

Gravitation 3.4 – Handbuch

Dr. Arnim Wegner

28. August 2008

1 Zweck

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, Mond¹) mit ihren realen Massen und Koordinaten als auch willkürlich definierte Körper – u. a. Erdsatelliten und Doppelsterne – eingegeben werden. 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 Hohmannübergängen, Lagrangepunkten oder Wurfbewegungen. Alle Bahnrechnungen werden iterativ mit dem Halbschrittverfahren räumlich (dreidimensional) und mit Wechselwirkung aller eingegebenen Körper miteinander ausgeführt.

2 Lieferumfang und Lizenz

Durch Entpacken der Datei «Gravitation 3.4.zip» entsteht das Programmverzeichnis «Gravitation 3.4». Es enthält

- das ausführbare Programm «Gravitation 3.4.exe»,
- den Quellcode «Gravitation 3.4.pb» des Programms,
- das verwendete Programmsymbol «Gravitation.ico»,
- Startdateien «Daten... .ini»² und ein Beispiel einer Startdatei im csv-Format³,
- dieses Handbuch in der Datei «Handbuch.pdf» sowie
- die GNU-Lizenz in der Datei «Lizenz.pdf».

¹ Gemeint ist immer der Mond der Erde; andere Monde sind nicht in den Startdateien (siehe Abschnitt 7) enthalten.

² Siehe hierzu auch die Abschnitte 6, 9 und 7.

³ Siehe Abschnitt 7.

Die gelieferten Dateien werden unter der GNU-Lizenz veröffentlicht. Der Quellcode wurde geschrieben und kompiliert mit PureBasic 4.20 (© Fantaisie Software). Die in den Startdateien «Daten... .ini» enthaltenen Koordinaten und Geschwindigkeiten wurden mit dem Programm High Precision Ephemeris Tool 2 (© Astronomiesoftware Dings) ermittelt.

3 Systemanforderungen

Das Programm läuft zumindest unter Windows XP. DirectX ab Version 7.0 muss installiert sein.

4 Installation und Programmstart

Eine Installation im unter Windows üblichen Sinne ist nicht vorgesehen; es gibt keine dll-Dateien, Registrierungseinträge o. ä. Das Programmverzeichnis «Gravitation 3.4» wird am zweckmäßigsten in einen Ordner wie «C:\Programme» kopiert.

Das Programm wird durch Ausführen von «Gravitation 3.4.exe» gestartet. Zur Vereinfachung des Programmstarts sollte der Benutzer eine Verknüpfung mit «Gravitation 3.4.exe» auf dem Desktop oder im Startmenü anlegen. Die Ausführung mehrerer Instanzen von Gravitation 3.4 zur gleichen Zeit ist nicht möglich.

Das Programm legt beim ersten Programmstart ein weiteres Verzeichnis «Gravitation 3.4» im Ordner «C:\Dokumente und Einstellungen*Benutzername*\Anwendungsdaten» mit den Dateien «Einstellungen.ini» und «TempDaten.ini» (s. u.) an. Zur Unterscheidung vom Programmverzeichnis wird es im Folgenden „Anwendungsdatenverzeichnis“ genannt. Durch diese Trennung wird sichergestellt, dass das Programm nur in das zweite Verzeichnis schreibt.

Die Deinstallation geschieht durch Löschen dieser beiden Verzeichnisse und der vom Benutzer angelegten Verknüpfungen. Zum Vorgehen bei Updates siehe Abschnitt [9](#).

5 Programmoberfläche

Das Programm erzeugt beim Programmstart ein Fenster zur Bedienung und später temporär einen 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.⁴

⁴ Eine Ausnahme bildet in einigen Fällen die Erde; vgl. dazu unter **Eingabe/Erdsystem**.

6 Bedienung

Die Programmoberfläche ist so weit wie möglich selbsterklärend. Benutzerbefehle werden eingegeben durch Menüpunkte und Steuerelemente im Bedienungsfenster sowie durch Tastaturbefehle bei geöffnetem Anzeigebildschirm; 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.

Im Folgenden werden die Bedienungselemente erläutert.

6.1 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.

- **Datei**

- **Startdatei auswählen**

Beim Programmstart wird diejenige der im Programmverzeichnis enthaltenen Startdateien 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 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 8.

