

Aufbau und Messprinzip eines selbstgebauten Ozonmessgerätes

Torsten Diem, David Kümin, Regina Schöll, Andreas Zünd

INHALT

1	Einleitung	1
2	Das Messprinzip	1
2.1	UV-Absorption	1
2.2	Eigenschaften der Gerätekonstruktion	3
3	Messungen	4
4	Problembehandlung	7
4.1	Ursachen	8
5	Diskussion	8

1 Einleitung

Im Rahmen des Systempraktikums experimentierten die Umweltnaturwissenschaftler mit einem selbstgebauten Ozonmessgerät. Das Gerät wurde bereits im Vorjahr von der Physiklaborantin Nadine Boos und unseren Vorgängern gebaut. Es galt also vorerst, das Messprinzip und die daraus resultierende Konstruktion zu studieren. In einem weiteren Schritt wurden dann Messungen mit dem Gerät durchgeführt und dabei entstandene Probleme analysiert. Ein Ziel bestand auch darin, mit bekannten Ozonkonzentrationen eine Kalibrierungskurve zu messen, um die Outputsignale des Gerätes direkt in Konzentrationen umrechnen zu können. Aus zeitlichen und technischen Gründen wurde auf Feldmessungen verzichtet.

2 Das Messprinzip

2.1 UV-Absorption

In diesem Fall basiert die Messung auf den Absorptionseigenschaften von Ozon im UV-Bereich. Die UV-spektrometrische Methode beruht auf der starken Absorption von UV-Licht der Wellenlänge 253.7 nm durch Ozon (siehe Abb. 1). Dieses Licht wird durch eine Hg-Lampe erzeugt, welche bei der genannten Wellenlänge eine Emissionslinie besitzt.

