
MSP1 Labortermin 3 und 4 - 14.12.2014

Table of Contents

Aufgabe 1 - Systemidentifikation	1
Aufgabe 2 - Analyse des Schwingverhaltens	2
2a) Vergleich Theorie - gemessene Werte	2
2b) Anregung durch Fußgänger	3
2c) Amplitudengang	4
3 - Schwingungstilger	5
A3c iii)	7
A3d) Tilger optimieren	9
A3d i)	11
A3d ii)	14

Aufgabe 1 - Systemidentifikation

$y(t)$ ist Springantwort auf $u(t) = u_0 * \sigma(t)$ $u_0 = -750$ N

```
clc; clear all; close all;
```

```
load('bruecke_sprung.mat', '-mat');  
u0 = -750;
```

```
plot(t, y);  
grid on;  
title('Sprungantwort Brücke (gemessen mit F = -750 N)');  
xlabel('Zeit (Sekunden)');  
ylabel('Ausschlag (m)');
```

```
t1 = 0.29;  
t2 = 0.57;  
t3 = 0.861;  
y1 = -0.0430/u0;  
y2 = -0.0116/u0;  
Kp = -0.0248/u0;
```

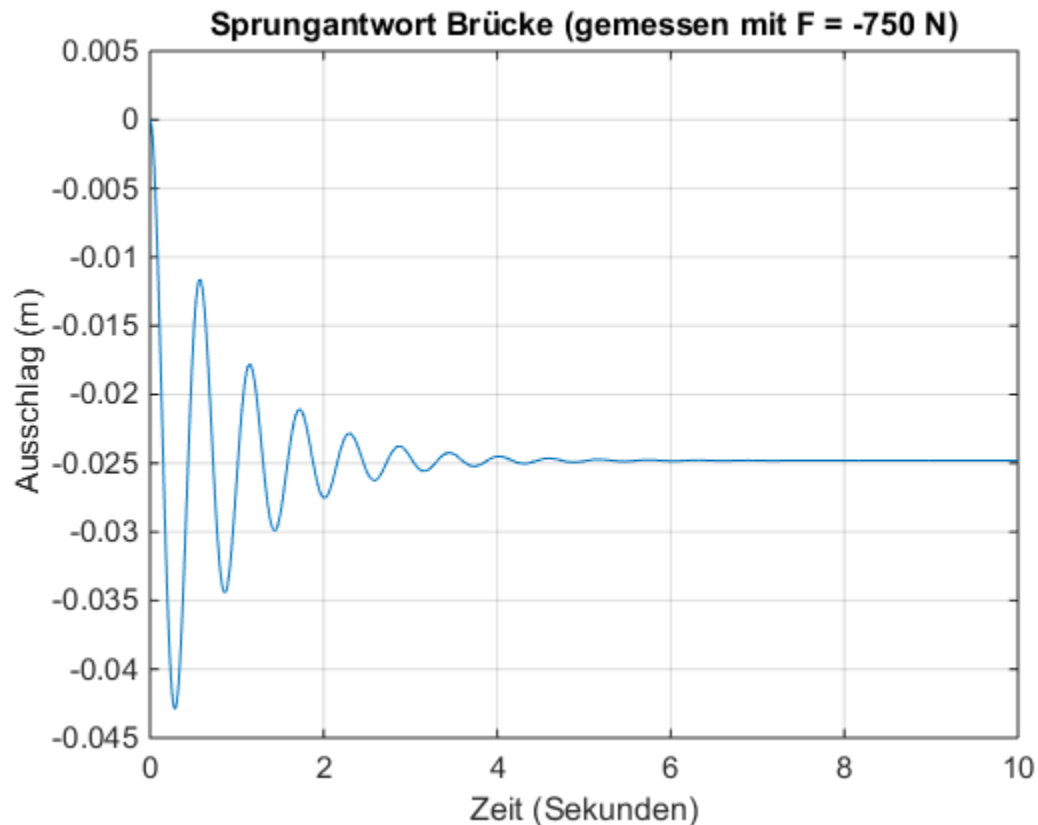
```
Delta_1 = Kp-y1;  
Delta_2 = y2-Kp;
```

```
T_e = 2*(t2-t1);  
omega_e = pi/(t2-t1);
```

```
Theta = log(Delta_1/Delta_2);  
d = sqrt(Theta^2 / (Theta^2+pi^2) );
```

```
omega_0 = (Theta*2) / (T_e*d);
```

```
mB = 1/(omega_0^2*Kp);  
rB = 2*d/(omega_0*Kp);  
kB = 1/Kp;  
  
% Lösungen:  
% mB = 237.7440  
% rB = 545.4607  
% kB = 3.0242e+04  
% Eigenfrequenz der Brücke: omega_0 = 11,28 Hz
```

