

DAS UNIVERSUM IN NEUEM LICHT

TEXT: HELMUT HORNING

64

Ein halbes Jahr nach dem Start hat das James-Webb-Teleskop erste Bilder geliefert. Sie zeigen faszinierende Einblicke in ferne Galaxien ebenso wie turbulente Szenarien von Geburt und Tod der Sterne. Zudem hat die Weltraumsternwarte Spektren von Exoplaneten aufgenommen. Das Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg war am Bau der Instrumente beteiligt.

„Das alles sieht fantastisch aus und übertrifft sogar noch unsere hohen Erwartungen“, sagt Oliver Krause. Voller Spannung hatten der Wissenschaftler und sein Team am Heidelberger Max-Planck-Institut der Veröffentlichung von Bildern und Daten am 12. Juli entgegengefiebert. Die Astronominen und Astronomen mussten lange auf diesen Augenblick warten – ursprünglich hätte das Teleskop 2007 ins All abheben sollen; und auch in den Folgejahren war es immer wieder zu Verzögerungen gekommen.

Als das rund zehn Milliarden Dollar teure Observatorium am 25. Dezember 2021 an Bord einer europäischen Trägerrakete Ariane 5 endlich seine Reise begann, hätte in den sechs Monaten bis zu den ersten erfolgreichen Beobachtungen im Sommer sehr viel schiefgehen können: Nicht weniger als 344 entscheidende Fehlerquellen hatten die Experten vor Beginn der Mission identifiziert. „Single point failures“ nennt sie Oliver Krause. Jeder dieser Fehler hätte das Projekt, an dem die amerikanische, die europäische und die kanadische Weltraumagentur beteiligt sind, gefährdet oder sogar zum Scheitern gebracht.

In der Tat war der Weg vom Start bis zum einsatzfertigen Teleskop äußerst komplex. „James Webb“ war praktisch als Baukasten ins Weltall geschickt worden. Die beiden wichtigsten Strukturen sollten sich buchstäblich erst entfalten: der fünfblättrige Son-

nenschutzschild von der Größe eines Tennisplatzes und der aus 18 Waben bestehende Hauptspiegel, der einen Durchmesser von sechseinhalb Metern aufweist.

Beim Entpacken mussten sich die Ingenieurinnen und Techniker darauf verlassen, dass alle mechanischen Prozesse perfekt und fehlerfrei abliefen. So kamen etwa beim Sonnenschutzschild 107 Bolzen und Federn zum Einsatz, und die sechseckigen Berylliumsegmente des Hauptspiegels wurden durch insgesamt mehr als einhundert kleine Motoren auf den Bruchteil eines Millimeters genau in die richtigen Positionen geschoben. Hätte sich ein Teil verhakt, hätte niemand direkt eingreifen können.

Während rund drei Monaten im Frühjahr 2022 kühlte das 21 Meter lange Teleskop allmählich auf die Betriebstemperatur von minus 230 Grad Cel-





High five: Stephans Quintett besteht aus fünf Galaxien, von denen einige miteinander wechselwirken. Nicht zur rund 290 Millionen Lichtjahre entfernten Gruppe gehört eines der Milchstraßensysteme in der Mitte des Bildes; es wurde vom Entdecker Édouard Stephan ursprünglich dazugerechnet, liegt jedoch im Vordergrund.



FOTO: NASA/DESIREE STOVER

66

sus ab. Seine vier wissenschaftlichen Instrumente lieben es sogar noch ein Stück kälter – bis zu 267 Grad Celsius unter null. Zudem wurde die Sternwarte behutsam an ihren Beobachtungsposten bugsirt, den Lagrange-Punkt 2. „Dieser Ort ermöglicht es, Sonne, Erde und Teleskop wie auf einer Perlenschnur aufgereiht zu positionieren und so James Webb immer im Schatten des Schutzschildes ins All blicken zu lassen“, erläutert Oliver Krause.

Das Weltraumobservatorium steht aber nicht fest an jenem eineinhalb Millionen Kilometer von der Erde entfernten Lagrange-Punkt 2 – insgesamt fünf solcher Punkte gibt es, in denen sich die Gravitationskräfte von Himmelskörpern gleichsam die Waage halten –, sondern umläuft diesen auf einer Bahn, deren Durchmesser größer ist als der Abstand zwischen Erde und Mond. Ein halbes Jahr dauert ein solcher Reigen jeweils, wobei die Steurdüsen des Teleskops per-

manent für eine präzise Choreografie sorgen müssen.

