

The Ultimate High End Transverter TR 144 H +40



Over 25 years of experience in development of new transverter technologies led to this masterpiece of VHF technology.

Implementing technological innovations and expertise in a timely manner and combining them into a state-of-the-art product is a thing we have succeeded in doing in a very impressive way.

It's a challenge for us to extend the limits of what is technically feasible and to put this into our products. Ranking first worldwide and improving our products continuously are a matter of course for us.

New features

- Additional input for 10 MHz reference frequency
- Automatic activation of PLL if external 10 MHz signal is supplied
- Switchable IF-port configuration (one common RX/TX port or two separate ports for RX and TX)
- Switchable IF input power ranges (1 ... 50 mW or 60 ... 1000 µW)
- TX power control on the front panel

*Please visit us at the
HAM Radio in Friedrichs-
hafen, we are looking forward
to see you.*

Stand A1-310

KUHNE electronic
MICROWAVE COMPONENTS

Kuhne electronic GmbH | Scheibenaeker 3 | D-95180 Berg | Germany
Tel. +49 (0)9293-800 939 | info@kuhne-electronic.de

More information on our website: www.DB6NT.de

DUBUS

2/2009

Vol. 38 2. Quarter

Loop Feed Array (LFA) Yagi



by GØKSC

Magazine for Amateur Radio on VHF/UHF and Microwaves

Over-The-Horizon Optical Communication

Part 3: Transmitters

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

In this part we examine issues that influence the design of optical transmitters for over-the-horizon optical communication and provide information that should be sufficient to allow the construction of the following transmitters and associated modulators:

Transmitter	Optical Power Output	Optical Gain	Beamwidth	Useful* distance
4 Luxeons with torch lenses	2 Watts	20 dBi	15 degrees	Up to 70 km
60 Luxeons with torch lenses	30 Watts	20 dBi	15 degrees	Up to 150 km
60 Luxeons with combination of torch lenses and Fresnel lenses	30 Watts	35 dBi	2.2 degrees	30 to 300 km

* Based on using JT65a¹ with the Avalanche Photo-Diode (APD) receiver to be described in Part 4 of this series.

2. Theoretical and Practical Considerations

The following link budget equation is from Part 2² of this series and gives the key variables that influence system performance:

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

Where:

- P_R = received power (dBW σ^3)
- P_T = transmitter power (dBW σ)
- 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 midpath scattering is the square of the ratio of the RX beamwidth divided by the TX beamwidth.

At the transmitter the variables we can control are the transmitter power P_T , the mismatch loss ML and the wavelength of light used influences extinction loss e . In principle one can minimize ML by making the receiver beamwidth equal to that of the transmitter. However, in practice it is not possible to use wide transmitter beamwidths at long distances as the gap between the clouds and the surface of the Earth limits the size of the common area on the cloud in the vertical dimension and thus introduces a mismatch loss.

¹ WSJT Weak Signal Application – <http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>

² Paul Edwards, VK7ZAS & Rex Moncur, VK7MO "Over-The-Horizon Optical Communication Part 2 Theory: Physics and Engineering Analysis." DUBUS 1/2009

³ Power nomenclature – "o" = optical power whereas "e" = electrical power

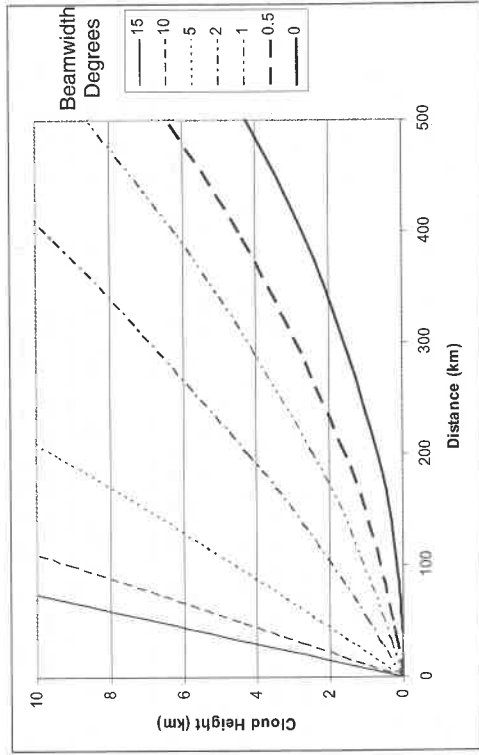


Figure 1: Shows the cloud height required to minimize mismatch loss over various distances for various beamwidths

For a typical cloud height of 2 km it is seen that with a .15 degree beamwidth there is a mismatch loss due to the restriction of the beam by the angle between the cloud height and the Earth's surface at distances beyond about 20 km. If the distance is increased to 200 km only a small proportion of the energy in the vertical dimension is received (less than one degree). This represents a mismatch loss of over 10 dB σ resulting in a significant degradation of signal to noise ratio of over 20 dB σ^4 . The mismatch loss due to such angular restriction can be greater if there are obstructions at either end but can be reduced by operating from high mountains. Thus while the angular mismatch loss will vary depending on the actual situation one can see that operation at distances over 200 km will require beamwidths of a degree or less to limit additional mismatch losses. In principle there are benefits in going to even narrower beamwidths – particularly at even longer distances. However, one then comes up against two additional limitations. Firstly, it becomes difficult to align the system at beamwidths of around a degree, and secondly, the beam intensity rises to the point where aircraft safety limits become the limitation⁵.

Having decided that working at long distances dictates beamwidths of around a degree, we come up against an important limitation which arises when we attempt to narrow the beamwidth to such a value. Figure 2 shows how the beamwidth is a function of the size of the source of light and the focal length.

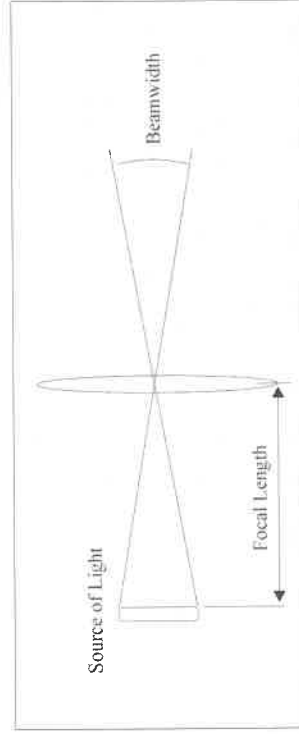


Figure 2: Simplified diagram showing how the beamwidth/divergence depends on the focal length and the size of the source of light.

⁴ Power nomenclature – "e" = electrical power whereas "o" = optical power

⁵ One interesting possibility that would allow the power to be increased without excessive light intensity as would impact on aviation safety, would be to narrow the beam in the vertical dimension only. However, this would bring the complication of requiring a similar field of view for the receiver to avoid mismatch losses and requires further investigation.

While at first the solution to narrowing the beamwidth seems to be to use a longer focal length lens this in turn results in a further limitation in that a larger lens is now required to capture the same proportion of light from the source. Thus if we are to use a reasonable sized lens the only solution is to have a very small source of light which in turn brings with it the problem of producing a large amount of power (to maximize P_T) from a small area.

An additional consideration is that if the source is isotropic even a very large lens cannot capture more than half the light and considerably less is captured by lenses of practical size. This then leads to the additional criteria that the source should have a radiation pattern that is sufficiently narrow in beamwidth such that the majority of the light is captured by a reasonable sized but long focal length lens. For example if we were to use a 100 mm square lens with a 330 mm focal length the source would need to have beamwidth of 15 degrees or less in order that most of the energy could be captured.

The extinction loss term in Equation 1 varies with wavelength and as discussed in Part 2 of this series is greater at the blue end of the visible spectrum than the red. While the loss is even lower at Infra-Red we have chosen not to use Infra-Red because of safety concerns. Our own tests over a 100 km path show that the extinction loss is around 10 dBo higher for blue light than red giving a signal to noise reduction of 20 dBe. Accordingly, for long distance cloudbounce communication red light is to be preferred. Therefore, summarizing the above discussion we need:

- A beamwidth of around a degree for long distances (200 km).
- Larger beamwidths can be utilized at shorter distances and have the advantage of lower intensity.
- A small area source of light with high power.
- A source radiation pattern that is sufficiently narrow that all of the energy can be captured by a reasonably sized lens.
- An energy spectrum at the red end of the visible spectrum to minimise extinction loss.

3. Light Sources

In addition to the optical considerations discussed above the light source must be capable of being modulated at close to 100%. In our experience mechanical systems of modulation are ruled out as they suffer too much phase noise to allow the use of very narrow bandwidths. Some of the light source options we have experimented with include:

High Intensity Discharge Lamps: These are used for the headlights of some modern cars and data projectors. They are available in a range of power levels and use Xenon arc tubes which are supposedly full visible spectrum. The sources size is much less than for mercury vapour tubes and beamwidths of around 30 degree can be achieved with relatively small reflectors (around 10 cm diameter). However, even a 10 cm source would require a very long focal length and therefore also need a large secondary lens to achieve a narrow beamwidth. We have not explored the question of modulating HID globes.

