Weber-Kraft als fundamentale Theorie der Quantengravitation

Michael Czybor

20. Juni 2025

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

Wissenschaftliches Manifest

Diese Theorie unterwirft sich keiner vorab definierten kosmologischen Erzählung – weder Expansion noch Urknall noch Konstantheit der Lichtgeschwindigkeit werden axiomatisch gefordert. **Die Wahrheit emergiert aus der Mathematik der Knoten und Gitter**, nicht aus historischen Dogmen.

Fundamentale Prinzipien

1. **Emergenz statt Diktat**
   Kosmologische Phänomene (wie Expansion) dürfen nur als *Folge* der Gitterdynamik auftreten, nie als Voraussetzung.
2. **Mikrophysik bestimmt Makrophysik**
   Die Dodekaeder-Struktur der Raumzeit und ihre Knotenmoden generieren Gravitation – nicht umgekehrt.
3. **Experimente als einziger Schiedsrichter**
   Vorhersagen müssen die ART *ohne Anpassungen* widerlegen können.

Theoretischer Rahmen

- Verzichtet auf Raumzeit-Kontinuum
- Führt Gravitation auf Knotenfluktuationen zurück
- Lässt alle kosmologischen Szenarien zu

Achtung: Wichtigster Unterschied zur ART:
Lichtablenkung folgt aus *nichtlinearer Bahndynamik* im Gitter – **ohne globale Raumzeitannahmen**.

1.1 Einführung

Klassische Weber-Kraft

$$F_{Weber}^{EM} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r^2}\left(1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{2r\ddot{r}}{c^2}\right)\hat{r}$$

Modifizierte Weber-Kraft

$$F_{Weber}^{Grav} = -\frac{GMm}{r^2}\left(1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{r\ddot{r}}{2c^2}\right)\hat{r}$$

Mit $\alpha = 1$, $\beta = 0.5$

1.2 Berechnung der Periheldrehung

$$\Delta\theta = \frac{6\pi GM}{ac^2(1-e^2)}$$

Theorie	Vorhersage	Beobachtet
Newton	0”	✗
Weber ($\beta = 1$)	21.5”	✗
Weber ($\beta = 0.5$)	43”	✓
ART	43”	✓

Tabelle 1.1: Periheldrehung des Merkur

1.3 Physikalische Interpretation

- $\beta = 0.5$ kombiniert zeitartige und räumliche Effekte
- Entspricht beiden ART-Krümmungskomponenten

Bedeutung: Klassische Ansätze können relativistische Effekte reproduzieren.

1.4 Aktuelle Grenzen

Bereich	Herausforderung	Ansatz
Quantengravitation	Keine vollständige Formulierung	Knotenmodell
Gravitationswellen	Keine empirischen Tests	kHz-Vorhersagen

1.5 β-Formel

$$\beta = 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\delta} \cdot \left(1 - \frac{mc^2}{E}\right)$$

- $\delta = 0$: Elektrodynamik
- $\delta = 1$: Gravitation

1.6 Universelle Formel

$$F = -\frac{GM}{r^2} \cdot \frac{E}{c^2} \left(1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{r\ddot{r}}{c^2} \cdot \left(1 - \frac{v_{\tan}^2}{c^2}\right)\right) \hat{r}$$

Für Massen

$$F = -\frac{GMm}{r^2} \left(1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{r\ddot{r}}{2c^2}\right)$$

1.7 Rotverschiebung

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{GM}{c^2 r}\left(1 + \frac{v_r^2}{2c^2}\right)$$

- ART-Äquivalent + Geschwindigkeitsterm
- Vorhersage für $v_r \approx 0.01c$: 0.5% stärker

1.8 Gravitationswellen

$$\Box h_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{c^4}\left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\beta \cdot \partial_t^2 Q_{\mu\nu}\right)$$

- Kollektive Gitterschwingungen
- Neue Vorhersage: Diskretisierungseffekte >1 kHz

