

- Grundlagen
- Stochastische Bediensysteme

- Standardbeispiele:

Kunden stellen sich an Kassenschlangen an

Zwischenprodukte werden vor einer Fertigungsmaschine zwischengelagert, bis sie weiterverarbeitet werden

Aufträge warten im Eingangskorb auf Bearbeitung

Datenpakete werden bis zur Weiterleitung im Router zwischengespeichert

abstrakt

- Entitäten (**Entities**) warten in Warteschlangen (**Queues**), bis sie von Bedienstationen (**Server**) verarbeitet werden

- Bestandteile:

Bedienstation (Server)

- bearbeitet eine Entität
- auch mehrere parallel möglich (N-Server)
- Bearbeitungszeit fest oder stochastisch

Warteschlange (Queue)

- Wartebereich für Entitäten
- unbeschränkt oder feste Kapazität
- verschiedene Queuedisziplinen (FIFO, LIFO, Prio)

Ankunftsprozess (Generator)

- erzeugt ankommende Entitäten
- Zeitabstände fest oder stochastisch

- Basismodell `singleserver1A`:

einfaches Bediensystem mit festen Zeiten (D|D|1)

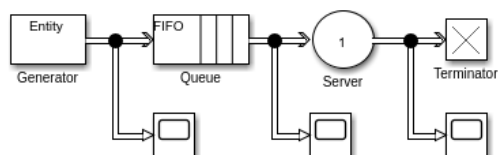
Parameter

- Ankunftsprozess (Generator) mit festem Zeitabstand $t_G = 1$
- unbeschränkte FIFO-Queue
- Server mit Bedienzeit $t_S = 1.5$

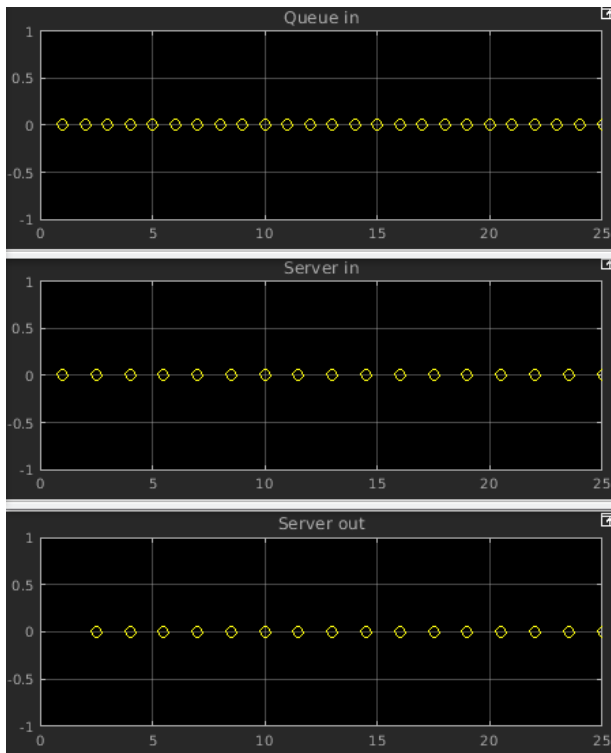
Modellierung mit SimEvents

- Zusatzpaket zu Matlab/Simulink für DES (**Discrete event simulation**)
- dicke Leitungen transportieren keine Zahlen, sondern Entitäten ("kleine Kügelchen mit Beschriftung")

Grundaufbau



Oscis zeigen durchlaufende Entitäten an



- Anzeige statistischer Daten:

Übersicht über Entities auch durch Anzeige von Anzahlen

SimEvent-Blöcke enthalten Parameter-Seite *Statistics*

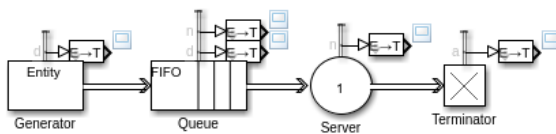
darunter diverse Anzahlen, z. B.

- d = Zahl der Entitäten, die einen Block verlassen haben
- n = Zahl der Entitäten innerhalb eines Blocks
- a = Zahl der Entitäten, die einen Block betreten haben

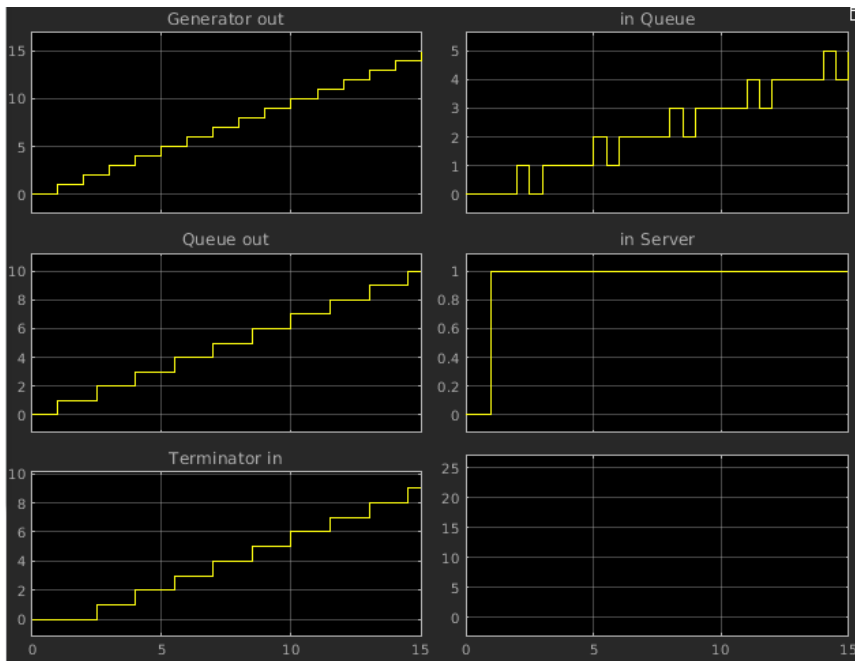
zur bequemen Anzeige in Viewer Umwandlung der Signale von **event-driven** in **time-driven** nötig

