

**23cm +13cm 200 Watt  
Power Amplifier  
in LD-MOS-Technik**



Gehäusedeckel  
abgenommen

**POWER & SWR Meter**



Frequenzbereich V1: 1.8 ... 54 MHz  
Frequenzbereich V2: 2m + 70 cm  
Frequenzbereich V3: 2m + 70cm  
+ 23cm + 13cm

**ID-Elektronik GmbH**

Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von elektronischen  
Baugruppen, Bauteilen und Serengeräten

DK2DB DC6ID  
Winger gasse 20 D-76228 Karlsruhe  
Tel: 0721 / 9 45 34 68 Fax: 0721 / 9 45 34 69  
e-Mail: info@ID-Elektronik.de

Unsere komplette Produktpalette  
sowie alle weiteren Informationen  
finden sie auf unserer Homepage  
[www.ID-Elektronik.de](http://www.ID-Elektronik.de)

Wir sind zertifiziert nach  
DIN EN ISO 9001:2000

**OCXO für GHz - Anwendungen**



Frequenzbereich: 90 ... 130MHz  
Standardfrequenzen ab Lager

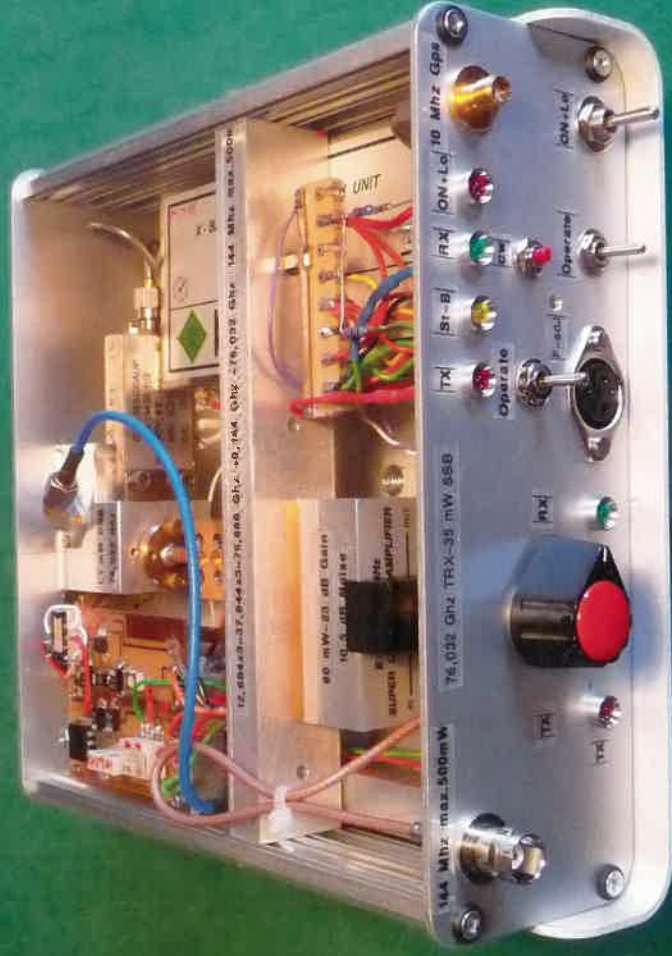
**! NEU !  
10 MHz  
GPS-Frequenznormal**



**DUBUS  
3/2009**

Vol. 38 3. Quarter

**New 76 GHz Transverter**



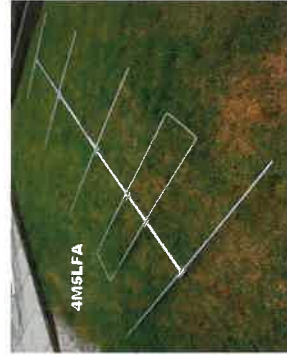
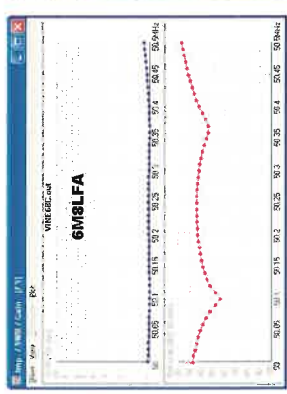
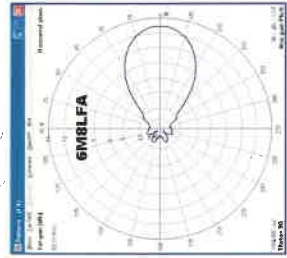
**by DL2AM**

**Magazine for Amateur Radio on VHF/UHF and Microwaves**

**! NEU !**

**GOKSC  
High Performance Antennas**

Sidelobe suppression and very wide-band coverage are just two of the many attributes that make the LFA stand above the traditional Dipole-fed Yagi in features and performance. Visit our site and compare your antenna's overall performance against a similar LFA, you will be amazed! We offer 6M, 4M, and 2M LFAs, and as new models are developed, our range will grow. We can provide stacking and baying plots if required of course. Just contact us for the best VHF antennas you can buy!



**A first EIME QSO on 6M was achieved on 21st July 2009 by Joe, CT4HZE.**  
Joe worked W1J with just one 7 element LFA Yagi. Joe installed the LFA earlier in the day and is comparing the 10JXX-7 element Yagi with the LFA. Early reports are most encouraging. CT4HZE writes: 'All in all I can already confirm that this LFA has the claimed figures regarding F/B, F/S, gain and pattern. But more tests to come. I am very happy with this LFA antenna as it will keep away many EU callers from me when I want to work NA only :-)' 73 Joe'

**VINE  
antennas ltd**

As well as GOKSC LFA antennas, Vine is pleased to offer only the best, from the following top-quality manufacturers -

ACOM—CUBEX—FORCE 12—ICOM—M2

PALSTAR—SPE Expert—SteppIR—TE Systems

Tennadyne and many others

[www.vinecom.co.uk](http://www.vinecom.co.uk)  
Tel: +44 (0) 1691 831111  
Email: [info@vinecom.co.uk](mailto:info@vinecom.co.uk)  
Taranaki  
Four Crosses  
SY22 6RJ—UK

# Over-The-Horizon Optical Communication

## Part 4: Receivers

by Justin Giles-Clark, VK7TW and Rex Moncur, VK7MO

### 1. Receiver Options

In this fourth and final part we examine issues that influence the design of optical receivers for over-the-horizon optical communication and provide information and photographs that should be sufficient to allow the construction of the receivers and associated circuitry. Table 1 below list some receiver options and estimated performance.

Receiver	Size (mm)	Effective Area (mm <sup>2</sup> )	Angular Field of View (degrees)	Lens Dimension & Focal Length (mm)	Relative Performance (dB)
36 BPW-34 PIN Photodiodes	50#	262	5	395 x 395 550FL	0 *
S8664-50K Avalanche Photo-Diode (APD)	5	20	0.8	395 x 395 330FL	+15 **
Photo-Diode	5	20	1.2	395 x 395 220FL	+20 ##
S8664-1010 Avalanche Photo-Diode	10	100	1.6	395 x 395 330FL	+22 *
S8664-1010 Avalanche Photo-Diode	10	100	2.4	395 x 395 220FL	+25 ##

# Width of the array of photodiodes.

\* These receivers have been constructed and used in our testing and are the basis of the construction information and circuits provided.

\*\* This unit is identical to the 10 mm APD with 330 mm FL lens other than the APD.

## Estimated performance only as these have not been constructed.

Table 1

### 2. Theoretical and Practical Considerations

In terms of the receiver the key issue is to maximise Signal to Noise ratio. In optical terms the signal is a function of the received power  $P_R$  as given by equation 12 in Part 21 of this series as below:

$$P_R = P_T - 65 - 20 \log(d) + G_s + 10 \log(A) - e - d - 10 \log(ML) \quad \text{Equation 1}$$

Where:

$P_R$  = received power (dBW<sup>o-2</sup>)

$P_T$  = transmitter power (dBW<sup>o</sup>)

$d$  = distance (km)

$G_s$  = scatter gain

**A** = receiver aperture light collecting area (square metres)  
**e** = the extinction loss (dB/km)  
**ML** = the mismatch loss which for mid-path scattering is the square of the ratio of the RX beamwidth divided by the TX beamwidth.

The noise at the receiver is a function of three factors, sky noise, detector noise and pre-amp noise.