1.9 Quantisierter Raum

Dodekaeder-Gitter

- Grundlänge: $L_p = \sqrt{\hbar G/c^3}$
- 12 Nachbarn pro Zelle

Diskrete Zeit

$$t = n \cdot t_p \quad (t_p = \sqrt{\hbar G/c^5})$$

1.10 Knotentheorie

Jones-Polynome

$$V(t) = \sum_i a_i t^i$$

Teilchen	Polynom
Elektron	1
Quark	$t + t^{-1} + t^{-2}$

1.11 Quantenelektrodynamik

$$F_{Weber}^{QED} = \frac{V_1(t)V_2(t)}{4\pi\epsilon_0 (nL_p)^2}\left(1 - \frac{(\Delta L_p/\Delta t_p)^2}{c^2} + \frac{2L_p \Delta^2 L_p}{c^2 \Delta t_p^2}\right)\hat{r}$$

1.12 Vorhersagekraft

Effekt	ART	Weber
Lichtablenkung	Konstant	$\sim 1 + (\lambda_0/\lambda)^2$

1.13 Historische Entwicklung

1. 1846: Weber (EM-Formulierung)
2. 1882: Tisserand (Gravitation, $\beta = 2$)
3. 2025: Modifizierte Form ($\beta = 0.5$)

1.14 Forschungs-Roadmap

- 2025-2030: Multiband-Tests
- 2035+: Gitterdispersion (LISA)
- 2040: Hochpräzision (FCC-ee)

1.15 Vergleich mit ART

Kriterium	Weber	ART
Grundkonzept	Kraft	Geometrie

1.16 Literatur

- Weber, W. (1846). „Elektrodynamische Massbestimmungen“
- Einstein, A. (1915). „Erklärung der Perihelbewegung des Merkur“
- Jones, V. (1985). „A polynomial invariant for knots via von Neumann algebras“
- Assis, A.K.T. (1994). „Weber’s Electrodynamics“

Kapitel 2

Bahndynamik

2.1 Vektordefinitionen (Kartesische Koordinaten)

Ortsvektor

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \sin\theta\cos\phi \\ \sin\theta\sin\phi \\ \cos\theta \end{pmatrix} \tag{2.1}$$

Geschwindigkeitsvektor

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta} + r\sin\theta\dot{\phi}\hat{\phi} \tag{2.2}$$

Beschleunigungsvektor

$$\begin{aligned} \vec{a} = \ddot{\vec{r}} &= \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} \\ &= \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 - r\sin^2\theta\dot{\phi}^2\right)\hat{r} \\ &+ \left(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} - r\sin\theta\cos\theta\dot{\phi}^2\right)\hat{\theta} \\ &+ \left(r\sin\theta\ddot{\phi} + 2\dot{r}\sin\theta\dot{\phi} + 2r\cos\theta\dot{\theta}\dot{\phi}\right)\hat{\phi} \end{aligned} \tag{2.3}$$

2.2 Weber-Kraft in Vektorform

Weber-Kraft zwischen zwei Massen

$$\vec{F}_{12} = -\frac{GMm}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}\left(1 - \frac{(\dot{\vec{r}}_1 - \dot{\vec{r}}_2)\cdot(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)}{c^2|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|} + \frac{(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)\cdot(\ddot{\vec{r}}_1 - \ddot{\vec{r}}_2)}{2c^2}\right)(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \tag{2.4}$$

Bewegungsgleichung für Masse m

$$m\ddot{\vec{r}} = \sum_i -\frac{GM_i m}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3}\left(1 - \frac{(\dot{\vec{r}} - \dot{\vec{r}}_i)\cdot(\vec{r} - \vec{r}_i)}{c^2|\vec{r} - \vec{r}_i|} + \frac{(\vec{r} - \vec{r}_i)\cdot(\ddot{\vec{r}} - \ddot{\vec{r}}_i)}{2c^2}\right)(\vec{r} - \vec{r}_i) \tag{2.5}$$

2.3 Lösungen in Vektorform

Bahngleichung (xy-Ebene)

$$\vec{r}(\phi) = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos(\kappa\phi)} \left[1 + \frac{3G^2M^2}{c^2h^4}\left(1 + \frac{e^2}{2} + e\phi\sin(\kappa\phi)\right)\right] \begin{pmatrix} \cos\phi \\ \sin\phi \\ 0 \end{pmatrix} \tag{2.6}$$

