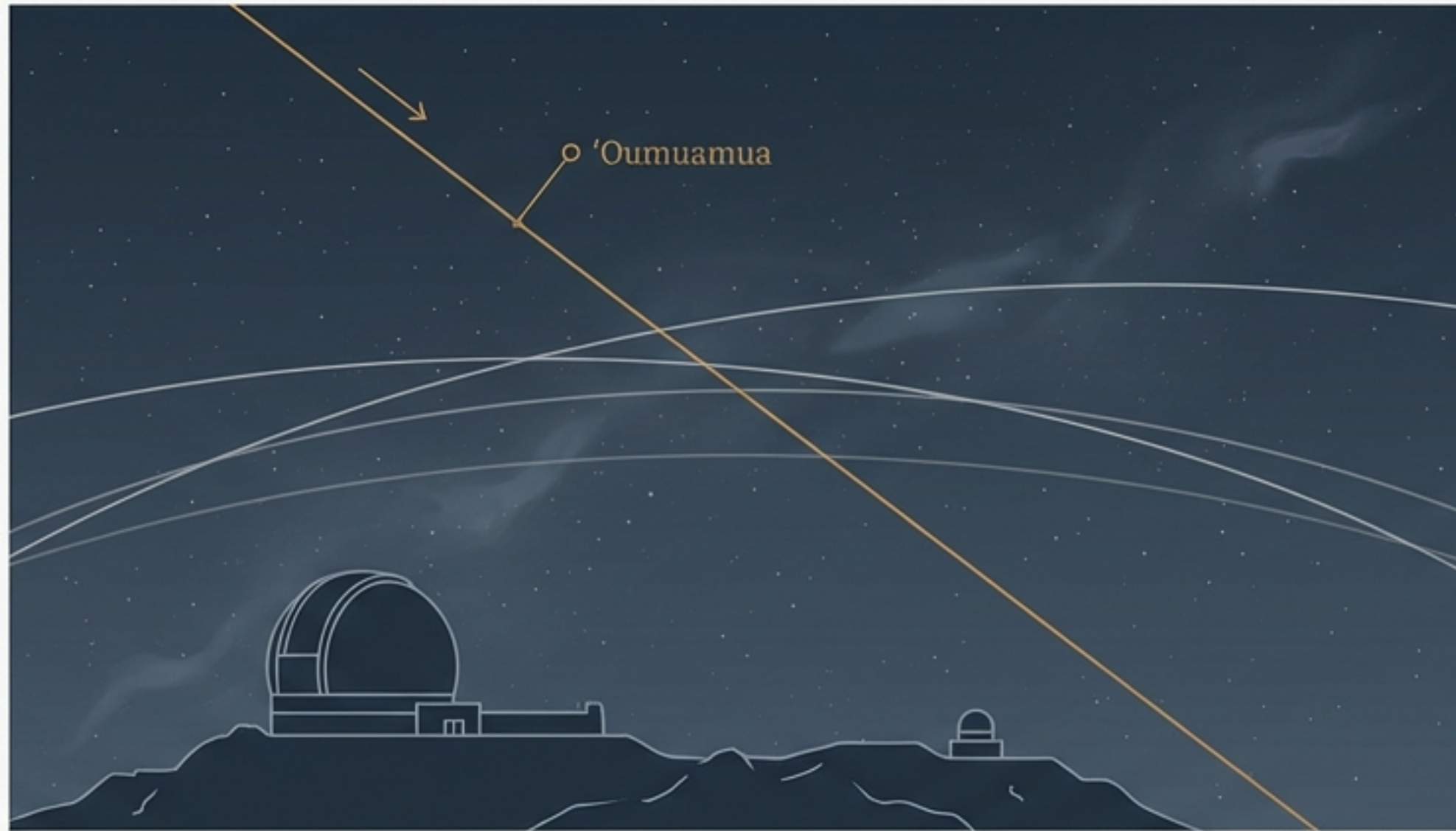




# Der Bote aus der Finsternis

Das Rätsel um 'Oumuamua, den ersten interstellaren Besucher der Menschheit.





## Ein Lichtpunkt, der sich falsch bewegt.

Am 19. Oktober 2017 erfasste das Pan-STARRS-Teleskop auf Hawaii ein Objekt, das zu schnell war, um aus unserem Sonnensystem zu stammen. Seine Bahn war keine Ellipse. Es war der erste bestätigte interstellare Besucher.