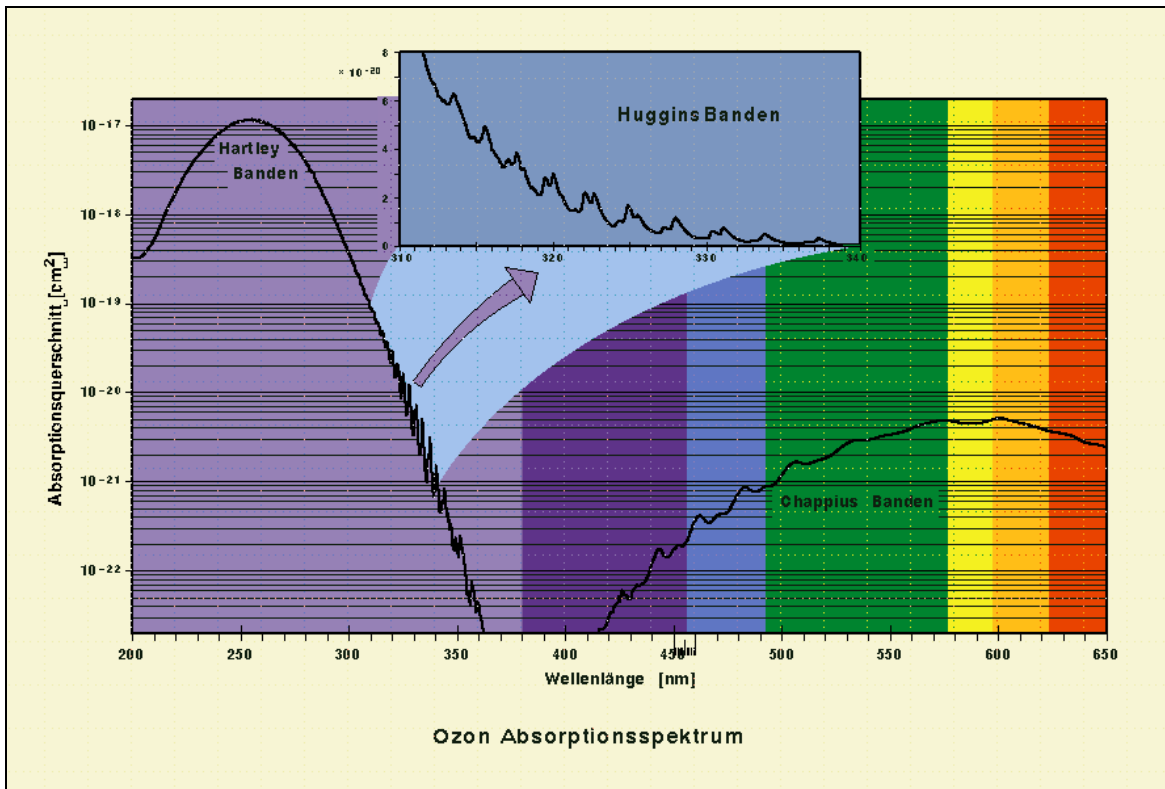


Abb. 1: Das Absorptionsspektrum von Ozon mit dem grossen Absorptionsquerschnitt im UV-C Bereich um 254 nm.

2.2 Eigenschaften der Gerätekonstruktion

In unserer Messanordnung, wird einerseits die Probeluft ohne Veränderung mit dem Quecksilberlicht durchstrahlt und das im Detektor einfallende Restlicht von einem Photosensor in ein Spannungssignal umgewandelt. Gleichzeitig wird Luft durch einen Ozonscrubber angesogen, der das Ozon zerstört, die anderen Bestandteile jedoch unbeeinflusst durchströmen lässt. Diese so erzeugte Nullluft wird in einer zweiten Reaktionskammer dem Quecksilberlicht ausgesetzt und detektiert. Somit stehen jeweils zwei Spannungssignale gleichzeitig zur Verfügung: das Signal mit Ozon und jenes ohne. Aus dem Spannungsunterschied lässt sich dann die Ozonkonzentration der Luftmasse bestimmen. Da das Ozon bei der Wellenlänge 253.7 nm stark absorbiert, wird die Intensität abgeschwächt und die Photozelle liefert ein geringeres Spannungssignal als jenes der ozonfreien Luft.

