

# **Eigenortung eines Empfängers für den digitalen Rundfunk auf Lang-, Mittel- und Kurzwelle**

**Prof. Dr. Thomas Lauterbach**

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg  
Fachbereich Allgemeinwissenschaften

## **Abstract**

Es wird ein Verfahren beschrieben, das dazu dient, den Standort eines künftigen digitalen Kurzwellen-Rundfunkempfängers allein auf Grund der empfangbaren Sender zu bestimmen. Die prinzipielle Eignung des vorgeschlagenen Verfahrens wird an Hand von Versuchen mit analogen Rundfunksendern und Amateurfunksendern nachgewiesen.

## 1. Einleitung

Die Digitalisierung der Übertragungsverfahren hat inzwischen auch den Rundfunk erreicht. In Europa begann die Entwicklung eines digitalen Systems für terrestrische Rundfunkausstrahlung zunächst als Ersatz für den UKW-FM-Hörfunk unter der Bezeichnung "Digital Audio Broadcasting", DAB<sup>1,2</sup>. Etwas später begann die Entwicklung des digitalen Fernsehens, als "Digital Video Broadcasting", DVB, bezeichnet<sup>3</sup>. Der Schwerpunkt lag hier auf der Ablösung des analogen Fernsehens im VHF- und UHF-Bereich, d.h. zwischen 47 und 790 MHz mit stationärem und portalem Empfang.

Etwa 1997 begann sich ein weiteres Konsortium zu formieren, das die Entwicklung eines digitalen Übertragungssystems für die Rundfunkbänder unterhalb 30 MHz zum Ziel hat. Dieses Konsortium trägt inzwischen den Namen "Digital Radio Mondiale" (DRM) und ist eine weltweite Organisation. Ein Systemvorschlag wurde mittlerweile erarbeitet und der Internationalen Fernmeldeunion (ITU-R) unterbreitet. Das von DRM entwickelte digitale Übertragungssystem ist an dem Ort ausführlich beschrieben<sup>4</sup>, die Spezifikation ist im Internet einsehbar<sup>5</sup>.

Neben der digitalen Übertragung des Tonsignals wird das DRM-System auch einen Systemsteuerkanal haben, in dem z.B. der Sendername und Alternativfrequenzen übertragen werden können. Weiterhin werden, wenn auch in geringerem Umfang als bei DAB und DVB, Kapazitäten für die Übertragung von Zusatzdaten bereitstehen.

Unter Ortung versteht man die Bestimmung des Standortes eines Objekts, unter Eigenortung die Ortung vom unbekanntem eigenen Standort aus. Die Eigenortung eines DRM-Empfängers kann zu verschiedenen Zwecken nützlich oder sogar erforderlich sein:

- zum vereinfachten Umschalten auf Alternativfrequenzen, wenn ein kompletter Sendeplan mit Frequenzen, Uhrzeiten und Zielgebieten übertragen wird, wie in DRM vorgesehen,
- zur ortsabhängigen Nutzung von Datendiensten, z.B. Verkehrstelematikdiensten
- um regionenabhängige Empfänger-Voreinstellungen automatisch zu treffen, z.B. Kanalraster, Suchlaufbereiche (z.B. wird in Nord- und Südamerika Langwelle nicht verwendet und es besteht im MW-Bereich ein 10 kHz-Kanalraster im Gegensatz zu 9 kHz sonst).

Weitere Anwendungen sind vorstellbar.

Eine Reihe von Verfahren zur Funkortung sind etabliert und werden in den verschiedenen Anwendungsfeldern verwendet (z.B. Schifffahrt, Luftfahrt)<sup>6, 7</sup>. Darunter sind auch eine Reihe von Verfahren, die eine Eigenortung des Empfängers ermöglichen. Eines der klassischen Verfahren ist die Funk-

peilung, d.h., die Messung der Einfallrichtung einer elektromagnetischen Welle. Hat man die Einfallrichtung von mindestens zwei Wellen, die von bekannten Senderstandorten ausgehen, bestimmt, kann man den eigenen Standort ermitteln.

Die Funkpeilung erfolgt im LW- und MW-Bereich über eine mechanisch oder elektrisch drehbare Richtantenne, die ein scharfes Empfangsminimum aufweist. Die Eignung dieses Verfahrens für DRM ist dennoch aus mehreren Gründen nur als gering einzuschätzen. Zum einen erfordert es entweder eine mechanisch anspruchsvolle Dreheinrichtung oder ein vergleichsweise schweres und sperriges Ferritkreuz. Beides dürfte für "normale" DRM-Radios nicht in Frage kommen. Die Datenerfassung würde einige Zeit in Anspruch nehmen, da zunächst ein Suchlauf erforderlich ist, um die in Frage kommenden Sender zu ermitteln. Dann müssen die Winkel zwischen den Peil-Nullstellen der einzelnen Sender ermittelt werden und bei jedem anschließend die eindeutige Einfallrichtung ermittelt werden. Ausreichende Peilgenauigkeit ist prinzipiell nur während des Tages möglich (bei Bodenwellenempfang) und auch nur dann zu erreichen, wenn mindestens drei Sender in geeigneter Entfernung und Richtung verfügbar sind. Ein weiteres Problem dürfte auftreten, wenn wie bei DRM vorgesehen, in zunehmendem Maß Gleichwellennetze realisiert werden, da dann eine Peilung natürlich kaum mehr möglich sein wird.

