt so würde in Folge der Verdünnung die NO<sub>2</sub>-Konzentration beim Umschalten schwanken. Während der durchgeführten Versuche wurde darauf geachtet die Einstellungen auf 0,5 mL/min Differenz zwischen den Eingangsströmen genau vorzunehmen. Bei einem Gesamtstrom von über 7000 mL/min ist die daraus resultierende Abweichung bei Unterschieden von Eingangsströmen vernachlässigbar klein. Erwähnt seien ferner die Unsicherheit der Prüfgaskonzentration der 100 ppm-NO-Gasflasche, ±2 % und der NO<sub>2</sub>-Anteil von rund 3 % im Prüfgas.

Im Rahmen der Unsicherheitenbetrachtung wurden über den gesamten Zeitraum der Phase der konstanten NO-Konzentration während der Mittelungsprüfung die Mittelwerte gebildet und die Standardabweichung mit Hilfe von GraMon bestimmt. Nachfolgend sind in einer Tabelle die Mittelwerte und die jeweils dazugehörige Standardabweichung dargestellt.

**Tabelle 7 Mittelwerte und Standardabweichungen der Phasen der Mittelungsprüfung**

<b>Mittelungsprüfung</b>	<b>NO</b>	<b>NO2</b>	<b>NOx</b>
<b>Mittelwert in ppb</b>	576,26	203,61	779,87
<b>Standardabweichung</b>	1,22	0,59	1,40

Die im Rahmen der Unsicherheitenbetrachtung gebildeten Mittelwerte stimmen weitgehend mit den, bei der Mittelungsprüfung verwendeten, Mittelwerten überein. Während der Phase der konstanten NO-Konzentration beträgt die Standardabweichung <1,5 % für alle Messkomponenten des Analysators, was auf eine hohe Stabilität des Gasversorgungssystems hindeutet.

## 5. Diskussion

Mit dem im Rahmen dieser Bachelor-Arbeit entwickelten Verfahren lassen sich die Einstellzeit und der Mittelungseinfluss bestimmen. Im Folgenden wird das Verfahren selbst und hinsichtlich dessen Anwendung diskutiert.

Das Verfahren wurde auf der Basis der Anforderungen der Eignungsprüfung nach DIN EN 14211 für  $\text{NO}_x$ -Analysatoren entwickelt. Es bietet die Möglichkeit unter zur Hilfenahme dessen die Einstellzeit und den Mittelungseinfluss zu bestimmen. Bei der Prüfung der Einstellzeit wird der Gasschalter manuell betätigt. Während der Mittelungsprüfung wird der Gasschalter sowohl manuell, als auch automatisch betrieben. Aus den Funktionen des Gasschalters ergibt sich die Möglichkeit diesen als manuell betriebenen Gasschalter zu verwenden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Intervalle der vom Zeitrelais gesteuerter Schaltvorgänge zu verändern und den Gasschalter automatisch zu betreiben. Indem für den Bau des Gasschalters Nadelventile anstatt Mass-Flow-Controller verwendet wurden, verringert sich die Störanfälligkeit der Apparatur und der Aufwand für Wartung und Reparatur wird reduziert. Durch die Verwendung eines 19"-Gehäuses ist es möglich den Gasschalter in standardisierte Rack-Systeme, die für das Aufstellen der Messgeräte verwendet werden, einzusetzen. Die Rotameter des Gasschalters dienen der Durchflusskontrolle und dem ungefähren Einstellen der Volumenströme. Um die Volumenströme mit den Nadelventilen genauer einzustellen wird ein zusätzliches Volumenstrom-Messgerät benötigt. Aufgrund der Eigenschaften des verwendeten Zeitrelais lässt sich die Mittelungsprüfung mit dem entwickelten Verfahren nur halb-automatisiert durchführen. Zur vollständigen Automatisierung der Mittelungsprüfung muss die elektronische Schaltung des Gasschalters durch Zusatzkomponenten modifiziert werden.

Der Umstand, dass es verschiedene Messgeräte gibt und diese unterschiedliche Einstellzeiten haben, verleitet dazu eine allgemeine Einstellzeit zu verwenden. Dafür eignet sich die maximal erlaubte Zeit für dieses Leistungskriterium, siehe Tabelle 4. Damit würde die Prüfung der Einstellzeit entfallen. Die Phasen der Mittelungsprüfung und die Zeiträume der Mittelwerte würden dagegen länger werden.

In der Praxis eines Luftmessnetzes sind die 1 h-Mittelwerte die kleinste und kürzeste Zeiteinheit. Um die Anwendung des Verfahrens praxisnäher zu gestalten, wäre es möglich die Phasen der Mittelungsprüfung stundenweise festzulegen.