„Er kam von oben, aus einer Richtung, aus der nichts kommen sollte.“

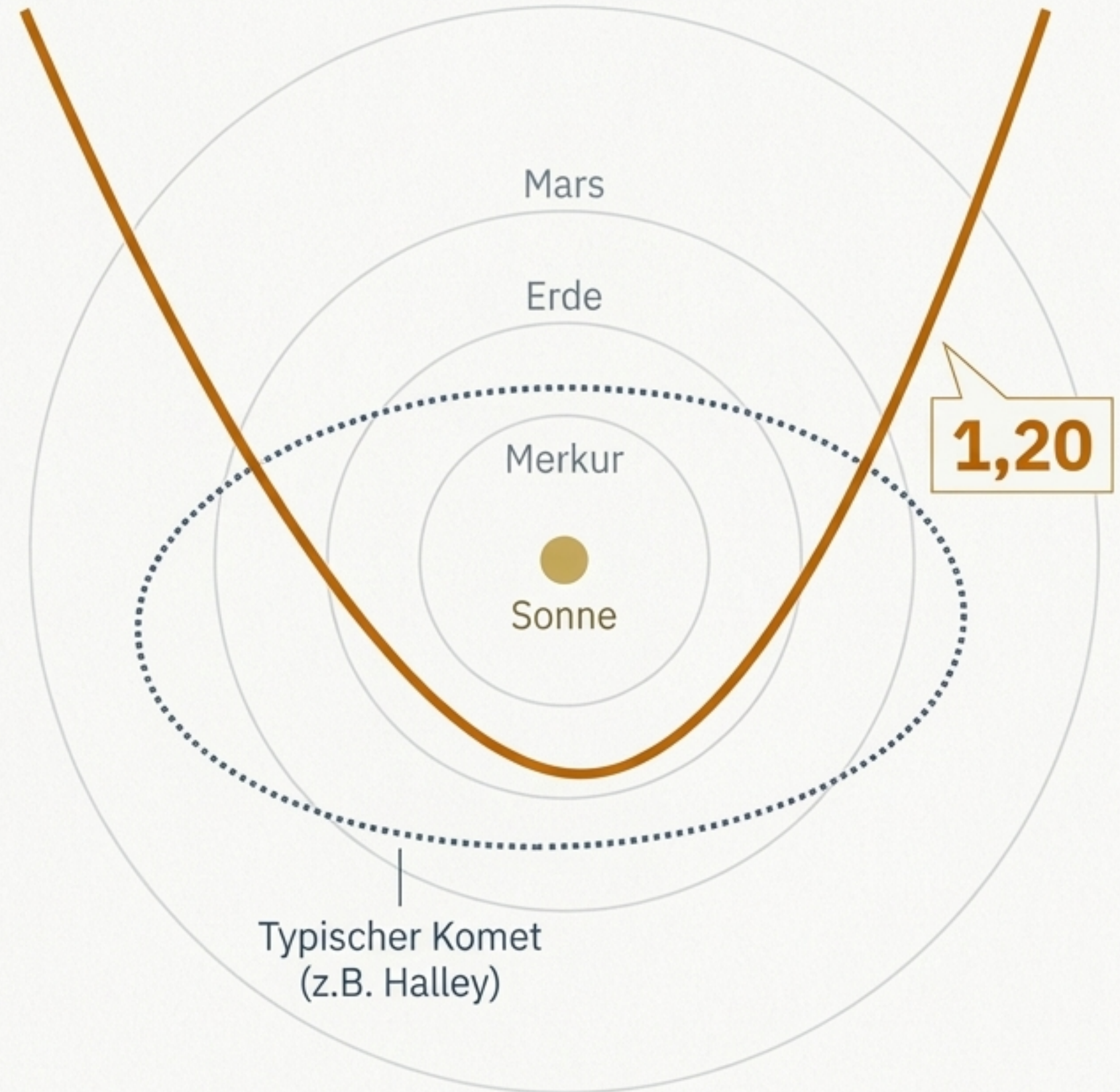


# Indiz #1: Die verräterische Bahn

Die Bahn von 'Oumuamua war eine extreme Hyperbel. Der entscheidende Wert: die Exzentrizität.

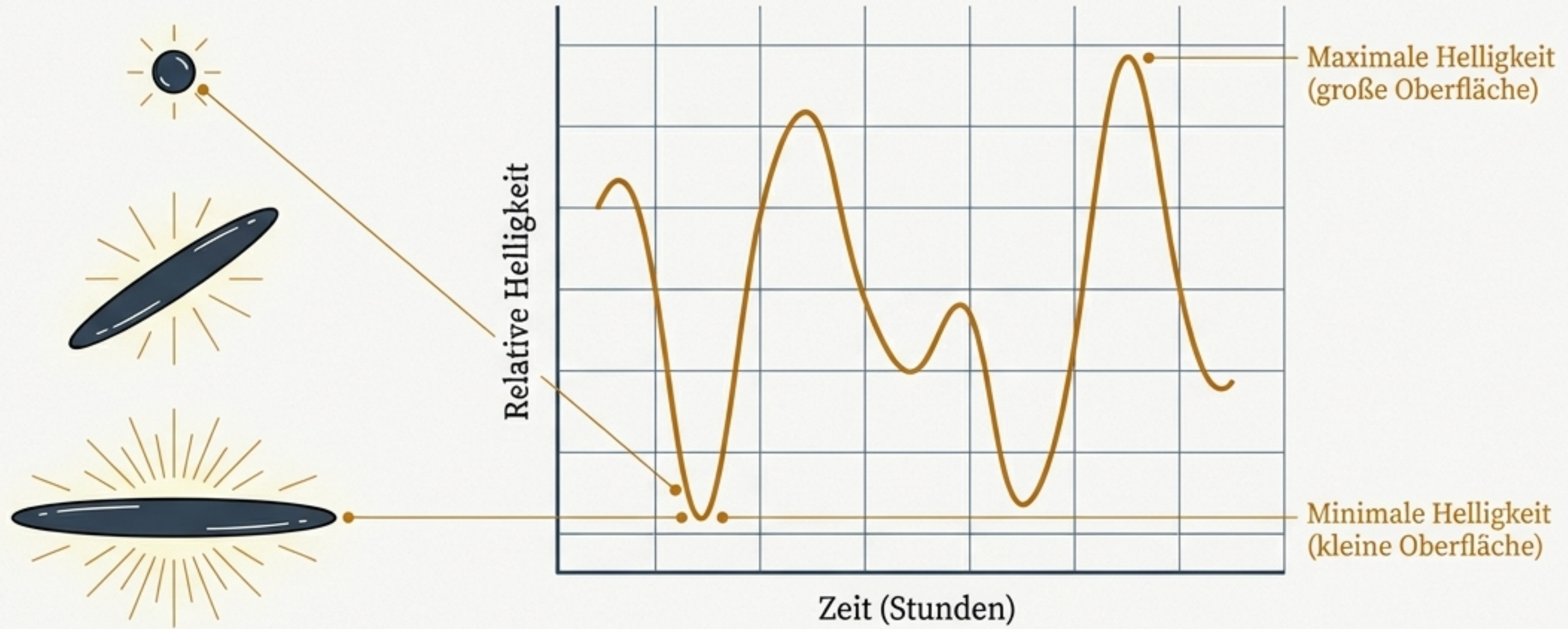
- Exzentrizität  $< 1$ : Gebundene, elliptische Bahn (Planeten, Asteroiden).
- Exzentrizität  $= 1$ : Parabel, Fluchtgeschwindigkeit.
- Exzentrizität  $> 1$ : Hyperbel, ein Besucher von außerhalb.

