

**Aufgabenstellung:**

Für eine neue Insulintherapie soll untersucht werden, mit welchem zeitlichen Verlauf von Insulininfusionen ein optimaler Verlauf der Blutglukose im Patienten erreicht werden kann. Dazu müssen auch die Parameter des untersuchten (gesunden) Patienten ermittelt werden.

**Annahmen:**

Der Patient gehorcht dem 'Minimalen Modell' [1] :

$$\dot{G}(t) = -p_1 G(t) - X(G(t) + G_B) + P(t)$$

$$\dot{X}(t) = -p_2 X(t) + p_3 I(t)$$

$$\dot{I}(t) = -n(I(t) + I_B) + \frac{u(t)}{V_1}$$

Mit den Zustandsgrößen:

$G$	Glukosegehalt im Plasma (Blutglukose) in mmol/L
$I$	Gehalt des infundierten Insulin im Plasma in mIE/L
$X$	Wirksamkeit des infundierten Insulin in 1/min

und den Eingangsgrößen:

$P$	Zufuhr rate der Glukose in mmol/L/min
$u$	Insulininfusionsdosis rate in in mIE/min

**Achtung:** Dabei sind alle Zustandsgrößen  $G$ ,  $X$  und  $I$  als Abweichungen zum jeweiligen Arbeitspunkt anzusehen ( $G_B$  und  $I_B$  sowie die Insulininfusionsdosis rate  $u_B$ ; der Arbeitspunkt für  $X$  ist damit natürlich 0. Die etwas seltsame Einheit der Zufuhr rate der Glukose ergibt sich aus der eigentlichen Infusionsdosis rate durch eine Umrechnung auf ein Verteilungsvolumen, diese soll hier aber aus Gründen der Einfachheit vernachlässigt werden.)

**Daten:**

Konstante Parameter der DGL:	$p_1$	=	0.028 1/min
	$p_2$	=	0.025 1/min
	$p_3$	=	0.000013 L/mIE/min <sup>2</sup>
	$G_B$	=	4.5 mmol/L
	$I_B$	=	15 mIE/L
	$u_B$	=	16.67 mIE/min

**Literatur:**

[1] A Semiclosed-Loop Algorithm for the Control of Blood Glucose Levels in Diabetics; Fisher, M.E.; IEEE Trans. Biomed. Eng., Jahrgang 38, Nr. 1, Januar 1991

**Teilaufgaben**

- 1a) Beschreiben Sie kurz das System, den Prozess, definieren Sie die Ein-/Ausgänge des Systems. *<2 Punkte>*
- 1b) Erstellen Sie einen Wirkungsplan (*keinen* Ausdruck einer Simulink-Simulation!!) für das Minimale Modell des Insulinhaushalts I des Patienten. (Vernachlässigen Sie dabei zunächst  $X$  und  $G$ !) *<3 Punkte>*
- 1c) Um die Parameter  $V_1$  und  $n$  für den untersuchten Patienten zu bestimmen, wurde eine sprunghörmige Änderung der Insulininfusionsdosisrate vorgenommen:

$$u_B \rightarrow u_B + 2 \text{ mIE min}^{-1}$$

Der Verlauf des infundierten Insulin im Plasma ist in Abbildung 1 dargestellt. Ermitteln Sie daraus die Parameter  $V_1$  und  $n$  des Patienten und dokumentieren Sie Ihre Herangehensweise. *<8 Punkte>*

- 1d) Ermitteln Sie die konstante Insulininfusionsdosisrate  $u$ , mit der die Wirkung einer Änderung der Zufuhrate der Glukose  $P$  von 0 mmol/L/min auf 0.2 mmol/L/min auf die Blutglukose  $G$  stationär ausgeglichen werden kann. Dokumentieren Sie Ihre Herangehensweise. *<5 Punkte>*