There are also safety concerns with both these discharge tube as they operate from hundreds of volts and reasonable current.

Lasers: Lasers can readily produce very narrow beamwidths. In fact so narrow that one would need to use optical arrangements to disperse the beam (beam expanders) to avoid exceeding aviation safety limits. Lasers are increasingly subject to regulation and units with power levels of tens of watts are expensive and are unlikely to be available for amateur use.

Light Emitting Diodes (LEDs): LEDs produce light from a small area source (typically a mm square chip) and are available at red wavelengths. They are easy to modulate to 100%, require only low voltages and are relatively inexpensive. A disadvantage is the relatively low optical output (e.g. half a watt for 3 watts input Luxeon III LED). The low optical power can be overcome by using them in bays and the beamwidth narrowed by using cheap torch type lenses to around 15 degree and to around 2 degrees with cheap reading type plastic Fresnel lenses.

With the increasing research and development put toward more efficient lighting solutions we expect that improved light sources will continue to become available. One example is a higher power LED with almost 10 dB increased optical power compared to the Luxeon which is manufactured by Luminus (Type no: CBT-120⁶). While it has a much larger source area than a Luxeon, it is worth consideration if a suitable secondary lens arrangement can be found.

While we have not exhaustively examined all potential options we have not to date found any other source of light that can compete with the red Luxeon III LEDs for cloudbounce communication. Accordingly, the remainder of this article will focus on the use of the red Luxeon III LEDs in various transmitters configurations.

4. Luxeon III Star - Red LED

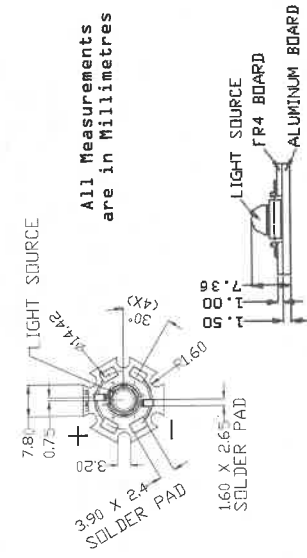


Figure 3: Shows the Luxeon III red (Lambertian) LED in the Star configuration⁷.

The Luxeons are available in what is called a star configuration (Figure 3) bonded to an aluminium heat sink of around 20 mm diameter. This arrangement simplifies amateur construction as the unit can be readily stuck to a larger heat-sink with thermal transfer tape⁸ and the star provides a base to simplify mounting torch type lenses. The red version of the Luxeon III star has a type no LXHL-L3DC and is rated at 140 lumens output at 1400 mA average. The maximum peak current rating is 2200 mA at which the voltage drop is 3.6 Volts. The Luxeon has a chip of just over a mm square and this is mounted within a small dish reflector and covered with an integral lens. This arrangement focuses the energy in a Lambertian pattern to about a 135 degree beamwidth at the 3 dB points as shown in Figure 4.

6 <http://www.luminus.com/content/1461>

7 Philips Lumileds Technical Data Sheet DS46, <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS46.pdf>

8 E.g. Thermal Transfer Adhesive - <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=NM2790>

Light Source (source size in mm)	Focal Length of Fresnel Lens (mm)	65m Test Range Power Level (uw/cm ²)	Beamwidth / Divergence (Degrees)
400W Mercury Vapour – isotropic (15 x 55)	330	10	2
400W Mercury Vapour – isotropic (15 x 55)	550	16	1
400W Mercury Vapour – isotropic (15 x 55)	1000	23	0.5
400W Mercury Vapour – parabolic reflector (250)	No Fresnel Lens	5.7	-
400W Mercury Vapour – parabolic reflector (250)	330	18.7	43
400W Mercury Vapour Reflector Globe (170)	No Fresnel Lens	0.4	-
400W Mercury Vapour Reflector Globe (170)	330	34.7	29
400W Mercury Vapour Reflector Globe (170)	550	36.7	18
400W Mercury Vapour Reflector Globe (170)	1000	38.9	10
Luxeon III + 15° torch lenses x 60 units	No Fresnel Lens	5.5	15
Luxeon III + 15° torch lenses x 60 units	330	275	2.2

Table 1 – Different source intensities and beamwidths with different lens combinations.

Mercury Vapour Lamps: These are available with power levels up to several kilowatts and we have been able to modulate them at close to 100%. The major problem is that the light source is essentially isotropic and is relatively large (typically 1.5 x 5 cm for a 400 watt tube and increases with higher powers). With practical sized lenses the best intensity we have been able to achieve is around 10 dBo less than our multi-LED narrow beamwidth transmitter which results in a signal to noise ratio reduction of 20 dBe. The situation is even worse when one takes account of the fact that the majority of the light is not at the red end of the spectrum.

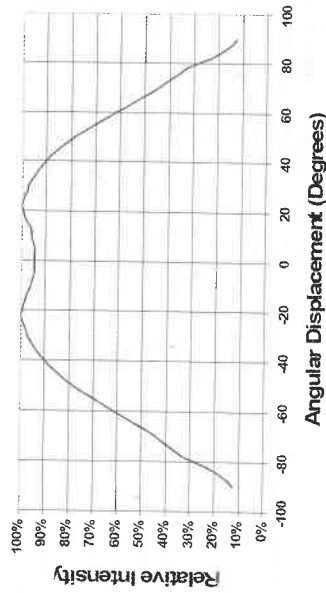


Figure 4: Typical Lambertian pattern and Beamwidth for a Red Luxeon III⁹

5. Narrowing the Beamwidth of the Luxeon III LED

The easiest way to narrow the beamwidth is with readily available torch type lenses or reflectors. A number of manufacturers produce lenses or reflectors specifically for the various Luxeon types and the best performance we have obtained is with the L2 Optics spot lens (L2OP005)¹⁰ that can be supplied with a small plastic holder (L2OHS35-WH) that ensures alignment (Figure 5). This gives a 15 degree beamwidth with a Luxeon III or 19 dBo optical gain or 38 dBe improvement in electrical signal to noise ratio compared to the 135 degree Luxeon III. It should be noted that the manufacturer (like most others) claim these are 5 degree lenses. In part this is because they define this as the divergence from the peak rather than the beamwidth which would be 10 degrees. While the lenses do give a beamwidth of around 10 degrees with a Luxeon I the larger chip size of the Luxeon III increases the beamwidth to around 15 degrees.



Figure 5: Left to Right: Luxeon III Star, L2OHS35 lens mount and L2OP005 lens (Scale in cm)

To further narrow the beamwidth it is necessary to use a long focal length secondary lens and the cheapest option is to use plastic Fresnel lenses that are generally available to assist the sight impaired with reading. We were fortunate to find a stock at a local surplus store that had a focal length of 330 mm and dimensions 280 x 210 mm. This size, with its long focal length, is too small to allow the direct use of the Luxeon with its 135 degree beamwidth without losing excessive energy outside the lens. Thus the approach we adopted was to first focus the light with the torch lens (Figure 5) and then this allowed us to use a cut down Fresnel of just 120 x 120 mm. This arrangement was then used in bays to build up the optical power (Figure 11). It is possible to obtain shorter focal length lenses which would allow the direct use of the Luxeon to avoid the losses of a dual lens arrangement but we have not explored this approach.

6. Small Four Luxeon 15 Degree Beamwidth Transmitter

Figure 6 shows an example of a small transmitter that is a good starting transmitter for those interested in experimenting with cloudbounce optical communications. With a good APD receiver this transmitter is useful for cloudbounce with JT65a up to around 70 km.

⁹ Philips Lumileds Technical Data Sheet DS46, <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS46.pdf>
¹⁰ L2Optics web site, <http://www.l2optics.com/luxeon.aspx>

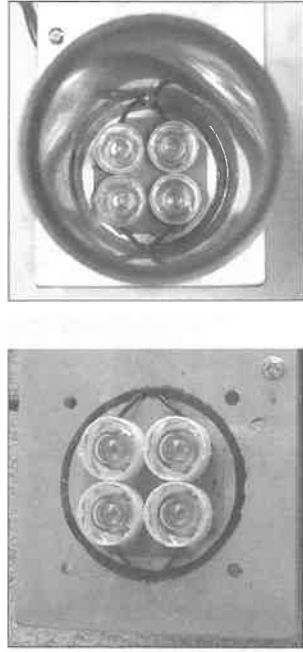


Figure 6: Four Luxeon transmitter with torch type lenses. Right hand side mounted in Speaker Port shroud.