Eine weitere Klasse von Positionsbestimmungsverfahren sind die Hyperbelortungssysteme, bei denen die Laufzeitdifferenzen zwischen mehreren Sendern und einem Empfänger ermittelt werden. Die resultierenden Standlinien sind Hyperbeln. Erste Erfahrungen im Rundfunkbereich wurden bei DAB bereits gewonnen<sup>8</sup>, dort ist allerdings die Auswertung in Folge der Mehrwegeausbreitung im UKW-Bereich schwierig. Für DRM kommt ein solches System in Gleichwellennetzen im LW- und MW in Frage, im KW-Bereich ist das Verfahren auf Grund der Raumwellenausbreitung nicht anzuwenden, da dort kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Entfernung zwischen Sender und Empfänger und der Signallaufzeit besteht.

Als Ansatz für ein einfaches Ortungssystem bietet sich an, im Rahmen eines Suchlaufs einfach alle empfangbaren Sender zu registrieren und daraus gewisse Rückschlüsse zu ziehen. Dies setzt voraus, dass die Sender ihren jeweiligen Standort und ihren Versorgungsradius im Systemsteuerkanal aussenden. Im einfachsten Fall ist unter den empfangenen Sendern ein Mittelwellensender kleiner Leistung für die lokale Versorgung, und dann ist das Problem natürlich gelöst. Ist dem nicht so, können aus den überregionalen Lang- und Mittelwellensendern, die mit einer gewissen Mindestfeldstärke

empfangen werden, die ungefähren Entfernungen zu diesen Sendern abgeschätzt werden und daraus das Empfangsgebiet bestimmt werden. Dies ist aber mit großen Unsicherheiten behaftet, da durch die Richtcharakteristiken der Sende- und Empfangsantennen eine einfache Angabe des Versorgungsgebiets durch den Senderstandort und einen Radius meist nicht ist. Auf Grund der Dämpfung der Wellen können beim Empfang in Gebäuden zu niedrige Feldstärken gemessen werden. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Senderentfernung und Empfangsfeldstärke besteht zudem nur am Tag, wenn reine Bodenwellenausbreitung vorliegt.

Ein anderer Ansatz, der eine solche Abschätzung nicht benötigt, ist der im Folgenden vorgestellte, der auf der Empfangbarkeit von Kurzwellensendern beruht.

## 2. Untersuchung zur Ortung über die Größe der toten Zone von Kurzwellensendern

Im Kurzwellenbereich erfolgt die Versorgung ausschließlich über die Raumwelle durch diffuse Reflexion<sup>9,10</sup> an freien Ladungsträgern, insbesondere Elektronen, in ionosphärischen Schichten. Bei höheren Kurzwellenfrequenzen (etwa oberhalb 4-5 MHz) bei Tag und generell bei Nacht erfolgt die Rückstreuung an der so genannten F-Schicht der Ionosphäre in einer Höhe von etwa 200 km (Winter-Tag) bis 400 km (Sommer-Nacht), bei niedrigeren Frequenzen am Tag auch an der E-Schicht in etwa 100 km Höhe. Je nach Sonnenaktivität, Tages- und Jahreszeit schwankt die Elektronendichte  $n_e$  in den Schichten und damit die Plasmafrequenz  $f_p$  der Elektronen

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n \cdot q_e^2}{m_e \cdot \epsilon_0}} \approx 9 \text{ MHz} \cdot \sqrt{n_e / 10^{12} \text{ m}^{-3}}$$

mit  $q_e$ : Elementarladung,  $m_e$ : Elektronenmasse,  $\epsilon_0$ : elektrische Feldkonstante.

