

BEOBACHTUNGEN ÜBER RÜCKSTREUUNGEN ULTRAKURZER WELLEN AN ERDMAGNETFELD-PARALLELEN IRREGULARITÄTEN INNERHALB DER E-REGION IN MITTLEREN BREITEN *)

Volker Grassmann, Hausfeld 68, 5600 Wuppertal 23, Beyenburg

Einleitung

In diesem Aufsatz werden Beobachtungsbefunde von UKW-Funkamateuren über den von *Heritage et al.* [1959] beschriebenen H_E -Scatter-Mechanismus zusammengefaßt. Zwar besitzt der Streuprozeß große Ähnlichkeit mit Rückstreuungen an Polarlichtern, dennoch besteht kein erkennbarer Zusammenhang mit erdmagnetischen Störungen. Die vorliegenden Beobachtungen stammen zudem fast ausschließlich aus dem Süden der USA und aus Südeuropa.

Es ist nicht Gegenstand dieses Aufsatzes, physikalische Schlußfolgerungen aus dem vorliegenden Material zu ziehen. Die Amateurergebnisse sind dazu nicht geeignet, da die Funkamateure ja weniger an geophysikalischen Zusammenhängen als an UKW-Fernverbindungen interessiert sind. Die Beobachtungstatsache mag aber weitergehende Untersuchungen anregen. Intuitiv wird man die Modelle zur Erklärung von Polarlichtechos auf den hier vorgestellten Sachverhalt anwenden wollen - hieraus könnten hinsichtlich der Fragestellung über das Auftreten von Plasma-Instabilitäten innerhalb der Ionosphäre mittlerer Breitengrade wichtige Beiträge resultieren.

Der Aufsatz faßt zunächst die aus den fünfziger Jahren vorliegenden wissenschaftlichen Beobachtungsergebnisse zusammen. Da der Autor zur Zeit nur begrenzten Zugang zu wissenschaftlichen Bibliotheken besitzt, ist die Zusammenstellung nicht vollständig. Im weiteren Verlauf wird dargelegt, wie diese Befunde zu Beginn der achtziger Jahre von Funkamateuren aufgegriffen und durch selbstorganisierte Beobachtungsreihen weiterverfolgt und ausgewertet wurden. Schließlich wird der im Amateurfunk verwendete Sprachgebrauch erläutert, um Mißverständnisse mit der etwas allgemeineren Namensgebung in der Ionosphärenphysik zu vermeiden.

Die von europäischen Funkamateuren verfaßten "FAI" (field aligned irregularities)-Reports werden vorgestellt. Anhand der Beobachtungsberichte wird der Verlauf der "FAI-Saison" 1987 und 1988 dargestellt. Die für Amateurbeobachtungen typische "Wochenend-Gewichtung" wird verdeutlicht. Das FAI-Ereignis vom 4. Juni 1988 erfährt eine detailliertere Betrachtung.

*) *Wuppertal, im Oktober 1989*

Wissenschaftliche Beobachtungsbefunde

Heritage, Weisbrod und Fay [1959] berichten von einer ionosphärischen Forward-Scatter Ausbreitung auf 200 MHz, die sie mit einem Hochleistungssender im südlichen Texas beobachten konnten. Die Sendeantenne besaß zwei umschaltbare Strahlungskeulen im Abstand von 5° (Antennen-Öffnungswinkel jeweils 2.8° bei einer Elevation von 2.5°), die in nordwestliche Richtung wiesen. Anhand der Abstrahlungscharakteristik ermittelten die Experimentatoren die Durchstoßpunkte beider Sendefächer im Höhengniveau der E-Region. Aus der Konstruktion des Streukegels am Durchstoßpunkt (Kegelachse parallel zur lokalen Erdmagnetfeldlinie) ermittelten sie für jede Sendekeule die zugehörige Kontourlinie am Erdboden (Schnittlinie zwischen Kegelmantel und Erdoberfläche).