The units are mounted using thermal transfer tape (as described in the previous section) to a 6 mm thick aluminium mounting plate that also serves as a heat sink. It is important to give the Luxeons an adequate heat sink as one can readily exceed the maximum temperature ratings unless heatsinking is provided. In addition the light output falls about 2 dB if the temperature is allowed to increase from 10 deg C to 40 deg C. While the manufacturers of Luxeons provides extensive information on the design of heat sinks the approach we have adopted is to over-engineer the heat sink and measure the temperature to ensure there is no significant temperature rise.

The transmitter uses the torch type lenses described earlier and mounts to give a 15 degree beamwidth and they are stuck in place on the Luxeons with craft glue.

In our case the Luxeons are protected by plastic loudspeaker ports¹¹ that also shield the light except when viewed directly from the front. The ports are adjustable allowing one to adjust the shielding if there is concern from neighbours. A hole is drilled in the bottom rear of the port to drain away any rain. With this arrangement we had no difficulties in leaving them run all night outside for propagation experiments.

7. A 60 Luxeon Array with 15 Degree Beamwidth

This transmitter (Figure 7, 8 & 9) uses the same torch lenses as the four Luxeon unit above. Going from 4 to 60 Luxeons produces almost 16 times the intensity or almost 12 dBo giving a very worthwhile signal to noise ratio improvement of almost 24 dBe. The main issue to contend with is that the each unit generates around 2.5 watts of heat or around 150 watts overall. To keep the Luxeons cool we mounted them on two heat sinks that are designed for forced fan cooling. The heat sinks¹² allow the use of two standard 80 mm 12 volt muffin fans. In this case it is convenient to use full sheets of thermal transfer tape. You will need three for each heat sink or six overall. A shroud is added to restrict the visibility of the unit off axis.

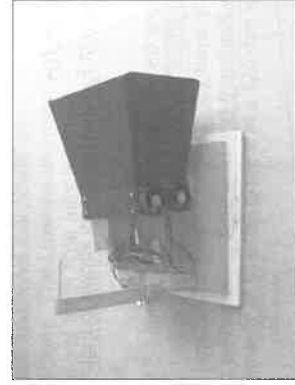


Figure 7: 60 Luxeon 15 degree beamwidth array. Left, note the sighting tube. Right shows 60 Luxeons with torch lens front on.

¹¹ E.g. <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=CX2684>
¹² E.g. <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=HH8532>



Figure 8: 60 Luxeon 15 degree beamwidth array with shroud removed. Left shows muffin fans at the end of each heatsink. Right shows reverse side with elevation inclinometer from a marine chandlery shop and heatsinks end on.



Figure 9: 60 Luxeon 15 degree beamwidth array operated by Joe, VK7JG. Photo courtesy of Alvin de Quincey VK7NDQ.

8. 60 Luxeon Array with 2.2 Degree Beamwidth

For this transmitter we further focus the torch type lenses with Fresnel lenses as shown in Figure 10.

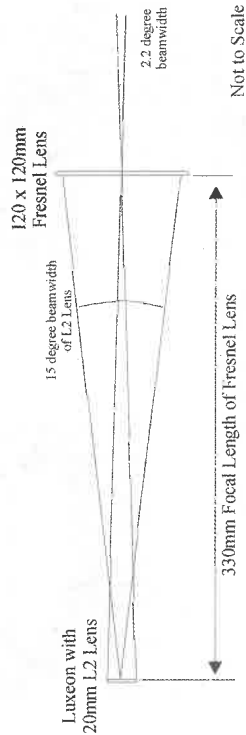


Figure 10: Simplified diagram showing the optical arrangement with a 20 mm diameter torch type lens followed by a Fresnel lens to achieve a beamwidth of 2.2 degrees. A bank of 60 such units are used in the transmitter at Figure 11.

The final beamwidth is determined by the size of the torch type lens (20 mm) and the focal length of the lens. For the surplus lenses we used (330 mm focal length) this works out at a beamwidth of 3.5 degrees. In practice the source is not even and peaks in the centre of the lens and this gives a somewhat better beamwidth which we measured at 2.2 degrees.

To ensure all the light is focused within the 2.2 degree beamwidth most of the light from the 15 degree beamwidth must fall on the Fresnel lens. With the 330 mm focal length lenses that we used the 15 degree 3 dB point fall on lens at around 85 mm diameter. However, as some energy is outside the 3 dB points it is useful to make the Fresnel lens somewhat larger than the area covered by the 15 degree beamwidth. We also chose to make it square for simplicity of construction. The size of the Fresnel lens is a compromise between illumination efficiency and the overall size of the unit. We chose 120 mm square which should pick up almost all the energy although it does result in large structure (1.2 x 0.72 meters).

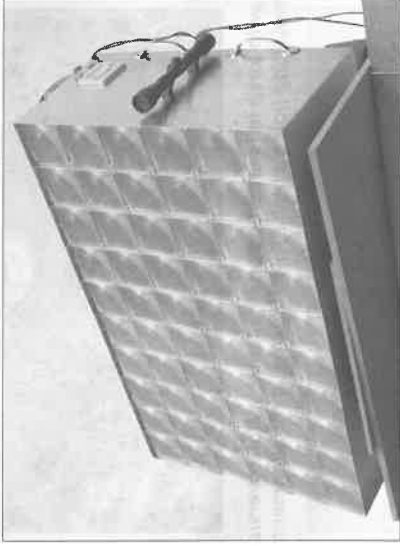


Figure 11: 60 Luxeon array with 120 mm square Fresnel lens to focus to a 2.2 degree beamwidth. Note the rifle scope on the side for alignment and inclinometer (white) above the rifle scope for elevation. Azimuth adjustment is made by rotating baseboard around a central bolt.

The 120 mm square lens needs to be cut from the original 210 x 280 mm lenses unless appropriate size lenses can be obtained. The cutting of the lens can be readily done with a circular bench saw and a fine blade. It is necessary to carefully set up guides as the lenses must be cut to within a few mm. In our case the 60 unit arrangement was constructed of light gauge (1.2 mm) aluminium. Each set of 6 units in the vertical is divided by aluminium dividers which both strengthen the construction and provide a means of mounting the individual lenses. These are mounted on small right angle aluminium brackets which are pop riveted to the dividers. Two rivet nuts are added to each bracket to provide the means of mounting each corner of separate lenses. In our case we did not use horizontal dividers and we have not found those to be necessary. This does mean that a small amount of light can spill over from adjacent units and this produces additional low power spots at around plus and minus 30 degrees. We have not found these to be a problem. The Luxeons are mounted at the rear of the unit as shown in Figure 13. Each Luxeon with its integral torch type lens is mounted on a separate heat sink (Figure 12) which not only serves to prevent excessive temperature rise but also provides the means by which the alignment of each unit can be adjusted.

With the 2.2 degree beamwidth array the 60 separate units must be very closely aligned to something better than half a degree. To allow for the alignment to be adjusted the heatsinks on which each Luxeon and torch lens are mounted (Figure 12) have oversized mounting holes to allow for about +/- 2 mm adjustment before being tightened and then held with Loctite¹³. The adjustment is made by beaming the LEDs individually or in small groups at a 120 mm x 120 mm grid on a distant wall.

9. Modulating Transmitters

Circuit 1 is the schematic for the high current square wave LED driver circuit which can be driven directly from a sound card output using WSJT or other weak signal application.

¹³ <http://www.loctite.com.au/>

This circuit can drive either of the 60 LED Luxeon array units as described in Sections 7 or 8 or as shown the 4 Luxeon unit as described in Section 6.

Circuit 2 shows a pulse width modulation unit that can be used for voice modulation as a driver for Circuit 1. The 15 degree beamwidth 60 Luxeon array has been used for voice operations over a distance of 50 km using pulse width modulation.



Figure 12: Luxeon torch lens mounted on Heat sink¹⁴. Note oversized and chamfered mounting holes which allow adjustment for alignment.