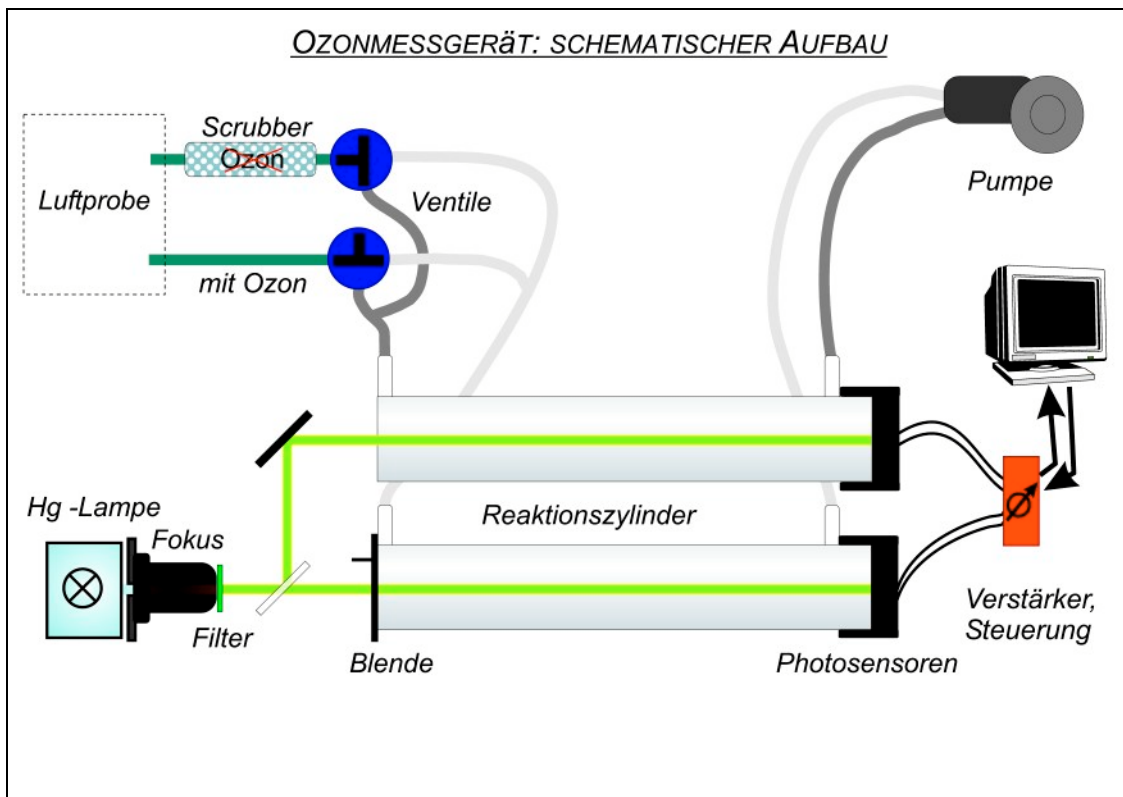


Abb. 2: Messanordnung

Durch die Verwendung von zwei Messzellen (mit resp. ohne Ozon) lässt sich das Problem von Abschwächungen der Intensität durch Absorptionen wegen anderen Moleküle und Partikeln elegant umgehen. Denn letztlich ist für die Bestimmung des Ozongehalts nur die Differenz der Spannungen, also eine relative Messung notwendig. Ausserdem sollte sich dadurch eine mögliche Fehlerquelle, nämlich Fluktuationen der Intensität der Lampe, neutralisieren lassen.

Die Verwendung von zwei Reaktionszylindern erfordert eine Teilung des Lampenlichts in zwei etwa gleich intensive Zweige. Diese Teilung geschieht durch einen halbdurchlässigen (im UV-C-Bereich) Strahlteiler und eine Umlenkung durch einen Spiegel. Da alle optischen Bauelemente einen geringen und hier asymmetrischen Intensitätsverlust bewirken, muss einer der Strahlen mit einer Blende und auch mit dem Fokus justiert werden. Ziel ist es, die Spannungssignale beider Sensoren bei gleicher Ozonkonzentration in Übereinstimmung zu bringen. Deshalb wird zuerst der Scrubber entfernt und gleiche Luft durch beide Zylinder gepumpt. Nach dieser Justierung sollte das Gerät theoretisch einwandfrei messen.

In der Praxis zeigt sich aber, dass sich die Geometrie der Lichtstrahlen und damit der Auftreffpunkt auf dem Photosensor, bedingt durch Temperaturschwankungen, Vibrationen und andere Störungen oft verändert. Die Sensoren reagieren äusserst empfindlich auf eine Abweichung des eintreffenden Lichtes vom Messmittelpunkt. Das hat zur Folge, dass sich bei Messungen häufig eine Drift der Spannungsdifferenzen einstellt, welche möglichst verhindert werden sollte. Einerseits wird dies durch eine stabile und störungsunanfällige Gerätekonstruktion erreicht, andererseits hilft auch hier wieder ein Griff in die Trickkiste. Da unsere Konstruktion teilweise auf der Grundlage von Legobausteinen beruht, ist der erste Punkt ungenügend erfüllt. Wie also die geometrische Drift verhindern, die die beiden Teilstrahlen nicht gleichermassen betrifft? Wenn man den einen Reaktionszylinder zur Messung der Nullluft und den anderen zur Messung der ozonhaltigen Luft benutzt und die beiden Zweige einer unterschiedlichen Drift unterworfen sind, so erzeugt diese Drift einen zusätzlichen Spannungsunterschied, welcher abschwächend oder verstärkend wirken kann. Dem Resultat ist aber nicht mehr anzusehen, ob es sich um eine Veränderung der Ozonkonzentration in der Luft oder um einen Effekt der Drift handelt.