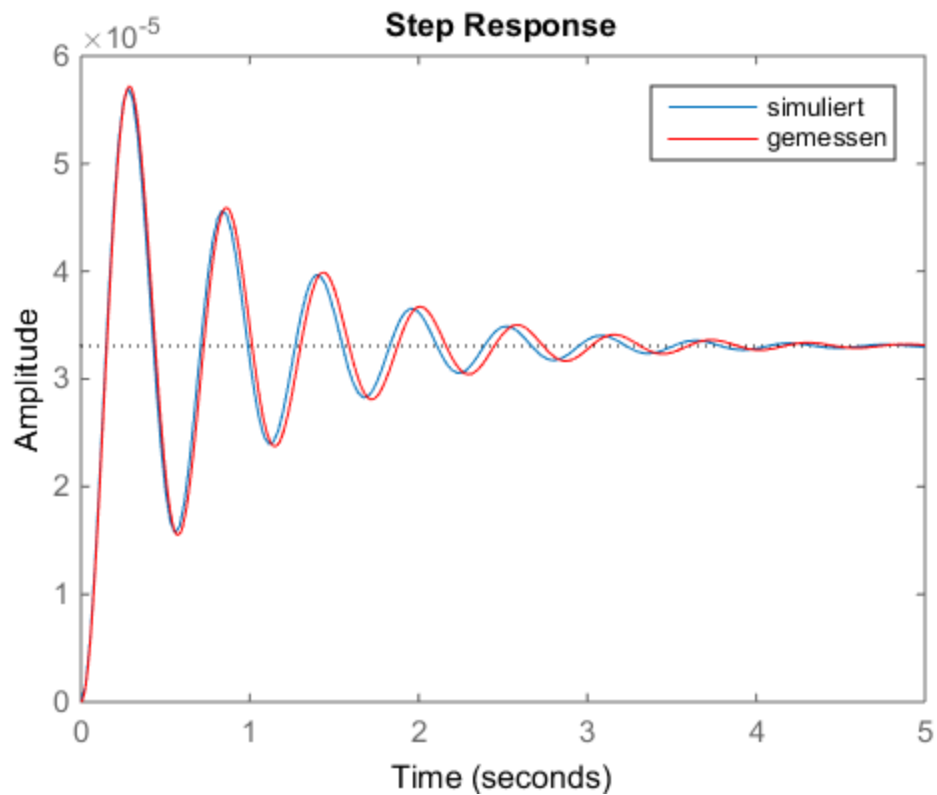


Aufgabe 2 - Analyse des Schwingverhaltens

```
sys_B = tf(1,[mB rB kB]);
```

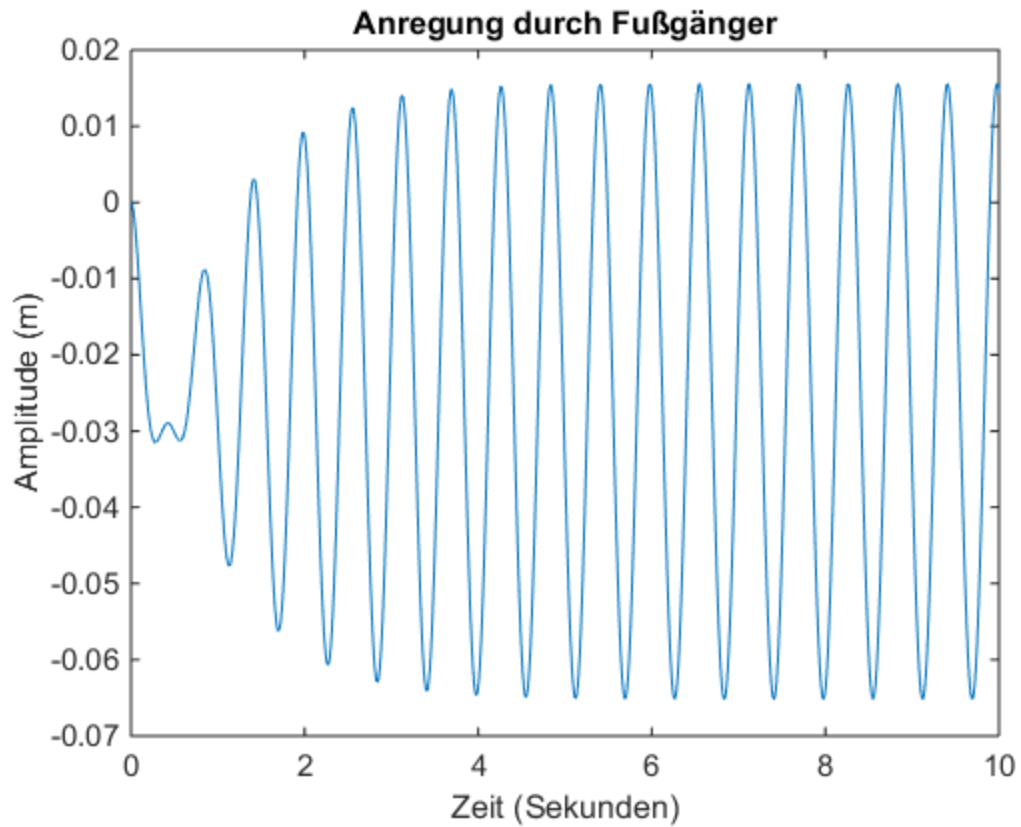
2a) Vergleich Theorie - gemessene Werte

```
figure;  
step(sys_B);  
hold;  
plot(t, y/u0, '-r');  
legend('simuliert', 'gemessen');  
  
% Die Parameter des Systems passen mit ausreichender Genauigkeit.  
  
Current plot held
```



