Höhlenfunk auf Längstwellen (VLF)

Jacques Hurni (HB9OD), Willstrasse 2, 2560 Nidau

1. Eingeschlossen und vermisst

Gegen Abend trifft auch der Polizeikommandant des Kantons Luzern, Polizeihauptmann Burkhard, ein. Er bringt ein Kleinfunkgerät neuesten Typs mit. Mit seinen Helfern erprobt er die Möglichkeit der Übermittlung von Meldungen im Innern der Höhle durch Kurzwellen. Wenn auch die Aussichten nicht besonders gross sind, so möchte er doch nichts unterlassen, was den Eingeschlossenen nützen und eine ähnliche Katastrophe verhindern könnte. Gegen Abend sind die Versuche zu Ende und ergeben das wenig erfreuliche Resultat, dass sich das Funkgerät für Höhlen nicht eignet. Die Reichweite beträgt je nach dem Orte 200 bis 300 Meter, ist also für das Hölloch viel zu klein. Überdies bedeutet die Mitnahme solcher Geräte eine zu grosse Belastung. Um halb zehn steigt das Wasser im Innern der Höhle wieder und erreicht bald die Kanzel.

Diesen nicht sehr ermutigenden Bericht findet man in Alfred Böglis Buch «Im Banne der grossen Höhle». 1952 wurde der Autor durch Hochwasser im Hölloch eingeschlossen und vermisst. Der Übermittlungsversuch war ein Teil der Rettungsbemühungen.

2. Höhlenfunk im 160 m-Band

1987, also 35 Jahre und einen gewaltigen Technologiesprung später, stellte sich eine Gruppe von Amateurfunkern und Höhlenforschern aus der Umgebung von Biel, Zürich und der Innerschweiz erneut die Frage nach drahtlosen Verbindungsmöglichkeiten in grossen Karsthöhlen. Mehrere Versuchsreihen im Jura- und Voralpenkarst gaben Aufschluss zur Ausbreitung von Kurzwellensignalen im Kalkgestein (1). Mit Sendeleistungen um 100 Watt liessen sich Felsstrecken bis zu 600 m Mächtigkeit durch Morsetelegrafie oder Sprechfunk sicher überbrücken. Den Erwartungen entsprechend war der langwelligste Amateurfunkbereich, das 160 m-Band (1,8 MHz) für die Übertragung am besten geeignet. Nachteilig waren beim 160 m-Betrieb die 40 bis 80 m langen isoliert verspannten Dipolantennen und die 10 bis 15 kg Gewicht für eine 100 Watt-Anlage in der Höhle (1).

3. Von Kurz- zu Längstwellen

Um im Hölloch, der grossen Karsthöhle im Muotathal, von der Oberfläche die tiefsten Punkte mit elektrischen Signalen zu erreichen, müssen Felsstrecken bis zu 1000 m Tiefe überbrückt werden können. Setzt man in die Gleichungen zum Berechnen der Streckendämpfung tiefere Frequenzwerte ein, erhält man kleinere Übertragungsverluste. Es war also naheliegend, weitere Versuche im Längstwellenbereich (VLF-Band) anzustellen.

4. Frequenzen

Etwa ab 1990 begannen wir Geräte im Frequenzbereich zwischen 10 und 150 KHz, also mit Wellenlängen von 2 bis 30 km, zu bauen und für Versuche einzusetzen. Bei unseren Messungen verwendeten wir die Frequenzen 10, 37, 47, 82 und 131 kHz. Allerdings wurden die Mess- und Versuchssignale nicht in den Raum abgestrahlt, sondern galvanisch ins Erdreich eingespiesen.

5. Antennen und Elektroden

Während für die Versuche im 160 m-Amateurfunkband noch frei und isoliert aufgehängte Halbwellenstrahler verwendet werden konnten, war diese Antennenform zum Abstrahlen von Signalen mit Wellenlängen zwischen 2 und 30 km aus praktischen Gründen nicht mehr brauchbar. In Annäherung an geoelektrische Messverfahren verwendeten wir darum für Sendung und Empfang der tiefen Frequenzen in bestimmten Abständen gesetzte Erdelektroden. Zur Speisung der Erdverbindungen wurden symmetrisch zum Sender/Empfänger isolierte Drähte ausgelegt, mit Elektrodenabständen von 160, 80 und 40 m. Angeschlossen wurden in der Höhle auch die langen Biwakantennen für den Mittelwellenrundfunkempfang. Die langen Drähte haben ohne Erdung an den Enden genügend Kapazität zum Einkoppeln der Ströme in den Fels. Wie zu erwarten, brachten genau gegenüberliegend und parallel ausgerichtete Sende- und Empfangsstrecken die besten Resultate. Halbieren der Elektrodenabstände von 160 auf 80 und 40 m erzeugte bis zu 4 mal schwächere Empfangssignale (12 dB) pro Halbierung. Rechtwinklig zueinander ausgelegte Sende- und Empfangsdrähte verminderten die empfangene Spannung auf einen Drittel (10 dB). Ohne Erdung an den Enden der ausgelegten 80m-Messstrecken ergaben sich durch die rein kapazitive Kopplung mit dem Erdreich um 25-30 dB schwächere Empfangssignale. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch den hohen Wechselstromwiderstand bei ungeerdeten Einspeisstrekken sendeseitig eine beträchtliche Fehlanpassung entsteht und bedeutend weniger Leistung ins Erdreich eingekoppelt werden kann. Die nachstehende Skizze (Bild 1) zeigt die Geräte- und Antennenanordnung.

Photo 1: Im Märchengang des Nidlelochs bei Verbindung 34, HB9SXV, HB9OD.