- **Bilder drucken**

Das Programm öffnet einen Standardrequester zum Auswahl der zu druckenden Bilder; nach der Auswahl wird der Druckrequester geöffnet. Siehe hierzu auch Abschnitt 6.4.

- **Einstellungen übernehmen**

Siehe Abschnitt 9: Updates.

- **Pfade anzeigen**

Das Programm zeigt die Pfade zum Programmverzeichnis, zum aktuellen Anwendungsdatenverzeichnis und ggf. zum Anwendungsdatenverzeichnis der vorhergehenden Programmversion an.

- **Startdatei erzeugen**

Das Programm erzeugt eine Startdatei; im Einzelnen siehe hierzu Abschnitt 7.

- **Beenden**

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

- **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; die in den Startdateien enthaltenen Koordinaten sind baryzentrisch.

- **Sonnensystem**

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

Für die elf darstellbaren realen Körper unseres Sonnensystems⁵ 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 Bedienungs-fenster angezeigten Zeitpunkt „Startdateizeit“.⁶ 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 **Einstellungen/Start/Temporäre Startdatei neu berechnen** die temporäre Startdatei in einem Zuge aus der aktuellen Startdatei berechnet werden. Nach der Eingabe

⁵ 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.

⁶ Siehe hierzu auch die Ausführungen zum Menüpunkt **Einstellungen/Zeit**.

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 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.

- o **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.⁷

- **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 groß**

Ein Teil der Erdoberfläche erscheint praktisch als Gerade am unteren Bildrand; die Bildbreite beträgt 1000 m. Die im Feld **Zustand** angezeigten und eingegebenen Ortskoordinaten beziehen sich hier nicht auf das geozentrische System,

⁷ Dieses System ist jedoch z. B. nicht zur Darstellung der Einflüsse der Sonne auf die Mondbahn geeignet. Zu diesem Zweck kann man Sonne, Erde und Mond mit dem Menü **Sonnensystem** eingeben, den Bezugspunkt Bild auf Erde umschalten und die Bildbreite so einstellen, dass die Mondbahn ausreichend groß dargestellt wird.

sondern auf das Laborsystem, also den Nullpunkt des angezeigten Koordinatensystems.⁸ 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 Mondoberfläche⁹ oder den Wert Null umgestellt werden. Diese Darstellung gibt in brauchbarer Näherung die Verhältnisse in einem homogenen Gravitationsfeld wieder. Die Einstellung **Mond** gestattet z. B. die Simulation von Bewegungen an der Mondoberfläche, die Einstellung **Null** die Darstellung der gegenseitigen Anziehung von Körpern ohne den Einfluss der Erdanziehung (Gravitationswaage!).¹⁰

- **Laborsystem klein**

Ein Teil der Erdoberfläche erscheint als Gerade am unteren Bildrand; die Bildbreite beträgt 10 m, so dass das Erdfeld in guter Näherung als homogen angesehen werden kann. Im übrigen gilt das Gleiche wie bei **Laborsystem groß**.

- **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.

⁸ Dies hat keinen Einfluss auf die programminterne Verarbeitung der Koordinaten, sondern dient nur der bequemerer Bedienung.

⁹ Da Erde und Mond als Kugeln modelliert werden, handelt es sich um mittlere Werte.

¹⁰ 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.

- Körper W1 – W2

Mit diesem Menüpunkt werden bis zu zwei Körper mit den Namen W1 und W2 (W wie „Wurf“) in geringer Höhe oberhalb des Äquators 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**, **Laborsystem groß** und **Laborsystem klein** nach einer Kollision mit der Erde nicht gelöscht, so dass nacheinander mehrere Bahnen erzeugt werden können.

o 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 6.3. 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.

o 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 **Einstellungen/Kräfte/Zusatzkraft/Dauer** eingestellt werden.

- $F = 0$

Die zusätzliche Kraft wird ausgeschaltet.

- $F \text{ const}$

Es wirkt eine konstante Kraft in Bewegungsrichtung oder entgegengesetzt dazu je nach dem Vorzeichen des zugehörigen Parameters, dessen Wert unter **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 Schwebelage zu halten.

- **$F \sim v$**

Es wirkt entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung eine zur Geschwindigkeit proportionale Bremskraft, deren Betrag durch den mit dem Menüpunkt **Einstellungen/Kräfte/Zusatzkraft** $F \sim v, v^2$ einzustellenden Faktor zu beeinflussen ist. 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.

