

**B**

Gerrit L. Verschuur

# Die phantastische Welt der Radioastronomie

*Ein neues Bild des Universums*

Aus dem Englischen  
von Hermann-Michael Hahn

Springer Basel AG

Die Originalausgabe erschien 1987 unter dem Titel  
«The Invisible Universe-Revealed. The Story of Radioastronomy»

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Verschuur, Gerrit L.:**

Die phantastische Welt der Radioastronomie / Gerrit L.  
Verschuur. Aus d. Engl. von Hermann-Michael Hahn. – Basel;  
Boston; Berlin: Birkhäuser, 1988  
Einheitssacht.: The invisible universe revealed <dt.>  
ISBN 978-3-0348-6666-8

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die «Verwertungsgesellschaft Wort», München, wahrgenommen.

© 1988 Springer Basel AG

Ursprünglich erschienen bei der deutschsprachigen Ausgabe: Birkhäuser Verlag Basel 1988

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1988

Buch- und Umschlaggestaltung: Justin Messmer, Basel

ISBN 978-3-0348-6666-8

ISBN 978-3-0348-6665-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-0348-6665-1

# Inhalt

Vorwort . . . . .	13
-------------------	----

## Teil I

Einleitung . . . . .	15
----------------------	----

### 1 Abenteuer Radioastronomie

Worum geht es? . . . . .	17
Die Erkundung des unbekanntes Radio-Universums . . . . .	20
«Sichtbare» Radiostrahlung . . . . .	21
Das elektromagnetische Spektrum . . . . .	22
Radioteleskope . . . . .	23
Zur Entstehung der kosmischen Radiowellen . . . . .	24
Radiospektren als Hinweis auf die Strahlungsentstehung . . . . .	25
Positionsmessungen und Winkelgenauigkeit . . . . .	26
Auf der Suche nach neuem Wissen . . . . .	27

## Teil II

Extragalaktische Radioquellen . . . . .	31
---	----

### 2 Quasare

Eine Reise zu einem Quasar . . . . .	33
Quasistellare Radioquellen . . . . .	37

Mutter-Galaxien . . . . .	38
Die Identifizierung der Quasare . . . . .	38
Die Rotverschiebung der Quasare . . . . .	41
Helligkeitsschwankungen . . . . .	42
Die leuchtstärksten Objekte im Kosmos . . . . .	43
Galaxie-Quasar-Paare . . . . .	44

### **3 Radiogalaxien**

Die größten «Dinger» im Weltall . . . . .	47
Centaurus A . . . . .	49
Die Struktur von Centaurus A . . . . .	51
Polarisation . . . . .	54
Cygnus A . . . . .	55
Andere bemerkenswerte Mitglieder des kosmischen Zoos . . . . .	56
Eigenschaften von Radiogalaxien – eine erste Zusammenfassung . . . . .	58

### **4 Kosmische Jets, Schwarze Löcher und Kannibalismus**

Kosmische Jets . . . . .	63
Die Energieversorgung eines Jets . . . . .	66
Schneller als das Licht? . . . . .	69
Schwarze Löcher und Akkretionsscheiben . . . . .	73
Präzession . . . . .	75
Galaktischer Kannibalismus . . . . .	77

### **5 Radiogalaxien und Quasare: Eine Zusammenfassung**

Die Energieversorgung der Radioquellen . . . . .	79
Andere Radioquellen – Blazare und Seyfert-Galaxien . . . . .	84
Eine Übersicht über die Struktur der Radioquellen . . . . .	85
Ein einheitliches Bild: Vom Quasar zur Galaxis . . . . .	86

## Teil III

Die Galaxis . . . . .	89
-----------------------	----

### 6 Das galaktische Zentrum

Unsere Galaxis . . . . .	91
Das galaktische Zentrum . . . . .	92
Die Radioquelle im Sagittarius . . . . .	93
Radiobilder von Sagittarius A . . . . .	94
Eine Reise zum galaktischen Zentrum . . . . .	99
Nahansicht des galaktischen Zentrums . . . . .	102
Atomare Wolken und Molekülwolken . . . . .	104
Das Schwarze Loch im Zentrum . . . . .	104

