Fluxion



Benutzerhandbuch

Fassung vom 19.4.2021 für Fluxion 2.7

Inhaltsverzeichnis

1 - <u>Einführung</u>	2
Programmkonzept	
Installation und Programmstart	
2 - <u>Programmaufbau</u>	6
Programmoberfläche	
Modellierungsbereich	
Diagrammbereich	
Tabellenbereich	
3 - <u>Weitere Funktionen</u>	31
Erweiterte Definitionen	
Smart Input	
Programmeinstellungen	
4 - <u>Hintergrundinformationen</u>	40
Besondere Dateien und Ordner	
Berechnungsverfahren	
5 - <u>Tutorials</u>	47
Wachstumsprozesse	
Elektrischer Schwingkreis	
Gekoppelte Pendel	

Einführung

In vielen Gebieten der Wissenschaft (z.B. Physik, Biologie, Wirtschaftswissenschaften) kommt es vor allem auf die *Veränderung* der Größen an, die das System beschreiben. In diesen Fällen lassen sich Problemstellungen mathematisch durch so genannte Veränderungsraten bzw. mit gewöhnlichen Differentialgleichungen beschreiben.

X

Das Programm Fluxion errechnet für die so formulierten Modelle die numerischen Lösungen und stellt diese sehr flexibel dar.

In diesem Handbuch werden die vielfältigen Programmfunktionen von Fluxion erläutert und mit Beispielen untermauert.



Programmkonzept

Mit Fluxion können beliebige Systeme, die mit Ratengleichungen bzw. gewöhnlichen Differentialgleichungen erster Ordnung beschrieben werden, numerisch berechnet werden. Der entscheidende Vorteil ist, dass durch eine einfach gehaltene Eingabe dies auch ohne großes Hintergrundwissen für analytische Lösungen von Differentialgleichungen möglich ist. Lediglich das Grundprinzip und die Verwendung von Ratengleichungen bzw. DGLs muss bekannt sein, nicht jedoch die oft komplizierte Mathematik zur Lösung dieser Gleichungen.

Die Startwerte und die bestimmenden Parameter des zu berechnenden Systems lassen sich benutzerfreundlich und vielfältig definieren und variieren. Weiterhin bietet Fluxion vielfältige Darstellungsmöglichkeiten, zum Beispiel gleichzeitiges Anzeigen von bis zu 4 Koordinatensystem oder 3D-Diagramme. Die Achsenauftragungen der Koordinatensysteme können je nach Anforderung frei gewählt werden. Für die Überprüfung von Experiment und Theorie können gemessene Daten importiert werden und mit den geplotteten Funktionen zusammen dargestellt werden.

Diese Bedienungsanleitung gibt einen Überblick über die Möglichkeiten, die Fluxion bietet. Die wesentlichen Vorgehensweisen beim Definieren der Modellgleichungen sind im Abschnitt "Modellierungsbereich" dargestellt.

Ebenso werden im Kapitel "Berechnungsverfahren" die verwendeten Algorithmen für die numerische Approximation kurz erklärt und deren Genauigkeiten diskutiert.

Im abschließenden Kapitel "Tutorials" werden einige physikalische Probleme erklärt und im "Schritt für Schritt"-Verfahren mit Fluxion deren Lösungen berechnet.

Installation und Programmstart

X

Fluxion ist ein Programm des Lehrstuhls "Physik und ihre Didaktik" der Universität Würzburg. Alle entwickelten Software-Programme für den Einsatz in Schule und Studium sind erreichbar auf folgender Webseite:

http://did-apps.physik.uni-wuerzburg.de

Dort sind unter anderem der Vorgänger von Fluxion, "Newton II", sowie das ähnlich aufgebaute "Lagrange" zu finden, das Probleme nach dem Lagrange-Formalismus lösen kann.

Da Fluxion auf Java basiert, kann es ohne Probleme unter Windows, macOS und Linux, verwendet werden. Unter Windows und macOS ist eine Java-Laufzeitumgebung in die Programmdatei integriert. Es ist folglich auf diesen Systemen keine explizite Java-Installation notwendig.

Hier der Link zur Webseite von Fluxion:

http://did-apps.physik.uni-wuerzburg.de/Fluxion

Wählen Sie auf der Webseite den Download für ihr Betriebsystem aus.

Installation unter Windows

Führen Sie den heruntergeladenen Installer "Fluxion_V2.7_setup.exe" bzw. Fluxion_V2.7_adminsetup.exe" aus. Dieser installiert nach Bestätigen der Nutzungsbedingungen Fluxion entweder für den aktuellen Benutzer oder für alle Benutzer (admin-Variante). Sie können den Ort der Installation auch frei wählen. Standardmäßig wird eine Desktop-Verknüpfung angelegt. Starten Sie das Programm durch Doppelklick der Desktop-Verknüpfung oder von "Fluxion.exe" im installierten Dateipfad.

Installation unter Mac OS X

Öffnen Sie die heruntergeladene Image-Datei "Fluxion_V2.7.dmg" und bestätigen Sie die Nutzungsbedingungen. Im Finder erscheint ein neues Fenster, von wo aus Sie das Programm auf Ihre Festplatte kopieren können. Das Programm wird, wie gewohnt durch Doppelklicken auf das Fluxion-Symbol gestartet.

Installation unter Linux

Unter Linux wird keine Java-Umgebung mitgeliefert. Installieren Sie daher zunächst Java in einer für Ihre Linux-Distribution angepassten Ausführung (z.B. OpenJDK).

Öffnen und entpacken Sie die geladene Zip-Datei "Fluxion_V2.7 _Jar.zip", aus ihrem Download Ordner und kopieren Sie den entpackten Ordner an eine beliebige Stelle.

Entweder nach korrekter Zuweisung der Endung ".jar" zum Öffnen mit dem Jar-Launcher das Programm per Doppelklick auf die .jar-Datei starten oder in der Kommadozeile in den entpackten Ordner wechseln und das Programm mit dem Befehl "java -jar Fluxion.jar" starten.

Programmstart

Nach dem Öffnen des Programms wird zunächst das Startfenster angezeigt.



In diesem Fenster können Sie

- Ein neues, leeres Dokument mit Standardeinstellungen oder von einer Vorlage mit eigenen Grafikvorlagen (s.u.) erstellen
- Eines der zuletzt bearbeiteten Dokumente öffnen (die letzten 10 bearbeiteten Dokumente erscheinen in einem Auswahlmenü)
- Ein Beispiel-Dokument verwenden (Das Auswahlmenü stellt eine Liste von Dokumenten bereit, die im Ordner für Beispieldokumente vorhanden sind. Wie sie diesen Ordner angeben können wird im Kapitel zu den Programmeinstellungen beschrieben)
- Ein beliebiges anderes ".fluxion" oder ".newton2" Dokument öffnen (es erscheint ein standard Dateiauswahldialog)

Mit dem Haken bei "Dieses Fenster beim Programmstart anzeigen" können Sie auswählen, ob Fluxion beim Start über das Startfenster oder im Hauptfenster startet. Dieses kann ebenfalls in den Programmeinstellungen spezifiziert werden.

Das Schließen des Fensters oder das Betätigen des Buttons "Programm beenden" beendet das Programm sofort wieder.

KAPITEL 2

Programmaufbau

X

Programmoberfläche

Die Programmoberfläche ist in drei Teile gegliedert, die in der Ansicht auf der nächsten Seite dargestellt sind. Im linken Teil befindet sich der Modellierungsbereich für die Definition der Modellgleichungen und deren Parameter.

In der Mitte des Fensters wird der Diagrammbereich angezeigt, in dem je nach Problemstellung eines aber aber auch bis zu 4 Koordinatensysteme gleichzeitig dargestellt werden können.

Am rechten Fensterrand lässt sich ein Tabellenbereich einblenden. In dieser Tabelle können entweder die berechneten Werte der numerischen Lösung, Werte einer Vergleichsfunktion angezeigt oder auch gemessene Werte eingetragen werden.

Der Titel des aktuellen Fensters zeigt immer automatisch den Namen des aktuell verwendeten Dokumentes mit Dateinamen an. Ein Punkt vor dem Dokumentnamen zeigt an, dass das Dokument geändert wurde.

In der Menüleiste befinden sich noch weitere Funktionen. Diese werden ausführlich im Kapitel "Menüleiste" erklärt.

Die Programmoberfläche von Fluxion ist so aufgebaut, dass fast alle Funktionen direkt im Fenster eines Dokuments sichtbar sind und auch von dort bedient werden können.

Im Folgenden gibt es einen Überblick über die dreiteilige Programmoberfläche mit den Bestandteilen:

- Modellierungsbereich
- Diagrammbereich
- Tabellenbereich

Programmoberfläche: Übersicht



Modellierungsbereich

Icon-Leiste

Am oberen Ende des Modellierungsbereichs wird standardmäßig eine Icon-Leiste eingeblendet, die einen schnellen Zugriff auf zentrale Befehle zur Dokumentverwaltung haben.



Diese Leiste kann in den Programmeinstellungen deaktiviert werden, falls gewünscht (z.B. um Platz zu sparen). Die Funktionen können ebenso über Menü-Befehle aufgerufen werden. Die Buttons der Leiste haben folgende Funktionen (von links nach rechts):

- Erstellen eines neuen Dokuments
- Laden eines Dokuments (.fluxion oder .newton2 Dateien)
- Speichern des Dokument im aktuellen Fensters (Zusatzoptionen im Untermenü - Aufruf durch Klick&Drag oder rechter Maustaste)
- Drucken des aktuellen Dokuments (öffnet den Druckdialog s.u.)
- Widerrufen einer Texteingabe
- Wiederherstellen einer Texteingabe
- Öffnen eines Einstellungsdialogs für das aktuelle Dokument (s.u.)



Dokumentname

Unter der Iconleiste wird der Name des Dokuments angezeigt (hier: "LC-Schwingkreis" in der Beispiel-Abbildung aus der Übersicht).

LC-Schwingkreis



Der Name kann durch Doppelklicken editiert werden. Wenn es eine Informationsdatei zu einem Dokument gibt, so ist rechts neben dem Dokumentnamen ein Informationssymbol zu finden. Klickt man auf das Symbol, so öffnet Fluxion eine PDF-Datei mit Informationen zum vorliegenden Dokument (mehr dazu in Kapitel 4 unter Info-PDF).

Modellierung in Fluxion

Die Berechnung der Werte von ein System beschreibenden Größen (zum Beispiel Ladung und Stromstärke) kann durch eine mathematische Beschreibung des Systems (Modellierung) erreicht werden.

Die Modellierung erfolgt in Fluxion im Wesentlichen über die Angabe von Veränderungsraten (=1. Ableitungen) einer Modellgröße. Durch diese Angabe ist die Modellvariable sogleich definiert und eine gesonderte Festlegung entfällt. Die angegebene Veränderungsrate bezieht sich auf die so genannte Laufvariable (s.u.) und gibt an um wieviel sich eine Modellgröße pro Einheit der Laufvariablen (z.B. Sekunde bei Zeit t) verändert (Die exakte Syntax der Eingabe wird auf der nächsten Seite eingehend erläutert).

Hinweis: Das Programm Fluxion rechnet einheitenlos. Es empfiehlt sich daher bei einheitenbehafteten Größen alle Werte immer in SI-Einheiten anzugeben (s. Beispiel unten: 10 steht für 10 Volt).

Fluxion berechnet nun iterativ unter schrittweiser Erhöhung der Laufvariablen den jeweiligen Wert der Modellgrößen mit Hilfe der angegebenen Terme. Dieses kann mit verschiedenen Lösungsverfahren, die in den Dokumenteinstellungen (s.u.) angegeben wird, geschehen. Eine Erläuterung der verschiedenen Verfahren und deren Eigenschaften findet sich im Kapitel Hintergrundinformationen.

Die folgende Abbildung zeigt anhand des Beispiels aus der Übersicht (s.o.) das zur Definition des Modells vorgesehene Eingabefeld:

Modellgleichungen	 Lauf-Variable: t
Modell	
Q' = I;	# Strom bedeutet Ladungsfluss
$I' = -1/(L \cdot C) \cdot Q$	# Folge aus Maschenregel
U = Q / C	# aus Definition der Kapazität
Definition	en
Ub = 10	# Betriebsspannung

Dieses Beispiel wird in einem Tutorial (s.u.) näher erläutert. Ebenso befindet es sich als Beispieldokument im Lieferumfang im Beispiele-Ordner und kann dort aufgerufen werden.

Als Alternative steht eine *Iterationsformulierung* zur Verfügung. Hierbei wird kein fertiges Lösungsverfahren verwendet. Stattdessen wird eine einfache Iteration über die eingegebene Laufvariable gemäß der Berechnungsvorgaben (s.u.) durchgeführt. Alle Angaben werden dann pro Iterationsschritt gleichzeitig berechnet. Um hiermit (z.B. über die so genannte "Methode der kleinen Schritte") eine Ratengleichung zu lösen, gibt es die Möglichkeit über ,_neu' bzw. ,_alt' den nächsten Wert einer Modellvariable aus einem vorangegangenen Wert zu berechnen.

Bei dieser Benutzungsvariante des Programms ist zu beachten, dass die Modellvariablen nur mit dem Zusatz "neu" und 'alt' verwendet werden können (z.B. *I_neu*). Achten Sie bei den Modellgleichungen unbedingt auf unzulässige rekursive Angaben. Hinweis: In der Tabelle und der Grafik werden aus Gründen der besseren Lesbarkeit die Modellvariablen ohne Zusatz (also ohne ,_neu') angegeben.

Das obige Beispiel kann man mit dieser Methode wie folgt formulieren:

```
Modellgleichungen V Lauf-Variable: t

--- Methode der keinen Schritte ---

Q_neu = Q_alt + I_alt \cdot dt

I_neu = I_alt + I_Rate \cdot dt

----- Definitionen -----

I_Rate = -1/(L \cdot C) \cdot Q_alt

U = Q_alt/C

Ub = 10
```

Hilfen zum Einstieg in die Modellierung

Bei einem neuen Dokument ist das Feld zur Eingabe der Modellgleichungen zunächst leer. Für einen leichteren Einstieg sind gewisse oft vorkommende Modellkonzepte als Vorgaben auswählbar. Durch Klick auf das Dreieck hinter dem Begriff "Modellgleichungen" öffnet sich das nebenstehende Auswahlmenü. Dieses zeigt

lineares Wachstum exponentielles Wachstum Schwingung	
lineare Bewegung (1D) Kinematik in 2 Dimensionen	
Newton-II (1 dimensional) Newton-II (2 dimensional) Newton-II (vektoriell 3D)	
Kreisbewegung	
Methode kleiner Schritte	

einige häufig verwendete Grundmodelle, die Sie an Ihr zu modellierendes System anpassen können. Nach Auswahl eines der Menüeinträge wird in das darunter befindliche Eingabefeld das entsprechende Modellgerüst eingetragen.

Hinweis: sämtliche vorhandenen Einträge in dem Feld werden dabei gelöscht. Dieses Grundgerüst kann nun durch Umbenennung der Variablen und Angabe geeigneter Änderungsraten vervollständigt an das zu bearbeitende Problem angepasst werden.

Laufvariable

Wie oben dargestellt, muss für die Modellgleichungen eine Laufvariable festgelegt werden, für die Fluxion die iterativen Berechnungen durchführen soll. Standardmäßig ist die Laufvariable *t* eingestellt. Diese kann nach Klicken auf die Variable hinter der Anzeige "Lauf-Variable:" editiert werden.

Gleichungen

Die zur Berechnung notwendigen Gleichungen werden im Eingabefeld unter "Modellgleichungen" eingegeben. Die folgende Übersicht zeigt mögliche Eingaben in diesem Feld:

- *Funktion*(*Argument1*, *Argument2*, ...) = *Funktions-Term*
- Modellvariable' = Berechnungs-Term
- Modellvariable_neu = Berechnungsterm mit Modellvariable_alt
- Bezeichner = Wert / Term
- #Kommentartext (alternativ: --- Kommentartext)

Hierbei müssen einzelne Ausdrücke durch Semikolon oder Zeilenumbruch getrennt werden. Funktionen müssen <u>vor</u> ihrer Verwendung definiert werden (man stellt sie idealerweise immer an den Anfang). Die Argumentnamen betreffen nur die Funktionsdefinition und dürfen nicht im weiteren Modell verwendet werden, da es sonst Uneindeutigkeiten gibt. Terme sind mathematische Ausdrücke bestehend aus den Grundrechenarten, Zahlen, Bezeichnern und Funktionen.

Die Rate einer Modellvariablen wird mit einem Strich versehen und steht immer links direkt gefolgt von einem Gleichheitszeichen hinter dem ein Wert oder Term folgt, der die Änderungsrate angibt (s. Abbildung oben).

