Mikrowellenausbreitung über Flugzeugreflexion

Wolf-Henning Rech, DF9IC, Eisinger Str. 36/2, 75245 Neulingen,
mailto: whrech@web.de

1 Grundlagen: Streuung oder Reflexion?

Ein Ausbreitungsweg unter Nutzung von Reflexion und Streuung ist im Amateurfunk seit jeher Alltag - ob ionosphärische Reflexion im Kurzwellenbereich, Meteor Scatter und Aurorarückstreuung im 2-m-Band oder eben mit Hilfe von Gewitterformationen und Flugzeugen im Mikrowellenbereich.

Unter Reflexion einer Welle versteht man die weitgehend gerichtete Umlenkung an einer im Verhältnis zur Wellenlänge glatten (ebenen oder gekrümmten) Fläche, unter Streuung die ganz oder teilweise ungerichtete Erzeugung neuer Wellen an einer im Verhältnis zur Wellenlänge rauhen Fläche oder an kleinen Streukörpern.

Vor mehr als 10 Jahren hat die Streuung an Gewitterregenwolken [1] Aufmerksamkeit gefunden und sich seitdem als einen wichtigen Ausbreitungsweg für Weitverbindungen speziell im 10-GHz-Band etabliert. Dadurch ist der Begriff Regenscatter (rain scatter, RS) weithin bekannt geworden. Es handelt sich dabei um einen echten Streuprozeß, der an den gegenüber 3 cm kleinen Regentropfen wenig gerichtet erfolgt und in Vorwärts- und Rückstreuung genutzt werden kann. Die Bewegung der Regentropfen erzeugt eine Dopplerverschiebung der gestreuten Signale, die sich winkelabhängig bei Vorwärtsstreuung wegen der gegensinnigen Frequenzverschiebung auf den beiden Teilstrecken des Funkpfades beinahe kompensiert, bei Rückstreuung hingegen addiert und daher viel ausgeprägter ist. Da jeder einzelne Tropfen eine andere Relativgeschwindigkeit hat und das gestreute Signal sich aus sehr vielen Beiträgen addiert, enthält die Verschiebung einen dominierenden statistischen Anteil, der zu einer rauschähnlichen Dopplerverbreiterung des Signals führt.

Neben Regenwolken wurden auch Flugzeuge als mögliche Helfer für die Überbrückung großer Entfernungen (wieder-)entdeckt. Sie sind in ihren Abmessungen groß im Vergleich zur Wellenlänge und haben eine weitgehend glatte Metalloberfläche, daher kommt hier im wesentlichen Reflexion zum Tragen. Das gilt insbesondere, wenn nicht das 3-cm-Band, sondern niederigere Frequenzen z. B. bei 1296 MHz oder 2320 MHz genutzt werden.

Daher sollten wir den Terminus „Flugzeugreflexion“ oder „airplane reflection (AR)“, nicht aber Streuung oder Scatter („AS“) zur Bezeichnung dieser Art der Weitverbindungen verwenden.

2 Abschätzung der Streckendämpfung

Die Geometrie einer Ausbreitung über Flugzeugreflexionen zeigt Bild 1. Wenn beide Funkstationen bis 0° Elevation einen freien Horizont (einschließlich freier Fresnelzone) haben, ergibt sich mit der „4/3-Regel“ zur Berücksichtigung der Beugung am Brechzahlgradienten

der Atmosphäre unter der Annahme eines effektiven Erdradius von 8500 km eine Reichweite von 520 km bis zu einem in 40.000 ft (12 km) Höhe fliegenden Flugzeugs und damit insgesamt 1040 km mögliche Funkfeldlänge. Die Beobachtungen des Autors zeigen aber oberhalb von 800 km eine starke Abnahme der Erfolgswahrscheinlichkeit für Flugzeugreflexionen.

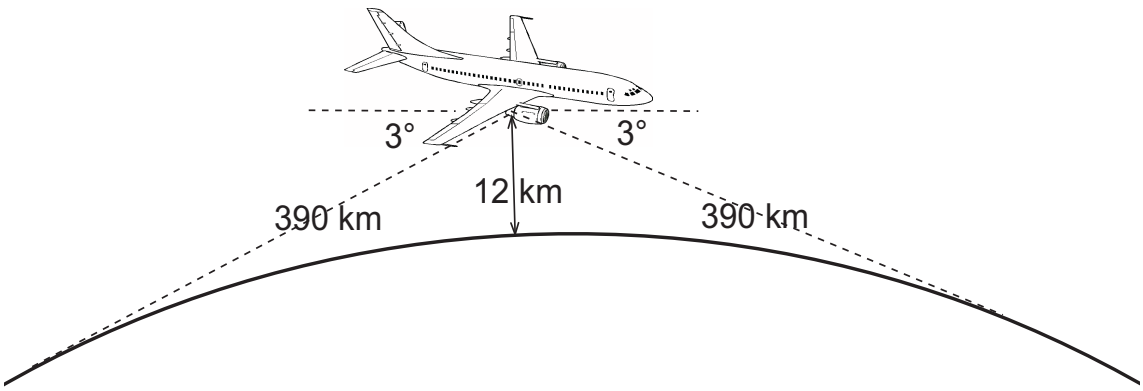

Bild 1 Geometrie einer Mikrowellenverbindung über Flugzeugreflexion (schematisch)

Der Winkel zur Flächennormalen am Flugzeug beträgt bei Verbindungen an der Reichweitengrenze >700 km Funkfeldlänge etwa 87°, so daß die geometrische Fläche der Tragflächen und der Rumpfunterseite sich in der Wirkung erheblich reduziert.