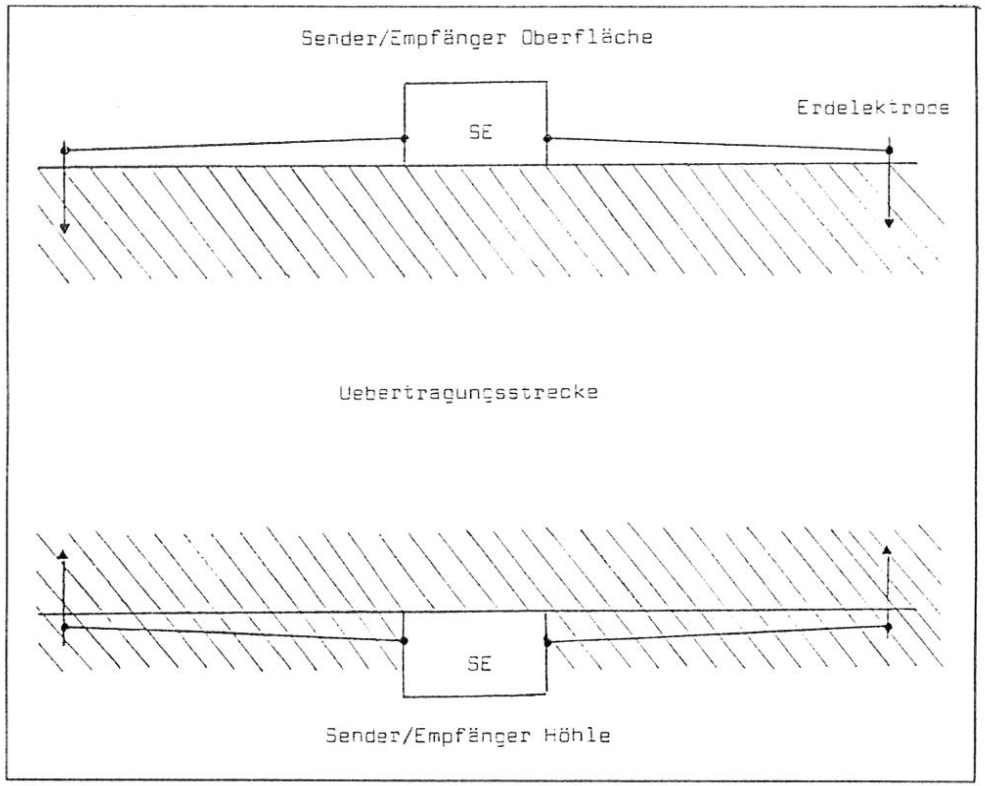

Bild 1: Geräte- und Antennenanordnung

Zuleitungen zu den Elektroden: Isolierte Kupferlitze ≧ 0,75 mm² Elektroden: Hartaluminiumkeile ≧ 25 cm in Felsritzen oder feuchtes Erdreich getrieben.

6. Die VLF-Geräte

Für die ersten Längstwellenversuche verwendeten wir einfache Telegrafiesender mit Frequenzen um 80 und 50 KHz, Breitbandendstufen und grober transformatorischer Anpassung an den ohmschen Widerstand der Einspeisstrecke. Damit konnten Sendeleistungen bis etwa 10 Watt ins Erdreich eingekoppelt werden. Als Empfangssysteme dienten VLF-Konverter, welche den VLF-Bereich 10-150 KHz in ein Kurzwellenband umsetzten. Nachgeschaltete Kurzwellenempfänger filterten die eintreffenden Signale und versetzten sie in den Hörbereich. Zum Messen der Empfangsspannungen konnten wir professionelle Industriegeräte ausleihen.

Nachdem die Vorteile des VLF-Betriebes – grössere Reichweite bei geringerem Gewicht und einfacher Antennenbau – feststanden, entwarf und baute Felix Ziegler (HB9CPZ) drei kompakte VLF-Sender-Empfänger für Morsetelegrafie und

Photo 2: Höhlenstation im Biwak 77 bei der Verbindung zum Biwak 7 (1420 m) mit starken Störungen im B7 durch statische Entladungen (Verbindung 33), HB9OD.

