

Schiller in Space

Verfasser:

Jürgen Vörg

voerg@schiller-offenburg.de

Marek Czernohous

schule@czernohous.de

Schiller Gymnasium, Zellerstraße 33, 77654 Offenburg

Schiller in Space

05. und 06. 07. 2012

- 1. + 2. Flug:**
- einmal Stratosphäre und zurück
 - Flugerrfahrten mit Mess-Box und Deltaflieger

12. 09. 2013

- 3. Flug:**
- der Messflug
 - Gasanalysen



Description of our stratosphere-project

Everyday thousands of radiosondes fly as far as the stratosphere throughout Europe to collect meteorological information from the troposphere (pressure, temperature, humidity, wind speed and direction) and all these airborne instruments get lost. In addition the data concerning the stratosphere are not even processed because they are not relevant for the weather.

Our intention is to gather information about the weather and the climate using two different devices:

First self-flying planes (FunJet, EasyStar) with a coming home function that can also send back information about the weather from the troposphere.

Second, helium balloons equipped with sensors which measure various atmospheric parameters (gas, aerosols, radiation, Brunt-Väisälä frequency etc.) and take samples in the stratosphere.

The students ranging from 15 to 18 years will be skilled in: - formulation and a logical solution of problem-based tasks - synchronizing the complex course of the project

- manufacturing of a gas sampler
- programming the remote controlling device
- experience in the launch and retrieving of the flight set in Meppen, Lower Saxony - measuring atmospheric chemistry
- analysing various meteorological data

Are you interested or do you need further information then go to

<http://www.youtube.com/watch?v=OISg5xs7O9Q>

<http://www.youtube.com/watch?v=xxUr260BrAE>

<http://www.youtube.com/watch?v=ke04cWh6ndl>

<http://www.youtube.com/watch?v=6VkzAdjwTUA>

or contact us.

Projektbeschreibung

Wir sind ein Lehrerteam, das mit besonders begabten Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen das fächerübergreifende Projekt „*Schiller in Space*“, mit Bezügen zur Informatik, Chemie, Physik, Naturwissenschaft und Technik sowie Geographie, in Zusammenarbeit mit dem *Institut für Unmanned Aerial Systems der Hochschule Offenburg*, durchführt.

Die Entstehung unseres Projekts beruht auf der Tatsache, dass täglich an jeder europäischen Wetterstation drei „Wetterballons“ zur Erfassung von Druck, Temperatur, Feuchtigkeit und Windverhältnissen gestartet werden und dabei die eingesetzten Radiosonden verloren gehen.

Wir stellten uns deshalb die folgenden Fragen. Lassen sich einerseits diese Unkosten durch autonom gesteuerte Messflieger, die zum Startplatz zurückkehren und erneut eingesetzt werden können, reduzieren und kann andererseits die Informationsdichte über die Atmosphärogase erhöht werden.

Die Schülerinnen und Schülern setzen sich mit dem Projekt nach dem folgenden Ablauf auseinander:

- In Teams formulieren sie neue, konkrete Problemstellungen unter Beachtung von logischen Abfolgen und synchronisieren den Verlauf des Projekts.
- In einer weiteren Phase werden die Teams ihre produzierten Komponenten aus Hard- bzw. Software aufeinander abstimmen und zu einem Gesamtprojekt verknüpfen.
- Mit den Flügen „*Schiller in Space*“ an der *WTD91 in Meppen* erfolgen schließlich die Systemtests unter den extremen Bedingungen der Atmosphäre. Diese Schlussphase endet mit den Auswertungen der Erfahrungen und Messergebnisse.

Zielsetzung: Die Programmierung und messtechnische Ausrüstung unbemannter Leichtflugzeuge zur Erfassung von Wetterdaten sowie Aerosol- und Spurengas-Messungen in der Troposphäre.

Durchführung: Das Projekt gliedert sich inhaltlich und zeitlich in drei Schritte:

1. Flüge von Mess-Boxen an Helium-Ballons bis in die Stratosphäre, die wir an der *Wehrtechnischen Dienststelle, WTD91*, in Meppen, mit freundlicher Genehmigung durchführen dürfen.
2. Troposphärenflüge der Flieger zunächst an unbemannten Helikoptern des *Institut für Unmanned Aerial Systems der Hochschule Offenburg* (bis 5.000m), dann an Helium-Ballons.
3. Die Schritte 1 und 2 werden miteinander verknüpft.

zu 1.:

Die Flüge von Mess-Boxen sollen zunächst erproben, welche naturwissenschaftlichen Messungen für uns möglich und sinnvoll sind. Die Gasanalysen erfolgen mit der uns zur Verfügung gestellten Messtechnik der **Fa. Dräger**, Lübeck.

Die Flüge werden mit einer Kamera aufgezeichnet.

Gemessen und berechnet werden: Druck (p), Temperatur (T), rel. Luftfeuchte (U), Windgeschwindigkeit, Ballondrift (East, North), Brunt-Väisälä-Frequenz, Spurengase, Höhenstrahlung, Aerosole, elektromagnetische Felder, Funkübertragungen der Telemetriedaten
Flug-Stabilisierung durch PID / Schrauben



Mess-Box (2013) :

vor dem Start

nach der Landung

zu 2.:

Die Flieger werden auf unterschiedliche Höhen gebracht, vom Transporter ausgeklinkt und sollen autopilotgesteuert (GPS) zum Startpunkt zurückkehren. Dabei werden die Telemetriedaten aufgezeichnet. Sie dienen der späteren Auswertung zur Flugoptimierung. Die Flüge werden wiederum mit einer Kamera aufgezeichnet. Die Anschaffung des Flugequipments erfolgte mit Unterstützung der **Badischen Stahlwerke, Kehl**.

Test-Flieger - 1: **EasyStar®** (Hochdecker)

Test-Flieger - 2: **FunJet®** (Deltaflügel)

Die FunJets wurden von der **Fa. Multiplex, Bretten**, gespendet.

zu 3.:

Die modularen Messkomponenten werden an den Fliegern erprobt.

Flug- und Gerätedaten:

Datum: 12/09/2013	Start:	08:47:00 MESZ	Landung:	11:18:28 MESZ	
Flugzeit:	Nutzlast:	2.250 g	Ortung:	11:28:34 MESZ	
02:31:28			Bergung:	11:43:21 MESZ	
Gasmessung					
Dräger	GASTYPE	HCHO	O3	NO2	
X-am 5000	UNITNAME	ppm	ppm	ppm	
AREB0108	GAS_A1	100	10	50	
V6.6	GAS_A2	100	10	50	
12.09.13	RANGE	100	10	50	
08:31:40 MESZ	Aktivierung				
Startkorrektur: 960 sec	PARTNO	6811530	6811540	6812600	
	CALDATE	05.09.13	05.09.13	05.09.13	Dräger/Stgt.
12.09.13	SENSORTYPE	EC	EC	EC	
12:00:46 MESZ	Gerät ausgeschaltet				
HCHO	EVE;12.09.2013 10:20:45;Alarm A1 an (Kanal 0)			nach	5580 sec
	EVE;12.09.2013 10:20:45;Alarm A2 an (Kanal 0)			in	24776 m
	EVE;12.09.2013 11:58:11;Alarm bestätigt				
	EVE;12.09.2013 11:58:18;Alarm A1 aus (Kanal 0)				
	EVE;12.09.2013 11:58:18;Alarm A2 aus (Kanal 0)				
Schlussdaten	VAL;12.09.2013 11:58:42;OVR;0,00;0,00;N/A;N/A;N/A;				
Gaspumpe					
Pump X-am 1/2/5000	Serial.No.:	ARBM-0327	8319400		
Stromversorgung	<i>EXTREME LITHIUM</i>	<i>Mignon AA 1.5V</i>	<i>FR6 * L91</i>	wg. Temperatur	
Radiosonde	Station: 10304 Meppen	<i>Wehrtechnische Dienststelle 91</i>			
VAISALA	Launch time: 2013-09-12 06:47 UTC				
RS92-SGPD	Time	Height	P	T	U Wd Ws
H1154102	0000	19 1012.70	8.80	96	220 0.5
	0002	27 1011.66	8.91	96	333 2.6
Rawgps					
06:25:20 UTC	Time (sec)	long (E(m))	lat (N(m))	Hoehe (m)	
Systemzeit:	2,62	-32768.00	-32768.00	-32768.00	Initialisierung
Rawptu					
06:23:42 UTC	Time (sec)	P (hPa)	T (K)	U1 (%)	U2 (%)
Systemzeit:	2700.24	1012.61	294.93	0.13	0.15
					Initialisierung
Kamera	<i>GoPro Hero2</i>				
	Aufzeichnungsdauer:	03:08:54	bis zur Bergung der MessBox		
Rechner	<i>Raspberry Pi</i>				
Ionisation	<i>sparkfun</i>	Geiger Counter			
	<i>LND.Inc</i>	Zählrohr	500V	γ-Sensitivity:	18 cps/mrem/h
Spannungsversorgung	<i>Hacker (2S)</i>	LiFe-Accu	6,6 V	4100 mAh	

Ortung	<i>simvalley</i>		GT-280	V.2		
MessBox	<i>Styrodur</i>	30 mm	Leergewicht: 810 g		Farbe: RAL 3024	
		H : B : T	260 x 260 x 320 mm			
max. Flughöhe:	31.164 m	(per Druck)	bzw.	31.379 m	(per GPS)	
geringster Druck:	10 hPa	-43,42 °C	31.164 m			
tiefste Temp.:	-56,89 °C		21.062 m			
max. Sinkgeschw.	<i>54,72 m/s</i>	197 km/h				
	Aufschlag mit ca. 18 km/h					
Aufstiegszeit:	01:56:06					
Sinkzeit:	00:35:22					
geogr. Koordinaten		Breite		Länge		
Startplatz		N 52° 42' 55,89"		E 7° 19' 04,86"		
Landeplatz		N 51° 56' 03,04"		E 7° 11' 16,49"		
Ballon-Drift	ca.	90 km südl.		9 km westl.		
Umrechnungen:						
cpm in $\mu\text{Sv/h}$		$x \text{ cpm} \cdot 8,12 \cdot 10^{-3}$				
Molvolumen		$V_x = k \cdot T_x / p_x$		$k = 8,31 \cdot 10^4$	[cm³]	
Moleküldichte		$n / V_x = 6,023 \cdot 10^{23} / V_x$			[n/cm³]	
Dobson Unit für O₃ wurde nicht berechnet, da elektrochemische Bestimmungsmethode nach ppm bzw. n/cm³						
		$p_0 \cdot V_0 = n \cdot R \cdot T_0$			$p_0 = 1013 \text{ hPa}$	
					$T_0 = 273,16 \text{ K}$	
		$n / V_0 = 2,69 \cdot 10^{19}$	[mol/cm³]		$V_0 = 22,4136 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$	
					$n = 6,023 \cdot 10^{23}$	
		1 DU [mol O₃ / cm³] für Schichtdicke 0,01mm				$R = 8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

Zum Flug 2013:

Unser Ziel war es diesmal, die Konzentration von Spurengasen, wie HCHO, O₃ und NO₂ in der Atmosphäre zu bestimmen. Des weiteren wollten wir die Höhenstrahlung während des Fluges aufzeichnen und schließlich mit den Messdaten der Radiosonde durch Berechnungen verschiedener thermodynamischer Werte die Auftriebsfrequenzen, **Brunt-Väisälä-Frequenzen**, ermitteln und Aussagen über die Stabilität der Luftschichten anstellen. Der Messflug fand im beginnenden Herbst statt, also in einer Zeit, in der die planetarische Frontalzone, geographisch gesprochen: die Mittelbreiten, äußerst turbulent ist. Die Videoaufzeichnung des Messfluges zeigen dies sehr eindrucksvoll. Infolge der abnehmenden Sonneneinstrahlung in den nördlichen Breiten nehmen bis in große Höhen die Druckunterschiede zwischen den Tropen und den Polargebieten vehement zu. Weit in die Stratosphäre reichende Strömungen sind die Folge, die sich wellenartig ausbreiten. Die Aufzeichnungen zeigen eindrucksvoll die vertikalen und durch die Corioliskraft bedingten horizontalen Drehbewegungen der Luftmassen..