2.1 Reflexion

Für spiegelartig reflektierende Punktziele ergibt sich die Dämpfung des gesamten Funkpfads einschließlich der Antennen zu

$$\frac{a}{\mathrm{dB}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{TX}}{P_{RX}} = 20 \cdot \lg \frac{4\pi \cdot d_1 \cdot d_2}{A} - \frac{g_{TX}}{\mathrm{dB}} - \frac{g_{RX}}{\mathrm{dB}} \tag{1}$$

mit den Antennengewinnen einschließlich Kabelverlusten g_{RX} und g_{TX} und den Entfernungen d_1 und d_2 zwischen dem reflektierenden Objekt und den beiden Funkstationen sowie A als effektiver Spiegelfläche des reflektierenden Objekts. Die Dämpfung hängt unter diesen Bedingungen nicht von der Frequenz oder Wellenlänge ab, allerdings wird es bei kürzeren Wellenlängen immer schwieriger, die Bedingung „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ mit der nötigen Genauigkeit einzuhalten und eine ebene und glatte Reflexionsfläche zu finden.

Setzt man realistische Zahlenwerte für Versuche im 23-cm-Band ein:

- $g_{TX} = 32\ \mathrm{dBi}$ für einen 4,5-m-Spiegel und $g_{RX} = 24\ \mathrm{dBi}$ für 4 x 35 Element-Yagi,
- $d_1 = d_2 = 390\ \mathrm{km}$ für die Strecke zwischen JN48iw und JO65mj,
- $P_{TX} = 51\ \mathrm{dBm}$ (125 W) und $P_{TRX} = -130\ \mathrm{dBm}$ (gute SSB-Signalstärke)

so ergibt sich ein erforderlicher effektiver Reflexionsquerschnitt $A = 2{,}7\ \mathrm{m}^2$. Das scheint wenig zu sein, es muß aber beachtet werden, daß die geometrische Fläche dieses Spiegel

wegen des spitzen Einfallswinkels noch mit dem Faktor $1/\cos(87°) \approx 20$ multipliziert werden muß, so daß letztlich eine gegenüber der Wellenlänge wenig gekrümmte und glatte Fläche von etwa 50 m^2 an der richtigen Stelle des Himmels mit perfekter Orientierung parallel zur Erdoberfläche erforderlich ist. Das ist mit einem in konstanter Höhe geradeaus fliegenden Flugzeug erreichbar.

Die für die Berechnung zu Grunde liegenden Verhältnisse entsprechen dem Funkpfad zwischen dem Standort des Autors und der Klubstation SK7MW, ebenso die Sendeleistung und die Antennengewinne. Bei insgesamt mehr als 20 Tests seit Oktober 2004 konnte die genannte Empfangssignalstärke nur bei günstigen Umständen, allerdings ohne erkennbares Tropoducting minutenweise erreicht werden, hingegen eine ca. 15 dB schwächere Signalstärke für eine CW-Verbindung mit etwas Geduld immer. Meistens funktioniert der CW-Sked auf Anhieb, wobei neben Flugzeugen auch Troposcatter schwächere Signale liefern kann.

Nicht immer ist schließlich ein Flugzeug an der richtigen Stelle, und bei einer angenommenen Dimension der Reflexionsfläche von 20 m Breite und 2,5 m Tiefe (in Ausbreitungsrichtung), nämlich die Tragfläche eines in Nord-Süd-Richtung fliegenden Flugzeugs muß dessen Position in Ost-West-Richtung auf etwa 5 km genau stimmen und der Rollwinkel kleiner 0,5° sein, um diese 20 m Breite auch ausnutzen zu können, sonst kommt es zu zusätzlichen Signalverlusten. Das erklärt leicht das seltene Auftreten so starker Signale.

2.2 Streuung

Würde das an der Ausbreitung beteiligte Objekt die aufgenommene Energie verlustfrei als Kugelwelle ungerichtet in den Raum streuen, so liefert die Radargleichung mit dem sogenannten Rückstreuqueschnitt σ eine Funkfelddämpfung

$$\frac{a}{\mathrm{dB}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{TX}}{P_{RX}} = 10 \cdot \lg \frac{(4\pi)^3 \cdot d_1^{\,2} \cdot d_2^{\,2}}{\lambda^2 \cdot \sigma} - \frac{g_{TX}}{\mathrm{dB}} - \frac{g_{RX}}{\mathrm{dB}}. \qquad (2)$$

Setzt man die gleichen Zahlenwerte ein, wäre der erforderliche effektive Rückstreuquerschnitt $\sigma \approx 5000\ \mathrm{m}^2$ - so viel erreicht ein Flugzeug nicht. Streuobjekte müssen also erheblich größer sein, um sie nutzen zu können. Gewitterwolken streuen Wellen mit $\lambda = 23$ cm leider nur sehr schwach, so daß die dafür tatsächlich erforderliche Fläche noch viel größer ist und nur selten erreicht wird.

2.3 Und die ISS?

Neben Flugzeugen kommen grundsätzlich auch andere ebene metallische Objekte in großer Höhe als Reflektoren in Frage, z. B. Raumfahrzeuge in der Erdumlaufbahn, allerdings müssen sie deutlich mehr Fläche haben, um die größere Freiraumdämpfung zu kompensieren. Die senkrecht zur Sonne ausgerichteten Solarpanels der ISS sollten ein gutes Reflexionsziel abgeben. Die Einhaltung der Winkelbedingungen ist schwieriger und nur selten und dann sehr kurzzeitig (im Sekundenbereich) erreichbar, dafür mit Reichweiten von mehr als 2000 km. Ein lohnender Versuch?