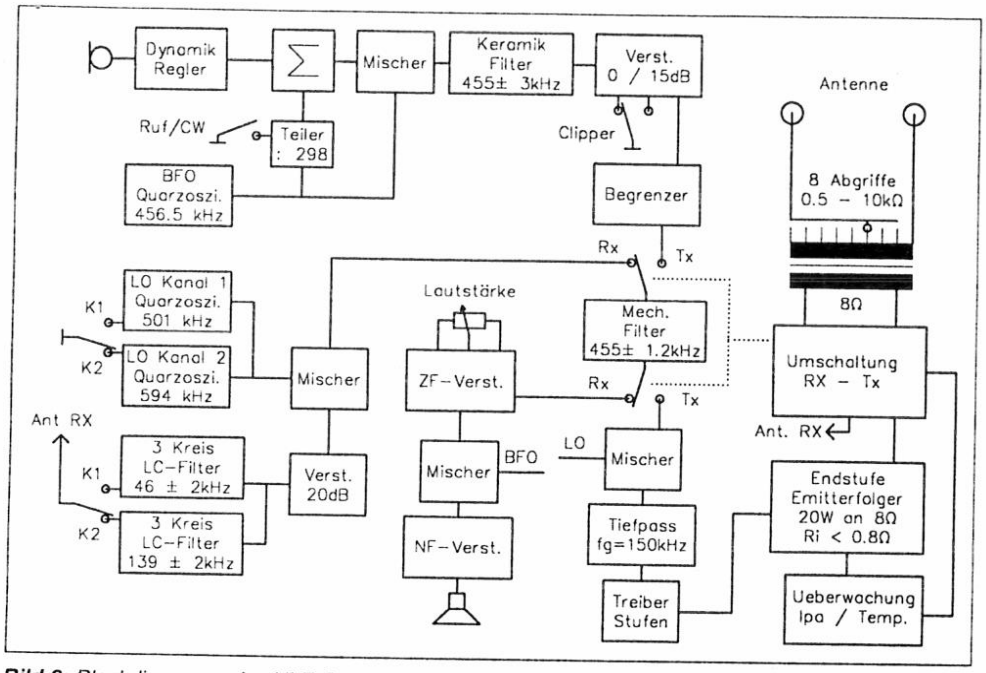

Bild 2: *Blockdiagramm des VLF-Sende-Empfängers*

Sprechfunk in Einseitenbandmodulation mit den Kanälen 46 und 137 kHz. Versuche in Frequenzmodulation wurden wegen dem hohen Leistungsbedarf eingestellt. Durch den Einbau der SSB-Geräte mit Speisebatterien (24V) in wasserdichte Kunststoffkoffer (23x20x9 cm - 2,4 kg) sind heute 3 höhlentaugliche Transceiver mit Sendeleistungen bis zu 50 Watt verfügbar. HB9CPZ vereinigte ausserdem in einem etwas grösseren Koffer einen VLF-Transceiver mit einem VHF-Sprechfunkgerät (144 MHz). So entstand ein Zweiweg-Relais, das über eine VHF-Verbindung zu einem günstigen VLF-Standort an der Oberfläche besprochen werden kann und in beiden Richtungen die Höhlenverbindung sichert. Zwei VLF-Sender für Morsetelegrafie wurden ebenfalls mit Empfangskonvertern zu höhlentauglichen Einheiten in Gehäuse gebaut.

7. Blockdiagramm und Wirkungsweise der VLF-Transceiver von HB9CPZ

Bild 2 zeigt das Blockdiagramm des VLF-Transceivers. Beim Senden duchläuft das Mikrofonsignal zuerst einen 50 dB-Dynamikregler. An einem NF-Addierer kann zusätzlich ein Ton für Telegrafie oder Datenübertragung eingekoppelt werden. Die nachfolgende Mischstufe versetzt die NF in ein 455 kHz DSB-Signal. Es wird im nachgeschalteten Keramikfilter von unerwünschten Mischprodukten befreit. Über einen regelbaren Verstärker, den Begrenzer und ein mechanischer Filter gelangt nun ein SSB-Signal zum zweiten Mischer, an dessen Ausgang die gewünschte Sendefrequenz erscheint. Ein Tiefpass filtert die unerwünschte Spiegelfrequenz weg. Treiber und Emitterfolgerendstufe bringen das Signal auf nominell 20 Watt HF-Leistung. Der Ausgangstransformator erlaubt eine grobe Anpassung an die stark variierenden Einspeisewiderstände des Erdreiches.

Das empfangene Signal erfährt durch ein schmalbandiges LC-Filter eine Vorselektion, um nach einer 20 dB-Verstärkung in einer Mischstufe auf die ZF 455 kHz umgesetzt zu werden. Die Hauptselektion geschieht durch das mechanische Filter (1,2 kHz). Nach einer 80 dB ZF-Verstärkung besorgt eine weitere Mischstufe die Demodulation zum NF-Signal. Die NF-Verstärkung erlaubt Lautsprecher- oder Kopfhörerbetrieb. Die Eingangsempfindlichkeit der Empfangsschaltung liegt bei 1 Mikrovolt. Die zur Mischung benötigten Frequenzen werden mit Quarzoszillatoren und Teilern erzeugt. Eine aufwendige Sende-Empfangsumschaltung steuert das ganze Gerät. In der Endstufe werden Strom und Temperatur überwacht und bei zu hohen Werten schaltet der Transceiver automatisch auf Empfang.

Fortsetzung: old man 5/95

V	Aussenstandort	Höhlenstandort	Distanz m	Antennen m	Frequenz kHz	Empfang mV an 100 KΩ	Bemerkungen
1	Stall bei EL P 717	Blinddarm (Zürichsee)	60	160/80	47	48	Messung am Höhlenstandort,
2				160/80	131	98	geerdete Antennenenden
3				80/80	47	47	
4				80/80	131	41	
5				40/80	47	11	
6				40/80	131	17	
7				40/40	47	7	
8				40/40	131	6,4	
9	Pragelstrasse P 829	Kanzel	290	80/80	47	7,7	US/UE = 108 dB
10				80/80	131	3,5	111 dB
11				40/80	47	2,1	109 dB
12				40/80	131	0,9	112 dB
13	Mittenwald	Biwak 77	650	160/200	47	0,18	Messung Mittenwald-Antenne
14				160/200	131	0,062	im Schnee geerdet,
15				80/200	47	0,064	Biwakantenne ungeerdet
16				80/200	131	0,037	
17	Hünderloch	Biwak 3	680	160/100	47	0,044	Messung Hünderloch-Ant. im
18				160/100	131	0,041	Schnee, Biwakant. geerdet
19	Plätsch	Biwak 2	700	160/300	47	0,062	Messung Plätsch-Ant. im
20				160/300	82	0,041	Schnee, Biwakant. ungeerdet
21	Pragelstrasse	Pfeilerstollen	750	160/100	47	0,029	Messung Pragelstrasse-Ant. im
22				160/100	131	0,015	Schnee, Pfeilerstollen-Ant. geerd.
23	Aendiberg	Biwak 1	800	160/200	47	0,039	Messung Aendiberg-Ant. im
24				160/200	131	0,012	Schnee, Biwak-Ant. ungeerdet
25	Balmblätzen	Trughalle	800	160/100	47	0,036	Messung Balmblätzen-Ant. im
26				160/100	131	0,044	Schnee, Trughalle-Ant. geerd.
27	Gschwänd	Biwak 2	950	160/300	47	0,73	Messung Gschwänd-Ant. im
28				160/300	131	0,28	Schnee, Biwakant. ungeerdet
29	Rasishütte	Biwak 2	610	100/300	47	–	VHF/VLF-Relaispkt. für Biwak 2
30	Eingang 3	Biwak 13	250	80/100	47	–	Telegrafie – geerdete Antennen
31	Biwak 1	Biwak 2	920	200/300	47	–	Biwakantennen ungeerdet
32	Biwak 1	Biwak 77	1400	200/200	47	–	Biwakantennen ungeerdet
33	Biwak 77	Biwak 7	1420	200/200	47	–	B7 QRN, Biwakant. ungeerdet
34	Hinterweissenstein	Märchengang	300	80/80	47	0,008	Nidlelochverb.-Ant. geerdet

