

Statistische Methoden zur Auswertung von Signalrapporten

Jürgen A. Weigl, OE5CWL

Obwohl Statistik heute praktisch in allen Gebieten ihre Anwendung findet, fehlt bisher in der Amateurliteratur die Beschreibung von Methoden, die es dem Amateurfunkern gestatten, ebenfalls statistische Methoden anzuwenden. Und das, obwohl viele Größen einer direkten Messung im Funkverkehr nicht oder nur schwer zugänglich sind. Man denke etwa nur an die Auswirkungen von Sprachprozessoren oder Antennenwechsel. Es sei daher hier versucht, eine Möglichkeit zu zeigen, wie in solchen Fällen statistische Methoden vorteilhaft genutzt werden können.

Die Variable: Der Signalrapport

Funkamateure legen großen Wert auf den Austausch von Signalrapporten. Dazu wird der sogenannte RST-Code verwendet. Wobei allerdings heutzutage die erste Ziffer (für R -Lesbarkeit) so gut wie keine Bedeutung hat. Selbst wenn die Verständlichkeit eingeschränkt ist, geben die meisten Funkamateure noch einen Wert von 5 an. Etwas anders sieht es bei der Beurteilung der Signalstärke aus: Die Skala reicht hier von 1 bis 9 plus, allerdings müssen wir uns von vornherein von der Vorstellung trennen, es handle sich dabei um einen exakten Meßwert. Zwar lesen viele Funkamateure den Wert tatsächlich vom S-Meter ab, die Empfangsgeräte sind jedoch zu unterschiedlich hinsichtlich des angezeigten Wertes. Außerdem gibt es auch noch eine große Zahl von Amateuren, die den Signalrapport nur nach Abschätzung, ohne Berücksichtigung eines S-Meters geben. Man kann daher nur davon ausgehen, daß die Gegenstation zwar beim Signalrapport eine Bewertung durchführt, diese aber nicht als exakter Messwert interpretiert werden kann, ja tatsächlich sogar emotionell beeinflusst ist.

Es stellt sich daher zuerst die Frage, ob eine derartig unkontrollierbare Größe sich überhaupt zu einer näheren Analyse eignet. Als Techniker sind wir exakte Meßwerte gewöhnt und zu recht stolz darauf, exakte Aussagen machen zu können. Aber denken wir doch nur einmal an die üblichen Meinungsumfragen: Hier wird oft eine "Beliebtheitskala" festgelegt, ohne daß dem eine physikalische Größe zugrunde liegt. Trotzdem sind derartige Werte für Politiker oder auch Werbemanager von großer Bedeutung. Wir sollten daher ohne weiteres einmal eine ähnliche Analyse versuchen.

Statistische Bewertung von Signalrapporten

Wir wollen unsere Überlegungen mit einer Untersuchung der typischen Verteilung von Signalrapporten beginnen. Bei einer äußerst aktiven Klubstation in Österreich hatte ich Zugang zu einer großen Zahl von QSO-Daten, die unter unterschiedlichsten Bedingungen zustande gekommen waren. Wenn wir statistische Methoden verwenden, müssen wir uns immer darüber klar sein, welche Größen sich im untersuchten System ändern können und wir werden daher, im klare Aussagen treffen zu können, bestrebt sein, daß sich nur die uns interessierende Größe ändert, alle anderen Größen aber keinen Einfluß auf unsere Untersuchung nehmen. Wir gehen also davon aus, daß alle von uns beeinflussbaren Variablen, mit Ausnahme der zu untersuchenden, konstant bleiben. Dies klingt etwas abstrakt, daher wollen wir gleich mit einem Beispiel beginnen:

Wir untersuchen zuerst die vorhandenen Daten der Klubstation auf 20 Meter; Größen, die auf den Empfangsrapport Einfluß nehmen, sind nun etwa die Stationsausrüstung, insbesondere die verfügbare Leistung und die verwendete Antenne. Aber auch die Bedingungen ändern sich bekanntlich mit der Sonnenaktivität. Wir beschränken daher unsere Untersuchungen auf einen kurzen Zeitraum, in dem sich die Sonnenfleckenzahl nur gering ändert. Schließlich ist natürlich auch die überbrückte Entfernung von Bedeutung, so daß wir uns hier erst einmal auf Verbindungen innerhalb Europas beschränken. Aus dem Logbuch der Klubstation wurden nun die Rapporte für die Verbindungen zweier Operator entnommen:

Tabelle 1
Anzahl der Signalrapporte, OE6XRG, zwei Operator

Operator	Summe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9plus	s
1	115	0	0	0	4	11	15	13	26	35	11	7,696
2	106	0	0	3	2	7	15	12	21	35	11	7,726

OP. 1 machte 115 QSO, OP.2 106 Verbindungen innerhalb desselben Zeitraumes. Nun werden die erhaltenen Rapporte für jeden Operator getrennt untersucht. Tabelle 1 zeigt die Anzahl von Signalrapporten für jede S-Stufe. Aus dieser Liste können wir nun den durchschnittlichen Signalrapport ermitteln. Dazu wird die Multiplikation der Anzahl der einzelnen Rapporte mit dem entsprechenden S-Wert aufaddiert und dann durch die Gesamtzahl der Rapporte dividiert. Dies läßt sich mathematisch auch durch die nachstehende Formel ausdrücken:

Statistische Methoden zur Auswertung von Signalrapporten

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} n_i \times s_i$$

s ...durchschnittlicher Signalrapport

n ...Gesamtzahl der Verbindungen

n_i ...Anzahl der Rapporte

s_i ...Wert des Rapportes ($s=9, s_i=9$)

Es stellt sich nun die Frage, wie ein Rapport, der über S9 liegt, zu bewerten ist. Wir ordnen vorerst alle Rapporte über S9 in die Kategorie 9plus ein. Es ist dann vernünftig, einer linearen Skala entsprechend dieser Kategorie den Wert 10 bei der Berechnung des Mittelwertes zuzuordnen. Wird dementsprechend die Berechnung durchgeführt, so erhalten wir für OP. 1 einen durchschnittlichen Signalwert von 7,696 und für OP. 2 von 7,726.

Obwohl also zwei verschiedene Amateure vollkommen unterschiedliche Stationen zu auch unterschiedlichen Zeitpunkten gearbeitet haben, unterscheidet sich der durchschnittliche Rapport um nur 0,03 S-Stufen. Noch interessanter ist aber die Betrachtung der Verteilung der Signale. Zuerst wird der jeweilige Prozentsatz für jede Kategorie bestimmt, daraus entwickeln wir dann die Summenhäufigkeitsfunktion. (Wir kürzen dies CDF = Cumulative Distribution Function ab). Die Begründung zu diesem Schritt liegt auf der Hand:

Es ist vorteilhaft zu wissen, wie hoch der jeweilige Prozentsatz ist, der über einem bestimmten S-Wert liegt. Für OP. 1 ist z.B. der Prozentsatz an 9plus 9,56 % und für S9 30,43 %. Die Summenhäufigkeit ergibt sich somit aus dem jeweiligen Prozentsatz des betrachteten Wertes und der Summe aller darüber liegenden Werte, also 9,56 % für 9plus und 39,99 % (= 30,43 + 9,56) für S9. Das bedeutet also in anderen Worten, daß 40 % aller erhaltenen Rapporte S9 oder besser sind. In Tabelle 2 wird dies für alle Werte ermittelt, interessanter ist jedoch eine graphische Darstellung, wie sie in Abb. 1 gegeben ist.

	9plus	9	8	7	6	5	4	3	
op.1	9,56	30,43	22,61	11,3	13,04	9,56	3,50		Prozentsatz der Rapporte (%)
op.1	9,56	39,99	62,6	73,9	86,94	96,5	100		Summenhäufigkeit (%)
OP2	10,38	33,02	19,81	11,32	14,15	6,6	1,89	2,83	Prozentsatz der Rapporte (%)
OP2	10,38	43,4	63,21	74,53	88,68	95,28	97,17	100	Summenhäufigkeit (%)