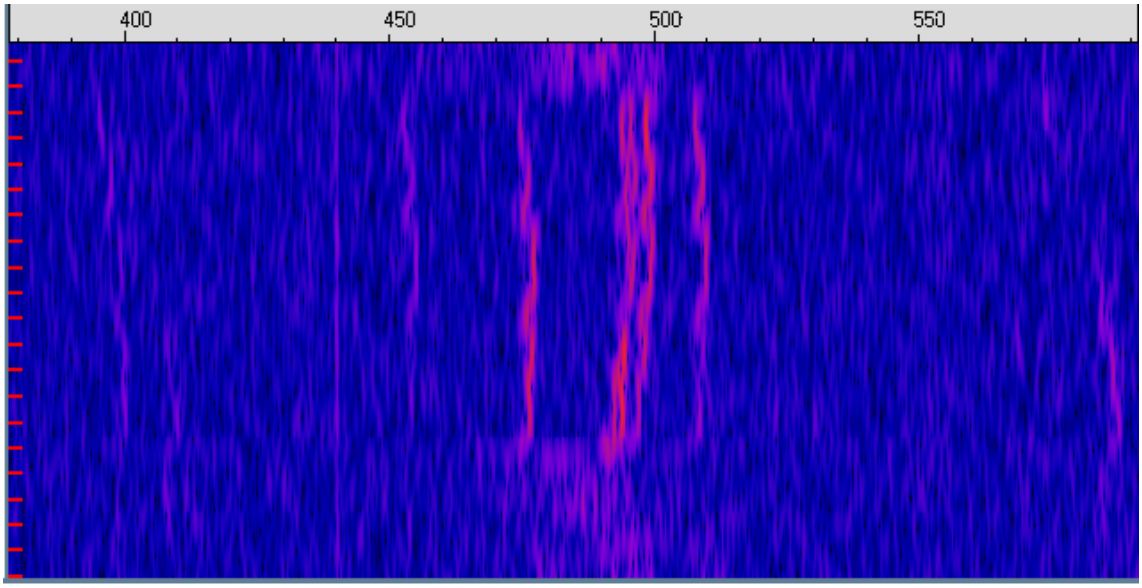

Bild 2 NF-Spektrogramm von GB3MHL (JO02pb) in JN48iw (630 km Entfernung)

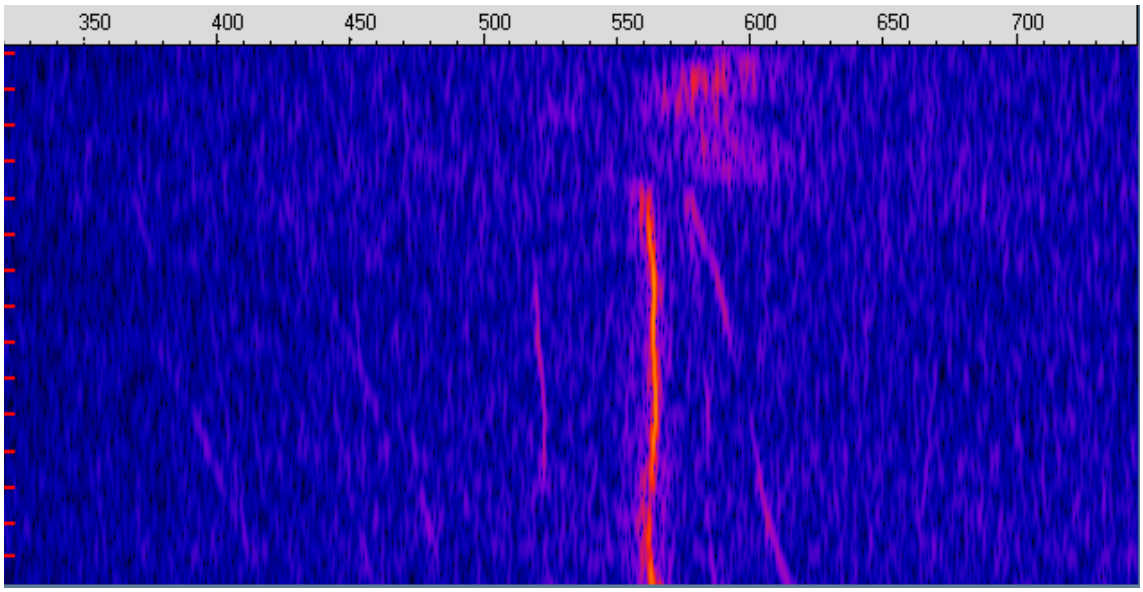

Bild 3 NF-Spektrogramm von DB0KI (JO50wc) in JN48iw (263 km Entfernung)

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Spektrale Analyse von Baken- und CW-Signalen

Um herauszufinden, ob Flugzeugreflexionen an der Ausbreitung beteiligt sind, ist die spektrale Analyse eines nicht oder nur amplitudengetasteten Trägersignals eine gute Hilfe. Mit einem PC am NF-Ausgang des SSB-Empfängers und einem Analyseprogramm wie SPECTRAN [2] ist das mit wenig Aufwand zu realisieren

Die englische Hochleistungsbake GB3MHL ist vom Standort des Autors aus ein günstiges Studienobjekt. Bei nur 630 km Entfernung gibt es immer viele Flugzeuge, die zu Reflexionen beitragen können. Das Spektrogramm (Bild 2) zeigt sehr schön eine große Anzahl dopp-

lerverschobener Signale, die im weiteren zeitlichen Verlauf auftauchen und wieder verschwinden. Die FSK-Tastung (in der Wasserfalldarstellung oben und unten) unterbricht die Beobachtungsmöglichkeit periodisch.