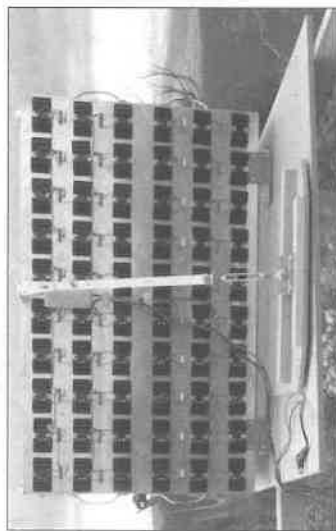


Figure 13 shows the rear of the unit with the 60 heat sinks in place

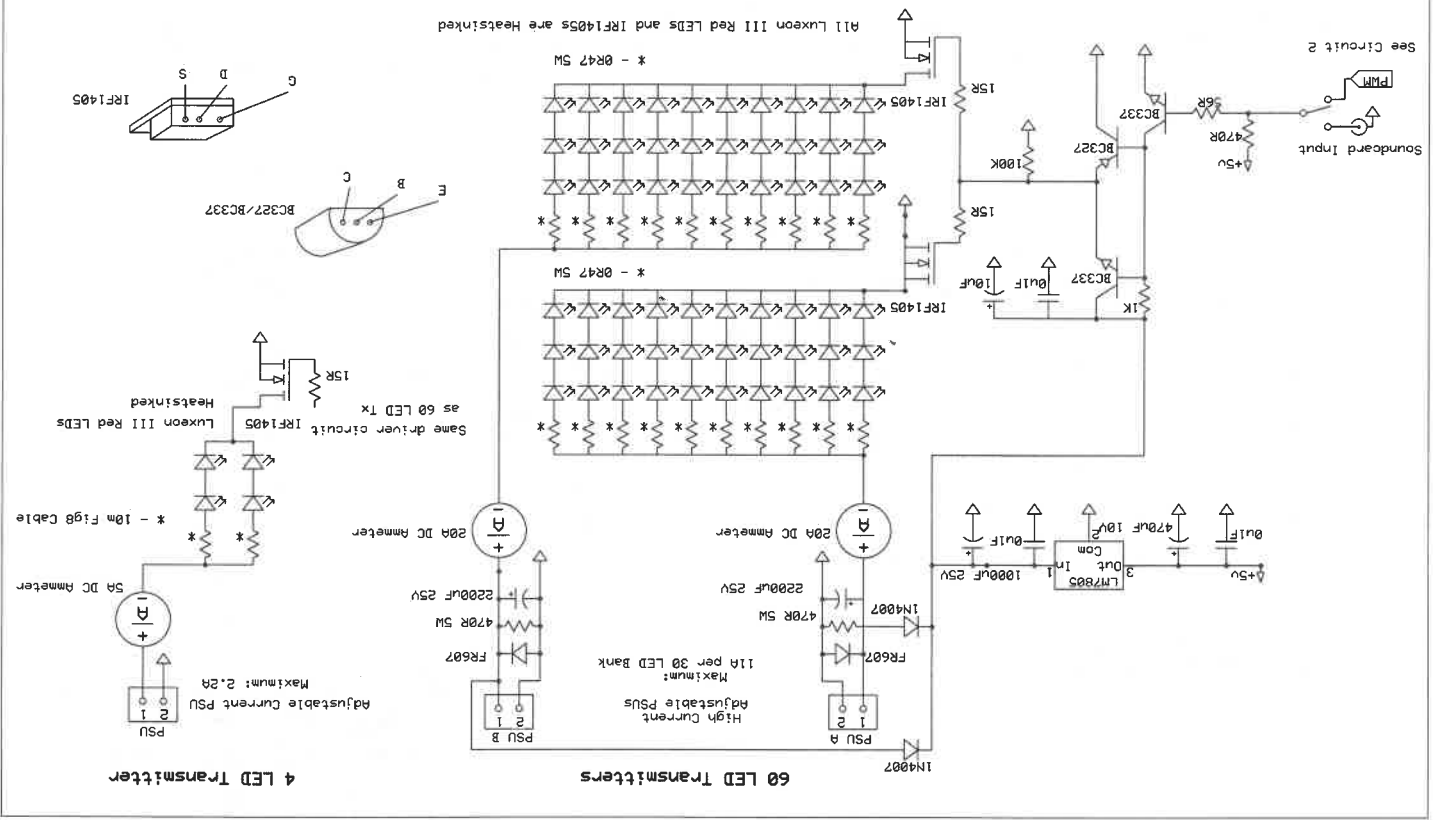
10. Operation of Transmitters

As the beamwidth is narrowed a key issue is to ensure alignment of the transmitter in both azimuth and elevation. When one is looking for a signal in very narrow bandwidths, say a milli-hertz (mHz) it takes in the order of 16 minutes before a program such as Spectrum Lab¹⁵ can integrate the full signal. Thus it is impractical to align by peaking on the signal which could vary with QSB over this period. It is therefore essential to have techniques for accurate alignment. We use in-expensive marine inclinometers (see Figure 8) for elevation and a sighting tube (see Figure 7) or rifle scope (Figure 11) for azimuth alignment. The sighting tube or scope must be accurately calibrated by beaming at some line of sight receiver for maximum signal in wide bandwidth (a few Hz). Once the sighting tube is aligned the next issue is to have something to sight on in the field.

We have had success using Google Earth to find some clear marker such as a distant building and then using the sighting scope or tube to align to this. If a clear marker cannot be found on the exact line it is necessary to rotate the transmitter by a calculated amount. Both of the 60 Luxeon arrays are mounted so they can be rotated against a marked protractor.

¹⁴ E.g. <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=HH8570>

¹⁵ Audio Spectrum Analyser by DL4YHF - <http://freenet-homepage.de/dl4yh/f/spectra1.html>



Possibly a better method, which we plan to use in future, is to determine a GPS position on the exact bearing and then find a point at least 10km away where you can send another ham with a spot light and then beam at that spot (using two metres for liaison).

11. Discussion and Conclusions

While we have not provided detailed construction drawings we hope the photographs and descriptions will be sufficient to guide others who wish to construct their own transmitters. We would expect the wide bandwidth transmitters to be easily duplicated with all parts being readily available. One area that may cause difficulty is finding suitable Fresnel lenses for the narrow bandwidth transmitter as the one's we used from a surplus store are not routinely available and in any case had to be cut to size. Never-the-less with a little ingenuity and after taking account of the optical issues discussed in this series of papers it should be possible to achieve beamwidths of 2 degrees or less with many of the available plastic Fresnel Lenses, even if these must be cut down to meet size limitations for portable use.

We conclude that the construction of optical transmitters is well within the scope of the build-it-yourself ham who has a combination of electronic and mechanical skills but recommend the wider beamwidth units as a starting point.

Überhorizont-Kommunikation im optischen Bereich Teil 3: Sender

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

In diesem Teil untersuchen wir alles, was das Design von optischen Sendern für Überhorizont-Kommunikation betrifft und liefern Informationen, die ausreichen sollten, um den Nachbau von folgenden Sendern mit den dazugehörigen Modulatoren zu ermöglichen:

Sender	Optische Ausgangsleistung	Optischer Gewinn	Öffnungswinkel	Brauchbar* für Entfernung
4 Luxeons mit Taschenlampenlinsen	2 Watt	20 dBi	15 Grad	bis 70 km
60 Luxeons mit Taschenlampenlinsen	30 Watt	20 dBi	15 Grad	bis 150 km
60 Luxeons mit einer Kombination aus Taschenlampenlinsen und Fresnellinsen	30 Watt	35 dBi	2.2 Grad	bis 300 km