Ein Vergleich der Video- und Messaufzeichnungen des Fluges im Frühsommer 2012¹ mit dem diesjährigen, 2013², veranschaulicht dem Betrachter einerseits die Weite und Dynamik unserer Atmosphäre, aber auch gleichzeitig jahreszeitlich bedingte Vielfalt der verborgenen Kräfte, die in ihr stecken.

Beim Studieren der Messdiagramme wird einem vor Augen geführt, wie eng unser Schutzschirm ist und welchen anthropogenen oder natürlichen Angriffen er ausgesetzt ist.



¹ <http://www.youtube.com/> „Schiller in Space 2012“

² <http://www.youtube.com/> „Schiller in Space 2013“

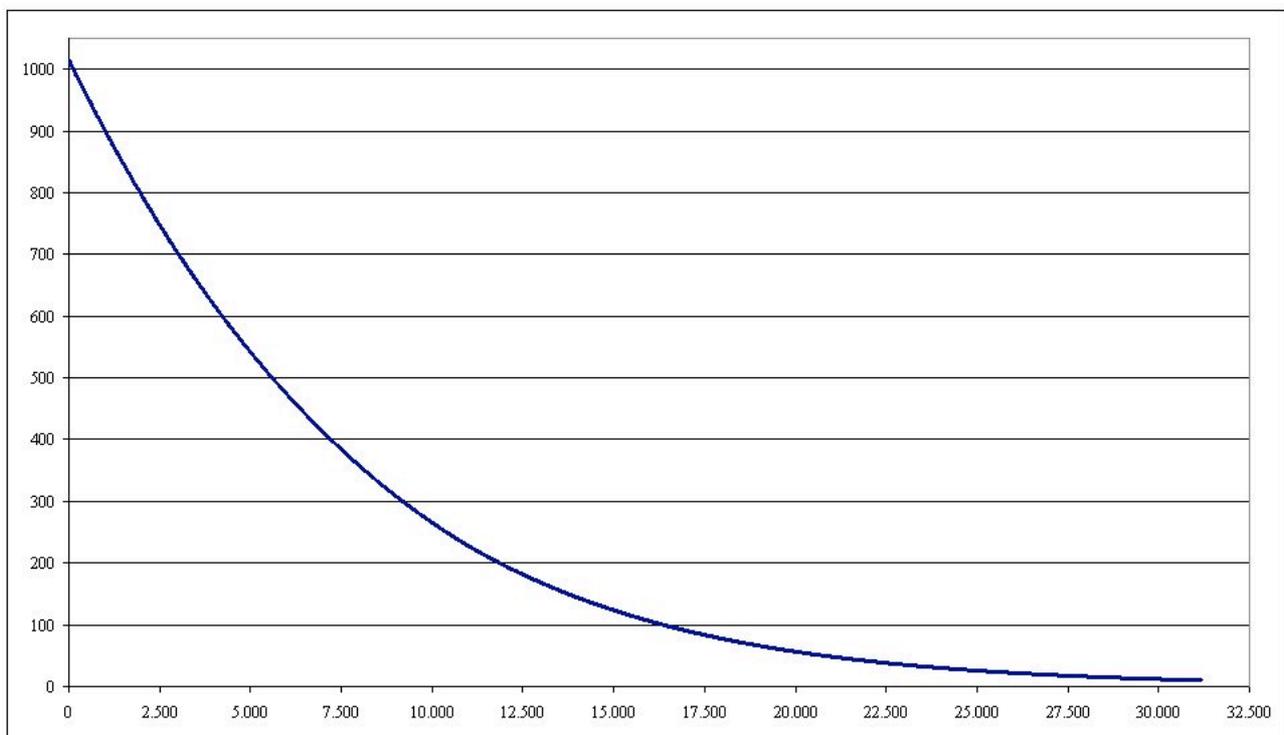
Diskussion der Messergebnisse, 2013:

Für die von uns eingesetzten Geräte bzw. Gerätekomponenten gibt es größtenteils keine Betriebserfahrungen unter Stratosphärenbedingungen. So ist jeder Flug diesbezüglich spannend, ob die Systeme ihre Aufgaben unter den extremen Druck- und Temperaturbedingungen, sowie mechanischen Beanspruchungen erfüllen werden.

Nachfolgend werden die Messergebnisse, jeweils über Höhe, vorgestellt für:

1. **Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit**
2. **HCHO, MeOH (Dräger-Sensor XXS OV - Formaldehyd, Methanol, ...)**
3. **NO₂ (Dräger-Sensor XXS NO₂)**
4. **O₃ (Dräger-Sensor XXS Ozon)**
5. **Brunt-Väisälä-Frequenz**
6. **Höhenstrahlung (LND 712 End Window- α - β - γ Detector)**

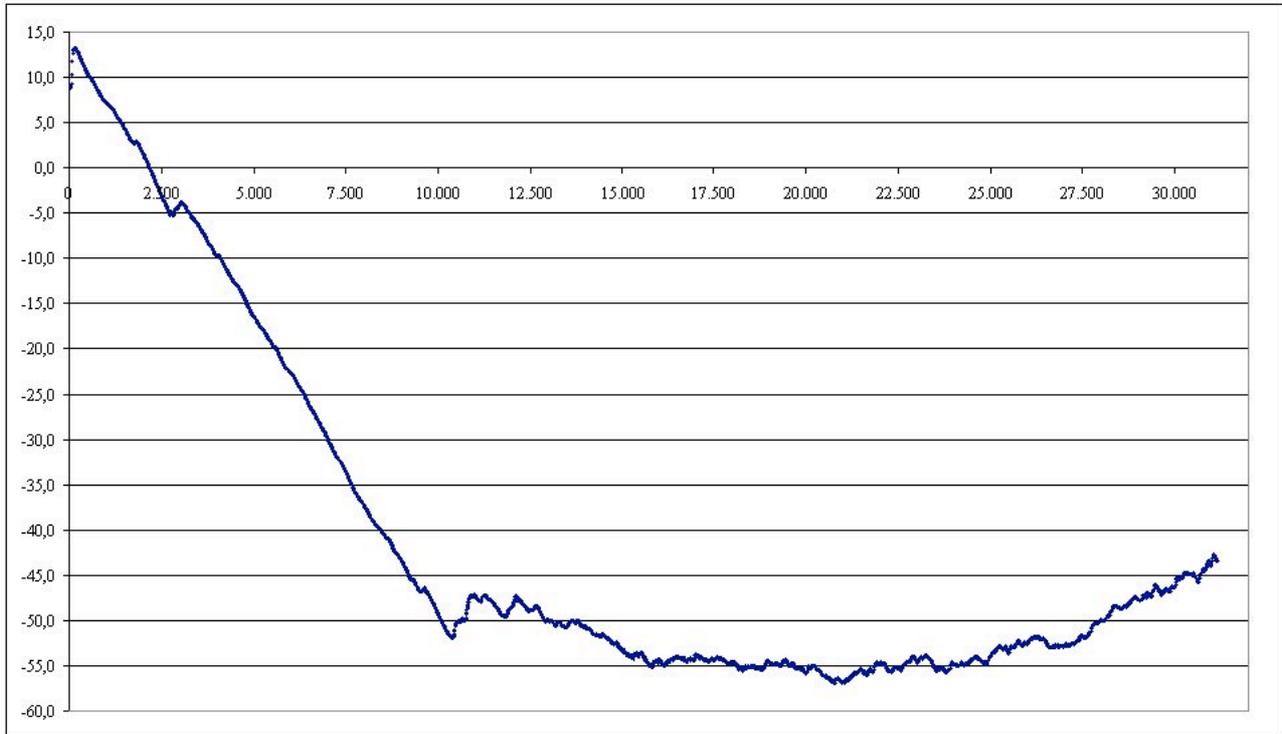
1. Druck



Druck [hPa] / Höhe [m]

Das Diagramm zeigt den exponentiellen Druckabfall entsprechend der barometrischen Höhenformel.

1. Temperatur



Temperatur [°C] / Höhe [m]

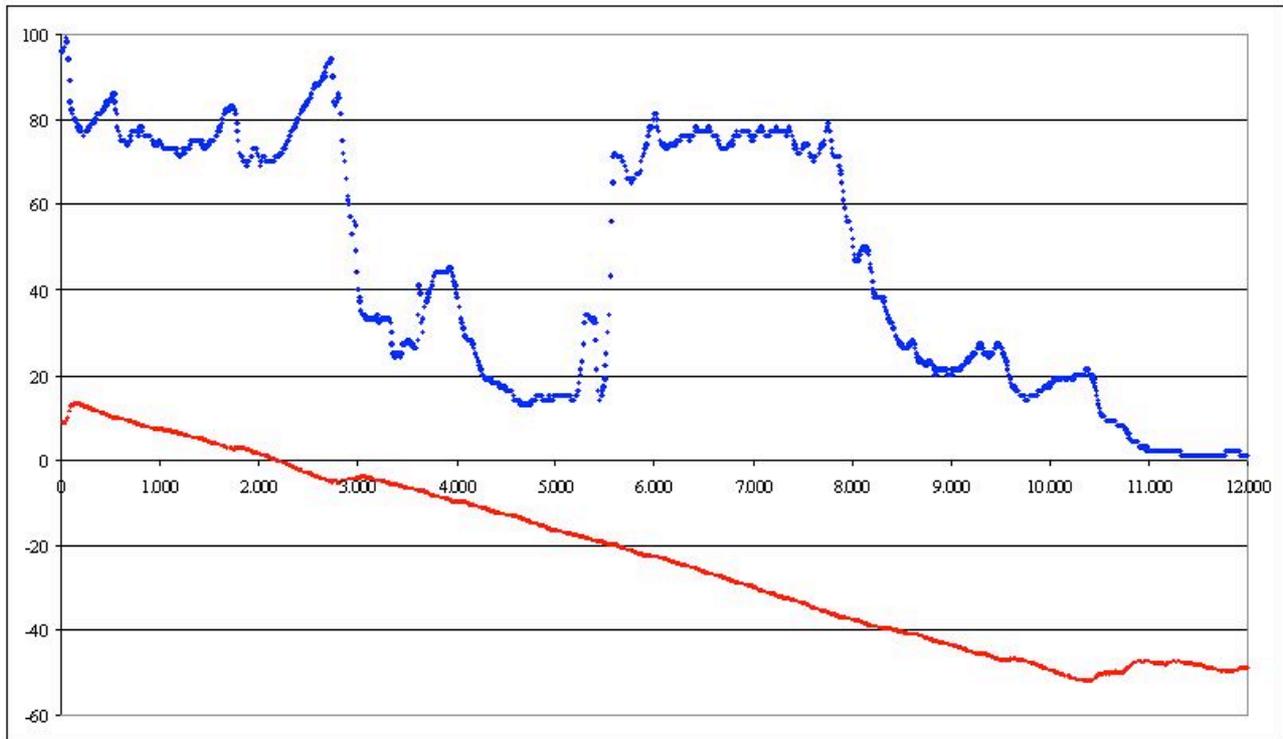
Das Diagramm zeigt ausgeprägte Temperaturinversionen bei 2.500m und 10.000m. Äußerst schwach sind diese bei 3.500m und 6.000m ausgeprägt - im Vergleich zu anderen Jahreszeiten. Von 15.000 bis 25.000 Höhenmetern herrschen äußerst tiefe Temperaturen. Dies sind Vorboten der Windwirbel, die sich im Nordwinter circumpolar ausbilden. Mit dem Transport der von uns gemessenen NO_2 -Werte, s.u., entstehen in den Polarregionen die bekannten PSCs^3 , auch Perlmutterwolken genannt. Es handelt sich hierbei um salpetersäurehaltige Kristalle $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}^4$.

Eine Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen bewirkt eine Abkühlung der Stratosphäre. Ein möglicher Abbau von Ozon verläuft in diesem Bereich nun deutlich verlangsamt, sodass der Ozongehalt zunehmen kann. Mit dem Ende der Ozonschicht bei 21.000m erhöht sich die Temperatur der Stratosphäre wieder.

³ Polar Stratospheric Clouds, „stratosphärische Eiswolken“

⁴ NAT: Nitric Acid Trihydrate; Salpetersäure-Trihydrat

1. Temperatur - Luftfeuchtigkeit



Rel. Luftfeuchtigkeit [%] / Temperatur [°C] / Höhe [m]

Das Diagramm zeigt das Zusammenspiel von Temperatur und Luftfeuchtigkeit deutlich.