Die Bedeutung der Plasmafrequenz ist die, dass eine senkrecht auf die Plasmaschicht auftreffende elektromagnetische Welle mit  $f < f_p$  praktisch vollständig reflektiert wird, während sich eine Welle mit  $f > f_p$  durch das Plasma hindurch ausbreiten kann. Im Zusammenhang mit der Kurzwellenausbreitung wird die Plasmafrequenz meist als kritische Frequenz  $f_0$  bezeichnet, wobei zur genauen Kennzeichnung noch der Buchstabe der reflektierenden Ionosphärenschicht (E, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>) hinzukommt. Besonders wichtig ist die höchste dieser Plasmafrequenzen, die kritische Frequenz der F<sub>2</sub>-Schicht  $f_0F_2$ . Sie

korreliert mit der Sonnenfleckenzahl und liegt im Sonnenfleckennormals (minimum) im Jahresmittel mittags bei 10-12 MHz (5-7 MHz), und um Mitternacht bei ca. 5-7 MHz (3-4 MHz). Es gibt allerdings auch eine starke jahreszeitliche Schwankung, wobei der Mittagswert der  $f_0F_2$  im Winter am höchsten ist und im Sonnenfleckennormals dann bis auf etwa 15 MHz ansteigen kann. Wenn die Welle nicht senkrecht auf die Plasmaschicht auftrifft, sondern unter dem Winkel  $\varphi$  gegenüber dem Horizont vom Sender abgestrahlt wird, werden auch Wellen mit höheren Frequenzen als  $f_p$  zur Erde zurück gebrochen. Die maximale Frequenz, die unter einem bestimmten Winkel reflektiert wird und damit für eine bestimmte Funkstrecke die höchst möglich ist, wird als  $f_{\text{MUF}}$  oder nur MUF (maximum usable frequency) bezeichnet.

Der Zusammenhang zwischen  $f_0F_2$  und  $f_{\text{MUF}}$  und dem Abstrahlwinkel  $\varphi$  ist gegeben durch

$$f_{\text{MUF}} = \frac{f_0F_2}{\sqrt{1 - \left( \frac{\cos \varphi}{1 + h/r_E} \right)^2}}$$

Hierbei ist  $h$  die (virtuelle) Höhe, bei der die Reflexion stattfindet und  $r_E$  der Erdradius (6370 km). Zwischen dem Abstrahlwinkel  $\varphi$  und der Großkreisentfernung  $d$  zwischen Sender und Empfänger besteht der Zusammenhang

$$d = 2r_E \cdot \left[ \frac{\pi}{2} - \varphi - \arcsin \left( \frac{r_E}{r_E + h} \cdot \cos \varphi \right) \right]$$

Diese Beziehung ergibt sich aus dem Sinussatz und der Winkelsumme im Dreieck ABC in Abbildung 1, wobei A der Sender- und A' der Empfängerstandort ist.

Für die Kurzwellenübertragung bedeutet dies, dass für Frequenzen  $f > f_0F_2$  Raumwellenempfang nur in einer bestimmten Mindestentfernung  $d_{\text{min}}$  von einem Sender möglich ist, die aus den angegebenen Formeln in Abhängigkeit von  $f$ ,  $f_0F_2$  und  $h$  berechnet werden kann. Bei der so berechneten Mindestentfernung erfolgt die Übertragung gerade bei der MUF, bei größeren Entfernungen unterhalb davon. In Abb. 2 und 3 ist die Abhängigkeit der Mindestentfernung (Radius der toten Zone) von diesen Größen gezeigt. Wenn die erforderliche Genauigkeit gering ist, kann man mit Schätzwerten arbeiten, wenn etwa die Jahres- und Tageszeit und die Sonnenaktivität bekannt sind. Für höhere Anforderungen kann man auf Messwerte der genannten Größen

ßen zurückgreifen, die stündlich von zahlreichen Messstationen rund um die Erde gewonnen werden. Die Daten sind im Internet<sup>11</sup> zugänglich, dort findet sich auch eine Karte mit den Standorten der Messstationen.

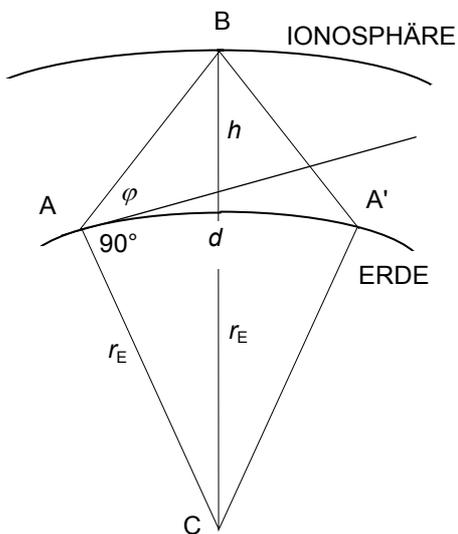


Abb. 1: Skizze zur Herleitung der Beziehung zwischen Reflexionshöhe, Abstrahlwinkel und der Entfernung zwischen Sender und Empfänger.