**'Oumuamua:** Exzentrizität von **1,20**.  
Der höchste je gemessene Wert. Der bisherige Rekord (entstanden durch einen nahen Jupiter-Vorbeiflug) war nur 1,057.





# Indiz #2: Die unmögliche Form



**Kernaussage:** Teleskope maßen eine extreme Helligkeitsschwankung. Alle 7-8 Stunden schwankte die Helligkeit um den **Faktor 10**.

**Interpretation:** Dies deutet auf ein Achsenverhältnis von mindestens 10:1 hin – zehnmal so lang wie breit (Zigarre) oder zehnmal so breit wie dick (Pfannkuchen). Kein bekannter Asteroid hat eine solch extreme Form (typisch sind 2:1 oder 3:1).

**Zusätzliche Anomalie:** Das Objekt taumelte chaotisch statt stabil um eine Achse zu rotieren.



# Das Rätsel des fehlenden Schweifs

ERWARTUNG: Ein Komet nahe der Sonne



Jeder Komet würde bei dieser Hitze (näher als Merkur) massiv ausgasen und eine **leuchtende Koma** und einen langen **Schweif** bilden.

BEOBACHTUNG: 'Oumuamua



'Oumuamua war **nackt**. Keine Koma. Kein Staub. Kein Gas. Er sah aus wie ein **Asteroid**.



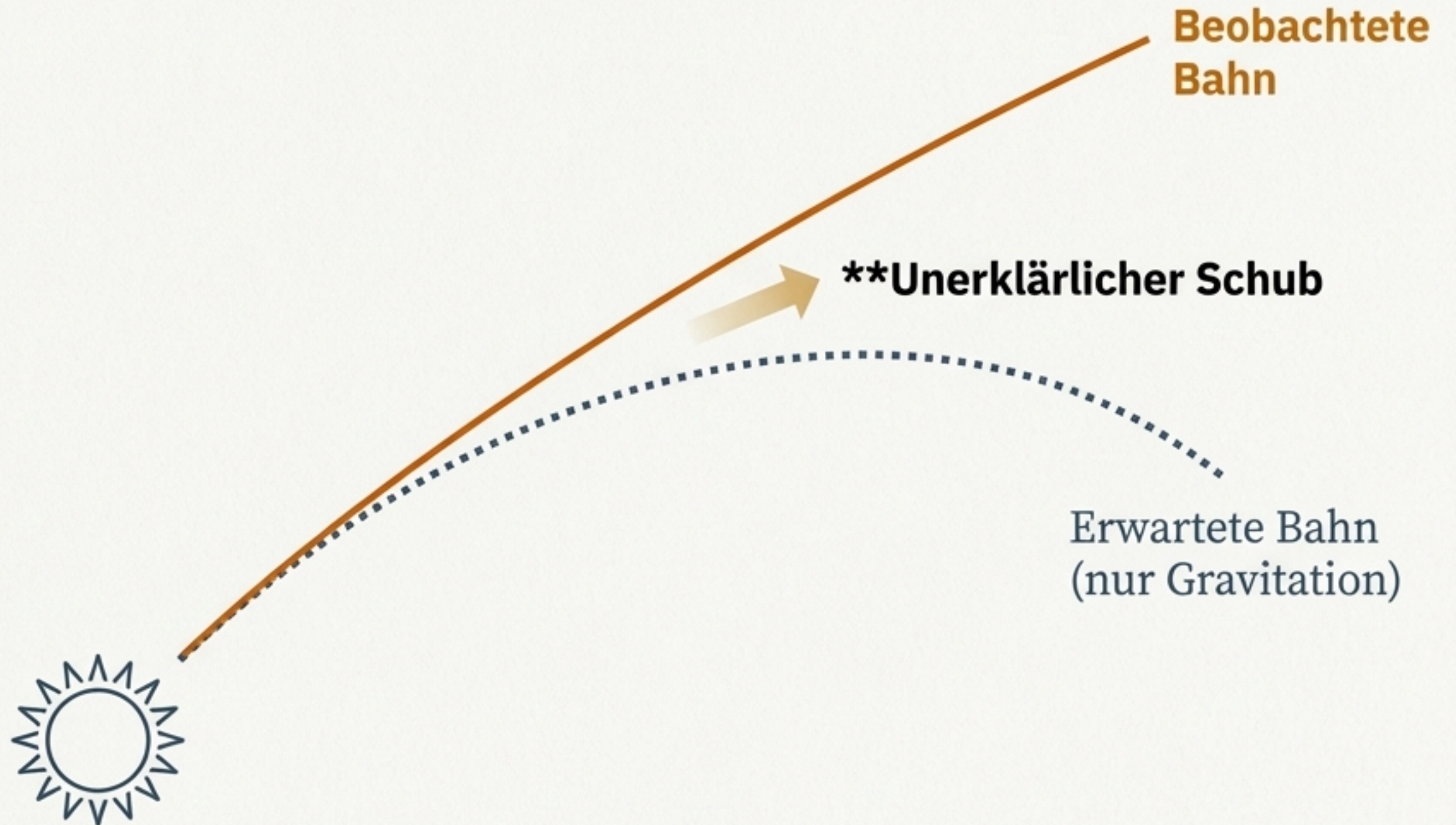
# Schneller, als die Schwerkraft erlaubt