At the receiver end the key variables we can optimize are:

- "A" receiver aperture light collecting area, which in our case is function of the size of the Fresnel lens used to collect the light. At present we use 395 x 395<sup>3</sup> mm square Fresnel lenses. A larger 1000 x 1000 mm square lens has been advertised but is not yet available. Potentially these would increase the area by a factor of 6.25 giving an optical gain of nearly 8 dBo and an improvement of 16 dBe in electrical S/N. However, these larger lenses have a focal length of 1000 mm which would for the same size APD increase the mismatch loss as discussed below and more than offset the increased capture area. However for other detector types the longer focal length lens may improve the mismatch loss (see table 2). The quantum efficiency of the detector also affects this parameters and this is discussed in section 4 below.
- "ML" mismatch loss. To avoid mismatch loss we need to have a receiver Field of View (FOV) which matches that of the transmitter. Our present 100 mm square Avalanche Photo-Diode receiver is used with a 330 mm focal length 395 x 395 mm Fresnel lens giving an angular field of view of 1.6 degrees. This is somewhat less than the 2.2 degree beamwidth of our narrow beam transmitter producing a mismatch loss of around 3.5 dBe. We could in principle, reduce this mismatch loss by increasing the size of the APD although we are not aware of larger units and cost would be a factor. Also detector noise increases with area. In practical terms it seems that the only viable option is to reduce the focal length. There are 395 x 395 mm lenses available with 220 mm focal lengths<sup>5</sup> which would increase the FOV of our present system and eliminate the mismatch loss. A possible problem is that the rays from the outer edge of a very short focal length lens would arrive at the APD at a very steep angle and it has been suggested to us that this may result in a reduction in efficiency of the APD. At this stage all we can suggest is that the use of shorter focal length lenses is an avenue that is worth exploring. An associated issue is that the use of shorter focal length lenses allows the use of smaller and less noisy (as well as cheaper) APDs as discussed below in "e" (detector noise). We noted above that a 1000 x 1000mm square lens with 1000 mm focal length might become available and could increase the light capture and thus the electrical signal to noise ratio by around 16 dBe. However, with the existing 10 mm square APD the increase in focal length reduces the FOV from 1.6 degrees to around 0.5 degrees and the mismatch loss by around 19 dBe more than offsetting the gain from the increased capture area.
- Detector Efficiency: Detectors such as PIN photo-diodes and APDs can be obtained with quantum efficiencies up to 0.85 at a specific wavelength representing a small loss of around 1.5 dB. While we have experimented with Photo Multiplier Tubes (PMT) these typically have a quantum efficiency of around 0.1 for red light representing an electrical loss of 20 dBe although we have not yet tested red/IR sensitive PMTs. While PMTs have the advantage of very high gain, large photocathode areas and very low internal noise which should help overcome such losses we have not yet compared them to large area APDs.
- Sky noise: Sky noise arises primarily from "shot noise" from scattering of light from clouds. In city areas sky noise dominates over other sources with sensitive APD detectors, however away from city lights sky noise drops to a level comparable with other sources as discussed below. Even the light of the moon can be an issue if the cloud cover is thin or broken so it is best to operate at times when the moon is not above the horizon. Sky noise can be reduced by reducing the Field of View but this does require a corresponding reduction in TX beamwidth to avoid a mismatch loss and alignment becomes more difficult. Sky noise can also be decreased by narrow bandwidth optical filters as discussed in section 3.
- Detector Noise: PMTs and PIN diodes have no significant detector noise, however APDs produce noise due to the avalanche process. For APDs detector noise may well be the limiting factor on a very dark night away from city lights with no moon. It is possible to reduce the APD detector noise by reducing the voltage and the gain, but at low gains pre-amp noise then becomes the limiting factor.

<sup>3</sup> <http://www.3dlens.com/shop/largefresnellens.php>

<sup>1</sup> Rex Moncur, VK7MO and Paul Edwards VK7ZAS, "Over the Horizon Optical Communications – Part 2: Theory. Physics & Engineering Analysis" DUBUS 1/2009

<sup>2</sup> Power nomenclature – "o" = optical power whereas "e" = electrical power

f. Pre-Amp Noise: PIN diodes have no gain and as a result pre-amp noise is the limiting factor. Low noise circuits have been developed by VK7MJ<sup>4</sup> and even lower by KA7OEI<sup>5</sup>. Even with APDs it is worth using as low a noise pre-amp as possible so the gain and thus the detector noise can be reduced to an acceptable level.

Cost is an important issue for amateurs. BPW34 PIN diodes cost only one to two US dollars and provide an inexpensive way of starting optical communications. Because of their low cost it is practical to construct a relatively large area detector as described in Section 5 using banks of 36 PIN diodes or more. At the time of printing a 5 mm square APD costs around \$500 US and provides around 15 dB improvement over a bank of 36 PIN diodes and a 10 mm square APD costs around \$1000 US and gives around 20 dB improvement over a bank of photo-diodes. The APDs require a low noise high voltage supply and these are available for about \$50 US. PMTs are very expensive new but can be obtained surplus on eBay for \$50 to \$100 US and a 395 x 395 mm square Fresnel lens costs around \$30 US.

In summary we are of the view that a 36 PIN photodiode array is a good introductory receiver for cloud bounce up to 100 km and while we have not constructed one yet we feel that a 5 mm APD is a good compromise between cost and performance for distances up to 200 km. The 395 x 395 mm Fresnel lenses with focal length of 220 mm is probably the optimum choice although we have not tested this combination yet.

### 3. Internal versus External Noise Limitations

In part 2<sup>6</sup> section 2.3 of this series three sources of noise in an optical receiver are identified. These sources can be further categorized to two types: 1). Internal noise due to the photodetector device and the amplifiers chain and 2). External noise which is noise contributed by the environment namely random photons scattered off the clouds or "shot" noise.



**Figure 1: A good example of external shot noise – optical QRM in the form of Hobart (Tasmania, Australia) city lights scattered off the cloud base at night.**

As mentioned above, noise reduction is the key strategy for improving the S:N and to achieve the best possible sensitivity we need to reduce the internal noise to below that of the external noise<sup>7</sup>.

Preamp noise can be reduced by operating at very high input resistances such as Gohms. However, at such high input resistances the frequency response narrows considerably to a few hundred Hertz. Therefore, to widen the frequency response to provide the 1.5kHz required for WSJTs<sup>8</sup> you need to decrease the load resistor with corresponding reduction in sensitivity. We have also found it necessary to

4 VK7MJ ([http://modulatedlight.org/Modulated\\_Light\\_DX/modlightrx.html](http://modulatedlight.org/Modulated_Light_DX/modlightrx.html))

5 KA7OEI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))

6 Rex Moncur, VK7MO and Paul Edwards VK7ZAS, "Over the Horizon Optical Communications – Part 2: Theory, Physics & Engineering Analysis" DUBUS 1/2009

7 Rogalski, A & Bielecki, Z – Detection of optical radiation – Bulletin of Polish Academy of Sciences – Technical Sciences Vol 52 No. 1 2004 (<http://www.ippt.gov.pl/~bulletin/52-1/43.pdf>)

8 WSJT (<http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>)

operate above 800Hz due to the harmonics of AC line frequency from city lights. A happy medium needs to be found and for a good explanation take a look at the K3PGP<sup>9</sup> and KA7OEI<sup>10</sup> articles.

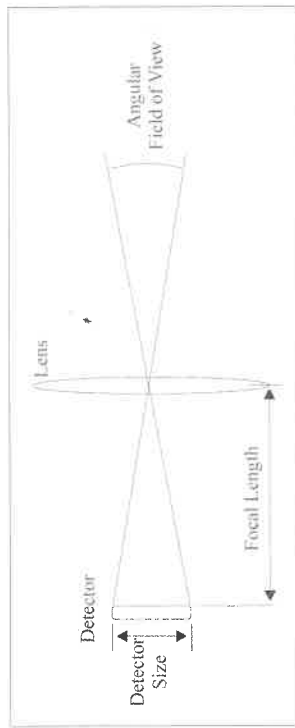
There also needs to be compromise between detector noise and pre-amp noise so one can further optimize S:N. To date we have found that running our APDs at high gains of 100 to 200 provides the best results. The detector noise of an APD is a function of the area of the detector and thus one should choose as small an APD as possible that will avoid a mismatch loss due to optical configuration.