Eine befriedigende Lösung bietet die Verwendung von Ventilen, welche die beiden Reaktionszylinder periodisch abwechselnd mit ozonhaltiger, resp. ozonfreier Luft beschicken. Dadurch wird der Einfluss einer Drift im Mittel unterdrückt. Ausserdem verhindert dieser Ausweg, dass das Messsignal aus dem Messbereich hinausdriftet, was Langzeitmessungen verunmöglichen würde.

In den Versuchen hat sich gezeigt, dass unser System noch anderen Fehlerquellen ausgesetzt ist, was in der →Problembehandlung diskutiert wird.

3 Messungen

Nach zahlreichen misslungenen Versuchen, die Ozonkonzentration über eine längere Zeitspanne zu messen, ohne dass das Signal aus dem Messbereich hinausdriftete, gelang uns mit einem Kalibrierungsgerät als Ozonlieferanten dann doch noch eine Messreihe.

Der Vorteil des Kalibriergerätes, welches eine bekannte, konstante Ozonkonzentration liefert, ist jener, dass die Ozonkonzentration relativ hoch eingestellt werden kann. Somit war der Unterschied zwischen dem Messrauschen und dem mittleren Messwert deutlich.

Es wurden darauf drei Messungen mit jeweils halbiertes Ozonkonzentration durchgeführt, um daraus eine Art Kalibrierungskurve zu zeichnen.

Die typischen, periodischen Schwankungen in den folgenden Graphen, stammen von dem Umschaltzyklus der Ventile. So war jeweils abwechselungsweise ein Signal das Nullsignal und das andere das Ozonsignal (welches stets kleiner ist als das Nullsignal). Deutlich sind auch Trends in den Graphiken zu sehen, welche von einer Instrumentendrift stammen, die noch nicht verhindert wurde. Die Ozonkonzentration manifestiert sich im Abstand der Peaks.