## Die Entdeckung

Präzise Messungen, u.a. vom Hubble-Weltraumteleskop, zeigten eine winzige, aber statistisch signifikante **Abweichung** von der rein durch Gravitation berechneten Bahn.

## Der Effekt

‘Oumuamua beschleunigte leicht, als er sich von der Sonne entfernte – **ein „unsichtbarer Schub“**. Bei Kometen wird dies durch ausströmendes Gas (Raketeneffekt) erklärt. Aber hier gab es **kein sichtbares Gas**.



**Woher kam der zusätzliche Schub?**



# Die Ermittlung: Was war 'Oumuamua?

## Zusammenfassung des Falls

- **Form:** Extrem, wie ein Asteroid.
- **Verhalten:** Beschleunigt wie ein Komet.
- **Erscheinung:** Keine Koma, kein Schweif.



Ein Objekt mit widersprüchlichen Eigenschaften. Die wissenschaftliche Detektivarbeit zur Erklärung des unsichtbaren Antriebs beginnt.



# Verdächtiger #1 & #2:

## Exotisches Eis & Kosmische Flusen



### Hypothese 1: Der Wasserstoff-Eisberg

- + Sublimierender Wasserstoff wäre unsichtbar, würde aber Schub erzeugen.
- Contra: Würde die Millionen Jahre lange Reise durch den interstellaren Raum nicht überleben; die kosmische Strahlung würde ihn verdampfen lassen.



### Hypothese 2: Der kosmische Staubball

- + Ein extrem poröses Objekt („Fusselball“) wäre leicht genug, um allein vom Strahlungsdruck der Sonne beschleunigt zu werden.
- Contra: Extrem fragil; es ist unklar, ob ein solches Objekt die Gezeitenkräfte nahe der Sonne überstehen würde. Existenz unbewiesen.



# Verdächtiger #3: Ein Splitter aus Stickstoff-Eis



**Die Theorie (Desch & Jackson, 2021):** ‘Oumuamua ist ein Fragment, das bei einer Kollision von einer Pluto-ähnlichen Exoplaneten-Oberfläche abgesprengt wurde.