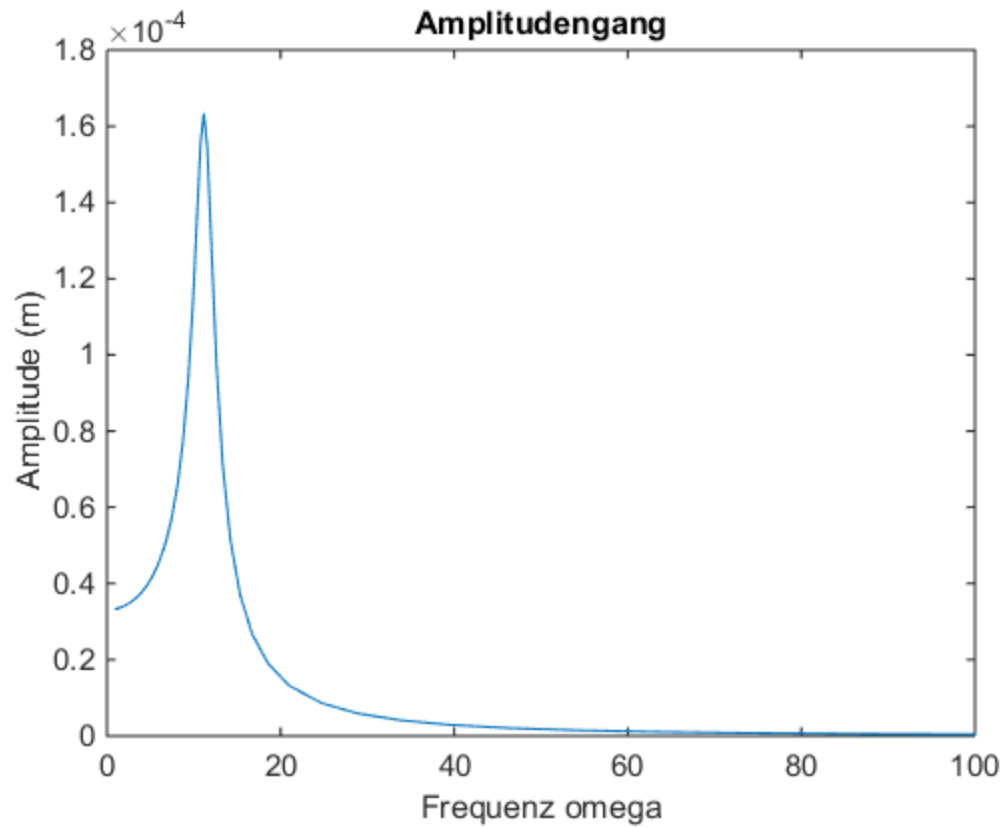
2b) Anregung durch Fußgänger

```
u0 = -750;  
u_A = 250;  
f = 1.75;  
u = u0 + u_A * sin(2*pi*f*t);  
  
[y_ped t] = lsim(sys_B, u, t);  
figure;  
plot(t, y_ped);  
title('Anregung durch Fußgänger');  
xlabel('Zeit (Sekunden)');  
ylabel('Amplitude (m)');  
  
% Anregung des Systems mit einem Fußgänger:  
% Einschwingzeit:  ca. 4,5 Sekunden  
% Amplitude:      0,04 m
```



2c) Amplitudengang

```
[H_orig, w_out] = freqresp(sys_B);  
H = squeeze(H_orig);  
Amp = abs(H);  
plot(w_out, Amp);  
title('Amplitudengang');  
xlabel('Frequenz omega');  
ylabel('Amplitude (m)');  
  
y_max = 1.643e-4;  
y_stat = Kp;  
  
ResFaktor = y_max / y_stat;  
  
% Die Resonanzüberhöhung beträgt ca. 5,3.
```