Wichtiger Hinweis:

Die beiden grün dargestellten Modell-Formulierungen sind als <u>alter-native</u> Beschreibungen zu verstehen. Daher dürfen sie nicht gleichzeitig verwendet werden. Die *Ratenformulierung* (1. grüne Zeile) ist vorzuziehen, wenn es primär um die Modellerkundung geht (die Löungsverfahren dazu können in den Dokumenteigenschaften (s.u.) eingestellt werden). Die *Iterationsformulierung* (2. grüne Zeile) legt durch den selbst zu formulierenden Iterationsvorgang mehr Wert auf den Lösungsvorgang (sie sind deutlich langsamer als die eingebauten Lösungsverfahren). Diese alternative Formulierung eignet sich also nur bei einfacheren Modellen und wenn man Wert auf vollständige Transparenz des Lösungsweges legt.

Alle verwendeten Bezeichner müssen entweder direkt im Eingabefeld, als erweiterte Definition (s. u.) oder als veränderbarer Parameter (s.u.) definiert werden. Ist etwas nicht definiert, so wird dies unten im Modellierungsbereich in roter Schrift angezeigt und das fehlerhafte Eingabefeld wird rot hinterlegt (ggf. einmal auf ,Start' drücken, falls die Anzeige sich nicht aktualisiert hat).

Vektoren können mit eckigen Klammern definiert werden, wobei die Koordinaten mit ,|' getrennt werden (z.B. r = [1 | 2 | 3]). Die Vektorkoordinaten können durch einen Index angespochen werden (z.B. r_1). Beachten Sie, dass in dem Modell solche Bezeichner eines Vektors mit Index nicht *anderweitig* verwendet werden. Neben ,+' ,-' und der Multiplikation mit einer Zahl stehen das Skalar- , \odot ' , das Vektorprodukt , \otimes 'und der Betrag des Vektors über ,abs()' als Rechenoperationen zur Verfügung. Bei der Formulierung eines Modells, indem Vektoren vorkommen ist darauf zu achten, dass die Dimensionen der Vektoren bei einer Zuweisung übereinstimmen (so kann z.B. einem Vektor keine Zahl zugewiesen werden). Manchmal werden solche Zuweisungsfehler erst bei der Berechnung erkannt und es erscheint erst dann eine entsprechende Fehlermeldung. Es besteht die Möglichkeit den Vektorcharakter einer Ratenvariablen sowohl direkt, als auch durch die Angabe der Startvorgaben (s.u.) zu definieren. So sind z.B. für die Angabe der so genannten *Newton-Maschine*' in 3 Dimensionen die folgenden Formulierungen beide korrekt:

```
\begin{array}{l} ----- Newton-Maschine ----- \\ r' = [v_1 | v_2 | v_3] ; v' = [a_1 | a_2 | a_3]; a = F/me \end{array} \qquad \begin{array}{l} ----- Newton-Maschine ----- \\ r' = v ; v' = a ; a = F/me \end{array}
```

Die erste hat den Vorteil, dass der Vektorcharakter sofort ersichtilich ist. Die zweite Formulierung ist übersichtlicher, jedoch wird der Vektorcharakter erst durch die weiteren Definitionen (wie z.B. Startwerte) ersichtlich.

Durch Rechtsklicken in die Eingabefelder öffnet sich das folgende Hilfmenü aus dem griechische Buchstaben, Indizes, Naturkonstanten und Rechenzeichen (z.B. Skalar- und Vektorprodukt) ausgewählt werden können.

α	β	γ	δ	3	ζ	η	ծ	ι	×	λ	μ
ν	ξ	0	π	Q	σ	τ	v	φ	χ	ψ	ω
Α	В	Г	Δ	Ε	Ζ	H	Θ	Ι	K	Λ	Μ
N	Ξ	0	П	Р	Σ	Т	Y	${\Phi}$	X	Ψ	Ω
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2	3
ĉ	ĝ	Ĝ	μ_0	μ B	£0	qe	me	тр	mn	mα	mμ
û	ĥ	ħ	kв	\tilde{N}	ê		0	\otimes	1		
								Ve	ktor	prod	dukt

Bleibt man mit der Maus für kurze Zeit über einem Symbol stehen erscheint ein "Tool-Tip" (kleine gelbe Anmerkung) in dem der Name des griechischen Buchstabens, der Wert und Einheiten der Konstante oder die Bedeutung des Zeichens auftauchen. Ebenso können Sie hier die Zeichenfolge für die Texteingabe des Symbols via "Smart-Input" (s.u.) einsehen.

Weitere Definitionen

Zusätzlich können unterhalb der Modelleingaben durch den Button "bearbeiten" bzw. "hinzufügen" neben "Weitere Definitionen" zusätzliche Größen oder Funktionen festgelegt werden - z.B. nicht vordefinierte Naturkonstanten, Variablen oder Spezialfunktionen (näheres s.u.).

Weitere Definitionen: 🖌 🛛 🛛 beau

bearbeiten ...

Der Haken zeigt an, dass dort bereits Definitionen vorliegen.

Veränderbare Parameter

Um Abhängigkeiten des Modells von Parameterwerten zu verdeutlichen, eignet sich die Definition eines oder mehrerer so genannter *veränderbarer Parameter* besonders gut. Einen neuen veränderbaren Parameter erstellt man durch Klick auf das Plus Symbol unterhalb des Definitions-Eingabefelds oder von bereits vorhandenen veränderbaren Parametern.

$$C = 4,7E-4$$

$$1E-4$$

$$0,001$$

Der Name des Parameters kann nach Doppelklick auf den Parameternamen geändert werden. In gleicher Weise lassen sich Minimum und Maximum des Schiebereglers festlegen. Das Feld zeigt den aktuellen numerischen Wert des Parameters an. Auch eine Eingabe eines speziellen Wertes ist dort unabhängig vom Schieberegler möglich.

Durch die Schieberegler getätigte Änderungen der Parameter aktualisieren die Plots dynamisch (wenn diese Funktionalität im Menü nicht ausgeschaltet wurde - s.u.).

Berechnungsvorgaben

Startwerte

Für die schrittweise Berechnung eines über Ratengleichungen formulierten Modells müssen Werte für die Modellvariablen angegeben werden, die für den ersten Berechnungsschritt verwendet werden. Diese so genannten Startwerte werden im entsprechenden Eingabefeld definiert, das sich unterhalb der veränderbaren Parameter befindet.

Startwerte:	
$Q(t_0) = Ub \cdot C$ $I(t_0) = 0$	

Wie aus der Abbildung ersichtlich, werden die einzelnen Startwerte mit Semikolon getrennt in der Form

Modelvariable(Laufvariable₀))=Wert (bzw. Term) angegeben. Es ist also möglich in den Feldern definierte Bezeichner (z. B. eines veränderbaren Parameters) oder auch ganze Terme anzugeben. Bei Neudefinition einer Modellvariablen (durch Variablenname mit ') wird automatisch ein neuer Eintrag nach diesem Schema vorgenommen und der Startwert auf 0 gesetzt. Passen Sie dann diesen Wert gemäß Ihres Modells an. Neben reinen Zahlenwerten, können auch Terme aus Konstanten und Variablen verwendet werden.

Iterationsvorgaben

Für die schrittweise Berechnung der Modellgrößen müssen noch Angaben für die Laufvariable gemacht werden. In dem in der folgenden Abbildung gezeigten Beispiel ist als Laufvariable die Zeit *t* gewählt worden (Die Feldbezeichnungen werden automatisch angepasst).

$t_0 = 0$	dt =	1e-3
$\Delta t = 0,2$	n=	200

Im ersten Feld t_0 wird der Startwert für die Laufvariable (üblicherweise 0) angegeben. Das Feld darunter (hier Δt) gibt die Spanne der Berechnung ab dem Startwert vor (z.B: Für $t_0 = 0$; $\Delta t = 0,1$ läuft die Berechnung von t = 0 bis t = 0,1).

Die Schrittweite der einzelnen Iterations-Schritte (hier *dt*) kann beliebig gewählt werden. Das Programm berechnet dann selbst die sich aus der angegebenen Berechnungsspanne ergebende Anzahl der Schritte *n*.

Wichtig: Man sollte immer auf eine problemangepasste Angabe achten, da sonst (bei zu grober Schrittweite) die Berechnungen unzuverlässig sind oder zu lange dauern (bei zu geringer Schrittweite). Auch hängt die zu wählende Schrittweite vom Berechnungsverfahren ab. Hier gilt: Je kleiner die Ordnung des Verfahrens umso kleiner muss die Schrittweite gewählt werden.

Hinweis: Die Berechnung endet früher, falls eine eventuell angegebene Zusatzbedingung (Abbruchbedingung) erfüllt ist.

Es ist möglich in den Feldern t_0 und Δt Terme anzugeben (und so z.B. die Schrittweite von veränderbaren Parametern abhängig zu machen).

Zusatzoptionen

Abbrechen, wenn:

Verwenden Sie diese Option, wenn Sie die Berechnung gegebenenfalls anhand einer Vorgabe (Bedingung) vorzeitig beenden möchten, achten Sie aber auf einen genügend großen Wert für die Berechnungsspanne. Tragen Sie die Bedingung (z.B. s<0) in das Eingabefeld hinter "wenn:" ein.

Abbrechen, wenn:				
nur jeden	ten Wert verwenden			
die ersten	Werte auslassen			

Der Abbruch erfolgt sobald die angegebene Berechnungsspanne abgelaufen oder die eingegebene Bedingung erfüllt ist. Es können auch logische Verknüpfungen zwischen den Bedingungen vorgenommen werden. Verwenden Sie hierfür

"||" für ODER, "&&" für UND, "!" für NICHT.

Hinweis:

Verwenden Sie keine Gleichheitsbedingung, denn diese werden aufgrund der Zahlenpräzision zumeist nicht erfüllt. Arbeiten Sie stattdessen mit <= und/oder >= (z.B. statt "y=5" sollten Sie "abs(y-5)<=0,1" verwenden - achten Sie bei solchen Näherungsabfragen immer auf die passende Genauigkeit!).

Durch Klick auf das graue Dreieck unter "**Abbrechen, wenn:**" klappt das Optionsdreieck um und es besteht die Möglichkeit weitere Einstellungen für die Berechnung vorzunehmen.

nur jedenten Wert verwenden

Wenn diese Option ausgewählt ist, wird die Berechnung wie üblich mit der angegebenen Schrittweite durchgeführt, jedoch wird nur der angegebene Teil der Werte in die Ergebnistabelle übernommen. Verwenden Sie diese Option, um eine Berechnung mit hoher Schrittgenauigkeit durchzuführen ohne dass die Darstellungskapazität des Computers erschöpft wird.

die ersten Werte auslassen

Um Einschwingvorgänge oder transiente Verläufe auszublenden, verwenden Sie diese Option. Die angegebene Anzahl der berechneten Werte wird dann nicht in die Ergebnistabelle aufgenommen. Achten Sie darauf, dass die Berechnungsspanne groß genug ist um bei der angegebenen Schrittweite genug Werte zur Verfügung zu haben.

Aktionsleiste

Mit den Knöpfen der Aktionsleiste steuern Sie die Berechnung und die Darstellung der Lösung. Im Folgenden wird die Funktionsweise der Knöpfe der Reihenfolge nach erläutert.



1. Neuberechnung mit sofortiger Ergebnisdarstellung

Die Berechnung wird gemäß aller Definitionen vollständig durchgeführt und anschließend sofort vollständig dargestellt. Bei längerer Berechnung eines Problems wird der Fortschritt im Fortschrittsrad rechts der Aktionsleiste (gewöhnlich ausgegraut) dargestellt. Eine laufende Berechnung kann durch erneute Betätigung der linken Taste der Aktionsleiste, die dann ein Stopp-Symbol anzeigt, jederzeit abgebrochen werden.

2. Neuberechnung mit animierter Darstellung

Die Berechnung wird wie bei 1. vollständig durchgeführt und kann gegebenenfalls abgebrochen werden. Allerdings erfolgt die anschließende Darstellung im Diagramm animiert. Mit Rechtsklick (oder SHIFT-Klick) auf den Button erscheint das folgende Einstellfenster:



Mit den Schieberegler kann die Animationsgeschwingkeit eingestellt werden. Der Graph kann somit sehr schön quasi in Zeitlupe entwickelt werden. Die Animation kann (z.B. zu Erklärungszwecken) durch Betätigten der Leertaste beliebig pausiert und weitergeführt werden.

3. Berechnung löschen

Die zuletzt berechneten Ergebnisse können durch Betätigen der X-Taste gelöscht werden. Sie werden auch aus dem Koordinatensystem und der Tabelle entfernt.

4. Zeichne Teil

Mithilfe des Schiebereglers kann ein Teil der berechneten Werte für die Darstellung bestimmt werden. Ein Verschieben stellt diesen Anteil in Echtzeit dar. Ebenfalls wird im Diagramm der letzte dargestellte Punkt auf die Achsen projiziert, um dort die Werte ablesen zu können.

Vergleichsfunktion(en)

Um die Berechnungen mit einer theoretischen Voraussage zu vergleichen, kann man sich zusätzlich Funktionen einzeichnen lassen.

Nach dem Aktivieren dieser Option wird ein Eingabefeld dargestellt, in dem man eine Vergleichsfunktion nach folgendem Muster festlegen kann:

Funktionsbezeichner(Variable) = Term : Variable = 1...5

Der farbig geschriebene Teil ist optional. *Variable* = 1...5 bedeutet, dass die Funktion nur im Intervall von 1 bis 5 gezeichnet wird. Die Vergleichsfunktion kann damit auf einen Teil des Graphs eingeschränkt werden. Nach dem Semikolon oder in einer weiteren Zeile können weitere Funktionen definiert werden.

✓ Vergleichsfunktion▼				
$U(t) = Ub \cdot cos(\omega_0$	(t, t)			
$\omega_0 = \frac{146}{\bullet}$	0 2	200		

Es ist darauf zu achten, dass der Funktionsbezeichner und die Variable im Koordinatensystem an den Achsen ausgewählt sein müssen, da sonst der Graph nicht gezeichnet wird.

Spezielle, nur in der Vergleichsfunktion verwendete Parameter können darunter als veränderbare Parameter definiert werden. Zur Funktionsweise der veränderbaren Parameter vergleiche man den entsprechenden Abschnitt (s.o.).

Als Hilfe kann über das Anklicken des Dreiecks hinter "Vergleichsfunktion" ein Menü aufgerufen werden, in dem oft benötigte Funktionen mit Standardparametern ausgewählt werden können. Dies ist ein guter Startpunkt um danach die Funktion nach eigenen Wünschen anzupassen.

Vergleichswerte

Zum Vergleich der berechneten Werte mit anderen Werten (z. B. Berechnungen mit anderen Parametern oder Messdaten) können Vergleichswerte in das Diagramm mit eingezeichnet werden. Durch Auswahl des Hakens vor "Vergleichswerte" wird das Feld "einblenden" aktiv. Nach einem Klick darauf erscheint im rechten Bereich des Darstellungsfensters eine Tabelle mit den Modellgrößen.



Hier können beliebige Werte in die einzelnen Spalten eingetragen werden. Durch Bestätigung mit der Enter-Taste oder einem Mausklick in der nächsten Spalte werden diese dann im Darstellungsfenster eingezeichnet.

Man achte immer auf eine korrekte Eintragung in der entsprechenden Spalte bzw. der gewünschten Achsenauftragung im Darstellungsfenster, da sonst die Werte möglicherweise nicht eingezeichnet werden.

Über einen Klick auf den Button mit dem Rechtspfeil oder über das Tabellenmenü kann die Tabelle wieder ausgeblendet werden. Die Vergleichswerte bleiben dabei erhalten. Auch beim Entfernen des Hakens bei "Vergleichswerte" bleiben diese erhalten und werden nur nicht mehr angezeigt. Durch erneutes Aktivieren der "Vergleichswerte" stehen die eingegebenen Vergleichswerte wieder zur Verfügung.

Tipps:

Die Variablen der Tabellenspalten können über ein Kontextmenü, das sich bei Rechtsklick auf den Tabellenkopf öffnet, im Rahmen der dort angezeigten Auswahl geändert werden.

Um die Skalierung eines Koordinatensystems so anzupassen, dass alle Punkte angezeigt werden, kann im Diagrammbereich doppelgeklickt werden.

Hinweise zur Löschung und zum Import der Tabellendaten finden sich im Abschnitt "Vergleichswerte" im Kapitel "Tabellenbereich" (s.u.).

Diagrammbereich

Koordinatensystem

Standardmäßig startet das Programm mit einem einzelnen zweidimensionalen Graphen. Nach erstmaliger Eingabe einer Modellgleichung ordnet Newton-II den Achsen des Koordinatensystems die Laufvariable und die erste Modellvariable zu und stellt so einen ersten Graphen dar.

Es ist möglich, bis zu vier 2D-Koordinatensysteme gleichzeitig darzustellen, darüberhinaus gibt es auch eine frei rotierbare 3D-Darstellung.



Die verschiedenen Varianten können über die Menüleiste unter "Diagramm" ausgewählt werden (siehe dort).