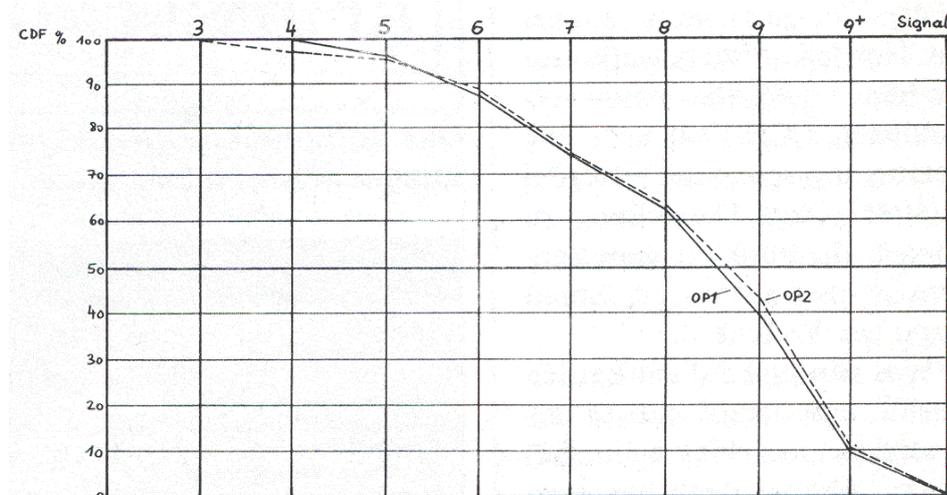


Abb. 1: Summenhäufigkeitsfunktion für Signalrapporte bei OE6XRG 20 m – Europa, 2. Operator

Dieses Bild zeigt noch deutlicher, wie nahe beieinander die Resultate für beide Operator liegen. Analog wurde die Signalverteilung auch auf anderen Bändern untersucht. Dabei kommt es zu gleichartigen Ergebnissen. Wichtig ist jetzt festzustellen, wie die Resultate von der Anzahl der untersuchten Rapporte abhängen.

Statistische Methoden zur Auswertung von Signalrapporten

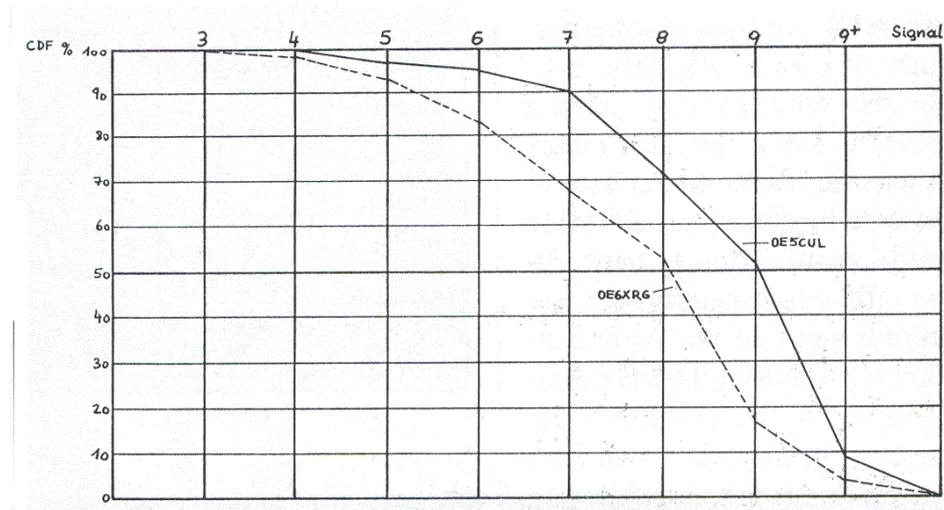


Abb. 2: Vergleich der Summenhäufigkeitsfunktion der Signalrapporte zweier Stationen (OE5CUL, OE6XRG) – 20 m - Nordamerika

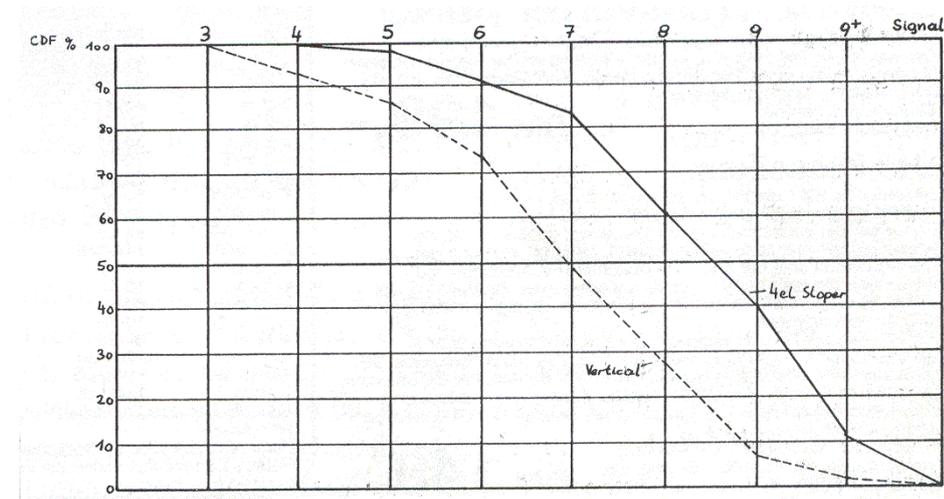


Abb. 3: Statistischer Vergleich zweier Antennensysteme, Summenhäufigkeitsfunktion der Rapporte für Vertikal und 4-Element-Sloper auf 40 m/DX