Dependent on the environment the receivers are intended to be used in, it is good practice to mount all electronics in shielded boxes and feed signals to/from these boxes using RF feed through capacitors to prevent any unwanted RF energy from entering the circuitry. This is especially warranted if you will be operating the receiver on mountain tops with nearby high power TV and radio transmitters.

One optical method to reduce external noise is to filter the light before it enters the photodetector. In theory this would substantially reduce the amount of unwanted light. Most of the suburban lighting energy is down the blue-green end of the visible spectrum and therefore relatively inexpensive narrow band pass interference filters<sup>11</sup> (US\$80-\$140) could be used for exactly the wavelength of light being used i.e. 627nm. One issue with interference filters is they expect the rays of light to hit the filter perpendicular to the filter and with a narrow 220mm focal length Fresnel lenses the effectiveness of the filter will decrease due to the very steep angle of the rays entering the filter. Therefore, larger detectors with longer focal length lenses are more suited to filter utilization.

### 4. Photon Detectors, Field of View and Quantum Efficiency

As mentioned above the field of view is a function of the size of the detector and the focal length of the lens as demonstrated in figure 2.



**Figure 2: How receiver Angular Field of View is a function of Focal Length and the Size of the Detector**

Table 2 compares the detectors and lens combinations we have been using and calculates the angular field of view that could be expected. The narrow transmitter beam width described in Part Three<sup>12</sup> of this series is currently 2.2 degrees and therefore to reduce the mismatch loss we are aiming for a similar field of view.

Quantum Efficiency (QE) is a percentage measure of photons entering the photodetector and producing an electron. While we used the standard BPW-34 which has a QE of around 50% at the wavelength used. There is a BPW-34B that has enhanced QE of 80% at 627nm. APDs are available with up to 85% QE at 627nm.

The photocathode material on the PMTs determine their quantum efficiency (see table 2 for S11, S20 and GaAs) and they are primarily made for the blue-green end of the visible spectrum and only have a QE of around 20%. Some PMTs have been produced for the IR end although the QE is still only 13% in the red spectrum. In equation 1 the receiver aperture or light collecting area (A) is the term reduced by the QE of photodetector.

9 K3PGP (<http://k3ppg.org/frontend1.htm>)

10 KA7OEI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))

11 Edmund Optics: (<http://www.edmundoptics.com/>)

12 Rex Moncur, VK7MO and Justin Giles-Clark VK7TTW, "Over the Horizon Optical Communications – Part 3: Transmitters" DUBUS 2/2009

Type	Detector Size (mm)	Detector Model	Detector Material	QE Blue %	QE Red %	Focal Length (mm)	Angular Field of View (degrees)	Tested
APD	10	S8664 1010	Silicon	80	85	330	1.6	Tested
APD	10	S8664 1010	Silicon	80	85	220	2.6	Not Tested
APD	5	S8664 50k	Silicon	70	76	330	0.9	Tested
APD	5	S8664 50k	Silicon	70	76	220	1.3	Not Tested
Photo-diode	50	BPW34	Silicon	25	50	1000	2.9	Not Tested
Photo-diode	50	BPW34	Silicon	25	50	550	5.2	Tested
PMT	10	C31034A	PMT GaAs	24	13	330	1.7	Not Tested
PMT	10	C31034A	PMT GaAs	24	13	220	2.6	Not Tested
PMT	23	9524B	PMT S-20	15	1	550	2.4	Tested
PMT	44	9558B	Semi-transparent	20	8	1000	2.5	Tested

Table 2: Detector and Focal Length Combination with resulting Angular Field of View.

## 5. Receiver Circuits

Circuit one presented here is the multi-photodiode receiver. The circuit is based on the KA7EOI receiver<sup>13</sup>. There is an array of 36 diodes which are organised into six rows of six photodiodes. Each photodiode has a dedicated FET with gate connected in free air to maintain a high input resistance and all FET drains paralleled together into a single cascade circuit with constant current source. This then feeds a unity gain opamp with each row output then being summed together into the differentiator and filter.

Circuit two is the APD receiver and again uses the KA7EOI circuit although it does not have a low pass filter. The APD has considerable gain due to avalanche multiplication from the process of impact ionization<sup>14</sup>. The avalanche is created by applying a high reverse bias voltage to bring the diode into the breakdown region. With the Hamamatsu S8664 APDs this is achieved with about 400VDC to achieve a gain of about 100. The power supply is a regulated low noise PSU that was sourced from Systems Development and Solutions<sup>15</sup>.

Circuit 1 on the next page shows the schematic for the BPW-34 photodiode array receiver using the KA7EOI circuit<sup>16</sup>.

The following Circuit 2 shows the schematic for the avalanche photodiode<sup>17</sup> receiver.

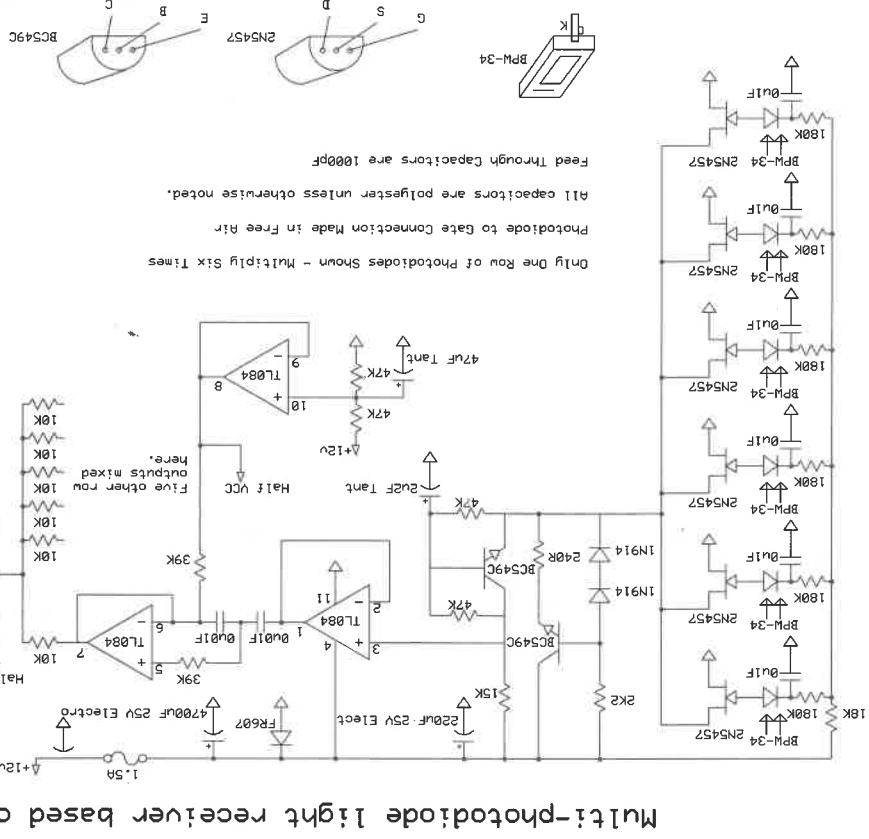
<sup>13</sup> KA7EOI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))

<sup>14</sup> Donati, Silvano 2000 "Photodetectors Devices, Circuits and Applications" Prentice Hall PTR, NJ.

