

# Obaösterreichisch-Linزارische Zomfossung

A Meafochsteansystem bsteht aus mehrere Stern, die durch Schwerkroft zomgehoidn wern. Soiche Meafochsteansysteme hom die Menschheit scho imma fasziniert, und sie san a recht häufig im Universum verglichn mit Einzlsterna. Wegn ernare Helikeitsschwonkungen und ondere scheinboa mysteriöse Eignschoften ham vaschiedenen Kultur sie ois Götter, guade Omen oda ondare Vazeichn gsehn. A heizdog san Meafochsteansysteme des Zü von fü wissenschaftlichea Foaschung, und durchs moderne Teleskop is unsa Wissn enorm gwoxn. Meafochsteansysteme befügn a heit unsa Fantasie, und sie san oft Ikonen in da Litaratur und Füm, ma denke nur an Sonnauf- oder Untagäng mit mehrere Sonnen auf an fremden Planeten. Heid wissn ma, dass soiche Systeme da Auslösa oda Uasprung fia füle intaressante Phenomene, wie zum Beispü Supernovas, Planetare Nöwi, und verschmözende Schwoaze Löcha, san. Wödraumteleskope wie Kepler ham bewiesen, dass zb. Exoplaneten in Meafochsteansystemen ned nur Fiktion san, sondern wiaklich existirn. Heute erforschen ma oiso ned mer ob, sondern wie soiche Systeme entstengan, und unter wöchen Bedingungen sie stabil bleibn. Früäre wissenschaftliche Theorin san davon ausgonga, dass a Stean an ondaran einfongt, und so a Zwillingssysteme büdt. Olladings hom diese Onsätze graviernde Lückn ghobt, wei sie drauf basiern, dass vüle Sonnen noh beinonda entstengan oda zumindest a zusätzliche dritte Sonn no Einfluss nema miassad. Deswegen is es heizdog wichtig genau zu vasteh, wie a Sonn entsteht, damit ma die Entsteung von Meafochsteansystemen entschlüssln kann.

Basind auf astronomische Beobachtungn und Modölle ko ma den Prozess von da Sternentstehung wie foigt beschreibn: Rotierade Gas- und Staubwoikn kolabiern und diaf in da Mittn von di Woikn büdn sie Protosterna. A Protostean erzeugt don an noch außen gerichtetn Gasstrom, was üblichaweis ois stoaka Hinweis drauf gsehn wird, dass a neiche Sonn entsteht. Dach die die Eigenrotation von der Sonn und des Material was einzogen wird, wird die Woikn imma flocha und fongt on sich söwa a zum drahn. Des Endagebnis nennt ma don a Sternscheibn, und ma nimmt o, dass si die Scheibn irgndwonn am Onfong vom Entstehungsprozess büdt, und in ia donn spada a Planetn und Sternschnuppn entstengan. Die Woikn um den Protostan schrumpft donn mit da Zeit imma mea, da Matrial aus da Woikn vom Gasstrom wegtrogt wird oder indn Protostean foid. Üba Zeit verschwindt die Woikn don, und üba bleibt donn a neichs Sonnensystem mit Sterna und (eventuö) Planetn. Astronomische Beobachtungn vo olle Entwicklungstufn hom zagt, dass Systeme mit mehr ois aner Sonn die Regl san, ned die Ausnom. Des hast damit oiso a, dass die meistn Sonnen ned alan entstengan sondern in an Meafochsteansystem. Wa miaßn deswegn unsa bisherigs Konzept von

da Steanentsteung ändan.

Scho alan wegen ihra Existnz koman füle Frogn zua Entsteung und Entwicklung vo Meafochsteansystemen auf, und in diesa Doktoaobait gengan ma a boa davon aufn Grund:

1. Wonn entstengan die Staubscheiben und wos fia an Einfluss homs auf an Protostean?
2. Entwickln si olle Sonnen in an Sonnensystem zur söbn Zeid?
3. Wöche Eignschoftn regn oda behindan die Entwicklung von an Protostean zu Meafochsteansysteme anstöh vo an afochn Stean?
4. Is da kemische und physische Aufbau von an oafochn Stean vergleichboa mit Meafochsteansysteme?