Die in den Koordinatensystemen dargestellten Datensätze können beliebig ausgewählt werden. Dazu muss einfach nur die korrekte Achsenbeschriftung ausgewählt werden. Dies geschieht durch Anklicken der Achsenbeschriftung einer beliebigen Achse und Auswählen aus der angezeigten Liste an Optionen. Es können in 2D-Koordinatensysteme bis zu 4 Größen durch **"Auftragung hinzufügen"** und entsprechende Auswahl dargestellt werden. Darüberhinaus können ganze Terme aus den Grundgrößen eingegeben werden. Dies erfolgt unter **"weitere Einstellungen"** in den sich öffnenden Achseneinstellungen (auch erreichbar über das Kontextmenü) analog zur Eingabe von Gleichungen in den Modellgleichungen (siehe dort).

Mausaktionen in 2D-Koordinatensystemen:

- Scrollen mit dem Mausrad oder dem Trackpad ermöglicht Zoomen im Graph. Dies schaltet die Autoskalierung aus.
- Ein Doppelklick in den Hintergrund schaltet die Autoskalierung wieder ein, sodass alle Werte angezeigt werden.
- Durch Rechtsklick in den Diagrambereich öffnet sich das Kontextmenü, über das Funktionen und Einstellungen bezüglich der Darstellung vorgenommen werden können.
- Ein Doppelklick auf den Koordinatenachsen öffnet das unten beschriebene Fenster für die Achseneinstellungen.
- Durch Doppelklick auf einen Datenpunkt oder eine Verbindungslinie werden die Darstellungsoptionen eingeblendet mit denen man Farbe, Darstellungsgröße oder Punktform einstellen kann.
- Durch "Klick & Drag" auf einer Achse kann durch Verziehen nach oben und unten die Skalierung verändert werden.
- Fasst man das Koordinatensystem mit dem Mauszeiger am Koordinatenursprung an, so kann man durch "Klick & Drag" das gesamte Koordinatensystem verschieben. Dies erreicht man ebenso wenn

man an einer beliebigen Stelle bei Klick & Drag gleichzeitig die Leertaste gedrückt hält oder die mittlere Maustaste verwendet.

- Durch "Klick & Drag" kann man einen rechteckigen Bereich aufziehen. Die dort enthaltenen Punkte werden selektiert.
- Durch "Klick & Drag" mit festgehaltener "alt" Taste (Mac: "option") zoomt man in den rechteckigen Bereich hinein.

Mausaktionen in 3D-Koordinatensystemen:

- "Klick & Drag" an einer beliebigen Stelle ermöglicht das Drehen des Koordinatensystems.
- "Klick & Drag" an einer beliebigen Stelle mit gedrückter SHIFT-Taste verschiebt das Koordinatensystem.
- Scrollen mit dem Mausrad oder dem Trackpad ermöglicht Zoomen im Graph. Dies schaltet die Autoskalierung aus.
- Scrollen mit dem Mausrad oder dem Trackpad mit gedrückter "alt" Taste (Mac: "option") ermöglicht Zoomen der ganzen Grafik.
- Ein Doppelklick in den Hintergrund schaltet die Autoskalierung wieder ein, sodass alle Werte angezeigt werden und stellt die Originalansicht wieder her.
- Ein Doppelklick auf den Koordinatenachsen öffnet das oben beschriebene Fenster für die Achseneinstellungen.
- Ein Doppelklick auf einen Datenpunkt oder eine Verbindungslinie werden die Darstellungsoptionen eingeblendet mit denen man Farbe, Darstellungsgröße oder Punktform einstellen kann.

Kontextmenü in 2D:

Durch Rechtsklick in den Diagrammbereich öffnet sich das Kontextmenü, über das Funktionen und Einstellungen bezüglich der Darstellung vorgenommen werden können.

Zum Einen können mit "Alle Werte kopieren" die aktuell dargestellten



Werte des Koordinatensystems in die Zwischenablage kopiert werden. Möchte man nur eine bestimmte Auswahl an Daten kopieren, ist dies durch selektives Markieren möglich. Dabei klickt man mit der Maus vor den ersten auszuwählenden Datenpunkt, hält die Maus gedrückt und zieht den schwarzen Rahmen über die gewünschten Datenpunkte. Dabei färben sich die selektierten Datenpunkte blau. Lässt man die Maus nach dem letzten Datenpunkt wieder los können sie mit dem Befehl "Auswahl kopieren" in die Zwischenablage kopiert werden. Mit "Auswahl aufheben" wird die aktuelle Auswahl widerrufen.

Ebenso ist es möglich, nur eine bestimmte Auswahl an Daten zu zeichnen. Dabei markiert man, wie eben beschrieben, die zu zeichnenden Datenpunkte und verwendet im Kontextmenü des Diagramms den Befehl "**Nur Auswahl zeichnen**".

Aus den gezeichneten Werten kann auch ein einzelner Datenpunkt ausgewählt werden, der als neuer Startwert für die folgende Berechnung gelten soll. Hierfür muss genau ein Datenpunkt markiert werden und der Befehl "Als neue Startwerte übernehmen" aus dem Kontextmenü ausgewählt werden. Diese Funktion ist gedacht, um Berechnungen vollständig darstellen zu können, bei denen sich ein oder mehrere Parameterwerte zu einer gegebenen Zeit ändern (z.B. Einschalten einer externen Störung).

Die Befehle für die Achsenkonfiguration aus dem Kontextmenü werden weiter unten erklärt.

Kontextmenü in 3D:

In dreidimensionalen Koordinatensystemen können Sie über **"Darstellung zu-**



rückset-

zen" die über Mausbewegungen (s.o.) veränderte Darstellung auf die ursprüngliche Anzeige zurücksetzen. Über die Unter-Einträge in "Ebenen zeigen" lässt sich die Gitterdarstellung der Koordinatenebenen ein- und ausschalten. "Alle Achsen auf Automatik" bewirkt für sämtliche Achsen die Aktivierung der Autoskalierung. Über "Achsen einstellen…" rufen Sie den unten beschriebenen Dialog zu erweiterten Einstellungen der Achsen auf.

Achseneinstellungen in 2D:

In 2D-Diagrammen können die Achseneinstellungen im Kontextmenü vorgenommen werden. Beide Achsen können vom Programm automatisch an den Wertebereich angepasst werden. Dazu ist über das Kontextmenü der Befehl "**automatische Achsen**" für die jeweilige Achse auszuwählen.

Um beide Achsen gleich zu skalieren kann die Skalierung der einen Achse jeweils an die andere angepasst werden. Dies ist im Kontextmenü mit den beiden Menüpunkten "**Rechts- an Hochachse anpassen**" und "**Hoch- an Rechtsachse anpassen**" möglich.

Wenn der Menüpunkt "Achsen immer sichtbar…" ausgewählt ist, so wird die Darstellung so gewählt, dass die Koordinatenachsen auch dann sichtbar bleiben, wenn diese aufgrund der automatischen Skalierung ansonsten außerhalb des Darstellungsbereiches liegen würden. Wählt man diesen Menüpunkt ab, so wird immer so skaliert, dass der Darstellungsbereich optimal an die berechneten Werte angepasst wird (hier kann ggf. eine oder beide Achsen außerhalb der Anzeige liegen).

Für die Eingabe genauerer Achsenparameter lassen sich in einem extra Fenster die Achseneinstellungen durch Doppelklicken auf eine Achse öffnen, dies entspricht dem Punkt "Achsen einstellen…" des Kontextmenüs.



In diesem Dialogfenster können für die Achsen neben den auch über das Kontextmenü zugänglichen Variablen (s.o.) auch Terme angegeben werden. Dies ermöglicht zum Beispiel logarithmische Auftragungen.

Entfernt man hinter den Eingabefeldern den Haken bei "auto", so lassen sich die nötigen Werte für die Achsen für eine persönliche Skalierung eintragen, ebenso kann das Gitterraster frei konfiguriert werden. Hierbei gibt "Einteilung:" an, wie weit die Hauptgitterlinien voneinander entfernt sind. "#Unterteilung:" gibt für das Feingitter an in wie viele Untereinteilungen die Hauptgitterlinien unterteilt werden sollen.

Achseneinstellungen in 3D:

Das Fenster für die Achseneinstellungen in 3D-Diagrammen sieht wie folgt aus:



Hier entfällt also die Möglichkeit der Einteilung der Achsen (dies wird in einer zukünftigen Programmversion ergänzt werden).

Tabellenbereich

Über die Menüzeile **"Tabelle -> Einblenden"** lässt sich der Tabellenbereich von Fluxion ein- und ausblenden. In diesem können die Berechnungsergebnisse dargestellt werden oder Vergleichswerte zum Beispiel aus Messungen eingetragen werden.

Modellierungsergebnis

Die berechneten Werte der Modellgrößen sind eingeblendet, wenn über der Tabelle **"Modell-Ergebnis"** im Auswahlmenü gewählt ist. Fluxion erstellt die Tabelle automatisch und zeigt die Werte der Berechnung an.

Zieht man mit gedrückter Maustaste über einen bestimmten Datenbereich, wird dieser Datenbereich in der Tabelle selektiert und simultan im Diagramm blau markiert. So können auch gezielte Berechnungspunkte ausgewählt werden.

→ [Modell–Ergeb	nis	٥
t	Q	I	
0.000	0.002	0.000	
0.001	0.002	-0.188	
0.002	0.002	-0.358	
0.003	0.001	-0.495	
0.004	0.001	-0.584	
0.005	0.000	-0.617	
0.006	-0.001	-0.591	
0.007	-0.001	-0.509	
0.008	-0.002	-0.378	

Über einen Rechtsklick in die Tabel-

le ist das Kontextmenü der Tabelle erreichbar. Die darin enthaltenen Funktionen können auch über die Menüzeile **"Tabelle"** aufgerufen werden und werden somit auch im Abschnitt Menüzeile/Tabelle weiter erläutert.

Definierbare Tabelle

Die "Definierbare Tabelle" entspricht der Tabelle "Modell-Ergebnis" insofern, dass hier im Rahmen der numerischen Berechnung erhaltenen Werte angezeigt werden können. Der Hauptunterschied besteht darin, dass hier nicht nur die Systemgrößen in vordefinierter Reihenfolge angezeigt werden, sondern eine beliebige Auswahl an Größen in beliebiger Reihenfolge dargestellt werden kann. Alle Daten, die auch graphisch aufgetragen werden können, können hier in Zahlenwerten dargestellt werden.

Durch Rechtsklick auf die Namenszeile und Auswahl von einer Größe in **"Spalte hinzufügen"** erzeugt man eine neue Spalte mit der ausgewählten Größe. Eine Größe kann durch Auswahl der zuoberst aufgeführten Variablen geändert werden.

Die so erstellten Tabellen können analog zur Ergebnistabelle selektiv markiert und in die Zwischenablage

t I	1
	_
0.000	
$0.\tilde{I}^{01} = -0.100$	
0'	
$0.\frac{2}{r}$ 3 -0.29	
0.US -0.45	
0. Ub -0.52	
-0.007 -0.58	-
<i>Q</i> Spalte hinzufügen	
I Diese Spalte entfernen	
Q' 0.010 -0.084	4
I' 0.011 -0.68	5
0.012 -0.674	1
U 0.013 -0.649	9
Ub 0.014 -0.610)
0.015 -0.55	3

kopiert werden, um sie einfach und schnell in externen Programmen weiterverarbeiten zu können.

Vergleichswerte

Um die Vergleichswerte in der Tabelle anzeigen zu lassen, klickt man in das Auswahlmenü oberhalb der Tabelle auf "Vergleichswerte". Nun können für die verschiedenen Variablen eigene bzw. experimentell bestimmte Werte in die Tabelle eingetragen werden.

Um die Vergleichswerte darzustellen, muss im Modellierungsbereich der Haken bei "Vergleichswerte" gesetzt sein. Nun werden die Vergleichswerte im Diagrammfenster als grüne Punkte angezeigt.



löschen ...

Die gesamten Vergleichswerte können durch die Schaltfläche "löschen …" unter der Tabelle gelöscht werden. Dadurch werden die Einträge gelöscht und die Tabelle wird wieder an die das Modell bestimmenden Größen angepasst.

Import & Export von Tabellen-Daten

Werte in Vergleichswerte-Tabelle importieren

Über die Schaltfläche "importieren…" ist es möglich zuvor gespeicherte Messdaten als Vergleich heranzuziehen, indem sie in die Tabelle geladen werden. Hierbei werden folgende Dateiformate unterstützt:

.txt (reine Text-Datei ohne Formatierungen)

.csv (Standardisiertes Tabellenformat)

.labx & .labm (Formate des Datenerfassungssystems CASSY)

.cmbl & .gambl (Formate des Vernier Datenerfassungssystems)

.mmd (Phywe measureApp-Datei)

Hinweis: Andere Datenerfassungssysteme als die angegebenen werden via .csv oder ,copy & paste' unterstützt.

Bei Auswahl einer Datei im Format .txt oder .csv erscheint der folgende Dialog:

Text	import von Tabellendaten	
Importeinstellungen	Vorschau der Tabelle	
Überspringe 0 🗘 Zeilen	t	<i>x</i>
Überspringe 0 ^ Spalten	t 0.00000	5 03054
	0,00010	4,56209
verwende liter von zelle	0,00020	4,11172
Trennzeichen:	0,00030	3,69536
Z Tabulator Z Samikalan	0,00040	3,33291
	0,00050	3,04726
🗌 Komma 🛛 🗸 Leerzeichen	0,00060	2,74166
Anderes:	0,00070	2,44266
	0,00080	2,23340
Numerische Trennzeichen:	0,00090	2,02472
Dozimalzaichan:	0,00100	1,83924
Dezimaizeichen.	0,00110	1,69750
1000er Trenner:	0,00120	1,52884
	0,00130	1,40271
Ignoriere Zeichen:	0,00140	1,22531
	Ab	brechen Importieren

Dort können Sie genauere Abgaben zu den Eigenschaften der zu importierenden Datei machen. In diesem Dialog ist auf der rechten Seite eine Vorschau zu sehen, aus der hervor geht, wie die Daten interpretiert werden. Rot markierte Einträge werden vom Programm nicht als Zahl erkannt. Passen Sie hier die Einstellungen möglichst so an, dass keine roten Einträge mehr in der Vorschautabelle auftreten (im angegebenen Beispiel indem Sie die erste Zeile überspringen oder die Titelzeile angeben). In der Vorschau verbliebene rot markierte Einträge ergeben nach dem Import leere Zellen.

Hinweise:

Wenn in der Ausgangsdatei das Dezimalzeichen gleichzeitig für die Spaltentrennung verwendet wird, ist keine eindeutige Spaltenzuordnung möglich. Ändern Sie in diesem Falle die Originaldatei in einem Texteditor oder passen Sie ggf. den Export, der die Datei erzeugt, an. Die numerischen Trennzeichen beziehen sich auf die *in der importierten Datei* verwendeten Zeichen. In der Vorschau wird die landesspezifische Zahlendarstellung und das in der Wertetabelle eingestellte Zahlenformat der importierten Werte verwendet. So können Sie überprüfen ob die Zahlen richtig interpretiert werden.

Zum Importieren von Daten aus einer externen Tabelle in die Tabelle für Vergleichswerte kann man ebenso "Copy & Paste" verwenden. Dazu markiert man in dem andern Programm in einer Tabelle die gewünschten Daten und kopiert diese mit "Rechtsklick->Kopieren" bzw. mit "Strg+C" (Mac: cmd+C) in die Zwischenablage. Anschließend werden die Daten mit mit "Rechtsklick->Einfügen" bzw. mit "Strg+V" (Mac: cmd+V) an der aktuell markierten Zelle in der Wertetabelle eingefügt.

Tabellenwerte exportieren

Zum Exportieren der Daten einer beliebigen Tabelle, können diese mit "Copy & Paste" aus der Tabelle kopiert werden. Dazu markiert man die gewünschten Daten in der Tabelle und kopiert diese mit "Rechtsklick->Kopieren" bzw. mit "Strg+C" (Mac: "cmd+C") in die Zwischenablage. Fügen Sie die Daten anschließend wie gewohnt in ihr gewünschtes Dokument eines externen Programms ein.

Menüzeile

In der Menüzeile kann man alle wichtigen Funktionen von Fluxion anwählen. Viele der dort angebotenen Punkte können auch direkt über die Programmoberfläche aufgerufen werden. In der Menüzeile stehen folgende Menüpunkte zur Verfügung:

Programm (Mac: "Fluxion")

In diesem Menüpunkt befinden sich die programmbezogenen Auswahlmöglichkeiten. Dies sind:

Über Fluxion

Durch Anklicken von "Über Fluxion" öffnet sich ein Informationsfenster, das die Version des installierten Fluxion Programms anzeigt. Hier können Sie sich auch den Versionsverlauf anzeigen lassen um Details zu den Programmverbesserungen zu erfahren.