- Trick: automatisch durch Gain-Block mit Faktor 1
- zur Verschönerung: Gain-Block in Subsystem versteckt

Modell `singleserver1B`



Ergebnisse



- Kennzahlen aus Simulation (singleserver1C):

Daten direkt aus Statistics der Blöcke

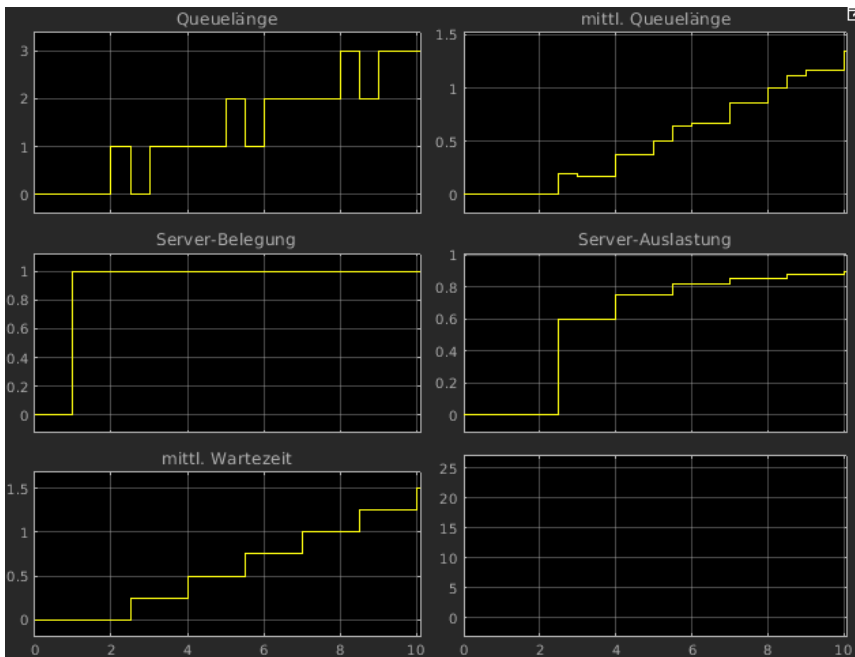
Queue

- n = Queuelänge
- l = mittlere Queuelänge
- w = mittlere Wartezeit in der Queue

Server

- n = Zahl der bedienten Entitäten = Aktivität
- $util$ = Auslastung

Ergebnisse



passt mit manueller Auswertung zusammen

Plot der mittleren Wartezeit → nur fertige Entitäten werden gezählt

- Stochastische Modelle:

Zeiten (Ankunft, Bedienung) häufig stochastisch

typische Verteilungen für Zeitabstand beim Ankunftsprozess

- Exponential, Erlang, empirisch

typische Verteilungen für Bedienzeiten

- Exponential, Weibull, Normal, empirisch

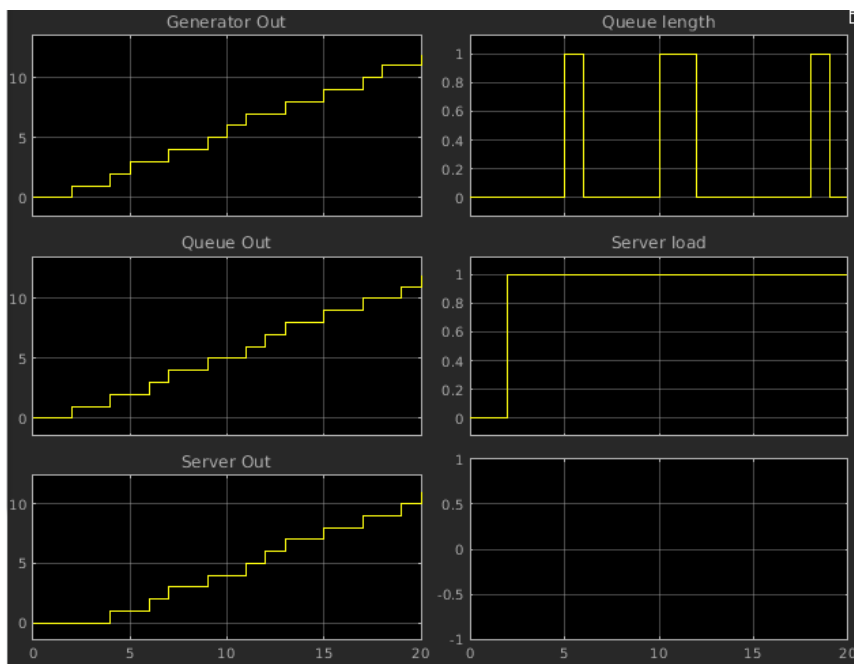
- Einfaches stochastisches Modell:

Ankunftszeiten und Bedienzeiten jeweils 1s oder 2s mit gleicher Wahrscheinlichkeit

Modell `singleserver2A`

- Generator/Entity generation/Time source: Matlab action
- Intergeneration time action: `dt = randi(2);`
- Server/Main/Service time source: Matlab action
- Service time action: `dt = randi(2);`

Ergebnis



Analyse

- wirkt auf den ersten Blick ok: Zeiten zwischen Events wechseln zufällig
- seltsam: `Server load = 1` konstant, bei Zufall müsste Server auch mal warten
- genauer hinsehen: Zeitintervalle bei `Generator Out` und `Server Out` gleich!