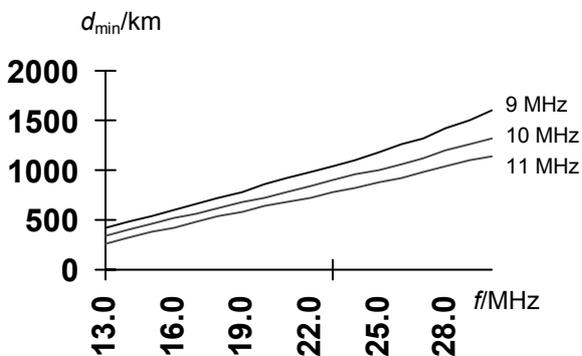


Abb. 2: Berechnete Abhängigkeit der Mindestentfernung zwischen Sender und Empfänger (Radius der toten Zone) von der Frequenz. Parameter: Grenzfrequenz der Senkrecht-Reflexion der F<sub>2</sub>-Schicht. Schichthöhe 200 km.

Die Anwendung auf die Eigenortung eines Kurzwellenempfängers ergibt sich aus folgender Überlegung. Empfängt man einen bestimmten Sender, dessen Standort bekannt ist, auf einer Frequenz  $f > f_0F_2$ , so beträgt die Entfernung zu diesem Sender mindestens  $d_{min}$ , d.h., man weiß dann, dass man sich nicht in einem Gebiet mit Radius  $d_{min}$  um diesen Sender herum ("Tote Zone") befindet. Kann man dieses Ausschlusskriterium an Hand mehrerer Sender, die in verschiedenen Richtungen um den Empfängerstandort herum liegen, anwenden, bleibt

ein Gebiet übrig, in dem sich der Empfänger befinden muss.

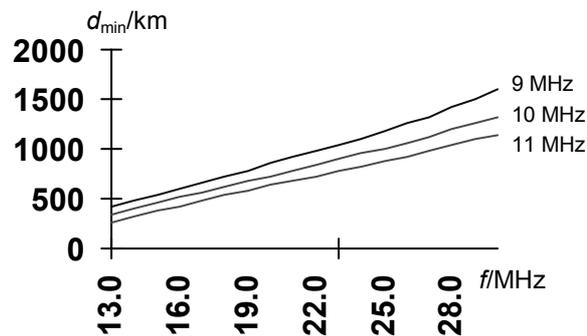


Abb. 3: Abhängigkeit der Mindestentfernung zwischen Sender und Empfänger (Radius der toten Zone) von der Frequenz. Parameter: Höhe der reflektierenden Ionosphärenschicht.  $f_0F_2 = 11$  MHz.

Für die Eingrenzung des Gebiets, in dem sich der Empfänger befinden kann, ist es nützlich, ein Gitter z.B. von Quadraten oder Sechsecken mit einer Abmessung von ca. 50 km anzulegen. Für jeden empfangenen Sender kann ein Teil der Flächen ausgeschlossen werden, die übrig gebliebenen beschreiben dann das gesuchte Gebiet, in dem sich der Empfänger befindet.

Hinsichtlich der praktischen Durchführbarkeit ist es erforderlich, die Senderstandorte für die gerade benutzten Frequenzen sowie die aktuellen Ionosphärenparameter zu kennen. Bei DRM können diese Daten direkt im Systemsteuerkanal übertragen werden. Bei der heutigen AM-Übertragung kann in einem Versuch nur auf Sendertabellen, z.B. auf die Datenbank des High Frequency Coordination Committee (HFCC)<sup>12</sup>, zurückgegriffen werden. Eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Verfahrens besteht darin, den Empfang von Amateurfunkstellen auszuwerten, da deren Standorte an Hand der Rufzeichen leicht ermittelt werden können.

Beide Wege wurden beschritten. Insgesamt wurden drei Versuche durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden zusammengestellt sind.

### 3. Ortungsexperimente

Es wurden zwei Versuche zur Auswertung des Empfangs von Amateurfunkstellen durchgeführt, und zwar einer am 9.10.00 mittags, um ca. 10.00 UTC (12.00 MESZ) auf 14-14,3 MHz, also bei hoher Grenzfrequenz, und einer am 10.10.00 früh morgens, um 5.00 UTC bei niedriger Grenzfrequenz  $f_0F_2$  im Bereich 7-7,1 MHz. Der Empfang erfolgte jeweils mit einem Amateurfunkempfänger an einer Dipolantenne. Tabelle 1 zeigt die Standorte der empfangenen Stationen (es sind nur die nächstgelegenen Stationen aufgeführt).