Wolken entstehen, wenn die Luftfeuchtigkeit ihren Sättigungspunkt überschreitet. Es kommt zur Kondensation der Wassermoleküle, Wärmeenergie wird frei. In den Höhen der Tropopause und Stratosphäre, bei Temperaturen von -50°C , kann sich der Wasserdampf auch direkt zu Eiskristallen durch Resublimation umwandeln.

Die Videoaufzeichnungen zeigen an diesem Tag haufenförmige Stratosbewölkung bei 3.000m, schichtförmige, wellenartige Altocumulusbänder bei 5.000m, sowie eine singuläre Cumulus lenticularis, Hinweis einer orographisch bedingten Welle - bei NNW-Strömung vermutlich den schottischen Highlands entspringend, und schließlich Cirruswolken bei 7.000m bis 10.000m.

Mit dem Übergang in die Stratosphäre nimmt die Moleküldichte des Wassers schlagartig ab und ist nun mit unserer Radiosonde nicht mehr messbar. Das heißt aber nicht, dass keine H_2O Moleküle mehr vorhanden sind, wie oben bereits am Beispiel der PSCs erläutert wurde.

Hier sublimieren auch die Eiskristalle auf unserer Kameralinse und machen den Blick wieder frei.

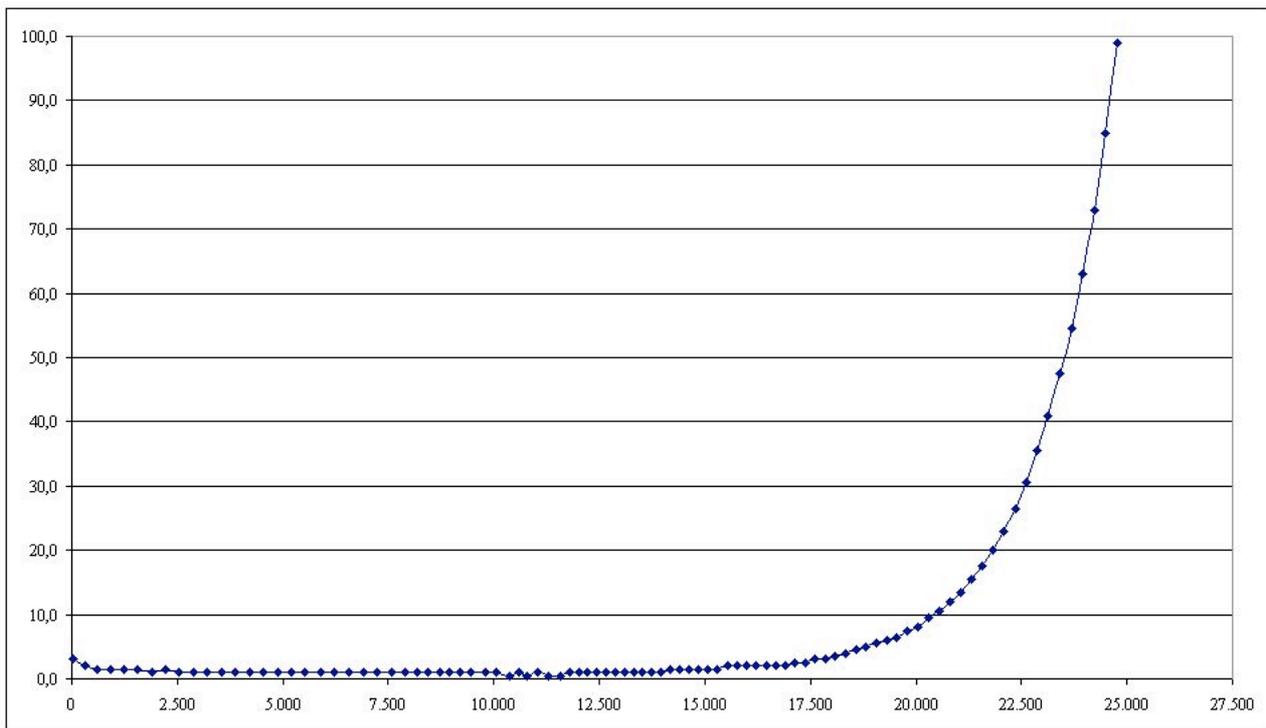
2. HCHO - Werte:

Die Konzentration an oxidierten Kohlenwasserstoffen nimmt mit dem Eintritt in die Stratosphäre exponentiell zu. Insgesamt entspricht der Kurvenverlauf während des Fluges, bis zum Erreichen des vom Sensor erfassbaren Maximalwertes, einer exponentiellen Funktion.

Einerseits ist bekannt, dass durchaus organische Verbindungen aus dem Weltraum, wie beispielsweise Formaldehyd, Methanol etc., zur Erde gelangen, aber andererseits ist auch ein Diffundieren von terrestrischem Methan in solche atmosphärischen Höhen vorstellbar.

Wenn man bedenkt, dass nicht nur bei der Erdgasförderung, sondern auch aus natürlichen oder vom Menschen angelegten Sümpfen, beispielsweise Reisfeldern, oder riesigen Rinder- und Schafherden Methangas entweichen kann, dann könnte dieses hydrophobe Gas durchaus die Tropopause in 11.000m überschreiten und durch die Höhenstrahlung aktiviert, mit Sauerstoff oder Hydroxylradikalen zu o.g. Molekülen reagieren.

Weitere Messflüge mit CH₄-, CO- und CO₂- Sensoren an Bord werden dahingehend für Aufklärung sorgen^{5 6 7}.



HCHO-Werte [ppmv] / Höhe [m]

⁵ E. Peters et al: Formaldehyde and nitrogen dioxide over the remote western Pacific Ocean: SCIAMACHY and GOME-2 validation using ship-based MAX-DOAS observations, Institute of Environmental Physics, Bremen

⁶ A. Stickler: HCHO, H₂O₂ und CH₃COOH in der Troposphäre, Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz

⁷ ESA, TEMIS: Nitrogen dioxide and Formaldehyde

Die gemessenen **Stickstoffdioxid-** sowie die **Ozon-Werte** entsprechen sowohl den in der Literatur angegebenen Werten^{8,9,10}, als auch den veröffentlichten Messungen des Satelliten Nimbus 7 des *NEODC*¹¹ (National Earth Observation Data Center) .

Beim ersten Betrachten des NO_2/O_3 - Diagramms ist der parallele Verlauf der beiden Konzentrationen augenfällig. Der erste Gedanke, dass die Sensoren auf beide Spurengase gleichermaßen reagiert haben ist somit naheliegend. Doch eine nähere Untersuchung der Kurvenverläufe zeigt signifikante Unterschiede, die nachfolgend diskutiert werden sollen.

In der Troposphäre sind die Ozonwerte ab der ersten Temperaturinversion, bei 2.500m, über den NO_2 -Werten, kehren sich dann aber endgültig in der Stratosphäre um.

Der Verlauf der Ozonkonzentration, das photochemisch gebildet wird, verhält sich prinzipiell erwartungsgemäß, indem das Maximum in der Stratosphäre im Bereich von 20.000m liegt. Die Werte liegen aber unter den gemessenen NO_2 -Konzentrationen.

3. NO_2 - Werte:

Die Stickstoffdioxid-Werte zeigen in der Troposphäre zwei eng begrenzte Peaks bei ca. 5.000m (Cumuluswolken) und ca. 9.000m (Cirruswolken). Wenn man berücksichtigt, dass Stickstoffdioxid mit Wasser durch saure Hydrolyse zur Salpetersäure reagiert, kann man die beiden Peaks an den troposphärischen Inversionsschichten dem zuordnen. Der rasante Konzentrationsanstieg auf das beinahe 10-fache in der Stratosphäre muss aber andere Ursachen haben.

Dieses NO_2 könnte wahrscheinlich aus anderen Quellen, wie beispielsweise dem Lachgas, N_2O , oder Stickstoffmonoxid, NO , entstammen. Schon 1970 nannte *Paul J. Crutzen*¹² NO und NO_2 als die wichtigsten Katalysatoren, die das stratosphärische Ozon abbauen. Als Quelle befand er N_2O , das größtenteils aus mikrobiologischen Abbauprozessen überdüngter Böden stammt. Ferner sind aber auch als Emissionsquelle für N_2O Kraftfahrzeuge denkbar, die mit H_2 -SCR-Technik (*Selective Catalytic Reduction*) ausgestattet sind.

Schließlich kann auch NO direkt durch Flugzeugemissionen in die Stratosphäre eingebracht werden. Für NO_x - Auswaschungen in dieser Höhe ist die Luftfeuchte-Gehalt messbar zu gering.

Interessant ist, dass nach Verlassen der Ozonschicht weiterhin noch NO_2 -Werte in Konzentrationen messbar sind, die den Troposphären-Werten entsprechen.

⁸ T. E. Graedel / Paul J. Crutzen, Chemie der Atmosphäre, Spektrum Akad. Verlag, 1994

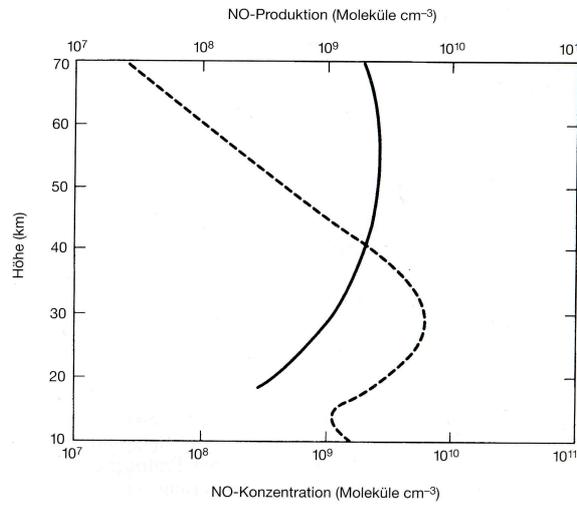
⁹ Reinhard Zellner, Chemie über den Wolken, Wiley-VCH, 2011

¹⁰ Max-Planck-Institut für Aeronomie: Spurenstoffe in der Stratosphäre, Forschungsinfo 11/98

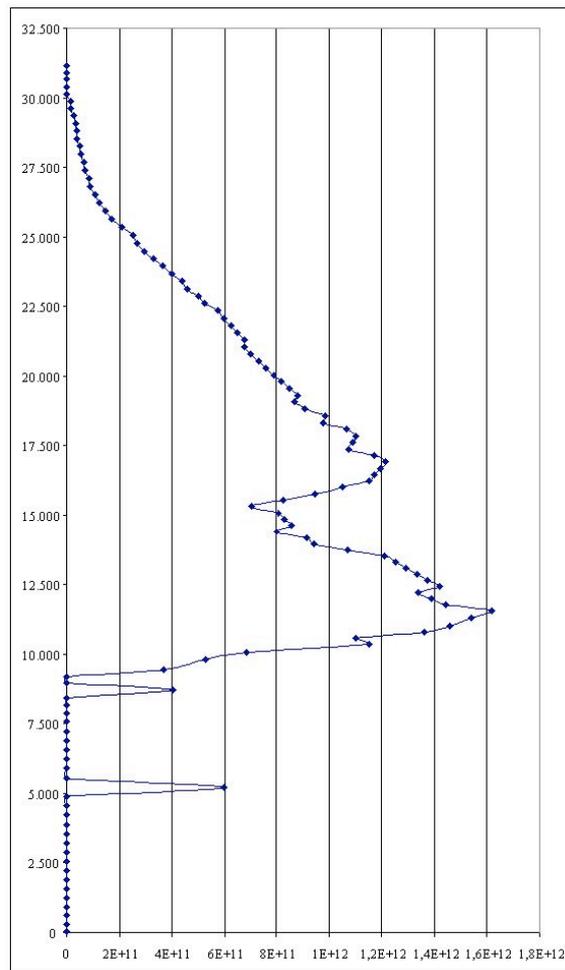
¹¹ www.neodc.rl.ac.uk/ oder ESA, TEMIS: Nitrogen dioxide and Formaldehyde

¹² Paul J. Crutzen, niederländischer Meteorologe, 1995 Nobelpreis für Chemie.

Die folgenden beiden Diagramme zeigen NO_x -Konzentrationen in n/cm^3 .