Einstellungen

Hier können Einstellungen zur Benutzeroberfläche vorgenommen werden. Des weiteren ist es möglich Standardverzeichnisse festzulegen und Vorlagen zu hinterlegen.

(siehe Kapitel Programmeinstellungen)



Nach Update suchen ... (Mac: im Hilfe-Menü)

Wenn Sie diesen Menüpunkt auswählen, wird im Internet nach einer neuen Programmversion gesucht. Dieses können Sie auch automatisch durchführen lassen, indem Sie die entsprechende Option in den Programmeinstellungen (s.u.) wählen.

Fluxion beenden

"Fluxion beenden" schließt das Programm – um möglichen Datenverlust zu verhindern, vergewissere man sich, dass das ausgeführte Dokument zuvor gespeichert wurde (siehe Ablage – Speichern).

Datei (Mac: Ablage)

Hier befinden sich die nötigen Grundfunktionen zur Verwaltung eines Dokuments.

Neues Dokument

Beim Erstellen eines neuen Dokuments öffnet sich ein neues Fluxion-Fenster mit dem Titel "Ohne_Titel".

Öffnen...

Durch Anklicken des "Öffnen" Sym-

bols öffnet sich ein Fenster zum Auswählen der Fluxion-Datei.

Navigieren Sie wie gewohnt durch Ihre Ordner und wählen Sie die gewünschte Datei aus. Erkannt werden Fluxion Dateien (Endung .fluxion) und Dateien von Newton-II (Endung .newton2)

Ablage

Neues Dokument Öffnen Benutzte Dokumente	光 N 光 O 〉
Information (extern)	ж I
Schließen	ЖW
Speichern	ЖS
Speichern unter	
Exportieren	>
Drucken	ЖP
Dokumenteinstellungen	¥#

Benutze Dokumente

Es erscheint ein Untermenü. Hier können die zuletzt bearbeiteten Dokumente direkt wieder aufgerufen werden (maximal 10). Mit dem letzten Menüeintrag lässt sich diese Liste löschen.

Hinweis: Diese Liste wird auch vom Startfenster (siehe dort) verwendet, sodass sich gleich bei Programmstart auf die letzten Dokumente bequem zugreifen lässt.

Information (extern) ...

Wenn es eine Informationsdatei zu einem Dokument gibt, so ist dieser Menüeintrag auswählbar. Fluxion öffnet die Informationsdatei mit Informationen zum Dokument des aktiven Fensters in einem externen Anzeigeprogramm (mehr dazu in Kapitel 3 unter Info-PDF).

Schließen

Das Dokument in dem aktuellen Fenster wird geschlossen. Falls Änderungen vorgenommen wurde, die noch nicht gespeichert wurden erscheint ein Hinweisdialog.



"Nicht sichern" schließt das Dokument ohne weiteres. Mit "Abbrechen" wird das Hinweisfenster geschlossen und das Dokument bleibt aktiv. "Sichern…" ermöglicht das Speichern des Dokuments bevor es geschlossen wird.

Speichern

Das Dokument wird direkt gespeichert. Bei neu angelegten Dokumenten wird nach einem Speicherort gefragt (siehe nächster Punkt).

Speichern unter ...

Es öffnet sich ein Dialog zur Auswahl des Speicherortes und Angabe des Dateinamens. Das Dokument wird nun unter dem angegebenen Namen am gewählten Ort als Fluxion-Datei gespeichert (wenn nicht angegeben, wird die Endung *.fluxion hinzugefügt).

Exportieren

Modelldaten als Text:

Speichert die Gleichungsangaben als Text-Datei (*.txt) inklusive der Startwerte, um sie beispielsweise in anderen Programmen einzubinden.

Wertetabelle als Text:

Exportiert die berechneten Werte in einer Textdatei (*.txt). Die Spalten sind durch Tabulatoren getrennt. So können die berechneten Werte weiter verarbeitet werden.

Hinweis: Am Anfang der Datei werden die Dokumentdaten (s.o.) mitgespeichert.

Koordinatensysteme als Vektorgrafiken:

Speichert das selektierte Koordinatensystem als Vektor-Grafik in verschiedenen Formaten (*.svg,*.pdf) ab. Empfehlenswert für die Einbindung in zu druckende Dokumente.

Koordinatensysteme als Pixelbilder:

Speichert das selektierte Koordinatensystem als Bild in den Formaten (*.png, *.jpg) ab. Empfohlen für bildschirmorientierte Ausgabe (z.B. Webseiten) oder wenn die obigen Vektorformate nicht verarbeitet werden können.

Drucken

Bei einem Klick auf das "Drucken" Symbol oder Auswahl im Menü werden alle gezeigten Koordinatensysteme auf einem Blatt zusammengefasst und es wird eine Druckvorschau geöffnet.



Der Ausdruck kann durch Ziehen mit der Maus auf dem Papier verschoben und per Scrollrad vergrößert und verkleinert werden. Zusätzlich wird immer eine Beschreibung des Modells auf dem Druck angezeigt. In der Kopfzeile des Druckvoschaufensters stehen folgende Symbole zur Verfügung (Reihenfolge von links nach rechts):



Dokumenteinstellungen



Bereich 1 - Grundeinstellungen:

Neben dem Dokumentnamen kann hier zwischen vier numerischen Berechnungsverfahren gewählt werden (aufgelistet nach der Genauigkeit der Berechnung):

- Polygonzug nach Euler (O1)
- Trapezverfahren nach Heun (O2)
- Runge-Kutta Standard (O4)
- Runge-Kutta mit Schrittweitenanpassung (O4)

Einzelheiten über die Berechnungsverfahren sind im Kapitel Hintergrundinformationen zu finden.

Für das Verfahren mit Schrittweitenanpassung wird über den Schieberegler "Maximale Abweichung" festgelegt wie genau das Verfahren arbeitet. Mit dem Auswahlfeld "Systemgleichungen sind editierbar" kann festgelegt werden, ob die im Eingabebereich befindlichen Eingabefelder für die Modellgleichungen verändert werden können. Die Abwahl ist dann sinnvoll, wenn ein Dokument dazu verwendet werden soll mit einer fertigen Modellierung zu arbeiten. Es verhindert versehentliche Eingaben, die die Lauffähigkeit des Modells stören könnten.

Bereich 2 - Diagramm:

• Schriftart

Hier kann für die Achsenbeschriftung die Schriftart und deren Größe ausgewählt werden.

• Gitter zeichnen (auch feines Gitter)-

Wenn gewählt, wird in den Koordinatensystemen ein Gitter gemäß der Achseneinteilung bzw. der Feineinteilung eingezeichnet.

• Färben der Achsen bei Automatik

Wenn gewählt, wird eine Koordinatenachse bei automatischer Skalierung gefärbt dargestellt um die Automatik anzuzeigen.

• Scrollradunterstützung:

Wenn gewählt, kann im Diagramm mit dem Scrollrad herein und heraus gezoomt werden.

• Dehnen der Achsen mit der Maus erlauben:

Wenn gewählt, können die Achsen durch Anklicken und Ziehen mit der Maus bei gedrückter Maustaste gestreckt oder gestaucht werden.

Bereich 3 - Aktionen:

Standard verwenden

Die Grafik-Einstellungen für das Dokument werden auf die Grundeinstellungen gesetzt. Die Grafik-Einstellungen der hinterlegten und in den Programmeinstellungen angegebenen Vorlage werden auf das Dokument übertragen.

• zum Ladezustand

Die Grafik-Einstellungen werden auf die ursprünglichen Werte zurückgesetzt. Hilfreich, wenn man nur temporär mit einer Vorlage gearbeitet hat um Beispielsweise das Dokument mit großen Symbolen zu präsentieren, es aber anschließend wieder die vorherige Darstellungsweise bekommen soll.

Bearbeiten

Eingabe zurück

Die zuletzt vom Benutzer getätigte Eingabe wird rückgängig gemacht.

Eingabe wiederherstellen

Eine vom Benutzer rückgängig gemachte Eingabe wird wiederhergestellt.

Ausschneiden

Mit der Maus ausgewählte Textbereiche oder Daten einer Tabelle werden entfernt und eine Kopie in die Zwischenablage gelegt. Sie können durch "Einfügen" an gewünschter Stelle wiederhergestellt werden. Achtung: Es können immer nur die zuletzt ausgeschnittenen Daten eingefügt werden.

Eingabe zurück	ЖZ
Eingabe wiederherstellen	압 쁐 Z
Ausschneiden	ЖX
Kopieren	ЖC
Einfügen	ЖV
Alles Auswählen	ЖA
Auswahl aufheben	Ω₩Α

Kopieren

Mit der Maus ausgewählte Datensätze oder anderweitige Schriftauszüge werden in die Zwischenablage kopiert und können anderweitig durch "Einfügen" wieder eingesetzt werden. Achtung: Es können immer nur die zuletzt ausgeschnittenen Daten eingefügt werden.

Einfügen

Die zuletzt ausgeschnittenen oder kopierten Daten werden an der Stelle, an der der Benutzer gerade arbeitet, eingefügt.

Alles auswählen

Je nachdem in welchem Bereich von Fluxion man sich befindet, d.h. Grafik- oder Definitionsbereiche, werden alle Punkte bzw. Angaben oder Definitionen ausgewählt. Sie werden farbig hinterlegt und können nun mit anderen Aktionen bearbeitet, z.B. ausgeschnitten oder kopiert werden.

Auswahl aufheben

Die getätigte Auswahl wird aufgehoben.

Berechnung

Hier befinden sich die Menüpunkte zur Steuerung der Berechnung. Die einzelnen Funktionen finden sich teilweise ebenfalls in der Aktionsleiste und wurden dort erläutert.

Berechnung	
Berechnen	ЖR
Berechnung stoppen	₩.
✓ Automatische Berechnung	
Letzte Berechnung löschen	

- Berechnen (startet Berechnung, auch in Aktionsleiste)
- Berechnung stoppen (bricht die Berechnung ab, Löschen-Taste in der Aktionsleiste)

- Automatische Berechnung (dynamische Updates bei Parametervariation ein- und ausschalten)
- Letzte Berechnung löschen
- Alle Berechnungen löschen (löscht alle im Zwischenspeicher abgelegten Berechnungen der aktuellen Sitzung)

Diagramm

Diagrammbereich maximieren

Zwei Systeme übereinander

Drei Systeme übereinander

Vier Koordinatensysteme

3D-Darstellung

Drei Systeme nebeneinander

Zwei Systeme nebeneinander

Legende einblenden

✓ Ein Koordinatensystem

ЖD

ЖL

Ж1

Ж2

∖:₩2

783

₩4

ЖΟ

ЖЗ

Diagramm

Diagrammbereich maximieren

Wenn eine Tabelle eingeblendet ist, so wird diese ausgeblendet um möglichst viel Platz für das Diagramm zur Verfügung zu haben.

Legende einblenden

Es wird im Diagrammbereich eine Legende sichtbar, die alle eingezeichneten Punkte und Linien (berechnete Werte, Vergleichsfunktionen und -werte) beschreibt.

Modellgröße U:	-	•	
Vergleichsfkt:			_
Vergleichswerte:	×	×	×

Ein Doppelklick auf die Einträge blendet die Einstellungsmöglichkeiten der Grafik-Darstellung ein.

Darstellungen:

Hier kann man wählen, wie viele Koordinatensysteme angezeigt werden sollen und in welcher Anordnung sie angezeigt werden sollen. Anschließend können für jedes Koordinatensystem die Optionen, z. B. Auftragung und Anzeigebereich, unabhängig von den anderen eingestellt werden.

Es stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Ein Koordinatensystem
- Zwei Systeme übereinander
- Zwei Systeme nebeneinander
- Drei Systeme übereinander
- Drei Systeme nebeneinander
- Vier Koordinatensysteme
- 3D-Darstellung

Die Konfiguration der Diagramme ist über das Kontextmenü im Diagrammbereich vorzunehmen.

Tabelle

Einblenden/Ausblenden

Bei Klicken auf "Einblenden" erscheint im rechten Bereich des Darstellungsfensters eine Tabelle, die alle berechneten Werte für die in der Modellgleichung angegebenen Variablen zeigt. Um die Tabelle wie-

Tabelle	
Ausblenden	ЖТ
Alle Werte kopieren	ΩжС
Auswahl kopieren	∕гжС
Auswahl aufheben	
Nur Auswahl zeichnen	
Als neue Startwerte übernehmen	
Wissenschaftliche Notation	ЖE
Nachkommastellen	>

der zu entfernen, erscheint bei angezeigter Tabelle im Menü-Punkt "Tabelle" statt "Einblenden" nun "Ausblenden".

28

Alle Werte kopieren

Alle Werte der angezeigten Tabelle werden in die Zwischenablage kopiert und können durch Einfügen für andere Zwecke (auch andere Programme) verwendet werden.

Auswahl kopieren

Es werden die Werte von mit der Maus markierten Punkten kopiert.

Auswahl aufheben

Eine mit der Maus markierte Auswahl von Punkten wird wieder aufgehoben.

Nur Auswahl zeichnen

Nur eine mit der Maus markierte Auswahl wird im Anzeigebereich dargestellt.

Als neue Startwerte übernehmen

Ein markierter Punkt wird als neuer Startwert für die neue Berechnung festgelegt.

Wissenschaftliche Notation / Dezimale Notation

Die Zahlenwerte in der Tabelle können auf zwei verschiedene Arten dargestellt werden: Als normale Dezimalzahl mit eins bis neun beliebigen Nachkommastellen (siehe nächster Abschnitt) oder als "wissenschaftliche Notation" in der Form: xEy

z.B. 1,23E-4 entspricht 1,23 \cdot 10⁻⁴, also 0,000123 (in Dezimal Notation).

Nachkommastellen

Man kann auswählen, auf wie viele Nachkommastellen die Werte in der Tabelle angegeben werden sollen. In einem Untermenü können eine bis neun Nachkommastellen ausgewählt werden.

Fenster

In diesem Menü befinden sich Funktionen zum Verwalten und Aufrufen von Programmfenstern. Insbesondere kann hierüber das Start-Auswahlfenster erneut angezeigt werden, um eventuell von dort weiter zu arbeiten.

Hilfe

Tutorial-Videos ...

Über diesen Link gelangt man zu einem Einführungsvideo in das Programm. In diesem Video werden die wichtigsten und grundlegenden Aspekte zu Fluxion erklärt.

Anleitung anzeigen ...

Es wird ein Kurzversion dieses Handbuchs angezeigt, in der kompakt die zentralen Aspekte der Benutzung von Fluxion dargestellt werden.

Webseite besuchen ...

Um neue Informationen (z. B. über Updates) zu Fluxion zu erhalten, kommen Sie hiermit direkt auf die Webseite des Programms.

Hilfe	
Tutorial-Videos Anleitung anzeigen	
Website besuchen EMail an den Autor	
Beispiele	>

E-Mail an den Autor ...

Anregungen, Ideen, Verbesserungsvorschläge oder gar Probleme? Einfach eine Mail an den Autor senden und er versucht sein Bestes um Fluxion zu perfektionieren.

Beispiele (wenn der Ordner korrekt eingestellt ist)

Über dieses Untermenü lassen sich Beispiele direkt aufrufen. Es werden alle .fluxion-Dateien angezeigt, die sich in einem speziellen Ordner befinden, der in den Programmeinstellungen angegeben werden kann. Voreingestellt ist der Ordner mit den mitgelieferten Beispielen (Details hierzu im Kapitel "Hintergrundinformationen"). KAPITEL 3

Weitere Funktionen

In diesem Kapitel erfahren Sie, wie für komplexere Problemstellungen erweiterte Definitionen festgelegt werden können.

Zusätzlich wird die erleichternde Eingabefunktion "Smart Input", mit der beispielsweise physikalische Konstanten bequemer eingegeben werden können, näher erläutert.

Um das Programm optimal zu nutzen und nach Ihren Wünschen zu konfigurieren, lernen Sie ebenfalls die Möglichkeiten der Programmeinstellungen kennen.



Erweiterte Definitionen

X

Im Eingabebereich der Modellgleichungen lassen sich noch weitere Definitionen festlegen um z.B. komplexere Probleme zu bearbeiten. Dazu zählen Konstanten, Funktionen, so wie Tabellenfunktionen und bedingte Variablen.

Um das Eingabefenster für diese Definitionen aufzurufen, klickt man unter dem Eingabefeld für die Modellgleichungen hinter Weitere Definitionen auf den Button "hinzufügen …". Falls im Dokument solche Definitionen angegeben wurden, erscheint hinter "Weitere Definitionen" ein Haken um dies kenntlich zu machen und der Button trägt dann den Schriftzug "bearbeiten …". Es öffnet sich das folgende Fenster:



Links unten können mit dem "Plus-Symbol" Objekte der Liste hinzugefügt oder mit dem "Minus-Symbol" wieder gelöscht werden. Durch Doppelklick können Name und Art des Objekts bearbeitet werden. Achten Sie dabei auf eindeutige Bezeichnungen um Konflikte mit den im Hauptfenster definierten Größen zu vermeiden.