Der geringen Änderungen der Dopplerverschiebungen während des Beobachtungszeitraums resultieren aus der großflächigen Geometrie, so daß sich die Winkel zwischen Flugzeug und Funkstationen in dieser Zeit nur wenig ändern.

Beobachtet man hingegen eine Signal aus geringerer Entfernung, so ist die Änderungsrate oft viel größer, insbesondere dann, wenn Flugzeuge beteiligt sind, die in der Nähe einer der beiden Stationen fliegen. Bild 3 zeigt ein Beispiel dafür; das starke Hauptsignal kommt per Beugung an, aber SPECTRAN offenbart, daß auch über Flugzeugreflexion noch eine ganze Reihe weiterer Signale empfangbar sind.

Vorteilhaft für solche Versuche ist ein großer horizontaler Öffnungswinkel der beteiligten Antennen, um ein großes Zielgebiet zu erfassen, bei Baken ist dieser sowieso sehr groß, und die Antenne des Autors erreicht 20° durch ausschließliche vertikale Stockung der vier Yagi-Antennen. Das kann auch bei realen Weitverbindungen speziell mit Gegenstationen mit ebenfalls nicht extrem bündelnden Antennen hilfreich sein.

3.2 Tracking der Position von Flugzeugen mit ADS-B

Während im 23-cm-Band die Chance, in einem zufälligen Testzeitraum ein geeignetes Flugzeug an der richtigen Position zu finden, meist noch recht gut steht, jedenfalls bei Entfernungen unter 800 km, wird das bei höheren Frequenzen schwieriger, da sowohl die Öffnungswinkel der Antennen kleiner als auch die Winkelbedingungen für die Reflexion am Flugzeug enger werden. Das reduziert gleichzeitig die Dauer der nutzbaren Reflexion auf deutlich unter eine Minute.

Insofern wäre es äußerst wünschenswert, die Positionen der in Frage kommenden großen Verkehrsflugzeuge zeitnah erfassen zu können. Dieser Wunsch scheint in Zeiten eines extremen Sicherheitsdenkens gerade im Luftverkehr vollkommen illusorisch - wäre da nicht ADS-B.

Flugzeuge verwenden seit 50 Jahren sogenannte Transponder, die auf ein empfangenes Pulssignal bei 1030 MHz mit einem Puls bei 1090 MHz antworten (Sekundärradar) und dadurch die Radarortung erleichtern. Die Strahlungsleistung beträgt ca. 1 kW EIRP in vertikaler Polarisation (jedenfalls, wenn das Flugzeug keine ungewöhnlichen Figuren fliegt) und ist durch die Pulsmodulation auf eine Bandbreite von mehreren MHz verteilt. Die Aussendung des Transponders wird außerdem zur Informationsübertragung verwendet.

Der klassische „Mode-A“-Transponder antwortet mit einem Telegramm, das je nach Anfragetyp des Sekundärradars entweder den im Cockpit einstellbaren 4-stellig-oktalen Transpondercode enthält, der dem Flugzeug zur Unterscheidung temporär vom regionalen Luftverkehrcontroller zugewiesen wird, oder die barometrisch ermittelte Flughöhe. Zusammen mit der Richtung der extrem winkelscharfen Abfrageantenne und der Laufzeit ist damit die dreidimensionale Position des Flugzeugs für den Radarempfänger darstellbar.

Allerdings antworten bei Mode A alle Transponder im Einzugsbreich der Antenne gleichzeitig, was den Abstand der Flugzeuge untereinander nach unten beschränkt, um sie im Radar noch trennnen zu können. Daher wurde der Mode S (S = selektiv) entwickelt, bei dem jeder Transponder eine eindeutige Seriennummer zur Identifizierung hat und vom Sekundärradar

nur noch selektiv abgefragt wird. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen stark reduziert und in dem Übertragungskanal (1 Mbit/s) Zeit gewonnen, um zusätzliche Informationen in beiden Richtungen (zum und vom Flugzeug) zu übertragen.

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) ist eines der Protokolle, die den Mode-S-Transponderkanal nutzen. Neben anderen Informationen werden auch die per GPS ermittelte Position des Flugzeugs, Geschwindigkeit und Heading übertragen, und zwar unverschlüsselt (!). Die Übertragung erfolgt per „squitter“ auch ohne Radarabfrage einmal je Sekunde, so daß mit einem reinen Empfänger am Boden damit ausgestattete Flugzeuge in Quasi-Echtzeit überwacht werden können. Es gibt auch andere Übetragungskanäle als den 1090-MHz-Transponder für ADS-B, aber der Verbreitungsgrad des 1090er Systems ist am höchsten und in vielen Ländern ist die ADS-B-Fähigkeit der Transponder bei der Neuausrüstung kommerzieller Flugzeuge seit kurzem Pflicht. Insgesamt liegt der Ausrüstungsgrad der großen Verkehrsflugzeuge derzeit bei etwa 50 %, ein Ausbau auf 100% ist zu erwarten..

Mit einem Empfänger mit Rundstrahlantenne ist wegen der großen Zahl der Flugzeuge und deren in Mode-A und Mode-S auf verschiedene Sekundärradars antwortenden Transponder der Kanal wenigstens tagsüber ziemlich überlastet, so daß die Aussendungen weiter entfernter Flugzeuge nur selten durchkommen. Andererseits fliegen Flugzeuge normalerweise ziemlich gerade, so daß zur Vorhersage der günstigen Position auch weniger häufig detektierte Telegramme ausreichen.