P. Crutzen: Die Hintergrundkonzentration von NO in hohen geomagnetischen Breiten (>55°), 1972



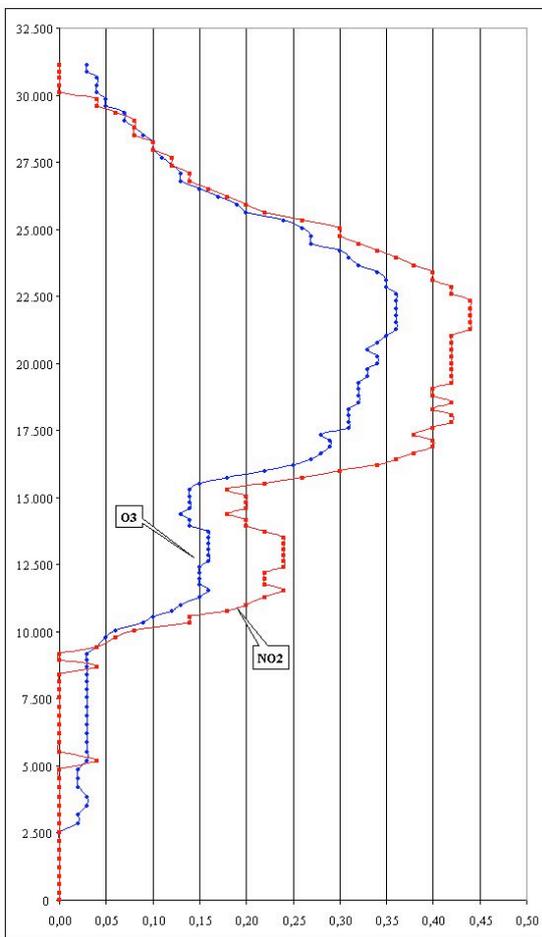
unsere Messung

Höhe [m] / NO_2 -Werte [n/cm^3]

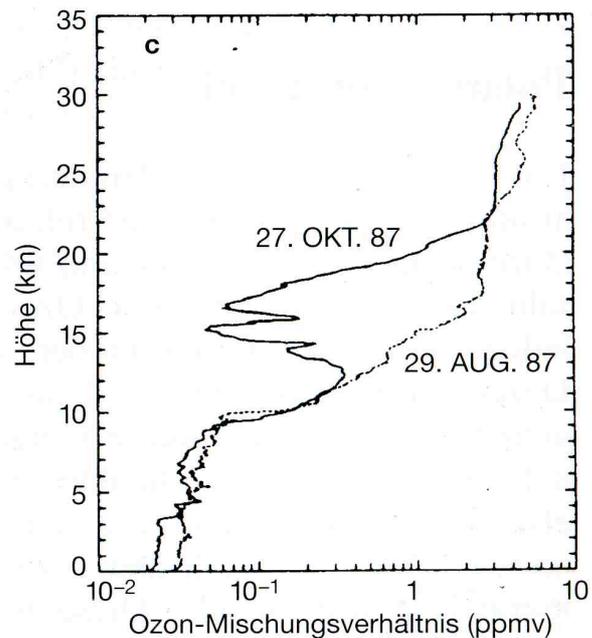
4. O₃ - Werte:

Ozon spielt eine zentrale Rolle in der Stratosphärenchemie. Obwohl es dort nur mit maximal 10 Molekülen pro einer Million Luftmoleküle vorhanden ist, schützt es durch Absorption schädlicher UV-Strahlung biologische Prozesse auf der Erde.

In den nachfolgenden beiden Diagrammen vergleichen wir unserer Messwerte mit den veröffentlichten Ergebnissen von *Paul J. Crutzen*.



Höhe [m] / O₃ / NO₂-Werte [ppmv]



McMurdo-Observatorium, Antarktis, ER-2-Flüge, 1987¹³

Während unsere Messungen eine Momentaufnahme des 12. Sept. 2013 auf der Nordhalbkugel bei 55° n.B. darstellen, hat *Crutzen* ein Ozonloch über der Antarktis aufgezeichnet.

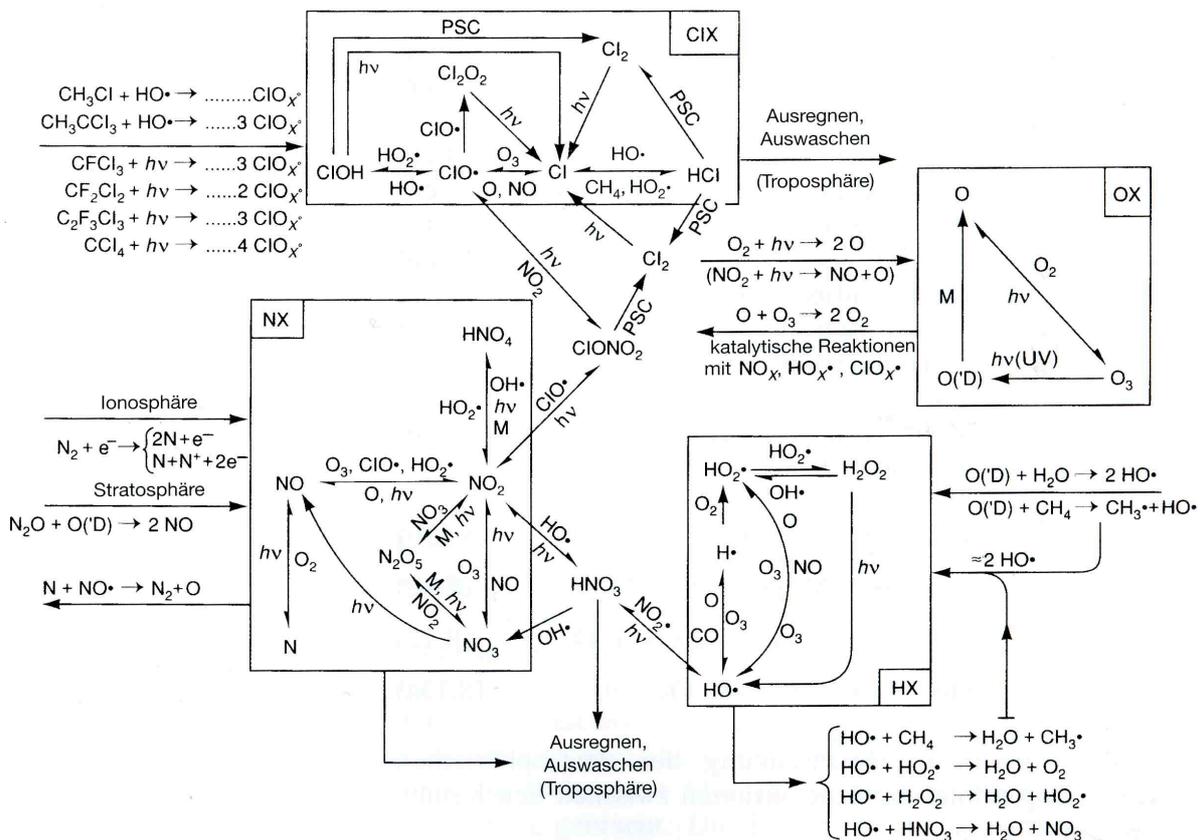
¹³ Journal of Geophysical Research 94, 16527-16536, 1989

Die Ozon-Werte zeigen zunächst eine kleine Senke vor 5.000m, um dann beim Übertritt in die Stratosphäre rasant auf den 6-fachen Wert anzusteigen. Nach einer weiteren Senke in 15.000m, die wir nicht erklären können, steigen sie kontinuierlich zum Maximum in 22.500m an, fallen dann aber schlagartig in 30.000m Höhe auf 0 ppm zurück.

In dieser Höhe finden wir noch eine Moleküldichte der Luft von $3,2 \cdot 10^{17} \text{ n/cm}^3$. Im Vergleich dazu herrschen am Boden unter Normalbedingungen, NB¹⁴: $2,7 \cdot 10^{19} \text{ n/cm}^3$.

In dem folgenden Wirkungsgefüge hat Crutzen die Komplexität der stratosphärischen Reaktionsvielfalt dargestellt, welche für den Ozonabbau verantwortlich ist.

Hier finden sich außer dem von uns gemessenen NO₂ auch Halogen-Radikale, die halogenierten Kohlenwasserstoffen entstammen. Weitere Messflüge mit entsprechenden Sensoren an Bord werden dahingehend für Aufklärung sorgen.



¹⁴ NB - Normalbedingungen : $p = 1013\text{hPa}$; $T = 273,16\text{K}$; $n = 6,023 \cdot 10^{23}$; Molvolumen = $22,4136 \text{ L}$

5. Brunt-Väisälä-Frequenz:

Der thermodynamische Zustand eines Gases lässt sich punktuell in einem p,V-Diagramm angeben. Er ließe sich auch über eine Kombination der variablen Größen p, T und ΔV beschreiben. Auf diese Weise können aus den Messdaten der Radiosonde die Wolkenbasis oder die Wahrscheinlichkeit von Schauern und Gewittern bestimmt werden.

Beim Wettergeschehen spielen Vertikalbewegungen eine wichtige RolleT.

Ein definiertes Luftvolumen reagiert nun auf Kräfte, die durch sich ändernde p,T-Bedingungen hervorgerufen werden, indem es seinen Zustand solange ändert, bis es eine neue Ruhelage findet.

Um diese schwingt es mit der Frequenz N und mit der **Brunt-Väisälä-Periode** $T = 2\pi / N$.

Man kann nun für N drei Fälle formulieren:

1. $N^2 = 0$ neutrale Lage, einheitliche Höhe
2. $N^2 > 0$ stabile Verlagerung, zunehmende Höhe
3. $N^2 < 0$ instabile Verlagerung, abnehmende Höhe

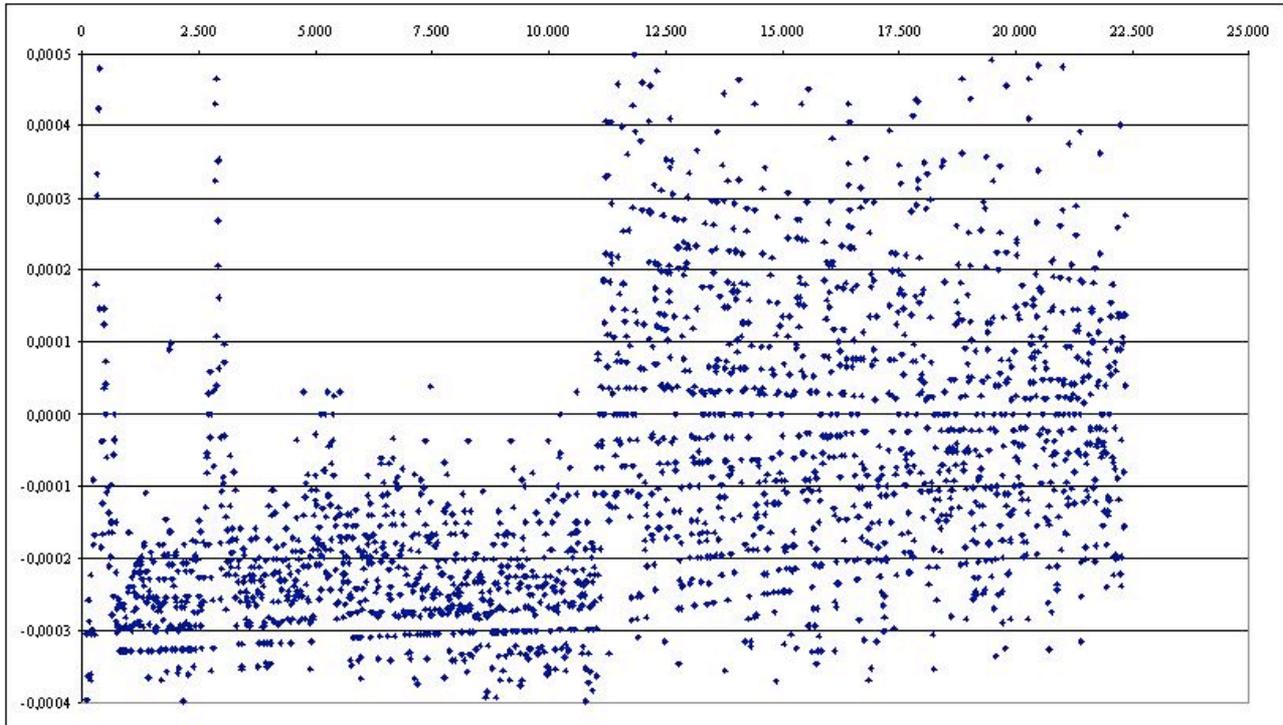
Werte am 05. 07. 2013			
Höhe [m] Inversionsgrenze	$N^2 > 0$	$N^2 < 0$	Verhältnis stabil : labil
bis Tropopause 13.386	69	905	1 : 13,0
Stratosphäre 13.392	1.085	1.262	1 : 1,16
Werte am 12. 09. 2012			
Höhe [m] Inversionsgrenze	$N^2 > 0$	$N^2 < 0$	Verhältnis stabil : labil
bis Tropopause 11.149	44	1.012	1 : 23,0
Stratosphäre 11.157	611	647	1 : 1,06

Die Tabelle zeigt einen Vergleich der beiden Flüge von 2013 und 2012 bzgl. der ermittelten Häufigkeiten der Frequenzen N für die Troposphäre bzw. die Stratosphäre.