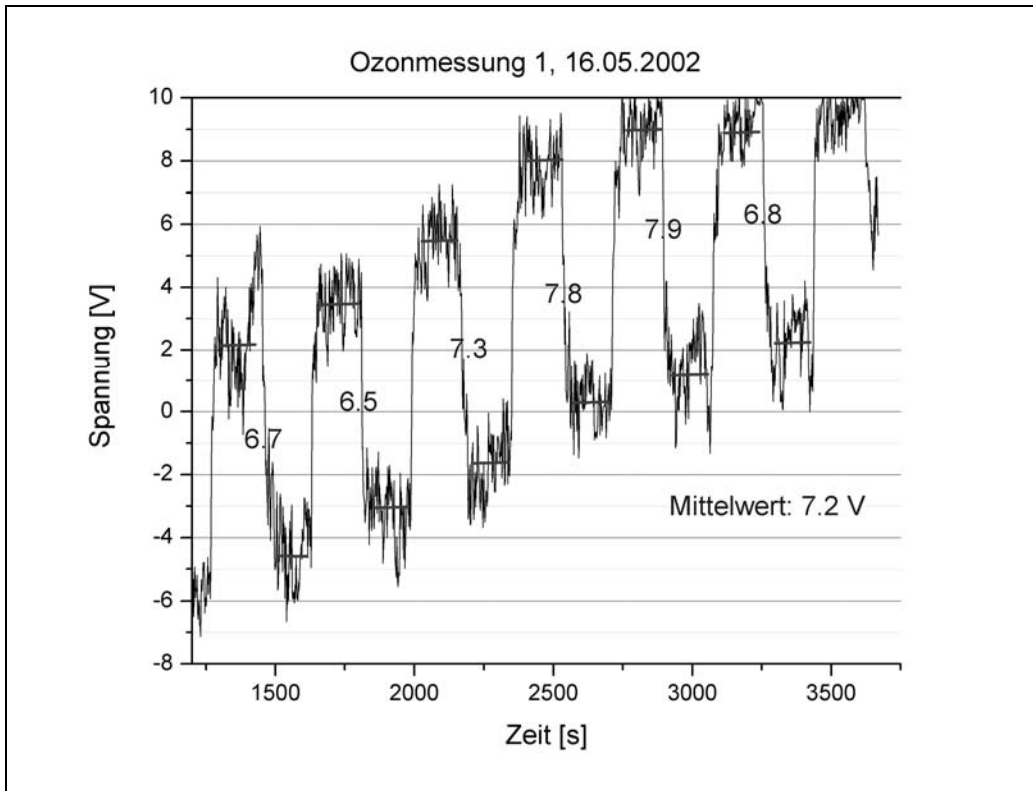


Abb. 3: Ozonmessung einer bekannten Konzentration von ca. 180 ppb

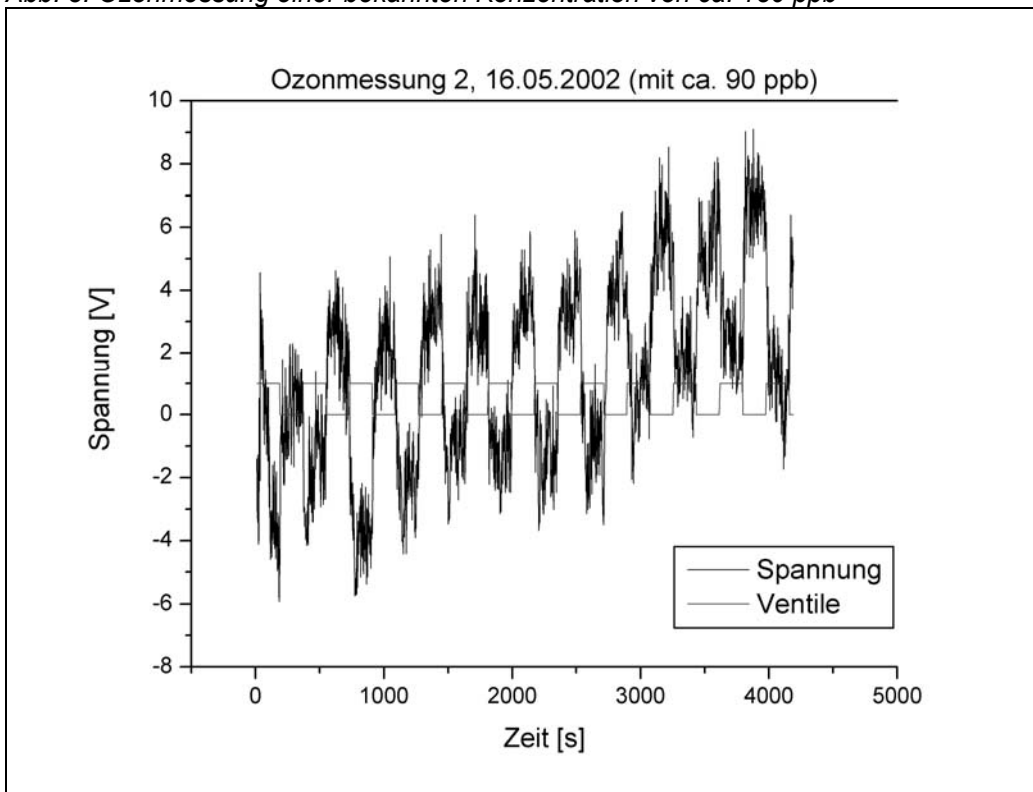


Abb. 4: Ozonmessung einer bekannten Konzentration von ca. 90 ppb. Sichtbar sind auch die Schaltintervalle der Ventile