### 7 Die Radiostrahlung der Galaxis

«Ein ständiges Zischen unbekannter Herkunft» . . . . .	107
Empfängerrauschen und das kosmische Programm . . . . .	108
Die Milchstraßenkarte des Grote Reber . . . . .	109
Eine moderne Radiokarte des Himmels . . . . .	110
Die Polarisation der galaktischen Radiostrahlung . . . . .	112
Das Aussehen des Radiohimmels . . . . .	114
«Normale» Galaxien . . . . .	115

### 8 Die galaktischen Radionebel

Supernovae – Sterbende Sterne . . . . .	119
Cassiopeia A . . . . .	123
Neuere «Gaststerne» . . . . .	123
Supernovae vom Typ I und Typ II . . . . .	127
Andere Radionebel . . . . .	129
Supernovae und Leben . . . . .	133
Emissions-Nebel – Orte der Sterngeburt . . . . .	135
HII-Gebiete . . . . .	136
Planetarische Nebel . . . . .	137

## 9 Interstellarer Wasserstoff

Schicksalswolken . . . . .	141
Die Entstehung der 21-cm-Linie . . . . .	142
Beobachtungen des interstellaren neutralen Wasserstoffs . . . . .	143
Radiokarten des interstellaren Wasserstoffs . . . . .	144
Das Aussehen einer Wasserstofflinienkarte . . . . .	145
Blick in die Tiefen des Raumes . . . . .	147
Eigenschaften der Wolken . . . . .	149
Interstellare Magnetfelder . . . . .	150
Die Struktur der Galaxis . . . . .	150
Das Geheimnis der Hochgeschwindigkeitswolken . . . . .	151
Wasserstoff in anderen Galaxien . . . . .	152

## 10 Interstellare Moleküle

Chemische Fabriken im Weltraum . . . . .	157
Was ist ein Molekül? . . . . .	161
Molekulare Spektrallinien . . . . .	163
Die Millimeterwellen-Fenster . . . . .	164
Kosmische Maser . . . . .	165
Riesenmolekülwolken . . . . .	170
Die ersten Entwicklungsstadien nach der Sterngeburt . . . . .	173
Moleküle und die Struktur der Galaxis . . . . .	178

## Teil IV

Sternförmige Radioquellen . . . . .	179
-------------------------------------	-----

## 11 Pulsare

Warten auf das Unerwartete . . . . .	181
Szintillation der Radiostrahlung . . . . .	182
Die Entdeckung der Pulsare . . . . .	183
Eigenschaften der Pulsare . . . . .	186
Das zeitliche Verhalten der Pulse . . . . .	186
Wo befinden sich die Pulsare? . . . . .	187
Die Bildung von Neutronensternen . . . . .	188
Eigenschaften eines Neutronensterns . . . . .	190

Die Entstehung der Pulse . . . . .	190
Der Doppelsternpulsar – ein phantastisches Weltraum-Labor der Natur . . . . .	193
Der Millisekunden-Pulsar . . . . .	196
Auswertung der Puls-Ankunftszeiten . . . . .	199
Sind wir noch offen für das Unerwartete? . . . . .	200

## 12 Radiobeobachtungen von Sonne und Planeten

Kriegsgeheimnisse . . . . .	201
Die Plasmasonne . . . . .	202
Solare Radio-Emission . . . . .	204
Die ruhige Sonne . . . . .	205
Solare Strahlungsausbrüche . . . . .	205
Radiosignale von den Planeten . . . . .	000
Radiostrahlungsausbrüche vom Jupiter . . . . .	210
Die Strahlungsgürtel des Jupiter . . . . .	212
Die Kilometerwellen-Strahlung des Jupiter . . . . .	214
Die Planeten als Radioquellen . . . . .	215
Radarastronomie . . . . .	216
Die Rotation der Planeten . . . . .	217
Das Gesicht der Göttin . . . . .	218
Andere Radarziele . . . . .	220
Jenseits des Sonnensystems . . . . .	222

## 13 Die galaktischen «Superstars»

Das geheimnisvolle Objekt SS 433 . . . . .	223
Eine Erklärung für SS 433 . . . . .	227
Ein Schwarzes Loch und seine Akkretionsscheibe . . . . .	228
Die Präzession der Akkretionsscheibe . . . . .	230
Ein zweiter SS 433? . . . . .	232
Radiosterne . . . . .	232
Novae . . . . .	234
Andere Supersterne . . . . .	235
Ein Stern mit einem Jet . . . . .	236