3 - Schwingungstilger

```
% Parameter der Brücke siehe Aufgabe 1

% 3c) Test des Tilgers
close all;
dT = 0.1;    % in Aufgabe gegeben
mT = 25;     % in Aufgabe gegeben

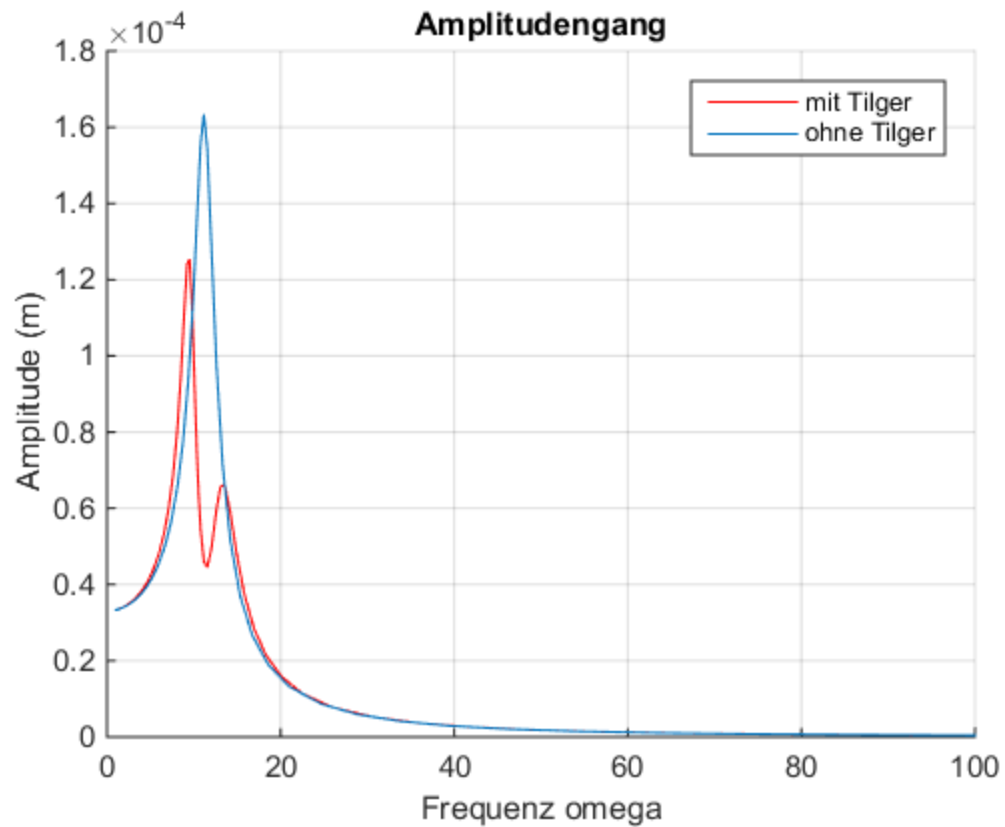
kT = mT * omega_0^2;
rT = 2*dT*kT/omega_0;

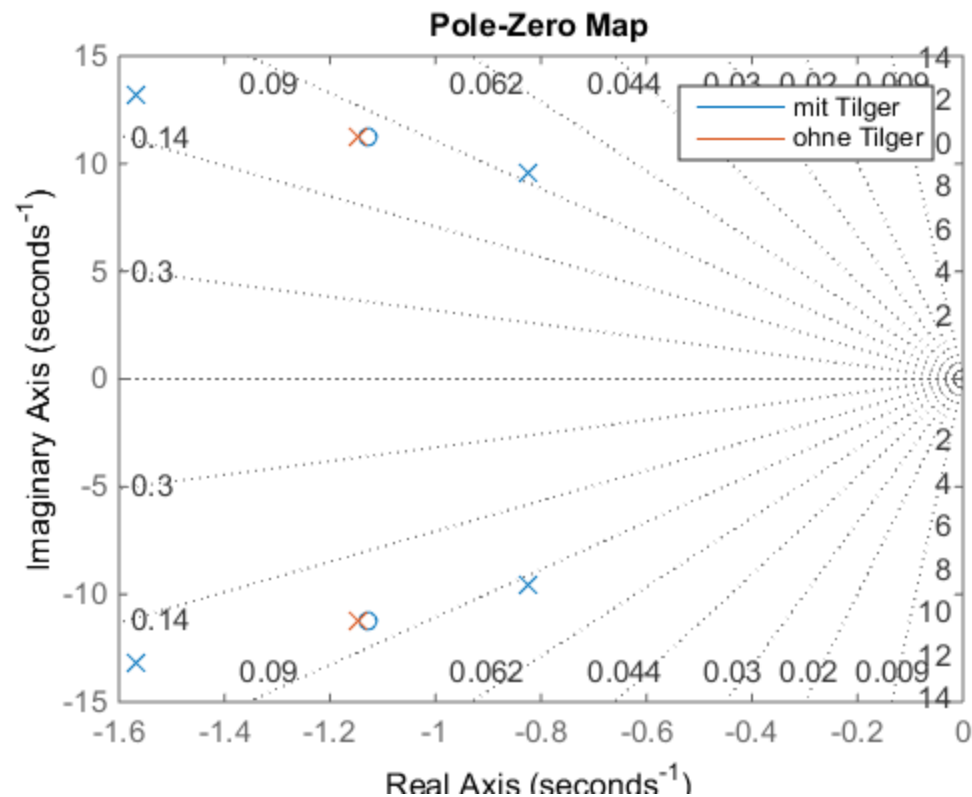
b2 = mT;
b1 = rT;
b0 = kT;
a4 = mT*mB;
a3 = (mT+mB)*rT + mT*rB;
a2 = (mT+mB)*kT + mT*kB + rT*rB;
a1 = kB*rT + kT*rB;
a0 = kT*kB;

sys_ges = tf([b2 b1 b0],[a4 a3 a2 a1 a0]);

% A3c i)
hold on;
```

```
[H_orig_ges, w_out_ges] = freqresp(sys_ges);  
H_ges = squeeze(H_orig_ges);  
Amp_ges = abs(H_ges);  
plot(w_out_ges, Amp_ges, '-r');      % System mit Tilger  
plot(w_out, Amp);                    % System ohne Tilger  
title('Amplitudengang');  
xlabel('Frequenz omega');  
ylabel('Amplitude (m)');  
legend('mit Tilger', 'ohne Tilger');  
grid on;  
hold off;  
  
% A3c ii)  
figure;  
pzmap(sys_ges, sys_B);  
legend('mit Tilger', 'ohne Tilger');  
grid on;
```

