

ERMITTLUNG DER SUCHSTREIFENBREITE FÜR LAWINENVERSCHÜTTETEN-SUCHGERÄTE

Felix Meier *
Felix Meier GmbH, Eglisau, Schweiz

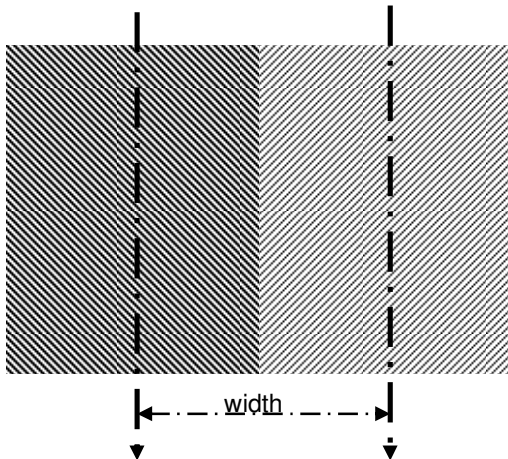
ZUSAMMENFASSUNG: Die Breite der bei der Grobsuche anzuwendenden Suchstreifen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Zeit bis zur Bergung von Lawinenofern. Breitere Suchstreifen reduzieren diesen Zeitraum. Sind die Suchstreifen zu breit, so besteht das Risiko, eine verschüttete Person zu übersehen.

Es wurden verschiedene Verfahren zur Bestimmung der in der Grobsuche anzuwendenden Suchstreifenbreite vorgeschlagen und eingesetzt. Die Resultate weisen eine sehr grosse Streuung auf, weil sie einer starken Beeinflussung durch die Versuchspersonen unterliegen. Einige Verfahren machen auch heikle Annahmen über Dichtefunktionen. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass ihre Anwendung eine sehr grosse Anzahl von Experimenten erfordert, um brauchbare Daten zu liefern.

Es wird ein neues Verfahren vorgeschlagen, welches den Aufwand stark reduziert und gleichzeitig weniger abhängig ist von den Geschicklichkeit der Versuchspersonen. Das Verfahren kann auch für Geräte mit mehreren Antennen angewendet werden. Die Resultate sind mindestens so genau und zuverlässig wie die Resultate anderer Verfahren.

1. EINLEITUNG

Die Suchstreifenbreite ist gleich dem seitlichen Abstand zweier suchender Personen beim Absuchen einer Lawine nach verschütteten Personen:



Je breiter die Suchstreifen, desto mehr Fläche kann in einer gegebenen Zeit abgesucht werden. Aber breitere Suchstreifen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass eine verschüttete Person nicht entdeckt wird. Da die effektive Reichweite eines LVS immer von der relativen Orientierung der Sende- und Empfangsantenne abhängig ist, gibt es keine garantierte minimale Reichweite.

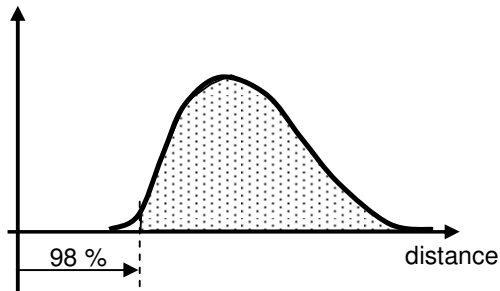
Für eine Überlebenswahrscheinlichkeit muss die Zeit zur Absuche einer gegebenen Fläche abgewogen werden gegen die Wahrscheinlichkeit, eine verschüttete Person zu übersehen. Dieses Konzept wurde von Walter Good eingeführt, siehe Good (1986). Aufgrund einer Analyse typischer Lawinunfälle kam Good zum Schluss, dass die halbe Suchstreifenbreite derjenigen Distanz entsprechen sollte, in der noch 98% der Verschütteten detektiert werden. Die Wahrscheinlichkeit, ein Opfer zu übersehen, ist dann 0.0004, und dieser Wert optimiert die Suchzeit.