Im ersten Experiment wurde jeweils eine mobile Empfangseinrichtung auf eine der beiden Kontourlinien stationiert. Mit Umschalten der Sendefächer registrierten die zwei Empfangseinrichtungen gegenphasige Änderungen in der Signalfeldstärke: die Empfangsstation auf der jeweils zutreffenden Kontourlinie stellte dabei maximale Feldstärkepegel (30dB über dem Rauschuntergrund) fest, während die andere Station einen Signalabfall protokollierte. In einem zweiten Experiment wurde eine der Empfangsstationen in Verlängerung einer Senderichtung stationiert. Entlang des Großkreises wurden jedoch keine Echos mehr festgestellt, während der auf der Kontourlinie verbliebende Empfänger weiterhin Streuechos beobachten konnte.

Die Autoren vertreten die Auffassung, daß der von ihnen als H_E -Scatter bezeichnete Mechanismus zwar teilweise Ähnlichkeiten zu den gleichzeitig beobachteten Meteor-Reflexionen aufweist, beide Streuprozesse aber eindeutig trennbar sind. Aus der Signalanalyse und aus weiteren Richtungsmessungen wurde geschlossen, daß die H_E -Ionisation im Gegensatz zu den fadenförmigen Ionisationskanälen einfallender Meteoriten großräumig verteilt sein muß (einige 10^4 km^2).

Ähnliche Beobachtungen sind in noch früherer Zeit bei tieferen Frequenzen gemacht worden. *Peterson et al.* [1955] berichtet von Streuechos aus der E- und F-Region im Bereich von 6 bis 30MHz, die ebenfalls weit südlich der Polarlichtzone (44° und 55° geomagnetische Breite) festgestellt wurden. Auch hier konnten die Rückstreuungen mit Ionisationssäulen parallel zum erdmagnetischen Feld in Verbindung gebracht werden. Die Echos konnten mit relativ leistungsschwachen Radars fast täglich zu den Nachtstunden beobachtet werden. Die Autoren deuten an, daß die Beobachtungsergebnisse ein "Partikel-Bombardement" der Ionosphäre niedriger Breiten anzeigen könnten.

FAI-Scatter im Amateurfunk

Die beiden oben zusammengefaßten Aufsätze haben die Amateurbeobachtungen vermutlich auf entscheidende Weise angeregt. So zitiert *Kneisel* [1982a] die wissenschaftlichen Beobachtungsbefunde zur Erklärung seiner eigenen Funkbeobachtungen auf 144 MHz. Er berichtet von Funkverbindungen aus den Jahren 1978 bis 1981, die er von Ft. Lauderdale in Süd-Florida u.a. nach Puerto Rico, nach Texas und nach Alabama herstellen konnte. Die beteiligten Stationen setzten typischerweise ein Kilowatt Sendeleistung an Einzelantennen oder an Antennengruppen, bestehend aus vier bis sechszehn gewinn-optimierten Langyagi-Antennen, ein. Die für das Zustandekommen der Funkverbindungen notwendigen Antennenrichtungen ermittelt *Kneisel* aus selbstgefertigten Konturlinien-Scharen, die -entsprechend der lokalen Magnetfeldrichtung- auf Landkarten geeignet verschoben werden können. Die Berechnungsvorschriften wurden den interessierten Funkamateuren in Form eines Begleit-Papiers zur Verfügung gestellt (*Kneisel* [1982b]).

Die ersten Beobachtungen in Europa werden von *Kneisel* [1982c] auf 1976 datiert, wobei er sich auf Ausführungen des damaligen Sporadisch-E Koordinators der International Amateur Radio Union, Region 1, *Canivenc*, beruft. Die ernsthafte Auseinandersetzung mit diesem Ausbreitungsmodus ist aber erst als Folge der Veröffentlichung von *Kneisel* zu sehen. Eine der ersten Streckenberechnungen für den europäischen Bereich wurde vermutlich von *Scaroni* [1986] vorgenommen. Dessen Veröffentlichung im DUBUS-Magazin führte schließlich zu einer regelmäßigen "FAI"-Rubrik (FAI = field aligned irregularities), die zweifellos den weiteren Beobachtungen großen Vorschub leistete, denn seitdem werden alle europäischen Beobachtungen in privater Initiative zentral gesammelt und ausgewertet. Leider verbreitete sich im europäischen Bereich ein schwerwiegendes Mißverständnis über die Beschaffenheit des Phänomens. Aus nicht endgültig zu klärenden Gründen entstand der Eindruck, daß bestimmte Orte in der E-Region eine besondere FAI-Häufigkeit hervorbringen. So suchte man nach ausgezeichneten Scatter-Punkten, nachdem vermeintliche "Hot Spots" über Brüssel, Genf und Budapest ausgemacht wurden. Schließlich konnte gezeigt werden, daß es sich hierbei nur um eine scheinbare Konstellation handelt (*Grassmann* [1988]).