Bevor die ersten Bilder und Daten gewonnen werden konnten, mussten zunächst die vier wissenschaftlichen Bordinstrumente in Betrieb gehen. Krause und seine Gruppe hatten die vorbereitenden Arbeiten während dieser Phase intensiv verfolgt und begleitet. So etwa steckt in einem der Instrumente mit dem Namen MIRI (Mid-Infrared Instrument) ein Filter-



Waben für das Weltall: Der Hauptspiegel des James-Webb-Teleskops besteht aus 18 sechseckigen Berylliumsegmenten und besitzt einen Durchmesser von sechseinhalb Metern. Damit mustert die Sternwarte das Universum im infraroten Licht.

scher Objekte in kleine Regenbögen zerlegen, also Spektren erzeugen. Damit deckt das Teleskop einen Wellenlängenbereich von 0,6 bis 28 Mikrometer (tausendstel Millimeter) ab.

Mikrometeoriten treffen den Spiegel

Die Tests, Daten und Probeaufnahmen im Frühsommer sahen bereits hervorragend aus. Selbst nachdem laut Auskunft der US-Raumfahrtbehörde Nasa mehrere Mikrometeoriten den Spiegel getroffen und leicht beschädigt hatten, war die Sehkraft des Teleskops nicht gemindert. James Webb spähte schließlich wie geplant in die Tiefen des Universums – und begeisterte Fachleute wie Laien gleichermaßen.

Eines der Bilder zeigt das Spektrum von WASP-96b. Dieser 1150 Lichtjahre entfernte Gasplanet ist halb so groß wie Jupiter und umläuft seinen Mutterstern einmal alle dreieinhalb Erdtage. „Man sieht, um wie viel besser die Messgenauigkeit des Teleskops ist, wenn man es mit seinen Vorgängern wie Spitzer oder Hubble vergleicht“, sagt Maria Steinrück. Die Wissenschaftlerin beschäftigt sich am Max-Planck-Institut für Astronomie mit den Atmosphären von Exoplaneten – ein Forschungsfeld, dem das Welt- raumteleskop ganz neue Impulse verleihen soll. Abteilungsdirektorin Laura Kreidberg hat gleich zwei Beobachtungsanträge erfolgreich eingereicht. Und Maria Steinrück ist überzeugt, „dass das James-Webb-Teleskop es in Zukunft ermöglichen wird, die Zusammensetzung der At-

rad, das am Max-Planck-Institut für Astronomie entwickelt und gebaut wurde. Mit MIRI durchmustert das Teleskop den Kosmos im mittleren Infrarotlicht, mit NIRCam (Near Infrared Camera) beobachtet es im nahen Infrarot. Das Quartett der Instrumente ergänzen die beiden Spektrografen NIRSpec (Near Infrared Spectrograph) sowie FGS/NIRISS (Fine Guidance Sensor/Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph), die beide das Licht kosmi-

mosphären von Exoplaneten zu bestimmen, die bisher für eine Messung zu klein oder zu kühl waren.“ Im August wurde eine zweite Beobachtung an einem Exoplaneten veröffentlicht: Das Observatorium hatte Infrarotlicht gemessen, das durch die Atmosphäre des rund 700 Lichtjahre entfernten heißen Gasriesen WASP-39b gefiltert wurde. Damit gelang Webb nicht nur die Aufzeichnung des ersten detaillierten Spektrums eines fremden Planeten im nahen Infrarotlicht, sondern auch der Nachweis von Kohlendioxid in dessen Atmosphäre.

67

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die ersten Daten und Bilder, die das James-Webb-Teleskop geliefert hat, lassen viele spannende Entdeckungen erwarten.

Das Weltraumobservatorium beobachtet eineinhalb Millionen Kilometer von der Erde entfernt.

Die vier wissenschaftlichen Bordinstrumente mustern den Kosmos im Bereich des infraroten Lichts zwischen 0,6 und 28 Mikrometern (tausendstel Millimeter).

WASP-39b besitzt nur etwa ein Viertel der Masse des Jupiters, aber einen 1,3-mal größeren Durchmesser. In der Atmosphäre des Exoplaneten herrscht eine Temperatur von ungefähr 900 Grad Celsius. Im Gegensatz zu den kühleren, kompakteren Gasriesen Jupiter und Saturn in unserem



