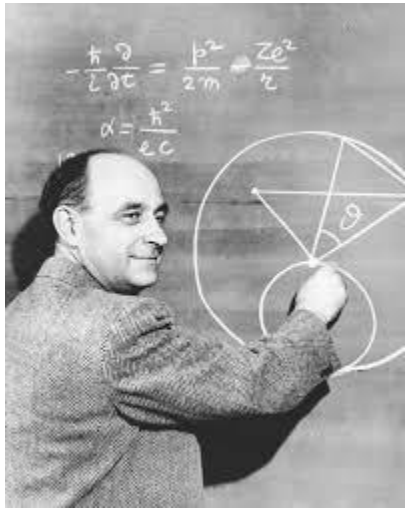
Das Fermi Paradoxon-Wo sind sie alle?

Betrachtungen zur Frage nach ausserirdischem Leben und der Stille in unserer Galaxis

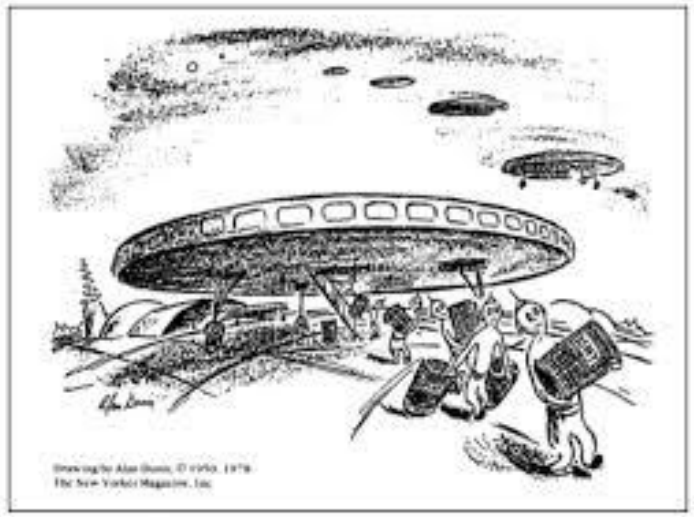
Odd Fellows: 18.06.2024

Wer war Enrico Fermi?

ODD FELLOWS SWITZERLAND



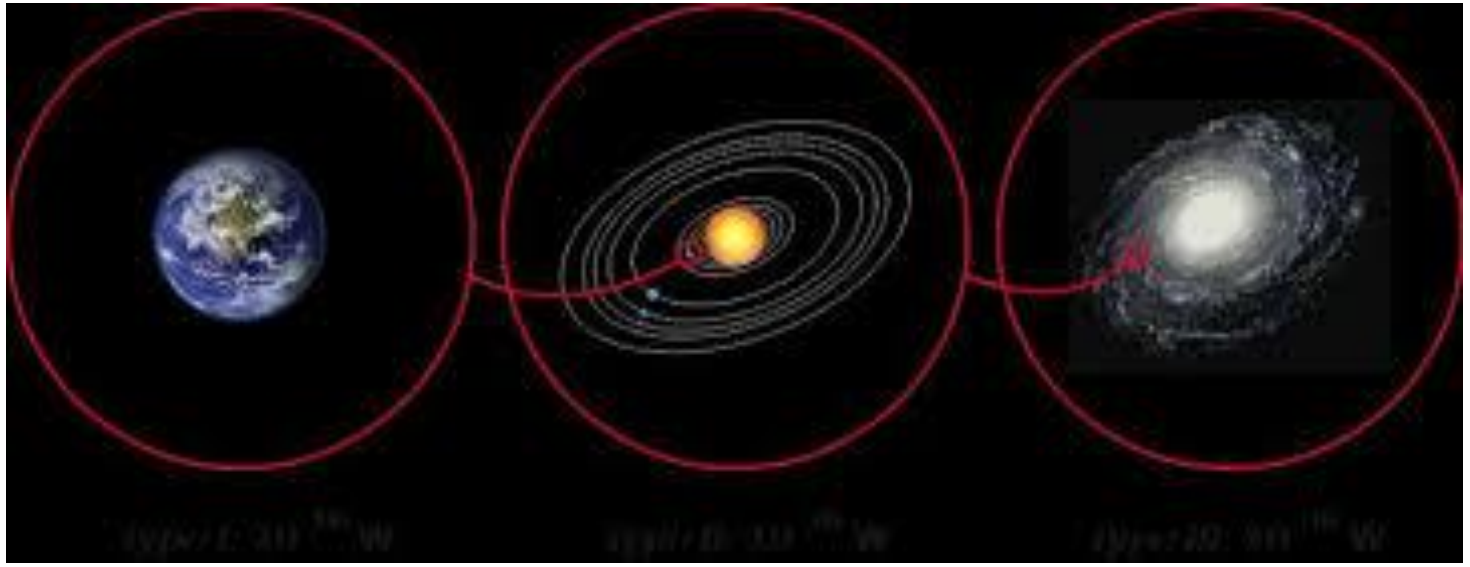
- Italienischer Physiker (1901 bis 1954)
- Arbeitete am Manhatten-Projekt in Los Alamos
- Frage (nach Bericht über angebliche UFO Sichtungen): **Wo sind sie alle?**