## Zusammenfassung

Die Verwendung von  $\text{NO}_x$ -Messgeräten im Hamburger Luftmessnetz macht es erforderlich die Messunsicherheit nach Anforderungen für das Referenzmessverfahren DIN EN 14211 zu bestimmen. Im Rahmen der Bachelor-Arbeit werden das der DIN EN 14211 zugrunde liegende Messverfahren und zwei der Leistungskenngrößen, Einstellzeit und Mittelungseinfluss betrachtet und beschrieben. Dabei beruht das Messprinzip des untersuchten Analysators Horiba APNA-370 auf der Chemilumineszenz in Folge der Reaktion zwischen Stickstoffmonoxid und Ozon, wobei angeregtes Stickstoffdioxid entsteht und beim Zurückfallen ins Grundniveau Licht ausgesandt wird, das proportional zur  $\text{NO}$ -Konzentration im Proben gas ist. Nach DIN EN 14211 ist die Einstellzeit, die Zeit zwischen dem sprunghaften Wechsel der Konzentration im Proben gas und dem Erreichen der 90 % des Signalpegels. Die bei kurzzeitigen Schwankungen der  $\text{NO}$ -Konzentration auftretende Unsicherheit der Messwerte wird nach DIN EN 14211 als Mittelungseinfluss bezeichnet. Die Einstellzeit und der Mittelungseinfluss sind Leistungskenngrößen des Messgerätes und werden nach der Norm bestimmt. Zur Prüfung dieser Leistungskenngrößen wird auf Basis der aus der Norm entstehenden Anforderungen ein Verfahren entwickelt. Das im Rahmen der Bachelor-Arbeit entwickelte Verfahren besteht aus einer Kombination aus einem Gasleitungssystem mit 2 2-Wege-Ventilen und einer manuell und automatisch betriebenen Steuerung. Nach Inbetriebnahme und einigen Testläufen werden die Prüfungen durchgeführt und ausgewertet. Dabei wird zusätzlich zum entwickelten Verfahren das laboreigene Gasmischsystem zum Erzeugen benötigter Prüfgase verwendet. Die Messwertaufnahme geschieht nach dem Bayern-Hessen-Protokoll, welches ein Standardprotokoll zur Kommunikation zwischen Gerät und Computer über serielle Schnittstellen ist. Hierfür wird eine Messwertaufnahme- und Visualisierungssoftware verwendet, über die die Parameter für die Kommunikation und die Befehle für Abfrage der Messwerte eingestellt werden. Zuletzt wird die Unsicherheit des Versuchsaufbaus betrachtet und das Verfahren selbst und hinsichtlich dessen Anwendung diskutiert.

## Literaturverzeichnis

[1] Richtlinie 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES VOM 21.Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa

[\[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:DE:PDF\]](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:DE:PDF)

[2] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV)

[\[http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv\\_39/gesamt.pdf\]](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_39/gesamt.pdf)

[3] DIN EN 14211:2005 und FprEN 14211:2012 Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz

[4] Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-370 der Firma Horiba für die Komponente NO, NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>, Berichts-Nr.:936/21204643/C  
TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH

[5] Bedienungsanleitung universales USB-Zeitrelais HB626 der Firma H-Tronic

[http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/190746-an-01-de-USB\\_ZEITRELAIS.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/190746-an-01-de-USB_ZEITRELAIS.pdf)

[6] Serielle Messgeräteschnittstelle I Bayern/Hessen Protokoll

<http://www.leineweb.de/downloads/Bayern-Hessen.pdf>

## Geräte- und Softwareliste

Messgerät: Horiba APNA-370 NO<sub>x</sub> Inv.Nr.:10000112-0

Durchflussmessgerät: Bios International DryCal, Messbereich 2 mL/min bis 500 mL/min

Gasmischsystem der Firma Breiffuss und dazu ein PC mit GasLab zur Steuerung des Gasmischsystems

PC mit GraMon von der Firma Sick Maihak zur Messwertaufnahme und -visualisierung

PC mit Programm zum Einstellen der Parameter des USB-Zeitrelais HB626 von H-Tronic

Anhang

# LM78XX

## Series Voltage Regulators

### General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

### Features

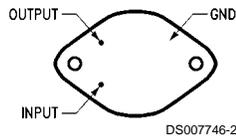
- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

### Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

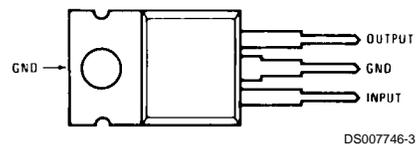
### Connection Diagrams

**Metal Can Package  
TO-3 (K)  
Aluminum**



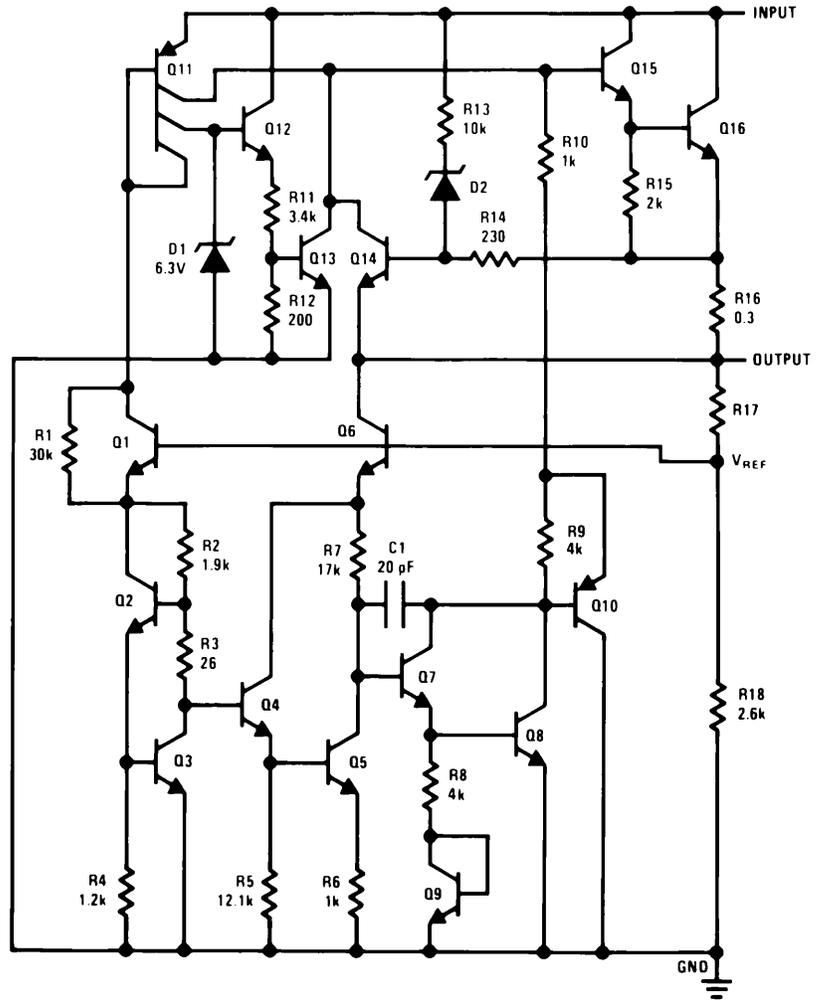
**Bottom View**  
Order Number LM7805CK,  
LM7812CK or LM7815CK  
See NS Package Number KC02A

**Plastic Package  
TO-220 (T)**



**Top View**  
Order Number LM7805CT,  
LM7812CT or LM7815CT  
See NS Package Number T03B

Schematic



DS007746-1

**Absolute Maximum Ratings** (Note 3)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Input Voltage

 $(V_O = 5V, 12V \text{ and } 15V)$ 

35V

Internal Power Dissipation (Note 1)

Internally Limited

Operating Temperature Range ( $T_A$ )

0°C to +70°C

Maximum Junction Temperature

(K Package)

150°C

(T Package)

150°C

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package K

300°C

TO-220 Package T

230°C

**Electrical Characteristics LM78XXC** (Note 2)0°C ≤  $T_J$  ≤ 125°C unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		$P_D \leq 15\text{W}$ , $5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)			(14.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)			(17.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			V	
$\Delta V_O$	Line Regulation	$I_O = 500 \text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3 50		4 120		4 150		mV			
			$\Delta V_{\text{IN}}$	(7 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 25)		14.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		(17.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		V			
		0°C ≤ $T_J$ ≤ +125°C	$\Delta V_{\text{IN}}$		50		120		150		mV		
			(8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)		(15 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)		(18.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		V				
		$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$\Delta V_{\text{IN}}$		50		120		150		mV	
			(7.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)		(14.6 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)		(17.7 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		V				
0°C ≤ $T_J$ ≤ +125°C	$\Delta V_{\text{IN}}$		25		60		75		mV				
	(8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 12)		(16 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 22)		(20 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 26)		V						
$\Delta V_O$	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1.5 \text{ A}$	10 50		12 120		12 150		mV			
			$250 \text{ mA} \leq I_O \leq 750 \text{ mA}$	25		60		75		mV			
		$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$ , 0°C ≤ $T_J$ ≤ +125°C	50		120		150		mV				
$I_Q$	Quiescent Current	$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8		8		8		mA			
			0°C ≤ $T_J$ ≤ +125°C	8.5		8.5		8.5		mA			
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$		0.5		0.5		0.5		mA			
		$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_O \leq 1 \text{ A}$	$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$		1.0		1.0		1.0		mA		
			(7.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)		(14.8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)		(17.9 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		V				
0°C ≤ $T_J$ ≤ +125°C		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$		1.0		1.0		1.0		mA			
(7 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 25)		(14.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		(17.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)		V							
$V_N$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , 10 Hz ≤ $f$ ≤ 100 kHz		40		75		90		μV			
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$	Ripple Rejection	$f = 120 \text{ Hz}$	$I_O \leq 1 \text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500 \text{ mA}$	62 80		55 72		54 70		dB			
			0°C ≤ $T_J$ ≤ +125°C	62		55		54		dB			
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$		(8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 18)		(15 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 25)		(18.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 28.5)		V			
$R_O$	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{\text{OUT}} = 1 \text{ A}$		2.0		2.0		2.0		V			
	Output Resistance	$f = 1 \text{ kHz}$		8		18		19		mΩ			

## Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$  unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	2.1			1.5			1.2			A
	Peak Output Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	2.4			2.4			2.4			A
	Average TC of $V_{\text{OUT}}$	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$ , $I_O = 5\text{ mA}$	0.6			1.5			1.8			mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_{\text{IN}}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , $I_O \leq 1\text{A}$	7.5			14.6			17.7			V

