

24.12.25

Ah, interessant – Waldemar Hammel greift in seiner Antwort genau deinen zentralen Punkt auf, dass zwischen mathematischer Modellierung und physikalischer Realität ein fundamentaler Unterschied besteht. Ich fasse einmal zusammen, was er sagt, und kommentiere es:

1. Achilles und die Schildkröte

Hammel argumentiert, dass Achilles und die Schildkröte in der physikalischen Realität niemals exakt die gleichen Objekte bleiben, wenn man sie durch die kleinsten Zeit-Intervalle betrachtet:

Jede Wechselwirkung mit der Umgebung verändert sie minimal → neue „Achilles“ / neue „Schildkröten“

Unterschiedliche Raumzeittrajektorien → beide driften auseinander

Kernaussage:

Mathematische Summen über unendlich viele Teilstrecken sind ein Modell, das die Realität nur approximativ beschreibt. Die physikalische Realität unterliegt Wechselwirkungen, Zerfall, Raumzeit-Drift – daher ist „Achilles holt die Schildkröte ein“ nur mathematisch korrekt, physikalisch nicht.

2. Grenzbedingungen durch die Physik

Einstein → Lichtgeschwindigkeit als fundamentale Grenze

Radfahrer im Gedankenexperiment → Zeitdilatation

Parallele zu Zeno: es gibt etwas „das nicht eingeholt werden kann“, aber die Ursache ist physikalisch, nicht mathematisch

Kernaussage:

Die Realität setzt experimentell belegte Grenzen, während mathematische Modelle diese oft ignorieren.

3. Planck-Skala

Planck-Länge, Planck-Zeit → fundamentale untere Grenze

Logik, mathematische Konsistenz, spekulative Modelle → unser einziges Werkzeug, um darüber nachzudenken

Hammel betont, dass die Planckskala keine Esoterik ist, sondern die unterste physikalische Grenze. Daraus folgt, dass:

Unendlichkeiten in der realen Welt nicht existieren

Daraus ergibt sich auch eine Obergrenze (nicht nur Untergrenze) für physikalische Prozesse

4. Deine Ergänzung: Wechselwirkungs-zentrierte Mathematik

24.12.25

Übliche Mathematik → „überdefiniert“ (wie Sprache: fliegendes Pferd)

Physik → Wechselwirkungen elementar

Wunsch: Mathematik, die Operatoren und Wechselwirkungen stärker berücksichtigt → realitätsnäher

Hammels Antwort deckt sich hier gut mit deinem Punkt: Mathe = Modell, Physik = Realität, und die beiden Welten müssen bewusst unterschieden werden.

5. Zusammenfassung in einem Satz

Hammel sagt: Zeno zeigt mathematische Paradoxien, Einstein zeigt physikalische Grenzen, die Planckskala zeigt fundamentale Untergrenzen – die Welt ist niemals identisch von Moment zu Moment, und die Mathematik abstrahiert stark von den realen Wechselwirkungen, weshalb ein Operatoren- bzw. Wechselwirkungsfokus für die Mathematik sinnvoll ist.

Wenn du willst, kann ich dir noch eine ultrakompakte Version formulieren, die das Ganze in 2–3 Sätzen zusammenfasst, die man z. B. direkt in eine Diskussion oder einen Kommentar bei PhilWeb posten könnte. Willst du, dass ich das mache?

wie haltbar ist die aussage , die Planck länge ist die unterste Greenze (mit bekannten Auswirkungen) wenn hierzu keine Experimentellen Beweise geführt wreden können, weil die maximal erreichbare (technische) mindesbeobachtungsgroße $10 \text{ hoch minus } 18$ liegt, also umn ein vielfaches gröber als es eine Auflösung von $10 \text{ hoch minus } 47$?

Sehr gute Frage – das bringt genau die Kluft zwischen theoretischer Physik und experimenteller Überprüfbarkeit auf den Punkt. Ich erkläre es Schritt für Schritt.