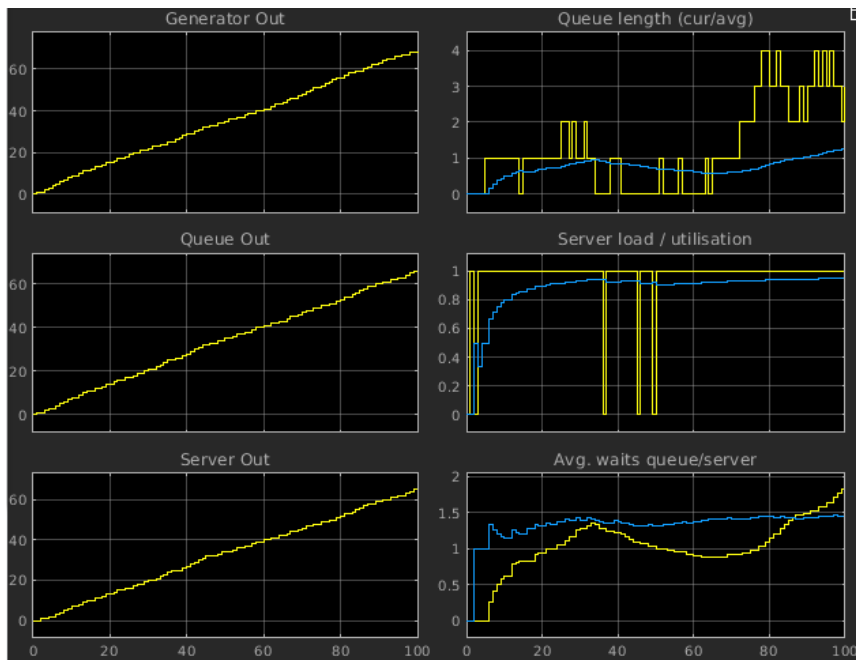
Ausgabe der Zufallszeiten mit `fprintf` (landet im Warnungs-Fenster)

- Ergebnis: Werte in `Generator` und `Server` sind identisch
- Ursache: Event actions werden nach C übersetzt, bekommen jeweils eigenen `rand`-Aufruf

Abhilfe: jeweils mit verschiedenen Seeds initialisieren (`singleserver2B`)

```
seed = 1; % bzw. = 2 bei Server
persistent isSeedSet;
if isempty(isSeedSet)
    rng(seed);
    isSeedSet = true;
end
dt = randi(2);
```

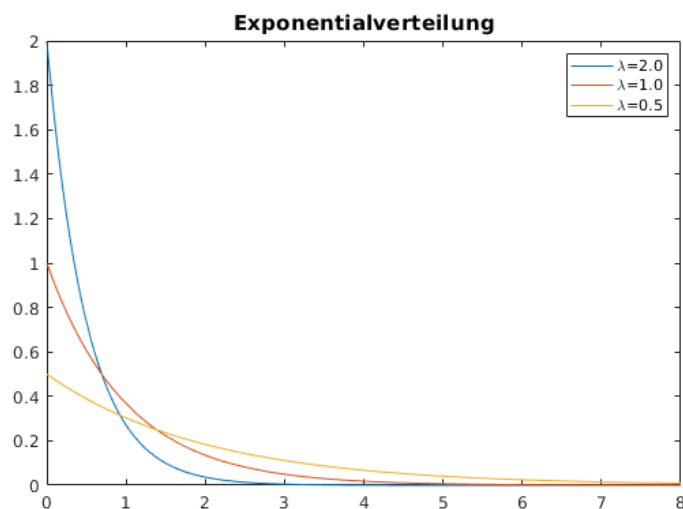
Ergebnis für längere Zeit



- Exponentialverteilung $Ex(\lambda)$:

Parameter $\lambda > 0$, mittlere Zahl von Ereignissen pro Zeit

Dichtefunktion



Erwartungswert $E(X) = 1/\lambda$

Anwendung

- Lebensdauer eines Geräts (ohne Alterung)
- Wartezeit bis zum nächsten Schadensfall
- Zeit bis zum nächsten radioaktiven Zerfall

- Standardmodell $M|M|1$ (singleserver3A):

Zeit zwischen zwei ankommenden Entitäten $\sim Ex(\lambda)$

Bedienzeit $\sim Ex(\mu)$

Modell in SimEvents analog singleserver2B

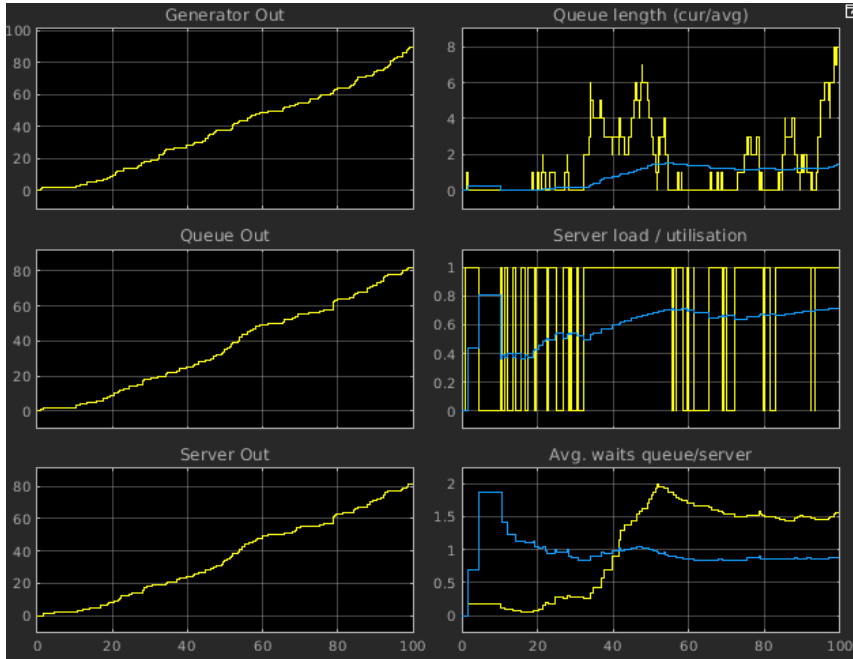
- Berechnung der Intergeneration time

```
dt = -(1/lambda)*log(rand());
```

