

Gravitation 3.12

Handbuch

Dr. Arnim Wegner

5. November 2011

Inhalt

1	Einführung	3
1.1	Lieferumfang und Lizenz	3
1.2	Installation und Programmstart	3
1.3	Zweck und Funktion	4
1.4	Updates	4
2	Bedienung	5
2.1	Menüs	5
2.1.1	Datei	5
2.1.2	Eingabe	6
2.1.3	Einstellungen	12
2.1.4	Hilfe	21
2.2	Steuerelemente	22
2.2.1	Eingegebene Körper	22
2.2.2	Zustand	22
2.2.3	Einstellungen	24
2.2.4	Anzeigen	24
2.2.5	Blickrichtung	25
2.2.6	Startdateizeit	26
2.2.7	Startzeit	26
2.2.8	Bezugspunkt Bild	26
2.2.9	Bildbreite	26
2.2.10	Zeitschritt	26
2.3	Tastaturbefehle	27
2.4	Mausverwendung beim Vollbild	29
2.5	Speichern und Drucken von Bildern	29
3	Startdateien	29
4	Bilddateien	30
5	Halbschrittverfahren	32

1 Einführung

1.1 Lieferumfang und Lizenz

Durch Entpacken der Datei »Gravitation.zip« entsteht der Programmordner »Gravitation«. Er enthält

- das ausführbare Programm »Gravitation.exe«,
- den Ordner »Daten« mit Startdateien »Daten... .ini«¹ und einem Beispiel einer Startdatei im csv-Format² sowie
- den Ordner »Texte« mit diesem Handbuch in der Datei »Gravitation-Handbuch.pdf« und der GNU General Public License in der Datei »GNU General Public License.pdf«.

Auf Wunsch können der Quellcode des Programms und das Programmsymbol nachgeliefert werden. Die gelieferten Dateien werden unter der GNU General Public License (Version 3) veröffentlicht. Die in den Startdateien »Daten... .ini« enthaltenen Koordinaten und Geschwindigkeiten wurden mit dem Programm High Precision Ephemeris Tool 2 (© Astronomiesoftware Dings) ermittelt.

Wesentliche Neuerungen und Änderungen gegenüber der Vorversion sind durch die Randnotiz 3.12 gekennzeichnet.

1.2 Installation und Programmstart

Das Programm läuft unter Windows XP©, Windows Vista© und Windows 7©. DirectX© ab Version 9.0 muss installiert sein.

Eine Installation im unter Windows üblichen Sinne ist nicht vorgesehen; es gibt keine zusätzlichen dll-Dateien, Registrierungseinträge o. ä. Der Programmordner »Gravitation« wird am zweckmäßigsten in einen Ordner wie »C:\Programme« kopiert; die im Programmordner enthaltenen Ordner »Daten« und »Texte« müssen an diesem Ort bleiben und diese Namen behalten. Das Programm kann aber auch von einem externen Datenträger aus gestartet werden.

Das Programm wird durch Ausführen von »Gravitation.exe« gestartet. Zur Vereinfachung des Programmstarts sollte der Benutzer eine Verknüpfung mit »Gravitation.exe« auf dem Desktop oder im Startmenü anlegen. Die Ausführung mehrerer Instanzen von Gravitation 3.12 zur gleichen Zeit ist zwar möglich, wird aber nicht empfohlen.³

Wird das Programm von einem internen Datenträger gestartet, legt es beim ersten Programmstart im Bereich der Benutzerdaten einen weiteren Ordner »Gravitation« mit den Dateien »Einstellungen.ini« und »TempDaten.ini« (s. u.) an. Zur Unterscheidung vom Programmordner

¹ Siehe hierzu auch die Abschnitte 1.4, 2 und 3.

² Siehe Abschnitt 3.

³ Nach einer Fehlfunktion kann die nicht zutreffende Meldung erscheinen, dass das Programm bereits lief. Bei Problemen kann notfalls die Datei »Einstellungen.ini« editiert und der Wert „Instanz=1“ von Hand in „Instanz=0“ geändert werden.

wird er im Folgenden „Anwendungsdatenordner“ genannt. Durch diese Trennung wird sichergestellt, dass das Programm nur in den zweiten Ordner schreibt. Ebenso wird beim Start von einem externen nicht beschreibbaren Datenträger verfahren.

Beim Start von einem externen beschreibbaren Datenträger wird der Anwendungsdatenordner auf diesem Datenträger innerhalb des Programmordners selbst eingerichtet, sodass auf dem verwendeten Rechner keinerlei Daten zurückbleiben.

Der genaue Ort des Anwendungsdatenordners hängt vom Betriebssystem und vom Benutzer ab; er kann mit dem Menüpunkt **Datei/Pfade anzeigen** ermittelt werden.

Die Deinstallation geschieht durch Löschen dieser beiden Ordner und der vom Benutzer angelegten Verknüpfungen. Zum Vorgehen bei Updates siehe Abschnitt 1.4.

1.3 Zweck und Funktion

Das Programm ermöglicht – insbesondere zu Unterrichtszwecken – die Berechnung und Darstellung der Bewegungen von Körpern in Gravitationsfeldern nach den Gesetzen der klassischen Physik. Als Körper können sowohl Himmelskörper unseres Sonnensystems (Sonne, Planeten, Mond⁴) mit ihren realen Massen und Koordinaten⁵ als auch willkürlich definierte Körper – u. a. Erdsatelliten und Doppelsterne – eingegeben werden. Die für die realen Körper benötigten Daten sind in den Startdateien enthalten, und das Programm berechnet aus ihnen beim Programmstart die für diesen Zeitpunkt gültigen Werte. Die Werte für andere Körper sind z. T. vordefiniert, können aber auch frei gewählt werden. Der Benutzer entscheidet, welche Körper „vorhanden“ sein sollen.

Im Unterschied zu Astronomieprogrammen stehen bei diesem Programm die physikalischen Vorgänge im Vordergrund; deshalb kann hier der Benutzer fast alle Werte verändern und somit Experimente simulieren. Hinzu kommen spezielle Effekte wie die Darstellung von Hohmann-übergängen, Lagrangepunkten oder Wurfbewegungen. Alle Bahnrechnungen werden iterativ mit dem Halbschrittverfahren⁶ räumlich (dreidimensional) und mit Wechselwirkung aller eingegebenen Körper miteinander ausgeführt und in Parallelprojektion⁷ mit veränderbarer Blickrichtung dargestellt.

1.4 Updates

Neue Programmversionen können im Internet⁸ gefunden oder vom Programmautor erhalten werden. Diese Programmversionen enthalten *alle* benötigten Dateien. Die im Programmordner

⁴ Gemeint ist immer der Mond der Erde; andere Monde sind nicht in den Startdateien (siehe Abschnitt 3) enthalten.

⁵ Genaueres hierzu siehe im Abschnitt 2.1.2.

⁶ Siehe Abschnitt 5.

⁷ Andere Projektionen wie z. B. eine Zentralprojektion bieten hier keine Vorteile.

⁸ Zurzeit unter den Adressen www.schul-physik.de und www.purearea.net.

enthaltenen Dateien können einfach durch die neuen Dateien ersetzt werden; die Dateien im Anwendungsdatenordner⁹ können weiter verwendet werden.

Die Datei »TempDaten.ini« wird automatisch neu erzeugt.

Die weitere Programmentwicklung kann nicht zugesichert werden.

2 Bedienung

Das Programm erzeugt beim Programmstart ein Fenster zur Bedienung und später temporär ein Vollbild auf einem eigenen Bildschirm (Screen) zur Darstellung der Körper und ihrer Bahnen. Nur die Bahnen sind maßstabgerecht; die Bilder der Körper wären bei maßstabgerechter Darstellung i. a. nicht sichtbar.¹⁰ Benutzerbefehle werden eingegeben durch Menüpunkte (siehe Abschnitt 2.1) und Steuerelemente (siehe Abschnitt 2.2) im Bedienungsfenster sowie bei geöffnetem Vollbild durch Tastaturbefehle (siehe Abschnitt 2.3); Zahlenwerte werden eingegeben in den jeweiligen Eingabezeilen.

Im jeweiligen Programmzustand nicht benutzbare Elemente sind deaktiviert; so werden z. B. eine Reihe von Menüpunkten und Steuerelementen erst nach der Eingabe des ersten Körpers oder nach der Auswahl eines Körpers im Feld **Eingegebene Körper** aktiviert.

2.1 Menüs

Die mit einem Fragezeichen versehenen Menütexte sind Schalter, die ein bestimmtes Verhalten des Programms ein- oder ausschalten; ist das betreffende Verhalten eingeschaltet, steht ein „Häkchen“ vor dem Menütext. Die Auswahl eines solchen Menüpunktes wird in der Fußzeile des Bedienungsfensters bestätigt.

2.1.1 Datei

- **Anwendungsdaten öffnen**

Das Programm öffnet einen Standardrequester zum Öffnen aller Dateien im Anwendungsdatenordner. Abhängig von den Einstellungen des Rechners können diese Dateien dann betrachtet werden; die Dateien »Einstellungen.ini« und »TempDaten.ini« sollten nur von erfahrenen Benutzern verändert werden.

- **Startdatei auswählen**

Beim Programmstart wird diejenige Startdatei geladen, deren Datum dem Datum des Programmstarts am nächsten liegt; sie wird im Folgenden als „aktuelle Startdatei“ bezeichnet, und ihr Datum wird im Feld **Startdateizeit** angezeigt. Der Benutzer kann jedoch eine andere Datei als Startdatei auswählen; die Startzeit ist dann gleich der Startdateizeit und kann

⁹ Ab Version 3.12 hat dieser Ordner den Namen »Gravitation« statt z. B. »Gravitation 3.11«. Das Programm benennt einen vorhandenen Ordner der Versionen 3.10 und 3.11 beim ersten Start um; noch ältere Ordner müssen ggf. manuell umbenannt werden.

¹⁰ Eine Ausnahme bildet in einigen Fällen die Erde; vgl. dazu unter **Eingabe/Erdsystem**.

nicht geändert werden. Nach der Eingabe von Körpern ist dieser Menüpunkt deaktiviert. Im Übrigen siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne**. . .

- **Bilder öffnen**

Das Programm öffnet einen Standardrequester zum Öffnen der vom Benutzer gespeicherten Bilder. Siehe hierzu auch Abschnitt 4.

- **Bilder drucken**

Das Programm öffnet einen Standardrequester zur Auswahl der zu druckenden Bilder; nach der Auswahl wird der Druckrequester geöffnet. Siehe hierzu auch Abschnitt 2.5.