Tabelle 1: Empfangene Amateurfunkstellen

Rufzeichen	Standort	Länge	Breite
A: 9.10.00 um ca. 10.00 UTC (14 MHz)			
OK2BHS	Karvina	18O30	49N50
PA3CLQ	Breda	04O46	51N35
I5RRE	Florenz	11O15	43N46
DJ4EL	Itzehoe	09O31	53N55
F6CES	Sanary-sur-Mer	05O48	43N07
S51M	Ptuj	15O52	46N25
F8AUC	Lille	03O04	50N38
B: 10.10.00 um ca. 5.00 UTC (7 MHz)			
LA2QM	Oslo	59N55	10O45
IV3OEP	Monreale	46N10	12O39
F5GPE	Grenoble	45N10	05O43
G4KHM	Worthing	50N48	00W23
OM3TRO	Kosice	48N43	21O15

Aus dem Internet waren für diesen Zeitraum Daten von den Stationen Chilton (England) und Juliusruh auf Rügen erhältlich. Beide Datensätze sind nicht sehr unterschiedlich. Es ergeben sich für die entsprechenden Zeiträume folgende Daten:

- A:  $f_0F_2 \approx 12,2$  MHz,  $h \approx 270$  km. bzw.
- B:  $f_0F_2 \approx 4,7$  MHz,  $h \approx 330$  km.

Aus diesen Daten wurde der Radius der toten Zone bzw. die Mindestentfernung eines empfangenen Senders zu  $d_{min} = 325$  km (A) bzw. 750 km (B) berechnet. Wie oben ausgeführt, wurden die toten Zonen um die Sender in eine Karte eingezeichnet (Abb. 4). Die farbige markierte Sechsecke bezeichnen näherungsweise die toten Zonen der Sender. Im dick eingerahmten Gebiet befindet sich nach der Auswertung der Empfänger. Der tatsächliche Empfängerstandort (Nürnberg) wird durch das Dreieck markiert.

Die Kartendarstellung zeigt, dass in den Richtungen, wo genügend Sender vorhanden sind, z.B. im Norden und Westen des Empfängerstandorts durchaus eine gute Abgrenzung erhalten wird, im Nordosten jedoch nicht, da in diesen Richtungen keine Sender aus geringer Nähe empfangen werden konnten.

Am 27.11.00, 10.30-11.20 UTC (11.30- 12.20 MEZ) wurde ein analoges Experiment mit Rundfunksendern durchgeführt. Der Empfang erfolgte hierbei mit einem handelsüblichen "Weltempfänger" mit Teleskopstabantenne im Raum. Da die AM-Sender keine Identifikation abstrahlen, konnten sie nur aufgrund der Frequenztafel des High Frequency Coordination Committee identifiziert werden.

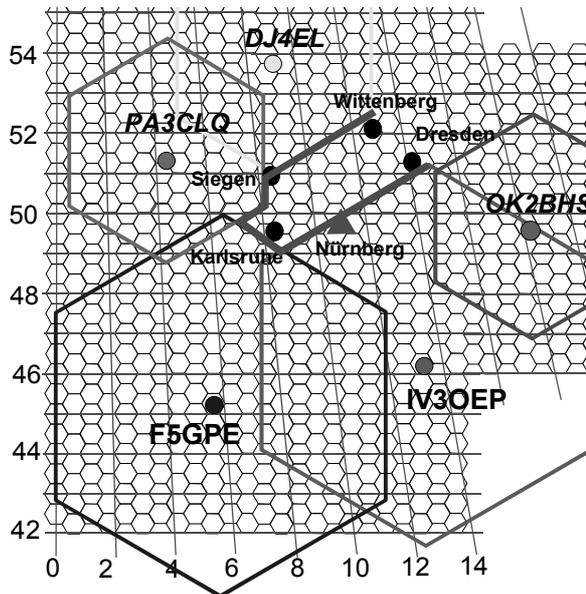


Abb. 4: Kartendarstellung der beiden Experimente mit Amateurfunkstellen (kursiv: 14 MHz).

Insbesondere muss man sich dabei darauf verlassen, dass die in der Tabelle angegebenen Senderstandorte auch korrekt sind und nicht etwa eine Sendung aus welchem Grund auch immer von einem anderen Standort aus abgestrahlt wird. Die im Versuchszeitraum in Nürnberg empfangbaren Sender sind im Anhang aufgelistet. Aus den Ionosphären Daten von Chilton, Juliusruh und Rom ergeben sich für 27.11.00, 11.00 UTC folgende Daten:

$f_0F_2 \approx 13,0$  MHz,  $h \approx 270$  km.

Daraus wurden mit den angegebenen Formeln die in Tabelle 2 angegebenen Mindestabstände der Sender berechnet.