Der Sprachgebrauch im Amateurfunk: FAI, Aurora, Sporadisch-E, Auroral-E

Aufgrund des von *Kneisel* verwendeten Sprachgebrauches setzte sich der Begriff FAI (Field aligned irregularities) im Amateurfunk durch. Der FAI-Begriff

ist also ähnlich unglücklich gewählt wie die Bezeichnungsweise H_E -Scatter, denn beide Redewendungen müßten im Grunde die Rückstreuungen an Polarlichtern einschließen. Im Amateurfunk werden Polarlicht-Reflexionen aber mit dem Namen "Aurora" gekennzeichnet. Aus der Sicht des Amateurfunkers scheint die sprachliche Trennung aber durchaus gerechtfertigt, denn im praktischen Funkbetrieb sind die verschiedenen Ausbreitungs-Mechanismen klar voneinander trennbar. In diesem Zusammenhang sei auch auf den "Sporadisch-E"- bzw. E_S -Begriff hingewiesen, der im Amateurfunk-Gebrauch die FAI- und Aurora-Rückstreuung nicht einschließt. Hiermit ist ausschließlich die 50 MHz- und 144 MHz-Fernausbreitung über die sporadische E-Schicht entlang des Großkreises gemeint. Auch hier rechtfertigt sich die Redewendung aus der Funkpraxis. Mit "Auroral-E" sind schließlich die E_S -Ereignisse gemeint, die manchmal nach einem Radio-Polarlicht eintreten. Die Ausbreitung erfolgt bisweilen entlang des Großkreises, im Gegensatz zum typischen Sporadisch-E Fall finden aber Funkverbindungen aus Mitteleuropa ins nördlichste Skandinavien statt.

Der FAI-Bericht 1986

Eine erste zusammenfassende Auswertung von 570 im europäischen Bereich getätigten FAI-Funkverbindungen wird von *Köllner et al.* [1987] veröffentlicht. Die Beobachtungsfülle begründet sich allerdings nur auf insgesamt 27 verschiedene Beobachter. Die Beobachtungen umfassen den Zeitraum vom 26. Mai 1986 bis 10. August 1986. Die Auswerter versuchten dabei anhand der berichteten Antennenrichtungen, den Rückstreuort nachträglich zu ermitteln. Dies gelang nur insoweit, wie die berichtenden Funkamateure die notwendigen Antennenrichtungen mitteilten.

Auswertung der FAI-Berichte 1987/1988

Der ebenfalls von *Köllner* [1988] veröffentlichte FAI-Bericht 1987 basierte auf den Einsendungen von diesmal 28 Berichterstellern. Im folgenden Jahr waren bereits so viele Berichte vorhanden, daß keine Zählung mehr für den FAI-Report 1988 (*Köllner, Rauh* [1989]) erfolgte. Auf Grundlage dieser beiden Quellen sind in Abb. 1 die Anzahlen der pro Tag getätigten Funkverbindungen für beide Jahre angegeben. Die "FAI-Saison" zeigt einen Verlauf, wie ihn die Funkamateure seit vielen Jahren von der Sporadisch-E Situation kennen: nach wenigen Einzelereignissen im Mai tritt zunächst eine ein- bis zweiwöchige "Beruhigung" ein, um dann in eine markante "Bandöffnung" überzuleiten. Eine Auswertung der E_S -Beobachtungen der Jahre 1977 bis 1984 zeigt einen vergleichbaren "Saison-Auftakt" (*Grassmann* [1985]).

Nach der Hauptsaison von Ende Mai bis Juli klingt das FAI-Geschehen allmählich ab. Die Abbildung verdeutlicht auch die typische Wochenend-Gewichtung der Amateurbeobachtungen: die häufigsten Beobachtungen werden an den arbeitsfreien Wochenenden angestellt. In der Graphik sind ferner jene Tage gekennzeichnet, an denen Funkamateure im europäischen Bereich Radio-Polarlicht festgestellt haben. Man beachte ferner, daß zur Zeit des starken Perseiden-Meteorstroms mit Maximum um den 12. August die FAI-Aktivität bereits stark abgeklungen ist.