* Felix Meier, Consultant, Felix Meier GmbH,
Rogenfar 31, CH - 8193 Eglisau, Switzerland;
tel: +41 1 867-3723; fax +41 1 867-1276; email:
felix.meier@smile.ch

Es sind heute drei Verfahren zur Bestimmung der Suchstreifenbreite bekannt:

1.1. Direkte Auswertung der Statistik der Messresultate

Die Reichweite des LVS wird durch eine genügend grosse Anzahl Versuche bestimmt. Die Experimente werden durch mehrere Personen unter Berücksichtigung beliebiger Ausrichtungen der Sende- und Empfangsantenne durchgeführt. Eine typische Verteilung der so ermittelten Reichweiten sieht wie folgt aus:



Für Beispiele solcher Kurven, siehe Krüsi et al. (1998), pg 41 – 45.

1.2. Annahme einer normalen (Gauss) - Verteilung

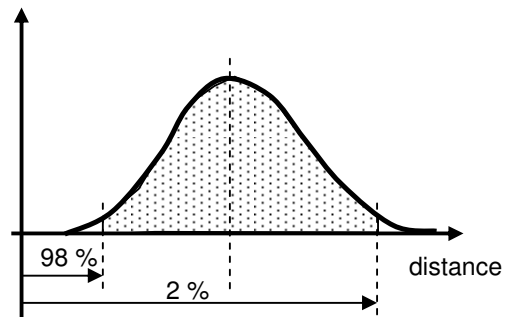
Für die Berechnungen wird angenommen, dass die Verteilung der Resultate einer Normalverteilung entspricht. Für diese Verteilung ist die 98% - Reichweite ziemlich genau gleich dem Mittelwert minus zwei Mal die Varianz (Standardabweichung). Dieses Verfahren ist anwendbar, solange die Verteilung einigermaßen normal ist, aber weniger genau für andere Dichte-funktionen.

1.3. Anpassung der Dichtefunktion

Es wurde bald festgestellt, dass die bei den Experimenten ermittelten Dichtefunktionen nicht einer Normalverteilung entsprachen. Dies ist vor allem darauf zurück zu führen, dass die Versuchspersonen eine natürliche Tendenz haben, "gute" Reichweiten zu erzielen und damit eine ungewollte Verschiebung einführen. Zudem sind am kurzen Ende fehlerhafte Resultate häufiger aus später zu erklärenden Gründen. Deshalb wurden die ermittelten Verteilungen an eine Normalverteilung angepasst, indem der obere Teil der Kurve um den Mittelwert gespiegelt wurde (siehe nächste Figur).

Im Weiteren wurde auf Grund von Feldtests angenommen, dass für die meisten LVS die 98% - Reichweite in etwa gleich 20% der 2% - Reichweite sei. Da die Messresultate am oberen Ende der Reichweite besser reproduzierbar waren, wurde eine neue Regel eingeführt, welche besagt, dass die Suchstreifenbreite 40% der maximalen (2% -) Reichweite sein sollte.

Diese Regel ist offensichtlich konservativer als die erste Regel. In der Praxis scheint sie sogar zu konservativ zu sein. Die Suchzeit wird verlängert, und somit sinkt die Wahrscheinlichkeit, eine verschüttete Person in nützlicher Zeit zu finden.



2. RELATIVE AUSRICHTUNG DER ANTENNEN

Die grosse Varianz der traditionellen Testresultate und die Asymmetrie der Dichtefunktionen sind vor Allem auf den Einfluss der relativen Ausrichtung der Antennen zurückzuführen.

Die Theorie der elektromagnetischen Felder besagt, dass im Nahfeld die Stärke des durch den Sender produzierten magnetischen Feldes invers proportional ist zur dritten Potenz der Distanz zum Sender. Eine Verdoppelung der Distanz reduziert die Feldstärke demzufolge auf 1/8, oder, umgekehrt formuliert, bei Halbierung der Distanz nimmt die Feldstärke um einen Faktor 8 zu.

Bei der durch die LVS verwendeten Frequenz von 457 kHz liegt der Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld bei zirka 104 Meter. Für alle praktischen Belange kann deshalb

angenommen werden, dass die LVS nur im Nahfeld operieren.

Die in der Antennenspule eines Empfängers induzierte Spannung ist proportional zum Integral der Normalkomponente des einfallenden magnetischen Feldes über der Fläche, welche durch die Windungen der Antenne begrenzt ist, multipliziert mit der relativen Permeabilität des lokalen Raumes. Wenn also die Ebene der Antennenwindungen senkrecht steht zu den Feldlinien, ist die induzierte Spannung maximal. Ist die Ebene der Antennenwindungen parallel zu den Feldlinien, so wird keine Spannung induziert.