Im Folgenden werden die verschiedenen über das Auswahlmenü auswählbaren Definitions-Arten erläutert.

Konstanten/Variablen

Bei einer Konstanten oder Variablen wird im Eingabefeld rechts bei Konstanten der Wert, bzw. bei Variablen der Term eingegeben. Konstanten oder Variablen hier und nicht im Hauptfeld zu definieren ist insbesondere für Hilfsgrößen sinnvoll um die Übersichtlichkeit zu erhalten.

Funktionen

Bei einer Funktion wird im Definitionsfeld der Funktionsterm mit der speziellen Variablen **z**, die man über den gleich beschrifteten Button eingeben kann, formuliert (siehe Abbildung).



Im Vorschaubereich rechts wird die Funktion in einem einstellbaren Bereich dargestellt. So können hier mathematische Funktionen, die von den Standardfunktionen nicht abgedeckt werden, definiert werden (z.B. Umrechnung vom Grad- ins Bogenmaß).

Tabellenfunktionen

Der Typ Tabellenfunktion dient zur Festlegung von für das Modell benötigten Funktionen, die in Form von Wertetabellen vorliegen (z.B. Federhärte *D* eines Gummibandes).

Die (eventuell experimentell bestimmten) Werte können wie in einer vorgegebenen Tabelle eingegeben werden, wenn eine neue Tabellenfunktion im Fenster "Zusatzdefinitionen" definiert wurde. Unter "Variable" trägt man jeweils einen Wert der Funktionsvariablen ein und bei "Wert" den zugehörigen Wert der Tabellenfunktion.



Verwendet werden Tabellenfunktionen, wie normale Funktionen. Zum Beispiel: $F = -D(x) \cdot x$

In der Berechnung werden die Zwischenwerte interpoliert. Dazu können folgende Verfahren angegeben werden: linear, Polynom, kubische Splines. Im Diagramm wird die interpolierte Tabellenfunktion grafisch dargestellt. Wichtig: Achten Sie darauf, dass die Funktion immer mit Werten aufgerufen wird, die innerhalb der angegebenen Tabelle liegen!

Bedingungen

Soll eine Variable sprunghaft ihren Wert verändern, ist es möglich eine "Wenn-dann-Bedingung" für eine ausgewählte Variable fest zu legen:

- Bedingung *"Wenn"* 1. gelbes Feld: Angabe eines Wahrheitsausdrucks
- Aktion *"Dann" -* 2. grünes Feld:

Dieser Wert wird verwendet, wenn die im gelben Feld angegebene Bedingung erfüllt ist.

• Aktion *"Sonst"* - 3. rotes Feld:

Dieser Wert wird verwendet, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist.

Definitions	sliste:	neu ist festgelegt durch:
Name	Art	wenn:
neu	Bedingte Var.	t<5
		dann:
		0
		sonst:
		neu = 1

Berechnet man zum Beispiel den Fall eines Fallschirmspringers ist es hilfreich ab einer gewissen Fallhöhe den plötzlichen Anstieg des Luftwiderstandes beim Öffnen des Schirms berücksichtigen zu können. Bitte beachten Sie, dass bei Modellen, die bedingte Variablen enthalten, das Runge-Kutta-Verfahren mit Schrittweitensteuerung (s.u.) nicht verwendet werden kann. Es gibt dann einen entsprechende Benachrichtigung.

Hinweis:

Es ist auch möglich einen bedingten Ausdruck direkt im Modell-Eingabefenster zu festzulegen. Die Syntax, entspricht der, die beim Ausdruck bei den bedingten Variablen erscheint. Eine Bedingung kann nur einmal pro Zeile eingegeben werden und muss in geschweifte Klammern eingebettet werden. Das Schema der Syntax ist:

{<TERM>:WENN(<BEDINGUNG>): SONST <TERM>}

Hierbei ist neben den Klammern insbesondere auf die Doppelpunkte zu achten. Hier ein konkretes Beispiel:

```
Modellgleichungen \checkmark Lauf-Variable: t

------ Modellgleichungen ------

x' = a \# \ddot{A}nderung als bedingte Variable

a=\{A: WENN(t<5): SONST 2 \cdot A\}
```

Um bei längeren Termen die Definition möglicherweise noch in einer Zeile schreiben zu können, ist es möglich die folgende Kurzform zu verwenden:

{<TERM>:<BEDINGUNG>:<TERM>}

Aufgrund der besseren Lesbarkeit ist die ausführliche Form zumeist vorzuziehen. Für die Terme können beliebige Rechenausdrücke verwendet werden. Für die Bedingung gilt das im Abschnitt "Abbrechen wenn:" (s.o.) Beschriebene.

Standardfunktionen

In Fluxion ist bereits eine Anzahl geläufiger mathematischer Funktionen vordefiniert. Diese können über die einfache Syntax in der Form

FUNKTION	SYNTAX
Quadratwurzel	sqrt(x)
Exponentialfunktion (Basis e)	exp(x)
Logarithmus (Basis 10)	log(x)
Logarithmus (Basis 2)	lg(x)
natürlicher Logarithmus (Basis e)	ln(x)
Trigonometrische Funktionen	
Sinus	sin(x)
Kosinus	cos(x)
Tangens	tan(x)
Arkus-Sinus	asin(x)
Arkus-Kosinus	acos(x)
Arkus-Tangens	atan(x)
Sekans	sec(x)
Kosekans	cosec(x)
Kotangens	cot(x)

Funktion(<Wert>) in Modellgleichungen oder anderen Berechnungen in Fluxion verwendet werden. Hierbei kann <Wert> irgendein Ausdruck sein, der einen Wert darstellt (Zahl oder Term). Die standardmäßig verwendete Winkeleinheit ist *Radiant*. Der Bereich zwischen 0° und 360° wird also durch die Periode 0 bis 2π dargestellt. Das heißt, dass alle Winkelfunktionen mit Eingaben im Bogenmaß angesprochen werden. Möchte man anstelle des Bogenmaßes das Gradmaß verwenden, kann man dies durch die einfache Formel Bogenmaß = $\frac{\pi}{180}$ · Gradmaß erreichen.

Ebenfalls kann man eine eigene Funktion (z.B. sing) definieren, die die genannte Umrechnung bereits enthält (s. Bild).

Definitions	sliste:	sing ist festge	sing ist festgelegt durch:		
Name	Art	sing(z) =	Z		
sing	Funktion	sin(π/180 · z)			

Hyperbelfunktionen	
Sinus hyperbolicus	sinh(x)
Kosinus hyperbolicus	cosh(x)
Tangens hyperbolicus	tanh(x)
Arkus-Sinus hyperbolicus	asinh(x)
Arkus-Kosinus hyperbolicus	acosh(x)
Arkus-Tangens hyperbolicus	atanh(x)
Sonderfunktionen	
Betrag	abs(x)
Vorzeichen	sgn(x)
Zufallszahl zw. 0 und 1	rand()

Smart Input

Fluxion verfügt über die Option "Smart-Input", die es dem Benutzer ermöglicht mathematische Ausdrücke schneller einzugeben. Es ist eine verkürzte "Eingabesprache", die eine umständliche Eingabe von Sonderzeichen (Griechische Buchstaben, hoch- bzw. tiefgestellte Zahlen und physikalische Konstanten) erleichtert. (Zum Ein-/Ausschalten von "Smart-Input" siehe Abschnitt "Programmeinstellung"). Hierbei gelten folgende Abkürzungen:

Hoch- und tiefstehende Zahlen:

Allgemein kann für Indizes (0 bis 9) und bestimmte Exponenten (2 und 3) die folgende Eingabetechnik verwendet werden:

	EINGABE	BEDEUTUNG		EINGABE	BEDEUTUNG
x ₀	x_0	Index 0	x ²	x^2	hoch 2
x ₁	x_1	Index 1	X ³	x^3	hoch 3
	USW.				

Hinweis: unter macOS muss aufgrund eines Fehlers in der Java-Implementierung nach dem Hochzeichen ^ die Zahl (also 2 oder 3) zweimal hintereinander eingegeben werden.

Multiplikation:

Die Multiplikation kann in Fluxion durch die Eingabe des Sternsymbols * durch das Symbol · dargestellt werden, sofern "Smart-Input" aktiviert ist.

Griechische Buchstaben:

Durch Ausschreiben des Namens eines griechischen Buchstabens erscheint nach der Eingabe eines Zeichens (z.B. +,-,=, Leertaste, oder RETURN) der entsprechende griechische Buchstabe gemäß der folgenden Tabelle:

α	alpha	Α	Alpha	ν	nu	N	Nu
β	beta	В	Beta	ξ	xi	Ξ	Xi
Y	gamma	Г	Gamma	0	omikron	0	Omikron
δ	delta	Δ	Delta	π	pi	П	Pi
3	epsilon	E	Epsilon	ρ	rho	Р	Rho
ζ	zeta	Z	Zeta	σ	sigma	Σ	Sigma
η	eta	Н	Eta	τ	tau	Т	Tau
9	theta	Θ	Theta	υ	ypsilon	Υ	Ypsilon
ι	jota	I	Jota	φ	phi	Φ	Phi
к	kappa	К	Карра	Х	chi	Х	Chi
λ	lambda	٨	Lambda	ψ	psi	Ψ	Psi
μ	mu	Μ	Mu	ω	omega	Ω	Omega

<u>Hinweis:</u>

Bei Verwendung der LaTeX-Schreibweise mit vorangestelltem Backslash (z.B. *sigma*) wird der Buchstabe <u>sofort</u> ersetzt. Beachten Sie auch, dass dieses in den Voreinstellungen (s.u.) zur Bedingung gemacht werden kann.

Vordefinierte Konstanten:

Die folgenden gängigsten physikalischen und mathematischen Konstanten sind bereits vordefiniert und müssen nicht jedes Mal neu festgelegt werden:

PHYSIKAL. KONSTANTE	EINGABE	SYM- BOL	WERT
Lichtgeschw. im Vakuum	light	ĉ	2,99792458·108 m/s
Fallbeschleunigung norm	gravit	ĝ	9,80665 m/s ²
Gravitationskonstante	Gravit	Ĝ	6,67430·10 ⁻¹¹ m ³ /kgs ²
Magnetische Feldkonstante	mag	μο	1.2566370621·10 ⁻⁶ VS/Am
Bohr'sches Magneton	mbohr	μB	9,2740100783·10 ⁻⁷ J/T
Dielektrizitätskonstante	diel	ε ₀	8,8541878128·10 ⁻¹² C/Vm
Elementarladung	qel	qe	1,602176634·10 ⁻¹⁹ C
Masse eines Elektrons	mel	me	9,1093837015·10 ⁻³¹ kg
Masse eines Protons	mprot	mp	1,67262192369·10 ⁻²⁷ kg
Masse eines Neutrons	mneut	mn	1.,67492749804·10 ⁻²⁷ kg
Masse eines Alpha-Teilchens	malpha	mα	6,6446573357·10 ⁻²⁷ kg
Masse eines Myons	mmuon	mμ	1,883531627·10 ⁻²⁸ kg
Atommasse	atommass	û	1,66053906660·10 ⁻²⁷ kg
Plancksches Wirkungsquantum	planck	ĥ	6,62607015·10 ⁻³⁴ Js
Reduziertes Planck.WQuantum	hbar	ħ	1,054571817·10 ⁻³⁴ Js
Boltzmann Konstante	kboltz	kв	1.380649·10 ⁻²³ J/K
Avogadro Konstante	avog	Ñ	6.02214076·10 ²³ 1/mol

MATHEMAT. KONSTANTE	EINGABE	SYMBOL	WERT
Kreiszahl	pi	π	3,14159265358979
Euler'sche Konstante	euler	ê	2,71828182845905

Man gibt die Konstanten entweder durch die angegebenen Smart-Input-Befehle (mit oder ohne vorangestelltes ,\', je nach Konfiguration s.o.) oder durch Auswahl im Kontextmenü des Eingabefeldes ein.

Programmeinstellungen

Bei Auswahl des Menüpunkts "Einstellungen…" im Menü "Programm" erscheint ein Fenster in dem der Nutzer programmspezifische Einstellungen bei Fluxion vornehmen kann:

	Programmeinstellungen
Benutzeroberfläche:	 Sprache: deutsch () (Änderung nach nächstem Programmstart wirksam) Bei Programmstart: Auswahlfenster zeigen () vauf Update prüfen Iconleiste zur Programmsteuerung einblenden. Fenster beim öffnen am Bildschirm ausrichten. Benutzeroberfläche vergrößern () () () () () () () () () () () () ()
	Bei Konstanten & griech. Buchstaben wird ein ('\'): nicht benötigt 📀
Neue Dokumente:	Standard verwenden Vorlage wählen Vorlage entfernen
Ordnereinstellungen:	Verzeichnis für direkt aufrufbare Beispiele:
	Beispiele 3
	Standardverzeichnis für die Vorlagen:
	Standardverzeichnis für Öffnen/Sichern Dialoge:
	Standardwerte wiederherstellen

Benutzeroberfläche

Die Sprache von Fluxion lässt sich über das Auswahlmenü einstellen. Um eine neu gewählte Sprache zu aktivieren ist ein Neustart von Fluxion nötig.

Für den Programmstart können beliebige Startmodi ausgewählt werden. Soll zum Programmstart direkt ein neues Dokument erstellt werden, verwendet man "Neues Dokument erstellen". Ebenso kann man die Modi "Letztes Dokument öffnen", "Auswahl eines Dokuments" oder "Auswahlfenster zeigen" wählen. "Auswahlfenster anzeigen" öffnet das Startfenster (s.o.), in dem der Benutzer beim Start wiederum aus den ersten drei Modi wählen kann.

Wählt man das Feld "auf Update prüfen", so wird bei jedem Programmstart im Internet überprüft, ob eine neue Programmversion vorliegt und gegebenenfalls ein Hinweis angezeigt.

Das Dokumentfenster kann bei Bedarf beim Öffnen an die Bildschirmgröße angepasst werden. Dazu setzt man den Haken bei "Fenster beim Öffnen am Bildschirm ausrichten." Dies ist bei wechselnden Bildschirmgrößen zu empfehlen.

Zur Verwendung von Fluxion auf Displays, die von Ferne betrachtet werden, kann mithilfe des Punktes "Benutzeroberfläche vergrößern" die Darstellung des Programms angepasst werden.

Mit "Zeige Hilfen an" kann konfiguriert werden, wie schnell und wie lange die Hinweise beim Überfahren mit dem Mauszeiger über einem Bedienelement angezeigt werden.

Bei Programmeinstellungen kann der Nutzer die Funktion "Smart-Input" komplett oder auch nur Komponenten von ihr verwenden. Falls "Smart-Input" nicht zur Verfügung stehen soll, dann entfernt man einfach den Haken vor "Smart-Input verwenden". Sollen nur Komponenten wie die Eingabe von griechische Buchstaben, Indizes & Exponenten, Multiplikationszeichen oder Konstanten verwendet werden, so klickt man Smart-Input verwenden an und entfernt den oder die Haken bei der oder den nicht gewünschten Komponenten.

Schließlich können Sie in der darunter befindlichen Auswahlmöglichkeit festlegen, ob zur Eingabe von Konstanten und griechischen Buchstaben ein Backslash (=,\') vorangestellt werden muss. Diese Schreibweise wird im Schriftsatzprogramm TeX verwendet und hat den Vorteil, dass nach vollständiger Eingabe eines korrekten Terminus (z.B. \alpha) das Symbol direkt erscheint. Ist diese Option auf "nicht benötigt" eingestellt, so muss nach der Eingabe (hier "alpha") ein nicht Buchstabenzeichen folgen (z.B. Leerzeichen), damit das Programm die Umwandlung durchführt. Beide Varianten haben Vorund Nachteile. Am besten man probiert aus, was für einen persönlich angenehmer ist.

Neue Dokumente

Hier kann ausgewählt werden, ob ein neues Dokument mit den Standard-Dokumenteneinstellungen (keine Vorlage) oder mit einer besonderen Vorlage (mit entsprechenden Grafik-Einstellungen) verwendet werden soll.

In Fluxion werden folgende drei Vorlagen mitgeliefert:

- AltFarben-Vorlage.fluxion: Beinhaltet ein alternatives Farbschema.
- Beamer-Vorlage.fluxion: Eine auf Beamer und digitale Tafeln optimierte vergrößerte Darstellung.
- SW-Vorlage.fluxion: Ein schwarz-weißes Farbschema, das besonders für den einfarbigen Druck optimiert ist.

Ordnereinstellungen

Im ersten Eingabefeld wird der Pfad des Ordners angegeben, den Fluxion für die von der Menüzeile und aus dem Startdialog direkt aufrufbaren Beispiele verwendet. Mittels des Buttons rechts neben dem Feld kann der Pfad über einen Dialog ausgewählt werden.