<sup>15</sup> <http://www.sdsthv.com/PDF/products/miniature-mountable-voltage-APDSeries.pdf>

<sup>16</sup> KA7EOI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))

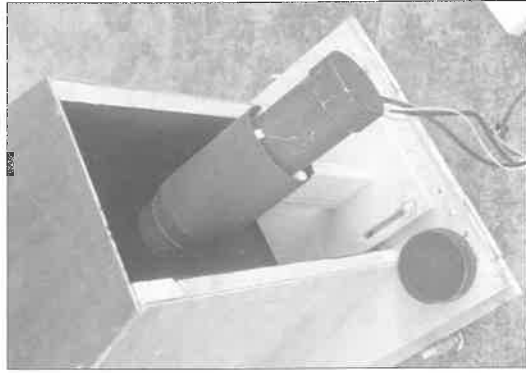
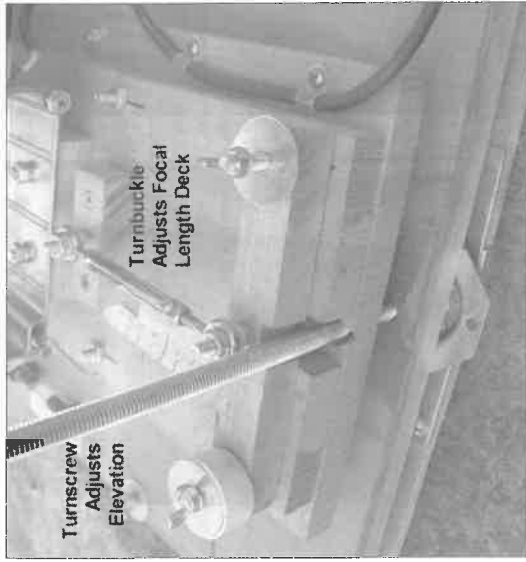
<sup>17</sup> Hamamatsu data sheet S8664 series APDs [http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts\\_S/S8664\\_series.pdf](http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_S/S8664_series.pdf)



Multi-photodiode Light receiver based on KA7EOI circuit.

## 7. Receiver Construction

We have split the receiver design pictures into three areas to provide a range of ideas about mechanical construction. The first area is what we will call the focal length deck. This area has the photodetector and receiver circuitry mounted on it and allows for the movement of the photodetector into the focal point of the Fresnel lens used.



**Figure 3: Precision Focal Length Deck Arrangement**

The focal length deck in fig. 3 is styled much like the cross slide on a metalwork lathe and uses a chamfered slide which is adjusted by the turnbuckle for precise positioning and locking. For elevation adjustment the whole deck can be raised or lowered by a T-Nut and turn-screw to raise or lower the whole assembly. Figure 4 shows a simplified mounting and focal length adjustment for a PMT receiver. The larger capture area of the PMT allows for less critical focal length adjustment. A thick dark cloth is draped over the back of the box to prevent the entry of unwanted light into the back of the box. The PMT is mounted in a PVC tube that has been triple coated with black board paint which is then mounted in a larger PVC tube with a cap that can be used to protect the photocathode when not in use. The mounting of PMT's requires careful non-ferrous mounting techniques to prevent desensitizing the tube.

The second area shown is the actual surrounding box construction.

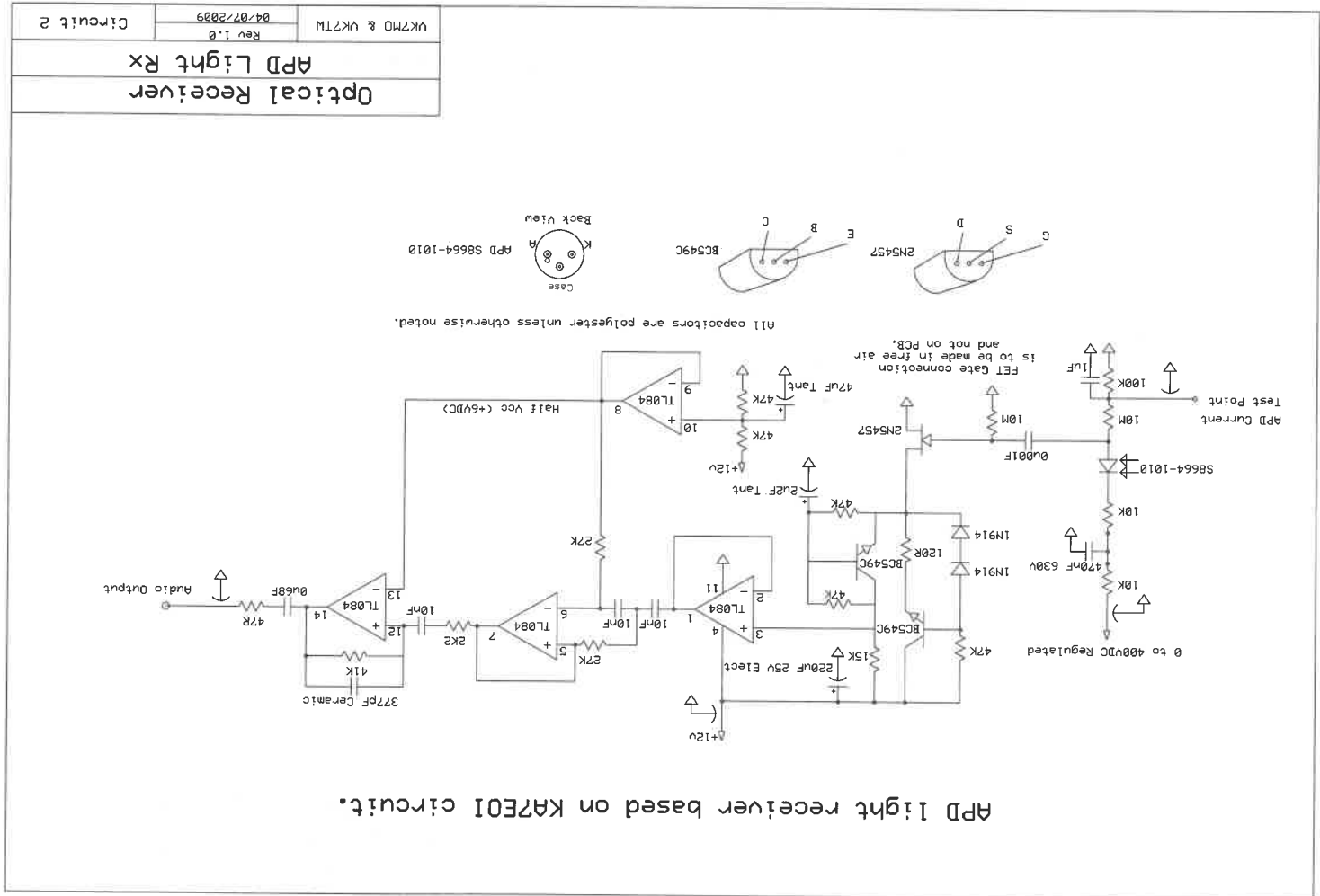
This box made from a pine frame and plywood for a short focal length (330mm) Fresnel lens. A rebate around the front surround holds the glass and Fresnel lens. The inclinometer allows direct reading of the elevation and the rifle scope is for sighting a distant landmark that aligns with the required path. The connection between the lens box and the electronics box is achieved by the use of speaker port tubes (see figure 6)<sup>18</sup> and this allows adjustment of focal length without ingress of stray light.

The Fresnel lenses are available from a range of manufacturers<sup>19 20</sup> in a variety of configurations. Another cheap short focal length Fresnel lens source is from discarded overhead projectors which are being replaced these days with digital data projectors. The lens is secured to a piece of 3-4mm glass that is cut larger than the lens, with a very thin bead of neutral curing silicon adhesive all around the edge of the lens and a very small dot in the middle of the lens. Carefully place a heavy weight evenly on top of the glass/lens assembly until the silicon has cured. The lens can then be mounted into the box. Some boxes use a rebate and some have a slot that the glass slides into. Coat the inside of the box with black board or matte black paint to prevent internal reflections within the box.

18 Eg. <http://eaycar.com.au/productView.asp?ID=CX2684>

19 <http://www.bhlens.com/>

20 <http://www.3dlens.com/>

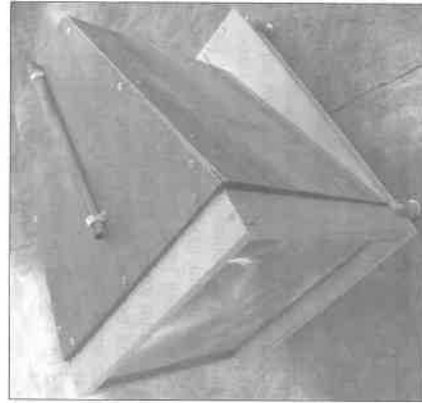




**Figure 5: Side View of 330mm APD Receiver**



**Figure 6: Speaker Tube Connector**



**Figure 7: Side view of the PMT 550mm FL box with sighting tube**

Figure 7 is a quick build simplified box construction with pine frame, plywood and slotted frame for glass/lens mount. Elevation is a simple door hinge arrangement and leveling is undertaken with screw adjustable feet. Plywood could be replaced with thick cardboard to reduce weight and cost and taped together with heavy duty duct tape<sup>21</sup>.

