

# Lawinenschüttensuchgeräte

## Funktionsweise und Kompatibilitätsaspekte

Hans-Peter Tinguely

Die Überlebenschance von Lawinenschütteten nimmt nach den ersten 15 Minuten rapide ab. Weil die organisierte Hilfe oft erst nach über 20 Minuten einsetzen kann, kommt der Kameradenhilfe mittels Lawinenschüttensucherät LVS eine prioritäre Bedeutung zu. Das LVS erlaubt die Lokalisierung des Unfallopfers. Mittels Sonde und Schaufel wird die verschüttete Person punktgeortet und geborgen.

LVS haben zwei Betriebsarten: Sende- und Suchbetrieb. Bei Skitouren wird das LVS im Sendemodus am Körper getragen. Dabei werden in kurzen Abständen Signalimpulse auf der international normierten Frequenz 457 kHz gesendet. Im Suchbetrieb empfängt das LVS diese Impulse und wertet sie zur Lokalisierung des Senders aus. Die Reichweite hängt von der gegenseitigen Lage von Sende- und Empfangsantenne ab und beträgt ungefähr 20- 50m.

### Eigenschaften der Frequenz 457 kHz

Die Wellenlänge  $\lambda$  berechnet sich für eine gegebene Frequenz  $f$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  ( $3 \cdot 10^8$  m/s) zu

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Somit ergibt sich, für  $f=457$  kHz eine Wellenlänge  $\lambda = 656$  m. Innerhalb einer Distanz  $r = \lambda / 2 \pi$  zur Sendeantenne liegt man im sogenannten Nahbereich. Dabei nimmt die magnetische Feldstärke  $H$  mit der dritten Potenz zur Distanz  $r$  ab.

$$H \sim \frac{1}{r^3}$$

LVS empfangen mit Ferritantennen das magnetische Feld  $H$ , innerhalb einer Reichweite von unter 100 m und arbeiten damit im Nahfeld. Das bedeutet, dass sich die Feldstärke stark verändert, wenn sich das suchende LVS zum Sender hin oder davon weg bewegt. Umgekehrt haben Abweichungen von der Norm-Sendeleistung

nur unterproportionale Veränderungen der Distanzanzeige zur Folge. Ein anderer Vorteil der grossen Wellenlänge liegt in der geringen Dämpfung durch Schnee.

### Einantennengeräte

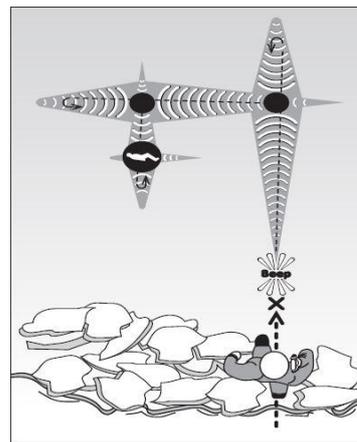


Fig. 1 Das Einkreuzungsverfahren analoger LVS

Ältere analoge LVS verfügen über 1 Antenne. Dies gilt beispielweise für das legendäre von der Firma Autophon zwischen 1968 und 1994 im Auftrag der Schweizer Armee hergestellte und auch weltweit eingesetzte Barryvox VS 68. Im Suchbetrieb werden die Signalimpulse akustisch wiedergegeben. Die Ortung (Fig. 1) erfolgt mittels Einkreuzen: Auf einer Geraden wird die Stelle des lautesten Signals gesucht und dann senkrecht davon weitergesucht.

### Mehrantennengeräte

Die heute als Standard geltenden digitalen Geräte verfügen über 2 oder 3 Antennen. Im Suchbetrieb (Fig. 2) werten sie das Signal elektronisch aus und zeigen Richtung und

Distanz zum Sender an. Die vom Sender erzeugte Feldstärke kann mit Hilfe von Feldlinien dargestellt werden. Dabei entspricht die Dichte der Feldlinien der Feldstärke. Im Nahfeld verlaufen die Feldlinien elliptisch. Die Richtungsanzeige erfolgt entlang dieser Feldlinien.

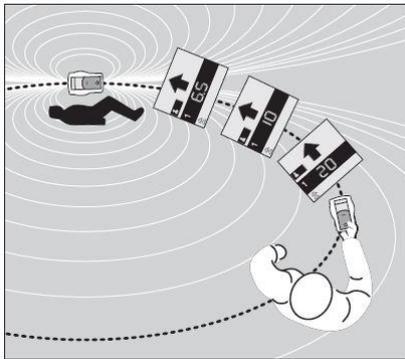


Fig. 2 Das Feldlinienverfahren digitaler LVS

### Ermittlung von Richtung und Distanz

Die Empfangsantennen sind orthogonal angeordnet. Die Hauptantenne (X), die längste, liegt in der Längsrichtung des Gerätes. Die zweite Antenne (Y) liegt in einer horizontalen Ebene quer dazu und dient der Ermittlung der Suchrichtung.