- **Pfade anzeigen**

Das Programm zeigt die Pfade zum Programmordner und zum Anwendungsdatenordner an.

- **Startdatei erzeugen**

Das Programm erzeugt eine Startdatei; im Einzelnen siehe hierzu Abschnitt 3.

- **Beenden**

Das Programm wird – falls noch Körper eingegeben sind, nach Bestätigung – beendet.

2.1.2 Eingabe

Körper können entweder in einem kartesischen baryzentrisch-äquatorialen Koordinatensystem (Menü **Sonnensystem**) oder in einem kartesischen geozentrisch-äquatorialen Koordinatensystem (Menü **Erdsystem**) eingegeben werden. Beide werden im Folgenden kurz „Koordinatensystem“ genannt, wobei sich aus dem Kontext ergibt, welches gemeint ist. Mit **Sonnensystem** können bis zu 20 Körper eingegeben werden, mit **Erdsystem** je nach gewählter Darstellung bis zu 14 Körper.

Der Nullpunkt des baryzentrischen Systems ist der Schwerpunkt des *gesamten* Sonnensystems unabhängig davon, welche Körper gerade eingegeben sind; der Nullpunkt des geozentrischen Systems ist der Schwerpunkt der Erde. Die in den Startdateien enthaltenen Koordinaten sind baryzentrisch.

Die x - y -Ebene beider Systeme verläuft durch den Himmelsäquator, also die Projektion des mittleren Erdäquators auf die „Himmelskugel“. Die positive x -Achse des geozentrischen Systems verläuft durch den Frühlingspunkt, einen der Schnittpunkte von Himmelsäquator und Ekliptik (Bahnebene der Erdbahn), die entsprechende Achse des baryzentrischen Systems verläuft parallel dazu. Der einzige Unterschied der beiden Systeme ist also die Lage des Nullpunkts. Wegen der Drehung der Ekliptik (Präzession) wandert der Frühlingspunkt: Er liegt nur für einen bestimmten Zeitpunkt exakt auf der x -Achse. Dieser Zeitpunkt – die sog. Standard-Epoche – wird J2000.0 genannt¹¹; das ist der 1.1.2000, 12:00 Uhr UTC. Die Abweichungen seit

¹¹ Deshalb ist das in Abschnitt 1.1 genannte Programm High Precision Ephemeris Tool 2 mit der Einstellung „Aequ. J2000 Bary.“ zu benutzen.

2000 (ca. $0,1^0$) können für die Zwecke des Programms aber vernachlässigt werden, da ein voller Umlauf des Frühlingspunkts ca. 25780 Jahre dauert (Platonisches Jahr). Weitere Einflüsse, wie z. B. die Schwankungen des wahren Erdäquators, werden vernachlässigt.

- **Sonnensystem**

- **Sonne; Merkur, ... , Neptun; Pluto; Mond**

Für die elf darstellbaren realen Körper unseres Sonnensystems¹² werden beim ersten Programmstart die in der aktuellen Startdatei enthaltenen baryzentrisch-äquatorialen Koordinaten und Geschwindigkeitskomponenten (mit den Maßeinheiten AE bzw. $\frac{AE}{d}$) eingelesen. Diese Werte beziehen sich auf den im Bedienungsfenster angezeigten Zeitpunkt „Startdateizeit“.¹³ Das Programm berechnet dann automatisch aus diesen Werten die entsprechenden Werte für den Zeitpunkt des Programmstarts („Startzeit“); die Dauer dieser Aktualisierungsrechnung hängt von der zwischen Startdateizeit und Startzeit vergangenen Zeit ab und kann beim ersten Programmstart einige Minuten betragen, da hierbei immer alle Körper des Sonnensystems einbezogen werden müssen und da wegen der für die Bahnrechnung für den Mond erforderlichen Genauigkeit ein kurzes Iterationsintervall erforderlich ist. Die aktualisierten Werte werden in der temporären Startdatei »TempDaten.ini« (mit den Maßeinheiten m bzw. $\frac{m}{s}$) gespeichert. Bei jedem folgenden Programmstart wird diese Datei statt der Startdatei eingelesen und wiederum aktualisiert, was dann in der Regel wesentlich weniger Zeit erfordert. Ist zwischen dem Programmstart und der Eingabe des ersten Körpers nochmals Zeit vergangen, so werden die Daten bei der Eingabe wiederum aktualisiert und die angezeigte Startzeit angepasst, so dass der zur Zeit der Eingabe vorliegende Zustand angezeigt wird.

Da nicht auszuschließen ist, dass durch mehrfache Aktualisierungen numerische Ungenauigkeiten kumuliert werden, kann mit dem Menüpunkt **Temporäre Startdatei neu berechnen** im Menü **Einstellungen/Start** die temporäre Startdatei in einem Zuge aus der aktuellen Startdatei berechnet werden. Nach der Eingabe von Körpern und für andere als die aktuelle Startdatei ist diese Berechnung nicht sinnvoll und deshalb gesperrt.

Schließlich kann vor der Eingabe des ersten Körpers die Startzeit mit dem Menüpunkt **Einstellungen/Start/Startzeit** auf einen frei gewählten Wert zwischen 1970 und 2037 umgestellt werden, wobei wiederum die Koordinaten aktualisiert, jedoch nur intern (d. h. nicht in der temporären Startdatei) gespeichert werden. Eine Aktualisierung bei der ersten Eingabe unterbleibt dann, und die Neuberechnung der temporären Startdatei bleibt bis zum Programmende gesperrt. Wird eine nicht aktuelle Startdatei verwendet, so kann die Startzeit nicht geändert werden, und die Aktualisierungsrechnungen beginnen immer wieder zur Startdateizeit; die temporäre Startdatei wird nicht benutzt und bleibt unverändert, bis wieder die aktuelle Startdatei eingestellt wird.

Bei der Eingabe der gewünschten Körper werden die jeweils aktuellen Werte verwendet; die eingegebenen Körper werden im Feld **Eingegebene Körper** in der Reihenfolge der

¹² Pluto, Charon, Ceres und Eris (2003 UB 313) sind nach der Neudefinition des Planetenbegriffs durch die IAU (Prag 2006) Zwergplaneten; von diesen ist nur Pluto in den Startdateien enthalten.

¹³ Siehe hierzu auch die Ausführungen zum Menüpunkt **Einstellungen/Zeit**.

Eingabe aufgelistet und können dort durch Anklicken ausgewählt werden. Bei der Eingabe weiterer Körper nach dem Start der Bewegung werden wiederum die Koordinaten aktualisiert und intern gespeichert. Alle Aktualisierungsrechnungen können nach Bestätigung abgebrochen werden; die Konsequenzen werden vor der Bestätigung angezeigt. Der Fortschritt der Aktualisierung wird angezeigt.

Eine besondere Schwierigkeit für das verwendete Näherungsverfahren stellt die Berechnung der Mondbahn im baryzentrischen System dar, da der Abstand Erde - Mond im Verhältnis zu den Abständen der Planeten von der Sonne und untereinander sehr klein ist. Deshalb ist die Eingabe des Mondes mit dem Menü **Sonnensystem** nach dem Start der Bewegung gesperrt, da die Aktualisierungsrechnung zu ungenau würde oder zu lange dauern würde.

- **Innere Planeten**

Die Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars werden zugleich eingegeben.

- **Äußere Planeten**

Die Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun werden zugleich eingegeben.

- **Pluto**

Siehe **Sonne**. . .

- **Mond**

Siehe **Sonne**. . .

- **Körper A – G**

Mit diesem Menüpunkt können bis zu sieben fiktive Körper mit den Namen A bis G eingegeben werden, deren Koordinaten vom Programm zufällig gewählt werden, und zwar so, dass Kollisionen mit bereits eingegebenen Körpern bei der Eingabe vermieden werden. Die Geschwindigkeiten sind zunächst alle gleich Null. Koordinaten und Geschwindigkeiten können dann bei Bedarf geändert werden.

- **Körper A – G (Ekl)**

Dieser Menüpunkt hat die gleiche Wirkung wie der vorangehende, nur befindet sich der eingegebene Körper in der Ekliptikebene.

- **Doppelstern**

Es werden zugleich zwei Sterne gleicher Masse eingegeben, die auf Kreisbahnen ihren gemeinsamen Schwerpunkt in der Ekliptikebene umlaufen. Die Voreinstellung für den Abstand und die beiden Massen (je halbe Sonnenmasse) kann mit den Menüpunkten **Einstellungen/Doppelstern/...** vor der Eingabe geändert werden. Eine nachträgliche Änderung mit den Eingabefeldern im Feld **Zustand** und den Steuerelementen **Bahnradius** und **Geschwindigkeit** ist möglich, erzeugt aber im Allgemeinen keine Kreisbahnen. Es gibt keine Einschränkungen für die Eingabe weiterer Körper; so kann z. B. das Verhalten der Planeten beim Umlauf um den Doppelstern untersucht werden. Auch die zusätzliche Eingabe der Sonne ist möglich, aber nicht besonders sinnvoll.

- **Erdsystem**

Die Erde – als Ganze oder Teile ihrer Oberfläche – und weitere Körper werden mit geozentrischen Koordinaten und Geschwindigkeiten eingegeben. Weitere Körper können erst nach der Erde eingegeben werden; welche Körper eingegeben werden können, hängt von der gewählten Erddarstellung ab.

- **Erde**

Die Erde wird auf die gleiche Weise wie im Sonnensystem oder – bei hinreichend geringer Bildbreite – als nicht ausgefüllter Kreis dargestellt, dessen Radius maßstabgerecht ist. Bei dieser Darstellung wird auch der Äquator gezeichnet; ein fester Punkt des Äquators wird durch ein Quadrat markiert und zeigt so die Rotation der Erde an.

- **Erdoberfläche**

Ein Teil der Erdoberfläche wird als schwach gekrümmter Kreisbogen am unteren Bildrand dargestellt; die Bildbreite beträgt 1000 km. Die Äquatormarke wird angezeigt. Der Menüpunkt **Einstellungen/Parameter 2/Bildbreite** wird deaktiviert, und das Feld **Bildbreite** wird durch das Feld **Erdoberfläche** mit Einstellungen für **Erdrotation**, **Bezugssystem** und **Gravitationsfeld** ersetzt. Bei der angezeigten Voreinstellung wird die Erdrotation dargestellt. Als Bezugssystem können das verwendete Koordinatensystem und die Erdoberfläche gewählt werden, die dann relativ zum Bildschirm nicht rotiert. Wird die Erdrotation „abgeschaltet“, ist nur das Koordinatensystem als Bezugssystem möglich und sinnvoll. Die Schalter unter **Gravitationsfeld** sind hier deaktiviert.