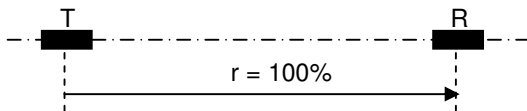
2.1. Gleichförmige Verteilung

Die Testpersonen haben eine natürliche Tendenz, das empfangende LVS horizontal vor sich zu halten. Die Sender können in einigen wenigen verschiedenen Ausrichtungen vergraben werden, da es sehr aufwendig ist, einen Test mit gleichförmiger Verteilung der Ausrichtungen der Sender zu machen. Dadurch werden alle Tests verfälscht.

2.2 Beibehaltung der Relativen Ausrichtung

Auch wenn das Problem der gleichförmigen Verteilung der Ausrichtung in allen Experimenten gelöst ist, bleibt das Problem der starken Abhängigkeit der Resultate von der Beibehaltung einer gewählten Ausrichtung während eines Experiments. Dazu betrachten wir drei wichtige relative Ausrichtungen:

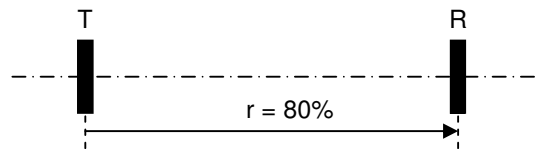
Die koaxiale Ausrichtung ergibt die besten Resultate. Die Sendefeldstärke hat ein Maximum auf einer Linie, welche durch die Achse des Antennenstabes geht. Die Ebenen der Antennenwindungen des Empfängers ist senkrecht zu den Feldlinien, sodass eine maximale Spannung induziert wird.



Messungen in der koaxialen Antennenausrichtung ergeben die am meisten

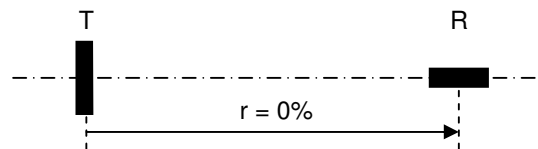
konsistenten Resultate. Sollte eines der LVS leicht von der koaxialen Ausrichtung abweichen, so verändert sich die in der Empfangsantenne induzierte Spannung mit dem Cosinus der Abweichung. Der Cosinus von 20° z. B. ist 0.94, sodass Abweichungen von $\pm 20^\circ$ von der idealen Ausrichtung das empfangene Signal um weniger als 6% verändern, was einer Veränderung der gemessenen Reichweite von etwa 2% entspricht.

Bei paralleler Ausrichtung ist die Reichweite verringert. Aufgrund der Ausbreitungscharakteristik des magnetischen Feldes wird die Feldstärke bei gleicher Distanz zum Sender halbiert gegenüber derjenigen bei koaxialer Ausrichtung. Da im Nahfeld angenommen werden kann, dass die Feldstärke proportional ist zu $1/r^3$, wird die Reichweite auf $1/\sqrt[3]{2} = 0.79$ reduziert.



Man beachte, dass die suchende Person den Empfänger immer so ausrichten kann, dass die Antennenwindungen senkrecht sind zu den einfallenden Feldlinien. Deshalb ist die parallele Ausrichtung die schlechteste der Ausrichtungen, welche immer erreicht werden können.

Die senkrechte Ausrichtung ergibt das schlechteste Resultat: Eine Reichweite von 0 Metern. Der Grund dafür ist dass die Feldlinien jetzt parallel sind zur Ebene der Antennenwindungen und dass deshalb keine Spannung induziert wird.



Schon geringe Abweichungen von dieser Position bewirken eine grosse Veränderung des empfangenen Signales, da die induzierte Spannung proportional ist zum Sinus

der Abweichung von der senkrechten Ausrichtung. Der Sinus von 0° ist 0.00, und der Sinus von 20° ist 0.34. Ebenso können bei Distanzen, welche kleiner sind als einige Meter, Streueffekte zu einer induzierten Spannung führen, obwohl die Antennen exakt senkrecht ausgerichtet sind. Das sind die hauptsächlichsten Ursachen für die Asymmetrie der in den vorher genannten Verfahren mit beliebiger Ausrichtung ermittelten Verteilungen der Reichweite. Die Versuchspersonen werden nie in der Lage sein, eine exakt senkrechte Position während des ganzen Experimentes aufrecht zu erhalten, und sie haben auch eine Tendenz, den Empfänger so auszurichten, dass sie immer ein Signal hören. Ohne diese Effekte, d. h. sofern keine Streueffekte vorliegen und die Ausrichtungen gleichförmig verteilt wären, müsste die ermittelte Dichtefunktion Anteile bis hinunter zu 0 Meter enthalten!