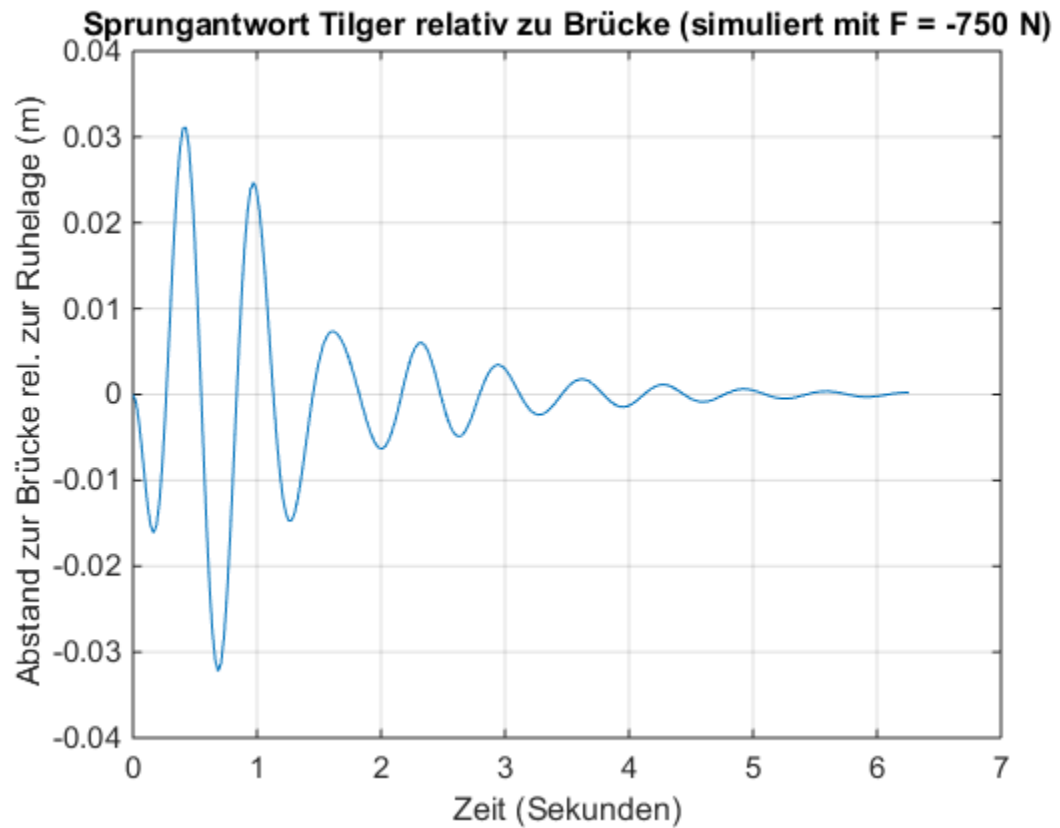
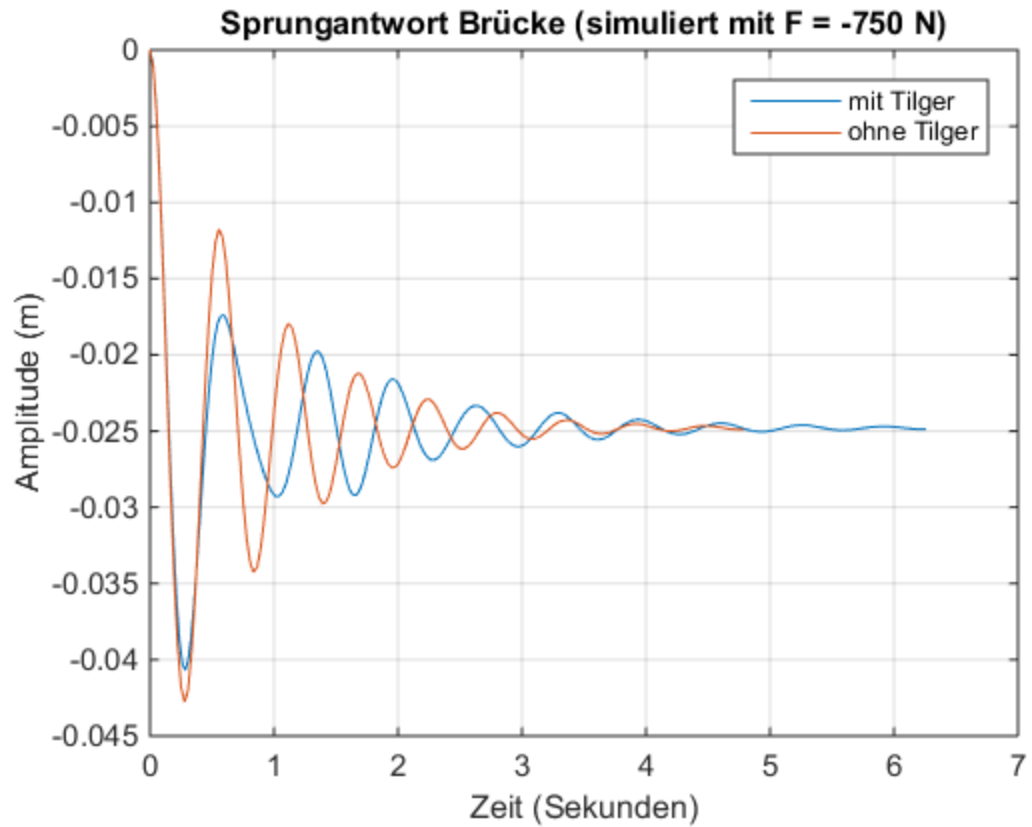