- **Laborsystem**

Diese Einstellung gibt die Verhältnisse in einem homogenen Gravitationsfeld wieder. Ein Teil der Erdoberfläche erscheint als Gerade am unteren Bildrand; die Bildbreite beträgt 1000 m.¹⁴ Die im Feld **Zustand** angezeigten und eingegebenen Ortskoordinaten beziehen sich hier nicht auf das geozentrische System, sondern auf den Nullpunkt des angezeigten Koordinatensystems. Koordinaten, Geschwindigkeitskomponenten und Masse der Erde werden nicht angezeigt; die Eingabezeilen sind deaktiviert. Die Äquatormarke wird nicht angezeigt, da bei dieser Bildbreite die Erdrotation und Bewegungen von Körpern nicht mehr sinnvoll zugleich dargestellt werden können. Das Feld **Erdoberfläche** wird angezeigt; die Schalter unter **Erdrotation** und **Bezugssystem** werden mit einer festen Einstellung angezeigt und sind deaktiviert, da andere Einstellungen keine erkennbaren Änderungen ergeben würden. Dafür sind nun aber die Schalter unter **Gravitationsfeld** aktiviert. Mit ihnen kann die Gravitationsfeldstärke (Fallbeschleunigung) in dem angezeigten Bereich vom Wert an der Erdoberfläche auf den Wert an der Mondoberfläche oder den Wert Null umgestellt werden. Die Einstellung **Mond** gestattet z. B. die Simulation von Bewegungen an der Mondoberfläche, die Einstellung **0** (Null) die Darstellung der gegenseitigen Anziehung von Körpern ohne den Einfluss der Erdanziehung (Gravitationswaage!).¹⁵

¹⁴ Diese Bildbreite ist für ein Labor sicher etwas groß. Die bis Version 3.8 noch darstellbare Bildbreite von 10 m ist bei der Anpassung des Programms an Windows Vista und größere Bildschirme entfernt worden, da trotz einer Umstellung der Bahnrechnung auf ein homogenes Feld auch bei Verwendung doppelt-genauer Variablen die Darstellung zu ungenau wurde.

¹⁵ Hier ist zu beachten, dass durch die Einstellungen unter **Gravitationsfeld** nur die Feldstärke der Erde geändert wird, die Kräfte zwischen anderen Körpern jedoch unverändert bleiben.

- **Mond**

Der Mond wird mit realen Koordinaten eingegeben.

- **Satellit S1 – S3 (Äqu)**

Es können bis zu drei Satelliten eingegeben werden. Ihre Koordinaten sind fiktiv. Die Voreinstellung für den Bahnradius von Satellit S1 kann mit dem Menüpunkt **Einstellungen/Satelliten/Bahnradius** vor der Eingabe geändert werden. Dabei ist auch die Einstellung einer geostationären Bahn möglich. Die Bahnradien von Satellit S2 und S3 sind dann um 1000 km bzw. 2000 km größer als die von Satellit S1. Die Satelliten bewegen sich auf Kreisbahnen in der Äquatorebene, wenn ihre Koordinaten und Geschwindigkeiten vom Benutzer nicht geändert werden.

- **Satellit S1 – S3 (Pol)**

Dieser Menüpunkt hat die gleiche Wirkung wie der vorangehende, nur befinden sich die Satelliten auf einer polaren Bahn.

- **Körper A – G**

Siehe **Sonnensystem/Körper A – G**.

- **Körper A – G (Äqu)**

Dieser Menüpunkt hat die gleiche Wirkung wie der vorangehende, nur befindet sich der eingegebene Körper in der Äquatorebene.

- **Körper W1 – W2**

Mit diesem Menüpunkt werden bis zu zwei Körper mit den Namen W1 und W2 (W wie „Wurf“) auf dem Äquator mit einer voreingestellten Startgeschwindigkeit eingegeben; wie auch sonst können die voreingestellten Werte bei Bedarf vom Benutzer verändert werden. Die Körper starten im mitrotierenden Bezugssystem senkrecht zur Erdoberfläche; das bedeutet, dass bei der Einstellung „Erde rotiert“ die Startgeschwindigkeit relativ zum Koordinatensystem eine durch die Erdrotation bedingte Komponente tangential zum Äquator vom Betrage der Geschwindigkeit der Erdoberfläche an der Startstelle enthält. Im Gegensatz zu den Bahnen anderer Körper werden die Bahnen dieser Körper bei den Einstellungen **Erdoberfläche** und **Laborsystem** nach einer Kollision mit der Erde nicht gelöscht, so dass nacheinander mehrere Bahnen erzeugt werden können.

- **Sonne**

Um z. B. den Einfluss der Sonne auf die Bahnen des Mondes und der Satelliten untersuchen zu können, kann zusätzlich zur Erde die Sonne eingegeben werden. Ihr Bild befindet sich aber normalerweise weit außerhalb des dargestellten Bereichs und kann allenfalls durch Zoomen des Bildes oder Umschaltung des Bildes auf den Schwerpunkt als Bezugspunkt sichtbar gemacht werden. Bei der Darstellung der Erdoberfläche oder des Laborsystems ist die Eingabe der Sonne wegen numerischer Probleme gesperrt.

Ist die Sonne eingegeben, stehen zwei zusätzliche Anzeigen zur Verfügung:

- Mit dem Tastaturbefehl **O** kann ein Pfeil eingeblendet werden, der in die Richtung der Sonne zeigt. Dieser Pfeil liegt räumlich auf der Geraden Erde–Sonne; da er auf dem Bildschirm in Parallelprojektion dargestellt wird, hängt seine Länge von der Bildbreite und der Blickrichtung ab.

- Mit dem Tastaturbefehl **P** können die Phasen von Erde und Mond so dargestellt werden, wie sie der Betrachter des Systems sehen würde. Die von der Sonne nicht beleuchteten Teile von Erde und Mond werden nicht ganz ausgeblendet, sondern in der Körperfärbung mit halber Intensität angezeigt; beim Schwarzweißbild werden die beleuchteten Teile grau, die unbeleuchteten schwarz dargestellt. Die Wahl der Blickrichtung ist eingeschränkt, da sonst zu geringe Abstände von Terminator und Körperperrand zu Grafikfehlern führen würden. Wegen dieser Einschränkung kann sich die Blickrichtung beim Einschalten der Phasen sprunghaft ändern.

- **Lagrange**

- **Lagrangepunkte anzeigen**

Mit den zugehörigen Untermenüpunkten kann zu jeweils einem der Körperpaare, bei denen dies physikalisch sinnvoll ist, die Berechnung und Anzeige der Lagrangepunkte L1 – L5 ein- und ausgeschaltet werden. Die Punkte folgen der Bewegung der Körper; in der Fußleiste des Bedienungsfensters wird zusätzlich das gewählte Körperpaar angezeigt. Zur Anzeige der Namen L1 – L5 siehe Abschnitt 2.3. Wenn der zweite Körper eines Körperpaars die Geschwindigkeit Null hat, ist keine Bahnebene definiert. Das Programm berechnet dann keine Lagrangepunkte.

- **Körper in Lagrangepunkt**

Es werden 5 der Körper A – G in den Lagrangepunkten L1 – L5 (siehe **Lagrangepunkte anzeigen**) positioniert, die die gleiche Geschwindigkeit wie diese Punkte besitzen. Nach dem Start der Bewegung zeigt sich das unterschiedliche Stabilitätsverhalten der Bahnen dieser Körper.

- **Zusatzkraft**

Zusätzlich zu den Gravitationskräften kann für jeweils *einen* der eingegebenen Körper – den im Feld **Eingegebene Körper** ausgewählten Körper – eine zusätzliche Kraft eingeschaltet werden. Es sind drei Typen von – von Null verschiedenen – Kräften möglich; in der Fußleiste des Bedienungsfensters wird angezeigt, auf welchen Körper welche Kraft wirkt. Die Dauer der Zusatzkraft kann mit dem Menüpunkt **Dauer** eingestellt werden.

- **$F = 0$**

Es wirkt keine zusätzliche Kraft.

- **$F \text{ const}$**

Es wirkt eine konstante Kraft in Bewegungsrichtung oder entgegengesetzt dazu je nach dem Vorzeichen des Werts, der in dem sich öffnenden Feld **Einstellungen** oder vorweg mit dem Menüpunkt **Einstellungen/Kräfte/Zusatzkraft/ $F \text{ const}$** eingegeben werden kann. Hat der Körper die Geschwindigkeit Null, wirkt die Kraft in y -Richtung, was wegen der Darstellung der Erdoberfläche die sinnvollste Wahl ist. Wegen der durch das Iterationsverfahren bedingten Ungenauigkeiten können hier jedoch keine ganz exakten Resultate erwartet werden; man versuche einmal, einen Körper der Masse 1 kg an der Erdoberfläche mittels einer Kraft von ca. 9,81 N in der Schwebe zu halten.

- **$F \sim v$**

Es wirkt entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung eine zur Geschwindigkeit proportionale

Bremskraft, deren Betrag durch einen Faktor zu beeinflussen ist, der in dem sich öffnenden Feld **Einstellungen** oder vorweg mit dem Menüpunkt **Einstellungen/Kräfte/Zusatzkraft** $/F \sim v, v^2$ eingegeben werden kann. Je größer dieser Faktor ist, desto größer ist die Reibung. Auf diese Weise können z. B. ballistische Bahnen geworfener Körper oder Abbremsungen von Satelliten simuliert werden; eine Anwendung auf Planeten u. dgl. ist möglich, aber physikalisch weniger sinnvoll.

– **$F \sim v^2$**

Die Bremskraft ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit; im Übrigen gilt das Gleiche wie oben.

– **Dauer**

Die Dauer der Krafteinwirkung wird eingestellt.

2.1.3 Einstellungen

- **Zeit**

Das Programm verwendet für die Zeitrechnung die UTC¹⁶, die es aus der auf dem verwendeten Rechner eingestellten Systemzeit und der eingestellten Zeitzone ableitet. In der Voreinstellung werden alle Zeitangaben in UTC angezeigt. Die folgenden Einstellungen werden nach einer Änderung sofort in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen.

– **Lokale Zeit ... anzeigen ?**

Mit dem Menüpunkt **Lokale Zeit (Zeitzone) anzeigen ?** kann der Benutzer die Zeitanzeigen – mit Ausnahme der Startdateizeit – auf seine lokale Zeit umschalten. Die *Zeitzone* wird im Menütext und in den Zeitanzeigen in der Form UTC+h (h in Stunden) angezeigt; ist als Zeitzone UTC+1 (Mittleuropäische Zeit) eingestellt, so wird die Bezeichnung MEZ verwendet. Die Sommerzeit bleibt wie üblich bei allen Zeitanzeigen unberücksichtigt.