- **Einstellungen**

- **Geometrie**

- **Bildgeometrie einstellen**

Die auf dem benutzten Rechner eingestellten Werte für Bildschirmauflösung und Farbqualität (Farbtiefe) werden vom Programm übernommen. Der Anzeigebildschirm hat aber eine Farbtiefe von mindestens 16 Bit. Das Programm kann nicht feststellen, welches Seitenverhältnis (pixel aspect ratio) die Pixel des verwendeten Monitors 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 einstellen**

Trotz korrekter Einstellung der Bildgeometrie werden ausgedruckte Bilder in der Regel kein korrektes Seitenverhältnis aufweisen. Dies kann in den Druckereinstellungen oder bereits hier durch Ausprobieren einer geeigneten veränderten Bildgeometrie, genannt „Druckgeometrie“, 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.

- **Synchronisation ausschalten ?**

Der Anzeigebildschirm ist so voreingestellt, dass bei der Darstellung von Bewegungen die Veränderungen des Bildes mit der Bildfrequenz des Monitors synchronisiert sind (Vertical-Blank-Synchronisation). Der Benutzer kann diese Synchronisation ausschalten; dies führt in der Regel zu schnelleren Bewegungen, kann aber auch Störungen des Bildes verursachen. Die gewählte Einstellung wird in der Datei «Einstellungen.ini» gespeichert.

- **Speicher**

Die Koordinaten der zuletzt gezeichneten Bahnpunkte werden gespeichert, so dass

die Bahnen bei Veränderungen des Anzeigebildschirms z. T. rekonstruiert werden. Hierfür wird ein bestimmter Speicherplatz reserviert.

- **Voreinstellung**

Der in der Voreinstellung reservierte Speicherplatz von 5 MB reicht für die Speicherung der knapp 90000 letzten Bahnpunkte. Damit können normalerweise¹¹ die Bahnen der inneren Planeten vollständig gespeichert werden.

- **Bahnspeicher einstellen**

Die Größe des reservierten Speichers kann im Bereich von 5 MB bis 50 MB eingestellt werden; der eingegebene Wert wird in der Datei «Einstellungen.ini» gespeichert und beim nächsten Programmstart geladen. Um Speicherprobleme so weit wie möglich zu vermeiden, ist der Speicherplatz auf 50 MB beschränkt, was normalerweise für die Speicherung aller Planetenbahnen bis hin zu einer vollständigen Plutobahn ausreicht. Je mehr Bahnpunkte gespeichert sind, desto länger dauert die Bahnrekonstruktion; in Abhängigkeit von verwendetem Rechner und 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.¹²

- **Speicherinformationen**

Zur Erleichterung der obigen Einstellung werden einige Werte für die Speichernutzung angezeigt; so kann der bei einem bestimmten Programmzustand noch freie Bahnspeicher ermittelt und mit dem noch freien physikalischen Speicher des Rechners verglichen werden. Wegen der vom Rechner vorgenommenen Speicherauslagerung kann dies aber nur ein grober Anhaltspunkt sein.

- o **Zeit**

Das Programm verwendet für die Zeitrechnung die UTC¹³, 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 (Mitteleuropäische Zeit) eingestellt, so wird die Bezeichnung MEZ verwendet. Die Sommerzeit bleibt wie üblich bei allen Zeitanzeigen unberücksichtigt.

- **Zeitanzeige korrigieren**

In einigen Zeitzonen wird die UTC falsch berechnet; dieser Fehler wird bisher

¹¹ d. h. bei den Voreinstellungen für die unter **Einstellungen/Parameter 1** genannten Werte

¹² Notfalls kann, ohne das Programm zu starten, der Wert „bahnspeicher“ in der Datei «Einstellungen.ini» „von Hand“ auf die Voreinstellung 5242880 (5 MB) zurückgesetzt werden.

¹³ Koordinierte Weltzeit, Coordinated Universal Time, Temps Universel Coordonné

nur bei Zeitzonen auf der Südhalbkugel der Erde beobachtet, in denen es eine Sommerzeit gibt, und beruht vermutlich auf einer fehlerhaften oder überholten Datei msvcrt.dll. 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.