Die erste Frog is voa ollem intaessant wei in Sternenscheibn ned nua Planetn und Sternschnuppn entstengan, sondern wei ma a was, dassi die Entsteung von Meafochsteansystemen beeinflussn. In die nextn beidn Frogn gehts um die Oat und Weis wie Meafochsteansysteme entstengan. Der Zafoi von Materiekumpn im Zentrum von aner Materiewoikn in mehrere Kernn, a Fragmentierung gnon, wird oigemein ois Hauptgrund für die Entsteung vo Meafochsystemen ongsehn. Dabei is owa ned kloa wos übahaupt die Framentierung auslöst, und wie genau die donn die weidare Entwicklung beeinflusst. Die letze Frog züt darauf wöche Untaschiede Meafoch- und Einzlsystemen Untaschiede im Aufbau hom, und ob die durch Mehrfochentwicklungen oder ondare Prozesse entstandn san. Diese Dissatation befasst si im Detai mit derane Frogn und verbindt Beobchtungen von Molekül und Staubemissionen mit phyikalische und kemische Modelle um die Struktur von Protosteana zu beschreibn und erfassn. Staufemissionen zeichnen die Region noch, in dem sich a Protostean befindt, und höffn dabei sei Evolutionsstadium zu erkennan. Moleküllinien ondaraseits san wichtig um die Kinematik von an Stern nochzvoizieh, und fungiern ois Temperatur und Dichtemessa, und mochn damid die kemische Zusammensetzung von an Protostean sichtboa. Chemie is dahea a mächtigs Weakzeig zum Vasteh von die Voagänge im Wötraum.

## Üwa diese Doktoaobait

Des easte Kapitol von diesa Dissatation enthoit a detailiate Einführung in die Sternentstehung für einzelne und Mehrfochstern. Die Datn die dazu verwndt worn san stammen von die Teleskope ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) und APEX (Atacama Pathfinder EXperiment), und deckn Wellenlängen von Millimeter- bis zum Nah-Infratrotbereich ob. ALMA is a Radiointerferometer am Chajnantor Plateau in da Atacama Wüstn in Chile, und wir hams gnutzt um den kemischn und physikalischn Aufbau von mehrere Protosterne mit einer Durchschnittsgress vo circa 100 AE (Astronomischen Einheittn) zu studiern. APEX dagegen is a alleinsteen-des Radioteleskop in da Nehe von ALMA. Wir hom APEX gnutzd um circa 1000 AU große Woikn um Protosterne zu beobochtn, und hom die Beobachtungen durch Archivdaten von die Weltraumteleskope Herschel und Spitzer komplementiad.

Im zweittn Kapitol wird anhand von VLA 1623-2417, an evolutionär jungen Protostean, untersucht wie Sternscheibn entstengan. VLA 1623-2417 is a Dreifochsystem

im Herzn vo  $\rho$  Ophiuchus und 391 Lichtjaa von uns entfernt. VLA 1623-2417 bsteht aus 3 Komponentn (Teile) und jede Komponentn waist vaschiedene Eigenschoftn auf, was darauf hindeit, dass si die Teile in verschiedenen Phasn ihra Entwicklung befindn. Die easte Komponentn, VLA 1623-2417 A hod a floche, scheinnoatige Struktur mit Staub und Molekülhülle. Noch intensivem Stuidum von da Kinematik mit Hüfe vom Molekül  $C^{18}O$  und oafache physikalische Modelle hot si zagt, dass die Emissionen von der Quelle a rotierende Scheibn mit circa 150 AE nochzeichnen, was dem fünffochn Radius vom Neptunorbit entspricht. Wei VLA 1623-2417 A in ander sehr frühn Entwicklungsphase is, kenan ma oiso schliaßn, dass si rotierade Sternscheibn scho sehr früh ausbüdn kenan.

Da si rotirade Scheiben scho zu an frühn Entwicklungsstadium von an Stean büden kenan, miassns a des Endresultat von seina Entwicklung beeinflussen. Disa Schluss wird daher in Kapitl 3 eingehend beleutet, wo des koide Umgebungsmaterial und da Kern von da Woikn in da Scheibn von VLA 1623-2417 A genau betrocht wern. Dazu wird des Molekül  $DCO^+$  benutzt, weis hauptsächlich bei Temperaturan um 20 K oder drunter gformt wird, und des koide Umgebungsmaterial daduach guad nochzeichnen wern ko. Die Beobachtungsdaten kombiniert mit an oafochn kemischn Modö erlaums die  $DCO^+$  Emissionen genauer zu analysiern, und zagn dass die Position von  $DCO^+$  nea am Kern is ois wie wenn da Protostean des Umgebungsmaterial gleichmäß aufhazen würd. Anstott auf a spherisch-symetrische Dichte und Temperaturstruktur hinzeisn, worn  $DCO^+$  Emissionen längs von dea Scheibn nää om Protostern ois on die Endn. A Grund dafia is, dass die Scheibn die restliche Materiewoikn gegenüba dem Protostern beschottet, und dadurch an Temperaturabfoi verursocht. Des weist drauf hi, dass die Scheibn an direkten Einfluss aufs Umgebungsmaterial hod indems sei Temperaturverteilung und kemische Zusammensetzung vaendat.

