



# Sternpopulationen in Galaxien

Jens Adamczak, Jan Dobschinski, Sebastian Jäger, Tobias Liese, Raphael Niepelt, Sebastian Wende, Ricarda Winkelmann  
Betreuer : P. Papaderos und A. Depra

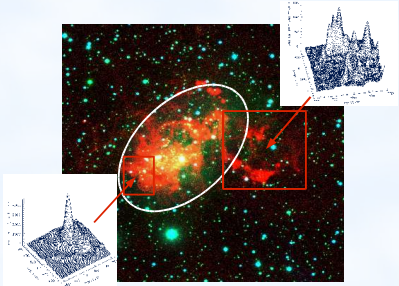


Abb.1: RGB-Karte von IC10, zusammengesetzt aus erdgebundenen H $\alpha$  (rot), B (blau) und R (grün) Aufnahmen der Galaxie. Die H $\alpha$ -Shells, die auf die Wirkung von OB-Sternen und SNe zurückzuführen sind, sind deutlich im roten Bereich sichtbar. Die Ellipse zeigt annähernd die Ausdehnung der low-surface brightness (LSB) Sternkomponente der Galaxie an. In der Abbildung liegt Norden oben und Osten links.

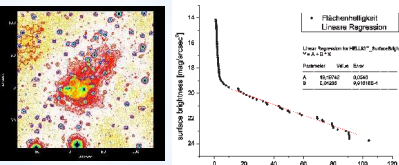


Abb.3 (links) B-Band Aufnahme von IC10 mit Isopthen, die Flächenhelligkeiten von  $\mu = 21$  und 23 mag arcsec $^{-2}$  anzeigen. (rechts) Flächenhelligkeitsprofil von IC10 im B-Band. Für Radien größer als ca. 20'' wird die Emission durch die stellare LSB-Komponente aufgebracht. Durch Extrapolation des Fits auf  $\mu = 25.5$  mag arcsec $^{-2}$  ermitteln wir den Holmberg-Radius der Galaxie.

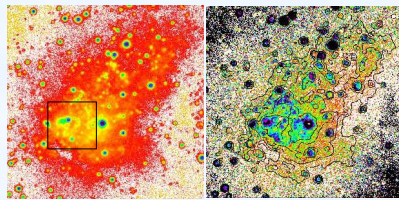


Abb.5 (links) B-Band Aufnahme von IC10. In dem rechteckigen Ausschnitt findet gegenwärtig aktive Sternentstehung statt. Dies ist der Bereich, in dem die H $\alpha$ -Emission am stärksten ist. (rechts) B-R Farbkarte der Galaxie, dargestellt zwischen 0.1 mag (schwarz) und 0.9 mag (weiß) mit überlagerten Konturlinien. Die jüngere Sternpopulation in IC10 zeigt deutlich blaue Farben als die stellare LSB-Komponente.

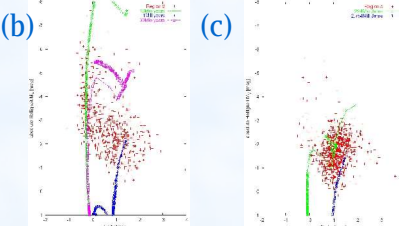
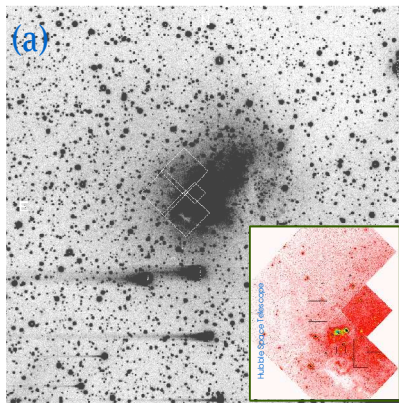


