

# Zusammenfassung

Mit einer Entfernung von  $\sim 750$  kpc (2,5 Millionen Lichtjahre) zu unserer Milchstraße ist die Andromeda Galaxie (M31) die nächstgelegene große Spiralgalaxie. Ihre Nähe erlaubt es uns bereits mit einem einzelnen Radioteleskop wie Effelsberg, Abstände von weniger als einem Kiloparsec innerhalb der Galaxie aufzulösen. Bei unseren anderen Nachbargalaxien ist dies nur mit einem Interferometer möglich. Es überrascht daher nicht, dass M31 (neben M51) zu den beiden Galaxien gehört, in denen erstmals polarisierte Radiostrahlung nachgewiesen wurde. Strahlung im Radiobereich ist dominiert von Synchrotronstrahlung. Sie wird von relativistischen Elektronen erzeugt, die um die Magnetfeldlinien rotieren. Die Strahlung ist daher polarisiert, und der elektrische Feldvektor zeigt senkrecht zu den Magnetfeldlinien.

Bereits die ersten Untersuchungen haben gezeigt, dass das turbulente und geordnete Magnetfeld in M31 in einer Art Ring mit 10 kpc Radius konzentriert ist. Dieser Ring ist die Überlagerung mehrerer Spiralarme, die wir unter einer starken Inklination sehen. Messungen des Rotationsmaß haben gezeigt, dass das Feld in M31 kohärent ist, d.h. es behält über  $360^\circ$  in Azimuth und über einen weiten radialen Bereich seine Richtung bei.

Die Existenz eines solchen regulären Feldes über diese gewaltigen Entfernungen lässt sich am besten mit Hilfe der galaktischen Dynamo-Theorie erklären. Schwache magnetische Saatfelder können durch ein Zusammenspiel aus Turbulenz und Scherkräften über lange Distanzen verstärkt und aufrecht erhalten werden. Die Turbulenzen (und möglicherweise auch die Saatfelder) entstehen durch Supernovae, während die Scherkräfte eine Konsequenz der differentiellen Rotation der Galaxie sind.

Allerdings ist die Struktur des Magnetfelds von M31 ungewöhnlich einfach. Ein rein axialsymmetrisches Feld ist uns aus keiner anderen Galaxie bekannt. Das Ziel dieser Arbeit ist es, neue Hinweise zum Verständnis der Magnetfeldstruktur von M31 zu liefern. Hierzu werden neue Methoden der Datenanalyse sowie höhere Auflösungen und Empfindlichkeiten als jemals zuvor genutzt, und neue Wellenlängenbereiche erforscht.

Eine neue Karte von M31 bei einer Wellenlänge von 3,6 cm (= 8,35 GHz) wurde im Rahmen dieser Arbeit erstellt. Dies ist die bisher höchste Frequenz, bei der eine Polarisations-Karte von M31 im Radiokontinuum aufgenommen wurde. Trotz größter Bemühungen war es noch nicht möglich, einige Probleme im Basisniveau des zentralen  $40' \times 40'$  Feldes zu beheben. Dadurch wird die Untersuchung großräumiger Strukturen beeinträchtigt. Allerdings sind dank der hohen Auflösung der Karte bereits systematische Variationen des Magnetfeldes auf

kleinen Skalen sichtbar, die wichtige Informationen über die aktiven Dynamo-Prozesse liefern werden. Zusätzliche Beobachtungen, die die Karte auf die gesamte Galaxie erweitern, werden bald abgeschlossen sein.

Darüber hinaus wird die empfindlichste Polarisationskarte einer externen Galaxie gezeigt, die jemals mit dem Effelsberg-Teleskop aufgenommen wurde. Die Analyse der erweiterten  $\lambda 6$  cm Karte offenbart, dass sich das Magnetfeld von M31 noch deutlich weiter erstreckt als bisher vermutet. Polarisierete Intensität konnte bis zu einem Radius von 25 kpc nachgewiesen werden. Die daraus ermittelte Skalenlänge zeigt, dass sich das geordnete Feld fast doppelt so weit erstreckt.

Um die Richtung und ein komplettes dreidimensionales Modell des Magnetfelds zu bestimmen ist die Kombination mehrerer Frequenzen erforderlich. Dazu wurde die erste Multifrequenz-Polarisations-Analyse der Zentralregion von M31 bei einer Auflösung von  $15''$  durchgeführt. Dies ist nur durch die Kombination der Daten zweier Instrumente (VLA und Effelsberg) möglich. Die beobachtete Magnetfeldstruktur stimmt hervorragend mit dem axialsymmetrischen Quadrupol-Modell von Braun et al. (2010) überein. Allerdings zeigt sich, dass die Richtung des Magnetfeldes im Zentrum entgegengesetzt zu der im Ring bekannten ist. Das bedeutet, dass inneres und äußeres Feld komplett unabhängig voneinander sind. Dies wurde bereits allgemein von Ruzmaikin & Shukurov (1981) aus deren Lösungsansatz für die kinematischen turbulenten Dynamo-Gleichungen vorhergesagt und ist hiermit nun endgültig bestätigt.

Die entgegen gesetzte Richtung der Magnetfelder wird zusätzlich durch die Anwendung der neuen „RM Synthesis“ Methode (Brentjens & de Bruyn 2005) auf bereits existierende Daten bestätigt. Diese neue Methode wurde eigentlich für neue Breitband-Beobachtungen entwickelt. Wie sich zeigt, kann sie aber auch auf unabhängig bei einzelnen Wellenlängen gemessene Daten angewendet werden. Trotz einiger Einschränkungen können so aus bereits bestehenden Daten durchaus noch neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Der erste Nachweis von Polarisation in einer nahen Galaxie bei  $\lambda 92$  cm erfolgt ebenfalls mit Hilfe von RM Synthesis. Soweit wir wissen, ist dies sogar der erste gezielte Nachweis bei einer Wellenlänge größer als 22 cm. Die gemessene Depolarisation in M31 stimmt mit theoretischen Vorhersagen überein.

Alle polarisierten Hintergrund-Quellen, die im Faraday Kubus detektiert werden konnten, sind in einem Katalog zusammengefasst. Die Analyse zeigt, dass die interne Struktur der Quellen nicht vernachlässigbar ist, und dass eine Klassifikation und Selektion nötig ist, um Magnetfeldstrukturen im Vordergrund mit Hilfe von Hintergrundquellen zu bestimmen. Beides sind äußerst wichtige Ergebnisse für zukünftige Beobachtungen mit LOFAR.

Im Anhang finden sich ganzseitige Farabbildungen aller Karten sowie die Faraday Spektren aller detektierten Quellen.