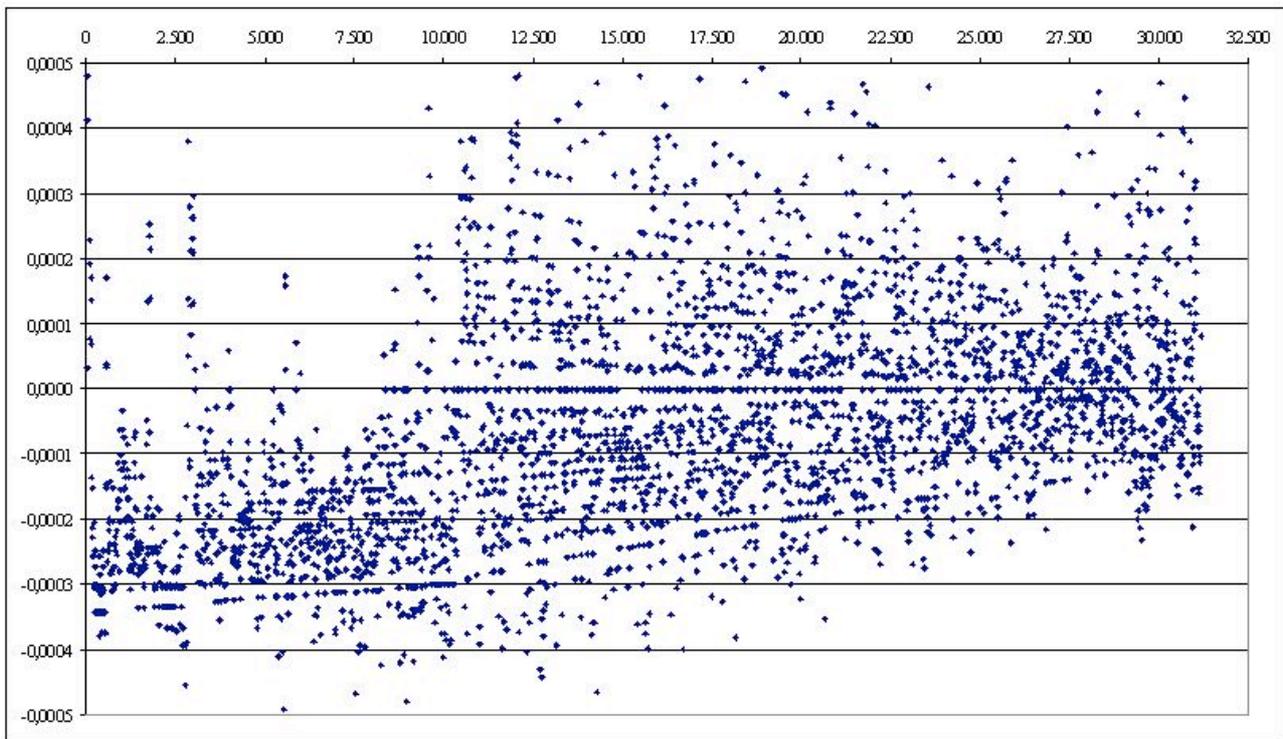
Die Werte zeigen in 2013 eine geringere Instabilität in der Troposphäre gegenüber 2012.

Dagegen ist 2013 die Instabilität in der Stratosphäre gegenüber 2012 erkennbar größer. Das mit dem Beginn des Herbstes sich vergrößernde Druckgefälle zwischen den Tropen und den Polargebieten konzentriert sich deutlich in der planetarischen Frontalzone.

Die beiden Diagramme veranschaulichen die Brunt-Väisälä-Frequenzen.



Flug - 2012



Flug - 2013

6. Höhenstrahlung:

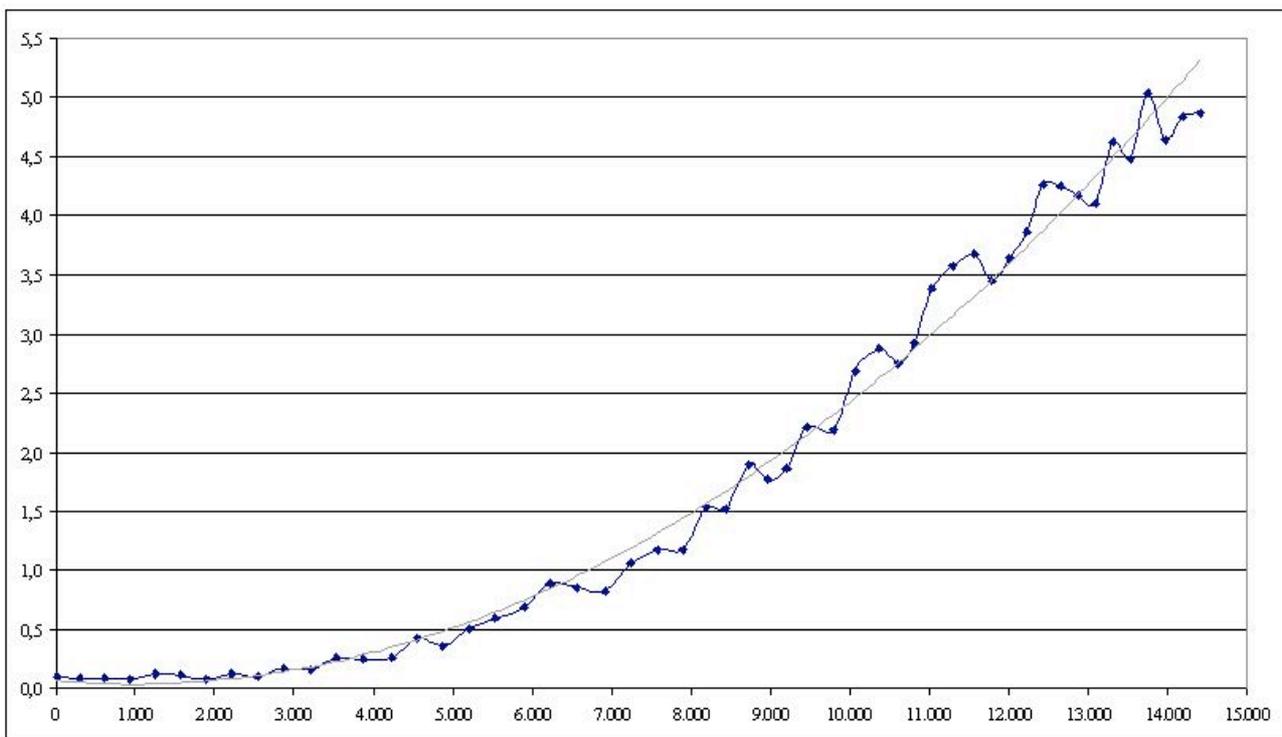
Die Höhenstrahlung macht einen Teil der natürlichen Strahlung aus, der die Menschheit schon immer ausgesetzt ist. In Meereshöhe beträgt ihr Wert ca. 300 μSv pro Jahr. Den größten Beitrag zur natürlichen Strahlenbelastung in Deutschland liefert mit durchschnittlich 1.100 μSv pro Jahr das Radon, ein radioaktives Edelgas, das z. B. von granithaltigem Gestein abgegeben wird, und das über die Atemluft aufgenommen wird. Zusätzlich wirkt die terrestrische Strahlung auf uns ein, die im Mittel jährlich 400 μSv beträgt¹⁵.

Dabei betrachten wir unsere Vorgehensweise durchaus selbstkritisch.

Wer sich schon einmal mit Strahlungsmessung auseinander gesetzt hat, kennt die Komplexität. Mittels eines β -Strahlers nahmen wir, vergleichend mit einem Messwerten eines kommerziellen Geiger-Müller-Zählrohres einen Abgleich unserer Messeinrichtung vor.

Die Messergebnisse entsprechen allerdings durchaus den in der Literatur angegebenen Werten.

Nach den Ergebnissen entspricht die Kurve Strahlenbelastung einer quadratischen Funktion.



Höhenstrahlung [mSv/h] / Höhe [m]

¹⁵ Bundesamt für Strahlenschutz

Schiller - Gymnasium, Offenburg

Anhang:

1. Gerätebeschreibung: Dräger X-am 5000
Sensor XXS NO₂
Sensor XXS OV
Sensor XXS Ozon
2. Gerätebeschreibung: Geiger Counter SEN-11345
LND Zählrohr 712
3. Messdaten von: 1. und 2.

1. Dräger X-am 5000 und Pumpe 1 / 2 / 5000



Die Messgeräte nach der erfolgreichen Landung am Fallschirm

Dräger X-am 5000 und Pumpe 1 / 2 / 5000

X-am 5000	Gerätebeschreibung
Mögliche Sensorbestückung	Flexibel 1 bis 4 Sensoren Ein katalytischer Sensor und 3 XXS EC Sensoren
XXS EC Sensoren	Amine, O ₂ , CO, CO HC, COCl ₂ , H ₂ S, H ₂ S LC, H ₂ S HC, CO ₂ , Cl ₂ , HCN, NH ₃ , NO, NO ₂ LC, NO₂ , Ozon , PH ₃ , PH ₃ HC, SO ₂ , OV , OV-A, H ₂ S/CO, CO H ₂ (kompensiert), H ₂ , H ₂ HC, Odorant
Datenspeicher	auslesbar über IR ca. 1000 h bei 4 Gasen und einem Aufzeichnungsintervall von 1 Wert pro Minute

TECHNISCHE DATEN		
Maße (B x H x T) (mm)		47 x 129 x 31
Gewicht		200 g
Betriebsbedingungen:		
Temperatur (°C)		-20 bis +50
Druck (mbar)		700 bis 1300
Feuchtigkeit (% r. F.)		10 bis 95
IP-Schutz		IP 67
Alarm Optisch		180°
Alarm Akustisch (dB)		Multiton > 90 in 30 cm
Alarm Vibration		ja
Versorgungseinheit		T4 Akku Pack, NiMH 2,4 V 2,1 Ah
Betriebszeiten (h)		ca. 10
Ladezeiten (h)		<4
externe Pumpe: Dräger X-am 1/2/5000		360 g 3 x Lithium Mignon AA 1,5V Schlauchlänge 20 cm

DrägerSensor® XXS NO₂

TECHNISCHE DATEN

Nachweisgrenze:	0,2 ppm
Auflösung:	0,1 ppm
Messbereich:	0 bis 50 ppm NO ₂ (Stickstoffdioxid)
Ansprechzeit:	≤ 15 Sekunden bei 20 °C (T ₉₀)
Messgenauigkeit	
Nullpunkt:	≤ ± 0,2 ppm
Empfindlichkeit:	≤ ± 2 % des Messwertes
Langzeitdrift, bei 20 °C (68 °F)	
Nullpunkt:	≤ ± 1 ppm/Jahr
Empfindlichkeit:	≤ ± 2 % des Messwertes/Monat
Einlaufzeit:	≤ 15 Minuten
Umgebungsbedingungen	
Temperatur:	(-30 bis 50) °C (-22 bis 122) °F
Feuchte:	(10 bis 90) % r. F.
Druck:	(700 bis 1300) hPa
Temperatureinfluss	
Nullpunkt:	≤ ± 1 ppm
Empfindlichkeit:	≤ ± 5 % des Messwertes
Feuchteinfluss	
Nullpunkt:	kein Einfluss
Empfindlichkeit:	≤ ± 0,2 % des Messwertes/% r. F.
Prüfgas:	ca. 5 bis 10 ppm NO ₂