Was ist das Fermi-Paradoxon?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- Die Milchstrasse enthält viele Milliarden Sterne
- Viele davon haben ein Planetensystem, einige mit Planeten in der habitablen Zone
- Wahrscheinlichkeit für intelligentes Leben: hoch
- Paradoxon: Keine Hinweise auf ausserirdische Zivilisationen

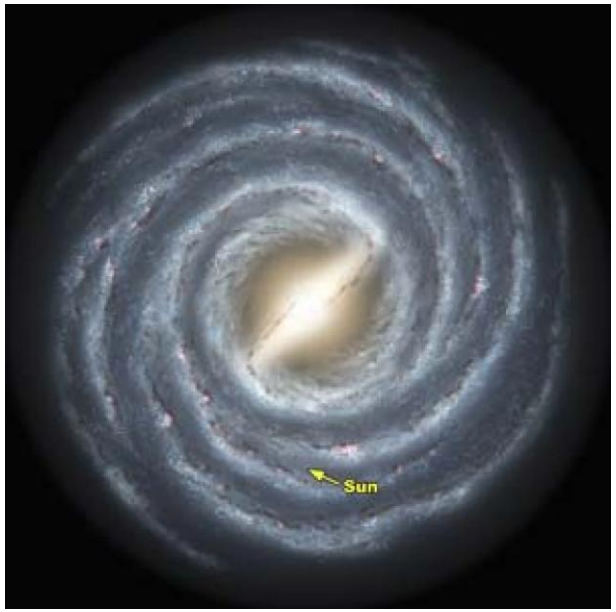


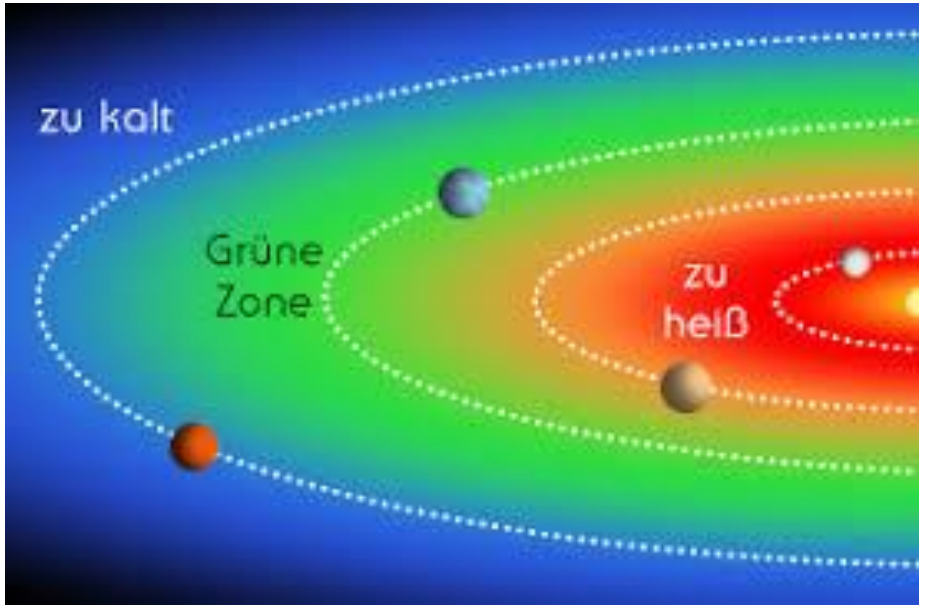
Quantitative Annäherung

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- ~ 200 Mrd. Sterne in unserer Galaxis
- 80% der Sterne mit Planetensystem
- Davon 50% mit einem Planeten in der habitablen Zone

Anzahl Planeten, auf denen Leben möglich ist = 200 Mrd. x 0.8 x 0.5 = **80 Mrd.**





Anzahl Zivilisationen mit Interstellarer Kommunikation?

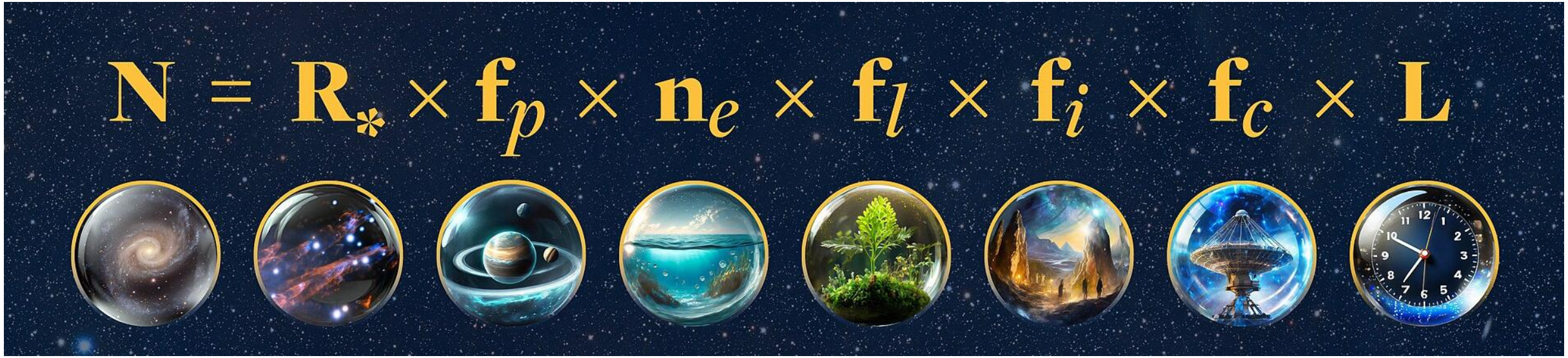
ODD FELLOWS SWITZERLAND

Gleichung von Drake (Frank Drake: Amerikanischer Astronom, 1930 bis 2022)