- Berechnung der Service time

```
dt = -(1/mu)*log(rand());
```

Ergebnisse für $\lambda = 1, \mu = 1.2$

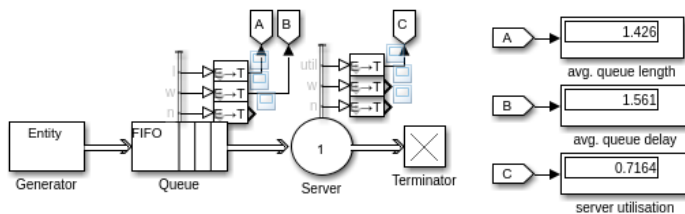


• Auswertung der Simulationsergebnisse (singleserver3B):

theoretische Ergebnisse bei $\lambda = 1, \mu = 1.2$

- $L_Q = 4.1667$
- $W_Q = 4.1667$
- $A = 0.8333$

am einfachsten Endergebnisse im Modell direkt anzeigen



Ergebniswerte sind viel zu klein!

bessere Ergebnisse durch längere Laufzeit

T	L_Q	W_Q	A
100	1.426	1.561	0.7164
1000	3.879	3.948	0.8286
10000	4.921	4.941	0.8471
1e5	4.207	4.228	0.8312
1e6	4.291	4.289	0.8359
1e7	4.185	4.186	0.8333

- zur Beschleunigung: kein Osci und Decimation=1e5 bei Displays

Analyse

- Konvergenz *sehr* langsam
- Ursache: große Schwankungen, z. B. für T = 10000



- Queuelänge wächst bis 33, ist aber auch immer wieder 0

- Aufgaben:

Aufgabe 103

- 🔦 Aufgabe 1
- 🔦 Aufgabe 3
- 🔦 Aufgabe 4
- 🔦 Aufgabe 5
- 🔦 Aufgabe 6
- 🔦 Aufgabe 7
- 🔦 Aufgabe 12
- 🔦 Aufgabe 100
- 🔦 Aufgabe 13
- 🔦 Aufgabe 14
- 🔦 Aufgabe 15
- 🔦 Aufgabe 16
- 🔦 Aufgabe 17
- 🔦 Aufgabe 18
- 🔦 Aufgabe 19
- 🔦 Aufgabe 101
- 🔦 Aufgabe 21
- 🔦 Aufgabe 22
- 🔦 Aufgabe 102
- 🔦 Aufgabe 23
- 🔦 Aufgabe 24
- 🔦 Aufgabe 25
- 🔦 Aufgabe 26
- 🔦 Aufgabe 27
- 🔦 Aufgabe 103
- 🔦 Aufgabe 28
- 🔦 Aufgabe 32

Aufgabe 1



- Erstellen Sie je ein Modell, das die Funktionen

a. $f_1(t) = 2 \sin(4t - 1)$

b. $f_2(t) = \cos(3t) \exp(-0.3 t)$

und ihre Ableitungen als Zeitfunktionen (in einem Oszilloskop-Block) sowie als Phasenplot (dx/dt über x) darstellt.

Aufgabe 3



- Erzeugen Sie ein Modell, das das Integral der Funktion

$$f(t) = \sin(3t)e^{-t}$$

von $t = -1$ an berechnet und bis $t = 6$ graphisch darstellt sowie das Endergebnis numerisch anzeigt.

Aufgabe 4



- Simulieren Sie die Bewegung eines gedämpften Schwingers, der gegeben ist durch die Gleichung

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

- Vergleichen Sie die Ergebnisse für $\omega_0 = 2/s$ und $\delta = 1/s, 2/s, 3/s$. Wann kommt die Bewegung am schnellsten zur Ruhe?

Aufgabe 5



- Ersetzt man das lineare Kraftgesetz der Feder beim angeregten gedämpften Oszillator durch

$$F(x) = -x^3 + kx$$

erhält man den Duffing-Oszillator. In geeigneten Einheiten wird er durch folgende Differentialgleichung beschrieben:

$$\ddot{x} + b\dot{x} + x^3 - kx = A \cos(\omega t)$$

Untersuchen Sie die Eigenschaften dieses Systems im Orts- und Phasenraum (\dot{x} über x) für verschiedene Parameterwerte. Messen Sie die Simulationsdauer bei verschiedenen Solvern für $A = 1$, $\omega = 1$, $k = 1$ und $b = 1, 10, 100, 1000$.

- Hinweise:

Die Laufzeit eines Matlab-Kommandos kann man messen mit

```
tic; MATLAB-KOMMANDO; toc
```

Das Simulink-Modell ex5.mdl kann man statt über den Menüpunkt *Simulation/Start* auch von der Matlab-Kommandozeile aus starten mit

```
sim("ex5");
```

Parameterwerte in Simulink können Matlab-Variable enthalten → b in Matlab setzen bzw. ändern

Aufgabe 6



- Das Lorenzmodell entstand aus dem Versuch, möglichst einfache Gleichungen zu finden, die aber die Struktur von grundlegenden atmosphärischen Wetterphänomenen noch widerspiegeln. Es ist gegeben durch die Gleichungen

$$\dot{x} = a(y - x)$$

$$\dot{y} = -xz + bx - y$$

$$\dot{z} = xy - cz$$

Die Größe x beschreibt das Geschwindigkeitsprofil der erwärmten Luft, y und z die Temperaturverteilung.