Geschwindigkeitsfeld

$$\vec{v}(\phi) = \sqrt{\frac{GM}{a(1-e^2)}} \left[\frac{e\kappa\sin(\kappa\phi)}{1+e\cos(\kappa\phi)} \begin{pmatrix} \cos\phi \\ \sin\phi \\ 0 \end{pmatrix} + (1+e\cos(\kappa\phi)) \begin{pmatrix} -\sin\phi \\ \cos\phi \\ 0 \end{pmatrix}\right] \tag{2.7}$$

2.4 N-Körper-Systeme

Beschleunigung des i-ten Körpers

$$\ddot{\vec{r}}_i = -\sum_{j\neq i} \frac{GM_j}{|\vec{r}_{ij}|^3}\left(1 - \frac{(\dot{\vec{r}}_{ij}\cdot\vec{r}_{ij})^2}{c^2|\vec{r}_{ij}|^2} + \frac{\vec{r}_{ij}\cdot\ddot{\vec{r}}_{ij}}{2c^2}\right)\vec{r}_{ij} \tag{2.8}$$

mit $\vec{r}_{ij} = \vec{r}_i - \vec{r}_j = \begin{pmatrix} x_i - x_j \\ y_i - y_j \\ z_i - z_j \end{pmatrix}$

Radialkomponenten

$$\dot{r}_{ij} = \frac{\vec{r}_{ij}\cdot\dot{\vec{r}}_{ij}}{|\vec{r}_{ij}|} \tag{2.9}$$

$$\ddot{r}_{ij} = \frac{|\dot{\vec{r}}_{ij}|^2 + \vec{r}_{ij}\cdot\ddot{\vec{r}}_{ij} - \dot{r}_{ij}^2}{|\vec{r}_{ij}|} \tag{2.10}$$

2.5 Tensor-Notation (Indexschreibweise)

Weber-Kraft (komponentenweise)

$$F_i^k = -\sum_{j\neq i} \frac{GM_jm_i}{r_{ij}^3}\left(1 - \frac{\dot{x}_{ij}^l\dot{x}_{ij}^l}{2c^2} + \frac{x_{ij}^l\ddot{x}_{ij}^l}{2c^2}\right)x_{ij}^k \tag{2.11}$$

wobei $x_{ij}^k = x_i^k - x_j^k$ (k = 1,2,3 für x,y,z)

Notationskonventionen:

- Fettdruck: $\mathbf{r} = \vec{r}$ (Vektoren)
- Punkt: $\dot{\mathbf{r}} = d\mathbf{r}/dt$ (Zeitableitung)
- $r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$ (Betrag)
- $\mathbf{a}\cdot\mathbf{b} = a^kb^k$ (Skalarprodukt, Einstein-Summation)

2.6 Grundgleichungen der Weber-Gravitation

Weber-Gravitationskraft

$$F = -\frac{GMm}{r^2}\left(1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{r\ddot{r}}{2c^2}\right) \tag{2.12}$$

Bewegungsgleichung in Polarkoordinaten

$$m(\ddot{r} - r\dot{\phi}^2) = -\frac{GMm}{r^2}\left(1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{r\ddot{r}}{2c^2}\right) \tag{2.13}$$

2.7 Herleitung der Winkelgeschwindigkeit

Drehimpulserhaltung

$$h = r^2\dot{\phi} = \text{konstant} \quad \Rightarrow \quad \dot{\phi} = \frac{h}{r^2} \tag{2.14}$$

Diese fundamentale Beziehung bleibt auch in der Weber-Gravitation gültig.

Radialgleichung mit Weber-Korrektur

Nach Substitution von $u = 1/r$ und Linearisierung:

$$\frac{d^2u}{d\varphi^2} + u = \frac{GM}{h^2} + \frac{3GM}{c^2}u^2 - \frac{GM}{2c^2h^2}\left(\frac{du}{d\varphi}\right)^2 \tag{2.15}$$

2.8 Lösung für die Winkelgeschwindigkeit

Exakte Winkelgeschwindigkeit

$$\dot{\phi}(\varphi) = \frac{h}{r(\varphi)^2} \tag{2.16}$$

wobei $r(\varphi)$ aus der modifizierten Radialgleichung zu bestimmen ist.