– **Zeitanzeige korrigieren**

In einigen Zeitzone wurde die UTC manchmal falsch berechnet; dieser Fehler wurde bisher nur bei Zeitzone auf der Südhalbkugel der Erde beobachtet, in denen es eine Sommerzeit gibt, und beruhte vermutlich auf einer fehlerhaften oder überholten Datei msvcr7.dll. Ob der Fehler zurzeit noch auftritt, ist nicht bekannt. Mit diesem Menüpunkt kann vor der Eingabe von Körpern dieser Fehler korrigiert werden; soweit beobachtet, genügt eine Korrektur um –3600 Sekunden (–1 Stunde). Diese Einstellung sollte mit Vorsicht verwendet werden; stellen Sie im Zweifel den Korrekturwert auf Null zurück.

- **Parameter 1**

Die Parameter der Gruppe 1 werden nach einer Änderung sofort in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen.

¹⁶ Koordinierte Weltzeit, Coordinated Universal Time, Temps Universel Coordonné

– Voreinstellung

Die Werte der Parameter der Gruppe 1 werden auf ihre Werte im Lieferzustand zurückgesetzt, in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen.

– Standard-Zeitschritt

Der Betrag des beim Iterationsverfahren verwendeten Zeitschritts (Iterationsintervalls) kann mit den Knöpfen im Feld **Zeitschritt** ausgewählt werden; die Werte 1 ms, 10 ms, 1 s, 1 min und 1 h sind fest vorgegeben, die Werte **Std** (Standard) und **Var** (Variabel) können eingestellt werden. Der Standardwert (voreingestellt sind 600 s) sollte nicht ohne Grund geändert werden. Die jeweils eingestellten Werte werden mittels „ToolTips“ angezeigt. Das Vorzeichen wird durch Wahl der Startrichtung (Zukunft – Vergangenheit) festgelegt. Außerdem kann bei geöffnetem Vollbild der Zeitschritt per Tastatur verändert werden (siehe Abschnitt 2.3).

Das Programm stellt bei der Eingabe von Körpern geeignete Werte für den Zeitschritt ein. Kleinere als die eingestellten Werte führen zu genaueren, aber auch langsameren Bahnrechnungen; zu große Werte können zu unbrauchbaren Bahnen führen.

– Schrittweite Bahn

Im Allgemeinen ist es nicht erforderlich, das Bild nach jedem Iterationsschritt neu zu zeichnen, da die Bildschirmkoordinaten sich dann oft noch gar nicht geändert haben. Dieser Parameter gibt die Anzahl der Iterationsschritte an, nach denen neu gezeichnet wird. Die Voreinstellung 10 ist wohl ein brauchbarer Kompromiss; der Benutzer muss die ihm zusagende Kombination von Zeitschritt und Bahn-Schrittweite einstellen.

– Schrittweite Bild

Die Geschwindigkeit, mit der Veränderungen des Vollbildes bei *stehendem* Bild – Zoomen, Drehen, Verschieben – ausgeführt werden, kann durch Veränderung dieses Wertes beeinflusst werden. Voreingestellt ist der Wert 1; größere Werte ergeben schnellere, kleinere langsamere Bewegungen. Die Geschwindigkeit bei bewegtem Bild wird hierdurch *nicht* beeinflusst; vgl. hierzu die Ausführungen zum Zeitschritt und zur Bahn-Schrittweite.

– Schrittweite Rekonstruktion

Die Geschwindigkeit der genannten Veränderungen des Vollbildes kann auch dadurch erhöht werden, dass beim Rekonstruieren der Bahnen ein Teil der ursprünglich gezeichneten Punkte ausgelassen wird.¹⁷ Der einzustellende Wert gibt an, wieviele Punkte jeweils ausgelassen werden. Voreingestellt ist der Wert 0. Bei der Rekonstruktion der Bahn der Körper W1 und W2 mit den Einstellungen **Erdoberfläche** und **Laborsystem** werden unabhängig vom eingestellten Wert keine Punkte ausgelassen.

3.12

– Verzögerung Bahnrechnung

Dieser Parameter trägt der Tatsache Rechnung, dass die Rechner immer schneller werden. Der einzustellende Wert gibt an, um welche Zeit die Bahnrechnung nach jedem Iterationsschritt unterbrochen wird. Voreingestellt ist ein Wert von 0 ms; größere Werte ergeben eine

¹⁷ Bei den meisten heute verwendeten Systemen wird diese Einstellmöglichkeit wohl nicht mehr benötigt.

globale Verzögerung der Bewegungen der Körper unabhängig vom verwendeten Intervallsintervall.

3.12

– **Schriftart**

Es wird ein Requester zur Auswahl der für das Vollbild gewünschten Schrift geöffnet. Voreingestellt ist für Betriebssysteme ab Windows Vista® die Schrift Calibri-Standard-12pt, für ältere Systeme Tahoma-Standard-12pt.

– **Mauspfeilgröße**

Der Größe des für das Vollbild verwendeten Mauspfeils (siehe Abschnitt 2.4) kann eingestellt werden.

– **Inaktivitätsdauer**

Mit diesem Parameter kann eingestellt werden, nach welcher Zeit das Vollbild nach längerer Inaktivität vom Programm geschlossen wird. Voreingestellt ist ein Wert von 10 Minuten.¹⁸

• **Parameter 2**

Die Parameter der Gruppe 2 werden nach einer Änderung *nicht* in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert; beim nächsten Programmstart haben sie wieder die im Lieferzustand voreingestellten Werte.

– **Voreinstellung**

Die voreingestellten Werte der Parameter der Gruppe 2 werden wiederhergestellt.

– **Bildbreite**

Die Breite des im Bild dargestellten Ausschnitts der Projektionsebene wird in Astronomischen Einheiten (AE) eingestellt.

– **Variabler Zeitschritt**

Siehe **Parameter 1/Standard-Zeitschritt**.

– **Zoomfaktor Mondbahn**

Wird die Mondbahn zugleich mit der Erdbahn gezeichnet, so ist sie von der Erdbahn kaum zu unterscheiden. Deshalb kann der Abstand Erde – Mond beim Zeichnen (nicht in der Koordinatenberechnung!) um diesen Faktor vergrößert werden. Es können dann allerdings Artefakte wie Bahnschleifen auftreten.

Die Rekonstruktion der Mondbahn, z. B. bei Änderung der Blickrichtung, wird immer mit dem jeweils eingestellten Zoomfaktor durchgeführt.

– **Fahrstrahlintervall**

Die Fahrstrahlen nach dem 2. Keplerschen Gesetz werden in dem hier eingestellten zeitlichen Abstand gezeichnet, wenn die Sonne bzw. im Erdsystem die Erde eingegeben sind.

– **Stellen ...**

Bei der Anzeige von Werten ist die Darstellung z. T. fest vorgegeben, z. T. richtet sie sich nach der Größenordnung der Werte. In der Regel werden Werte außerhalb des Intervalls

¹⁸ Werden Unverträglichkeiten dieses Vollbilds mit Bildschirmschonern beobachtet, sollte die Inaktivitätsdauer kleiner als die Wartezeit des Schoners eingestellt oder besser dieser ganz abgeschaltet werden.

$[10^{-6}; 10^6]$ in Exponentialdarstellung angezeigt, innerhalb dieses Intervall in Normaldarstellung. Voreingestellt sind 6 Nachkommastellen bei der Exponentialdarstellung und 0 Nachkommastellen bei der Normaldarstellung. Mit den Menüpunkten **Stellen Normaldarstellung** bzw. **Stellen Exponentialdarstellung** können diese Darstellungen auf 0 bis 16 Nachkommastellen umgestellt werden. Diese Einstellung hat keinen Einfluss auf die programminterne Verarbeitung und Speicherung der Werte.

- **Farben**

Die Farben können vom Benutzer nach seinen Bedürfnissen eingestellt und gespeichert werden; die ursprünglichen Farben können jederzeit wiederhergestellt werden.

- **Voreinstellung**

Falls die Farben vom Benutzer verändert wurden, können mit diesem Menüpunkt die im Lieferzustand voreingestellten Farben wieder geladen werden. Sollen sie dann auch beim nächsten Programmstart geladen werden, müssen sie mit dem folgenden Menüpunkt gespeichert werden.

- **Einstellung speichern**

Die vom Benutzer eingestellten Farben werden in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen.

- **Einstellung laden**

Die in der Datei »Einstellungen.ini« gespeicherten Farben werden geladen.

- **Körper und Bahnen**

- **Ausgewählter Körper**

Es öffnet sich der Standardrequester zur Farbeinstellung, mit dem die Farbe des Bildes des im Feld **Eingegebene Körper** ausgewählten Körpers eingestellt werden kann. Die bisherige Farbe ist selektiert. Diese Farbe ist nach der Einstellung noch nicht gespeichert.

- **Bahn**

Analog für die (einheitliche) Farbe der Bahnen.

- **Bahn (Hohmannübergang)**

Analog für die Farbe der Übergangshalbellipse beim Hohmannübergang.

- **Fahrstrahl**

Analog für die Farbe der Fahrstrahlen.

- **Schwerpunkt**

Analog für die Farbe des Schwerpunkts und seiner Bahn.

- **Äquatormarke**

Analog für die Farbe der Äquatormarke.

- **Lagrangepunkte**

Analog für die Farbe der Lagrangepunkte.

- **Kollisionssignal**

Analog für die Farbe des Kollisionssignals.

- **Bahnen in Körperfarbe zeichnen ?**

Statt in der einheitlichen Farbe, die mit dem Menüpunkt **Bahn** eingestellt wurde, können die Bahnen zur besseren Unterscheidung in der jeweiligen Körperfarbe gezeichnet werden. Diese Einstellung wirkt nur im baryzentrischen System.

- **Sonstiges**

- **Hintergrund**

Analog für die Farbe des Bildhintergrunds.

- **Mauspfeil**

Analog für die Farbe des Mauspfeils im Vollbild.

- **Achsen**

Analog für die Farbe der Koordinatenachsen.

- **Text**

Analog für die Farbe der im Bild angezeigten Texte.

- **Eingabezeile**

Die Aktivierung der Eingabezeile im Feld **Einstellungen** wird durch eine spezielle Farbgebung hervorgehoben.