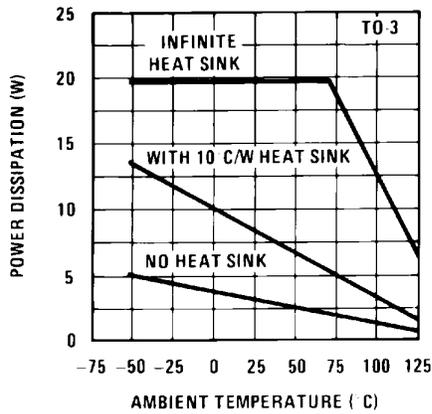
**Note 1:** Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically  $4^{\circ}\text{C/W}$  junction to case and  $35^{\circ}\text{C/W}$  case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically  $4^{\circ}\text{C/W}$  junction to case and  $50^{\circ}\text{C/W}$  case to ambient.

**Note 2:** All characteristics are measured with capacitor across the input of  $0.22\ \mu\text{F}$ , and a capacitor across the output of  $0.1\ \mu\text{F}$ . All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ( $t_w \leq 10\text{ ms}$ , duty cycle  $\leq 5\%$ ). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

**Note 3:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

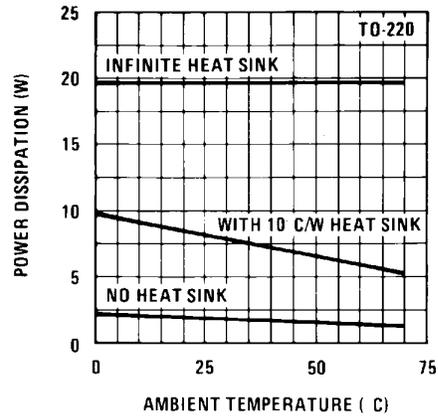
# Typical Performance Characteristics

Maximum Average Power Dissipation



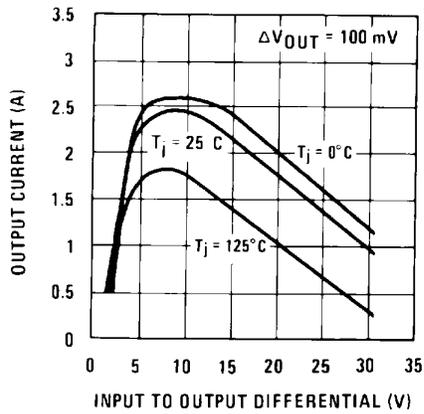
DS007746-5

Maximum Average Power Dissipation



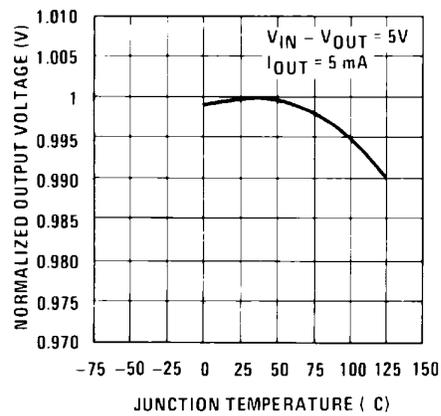
DS007746-6

Peak Output Current



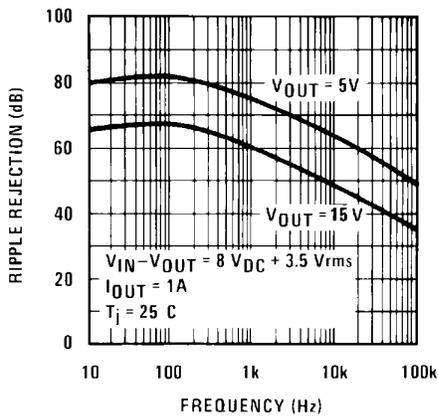
DS007746-7

Output Voltage (Normalized to 1V at T<sub>J</sub> = 25°C)