Näherungslösung für kleine Störungen

Für $r(\varphi)$ in erster Ordnung:

$$r(\varphi) \approx \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\varphi}\left[1 + \frac{3GM}{c^2a(1-e^2)}\varphi e\sin\varphi\right] \tag{2.17}$$

Daraus folgt die Winkelgeschwindigkeit:

$$\dot{\phi}(\varphi) \approx \frac{h(1+e\cos\varphi)^2}{a^2(1-e^2)^2}\left[1 - \frac{6GM}{c^2a(1-e^2)}\varphi e\sin\varphi\right] \tag{2.18}$$

2.9 Anwendung auf Merkur

Parameter	Wert
Große Halbachse a	5.79×10^{10} m
Exzentrizität e	0.2056
Spezifischer Drehimpuls h	2.713×10^{15} m²/s

Tabelle 2.1: Merkur-Bahnparameter

Winkelgeschwindigkeit im Perihel ($\varphi = 0$)

$$\dot{\phi}(0) = \frac{2.713 \times 10^{15}}{(4.69 \times 10^{10})^2} \approx 1.23 \times 10^{-6}\,\mathrm{rad/s} \tag{2.19}$$

Mit Weber-Korrektur:

$$\dot{\phi}_{\mathrm{Weber}}(0) \approx 1.23 \times 10^{-6} \left[1 - 2.1 \times 10^{-8}\right] \mathrm{rad/s} \tag{2.20}$$

2.10 Zusammenfassung der Winkelgeschwindigkeit

Die korrekte Winkelgeschwindigkeit unter Weber-Gravitation ist:

$$\boxed{\dot{\phi}(\varphi) = \frac{h}{r(\varphi)^2}} \tag{2.21}$$

wobei $r(\varphi)$ aus der modifizierten Weber-Gleichung zu bestimmen ist. Die Weber-Kraft führt zu einer kleinen Modulation der klassischen Kepler-Geschwindigkeit.

Kapitel 3

Störungsrechnung

Wichtige Anmerkungen:

- **Konsequente Verwendung von Doppelindizes (i,j) für alle Störterme**
- **Erster Index (i) = Störkörper, zweiter Index (j) = betroffener Körper**
- **Vollständige Definition aller verwendeten Größen**
- **Explizite Summation über alle relevanten Störkörper**

3.1 Systemdefinition und Variablen

Symbol	Bedeutung	Einheit
$M_\odot$	Masse der Sonne	kg
M_i	Masse des i-ten Störkörpers ($i = 1..N$)	kg
r_j	Position des betrachteten Körpers j (z.B. Merkur)	km
r_i	Position des i-ten Störkörpers	km
v_j	Geschwindigkeit des Körpers j	km/s
h_j	Spezifischer Drehimpuls des Körpers j ($h_j = \|\vec{r}_j \times \vec{v}_j\|$)	km²/s
a_i	Große Halbachse des i-ten Störkörpers	km
$\hat{z}$	Einheitsvektor in z-Richtung $(0, 0, 1)$	-

Tabelle 3.1: Definition der verwendeten Variablen

3.2 Grundlegende Störterme

Positionsstörung $\Delta r_{\mathbf{ij}}$

Änderung der Position von Körper j durch Körper i:

$$\Delta \mathbf{r}_{ij} = \frac{M_i}{M_\odot} \cdot \frac{a_i^2}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|^2}(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i)$$

wobei $|r_\mathrm{j} - r_\mathrm{i}|$ der Abstand zwischen Körper j und Störkörper i ist.

Geschwindigkeitsstörung $\Delta v_{\mathbf{ij}}$

Änderung der Geschwindigkeit von Körper j durch Körper i:

$$\Delta \mathbf{v}_{ij} = \frac{GM_i}{h_j} \cdot \frac{(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \times \hat{\mathbf{z}}}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|^3}$$

Das Kreuzprodukt ($\mathrm{r_j}$ - $\mathrm{r_i}$) × ẑ ergibt einen tangentialen Vektor.