- Erstellen Sie ein Simulink-Modell mit drei Integratoren, untersuchen Sie seine Lösungen für die Parameterwerte

$$a = 10, b = 28, c = 2.667$$

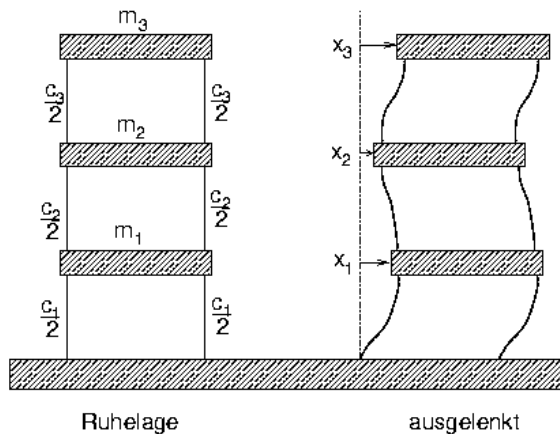
und stellen Sie die dreidimensionale Bewegung $(x(t), y(t), z(t))$ graphisch dar.

- Erzeugen Sie ein alternatives Modell, das auf einem 3d-Zustandsvektor aufbaut und nur einen Integrator einsetzt.

Aufgabe 7



- Simulieren Sie die Schwingungen eines Hauses mit 3 Etagen:



Die Bewegungsgleichungen dafür lauten

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)x_1 - c_2 x_2 &= 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_2 x_1 + (c_2 + c_3)x_2 - c_3 x_3 &= 0 \\ m_3 \ddot{x}_3 - c_3 x_2 + c_3 x_3 &= 0 \end{aligned}$$

Die Werte für die Massen und Steifigkeiten betragen

$$m_1 = m_2 = 6 \text{ t}, m_3 = 1 \text{ t}$$

$$c_1 = c_2 = 3 \text{ c}, c_3 = c = 10^6 \text{ N/m}$$

- Bestimmen Sie die Schwingungen der einzelnen Etagen, wenn die Anfangsgeschwindigkeit des obersten Geschosses $v_3(0) = 10 \text{ m/s}$ beträgt.
- Durch Schwingungen des Bodens wirkt auf die unterste Etage des Gebäudes eine äußere Anregung $F_1(t)$. Dadurch ändert sich die erste Bewegungsgleichung zu

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)x_1 - c_2 x_2 = F_1(t)$$

Nehmen Sie als Anregung $F_1(t)$ eine einfache Sinusschwingung der Amplitude 10^3 N an und untersuchen Sie die Schwingungsformen des Gebäudes für die Anregungsfrequenzen $\omega = 1.2/\text{s}, 12/\text{s}, 120/\text{s}$ (bei verschwindenden Anfangsbedingungen).

- Nehmen Sie schließlich eine realistischere Anregungsform, z.B. eine abklingende, etwas verrauschte Erdbebenwelle.
- Tipp: Schreiben Sie die Bewegungsgleichung in Matrixform

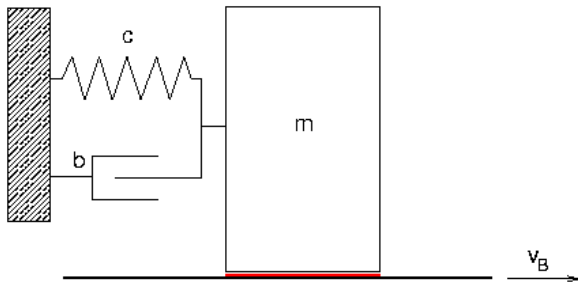
$$\mathbf{M}\ddot{\vec{x}} + \mathbf{C}\vec{x} = \vec{F}(t)$$

mit der Massenmatrix \mathbf{M} und der Steifigkeitsmatrix \mathbf{C} .

Aufgabe 12



- Schwingfähige Systeme, die durch eine konstante Bewegung über einen Gleitreibungsmechanismus angetrieben werden, treten häufig auf [6, 12], z.B.
 - schwingende Violine
 - kreisende Bremsen
 - am Boden gerückter Tisch
 - spanende Bearbeitung
- Ein einfaches Modell dafür ist ein Feder-Masse-System auf einem Band, das sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt:



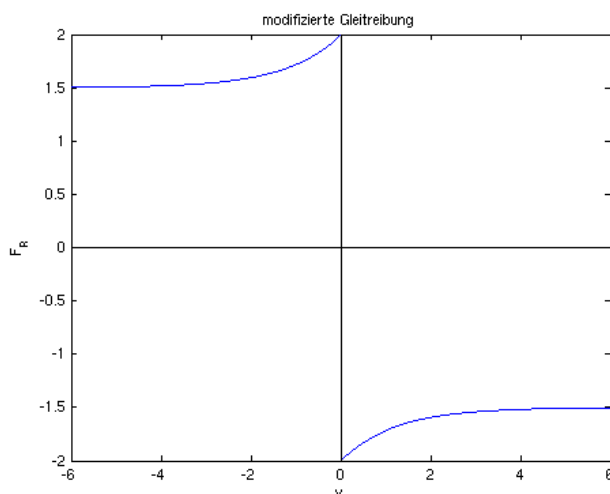
mit der Bewegungsgleichung

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_R(\dot{x} - v_B)$$

a) Verwenden Sie den maskierten Haft-Gleit-Block (vgl. haftgleitmask) und simulieren Sie das System für folgende Werte:

- $m = 1$ kg
- $c = 10$ N/m
- $b = 0.1$ kg/s
- $v_B = 1$ m/s
- $\mu_g = 0.8$
- $\mu_h = 1.2$

b) Ein realistischeres Modell für Haft- und Gleitreibung enthält statt des Sprungs bei $v = 0$ von Gleit- zu Haftreibung einen exponentiellen Übergang:



Hier gilt für die Gleitreibung die Beziehung

$$F_R(v) = -\text{sign}(v) F_N [\mu_g + (\mu_h - \mu_g)e^{-|v|/v_0}]$$

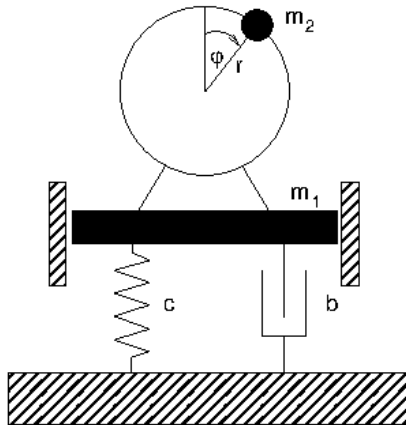
Ändern Sie den Reibungsblock entsprechend und wählen Sie $v_0 = 1$ m/s

Vergleichen Sie die Ergebnisse mit dem Fall a.

Aufgabe 100



- Simulieren Sie das Verhalten einer schwingenden Masse, die durch eine Unwucht erregt wird:



- Werte: $m_1 = 100 \text{ kg}$, $c = 1600 \text{ N/m}$, $b = 40 \text{ Ns/m}$, $m_2 = 1 \text{ kg}$, $r = 0.1 \text{ m}$
 - m_1 = gesamte schwingende Masse, incl. m_2
- Die Unwucht werde durch einen Motor angetrieben, so dass sich $\varphi(t)$ ergibt. Dann lautet die Bewegungsgleichung

$$m_1 \ddot{x}_1 + b \dot{x}_1 + cx = F_{ext}(t) = m_2 r (\dot{\varphi}^2 \cos \varphi + \ddot{\varphi} \sin \varphi)$$

- a. Untersuchen Sie zunächst die erzwungene Schwingung bei konstanter Winkelgeschwindigkeit, also

$$\varphi(t) = \omega t$$

für verschiedene Werte von ω .

- b. Untersuchen Sie nun das Anstartverhalten bei konstanter Winkelbeschleunigung $\alpha = 0.1 \cdot 1/s^2$, also

$$\varphi(t) = \frac{1}{2} \alpha t^2$$

- Lösung

Aufgabe 13



- Erweitern Sie die Regelungsbibliothek um eine Regelstrecke für die Innentemperatur eines Hauses mit der Heizleistung als Stellgröße und der Außentemperatur als weiterem Eingang. Fügen Sie außerdem einen einfachen Zweipunktregler hinzu, der bei positiver Regeldifferenz einen festen Ausgangswert ausgibt, sonst den Wert 0.
- Untersuchen Sie in einem Regelkreis das Aufheizen des Hauses sowie das Verhalten bei sinkender Außentemperatur T_a .

Aufgabe 14

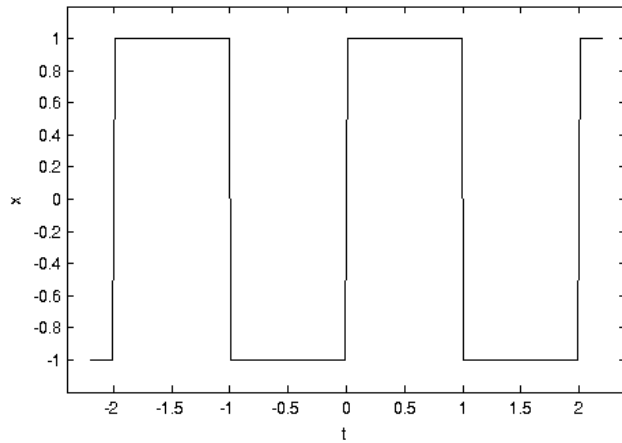


- Erstellen Sie ein Modell für die Abstandsregelung eines PKWs mithilfe eines Fuzzy-Reglers. Geben Sie zum Testen die Geschwindigkeit eines Vorderfahrzeugs als zeitabhängige Funktion vor.

Aufgabe 15



- Benutzen Sie die Matlab-Funktion `integral` zur Berechnung der ersten zehn Fourierkoeffizienten a_i , b_i der Rechteckfunktion.



- Überprüfen Sie das Ergebnis, indem Sie die 10 Schwingungen in Matlab explizit addieren und plotten.

Aufgabe 16



- a. Bestimmen Sie mit Matlab das Amplitudenspektrum der Funktion

$$f(t) = 2 \sin\left(3 \frac{1}{s} t\right) - 5 \cos\left(5 \frac{1}{s} t - 2\right) + \sin\left(25 \frac{1}{s} t\right)$$

Wählen Sie die Zeitauflösung so groß, dass Frequenzen bis zu 6 Hz aufgelöst werden können.

- b. Addieren Sie Rauschen der Amplitude 2.5 mit Hilfe der Funktion `rand`. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit a.
- c. Experimentieren Sie mit den Werten für T und Δt . Ändern Sie insbesondere die Zeitauflösung so, dass die Grenzfrequenz nur noch etwa 3 Hz beträgt und interpretieren Sie das Ergebnis.

Aufgabe 17



- Konstruieren Sie einen Simulink-Block, der die Erregerfunktion des Beispielsmodells `schwingproblem` möglichst gut nachbildet.

