

Blutdruckwerte aus Langzeitmessung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Josef *BETTEN*
RWTH Aachen University
Mathematical Models in Materials Science and Continuum Mechanics
Augustinerbach 4-20
D-52056 A a c h e n , Germany
<betten@mmw.rwth-aachen.de>

Blutdruckwerte aus Langzeitmessungen unter alltäglichen Belastungen sind von grundlegender Bedeutung zur Behandlung von Herzpatienten. Gemessen werden in einem Zeitraum von 24 h *Systole-, Diastole-Werte* und *Herzfrequenzen*. Die entsprechenden Messdaten wurden von einer Arztpraxis in Aachen dem Autor zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden sind diese Daten aufgelistet und statistisch ausgewertet. Unterschieden wird zwischen Tag (von 9 - 23 Uhr) und Nachtruhe (von 23 - 6 Uhr). Zur grafischen Darstellung werden *kubische Splinefunktionen* benutzt. Die *Splineinterpolation* bietet wesentliche Vorteile gegenüber einer *LAGRANGE Interpolation*, die bei einer Vielzahl von Messpunkten zu starken Schwingungen neigt und somit keine geeigneten Ergebnisse liefert.

with(stats):

Warning, these names have been redefined: anova, describe, fit, importdata, random, statevalf, statplots, transform

Systole-Messwerte DATA

```
> DATA:=[9,120],[10,141],[11,139],[12,135],[13,134],[14,98],  
[15,149],[16,119],[17,124],[19,145],[20,118],[21,126],  
[22,114],[23,112],[24,110],[25,127],[26,112],[27,125],  
[28,116],[29,113],[30,122]:
```

Diastole-Messwerte data

```
> data:=[9,75],[10,78],[11,76],[12,92],[13,81],[14,69],  
[15,89],[16,78],[17,77],[19,94],[20,68],[21,70],[22,59],  
[23,71],[24,64],[25,84],[26,72],[27,78],[28,71],[29,71],  
[30,87]:
```

Herzfrequenz Hf

```
> Hf:=[9,85],[10,68],[11,63],[12,70],[13,73],[14,72],[15,72],  
[16,58],[17,50],[19,60],[20,63],[21,54],[22,58],[23,49],  
[24,51],[25,49],[26,48],[27,45],[28,50],[29,51],[30,67]:
```

Mittelwert über alle Systole-Werte (M) und Standardabweichung (S)

```
> DATAY:=[120,141,139,135,134,98,149,119,124,145,118,126,  
114,112,110,127,112,125,116,113,122]:
```

```
> M:=evalf(describe[mean](DATAY),4)*mmHg;
```

$M := 123.8 \text{ mmHg}$

```
> S:=evalf(describe[standarddeviation](DATAY),4)*mmHg;
```

$S := 12.61 \text{ mmHg}$

Mittelwert über alle Diastol-Werte (m) und Standardabweichung (s)

```
> datay:=[75,78,76,92,81,69,89,78,77,94,68,70,59,71,64,84,  
72,78,71,71,87]:
```

```
> m:=evalf(describe[mean](datay),4)*mmHg;
```

$m := 76.38 \text{ mmHg}$

```
> s:=evalf(describe[standarddeviation](datay),4)*mmHg;
```

$s := 8.843 \text{ mmHg}$

Mittelwert über alle Hf-Werte (hf) und Standardabweichung (hfs)

```
> Hfy:=[85,68,63,70,73,72,72,58,50,60,63,54,58,49,51,49,  
48,45,50,51,67]:
```

```
> hf:=evalf(describe[mean](Hfy),4)/min;
```

$hf := \frac{59.81}{\text{min}}$

```
> hfs:=evalf(describe[standarddeviation](Hfy),4)/min;
```

$hfs := \frac{10.53}{\text{min}}$

Zur Erzeugung von *Splinefunktionen* beliebigen Grades ist die MAPLE-Software unverzichtbar. Die folgenden *kubischen Splinefunktionen* für Systole [Sp(x)] und Diastole [sp(x)] sind aus Platzgründen nicht ausgedruckt. Man kann sie jedoch ausdrucken, wenn man die Doppelpunkte durch Semikola ersetzt.

```
> Sp(x):=Spline([DATA],x,degree=3):
```

```
> sp(x):=Spline([data],x,degree=3):
```