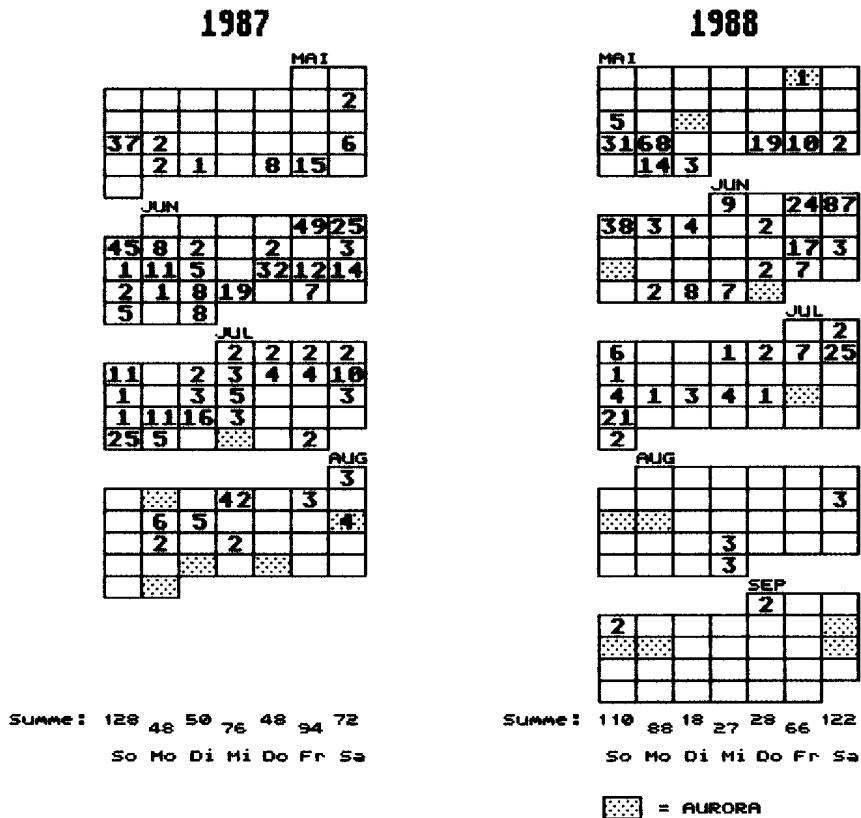


Abb.1: Tageshäufigkeit von 144MHz-FAI-Funkverbindungen in Europa

Die Abb. 2 und 3 zeigen die zustande gekommenen Funkkontakte an zwei ausgewählten Tages-Beispielen. In diesen Graphiken wurde noch nicht die Streugeometrie berücksichtigt, denn die eingezeichneten Funkstrecken sind Verbindungslinien entlang der jeweiligen Großkreise. Verdeutlicht werden soll die Tatsache, daß FAI-Funkkontakte auf Grund der Backscatter-Konstellation auf den südeuropäischen Bereich beschränkt sind und keineswegs mit Rückstreuungen an Radio-Polarlichtern verwechselt werden. Übrigens zeigt Abb. 3 einen sehr interessanten "Ausreißer": in Nord-Italien (Genua) konnte eine Station aus Wales empfangen werden (4. Juni, 1650 UTC).