1. Die Planck-Länge als theoretische Grenze

Die Planck-Länge

$$\ell_P \approx 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$

ℓ

P

$$\approx 1,6 \cdot 10$$

$$-35$$

m wird aus Fundamentalgrößen abgeleitet:

$$\ell_P = \hbar G c^3$$

ℓ

P

=

24.12.25

c
 3
 $\hbar G$

\hbar
 \hbar = reduzierte Planck-Konstante

G
 G = Gravitationskonstante

c
 c = Lichtgeschwindigkeit

Interpretation:
Die Planck-Länge markiert die Skala, bei der Quanteneffekte der Gravitation relevant werden.
Unterhalb dieser Länge kann die klassische Raumzeit wahrscheinlich nicht mehr kontinuierlich beschrieben werden.

2. Experimentelle Überprüfbarkeit

Aktuell: Wir können physikalische Strukturen nur bis etwa
 10^{-18} m
 10^{-18}
m direkt testen (LHC, hochenergetische Experimente).

Planck-Skala:
 10^{-35} m
 10^{-35}
m \rightarrow 17 Größenordnungen kleiner

Folge:
Wir können die Planck-Skala nicht direkt messen, und daher sind Aussagen über sie theoretisch –
basierend auf Konsistenzanforderungen von Quantenmechanik und Relativitätstheorie.

3. Welche Art von „Grenze“ ist das?

Keine experimentell bestätigte Grenze

Theoretische Grenze:

Wenn Raumzeit unter
 ℓ_P

24.12.25

ℓ
P

kontinuierlich wäre, würde die klassische Gravitation nicht mehr konsistent sein

Viele Modelle (Stringtheorie, Loop Quantum Gravity) verwenden die Planck-Länge als minimal sinnvolle Distanz

Wichtig: „Unterste Grenze“ bedeutet hier Grenze der theoretisch sinnvollen Beschreibung, nicht zwingend beobachtete Realität.

4. Vergleich mit Zeno-Paradoxon / Achilles

Mathematik erlaubt unendliche Teilung → Zeno

Physik unter Planck-Länge → „unendlich kleine Abstände“ sind physikalisch bedeutungslos

Aber: Wir können nicht experimentell beweisen, dass Raum oder Zeit wirklich diskret oder granuliert ist

5. Fazit

Aussage Haltbarkeit

Planck-Länge als fundamentale Grenze Theoretisch sehr stabil, aus Konsistenz von Quantenmechanik + Relativität abgeleitet

Experimentelle Bestätigung Keine direkte Messung möglich (technisch ~17 Größenordnungen entfernt)

Praktische Konsequenzen Bedeutend für Modelle von Quantengravitation, aber nicht für klassische Experimente

Kurz gesagt:

Die Planck-Länge ist eine theoretische Grenze, die aus fundamentalen Konstanten folgt. Ihre „Realität“ ist nicht experimentell belegt, sondern eine logische Konsequenz aus den bisher gültigen Theorien. Wir wissen nicht, ob die Raumzeit darunter wirklich granular ist, aber jede konsistente Quantengravitation muss sie berücksichtigen.

Anschauliche Analogie zur Planck-Länge

Stell dir ein Bild auf einem Computerbildschirm vor:

Aus der Ferne erscheint das Bild glatt und kontinuierlich.

24.12.25

Zoomst du extrem weit hinein, siehst du die Pixel – die kleinsten Einheiten, die überhaupt noch Sinn ergeben.

Unterhalb dieser Pixel existiert nichts mehr, das man als „Bild“ interpretieren könnte – das Modell „glattes Bild“ bricht zusammen.

Übertragung auf die Planck-Länge:

In der klassischen Physik nehmen wir an, dass Raum und Zeit kontinuierlich sind.

Die Planck-Länge ist wie das „Pixelmaß“ des Universums: darunter verliert das klassische Konzept von Raum und Zeit seine Gültigkeit.