Another method for simple light weight enclosure could be made using minimal lens and photodetector mounts with stiff wire frames to support thick black cloth limiting extraneous light. Azimuth adjustment is provided by a pivot point under each of these units that sit on a base board. The base board has angle measurements drawn on to it in the form of a large protractor.

<sup>21</sup>[http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/home\\_office/home/product\\_information/repair\\_maintenance/duct\\_tape/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/home_office/home/product_information/repair_maintenance/duct_tape/)

The third area is the electronics. In Part 1 of this series in figure 1<sup>22</sup> it shows the matrix board construction of the 36 Multi-diode receiver circuit board. Dependent on the method of wiring we recommend the electronics is mounted in supporting metal boxes. These would provide shielding and mechanical stability for portable operation. RF feed through capacitors would reduce the ingress of RF when using the receivers in locations on mountain tops where high power TV and radio transmitters may also be located. The use of high power reverse polarity diode and fuses or circuit breakers will hopefully lessen disappointment.

## 8. Operation of Receivers

Google Earth can be used to determine the path and then look for any landmarks on the path to enable sighting to the landmark. If there are no landmarks on the path but there are landmarks close to the path then measure the angle between your location and the landmark and then sight with the rifle scope or sighting tube and using the protractor or arc scale base turn the receiver the required angle. Cloud height measurements determine the elevation dependent on the distance of the contact and these can be obtained for many places throughout the world from the University of Wyoming<sup>23</sup>. It is useful to do a dark test to see how close we are to the external noise limit. We measure the noise level looking at the clouds and then cover the lens and note the difference using the Spectrum Laboratory application<sup>24</sup>.

## 9. Discussion and Conclusions

The key areas of over the horizon optical communications receivers relate to matching the field of view to the transmitter and reducing the effects of internal and external noise to maximise the signal to noise ratio. The materials and construction methods are not beyond the average amateur constructor and we certainly encourage the development of more efficient and effective methods. We hope the photographs, information and descriptions will be sufficient to guide potential constructors to try and make a receiver. In the last two parts we have attempted to provide the key elements of the theory and some practical examples of how these contribute and relate to building non-line-of-sight optical communications systems.

We would like to hear from anyone who attempts construction of the transmitters and receivers presented in these articles and our contact email addresses can be found on the first page of this part.

<sup>22</sup> Rex Moncur, VK7MO, Justin Giles-Clark, VK7TW and Ken Sulman, VK7DY, "Over the Horizon Optical Communications – Part 1: Overview and Practical Results" DUBUS 4/2008

<sup>23</sup> <http://weather.uwyo.edu>

<sup>24</sup> <http://freenet-homepage.de/dl4yh/f/spectra1.html>

# Überhorizont-Kommunikation im optischen Bereich

## Teil 4: Empfänger

von Justin Giles-Clark, VK7TW and Rex Moncur, VK7MO

### 1. Empfänger-Optionen

In diesem vierten und letzten Teil des Artikels untersuchen wir Probleme, die das Design von optischen Empfängern für Überhorizont-Kommunikation beeinflussen und liefern Informationen und Fotos, die ausreichend sein sollten, um Empfänger und zugehörige Schaltungen nachzubauen. Tabelle 1 zeigt einige Optionen für Empfänger und deren Leistungsfähigkeit.

Empfänger	Größe (mm)	Effektive Fläche (mm <sup>2</sup> )	Winkel-Sichtfeld (Grad)	Linien-Maße & Fokus-Länge (mm)	Relative Leistung (dB)
36 BPW-34 PIN Photodioden	50#	262	5	395 x 395 550FL	0*
S8664-50k Avalanche Photo-Diode (APD)	5	20	0.8	395 x 395 330FL	+15**
S8664-50k Avalanche Photo-Diode	5	20	1.2	395 x 395 220FL	+20##
S8664-1010 Avalanche Photo-Diode	10	100	1.6	395 x 395 330FL	+22*
S8664-1010 Avalanche Photo-Diode	10	100	2.4	395 x 395 220FL	+25##

# Breite des Systems der Photodioden.

\* Diese Empfänger wurden aufgebaut und bei unseren Tests verwendet und sind die Basis für die Nachbau-Informationen und Schaltungen in diesem Artikel.

\*\* Diese Einheit ist identisch mit der 10 mm APD mit 330 mm Fresnellinse mit Ausnahme der APD.

## Nur geschätzte Leistung, da diese nicht aufgebaut wurden.

Tabelle 1

### 2. Theoretische und praktische Überlegungen

Beim Empfänger ist der Schlüssel das Signalrauschverhältnis zu verbessern. Optisch beschrieben ist das Signal eine Funktion der empfangenen Leistung  $P_R$ , wie in Gleichung 12 im Teil 2 dieser Serie<sup>1</sup> beschrieben:

$$P_R = P_T - 65 - 20 \log(d) + G_s + 10 \log(A) - e \cdot d - 10 \log(ML) \quad \text{Gleichung 1}$$

mit:

$P_R$  = Empfangene Leistung in dBW<sub>0.2</sub>, d.h. bezogen auf 1W (optische Leistung)

$P_T$  = Effektivleistung des Senders in dBW.

$d$  = Entfernung (km)

$G_s$  = Scattergewinn in dB, d.h. bezogen auf einen isotropen Scatter(punkt)

<sup>1</sup> Rex Moncur, VK7MO and Paul Edwards VK7ZAS, "Over the Horizon Optical Communications - Part 2: Theory. Physics & Engineering Analysis" DUBUS 1/2009

<sup>2</sup> Nomenklatur der Leistung - "o" = optische Leistung, "e" = elektrische Leistung

- A = lichtsammelnde Öffnungsfläche des Empfängers in Quadratmetern
- e = Extinktionsverlust in dB<sub>0</sub> pro km
- ML = Winkelmaßverhältnis zwischen illuminiertem und sichtbarer Wolke (Flächenverhältnis) bei Scattem im Streckenmittelpunkt; das Verhältnis von RX zu TX-Öffnungswinkel zum Quadrat

Das Rauschen im Empfänger ist eine Funktion von 3 Faktoren, dem Himmelsrauschen, dem Detektorrauschen und dem Rauschen des Vorverstärkers.

Beim Empfänger sind die Schlüsselvariablen, die man optimieren kann:

- a. "A", die lichtsammelnde Öffnungsfläche des Empfängers, die in unserem Fall eine Funktion aus der Größe der Fresnel-Linse ist, die das Licht sammelt. Momentan verwenden wir quadratische 395 x 395mm Fresnel-Linsen<sup>3</sup>. Eine größere quadratische 1000 x 1000 mm Linse würde angekündigt, ist aber noch nicht lieferbar. Potentiell würden diese die Fläche um den Faktor 6.25 vergrößern und einen optischen Gewinn von fast 8 dBo ergeben, was einer Verbesserung von 16 dBe beim elektrischen SN entspricht. Diese größeren Linsen haben aber eine Fokallänge von 1000 mm, was für ein APD gleicher Größe den Anpassungsverlust, wie weiter unten diskutiert, vergrößert und die vergrößerte Fläche A mehr als aufhebt. Bei anderen Detektor-Typen jedoch kann die längere Fokallänge den Anpassungsverlust verbessern (siehe Tabelle 2). Die Quanten-Effektivität des Detektors hat auch Einfluß auf diese Parameter und wird unter Punkt 4 weiter unten diskutiert.