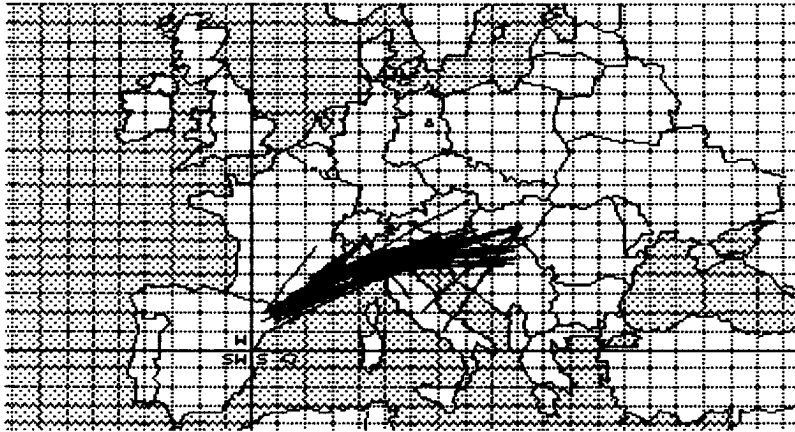


Abb. 2: FAI-Funkverbindungen auf 144MHz am 23.Mai 88, 1518-1949 UTC

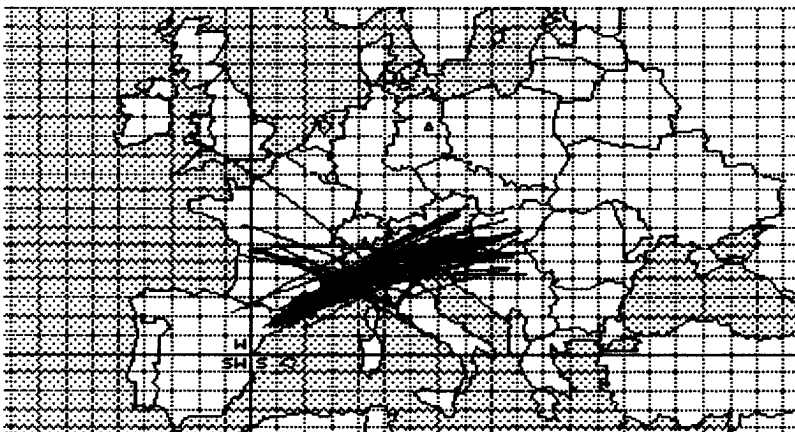
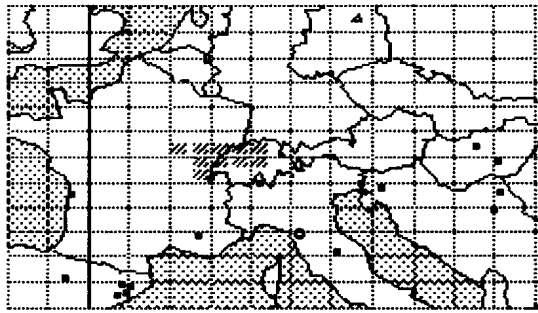
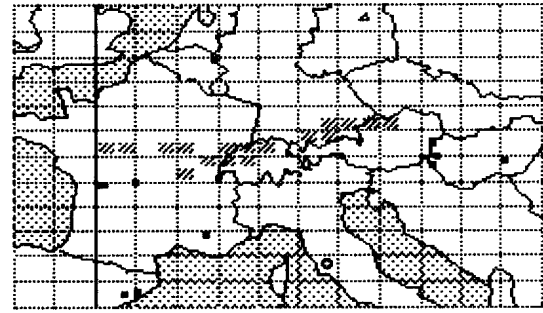


Abb. 3: FAI-Funkverbindungen auf 144MHz am 4. Juni 88, 1615-2308 UTC

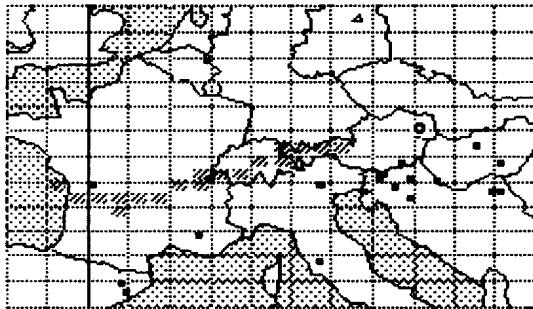
In Abb. 4 wird der Versuch unternommen, die Rückstreugebiete des FAI-Ereignisses vom 4. Juni 1988 zu rekonstruieren. Für diese Aufgabe steht ein Auswerteprogramm zur Verfügung, welches ursprünglich für Echtzeituntersuchungen entwickelt wurde (Grassmann, [1988]). Anhand der Standorte zweier Funkstationen, von denen bekannt ist, daß sie eine FAI-Funkverbindung herstellen konnten, werden alle theoretisch möglichen Rückstreugebiete unter Beachtung der Bookerschen Streubedingung berechnet. In diesem Beispiel wird eine Höhe von 110 km für die Streugebiete in der E-Region angenommen. Mit Eingabe weiterer Funkverbindungen lassen sich zusätzliche Streukurven berücksichtigen. Die gemeinsamen Schnittgebiete der Einzelkurven besitzen eine besondere Wahrscheinlichkeit, an den Funkverbindungen beteiligt gewesen zu sein. Diese gemeinsamen Lösungen werden durch Angabe eines Schwellwertes angezeigt. Mit Erhöhung des Schwellwertes unterdrückt man die weniger häufigen Lösungen, so bedeutet die "Schwelle 4" in Abb. 4a, daß alle angezeigten Rasterpunkte mindestens viermal als Lösung gefunden wurden.