Aufgabe 18

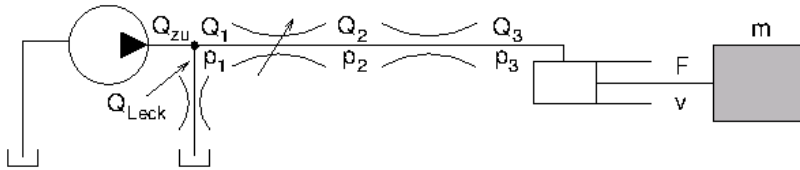


- a. Bestimmen Sie für das Hochhaus aus **Aufgabe 7** die Eigenfrequenzen, indem Sie es geschickt anregen und seine Reaktion darauf untersuchen.
- b. Ermitteln Sie die Eigenfrequenzen mit Matlabs `eig`-Funktion und vergleichen Sie die Resultate mit den Ergebnissen aus a.

Aufgabe 19



- Erweitern Sie das Hydraulik-Modell um ein Drosselventil:



- Der Durchfluss wird beschrieben durch

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_1 = \alpha A \operatorname{sign}(p_1 - p_2) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_1 - p_2|}$$

Dabei ist A die (veränderliche) Fläche des Ventils und ρ die Dichte des Fluids. Die Durchflussziffer α beschreibt pauschal kompliziertere Strömungsphänomene, die Signums- und Betragsfunktion sorgen dafür, dass Flüsse in beide Richtungen korrekt behandelt werden.

- Simulieren Sie das Verhalten des Systems, wenn die Fläche von nahezu 0 auf den Maximalwert anwächst.

Aufgabe 101



- Die Bewegung eines Pendels (Masse $m = 1$, Länge $l = 1$) werde beschrieben durch zwei Koordinaten $x(t)$, $y(t)$, die die Nebenbedingung erfüllen müssen

$$x(t)^2 + y(t)^2 = 1$$

Zur Lösung führt man die Seilkraft Q ein (**Lagrange-Multiplikator**), die nötig ist, um die Masse auf der geforderten Kreisbahn zu halten:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= -Q_x \\ \ddot{y} &= -Q_y - g \\ x^2 + y^2 &= 1\end{aligned}$$

Da die Seilkraft längs des Seils wirkt, kann man schreiben

$$\vec{Q} = \begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \end{pmatrix} = \lambda \vec{r} = \lambda \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

und erhält damit die Bewegungsgleichungen

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= -\lambda x \\ \ddot{y} &= -\lambda y - g \\ 0 &= x^2 + y^2 - 1\end{aligned}$$

- Erstellen Sie ein Modell, das dieses Gleichungssystem mit Nebenbedingung löst.
- Zeigen Sie neben den x - und y -Koordinaten auch die Zwangskraft λ an sowie den Fehler in der Nebenbedingung.
- Hinweise:
 - Leiten Sie die Nebenbedingung zweimal nach der Zeit ab. Auf diese Weise erhalten Sie eine dritte Gleichung (neben den beiden DGLs), die die drei gesuchten Größen \ddot{x} , \ddot{y} und λ enthält. Eliminieren Sie die 2. Ableitungen durch Verwendung der anderen Gleichungen.
 - Konstruieren Sie analog zum Ausfluss-Beispiel eine algebraische Schleife, die alle drei Gleichungen simultan löst, und schicken Sie die Ergebnisse zurück in die nötigen Integratoren, um so auch die benötigten Werte \dot{x} , \dot{y} , x , und y zu erhalten.
- Lösung

Aufgabe 21



- Unterziehen Sie die von den Random-Blöcken erzeugten Pseudo-Zufallszahlen einigen Tests:
 - a. Haben gleichverteilte Zufallszahlen den richtigen Mittelwert?
 - b. Verteilen sich gleichverteilte Zufallszahlen gleichmäßig auf ihr Intervall? Zerlegen Sie das Intervall dazu in fünf Teile.
 - c. Entspricht die Verteilung normalverteilter Zufallszahlen der erwarteten Glockenkurve?

Aufgabe 22



- In [37] wird ein einfaches Modell für die Ausbreitung einer Infektionskrankheit beschrieben: Man teilt die Bevölkerung in vier Gruppen ein, deren Größe jeweils durch eine Zustandsgröße beschrieben wird:

N	gesund, nicht immun
A	infiziert und ansteckend, aber noch nicht krank
K	krank
I	gesund und immun

- Änderungen in der Gruppenzugehörigkeit geschehen durch Geburt b , Ansteckung a , Erkrankung k , Gesundung g und Tod t ; sie werden modelliert durch

$$b = b_0$$

$$a = \alpha(A + K)N$$

$$k = \beta A$$

$$g = \gamma K$$

$$t = \delta K$$

mit folgenden Parameterwerten:

Geburtenzahl	$b_0 = 5000$
Ansteckungsrate	$\alpha = 2 \cdot 10^{-6}$
Erkrankungsrate	$\beta = 1$
Gesundungsrate	$\gamma = 0.9$
Sterberate	$\delta = 0.1$

- Geht man von einer Zeitentwicklung in festen Takten (Zeiteinheiten) aus, lauten die Entwicklungsgleichungen

$$N(k + 1) = N(k) + b - a$$

$$A(k + 1) = A(k) + a - k$$

$$K(k + 1) = K(k) + k - g - t$$

$$I(k + 1) = I(k) + g$$

- Implementieren Sie das Modell und studieren Sie die Entwicklung für die Anfangswerte

$$N(0) = 1 \cdot 10^6, A(0) = 1, K(0) = 0, I(0) = 0.$$

- Ersetzen Sie die feste Geburtenzahl durch eine entsprechende Rate und berücksichtigen Sie natürliche (nicht krankheitsbedingte) Tode.
- Sorgen Sie dafür, dass alle Gruppengrößen ganzzahlig sind und führen Sie zufällige Schwankungen bei den Raten ein.