Das zweite Eingabefeld erlaubt in gleicher Weise die Ordnerangabe für die Vorlagen, die beim Klicken auf das Auswahlfeld "Vorlage wählen …" (s.o.) erschient.

Im dritten Eingabefeld kann der Nutzer einen Standardordner festlegen, der bei Öffnen- oder Speichern-Dialogen ausgewählt wird. Wie oben kann mit dem Button rechts neben dem Eingabefeld der Standardordner mittels eines Dialogs ausgewählt werden. Der Nutzer ist jedoch nicht gezwungen bei Öffnen/Speichern den Standardordner zu benutzen, sondern kann im Öffnen/Speichern-Verzeichnisfenster manuell einen beliebigen Ordner wählen. Ist kein Standardverzeichnis in Programmeinstellungen festgelegt, dann erscheint bei Öffnen und Speichern immer der zuletzt angewendete Ordner.

Bei Klick auf "Standardwerte wiederherstellen" werden alle vom Benutzer getätigten Änderungen in "Programmeinstellungen" auf die Standard-Programmeinstellungen von Fluxion zurückgesetzt. KAPITEL 4

Hintergrundinformationen

Dieses Kapitel beschreibt Details zu von Fluxion verwendeten Dateien und Ordner. Mit diesen Informationen haben Sie die Möglichkeit die Features der mitgelieferten Spezialdateien für eigene Anwendungen zu nutzen.

Weiterhin enthält dieses Kapitel einen Abschnitt über die in Fluxion verwendeten Berechnungsverfahren. Sie erfahren die Funktionsweise der einprogrammierten Verfahren und deren Eigenschaften kennen.



Besondere Dateien und Ordner

Die Informationsdatei

Um dem Anwender zusätzliche Informationen über ein Fluxion-Dokument zukommen zu lassen, kann man eine Beschreibungsdatei (im PDF-Format) beifügen. Zum Beispiel können diese Informationsdateien Erläuterungen über den physikalischen/biologischen/wirtschaftlichen Hintergrund des Dokuments oder das Zustandekommens der Modellierung beinhalten.,

Wird diese PDF-Datei unter *dem selben Dateinamen*, wie das Fluxion-Dokument (allerdings mit der Endung ,.pdf' statt ,.fluxion') *in dem selben Ordner*, wie das Dokument abgelegt, so erscheint (wie oben beschrieben) neben dem Namen des Modells ein Info-Symbol (siehe Abbildung).



Betätigt der Anwender diese Schaltfläche oder den entsprechenden Menüpunkt im Menü ,Datei' (Mac: ,Ablage'), so öffnet sich die Info-Datei in einem externen Programm. Fluxion verwendet hier das im jeweiligen Betriebssystem eingestellte Standardprogramm zum Öffnen von PDFs. (Beispiel: im Dokument ,~/fluxion-dateien/test.fluxion' wird die Datei ,~/fluxion-dateien/test.pdf' geöffnet).

Die Informationsdateien können mit beliebigen Programmen erstellt werden (z.B. OpenOffice Writer, Latex, MS Word, …). Wichtig ist, dass sie mit dem korrekten Namen als .pdf-Datei exportiert und in den passenden Ordner kopiert werden.

Beispiel-Dateien und deren Ordner

Fluxion liefert, wie oben bereits erwähnt, zum leichteren Einstieg einige Modellierungen als Fluxion-Dokumente mit. Alle mitgelieferte Beispiele enthalten oben angesprochene Informationsdateien, in denen Sie die Fragestellung und Hintergründe zum Modell nachlesen können. Ebenso wird dort die Implementierung erläutert und es werden Hinweise für eigene Untersuchungen dazu gegeben.

Die Beispiele befinden sich in einem speziellen Ordner. Unter Windows und Linux ist der Order "Beispiele" in dem selben Ordner abgelegt, in dem sich die Programmdatei "Fluxion.exe" bzw. "Fluxion.jar" befindet. Bei MacOS ist der Ordner im Programmpaket direkt enthalten.

Die Beispiele können in der Regel vom Programm direkt über das Startfenster (s.o.) oder das Menü "Hilfe" (s. dort) aufgerufen werden. Der Ort in dem Fluxion nach den Beispieldateien sucht, kann jedoch auch geändert werden. Einen anderen Ordner können Sie in den Programmeinstellungen (siehe dort) festlegen. Dies kann sehr hilfreich sein, wenn Sie als Dozent, den Lernenden eigene Dateien zum schnellen Zugriff zur Verfügung stellen möchten.

Hinweis: Es werden nur ,.fluxion'-Dateien im Menü angezeigt!

Normalerweise werden die Dateien in alphabetischer Reihenfolge angeordnet. Falls gewünscht, kann man jedoch die Reihenfolge, in denen die Dateien im jeweiligen Menü angezeigt werden, verändern. Ebenso lassen sich Trennstriche zur besseren Übersicht einfügen.

Sie können die Dateien mit einer vorangestellte Zeichenfolge versehen. Diese setzt sich wie folgt zusammen: "#' gefolgt von einer Ordnungszahl und darauf folgendem Unterstrich "_' (z.B. "#07_'). Durch die Ordnungszahl erreichen Sie die Sortierung und durch die Kodierung wird gewährleistet, dass diese nicht im Menü angezeigt wird.

Die Trennstriche erzeugt man durch eine beliebige Datei mit einem Dateinamen bestehend aus der Kennung und nachfolgenden drei Minuszeichen ,---' (zum Beispiel ,#08_----'). Wichtig: Diese Ternnstrich-Dateien dürfen keine Dateiendung, wie ,.txt' haben!

Hier ein Auszug aus dem mitgelieferten Beispiele-Ordner, in dem dieses umgesetzt wurde.

#04_Raeuber-Beute Modell.fluxion
 #04_Raeuber-Beute Modell.pdf
 #05_--- #05_Fallschirmsprung.fluxion
 #05_Fallschirmsprung.pdf

Vorlagen-Dateien

Die Vorlagen-Dateien werden verwendet, um die dort gespeicherten Darstellungsinformationen instantan für ein gesamtes Dokument zu verwenden.

Bei neu angelegten Dokumenten kann somit ein eigenes Darstellungsprofil zur Anwendung kommen, falls die Standardwerte nicht passend sind. Ebenso kann es für bestimmte Anzeigesituationen (z.B. Beamer/Smartboard) oder auch Druck hilfreich sein ein passendes Farbschema zu verwenden. Das im Programm verwendete Schema wird in den Programmeinstellungen ausgewählt (s. dort).

Folgende Informationen werden aus den Vorlagen-Dateien verwendet:

- relative Größe des Modellierungsbereichs,
- Darstellung (Farbe, Punktgröße, Lienenstärke usw.) von Modell, Vergleichsfunktionen und Vergleichswerten
- Koordinatensystem-Einstellungen (siehe Dokumenteinstellungen)

Es können sehr einfach eigene Vorlagen-Dateien erzeugt werden. Nehmen Sie dazu entweder eine der mitgelieferten Vorlagen-Dateien oder erstellen Sie eine neue Datei. Passen Sie dann die oben genannten Aspekte ein und speichern Sie die Datei an einem beliebigen Ort ab. Wählen Sie dann in den Programmeinstellungen diese eigene Vorlagen-Datei aus.

Falls Sie viele eigene Vorlagen-Dateien im Wechsel verwenden, empfiehlt es sich diese in einem besonderen Ordner abzulegen. Diesen Ordner können Sie dann (ebenfalls in den Programmeinstellungen) zum Standard-Ordner für Vorlagen-Dateien machen. Das vereinfacht den Wechsel zwischen den Vorlagen, da bei der Auswahl dann immer der dort angegebene Ordner als erstes angezeigt wird.

Hinweis: Das Programm achtet darauf, dass die Beispiel-Dateien sowie auch die Vorlagen-Dateien, die sich in den per Programmeinstellung (s.o.) definierten Ordnern befinden, nicht versehentlich überschrieben werden (es erfolgt eine Sicherheitsabfrage).



Berechnungsverfahren

Im folgenden werden kurz die Berechnungsverfahren erläutert, die Fluxion für die numerische Berechnung der Differentialgleichungen verwendet. Diese lassen sich in den Programmeinstellungen auswählen.

Grundsätzlich ist für die Iteration des Problems eine Taylorentwicklung notwendig.

$$f_{j+1} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{h^k}{k!} f_j^{(k)} = f_j + h f_j' + \frac{h^2}{2} f_j'' + \dots$$

Die Funktion f ist hier die veränderliche Größe der Differentialgleichung, h entspricht der Schrittweite dt für einen Iterationsschritt (vgl. "Iterationsvorgaben" im Abschnitt Modellierungsbereich). Der Einfachheit halber steht in diesem Abschnitt t für die Laufvariable.

Die erste Ableitung ist durch die explizite Darstellung der Veränderungsgröße (die im Feld für Modellgleichungen eigegeben wird (s.o.)) bekannt.

Der Term rechts vom Gleichheitszeichen kann als Funktion g aufgefasst werden, die im allgemeinsten Fall sowohl von t als auch von f(t) abhängen kann:

$$f_j' = g(t, f(t))$$

Ein Beispiel zur Verdeutlichung:

Kondensator aufladen(i)Modellgleichungen ▼ Lauf-Variable: t------ Modellgleichungen ------Uc' = (Uq-Uc)/(R · C)

Hier ist die Funktion $g(t, f(t)) = (Uq - Uc)/(R \cdot C)$ als Term der rechten Seite der Definitionsgleichung der Veränderungsgröße zwar von der Größe selber (hier Uc), was in der allgemeinen Formulierung f entspricht, jedoch nicht explizit von t abhängig.

Im Folgenden gelten damit folgende Bezeichnungen:

- f(t): Modellvariable (immer als Funktion der Laufvariablen t)
- f'(t): Veränderungsrate (=erste Ableitung) von f(t)
- g(t, f(t)): Term der Veränderungsrate

Polygonzugverfahren nach Euler

Beim Euler-Verfahren wird die Taylorentwicklung nach der ersten Ordnung abgebrochen. Versucht man sich dies anhand eines Graphen zu verdeutlichen (siehe Abbildung), berechnet man zunächst den ersten Funktionswert zum Zeitpunkt $t = t_o$. Da man an diesem Punkt die Ableitung der Funktion kennt (durch die Angabe der Änderungsrate), bildet man dort die Tangente und kann über eine Geradengleichung den neuen Funktionswert zum Zeitpunkt $t_1 = t_o + 1 \cdot h$ berechnen. An der neuen Stelle bestimmt man wiederum die Ableitung berechnet in gleicher Weise den nächsten Funktionswert usw. Mit diesem Verfahren kann man demnach den Wert der Modellvariablen für alle Zeitpunkte $t_j = t_o + j \cdot h$; $j \in N$ bei gegebenen Anfangsbedingungen Schritt für Schritt berechnen. Die Iterationsformel für das Eulerverfahren lautet zusammengefasst:

$$f_{j+1} = f_j + h \cdot g(t_j, f_j(t)) + \mathcal{O}(h^2)$$

Dieses Verfahren ist sehr anschaulich, allerdings stößt es aufgrund seiner hohen Ungenauigkeit schnell an seine Grenzen, denn es führt zu einem recht großen Iterationsfehler der Ordnung $\mathcal{O}(h^2)$ (siehe folgende Abbildung). Es ist also eine sehr kleine Schrittweite nötig, um diese Abweichung der numerischen von der exakten Lösung möglichst klein zu halten.

Das Eulerverfahren lässt sich durch einige wenige Änderungen recht schnell verbessern.



Trapezverfahren nach Heun

Wie der Name schon sagt, wird beim Heunverfahren statt der Tangente ein Trapez (MIttelung aus zwei Steigungen) zur Näherung an die zu berechnende Funktion verwendet. Die Rechenvorschrift für das Heun-Verfahren lautet:

$$f_{j+1} = f_j + \frac{h}{2} [g(t_j, f_j(t)) + g(t_{j+1}, f_{j+1,Eu})] + \mathcal{O}(h^3)$$

mit $f_{j+1,Eu} = f_j + h \cdot g(t_j, f_j(t))$ (nach Euler s.o.)

Man erkennt, dass bei Heun der Zwischenwert $f_{j+1,Eu}$ verwendet wird, der zunächst nicht bekannt ist. Dieser Zwischenwert wird nach Euler berechnet und anschließend in den Heun-Algorithmus eingesetzt.

Man erhält den Mittelwert der Steigungen an den Stellen mit f_j und f_{j+1} , der für die Fortführung der Funktion f verwendet wird. In der obigen Abbildung ist deutlich ersichtlich, dass durch dieses Verfahren die Abweichung zur exakten Lösung kleiner ist als beim Euler-Verfahren. Man kann auch sagen: Man benötigt für die gleiche Genauigkeit weniger feine Schrittfolgen.

Runge-Kutta Standard (RK4)

Runge-Kutta-Verfahren gehören zu den Einschrittverfahren, das heißt, dass bei einem Iterationsschritt nur der vorherige Funktionswert für die Berechnung notwendig ist. Dafür wird die Funktion innerhalb eines Schrittes mehrmals aufgerufen. Das einfachste Verfahren ist das RK2-Verfahren, das (wie das Heun-Verfahren) eine Erweiterung des Euler-Verfahrens (RK1) darstellt. Hier wird das Euler-Verfahren für eine halbe Schrittweite bestimmt und die ermittelte Steigung für den ganzen Schritt verwendet. RK2 steht für Runge-Kutta 2. Ordnung (aufgrund der geringen Unterschiede zum Heun-Verfahren ist dies in Fluxion nicht implementiert).

Nach diesem Schema lassen sich die Runge-Kutta-Algorithmen auch für höhere Ordnungen definieren. Mit größeren Ordnungen erhöht sich allerdings die Komplexität des Algorithmus und es kann zu langen Rechenzeiten und zu numerischen Instabilitäten kommen. Das klassische Runge-Kutta-Verfahren ist das RK4 (also 4. Ordnung), das wie folgt definiert ist:

$$f_{j+1} = f_j + h \cdot \frac{1}{6}(g_1 + 2g_2 + 2g_3 + g_4)$$

mit

$$g_1 = h \cdot g(t_j, f_j(t))$$

$$g_2 = h \cdot g(t_j + \frac{h}{2}, f_j(t) + \frac{hg_1}{2})$$

$$g_3 = h \cdot g(t_j + \frac{h}{2}, f_j(t) + \frac{hg_2}{2})$$

$$g_4 = h \cdot g(t_i + h, f_i(t) + hg_3)$$

Runge-Kutta mit Schrittweitenanpassung (RK-S)

Bei numerischen Berechnungen stellt sich aber nicht nur die Frage, wie genau man ein Problem berechnen kann, sondern welchen Fehler man bei den Iterationsschritten macht. Der Fehler ist die Abweichung der berechneten Kurve von der "wahren Funktion".

$$\Delta = |f_{j+1} - f_{j+1}^{wahr}|$$

Da die "wahre Funktion" nicht bekannt ist, verwendet RK-S zwei RK-Algorithmen verschiedener Ordnungen miteinander. Eine der beiden RKs liefert ein genaueres Ergebnis und liefert nach obiger Formel eine Abweichung. Die beiden Ordnungen werden in der Literatur meist mit q und p bezeichnet. Fluxion verwendet hier:

$$q = 5 \quad p = 4$$

Ziel ist es nun eine bestimmte Genauigkeit ϵ pro Schritt für den Fehler Δ vorzugeben. Mit der Schrittweitenanpassung wird die Schrittweite für den aktuellen Iterationsschritt so gewählt, dass die Abweichung maximal ϵ beträgt. Ist diese größer, wählt der Algorithmus eine kleinere Schrittweite nach folgender Formel: $h_{neu} = 0.9 \cdot h(\epsilon/\Delta)^{1/(p+1)}$

p ist die Ordnung der Kontrollformel, der Faktor 0,9 sorgt für statistische Anpassung. Der Wert für ϵ kann für das RK-S Verfahren in den Programmeinstellungen angepasst werden. Neben der Möglichkeit die Genauigkeit vorzugeben besteht der große Vorteil dieses Verfahrens darin, dass es adaptiv arbeitet. Das bedeutet, dass es durch die automatische Anpassung der Schrittweite effektiver ist, da es eine unnötig kleine Schrittweite (und damit viele Schritte) vermeidet. Dies rechtfertigt den pro Schritt leicht erhöhten Rechenaufwand gegenüber RK4.

Vergleich der Berechnungsverfahren

Für einfache physikalische Modelle und kleine Iterationsschritte liefern alle vier Verfahren sinnvolle Ergebnisse. Allerdings sollte man sich immer im Klaren sein, wie genau man eine numerische Berechnung durchführen will und an welcher Stelle Abschätzungen vertretbar sind.