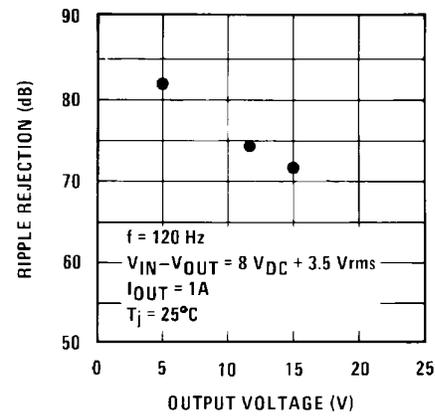
DS007746-8

Ripple Rejection



DS007746-9

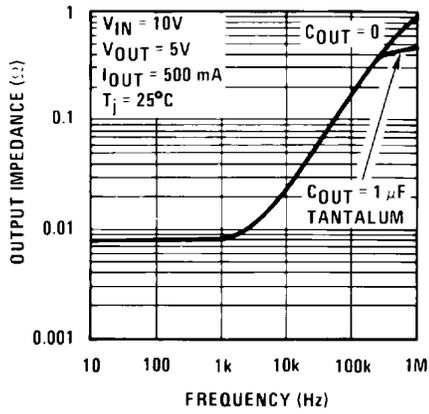
Ripple Rejection



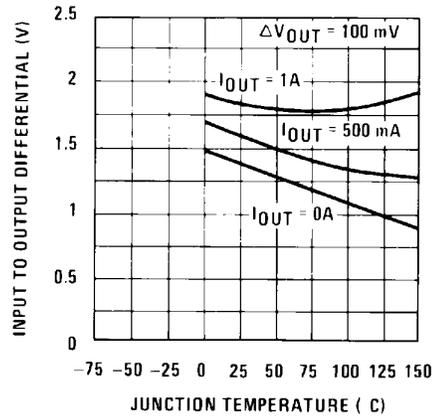
DS007746-10

# Typical Performance Characteristics (Continued)

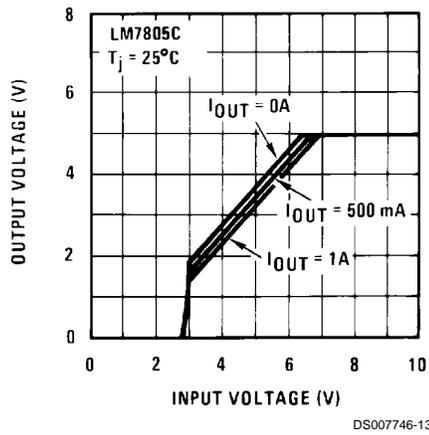
Output Impedance



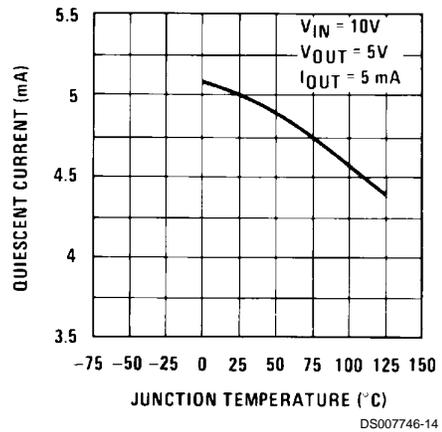
Dropout Voltage



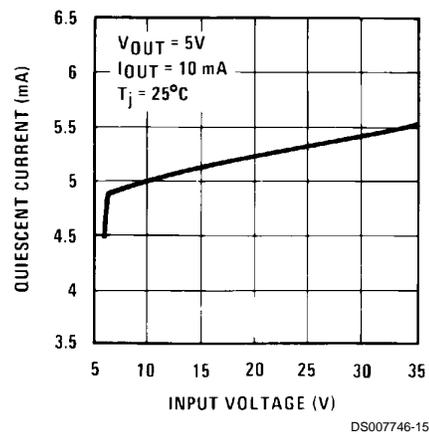
Dropout Characteristics



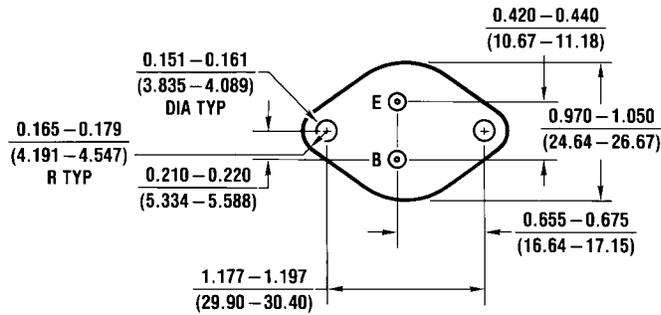
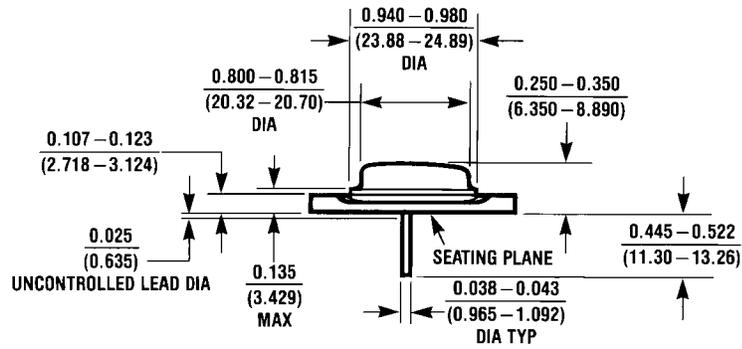
Quiescent Current