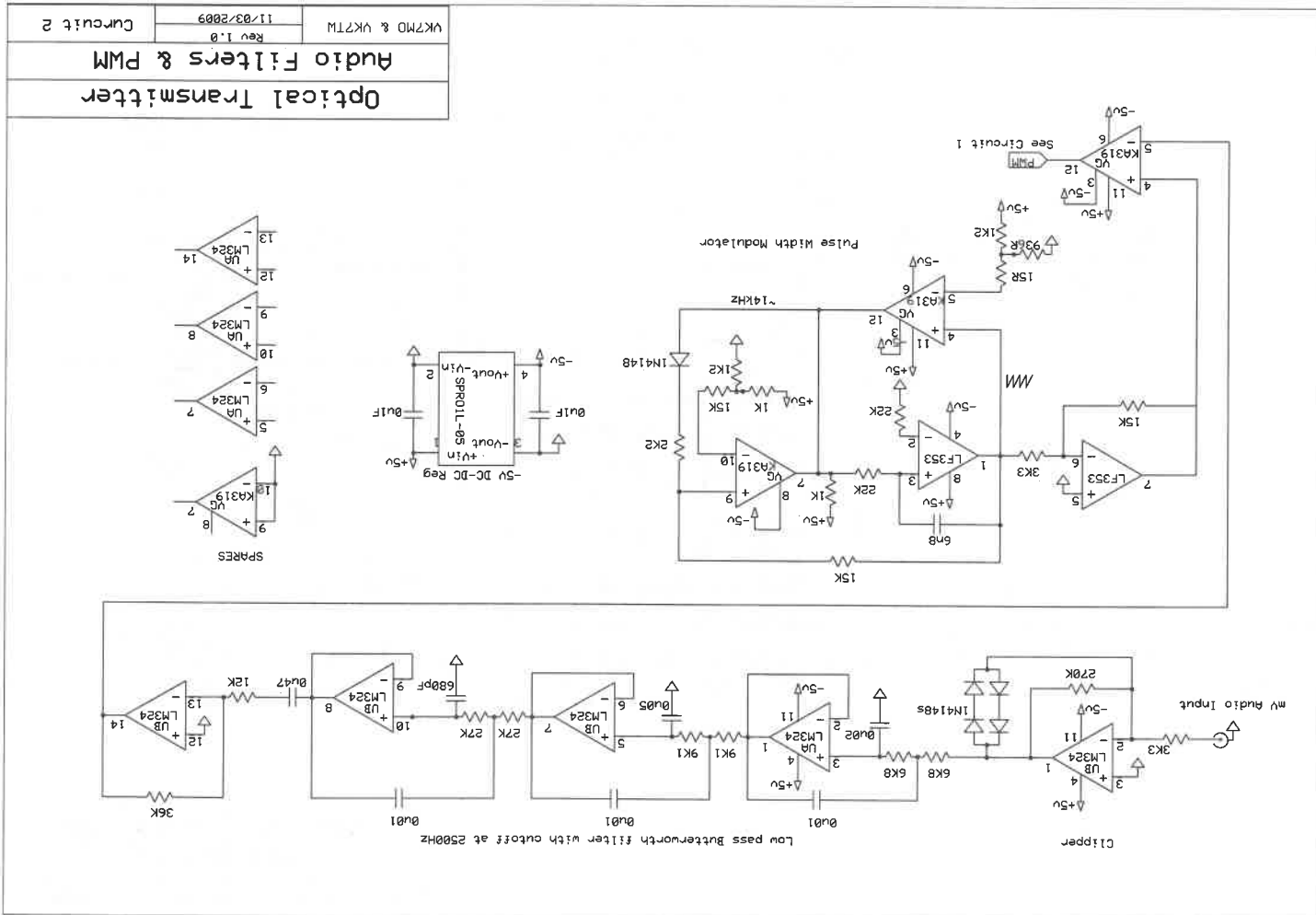
* Basierend auf der Verwendung von JT65a¹ mit einem Empfänger mit Avalanche Photo-Dioden (APD), wie er im Teil 4 dieses Artikels beschrieben wird.

2. Theoretische und praktische Überlegungen

Die folgende Gleichung für das Link-Budget stammt aus Teil 2² dieser Artikelserie und zeigt die Schlüsselvariablen, die die Systemleistung bestimmen:

1 WSJT Weak Signal Application – <http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/>

2 Paul Edwards, VK7ZAS & Rex Moncur, VK7MO "Überhorizont-Kommunikation im optischen Bereich, Teil 2 Theole: Analyse von Physik und Technik" DUBUS 1/2009



Optical Transmitter
Audio Filters & PWM

VK7MO & VK7TW
Rev 1.0
11/03/2009
Circuit 2

Circuit 2 – Schaltbild 2

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

mit:

- P_R = Empfangene Leistung (dBW^{o3})
- P_T = Gesendete Leistung (dBW^o)
- d = Entfernung (km)
- G_s = Scatter-Gewinn
- A = Lichtsammelnde offene Fläche des Empfängers (qm)
- e = Extinktionsverlust (dB/km)
- ML = Fehlanpassungsverlust, der für Scatter am Streckenmittelpunkt das Quadrat aus dem Verhältnis von RX-Öffnungswinkel zu TX-Öffnungswinkel ist.

Beim Sender sind die Variablen, die wir kontrollieren können, die Sendeleistung P_T , der Fehlanpassungsverlust ML und die Wellenlänge des Lichts, die den Extinktionsverlust e beeinflusst. Im Prinzip kann man ML minimieren, indem man den Öffnungswinkel des Empfängers gleich dem des Senders macht. In der Praxis jedoch ist es nicht möglich, weite Öffnungswinkel beim Sender für weite Entfernungen zu benutzen, weil der Abstand zwischen Wolken und Erdoberfläche die Größe der gemeinsamen Fläche auf der Wolke in der vertikalen Dimension limitiert und dadurch einen Fehlanpassungsverlust bewirkt.

Abb. 1: Zeigt die Wolkenhöhe, die benötigt wird, um den Fehlanpassungsverlust bei verschiedenen Distanzen für variierende Öffnungswinkel zu minimieren.

Für eine typische Wolkenhöhe von 2 km sieht man, dass bei einem 15-Grad-Öffnungswinkel ein Fehlanpassungsverlust aufgrund der Einschränkung des Strahls durch den Winkel zwischen Wolkenhöhe und Erdoberfläche bei Entfernungen über 20km besteht. Wenn die Entfernung auf 200km erhöht wird, wird nur ein kleiner Teil der Energie in der vertikalen Dimension empfangen (weniger als 1 Grad). Das bedeutet ein Fehlanpassungsverlust von über 10dB_o und resultiert in einer signifikanten Herabsetzung des Signal-Rauschverhältnisses von über 20 dB_e. Der Fehlanpassungsverlust aufgrund solcher geometrischer Einschränkungen kann noch größer werden, wenn sich Hindernisse an den Enden des Pfads befinden, er kann aber geringer werden, wenn man von hohen Bergen aus arbeitet. Man sieht also, während der geometrische Fehlanpassungsverlust in Abhängigkeit der aktuellen Situation variiert, dass ein Arbeiten über Entfernungen über 200km Öffnungswinkel von einem Grad oder weniger erfordert, um zusätzliche Fehlanpassungsverluste zu begrenzen. Im Prinzip gäbe es Vorteile, zu noch geringeren Öffnungswinkeln zu gehen – besonders bei noch größeren Distanzen. Dann jedoch kommt man zu zwei weiteren Grenzen. Erstens wird es schwierig, das System bei Öffnungswinkeln von ca. einem Grad auszurichten, und zweitens wird die Strahlintensität so stark, dass der Punkt erreicht wird, wo die Beschränkungen aufgrund der Luftverkehrsicherheit erreicht werden⁵.

Wenn klar ist, dass das Arbeiten über weite Entfernungen Öffnungswinkel von etwa einem Grad erzwingt, kommen wir an eine wichtige Beschränkung, die auftritt, wenn wir versuchen, den Öffnungswinkel auf solch einen Wert einzuzengen. Abb. 2 zeigt, wie der Öffnungswinkel eine Funktion von der Größe der Lichtquelle und der Fokallänge ist.

Abb. 2: Vereinfachendes Diagramm zur Verdeutlichung der Abhängigkeit des Öffnungswinkels von der Fokallänge und der Größe der Lichtquelle.

Während es scheint, dass die erste Lösung, um den Öffnungswinkel zu verkleinern, die Verwendung einer Linse mit längerer Fokallänge ist, führt das im Gegensatz zu einer weiteren Begrenzung, weil jetzt eine größere Linse benötigt wird, um den selben Anteil des Lichts der Quelle zu erfassen. Wenn wir also eine Linse vernünftiger Größe verwenden wollen, ist die einzige Lösung, eine sehr kleine Lichtquelle zu verwenden, was wiederum das Problem mit sich bringt, dass eine hohe Leistung (um P_T zu maximieren) von einer kleiner Fläche abgegeben werden muss.

Eine weitere Überlegung ist, dass, wenn die Quelle isotrop ist, selbst eine sehr große Linse nicht mehr als die Hälfte des Lichts einfangen kann und bedeutend weniger wird von Linsen praktikabler Größe eingefangen. Das führt dann zu dem zusätzlichen Kriterium, dass die Quelle ein Strahlungsdiagramm

3 Nomenklatur der Leistung "o" = optische Leistung, hingegen "e" = elektrische Leistung

4 Nomenklatur der Leistung "e" = elektrische Leistung, hingegen "o" = optische Leistung

5 Eine interessante Möglichkeit, die eine Leistungserhöhung erlauben würde, ohne die Luftsictheit zu gefährden, wäre, den Strahl nur in der vertikalen Dimension einzuzengen. Das jedoch, bringt die Schwierigkeit mit sich, dass ein ähnliches Sichtfeld des Empfängers erforderlich wird, um Fehlanpassungsverluste zu vermeiden. Weitere Untersuchungen sind hier nötig.

haben sollte, das einen ausreichend kleinen Öffnungswinkel aufweist, so dass das meiste des Lichts durch eine Linse angemessener Größe, aber langer Fokallänge, eingefangen wird. Wenn wir zum Beispiel eine Linse von 100 qmm mit 330 mm Fokallänge verwenden, müsste der Öffnungswinkel der Quelle 15 Grad oder weniger betragen, damit das meiste der Energie eingefangen werden kann.