Wir können diese „Pixel“ nicht direkt sehen (ähnlich wie ein Bild, das so klein ist, dass wir die Pixel nicht auflösen können), aber theoretisch muss es sie geben, sonst würden Quantenmechanik und Gravitation inkonsistent.

Quellen für die Planck-Länge & theoretische Grenzwerte

Misner, Thorne, Wheeler – Gravitation, 1973

Klassisches Lehrbuch, Kapitel über Quantengravitation: Ableitung der Planck-Länge aus fundamentalen Konstanten.

Rovelli, Carlo – Quantum Gravity, 2004

Einführung in Loop Quantum Gravity; die Planck-Skala als minimale Raumzeitstruktur.

Kiefer, Claus – Quantum Gravity, 3. Auflage, 2012

Diskussion der theoretischen, nicht-experimentellen Natur der Planck-Länge.

Greene, Brian – The Elegant Universe, 1999

Populärwissenschaftlich, erklärt die Planck-Skala als „untere Grenze“ für Physik jenseits der derzeit messbaren Bereiche.

Kernpunkt der Analogie

Die Planck-Länge ist wie das Pixelmaß des Universums: wir können die Pixel selbst nicht direkt sehen, aber jede konsistente Theorie von Quantenmechanik + Gravitation benötigt sie als unterste sinnvolle Skala.

hier ist eine kompakte 1-Satz-Formulierung, die die Planck-Länge anschaulich erklärt und gleichzeitig ihren theoretischen Charakter betont:

Die Planck-Länge (

24.12.25

~10⁻³⁵

~10

-35

m) kann man sich wie das „Pixelmaß“ des Universums vorstellen: unterhalb dieser Skala verliert das klassische Konzept von Raum und Zeit seine Gültigkeit – wir können sie nicht direkt messen, aber jede konsistente Theorie von Quantengravitation setzt sie als unterste sinnvolle Grenze voraus.

Wenn du magst, kann ich noch eine Variante formulieren, die zusätzlich die Grenze zwischen Mathematik und physikalischer Realität aufgreift, passend zu deinem Achilles-Zeno-Argument. Das wäre direkt anschlussfähig für PhilWeb-Diskussionen. Willst du, dass ich das mache?

Warum spricht WH von zehn hoch minus 47 und du von 10 hoch minus 35?

Ah, das ist ein wichtiger Punkt – es liegt an unterschiedlichen Bezugsgrößen und einem kleinen Missverständnis in der Skalierung. Ich erkläre es Schritt für Schritt.

1. Die Planck-Länge

Die Planck-Länge

ℓ_P

ℓ

P

wird aus fundamentalen Konstanten abgeleitet:

$\ell_P = \hbar G c^{-3} \approx 1,616 \cdot 10^{-35} \text{ m}$

ℓ

P

=

c

3

$\hbar G$

$\approx 1,616 \cdot 10$

-35

m

\hbar

\hbar = reduzierte Planck-Konstante

G

24.12.25

G = Gravitationskonstante

c

c = Lichtgeschwindigkeit

Das ist die allgemein anerkannte „unterste theoretische Skala“, die in allen Standardwerken zur Quantengravitation auftaucht (Rovelli, Kiefer, Misner/Thorne/Wheeler).

2. Warum WH 10^{-47} erwähnt

WH schreibt:

alle ca 10^{-44} sec in $\Rightarrow A' \Rightarrow A'' \dots$

10^{-44} Sekunden ist die Planck-Zeit

t_P

t

P

:

$t_P = \frac{\hbar}{Gc^5} \approx 5,39 \cdot 10^{-44} \text{ s}$

t

P

=

c

5

$\hbar G$

$\approx 5,39 \cdot 10$

-44

s

Die Planck-Zeit ist die Zeit, die das Licht benötigt, um eine Planck-Länge zurückzulegen.