3. EIN NEUES VERFAHREN

3.1 Grundsätzliche Überlegungen

Um die Varianz aufgrund der schwierigen Experimente zu eliminieren und um den Aufwand zu reduzieren, schlage wir ein neues Verfahren zur Ermittlung der Suchstreifenbreite vor:

Wird eine senkrechte relative Ausrichtung der Antennen zugelassen, so können die Resultate verheerend sein. Es macht deshalb Sinn, vorauszusetzen, dass die suchende Person immer versuchen wird, verschiedene Ausrichtungen der Empfängerantenne auszuprobieren, bis ein erster Kontakt erfolgt.

Die Reichweite – Messungen werden in koaxialer Ausrichtung vorgenommen. Damit ist (beinahe) die ganze Varianz, welche aus den Abweichungen von der vorgesehenen Ausrichtung resultiert, eliminiert. Es wird aber eine bestimmte Varianz übrig bleiben aufgrund der verschiedenen LVS – Geräte, der unterschiedlichen Empfängerempfindlichkeiten, der unterschiedlichen Fähigkeiten der Versuchspersonen etc. Unter der Annahme einer Reihe von Experimenten mit den gleichen LVS, aber mit verschiedenen Benutzern,

erwarten wir eine nahezu normale Verteilung der Resultate und eine Varianz, welche kleiner ist als 10% des Mittelwertes. Als Ausgangswert nehmen wir die 98% - Reichweite, welche aus diesen Experimenten ermittelt wurde (die 98% - Reichweite entspricht dem Mittelwert – 2 mal die Standardabweichung).

Nun korrigieren wir diesen Wert für die parallele Ausrichtung der Antennen. Wie oben erklärt, wird dadurch die Reichweite auf 80% des Ausgangswertes reduziert.

Eine zweite Korrektur machen wir für die Abweichungen von der genau parallelen Ausrichtung. Wenn wir der Versuchsperson erlauben, bis zu $\pm 60^\circ$ von der parallelen Ausrichtung abzuweichen, wird dadurch das empfangene Signal um weitere 50% reduziert, was einer weiteren Reduktion der Reichweite um einen Faktor 0.8 entspricht. Man beachte, dass damit Positionen bis zu $\pm 30^\circ$ weg von der katastrophalen senkrechten Ausrichtung zugelassen sind. Diese Abweichung von $\pm 60^\circ$ deckt 50% des vollen Raumwinkels von 4π ab.

Eine dritte Korrektur erfolgt zur Erfassung von Abweichungen, welche durch andere Parameter bedingt sind wie zum Beispiel der Batteriezustand des sendenden LVS, die Temperatur etc. Unter der Annahme einer weiteren Reduktion des Signales um 50% durch diese Einflussfaktoren ergibt sich eine weitere Korrektur um einen Faktor 0.8.

Kombiniert man alle diese Faktoren, so erhält man eine nutzbare Reichweite von

$$(98\% - \text{Reichweite}) \cdot 0.80 \cdot 0.80 \cdot 0.80$$

oder 0.50 mal die 98% - Reichweite. Dies ist die halbe Breite des Suchstreifens. Wir schlagen deshalb die folgende Faustregel vor für die Bestimmung der Suchstreifenbreite:

Die Suchstreifenbreite ist gleich der 98% - Reichweite, welche durch eine genügend grosse Anzahl Experimente mit koaxialer Antennenausrichtung ermittelt wurde.

3.2 Mehrere Antennen

Diese Überlegungen können auf LVS mit mehreren Antennen ausgeweitet werden:

Das von einer einzigen Antenne empfangene Signal ist invariant bezüglich der Antennenachse. Unter der Annahme orthogonaler Antennen, gleicher Empfindlichkeit aller Antennen und vektorieller Addition der Signale von den einzelnen Antennen können die folgenden Regeln angewandt werden:

Das durch ein LVS mit zwei Antennen empfangene Signal ist invariant bezüglich der Rotation um die Achsen der beiden Antennen, und das durch ein LVS mit drei Antennen empfangene Signal ist invariant bezüglich der Rotation um eine beliebige Achse.