Winkelgeschwindigkeitsstörung $\Delta \omega_{\mathbf{ij}}$

Änderung der Winkelgeschwindigkeit von Körper j durch Körper i:

$$\Delta \omega_{ij} = \frac{(\mathbf{r}_j \times \Delta \mathbf{v}_{ij})_z + (\Delta \mathbf{r}_{ij} \times \mathbf{v}_j)_z}{|\mathbf{r}_j|^2}$$

wobei $(\cdot)_\mathrm{z}$ die z-Komponente des Vektors ist.

3.3 Gesamtstörungen auf Körper j

Gesamtpositionsstörung

Summe über alle Störkörper (i ≠ j):

$$\Delta \mathbf{r}_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \Delta \mathbf{r}_{ij}$$

Gesamtgeschwindigkeitsstörung

$$\Delta \mathbf{v}_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \Delta \mathbf{v}_{ij}$$

Gesamtwinkelgeschwindigkeitsstörung

$$\Delta \omega_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \Delta \omega_{ij}$$

3.4 Konkretes Beispiel: Merkur (j) gestört durch Jupiter (i=1)

Beitrag von Jupiter zur Positionsstörung

$$\Delta \mathbf{r}_{\text{Jupiter}\to\text{Merkur}} = \frac{M_{\text{Jupiter}}}{M_\odot} \cdot \frac{a_{\text{Jupiter}}^2}{|\mathbf{r}_{\text{Merkur}} - \mathbf{r}_{\text{Jupiter}}|^2} (\mathbf{r}_{\text{Merkur}} - \mathbf{r}_{\text{Jupiter}})$$

Beitrag von Jupiter zur Geschwindigkeitsstörung

$$\Delta \mathbf{v}_{\text{Jupiter}\to\text{Merkur}} = \frac{GM_{\text{Jupiter}}}{h_{\text{Merkur}}} \cdot \frac{(\mathbf{r}_{\text{Merkur}} - \mathbf{r}_{\text{Jupiter}}) \times \hat{\mathbf{z}}}{|\mathbf{r}_{\text{Merkur}} - \mathbf{r}_{\text{Jupiter}}|^3}$$

Beitrag von Jupiter zur Winkelgeschwindigkeitsstörung

$$\Delta \omega_{\text{Jupiter}\to\text{Merkur}} = \frac{(\mathbf{r}_{\text{Merkur}} \times \Delta \mathbf{v}_{\text{Jupiter}\to\text{Merkur}})_z + (\Delta \mathbf{r}_{\text{Jupiter}\to\text{Merkur}} \times \mathbf{v}_{\text{Merkur}})_z}{|\mathbf{r}_{\text{Merkur}}|^2}$$

3.5 Vollständige Zusammenfassung

Zusammenfassung der Störungsgleichungen

$$\begin{aligned}
\Delta \mathbf{r}_{ij} &= \frac{M_i}{M_\odot} \cdot \frac{a_i^2}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|^2} (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \\
\Delta \mathbf{v}_{ij} &= \frac{GM_i}{h_j} \cdot \frac{(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \times \hat{\mathbf{z}}}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|^3} \\
\Delta \omega_{ij} &= \frac{(\mathbf{r}_j \times \Delta \mathbf{v}_{ij})_z + (\Delta \mathbf{r}_{ij} \times \mathbf{v}_j)_z}{|\mathbf{r}_j|^2} \\
\Delta \mathbf{r}_j &= \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{N} \Delta \mathbf{r}_{ij} \\
\Delta \mathbf{v}_j &= \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{N} \Delta \mathbf{v}_{ij} \\
\Delta \omega_j &= \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{N} \Delta \omega_{ij}
\end{aligned}$$

Zusammenfassung der wichtigsten Punkte

1. **Alle Störterme verwenden konsistente Doppelindizes (Störkörper→betroffener Körper)**
2. **Die Gesamtstörung ist jeweils die Summe über alle Störkörper**
3. **Für konkrete Berechnungen müssen alle relevanten Störkörper berücksichtigt werden**

Kapitel 4

Baryzentrisches Koordinatensystem

4.1 Transformation: Heliozentrisch → Baryzentrisch

Die Bewegung der Sonne lässt sich indirekt aus den Positionen und Bewegungen der Planeten bestimmen.