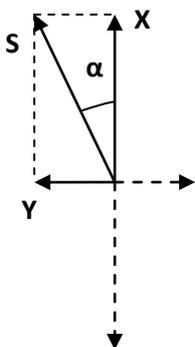


Fig. 3 Ermittlung der Suchrichtung

Der Winkel  $\alpha$  wird mit Hilfe der der Anteile  $|X|$  und  $|Y|$  des Empfangssignals berechnet (Fig.3).

$$\alpha = \arctg \frac{|Y|}{|X|}$$

Die Richtung des Winkels kann von der Phase des Y-Signals in Bezug zum X-Signal abgeleitet werden.

Weil die Antennen bidirektional funktionieren kann der Suchempfänger nicht zwischen Vor- und Rückrichtung unterscheiden. Die Anzeige erfolgt deshalb vorerst in der durch die Ausrichtung des Gerätes gegebenen Richtung. Ist diese Angabe verkehrt, wird die Distanzangabe beim Suchen in dieser Richtung zunehmen statt abnehmen. Der Benutzer muss dies unmittelbar oder durch einen Hinweis des Gerätes wahrnehmen und die Suchrichtung umkehren. Einige Geräte sind mit einem elektronischen Kompass ausgerüstet. Dieser dient dazu, die Richtungsanzeige in Bezug auf Rotationsbewegungen zwischen aufeinanderfolgenden Sendeimpulsen, zu stabilisieren.

Die aktuellen Geräte verfügen über eine dritte Antenne (Z) welche senkrecht zur XY-Ebene angeordnet ist. Sie dient zur zuverlässigeren Feinortung und verhindert insbesondere die im Falle von Tiefverschüttungen ( $> 1 \text{ m}$ ) möglichen doppelte Signalmaxima.

### Sendesignal

Die Eigenschaften des Sendesignals sind in der Europäischen Norm ETS 300 718 [2] wie folgt festgelegt:

*Sendefrequenz: 457 kHz, +/- 80 Hz*

*Pulslänge: 70 - 900 ms*

*Pulsperiode: 700 - 1'300ms*

*Sendefeldstärke: 0.5 - 2.23  $\mu\text{A}/\text{m}$  in 10 m Abstand*

Während analoge Geräte, mit Rücksicht auf die akustische Auswertung mit Pulslängen von 300 .. 400 ms arbeiten, verwenden digitale Geräte kürzere Pulslängen von z.B. 90 ms. Im Sendebetrieb wird bei den meisten Geräten die X-Antenne verwendet.

## Signaltrennung

Im Fall von Mehrfachverschüttungen muss der Empfänger die Signale trennen können. Grundsätzlich können dazu folgenden Methoden angewendet werden [3]:

- Analyse der Signalstärke
- Analyse des zeitlichen Signalverlaufs
- Analyse der Sendefrequenz

### Analyse der Signalstärke

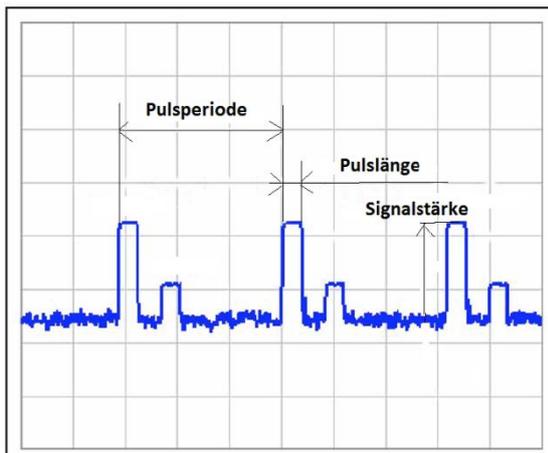


Fig. 4 Demoduliertes Sendeimpulssignal, 2 Sender

Traditionell wird die Analyse der Signalstärke verwendet. Bei analogen Geräten wird dazu der Empfindlichkeitsregler manuell so eingestellt, dass das stärkste Signal noch hörbar ist, die schwächeren Signale aber ausgeblendet werden. Digitale Geräte steuern die Empfindlichkeit des Empfängers automatisch, analysieren die relative Amplitude jedes Signals und zeigen Distanz und Richtung zum Sender mit dem stärksten, empfangenen Signal an. Sobald der erste Sender feingeortet ist, wird das Opfer mit der Lawinensonde punktgeortet, ausgegraben und sein LVS abgestellt. Anschliessend werden die weiteren Opfer sequentiell nach demselben Verfahren geborgen.