Für den Fall eines LVS mit zwei Antennen nehme man einen Benutzer mit gleicher Fähigkeit (oder Kooperationsbereitschaft) zur Erreichung der parallelen Ausrichtung an. Um dies in Zahlen zu fassen, nehme man an, dass der Effekt der gleiche ist wie bei einer Reduktion des Raumwinkels der Abweichung von der idealen Ausrichtung um einen Faktor zwei.

Der volle Raumwinkel misst 4π Sterad (siehe Wildi (1991)). Lässt man einen Benutzer bis zu $\pm 60^\circ$ von der idealen Ausrichtung abweichen mit einem LVS mit einer Antenne, so wird ein Raumwinkel von 2π Sterad erfasst. Mit einem LVS mit zwei Antennen muss der Benutzer nur noch einen Raumwinkel von 1π Sterad ausprobieren, um den gleichen gesamten Raumwinkel zu erfassen. Der ungünstigste Fall wird am äusseren Ende der Auslenkung erreicht, d. h. bei 60° für ein LVS mit einer Antenne und bei 41.4° für ein LVS mit zwei Antennen. Die entsprechenden Werte des Cosinus und des Korrekturfaktors betragen

.5	0.80	for 60.0°
.75	0.90	for 41.4°

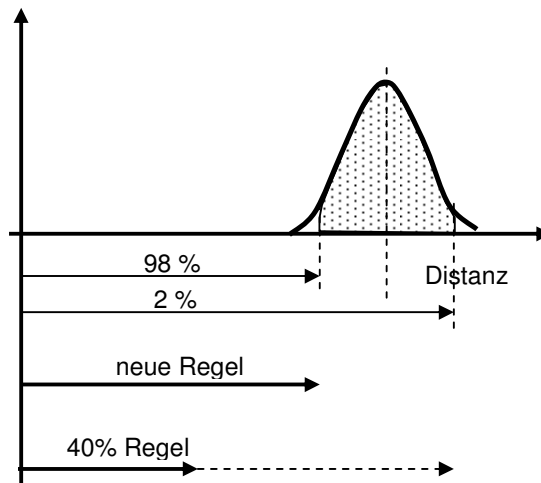
Und die Gesamtheit aller Korrekturen wird

Antennen parallele Ausrichtung	Benutzer-Kooperation	Batterie & Temperatur	total
1	0.8	0.8	0.50
2	0.8	0.9	0.57
3	0.8	1.0	0.64

4. DISKUSSION

4.1 Vergleich mit der 40% - Regel

Die nachstehende Figur zeigt einen Vergleich zwischen der 40% - Regel, welche keine Kooperation von Seiten des Benutzers voraussetzt, und dem neuen Verfahren, welches eine minimale Kooperation voraussetzt:



Unter der Annahme einer typischen Reihe von Experimenten mit coaxialer Ausrichtung erwarten wir eine Standardabweichung von ca. 10%. Die damit erhaltenen Suchstreifenbreiten betragen

$$\begin{aligned} \text{Neue Regel: } & (\text{Mittel} - (2 \cdot \sigma)) & = \text{Mittel} \cdot 0.80 \\ \text{40\% Regel: } & (\text{Mittel} + (2 \cdot \sigma)) \cdot 0.4 & = \text{Mittel} \cdot 0.48 \end{aligned}$$

Das Verhältnis der Suchstreifenbreiten ist 1.667.

Offensichtlich ist die 40% - Regel sehr viel (zu viel ?) konservativer. Der Hauptgrund für diese Abweichung ist der Umstand, dass die 40% - Regel keine Kooperationsbereitschaft des Benutzers voraussetzt.