Im Folgenden sollen die vier möglichen Berechnungsverfahren anhand einer Planetenbewegung um einen Zentralkörper im Koordinatensystemursprung verglichen werden. Dieser bewegt sich gemäß des Newton'schen Gravitationsgesetzes:

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G\frac{m_1m_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

G ist hier die Gravitationskonstante (Smart-Input: Gravit), *r* der Betrag des Ortsvektors \vec{r} , also $r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Mit der ebenfalls von Newton gefundenen Bewegungsgleichung $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ergibt sich für die Komponenten der Beschleunigung: $a_x = v'_x = F_x/m$ und $a_y = v'_y = F_y/m$ und es kürzt sich die Masse des Planeten *m* heraus.

1. Geben Sie nun zum Vergleich der Berechnungsverfahren folgende Gleichungen in das Modellfenster ein:

$$x' = vx; y' = vy$$

$$vx' = -\hat{G} \cdot M/r^2 \cdot x/r;$$

$$vy' = -\hat{G} \cdot M/r^2 \cdot y/r;$$

$$r = sqrt(x^2 + y^2)$$

$$M = 1E9;$$

2. Definieren Sie dazu als zusätzlichen veränderbaren Parameter:

$$v_0 = 0.15$$

3. Legen Sie die Startbedingungen fest:

$$x(t_0) = 1; y(t_0) = 0; vx(t_0) = 0; vy(t_0) = v_0$$

4. Für die Berechnung wählen Sie für die Iterationsvorgaben:

$$t_0 = 0; dt = 0,1; \Delta t = 100$$

5. Für die Achsen verwenden sie die *xy*-Ebene:

also Rechtsachse x und Hochachse y

6. Starten Sie die Berechnung.

Nun können unter Programmeinstellungen die verschiedenen Algorithmen ausgewählt und verglichen werden. Variieren Sie ebenfalls die Schrittweite dt und beobachten Sie die Veränderung in den Berechnungen der einzelnen Verfahren. Ändern Sie ebenfalls die Anfangsgeschwindigkeit v_0 über den Schieberegler.

In der folgenden Abbildung sind die Lösungskurven der vier Verfahren abgebildet. Man erkennt, dass beim Keplerproblem nur RK-S die Physikalischen Gesetze beachtet. Bei den übrigen Verfahren wird die Energieerhaltung verletzt und die numerische Berechnung liefert eine instabile Planetenbahn. Dies ist auf die hohe Geschwindigkeit des Planeten und der somit auftretenden Abweichungen aufgrund



KAPITEL 5

Tutorials

Die Tutorials dienen für den ersten Einstieg in Fluxion. Anhand verschiedener Probleme mit steigender Komplexität werden Arbeitsweise und die verschiedenen Funktionen von Fluxion erklärt. Dabei werden die Lösung dieser Probleme und die dafür nötigen Berechnungsangaben durch eine "Schritt für Schritt"-Anleitung erklärt.



Wachstumsprozesse

Wachstumsprozesse eignen sich besonders, um mit dem Konzept der Ratenformulierung von Problemstellungen vertraut zu werden. Bei einem Wachstumsprozess (und hier sollen auch Zerfallsprozesse mit eingeschlossen werden - sie sind als Wachstumsprozesse mit negativem Wachstum aufzufassen) ist es direkt einsichtig, dass es auf die *Veränderung* einer Größe und nicht auf den *Wert* einer Größe ankommt.

Lineares Wachstum

Die einfachsten Wachstumsvorgänge sind solche, in denen sich die das System beschreibende Größe mit einer konstanten Rate verändert. Wie man an den folgenden beiden Beispielen sieht, führt dies zu einem linearen Wachstum.

Wieviel Datenvolumen braucht ein Video-Stream?

Bei einem Videoanbieter werde ein Stream mittlerer Qualität mit einer festen Datenübertragungsrate von 700 Megabytes pro Stunde übertragen. Die gesamte Datenmenge, wächst vom Start des Streams mit Zeit immer weiter an. Dieses soll nun modelliert werden.

1. Öffnen Sie nun ein neues Dokument und geben Sie diesem den Namen "Video-Stream".

- 2. Man muss sich nun lediglich klar machen, dass die Änderung der übertragenen Datenmenge eben genau der angegebenen Datenübertragungrate entspricht. Tragen Sie also in das Feld "Modellgleichungen" folgendes ein: *Datenmenge*' = 700.
- 3. Damit haben Sie bereits Ihr erstes Modell kreiert. Starten Sie die Berechnung über den Start-Button . Fluxion legt automatisch eine Systemvariable namens "Datenmenge" an und berechnet ausgehend von einem Startwert von 0 über 10 Einheiten hinweg deren Werte. Im automatisch angezeigten Diagramm erkennt man einen gerade ansteigenden, also linearen, Verlauf (daher der Name "lineares Wachstum").
- 4. Wichtig: Fluxion arbeitet einheitenlos! Man muss sich also immer im klaren sein, was die Zahlenangaben genau bedeuten (hier: 700 Megabytes pro Stunde). Die Iteration der Laufvariablen Zeit erfolgt demzufolge in Stunden. Falls wir lieber in Minuten rechnen möchten, muss die Datenübertragungsrate umgerechnet werden. 700 MBytes/h entsprechen 700/60 MBytes/min. Da im Modelleingabefeld auch Terme eingegeben werden können, muss in der Modellbeschreibung nun lediglich 700 zu 700/60 ergänzt werden (man braucht also nicht selber den Wert auszurechnen).
- 5. Um die Berechnung an einen typischen Spielfilm anzupassen, müssen nun noch die Iterationsvorgaben angepasst werden. Die Berechnungszeitspanne ist nun auf 90 zu ändern und für die Schrittweite wählt man am besten 1. So wird im Minutentakt die übertragene Datenmenge berechnet (vergessen Sie nicht auf zu drücken).
- 6. Man kann jetzt am Diagramm ablesen welche Datenmenge für den Film insgesamt übertragen werden. Falls man diesen Wert

genauer ermitteln möchte, bietet es sich an, die zugehörige Wertetabelle einblenden zu lassen. Dies erreichen Sie durch den Eintrag "Einblenden" im Menü "Tabelle". Scrollen Sie nun in der Tabelle zu einem Wert, der Sie interessiert und klicken Sie ihn an. Er wird gleichzeitig in der Tabelle und im Diagramm markiert.

Endergebnis:



Das folgende Beispiel modelliert einen ähnlichen Vorgang, jedoch nimmt die Modellgröße hier stetig ab. Zudem wird ein Prozess modelliert, der nicht in der Zeit verläuft und es wird gezeigt, wie man Variablen und Parameter in Fluxion verwendet.

Wie weit komme ich mit einer Tankfüllung?

Ein PKW habe einen durchschnittlichen Verbrauch von 6,7 Litern Benzin pro 100 Kilometer und einen Tank mit einem Fassungsvermögen von 55 Litern. Es soll der Tankinhalt in Abhängigkeit von der zurückgelegten Strecke modelliert werden.

- 1. Öffnen Sie nun ein neues Dokument und geben Sie diesem den Namen "Benzinverbrauch".
- 2. Ändern Sie die Laufvariable von *t* zu *s* (*s* steht für die zurückgelegte Wegstrecke)
- 3. Die Änderungsrate (hier pro Streckeneinheit, wir nehmen Kilometer) des Tankinhalts entspricht dem Verbrauch. Die Modellierung des Problems erfolg analog zu oben. Es ist übersichtlicher, wenn man für den Verbrauch eine eigene Variable anlegt. Das Modell lautet dann:

Tankinhalt' = -VerbrauchVerbrauch = 6,7/100

Achten Sie auf das Minuszeichen! Es gibt an, dass sich der Tankinhalt bei gefahrener Strecke verringert.

4. Da zu Beginn der Fahrstrecke der Tankinhalt nicht leer sein darf, muss man nun den Startwert vorgeben. Geben Sie im Feld Startwerte

 $Tankinhalt(s_0) = 55$

ein.

- 5. Ändern Sie die Iterationsvorgaben zu $\Delta s = 1000$ bzw. ds = 10 und starten Sie die Berechnung.
- 6. Man erkennt wiederum einen linearen Verlauf der Zustandsgröße in Abhängigkeit von der Laufvariablen. Recht unschön ist noch, dass die Berechnung bei leerem Tankinhalt nicht stoppt. Dies kann man erreichen, indem man die Abbruchbedingung

Tankinhalt < 0

in das Feld hinter "Abbrechen, wenn:" eingibt. Starten Sie anschließend die Berechnung neu.

7. Um den Einfluss von Parametern eines Modells (hier: Verbrauch pro 100km & maximaler Tankinhalt) besser untersuchen zu können, bietet es sich an diese Parameter veränderbar zu machen. Solche veränderbaren Parameter erzeugt man (wie oben beschrieben) durch Klick auf das \oplus Symbol unterhalb der Modelldefinition. Erzeugen Sie nun zwei veränderbare Parameter mit den Namen V100 (für Verbrauch pro 100km) und TI_0 (für Tankinhalt am Anfang) und passen Sie den Wertebereich auf 0 bis 8 bzw. 0 bis 55 an. Ersetzen Sie dann die 6,7 im Feld für Modellgleichungen durch V100 und die 55 im Startwertefeld durch TI_0 . Variieren Sie die Parameterwerte durch den Schieberegler.

Endergebnis:



Exponentielles Wachstum

Auch dieser Wachstumsprozess hat seinen Namen von dem Verlauf der Lösungskurve. Kennzeichnend für dieses Wachstum ist, dass die Änderungsrate einem konstanten Anteil des aktuellen Wertes der Beschreibungsgröße entspricht.

Unbeschränkte Bakterien/Viren-Vermehrung

Wir betrachten eine Population von Bakterien (oder Viren). Die Zahl wächst pro Zeiteinheit um einen gewissen Prozentsatz der gerade vorhandenen Populationsanzahl.

1. Erstellen Sie ein neues Dokument und geben Sie das Modell $Population' = Anteil \cdot Population$ Anteil = PZ/100

ein.

- Definieren Sie einen veränderbaren Parameter mit dem Namen PZ (PZ steht für Prozentzahl) und einem Bereich von 0 bis 100. Stellen Sie den Wert beispielsweise auf 20 ein. Damit wächst die Population pro Zeiteinheit um 20%.
- 3. Starten Sie nun die Berechnung ohne weitere Eingabe, so erhalten Sie einen Graphen, der die konstante Population 0 anzeigt. Das kommt daher, dass standardmäßig der Startwert 0 verwendet wird und die Änderung ja ein Anteil dieses Wertes ist (und daher auch 0).
- 4. Legen Sie einen weiteren veränderbaren Parameter P_0 mit einem Wertebereich von 0 bis 20 an und stellen Sie ihn auf 10.
- 5. Ändern Sie nun den Startwert zu $Population(t_0) = P_0$ und geben Sie für die Iterationsvorgaben $\Delta t = 30$ bzw. dt = 1 ein.
- 6. Starten Sie die Berechnung neu, allerdings nun mit dem Button [®], der rechts neben dem gewöhnlichen Startbutton liegt. Nun baut sich der Graph langsam auf, was demonstriert wie sich die Population zeitlich entwickelt. Experimentieren sie mit der Animationsgeschwindigkeit und mit dem Schieberegler "Zeichne Teil".
- 7. Der Verlauf der Lösungskurve legt nahe, dass es sich um einen exponentiellen Verlauf handeln könnte. Um dies zu überprüfen,

verwenden wir eine Exponentialfunktion zum Vergleich. Aktivieren Sie die Option "Vergleichsfunktion" und Klicken Sie auf das Dreieck dahinter. Aus dem erscheinenden Auswahlmenü wählen Sie unter "sonstige Funktionen" den Eintrag "Exponentialfunktion (Basis e)" aus. Es erscheint ein blau gestrichelter Funktionsgraph.

- 8. Um den Funktionsgraphen an die Modellierung anzupassen, muss der Wertebereich des Funktionsparameters A geändert werden.
 Wählen Sie hier 0 bis 20). Verändern Sie nun die beiden Parameter A und B so, dass die blaue Kurve mit der roten übereinstimmt.
- 9. Wenn man nun die Wachstumsrate über den im Modell definierten veränderbaren Parameter variiert, bemerkt man, dass sich das Koordinatensystem ständig verändert. Das erschwert es den Einfluss der Variation gut zu erkennen. Über das Kontextmenü (Rechts-klick) im Diagramm können Sie die Autoskalierung für beide Achsen ausschalten (die Achsen werden dann schwarz gezeichnet).
- 10.Ebenfalls stellt man fest, dass die Vergleichsfunktion nach Veränderung der Modell-Parameter neu angepasst werden muss. Wenn man die Werte der Funktionsparameter bei angepasster Funktion betrachtet, so erkennt man, dass Parameter *A* dem Startwert *P*₀ und Parameter *B* dem Wert *Anteil* entspricht. Man kann nun die Funktion entsprechend umbenennen und die Parameter *A* und *B* löschen. Nun folgt die Vergleichsfunktion auch bei Variation von *PZ* und *P*₀ automatisch den berechneten Werten.

1.8E4 Population Ŧ Ö Bakterienwachsum Modellgleichungen - Lauf-Variable: 1 1.6E4 Population' = Anteil · Population Anteil = PZ/1001.4E4 Weitere Definitionen hinzufügen PZ = 25100 1.2E4- $P_0 = 10$ 20 Startwerte: 1.0E4 $Population(t_0) = P_0$ $t_0 = 0$ dt = 18.0E3 $\Delta t = 30$ n= 30 Abbrechen, wenn: 6.0E3 \blacktriangleright \checkmark \otimes Zeichne Teil 4.0E3-Vergleichsfunktion $Population(t) = P_0 \cdot exp(Anteil \cdot t)$ 2.0E3-Vergleichswerte -0:0E0**0** -0 10 5 15 20 25 30

Übung:

Erstellen Sie ein Modell über das Guthaben eines Sparkontos bei dem am Ende des Jahres (z.B. von dem Weihnachtsgeld) 500€ eingezahlt werden. Der Sparvertrag sieht eine jährliche Verzinsung von 4% vor.

Radioaktiver Zerfall

Bei einem radioaktiven Zerfall eines schweren Elements kann es vorkommen, dass der entstandene Atomkern ebenfalls instabil ist und ebenfalls wieder zerfällt. Der zeitliche Verlauf der Entwicklung der relativen Bestandteile dieser beiden Elemente eines Gesteins soll im Folgenden modelliert werden. Ebenfalls soll der Verlauf Aktivität der Gesamtstrahlung der beiden Elemente berechnet werden.

Zunächst muss man sich überlegen, dass pro Zeitschritt ein gewisser Anteil λA (oft verwendete physikalische Bezeichnung) der Kerne von

Endergebnis:

Element A in das Element B und diese wiederum mit einem Anteil λB zerfallen.

- 1. Für Element *A* ist die Modellierung bis auf das Vorzeichen analog zu obigem Beispiel. Erstellen Sie ein neues Dokument und tragen Sie in das Feld der Modellgleichungen die Modellierung für Element *A* (Modellvariable *NA*), also $NA' = -\lambda A \cdot NA$, ein.
- 2. Bei Element *B* gibt es nun zwei Dinge, die die Änderung der Anzahl der Teilchen verändern. Zum Einen kommen genau die von Element *A* zerfallenen Teilchen hinzu (positives Vorzeichen). Zum Anderen zerfällt ein gewisser Teil, jedoch mit dem Anteil λB (negatives Vorzeichen). Das ergibt folgende Modellierung für *NB*: $NB' = + \lambda A \cdot NA - \lambda B \cdot NB$.
- 3. Da die Zerfallsanteile (auch Zerfallskonstanten genannt) oft in Halbwertszeiten angegeben werden, muss man diese daraus erst errechnen (Formel: $\lambda A = \ln(2)/T_{1/2}$). Wir wollen die Halbwertszeiten wieder als veränderbare Parameter anlegen. Ergänzen Sie daher das Modell mit den folgenden Nebenrechungen:

$$\lambda A = \ln(2)/THA$$

 $\lambda B = \ln(2)/THB$

- 4. Definieren Sie nun die Halbwertszeiten der beiden Elemente als veränderbare Parameter *THA* und *THB* mit den Wertebereichen zwischen 0 und 20 (Werte auf 15 und 8 einstellen).
- 5. Geben Sie den Startwert $NA(t_0) = 100$ (für 100%) ein (der Startwert für *NB* wird automatisch hinzugefügt und auf 0 gesetzt). Passen Sie in den Iterationsvorgaben $\Delta t = 100$ bzw. dt = 1 an und starten Sie die Berechnung.
- 6. Sie erkennen nun im Diagramm die Kurve die exponentielle Abnahme von Element A. Um den Verlauf von Element B in diesem

- Diagramm ebenfalls darzustellen, klicken Sie auf die Achsenbeschriftung der Hochachse (also auf das "*NA"*). Im erscheinenden Auswahlmenü wählen Sie "Auftragung hinzufügen" ➤ "*NB"*.
- 7. Die Gesamtaktivität setzt sich aus den Einzelaktivitäten und damit aus den Zerfällen pro Zeiteinheit (jeweils $\lambda \cdot N$) der beiden Elemente zusammen. Definieren Sie daher im Feld für Modellgleichungen $GesAkt = \lambda A \cdot NA + \lambda B \cdot NB$.
- 8. Um den Verlauf der Gesamtaktivität darzustellen, ändern Sie über das Menü "Diagramm" die Darstellung zu "zwei Systeme übereinander". Wählen Sie nun im unteren Diagramm auf der Hochachse mit Hilfe des Auswahlmenüs (s.o.) die Auftragung "*GesAkt*".
- 9. Man sich kann über die Tabelle auch die errechneten Werte der Gesamtaktivität anzeigen lassen. Blenden Sie dazu über das Menü "Tabelle" die Tabellenansicht ein. Ändern Sie die Ansicht mit dem Aufklappmenü oberhalb der Tabelle zu "Definierbare Tabelle". Klicken Sie nun mit der rechten Maustaste auf die Titelzeile der Tabelle und fügen Sie eine neue Spalte "GesAkt" hinzu.