Quiescent Current



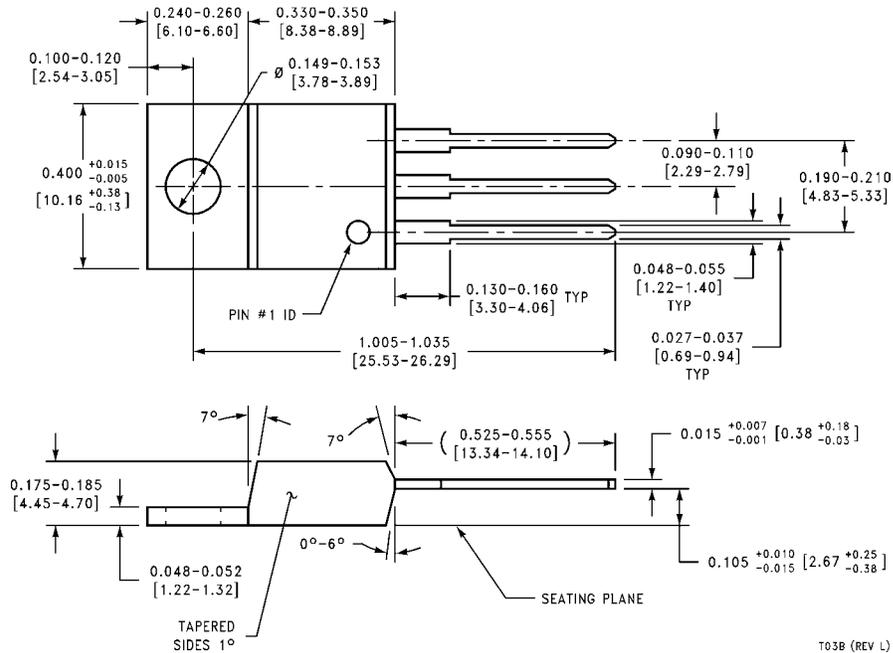
# Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



KC02A (REV C)

Aluminum Metal Can Package (KC)  
Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK  
NS Package Number KC02A

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



**TO-220 Package (T)**  
**Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT**  
**NS Package Number T03B**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 **National Semiconductor Corporation**  
 Americas  
 Tel: 1-800-272-9959  
 Fax: 1-800-737-7018  
 Email: support@nsc.com  
 www.national.com

**National Semiconductor Europe**  
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
 Email: europe.support@nsc.com  
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group**  
 Tel: 65-2544466  
 Fax: 65-2504466  
 Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
 Tel: 81-3-5639-7560  
 Fax: 81-3-5639-7507

**Power PCB Relay RZ**

- 1 pole 12/16 A, 1 form C (CO) or 1 form A (NO) contact
- DC coil 400 mW
- 5kV/10mm coil-contact, reinforced insulation
- Ambient temperature 85°C (clear cover: 70°C)
- Product in accordance to IEC 60335-1



Typical applications  
Household appliances, boiler control, timers, garage door control, POS automation



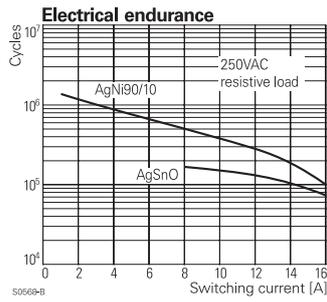
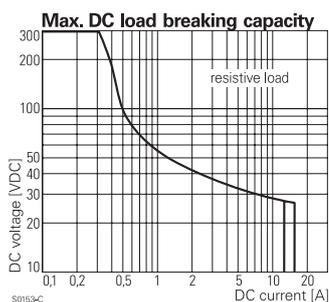
F0305-A

**Approvals**  
VDE REG.-Nr. C693, UL E214025 CQC: CQC12002066685  
Technical data of approved types on request

Contact Data	12A	16A
Contact arrangement	1 form C (CO) or 1 form A (NO)	
Rated voltage	250VAC	
Max. switching voltage	400VAC	
Rated current	12A	16A
Limiting making current (form A contact)		
max. 4s, duty factor 10%	30A	
max. 20ms (incandescent lamp); AgSnO <sub>2</sub>	80A	
Breaking capacity max.	3000VA	4000VA
Contact material	AgNi 90/10 or AgSnO <sub>2</sub>	
Frequency of operation, with/without load	360/72000h <sup>-1</sup>	
Operate/release time max.	8/6ms	
Bounce time max., form A/form B	4/6ms	

Contact ratings			
Type	Contact	Load	Cycles
<b>IEC 61810</b>			
RZ03-1A.	A (NO)	16A, 250VAC, 85°C	50x10 <sup>3</sup>
RZ03-1C4	C (CO)	16A, 250VAC, 85°C	10x10 <sup>3</sup>
RZ01-1A3	A (NO)	12A, 250VAC, 85°C	100x10 <sup>3</sup> 1)
RZ01-1A4	A (NO)	12A, 250VAC, 85°C	50x10 <sup>3</sup>
RZ01-1C4	C (CO)	12A, 250VAC, 85°C	30x10 <sup>3</sup>
RZ01-1.4	A (NO)	12A, 250VAC, 70°C	100x10 <sup>3</sup>
RZ0.-1A4	A (NO)	10A, 250VAC, 85°C	250x10 <sup>3</sup>
<b>UL 508</b>			
RZ03-1A.	A (NO)	16A, 250VAC, 85°C	50x10 <sup>3</sup>
RZ03-1A4	A (NO)	12A, 250VAC, 85°C	150x10 <sup>3</sup>
RZ01-1A3	A (NO)	12A, 250VAC, 85°C	50x10 <sup>3</sup>
RZ03-1.4	A (NO)	B300, R300, 85°C	6x10 <sup>3</sup>
RZ03-1.4	A (NO)	12A, 250VAC, 85°C	100x10 <sup>3</sup>
RZ03-1.4	A (NO)	1/2hp, 125VAC, 85°C	6x10 <sup>3</sup>
RZ03-1A.	A (NO)	1hp, 277VAC, 85°C	30x10 <sup>3</sup>

