

Pressemitteilung

Max-Planck-Institut für Astronomie

Dr. Markus Nielbock

26.08.2020

<http://idw-online.de/de/news752943>

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Physik / Astronomie
überregional



Wie man ein Sternenbaby füttert: Gas erreicht junge Sterne entlang von Magnetfeldlinien

Astronomen haben das GRAVITY-Instrument benutzt, um die unmittelbare Umgebung eines jungen Sterns detaillierter als je zuvor zu untersuchen. Ihre Beobachtungen bestätigen eine dreißig Jahre alte Theorie über das Wachstum junger Sterne: Das Magnetfeld, welches der Stern selbst produziert, lenkt Material aus einer ihn umgebenden Akkretionsscheibe aus Gas und Staub auf seine Oberfläche. Die Ergebnisse, die heute in der Zeitschrift Nature veröffentlicht wurden, helfen den Astronomen, besser zu verstehen, wie Sterne wie unsere Sonne entstehen und wie sich aus den Scheiben, die diese Sternenbabys umgeben, erdähnliche Planeten bilden.

Wenn neue Sterne entstehen, sind sie anfangs verhältnismäßig klein und befinden sich tief im Inneren einer Gaswolke. Im Laufe der nächsten Hunderttausenden von Jahren ziehen sie immer mehr von dem umgebenden Gas auf sich und werden so immer massereicher. Mit Hilfe des Instruments GRAVITY hat jetzt eine Forschungsgruppe, der Astronomen und Ingenieure des Max-Planck-Instituts für Astronomie (MPIA) angehören, den bisher direktesten Beleg dafür gefunden, wie dieses Gas auf die jungen Sterne gelenkt wird: Es wird vom Magnetfeld des Sterns in einer schmalen Säule auf die Oberfläche geleitet.

Die relevanten Größenskalen sind so klein, dass Astronomen selbst mit den derzeit besten verfügbaren Teleskopen keine detaillierten Abbildungen des Prozesses erzeugen können. Dennoch vermögen die Astronomen mit der neuesten Beobachtungstechnik zumindest einige wichtige Informationen darüber zu gewinnen. Für eine neue Studie nutzten die Forscher das außerordentlich hohe Auflösungsvermögen eines Instruments namens GRAVITY. Es kombiniert die vier 8-Meter-VLT-Teleskope der Europäischen Südsternwarte (ESO) am Paranal-Observatorium in Chile zu einem virtuellen Teleskop, das kleine Details ebenso gut unterscheiden kann wie ein Teleskop mit einem 100-Meter-Spiegel.

Mit Hilfe von GRAVITY konnten die Forscher den inneren Teil der Gasscheibe beobachten, die den Stern TW Hydrae umgibt. „Dieser Stern ist etwas Besonderes, weil er sehr nahe an der Erde in nur 196 Lichtjahren Entfernung liegt und die den Stern umgebende Materiescheibe uns direkt zugewandt ist“, sagt Rebeca García López (Max-Planck-Institut für Astronomie, Dublin Institute for Advanced Studies und University College Dublin), Hauptautorin und Leiterin dieser Studie. „Das macht ihn zum idealen Kandidaten, um zu untersuchen, wie Materie von einer Planeten bildenden Scheibe auf die Sternoberfläche geleitet wird.“

Die Messung erlaubte es den Forschern zu zeigen, dass die vom Gesamtsystem ausgesandte Nahinfrarot-Emission tatsächlich in der innersten Region entsteht, wo Wasserstoffgas auf die Oberfläche des Sterns fällt. Die Ergebnisse deuten klar auf einen Prozess hin, der als magnetosphärische Akkretion bezeichnet wird, nämlich auf einfallende Materie, die durch das Magnetfeld des Sterns auf die Oberfläche geleitet wird.

Sterngeburt und Sternwachstum

Ein Stern wird geboren, wenn ein dichter Teilbereich einer Wolke aus molekularem Gas unter der eigenen Schwerkraft kollabiert, dabei wesentlich dichter wird und sich erwärmt, bis schließlich Dichte und Temperatur in dem entstehenden Protostern so hoch sind, dass die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium beginnt. Protosterne bis etwa zur zweifachen Masse der Sonne befinden sich während der etwa zehn Millionen Jahre unmittelbar vor der Zündung der Proton-Proton-Kernfusion in der sogenannten T-Tauri-Phase (benannt nach dem ersten beobachteten Stern dieser Art, T Tauri im Sternbild Stier).