Die Drake Gleichung berücksichtigt

1. Zivilisationen existieren nur für einen **beschränkten Zeitraum** (**Überlebensdauer**: z.B. 100 Jahre - 1 Mio. Jahre)
2. Zivilisationen brauchen eine gewisse Zeit bis für ihre technologische Entwicklung (**Entwicklungsdauer**: z.B. 4 Mrd. Jahre)

→ **Nur Sterne, die innerhalb eines Zeitfensters** vor rund 4 Mrd. Jahre **entstanden** sind relevant (= R_* x L)

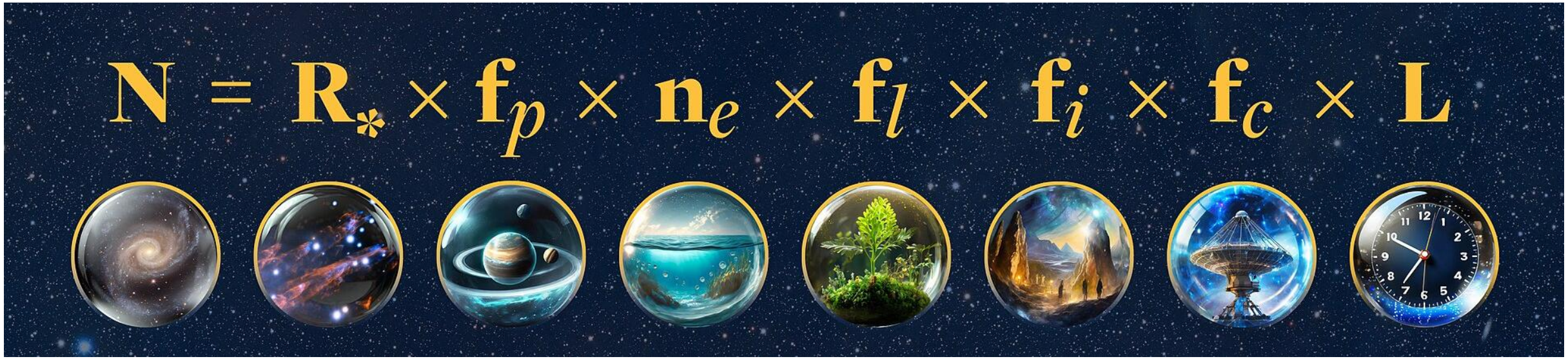


N: Zahl der Zivilisationen, die mit uns kommunizieren könnten	**R_***: Sternent-stehungsrate	**fp**: Anteil Sterne mit Planeten	**ne**: Anzahl habitable Planeten	**fl**: Anteil der Planeten mit Leben	**fi**: Anteil mit Intelligentem Leben	**fc**: Anteil mit interstellarer Kommunikation	**L**: Mittlere Überlebensdauer einer technologisch entwickelten Zivilisation

Anzahl Zivilisationen mit Interstellarer Kommunikation?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

Gleichung von Drake

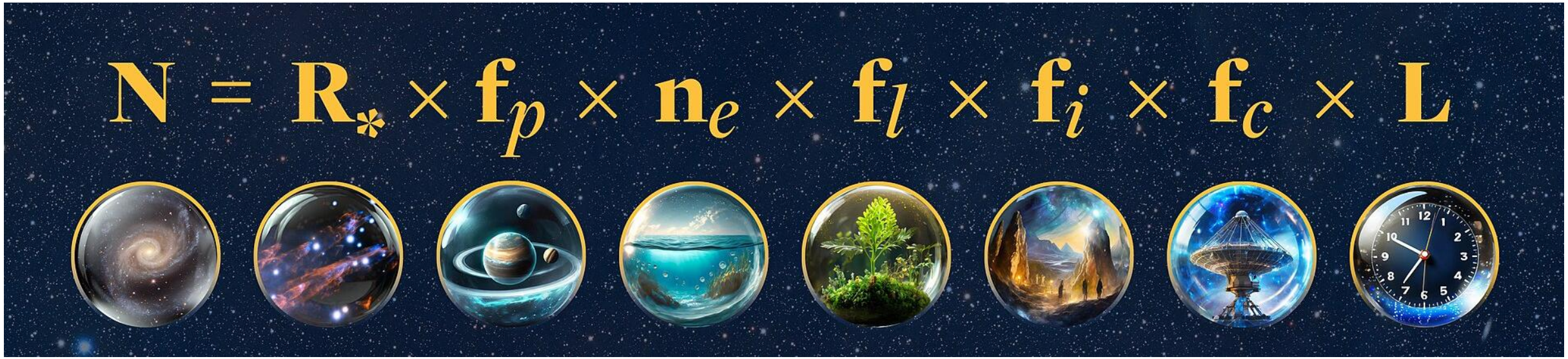


N: Zahl der Zivilisationen, die mit uns kommunizieren könnten	**R*** : Sternent-stehungsrate (Anzahl neue Sterne pro Jahr)	**fp**: Anteil Sterne mit Planeten	**Ne**: Anzahl habitable Planeten	**fl**: Anteil der Planeten mit Leben	**fi**: Anteil mit Intelligentem Leben	**fc**: Anteil mit interstellarer Kommunikation	**L**: Mittlere Überlebensdauer einer technologisch entwickelten Zivilisation
	1 - 3 Sterne pro Jahr	0.8 - 1	0.1 - 1	0.1 - 1	0.01 - 1	0.01 - 1	1’00 – 1’000’000+ Jahre