In Kapitl 4 wiad die physikalisch-kemische Strukta von zwa eingebetteten Meafoch-protosterna (IRAS 16293-2422 und VLA 1623-2417), anhond von Moleküln die woams und koids Gas im Zentrum von aner Protosternwoikn nochzeichnen, untasuacht. Beide von den Quön san a schon in Kapitl 2 und 3 analysiert worn, und san a sehr hella Doppiprotostean und a dunklara Dreifochstern, und san beide diaf eingebettet in ihr Materiewoikn in  $\rho$  Ophiuchus. Es is erkennboa dass VLA 1623-2417 A a rotierade Scheibn hod (siehe Kapitl 2), wohingegn IRAS 16293-2422 A a große, floche scheinnoatige Struktur mit Radius 200 AU hod. Bei di ondan Quön die beobocht worns san, san kane Scheibn oda scheinnoatige Strukturn sichtboa.  $DCO^+$ ,  $N_2H^+$  und  $N_2D^+$  büdn si unter 20 K und zeichnen daduach koids Gas noch, wohingegn  $c-C_3H_2$  and  $C_2H$  si zwischen 50 und 100 K oda unta UV-bestrohlung büdt, und damit woams Gas guad nochzeichnen. Die koidn Moleküle san dabei in beide Systeme enlong die scheinnoatign Strukturn noh an a Quön festgstöd woan, aowa ned in ondera Richtungen. Woascheinlich aufgrund von da geringen Helligkeit und da sehr niedrigen Temperatur unterhoib von 10 K afgrund vom Schottn von da Scheibn von VLA 1623-2417, hod ma ka  $N_2H^+$  or  $N_2D^+$  gfundn, sondern nur des woame Molekül  $c-C_3H_2$ , was den Materialabfluss guad nochzeichnd.  $c-C_3H_2$  und  $C_2H$  zeichnen beide die söwe Regionen noch, was a bei VLA 1623-2417 nachgwiesen is, owa bei IRAS 16293-2422 ned verfizierboa woa. Insgesamt is hier vor ollem interessant, dass die Multiplizität von diese Systeme kan signifikantn Einfluss auf den kemischn Aufbau hod, und des soit in da Zukunft no genaua erfoascht wern.

In Kapitl 5 schau ma uns o, ob olla Stern in an Mehrfochsystem si zur gleichen Zeid büdn, indem ma uns Protostane oschau die no in ihr Woikn aibet san, denn bei denan

is da Umgebungszuastond no recht ähnlich wie zur Sternentstehung. Weidaentwickelde Steansysteme hom si dagegen scho vü steaka vaendat, was die Oitasbestimmung donn owa a wieder sehr schwea oda goa unmöglich mocht. Ondaraseits wiad die Entwicklungsstufn von an Protostern, gewissamoßn sei Oita, durch sei Helligkeit auf diverse Wönlengen bestimmt, die Spektralenergievateilung (SED). In da Entwicklungsstufn wo a Protostern no in sei Woikn einbettet is, schein er wegn sein Stauffkokon hauptsächlich auf längere Wönlengen hell. Während da weidaren Entwicklung vaziagt si don die Woikn, die Helligkeit vom Protostern verschiabt si don longsom zu die küzan Wönlengen, und da neiche Stern fongt on maximal Hell zum wern wenn er Wossastoff zum verbrenna ofongt. Deswegen wird des Helligkeitsverhötnis von Protosterna in an System releativ zuanonda verwendet um aussazfinden ob die Stern olla gleichzeitig entstondn san oda zeitlich unabhängig. In diesm Kapitl verwendn ma dahea die SEDs von olle ois Protostern identifizierte Systeme in Perseus (in circa 750 Lichtjoah Distanz) basierend auf Archivmaterial (Literaturmaterial und photometrische Koatn vom Wödraumteleskop Herschel). Auf Grund von da beschränkt Auflösung von Herschel kenan die SEDs von Meafochsystemen nur in Einzelkomponentn aufgelöst wean, wenn die Protostean mindestens 1600 AU ausanonda san. A die Orietierung von an Protostean im Raum ko die SED beeinflussn, denn a Protostean, endlong von seim Ausfluss betrachtet, wird öda ausschaun ois aus aner ondan Perspektivn, wei des Umgebungs-material föd. Ma muas oiso nebman Aufbau und da SED a die Orientierung von an Stean analysian, wenn man bestimmen wü, ob die Komponentn von an Mehrfochsystem gleichzeitig entstondn san oda ned. In diesem Kapitl kommen ma daher zum Schluss, dass in an Drittl von die Protosteansystemen die Komponentn ned gleichzeitig entstondn san, und dass, söbst wenn a oda zwa Protosterna si scho büdt hom, si a no weidare Komponentn foamen kenan. Diese Resultate san daher sehr weatvoi und ergänzn die Theorie und von da Steanentstehung. Außerdem werfn sie die Frog auf, wöche Faktorn die Entstehung von weidare Protosteanen in existierade Systeme auslösn.