Sterne in dieser Phase ihrer Entwicklung, so genannte T-Tauri-Sterne, leuchten insbesondere im Infrarotlicht ausnehmend hell. Diese so genannten „jungen stellaren Objekte“ („young stellar objects“, YSOs) haben ihre endgültige Masse noch nicht erreicht: Sie sind umgeben von den Überresten der Wolke, aus der sie geboren wurden, insbesondere von Gas, das sich zu einer zirkumstellaren Scheibe um den Stern zusammengezogen hat. In den äußeren Regionen dieser Scheibe verklumpen Staub und Gas und bilden immer größere Körper, die schließlich zu Planeten werden. Große Mengen von Gas und Staub aus der inneren Scheibenregion werden dagegen auf den Stern gezogen und lassen dessen Masse weiter anwachsen. Zusätzlich treibt die intensive Strahlung des Sterns einen beträchtlichen Teil des Gases als Sternwind nach außen.

Das Magnetfeld sagt, wo es langgeht

Man könnte denken, dass es einfach wäre, Gas oder Staub auf die Oberfläche eines massereichen Körpers mit entsprechend starker Anziehungskraft zu bekommen. Bei genauerer Betrachtung erweist sich das aber als Trugschluss. Die sogenannte Drehimpulserhaltung sorgt dafür, dass es für jedes Objekt – ob Planet oder Gaswolke – viel natürlicher ist, eine Masse zu umkreisen, als direkt auf ihre Oberfläche zu fallen. Prozesse innerhalb der so genannten Akkretionsscheibe, in der das Gas die zentrale Masse umkreist, sorgen dafür, dass trotzdem einiges an Materie die Oberfläche erreicht. In der Scheibe wirkt eine starke innere Reibung, die es immer wieder einem Teil des Gases erlaubt, seinen Drehimpuls auf andere Teile des Gases zu übertragen und sich damit weiter nach innen zu bewegen. Bei einem Abstand vom Stern von weniger als dem 10-fachen Sternradius wird es dann allerdings noch einmal schwierig. Diese letzte Distanz zu überwinden, ist alles andere als einfach.

Vor dreißig Jahren hat Max Camenzind an der Landessternwarte Königstuhl (die inzwischen Teil der Universität Heidelberg ist) eine Lösung vorgeschlagen. Sterne haben ein Magnetfeld. Das Magnetfeld unserer Sonne zum Beispiel beschleunigt immer wieder elektrisch geladene Teilchen in unsere Richtung, was zu dem Phänomen der Polarlichter führt. Bei der so genannten magnetosphärischen Akkretion leiten die Magnetfelder des jungen Sterns Gas in säulenartigen Strömungen vom inneren Rand der zirkumstellaren Scheibe an die Sternoberfläche. Sie helfen dem Gas dabei, Drehimpuls zu verlieren, so dass das Gas auf den Stern strömen kann.

Im einfachsten Fall ähnelt das Magnetfeld dem der Erde. Gas vom inneren Rand der Scheibe würde zum magnetischen Nord- und zum magnetischen Südpol des Sterns gelenkt.

Magnetosphärische Akkretion auf dem Prüfstand

Ein Modell zu entwickeln, das physikalische Vorgänge erklärt, ist eine Sache. Wichtig ist jedoch, dieses Modell anhand von Beobachtungen testen zu können. Aber die Längenskalen, um die es hier geht, liegen in der Größenordnung von Sternradien, was im Vergleich zu anderen astronomischen Skalen sehr klein ist. Bis vor kurzem waren solche Längenskalen selbst für die nächstgelegenen jungen Sterne zu winzig, als dass die Astronomen ein Bild mit allen relevanten Details hätten aufnehmen können.

Einen ersten Hinweis darauf, dass in solchen Situationen tatsächlich magnetosphärische Akkretion eine Rolle spielt, ergaben Untersuchungen der Spektren einiger T-Tauri-Sterne. Spektren von Gaswolken enthalten Informationen über die Bewegung des Gases. Bei einigen T-Tauri-Sternen zeigten die Spektren Scheibenmaterial, das mit Geschwindigkeiten von bis zu mehreren hundert Kilometern pro Sekunde auf die Sternoberfläche fiel, und lieferten

damit einen indirekten Beleg für das Vorhandensein von Akkretionsströmen entlang der Magnetfeldlinien.