Die Realisierung eines Empfängers für Mode-S/ADS-B ist im Amateurrahmen möglich, wenn auch nicht ganz anspruchslos. Das betrifft weniger den HF-Teil, der nur in einem ca. 10 MHz breiten Kanal die ASK-modulierten Signale bei -90 dBm Pegel detektieren muß, als deren Nachverarbeitung angesichts der großen Telegrammhäufigkeit (ca. 10.000 Transponderaussendungen je Sekunde sind beobachtbar).

Seit Mitte 2005 verkauft der englische Hersteller Kinetic Avionic Products [3] einen für nichtprofessionelle Anwendungen entwicklten ADS-B-Empfänger mit Visualisierung am PC. Dieses „SBS-1“ getaufte System wird in Deutschland von WIMO unter der Bezeichnung „virtuelles Radar“ angeboten. Der Autor hatte Gelegenheit, einen solchen Empfänger und seine Nutzung für die Planung von Mikrowellen-Weitverbindungen zu testen.

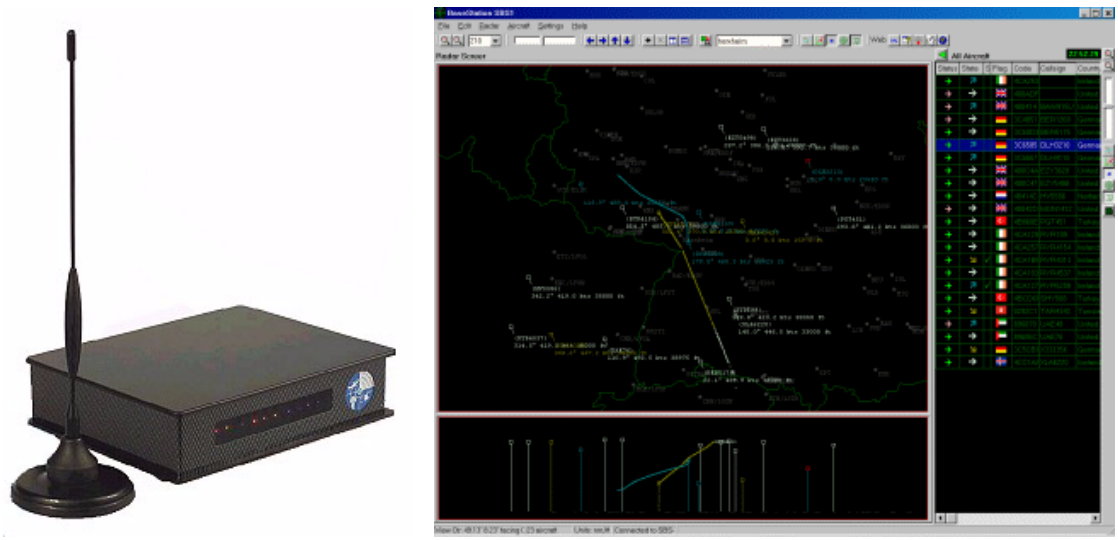

Bild 4 Bild der SBS-1-Hardware-Box und Screenshot der Visualisierung auf einem PC