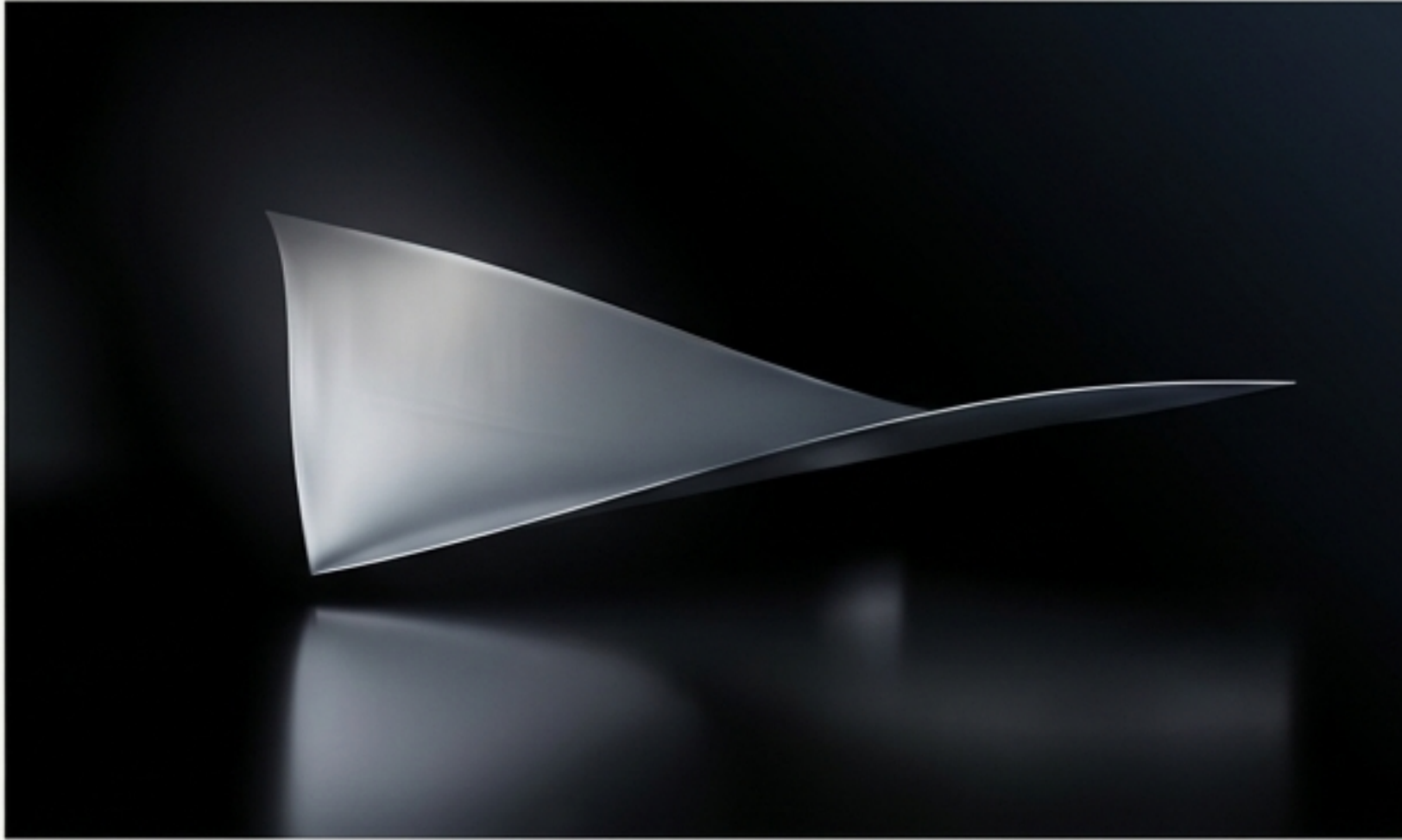
## Wie es die Rätsel löst:

- **1. Schub:** Sublimierender Stickstoff ( $N_2$ ) ist unsichtbar, erzeugt aber den nötigen Schub.
- **2. Form:** Auf dem Weg zur Sonne verliert das Objekt >95% seiner Masse. Die ungleichmäßige Verdampfung formt es zu einer dünnen Scheibe – „wie ein abgenutztes Stück Seife“.

**Fazit:** Eine plausible natürliche Erklärung, die Form, Schub und fehlende Koma vereint.



# Verdächtiger #4: Ein künstliches Artefakt



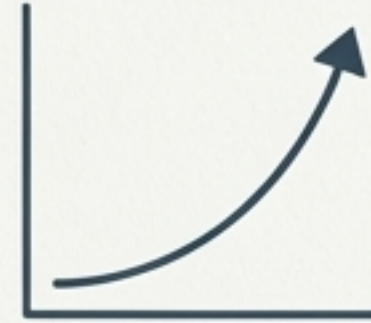
Das Argument (Avi Loeb):

Das Argument (Avi Loeb): “Die Kombination aus extremer Form, fehlender Koma und Beschleunigung ist konsistent mit einem künstlichen Objekt, z.B. einem Sonnensegel oder einer Sonde.”

## Die Gegenbeweise



Das chaotische Taumeln wäre für ein funktionales Objekt höchst ineffizient.



Die Beschleunigung war gleichmäßig, nicht wie bei einem steuerbaren Antrieb.



Die SETI-Suche fand keinerlei künstliche Signale (Sendestärke  $< 0,08$  Watt).



# Der Durchbruch: Gefangener Wasserstoff im Wassereis

## Die Idee (Bergner & Seligman, 2023):

‘Oumuamua war ein gewöhnlicher Komet aus Wassereis.