Anzahl Zivilisationen mit Interstellarer Kommunikation?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

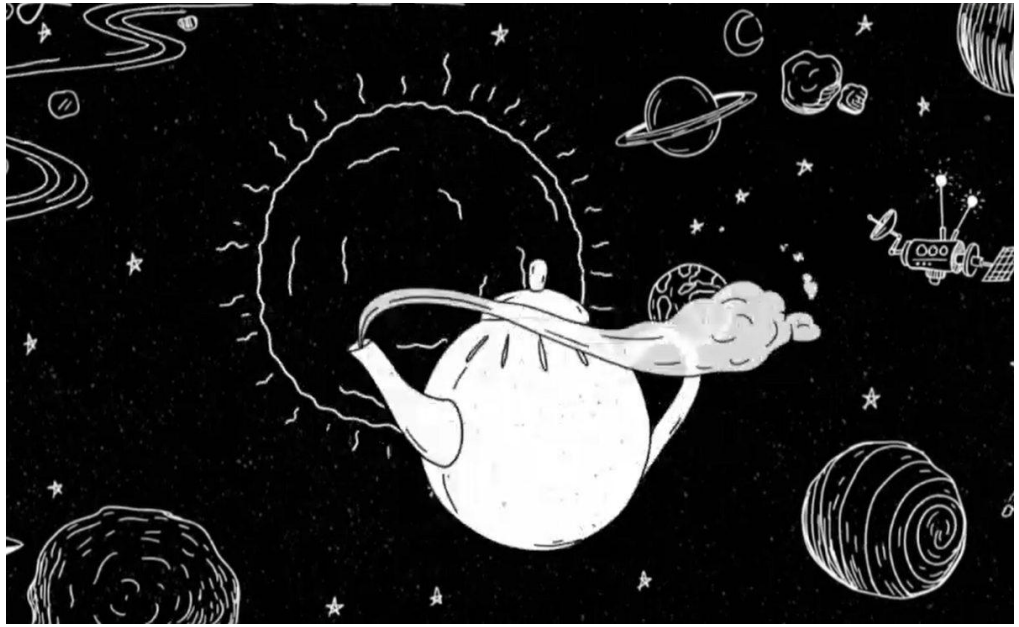
Gleichung von Drake



N: Zahl der Zivilisationen, die mit uns kommunizieren könnten	**R_***: Sternent-stehungsrate (Anzahl neue Sterne pro Jahr)	**fp**: Anteil Sterne mit Planeten	**Ne**: Anzahl habitable Planeten	**fl**: Anteil der Planeten mit Leben	**fi**: Anteil mit Intelligentem Leben	**fc**: Anteil mit interstellarer Kommunikation	**L**: Mittlere Überlebensdauer einer technologisch entwickelten Zivilisation
0.00008 (wahrscheinlich keine) bis **3+ Mio. (sehr viele)**	1 - 3 Sterne pro Jahr	0.8 - 1	0.1 - 1	0.1 - 1	0.01 - 1	0.01 - 1	1’00 – 1’000’000+ Jahre

Gedankenexperiment

ODD FELLOWS SWITZERLAND



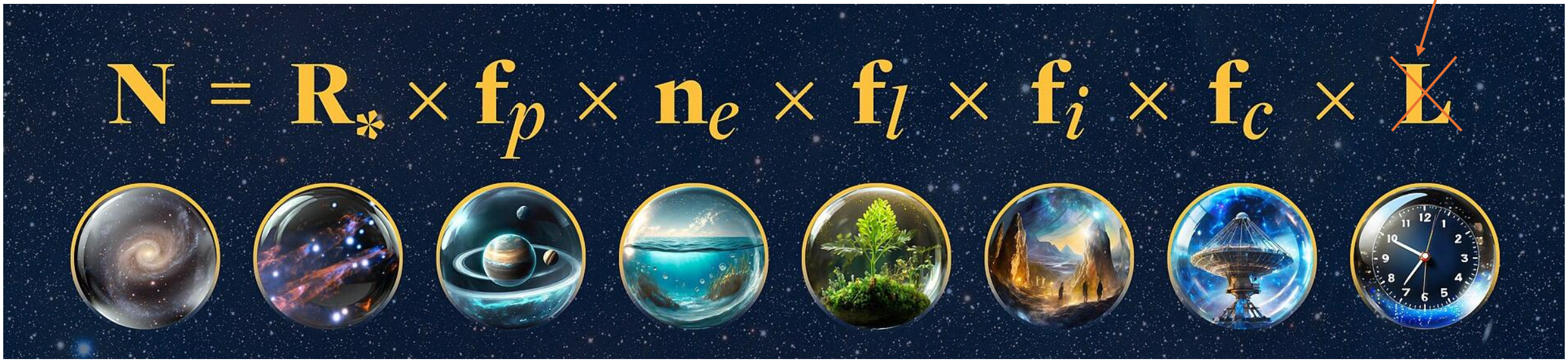
- Wie viele technologisch entwickelte **Zivilisationen** existierten **seit Anbeginn** in unserer Galaxie?
- **Kardaschow-Skala**: Entwicklungsgrad von Zivilisationen
- **Interstellare Raumfahrt**
- **Kolonialisierung** unserer Galaxie