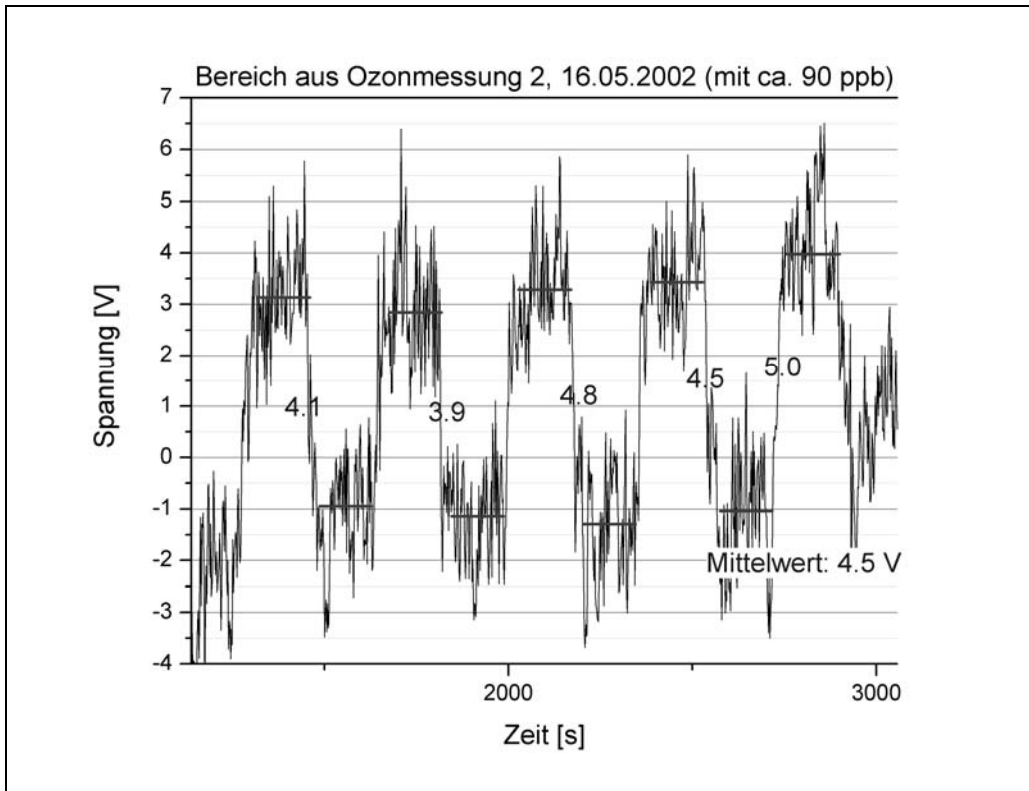


Abb. 5: Ozonmessung einer bekannten Konzentration von ca. 90 ppb

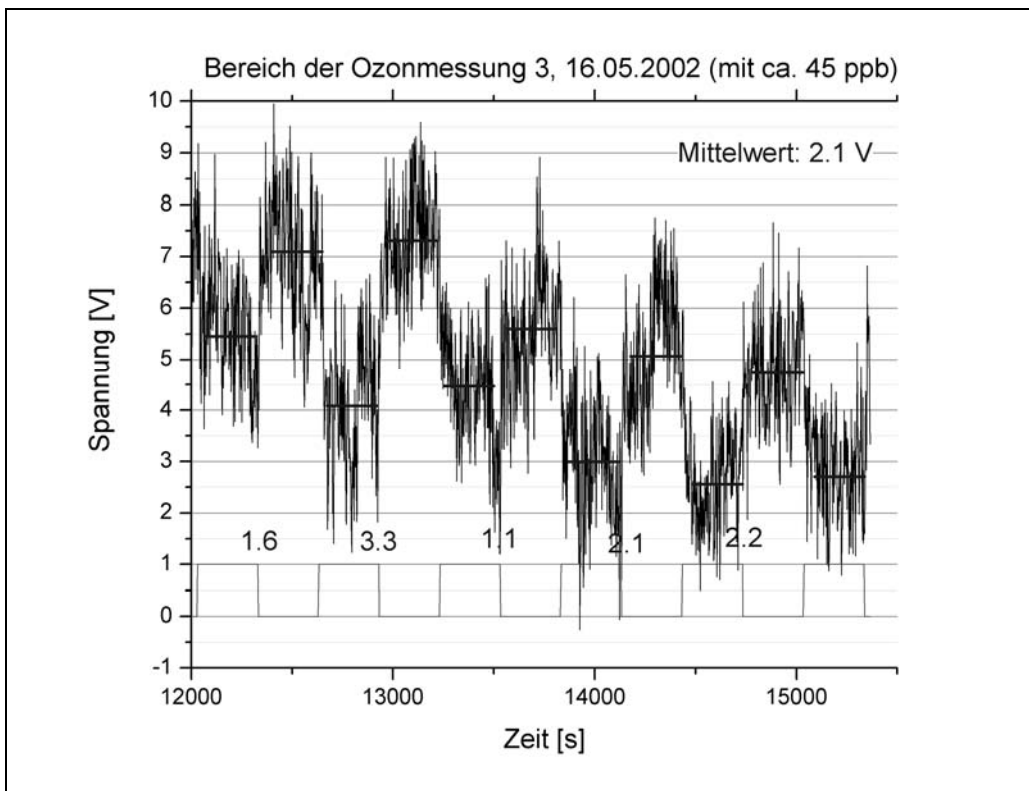


Abb. 6: Ozonmessung einer bekannten Konzentration von ca. 45 ppb

In Abbildung 6 ist ersichtlich, dass die Schwankungen im Messsignal bei tieferen Konzentrationen bald den Wert der Spannungsdifferenzen erreichen. Die Messungen werden dadurch bei tiefen Konzentrationen von Ozon, schnell sehr ungenau.