Abb.7 (a) Erdgebundene B-Band Aufnahme von IC10, in der der durch die HST WFPC2 Kamera sichtbare Bereich mit weiß eingekreist ist (aus Hunter 2001). Unsere HST WFPC2 Aufnahme im F555W Filter (V-Band) ist rechts-unten vergrößert dargestellt. Die für unsere Farb-Helligkeits-Diagramm (CMD) Untersuchung gewählten Regionen sind gekennzeichnet. (b) CMD (Auftragung der absoluten Magnitude gegen die Farbe einzelner Sterne) in der gegenwärtig aktiv stembildenden Region von IC10. Diese CMD wurde anhand von HST-Daten mit Hilfe des Programmpaketes DAOPHOT hergestellt. Mit grün, magenta und blau sind Isochronen für Sternpopulationen, die 10 Myr, 39 Myr und 1 Gyr alt sind. Einige Sterne haben ein Alter von ca. 10 Myr oder weniger, was vergleichsweise jung ist. (c) CMD für eine Region der stellaren LSB-Komponente mit Isochronen, die einem Alter von 0.22 Gyr (grün) und 2.75 Gyr (blau) entsprechen. Es ist deutlich, dass die Mehrheit der Sterne hier alt ist, manche sogar älter als 3 Gyr.

Galaxien bestehen aus Sternpopulationen, die sich bzgl. ihres Alters, chemischer Zusammensetzung und räumlicher Verteilung unterscheiden können. Die Untersuchung dieser Eigenschaften ist von fundamentaler Bedeutung, um ein grundlegendes Verständnis des Aufbaus und der Entwicklung von Galaxien zu erlangen. In unserer Projektarbeit haben wir anhand von erdgebundenen und Hubble Space Telescope (HST) Daten die Sternpopulationen und die Morphologie der ionisierten Gaskomponente von IC10, einer Zwerggalaxie in der Lokalen Gruppe, untersucht. Diese Galaxie erschien uns deshalb besonders interessant, weil sie eine hohe Sternbildungsaktivität aufweist. Aufgrund von Supernovae (SNe) und der Strahlung von jungen, massereichen OB Sternen ist die Gaskomponente von IC10 kinematisch gestört und über Distanzen von mehreren Hundert pc ( $1 \text{ pc} \approx 3.26 \text{ Lichtjahre}$ ) ionisiert. Das ionisierte Gas erscheint dem Beobachter aufgrund starker H $\alpha$ -Emission ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ) rötlich (s. Abb.1&2).

Da IC10 vergleichsweise nahe bei der Milchstrasse liegt (Distanz von ca. 0.95 Mpc), ermöglichen Teleskopaufnahmen, ihre Sternpopulationen mit sehr hoher räumlicher Auflösung zu untersuchen. Dies gilt insbesondere für HST-Aufnahmen, die durch atmosphärische Störungen (seeing) nicht beeinträchtigt werden, so dass Sterne einzeln aufgelöst werden können.

Wichtig bei der Auswertung und Interpretation unserer Daten war, die Lichtabsorption durch unsere Milchstrasse zu berücksichtigen. Da die IC 10 fast in Richtung der galaktischen Scheibe liegt, ist ihr Licht durch Staub je nach Wellenlänge unterschiedlich stark abgeschwächt. Im visuellen Spektralbereich (bei ca. 5500  $\text{\AA}$ ) beträgt die Galaktische Absorption 2.55 mag, d.h. nur 10% der Photonen erreichen den Beobachter. Um welche Werte wir die ermittelten Helligkeiten in den Aufnahmen in verschiedenen Bändern korrigieren mussten, entnehmen wir den Angaben der NASA Extragalactic Database (NED).

Wir benutzten B- und R-Band-Aufnahmen mit Belichtungszeiten von jeweils 900 s, um die Leuchtkraft und die Ausdehnung der Galaxie zu berechnen. Da Galaxien keinen scharfen Rand besitzen, werden ihre Radien bei einer bestimmten Flächenhelligkeit  $\mu$  (mag arcsec $^{-2}$ ) gemessen. Oft verwendet man den sog. Holmberg-Radius, der bei einer Flächenhelligkeit von 26.5 mag arcsec $^{-2}$  bestimmt wird. Wir ermittelten hierfür einen Wert von ca. 800 pc (s. Abb.3). Um die Eigenschaften von IC10 möglichst genau analysieren zu können, haben wir zunächst mit Hilfe des astronomischen Programmpaketes DAOPHOT die zahlreichen galaktischen Vordergrundsterne modelliert und aus den Ausgangsdaten subtrahiert. Die große Bedeutung dieser Korrektur wird in Abb. 4 deutlich, in der dieselbe R-Band-Aufnahme vor und nach der Subtraktion galaktischer Vordergrundsterne dargestellt wird.