## Teil V

Universum und Leben . . . . .	239
-------------------------------	-----

### 14 Jenseits der Quasare – Radiokosmologie

Eine kosmische Perspektive . . . . .	241
Radioastronomie und Kosmologie . . . . .	243
Der Mikrowellenhintergrund . . . . .	245
Jenseits des Urknalls – Mehrfachwelten . . . . .	248
Wie glatt ist der Raum? . . . . .	250
Die fehlende Masse . . . . .	251
Gravitationslinsen . . . . .	252

### 15 Die Suche nach außerirdischen Intelligenzen

Eine Einführung . . . . .	255
Ein Gespräch quer über die Milchstraße . . . . .	258
Die Suche beginnt . . . . .	259
Neue Initiativen . . . . .	260
Die rauhe Wirklichkeit der SETI-Gleichung . . . . .	261
Die Suche geht weiter . . . . .	265

## Teil VI

Eine Übersicht der Radioastronomie: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft . . . . .	239
---	-----

### 16 Gedanken zur Entwicklung einer Wissenschaft

Vorgeschichte . . . . .	269
Phase I – Geburt . . . . .	270
Zwischen zwei Stühlen . . . . .	273
Die Nachkriegsjahre – Radar überall . . . . .	276
Der südliche Himmel . . . . .	277
Wer hätte das gedacht? . . . . .	279
Phase II – Die Identitätskrise . . . . .	281
Phase III – Entdeckungen . . . . .	283
Phase IV – Konsolidierung und Klarheit . . . . .	284

## 17 Radioteleskope – Die Gegenwart

Größer und besser . . . . .	287
Rauscharme Empfänger . . . . .	289
Interferometer . . . . .	289
Interferometrie mit sehr großer Basislänge . . . . .	292
Apertursynthese . . . . .	295
Das Very Large Array . . . . .	296
MERLIN . . . . .	301
Millimeterwellen-Radio-Astronomie . . . . .	301

## 18 Die Zukunft

Das Very Long Baseline Array . . . . .	307
Quasat . . . . .	308
Das australische Teleskop . . . . .	309
Vorschlag für ein Millimeterwellen-Array . . . . .	311
Wie lange wird die Radioastronomie fortbestehen? . . . . .	311
Radioastronomie und Vorstellungskraft . . . . .	313

## Appendix

1. Atome, Ionen, Moleküle und kosmische Strahlung . . . . .	315
2. Sterne, Planeten, Galaxien und die Milchstraße . . . . .	316
3. Astronomische Entfernungen – ein Blick in die Vergangenheit . . . . .	316
4. Schreibweisen . . . . .	317
5. Jenseits der Galaxis . . . . .	318
6. Wie Radioteleskope funktionieren . . . . .	318
7. Das elektromagnetische Spektrum . . . . .	319
8. Atmosphärische Fenster . . . . .	320
9. Wellenlängen und Frequenzen . . . . .	321
10. Spektrallinien . . . . .	322
11. Die Rotverschiebung . . . . .	322
12. Astronomische Koordinatensysteme . . . . .	323
13. Die Helligkeit der Radioquellen . . . . .	323
14. Geschwindigkeiten in der Radioastronomie . . . . .	324

15. Der Energietransport zwischen Quelle und Radioteleskop	
a) Die Entstehung der Radiowellen im Raum . . . . .	325
b) Was wir von den Spektrallinien lernen können . . . . .	330
c) Der Einfluß des Rauschens . . . . .	336
16. Wechselwirkungen zwischen Antennen und Radiowellen . . . . .	338
<b>Index . . . . .</b>	<b>341</b>

# Vorwort

Das Buch ist eine völlig neu geschriebene Version von *The Invisible Universe: The Story of Radio Astronomy*, das 1974 erschien. Der neue Titel betont die wesentlichen Fortschritte seither und macht deutlich, daß die Radioastronomen das Weltall heute viel klarer sehen.

Es ist gleichermaßen für interessierte Laien und Schüler der oberen Klassen geschrieben und setzt daher wenig Fachwissen voraus.