- **Bilderradien**

Die Bilder¹⁹ der darzustellenden Körper werden vom Programm vor dem Öffnen des Vollbildes erzeugt. Der Radius dieser Bilder wird als Produkt eines individuellen Bildradius und eines für alle Körper gemeinsamen Zoomfaktors berechnet. Das Programm stellt diesen Zoomfaktor bei der Eingabe von Körpern in Abhängigkeit von der dargestellten Bildbreite ein.

Die Radien können vom Benutzer nach seinen Bedürfnissen eingestellt und gespeichert werden; die ursprünglichen Radien können jederzeit wiederhergestellt werden. Nach dem ersten Programmstart enthält die Datei »Einstellungen.ini« die voreingestellten Radien.

- **Voreinstellung Bilderradien**

Falls die Radien vom Benutzer verändert wurden, können mit diesem Menüpunkt die im Lieferzustand voreingestellten Radien wieder geladen werden. Sollen sie dann auch beim nächsten Programmstart geladen werden, müssen sie mit dem folgenden Menüpunkt gespeichert werden.

- **Einstellung speichern**

Die vom Benutzer eingestellten Radien werden in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen.

- **Einstellung laden**

Die in der Datei »Einstellungen.ini« gespeicherten Radien werden geladen.

¹⁹ Es entspräche nicht dem Zweck dieses Programms, hier aufwändigere Bilder als die verwendeten schlichten farbigen Kreisflächen zu erzeugen.

- **Ausgewählter Körper**

Der Bildradius des im Feld **Eingegebene Körper** ausgewählten Körpers kann – ohne Berücksichtigung des Zoomfaktors – eingestellt werden.

- **Voreinstellung Zoomfaktor**

Der in Abhängigkeit von der dargestellten Bildbreite voreingestellte Zoomfaktor wird wiederhergestellt.

- **Zoomfaktor**

Der Zoomfaktor kann hier eingestellt werden; zweckmäßiger ist jedoch oft die Einstellung bei geöffnetem Bild mittels der Tastaturbefehle.

- **Gravitationskonstante**

Das Committee on Data for Science and Technology (CODATA) hat 2006 den Wert der Gravitationskonstanten mit $\gamma = (6,67428 \pm 0,00067) \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$ angegeben; das Programm verwendet deshalb jetzt als voreingestellten Wert $\gamma = 6,67428 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$.

- **Voreinstellung**

Der voreingestellte Wert der Gravitationskonstanten wird wiederhergestellt.

- **Einstellen**

Der Benutzer kann „experimentell“ einen anderen Wert der Gravitationskonstanten einstellen. Der geänderte Wert wird beim Programmende nicht gespeichert.

Es ist zwar physikalisch nicht besonders sinnvoll, aber möglich, mit dem Wert Null oder sogar negativen Werten zu experimentieren.

- **Körperradien**

- **Voreinstellung**

Die im Lieferzustand voreingestellten Radien aller Körper (nicht der Bilder!) werden wiederhergestellt.

- **Ausgewählter Körper**

Der Radius des im Feld **Eingegebene Körper** ausgewählten Körpers wird eingestellt. Die Radien der Erde und der Körper W1 und W2 können nicht geändert werden. Die veränderten Werte werden nicht gespeichert.

- **Satellitenbahn**

- **Voreinstellung**

Der im Lieferzustand voreingestellte Radius der Bahn von Satellit S1 und der Hohmannfaktor werden wiederhergestellt.

- **Bahnradius**

Der Radius der Bahn von Satellit S1 kann vor der Eingabe des Satelliten eingestellt werden. Die Radien der anderen Satelliten ergeben sich aus diesem Radius; siehe **Eingabe/Erdsystem/Satellit**. Die Eingabe der Ziffer Null ergibt eine geostationäre Bahn.

- **Hohmannfaktor**

Befindet sich ein Satellit auf einer Kreisbahn um die Erde, so kann er einen Hohmannübergang ausführen. Bei einem Hohmannübergang legt der Körper eine Halbellipse zurück und bewegt sich danach auf einer neuen Kreisbahn weiter, deren Radius sich um einen bestimmten Faktor, hier Hohmannfaktor genannt, von dem der alten Bahn unterscheidet. Dieser Faktor kann mit diesem Menüpunkt eingestellt werden. Die Übergangs-Halbellipse wird in einer eigenen Farbe angezeigt. Eine Bewegung in negativer Zeitrichtung ist hierbei nicht möglich. Befindet sich der Körper nicht auf einer Kreisbahn, können statt eines regulären Hohmannübergangs unvorhergesehene Veränderungen der Bahn auftreten.

- **Doppelstern**

Vgl. hierzu auch **Eingabe/Sonnensystem/Doppelstern**. Werden der Abstand und die Massen vor der Eingabe geändert, berechnet das Programm mit den geänderten Werten die benötigten Startkoordinaten und -geschwindigkeiten für Kreisbahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt.

- **Voreinstellung**

Die Massen der Sterne 1 und 2 sowie ihr Abstand werden auf die voreingestellten Werte zurückgesetzt.

- **Abstand**

Der Abstand der Sterne 1 und 2 kann vor der Eingabe verändert werden.

- **Masse Stern 1/2**

Die Massen der Sterne 1 und 2 können vor der Eingabe verändert werden.

- **Kollision**

Da der Benutzer den Zustand der Körper verändern oder willkürlich Körper eingeben kann, sind Kollisionen von Körpern nicht auszuschließen; da den Kollisionen starke Annäherungen vorhergehen, werden beide Effekte hier zusammen behandelt, obwohl starke Annäherungen nicht zu einer Kollision führen *müssen*. Die Kollision zweier Körper wird im Vollbild durch ein kurz erscheinendes Signal aus drei konzentrischen Kreisen angezeigt.

Der Kollisionsvorgang kann in diesem Programm nur sehr vereinfacht behandelt werden. Folgende Einstellungen sind möglich:

- **Voreinstellung**

Folgendes Verhalten ist für das Sonnensystem voreingestellt:

Als Kriterium für eine starke Annäherung wurde nicht der Abstand zweier Körper gewählt, sondern die Beschleunigung eines Körpers; denn diese ist es, die bei relativ dazu zu großem Zeitschritt zu großen Ungenauigkeiten der Näherungsrechnung führen kann: Die Körper „fliegen zu lange geradeaus“. Überschreitet also die Beschleunigung eines Körpers einen eingestellten Wert, hier „Grenzbeschleunigung“ genannt, so wird der Zeitschritt auf einen „Reduzierter Zeitschritt“ genannten Wert verkleinert. Die Voreinstellungen sind $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bzw. 1 s. Ist die genannte Bedingung nicht mehr erfüllt, wird der Zeitschritt auf den vorherigen Wert zurückgestellt. Ungeduldige können die Zeitschrittreduzierung mit der Taste **F12** ausschalten.

Unterschreitet der Abstand der Mittelpunkte zweier Körper die Summe ihrer Radien, so gelten sie als miteinander kollidiert; die Kollision wird als vollkommen unelastischer Stoß behandelt, aus dem ein neuer Körper mit der Summe der Massen der kollidierten Körper und der sich nach dem Impulserhaltungssatz ergebenden Geschwindigkeit hervorgeht. Der Name des neuen Körpers ist der Name des massereicheren der beiden kollidierten Körper.

Diese Voreinstellung kann für das Sonnensystem auf folgende Weise verändert werden:

- **Grenzbeschleunigung**
Der voreingestellte Wert der Grenzbeschleunigung kann verändert werden.
- **Reduzierter Zeitschritt**
Der voreingestellte Wert des reduzierten Zeitschritts kann verändert werden.
- **Kollidierte Körper entfernen ?**
Die Behandlung als unelastischer Stoß kann durch das Entfernen beider kollidierter Körper ersetzt werden.
- **Zeitschrittreduzierung ausschalten ?**
Die automatische Zeitschrittreduzierung kann ausgeschaltet werden.

Im Erdsystem wird eine Kollision immer als unelastischer Stoß behandelt, da sonst die Erde entfernt würde; die Zeitschrittreduzierung wird ausgeschaltet. Diese Voreinstellung kann im Erdsystem nicht verändert werden.

- **Start**

- **Startzeit**
Siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne. . .** Nach der Eingabe von Körpern ist dieser Menüpunkt deaktiviert.
- **Temporäre Startdatei neu berechnen**
Siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne. . .** Nach der Eingabe von Körpern ist auch dieser Menüpunkt deaktiviert.

- **Anpassungen**

Die folgenden Anpassungen brauchen in der Regel nur einmal nach dem ersten Start des Programms durchgeführt zu werden. Sie dienen dazu, die Programmoberfläche an den Rechner und den Monitor anzupassen.

- **Fenster**
Ist auf dem verwendeten Rechner ein Schriftgrad mit einer höheren als der standardmäßigen Skalierung eingestellt – z. B. 120 DPI statt 96 DPI –, so werden bei vielen Programmen Texte in Bedienungselementen nicht vollständig angezeigt. Bei Gravitation 3.12 kann der Benutzer mit den folgenden Menüpunkten die Breite und die Höhe des Bedienungsfensters geeignet vergrößern, wodurch dann auch die Bedienungselemente angepasst werden. Bei höheren Werten als 120 DPI kann es trotzdem zu Problemen mit der Schriftdarstellung kommen.

- **Breite**

Die Breite des Fensters kann auf Werte von 928 Bildpunkten bis zu 80% der Breite des Bildschirms eingestellt werden. Die Einstellung wird in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und vom nächsten Programmstart an verwendet.

- **Höhe**

Die Höhe des Fensters kann auf Werte von 512 Bildpunkten bis zu 70% der Höhe des Bildschirms eingestellt werden. Die Einstellung wird in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und vom nächsten Programmstart an verwendet.

- **Vollbild**

- **Bildgeometrie**

Die auf dem benutzten Rechner eingestellten Werte für Bildschirmauflösung und Farbqualität (Farbtiefe) werden vom Programm für das Vollbild übernommen. Das Vollbild hat aber eine Farbtiefe von mindestens 16 Bit. Das Programm kann nicht feststellen, welches Seitenverhältnis (Pixel Aspect Ratio) die Pixel des verwendeten Monitors²⁰ besitzen; damit Kreisbahnen kreisförmig und Ellipsenbahnen mit korrekter Exzentrizität dargestellt werden, kann die Darstellung hier korrigiert werden. Die Einstellung wird in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert.

- **Druckgeometrie**

Sollten trotz korrekter Einstellung der Bildgeometrie ausgedruckte Bilder kein korrektes Seitenverhältnis aufweisen, kann dies in den Druckereinstellungen oder bereits hier durch Ausprobieren einer geeigneten veränderten Bildgeometrie, hier „Druckgeometrie“ genannt, korrigiert werden. Das angezeigte Bild kann per Tastaturbefehl **P** ausgedruckt werden. Die Einstellung wird ebenfalls in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert.