Tabelle 1: *VLF-Mess- und Versuchsverbindungen 1992-1994 (Auszug), Verbindungen 1-34*

HAMBÖRSE

Tarif für Mitglieder der USKA: Bis zu drei Zeilen Fr. 6.–, jede weitere Zeile Fr. 2.–. Nichtmitglieder: Bis zu drei Zeilen Fr. 12.–, jede weitere Zeile Fr. 4.–. Angebrochene Zeilen werden voll berechnet.

Zu verkaufen: Ich liquidiere den Restposten meiner Bücher «VHF UHF Funkverfahren und Betriebstechnik» zum Nettopreis von Fr. 16.– inkl. Tonbandkassette (exkl. Porto und Verpackung). Franz. Ausgabe Fr. 14.– ohne Kassette. Pierre Pasteur (HB9QQ), Tel. P: 01 / 821 80 04, G: 01 / 362 95 55, Fax 01 / 362 91 97.

Zu verkaufen: 1 Bosch KF-450 UHF komplett mit Service Manual, Halterung, Orig. Mic., Relaiskanäle bestückt, Fr. 200.–; 1 SR-C 145 Handy, Fr. 100.–; 1 SR-C 432 Handy, Fr. 100.–; 1 IC-202, 4x200 kHz, Fr. 350.–; 1 SR-C 4300 UHF, Relaiskanäle bestückt, Fr. 250.–; 1 FT-221 VHF all Mode, Fr. 450.–; 1 TX home made HB9MDC, VHF all mode, 150mW, Fr. 150.–; 1 PA home made HB9MDC, VHF ca. 10 W, Fr. 100.–; 1 RX home made aus Semcoset Bausteinen, VHF, all mode, Fr. 150.–; 1 Transverter, Mircowave, 432-144 SSB, Fr. 75.–; 1 Topfkreisfilter, PSF 432, Spectrum International, Fr. 35.–; 1 UHF RX Scanner 4 Kanal, Midland 13-903, Fr. 45.–; 1 Sommerkamp SK-2699R (FT-2700RH) 2/70 kompl. mit Mic, Halterung, Duplexer, Fr. 500.–; 1 Bird Dummy Load, Mod. 8135, 150 W, ölgekühlt, Fr. 350.–; 1

Höhlenfunk auf Längstwellen (VLF)

Jacques Hurni (HB9OD), Willstrasse 2, 2560 Nidau

8. Verbindungen

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die bisher erfolgreichsten Längstwellenverbindungen zusammengefasst, und Bild 3 gibt eine Übersicht über die Mess- und Versuchsverbindungen im Höllochplan. Die Aussenstandorte sind mit den Flurnamen der Karte 1:25'000 Muotathal bezeichnet. Unter Antennen sind die Distanzen zwischen den geerdeten oder ungeerdeten Endpunkten der Einspeisung oder des Empfangsbegriffes im Fels zu verstehen. In den Messreihen wurden auch die Frequenzen 10, 37 und 82 kHz erfasst. 47 kHz ergab im Mittel die besten Resultate. 131 kHz bietet Vorteile wegen geringerem Störpegel bei Entladungen von statischer Elektrizität und Oberwellen von Industriefrequenzen. Die neuen Geräte sind darum mit Kanälen um 47 und 137 kHz ausgerüstet.

Von Störungen durch statische Entladungen sind vor allem die Aussenstationen betroffen. Allzulange Antennenstrecken begünstigen diese Effekte. 160 m dürften als obere Grenze sinnvoll sein. Auch an den Höhlenstandorten sind Statikstörpegel vorhanden. Bei früheren Versuchen erwiesen sich die fallenden Tropfen im Wasserdom in der näheren Umgebung als beträchtliche Störungsquelle. Die längste Verbindung in der Tabelle (V33) erlaubte einen zwar schwachen, aber ungestörten Empfang von Morsetelegrafie bei Biwak 77. Dagegen konnten die Morsezeichen bei Biwak 7 (etwa 400 m unter der Oberfläche) nur mit Mühe gelesen werden. Das unterirdische «Gewitter» verminderte sich nach einer Stunde zu einem deutlich tieferen Störpegel. Ein genaues Erfassen der Last- und Quellwiderstände oder Impedanzen für die Sende- und Empfangsstrecken war trotz Einsatz einer Messbrücke mit VLF-Speisung nicht möglich. In der Tabelle wird darum auf die Berechnung von Streckendämpfungen als Vergleiche zwischen gesendeter und empfangener Leistung verzichtet. Die hochohmig gemessenen Empfangsspannungen (Pegel) sollen trotzdem Anhaltspunkte, vor allem zur Auswirkung verschiedener Elektrodenabstände und zur nötigen Empfindlichkeit der Empfangsgeräte, liefern. Die langen Verbindungen V13-28 kamen mit Sendeleistungen zwischen 12 und 48 Watt zustande, wobei von Erde und Fels je nach Antennenart, Erdungsverhältnissen, geologischen und petrografischen Eigenheiten des Erdreiches HF-Leistungen im erwähnten Bereich aufgenommen wurden.