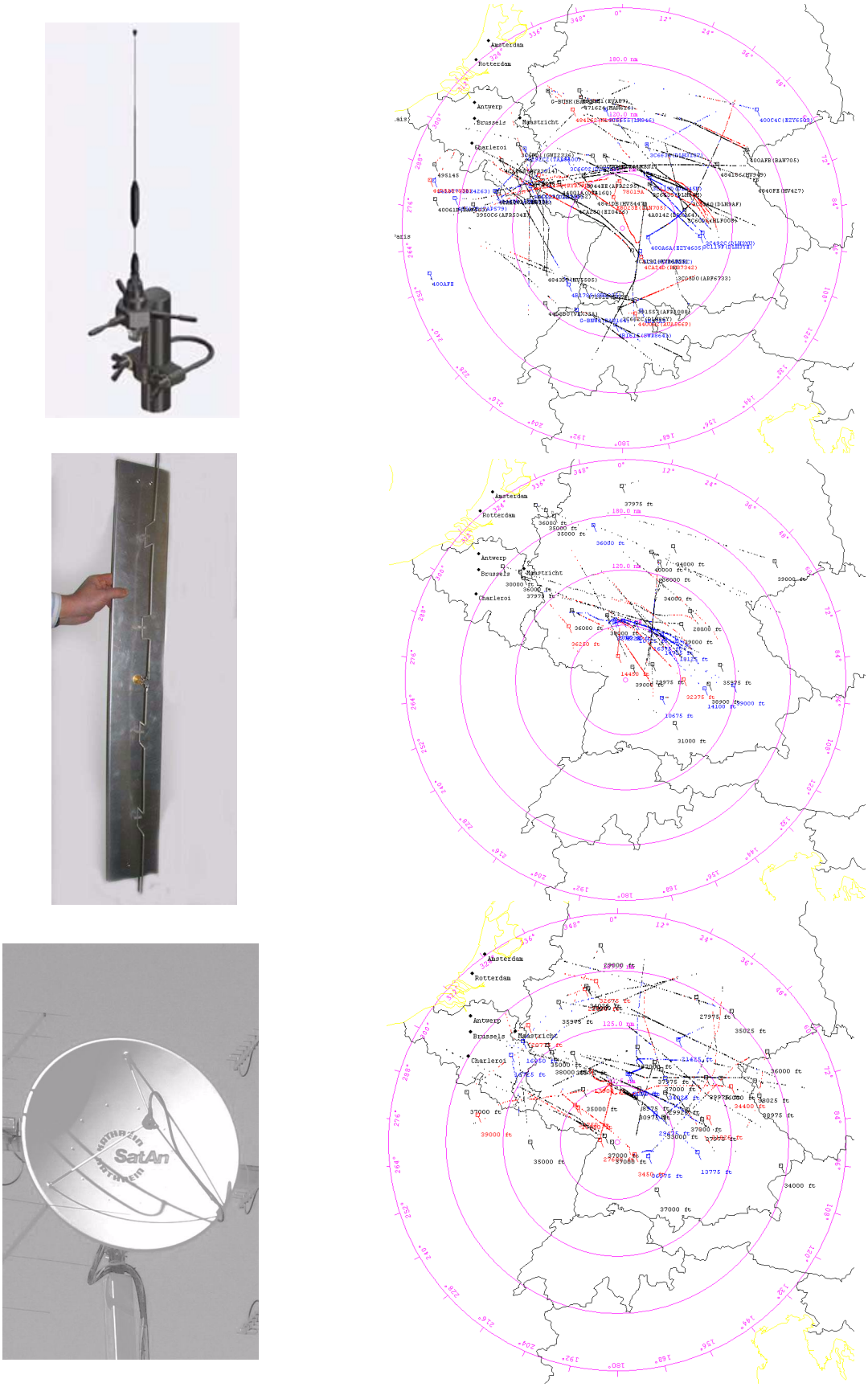

Bild 5 Verschiedene Antennen und typische Bilder des damit registrierten Luftverkehrs; oben: Rundstrahler; Mitte: 120°-Sektorantenne QTF 20°; unten: Parabolspiegel QTF 20°.

Zunächst wurde die Reichweite mit verschiedenen Antennen mit und ohne Vorverstärker verglichen. Ein Mastvorverstärker (modifizierter 23-cm-VV) ist eine sinnvolle Ergänzung. Mit der mitgelieferten Rundstrahlantenne konnte damit eine Tagesreichweite bis 180 nm (nautische Meilen - der Luftverkehr liebt imperiale Maßeinheiten, 1 nm = 1,85201 km) erzielt werden, allerdings mit seltener werdenden Antworten der ja gerade interessierenden weit entfernten Flugzeuge. Daher wurde dann eine 120°-Sektorantenne realisiert [4] und schließlich provisorisch ein Feed für 1090 MHz in den vorhandenen 1,2-m-Parabolspiegel installiert, wobei der Fokusabstand sicherlich nicht ganz gestimmt hat. Bild 5 zeigt die Antennen und die damit erreichten Ergebnisse. Mit dem Parabolspiegel war eine Reichweite um 220 nm, das sind etwa 410 km, möglich, was für den geplanten Versuch knapp ausreicht.

Nach diesen Vorversuchen konnte endlich ernsthaft getestet werden.

4 Ausbreitungstests mit SK7MW

Für eine Untersuchung, die die Position von Flugzeugen mit empfangenen Funksignalen zu korrelieren versucht, ist es günstig, eine Funkstrecke zu haben, die recht präzise Anforderungen an eben diese Position des Flugzeugs stellt. Glücklicherweise steht dem Autor am Standort JN48iw eine solche Strecke zur Gegenstation SK7MW am Standort JO65mj über eine Distanz von 777 km zur Verfügung - die Entfernung nahe der Reichweitengrenze beschränkt die Nord-Süd-Position eines möglichen Reflektors auf einen schmalen Streifen, und der 4,5-m-Parabolspiegel bei SK7MW reduziert die Ost-West-Unsicherheit.

Und nicht zuletzt: die Crew von SK7MW war auch bereit, im Zeitraum der Geräteleihgabe einen Sonntagabend für einen solchen Test zu opfern. Die Querverbindung erfolgte wie immer über den ON4KST-Chat und via Skype.

Am 23. 10. 2005 zwischen 17:05 h und 18:15 h UT wurde bei ungünstigen Tropobedingungen von SK7MW aus eine Dauer-Punktfolge in CW bei 1296,225 MHz gesendet und bei DF9IC per Soundkarte das NF-Signal des Empfängers bei deaktivierter AGC registriert. Parallel dazu wurden die Flugbewegungen im Zielgebiet mit einem SBS-1-RX bei DF9IC am 1,2-m-Spiegel aufgezeichnet.

Im Beobachtungszeitraum wurden mehrere schwächere und ein starker Signalanstieg registriert, wie aus Bild 6 erkennbar ist. Der starke Signalanstieg am Ende des Zeitraums wurde bereits während des Tests richtig vorhergesagt, da er durch ein von Süden nach Norden fliegendes mit ADS-B ausgerüstetes Flugzeug zustande kam, das bereits lange vorher beobachtet wurde und genau den richtigen Kurs hatte. Es handelte sich dabei um den Flug SK1606 der SAS von Zürich nach Stockholm mit Abflug um 17:15 h UT.

Nach Ende des Tests wurden die Daten analysiert. Dazu wurden die Positionsdaten in einer Karte, die um den Mittelpunkt der Funkstrecke zentriert war, dargestellt und in Echtzeit parallel dazu die Audiosignale aus der aufgezeichneten WAV-Datei mit SPECTRAN abgespielt. Bei der Erstellung der Karte ist zu beachten, daß der Funkpfad entlang eines Großkreises und nicht auf einer geraden Linie in einer projezierten ebenen Karte verläuft - für die erforderliche Genauigkeit des Mittelpunkts wäre der Fehler durch die Projektion zu groß. Also muß die sphärische Trigonometrie bemüht werden.