Sie erhalten in etwa folgendes Bild:



Elektrischer Schwingkreis

Ungedämpfter elektrischer Schwingkreis

Ein einfaches Modell der Elektrizitätslehre ist der "ideale passive Schwingkreis". Dieser besteht aus einer Spule und einem Kondensator. Für den idealen Fall wird angenommen, dass während des Schwingvorgangs keine Verluste in den Bauteilen und deren Zuleitungen auftreten.



Somit ist während einer Schwingung die Energieübertragung der elektrischen Feldenergie im Kondensator in das Magnetfeld der Spule und zurück verlustfrei.

Beim idealen passiven Schwingkreis gilt nach Kirchhoff:

$$U_L + U_C = 0 \tag{1}$$

Durch Einsetzen der jeweiligen Spannungen $U_C = \frac{Q}{C}$ und $U_L = L \cdot I'$ kann dieser Schwingvorgang durch ein System von Ratengleichungen beschrieben werden, bei dem die Laufvariable durch die Zeit gegeben ist und demzufolge die Änderung der Ladung pro Zeit der Stromstärke entspricht. Man erhält :

$$Q' = I$$
 (2) und $I' = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot Q$ (3)

- 1. Öffnen Sie ein neues Dokument und geben Sie diesem den Namen "el. Schwingkreis".
- 2. Geben Sie die Formeln (2) und (3) in das Fenster "Modellgleichungen" ein.
- 3. Unterhalb der eingegebenen Formeln können nun die Werte von C = 1E 7 und L = 0,01 definiert werden. Der Anfangswert der Ladung wird über die Kondensatorspannung *Ub* mit 5V definiert:
 - $Q_0 = C \cdot Ub; \quad Ub = 5;$ Hinweis: Fluxion arbeitet einheitenlos (s.o.)

el. Schwingkreis				
Modellgleichungen 💌 Lauf-Variable: t				
Q'=I				
$I'=-1/(L\cdot C)\cdot Q$				
<i>C</i> =1 <i>E</i> -7; <i>L</i> =0,01				
$Q_0 = C \cdot Ub; Ub = 5$				

- 4. Sollen Kapazität und Induktivität als veränderbare Parameter definiert werden, klicken sie auf das + unterhalb des Definitionsfensters. Durch Doppelklick auf den Parameternamen können Sie diesen in C (bzw. L) ändern. Maximum und Minimum des Schiebereglers können durch Doppelklick auf diese Weise ebenfalls geändert werden. Dabei sollte das Minimum bei C = 1E - 7 und das Maximum bei C = 1E - 6 liegen. Denken Sie daran die entsprechenden Einträge im Feld für Modellgleichungen zu löschen.
- 5. Geben Sie die Startwerte ein:

$$Q(t_0) = Q_0; I(t_0) = 0;$$

- 6. Die Periodendauer der Schwingung beträgt etwa 200 Mikrosekunden. Die Schrittweite sollte daher im Mikrosekundenbereich liegen. Folgende Iterations-Einstellungen sind daher zu empfehlen: $t_0 = 0$; dt = 2E - 6; $\Delta t = 1E - 3$
- 7. Starten Sie die Berechnung. Im Diagrammbereich sollte automatisch Q auf der Hochachse und t auf der Rechtsachse dargestellt werden. Ist dies nicht der Fall, stellen Sie dies bitte ein, indem Sie die Achsenbeschriftung im Diagramm auf Q und t ändern.
- 8. Durch eine Vergleichsfunktion kann überprüft werden, ob der Graph einen Kosinus darstellt: Setzten Sie dazu einen Haken vor "Vergleichsfunktion". Durch Klicken auf das nebenliegende Dreieck öffnet sich ein Auswahlmenü. Wählen Sie unter "Trigon. Funktionen" den "Kosinus m. Vorfaktor" aus. Ändern Sie den angegebenen Term zu $Q(t) = Q_0 \cos(\omega \cdot t)$ und der Funktionsverlauf folgt den Ergebnissen der Berechnung. Dazu muss im Definitionsfenster noch die Frequenz ω angegeben werden: $\omega = 1/sqrt(L \cdot C)$ (Tipp: Griechische Buchstaben am besten via Smart-Input eingeben!)

Zur Kontrolle:



Elektrischer Schwingkreis mit Dämpfung

Für den realen Schwingkreis muss der Ohm'sche Widerstand aller Bauteile im Schwingkreis berücksichtigt werden. Als Vereinfachung führt man hierfür einen Ersatzwiderstand *R* ein, in dem alle auftretenden Widerstände zusammengefasst werden.



Dieser Ersatzwiderstand dämpft die Schwingung des Systems. Am Widerstand *R* geht also Energie verloren und die Amplitude der Spannung an Kondensator und Spule nehmen mit der Zeit ab.

- 1. Löschen Sie die "Abbrechen, wenn" Bedingung und die Vergleichsfunktion mitsamt aller darunter angezeigten Schieberegler.
- 2. Nach Kirchhof gilt nun $U_L + U_C + U_R = 0$ und damit für die zeitlichte Veränderung des Stroms $I' = -1/(L \cdot C) \cdot Q R/L \cdot I$. Erweitern Sie die Modellgleichung für die Veränderungsrate des Stroms und fügen Sie R = 50 hinzu.
- Mit Hilfe einer Vergleichsfunktion kann nun die Einhüllende der Funktion dargestellt werden. Wählen Sie im nun bekannten Auswahlmenü für Funktionen den Eintrag "Exponentialfunktion (Basis e)" aus. Ändern Sie im Funktionsterm *B* zu –*B*, den Wertebereich für den Parameter *A* von 0 bis 1e-6 und den für *B* von 1000 bis 2500. Passen Sie dann mit dem Schieberegler den Funktionsgraph an.

4. Starten Sie die Berechnung.

Sie sollten folgendes Diagramm erhalten:

Diagramm zum elektrischen Schwingkreis mit Dämpfung:



Übung: Definieren Sie den Widerstand als Schieberegler und erforschen Sie den Einfluss der Dämpfung auf die berechnete Schwingung.

Angeregter Schwingkreis mit Dämpfung

Der Schwingkreis soll im Folgenden mit einer Wechselspannung Ub angetrieben werden. Man erhält dann mit der Kirchhoffschen Maschenregel $U_L + U_C + U_R = Ub$. Beachten Sie dazu die folgende Abbildung.



1. Erweitern Sie die Formel des passiven Schwingkreises wie folgt:

$$I' = -1/(L \cdot C) \cdot Q - R/L \cdot I + 1/L \cdot Ub$$

Für dieses Modell muss im Definitionsfenster die Spannung Ub zu

$$Ub = 5 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

umdefiniert werden.

- 2. Schalten die Vergleichsfunktion aus und löschen Sie die Startwerte. Verlängern Sie die Berechnungszeit auf $\Delta t = 4E - 3$ und starten Sie anschließend die Berechnung.
- 3. Man erkennt, dass sich nach einer gewissen Zeit eine Schwingung mit konstanter Amplitude einstellt. Dieses Einschwingen kann irritieren und daher gibt es in Fluxion die Möglichkeit die ersten Berechnungswerte von der Darstellung auszuschließen. Klicken Sie dazu auf das Optionsdreieck unter "Abbrechen, wenn". Es erscheint unter anderem die Option "die ersten … Werte ausblenden". Selektieren Sie diese Option und tragen Sie 1000 in das nebenliegende Feld ein. Starten Sie die Berechnung erneut.
- 4. Interessant ist es auch zu beobachten, was passiert, wenn nach einer gewissen Zeit die Anregung *Ub* ausgeschaltet wird. Man erreicht dies über so genannte *Bedingte Variablen*. Löschen Sie die Definition der Anregung $Ub = 5 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ im Feld Modellglei-

chung. Dann klicken Sie unter dem Eingabefeld auf den Button "hinzufügen…" und fügen im erscheinenden Fenster "Zusatzdefinitionen festlegen" eine neue Variable durch Klicken auf ,+' hinzu. Im Feld "Name" definiert man die Variable *Ub* und im Feld Art wählen Sie "Bedingte Variable". Legen Sie im rechts erscheinenden Bereich fest: Wenn t < 3E - 3 dann $Ub = 5 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ sonst Ub = 0. So erreichen Sie, dass die Anregung nach 3 Millisekunden wieder verschwindet. Schließen Sie das Fenster und starten Sie die Berechnung erneut.

Sie sollten folgendes Diagramm erhalten:

Diagramm zum angeregten Schwingkreis mit Dämpfung und Ausschaltvorgang bei ausgeblendetem Einschwingvorgang:



Man erkennt deutlich, dass sich nach dem Ausschalten der gleiche Verlauf wie im gedämpften Schwingkreis (s.o.) ergibt. Experimentieren Sie weiter mit den gezeigten Optionen und Angaben, sowie mit der Diagrammdarstellung. So erhalten Sie mehr Sicherheit in der Verwendung der Möglichkeiten, die Fluxion bietet.

Übung: Versuchen Sie den Abklingvorgang wie oben durch einen geeigneten Funktionsverlauf zu verdeutlichen.

Lösungsdiagramm zur Übung:



Gekoppelte Pendel

Gekoppelte Pendel mit Näherung

Werden zwei aufgehängte Massen m mit einer Feder verbunden entsteht ein System, das bei kleinen Winkeln durch zwei gekoppelte Differentialgleichungen beschrieben werden kann.



l = Strecke bis zur Befestigung der Feder, L = Pendellänge, k = Federhärte, J = Trägheitsmoment. φ = Winkel zur Ruhelage, ω = Winkelgeschwindigkeit

1. Geben Sie die drei oben genannte Gleichungen ein. Die Fallbeschleunigung g kann durch Smart-input "gravit" hinzugefügt werden. Zusätzlich müssen dann noch folgende Zusätze definiert werden: $\varphi_1' = \omega_1$; $\varphi_2' = \omega_2$

- Danach müssen die Parameter m, l, L, k entweder im Fenster "Modellgleichungen" oder als Zusatzvariable (Klicken auf das "+" Symbol) definiert werden. (z.B.: m = 1; l = 0,5; L = 1; k = 1)
- 3. Startwerte festlegen:

$$\varphi_1(t_0) = 0.5; \ \varphi_2(t_0) = 0; \ \omega_1(t_0) = 0; \ \omega_2(t_0) = 0$$

4. Für die Berechnung wählen Sie für die Iterationsvorgaben:

$$t_0 = 0; \ dt = 0.08; \ \Delta t = 80$$

- 5. Wählen Sie aus dem Menü "Diagramm" den Punkt " Zwei Koordinatensysteme übereinander". Für das erste Koordinatensytem verwenden Sie für die Rechtsachse t und für die Hochachse φ_1 . Klicken Sie auf das untere Koordinatenfenster und wählen für die Rechtsachse ebenfalls t und für die Hochachse φ_2 .
- 6. Starten Sie die Berechnung. Nun sind die Auslenkungen φ_1 und φ_2 der beiden Pendelbewegungen in zwei verschiedenen Koordinatensystemen dargestellt.

Mit Fluxion lassen sich zusätzlich ganz einfach die Energien des Systems darstellen.

1. Fügen Sie den Modellgleichungen die Formeln für die Einzelnergien (kin. Energien der Pendel 1 und 2, pot. Energien aus Schwerkraft *Egrav* (grob genähert) und Feder *EFed*) sowie die Gesamtenergie *Eges* hinzu:

$$E_1 = 0.5 \cdot J \cdot \omega_1^2; \quad E_2 = 0.5 \cdot J \cdot \omega_2^2;$$

$$Egrav = -2 \cdot m \cdot \hat{g} \cdot L$$

$$EFed = 0.5 \cdot k \cdot l^2 \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2$$

$$Eges = E_1 + E_2 + Egrav + EFed$$

2. Wählen Sie aus der Menüleiste → Diagramm → Vier Koordinatensysteme. Verwenden Sie für alle Rechtsachsen *t*, für die Hochachsen: links oben: E_1 ; rechts oben: E_2 ; links unten $E_1 + E_2$, rechts unten: *Eges*.

Hinweis: Um sich das Definieren einer neuen Größe zu sparen, ist es geschickt als Achsenbeschriftungen bei $E_1 + E_2$ den Term anzugeben. Rufen Sie hierzu die Achseneinstellungen per Doppelklick auf eine Achse oder per Kontextmenü im Diagramm auf.

3. Starten Sie die Berechnung.

Sie sollten die folgende Darstellungen erhalten:



Der Theorie nach sollte die Gesamtenergie des Systems konstant bleiben (Energieerhaltung). Im Koordinatensystem 4 (rechts unten) ist allerdings deutlich eine Oszillation zu erkennen. Bei einem kleineren Startwinkel ist dieser Effekt deutlich kleiner.

Verifizieren Sie es!

Hieran erkennt man sehr gut die Auswirkungen der gemachten Näherungen.

Gekoppelte Pendel ohne Näherung

Im vorangegangenen Beispiel konnte man anhand der Lösung den Einfluss von Näherungen auf Erhaltungsgrößen beobachten. Näherungen werden dann verwendet, wenn man mit dem vollständigen Ansatz die Lösung nicht mehr als Funktion ausrechnen kann. Der Vorteil bei der numerischen Berechnung des Problems mit einem Programm wie Fluxion liegt darin, dass man hier die Berechnungen auch ohne Kleinwinkelnäherung durchführen kann.

1. Ändern Sie die Modellgleichungen aus dem Abschnitt "Gekoppelte Pendel" um zu:

$$\omega_1' = -\frac{m \cdot g \cdot L}{J} \sin(\varphi_1) + \frac{k \cdot l^2}{J} (\sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1))$$

$$\omega_2' = -\frac{m \cdot g \cdot L}{J} \sin(\varphi_2) - \frac{k \cdot l^2}{J} (\sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1))$$

$$J = m \cdot L^2$$

Für die Energien verwenden Sie im Fall ohne Kleinwinkelnäherung folgende Modellgleichungen:

$$\begin{split} E_1 &= 0.5 \cdot J \cdot \omega_1^2; \quad E_2 = 0.5 \cdot J \cdot \omega_2^2; \\ E_{grav} &= -m \cdot \hat{g} \cdot L \cdot (\cos(\varphi_2) + \cos(\varphi_1)) \\ E_{Fed} &= 0.5 \cdot k \cdot l^2 \cdot (\sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1))^2 \\ E_{ges} &= E_1 + E_2 + E_{grav} + E_{Fed} \end{split}$$

2. Starten Sie die Berechnung

Sie erhalten für das vierte Diagramm folgenden Verlauf:



Führt man also die Berechnungen ohne die Näherungen durch, so ist im Gegensatz zu vorher (genähertes System) die physikalisch geforderte Energieerhaltung erfüllt.

Auch für iterativ gewonnene numerische Lösungen ist es grundsätzlich notwendig, dass die Erhaltungsgrößen eines Systems respektiert werden. Dies können Sie überprüfen, indem Sie das Euler-Verfahren verwenden und ggf. die Schrittweite vergrößern. Bei zu grober Berechnung wird trotz korrektem Ansatz ohne Näherungen der Energieerhaltungssatz erneut scheinbar verletzt. Damit ist gezeigt, dass die Berechnungen durch die zu große Schrittweite zu ungenau sind. Erhaltungssätze sind also gute Prüfsteine für die Qualität der Berechnung. Sind sie verletzt, so sollte man nach der Ursache forschen!

Impressum

Christopher Fuchs Sebastian Weißenseel Wolfgang Reusch Dr. Stephan Lück

herausgegeben von:

Lehrstuhl der Physik und ihre Didaktik

Fakultät für Physik und Astronomie der Julius-Maximilians Universität Würzburg

Internetseite des Lehrstuhls: <u>http://pid.physik.uni-wuerzburg.de</u> Softwareseite des Lehrstuhls: <u>http://did-apps.physik.uni-wuerzburg.de</u>