A3c iii)

```
% Sprungantwort Brücke mit/ ohne Tilger
figure;
[y3c_ges,t3c_ges] = step(sys_ges); % mit Tilger
[y3c_B,t3c_B] = step(sys_B); % ohne Tilger
plot(t3c_ges, y3c_ges*u0, t3c_B, y3c_B*u0); % skalieren und plotten
legend('mit Tilger', 'ohne Tilger');
title('Sprungantwort Brücke (simuliert mit F = -750 N)');
xlabel('Zeit (Sekunden)');
ylabel('Amplitude (m)');
grid on;

% Bewegung Tilger relativ zur Brücke
figure;
sys_T = tf([rT kT], [mT rT kT]);
[y3c_T,t3c_T] = lsim(sys_T, y3c_ges, t3c_ges);
y3c_Trel = y3c_ges-y3c_T;
plot(t3c_T, y3c_Trel*u0);
xlabel('Zeit (Sekunden)');
ylabel('Abstand zur Brücke rel. zur Ruhelage (m)');
title('Sprungantwort Tilger relativ zu Brücke (simuliert mit F = -750 N)');
grid on;
```



A3d) Tilger optimieren

Masse m_T wird beibehalten, d_T und k_T sollen so optimiert werden, dass eine minimale Resonanzüberhöhung auftritt. Wie groß ist die Eigenfrequenz des Schwingungstilgers? 9.73 Hz

```
% automatisches Finden der Parameter:
% -----

% Werte initialisieren:
Res_last = 100;
w_test = 5:0.1:25;
mT = 25; % gegebener Wert
dT_s = 0.1; % Startwert

% kT optimieren:
for kT_s = 2200:0.1:2500 % Bereich zum Finden der optimalen Frequenz

    omega_s = sqrt(kT_s / mT);
    rT_s = 2*dT_s*kT_s/omega_s;

    b2 = mT;
    b1 = rT_s;
    b0 = kT_s;
    a4 = mT*mB;
    a3 = (mT+mB)*rT_s + mT*rB;
    a2 = (mT+mB)*kT_s + mT*kB + rT_s*rB;
    a1 = kB*rT_s + kT_s*rB;
    a0 = kT_s*kB;

    opt_ges = tf([b2 b1 b0],[a4 a3 a2 a1 a0]);

    % Resonanzüberhöhung automatisch bestimmen:
    [H_o, w_o] = freqresp(opt_ges, w_test);
    H_o_x = squeeze(H_o);
    Amp_o = abs(H_o_x);

    y_max_o = max(Amp_o);
    y_step = step(opt_ges);
    y_stat_o = y_step(end);

    Res = y_max_o / y_stat_o;

    % Erneut durchführen während Res sich nach wie vor vermindert
    % den letzten optimalen Wert für Ausgabe sichern
    if Res > Res_last