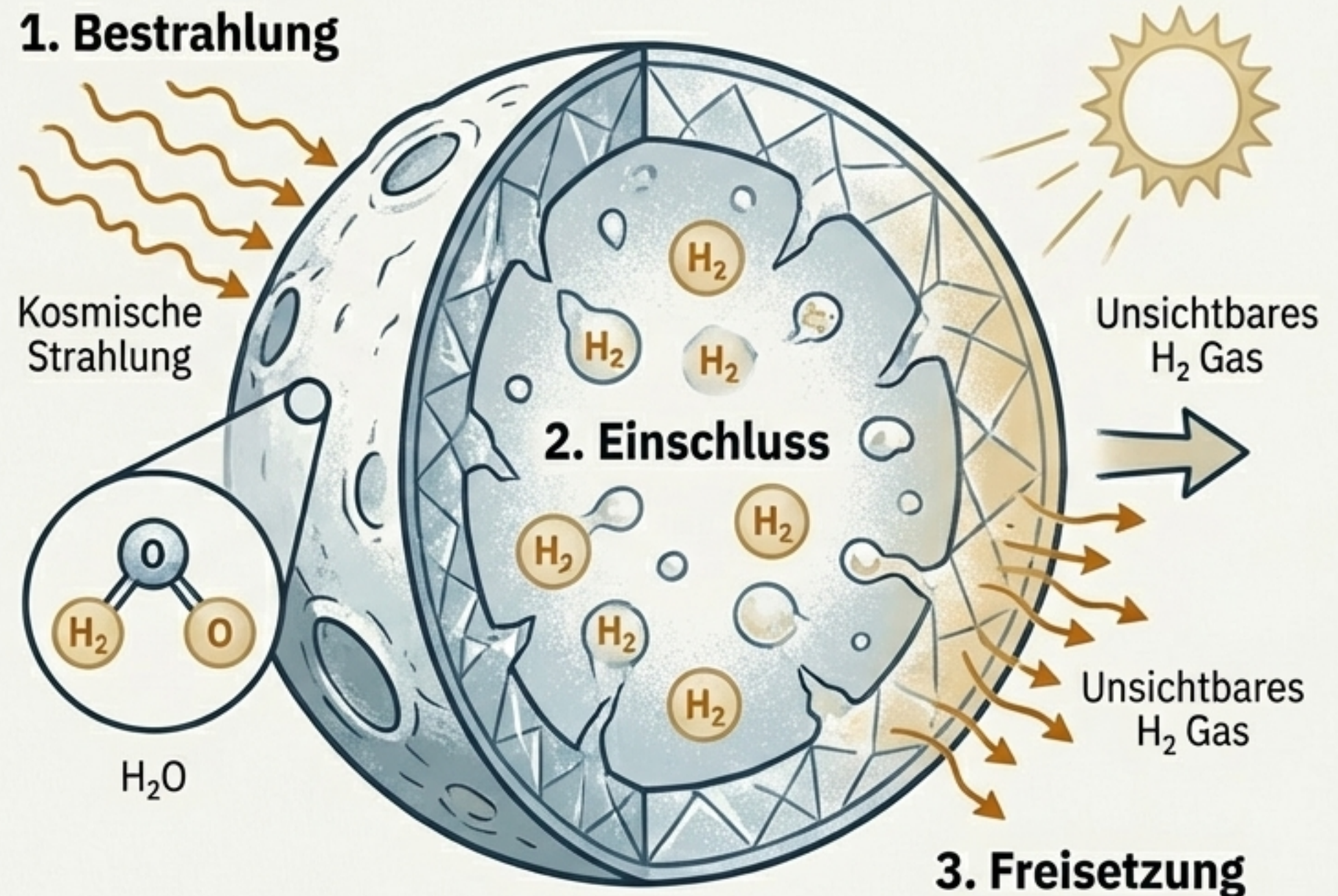
1. **Reise:** Jahrtausenden lang war er kosmischer Strahlung ausgesetzt.
2. **Prozess:** Die Strahlung spaltete Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in  $\text{H}_2$  und  $\text{O}$ . Der Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) wurde als Gas in der Eismatrix eingeschlossen.
3. **Schub:** Die Sonnenwärme setzte das gefangene, unsichtbare Wasserstoffgas frei und erzeugte sanft den beobachteten Schub.

## Fazit:

„Keine exotischen Materialien, keine unbekannten Prozesse – nur die natürliche Konsequenz einer langen, einsamen Reise durch die Galaxie.“

## Der Prozess der Wasserstoff-Falle

### 1. Bestrahlung





# Ein zweiter Besucher als Vergleichsobjekt

1I/'Oumuamua (2017)



- ✗ Keine sichtbare Koma
- ✗ Kein Schweif
- ✗ Unerklärliche Beschleunigung

2I/Borisov (2019)