Die Samplegröße

Jene Teilmenge, die man zu statistischen Untersuchungen heranzieht und von der man dann die gewonnenen Resultate auf die Gesamtheit anwendet, wird "Sample" genannt.

Es ist natürlich von ausschlaggebender Bedeutung für die Gültigkeit der gewonnenen Resultate, daß dieses Sample tatsächlich die Verhältnisse widerspiegelt, also die Gesamtheit repräsentiert. Damit dies auch für unsere Ergebnisse zutrifft, haben wir ja bereits beim angeführten Beispiel gewisse Eingrenzungen getroffen. Wichtig ist jetzt vor allem noch die Einsicht, daß die Verlässlichkeit unserer Ergebnisse mit der Anzahl der untersuchten Rapporte, also der Größe unseres Samples, zunimmt. Dies sei anhand eines konkreten Beispiels gezeigt: Aus insgesamt 500 Verbindungen auf 80 m wurde die typische Verteilung von Signalrapporten ermittelt und ein Computer damit gefüttert.

Dieser arbeitete dann als Zufallsgenerator und gab für eine vorgewählte Samplegröße eine entsprechende Zusammenstellung von Rapporten. Die so erhaltenen Ergebnisse entsprechen also einer beliebigen Auswahl aus den genannten 500 Verbindungen, wobei jeder Rapport mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftritt.

Die Resultate einer derartigen Analyse zeigt Tab. 3. Wir sehen, daß bei einem Sample von nur 10 Verbindungen ein großer Fehler auftritt, bei einem Sample von 50 bereits der Fehler im durchschnittlichen Signalwert auf 1,5% sinkt und bei 100 Verbindungen bereits bei 0,44 % liegt. Es sei hier jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß dies zwar typische Werte sind, die aber keinesfalls die absoluten Fehlergrenzen darstellen.

Tabelle 3
Fehler für verschiedene Samplegrößen:

Sample	s	9plus	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Fehler (%)
500	8,548	104	215	91	51	22	14	3	0	0	0	0
10	7,90	1	3	2	2	2	0	0	0	0	0	7,58
25	8,36	6	8	2	7	2	0	0	0	0	0	2,20
50	8,42	10	23	6	3	5	3	0	0	0	0	1,50
100	8,51	23	42	16	7	7	4	1	0	0	0	0,44
150	8,57	29	66	29	18	4	3	1	0	0	0	0,218
200	8,575	42	85	39	22	6	4	2	0	0	0	0,316
250	8,544	52	108	45	25	11	7	2	0	0	0	0,005

\bar{s} ... durchschnittlicher Signalrapport
Der Fehler bezieht sich auf den durchschnittlichen Signalrapport, wobei das Ergebnis aus 500 Verbindungen als richtiger Wert herangezogen wird.

Allerdings sinkt natürlich auch der maximal mögliche Fehler mit zunehmender Samplegröße, die Wahrscheinlichkeit seines Auftretens nimmt dagegen drastisch ab. Wir wollen hier auf eine genaue mathematische Ableitung des Vertrauensbereiches, dem gewisse festgelegte Fehlergrenzen entsprechen, verzichten, da dies für derartige Verteilungen ziemlich kompliziert wird, können aber davon ausgehen, daß wir bei Zulassung eines Fehlerbereiches von 1 % mit etwa 100 Verbindungen im allgemeinen auskommen werden.