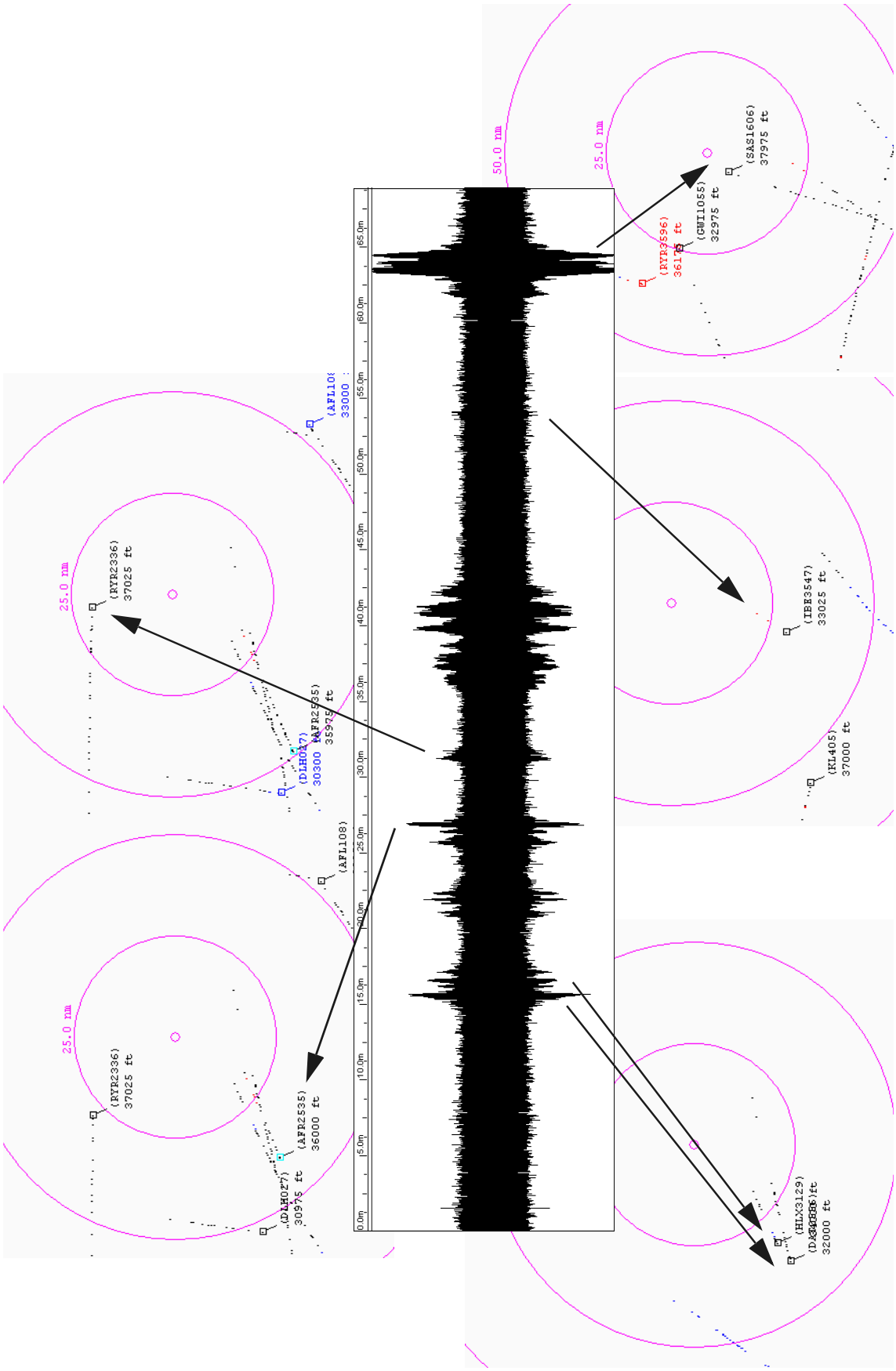

Bild 6 Verlauf der NF-Amplitue während des Testzeitraums und zugehörige Reflexionsobjekte

Insgesamt konnten 6 Flugzeuge durch zeitliche Korrelation der Signalanstiege mit der jeweiligen Position identifiziert werden (Bild 6):

- 0:15: SN Brussels Airline DAT 2556 ONO nach WNW auf FL320
- 0:16: Hapag Lloy Express HLX 3129 Berlin-Tegel nach Köln auf FL340
- 0:26: Air France AFR 2535 ONO nach WNW auf FL360
- 0:31: Ryan Air RYR 2336 London Stansted nach Posen auf FL370
- 0:53: Iberia IBE 3547 Berlin-Tegel nach Madrid auf FL330
- 1:04: SAS Scandinavian Airlines SK 1606 Zürich nach Stockholm auf FL380

Die Zeitangabe bezieht sich auf den Start der Messung, also 17:05 h UT. Die Kartendarstellungen in Bild 6 liegen teilweise zeitlich etwas später als das registrierte Signal, da die Transpondersignale erst dann empfangen werden konnten. „FLxxx“ bedeutet „flight level“ mit einer Angabe der Höhe über NN in Vielfachen von 100 ft; FL380 sind also 38.000 ft Höhe. Der markierte Mittelpunk in den Kartendarstellungent ist der Mittelpunkt des Funkpfades, die Entfernungskreise markieren 25 nm und 50 nm (46 km und 92 km).