Wie viele technologisch entwickelte Zivilisationen existierten bisher in unserer Galaxie?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- Drake Gleichung: Wie viele technologisch entwickelte Zivilisationen existieren heute in unserer Galaxie?
- Modifizierte Drake Gleichung

T: Zeit seit dem Leben in der Galaxie möglich ist



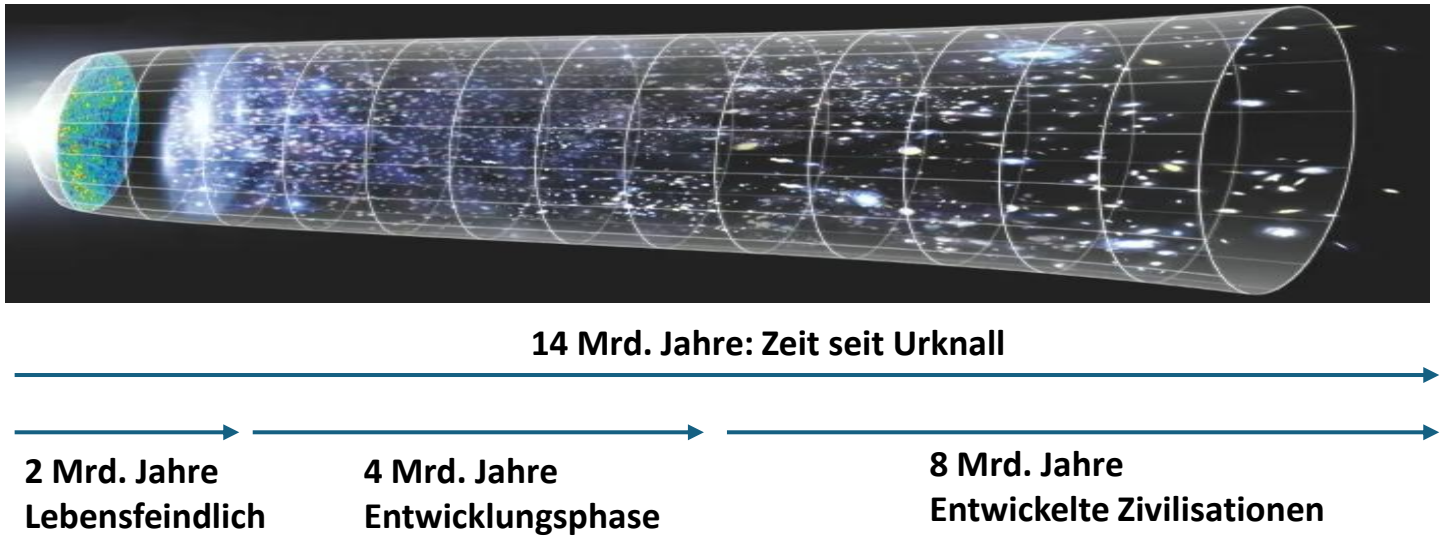
T: Zeit seit dem technologisch entwickeltes Leben in unserer Galaxie möglich ist?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- **Alter des Universums**: **~14 Mrd. Jahre**
- **Erste lebensfreundliche Planeten: 2 Mrd. Jahre** nach Urknall
- **Entwicklungsdauer** (Zeit bis zur Entstehung der ersten technologisch Entwickelten Zivilisationen): **4 Mrd. Jahre**

→Zeit seit dem technologisch entwickeltes Leben möglich ist =

T = 14 – 2 – 4 = **8 Mrd. Jahre**



Wie viele technologisch entwickelte Zivilisationen existierten in unserer Galaxie?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

Modifizierte Drake Gleichung

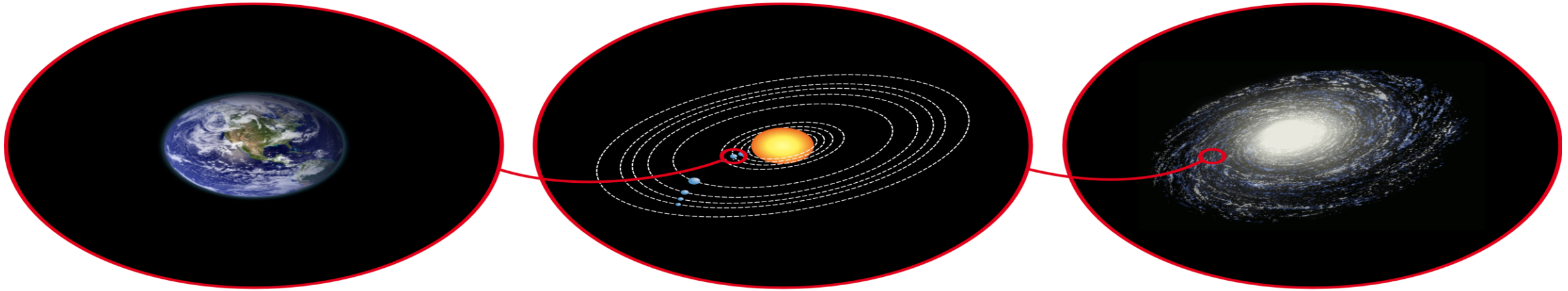
$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times T$$