9. Zur VLF-Ausbreitung im Kalkgestein

Bei den 1,8 MHz (160m)-Versuchen konnte noch mit frei aufgehängten und genau abgestimmten Halbwellendipolen als Sende- und Empfangsantennen gearbeitet werden. Dadurch standen zum Berechnen der Streckendämpfungen eindeutige Messwerte zur Verfügung. Beim VLF-Verfahren mit galvanisch ins Erdreich eingekoppelter Sendeenergie und ebensolchem Empfangsabgriff sind die Übertragungsbedingungen weit schwieriger durchschaubar. Sender und Empfänger arbeiten an Last- und Quellwiderständen, deren Wirk- und Blindanteile wir nicht bestimmen konnten. Elektrische Signale treffen in Erde und Fels auf ständig wechselnde Verhältnisse, beeinflusst durch Feuchtigkeit, Schichtung, Hohlräume, chemische und galvanische Prozesse sowie natürliche und industrielle Fremdströme und Spannungen.

Photo 3: *Ein Versuch, die komplexen Last- und Quellwiderstände des Erdreiches zu messen, verlief erfolglos, HB9CPZ.*

Wie Christian Ebi in einer theoretischen Arbeit zeigte, lassen sich über Linienintegrale in homogenen Stoffen mit bekannter Leitfähigkeit die Gleichstromfelder von zwei gesetzten Idealelektroden berechnen. In einem weiteren Schritt können dann auch die an entfernten Punkten auftretenden Spannungen ermittelt werden. Die nachstehende Kurve zeigt das Ergebnis einer solchen Berechnung. Dargestellt ist das Spannungsverhältnis zwischen je 2 Sende- und Empfangselektroden (y-Achse: US/UE) in verschiedenen Abständen (x-Achse: Meter). Angenommen sind Einspeis- und Abgriffstrecken von je 80 m bei Sigma = 0,0001 Siemens/m Leitfähigkeit des homogenen Materials.

Um Nachrichten zu übertragen, müssen Ströme moduliert oder getastet werden. Die Lesbarkeit der Signale am Empfangsort ergibt sich aus dem Verhalten der Übertragungsstrecke bei schnell wechselnden Strömen. Um einen besseren Einblick in die Übertragung unter Wechselstrombedingungen zu erhalten, wurde in einem verlassenen Tunnel der Taubenlochschlucht (Jura-Kalk), nahe bei Biel, eine 80 m-Empfangsstrecke mit Messempfänger eingerichtet. Das Gelände über dem Tunnel erlaubte es, an einer gleich lan-