RELEVANTE QUEREMPFINDLICHKEITEN

Gas / Dampf	Chem. Symbol	Konzentration	Anzeige in ppm NO ₂
Ammoniak	NH ₃	50 ppm	kein Einfluss
Chlor	Cl ₂	10 ppm	≤ 5
Chlorwasserstoff	HCl	20 ppm	≤ 10 ⁽⁻⁾
Cyanwasserstoff	HCN	60 ppm	≤ 10 ⁽⁻⁾
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	250 ppm	kein Einfluss
Ethin	C ₂ H ₂	100 ppm	≤ 10 ⁽⁻⁾
Kohlendioxid	CO ₂	1,5 Vol.-%	kein Einfluss
Kohlenmonoxid	CO	200 ppm	kein Einfluss
Methan	CH ₄	1 Vol.-%	kein Einfluss
Ozon	O ₃	0,5 ppm	kein Einfluss
Phosphin	PH ₃	1 ppm	≤ 4 ⁽⁻⁾
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	20 ppm	≤ 100 ⁽⁻⁾
Schwefeldioxid	SO ₂	20 ppm	≤ 20 ⁽⁻⁾
Stickstoffmonoxid	NO	20 ppm	kein Einfluss
Wasserstoff	H ₂	1000 ppm	kein Einfluss

DrägerSensor® XXS OV

TECHNISCHE DATEN

Nachweisgrenze:	1 ppm
Auflösung:	0,5 ppm
Messbereich:	0 bis 200 ppm C ₂ H ₄ O (Ethylenoxid)
	0 bis 200 ppm C ₃ H ₆ O (Propylenoxid)
	0 bis 100 ppm C ₂ H ₄ (Ethen)
	0 bis 100 ppm C ₃ H ₆ (Propen)
	0 bis 100 ppm C ₂ H ₃ Cl (Vinylchlorid)
	0 bis 200 ppm CH ₃ OH (Methanol)
	0 bis 100 ppm CH ₂ CHCHCH ₂ (Butadien)
	0 bis 100 ppm HCHO (Formaldehyd)
	0 bis 300 ppm (H ₃ C) ₂ CHOH (Iso-Propanol)
	0 bis 200 ppm C ₄ H ₈ O (Tetrahydrofuran)
	0 bis 100 ppm C ₂ H ₃ OCH ₂ Cl (1-Chlor-2,3 Epoxypropan)
	0 bis 100 ppm C ₆ H ₅ CHCH ₂ (Styrol)
	0 bis 100 ppm H ₂ CC(CH ₃)COOCH ₃ (Methylmethacrylat)
Ansprechzeit:	≤ 20 Sekunden bei 20°C (T ₅₀)
Messgenauigkeit	
Nullpunkt:	≤ ± 3 ppm
Empfindlichkeit:	≤ ± 5 % des Messwertes
Langzeitdrift, bei 20 °C (68 °F)	
Nullpunkt:	≤ ± 5 ppm/Jahr
Empfindlichkeit:	≤ ± 2 % des Messwertes/Monat
Einlaufzeit:	≤ 18 Stunden
Umgebungsbedingungen	
Temperatur:	(-20 bis 50) °C (-4 bis 122) °F
Feuchte:	(10 bis 90) % r. F.
Druck:	(700 bis 1300) hPa
Temperatureinfluss	
Nullpunkt:	± 2 ppm bei (-20 bis 40) °C (-4 bis 104) °F
Nullpunkt:	± 0,5 ppm/K bei (40 bis 50) °C (104 bis 122) °F
Empfindlichkeit:	≤ ± 1 % des Messwertes/K
Feuchteinfluss	
Nullpunkt:	kein Einfluss
Empfindlichkeit:	≤ ± 0,2 % des Messwertes/% r. F.

(-) negative Anzeige

RELEVANTE QUEREMPFLINDLICHKEITEN

Gas / Dampf	Chem. Symbol	Konzentration	Anzeige in ppm C ₂ H ₄ O
Acetaldehyd	CH ₃ CHO	55 ppm	≤ 15
Acrylnitril	H ₂ CCHCN	80 ppm	≤ 15
Ammoniak	NH ₃	100 ppm	Kein Einfluss
Benzol	C ₆ H ₆	2000 ppm	Kein Einfluss
Chlor	Cl ₂	10 ppm	Kein Einfluss
Chlorbenzol	C ₆ H ₅ Cl	200 ppm	Kein Einfluss
Chlorwasserstoff	HCl	20 ppm	≤ 5
Cyanwasserstoff	HCN	20 ppm	≤ 10
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	1000 ppm	Kein Einfluss
Diethylether	(C ₂ H ₅) ₂ O	100 ppm	≤ 60
Dimethylformamid	HCON(CH ₃) ₂	100 ppm	Kein Einfluss
Essigsäure	CH ₃ COOH	100 ppm	Kein Einfluss
Ethan	C ₂ H ₆	0,2 Vol.-%	Kein Einfluss
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	250 ppm	≤ 150
Ethin	C ₂ H ₂	100 ppm	≤ 150
Ethylacetat	CH ₃ COOC ₂ H ₅	100 ppm	Kein Einfluss
Isobuten	(CH ₃) ₂ CCH ₂	50 ppm	≤ 45
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	30 Vol.-%	Kein Einfluss
Kohlenstoffmonoxid	CO	100 ppm	≤ 44
Methan	CH ₄	2 Vol.-%	Kein Einfluss
Methylpentanon	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₃	500 ppm	Kein Einfluss
Phosgen	COCl ₂	50 ppm	Kein Einfluss
Schwefeldioxid	SO ₂	20 ppm	≤ 10
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	20 ppm	≤ 40
Stickstoffdioxid	NO ₂	20 ppm	≤ 2
Stickstoffmonoxid	NO	20 ppm	≤ 20
Tetrachlorethen	CCl ₂ CCl ₂	100 ppm	Kein Einfluss
Toluol	C ₆ H ₅ CH ₃	1000 ppm	Kein Einfluss
Trichlorethen	CHClCCl ₂	1000 ppm	Kein Einfluss
Vinylacetat	CH ₃ COOC ₂ H ₃	30 ppm	≤ 30
Wasserstoff	H ₂	1000 ppm	≤ 5
Xylol	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	0,2 Vol.-%	Kein Einfluss

DrägerSensor® XXS Ozon

TECHNISCHE DATEN

Nachweisgrenze:	0,02 ppm
Auflösung:	0,01 ppm
Messbereich:	0 bis 50 ppm O ₃ (Ozon)
Ansprechzeit:	≤ 10 Sekunden bei 20 °C (T ₅₀)
Messgenauigkeit	
Nullpunkt:	≤ ± 0,01 ppm
Empfindlichkeit:	≤ ± 3 % des Messwertes
Langzeitdrift, bei 20 °C (68 °F)	
Nullpunkt:	≤ ± 0,02 ppm/Jahr
Empfindlichkeit:	≤ ± 2 % des Messwertes/Monat
Einlaufzeit:	≤ 120 Minuten
Umgebungsbedingungen	
Temperatur:	(-20 bis 50) °C (-4 bis 122) °F
Feuchte:	(10 bis 90) % r. F.
Druck:	(700 bis 1300) hPa
Temperatureinfluss	
Nullpunkt:	kein Einfluss
Empfindlichkeit:	≤ ± 0,5 % des Messwertes/K
Feuchteinfluss	
Nullpunkt:	kein Einfluss
Empfindlichkeit:	≤ ± 0,1 % des Messwertes/% r. F.
Prüfgas:	Ozon, Funktionstests und Justierung sind auch mit dem Ersatzgas NO ₂ (5 ppm) möglich

RELEVANTE QUEREMPFFINDLICHKEITEN

Gas / Dampf	Chem. Symbol	Konzentration	Anzeige in ppm Ozon
Ammoniak	NH ₃	30 ppm	kein Einfluss
Arsin	AsH ₃	0,5 ppm	kein Einfluss
Chlor	Cl ₂	1 ppm	≤ 0,8
Chlordioxid	ClO ₂	1 ppm	≤ 0,8
Chlorwasserstoff	HCl	40 ppm	kein Einfluss
Cyanwasserstoff	HCN	50 ppm	kein Einfluss
Ethan	C ₂ H ₆	0,1 Vol.-%	kein Einfluss
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	250 ppm	kein Einfluss
Ethin	C ₂ H ₂	100 ppm	kein Einfluss
Hydrazin	N ₂ H ₄	1 ppm	kein Einfluss
Kohlendioxid	CO ₂	5 Vol.-%	kein Einfluss
Kohlenmonoxid	CO	2000 ppm	kein Einfluss
Methan	CH ₄	5 Vol.-%	kein Einfluss
Phosphin	PH ₃	0,5 ppm	kein Einfluss
Propan	C ₃ H ₈	1 Vol.-%	kein Einfluss
Schwefeldioxid	SO ₂	1 ppm	≤ 0,06 (-)
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	1 ppm	≤ 0,02 (-)
Stickstoffdioxid	NO ₂	1 ppm	≤ 0,5
Stickstoffmonoxid	NO	30 ppm	kein Einfluss
Wasserstoff	H ₂	0,1 Vol.-%	kein Einfluss

(-) negatives Vorzeichen der Abweichung

2. sparkfun Geiger Counter SEN-11345



Description: You talked, we listened, and we've revised our Geiger Counter board to address some of the most pressing concerns. This version features an improved voltage regulation circuit for the Geiger tube which has a much cleaner output. We've also modified the signal capture portion of the board so that it reads active high, allowing for more dependable counts that are less susceptible to fouling due to line capacitance. The new signal capture circuit also pushes the CPM limit to 100Hz!

This USB powered Geiger Counter is equipped with an ATmega328 that can be programmed in circuit using one of the programmers below. Simply plug the unit into USB (make sure you have FTDI drivers installed), open a terminal program to the correct COM port at 9600bps, and you will see random bits being generated from the random background radiation. Each bit generated (an ASCII byte 0 or 1) represents an actual event in the tube in real-time, so the output can be used to deduce CPM or what ever units you need. Here at SparkFun, on average, we get about 25 counts a minute. Want proof? Check out the live Geiger Counter feed from SparkFun headquarters. While you're at it, why not check out the random number generating Geiger counter tutorial?

Note: While the Geiger counter is powered and the switch is in the ON position, the board contains exposed high voltage components. In order to turn the unit off, you must flip the tube power switch to OFF while the USB cable is plugged in or while the board is still connected to your power supply. The reason being; when you move the switch into the OFF position, the high voltage lines are bled out through a resistor connected to ground, more information on this is in the tutorial.

A project box or enclosure is suggested. Do not touch the end window of the Geiger tube and do not to touch any conductive region inside the area marked HIGH VOLTAGE when the Geiger tube is powered ON. An enclosure is not absolutely necessary, but if you choose not use an enclosure, remember to be extra careful with the end window and high voltage regions.

The Geiger tube comes with a red boot to protect the end window during production, handling, and shipping. The boot should be removed if you need to detect alpha particles. However, you should still see activity from gamma and beta particles even with the boot on.

This product is controlled for export by the United States. Sending it to other countries may still be possible, but will require additional information prior to shipment.

Dimensions: 4.15"x1.75"x1" (w/o standoffs)

Features:

- 5V Logic
- Total Current 30mA
- LND712 Geiger Tube @ 560V
- ATmega328 Microcontroller
- FTDI USB Interface
- On Board Power and Status LEDs
- TTL (Active High) Output Pin from Tube

LND Zählrohr 712



Founded 1964

LND, INC.