4.2 Vergleich mit Resultaten von Feldtests

Es ist interessant, einen Vergleich zu machen mit den Resultaten eines Feldtests, welcher durch das Schweizerische Institut für Schnee- und Lawinenforschung durchgeführt wurde (Krüsi (1998)). Die Tabelle auf der folgenden Seite vergleicht die volle

Suchstreifenbreite, ermittelt nach den vier verschiedenen Methoden, nämlich

- Direkte Auswertung der Statistik der Messwerte. Als 98% - Reichweite wird die obere Grenze des kleinsten Bereiches angenommen. Sollte dieser Bereich sehr viele Messwerte enthalten relativ zum rechts angrenzenden Bereich, so wird die Mitte des Bereiches als 98% - Reichweite genommen.
- Annahme einer Normalverteilung (die in (Krüsi (1998) verwendete Variante)
- Anpassung der Dichtefunktion (40% der 2% - Reichweite). Die untere Grenze des höchsten Bereiches wird als 2% - Reichweite genommen.
- Die vorliegende Methode, unter der Annahme einer Standardabweichung von 10% des Mittelwertes, und einer 2% - Reichweite gleich der unteren Grenze des höchsten Bereiches, d. h. die 98% - Reichweite beträgt 0.60 Mal die untere Grenze des höchsten Bereiches.

Die Resultate der Lokalisierungsversuche, welche auch Bestandteil der

Untersuchung waren, werden hier nicht berücksichtigt, da sie einen anderen Zweck verfolgten.

Währenddem die Zahlen der Normalverteilung und der angepassten Dichtefunktion für die Geräte ARVA, Ortovox und Tracker gut vergleichbar sind, ergeben sich grössere Abweichungen für die Barryvox – und Pieps – Geräte. Das mag bis zu einem gewissen Grad dadurch begründet sein, dass die Dichtefunktionen für die letzteren Geräte eher einer Normalverteilung entsprechen.

Für das Barryvox liegen die Werte zwischen denjenigen der Normalverteilung und denjenigen der angepassten Dichtefunktion. Für alle anderen Geräte sind die nach der neuen Methode ermittelten Zahlen grösser als die anderen. Aber die nach der neuen Methode ermittelten Zahlen korrelieren für alle Geräte recht gut mit den Zahlen, welche direct aus den Histogrammen abgeleitet wurden.

Vergleich der Resultate auf der Basis der Zahlen aus dem Feldtest des Schweizerischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung:

	Land	Direkt	Normal	Angepasst	Neue Methode
ARVA	F	30.0	14.6	28.0	42.0
	CH, I, A/D	20.0	16.8	18.0	27.0
	CH, I, A/D	20.0	18.4	18.0	27.0
Ortovox	F	40.0	37.6	28.0	42.0
	CH, I, A/D	30.0	20.6	22.0	33.0
	CH, I, A/D	30.0	21.4	22.0	33.0
Tracker	F	25.0	16.8	16.0	24.0
	CH, I, A/D	20.0	16.6	14.0	21.0
	CH, I, A/D	20.0	19.6	14.0	21.0
Barryvox	CH	60.0	59.6	26.0	39.0
	CH	40.0	50.2	26.0	39.0
Pieps	CH, A/D	30.0	30.8	22.0	33.0
	CH, A/D	30.0	29.4	22.0	33.0

5. SCHLUSSFOLGERUNG

Die traditionellen Verfahren zur Bestimmung der Suchstreifenbreite leiden unter der Tatsache, dass die Messwerte im unteren Bereich der Verteilung grossen Variationen durch ungünstige Versuchsanordnung (Ausrichtung der Antennen, Beeinflussung durch Testpersonen) ausgesetzt sind. Sie erfordern zudem eine grosse Anzahl von Experimenten. Die zweite und die dritte Methode sind heikel, weil sie Annahmen machen über die Dichtefunktionen, welche von der Realität abweichen können. Die neue Methode zur Ermittlung der Suchstreifenbreite soll mit weniger Experimenten eine bessere Konsistenz der Resultate erreichen, da sie auf einer Versuchsanordnung mit inhärent geringerer Varianz beruht.

REFERENZEN:

Good, Walter; "Electronic Transceivers for Locating Avalanche Victims, an Optimal Strategy for the Primary Search"; Proc. International Snow Science Workshop, Lake Tahoe, CA, October 1986.

Krüsi, Georges; Weilenmann, Peter; Tschirky, Frank; "Avalanche Beacon Test "LVS-98""; Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research, 1998.

Wildi, Theodore; "Units and Conversion Charts"; IEEE Press 1991, ISBN 0-87942-273-4