        break;
    else
        Res_last = Res;
        kT_opt = kT_s;
        rT_opt = rT_s;
        omega_opt = omega_s;
    end
end
```

```
% Werte initialisieren:
Res_last = 100;
w_test = 5:0.1:20;

% dT optimieren
for dT_s = 0.1:0.001:1      % Bereich zum Finden der optimalen Dämpfung

    rT_s = 2*dT_s*kT_opt/omega_opt;

    b2 = mT;
    b1 = rT_s;
    b0 = kT_opt;
    a4 = mT*mB;
    a3 = (mT+mB)*rT_s + mT*rB;
    a2 = (mT+mB)*kT_opt + mT*kB + rT_s*rB;
    a1 = kB*rT_s + kT_opt*rB;
    a0 = kT_opt*kB;

    opt_ges = tf([b2 b1 b0],[a4 a3 a2 a1 a0]);

    % Resonanzüberhöhung automatisch bestimmen:
    [H_o, w_o] = freqresp(opt_ges, w_test);
    H_o_x = squeeze(H_o);
    Amp_o = abs(H_o_x);

    y_max_o = max(Amp_o);
    y_step = step(opt_ges);
    y_stat_o = y_step(end);

    Res = y_max_o / y_stat_o;

    % Erneut durchführen während Res sich nach wie vor vermindert
    % den letzten optimalen Wert für Ausgabe sichern
    if Res > (Res_last+0.01)
        break;
    else
        Res_last = Res;
        rT_opt = rT_s;
        dT_opt = omega_opt*rT_opt/(kT_opt*2);
    end

end

% System Neuberechnen mit optimierten Werten:
% -----

% für manuelle Selektion:
% dT_s = 0.188;
% rT_opt = 2*dT_s*kT_opt/omega_opt;

b2 = mT;
b1 = rT_opt;
```

```
b0 = kT_opt;  
a4 = mT*mB;  
a3 = (mT+mB)*rT_opt + mT*rB;  
a2 = (mT+mB)*kT_opt + mT*kB + rT_opt*rB;  
a1 = kB*rT_opt + kT_opt*rB;  
a0 = kT_opt*kB;  
  
opt_ges = tf([b2 b1 b0],[a4 a3 a2 a1 a0]);  
  
% Resonanzüberhöhung automatisch bestimmen:  
[H_o, w_o] = freqresp(opt_ges);  
H_o_x = squeeze(H_o);  
Amp_o = abs(H_o_x);  
  
y_max_o = max(Amp_o);  
y_step = step(opt_ges);  
y_stat_o = y_step(end);  
  
Res = y_max_o / y_stat_o;  
  
% Lösungen:  
% omega_opt = 9.7334  
% kT_opt = 2.3685e+03  
% rT_opt = 87.6010  
% dT_opt = 0.1800
```

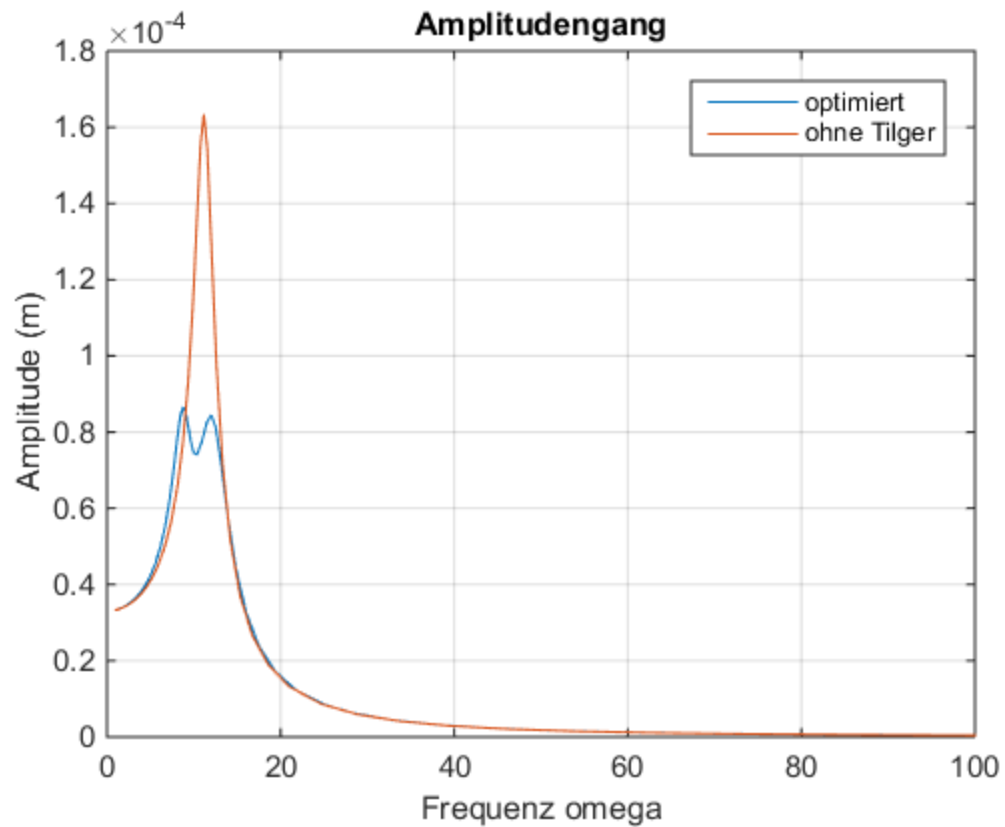
A3d i)