Der Term für den Extinktionsverlust in Gleichung 1 variiert mit der Wellenlänge und wie in Teil 2 dieser Artikelserie diskutiert, wird er am blauen Ende des sichtbaren Spektrums größer als am roten Ende. Obwohl der Verlust im Infraroten noch niedriger ist, haben wir beschlossen, aus Sicherheitsbedenken kein Infrarot zu verwenden. Unsere eigenen Versuche über eine 100-km-Strecke zeigen, dass der Extinktionsverlust für blaues etwa 10 dB_o höher ist, als für rotes Licht, was eine Reduzierung des Signal-Rauschverhältnisses von 20 dB_e ergibt. Deshalb ist für Kommunikation über lange Strecken mittels Wolkenscatter rotes Licht vorzuziehen. Obige Diskussion zusammenfassend, brauchen wir also:

- Einen Öffnungswinkel von etwa 1 Grad für weite Distanzen (200km).
- Größere Öffnungswinkel können bei kürzeren Distanzen verwendet werden und haben den Vorteil, dass geringere Intensitäten ausreichen.
- Eine Lichtquelle mit kleiner Fläche und hoher Leistung.
- Eine Strahlungsdiagramm der Lichtquelle, das ausreichend schmal ist, so dass alle Energie von einer angemessenen großen Linse eingefangen werden kann.
- Eine Wellenlänge am roten Ende des sichtbaren Spektrums, um die Extinktionsverluste zu minimieren.

3. Lichtquellen

Zusätzlich zu den optischen Überlegungen, die eben diskutiert wurden, muß die Lichtquelle in der Lage sein, bei nahe 100% moduliert werden zu können. Nach unserer Erfahrung sind mechanische Systeme zur Modulation ausgeschlossen, da sie zu sehr unter Phasentrauschen leiden, um sehr enge Bandbreiten zu ermöglichen. Einige der Optionen für die Lichtquellen, mit denen wir experimentiert haben, sind:

Lichtquelle (Quellgröße in mm)	Fokallänge der Fresnel-Linse (mm)	Leistungspegel einer 65m Teststrecke (uw/cm ²)	Öffnungswinkel / Divergenz (Grad)
400W Quecksilberdampf – isotrop (15 x 55)	330	10	2
400W Quecksilberdampf – isotrop (15 x 55)	550	16	1
400W Quecksilberdampf – isotrop (15 x 55)	1000	23	0.5
400W Quecksilberdampf – Parabolreflektor (250)	Keine Fresnel-Linse	5.7	-
400W Quecksilberdampf – Parabolreflektor (250)	330	18.7	43
400W Quecksilberdampf Reflektorkugel (170)	Keine Fresnel-Linse	0.4	-
400W Quecksilberdampf Reflektorkugel (170)	330	34.7	29
400W Quecksilberdampf Reflektorkugel (170)	550	36.7	18
400W Quecksilberdampf Reflektorkugel (170)	1000	38.9	10
Luxeon III + 15° Taschenlampenlinsen x 60 Stück	Keine Fresnel-Linse	5.5	15
Luxeon III + 15° Taschenlampenlinsen x 60 Stück	330	275	2.2

Tabelle 1 – Verschiedene Quellenintensitäten und Öffnungswinkel mit verschiedenen Linsenkombinationen.

Quecksilberdampflampen: Diese gibt es mit Leistungen bis zu mehreren KW und wir waren in der Lage diese bei nahe 10% zu modulieren. Das Hauptproblem besteht darin, dass die Quelle immer isotrop ist und relativ groß ist (typisch 1,5 x 5 cm für eine 400 Watt Birne und größer bei höheren Leistungen). Mit Linsen praktikabler Größe war die beste Intensität die wir erreichen konnten, etwa 10 dB_o geringer als bei unserem Multi-LED-Sender mit schmalen Öffnungswinkel, was eine Reduktion des Signal-Rauschverhältnisses von 20 dB_e bedeutet. Die Situation ist noch schlechter, wenn man die Tatsache berücksichtigt, dass die Mehrheit dieses Lichts nicht am roten Ende des Spektrums liegt.

Hochleistungsentladungslampen: Diese werden für die Scheinwerfer bei modernen Autos und in Projektoren eingesetzt. Es gibt sie in verschiedenen Leistungen und sie setzen Xenon ein, das erwünschterweise das ganze sichtbare Spektrum abdeckt. Die Quellen sind viel kleiner als die Quecksilberdampflampen und Öffnungswinkel von etwa 30 Grad können mit relativ kleinen Reflektoren (ca. 10 cm Durchmesser) erreicht werden. Aber auch eine 10cm-Quelle würde eine sehr große

Fokallänge benötigen und deshalb auch eine große Sekundärlinse erfordern, um einen kleinen Öffnungswinkel zu erreichen. Wir haben uns nicht mit der Frage der Modulation dieser Lampen befasst. Es gibt auch Sicherheitsaspekte bei diesen Lampen, da sie mit hunderten von Volt und beträchtlichen Strömen betrieben werden.

Laser: Laser können leicht sehr schmale Öffnungswinkel produzieren. In der Tat sind diese so schmal, dass man optische Konstruktionen benötigen würde, um den Strahl aufzuweiten (Beam-Expander), um die Sicherheitsgrenzen der Luftfahrt nicht zu überschreiten. Laser unterliegen immer mehr gesetzlichen Beschränkungen und Geräte mit Leistungen von einigen 10 Watt sind teuer und es ist unwahrscheinlich, dass sie für Amateurzwecke verfügbar werden.

Lichtemittierende Dioden (LEDs): LEDs produzieren Licht aus einer kleinflächigen Quelle (typisch ein qmm Chip) und es gibt sie für rote Wellenlängen. Man kann sie leicht bis zu 100% modulieren, benötigen nur niedrige Spannungen und sind relativ billig. Ein Nachteil ist die relativ niedrige optische Ausgangsleistung (z.B. ein halbes Watt für 3 Watt Input bei der Luxeon III LED). Die niedrige optische Ausgangsleistung kann ausgeglichen werden durch Parallelschaltung vieler Dioden in Bänken und der Öffnungswinkel kann auf etwa 15 Grad durch Verwendung billiger Taschenlampenlinsen verringert werden. Billige Plastik-Fresnel-Linsen aus Lesehilfen können den Öffnungswinkel bis auf etwa 2 Grad verkleinern.

Da immer mehr Forschung und Entwicklung in Richtung effektiverer Lösungen für die Beleuchtung stattfindet, erwarten wir, dass verbesserte Lichtquellen mehr und mehr verfügbar werden. Ein Beispiel ist eine Hochleistungs-LED mit fast 10 dB verbesserter optischer Leistung im Vergleich zur Luxeon, die von Luminus (Typ Nr. CBT-1206) hergestellt wird. Auch wenn sie eine viel größere Quellenfläche hat als eine Luxeon, ist es wert, sie in Betracht zu ziehen, sofern man eine passende sekundäre Linsenanordnung finden kann.

Obwohl wir nicht alle möglichen Optionen bis ins Allerletzte untersucht haben, haben wir aber bis dato keine andere Lichtquelle gefunden, die mit der roten Luxeon III LED bei Wolkenscatter-Kommunikation konkurrieren könnte. Deshalb wird sich der Rest dieses Artikels auf die Verwendung dieser roten Luxeon III LEDs in verschiedenen Sender-Konfigurationen konzentrieren.

4. Luxeon III Star - Rote LED

Abb. 3: Die rote (Lambertsche) Luxeon III LED in der Stern-Konfiguration⁷.

Luxeons gibt es in der sogenannten Stern-Konfiguration (Abb. 3), aufgeklebt auf einen Alu-Kühlkörper von etwa 20mm Durchmesser. Diese Anordnung erleichtert Amateur-Konstruktionen, weil die Einheit leicht auf einen größeren Kühlkörper mit Wärmeleitungsstape⁸ geklebt werden kann und der Stern liefert eine Basis für eine einfaches Montieren von Taschenlampenlinsen. Die rote Version der Luxeon III Star hat die Typen-Nr. LXHL-L3DC und ist spezifiziert mit 140 Lumen Ausgangsleistung bei durchschnittlich 1400 mA. Der maximale Spitzenstrom ist mit 2200 mA spezifiziert, bei dem der Spannungsabfall 3,6 Volt beträgt. Die Luxeon hat einen Chip von gerade etwas über einem qmm Größe und ist in einem kleinen Spiegelflektor untergebracht und mit einer integrierten Linse bedeckt. Diese Anordnung fokussiert die Energie in einer Lambertschen Form mit einem 3-dB-Öffnungswinkel von ungefähr 135 Grad, wie in Abb. 4 gezeigt.