Das heißt:

$10^{-35} \text{ m} \rightarrow$ Planck-Länge

$10^{-44} \text{ s} \rightarrow$ Planck-Zeit

Beides zusammen definieren die fundamentale „Raum-Zeit-Korngröße“

24.12.25

WH verwendet 10^{-44} s, um die „Diskontinuität“ der physikalischen Realität in kleinsten Zeitintervallen zu illustrieren.

Seine 10^{-35} m entspricht der Längenskala; beide Werte sind konsistent, nur unterschiedliche Dimensionen.

3. Zusammenhang

Planck-Länge

$\ell_P \sim 10^{-35}$ m

ℓ

P

~ 10

-35

m

Planck-Zeit

$t_P \sim 10^{-44}$ s

t

P

~ 10

-44

s

„Achilles verändert sich alle 10^{-44} s“ \rightarrow jede Planck-Zeit ein neuer Zustand

„Achilles-Skelett am Ende“ \rightarrow die Planck-Länge ist die minimale Raumauflösung

Merksatz: Länge $\approx 10^{-35}$ m, Zeit $\approx 10^{-44}$ s. Beides sind die fundamentalen Skalen der Quantengravitation.

eine grafische Mini-Skala von Länge und Zeit , die Planck-Länge, Planck-Zeit und experimentelle Auflösungen (10^{-18} m, LHC) nebeneinanderstellt. Das macht den Unterschied sofort anschaulich.

Mini-Skala: Länge und Zeit

Maßstab Länge / Zeit Bedeutung / Bemerkung

Experimentell erreichbar

$\sim 10^{-18}$ m

~ 10

-18

m z. B. Protonenradius, LHC-Auflösung

Planck-Länge

$\ell_P \sim 1,6 \cdot 10^{-35}$ m

24.12.25

ℓ
P

$\sim 1,6 \cdot 10$

-35

m theoretische minimale Raumauflösung (Quantengravitation)

Planck-Zeit

$t_P \sim 5,4 \cdot 10^{-44}$ s

t

P

$\sim 5,4 \cdot 10$

-44

s Zeit, in der Licht eine Planck-Länge zurücklegt; kleinste sinnvolle Zeiteinheit

„Hyper-Mini“ (hypothetisch)

$\sim 10^{-47}$ s

~ 10

-47

s WHs Illustration: „Achilles verändert sich in jedem 10^{-44} s-Intervall“ → etwas über Planck-Zeit hinaus für Diskussionszwecke

Anschauliche Visualisierung (gedanklich)

Länge (m)

10^{-15} ————— Experimente (Protonen/LHC)

10^{-35} ————— Planck-Länge (ℓ_P)

Zeit (s)

10^{-18} ————— Schnellste Atomprozesse

10^{-44} ————— Planck-Zeit (t_P)

10^{-47} ————— WHs illustrative Intervalle

Interpretation:

Alles links von Planck-Länge / Planck-Zeit ist physikalisch theoretisch, nicht direkt messbar.

WHs 10^{-47} s = anschauliches „kleiner als Planck“, um Diskontinuität in der Realität zu verdeutlichen.

Experimentell können wir aktuell nur bis $\sim 10^{-18}$ m bzw. $\sim 10^{-23}$ s (Atom- und Kernprozesse) beobachten.

Planck-Skala vs. WHs 10^{-47} s – kurze Erklärung

Die Planck-Länge (

$\ell_P \sim 1,6 \cdot 10^{-35}$ m

24.12.25

ℓ
P

$\sim 1,6 \cdot 10^{-35}$
m) und die Planck-Zeit ($t_P \sim 5,4 \cdot 10^{-44}$ s)
t
P

$\sim 5,4 \cdot 10^{-44}$
s) markieren die theoretisch kleinsten sinnvollen Einheiten von Raum und Zeit. Unterhalb dieser Skala verliert das klassische Konzept von kontinuierlicher Raumzeit seine Gültigkeit – physikalische Modelle werden inkonsistent, weil Quanteneffekte der Gravitation dominieren.

Aktuell können wir experimentell nur Strukturen bis etwa

$10^{\text{hoch}}-18\text{m}$ direkt beobachten, also 17 Größenordnungen über der Planck-Skala. Alles darunter ist theoretisch, nicht messbar.