- **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 0,1 ms, 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 Anzeigebildschirm der Zeitschritt per Tastatur verändert werden (siehe Abschnitt 6.3).

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 Anzeigebildschirms 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**

Der hier einzustellende Wert gibt an, wie viele der ursprünglich gezeichneten

Punkte beim Rekonstruieren der Bahnen jeweils ausgelassen werden. Voreingestellt ist der Wert 10. Bei der Rekonstruktion der Bahn der Körper W1 und W2 mit der Einstellung **Erdoberfläche** werden keine Punkte ausgelassen.

○ **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.

- **Nachkommastellen**

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 $[10^{-6}; 10^6]$ in Exponentialdarstellung angezeigt, innerhalb dieses Intervall in Normaldarstellung. Voreingestellt sind 6 Nachkommastellen bei der Exponentialdarstellung und 0 Nachkommastellen bei der Normaldarstellung. Mit den Menüpunkten **Nachkommastellen Normaldarstellung** bzw. **Nachkommastellen 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. Sollten 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.
- **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.
- **Hintergrund**
Analog für die Farbe des Bildhintergrunds.
- **Bahn**
Analog für die Farbe der Bahnen.
- **Fahrstrahl**
Analog für die Farbe der Fahrstrahlen.
- **Schwerpunkt**
Analog für die Farbe des Schwerpunkts und seiner Bahn.
- **Achsen**
Analog für die Farbe der Koordinatenachsen.
- **Text**
Analog für die Farbe der im Bild angezeigten Texte und Kollisionsmarkierungen.
- **Bahn (Hohmannübergang)**
Analog für die Farbe der Übergangshalbellipse beim Hohmannübergang.
- **Lagrangepunkte**
Analog für die Farbe der Lagrangepunkte.
- **Äquatormarke**
Analog für die Farbe der Äquatormarke.
- **Eingabezeile**
Die Aktivierung der Eingabezeile im Feld **Einstellungen** wird durch eine spezielle Farbgebung hervorgehoben.

- **Bilderradien**

Die Bilder¹⁴ der darzustellenden Körper werden vom Programm vor dem Öffnen des Anzeigebildschirms 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 Radien**

Falls die Radien vom Benutzer verändert wurden, können mit diesem Menüpunkt die im Lieferzustand voreingestellten Radien wieder geladen werden. Sollten 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.

- **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.

- **Kräfte**

Siehe hierzu **Eingabe/Zusatzkraft**.

- **Voreinstellung**

Die voreingestellten Werte der folgenden Parameter werden wiederhergestellt.

- **Gravitationskonstante**

Die Gravitationskonstante wird eingestellt.

¹⁴ Es entspräche nicht dem Zweck dieses Programms, hier aufwändigere Bilder als die verwendeten schlichten farbigen Kreisflächen zu erzeugen.

- Zusatzkraft

- **F const**

Ein die Stärke der Reibungskraft bestimmender Proportionalitätsfaktor wird eingestellt.

- **$F \sim v, v^2$**

Die Zusatzkraft wird eingestellt.

- **Dauer**

Die Dauer der Krafteinwirkung wird eingestellt.

○ **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.

○ **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 hieraus; 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.

- o **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*. 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.

- **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 ist die Anzeige der Hilfen im Anzeigebildschirm im Lieferzustand 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.

- **Info über Gravitation 3.4**

Ein Fenster zeigt Informationen zum Programm und zur Lizenz an.

6.2 Steuerelemente

- **Eingegebene Körper**

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

- **Anzeigen**

Das Programm zeigt den Anzeigebildschirm 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 Programms 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.
- **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 **Eingebene Körper** ausgewählten Körpers. 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. 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.
 - **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 ist¹⁵.
- **Geschwindigkeit**
Der Betrag der Geschwindigkeit des ausgewählten Körpers kann eingestellt werden, wenn er nicht gleich Null ist¹⁶.
- **Zustand speichern**
Gespeichert wird die Liste der eingegebenen Körper mit ihren physikalischen Zuständen sowie allen erforderlichen Parametern. Diese Daten werden im Anwendungsdatenverzeichnis 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**, **Laborsystem groß** und **Laborsystem klein** oder bei der Verwendung einer der nicht aktuellen Startdateien können keine Zustände gespeichert oder geladen werden.
- **Zustand laden**
Die gespeicherten Zustände¹⁷ können geladen werden, wenn keine Körper eingegeben sind. Danach ist die Eingabe weiterer Körper – mit den unvermeidlichen Koordinatenaktualisierungen – möglich.
- **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.
- **Anzeigen**
Die folgenden Befehle verändern die Darstellung der Körper und Bahnen sowie weiterer Informationen auf dem Anzeigebildschirm.
 - **Bahnen**
Das Zeichnen der Bahnen kann aus- und eingeschaltet werden; die Körper werden an Version 3.4 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.