Abb. 4: Typisches Lambertsches Diagramm und Öffnungswinkel für eine rote Luxeon III⁹

5. Verkleinern des Öffnungswinkels der Luxeon III LED

Die einfachste Art, den Öffnungswinkel zu verkleinern, geht mit leicht erhältlichen Typen von Taschenlampenlinsen oder Reflektoren. Eine Anzahl von Herstellern produziert Linsen und Reflektoren speziell für die verschiedenen Luxeon-Typen und das beste Ergebnis haben wir mit der Linse von L2 Optics L2OP005¹⁰ erhalten. Zu dieser gibt es einen kleinen Plastik-Halter (L2OHS35-WH), der eine Einstellung ermöglicht (Abb. 5). Das ergibt 15 Grad Öffnungswinkel mit einer Luxeon III oder 19 dBZ optischen Gewinn oder 38 dBz Verbesserung beim elektrischen Signal-Rauschverhältnis im Vergleich zur Luxeon III mit ihren 135 Grad. Es soll angemerkt werden, dass der Hersteller (wie die meisten anderen

6 <http://www.luminus.com/content/1461>

7 Philips Lumileds Technical Data Sheet DS46, <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS46.pdf>

8 z.B. Thermal Transfer Adhesive - <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=NM2790>

9 Philips Lumileds Technical Data Sheet DS46, <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS46.pdf>

10 L2Optics Webseite, <http://www.l2optics.com/luxeon.aspx>

auch) behaupten, dass dieses 5-Grad-Linsen sind. Zum Teil liegt das daran, weil sie dies als die Divergenz vom Peak definieren und nicht als den Öffnungswinkel, der dann 10 Grad betragen würde. Während die Linsen mit einer Luxeon I einen Öffnungswinkel von etwa 10 Grad ergeben, erhöht der größere Chip der Luxeon III den Öffnungswinkel auf etwa 15 Grad.

Abb. 5: v.l.n.r.: Luxeon III Star, L2OHS35-Linsenhalter und L2OP005-Linse (in cm)

Um den Öffnungswinkel weiter zu verkleinern, ist es nötig, eine Sekundärlinse mit langer Fokalweite zu verwenden und der günstigste Weg ist, Fresnel-Linsen aus Plastik zu verwenden, die in Lesehilfen weit verbreitet sind. Wir hatten Glück und fanden einen Bestand in einem örtlichen Surplus-Geschäft. Diese Linsen hatte eine Fokallänge von 330 mm und die Abmessungen 280 x 210 mm. Diese Größe mit ihrer langen Fokallänge ist zu klein, um eine direkte Verwendung der Luxeon mit ihrem 135-Grad-Öffnungswinkel zu ermöglichen, ohne dass viel Energie außerhalb der Linse verloren geht. Also haben wir als Lösung erst die Fokussierung des Lichtes mit den Taschenlampenlinsen (Abb. 5) gewählt und dann erlaubte uns dies die Verwendung einer auf nur 120 x 120 mm kleiner geschnittenen Fresnel-Linse. Diese Anordnung wurde dann in gestockten Reihen verwendet, um die optische Leistung aufzubauen (Abb. 11). Es ist möglich, Linsen mit kürzerer Fokallänge zu bekommen, was eine direkte Verwendung der Luxeons ermöglichen würde, so dass die Verluste einer Zwei-Linsen-Anordnung vermieden würden. Aber diese Möglichkeit haben wir nicht ausprobiert.

6. Kleiner Sender mit vier Luxeons und 15 Grad Öffnungswinkel

Abb. 6 zeigt ein Beispiel eines kleinen Senders, der ein gutes Gerät für den Anfang ist für diejenigen, die Interesse haben an Experimenten mit optischer Wolkenscatter-Kommunikation. Mit einem guten APD-Empfänger ist dieser Sender brauchbar für Wolkenscatter mit JT65A bis zu ca. 70km.

Abb. 6: Sender mit vier Luxeons mit Taschenlampenlinsen, rechts in einem Lausprecherkragen montiert.

Die Einheiten werden mit Wärmeleitpaste (wie im vorigen Abschnitt beschrieben) auf einer 6mm dicken Aluminiumplatte montiert, die auch als Kühlkörper dient. Es ist wichtig, den Luxeons eine angemessene Wärmeableitung zu geben, weil man leicht die maximalen Spezifikationen für die Temperatur überschreiten kann, wenn kein Kühlkörper vorhanden ist. Außerdem fällt die Lichtausgangsleistung um etwa 2 dB ab, wenn die Temperatur von 10 Grad C auf 40 Grad C ansteigt. Obwohl der Hersteller der Luxeons detaillierte Informationen zum Design der Kühlkörper liefert, ist unser Ansatz gewesen, den Kühlkörper überzudimensionieren und die Temperatur zu messen, um sicher zu sein, dass es keinen signifikanten Temperaturanstieg gibt.

Für den Sender werden Taschenlampenlinsen und Halter, wie zuvor beschrieben, verwendet, um einen 15-Grad-Öffnungswinkel zu erhalten. Sie werden mit Alleskleber auf den Luxeons befestigt.

Wir haben die Luxeons durch Lausprechermanschetten¹¹ aus Kunststoff geschützt, die auch das Licht abschirmen, außer wenn man direkt von vorne hineinschaut. Die Manschetten sind einstellbar, so dass man die Abschirmung justieren kann, falls es Probleme mit den Nachbarn geben sollte.

An der Rückseite unten wurde ein Loch in den Boden gebohrt, um eventuelles Regenwasser abzuführen. Mit dieser Konstruktion gab es keinerlei Probleme, wenn wir sie die ganze Nacht draussen für Ausbreitungsexperimente laufen liessen

7. Ein Array mit 60 Luxeons und 15 Grad Öffnungswinkel

Dieser Sender (Abb. 7, 8 & 9) verwendet die selben Taschenlampenlinsen wie das Gerät mit den 4 Luxeons oberhalb. Der Erhöhung von 4 auf 60 Luxeons produziert fast die 16-fache Intensität oder fast 12 dBz, was eine sehr lohnende Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses von fast 24 dBz ergibt. Das Hauptproblem damit besteht darin, dass jede Einheit ca. 2.5 Watt Wärme generiert, d.h. ca. 150 Watt alle zusammen. Um die Luxeons kühl zu halten, haben wir sie auf zwei Kühlkörper montiert, die für erzwungene Luftkühlung gedacht sind. Die Kühlkörper¹² ermöglichen, dass 2 normale 80mm 12-Volt-Lüfter verwendet werden können. In diesem Fall ist es bequem, wenn man ganze Bögen von Wärmeleitungsfolie verwendet. Man braucht drei für jeden Kühlkörper, also insgesamt sechs. Ein Kragen wurde hinzugefügt, um die Sichtbarkeit außerhalb der Achse einzuschränken.

11 z.B. <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=CX2684>

12 z.B. <http://jaycar.com.au/productView.asp?ID=HH8532>

Abb. 7: Array mit 60 Luxeons und 15 Grad Öffnungswinkel. Ganz links mit Visier. Rechts die 60 Luxeons mit den Taschenlampenlinsen davor.

Abb. 8: Array mit 60 Luxeons und 15 Grad Öffnungswinkel, der Mantelkragen ist entfernt. Links die Lüfter am Ende der Kühlkörper. Rechts die gegenüberliegende Seite mit einem Inklinometer für die Elevationsanzeige und die Enden der Kühlkörper.

Abb. 9: Array mit 60 Luxeons und 15 Grad Öffnungswinkel in Betrieb bei Joe, VK7JG. Photo von Alvin de Quincey, VK7NDQ.

8. Ein Array mit 60 Luxeons und 2.2 Grad Öffnungswinkel

Bei diesem Sender werden die Taschenlampenlinsen weiter mit Fresnel-Linsen fokussiert, wie in Abb. 10 gezeigt.

Abb. 10: Einfaches Diagramm (nicht maßstabgetreu) für die optische Anordnung mit 20mm Taschenlampenlinsen gefolgt von einer Fresnel-Linse, um einen Öffnungswinkel von 2,2 Grad zu erreichen. Eine Bank von 60 derartigen Einheiten wird für den Sender in Abb. 11 verwendet.

Der endgültige Öffnungswinkel wird durch die Größe der Taschenlampenlinsen (20 mm) und die Fokallänge der Linse bestimmt. Für die Surplus-Linsen, die wir verwendeten (330mm Fokallänge) funktioniert dies bei einem Öffnungswinkel von 3,5 Grad. In der Realität ist die Lichtquelle nicht gleichmäßig und hat ein Maximum in der Mitte der Linse und dies ergibt dann einen etwas besseren Öffnungswinkel, der wir mit 2,2 Grad gemessen haben.