- b. "ML" Anpassungsverlust. Um einen Anpassungsverlust zu vermeiden, benötigen wir einen Empfänger mit einem Sichtfeld (FOV), das zu dem des Senders passt. Unser jetziger quadratischer 100 mm Avalanche-Photodiode-Empfänger arbeitet mit einer 395 x 395 mm Fresnellinse mit 330 mm Fokallänge, die ein Winkelfeld von 1.6 Grad ergibt. Das ist etwas weniger als die 2.2 Grad Öffnungswinkel unseres Senders mit engem Öffnungswinkel, was einen Anpassungsverlust von etwa 3.5 dBe ausmacht. Prinzipiell könnten wir diesen Verlust durch Vergrößern der Größe des APD verringern, uns sind aber keine größeren Einheiten bekannt und Kosten würden dann sicher auch ein Faktor. Auch das Detektorrauschen steigt mit der Fläche an. Unter praktischen Gesichtspunkten scheint es, dass die einzige machbare Option ist, die Fokallänge zu reduzieren. Es gibt 395 x 395 mm Linsen mit 220 mm Fokallänge<sup>5</sup>, die das FOV unseres jetzigen Systems vergrößern würde und den Anpassungsverlust eliminieren würde. Ein mögliches Problem besteht darin, dass die Strahlen vom äußeren Bereich einer Linse mit sehr kurzer Fokallänge in einem sehr steilen Winkel auf den APD fallen und es wurde uns gesagt, dass dies in einer verringerten Effektivität des APD resultieren könnte. Mit jetzigem Stand können wir nur darauf hinweisen, dass die Verwendung von Linsen mit reduzierter Fokallänge eine Möglichkeit ist, die es Wert ist erforscht zu werden. Ein dazugehöriger Punkt ist, dass die Verwendung von Linsen mit kürzerer Fokallänge die Verwendung von kleineren, und rauschärmeren (und auch billigeren) APDs ermöglicht, wie unten in e. diskutiert werden wird (Detektorrauschen). Wir haben oben darauf hingewiesen, dass quadratische Linsen von 1000 x 1000mm mit 1000 mm Fokallänge eventuell verfügbar werden und die Licht einfangende Fläche vergrößern können und damit das elektrische Signalrauschverhältnis um etwa 16 dBe. Mit den vorhandenen quadratischen 10mm APDs reduziert die größere Fokallänge das Sichtfeld FOV von 1.6 auf etwa 0.5 Grad und den Anpassungsverlust um etwa 19 dBe, was mehr als der zusätzliche Gewinn durch die vergrößerte Fläche ist.

- c. Detektor-Effektivität: Detektoren wie PIN-Photodioden und APDs können mit Quanteneffektivitäten von bis zu 0.85 bei spezifischen Wellenlängen erhalten werden, was einen kleinen Verlust von etwa 1.5 dB darstellt. Während wir mit Photo-Multiplier-Röhren (PMT) experimentierten, haben diese typisch eine Quanteneffektivität von 0.1 bei rotem Licht gezeigt, was einem elektrischen Verlust von 20 dBe entspricht. Wir haben aber noch keine speziell rot/IR-empfindlichen PMTs getestet. Obwohl PMTs den Vorteil von sehr hoher Verstärkung einer geringeren Photokathodenfläche und sehr niedrigem internen Rauschen haben, was helfen sollte, solche Verluste zu vermeiden, haben wir sie noch nicht mit den großflächigen APDs verglichen.

- d. Himmelsrauschen: Himmelsrauschen rührt primär von "Schrottrauschen" durch Streuung von Licht an Wolken. In Stadtgebieten überwiegt das Himmelsrauschen andere Rauschquellen bei Verwendung empfindlicher APD-Detektoren. Von den Lichtern der Stadt entfernt jedoch, fällt das Himmelsrauschen auf ein Niveau ab, das mit anderen Quellen vergleichbar ist, wie weiter unten diskutiert wird. Sogar das Mondlicht kann ein Faktor werden, wenn die Wolkendecke dünn oder durchbrochen ist. So ist es am besten dann zu arbeiten, wenn der Mond unter dem Horizont ist.

<sup>3</sup> <http://www.3dliens.com/shop/largefresnellens.php>

Himmelsrauschen kann reduziert werden, wenn das Sichtfeld (FOV) verkleinert wird, aber das erfordert eine entsprechende Reduzierung des TX-Öffnungswinkels, um einen Anpassungsverlust zu vermeiden und auch die Ausrichtung wird schwieriger. Himmelsrauschen kann auch durch schmalbandige optische Filter reduziert werden, wie in Abschnitt 3 diskutiert werden wird.

e. Detektorrauschen: PMTs und PIN-Dioden weisen kein signifikantes Detektorrauschen auf. APDs aber produzierendes Rauschen durch den Avalanche-Prozess. Bei APDs kann das Detektorrauschen in einer sehr dunklen Nacht ohne Mond weit entfernt von der Stadt zum limitierenden Faktor werden. Es ist möglich, das APD-Detektorrauschen durch Reduzieren der Spannung und der Verstärkung zu verringern, bei kleiner Verstärkung wird dann aber das Vorverstärkergeräuschen zum limitierenden Faktor...

f. Vorverstärkergeräuschen: PIN-Dioden haben keine Verstärkung und damit wird das Vorverstärkergeräuschen zum begrenzenden Faktor. Rauscharme Schaltungen wurden von VK7MJ<sup>4</sup> entwickelt und noch rauschärmere von KA7OEI<sup>5</sup>. Sogar bei APDs lohnt es sich, einen so rauscharmen Vorverstärker wie möglich zu verwenden, so dass Verstärkung und damit das Detektorgeräuschen auf eine akzeptable Niveau reduziert werden können.

Kosten sind ein wichtiger Aspekt für Funkamateure. Die BPW34 PIN-Diode kostet nur 1 bis 2 US Dollar und ermöglicht einen günstigen Weg mit optischer Kommunikation zu beginnen. Wegen der geringen Kosten ist es praktisch, einen relativ großflächigen Detektor zu bauen, wie in Abschnitt 5 beschrieben, der Bänke von 36 PIN-Dioden oder mehr verwendet. Zum Zeitpunkt der Erscheinung dieses Artikels kostet ein quadratischer 5 mm APD etwa 500 USD und bringt etwa 15 dB Verbesserung gegenüber einer Bank mit 36 PIN-Dioden. Ein quadratischer 10 mm APD kostet etwa 1000 USD und bringt etwa 20 dB Verbesserung gegenüber der Bank von Photodioden. Die APDs benötigen ein rauscharmes Hochspannungsnetzteil, das für etwa 50 USD erhältlich ist. PMTs sind neu sehr teuer, können aber gebraucht bei Ebay für 50 bis 100 USD ersteigert werden. Eine Fresnelinse von 395 x 395mm kostet etwa 30 USD.

Zusammengefasst sind wir der Meinung, dass ein Array mit 36 PIN-Dioden einen guten Empfänger ergeben für Wolkenscatter bis zu 100 km Entfernung und, obwohl wir das bisher noch nicht konstruiert haben, glauben wir, dass ein 5mm APD ein guter Kompromiss zwischen Kosten und Leistung für Entfernungen bis zu 200 km darstellt. Die 395 x 395 mm Fresnelinse mit 220mm Fokallänge ist wahrscheinlich die optimale Lösung, aber auch diese haben wir in dieser Kombination noch nicht getestet.

### 3. Vergleich interner gegenüber externen Begrenzungen beim Rauschen

In Teil 2<sup>6</sup>, Abschnitt 2.3, dieser Artikelserie haben wir drei Quellen von Rauschen in einem optischen Empfänger identifiziert. Diese Quellen können weiter in zwei Typen eingeteilt werden:

1). Internes Rauschen aufgrund des Photodetektor-Bauteils und der Verstärkerkette und 2). Externes Rauschen, das Rauschen ist, welches aus der Umgebung kommt in Form von zufälligen Photonen, die an Wolken reflektiert wurden bzw. in Form von „Schrottrauschen“.

**Abb. 1: Ein gutes Beispiel von externem Schrottrauschen – optisches QRM in Form von Licht aus der Stadt Hobart (Tasmanien, Australien), das an der Wolkenunterseite reflektiert wird.**

Wie oben erwähnt, ist das Absenken des Rauschens die Schlüsselstrategie um das Signalrauschverhältnis zu verbessern. Um die bestmögliche Empfindlichkeit zu erreichen, müssen wir das interne Rauschen unter das externe Rauschen absenken<sup>7</sup>.

Das Vorverstärkergeräuschen kann reduziert werden, indem man mit sehr hohen Eingangswiderständen im Gigaohm-Bereich arbeitet. Allerdings wird die Bandbreite bei solch hohen Impedanzen sehr schmal bis zu wenigen hundert Hertz. Desalb muss der Arbeitswiderstand abgesenkt werden, damit der Frequenzgang die 1.5 KHz ermöglicht, die für WSJT<sup>8</sup> benötigt werden, was wieder mit einer entsprechenden Verminderung der Empfindlichkeit einher geht.