¹⁵ Ist der Betrag gleich Null, ist keine Richtung definiert.

¹⁶ Siehe Fußnote 15.

¹⁷ Die vor Version 3.0 erzeugten Zustandsdateien können nicht mehr geladen werden.

- **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 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. Die halbe Achsenlänge ist bei der Bildbreite **Mondbahn** gleich dem 30fachen des Erdradius, bei der Bildbreite **Satellitenbahn** gleich dem Erdradius und sonst gleich 1 AE außer bei der Darstellung der Erdoberfläche, wo die verwendeten Maßeinheiten angezeigt werden.
- **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.
- **Hilfe**
Die jeweils zulässigen Tastaturbefehle werden angezeigt.
- **Schwarzweißbild**
Die Darstellung wird auf Schwarz-Weiß umgeschaltet.
- **Blickrichtung**
Das System der eingegebenen Körper wird als Parallelprojektion auf eine beliebige Ebene durch den Koordinatenursprung dargestellt; die Blickrichtung ist die Richtung senkrecht zu dieser Ebene. Hier können einige fest eingestellte Blickrichtungen vorgewählt werden; eine kontinuierliche Änderung der Blickrichtung durch Tastaturbefehle ist bei geöffnetem Anzeigebildschirm 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.

- **Startdateizeit**
Anzeige der Startdateizeit (siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne . . .**) in UTC.
- **Startzeit**
Anzeige der Startzeit (siehe **Eingabe/Sonnensystem/Sonne . . .**).
- **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.
- **Bildbreite**
Hier können – je nach gerade benutztem Koordinatensystem – einige vordefinierte Einstellungen für die Bildbreite gewählt werden.
- **Zeitschritt**
Siehe **Einstellungen/Parameter 1/Standard-Zeitschritt**
bzw. **Einstellungen/Parameter 2/Variabler Zeitschritt**.

6.3 Tastaturbefehle

Zur Steuerung des Programms stehen die folgenden Tastaturbefehle zur Verfügung:

F1	Standardrequester zum Öffnen der Hilfedateien öffnen; bei geöffnetem Anzeigebildschirm: Anzeige der Hilfe ein- und ausschalten
F2	Anzeige der Namen ein- und ausschalten
F3	Anzeige der Achsen ein- und ausschalten
F4	Anzeige der Zeit ein- und ausschalten
F5	Bild anzeigen
F6	Bewegung starten → Zukunft
H+1/2/3	Hohmannübergang starten für Satellit S1/S2/S3
F7	Bewegung starten → Vergangenheit
F8	Bewegung anhalten
F9	Bahnen (nicht Bilder) löschen
F10	Anzeige der Bildbreite ein- und ausschalten
F11	Anzeige des Zeitschritts ein- und ausschalten
F12	Zeitschrittreduzierung ein- und ausschalten
E	Blickrichtung senkrecht zur Ekliptikebene
X	Blickrichtung in Richtung der <i>x</i> -Achse (+ → −)