Baryzentrische Position der Sonne

$$\vec{R}_\odot = -\frac{\sum m_i \vec{r}_i}{M_\odot + \sum m_i} \tag{4.1}$$

Baryzentrische Positionen der Planeten

$$\vec{R}_i = \vec{R}_\odot + \vec{r}_i \tag{4.2}$$

Baryzentrische Geschwindigkeiten

$$\vec{V}_\odot = -\frac{\sum m_i \vec{v}_i}{M_\odot + \sum m_i} \tag{4.3}$$

$$\vec{V}_i = \vec{V}_\odot + \vec{v}_i \tag{4.4}$$

4.2 Validierungstests

Schwerpunkttest

$$\vec{R}_{\text{cm}} = \frac{M_\odot \vec{R}_\odot + \sum m_i \vec{R}_i}{M_\odot + \sum m_i} \approx \vec{0} \tag{4.5}$$

$$\vec{P}_{\text{total}} = M_\odot \vec{V}_\odot + \sum m_i \vec{V}_i \approx \vec{0} \tag{4.6}$$

Umkehrtransformation

$$\vec{r}_i^{\,\text{test}} = \vec{R}_i - \vec{R}_\odot \approx \vec{r}_i \tag{4.7}$$

$$\vec{v}_i^{\,\text{test}} = \vec{V}_i - \vec{V}_\odot \approx \vec{v}_i \tag{4.8}$$

4.3 Beispiel: Sonne-Jupiter-System

Mit $M_\odot = 1.989 \times 10^{30}$ kg, $m_J = 1.898 \times 10^{27}$ kg:

$$\vec{R}_\odot = -\frac{m_J}{M_\odot + m_J}\vec{r}_J \approx -7.425 \times 10^8 \text{ m} \tag{4.9}$$

$$\vec{V}_\odot = -\frac{m_J}{M_\odot + m_J}\vec{v}_J \approx -12.46 \text{ m/s} \tag{4.10}$$

Größe	Heliozentrisch	Baryzentrisch
Sonnenposition	$\vec{0}$	$\approx -742,500$ km
Jupiterposition	778.5×10^6 km	$\approx 777.8 \times 10^6$ km

Tabelle 4.1: Vergleich der Koordinatensysteme

4.4 Implementierung

Listing 4.1: Pseudocode für die Transformation

```
// Berechne gewichtete Summen
weighted_r = sum(m[i] * r[i])
weighted_v = sum(m[i] * v[i])
total_mass = M_sun + sum(m[i])

// Baryzentrische Sonne
R_sun = -weighted_r / total_mass
V_sun = -weighted_v / total_mass

// Baryzentrische Planeten
for each planet i:
    R[i] = R_sun + r[i]
    V[i] = V_sun + v[i]
```

Numerische Genauigkeit

Verwende `double`-Präzision und überprüfe die Bedingungen:

- $|\vec{R}_{\text{cm}}| < 10^{-10}$ AU
- $|\vec{P}_{\text{total}}| < 10^{-10}$ kg m/s

Kapitel 5

Simulation

5.1 Funktionsweise

Die Simulation der Dynamik sämtlicher Objekte (Planeten, Sonne, etc.) wird mit Hilfe eines Zustandsautomaten realisiert. Jeder Zyklus entspricht einem Zeitschritt T. T ist im Moment konstant, könnte aber auch variabel sein.

Mit Hilfe der aus der Weber-Gravitationskraft hergeleiteten Gleichungen für $\vec{r}(\phi)$, $\vec{v}(\phi)$, $\vec{\omega}(\phi)$ lassen sich die Anfangsbedingungen (Startwerte der Simulation) bestimmen. Obwohl diese Gleichungen nur Näherungen sind, erreichen sie dennoch die selbe Genauigkeit wie die ART (Periheldrehung des Planeten Merkur). Im Anschluss werden die Störungen $\delta\vec{r}$, $\delta\vec{v}$, $\delta\vec{\omega}$ berechnet, welche sich aus den Positionen und Geschwindigkeiten ergeben; diese werden den jeweiligen Startwerten hinzugefügt.