4 VK7MJ ([http://modulatedlight.org/Modulated\\_Light\\_DX/modlightrx.html](http://modulatedlight.org/Modulated_Light_DX/modlightrx.html))

5 KA7OEI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))

6 Rex Moncur, VK7MO and Paul Edwards VK7ZAS, "Over the Horizon Optical Communications – Part 2: Theory, Physics & Engineering Analysis" DUBUS 1/2009

7 Rogalski, A & Bielecki, Z – Detection of optical radiation – Bulletin of Polish Academy of Sciences – Technical Sciences Vol 52 No. 1 2004 (<http://www.inp.pw.edu.pl/~bulletin/52-1%3.pdf>)

8 WSJT (<http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>)

Wir haben auch herausgefunden, dass es nötig ist, oberhalb von 800 Hz zu arbeiten, aufgrund der Harmonischen der Wechselstromfrequenz der Straßenbeleuchtungen. Es muss ein glücklicher Mittelweg gefunden werden und gute Erklärungen sind in den Artikeln von K3PGP<sup>9</sup> und KA7OEI<sup>10</sup> zu finden.

Auch wird ein Ausgleich zwischen Detektorgeräuschen und Vorverstärkergeräuschen benötigt, so dass man das S/N weiter optimieren kann. Bis jetzt haben wir herausgefunden, dass das Betreiben des APDs bei hohen Verstärkungen von 100 bis 200 die besten Resultate bringt. Das Detektorgeräuschen eines APD ist eine Funktion der Fläche des Detektors und deshalb sollte man ein APD wählen, der so klein wie möglich ist, bei der Vermeidung des Fehlanpassungsverlustes aufgrund der optischen Konfiguration.

Abhängig von der Umgebung des Empfängers, in der er betrieben werden soll, ist es eine gute Angewohnheit, die gesamte Elektronik in abgeschirmten Gehäusen einzubauen und die Signale in und aus diesen Gehäusen mittels HF-Durchführungskondensatoren zu führen, um jegliche unerwünschte HF Bergipfele betreiben will, wo eventuell auch andere (TV)-Sender hoher Leistung o.ä. stehen.

Eine optische Methode, um externes Rauschen zu reduzieren, ist das Filtern des Lichtes durch einen Photodetektor erreicht. In der Theorie soll dies die Menge unerwünschten Lichtes substantiell reduzieren. Das meiste der städtischen Lichtenergie liegt im unteren blau-grünen Ende des sichtbaren Spektrums und deshalb können relativ günstige, enge Passband-Interferenzfilter<sup>11</sup> (80 bis 140 USD) verwendet werden für exakt die Wellenlänge des Lichtes, die verwendet wird, d.h. 627nm. Ein Problem bei den Interferenzfiltern besteht darin, dass das Licht lotrecht auf das Filter auftreffen sollte. Mit einer Fresnelinse von 220mm Fokallänge wird die Effektivität des Filters sinken, aufgrund des sehr steilen Winkels, mit dem die Strahlen auf das Filter fallen. Deshalb sind größere Detektoren mit Linsen größerer Fokallänge besser geeignet für den Betrieb mit Filtern.

### 4. Photonen-Detektoren, Sichtfeld und Quanten-Effektivität

Wie oben erwähnt, ist das Sichtfeld eine Funktion aus der Größe des Detektors und der Fokallänge der Linse, wie in Abb. 2 gezeigt.

**Abb. 2: Das Winkel-Sichtfeld ist eine Funktion von Fokallänge und Größe des Detektors**

Tabelle 2 vergleicht die Detektoren und Linsen-Kombinationen, die wir verwendet haben und gibt berechnete Werte für das Sichtfeld an, die erwartet werden können. Der Sender mit schmalstem Öffnungswinkel, den wir in Teil 3 dieser Serie<sup>12</sup> beschrieben haben, hat 2.2 Grad Öffnungswinkel und, um den Anpassungsverlust zu reduzieren, wollen wir ein ähnliches Sichtfeld erzielen.

Die Quanteneffektivität (QE) ist ein prozentualer Wert für die Photonen, die in den Photodetektor eindringen und dort eine Elektron produzieren. Wir haben hier die normale BPW-34 verwendet, die eine QE von etwa 50% bei der benutzten Wellenlänge hat. Es gibt die BPW-34B, die eine bessere QE von 80% bei 627nm hat. Es gibt APDs mit einer QE von bis zu 85% bei 627nm.

Das Photokathodenmaterial der PMTs bestimmt deren QE (siehe Tabelle 2 bei S11, S20 und GaAs) und sie sind primär ausgelegt für das blau-grüne Ende des sichtbaren Spektrums und haben eine QE von nur etwa 20%. Einige PMTs wurden für das IR-Ende hergestellt und dennoch ist die QE immer noch nur 13% im roten Spektralbereich. In Gleichung 1 ist die Empfänger-Öffnung oder Licht sammelnde Fläche (A) der Term, der durch die QE des Photodetektors reduziert wird.

**Tabelle 2: Detektoren und Kombinationen verschiedener Fokallängen mit den resultierenden Sichtfeldern (Field of View). Siehe im engl. Text oben.**

### 5. Empfängerschaltungen

Die hier vorgestellte Schaltung 1 ist der Multi-Photodioden-Empfänger. Sie basiert auf dem Empfänger von KA7OEI<sup>13</sup>. Es handelt sich um ein Array von 36 Dioden, das aus 6 Reihen von je 6 Dioden besteht. Jede Photodiode hat einen zugehörigen FET, der mit dem Gate in der Luft angeschlossen ist, um einen

9 K3PGP (<http://k3pgp.org/frontend1.htm>)

10 KA7OEI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))

11 Edmund Optics: (<http://www.edmundoptics.com/>)

12 Rex Moncur, VK7MO and Justin Giles-Clark VK7TWW, "Over the Horizon Optical Communications – Part 3: Transmitters" DUBUS 2/2009

13 KA7OEI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comms/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comms/optical_rx1.html))



hohen Eingangswiderstand zu gewährleisten. Alle Drains der FETs werden parallel zusammen geschlossen an einen einzigen Cascode-Verstärker mit Konstantstromquelle. Das Signal gelangt dann in einen OP-Amp mit der Verstärkung 1, für jeden Ausgang einer 6er-Reihe, der dann zusammenaddiert wird im Differenzierer und Filter.

Schaltung 2 ist der APD-Empfänger und hier wird wieder die Schaltung von KATEOI verwendet, aber es gibt bei uns kein Tiefpassfilter. Der APD hat eine bemerkenswerte Verstärkung durch die Avalanche-Multiplizierung aufgrund des Prozesses der Einschlags-ionisierung<sup>14</sup>. Die Lawine (avalanche) wird ermöglicht durch Anlegen einer hohen umgekehrten Vorspannung, die die Diode in die Durchbruchregion bringt. Beim Hamamatsu S8664 APD geschieht dies bei etwa 400VDC, um einen Verstärkung von etwa 100 zu erreichen. Die Stromversorgung ist ein geregeltes rauscharmes Netzteil, das von Systems Development and Solutions<sup>15</sup> stammt.

**Schaltung 1 zeigt das Schaltbild für das Array mit den BPW-34 Photodioden nach KATEOI<sup>16</sup>**

**Schaltung 2 zeigt das Schaltbild für den Avalanche-Photodioden-Empfänger<sup>17</sup>**

## 7. Bau des Empfängers

Wir haben die Bilder zum Empfänger-Design in drei Bereiche aufgeteilt, um einen Auswahl von Ideen für die mechanische Konstruktion abzudecken. Den ersten Bereich haben wir Fokallängen-Vorrichtung genannt. Auf dieser Vorrichtung wird der Photodetektor und die Empfängerschaltung montiert und sie ermöglicht die Bewegung des Photodetektors in den Fokalfunkt der verwendeten Fresnel-Linse.

**Abb. 3: Präzisions-Vorrichtung für die Einstellung der Fokallänge**

**Abb. 4: Einfache Vorrichtung für die Einstellung der Fokallänge**

Die Präzisions-Fokallängen-Vorrichtung in Abb. 3 sieht ähnlich aus wie der Querschlitten einer Drehbank und verwendet einen abgeschliffenen Schlitten, der mittels Seilspanner für präzise Position und Einrastung justiert wird. Für die Einstellung der Elevation kann die komplette Vorrichtung mittels einer Gewindestange und Mutter angehoben und gesenkt werden. Abb. 4 zeigt eine einfache Vorrichtung für die Fokallängenjustierung eines PMT-Empfängers.