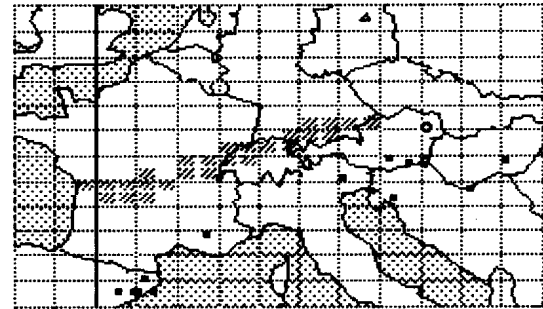
a. 17-18 UTC, Schwelle 4



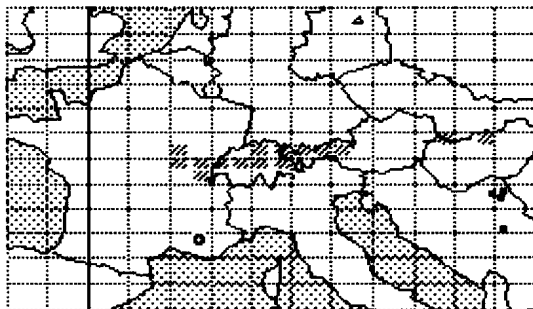
b. 18-19 UTC, Schwelle 4



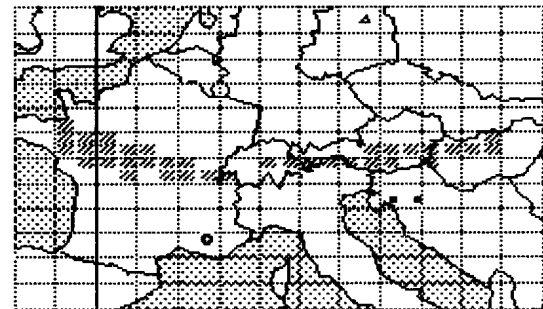
c. 19-20 UTC, Schwelle 6



d. 20-21 UTC, Schwelle 4



e. 21-22 UTC, Schwelle 2



f. 22-23 UTC, Schwelle 1

Abb. 4: Bestimmung der Rückstreugebiete für 110km Höhe und für sechs Stundenintervalle am 4. Juni 1988 (siehe Text)

Wie die Abb. 4a-f zeigen, lag das Zentrum des FAI-Ereignisses am 4. Juni 88 für Stunden fast ortsfest über dem Gebiet der Schweiz. Die ganze Dynamik scheint sich in der variablen Ausdehnung der Streuregion auszudrücken. Die von *Heritage, Weisbrod* und *Fay* [1959] gemachten Abschätzungen über die geographische Ausdehnung der Streuregion (einige 10^4 km^2) mag man bestätigt finden. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Abbildungen stündliche Ergebnisse zusammenfassen (prinzipiell könnten auch viele, lokal begrenzte Streuorte mit geringer Lebenszeit zu den in den Graphiken gezeigten Resultaten

führen). Erstaunlich ist vor allem die späte Beobachtung gegen 23 Uhr UTC. Hier fanden nur zwei Funkverbindungen zwischen Südfrankreich und Nord-Jugoslawien statt. Die Ausdehnung der in Abb. 4f gezeigten Rasterpunkte ist daher ohne Bedeutung (Schwelle 1).