Grafische Darstellung der Ergebnisse

```
> with(CurveFitting):
```

```
> alias(H=Heaviside,th=thickness,co=color):
```

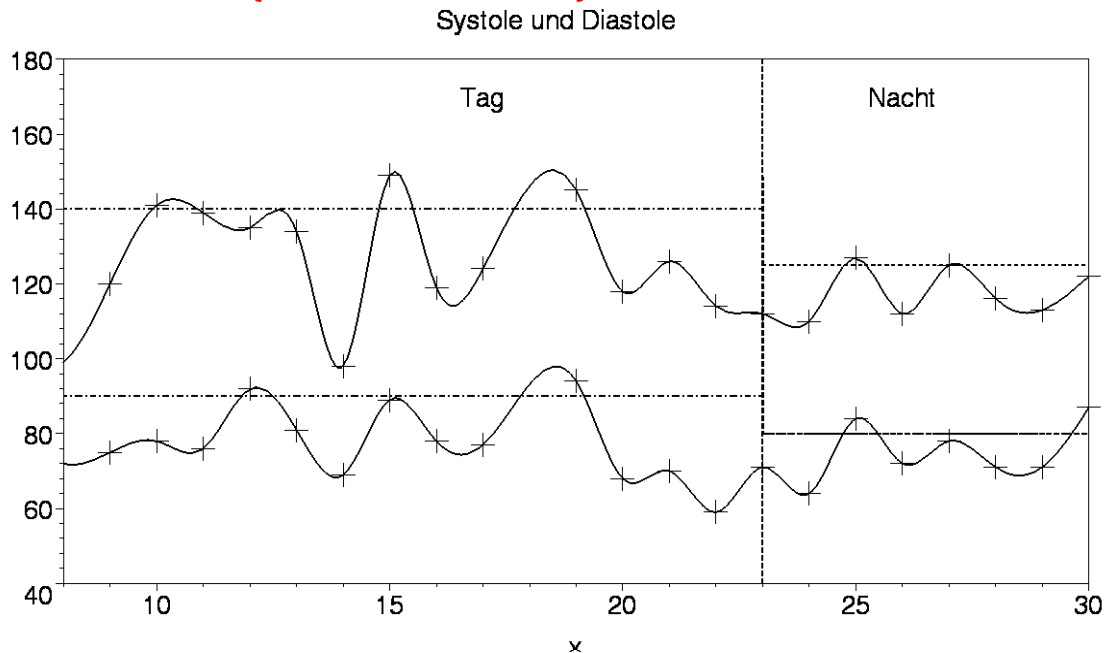
```
> p[1]:=plot({sp(x),Sp(x)},x=8..30,40..180,co=black,th=2):
```

```
> p[2]:=plot({[DATA],[data]},x=8..30,axes=boxed,  
style=point,symbol=cross,symbolsize=50,co=black):
```

```

[ > p[3]:=plot({140,90},x=8..23,linestyle=4,th=2,co=black):
[ > p[4]:=plot({125,80},x=23..30,linestyle=4,th=2,co=black,
[ ytickmarks=4):
[ > p[5]:=plot(180*H(x-22.99)-100*H(x-23.001),x=8..30,
[ linestyle=3, th=2,co=black,title="Systole und Diastole"):
[ > p[6]:=plots[textplot]({[17,170,`Tag`],[26,170,`Nacht`]}):
[ > plots[display]({seq(p[k],k=1..6)});