Eine erste Abschätzung des Alters von Sternpopulationen in IC10 erhielten wir aus einer B-R-Farbkarte (Abb. 5 rechts), aus der wir die mittlere Farbe in den Sternentstehungsregionen (HSB) und in der leuchtschwachen Peripherie (LSB) ermittelten. Diesen Farben kann man einen charakteristischen Spektraltyp zuordnen, der einer bestimmten Sternmasse entspricht. Da die Lebensdauer der Sterne näherungsweise proportional zu ihrer Masse $^{2.5}$  ist, kann man bereits aus den gemessenen Farben eine erste Aussage über das Alter der Sterne treffen.

Eine genauere Angabe lässt sich jedoch erst durch Vergleich mit den Voraussagen von Evolutions-synthesemodellen machen. Hierfür haben wir zwei Modelle - GALEV (Galaxy Evolution; Fritze-v. Alvensleben, Göttingen) und PÉGASE (Projet d'Étude des GALaxies par Synthèse Évolutive; Fioc & Rocca-Volmerange, IAP/Paris) - herangezogen. Sie ermöglichen die Berechnung einer Vielzahl von Eigenschaften von Galaxien (z.B. Farbe, Leuchtkraft) in Abhängigkeit von dem anfänglichen Massenspektrum und der chemischen Zusammensetzung der Sterne sowie ihrer Entstehungsart (z.B. kontinuierliche oder exponentiell abklingende Sternbildungsrate). Aus diesen Modellen leiteten wir ein wahrscheinliches Alter von ca. 5.5 Gyr für die stellare LSB Komponente von IC10 ab.

Aus den hochauflösten HST-Daten erstellen wir Farb-Helligkeits Diagramme (CMDs) der Sternpopulation in ausgewählten Regionen von IC10. Durch Überlagerung von theoretischen Isochronen auf den gemessenen CMDs konnten wir erneut das Entstehungsalter einzelner Sternpopulationen ermitteln. Diese Analyse ergab ein Alter zwischen weniger als 10 Myr und ca. 40 Myr für die Sternbildungsregionen und ein Alter von mindestens 3 Gyr für die ausgedehnte LSB Komponente von IC10.

Dieses Mindestalter für Sternpopulationen in der LSB Komponente ist mit den Ergebnissen, die wir aus dem Vergleich mit den Evolutions-synthesemodellen erhielten, konsistent.

Durch eine langbelichtete (1500 s) H $\alpha$ -Aufnahme von IC10, die mit dem 60inch Palomar Teleskop aufgenommen wurde, konnten wir die Ausdehnung und Morphologie des ionisierten Gases untersuchen. Ionisierter Wasserstoff findet sich vor allem in der Umgebung von heißen, massereichen, jungen Sternen, in Regionen mit aktiver Sternbildung. Aus der gemessenen H $\alpha$ -Leuchtkraft konnten wir die gegenwärtige Sternbildungsrate (SFR) von IC10 zu ca.  $7.5 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  bestimmen. In IC10 entsteht demnach durchschnittlich alle 130 Jahre ein Stern, die Galaxie ist also vergleichsweise sehr aktiv.

Aus den Radien von H $\alpha$ -Shells (s. Abb. 8) haben wir mit Hilfe der Näherungsformel von Mac Low & McCray (1988, Astrophysical Journal, 324, 776),

$$R_{sh} = 267 \left( \frac{L_{38} t_7^3}{\eta_{ISM}} \right)^{1/5} \text{ pc}$$

wobei  $R_{sh}$  der Radius eines durch ein Shell eingeschlossene Region in pc ist,  $\eta_{ISM}$  die mittlere Dichte des interstellaren Mediums in HI-Atomen per cm $^3$  und  $t_7$  die Expansionszeit einer Shell in  $10^7$  yr ist, die Energieabgabe  $L_{38}$  von massereichen OB-Sternen und SNe in das ISM in  $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$  berechnet. Für  $t_7$  zwischen 2 und 4 schätzen wir daraus, dass die Energie, die zur Entstehung der beobachteten Shells nötig ist, durch 50 bis 200 SNe aufzubringen wäre.