Die bereits oben erwähnte Beobachtung einer westenglischen Station (G4ASR) durch eine italienische Amateurfunkerin (IW5BBH) wurde gesondert untersucht. Eine Funkverbindung ist offenbar nicht zustande gekommen, vielmehr wurde in Genua ein relativ schwaches Empfangssignal registriert (ca. 5 dB über dem Rauschhintergrund). Die möglichen Rückstreuorte ergeben eine Kontourlinie von den Niederlanden über die norddeutsche Tiefebene bis nach Berlin. Diese Gebiete wurden allerdings nicht durch die italienische Station anvisiert, denn der FAI-Bericht gibt 315° Azimut als Antennenrichtung aus (von der englischen Station liegen keine Angaben vor). Diese Richtung entspricht dem Azimut zum Rückstreuzentrum über der Schweiz. Interessant ist allerdings die Feststellung, daß der Standort der Station G4ASR (51.98°N , 4.96°W) genau unter diesem Großkreis-Winkel in Genua (43.81°N , 10.50°O) erscheint. Vermutlich waren beide Antennen zufällig zueinander ausgerichtet. Die Großkreisdistanz von 1464 km ist allerdings für eine troposphärische Scatter-Ausbreitung recht groß. Denkbar wäre eine Meteor-Burst- oder eine geradlinige Sporadisch-E Übertragung, für die diese Distanz als typisch gelten muß. Die Beobachtungsserie der italienischen Station endet zunächst nach diesem Ereignis. Diese Funk-Beobachtung erscheint beachtenswert, denn möglicherweise wird hier auf den Übergang zwischen einer FAI-Backscatter und einer E_S -Forwardscatter-Ausbreitung hingewiesen.

Aus den Zeitangaben in der Abb. 4 kann nicht auf den allgemeinen Tagesgang der FAI-Ereignisse geschlossen werden. Ähnlich wie beim "Wochenend-Effekt" besitzen die Amateurbeobachtungen auch hier eine deutliche Gewichtung. Auf eine detaillierte Untersuchung wurde daher verzichtet. *Kneisel* [1982a] berichtet auf Grundlage seiner Beobachtungen im Jahre 1980, daß häufig die 144 MHz FAI-Ereignisse spät abends nach dem Abklingen vorangegangener 50 MHz E_S -Bedingungen auftraten ("6-Meter-Barometer"). Auch *Peterson et al.* [1955] beobachteten auf tiefen Frequenzen (6-30 MHz) nächtliche Häufigkeiten. Die europäischen Berichte zeigen hingegen die häufigsten Beobachtungen zwischen 16 und 20/21 Uhr UTC, andeutungsweise scheinen sich FAI-Ereignisse öfters auch zwischen 7 und 9 Uhr UTC auszubilden.

Die beteiligten Amateurstationen setzten typischerweise Sendeleistungen von einigen 10 Watt bis maximal 1 kW ein. Die Antennenanlagen bestehen fast ausschließlich aus Yagi-Systemen. Der durchschnittliche Antennengewinn

dürfte ca. 12-16 dBi getragen. Die in den Berichten angegebenen Signalfeldstärken bewegen sich i.a. um 10-20dB (maximal 35-45dB) über dem Rauschhintergrund und sind damit im Mittel geringer als bei Rückstreuungen an Radio-Polarlichtern.

Ausblick

In den vergangenen Jahren haben sich die UKW-Funkamateure eine weitere ionosphärische Ausbreitungsmodi für Langstreckenverbindungen erschlossen. Die Beobachtungen fanden vor allem in den mittel- und südeuropäischen Regionen statt. Alle Beobachtungen wurden im 144 MHz-Amateurband vorgenommen. Im nächsttiefer gelegenen 28 MHz-Amateurband rufen derartige Phänomene nur geringes Interesse bei den Amateurfunkern hervor - im nächsthöheren 432 MHz-Bereich wäre bereits ein weit höherer apparativer Aufwand notwendig. Da die meisten europäischen Fernmeldebehörden dazu übergehen, den 50 MHz-Bereich für Amateurfunkanwendungen zuzuweisen, ist für die kommenden Jahre eine weitere Intensivierung der "FAI"-Beobachtungen zu erwarten.

Wissenschaftliche Ergebnisse über diesen Streumechanismus wurden bereits in den fünfziger Jahren veröffentlicht. Dennoch fand dies Phänomen bei weitem nicht die Beachtung wie z.B. die Rückstreuungen an Radio-Polarlichtern, die über viele Jahre Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Untersuchung waren.