```



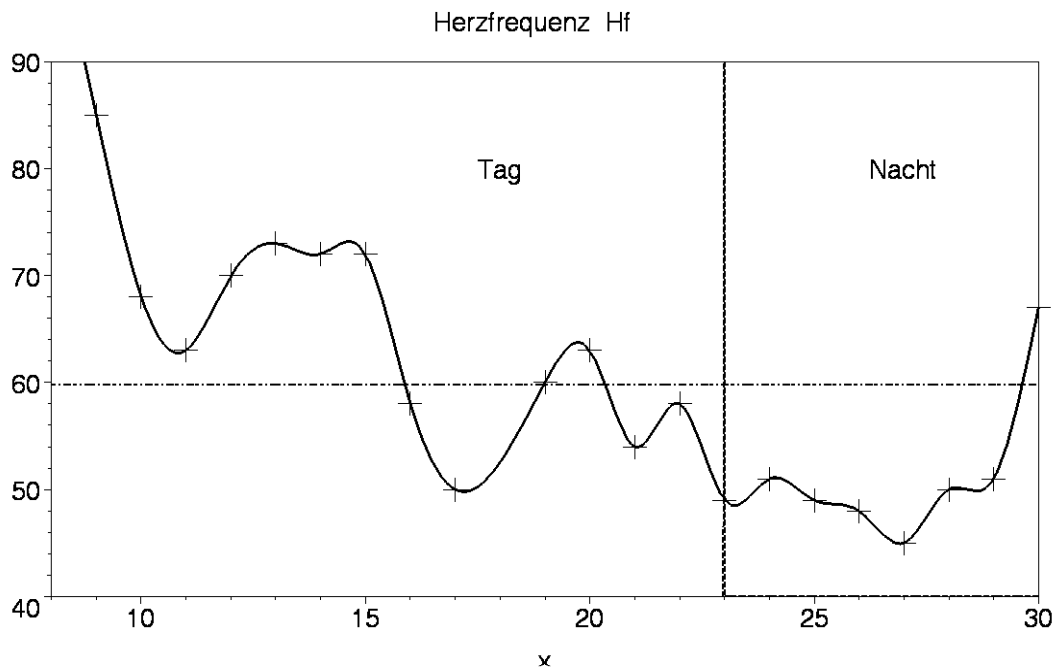
Gestrichelt eingezeichnet sind die Systole-Werte von 140 mmHg (Tag), 125 mmHg (Nacht), und die Diastole-Werte von 90 mmHg (Tag), 80 mmHg (Nacht), die nicht überschritten werden sollten.

Im nächsten Bild ist die Herzfrequenz dargestellt.

```

[ > SpHf(x):=Spline([Hf],x,degree=3):
[ > alias(H=Heaviside,th=thickness,co=color):
[ > p[1]:=plot([Hf],x=8..30,co=black,
[ style=point,symbol=cross,symbolsize=50,axes=boxed):
[ > p[2]:=plot(hf*min,x=8..30,linestyle=4,th=2,co=black):
[ > p[3]:=plot(SpHf(x),x=8..30,40..90,
[ th=3,co=black,title="Herzfrequenz Hf"):
[ > p[4]:=plot(90*H(x-22.98)-50*H(x-23.01),x=8..30,
[ linestyle=3,th=2,co=black):
[ > p[5]:=plots[textplot]({[18,80,`Tag`],[27,80,`Nacht`]}):
[ > plots[display]({seq(p[k],k=1..5)});

```



Die Nachtruhe (23 - 6 Uhr) ist in obigen Bildern durch $x = 23 - 30$ auf der Abszisse gekennzeichnet. Die gestrichelte Linie im letzten Bild stellt den Mittelwert $hf = 59.81$ [1/min] dar. Obige Bilder zeigen, dass die *Splineinterpolation* glatte Kurven liefert. Aufgrund der Vielzahl der vorliegenden Daten ist eine *LAGRANGE Interpolation* weniger geeignet. Die Bezeichnung *Spline* bedeutet *dünnes Brett*. Ein leicht biegsames Lineal wird an die Messpunkte gelegt. Somit kann eine glatte Kurve gezeichnet werden. Im MAPLE Application-Center unter dem Stichwort *LAGRANGE Interpolation* wird an einem Beispiel mit fünf Messpunkten gezeigt, dass sich die *Spline* Kurven mit wachsendem Grad immer stärker an das schwingende *LAGRANGE Polynom* anschmiegen. Im Grenzfall $\text{degree} \rightarrow \text{infinity}$ sind das *LAGRANGE*sche Interpolations Polynom und die *Spline* Kurve deckungsgleich.

>