N: Zahl der technologisch entwickelten Zivilisationen, die bisher existiert haben	**R_***: Sternent-stehungsrate (Anzahl neue Sterne pro Jahr)	**fp**: Anteil Sterne mit Planeten	**Ne**: Anzahl habitable Planeten	**fl**: Anteil der Planeten mit Leben	**fi**: Anteil mit Intelligentem Leben	**fc**: Anteil mit interstellarer Kommunikation	**T**: Zeit, seit der technologisch entwickeltes Leben möglich ist.
6'400 bis **24 Mrd. Zivilisationen**	1 - 3 Sterne pro Jahr	0.8 - 1	0.1 - 1	0.1 - 1	0.01 - 1	0.01 - 1	8 Mrd. Jahre

Kardaschow-Skala

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- Einführung 1964 durch den russischen Astronomen Nikolai Kardaschow
- Theoretische Skala zur Messung **der technologischen Entwicklungsstufe** einer **Zivilisation** basierend auf ihrem Energieverbrauch



Type I	Type II	Type III
Können die gesamte Energie ihres Planeten nutzen: 10^{16} Watt	Können die gesamte Energie ihres Sterns nutzen: 10^{26} Watt	Können die gesamte Energie ihrer Galaxis nutzen: 10^{36} Watt

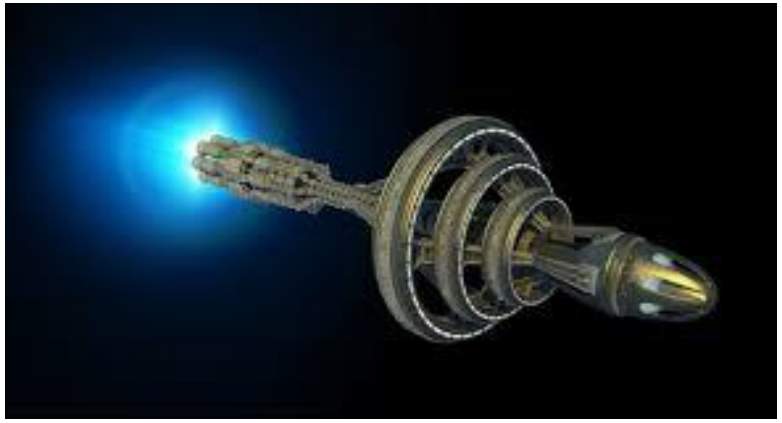
Wir

- 75% der planetaren Energie
- Menschheit ist auf dem Weg zur Typ-I-Zivilisation

Interstellare Raumfahrt

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- **Wir** nutzen **Radiosignale** für den Informationsaustausch seit rund **~ 100 Jahren**
- Eine **technologisch entwickelte Zivilisation** die über **Tausende oder Millionen von Jahren** existiert, könnte sich zu einer Typ 1.5, Typ 2 oder Typ 3 Zivilisation entwickeln
- Einige davon könnten Technologien für **Interstellaren Raumfahrten** (ev. Generationenraumschiffe) entwickelt haben
- Dies auch, weil einige davon gezwungen sein könnten, den Heimatplaneten, wegen **absehbarer Katastrophen** verlassen zu müssen (Überbevölkerung, Klimawandel, Kosmisches Ereignis, z.B. Asteroideneinschlag)