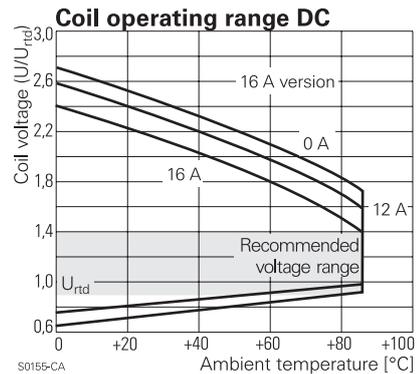
Mechanical endurance >10x10<sup>6</sup> operations  
1) planned rating



Coil Data	
Coil voltage range	3 to 48VDC
Operative range, IEC 61810	2
Coil insulation system according UL1446	class F

Coil versions, DC coil					
Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance Ω±10%	Rated coil power mW
D003	3	2.1	0.3	22	410
D005	5	3.5	0.5	60	420
D006	6	4.2	0.6	90	400
D009	9	6.3	0.9	200	400
D012	12	8.4	1.2	360	400
D015	15	10.5	1.5	562	410
D024	24	16.8	2.4	1440	400
D048	48	33.6	4.8	5730	400

All figures are given for coil without pre-energization, at ambient temperature +23°C. Other coil voltages on request.



Insulation Data	
Initial dielectric strength	1000V <sub>rms</sub>
between open contacts	5000V <sub>rms</sub>
between contact and coil	
Clearance/creepage	≥10/10mm
between contact and coil	
Material group of insulation parts	IIIa
Tracking index of relay base	PTI250V

**Power PCB Relay RZ (Continued)**

**Other Data**

Material compliance: EU RoHS/ELV, China RoHS, REACH, Halogen content refer to the Product Compliance Support Center at [www.te.com/customersupport/rohssupportcenter](http://www.te.com/customersupport/rohssupportcenter)

Resistance to heat and fire standard cover version according EN 60335-1, par.30

Ambient temperature standard version -40 to 85°C  
clear cover -40 to 70°C

Category of environmental protection IEC 61810 RTII - flux proof

Vibration resistance (functional), 30 to 500Hz closing form A contact >15g  
opening form A contact >20g  
opening form B contact >5g

Shock resistance (destructive) 100g

Terminal type PCB-THT

Mounting distance standard version ≥0mm  
clear cover ≥14mm

Weight 10g

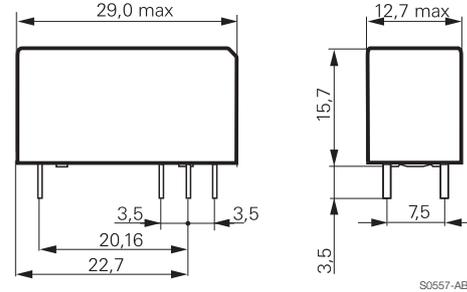
Resistance to soldering heat THT IEC 60068-2-20 270°C/10s<sup>2</sup>

Packaging/unit tube/20 pcs., box/500 pcs.

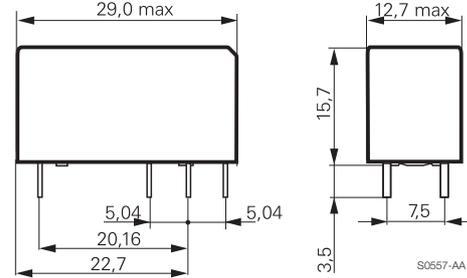
2) The use of foaming flux is not permitted.

**Dimensions**

12A, pinning 3.5mm



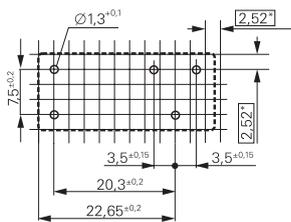
12A, 16A, pinning 5mm



**PCB layout / terminal assignment**

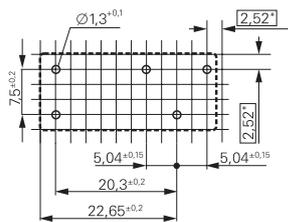
Bottom view on solder pins

12A, pinning 3.5mm



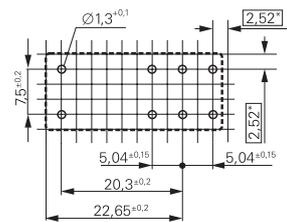
S0418-CB

12A, pinning 5mm



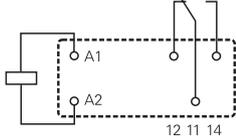
S0418-CN

16A, pinning 5mm



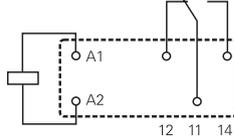
S0418-CA

1 form C (CO) contact



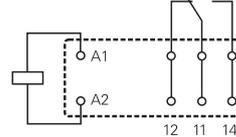
S0163-BG

1 form C (CO) contact



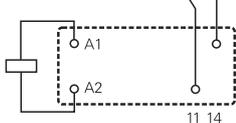
S0163-BC

1 form C (CO) contact



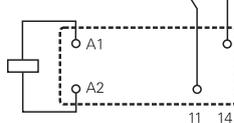
S0163-BE

1 form A (NO) contact



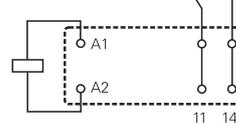
S0163-BH

1 form A (NO) contact



S0163-BD

1 form A (NO) contact



S0163-BF

Recommended pcb hole for manual mounting: Ø1.3mm

For automated mounting please ask for detailed drawing.