Y	Blickrichtung in Richtung der y -Achse ($- \rightarrow +$)
Z	Blickrichtung in Richtung der z -Achse ($+ \rightarrow -$)
S	Blickrichtung „schräg“ zum Koordinatensystem
L	Anzeige der Namen der Lagrangeunkte ein- und ausschalten
G	Anzeige der Geschwindigkeiten ein- und ausschalten
F	Anzeige der Fahrstrahlen ein- und ausschalten
P	Bild speichern
1	Bezugspunkt Bild auf Nullpunkt umschalten
2	Bezugspunkt Bild auf Sonne umschalten
3	Bezugspunkt Bild auf Erde umschalten
4	Bezugspunkt Bild auf Schwerpunkt umschalten
5	Zeitschritt verkleinern
T	Ursprünglichen Zeitschritt wiederherstellen (geschieht auch beim Schließen des Bildschirms)
6	Zeitschritt vergrößern
Cursortasten (Pfeiltasten)	Bild drehen und kippen
Bild-Auf-/Bild-Ab-Tasten	Bild zoomen ohne Veränderung der Größe der Bilder
B + Bild-Auf-/Bild-Ab-Tasten ...	Bilder der Körper vergrößern bzw. verkleinern
B + R	Ursprüngliche Größe der Bilder wiederherstellen
V + Pfeiltasten	Bild in der jeweiligen Pfeilrichtung verschieben
V + R	Ursprüngliche Lage des Bildes wiederherstellen
Einf	Illustration einblenden (siehe Abschnitt 8)
N	Namen einer Illustration einblenden
Entf	Illustration ausblenden
Esc, Strg, Alt	Bildschirm schließen und zum Bedienungsfenster zurückkehren. Nach längerer Inaktivität und vor dem Start eines Bildschirmschoners wird der Bildschirm vom Programm geschlossen.
Return/Enter	Eingegebene Werte übernehmen

Der Befehl **F1** wirkt auf das Bedienungsfenster und den Anzeigebildschirm, die Befehle **F5** und **Return/Enter** wirken nur auf das Bedienungsfenster, die restlichen Befehle nur auf den Anzeigebildschirm; dieser kann *nur* über Tastaturbefehle gesteuert werden. Einige Tastaturbefehle sind bei der Darstellung der Erdoberfläche deaktiviert.

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

Um Unverträglichkeiten des Vollbildes mit Windows-Tastenkombinationen zu vermeiden, werden die Strg- und Alt-Tasten nur zum Schließen des Vollbildes verwendet.

6.4 Speichern und Drucken

Stehende Bilder können mit der Taste **P** unter den fortlaufend nummerierten Namen «Bild 1.jpg», «Bild 2.jpg» etc. im Anwendungsdatenverzeichnis 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**.

7 Startdateien

Mit Gravitation 3.4 werden auch Startdateien für entferntere künftige und vergangene Zeitpunkte geliefert, was aber natürlich nicht für alle Zukunft – siehe Abschnitt 9 – 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.
- 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 1.4.2008, 0 Uhr UTC „Daten20080401000000.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 20140101000000.csv im Programmverzeichnis. Die erzeugten Startdateien erhalten unabhängig vom Namen der csv-Dateien Namen der Form Datenyyyymmddhhiiss.ini. Sie werden vom Programm in das Anwendungsdatenverzeichnis geschrieben; um sie verwenden zu können, müssen sie vom Benutzer – falls er die nötigen Schreibrechte besitzt – in das Programmverzeichnis übertragen werden.

- Die Massen und Radien der Körper sind im Programmcode enthalten; für den Fall, dass genauere Werte bekannt werden, sind sie ab Version 3.0 zusätzlich in den Startdateien enthalten und können dort geändert werden. Die Einheiten sind kg bzw. m.

8 Bilddateien

Mittels der in Abschnitt 6.3 aufgeführten Tastaturbefehle können zur Illustration Bilder z. B. der Sonne oder der Planeten in den Anzeigebildschirm eingeblendet werden. Solche Bilder können nach dem ersten Programmstart vom Benutzer in das Anwendungsdatenverzeichnis 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.

9 Updates

Neue Programmversionen können im Internet¹⁸ gefunden oder vom Programmautor erhalten werden. Diese Programmversionen enthalten *alle* benötigten Dateien.

¹⁸ Zurzeit unter den Adressen www.schul-physik.de (dort leider oft nur mit Verspätung), www.purearea.net und www.purebasic.de

Sollen persönliche Einstellungen erhalten bleiben, können die Einstellungen aus der vorhergehenden Programmversion mittels des Menüpunktes **Datei/Einstellungen übernehmen** übernommen werden; die alte Datei «Einstellungen.ini» kann aber auch von Hand in das aktuelle Anwendungsdatenverzeichnis verschoben werden. Das Programm legt vor der Übernahme automatisch eine Sicherungsdatei der vorhandenen Einstellungen an. Der Name der Sicherungsdatei enthält in einer zwölfstelligen Zahl den Zeitpunkt der Sicherung in UTC.

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

Die weitere Programmentwicklung kann nicht zugesichert werden.