Historische Aspekte blieben auf ein Minimum beschränkt, aber nicht, weil sie unwichtig oder uninteressant wären, sondern weil in letzter Zeit einige Bücher gerade zu diesem Thema erschienen sind. Auch werden nur wenige Personen namentlich erwähnt, um den Erzählcharakter des Buches nicht zu sehr zu stören: Hätte ich allen gerecht werden wollen, die an den wichtigen Entdeckungen beteiligt waren, wäre die Namensliste schier endlos geworden; ich bitte alle Ungenannten um Verständnis.

Hein Hvatum und Paul Vanden Bout haben mich während meiner Arbeiten am «National Radio Astronomy Observatory» betreut – ohne sie hätte ich dieses Buch nicht schreiben können. Aber auch die übrigen Mitarbeiter dort haben mich stets unterstützt und meinen Aufenthalt zu einem wahren Erlebnis werden lassen. Danken möchte ich besonders Ken Kellermann, Harvey Liszt, Steve Reynolds, Dan Stinebring und Robert Hjellming für ihre hilfreichen Kommentare zu den ersten Entwürfen einiger Kapitel sowie Richard Thompson für seinen Titelvorschlag. Hervorzuheben ist auch die vielseitige Unterstützung durch Bob Havlen. Joan Schmelz, Nancy Wiener, Carl Vershuur und Deborah Ryan schließlich arbeiteten sich durch das gesamte Originalmanuskript hindurch und gaben wertvolle Hinweise.

Die meisten Abbildungen verdanke ich den vielen Radioastrono-

men aus zahlreichen Ländern, die mir bereitwillig ihre Original-Illustrationen zur Verfügung stellten, zu viele, um sie alle verwenden zu können; viele von ihnen erschienen zuvor im *Astrophysical Journal*.

Mein besonderer Dank gilt schließlich Von Del Chamberlain sowie René Walterbos, Ernie Seaquist, Doug Milne und Dennis Downes. Hilfreich bei der Bearbeitung der Illustrationen waren Peggy Weems, Ron Monk, Pat Smiley und Elaine Gardner Ollis. Einige der VLA-Bilder entstanden durch die spezielle Unterstützung von Arnold Rots, Ron Ekers, Rick Perley, Pat Crane und Carl Bignell.

Ohne die hilfreichen Diskussionen mit Barry Turner, Jim Condon, Dave Hogg, Dan Stinebring, Alice Hine, Butler Burton, Dick Thompson, John Findlay, Don Campbell, Bob Hjellming und Chris O'Dea wäre das Buch nicht so gut geworden, wie es ist, und darüber hinaus ist das Wissen vieler Radioastronomen einbezogen, das ich auf Seminaren und in langen Unterhaltungen anzapfen konnte. Dankbar bin ich für die tatkräftige Unterstützung der NRAO-Bibliothekare Ellen Bouton und Mary Jo Hendricks sowie für die fortwährende Ermunterung durch Joan Schmelz, ihre Unterstützung und ihre Hilfe.

Die «Astronomical Society of the Pacific» hat in Zusammenarbeit mit dem «National Radio Astronomy Observatory» und dem Autor dieses Buches eine Diaserie aus mehr als 40 Aufnahmen unter dem Titel *The Radio Universe* zusammengestellt; es handelt sich in vielen Fällen um Farbversionen der in diesem Buch abgedruckten Radiokarten. Die Serie eignet sich vortrefflich für Lehrzwecke oder zum Gebrauch in Planetarien; eine Beschreibung der Bilder ist beigelegt. Zusammen mit diesem Buch stellt sie eine ideale Kombination dar. Weitere Informationen erhält man bei: The Astronomical Society of the Pacific, 1290 24<sup>th</sup> Avenue, San Francisco, CA 94122, USA. Hobby-Radioastronomen finden bei der «Society of Amateur Radio Astronomers» (SARA) Rat und Auskunft; dahinter verbirgt sich eine internationale, gemeinnützige Gruppe zur Unterstützung der Arbeiten von Amateurradioastronomen; die Adresse lautet: SARA, 7605 Deland Avenue, Fort Pierce, FL 33451, USA.

Viele der Bilder in diesem Buch entstanden erst unter Mithilfe des «National Radio Astronomy Observatory», das im Auftrag der «National Science Foundation» von «Associated Universities Inc.» betrieben wird. In diesen Fällen wurde das Kürzel NRAO eingesetzt.

Charlottesville, Virginia  
Gerrit L. Verschuur