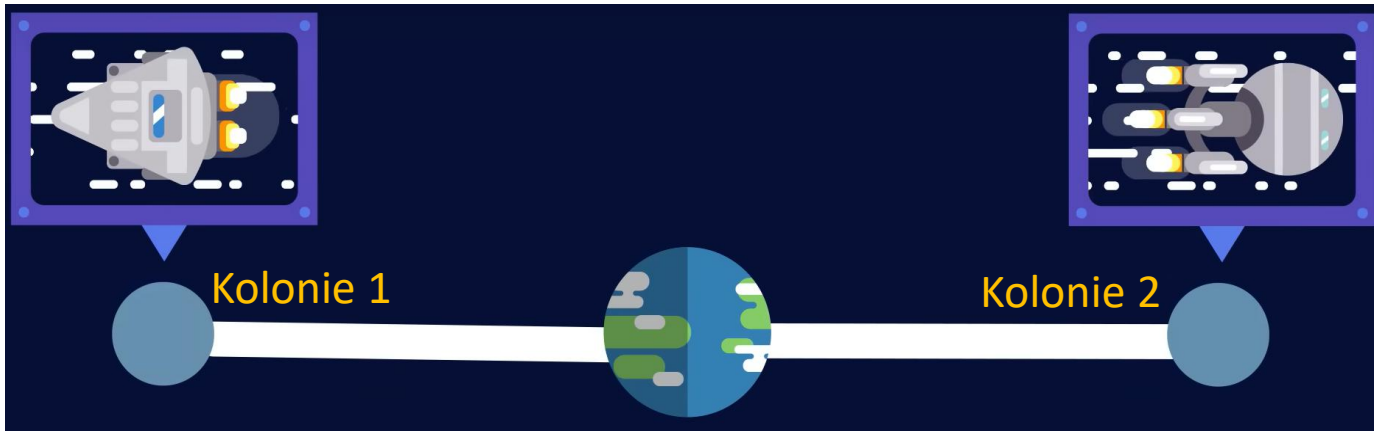


Kolonialisierung der Milchstrasse

ODD FELLOWS SWITZERLAND

Beobachtung

- **Durchmesser der Milchstrasse**: D = 100’000 Lichtjahre



Annahmen

- **Reisegeschwindigkeit**: 0.1 c = 30’000 km/s

  (Schnellstes von Menschen entwickeltes Objekt im Weltraum:

  Solar probe: ~ 0.007 c ≈ 200 km/s)
- **Habitable Planeten**: ~ 80 Mrd.

Berechnung

- **Mittlerer Abstand zwischen zwei habitablen Planeten** = $(V(D) / N)^{1/3} \approx$ 5 Lichtjahre
- **Reisezeit** = 5 Lichtjahre / 0.1 c = 50 Jahre
- Reisezeit + Besiedlung + Vorbereitung für nächsten **«Planeten-Hüpfer»**: 1000 Jahre
- **Zeit für Durchquerung der Galaxie** = 100’000 / 5 = 20’000 Hüpfer x 1’000 = 20 Mio. Jahre

Annahme 1: **Jede Kolonie gründet eine weitere Kolonie**

Berechnung: **Zeit für Durchquerung der Galaxie** = 100’000 / 5 = 20’000 Hüpfer x 1’000 = 20 Mio. Jahre

Annahme 2: **Jede Kolonie gründet 2 weitere Kolonien** → Kolonien wachsen exponentiell

Berechnung: **Zeit für Kolonialisierung der ganzen Milchstrasse** = log(80 Mrd.) / log(3) x 1’000 ≈ **25’000 Jahre**

Kolonialisierung der Milchstrasse

ODD FELLOWS SWITZERLAND

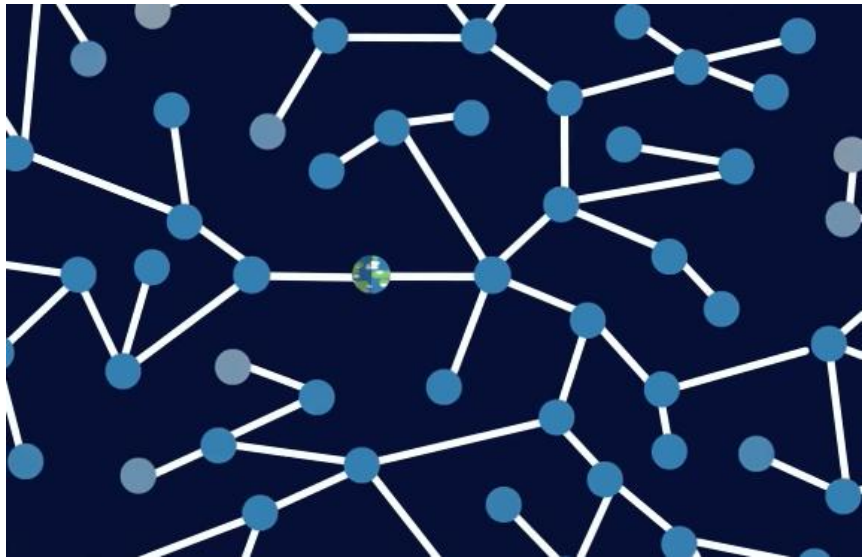
Beobachtung

- Durchmesser der Milchstrasse: 100’000 Lichtjahre

Annahmen

- Zeit für Planetenhüpfer = 1’000 Jahre
  (Reise + Besiedlung + Vorbereitung für nächsten Sprung)
- Habitable Planeten: ~ 80 Mrd.
- Jede Kolonie gründet 2 weitere Kolonien