- **Druckgeometrie verwenden ?**

Die Bildgeometrie wird auf die eingestellte Druckgeometrie umgeschaltet.

- **Achsen**

Das bei der Darstellung der Erdoberfläche angezeigte Koordinatensystem besteht aus einer positiven x -Achse und einer positiven y -Achse, deren Längen hier an den Bildschirm angepasst werden können.

- **x -Achse Erdoberfläche**

Die Länge der x -Achse bei **Erdoberfläche** kann auf die Werte 200 km, 400 km, 600 km, ... eingestellt werden. Andere Eingaben werden auf diese Werte gerundet.

- **y -Achse Erdoberfläche**

Die Länge der y -Achse bei **Erdoberfläche** kann auf die Werte 100 km, 200 km, 300 km, ... eingestellt werden. Andere Eingaben werden auf diese Werte gerundet.

²⁰ Die meisten heute verwendeten Monitore haben ein Pixelseitenverhältnis von 1, also quadratische Pixel; für sie wird diese Einstellmöglichkeit nicht mehr benötigt.

- **x-Achse Laborsystem**

Die Länge der x -Achse bei **Laborsystem** kann auf die Werte 200 m, 400 m, 600 m, ... eingestellt werden. Andere Eingaben werden auf diese Werte gerundet.

- **y-Achse Laborsystem**

Die Länge der y -Achse bei **Laborsystem** kann auf die Werte 100 m, 200 m, 300 m, ... eingestellt werden. Andere Eingaben werden auf diese Werte gerundet.

- **Bahnspeicher**

Die Koordinaten der zuletzt gezeichneten Bahnpunkte werden gespeichert, so dass die Bahnen bei Veränderungen des Vollbildes z. T. rekonstruiert werden. Hierfür wird ein bestimmter Speicherplatz reserviert. Der in der Voreinstellung reservierte Speicherplatz von 10 MB reicht normalerweise²¹, um die Bahnen der inneren Planeten vollständig zu speichern.

3.12

- **Einstellen**

Die Größe des reservierten Speichers kann im Bereich von 5 MB bis 100 MB eingestellt werden; der eingegebene Wert wird in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen. Um Probleme so weit wie möglich zu vermeiden, ist der Speicherplatz auf 100 MB beschränkt, was normalerweise für die Speicherung aller Planetenbahnen bis hin zu einer vollständigen Plutobahn gut ausreicht. Je mehr Bahnpunkte gespeichert sind, desto länger dauert die Bahnrekonstruktion; in Abhängigkeit von dem verwendeten Rechner und der Speichergröße können dann die Bahnen während der Rekonstruktion zu „flackern“ beginnen. Bei kontinuierlichen Änderungen kann dem durch eine Verringerung der Punktdichte entgegengewirkt werden; vgl. hierzu **Einstellungen/Parameter 1/Schrittweite Rekonstruktion**. Eine brauchbare Einstellung muss also durch Ausprobieren gefunden werden.²²

- **Informationen**

Zur Erleichterung der obigen Einstellung werden der eingestellte Bahnspeicher und der beim jeweiligen Programmzustand noch freie Bahnspeicher angezeigt.

2.1.4 Hilfe

- **Handbuch öffnen**

Das Programm öffnet einen Standardrequester zum Öffnen des Handbuchs und der Lizenz.

- **Hilfe beim Programmstart eingeschaltet ?**

Zur Erleichterung der Bedienung bei der erstmaligen Benutzung des Programms sind im Lieferzustand die Anzeige der Hilfen und der Mauspfel im Vollbild eingeschaltet, da der Benutzer sonst z. B. vielleicht erraten müsste, wie er diesen Programmzustand wieder verlassen kann. Diese Voreinstellung kann hier jedoch geändert werden, die Wahl wird in der Datei »Einstellungen.ini« gespeichert.

²¹ d. h. bei den Voreinstellungen für die unter **Einstellungen/Parameter 1** genannten Werte

²² Notfalls kann, ohne das Programm zu starten, der Wert „bahnspeicher“ in der Datei »Einstellungen.ini« „von Hand“ auf die Voreinstellung 10485760 (10 MB) zurückgesetzt werden.

- **Info über Gravitation 3.12**

Ein Fenster zeigt Informationen zum Programm und zur Lizenz an.

2.2 Steuerelemente

2.2.1 Eingegebene Körper

Die Körper werden in einer Liste in der Reihenfolge des Eingebens angezeigt und können per Mausklick ausgewählt werden.

- **Anzeigen**

Das Programm zeigt das Vollbild mit den eingegebenen Körpern an. Die in diesem Programmzustand möglichen Befehle wie z. B. der Start der Bewegung werden bei der Darstellung der Tastaturbefehle beschrieben.

- **Entfernen**

Nach dem Start des Programm ist dieser Schalter zunächst deaktiviert. Er wird aktiviert, sobald ein Körper in der Liste der eingegebenen Körper ausgewählt wird, wobei die an anderen Stellen genannten Einschränkungen berücksichtigt werden. Die Beschriftung ändert sich entsprechend; wird z. B. der Mars ausgewählt, lautet sie **Mars entfernen**. Der ausgewählte Körper kann dann entfernt werden.

- **Alle entfernen**

Alle eingegebenen Körper werden entfernt.

2.2.2 Zustand

- **Eingabezeilen**

Das Programm stellt Eingabezeilen bereit für die Ortskoordinaten x , y und z , die Geschwindigkeitskomponenten v_x , v_y und v_z und die Masse m des im Feld **Eingegebene Körper** ausgewählten Körpers. Damit können auch die Werte für die realen Körper des Sonnensystems verändert werden.²³ Das Programm kann mit den geänderten Werten fortgesetzt werden; zu beachten ist, dass die Koordinatenaktualisierung bei der nachträglichen Eingabe eines Körpers des Sonnensystems immer mit den ursprünglichen Massen der Körper und der richtigen Gravitationskonstanten berechnet wird.

Diese Zeilen zeigen die jeweils aktuellen Werte an; sollen diese geändert werden, so werden zunächst beliebige Zeichen akzeptiert, die eingegebene Zeichenkette wird nach dem Anklicken des Schalters **Übernehmen** oder Betätigung der Return- oder Enter-Taste jedoch auf syntaktische und inhaltliche Korrektheit geprüft. Im Falle eines Fehlers wird eine Fehlermeldung ausgegeben und der ursprüngliche Inhalt der Zeile wiederhergestellt.

²³ Diese Änderungen werden mit einer Ausnahme nur innerhalb des Programms verwendet und nicht gespeichert; die Startdateien werden nie geändert. Die einzige Ausnahme bilden die Dateien, in denen mit dem Button **Zustand speichern** der aktuelle Zustand des Systems (eingegebene Körper und deren Werte) gespeichert wird; sie enthalten die gerade angezeigten, also ggf. geänderten Werte.

Zulässig sind

- alle Ziffern,
- ein Dezimalpunkt,
- die Vorzeichen + und −,
- der Buchstabe e zur Kennzeichnung des Exponenten,
- die Abkürzungen „er“ und „ae“ für den Erdradius bzw. die Astronomische Einheit (AE), wobei der Wert von „er“ durch die Eingabe von „er+Zahl“ um einen zusätzlichen Summanden vergrößert werden kann; z. B. ergibt „er+1000“ einen um 1000 m vergrößerten Wert,
- die Abkürzung „def“ (wie „default“) für die voreingestellte Masse des Körpers.

Zahlen können in normaler Dezimalschreibweise (Normaldarstellung) oder in Exponentialdarstellung (z. B. $-1.2345e24$) eingegeben werden.

Aus physikalischer Sicht ist anzumerken, dass alle nachträglichen Veränderungen der eingegebenen Körper oder der Körperzahl in der Regel die Erhaltungssätze verletzen und deshalb keine physikalisch möglichen Vorgänge modellieren. Der Benutzer muss hier selbst beurteilen, was er tut.

Außerdem führt eine nachträgliche Veränderung von Koordinaten oder Massen i. a. zu einer Veränderung des Schwerpunkts. Dadurch würden bereits gezeichnete Bahnen fehlerhaft, wenn danach der Schwerpunkt als Bezugspunkt verwendet wird. Das Gleiche gilt für die Verwendung der Sonne oder der Erde als Bezugspunkt, wenn deren Koordinaten verändert wurden. In solchen Fällen werden die fehlerhaften Bahnen gelöscht.

3.12

• Übernehmen

Durch Anklicken dieses Schalters werden zugleich alle sieben in den Eingabezeilen angezeigten Werte übernommen.

• Rückgängig

Nach der Übernahme können die vorherigen Werte wiederhergestellt werden, wenn der ausgewählte Körper noch nicht gewechselt worden ist.

• Bahnradius

Der Abstand des ausgewählten Körpers vom Nullpunkt des Koordinatensystems kann eingestellt werden, wenn er nicht gleich Null ist²⁴.

• Geschwindigkeit

Der Betrag der Geschwindigkeit des ausgewählten Körpers kann eingestellt werden, wenn er nicht gleich Null ist²⁵.

²⁴ Ist der Betrag gleich Null, ist keine Richtung definiert.

²⁵ Siehe Fußnote 24.

- **Zustand speichern**

Gespeichert wird die Liste der eingegebenen Körper mit ihren physikalischen Zuständen sowie allen erforderlichen Parametern. Diese Daten werden im Anwendungsdatenordner in Dateien mit den fortlaufend nummerierten Namen »Zustand 1.ini«, »Zustand 2.ini« etc. gespeichert. Die Dateien werden beim Programmende nicht gelöscht und beim nächsten Programmlauf nicht überschrieben. Sie können umbenannt werden; der Dateiname muss jedoch mit „Zustand“ beginnen und die Dateiendung muss „ini“ lauten, wenn das Programm die Dateien erkennen soll.

Nach der Eingabe von **Erdoberfläche** und **Laborsystem** oder bei der Verwendung einer der nicht aktuellen Startdateien können keine Zustände gespeichert oder geladen werden.

- **Zustand laden**

Die gespeicherten Zustände²⁶ können geladen werden, wenn keine Körper eingegeben sind. Danach ist die Eingabe weiterer Körper – mit den unvermeidlichen Koordinatenaktualisierungen – möglich.