In Kapitl 6 wiad aner von die meglichn Einflussfaktoan auf Meafochsteanentstehung betrachtet: Temperatur. Gändige wissnschoftliche Modelle zagn, dass aufghazta Staub und Gas nimma zu weidara Framentierung füan, soboid da erste Protostern gformt worn is. Olladings zagt Kapitl 5, dass no ondare Faktorn die Entstehung von Mehrfochsteanen beeinflussn kenan. Um aussazfindn ob aner von die Faktoan die Temperatur is, wern deswegn in dism Kapitl Gas und Staub im Radius von 1000AU um a System betrachtet. Die Datn dazu kuman aus APEX-Einzlschlüsselbeobachtungen von Molekül die guade Temperaturmesser san, zum Beispü  $\text{DCO}^+$  und  $\text{H}_2\text{CO}$ , und soiche die von Protosteanen bestroite Regionen guad nochzeichnen, zum Beispü  $c\text{-C}_3\text{H}_2$  und  $\text{C}_2\text{H}$ . Beobachtungen von diese Moleküle san in dem Kapitl deswegn füq waschiedane Einzel- und Mehrfochprotosteansysteme in Perseus ongstöd worn, was es ermöglicht ian Entwicklungsstond und die Vahötnisse zwischen Meafoch- und Einzelsteansystemen zu vagleichn, und damit donn höfn ko aussazfindn ob Temperatur waklich a Schlüsselfaktor in da Entstehung von Mehrfochsystemen is. Duach diesn Vagleich konntn ma zagn, dass es ka direkte Vabindung zwischen Temperatur und Mehrfochheit gibt, und im Gegenteil, die anzeige Gemeinsamkeit is, dass Mehrfochsysteme üba a groß Reservoir aus koidn Gas vafügn ois Einzelssysteme. Die Ergebnisse weisn drauf hin, dass Masse und Dichte Einflussfaktorn fia Framentierung san, und damit a für die Entstehung von Meafochsteansystemen.

## Schlusswoat

Diese Dissertation leistet mehrere wichtige Beiträge zum generellen Verständnis von da Sternentstehung, die im Foigendn noamoi kurz zommfosst wern. Große Scheibn kenan si scho in am frühn Entwicklungsstdium entwickln, und sie kenan den physikalisch-kemischn Aufbau von Protosteanen beeinflussn. Des is insbesondere wichtig für den oigemeinen Sternentstehungsprozess, weils des grundlegendes Verständnis von da Entstehung von Protosterna vaändat. Zusätzlich kenan sowoi Scheibn ois a da physikalisch-kemische Aufbau die Entwicklung von Protosteannsystemen beeinflussn, wei sie Zutatn liefan die fia die Fragmentierung wichtig san. Protosterna in Mehrfochsystemen kenan sie a unobhängig vonanonda büdn, oiso ned nur zeitgleich zuanonda, wos darauf hinweist, dass in monche Fälle die Zustand im Woiknkern no weidare Fragmentierung ermeglichn. Diese Umstände henagan olladings ned mit da Temperatur zom, kuntn owa mit da Masse und da Dichte von da Woikn zomhengan.

Die Ergebnisse die in diesa Dissertation präsentiert wern stelln an Schritt voaweats im Verständnis von da Stern- und Protosternentstehung, owa zagn a dass no weidare Forschung notwendig is um die damit einhergehendn neichn Frogn zu beontwurden. Zum Beispü wärs interssant aussazfindn, ob Schlüsse aus unsere Beobachtungen von Perseus a fia ondare Regionen zuadreffn. Unsa Büd vom da Sternentstehungsprozess muss genarell ana Revision untazogn werdn, um insbesondere a die Entwicklung von Meafochsteansystemen zu erklean, weil diese die wahrscheinlichstn und hiefigstn Endprodukte in da Sternentstehung san. A unsare physikalischen und kemischn Simulationen und die dahinta Theorie soit um die Eagebnisse die ma aus astronomischn Beobachtungen ergänzt werden, um don weidare Vorhersogn treffen zkena worauf ma in Zukunft unsa wissnschoftlichs Augnmeak richtn miassn.