Die Flugrouten wurden anhand der Kennung anschließend im Internet recherchiert.

Für einige der Signalanstiege, insbesondere den starken doppelten im Zeitraum 0:35 bis 0:42 liefert der ADS-B-Empfänger kein passendes Zielobjekt, insofern ist davon auszugehen, daß nicht mit ADS-B ausgerüstete Flugzeuge dafür verantwortlich waren.

Beim letzten Flug, der als einziger in Richtung des Ausbreitungswegs verlief, brach die Signalstärke ein, gerade als das Flugzeug den gedachten Mittelpunkt erreicht hatte; hingegen brachte der deutlich nördlich dieses Punktes quer verlaufende Flug RYR2336 akzeptable Signalstärken. Vermutung: ist die reflektierende Fläche (Tragflächen?) in Flugrichtung geneigt? Mit einem von Norden nach Süden verlaufenden Flug wäre eine Klärung dieser Hypothese möglich, leider konnte im Meßzeitraum keiner beobachtet werden.

Dieser für die letzte starke Reflexion verantwortliche Flug SK1606 Zürich-Stockholm wurde auch nach Rückgabe des ADS-B-Empfängers noch mehrfach für gute Verbindungen genutzt, indem einfach nach Zeitplan ab ca. 20:00 h Lokalzeit getestet wurde. So kam z. B. am 22. 11. 2005 ein 13-cm-CW-QSO mit SSB-Signalstärke zustande.

Im Dezember blieb dann allerdings das schöne laute Signal aus. Eine Recherche im Internet auf den Webseiten des Züricher Flughafens [5] ergab, daß der Flug an diesem Tag nicht wie bisher mit einem Jet vom Typ Boeing-737, sondern mit einer Turboprop-Maschine durchgeführt wurde, die in wesentlich geringerer Höhe fliegt. Seither wird vor der Vereinbarung eines „SK1606-Skeds“ erst mal auf der Abflug-Seite von Zürich Airport geprüft, welcher Flugzeugtyp heute unterwegs ist....

5 Zusammenfassung

Mikrowellenfunkverbindungen über Flugzeugreflexion basieren auf einer weitgehend gerichteten Reflexion an der Unterseite des Flugzeugs, wahrscheinlich in erster Linie an den Tragflächen. Entfernungen bis 800 km sind so im 23- und 13-cm-Band mit guter Ausrüstung fast jederzeit überbrückbar. Flüge in Richtung des Funkpfades auf dem rechten Kurs liefern die besten Ergebnisse.

Bild 7 Die verwendeten Antennen bei SK7MW (links) und DF9IC (rechts, die vier Yagis auf der rechten Seite). Der Maßstab beider Bilder ist etwa gleich.

Eine Beobachtung des Luftraums durch den Empfang von ADS-B-Aussendungen kann diese Art von Weitverbindungen besser planbar machen und vor allem zuverlässiger auf höhere Frequenzbereiche ausdehnen. Dazu wäre es wünschenswert, ein Netz von Empfangsstationen verteilt über Mitteleuropa zu betreiben und deren Daten nach einer Fusion allen Interessenten zugänglich zu machen. Das nahezu verzögerungsfreies Kommunikationsmedium Internet erlaubt eine solche Vorgehensweise. Ein direkter Empfang durch die testenden Stationen ist wegen der begrenzten Reichweite schwieriger, wie der Versuch gezeigt hat.

So wie man heute Skeds für Mikrowellenverbindungen im ON4KST-Chatroom besser als auf klassischem Weg über eine 70-cm-Verbindung vereinbart und immer mehr Remote-Stationen die permanente Nutzung guter Auswärts-QTHs erlauben, eröffnet uns das preiswerte und schnelle Kommunikationsmedium Internet auch anderswo neue Chancen, die wir als Mikrowellenamateure nutzen sollten, statt auf traditionellen Ansätzen zu beharren.

6 Danksagung

Der Autor dankt ganz besonders der Firma WIMO in Herxheim, die für diese Untersuchung ein Exemplar des ADS-B-Empfängers SBS-1 leihweise für mehrere Wochen zur Verfügung gestellt und damit einen wesentlichen Anteil am Zustandekommen dieser Untersuchung hat.

Außerdem gilt der Dank der Crew von SK7MW um Torleif Narvell SM7EYW, die ihre großartige Anlage für diesen und viele andere Test eingesetzt haben. Leider ist der verwendete 4,5-m-Spiegel bei einem Eissturm im Januar 2006 total beschädigt worden. Wir drücken alle die Daumen, daß Mittel und Motivation einen baldigen Neuaufbau erlauben.

7 Referenzen

[1] Dieter Vollhardt, DL3NQ, 10-GHz-DX via Wolkenscatter. Skriptum der 38. Weinheimer UKW-Tagung 1993, 224-234.

[2] SPECTRAN, *http://www.weaksignals.com/*.

[3] KINETIC AVIONIC PRODUCTS, *http://www.kinetic-avionics.co.uk/*.

[4] Dragoslav Dobricic, YU1AW, AMOS - ANTENA SA POLUKRU NIM DIJAGRAMOM ZRACENJA ZA 2.4 GHz, *http://yu1aw.ba-karlsruhe.de/Amos.pdf*.

[5] Webseite des Flughafens Zürich mit Onlineinformationen über Abflugzeiten und eingesetzte Maschinen: *http://www.flughafen-zuerich.ch*