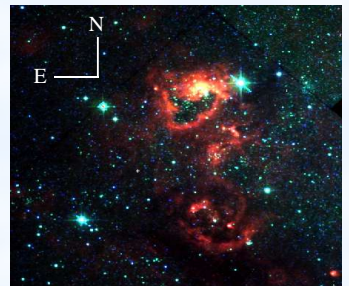


Abb.2: RGB-Karte der leuchtkräftigsten Stembildungsregion von IC10, zusammengesetzt aus Hubble Space Telescope (HST) Daten in den Filtern F658N (H $\alpha$ , rot), F555W (V, blau) und F814W (I, grün).

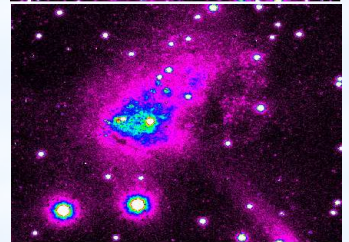
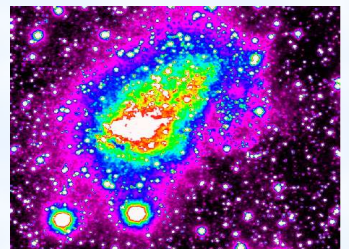


Abb.4: (oben) R-Band Aufnahme von IC10, aufgenommen mit dem 60inch Palomar Teleskop. Es ist deutlich, dass zahlreiche Vordergrundsterne aus der Scheibe der Milchstrasse ein Problem bei der Untersuchung der Ausdehnung und Farbverteilung der LSB-Komponente von IC10 darstellen. (unten) Das gleiche Bild nach zweidimensionaler Modellierung und Subtraktion von störenden Vordergrundquellen.

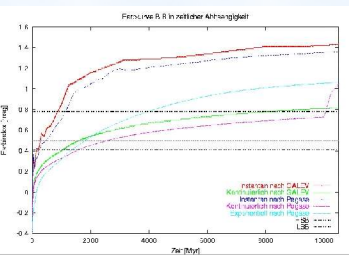


Abb.6: Vergleich der gemessenen Farbindices der LSB- und high-surface brightness (HSB) Komponente (horizontale Linien bei B-R von ca. 0.8 mag bzw. 0.4 mag, samt jeweiligem  $\pm 1\sigma$ ) mit den Evolutions-synthesemodellen von PÉGASE und GALEV. Als Grenzlinie wurden ein instantanes (blau und rot) und ein kontinuierliches (magenta und grün) Sternentstehungsmodell angenommen. Als das wahrscheinlichste Modell erweist sich das einer exponentiellen Sternentstehung (cyan), wobei die Sternbildungsrate SFR (Zeit) mit exp(-Zeit/ $t_7$ ) Gyr) abklingt. Man erkennt in der Kurve für die instantane Sternentstehung, dass der Farbindex nach kurzer Zeit rot wird, da die jungen blauen Sterne eine kurze Lebensdauer besitzen. Bei dem kontinuierlichen oder exponentiellen Sternentstehungsmodell hingegen sind stets junge Sterne vorhanden, welche beim gleichen Entwicklungsalter deutlich blaue Farben zur Folge haben.

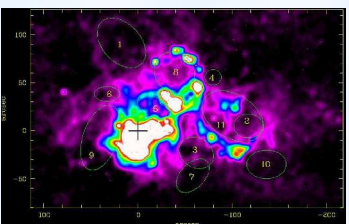


Abb.8: H $\alpha$ -Shells, welche durch die kollektive Wirkung von Sternwinden aus massereichen Sternen und Supernovae auf das interstellare Medium von IC10 hervorgerufen wurden. Die Position der gegenwärtig aktivsten Stembildungsregion ist durch das Kreuz gekennzeichnet. Sie expandieren mit Geschwindigkeiten von 30 bis 100 km s $^{-1}$  und können auf Radien von bis zu mehreren 100 pc von einer Stembildungsregion hinausreichen.