Stehen ausreichend viel Retter zur Stelle oder muss bei einer Tiefverschüttung mit einem erheblichen Zeitaufwand für die Bergung gerechnet werden, so ist es sinnvoll die Suche nach den weiteren Opfern weiterzuführen bevor das zuvor geortete LVS ausgeschaltet

werden kann. Die verschiedenen dabei angewendeten Suchstrategien beruhen grundsätzlich darauf, sich vorerst vom georteten Sender so zu entfernen, dass die Empfindlichkeit des Empfängers, manuell oder automatisch, wieder so erhöht werden kann, dass der nächste Sender wieder empfangen und angezeigt wird. Dabei kann bei digitalen Geräten die zusätzliche akustische Wiedergabe des Sendesignals hilfreich sein.

### Analyse des zeitlichen Signalverlaufs

Diese bei digitalen Geräten mit Markierfunktionen meistens angewandte Methode nutzt den Umstand, dass die Sendeimpulsfolgen verschiedener Geräte zeitliche Unterschiede aufweisen. Bei älteren Geräten können Unterschiede der Impulslängen und Impulsperioden typenbezogen sein oder sich aus Exemplarsteuern typengleicher Geräte ergeben. Bei neueren digitalen Geräten wird die Periodendauer innerhalb eines begrenzten Bereiches, in Schritten von z.B. 10ms randomisiert. Die Randomisierung kann exemplargebunden (z.B. aufgrund letzte Ziffer der Seriennummer) oder beim Einschalten mittels eines Zufallsgenerators erfolgen. Zur Analyse werden am Ende der Empfängerkerne dem Empfangssignal ein oder mehrere Merkmale extrahiert und als Datensatz erfasst. Die erfassten Datensätze werden klassifiziert und als Kette von Datensätzen einem bestimmten Sender zugeordnet. Die einem Sender zugeordneten Datensätze können zur Justierung der Klassifizierungswerte beigezogen werden.

### Analyse der Sendefrequenz

Die Exemplarsteuerung der Sendefrequenz kann zur Signaltrennung verwendet werden. Die Extraktion der Frequenzinformation aus dem Zeitsignal kann mittels Fast Fourier Transform (FFT) erfolgen. Die erreichbare Frequenzauflösung ist umgekehrt proportional zur zeitlichen Länge des analysierten Signalmusters welche in unserem Fall durch die Impulslänge von 70 ms beschränkt ist.

Zudem weicht die Frequenz quartzgesteuerter Oszillatoren kaum mehr als 20 Hz von der Norm ab. Die Analyse der Sendefrequenz wird bei einigen Geräten komplementär eingesetzt.

## Markierfunktion



Fig. 5 Anzeige bei Mehrfachverschüttung

Im Suchmodus versucht der Empfänger alle vorhandenen Signale zu erfassen. Die erfassten Sender werden entsprechend ihrer Distanz (Signalstärke) aufgelistet. Das Gerät wählt den nächstliegenden Sender vor und führt den Retter zu diesem (Fig. 5). Ist das erste Opfer geortet, kann der Retter das entsprechende Signal als gefunden markieren. Das Gerät blendet die markierten Sender aus und leitet zum nächsten Verschütteten. Die Markierfunktion erlaubt eine einfache Weiterführung der Suche bevor die bereits gefundenen Opfer geborgen und deren LVS ausgeschaltet worden sind.

### Einsatz der Markierfunktion

Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Markierfunktion von durchschnittlich geübten Suchern in Fällen mit 2 bis 3 Verschütteten hilfreich eingesetzt werden kann. Einige Geräte geben neben der digitalen Anzeige auch den Analogton an. Dies ermöglicht dem geübten Sucher z.B. das Vorhandensein eines digital nicht angezeigten Senders zu überprüfen.

## Empfängertechnik

Neuere LVS Empfänger arbeiten mit Digitaler Signalverarbeitung. Die nachfolgenden Angaben beziehen sich als Beispiel auf das bei Adaxys in Hombrechtikon hergestellte Mammut Barryvox Pulse [4].

Fig. 6 zeigt ein vereinfachtes Blockschema. Das Antennensignal wird zuerst durch einen Bandpass gefiltert. Gemäss dem Prinzip des

Direktmischempfängers wird das Empfangssignal auf das Basisband herunter gemischt. Nach einer A/D Konversion wird das Basisbandsignal digital weiterverarbeitet. Eine Fast Fourier Transform (FFT) tastet den Frequenzbereich 457 kHz +/- 180 Hz ab um die Frequenzlagen und Amplituden der involvierten Signale zu ermitteln.