In einigen wenigen Fällen konnte auch die Stärke des Magnetfelds in der Nähe eines T-Tauri-Sterns gemessen werden. Dazu nutzte man eine Kombination aus hochauflösenden Spektren und Polarimetrie, also einem Verfahren, das die Orientierung der elektromagnetischen Wellen erfasst, die wir von einem Objekt empfangen.

Seit kurzem sind neue astronomische Instrumente verfügbar, deren Auflösungsvermögen so hoch ist, dass sie in der Lage sind, solche Details zu erkennen und zu studieren. Sie ermöglichen nun direkte Beobachtungen, die Erkenntnisse über die magnetosphärische Akkretion liefern.

Eine Schlüsselrolle spielt dabei das Instrument GRAVITY. Es wurde unter der Leitung des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik von einem Konsortium entwickelt, zu dem auch das Max-Planck-Institut für Astronomie gehört. GRAVITY, das seit 2016 in Betrieb ist, vereinigt das Licht der vier 8-Meter-Teleskope des VLT, die sich am Paranal-Observatorium der ESO befinden. Das Instrument verwendet eine spezielle Technik, die als Interferometrie bezeichnet wird. Im Ergebnis kann GRAVITY so kleine Details unterscheiden, als würden die Beobachtungen mit einem einzigen Teleskop mit einem 100-Meter-Spiegel gemacht.

Hinweise auf magnetisch geleiteten Gasfluss

Im Sommer 2019 verwendete ein Team von Astronomen unter der Leitung von Jerome Bouvier von der Universität Grenoble Alpes GRAVITY, um die inneren Regionen des T-Tauri-Sterns mit der Bezeichnung DoAr 44 zu untersuchen. DoAr 44 bezeichnet den 44. T-Tauri-Stern in einer nahegelegenen Sternentstehungsregion im Sternbild Ophiuchus, der in den späten 1950er Jahren von der georgischen Astronomin Madona Dolidze und dem armenischen Astronomen Marat Arakelyan katalogisiert wurde. DoAr 44 strahlt beträchtliches Licht mit einer Wellenlänge aus, die für hoch angeregten Wasserstoff charakteristisch ist. Die energiereiche ultraviolette Strahlung des Sterns ionisiert Wasserstoffatome in der Akkretionsscheibe, die den Stern umgibt. Das Magnetfeld beeinflusst daraufhin die elektrisch geladenen Wasserstoffkerne (jeweils ein einzelnes Proton). Die Einzelheiten der physikalischen Prozesse, die das Wasserstoffgas aufheizen, während es sich entlang des Akkretionsstroms in Richtung des Sterns bewegt, sind noch nicht verstanden. Dass es zu einer Aufheizung kommt, zeigen die stark verbreiterten Spektrallinien.

Bei diesen GRAVITY-Beobachtungen war die Winkelauflösung ausreichend hoch, um zu zeigen, dass das Licht nicht in der zirkumstellaren Scheibe, sondern näher an der Sternoberfläche erzeugt wurde. Außerdem war die Quelle des beobachteten Lichts relativ zum Mittelpunkt des Sterns leicht verschoben. Beide Eigenschaften passen zu Licht, das in der Nähe eines Endes des von Magnetfeldlinien geleiteten Stromes emittiert wird, also dort, wo das einfallende Wasserstoffgas mit der Oberfläche des Sterns kollidiert. Diese Ergebnisse wurden bereits in einem Artikel in der Zeitschrift *Astronomy & Astrophysics* veröffentlicht.

Die neuen Ergebnisse, die jetzt in der Zeitschrift *Nature* erscheinen, gehen noch einen Schritt weiter. Sie basieren auf GRAVITY-Beobachtungen des T-Tauri-Sterns TW Hydrae, eines jungen Sterns im Sternbild Hydra. Er dürfte inzwischen das am besten untersuchte System dieser Art sein.

Zu klein, um Teil der Scheibe zu sein

Mit diesen Beobachtungen haben Rebeca García López und ihre Kollegen die Grenzen noch weiter nach innen verschoben. GRAVITY detektierte Spektrallinien, die mit hoch angeregtem Wasserstoff assoziiert sind (Brackett- γ , Br γ). Das Instrument konnte außerdem nachweisen, dass dieses Licht aus einer Region stammt, deren Durchmesser nicht größer als der 3,5-fachen Radius des beobachteten Sterns ist (rund 3 Millionen km, entsprechend der 8-fachen Entfernung zwischen Erde und Mond).