2.2.3 Einstellungen

In diesem Feld wird eine von dem gewählten Menüpunkt oder Schalter abhängige Mehrzweck-Eingabezeile geöffnet. Zur Eingabe siehe oben unter **Eingabezeilen**. In vielen Fällen kann der voreingestellte Wert durch die Eingabe der Abkürzung „def“ (wie „default“) eingegeben werden; wenn dies nicht möglich ist, erscheint eine entsprechende Meldung.

2.2.4 Anzeigen

Die folgenden Befehle verändern die Darstellung der Körper und Bahnen sowie weiterer Informationen im Vollbild. Bei geöffnetem Vollbild kann ein Teil dieser Befehle auch mit der Tastatur eingegeben werden; siehe hierzu Abschnitt 2.3.

- **Bahnen**

Das Zeichnen der Bahnen kann aus- und eingeschaltet werden; die Körper werden immer gezeichnet. Wird die Anzeige der Bahnen ausgeschaltet, werden die Bahnpunkte trotzdem gespeichert; wird die Anzeige wieder eingeschaltet, werden auch die bereits gespeicherten Bahnen angezeigt.

- **Fahrstrahlen**

Von der Sonne bzw. im Erdsystem von der Erde ausgehende Fahrstrahlen werden gezeichnet, falls die Anzeige der Bahnen eingeschaltet ist.

- **Schwerpunkt**

Der Schwerpunkt des Systems der jeweils eingegebenen Körper und ggf. seine Bahn werden gezeichnet. Zu beachten ist, dass dieser Punkt i. a. *nicht* mit dem Schwerpunkt (Baryzentrum) des gesamten Sonnensystem zusammenfällt. Bei der Simulation der Mondgravitation

²⁶ Die vor Version 3.0 erzeugten Zustandsdateien können nicht mehr geladen werden.

im Laborsystem ist die Anzeige des Schwerpunkts gesperrt, bei der Simulation der Nullgravitation wird der Schwerpunkt der Körper W1 und W2, aber nicht dessen Bahn angezeigt.

- **Achsen**

Die Achsen eines Koordinatensystems werden angezeigt. Der Ursprung ist – mit Ausnahme der Darstellung der Erdoberfläche – immer der Nullpunkt (0|0|0) unabhängig von dem für das Bild eingestellten Bezugspunkt; die Achsen bewegen sich also im Allgemeinen relativ zum gewählten Bild-Bezugspunkt. Voreingestellt für die halbe Achsenlänge ist – außer bei der Darstellung der Erdoberfläche²⁷, wo die verwendeten Maßeinheiten angezeigt werden – bei der Bildbreite **Mondbahn** das 25fache des Erdradius mit dem 10fachen des Erdradius als Einheit, bei der Bildbreite **Satellitenbahn** das 2,5fache des Erdradius mit dem Erdradius als Einheit und sonst 1,5 AE mit 1 AE als Einheit. Die Länge der Achsen im Vollbild kann außer bei der Darstellung der Erdoberfläche mit dem Tastaturbefehl **A + Bild auf/ab/R** (siehe Abschnitt 2.3) verändert werden; dabei erscheinen auf den Achsen Marken im Abstand der jeweiligen Einheit.

- **Bildbreite**

Die Breite des Bildes wird angezeigt.

- **Zeit**

Der jeweilige Zeitpunkt wird angezeigt; für die Jahre 1970 bis 2037 werden Datum und Uhrzeit angegeben, außerhalb dieses Zeitraums nur noch das Jahr.

- **Zeitschritt**

Der verwendete Zeitschritt wird angezeigt.

- **Namen**

Die Namen der Körper und ggf. der Name des Schwerpunkts (SP) werden angezeigt.

- **Geschwindigkeit**

Der Betrag der Geschwindigkeit der dargestellten Körper wird angezeigt. Im geozentrischen System können bei den Einstellungen **Erdoberfläche** und **Laborsystem** zusätzlich die x - und y -Komponente der Geschwindigkeit²⁸ angezeigt werden; vgl. hierzu die Ausführungen zu den Tastaturbefehlen **G**, **Tab** und **K** im Abschnitt 2.3.

3.12

- **Hilfe**

Die jeweils zulässigen Tastaturbefehle werden angezeigt.

- **Schwarzweißbild**

Die Darstellung wird auf Schwarz-Weiß umgeschaltet. Bei geöffnetem Vollbild kann der Tastaturbefehl **Umsch + W** (siehe Abschnitt 2.3) verwendet werden.

3.12

2.2.5 Blickrichtung

Das System der eingegebenen Körper wird als Parallelprojektion auf eine beliebige Ebene durch den Koordinatenursprung dargestellt; die Blickrichtung ist die Richtung senkrecht zu

²⁷ Vgl. hierzu die Ausführungen zum Menüpunkt **Achsen** im Menü **Einstellungen/Anpassungen**.

²⁸ Diese Anzeige kann zur Veranschaulichung der Unabhängigkeit der Komponenten verwendet werden.

dieser Ebene. Hier können einige fest eingestellte Blickrichtungen vorgewählt werden; eine kontinuierliche Änderung der Blickrichtung durch Tastaturbefehle ist bei geöffnetem Vollbild möglich. Bei der Wahl von **Ekliptikebene** steht die Blickrichtung senkrecht auf dieser Ebene.

Während der kontinuierlichen Änderung der Blickrichtung werden laufend die Bahnen – ggf. mit verminderter Punktdichte – rekonstruiert, so dass die räumliche Lage der Bahnen veranschaulicht werden kann.

2.2.6 Startdateizeit

Anzeige der Startdateizeit (siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne. . .**) in UTC.

2.2.7 Startzeit

Anzeige der Startzeit (siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne. . .**)

2.2.8 Bezugspunkt Bild

Der gewählte Bezugspunkt für das angezeigte Bild ruht relativ zum Bildschirm; alle Körperpositionen und Bewegungen werden relativ zu diesem Bezugspunkt dargestellt. Diese Einstellung wirkt nur auf die Anzeige und hat keinen Einfluss auf den gewählten Koordinatennullpunkt (baryzentrisch oder geozentrisch) und die Berechnung der Koordinaten und Geschwindigkeiten. Die möglichen Einstellungen sind **Nullpunkt** (Nullpunkt des baryzentrischen Systems), **Sonne** (Mittelpunkt der Sonne), **Erde** (Mittelpunkt der Erde) und **Schwerpunkt** (momentaner Schwerpunkt der eingegebenen Körper, also *nicht* das Baryzentrum des Sonnensystems). Der Bezugspunkt **Erde** eignet sich zur Veranschaulichung des ptolemäischen Weltbildes, die sonst immer einige Mühe bereitet. Bereits gezeichnete Bahnen werden relativ zum gewählten Bezugspunkt rekonstruiert.

2.2.9 Bildbreite

Hier können – je nach gerade benutztem Koordinatensystem – einige vordefinierte Einstellungen für die Bildbreite gewählt werden.

2.2.10 Zeitschritt

Siehe **Einstellungen/Parameter 1/Standard-Zeitschritt**
bzw. **Einstellungen/Parameter 2/Variabler Zeitschritt**.

2.3 Tastaturbefehle

Zur Steuerung des Programms stehen die folgenden Tastaturbefehle zur Verfügung. Mit + verbundene Tasten werden in der üblichen Weise nacheinander betätigt. Die Zusätze B und V geben an, dass die Befehle auf das Bedienungsfenster bzw. das Vollbild wirken. PF bedeutet Pfeiltaste (Cursortaste), li links, re rechts.

Esc	V	Vollbild schließen Nach längerer Inaktivität wird das Vollbild vom Programm geschlossen.
F1	B	Handbuch oder Lizenz öffnen
F1	V	Hilfe ein- und ausschalten Es werden abhängig vom Programmzustand die jeweils möglichen Tastaturbefehle angezeigt.
F2	V	Anzeige der Namen ein- und ausschalten
F3	V	Anzeige der Achsen ein- und ausschalten
A + Bild auf/ab/R...	V	Achsenlänge ändern Dieser Befehl ist nur im baryzentrischen System aktiv.
F4	V	Anzeige der Zeit ein- und ausschalten
F5	B	Bild anzeigen
F6	V	Bewegung starten → Zukunft
H+1/2/3.....	V	Hohmannübergang starten für Satellit S1/S2/S3
F7	V	Bewegung starten → Vergangenheit
F8	V	Bewegung anhalten
F9	V	Bahnen löschen Die Bilder der Körper werden nicht gelöscht.
F10.....	V	Anzeige der Bildbreite ein- und ausschalten
F11.....	V	Anzeige des Zeitschritts ein- und ausschalten
F12.....	V	Zeitschrittreduzierung ein- und ausschalten Dies ist eine temporäre Einstellung; nach dem Schließen des Vollbildes wird die mit dem entsprechenden Menüpunkt gewählte Einstellung verwendet.
E.....	V	Blickrichtung senkrecht zur Ekliptikebene
X.....	V	Blickrichtung in Richtung der x -Achse (+ → -)
Y.....	V	Blickrichtung in Richtung der y -Achse (- → +)
Z.....	V	Blickrichtung in Richtung der z -Achse (+ → -)
S.....	V	Blickrichtung „schräg“ zum Koordinatensystem
PF.....	V	Blickrichtung kontinuierlich ändern
V + PF/R.....	V	Bild in der jeweiligen Pfeilrichtung verschieben/Verschiebung zurücksetzen
L.....	V	Anzeige der Namen der Lagrangeunkte ein- und ausschalten
G.....	V	Anzeige der Geschwindigkeiten ein- und ausschalten

Tab	V	Anzeige der Geschwindigkeiten am Rand ein- und ausschalten Die Geschwindigkeitsanzeige bewegt sich nach dem Einschalten zunächst mit den Bildern der Körper mit. Mit diesem Befehl kann auf eine Liste der Geschwindigkeiten am linken Bildrand umgeschaltet werden.
K	V	Anzeige der Geschwindigkeitskomponenten ein- und ausschalten
F	V	Anzeige der Fahrstrahlen ein- und ausschalten
O	V	Anzeige des Pfeils Richtung Sonne ein- und ausschalten
P	V	Anzeige der Phasen von Erde und Mond ein- und ausschalten
1	V	Bezugspunkt Bild auf Nullpunkt umschalten
2	V	Bezugspunkt Bild auf Sonne umschalten
3	V	Bezugspunkt Bild auf Erde umschalten
4	V	Bezugspunkt Bild auf Schwerpunkt umschalten
5	V	Zeitschritt verkleinern
T	V	Ursprünglichen Zeitschritt wiederherstellen Dies geschieht auch beim Schließen des Vollbildes.
6	V	Zeitschritt vergrößern
Bild auf/ab	V	Bild zoomen ohne Veränderung der Größe der Bilder
B + Bild auf/ab/R...	V	Bilder der Körper vergrößern/verkleinern/wiederherstellen
D	V	Graphik dicker/dünner zeichnen
Q	V	Fette Schriften ein- und ausschalten Die im Vollbild angezeigten Schriften können zur besseren Lesbarkeit auf Fett umgeschaltet werden.
W	V	Weißer Schriften ein- und ausschalten Die im Vollbild angezeigten Schriften können zur besseren Lesbarkeit auf Weiß umgeschaltet werden, wenn der Bildhintergrund nicht weiß ist.
Umsch + W	V	Schwarzweißbild ein/aus
Umsch + C	V	Bild speichern
Einf	V	Illustration einblenden Siehe Abschnitt 4.
N	V	Namen einer Illustration einblenden
Entf	V	Illustration ausblenden
Return/Enter	B	Eingegebene Werte übernehmen

Weitere Tastaturkürzel (Shortcuts) sind Menüpunkten zugeordnet und werden bei den Menüs angezeigt.