3230 LAWSON BLVD., OCEANSIDE, NEW YORK 11572

E-mail: info@lndinc.com Web Site: <http://www.lndinc.com>
1-516-678-6141 Fax: 1-516-678-6704

Designers & Manufacturers of Nuclear Radiation Detectors

712 End Window-Alpha-Beta-Gamma Detector

GENERAL SPECIFICATIONS

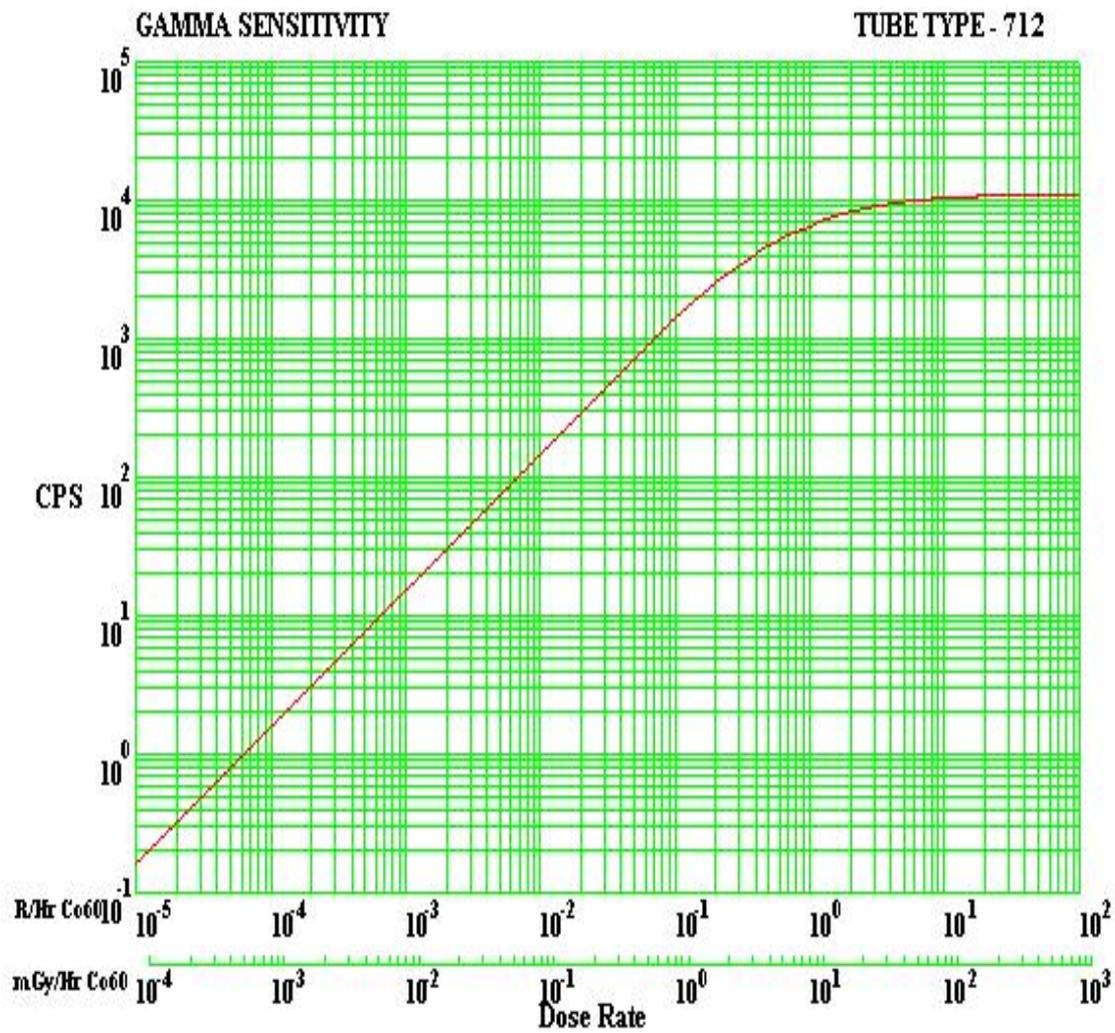
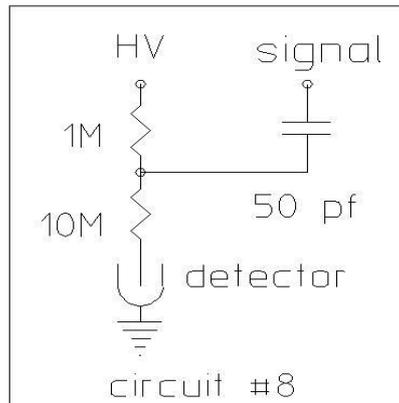
Gas filling	Ne +Halogen
Cathode material	446 Stainless Steel
Maximum length (inch/mm)	1.94/49.2
Effective length (inch/mm)	1.5/38.1
Maximum diameter (inch/mm)	0.59/15.1
Effective diameter (inch/mm)	0.36/9.1
Connector	Pin
Operating temperature range °C	-40 to +75

WINDOW SPECIFICATIONS

Areal density (mg/cm ²)	1.5 - 2.0
Effective diameter (inch/mm)	0.36/9.1
Material	Mica

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Recommended anode resistor (meg ohm)	10
Maximum starting voltage (volts)	325
Recommended operating voltage (volts)	500
Operating voltage range (volts)	450 - 650
Maximum plateau slope (%/100 volts)	6
Minimum dead time (micro sec)	90
Gamma sensitivity Co60 (cps/mr/hr)	18
Tube capacitance (pf)	3
Weight (grams)	8
Maximum background shielded 50mm Pb + 3mm Al (cpm)	10



Schiller - Gymnasium, Offenburg

3. Messdaten: X-am 5000 und Geiger-Counter

Zeit (s)	1013 hPa			273,16 K	Konzentration (ppm)			X-Ray		LND712		Molvol. kor.	Moleküldichte	Moleküldichte	Moleküldichte
	Höhe(m)	p [hPa]	T [°C]	T [K]	HCHO	O ₃	NO ₂	cpm	kor.	µSv/h	Höhe(m)	n. Gay-Lussac	n/cm ³	O ₃	NO ₂
0	19	1012,70	8,80	281,96	3,0	0,00	0,00	12	62	0,10	19	23137,04	2,60319E+19	0	0
60	304	978,84	12,13	285,29	2,0	0,00	0,00	11	61	0,09	304	24220,10	2,48678E+19	0	0
120	602	944,55	9,79	282,95	1,5	0,00	0,00	11	61	0,09	602	24893,49	2,41951E+19	0	0
180	925	908,37	7,54	280,70	1,5	0,00	0,00	10	60	0,08	925	25679,15	2,34548E+19	0	0
240	1246	873,63	6,02	279,18	1,5	0,00	0,00	15	65	0,12	1246	26555,70	2,26806E+19	0	0
300	1568	839,82	3,85	277,01	1,5	0,00	0,00	14	64	0,11	1568	27410,08	2,19737E+19	0	0
360	1896	806,56	2,45	275,61	1,0	0,00	0,00	10	60	0,08	1896	28396,14	2,12106E+19	0	0
420	2215	775,18	-0,31	272,85	1,5	0,00	0,00	15	65	0,12	2215	29249,77	2,05916E+19	0	0
480	2539	744,26	-3,42	269,74	1,0	0,00	0,00	13	63	0,11	2539	30117,69	1,99982E+19	0	0
540	2882	712,50	-4,54	268,62	1,0	0,02	0,00	21	71	0,17	2882	31329,57	1,92246E+19	3,84493E+11	0
600	3206	683,84	-4,75	268,41	1,0	0,02	0,00	19	69	0,15	3206	32617,09	1,84658E+19	3,69316E+11	0
660	3542	655,09	-6,61	266,55	1,0	0,03	0,00	32	82	0,26	3542	33812,61	1,78129E+19	5,34386E+11	0
720	3869	628,12	-8,83	264,33	1,0	0,03	0,00	31	81	0,25	3869	34970,74	1,7223E+19	5,16689E+11	0
780	4222	600,04	-10,91	262,25	1,0	0,02	0,00	32	82	0,26	4222	36319,20	1,65835E+19	3,3167E+11	0
840	4546	575,11	-13,01	260,15	1,0	0,02	0,00	53	103	0,43	4546	37590,14	1,60228E+19	3,20456E+11	0
900	4875	550,72	-15,48	257,68	1,0	0,02	0,00	44	94	0,36	4875	38882,21	1,54904E+19	3,09808E+11	0
960	5214	526,42	-17,72	255,44	1,0	0,03	0,04	62	112	0,50	5214	40323,44	1,49367E+19	4,48102E+11	5,97469E+11
1020	5531	504,45	-19,79	253,37	1,0	0,03	0,00	74	124	0,60	5531	41738,62	1,44303E+19	4,32908E+11	0
1080	5894	480,25	-22,15	251,01	1,0	0,03	0,00	84	134	0,68	5894	43433,48	1,38672E+19	4,16015E+11	0
1140	6220	459,36	-24,12	249,04	1,0	0,03	0,00	110	160	0,89	6220	45052,30	1,33689E+19	4,01067E+11	0
1200	6557	438,55	-26,63	246,53	1,0	0,03	0,00	106	156	0,86	6557	46714,50	1,28932E+19	3,86796E+11	0
1260	6911	417,46	-29,09	244,07	1,0	0,03	0,00	101	151	0,82	6911	48584,82	1,23969E+19	3,71906E+11	0
1320	7230	399,13	-31,83	241,33	1,0	0,03	0,00	130	180	1,06	7230	50245,59	1,19871E+19	3,59614E+11	0
1380	7579	379,83	-34,33	238,83	1,0	0,03	0,00	145	195	1,18	7579	52251,73	1,15269E+19	3,45807E+11	0
1440	7893	363,03	-36,75	236,41	1,0	0,03	0,00	145	195	1,18	7893	54115,83	1,11298E+19	3,33895E+11	0
1500	8183	348,06	-38,72	234,44	1,0	0,03	0,00	189	239	1,53	8183	55973,00	1,07605E+19	3,22816E+11	0
1560	8443	335,11	-40,01	233,15	1,0	0,03	0,00	187	237	1,52	8443	57816,14	1,04175E+19	3,12525E+11	0
1620	8721	321,68	-41,49	231,67	1,0	0,03	0,04	233	283	1,89	8721	59847,60	1,00639E+19	3,01917E+11	4,02556E+11
1680	8958	310,59	-43,14	230,02	1,0	0,03	0,00	218	268	1,77	8958	61543,07	9,78664E+18	2,93599E+11	0
1740	9192	299,94	-44,93	228,23	1,0	0,03	0,00	229	279	1,86	9192	63232,36	9,52519E+18	2,85756E+11	0
1800	9459	288,17	-46,54	226,62	1,0	0,04	0,04	272	322	2,21	9459	65350,74	9,21642E+18	3,68657E+11	3,68657E+11
1860	9797	273,84	-47,55	225,61	1,0	0,05	0,06	269	319	2,18	9797	68464,03	8,79732E+18	4,39866E+11	5,27839E+11
1920	10065	262,90	-49,85	223,31	1,0	0,06	0,08	331	381	2,69	10065	70586,01	8,53285E+18	5,11971E+11	6,82628E+11
1980	10364	251,08	-51,83	221,33	0,5	0,09	0,14	354	404	2,87	10364	73253,64	8,22212E+18	7,39991E+11	1,1511E+12
2040	10596	242,29	-50,09	223,07	1,0	0,10	0,14	338	388	2,74	10596	76507,97	7,87238E+18	7,87238E+11	1,10213E+12
2100	10799	234,86	-48,45	224,71	0,5	0,12	0,18	360	410	2,92	10799	79508,65	7,57528E+18	9,09033E+11	1,36355E+12
2160	11030	226,82	-47,51	225,65	1,0	0,13	0,20	416	466	3,38	11030	82671,35	7,28547E+18	9,47112E+11	1,45709E+12
2220	11293	217,96	-47,22	225,94	0,5	0,15	0,22	440	490	3,57	11293	86142,48	6,9919E+18	1,04879E+12	1,53822E+12
2280	11568	209,05	-48,45	224,71	0,5	0,16	0,24	452	502	3,67	11568	89325,05	6,74279E+18	1,07885E+12	1,61827E+12
2340	11788	202,17	-49,60	223,56	1,0	0,15	0,22	425	475	3,45	11788	91892,15	6,55442E+18	9,83163E+11	1,44197E+12
2400	12006	195,56	-48,56	224,60	1,0	0,15	0,22	449	499	3,65	12006	95440,07	6,31077E+18	9,46615E+11	1,38837E+12
2460	12222	189,25	-47,77	225,39	1,0	0,15	0,22	476	526	3,87	12222	98969,14	6,08574E+18	9,1286E+11	1,33886E+12
2520	12433	183,27	-48,91	224,25	1,0	0,15	0,24	524	574	4,25	12433	101681,54	5,9234E+18	8,88509E+11	1,42162E+12
2580	12651	177,31	-48,44	224,72	1,0	0,16	0,24	523	573	4,25	12651	105319,68	5,71878E+18	9,15005E+11	1,37251E+12
2640	12872	171,43	-49,95	223,21	1,0	0,16	0,24	513	563	4,17	12872	108200,15	5,56654E+18	8,90646E+11	1,33597E+12
2700	13094	165,69	-50,16	223,00	1,0	0,16	0,24	505	555	4,10	13094	111843,20	5,38522E+18	8,61635E+11	1,29245E+12
2760	13309	160,33	-50,24	222,92	1,0	0,16	0,24	569	619	4,62	13309	115540,77	5,21288E+18	8,34061E+11	1,25109E+12
2820	13522	155,16	-50,52	222,64	1,0	0,16	0,24	552	602	4,48	13522	119240,68	5,05113E+18	8,08181E+11	1,21227E+12