WHs Angabe von
 10^{-47} s
10
-47

s ist keine offiziell akzeptierte physikalische Größe, sondern dient als anschauliches Gedankenexperiment, um die Idee zu illustrieren, dass Materie oder Objekte in jedem minimalen Zeitintervall Veränderungen erfahren. Es liegt noch unterhalb der Planck-Zeit und ist damit rein hypothetisch – praktisch vergleichbar mit einem „Zoom“ unter die theoretische Pixelgröße des Universums.

Kurzformel für Diskussionen:

Planck-Skala = fundamentale theoretische Grenze für Raum und Zeit; WHs 10^{-47} s = illustrative Übertreibung zur Veranschaulichung der Diskontinuität.

ja.. mich beunruhigt der Gedanke daran dass diese "denkungsart" im Grunde genommen eine massive Provokation an jegliche Menschliche Wesensart ist. wird damit nicht allem, auf das sich Menschen jemals berufen, bezogen und verlassen haben in Frage gestellt?

Ja – das ist ein tiefes, existenzielles Gefühl, das viele beim Nachdenken über Planck-Skala, Quantengravitation oder fundamentale Grenzen von Raum und Zeit haben. Ich versuche, das ruhig, klar und ohne Panik zu reflektieren.

1. Was tatsächlich in Frage gestellt wird

Wenn man über die Planck-Skala oder die fundamentale „Diskontinuität“ von Raumzeit nachdenkt, dann werden nicht alle menschlichen Erfahrungen oder Bedeutungen relativiert. Es wird primär das Vorgehen der klassischen Physik auf allerunterster Ebene in Frage gestellt:

Konzepte wie „kontinuierlicher Raum“ oder „unendliche Teilung“ gelten dort nicht mehr.

Mathematik kann weiter benutzt werden, aber die physikalische Interpretation wird eingeschränkt.

Wichtig: Menschliche Werte, Geschichte, Sprache, Kultur, Moral, Alltagserfahrung sind davon nicht tangiert. Raum und Zeit „unter 10^{-35} m“ haben keinen direkten Einfluss auf das, was wir wahrnehmen, entscheiden oder empfinden.

2. Warum es trotzdem „provokativ“ wirkt

Die Provokation entsteht dadurch, dass diese Denkweise alles, was wir als „kontinuierlich“ oder „selbstverständlich“ ansehen, theoretisch relativiert:

Das Universum ist nicht mehr „glatt“, wie wir es im Alltag intuitiv erleben.

Alles, was wir messen, tun und erleben, basiert auf Modellen, die nur approximativ gültig sind.

Diese Erkenntnis kann ein Gefühl von Ontologischer Unsicherheit erzeugen: Die fundamentale Struktur der Realität ist „anders“, als unser Gehirn denkt.

Aber: Unsicherheit \neq Bedeutungslosigkeit.

3. Wie man das einordnen kann

Theoretischer Fokus

Die Planck-Skala betrifft die kleinste physikalische Ebene, weit jenseits direkter Erfahrung.

Für Alltag, Gesellschaft, Kultur, ethische Entscheidungen ändert sich praktisch nichts.

Intellektuelle Provokation

24.12.25

Sie fordert uns, die Grenzen von Wissen, Messbarkeit und Vorstellungskraft zu reflektieren.

Das kann befreiend sein: Wir erkennen, dass unsere Modelle Werkzeuge sind, keine absolut festgeschriebenen Wahrheiten.

Brücke zur menschlichen Erfahrung

Auch wenn Raum und Zeit auf fundamentaler Ebene „granular“ oder „diskontinuierlich“ sind, erleben wir kontinuierliche Bewegungen, Gedanken und Beziehungen.

Das heißt: Die physikalische Provokation berührt die Erfahrungswelt nicht direkt, sondern fordert uns auf, unsere Modelle und Annahmen zu hinterfragen.