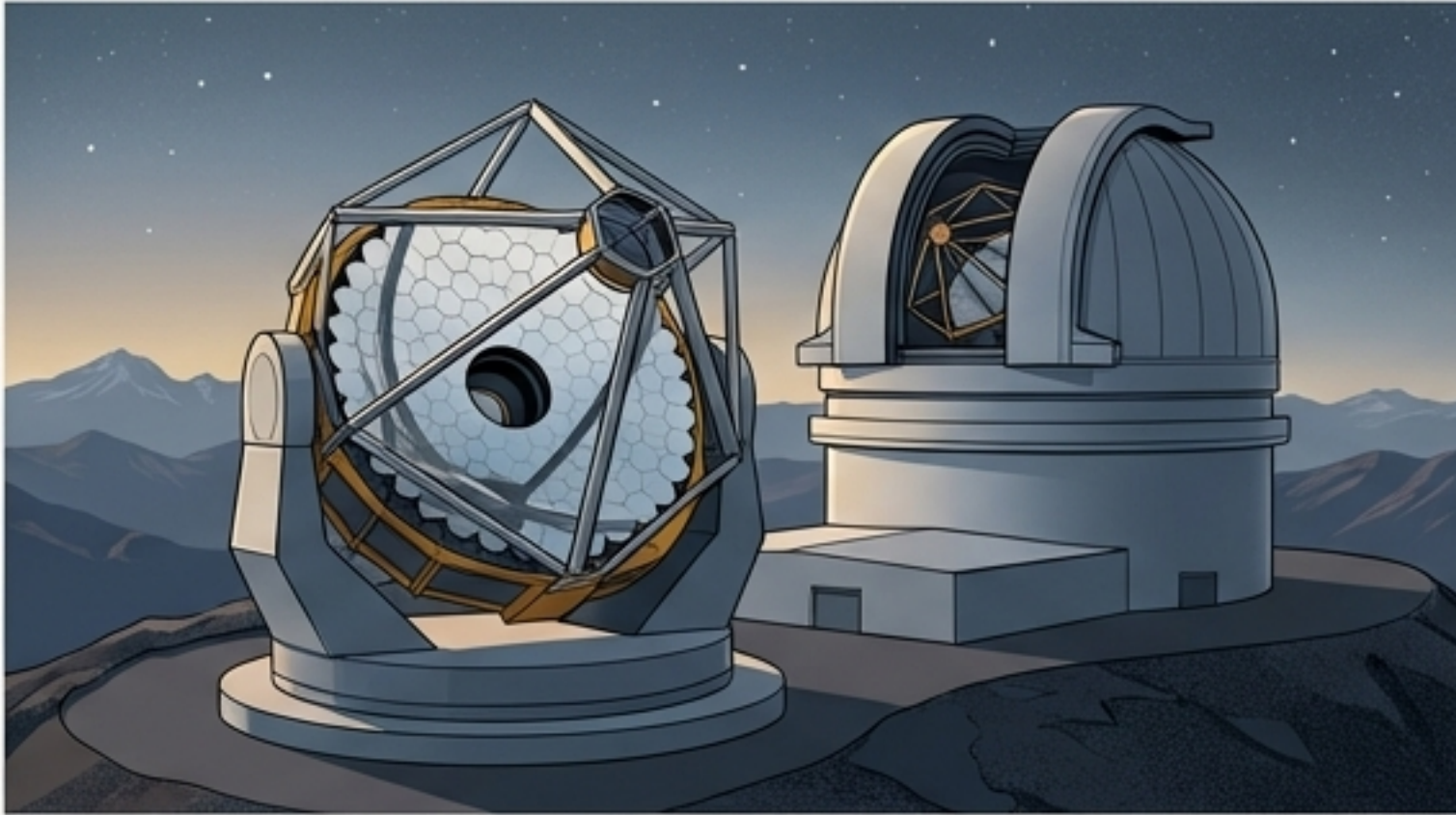
- ✓ Prächtige, sichtbare Koma
- ✓ Deutlicher Staubschweif
- ✓ "Normales" kometenhaftes Verhalten

**Die Schlussfolgerung:** Borisovs Normalität unterstreicht, wie außergewöhnlich 'Oumuamua wirklich war.



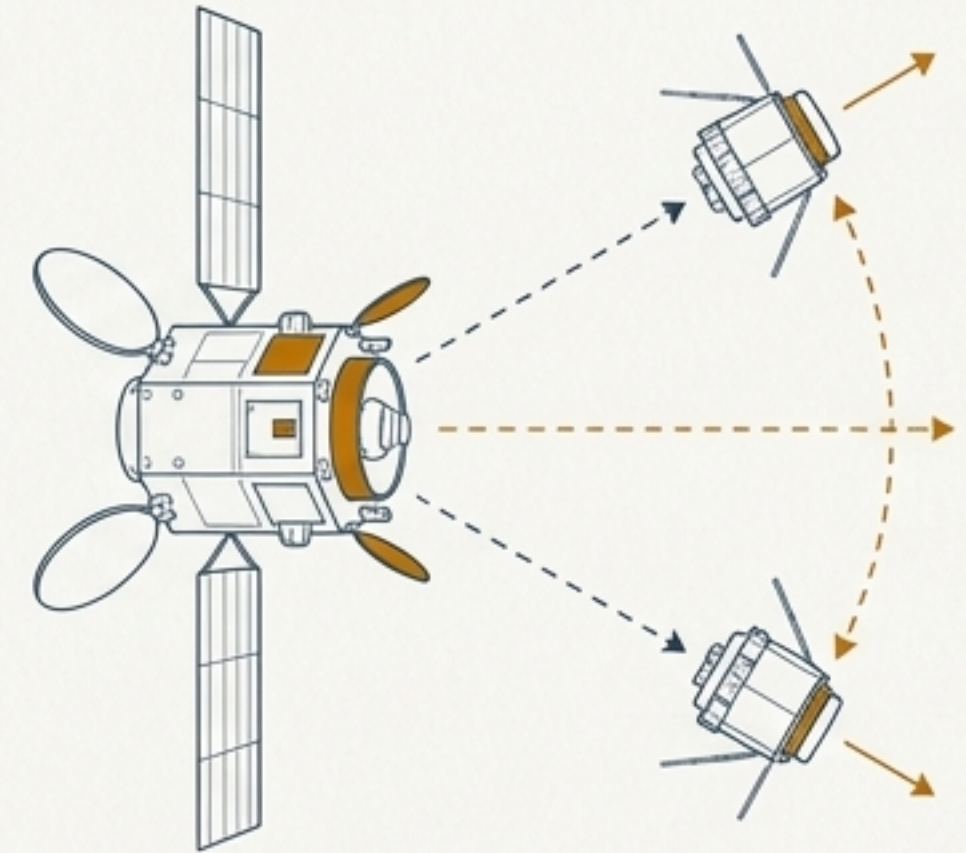
# Die nächste Generation von Detektiven

Wir haben aus 'Oenuamua gelernt und werden beim nächsten Mal bereit sein.