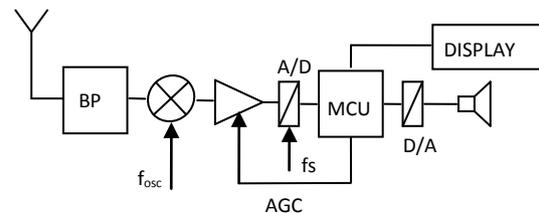


Fig. 6 Blockschema Suchempfänger

Das Signal wird anschliessend von einem adaptiven, digitalen Echtzeitfilter verarbeitet. Die Ergebnisse der FFT dienen zur Einstellung von Zentralfrequenz und Bandbreite des Filters. Die Beschränkung der Filterbandbreite auf die Bedürfnisse der vorhandenen Signale erlaubt eine Optimierung des Signal / Rausch Verhältnisses und damit der Reichweite des Empfängers.

Technisch ist die Einstellung der Zentralfrequenz des Filters so realisiert, dass im Basisband gefiltert wird, aber die Frequenz des Lokaloszillators des Empfängers geschoben wird. Die Verwendung eines Echtzeitfilters erlaubt eine hohe Auflösung des Empfangssignals im Zeitbereich und damit eine präzisere Signaltrennung mittels Analyse des zeitlichen Signalverlaufs.

Der analoge Kontrollton wird durch Aufwärtsmischung des Basisbandsignales auf die Tonfrequenz gewonnen.

Die Empfindlichkeit des Empfängers wird mittels Automatic Gain Control AGC geregelt. AGC ersetzt den manuellen Empfindlichkeitsregler der analogen Einantennengeräte.

## Tücken der Signaltrennung

Die Signaltrennung ermöglicht die Markierfunktion welche den Suchvorgang

erleichtert. Diese Technik hat aber auch ihre Grenzen.

- Die verschiedenen Sendersignale können sich zeitweise überlappen. Dies kann die Signaltrennung vorübergehend erschweren oder verunmöglichen und damit zu Unterbrechungen des Suchvorganges (Anzeige: „Stehen bleiben!) oder zu Falschanzeigen führen. Die Wahrscheinlichkeit von lange dauernden Überlappungsphasen hängt von den Impulslängen sowie der Ähnlichkeit der Impulsperioden ab [5]. Die Abwärtskompatibilität der Markierfunktion zu älteren Geräten mit längeren Impulsdauern und nicht randomisierten Pulsperioden ist damit eingeschränkt.
- Für eine zuverlässige Signaltrennung werden die Klassifizierungswerte über eine, von der Komplexität der Situation abhängigen Anzahl Impulsperioden gemittelt. Das kann zu Verzögerungen bis zur Anzeige aller involvierten Sender führen.
- In unmittelbarer Nähe eines Senders regelt der Suchempfänger die Verstärkung zurück. Dies kann dazu führen, dass ein entfernter, zuvor erfasster, möglicherweise sogar markierter Sender nicht mehr empfangen wird und nach einer Karenzzeit aus der Liste gelöscht wird. Entfernt sich der Suchende wieder vom nahen Sender und wird der entfernte wieder empfangen, kann dies zu Mehrfacherfassungen oder die Rückführung auf einen vorher bereits markierten Sender führen.
- Regelt der Empfänger bei einem starken Empfangssignal seine Empfindlichkeit ungenügend zurück, kann dies zu Übersteuerung und in der Folge zu einer Verschlechterung der Signaltrennung und Falschanzeigen führen.
- Bei älteren Einantennegeräten wird im Sendebetrieb, der Oszillator während der

Impulspausen nicht ausgeschaltet. Dies führt in unmittelbarer Nähe des Senders zu einer Reststrahlung. Gerätetypen welche ihre Empfängerempfindlichkeit nicht genügend reduzieren, können dieses Signal als zusätzlichen Sender interpretieren.

Ein praktischer Vergleichstest von Suchempfängern [6] zeigt typenabhängige Leistungsunterschiede beim Signaltrennen und Markieren von Sendern unter einfachen Bedingungen (kurze, randomisierte Impulse, randomisierten Perioden).

## **Besondere Funktionen**

### **Analogmodus**

Geräte für Fortgeschrittene bieten zur Bewältigung komplexer Mehrfachverschüttungen mittels besonderer Suchstrategien (Dreikreismethode, Mikrosuchstreifenmethode) eine Fall-Back Option mit Analyse der Signalstärke und manueller Empfindlichkeitsregelung (Analogmodus) an.