Aufgabe 102



- Erweitern Sie das Modell `epidemie2B` von **Aufgabe 22 b** um eine Impfung, die ab $t = t_0$ in jedem Schritt (Tag) eine feste Anzahl $V = v \cdot N_0$ aus der Gruppe der Nicht-Immunen direkt in die Gruppe der Immunen bringt, bis die Zahl der Nicht-Immunen eine vorgegebene Schwelle $N_{\min} = v_u \cdot N_0$ unterschreitet.
- Geben Sie folgende Kurven aus:
 - Zahl der Infizierten ($A + K$)
 - Zahl der Immunen
 - Zahl der an der Krankheit gestorbenen (insgesamt)
- Werte:
 - Anfangszahl der Nicht-Immunen $N_0 = 1e6$
 - tägliche Impfquote $v = 0.005$
 - Anteil der Impf-Unwilligen $v_u = 0.2$
 - Startpunkt der Impfungen $t_0 = 200$
- [Lösung](#)

Aufgabe 23



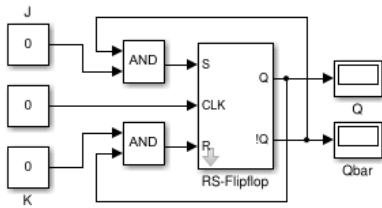
- Entwickeln Sie ein Modell für einen Cola-Automaten, der am Münzeinwurf Münzen von 10 und 50 Cent und 1 Euro annimmt. Sobald die eingeworfene Summe den Betrag von 2.20 Euro übersteigt, sollen eine Dose und das Restgeld ausgegeben werden.

Fügen Sie noch ein einfaches Modell für einen Kunden hinzu, der Münzen eingibt, und simulieren Sie das Ganze.

Aufgabe 24



- Um die "verbotene" Situation beim RS-Flipflop zu verhindern, erweitert man es zum JK-FlipFlop, indem man die Ausgänge überkreuz mit den Dateneingängen verbindet



Setzt man seine Dateneingänge J und K beide auf 1, schaltet es seinen Zustand bei jedem Taktimpuls hin und her.

- Damit kann man einen einfachen Zähler aufbauen: Man verbindet einen Ausgang mit dem Takteingang des nächsten Flipflops und interpretiert die Q-Ausgänge als Binärziffern. Nachteil dieses **Asynchrone**Zählers: Die Schaltzeiten der Flipflops addieren sich. Daher baut man **Synchrone**Zähler, bei denen alle Flipflops denselben Takt bekommen und die Umschaltung durch geschickt gewählte Logikbausteine gesteuert wird.
- Erweitern Sie das RS-Flipflop zum JK-Flipflop und erstellen Sie damit
 - einen asynchronen Vorwärtszähler,
 - einen synchronen Vorwärtszähler,
 - einen synchronen Rückwärtszähler,
 - einen synchronen Vorwärts-/Rückwärtszähler, dessen Zählrichtung durch einen zusätzlichen Eingang bestimmt wird.

Aufgabe 25



- Erstellen Sie ein Fahrstuhlmodell, das die Motorsignale und die Türsteuerung als Eingang bekommt und die Sensorsignale P_1 und P_2 ausgibt. Schön wären noch zusätzliche Ausgaben für die Höhe des Fahrstuhls und den "Öffnungsgrad" der Tür.
- Verbinden Sie anschließend Steuerungs- und Fahrstuhlmodell und überprüfen Sie die Funktionalität.

Aufgabe 26



- Verbessern Sie den Haft-/Gleitreibungsblock aus Kap. 5, so dass er die Umschaltung zwischen Haft- und Gleitreibung wirklich genau bei $v = 0$ vornimmt.

Aufgabe 103



- a. Herr Dr. Pünktlich behandelt Patienten nur nach Terminvereinbarung, Termine sind im Abstand von 10 Minuten von 8 Uhr bis 10:50 Uhr. Es werde angenommen, dass alle Patienten pünktlich kommen. Die Behandlungszeit beträgt im Schnitt ebenfalls 10 min, ist aber exponentiell verteilt.

Untersuchen Sie die durchschnittliche Wartezeit eines Patienten, die maximale Wartezimmerbelegung, die Auslastung des Arztes und den Überhang (Arbeitszeit nach 11 Uhr). Führen Sie dazu 100 Läufe für je einen Tag durch und bestimmen die Mittelwerte.

- b. In der Praxis seiner Kollegin Frau Dr. Locker kommen Patienten unangemeldet, im Schnitt alle 10 min mit exponentiell verteilten Zeitabständen. Einlass ist ebenfalls von 8:00 Uhr bis 10:50 Uhr. Berechnen Sie die gleichen Kennwerte wie in a. und vergleichen Sie die Ergebnisse. Geben Sie auch die Anzahl behandelter Patienten an.

- [Lösung](#)

Aufgabe 27



- Erweitern Sie das `poisson`-Modell um eine Kasse, an der Kunden zufällig eintreffen, aber alle mit einer festen Bearbeitungszeit abgefertigt werden.

Aufgabe 28



- Erzeugen Sie einen Block, der seinen (positiven) Eingangswert als farbigen Balken veränderlicher Länge in seinem Icon anzeigt. Dabei soll der Bereich oberhalb eines Schwellwerts - ähnlich wie bei einer Aussteuerungsanzeige - in einer anderen Farbe dargestellt werden.

Aufgabe 32



- Ersetzen Sie im Modell `kasse1` aus [Aufgabe 27](#) den Block für den Poisson-Puls durch die in diesem Abschnitt erstellte verbesserte Version.