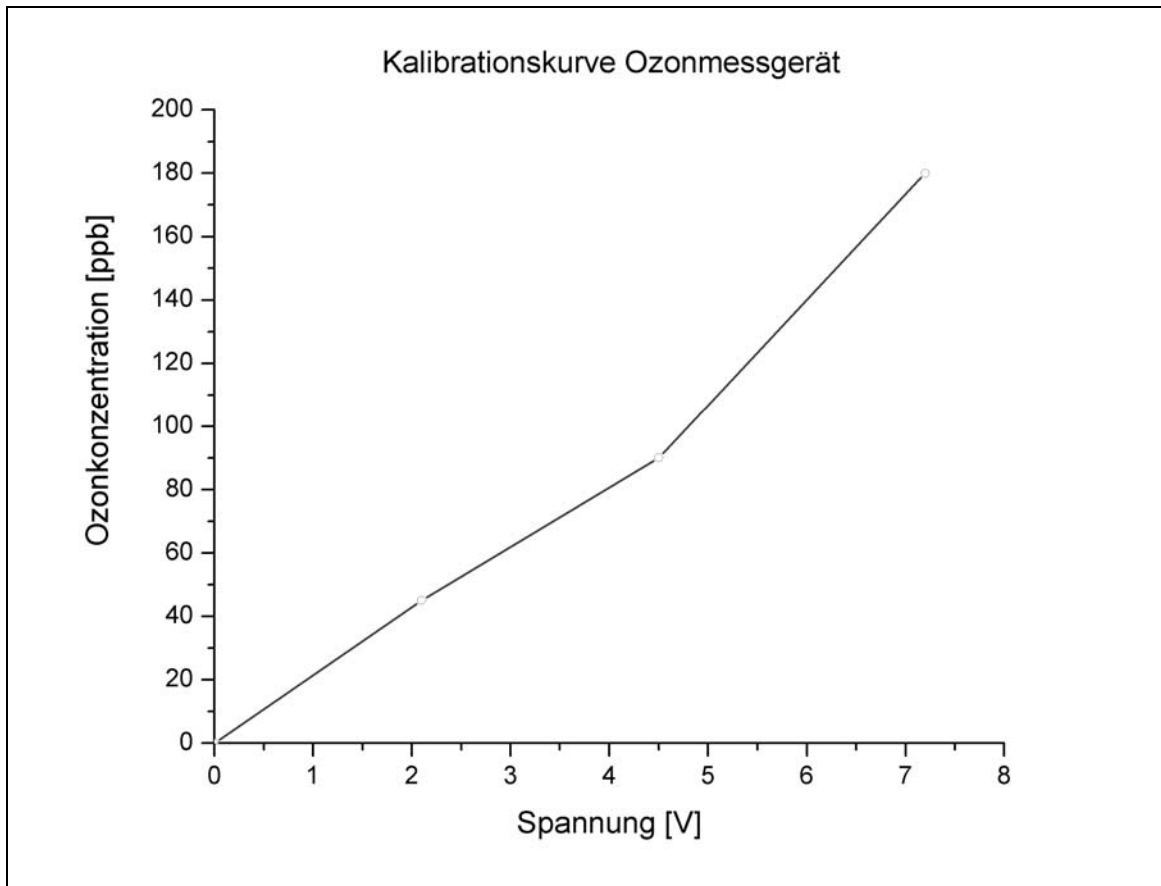


Abb. 7: Kalibrierungskurve, erstellt aus den drei Messungen am 16. 05. 2002

Diese Kalibrationskurve ist allerdings mit Vorsicht zu genießen. Wie in den einzelnen Abbildungen ersichtlich, war der wahre Ozongehalt nämlich nur vage bekannt. Der Grund: Das ozonerzeugende Gerät war bereits seit Jahren nicht mehr kalibriert worden. So sind die angegebenen Konzentrationen auf einen Hinweis hin bereits korrigierte Konzentrationen. Sie entsprechen 60 % des tatsächlich vom Gerät angezeigten Wertes. Bevor man also mit dieser „Kalibrationskurve“ arbeitet, sollte das ganze genauer überprüft werden. Ausserdem wären für eine gute Kalibrationskurve weit mehr Messpunkte erwünscht, v.a. im Bereich unterhalb von 45 ppb.

4 Problembehandlung

Die praktischen Versuche haben gezeigt, dass mit dem Systemdesign noch lange nicht alle Fehlerquellen ausgeschaltet wurden.

Es gestaltete sich insbesondere sehr schwierig, die beiden Signale bei gleicher Luft für längere Zeit in Übereinstimmung zu bringen. Schnell driftete das Messsignal aus unserem Messbereich von -10 bis +10 Volt, was einer Ozonkonzentration von mehr als 200ppb entsprechen würde!

4.1 Ursachen