### **W-Link und Smart Transmitter**

Einige Hersteller versuchen die Leistungsfähigkeit der Signaltrennung mit zusätzlichen Massnahmen zu verbessern:

- Mammut Barryvox Pulse und ARVA Link übertragen im Sendebetrieb den Wert der randomisierten Impulsperiode über einen W-Link auf 869.8 MHz zuhanden von Suchempfängern welche diese Option unterstützen.
- Das Konzept „Smart Transmitter“ von Pieps zielt darauf ab, im Sendebetrieb die Position der Sendeimpulse so abzustimmen, dass Kollisionen mit Sendesignalen benachbarter LVS-Sender vermieden werden. Dazu schaltet das LVS in der Zeit zwischen den Sendeimpulsen auf Empfang um Präsenz und zeitliche Lage von Sendeimpulsen anderer LVS zu erkennen. Mit diesem Verfahren wird die Sendeimpulsperiode angepasst, d.h.

verändert. Dies kann aber u.U. die Signaltrennung von Suchempfängern durcheinander bringen.

### Smart Antenna

Im Sendebetrieb wird das LVS horizontal gehalten. Befindet sich das LVS des Verschütteten in vertikaler Lage, so stehen die Sendeantenne und die Empfangshauptantenne senkrecht zueinander. Die Konstellation ist bezüglich der Reichweite ungünstig. Das Smart Transmitter Konzept von Ortovox ermittelt im Sendebetrieb die Lage des LVS. Ist diese vertikal, schaltet das LVS zum Senden auf die Y-Antenne.

### Frequenzkonformität

Bei einigen LVS werden anstelle von Quarzresonatoren kostengünstige Keramikresonatoren zur Steuerung der Sendefrequenz eingesetzt. Bei solchen Geräten wurden häufig nicht normkonforme Frequenzabweichungen festgestellt [7]. Analoge Suchempfänger mit glockenförmiger Quarzfilterkurve sind diesbezüglich fehlertolerant. Nichtkonforme Sender werden mit reduzierter Reichweite empfangen. Digitale Suchempfänger verfügen dagegen über Filter mit stärkerer Dämpfung im Sperrbereich. Das kann dazu führen, dass fehlerhafte Sender von neueren Suchempfängern nicht mehr erfasst werden. Beim Start einer Skitour prüft der Tourenleiter mittels Gruppentestfunktion seines LVS, die Sender seiner Gruppe. Die Gruppentestfunktion neuerer Geräte führt dabei eine Frequenzmessung durch und zeigt nichtkonforme Sender an.

### Fazit

Die heutigen LVS erleichtern mittels 3-Antennentechnik, digitaler Richtungs- und Distanzanzeige sowie Markierungsfunktionen die Suche der Lawinenverschütteten beträchtlich. Aber auch die neuen Geräte erfordern vom Retter eine Vertrautheit welche nur durch intensives und häufiges

Üben erreicht werden kann. Die Norm ETS 300 718 deckt die Funktionalität der heutigen digitalen LVS nur teilweise ab. Eine Anpassung der in der Norm definierten Signaleigenschaften sowie die Definition von einheitlichen Bewertungskriterien und Testanordnungen unter Berücksichtigung der heute angebotenen Funktionalitäten erscheinen sinnvoll.

### Referenzen

- [1] Barryvox Pulse Benutzerhandbuch
- [2] ETSI EN 300 718-1 V1.2.1 (2001-05) Avalanche Beacons; Transmitter-receiver systems
- [3] Meier, Felix; Avalanche Transceivers and Multi Burials; The Avalanche Review, Vol. 26, No.4, April 2008
- [4] Forrer, Daniel, Forrer Solutions GmbH; CH-9630 Wattwil Pulse Barryvox development
- [5] Dr. Lund, Thomas; Signal Strength versus Signal Timing; The Avalanche Review, Vol. 26, No.2, December 2007
- [6] [www.kassensturz.sf.tv/Nachrichten/Archiv/2012/01/24/Test/Lawinensuchgeraete-Lebensretter-mit-Maengeln](http://www.kassensturz.sf.tv/Nachrichten/Archiv/2012/01/24/Test/Lawinensuchgeraete-Lebensretter-mit-Maengeln)
- [7] Sivardière, François, ANENA ; Transceiver Tests : laboratory measurements ; Neige et Avalanches no 95 September 2001



Hans-Peter Tinguely ist pensionierter El. Ingenieur HTL, lebt in Schmitten FR und leitet Skitouren für Senioren  
hans-peter.tinguely@bluewin.ch