Diese Beobachtung ist äußerst aufschlussreich. Denn nach allem, was wir aus physikalischen Modellierungen solcher zirkumstellaren Scheiben wissen, können ihre inneren Ränder unmöglich so nahe an den Stern heranreichen. Erreicht uns Licht aus einer derart sternnahen Region, dann stammt es nicht aus der Scheibe. Auch auf einen Sternwind kann es bei dieser Entfernung nicht zurückzuführen sein, der von dem jungen stellaren Objekt weggeweht wird. Übrig bleibt als plausible Erklärung einzig das Modell der magnetosphärischen Akkretion.

Wie geht es weiter?

Aus zukünftigen Beobachtungen, wiederum mit GRAVITY, erhoffen sich die Forscher Daten, die eine detailliertere Rekonstruktion der physikalischen Prozesse in der Nähe des Sterns ermöglichen. „Dazu sollen Beobachtungen gehören, bei denen verfolgt wird, wie sich der Auftreffpunkt des Gases auf die Sternoberfläche mit der Zeit verschiebt“, erklärt Wolfgang Brandner, Co-Autor und Wissenschaftler am MPIA. „Wir erhoffen uns darüber Hinweise darauf, wie weit die Magnetpole des Sterns gegenüber der Rotationsachse verschoben sind.“ Lagen Nord- und Südpol direkt auf der Rotationsachse, würde sich ihre Position im Laufe der Zeit überhaupt nicht verändern.

Die Forscher versprechen sich außerdem Erkenntnisse darüber, ob das Magnetfeld des Sterns wirklich so einfach ist wie eine bloße Nordpol-Südpol-Konfiguration. „Magnetfelder können deutlich komplizierter sein und zusätzlichen Pole aufweisen“ erläutert Thomas Henning, Direktor am MPIA. „Die Felder können sich zudem mit der Zeit verändern, was Teil einer vermuteten Erklärung für die Helligkeitsschwankungen von T-Tauri-Sternen ist.“

Alles in allem ist dies ein Beispiel dafür, wie Beobachtungstechniken den Fortschritt in der Astronomie vorantreiben können. In diesem Fall konnten die neuen Beobachtungstechniken, auf denen GRAVITY basiert, Vermutungen zum Wachstum junger stellarer Objekte bestätigen, die bereits vor 30 Jahren formuliert wurden. Und künftige Beobachtungen werden uns helfen, sogar noch besser zu verstehen, wie Babysterne gefüttert werden.

Hintergrundinformationen

Die beteiligten MPIA-Forscher sind Rebeca García López (auch Dublin Institute for Advanced Studies [DIAS] und University College Dublin), Alessio Caratti o Garatti (auch DIAS), Lucia Klarmann, Joel Sanchez-Bermudez, Wolfgang Brandner, Thomas Henning, Stefan Hippler und Silvia Scheithauer im Rahmen der GRAVITY-Kollaboration.

Pressekontakte

Markus Pössel
Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Astronomie
Heidelberg
Tel.: +49 6221 528-261
E-Mail: pr@mpia.de

Markus Nielbock
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Astronomie
Heidelberg
Tel.: +49 6221 528-134
Mobil: +49 15678 747326
E-Mail: pr@mpia.de

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Rebeca García López
Max-Planck-Institut für Astronomie
Königstuhl 17
69117 Heidelberg
Deutschland
und
University College Dublin
Belfield
Dublin 4
Irland
Tel.: +353 1 716 2223
E-Mail: rebeca.garcialopez@ucd.ie