Exponentielles Wachstum der Kolonien

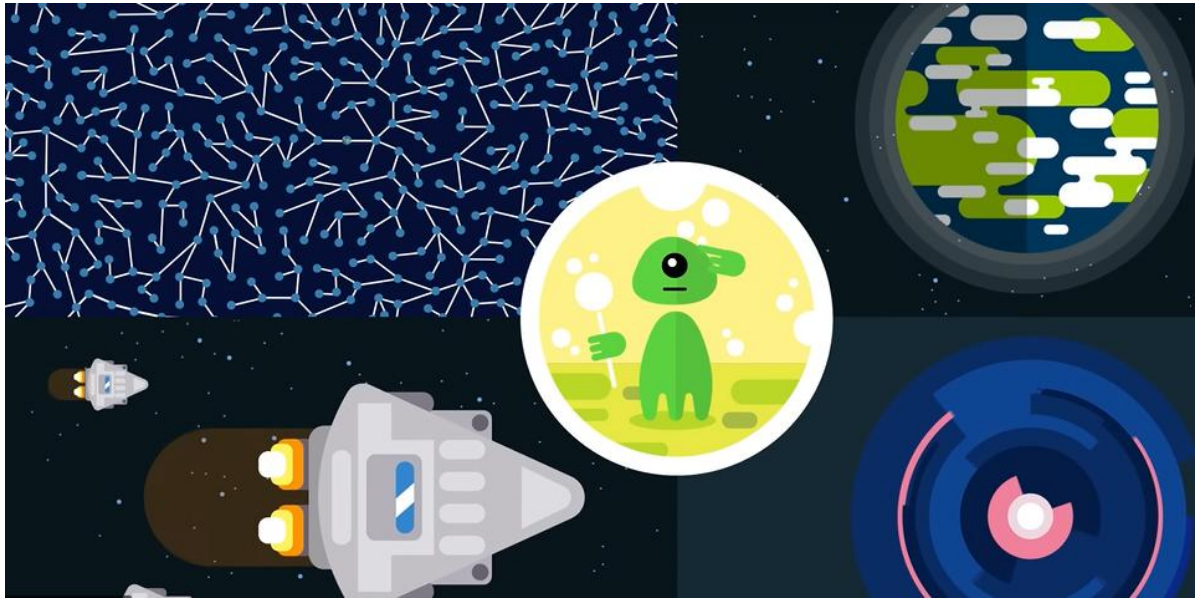


Berechnung

Zeit für Kolonialisierung der ganzen Milchstrasse ≈ 25’000 Jahre

Wo sind sie alle?

ODD FELLOWS SWITZERLAND



Zeit seit **technologisch entwickeltes Leben** möglich ist:	**~ 8 Mrd. Jahre**
Anzahl technologisch entwickelter Zivilisationen die bisher existiert haben:	**Mehrere Tausend bis mehrere Milliarden**
Zeit für Kolonialisierung der Milchstrasse:	**~ 25 Tsd. Jahre**

→ Fragestellung von Fermi: **Wo sind all die Aliens**

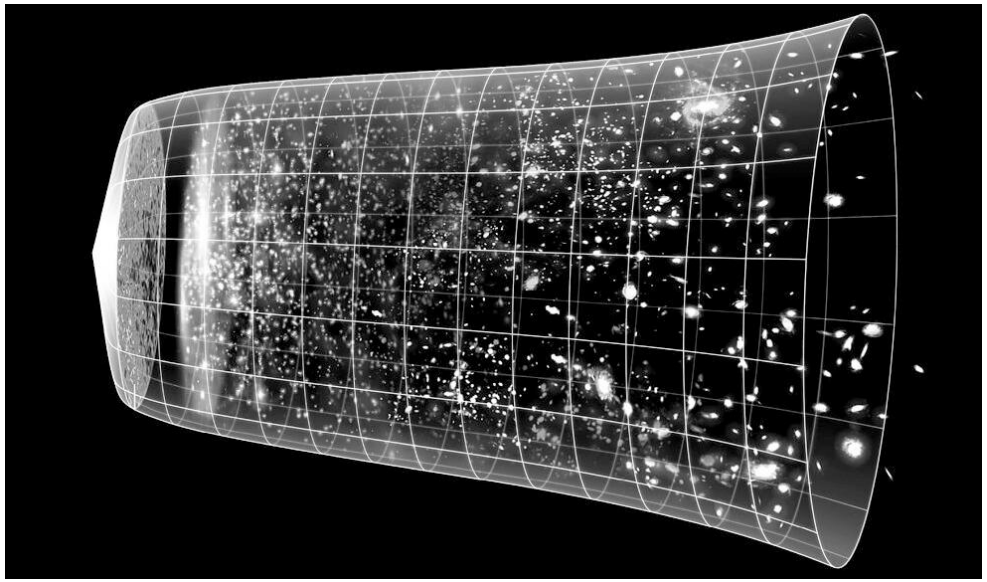
Zusammenfassung des Fermi-Paradoxons?

ODD FELLOWS SWITZERLAND

- Viele lebensfreundliche Planeten, viel Zeit → **Myriaden von Möglichkeiten**
- Aber **keine Spur von Außerirdischen**
- Wenn sie existieren – **warum sind sie nicht da**?

~ 200 Mrd. Sterne in der Galaxis

Seit 8 Mrd. Jahre entwickelte Zivilisationen möglich

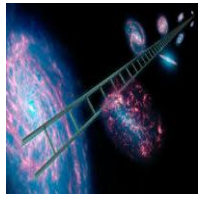


Ansätze zur Lösung des Fermi-Paradoxons

ODD FELLOWS SWITZERLAND

Rare Earth

- **Leben ist extrem selten**
- Viele seltene Bedingungen müssen erfüllt sein (stabiler Planet, Entfernung zum galaktischen Zentrum, grosser Mond, tektonische Aktivität, Magnetfeld, etc.)



Räumliche Distanzen

- Obwohl in der Milchstrasse **mehrere technische Zivilisationen existieren** könnten, sind die **Distanzen zu gross**

Grosser Filter

- Es gibt einen **Filter, der die Entstehung von technologisch hoch-entwickelten Zivilisationen** selten bis **unmöglich macht**.
- Eine Zivilisation kann sich nur bis zu einem gewissen Grad technologisch entwickeln, danach wird sie zerstört (**Selbstzerstörung**, Zerstörung durch **biologische, geologische oder kosmische Ereignisse**)

ODD FELLOWS SWITZERLAND

Odd Fellows

Das Fermi-Paradoxon

18.06.2025