Die Gründe für diese Driften lagen nach unserer Ansicht v.a. an der heiklen Handhabung des Fokus und der Blende, welche scheinbar nicht in der eingestellten Position verharrten. Das Problem hier wirkt sich aus, weil die beiden Lichtstrahlen nicht die gleiche Länge aufweisen und sich damit eine Veränderung des Fokus unterschiedlich auf die Strahengeometrie auswirkt. Zudem hat der Strahl eine konische Form, die aber nicht symmetrisch ist und sich deswegen noch zusätzliche Schwierigkeiten ergeben.

Eine weitere Problemquelle ist die Quecksilberlampe selbst. Die Lampe flackert nämlich leicht und unregelmässig. Diese Schwankungen wirken sich teilweise auch unterschiedlich auf die beiden Strahlen aus, denn die Lampe gibt keine ideale Punktquelle ab, sondern mehr ein asymmetrisches Oval.

5 Diskussion

Dieser Teil des Praktikums hat uns sehr deutlich die Schwierigkeiten gezeigt, die bewältigt werden müssen, um gute Geräte zu bauen.

Andererseits waren unsere Probleme mit dem Gerät aber so gross, dass sehr viel Zeit mit den technischen Mängeln und Geschicklichkeitsübungen beim justieren verbraucht wurde. Zeit, die eigentlich für Vergleichsmessungen im Feld gedacht war.

So gesehen wären in Zukunft einige Verbesserungen erwünscht, um die Arbeit mit dem Messgerät zu erleichtern und viel mehr korrekte Messungen zu erzeugen.