Kurz gesagt

Die Planck-Skala provoziert unser Denken, nicht unser Leben. Sie zeigt, dass das Universum auf fundamentaler Ebene „anders tickt“, als wir es intuitiv wahrnehmen – aber alles, worauf sich Menschen je berufen haben (Sprache, Kultur, Moral, Erfahrung), bleibt gültig und handhabbar.

Wenn du willst, kann ich eine noch knappere, gut merkbare Formulierung schreiben, die dieses „Gefühl der Provokation vs. Sicherheit menschlicher Erfahrung“ in zwei Sätzen zusammenfasst. Willst du, dass ich das mache?

ja bitte, bitte zuvor noch die obere angebotene Version

Perfekt – ich fasse zuerst die zuvor angebotene Version zur Planck-Skala vs. WHs 10^{-47} s noch einmal kompakt zusammen, bevor ich die gewünschte, noch kürzere Version zur „provokativen Denkungsart“ formuliere.

1. Kompakte Version: Planck-Skala vs. WHs 10^{-47} s

Die Planck-Länge (

$\ell_P \sim 1,6 \cdot 10^{-35}$ m

ℓ

P

$\sim 1,6 \cdot 10$

-35

m) und die Planck-Zeit (

$t_P \sim 5,4 \cdot 10^{-44}$ s

t

P

24.12.25

$\sim 5,4 \cdot 10$

-44

s) markieren die theoretisch kleinsten sinnvollen Einheiten von Raum und Zeit. Unterhalb dieser Skala verliert das klassische Konzept von kontinuierlicher Raumzeit seine Gültigkeit. Experimentell können wir nur Strukturen bis etwa

10^{-18} m

10^{-18}

-18

m beobachten. WHs Angabe von

10^{-47} s

10^{-47}

-47

s ist keine physikalisch messbare Größe, sondern ein illustratives Gedankenexperiment, das die Idee einer fundamentalen Diskontinuität in der Realität veranschaulichen soll.

Kurzformel: Planck-Skala = fundamentale theoretische Grenze für Raum und Zeit; WHs 10^{-47} s = illustrative Übertreibung.

2. Zwei-Satz-Version: Provokation vs. menschliche Erfahrung

Die fundamentale Diskontinuität von Raum und Zeit auf Planck-Skala mag unsere alltägliche Intuition und unser Denken provokativ herausfordern. Sie ändert aber nicht die Gültigkeit menschlicher Erfahrung, Sprache, Kultur oder Werte – sie fordert lediglich, unsere Modelle der physikalischen Realität zu hinterfragen.

Wenn du willst, kann ich noch eine kurze, bildhafte Version formulieren, die die Planck-Skala mit einem „Pixelmaß des Universums“ kombiniert und gleichzeitig die Provokation vs. menschliche Sicherheit anschaulich macht. Willst du, dass ich das mache?

ja das wäre sinnvoll um überhaupt mit "etwas Boden unter den Füßen" durch den himmel zu fliegen

Perfekt, dann hier eine bildhafte Version, die Planck-Skala, Gedankenexperiment und das „Bodengefühl“ für die menschliche Erfahrung zusammenbringt:

Bildhafte Version: „Pixelmaß des Universums“

24.12.25

Stell dir vor, das Universum ist wie ein digitales Bild: die Planck-Länge ist das kleinste Pixel, die Planck-Zeit das kleinste Frame. Unterhalb dieser Skala verschwimmen Kontinuität und klassische Logik – das Bild selbst zerfällt in unteilbare Bausteine.

Für uns Menschen bleibt der Himmel, unter unseren Füßen, die Sprache, die Beziehungen und Werte fest und handhabbar – wir „fliegen“ also durch die fundamentale Diskontinuität mit stabilem Boden unter den Füßen. WHs 10^{-47} s ist nur ein zusätzliches Gedanken-„Pixel“, das die Idee der minimalen Veränderung illustriert, aber unsere Erfahrung nicht erschüttert.