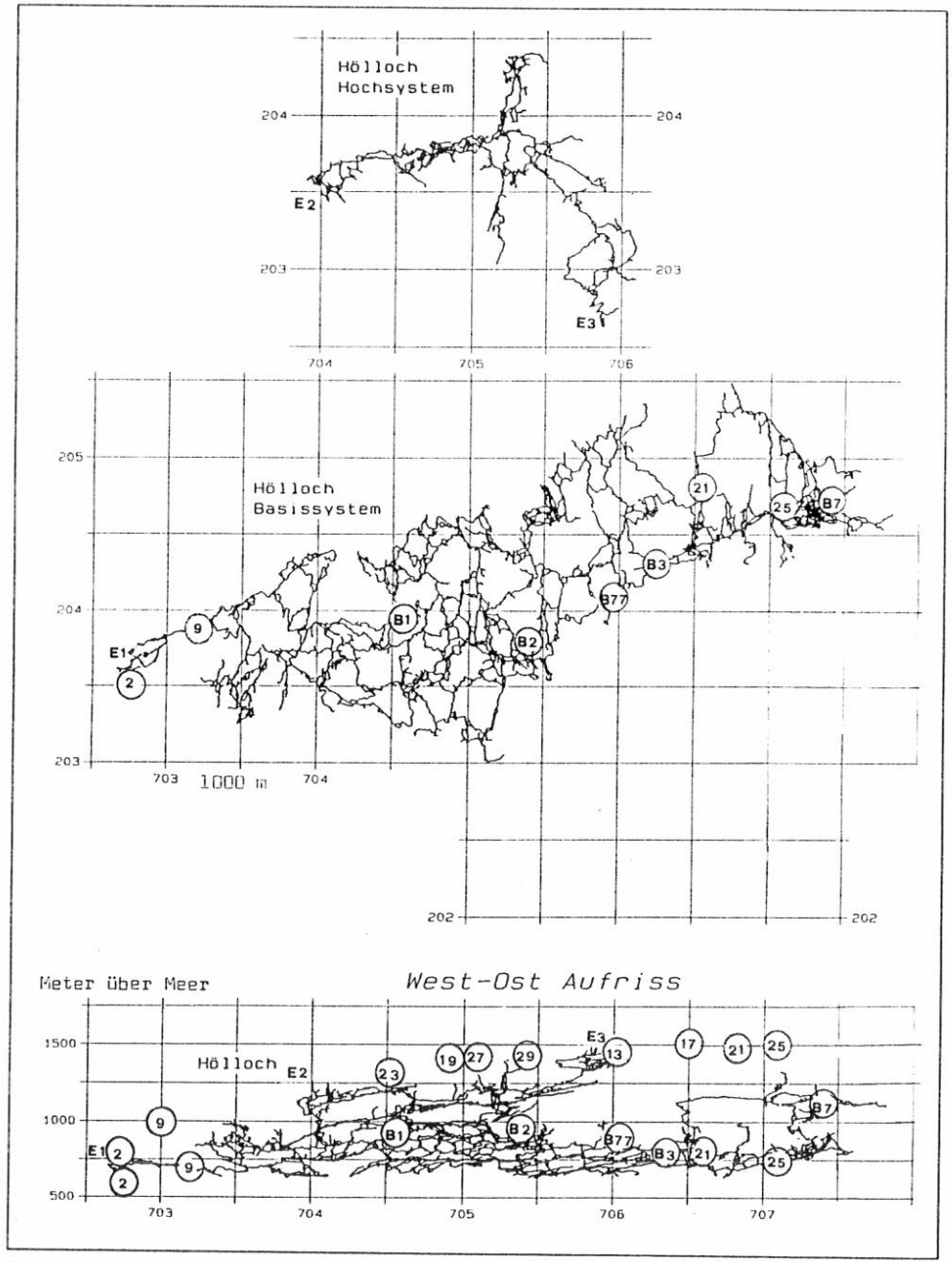

Bild 3: *Die Mess- und Versuchsverbindungen im Höllochplan.*
Die eingekreisten Bezeichnungen entsprechen der Numerierung in der Verbindungstabelle, Gesamtlänge der vermessenen Gänge zurzeit 167 km. B = Biwak, E = Eingang

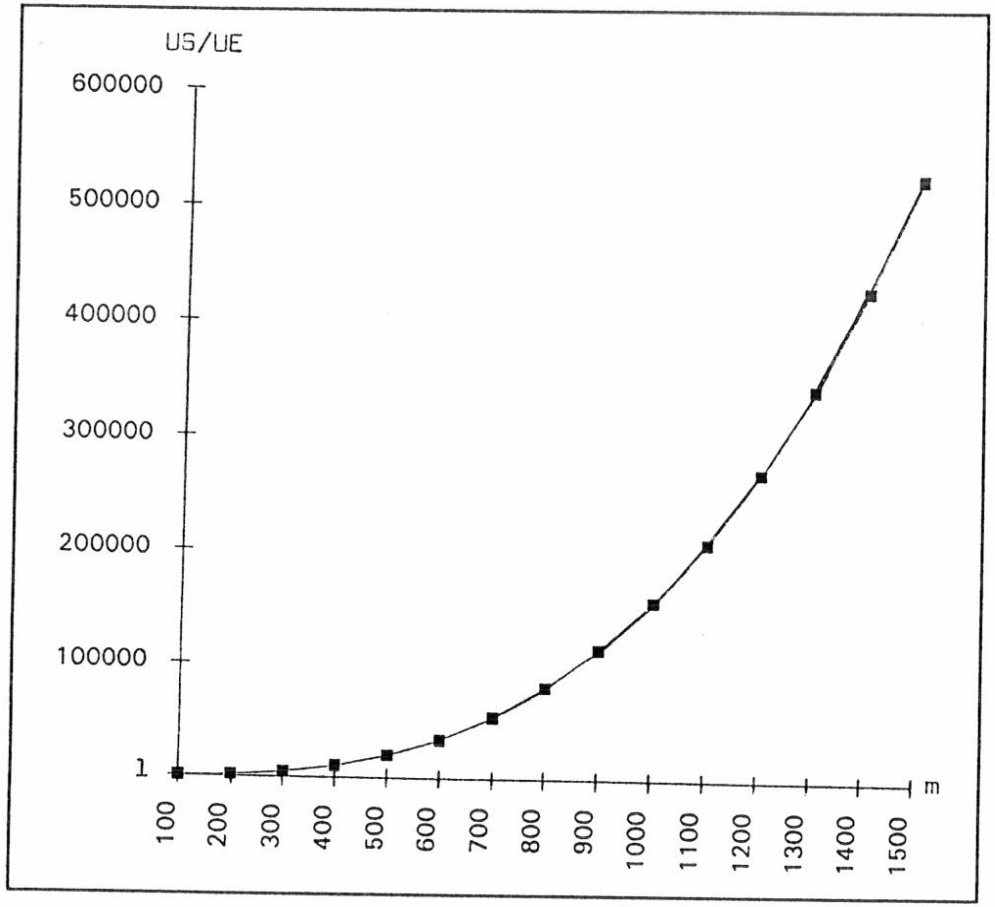

Bild 4: *Gleichspannungskurve für homogenes Material, Sigma = 10^{-4} S/m, Einspeisestrecke und Empfangsabgriff = 80 m.*

gen und genau ausgerichteten Einspeisstrecke in verschiedenen Abständen gemessene 47 kHz-Signale ins Erdreich zu senden. Aus dieser Messreihe ergab sich in der nachstehenden Abbildung die Kurve A. Die x-Achse zeigt die Übertragungsdistanzen in Meter. Auf der y-Achse kann das Verhältnis US/UE von gesendeter und empfangener Spannung abgelesen werden. Die berechneten Scheinwiderstände der 80 m-Messstrecken liegen zwischen 800 und 1500 Ohm bei geerdeten Endpunkten. Mit der Gleichung α = 20·log (US/UE) kann für jeden Punkt auch die Streckendämpfung in dB berechnet werden. Nun wurde nach einer mathematischen Funktion gesucht, welche die gemessene Kurve möglichst genau nachzeichnet. Das Ergebnis war die Kurve B nach Gleichung

$$US/UE = D^2 \cdot 1{,}8$$

US/UE = Verhältnis von gesendeter zu empfangener Spannung
D= Übertragungsdistanz in Metern
1,8 = Übertragungsfaktor