Tabelle 2: Radien der „Toten Zone“ verschiedener Kurzwellenbänder während des Versuchszeitraums

f / MHz	$d_{min}$ / km
13,5	166
15,3	320
17,8	501
21,8	757

Abb. 5 zeigt die Karte mit den eingetragenen toten Zonen. Überraschend ist hier, dass der Sender Nauen (21840 kHz) empfangen werden kann, obwohl er offenbar näher ist, als es der berechneten Größe der toten Zone entspricht. Die Daten, die in Rom ge-

messen wurden, deuten darauf hin, dass  $f_0F_2$  vielleicht sogar noch etwas höher sein könnte als angenommen, ca. 14 MHz. In diesem Fall ergibt sich ein Radius der toten Zone von nur etwa 665 km, allerdings ist auch dieser Wert noch erheblich größer als die tatsächliche Entfernung Nürnberg-Nauen (370 km). Hier handelt es sich offenbar darum, dass der Sender über Rückstreuung am Boden außerhalb der toten Zone empfangen wurde.

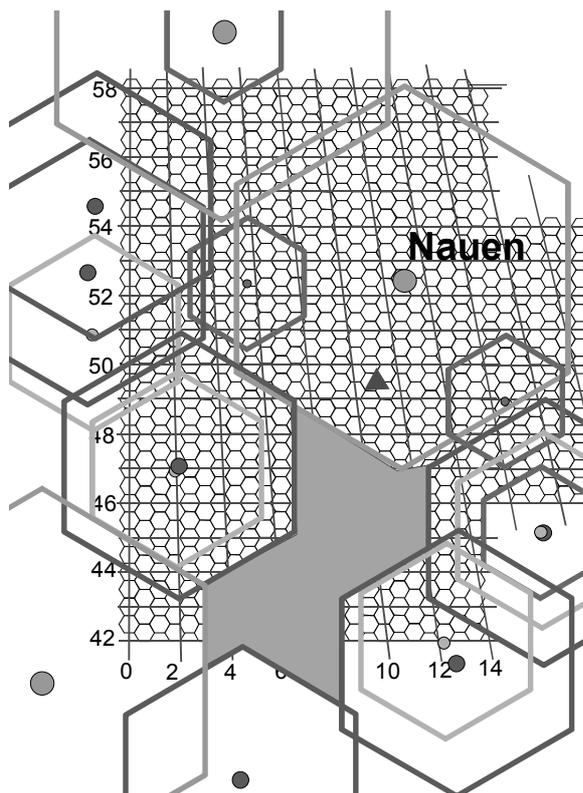


Abb. 5: Kartendarstellung des Ortungsexperiments mit Rundfunk-sendern.

Falls der Empfänger stationär ist und mehrmals zu unterschiedlichen Tageszeiten ein Suchlauf durchgeführt werden kann, ist eine verhältnismäßig genaue und für KW-Anwendungen sicher ausreichende Standortbestimmung zu erwarten.

Die Stärke des Verfahrens liegt vor allem darin, dass nur der Empfang selbst als Kriterium dient. Das Verfahren ist bei jeder Tageszeit anwendbar und erfordert keine besonderen Antennen oder Empfänger.

Die zur Auswertung erforderlichen Daten, die in den Versuchen im Nachhinein aus dem Internet bezogen wurden, müssten von den digitalen Kurzwellensendern selbst übertragen werden:  $f_0F_2$ ,  $h$ , bzw. direkt  $d_{\min}$  und der Senderstandort. Wenn man sich auf ein gemeinsames Gitter mit einer Kodierung der einzelnen Gitterflächen einigen könnte, könnten di-

rekt die von der toten Zone betroffenen Gitterfelder übermittelt werden, so dass diese im Empfänger lediglich kumuliert werden müssten.

#### 4. Zusammenfassung

Es wurde ein Verfahren vorgeschlagen und untersucht, das dazu dient, den Standort eines künftigen digitalen Kurzwellen-Rundfunkempfängers allein auf Grund der empfangbaren Sender zu bestimmen.

Kombiniert man die Daten aller Versuche, so ergibt sich durchaus eine brauchbare Eingrenzung des Empfängerstandorts. Eine mögliche Schwäche des Verfahrens besteht darin, dass nicht zu erwarten ist, dass zu einem Zeitpunkt genügend Sender in geeigneter Entfernung um den Empfänger herum in Betrieb sind, so dass der Empfänger kaum in der Lage ist, seinen Standort innerhalb kurzer Zeit, d.h. bei einem einzigen Suchlauf über die Kurzwellenbänder oberhalb  $f_0F_2$  mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. Außerdem können Sender unter Umständen auch innerhalb der toten Zone empfangen werden. Dies sollte sich aber bei der digitalen Übertragung erkennen lassen, da im Empfänger die Kanal-Impulsantwort berechnet werden kann. Genauere Analysen dazu sind erforderlich, bevor das beschriebene Verfahren zur Anwendung kommt.