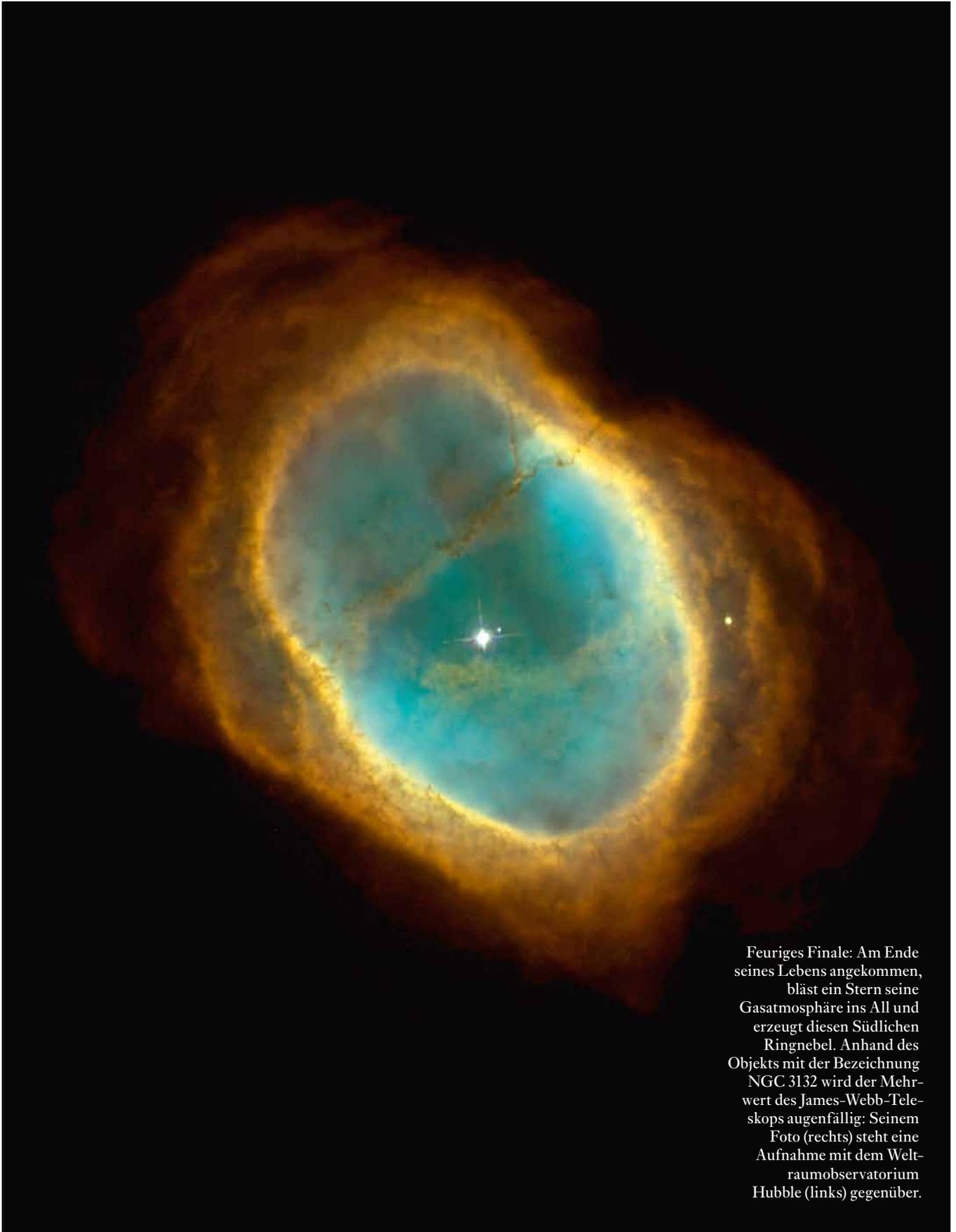


BILD: THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA/NASA)

Feuriges Finale: Am Ende seines Lebens angekommen, bläst ein Stern seine Gasatmosphäre ins All und erzeugt diesen Südlichen Ringnebel. Anhand des Objekts mit der Bezeichnung NGC 3132 wird der Mehrwert des James-Webb-Teleskops augenfällig: Seinem Foto (rechts) steht eine Aufnahme mit dem Weltraumobservatorium Hubble (links) gegenüber.

BILD: ESA / CSA / STSCI / NASA



Wiege der Sterne:
Was wie ein zerklüftetes Gebirge aussieht, ist in Wirklichkeit eine Region im etwa 7600 Lichtjahre entfernten Carinanebel, in der neue Sonnen geboren werden.



BILD: ESA / CSA / STSCI / NASA

70 Sonnensystem umkreist WASP-39b – ebenso wie WASP-96b – seinen Stern in unmittelbarer Nähe; seine Distanz beträgt nur etwa sieben Millionen Kilometer, was einem Achtel der Entfernung zwischen Sonne und Merkur entspricht. Aufgrund des geringen Abstands ist der im Jahr 2011 entdeckte Planet rasend schnell unterwegs – ein Umlauf dauert nur etwas mehr als vier Erdtage.