Das ist eine einfache quadratische Beziehung mit einem Multiplikator, der numerisch die Eigenschaften der Übertragungsstrecke, sowie die Einspeis- und Empfangsbedingungen zusammenfasst. Sucht man nach diesem Übertragungsfaktor in andern gemessenen Verbindungen, ergeben sich für die 60 m-Strecke der Verbindung 3 der Faktor **2,36** und für 290 m bei Verbindung 9 der Faktor **3,2.** Bei halbierter Einspeisstrecke, wie in Verbindung 11, erhöht sich der Faktor auf **3,7** und signalisiert damit ein schwächeres Signal für den gleichen Übertragungsweg. Die Kurven C, D und E in der nachstehenden Abbildung zeichnen diese Verhältnisse nach. Sie sind allerdings nur aus der Messung über eine einzelne Distanz abgeleitet!

10. Praktische Erfahrungen und Diskussion

Mit den heute vorhandenen Geräten sind im Hölloch Felsstrecken bis zu 800 m bei nicht zu hohem Störpegel drahtlos überbrückbar. Unter günstigen Bedingungen sind auch Verbindungen bis zu 1500 m – eventuell nur mit Morsetelegrafie – möglich. Im praktischen Betrieb versuche man in- und ausserhalb der Höhle mindestens 80 m aufeinander ausgerichtete Einspeisstrecken mit guten Erdungen an den Enden auszulegen. In der Höhle sind oft auch die langen Mittelwellenantennen verschiedener Biwakpunkte brauchbar. Vergrössern der Einspeis- und Abgriffstrecken bringt stärkere Signale aber unter Umständen auch einen stärkeren Störpegel. Die höhere Betriebsfrequenz um 130 kHz ist über kürzere Distanzen oft günstiger und durch Statikentladungen weniger gestört. Mit dem Relaisgerät VHF-VLF kann ein Höhlenstandort über eine UKW-Verbindung auch von einem entfernten Punkt im Tal (Telefonanschluss) erreicht werden. Die ermittelten «Übertragungsfaktoren» erlauben wahrscheinlich nur eine grobe Annäherung beim Berechnen von Steckendämpfungen. Zu Distanzveränderungen quadratisch zu- oder abnehmende Signale sind für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen typisch. Wie stark elektrische Eigenschaften der Felsstrecken und Einspeisbedingungen die Übertragung der VLF-Signale

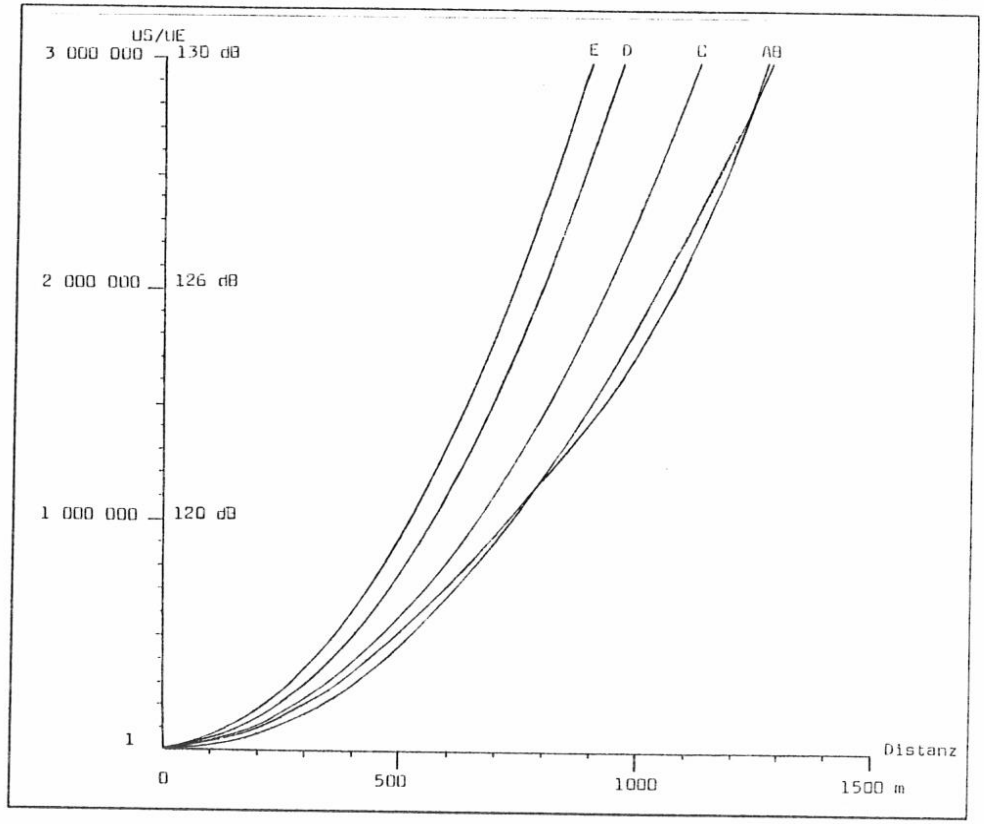

Bild 5: *Signalabschwächung für 47 kHz bei verschiedenen Übertragungsstrecken:*
A Kurve von in 5 Distanzen gemessenen Signalen im Jura-Kalk bei 80 m Elektrodenabstand
B Den Messungen von A angenäherte Kurve nach Gleichung US/UE = $D^2 \cdot 1{,}8$
C Aus Verbindung 3 (60 m) abgeleitete Kurve nach Gleichung US/UE = $D^2 \cdot 2{,}36$ bei 80 m Elektrodenabstand
D Aus Verbindung 9 (290 m) abgeleitete Kurve nach Gleichung US/UE = $D^2 \cdot 3{,}2$ bei 80 m Elektrodenabstand
E Aus Verbindung 11 (290 m) abgeleitete Kurve nach Gleichung US/UE = $D^2 \cdot 3{,}7$, 40 m Sendeelektrodenabstand, 80 m Empfangselektrodenabstand