#### 5. Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer F&E-Kooperation mit der Robert Bosch GmbH, Forschung &Vorausentwicklung, Hildesheim. Der Autor dankt insbesondere Herrn Frank Hofmann für die interessierte und anregende Begleitung dieser Arbeit.

#### 6. Literatur

- 1 Th. Lauterbach, Digital Audio Broadcasting, In: Herbert Eichele (Hrsg.), Schriftenreihe der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg, Heft 4, 1999.
- 2 W. Hoeg, Th. Lauterbach (Hrsg.), Digital Audio Broadcasting - Principles and Applications, J. Wiley & Sons, Chichester, 2001.
- 3 U. Reimers, Digitale Fernsehtechnik, Springer, Berlin 1995
- 4 F. Hofmann, DRM (Digital Radio Mondiale) - der neue digitale Mittel- und Kurzwellenrundfunk, Kleinheubacher Berichte, 2000
- 5 <http://www.drm.org>
- 6 E. Lertes, Funkortung und Funknavigation, Vieweg, Braunschweig 1995
- 7 W. Mansfeld, Funkortungs- und Funknavigationsanlagen, Hüthig, Heidelberg 1994
- 8 F. Layer, T. Englert, M. Friese, M. Ruf, Locating Mobile Receivers using DAB Single Frequency Networks, Proceedings of 3rd ACTS Mobile Communication Summit, Rhodos, 08.-11. Juni 1998, S. 592-597.
- 9 H. Schütz, Sonne, Erde, Ionosphäre und Kurzwellenausbreitung, DARC-Verlag, Baunatal (ohne Jahresangabe)
- 10 E. Vogelsang, Wellenausbreitung in der Funktechnik, R. Oldenbourg Verlag, München 1979
- 11 <http://spidr.ngdc.noaa.gov>
- 12 <http://www.hfcc.org/data/index.html>

## Anhang

Tabelle A1: empfangene Stationen (Identifikation an Hand der HFCC-Tabelle "b00allx2")