2.4 Mausverwendung beim Vollbild

Das Vollbild wird vollständig durch Tastaturbefehle gesteuert; mit dem zusätzlich angezeigten Mausfeil²⁹ können keine Befehle eingegeben werden. Er ist deshalb nicht immer zu sehen; mittels der rechten Maustaste kann er ein- und ausgeschaltet werden. Im Menü **Einstellungen** kann mit dem Menüpunkt **Parameter 1/Mausfeilgröße** seine Größe, mit dem Menüpunkt **Farben/Mausfeil** seine Farbe verändert werden.

Dieser Mausfeil hat zwei Funktionen:

- Er kann bei Vorführungen und Erläuterungen des Programms als „Zeiger“ dienen.
- Nähert sich der Mausfeil dem Bild eines Körpers, wird der Name dieses Körpers eingeblendet, falls die Anzeige der Namen (siehe Tastenbefehl **F2**) nicht eingeschaltet ist.

2.5 Speichern und Drucken von Bildern

Stehende Bilder können mit dem Tastaturbefehl **Umsch + C** unter den fortlaufend nummerierten Namen »Bild 1.jpg«, »Bild 2.jpg« etc. im Anwendungsdatenordner gespeichert werden. Diese Bilddateien werden beim Programmende nicht gelöscht und beim nächsten Programmlauf nicht überschrieben; sie können in der üblichen Weise weiter verarbeitet oder mit dem Menüpunkt **Datei/Bilder drucken** vom Programm aus gedruckt werden. Zum Speichern von Zuständen s. o. unter **Steuerelemente/Zustand**.

3 Startdateien

Mit Gravitation 3.12 werden auch Startdateien für entferntere künftige und vergangene Zeitpunkte geliefert, was aber natürlich nicht für alle Zukunft – siehe Abschnitt 1.4 – zugesichert werden kann. Das Programm läuft zwar auch dann, wenn die aktuelle Startdatei für einen länger zurückliegenden Zeitpunkt gilt; allerdings dauert der erste Programmstart dann relativ lange, und die Genauigkeit der Daten nimmt mit der Dauer der Aktualisierungsrechnungen ab. Das Format der Startdateien wurde deshalb so gewählt, dass der Benutzer in der Lage sein sollte, eigene Startdateien zu erzeugen. Diese Dateien können mit jedem Editor geschrieben werden; man orientiere sich an den vorhandenen Dateien. Dabei ist zu beachten:

- Die Namen der Startdateien haben die Form `Datenyyyymmddhhiiss.ini`, wobei die Zahlen nach „Daten“ Jahre, Monate, Tage, Stunden, Minuten und Sekunden darstellen. Die ersten 13 Zeichen (`Datenyyyymmdd`) sind verbindlich und dürfen also nicht geändert werden, da das Programm sonst die aktuelle Startdatei nicht findet.
- Kommentare beginnen mit einem Semikolon und werden vom Programm ignoriert.
- Der Wert von „zeit“ wird in UTC im Format `yyyy.mm.dd.hh.ii.ss` gespeichert. Als Uhrzeit sollte möglichst 0 Uhr UTC gewählt werden.

²⁹ Es handelt sich nicht um den Mausfeil des Betriebssystems, sondern um einen vom Programm selbst erzeugten Mausfeil.

- Die Werte der Ortskoordinaten und Geschwindigkeitskomponenten zum Zeitpunkt „zeit“ beziehen sich auf ein kartesisches baryzentrisch-äquatoriales Koordinatensystem und können z. B. mit dem oben genannten Programm High Precision Ephemeris Tool 2 (HPET2; Menüpunkt Ephemeriden/Rechtwinklige Koordinaten/Statusvektor, Koordinatensystem Aequ. J2000 Bary.) ermittelt werden. Die Werte können dann von Hand in die Startdatei übertragen werden; die Ortskoordinaten lauten ...sx etc., die Geschwindigkeitskomponenten ...vx etc. und müssen in den Einheiten AE bzw. $\frac{AE}{d}$ angegeben werden.
 - Falls csv-Dateien für die Koordinaten und Geschwindigkeiten zur Verfügung stehen, können diese mit dem Menüpunkt **Datei/Startdatei erzeugen** in Startdateien konvertiert werden. Die benötigten csv-Dateien können z. B. ebenfalls mit dem genannten Programm HPET2 (Menüpunkt Datei/Als csv-Datei speichern) erzeugt werden. Ihre Verwendung erfordert folgende Vorbereitungen:
 - Die Dateiendung der csv-Dateien muss csv lauten. Der Dateiname ist nicht vorgeschrieben; zweckmäßig ist jedoch ein Name der Form Datenyyyymmddhhiiss.csv, also z. B. für den 1.4.2010, 0 Uhr UTC „Daten20100401000000.csv“.
 - Verwendet werden nur die baryzentrischen Werte, andere von HPET2 erzeugte Werte sind zu löschen.
 - Die angepasste csv-Datei muss genau 12 Zeilen enthalten: eine Zeile für das Datum in der Form yyyy;mm;dd;hh;ii;ss und 11 Zeilen für die Körper Sonne - Merkur - Venus - Erde - Mars - Jupiter - Saturn - Uranus - Neptun - Pluto - Mond in dieser Reihenfolge; die Zeile „Sonne“ der von HPET2 erzeugten csv-Datei muss also vor die Zeile „Merkur“ kopiert werden. Die Namen der Körper dürfen nicht entfernt werden. Nach den Namen folgen die Werte für x, y, z, v_x, v_y, v_z ; als Trennzeichen muss ein Semikolon verwendet werden.
- Als Muster und zu Testzwecken befindet sich die Datei 20200101000000.csv im Ordner »Daten« im Programmordner. Die erzeugten Startdateien erhalten unabhängig vom Namen der csv-Dateien Namen der Form Datenyyyymmddhhiiss.ini. Sie werden vom Programm in den Anwendungsdatenordner geschrieben; um sie verwenden zu können, müssen sie vom Benutzer – falls er die nötigen Schreibrechte besitzt – in den Ordner »Daten« im Programmordner übertragen werden.
- Die Massen und Radien der Körper sind im Programmcode enthalten; für den Fall, dass genauere Werte bekannt werden, sind sie zusätzlich in den Startdateien enthalten und können dort geändert werden. Die Einheiten sind kg bzw. m.

4 Bilddateien

Mittels der in Abschnitt 2.3 aufgeführten Tastaturbefehle können zur Illustration Bilder z. B. der Sonne oder der Planeten in das Vollbild eingeblendet werden. Solche Bilder können nach dem ersten Programmstart vom Benutzer in den Anwendungsdatenordner kopiert werden. Das Programm zeigt nur diejenigen Bilder an, die im JPEG-Format vorliegen und deren Namen mit „Grav“ beginnen; andere Bilder können über den Menüpunkt **Datei/Bilder öffnen** mittels anderer Programme angezeigt werden. Die Größe des eingeblendeten Bildes oder Bildteils

wird vom Programm beschränkt auf (Breite des Bildschirms - 100) × (Höhe des Bildschirms - 100) Pixel.

Soll zusätzlich zu einem Bild mit der Taste **N** auch ein Bildname eingeblendet werden, so ist der Teil des Dateinamens, der angezeigt werden soll, in Unterstriche einzuschließen; so führt z. B. der Dateiname »Grav01_Sonne_.jpg« zur Einblendung von »Sonne«. Da die Bilder nacheinander in „alphabetischer“ Reihenfolge eingeblendet werden, empfiehlt sich eine Namensgebung wie »Grav01...«, »Grav02...« etc.

5 Halbschrittverfahren

Die Bahnen von Körpern in den von ihnen erzeugten Gravitationsfeldern werden näherungsweise mit einem Iterationsverfahren, dem sog. Halbschrittverfahren, berechnet. Gegeben sind zur Zeit $t_0 = 0$ die Orte \vec{s}_0 und die Geschwindigkeiten \vec{v}_0 aller Körper sowie deren Massen. Aus den Orten werden zunächst die Abstände r_0 je zweier Körper und daraus mit dem Gravitationsgesetz die Beschleunigungen \vec{a}_0 aller Körper zur Zeit t_0 berechnet; aus den Geschwindigkeiten und den Beschleunigungen zur Zeit t_0 werden dann beim ersten Iterationsschritt mit $\vec{v}_1 = \vec{v}_0 + \frac{\Delta t}{2} \cdot \vec{a}_0$ die Geschwindigkeiten \vec{v}_1 zur Zeit $t_1 = \frac{\Delta t}{2}$ berechnet und daraus und aus den Orten \vec{s}_0 schließlich mit $\vec{s}_2 = \vec{s}_0 + \Delta t \cdot \vec{v}_1$ die Orte \vec{s}_2 zur Zeit $t_2 = \Delta t$.

Die weiteren Iterationsschritte verlaufen auf die gleiche Weise, nur dass die Geschwindigkeiten nun mit $\vec{v}_{i+1} = \vec{v}_{i-1} + \Delta t \cdot \vec{a}_i$ berechnet werden, also nicht mit dem Zeitintervall $\frac{\Delta t}{2}$ wie beim ersten Schritt.

Anschaulich bedeutet dieses Verfahren, dass die Körper jeweils während der Zeit Δt „geradeaus fliegen“. Δt ist dabei ein frei wählbares, aber hinreichend kleines Iterationsintervall. Die Bezeichnung „Halbschrittverfahren“ bezieht sich auf die Verwendung der Geschwindigkeiten in der Mitte des Iterationsintervalls, die die Genauigkeit der Iteration verbessert.

Das auf Seite 33 folgende Diagramm verdeutlicht den Ablauf der Iterationen.