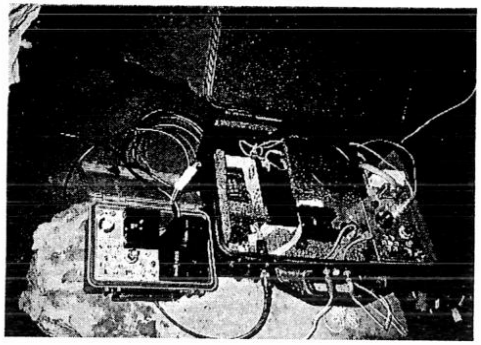

Photo 4: *Höhlenstation und VHF/VLF-Relaiskoffer, vorgeführt an einer Rettungsdemonstration im Touristenbereich des Hölloches.*

beeinflussen, müsste noch durch weitere Messreihen genauer untersucht werden. Ebenso sind natürlich vertieftere theoretische Ansätze denkbar.

Zu diskutieren wäre auch die Rechtslage unserer VLF-Verbindungen. Wie eingangs erwähnt, wechselten wir von zugelassenen Amateurfunkbereichen (1,8 MHz) zum Längstwellenband 10-150 kHz, welches international kommerziellen Diensten zugeteilt ist, vor allem den Zeitzeichensendern und den Navigationshilfen OMEGA, LORAN und DECCA (2). Haben wir uns also einer Verletzung des PTT-Regales schuldig gemacht oder gar kommerzielle Dienste gestört? Man beachte dazu folgendes:

- Die Höhlenfunksignale werden nicht in den Raum abgestrahlt, sondern von der Erdoberfläche über ausgelegte und an den Enden galvanisch geerdeten Drähte ins Erdreich eingekoppelt. Die Raumabstrahlung ist nach wenigen 100 Metern auch mit empfindlichen Empfängern nicht mehr nachweisbar.
- Höhlenforschung ist ein anstrengendes Geschäft. Niemand schleppt ohne zwingenden Grund Funkgepäck durch die Gänge und Schächte. Es werden sich mit Sicherheit keine üppigen «Höhlenfunkrunden» ergeben. Die heute greifbaren Geräte sind Teil des AGH-Rettungsmaterials für Ausnahmesituationen und Notfälle (AGH: Arbeitsgemeinschaft Hölloch).

Die Frage nach der Rechtslage bei dieser Art von drahtloser Übermittlung sei hier trotzdem einmal gestellt.

11. Schlussbemerkungen

Der vorliegende Bericht fasst die Erfahrungen und Ergebnisse unserer 3-jährigen Arbeit zur VLF-Übermittlung in grossen Karsthöhlen zusammen. Schwerpunkte waren die Höhlenbegehungen und Messreihen im Voralpen- und Jurakalk und der Gerätebau. In allen Bereichen war der Anteil von Felix Ziegler (HB9CPZ) besonders gross. Seiner Initiative verdanken wir die leistungsfähigen und höhlentauglichen VLF-Transceiver. Jederzeit konnten wir auch die Mithilfe von Mitgliedern der AGH für Transporte und Übermittlungsversuche in Anspruch nehmen. Andere Helfer bei der Lösung von technischen Problemen und bei den Versuchen im Feld waren die Funkamateure HB9CVH, HB9FMS, HB9SB, HB9BYB, HB9SXV HB9BRH und HE9UPE. Wir danken allen Beteiligten herzlich für ihre Mitarbeit und hoffen auf weitere Unterstützung bei möglichen Anschlussprojekten. Wir möchten weiter untersuchen, ob unter Tag Ortsbestimmungen durch Funkpeilung vorgenommen werden können. Geräte dieser Art (Markiersender und Peilempfänger) wären nützlich zum Suchen von Eingängen und Gangverbindungen zu noch nicht zusammenhängenden Höhlenbereichen. Denn zwischen den nüchternen Zeilen dieses Berichtes steckt immer auch das Abenteuer Höhlenforschung: der beschwerliche Weg zu unberührten Räumen und in tausendjähriger Finsternis geronnenen Formen, die Mischung von Gefühlen der Geborgenheit im Schosse der Erde und des Ausgesetztseins in einem Stück lebensfeindlicher Natur, Bewährung oder Schwierigkeiten im sozialen Umfeld bei aussergewöhnlichen Anforderungen, die Suche nach einem Hauch von Sinn hinter den gebrochenen Dimensionen unserer äusseren und wohl auch unserer inneren Welt.

Photo 5: *Mess- und Versuchsverbindung aus einer vereisten Grotte auf den Balmblätzen (1491 m) zur Trughalle durch 800 m Schnee und Fels (Verbindung 25), HB9CPZ, HE9UPE.*

Anmerkung

(1) Die Ergebnisse der 160 m-Versuche sind in folgenden Publikationen zusammengefasst: Jacques Hurni, Funkverbindungen aus grossen Naturhöhlen, Forschungsbericht 1990/91 der Arbeitsgemeinschaft Hölloch und «old man» 1991 2/3, Monatsschrift der Union Schweizerischer Kurzwellenamateure

(2) Eine genaue Aufzeichnung der öffentlichen und kommerziellen Emissionen im Längstwellenbereich 10-150 kHz findet man im Beitrag von Hans Christoph Baer, Langwellen: Lebendiges Spektrum und Betätigungsfeld für Amateure, «old man» 1993 7/8.