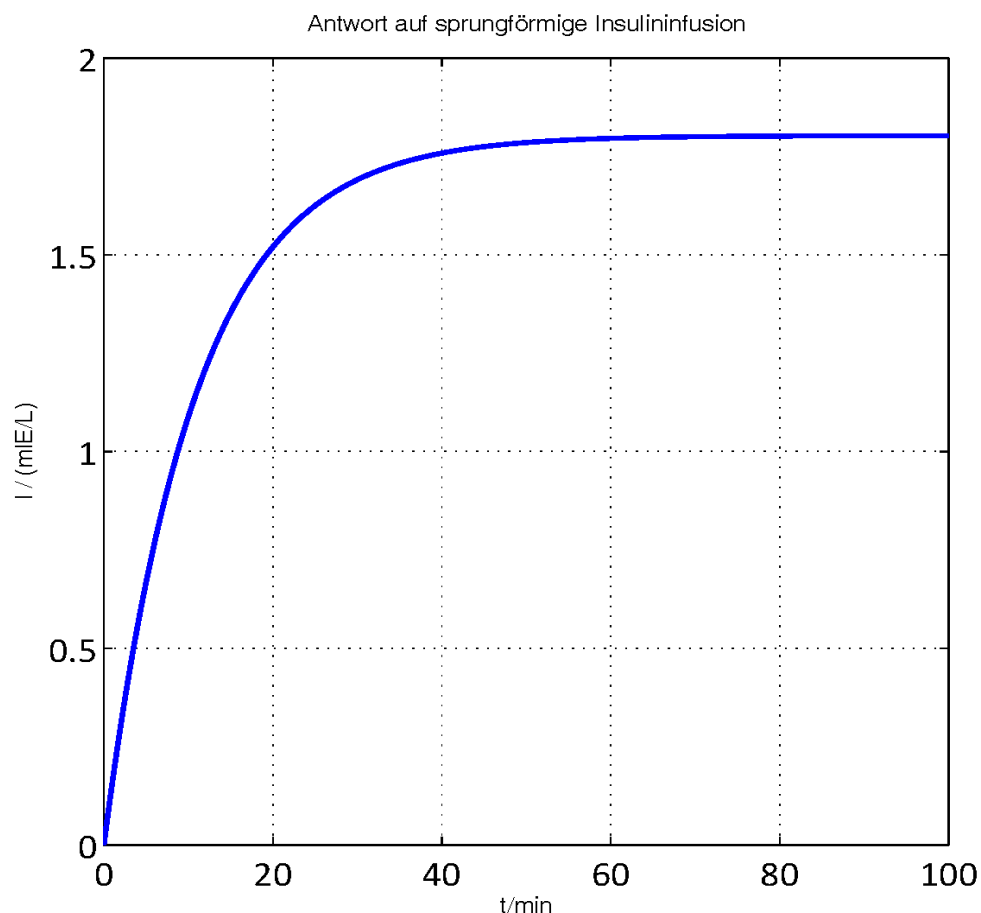


Abbildung 1: Reaktion auf sprunghörmige Änderung der Insulininfusion

- 2) Erstellen Sie eine Simulink-Simulation für den Glukose-Insulin-Stoffwechsel des Patienten, mit dem sprungförmige Änderungen von Glukoseinfusion und Insulininfusionsdosisrate simuliert werden können und zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe von  $G$ ,  $X$  und  $I$  für folgende Sprünge und einen Zeitraum von 6 h auf:

- sprungförmige Änderung der Zufuhr rate der Glukose  $P$  von 0 mmol/L/min auf 0.2 mmol/L/min
- sprungförmige Änderung der Insulininfusionsdosis rate  $u(t)$  von 16.67 mIE/min auf 6.67 mIE/min

<12 Punkte>

- 3) Nun sollen Sie einen optimalen zeitdiskreten Infusionsverlauf der Insulininfusionsdosis rate ermitteln, wenn die dem Patienten zugeführte Dosis rate jede Stunde variiert werden kann. Als zu minimierendes Kostenkriterium gilt:

$$J(\mathbf{u}) = \int_0^{6h} G(t)^2 dt$$

wobei der Vektor  $\mathbf{u} = [u(0h), u(1h), \dots, u(5h)]$  in den Komponenten die für jeweils eine Stunde konstanten Insulininfusionsdosis rates enthält. Die maximal zulässige Insulininfusionsdosis rate beträgt dabei 500 mIE/min. Dokumentieren Sie Ihre Herangehensweise an das Problem und zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe von  $u(t)$ ,  $G$ ,  $X$  und  $I$  für einen Zeitraum von 6 h auf. Wie groß ist der Wert des Kostenkriteriums? Wie groß sind die optimalen Werte für die Infusion:

$$\mathbf{u} = [u(0h), u(1h), \dots, u(5h)]$$

*Hinweis:* Sie können diese Aufgabe in MATLAB oder unter Verwendung der Simulink-Simulation lösen. Höchstwahrscheinlich ist es am einfachsten, mit einem Integrationsalgorithmus mit fester Schrittweite zu simulieren, weil Sie dann den zeitlichen Verlauf von  $u(t)$  unmittelbar vorgeben können.

<20 Punkte>

### **Zusatzaufgabe (5 Punkte):**

Sowohl bei der Modellerstellung als auch bei der Optimierung ist es relativ leicht möglich, dass sich Fehler einschleichen.

Überprüfen Sie, ob Ihr Modell zumindest in etwa den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht. <3 Punkte>

Überprüfen Sie, ob das Optimierungsergebnis nicht durch einen verfrühten Abbruch des Optimierungsverfahrens eine unsinnige Lösung gefunden hat. <2 Punkte>

**Folgende Festlegungen sind zwingend:**

- 1) Auf allen Ausarbeitungen und Files ist der **Header** - wie folgt - vorne an zu stellen:

**MFB420-ModSim-WS2009-Projekt2**

**Aufgabe 2 - Gruppe xx**

<i>Stud.Nr.</i>	<i>Name</i>	<i>Vorname</i>	<i>Mat.Nr.</i>	

Bitte soviel Zeilen anfügen wie die Gruppe xx Teilnehmer hat. Aufgabe und Gruppe richtig stellen.

- 2) Eine Gruppe xx hat maximal 3 Teilnehmer.  
Die Gruppenzuordnung bzw. Ihre Gruppen-Nr. xx ist dem Aushang zu entnehmen. Die Gruppenzuordnung kann nach dem Ausgabetermin nicht mehr geändert werden.
- 3) Wir erwarten eine **Ausarbeitung in Papierform**, einfach geklammert. Druckform oder Handschrift.  
Die Gliederung / Details finden Sie bei der Aufgabenstellung.  
Matlab- und Simulink Files sind auszudrucken und anzuhängen, siehe auch unten.  
Abgabe bitte in das Postfach Wallrapp gegenüber Dekanat. Termin siehe oben.  
Eine Gruppe gibt nur eine Ausarbeitung ab.
- 4) Bitte den / die Simulink-Aufrufe in das .m-File mit einbauen, so dass alles als **Batch-Lauf** genutzt werden kann. Das Batch-File muss laufen!!
- 5) Sind digitale Files abzugeben, ist folgende Namenskonvention jedes Files zwingend:  
*ModSim\_WS09\_Pro2\_Aufg2-Identifizier-yy.extension* (pdf, m, mw, etc.)  
*Identifizier* == *Name\_Vorname* / bei Gruppenarbeit *Identifizier* == *GruppenNr. xx*  
*yy* = 01, 02, 03 .... ist eine lfd. Nr. für Files mit identischer Extension falls erforderlich.

Alle Files in einem folder *ModSim\_WS09\_Pro2\_Aufg2-Identifizier* ablegen und zippen in  
*ModSim\_WS09\_Pro2\_Aufg2-Identifizier.zip*  
dann senden per Mail an *wallrapp@hm.edu* mit dem Stichwort/Subject =  
*ModSim\_WS09\_Pro2\_Aufg2-Identifizier*

- 6) Die Arbeit wird mit ca. 50 Punkten bewertet.  
Bei Gruppenarbeit lassen Sie bitte erkennen, wer in der Gruppe welchen Anteil erbracht hat.  
Das muss ich laut Prüfungsordnung fordern.  
Sind *n* Arbeiten identisch, so erhalten alle Kandidaten dieser Arbeiten nur *x/n* Punkte.