Von uns aus blicken wir seitlich auf die Bahn. Das heißt: WASP-39b zieht periodisch vor dem Stern vorüber und verdeckt ihn, was zu einer minimalen Verdunkelung führt. Während eines solchen Transits passiert ein kleiner Teil des Sternlichts die Atmosphäre des Planeten, die dadurch gleichsam durchleuchtet wird. Dabei registrierte das Instrument NIRSpec im aufgefächerten Licht zwischen 4,1 und 4,6 Mikrometern einen geringen Helligkeitsanstieg – damit wurde zum ersten Mal Kohlendioxid auf einem Planeten außerhalb unseres Sonnensystems klar nachgewiesen.

„Dieser Fund ist ein wichtiger Meilenstein für die Charakterisierung der

Atmosphäre von Exoplaneten“, erklärt Max-Planck-Astronomin Laura Kreidberg. „Kohlendioxid ist ein wichtiger Indikator für die Entstehungsgeschichte von Planeten. Es hilft uns, das komplette Kohlenstoff- und Sauerstoffinventar der Atmosphäre zu messen, das sehr empfindlich auf die Bedingungen in der Scheibe reagiert, in welcher der Planet entstanden ist.“ Mithilfe der CO₂-Messung können die Fachleute zum Beispiel den Entstehungsort des Planeten oder die Eigenschaften der eingebrachten Feststoffe und Gase besser eingrenzen.

Galaxiengruppe im Sternbild Pegasus

Für die Öffentlichkeit attraktiv sind vor allem Fotos astronomischer Objekte. Galaxien etwa sind das Hauptmotiv im Bild von Stephans Quintett, einem Ensemble aus fünf Milchstraßensystemen, die der französische Astronom Édouard Stephan 1877 im Sternbild Pegasus entdeckt hat. Die Fünfergruppe in 290 Millionen Lichtjahren

Distanz steht recht nah beisammen, einige der Mitglieder beeinflussen sich aufgrund ihrer Schwerkraft gegenseitig. Gas wirbelt umher, zuhauf werden neue Sterne geboren. „Das Besondere ist nicht nur die Klarheit und Schärfe der Aufnahme“, sagt Max-Planck-Forscher Krause. Auf dem Foto erscheine die Umgebung von Stephans Quintett in einer dramatischen Ansicht. „Da spiegeln sich viele astrophysikalische Prozesse wider, die sich nun in bisher unerreichter Genauigkeit untersuchen lassen.“

Vorher nicht gekanntes Detailreichtum und einzigartige Dynamik offenbaren auch die Bilder des Südlichen Ringnebels und des Carinanebels. Hier spielt das James-Webb-Teleskop seine Stärke aus, denn es beobachtet nicht – wie das berühmte Weltraumteleskop Hubble – im optischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums, sondern im für uns Menschen nicht zugänglichen Infrarotfenster. Damit sieht Webb die Welt gleichsam mit anderen Augen. Während der Südliche Ringnebel vom Tod eines Sterns kündigt, gleicht der Carinanebel einem kosmischen Kreißsaal, in dem Hun-

derte Sonnen zur Welt kommen. Beide Himmelsobjekte gehören zu unserer Milchstraße und sind 2000 beziehungsweise 7600 Lichtjahre von der Erde entfernt.

Gravitationslinse enthüllt ferne Objekte

Auch in den Tiefen des Weltraums eröffnet das Observatorium neue Dimensionen. So hat es den Galaxienhaufen SMACS J0723.3-7327 ins Visier genommen, der wie eine Gravitationslinse wirkt. Dabei fokussiert und verzerrt die Masseansammlung von Galaxien im Vordergrund das Licht der dahinterliegenden, noch viel weiter entfernten Objekte. Diese erscheinen – zum Teil mehrfach und als Bögen – wie durch eine Lupe. Vor der Beobachtung durch James Webb waren hinter der rund viereinhalb Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernten kosmischen Gravitationslinse insgesamt 19 Mehrfachbilder von sechs Hintergrundquellen bekannt. Die Daten des Teleskops enthüllten 27 zusätzliche Mehrfachbilder zehn weiterer Objekte.