Schiller - Gymnasium, Offenburg

2880	13745	149,95	-50,21	222,95	1,0	0,16	0,22	620	670	5,03	13745	123555,49	4,87473E+18	7,79957E+11	1,07244E+12
2940	13972	144,81	-50,57	222,59	1,0	0,14	0,20	572	622	4,64	13972	127734,47	4,71525E+18	6,60135E+11	9,4305E+11
3000	14194	139,96	-51,45	221,71	1,5	0,14	0,20	596	646	4,84	14194	131638,33	4,57541E+18	6,40558E+11	9,15083E+11
3060	14410	135,37	-51,75	221,41	1,5	0,13	0,18	600	650	4,87	14410	135917,64	4,43136E+18	5,76077E+11	7,97645E+11
3120	14629	130,87	-52,02	221,14	1,5	0,14	0,20				14629	140419,76	4,28928E+18	6,005E+11	8,57856E+11
3180	14849	126,50	-52,51	220,65	1,5	0,14	0,20				14849	144948,74	4,15526E+18	5,81737E+11	8,31052E+11
3240	15076	122,12	-53,54	219,62	1,5	0,14	0,20				15076	149446,63	4,0302E+18	5,64228E+11	8,0604E+11
3300	15304	117,86	-54,06	219,10	1,5	0,14	0,18				15304	154481,67	3,89884E+18	5,45838E+11	7,01792E+11
3360	15539	113,63	-53,61	219,55	2,0	0,15	0,22				15539	160561,52	3,75121E+18	5,62682E+11	8,25266E+11
3420	15775	109,5	-55,04	218,12	2,0	0,18	0,26				15775	165532,16	3,63857E+18	6,54942E+11	9,46028E+11
3480	15998	105,75	-54,35	218,81	2,0	0,22	0,30				15998	171944,31	3,50288E+18	7,70633E+11	1,05086E+12
3540	16221	102,13	-54,60	218,56	2,0	0,25	0,34				16221	177835,46	3,38684E+18	8,4671E+11	1,15153E+12
3600	16452	98,51	-54,02	219,14	2,0	0,27	0,36				16452	184859,75	3,25815E+18	8,79699E+11	1,17293E+12
3660	16676	95,13	-54,20	218,96	2,0	0,28	0,38				16676	191270,64	3,14894E+18	8,81704E+11	1,1966E+12
3720	16908	91,75	-54,30	218,86	2,0	0,29	0,40				16908	198226,33	3,03845E+18	8,81149E+11	1,21538E+12
3780	17143	88,45	-54,13	219,03	2,5	0,29	0,40				17143	205781,72	2,92689E+18	8,48797E+11	1,17076E+12
3840	17379	85,24	-54,50	218,66	2,5	0,28	0,38				17379	213170,41	2,82544E+18	7,91123E+11	1,07367E+12
3900	17609	82,24	-54,09	219,07	3,0	0,31	0,40				17609	221360,86	2,7209E+18	8,43478E+11	1,08836E+12
3960	17852	79,18	-54,73	218,43	3,0	0,31	0,42				17852	229243,91	2,62733E+18	8,14473E+11	1,10348E+12
4020	18080	76,41	-54,74	218,42	3,5	0,31	0,42				18080	237543,54	2,53554E+18	7,86016E+11	1,06492E+12
4080	18325	73,53	-55,31	217,85	4,0	0,31	0,40				18325	246203,39	2,44635E+18	7,58369E+11	9,78541E+11
4140	18572	70,74	-54,96	218,20	4,5	0,32	0,42				18572	256324,85	2,34975E+18	7,51921E+11	9,86896E+11
4200	18816	68,08	-55,34	217,82	5,0	0,32	0,40				18816	265876,06	2,26534E+18	7,24909E+11	9,06136E+11
4260	19060	65,53	-54,74	218,42	5,5	0,32	0,40				19060	276983,09	2,1745E+18	6,9584E+11	8,698E+11
4320	19306	63,05	-54,87	218,29	6,0	0,32	0,42				19306	287706,57	2,09345E+18	6,69905E+11	8,7925E+11
4380	19542	60,77	-55,01	218,15	6,5	0,33	0,42				19542	298309,45	2,01904E+18	6,66285E+11	8,47999E+11
4440	19792	58,44	-55,36	217,80	7,5	0,33	0,42				19792	309705,34	1,94475E+18	6,41768E+11	8,16796E+11
4500	20033	56,27	-55,65	217,51	8,0	0,34	0,42				20033	321220,56	1,87504E+18	6,37512E+11	7,87515E+11
4560	20286	54,08	-55,30	217,86	9,5	0,34	0,42				20286	334766,38	1,79917E+18	6,11716E+11	7,55649E+11
4620	20542	51,95	-56,13	217,03	10,5	0,33	0,42				20542	347164,45	1,73491E+18	5,72521E+11	7,28663E+11
4680	20807	49,82	-56,51	216,65	12,0	0,34	0,42				20807	361373,24	1,6667E+18	5,66677E+11	7,00013E+11
4740	21062	47,86	-56,89	216,27	13,5	0,35	0,42				21062	375512,68	1,60394E+18	5,61379E+11	6,73655E+11
4800	21312	46,01	-55,77	217,39	15,5	0,36	0,44				21312	392634,41	1,534E+18	5,52239E+11	6,74959E+11
4860	21565	44,21	-55,79	217,37	17,5	0,36	0,44				21565	408582,83	1,47412E+18	5,30683E+11	6,48613E+11
4920	21820	42,48	-55,79	217,37	20,0	0,36	0,44				21820	425222,39	1,41644E+18	5,09917E+11	6,23232E+11
4980	22079	40,79	-54,77	218,39	23,0	0,36	0,44				22079	444918,09	1,35373E+18	4,87344E+11	5,95642E+11
5040	22350	39,09	-55,62	217,54	26,5	0,36	0,44				22350	462460,32	1,30238E+18	4,68858E+11	5,73048E+11
5100	22614	37,51	-55,26	217,90	30,5	0,36	0,42				22614	482737,67	1,24768E+18	4,49163E+11	5,24024E+11
5160	22863	36,07	-54,24	218,92	35,5	0,35	0,42				22863	504359,63	1,19419E+18	4,17966E+11	5,01559E+11
5220	23130	34,6	-54,20	218,96	41,0	0,35	0,40				23130	525883,70	1,14531E+18	4,00859E+11	4,58124E+11
5280	23400	33,18	-54,46	218,70	47,5	0,34	0,40				23400	547738,70	1,09961E+18	3,73868E+11	4,39845E+11
5340	23683	31,73	-55,16	218,00	54,5	0,32	0,38				23683	570936,02	1,05493E+18	3,37579E+11	4,00875E+11
5400	23956	30,41	-54,56	218,60	63,0	0,31	0,36				23956	597358,11	1,00827E+18	3,12565E+11	3,62978E+11
5460	24220	29,18	-54,63	218,53	73,0	0,30	0,34				24220	622338,69	9,67801E+17	2,9034E+11	3,29052E+11
5520	24485	27,99	-54,34	218,82	85,0	0,27	0,32				24485	649658,52	9,27102E+17	2,50318E+11	2,96673E+11
5580	24776	26,75	-54,53	218,63	99,0	0,27	0,30				24776	679183,29	8,868E+17	2,39436E+11	2,6604E+11
5640	25077	25,52	-53,49	219,67		0,26	0,30				25077	715304,74	8,42019E+17	2,18925E+11	2,52606E+11
5700	25364	24,41	-53,16	220,00		0,24	0,26				25364	748955,35	8,04187E+17	1,93005E+11	2,09089E+11
5760	25650	23,35	-52,97	220,19		0,20	0,22				25650	783631,22	7,68601E+17	1,5372E+11	1,69092E+11
5820	25927	22,37	-52,47	220,69		0,19	0,20				25927	819818,46	7,34675E+17	1,39588E+11	1,46935E+11
5880	26228	21,35	-51,91	221,25		0,17	0,18				26228	861165,11	6,99401E+17	1,18898E+11	1,25892E+11
5940	26523	20,4	-52,50	220,66		0,15	0,16				26523	898865,00	6,70067E+17	1,0051E+11	1,07211E+11
6000	26819	19,48	-52,72	220,44		0,13	0,14				26819	940378,03	6,40487E+17	83263323478,8	89668194515,7
6060	27103	18,64	-52,80	220,36		0,13	0,14				27103	982398,93	6,13091E+17	79701837863,4	85832748468,3

Schiller - Gymnasium, Offenburg

6120	27405	17,79	-52,16	221,00		0,12	0,12				27405	1032327,15	5,83439E+17	70012689285,7	70012689285,7
6180	27688	17,03	-51,37	221,79		0,11	0,12				27688	1082251,85	5,56525E+17	61217728590,4	66782976644,1
6240	27984	16,28	-50,06	223,10		0,10	0,10				27984	1138796,68	5,28892E+17	52889160020,1	52889160020,1
6300	28264	15,59	-49,05	224,11		0,10	0,10				28264	1194582,49	5,04193E+17	50419289221,1	50419289221,1
6360	28537	14,96	-48,68	224,48		0,09	0,08				28537	1246944,39	4,83021E+17	43471866629,3	38641659226
6420	28805	14,36	-47,94	225,22		0,08	0,08				28805	1303327,44	4,62125E+17	36969988216,4	36969988216,4
6480	29072	13,79	-47,82	225,34		0,07	0,08				29072	1357922,70	4,43545E+17	31048159128,9	35483610433
6540	29348	13,23	-47,29	225,87		0,07	0,06				29348	1418729,93	4,24535E+17	29717424754,2	25472078360,8
6600	29607	12,72	-46,71	226,45		0,05	0,04				29607	1479402,12	4,07124E+17	20356196289,8	16284957031,8
6660	29861	12,24	-46,73	226,43		0,05	0,04				29861	1537282,11	3,91795E+17	19589768102	15671814481,6
6720	30114	11,79	-45,51	227,65		0,04	0,00				30114	1604555,98	3,75369E+17	15014745702,6	0
6780	30387	11,31	-44,93	228,23		0,04	0,00				30387	1676915,38	3,59171E+17	14366854893,8	0
6840	30658	10,86	-45,45	227,71		0,04	0,00				30658	1742421,82	3,45668E+17	13826732240,8	0
6900	30911	10,46	-43,50	229,66		0,03	0,00				30911	1824545,51	3,3011E+17	9903288207,24	0
6960	31157	10,09	-43,47	229,69	max.	0,03	0,00				31157	1891698,61	3,18391E+17	9551732966,72	0
7020	28448	0,09	0,08	Daten-		0,10	0,10								
7080	25860	0,19	0,20	vergleich		0,21	0,22								
7140	23717	0,32	0,38	mit		0,33	0,38								
7200	21944	0,36	0,44	Aufstieg		0,36	0,42								
7260	20389	0,34	0,42			0,36	0,42								
7320	19156	0,32	0,40			0,31	0,38								
7380	18040	0,31	0,42			0,29	0,36								
7440	16986	0,29	0,40			0,27	0,34								
7500	15973	0,22	0,30			0,25	0,32								
7560	15014	0,14	0,20			0,18	0,24								
7620	14151	0,14	0,20	Ende		0,08	0,10								
		O3	NO2			O3	NO2								