FRQZ	STRT	STOP	CIRAF	ZONES	LOC	POWR	AZIMUTH	DAYS	FDATE	TDATE	MOD	LANGUAGE	ADM	BRC	FMO	REQ#	
13590	0500	1700	27,28W,37N		KV	100	272		1234567	291000	250301	D	UKR/E	UKR	RUI	RRT	4681
13600	1100	1300	27,28		PLD	250	306		1234567	291000	250301	D		BUL	RBU	BUL	4684
13700	1100	1300	27S,28S,37N		FLE	500	191		1234567	291000	250301	D	Dutch	HOL	RNW	RNW	4783
13730	0400	1800	17-19,27-29,36-40		MOS	100	0		1234567	291000	250301	D		AUT	ORF	ORF	4810
13800	1100	1200	27,28W,36,37N		SVE	500	195		1234567	291000	250301	D		NOR	RNI	NPT	4879
13830	0500	2200	18,27,28,37		DEA	10	305		1234567	291000	250301	D		HRV	HRT	HRT	4900
15155	1000	1100	28,29,30S,39N,40N		ISS	250	80		1234567	291000	250301	D	French	F	RFI	TDF	4991
15175	1000	1200	40,41		RIA	250	130		1234567	291000	250301	D		RUS	VOR	MCB	5018
15290	1000	1300	27,28		TIG	250	292		1234567	291000	250301	D	various	ROU	RRO	ROU	5195
15335	1100	1500	27,28W		TAN	250	027		1234567	291000	250301	D		MRC	MRC	MRC	5262
15340	0900	1500	28S,37E,38,47N		NAD	250	110		1234567	291000	250301	D		MRC	MRC	MRC	5278
15455	1000	1400	28,37,46		RIA	240	255		1234567	291000	250301	D		RUS	VOR	MCB	5455
15515	1100	1200	4,7-9,10E,11W		ISS	500	295		1234567	291000	040301	D	French	F	RFI	TDF	5524
15520	1000	1400	43,44,49		SRN	240	110		1234567	291000	250301	D		RUS	VOR	MCB	5529
15540	1000	1100	27,28		SAM	250	290		1234567	291000	250301	D		RUS	VOR	MCB	5554
15565	0700	1700	28E,29,39N		RMP	500	62		1234567	291000	240301	D		G	BBC	MER	5588
15585	0700	1700	18,27-29		NOB	250	060		1234567	291000	250301	D	SPANISH	E	REE	REE	5613
15595	1050	1130	38E,39		SMG	250	107		1234567	291000	250301	D	IT/FR/EN	CVA	VAT	VAT	5623
15700	1100	1600	27,28		PLD	500	306		1234567	291000	250301	D		BUL	RBU	BUL	5700
15760	0600	1900	6-10,27,28		ISR	50	330		1234567	291000	250301	D	BB	ISR	KOL	ISR	5721
17500	1100	1600	27,28		PLD	250	292		1234567	291000	250301	D		BUL	RBU	BUL	5733
17535	0600	1900	6-10,27,28		ISR	250	330		1234567	291000	250301	D	BB	ISR	KOL	ISR	5762
17565	1030	1130	27,28		EMR	500	310		1234567	291000	250301	D	Hungarian	TUR	TRT	TRT	5790
17600	0830	1500	36		MSK	250	260		1234567	291000	250301	D		RUS	RRS	MCB	5831
17600	1000	1300	40,41,49		SAM	100	130		1234567	291000	250301	D		RUS	VOR	MCB	5832
17620	1100	1400	37,46		ISS	500	185		1234567	291000	250301	D	French	F	RFI	TDF	5852
17640	0700	1500	28,38E,39W		SRN	300	140		1234567	291000	240301	D		G	BBC	MER	5875
17640	0700	1500	28E,29,39N		WOF	300	70		1234567	291000	240301	D		G	BBC	MER	5876
17710	0600	1300	38,48		ROM	100	130		1234567	291000	250301	D		I	RAI	RAI	5946
17730	1100	1130	28		MOR	250	67		1234567	291000	240301	D		MRC	TBB	TBB	5967
17745	1000	1400	27,28		TIG	250	307		1234567	291000	250301	D	ROMANIAN	ROU	ROU	ROU	5989
17775	0800	1600	27,28		GAL	120	290		1234567	291000	250301	D	ROMANIAN	ROU	ROU	ROU	6034
17850	1000	1100	37E,38W,47,52,53,57		ISS	500	155		1234567	291000	250301	D	French	F	RFI	TDF	6146
21465	0900	1000	28-34,45		KAV	250	051		1234567	291000	250301	D		GRC	ERA	ERA	6219 ?
21505	0900	1200	37,38		RIY	500	295		1234567	291000	250301	D	ARABIC	ARS	ARS	ARS	6245
21540	0900	1500	46,47,52,57		NOB	350	161		1234567	291000	250301	D	SPANISH	E	REE	REE	6256
21570	0800	1700	12-16		NOB	350	230		1234567	291000	250301	D	SPANISH	E	REE	REE	6271
21760	1100	1200	12,13W,14,15W		SVE	500	235		1234567	291000	250301	D		NOR	RNI	NPT	6351
21705	0900	1200	27,28,37N		RIY	500	310		1234567	291000	250301	D	ARABIC	ARS	ARS	ARS	6323
21725	1000	1100	12,13W,14,15W		SVE	500	235		1234567	291000	250301	D		NOR	RNI	NPT	6334
21800	1000	1200	43,44,50,55		POR	500	75		1234567	291000	250301	D		FIN	YLE	DIG	6374
21830	0800	1800	48,52,53,57		LIS	100	142		17	291000	250301	D	PORTUGUESE	POR	RDP	RDP	6388
21840	1000	1200	28SW,38NE,39,48N		NAU	500	130		1234567	291000	250301	D	GERMAN	D	DWL	DWL	6390

Tabelle A2: Location Codes

;Co Site Name	ADM	Lati	Longi	;Co Site Name	ADM	Lati	Longi
;de	tude	tude		;de	tude	tude	
DEA Deanovec	HRV	45N41	016E27	PLD Plovdiv	BUL	42N04	024E41
EMR Emirler	TUR	39N29	032E51	POR Pori	FIN	61N28	021E35
FLE Flevo	HOL	52N21	005E27	RIA Riazan	RUS	54N37	039E41
GAL Galbeni	ROU	46N44	026E50	RIY Riyadh	ARS	24N30	046E23
GUF Montsinery	F	04N54	052W36	RMP Rampisham	G	50N48	002W38
ISR Jerusalem	ISR	32N04	034E47	ROM Roma	I	41N48	012E31
ISS Issoudun	F	46N57	001E59	SAM Samara	RUS	53N20	050E10
KAV Kavalla	GRC	40N52	024E50	SKN Skelton	G	54N44	002W54
KV Kiev	UKR	50N27	030E13	SMG S. Maria di Galeria	CVA	42N03	012E19
LIS Lisbon-Sao Gabriel	POR	38N45	008W40	SRN Saransk	RUS	54N12	045E06
MOR Morocco	MRC	35N34	005W58	SVE Svelo	NOR	59N37	005E19
MOS Moosbrunn	AUT	48N00	016E28	TAN Tangier	MRC	35N48	005W55
MSK Moskva	RUS	55N45	037E18	TIG Tiganesti	ROU	44N42	026E06
NAD Nador	MRC	35N03	002W55	WOF Woofferton	G	52N19	002W43
NAU Nauen	D	52N38	012E54				
NOB Noblejas	E	39N57	003W26				