**Power PCB Relay RZ** (Continued)

<b>Product code structure</b>		Typical product code		<b>RZ</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>-1C</b>	<b>4</b>	<b>-D012</b>
<b>Type</b>	RZ Power PCB Relay RZ								
<b>Version</b>	0 standard version								
<b>Version</b>	1 3.5mm pinning, 12 A		3 5mm double pinning, 16 A						
	2 5mm pinning, 12 A		H High Performance 5mm double pinning, 16 A						
<b>Contact configuration</b>	1A 1 form A (1 NO) contact		1C 1 form C (1 CO) contact						
<b>Contact material</b>	4 AgNi 90/10		3 AgSnO <sub>2</sub>						
<b>Coil version</b>	Coil code: please refer to coil versions table								
<b>Cover version</b>	blank standard (orange)		000C clear (transparent)		R reinforced flux proof (epoxy)				

Product code	Version	Contacts	Contact material	Coil	Part number
RZ01-1A3-D005	12A	1 form A (NO)	AgSnO <sub>2</sub>	5VDC	3-1415899-7
RZ01-1A3-D006	pinning 3.5mm			6VDC	3-1415899-8
RZ01-1A3-D012				12VDC	3-1415899-9
RZ01-1A3-D024				24VDC	4-1415899-0
RZ01-1A3-D048				48VDC	4-1415899-1
RZ01-1A4-D005			AgNi 90/10	5VDC	1415899-1
RZ01-1A4-D006				6VDC	1415899-2
RZ01-1A4-D009				9VDC	1415899-3
RZ01-1A4-D012				12VDC	1415899-4
RZ01-1A4-D024				24VDC	1415899-5
RZ01-1A4-D048				48VDC	1415899-6
RZ01-1C3-D005		1 form C (CO)	AgSnO <sub>2</sub>	5VDC	4-1415899-2
RZ01-1C3-D006				6VDC	4-1415899-3
RZ01-1C3-D012				12VDC	4-1415899-4
RZ01-1C3-D024				24VDC	4-1415899-5
RZ01-1C3-D048				48VDC	4-1415899-6
RZ01-1C4-D005			AgNi 90/10	5VDC	1415899-7
RZ01-1C4-D006				6VDC	1415899-8
RZ01-1C4-D009				9VDC	1415899-9
RZ01-1C4-D012				12VDC	1-1415899-0
RZ01-1C4-D024				24VDC	1-1415899-1
RZ01-1C4-D048				48VDC	1-1415899-2
RZ03-1A3-D005	16A	1 form A (NO)	AgSnO <sub>2</sub>	5VDC	4-1415899-7
RZ03-1A3-D006	pinning 5mm			6VDC	4-1415899-8
RZ03-1A3-D012				12VDC	4-1415899-9
RZ03-1A3-D024				24VDC	5-1415899-0
RZ03-1A3-D048				48VDC	5-1415899-1
RZ03-1A4-D005			AgNi 90/10	5VDC	1-1415899-3
RZ03-1A4-D006				6VDC	1-1415899-4
RZ03-1A4-D009				9VDC	1-1415899-5
RZ03-1A4-D012				12VDC	1-1415899-6
RZ03-1A4-D024				24VDC	1-1415899-7
RZ03-1A4-D048				48VDC	1-1415899-8
RZ03-1C3-D005		1 form C (CO)	AgSnO <sub>2</sub>	5VDC	5-1415899-2
RZ03-1C3-D006				6VDC	5-1415899-3
RZ03-1C3-D012				12VDC	5-1415899-4
RZ03-1C3-D024				24VDC	5-1415899-5
RZ03-1C3-D048				48VDC	5-1415899-6
RZ03-1C4-D005			AgNi 90/10	5VDC	1-1415899-9
RZ03-1C4-D006				6VDC	2-1415899-0
RZ03-1C4-D009				9VDC	2-1415899-1
RZ03-1C4-D012				12VDC	2-1415899-2
RZ03-1C4-D015				15VDC	8-1415899-2
RZ03-1C4-D024				24VDC	2-1415899-3
RZ03-1C4-D048				48VDC	2-1415899-4
RZ01-1C4-D012-000C	Clear cover		AgNi 90/10	12VDC	6-1415899-8
RZ01-1C4-D024-000C	12A, pinning 3.5mm			24VDC	6-1415899-9
RZ03-1A4-D012-000C	Clear cover	1 form A (NO)		12VDC	7-1415899-2
RZ03-1A4-D024-000C	16A, pinning 5mm			24VDC	7-1415899-3
RZ03-1C4-D012-000C		1 form C (CO)		12VDC	7-1415899-0
RZ03-1C4-D024-000C				24VDC	7-1415899-1

This list represents the most common types and does not show all variants covered by this datasheet.  
Other types on request