Die größere Fläche der PMT erlaubt eine weniger kritische Fokallängenjustierung. Ein dickes dunkles Stück Stoff wird über der Rückseite des Kastens drappiert, um den Eintritt unerwünschten Lichtes von hinten in den Kasten zu verhindern. Die PMT ist in ein PVC-Rohr montiert, das dreifach mit schwarzer Farbe gestrichelt wurde und in ein weiteres größeres PVC-Rohr montiert wird, das eine Kappe hat und die Photokathode schützt, wenn sie nicht benutzt wird. Die Montage von PMTs erfordert sorgfältige Techniken ohne Verwendung eisenhaltiger Materialien, um ein Desensibilisieren der Röhre zu verhindern. Der zweite gezeigte Bereich umfasst die umgebende Gehäuse-Konstruktion.

Der Kasten hier wurde aus einem Rahmen aus Kieferholz sowie aus Sperrholz für eine Fresnel-Linse mit kurzer Fokallänge (330mm) hergestellt. Ein Falz um die Frontumrandung hält das Glas und die Fresnellinse. Das Inklinometer erlaubt das direkte Ablesen der Elevation und das Zielfernrohr ist zum Anpeilen einer entfernten Geländemerkmal, die direkt in der betreffenden Strecke liegt. Die Verbindung zwischen dem Linsen-Kasten und dem Kasten mit der Elektronik wird mittels Verbindungsrohren aus dem Lautsprecherbereich gemacht (siehe Abb. 6)<sup>18</sup> und dies erlaubt die Justierung der Fokallänge, ohne dass Streulicht einfällt.

Die Fresnel-Linsen gibt es von verschiedenen Herstellern<sup>19, 20</sup> in verschiedenen Ausführungen. Eine andere Quelle für billige Fresnel-Linsen sind ausgemasterte Overhead-Projektoren, die zur Zeit oft gegen digitale Datenprojektoren ausgetauscht werden. Die Linse wird durch ein Stück 3-4mm dickes Glas geschützt, das größer als die Linse ist, und mit neutralem Silikonkleber in dünner Schicht um den ganzen Rand der Linse und einem kleinen Punkt in der Mitte der Linse verklebt wird. Man stellt vorsichtig ein

Gewicht gerade auf die Glas-Linsen-Kombination solange bis das Silikon ausgehärtet ist. Dann kann die Linse in den Kasten eingebaut werden. Einige Kästen haben einen Falz, andere eine Nut, in die das Glas eingeschoben werden kann. Die Innenseite des Kastens wird mit schwarzen Brethern verkleidet oder mattschwarz angestrichen, um Reflexionen im Kasten zu verhindern.

**Abb. 5: Seitenansicht des 330mm APD-Empfängers** **Abb. 6: Lautsprecherrohr-Verbindung**

**Abb. 7: Seitenansicht des PMT 550mm Gehäuses mit Sehrohr**

Abb. 7 zeigt einen schnell zu bauenden einfachen Kasten aus einem Kieferholzrahmen und Sperrholzplatten und einem geschlitzten Rahmen für die Glas/Linsen-Montage. Die Elevation wird mittels eines einfachen Türschlammers gemacht und die Einstellung mittels höhenverstellbaren Füßen. Das Sperrholz könnte auch durch dicken Pappkarton ersetzt werden, um Gewicht und Geld zu sparen. Das ganze wird dann mit starkem Gewebeklebeband zusammengeklebt<sup>21</sup>.

Eine andere Methode für eine einfache leichte Umhüllung mit minimalem Montageaufwand für Linse und Photodetektor wäre ein Drahtrahmengestell, um das dicker schwarzer Stoff angebracht wird, um Licht von außen abzuhalten. Die Azimut-Einstellung wird an einem Drehpunkt unter jeder dieser Einheiten vorgenommen, der auf der Basisplatte sitzt. Die Basisplatte hat einen Gradkreis aufzeichnet in der Form eines großen Winkelmessers.

Der dritte Bereich ist der der Elektronik. Teil 1 dieses Artikels zeigt in Abb. 12<sup>22</sup> das Matrixboard für die Konstruktion des Empfängers mit den 36 Dioden. Abhängig von der Art der Verdrahtung empfehlen wir den Einbau in ein Metallgehäuse. Dieses gewährleistet elektrische Abschirmung und mechanische Stabilität bei Portabel-Einsatz. Durchführungskondensatoren sorgen für HF-Dichtigkeit, wichtig, wenn man sich in der Nähe starker Sender befindet. Verpolungsschutzdioden, Sicherungen und Schalter helfen Enttäuschungen zu begrenzen.

## 8. Betrieb des Empfängers

Google Earth kann benutzt werden, um den Pfad zu bestimmen und markante Orientierungspunkte zu finden, die gesehen werden können. Wenn solche Orientierungspunkte nicht direkt auf dem Pfad liegen, sucht man solche, die etwas daneben liegen und bestimmt den Winkel zwischen eigenem Standort und Punkt. Mit dem Zielfernrohr oder Sehrohr sucht man dann diesen Punkt und dreht den Empfänger um den entsprechenden Winkel mit Hilfe der Gradskala zurück auf den Pfad.

Messungen der Wolkenhöhe bestimmen die Elevation in Abhängigkeit von der Entfernung des Kontakts und diese können für viele Orte auf der Welt von der Universität von Wyoming erhalten werden<sup>23</sup>. Es ist nützlich einen Dunkel-Test zu machen, um zu sehen, wie nah man am Limit des externen Rauschens ist. Wir messen den Rauschpegel an den Wolken und bedecken dann die Linse und lesen die Differenz in der Software Spectrum Lab ab<sup>24</sup>.

## 9. Diskussion und Fazit

Der Erfolgsschlüssel für Empfänger für Überhorizont-Kommunikation im optischen Bereich liegt in der Abstimmung des Sichtfeldes an den Sender und im Reduzieren von internem und externem Rauschen, um das SNR zu verbessern. Die Materialien und Baumethoden liegen nicht außerhalb des Bereiches, der für den Durchschnittsamateur möglich ist, und wir unterstützen mit Sicherheit die Entwicklung noch effektiverer Methoden. Wir hoffen, dass die Fotos, Informationen und Beschreibungen ausreichend sind, um potentielle Konstrukteure anzuleiten, den Bau eines Empfängers zu versuchen. In den beiden vorhergehenden Teilen haben wir versucht, die wichtigsten Elemente der Theorie zu vermitteln sowie einige praktische Beispiele gegeben, wie diese dazu beitragen Nicht-Sichtlinien-Kommunikationssysteme im optischen Bereich zu ermöglichen. Wir würden gerne von jedem hören, der versucht, die hier präsentierten Sender und Empfänger nachzubauen. Die Email-Adresse befindet sich oben am Anfang des Artikels.

<sup>21</sup> [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/home\\_office/home/product\\_information/repair\\_maintenance/duct\\_1.asp/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/home_office/home/product_information/repair_maintenance/duct_1.asp/)

<sup>22</sup> Rex Moncur, VK7MO, Justin Giles-Clark, VK7TTW and Ken Sulman, VK7DY, "Over the Horizon Optical Communications - Part 1: Overview and Practical Results" DUBUS 4/2008

<sup>23</sup> <http://weather.uwoyo.edu>

<sup>24</sup> <http://freenet-homepage.de/dl4yh/spectra1.html>

<sup>14</sup> Donati, Silvano 2000 "Photodetectors Devices, Circuits and Applications" Prentice Hall PTR, NJ.

<sup>15</sup> <http://www.sdsthv.com/PDF/products/miniatre-mountable-voltaige-APDSeries.pdf>

<sup>16</sup> KATEOI ([http://modulatedlight.org/optical\\_comm/optical\\_rx1.html](http://modulatedlight.org/optical_comm/optical_rx1.html))

<sup>17</sup> Hamamatsu data sheet S8664 series APDs [http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts\\_S/S8664\\_series.pdf](http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_S/S8664_series.pdf)

<sup>18</sup> Eg. <http://a.year.com.au/productView.asp?ID=CX2684>

<sup>19</sup> <http://www.bhlens.com/>

<sup>20</sup> <http://www.3dlens.com/>