Um sicher zu gehen, dass alles Licht innerhalb des 2,2 Grad Öffnungswinkels fokussiert wird, muss das meiste des Lichtes des 15 Grad Öffnungswinkels auf die Fresnel-Linse fallen. Mit den Linsen von 330mm Fokallänge, die wir benutzt haben, fällt der 15 Grad 3-dB-Punkt auf die Linse bei etwa 85 mm Durchmesser. Da jedoch etwas-Energie auch außerhalb des 3-dB-Punkts fällt, ist es nützlich, die Fresnel-Linse ein wenig größer zu machen, als diese Fläche, die durch den 15 Grad Öffnungswinkel abgedeckt wird. Auch haben wir aus Gründen der Einfachheit der Konstruktion beschlossen, sie quadratisch zu machen. Die Größe der Fresnel-Linse ist ein Kompromiss zwischen Illuminations-Effektivität und der Gesamtgröße der Einheit. Wir haben 120mm im Quadrat gewählt, was fast die gesamte Energie aufnehmen sollte, jedoch in großen Ausmaßen für die Gesamtstruktur resultiert (1.2 x 0.72 m).

Abb. 11: Array mit 60 Luxeons mit quadratischen 120 mm Fresnel-Linsen, um auf 2,2 Grad Öffnungswinkel zu fokussieren. An der Seite ein Zielfernrohr zur Ausrichtung und ein Inklinometer (weiß) darüber für die ElevationsEinstellung. Die Azimut-Einstellung geschieht durch Drehen der Basisplatte um einen zentralen Bolzen.

Die quadratische 120-mm-Linse muß aus den originalen 210 x 280 mm Linsen herausgeschnitten werden, sofern keine Linse passender Größe erhältlich sind. Das Schneiden der Linse kann einfach mit einer Tischkreissäge mit einem feinen Sägeblatt erfolgen. Es ist wichtig, sorgfältig die Maße einzustellen, da die Linsen auf wenige mm genau geschnitten werden müssen. Wir haben das Gestell für die 60 Einheiten aus dünnem (1.2mm) Aluminium aufgebaut. Jede Anordnung von 6 Einheiten in der Vertikalen ist unterteilt durch Aluminium-Teiler, die sowohl die Konstruktion stabilisieren und eine Ausmittlung für das Montieren der individuellen Linsen liefern. Diese sind auf kleinen, rechteckigen Alu-Haltern montiert, die mit Pop-Nieten an den Teilern befestigt sind. Zwei Nietmuttern werden an jedem Halter angebracht, um jede Ecke der einzelnen Linse montieren zu können. Wir haben bei uns keine horizontalen Teiler verwendet und wir fanden nicht, dass diese nötig wären. Das bedeutet, dass eine geringe Lichtmenge von benachbarten Einheiten überschossen kann, und das ruft zusätzliche Stellen mit niedriger Energie bei etwa +/- 30 Grad hervor. Wir haben dies nicht als problematisch empfunden. Die Luxeons werden auf der Rückseite der Einheit montiert, wie in Abb. 13 gezeigt. Jede Luxeon, mit ihrer integrierten taschenlampenähnlichen Linse ist auf einem separaten Kühlkörper montiert (Abb. 12), der nicht nur dazu dient, einen exzessiven Temperaturanstieg zu vermeiden, sondern auch als Mittel dient, die Ausrichtung jeder einzelnen Einheit einjustieren zu können.

Beim Array mit dem Öffnungswinkel von 2,2 Grad müssen die 60 einzelnen Einheiten sehr genau auf etwas besser als ein halbes Grad ausgerichtet werden. Um die Ausrichtung zu ermöglichen, haben die Kühlkörper, auf denen jede Luxeon- und Taschenlampenlinse montiert sind (Abb. 12), etwas überdimensionierte Montagelöcher, so dass um etwa +/- 2mm justiert werden kann, bevor angezogen und mit Locitite¹³ fixiert wird. Die Justierung wird durchgeführt, indem jede LED einzeln, oder in kleinen

¹³ <http://www.locitite.com.au/>

Gruppen, auf eine 120 x 120 mm große Fläche auf einer Mauer in einiger Entfernung ausgerichtet wird.

Abb. 12: Luxeon mit Taschenlampenlinse, montiert auf einem Kühlkörper¹⁴. Man beachte die überdimensionierten und abgesenkten Montagelöcher, die eine Justierung der Ausrichtung ermöglichen.

Abb. 13: Die Rückseite der Einheit mit den 60 richtig platzierten Kühlkörpern.

9. Modulierung des Senders

Schaltbild 1 zeigt die Schaltung für den Hochstrom-Rechtecktreiber für die LEDs, der direkt mittels Soundkarte des PC durch WSJT oder andere Applikationen für schwache Signale angesteuert werden kann. Die Schaltung kann jede der in den Kapiteln 7 und 8 beschriebenen Arrays mit 60 Luxeons aussteuern oder auch die Einheit mit den 4 Luxeons aus Kapitel 6.

Schaltbild 2 zeigt eine Schaltung für Pulsweitenmodulation, die für Sprachmodulation als Treiber für die Schaltung 1 verwendet werden kann. Das Array mit den 60 Luxeons und 15 Grad Öffnungswinkel wurde erfolgreich für Sprachübertragung über eine Entfernung von 50km eingesetzt, wobei Pulsweitenmodulation verwendet wurde.

10. Betrieb des Senders

Aufgrund des schmalen Öffnungswinkels ist das genaue Ausrichten des Senders in Azimut und Elevation eine sehr wichtige Angelegenheit. Wenn man ein Signal einer sehr schmalen Bandbreite sucht, sagen wir einem Millihertz (mHz), braucht ein Programm wie Spectrum Lab¹⁵ eine Zeit in der Größenordnung von 16 Minuten, bis es das ganze Signal integrieren kann. Folglich ist es nicht praktikabel, auf einen Peak des Signals auszurichten, der über diese Zeitspanne durch QSB variieren kann. Es ist also essentiell, Techniken für eine exakte Ausrichtung zu haben. Wir verwenden nicht teure Inklinometer von der Marine (siehe Abb. 8) für die Elevation und eine Sichtrohr (siehe Abb. 7) oder ein Zielfernrohr (Abb. 11) für die Ausrichtung des Azimut. Das Sichtrohr oder Zielfernrohr muss genau kalibriert sein, indem man bei einem Empfänger im Sichtlinienbereich auf maximales Signal bei großer Bandbreite (einige wenige Hz) ausrichtet. Wenn das Sichtrohr eingestellt ist, braucht man als nächstes ein markantes Ziel im Gelände.

Wir haben mit Erfolg Google Earth eingesetzt, um klare Markierungspunkte auszumachen, wie ein entferntes Gebäude; anhand dessen dann mit dem Sichtrohr oder Zielfernrohr ausgerichtet wird. Wenn auf der exakten Linie des Pfads kein Markierungspunkt gefunden werden kann, ist es nötig, den Sender eine berechnete Gradzahl zu drehen. Beide Arrays mit den 60 Luxeons wurden so montiert, dass sie in Bezug zu einem angebrachten Winkelmesser gedreht werden können. Eine möglicherweise bessere Methode, die wir in der Zukunft einsetzen wollen, besteht darin, eine GPS-Position in der exakten Richtung zu bestimmen und dann einen Punkt mindestens 10km entfernt zu finden, wo man einen weiteren Helfer hinschickt, der eine Lichtquelle hat, auf die dann ausgerichtet werden kann, wobei 2m als Talkback benutzt werden kann.

11. Diskussion und Folgerungen

Obgleich wir keine genauen Maßzeichnungen für die Konstruktion geliefert haben, hoffen wir doch, dass die Fotos und Beschreibungen ausreichen, um andere, die eigene Sender bauen wollen, damit anzuleiten. Wir würden erwarten, dass die Sender mit großem Öffnungswinkel leicht nachgebaut werden können, da alle Teile leicht erhältlich sind. Etwas schwieriger könnte die Beschaffung geeigneter Fresnel-Linsen für den Sender mit dem kleinen Öffnungswinkel sein, da die Ausführung, die wir im Surplus-Shop bekommen hatten, nicht gängig ist und auf jeden Fall zurechtgeschnitten werden muss.

Dennoch sollte es mit etwas Einfallsreichtum und der Berücksichtigung der optischen Faktoren, die in dieser Artikelserie diskutiert wurden, möglich sein, Öffnungswinkel von 2 Grad oder weniger mit vielen der verfügbaren Plastik-Fresnel-Linsen zu erreichen, auch wenn diese verkleinert werden müssen, um die Größenbegrenzung bei Portabelbetrieb zu erfüllen.

Wir ziehen als Fazit, dass die Konstruktion eines optischen Senders völlig im Bereich des Machbaren für einen selbstbauenden Amateur ist, sofern er eine Kombination von Fähigkeiten in der Elektronik und Mechanik hat. Wir empfehlen aber die Einheit mit dem größeren Öffnungswinkel für den Anfang.

¹⁴ z.B. <http://jgycar.com.au/productView.asp?ID=HH8570>

¹⁵ Audio Spectrum Analyser by DL4YHF - <http://freenet-homepage.de/dl4yh/f/spectra1.html>