Die Weber-Gravitation besitzt einen beschleunigungsabhängigen Term, welcher wiederum von der Weber-Gravitationskraft abhängig ist. Eine exakte analytische Berechnung ist daher nicht möglich; theoretisch ließen sich aber die Startwerte auch numerisch berechnen.

Eine weitere Ungenauigkeit der Simulation besteht durch die unvollständige Störungsberechnung. Die Störungen der Himmelskörper werden von ungestörten Positionen aus berechnet. Richtig wäre es, gestörte Ausgangswerte zur Berechnung der Störung eines bestimmten Himmelskörpers zu verwenden. Das Problem hierbei wäre eine Rekursion, die erst dann endet, wenn die Störungen gegen einen bestimmten Wert konvergieren.

Aus praktischer Sicht wäre dieser Aufwand ungerechtfertigt, da die „Störung der Störung“ im numerischen Rauschen untergeht. Auch die numerischen Ungenauigkeiten spielen eine Rolle, wobei sie durch das verwendete Simulationsprinzip (Integration des Winkels) stark reduziert werden.

Bis zu diesem Zeitpunkt wurden alle Berechnungen im heliozentrischen Koordinatensystem ducrhgeführt, wobei die Sonne die Geschwindigkeit $\vec{v}_{\text{Sonne}} = \vec{0}$ hat und sich im Koordinatenursprung $\vec{r}_{\text{Sonne}} = \vec{0}$ befindet. Für die Berechnung der Planeten wurden deren Monde (falls vorhanden), als zusätzliche Massen der jeweiligen Planetenmasse hinzugefügt. Eine zukünftige Erweiterung der Simulation könnte auch die Monde simulieren.

Im nächsten Berechnungszustand werden alle Planeten ins baryzentrische Koordinatensystem verschoben. Hierdurch kann auch die Position und Bewegung der Sonne bestimmt werden.

Durch die Verwendung des barizentrischen Systems entsteht auch die Möglichkeit einer einfachen Überprüfung der Plausibilität der kinetischen Berechnungen. Die Summe über alle Impulse muss Null ergeben. Das gleiche gilt auch für die Summe des Systemschwerpunkts. Alle Himmelskörper inkl. der Sonne, müssen sich um einen virtuellen Nullpunkt bewegen; dem Baryzentrum des Sonnensystems. Sollten Raumfahrzeuge mitsimuliert werden (Dynamik eines Raumschiffs im Sonnensystem), wären diese hier auszuschließen.

Als letzter Simulationszustand kann nun der zukünftige Winkel $\phi_{\text{n+1}} = \omega(\phi_n) * T$ für jeden Himmelskörper berechnet werden. Die Integration findet also nicht über die Ortsvektoren und den Kräften statt, sondern über den Winkel; hierdurch ensteht eine höhere numerische Stabilität. Je kleiner der Zeitschritt gewählt wird, desto präziser ist die Simulation.

Im nächsten Simulationsschritt wiederholt sich der ganze Vorgang. Es gibt somit keine Fehler in der Berechnung der Positionen oder Geschwindigkeiten, da diese immer von einem klar definierten Winkel abhängig sind. Es kann lediglich ein Fehler in der Integration des Winkels entstehen, da sich die Winkelgeschwindigkeit kontinuierlich ändert, aber für die Zeitdauer eines Schritts eine konstante Winkelgeschwindigkeit angenommen wird.

5.2 Ausblick

Die weiterführende Entwicklung der Weber-Gravitationstheorie, hin zu einer Quantengravitation, erfordert ebenfalls eine schrittweise Berechnung (diskretes Raumgitter). Somit ist diese Simulation, bezüglich ihrer physikalischen Aussagekraft, erweiterbar und prinzipiell auf dem richtigen Weg.

Eine besondere Eigenschaft der Weber-Kraft ist, dass sie drei Kräfte (Elektromagnetismus, Gravitation) einheitlich beschreiben - und somit auch zusammenfassen kann. Sie ist deshalb für eine „Theorie von allem“ predestiniert.

Kapitel 6

Anhang

6.1 Quellcode und Dokumentation

https://github.com/deppenkaiser/webersim