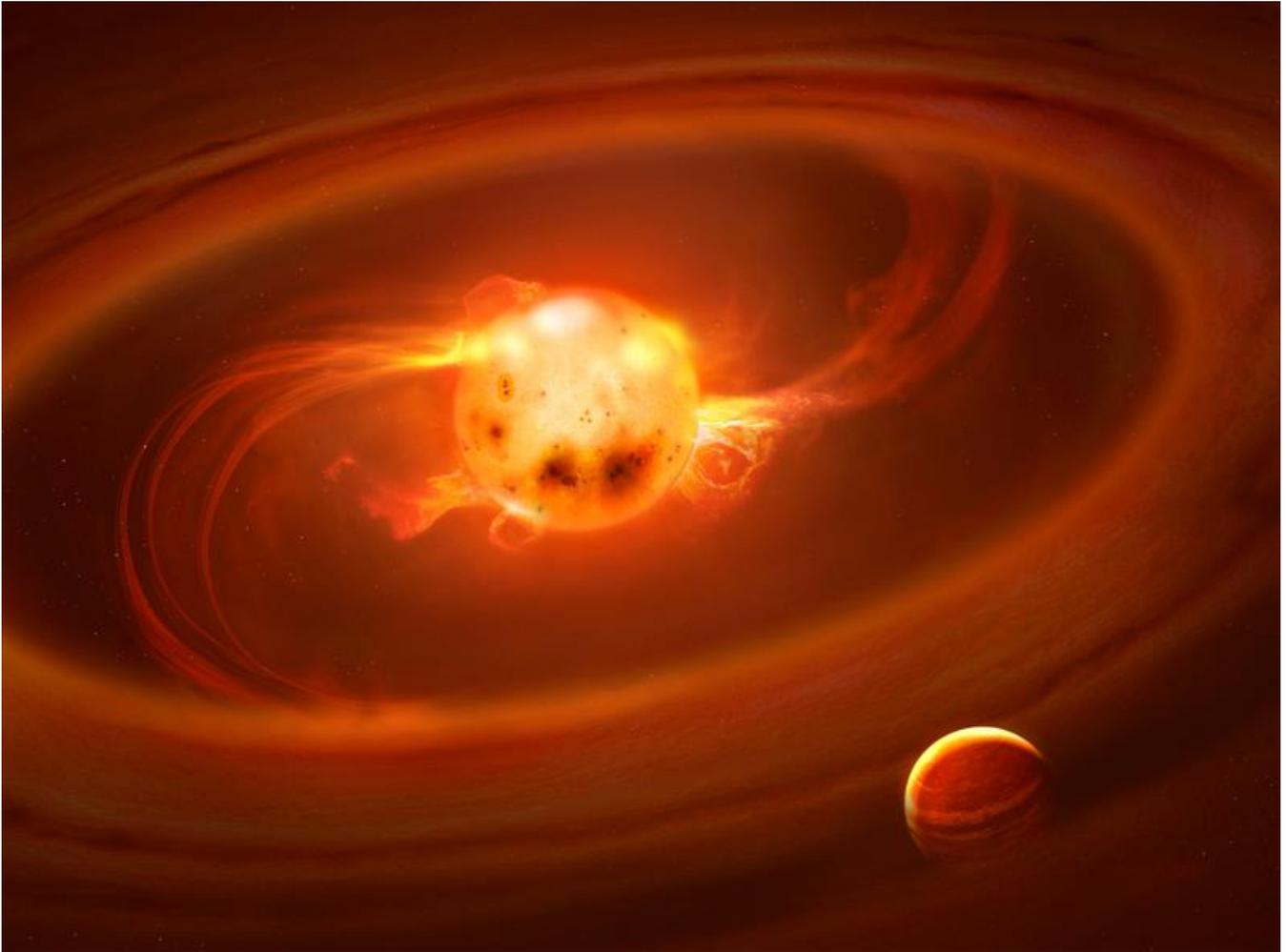
Wolfgang Brandner
Max-Planck-Institut für Astronomie
Königstuhl 17
69117 Heidelberg
Deutschland
Tel.: +49 6221 528-289
E-Mail: brandner@mpia.de

Originalpublikation:

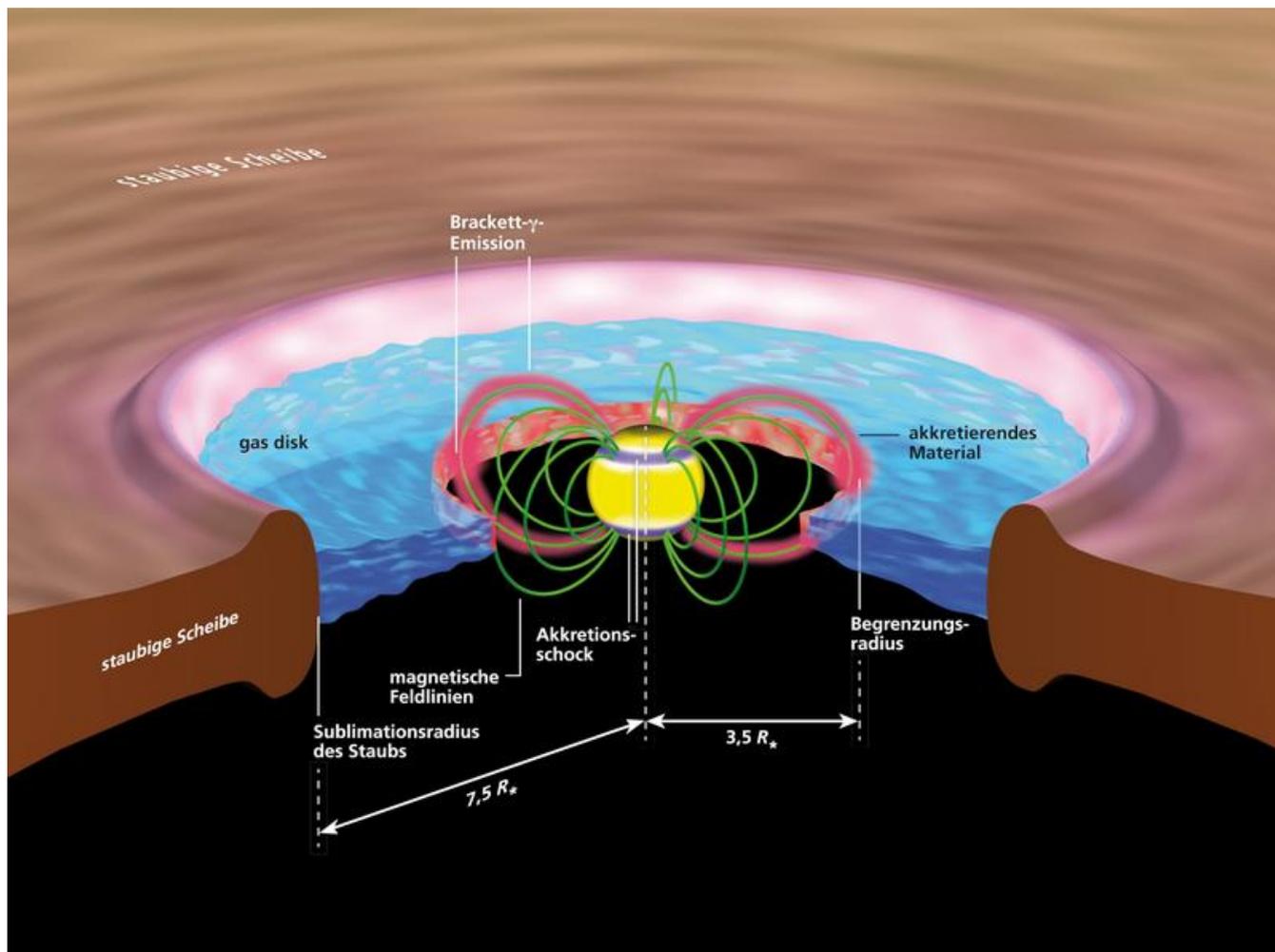
"A measure of the size of the magnetospheric accretion region in TW Hydrae", GRAVITY Collaboration: R: Garcia Lopez et al., Nature (2020), DOI: 10.1038/s41586-020-2613-1 (Eine Vorabversion des Artikels kann auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.)

"Probing the magnetospheric accretion region of the young pre-transitional disk system DoAr 44 using VLTI/GRAVITY", J. Bouvier et al., Astronomy & Astrophysics, 636, A108 (2020), DOI: 10.1051/0004-6361/202037611, <https://www.aanda.org/articles/aa/abs/2020/04/aa37611-20/aa37611-20.html>

URL zur Pressemitteilung: <https://www.mpia.de/aktuelles/wissenschaft/2020-10-magnetische-akkretion> - Originalpressemittteilung des MPIA mit weiteren Bildern und Links



Künstlerische Darstellung der heißen Gasströme, mit deren Hilfe junge Sterne wachsen.
Bild: A. Mark Garlick



Schematische Darstellung des Prozesses der magnetosphärischen Akkretion von Material auf einen jungen Stern.
Bild: MPIA Graphikabteilung