Wir sollten uns hier noch einmal über jene Faktoren klar werden, die unsere Untersuchungen beeinflussen können. Da sind zuerst natürlich die technischen Bedingungen, wie etwa Gerät, Sendeleistung oder Antenne, aber auch die Ausbreitungsbedingungen zu nennen. Die untersuchten Kontakte sind auf ein gewisses Zielgebiet zu beschränken, etwa nur Europa oder nur Japan etc. Natürlich kann eine derartige Begrenzung zu einem relativ kleinen zur Verfügung stehenden Sample führen, erscheint aber dennoch sinnvoller, als eine Untersuchung von z.B. allen DX-Kontakten. Schließlich kommen noch die persönlichen Einflüsse hinzu, etwa, daß ein Operator schwache Stationen bevorzugt o.ä. Wie aber umfangreiche Untersuchungen der Verbindungen der angeführten Klubstation zeigten, sind diese Einflüsse wesentlich geringer als ursprünglich angenommen.

Wir können also, wenn wir uns all dies vor Augen halten, eine Größe verändern und, vorausgesetzt wir haben ein Sample von genügender Größe gewählt, daraus mittels der gezeigten statistischen Methoden die Auswirkungen dieser Größe untersuchen. Dazu zwei konkrete Beispiele.

Anwendungsmöglichkeiten

Zuerst wollen wir versuchen, zwei komplett verschiedene Stationen hinsichtlich ihrer Signalstärken zu untersuchen. Diese Analyse wurde auf 20 m durchgeführt, wobei die Resultate von OE5CUL und OE6XRG zur Verfügung standen. Die Samplegröße war dabei etwa 180 QSO. OE5CUL verwendete eine 3-Element-Yagi, bei OE6XRG stand hingegen nur eine Multiband-Vertikal zur Verfügung. Beide Stationen hatten dieselbe Ausgangsleistung von 100 Watt. Es zeigte sich für OE5CUL bei einer Analyse von Verbindungen mit Nordamerika ein eindeutig besseres Ergebnis, wie aus Abb. 2 zu entnehmen ist. Bei der 50 %-Marke liegt der Unterschied bei etwa einer S-Stufe, der durchschnittliche Rapport ist um 0,887 S-Stufen besser. Es gibt nun noch eine weitere Möglichkeit zur Interpretation der Resultate: Wie wir aus Abb. 2 sehen, ist die Wahrscheinlichkeit, einen S9 Rapport zu erhalten, mit der Yagi doppelt so hoch wie mit der Vertikal. Tatsächlich kann OE5CUL bei jedem zweiten QSO mit Nordamerika mit einem S9 Rapport rechnen.

Abschließend noch eine weitere Untersuchung: Bei OE5CWL wurde vor einiger Zeit die 40-m-Antenne ausgetauscht. Die damals verwendete Vertikal wurde durch ein 4-Element-Sloper-System ersetzt. Die neue Antenne brachte exzellente Ergebnisse, allerdings war ein direkter Vergleich mit der Vertikal nicht mehr möglich. Daher wurden wieder die DX-Kontakte eines kurzen Zeitraumes vor bzw. nach dem Antennenwechsel untersucht. Abb. 3 zeigt das Ergebnis: Bei der 50 %-Marke ist die Richtantenne um 1,6-S-Stufen besser (der durchschnittliche Rapport liegt um 1,4-S-Stufen höher). Bemerkenswert aber auch die Wahrscheinlichkeit für einen S9 (oder besser) Rapport in Übersee: Mit der 4-Element-Sloper-Antenne ist diese jetzt 5 mal höher als zuvor. Besonders diese letzte Beobachtung erscheint bemerkenswert. Während die tatsächliche Verbesserung in dB nicht mehr festgestellt werden kann, hat sich die Wahrscheinlichkeit für ein starkes (S9) Signal drastisch erhöht.

Und gerade das ist es, was für den DXer wirklich zählt: Ein starkes Signal, mit dem er die Möglichkeit (=Wahrscheinlichkeit), durch ein pile-up durchzukommen, vergrößert. Daher erscheint der Unterschied in diesem Bereich (eine fünffache Steigerung) wesentlich wichtiger als die durchschnittliche Verbesserung des Signals um etwas mehr als eine S-Stufe.

Statistische Methoden zur Auswertung von Signalrapporten

Und hier sind wir wieder beim eingangs erwähnten Problem angelangt: Wie soll ein Signalrapport interpretiert werden? Handelt es sich um einen, wenn auch mit großen Fehlern behafteten Meßwert? Oder stellt er nur eine Art "Beliebtheitsskala" dar? Zu welchem Schluß man auch kommen mag, die gezeigte Möglichkeit der Analyse in dieser Weise ermöglicht zumindest die eigene Position einzuschätzen und Vergleiche anzustellen.