„Die Aufnahmen sind absolut verblüffend und wunderschön. Sie ermöglichten es, unser Massemodell für die Gravitationslinse erheblich zu verfeinern“, sagt Gabriel Bartosch Caminha, Postdoc-Fellow am Garching Max-Planck-Institut für Astrophysik. Die

Blick in die Vergangenheit:
Mehr als 13 Milliarden Jahre war das Licht unterwegs, das einige der hier abgebildeten Galaxien ausgesendet haben. Die Striche und Bögen werden durch den Galaxienhaufen SMACS J0723.3-7327 erzeugt, der als Gravitationslinse wirkt.

Forschenden verwendeten ihr Modell, um die Distanz dieser Linsengalaxien abzuschätzen. Das Licht einiger Objekte scheint vor rund 13 Milliarden Jahren auf die Reise gegangen zu sein. Weil die Strahlung mit endlicher Geschwindigkeit (rund 300 000 Kilometer pro Sekunde) durch den Kosmos eilt, wirken Teleskope wie Zeitmaschinen: Die Beobachtung von Himmelskörpern in großer Distanz bedeutet aus diesem Grund immer auch einen Blick in die Vergangenheit. Auf diese Weise erhellt James Webb also die Frühzeit des Universums.

Die Astronominnen und Astronomen erwarten in der Kosmologie ebenso neue Erkenntnisse wie bei der Erforschung von Exoplaneten, des Werdegangs von Galaxien sowie der Entwicklung von Sternen. Wenn das James-Webb-Teleskop gesund bleibt und keinerlei technischen Defekte auftreten, könnte es bis zu zwei Jahrzehnte arbeiten – Zeit genug für jede Menge überraschende Entdeckungen.

←

GLOSSAR

EXOPLANETEN
sind Himmelskörper, die einen fernen Stern umlaufen. Bisher kennt man ungefähr 5000 solcher Objekte. Besonders interessant ist die Suche nach Exoplaneten, die der Erde ähneln.

GRAVITATIONSLENSEN
ergeben sich aus Einsteins Relativitätstheorie. Danach wird Licht einer entfernten Quelle – beispielsweise einer Galaxie – durch die Masse eines vom Betrachter aus gesehen davorliegenden Objekts, etwa eines Galaxienhaufens, wie von einer optischen Linse beeinflusst. Das Bild kann dabei verstärkt, verzerrt oder sogar vervielfältigt werden.

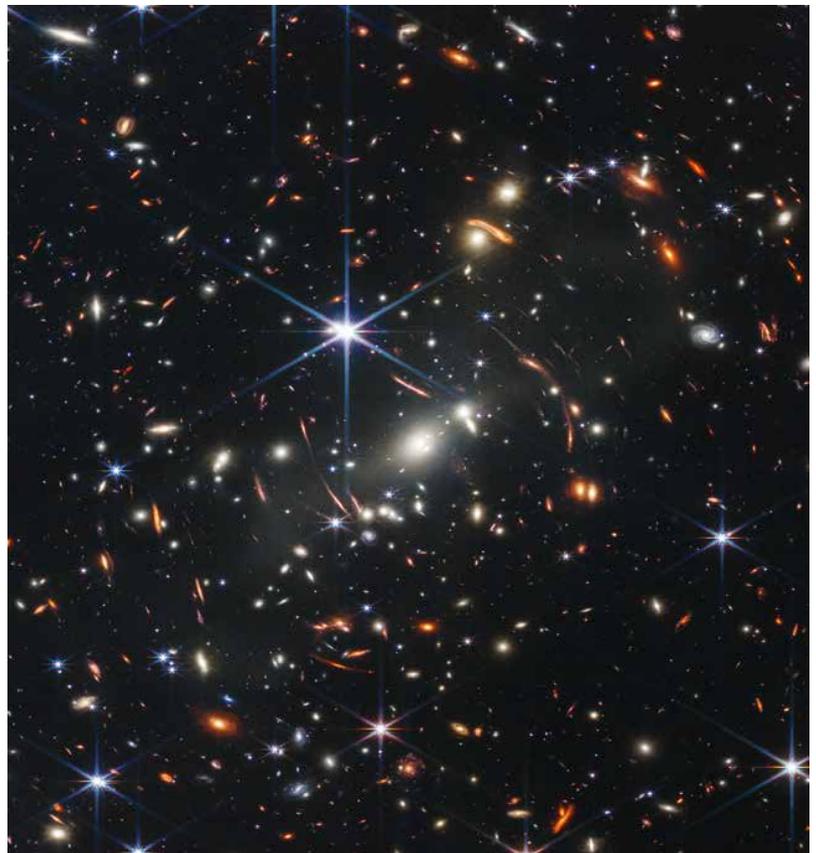


BILD: ESA / CSA / STSCI / NASA