Die Polarlicht-Forschung hatte die Amateurbeobachtungen zu damaliger Zeit aufgegriffen und ausgewertet. Eine ähnliche Zusammenarbeit erscheint auch im Zusammenhang mit dem hier diskutierten Streuprozeß lohnend. Wissenschaftliche Institutionen wären wohl kaum in der Lage, ein derart flächendeckendes Beobachtungsnetz, wie es dem Amateurfunk zur Verfügung steht, zu realisieren (dieses wird auch durch zahlreiche Dauerlaufsender an ausgesuchten Standorten unterstützt). Jedes Ionosphärenradar besitzt nur ein mehr oder weniger begrenztes Gesichtsfeld und kann daher nur einen kleinen Einblick in die Gesamtsituation nehmen (insbesondere wenn es gilt, die Breitenabhängigkeit des FAI-Phänomens zu untersuchen). Die dichte Verteilung der Amateurfunkstationen macht es aber möglich, zu beinahe jedem FAI-Ereignis im europäischen Bereich Beobachtungsmaterial zu sammeln. So ist es nicht übertrieben festzustellen, daß den Funkamateuren kaum noch eine Radio-Aurora oder ein E_S-Ereignis verborgen bleibt, beispielsweise existieren zahlreiche Telefon-Benachrichtigungsnetze, die zu solchen Gegebenheiten überregional bis europaweit alarmieren.

Eine sinnvolle Zusammenarbeit könnte z.B. darin bestehen, daß wissenschaftliche Beobachtungsanlagen (mono- oder bistatische Ionosphärenradars) quantitative Studien vornehmen, während Amateurbeobachtungen für Untersuchungen über die geographische Verteilung dieses Phänomens herangezogen werden. So ist z.B. immer noch ungeklärt, ob der Übergang von der polaren "Aurora-Zone" zur "FAI-Zone" in mittleren Breiten allmählich erfolgt oder ob beide Bereiche voneinander getrennt sind. So ist auffallend, daß die Amateurfunk-Stationen nördlich des 50. Breitengrades keine FAI-Beobachtungen melden (wohl aber zahlreiche "Aurora"-Funkverbindungen, d.h. ungünstige Aspektwinkel zum erdmagnetischen Feld können nicht als Erklärung herangezogen werden).

Literaturhinweise

Grassmann, V.

Bemerkungen zum Auftreten von Sporadisch-E
1985, nicht veröffentlicht

Grassmann, V.

Aurora - Ein Computerprogramm zur Analyse von Aurora- und
FAI-Rückstreuungen
DUBUS-magazin 1/88, S. 18-21

Grassmann, V.

Gibt es einen FAI-Scatterer über Budapest?
DUBUS-magazin 1/88, S. 21-23

Heritage, J.L., Weisbrod, S. und Fay, W.J.

Evidence for a 200 Megacycles per second Ionospheric Forward Scatter Mode
Associated with the Earth's Magnetic Field
Journal of Geophysical Reserach, Vol. 64, No. 9, 1959, S. 1235-1241

Kneisel, T.F.

a. Ionospheric Scatter by Field-Aligned Irregularities at 144 MHz
QST, Januar 1982, S. 30-32

Kneisel, T.F.

b. Determining the Antenna Bearings
Ergänzungsblätter zum obigen Artikel, 1982

Kneisel, T.F.

c. persönliche Mitteilung, 1982

Köllner, G.

FAI-Reports 1986

DUBUS-magazin 2/87, S. 151-158

Köllner, G.

FAI-Logs 1987

DUBUS-magazin 2/88, S. 152-161

Köllner, G., Rauh, W.

FAI-Reports 1988

DUBUS-magazin 3/89, S. 74-86

Peterson, A.M., Villard, O.G., Leadabrand, R.L. und Gallagher, P.B.

Regularly-observable aspect-sensitive radio reflexions from ionization aligned with the Earth's magnetic field and located within the Ionospheric layers at middle latitudes

Journal of Geophysical Research, Vol. 60, No.4, 1955, S. 497-512

Scaroni, S.

Recent Acquisitions on Midlatitude F.A.I. Propagation at 144 MHz

DUBUS-magazin 3/86, S. 263-269