## Vera C. Rubin Observatory (ab 2025)

Wird den Himmel so schnell und tief durchmustern, dass jedes Jahr mehrere interstellare Besucher erwartet werden. Wir werden genug Daten für eine Statistik haben.



## ESA's Comet Interceptor (ab 2029)

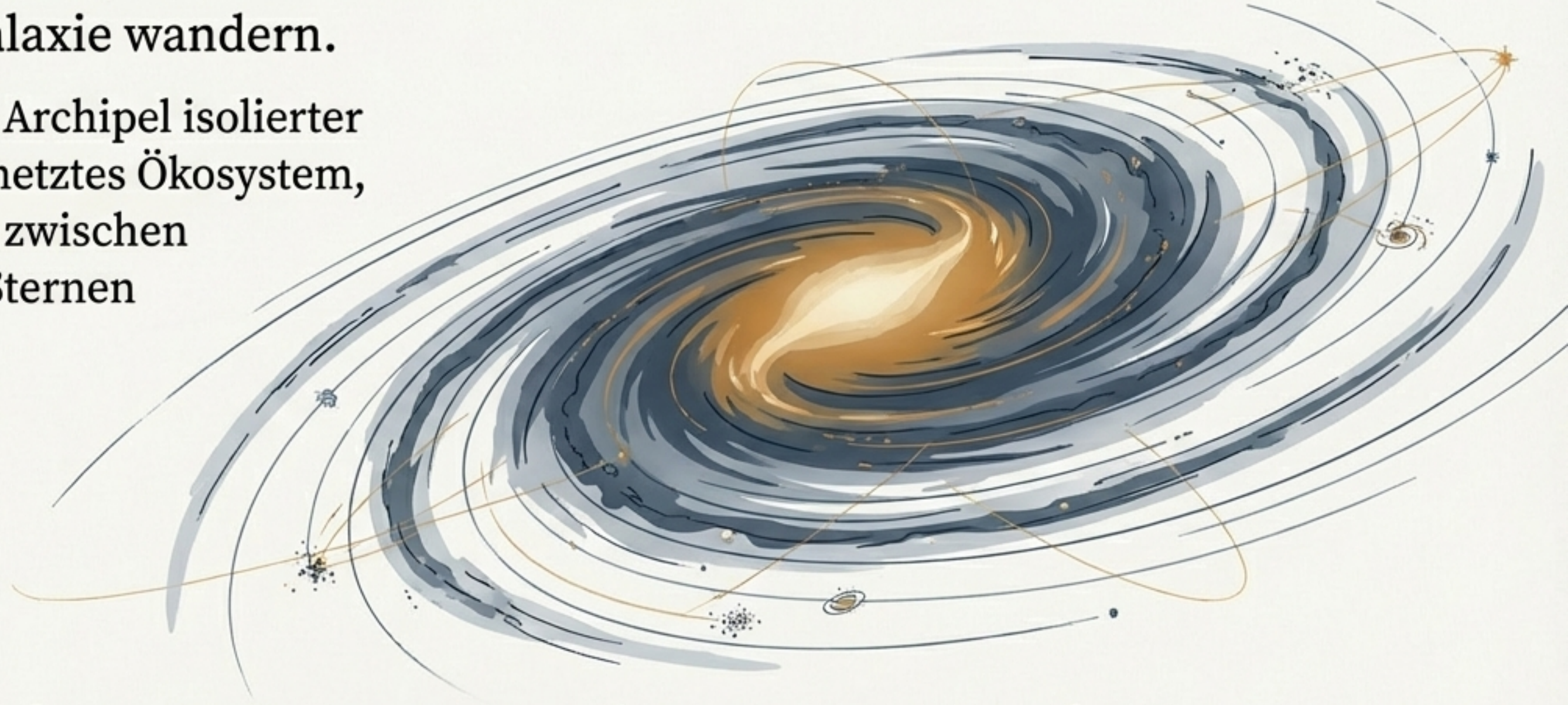
Eine Sonde, die im All wartet, um einen neu entdeckten Besucher (aus der Oortschen Wolke oder interstellar) erstmals aus nächster Nähe zu untersuchen.



# Die Botschaft des Kundschafters

‘Oumuamua hat bewiesen, dass die Bausteine von Planetensystemen durch die gesamte Galaxie wandern.

Die Milchstraße ist kein Archipel isolierter Sterne, sondern ein vernetztes Ökosystem, in dem ständig Material zwischen Material zwischen den Sternen ausgetauscht wird.



„Der Kundschafter aus der Ferne hat seinen Auftrag erfüllt. Er hat uns wachgerüttelt.“



**Die Suche nach den nächsten Besuchern  
hat gerade erst begonnen.**