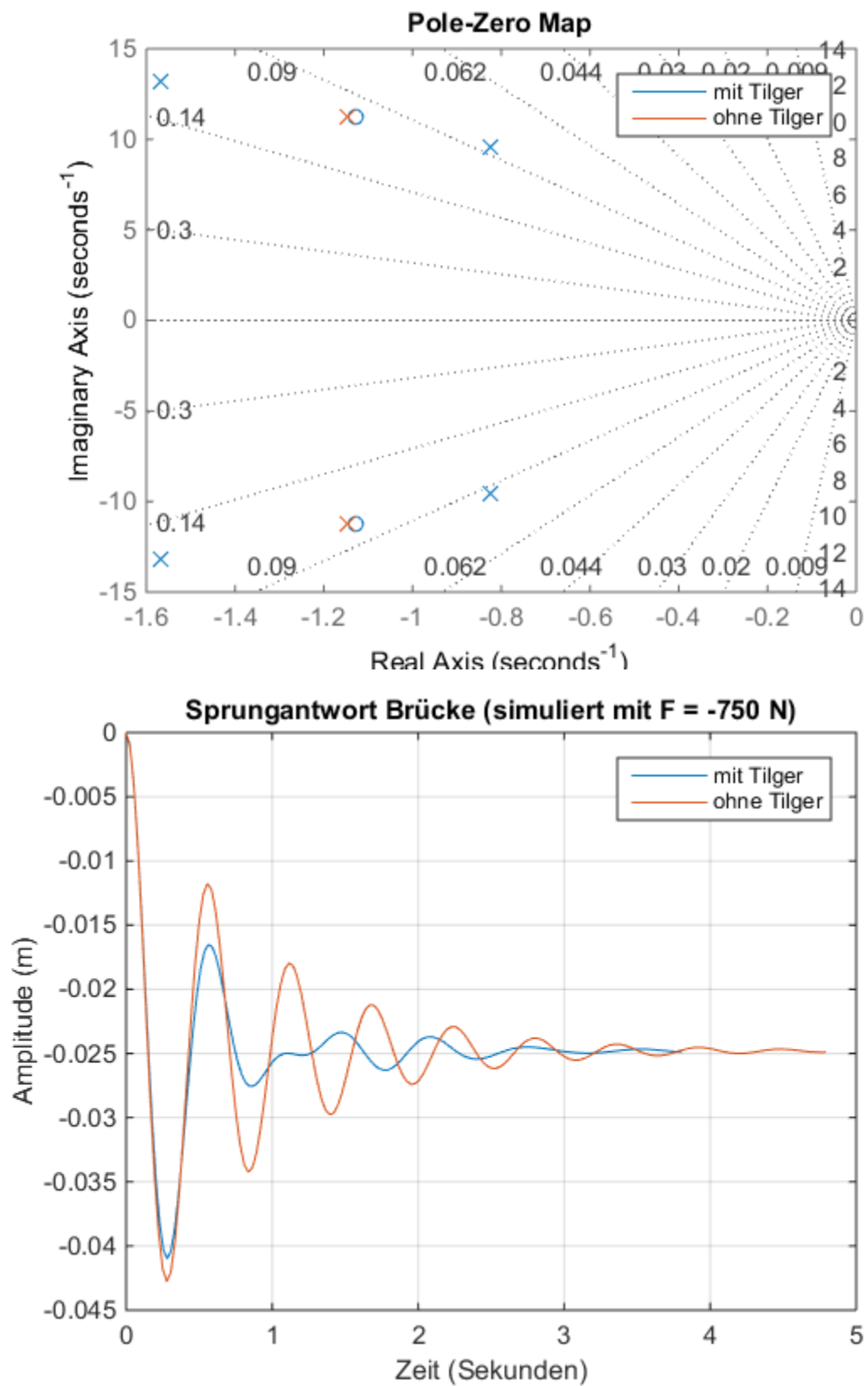
```
% Amplitudengang mit und ohne Tilger  
figure;  
plot(w_o, Amp_o, w_out, Amp);  
title('Amplitudengang');  
xlabel('Frequenz omega');  
ylabel('Amplitude (m)');  
legend('optimiert', 'ohne Tilger');  
ylim([0 1.8e-4]);  
grid on;  
  
% PZ-Map mit und ohne Tilger  
figure;  
pzmap(sys_ges, sys_B);  
legend('mit Tilger', 'ohne Tilger');  
grid on;  
  
% Sprungantwort Brücke mit und ohne Tilger  
figure;  
[y3d_ges,t3d_ges] = step(opt_ges); % mit Tilger  
[y3d_B,t3d_B] = step(sys_B); % ohne Tilger  
plot(t3d_ges, y3d_ges*u0, t3d_B, y3d_B*u0); % skalieren und plotten  
legend('mit Tilger', 'ohne Tilger');  
xlabel('Zeit (Sekunden)');  
ylabel('Amplitude (m)');  
title('Sprungantwort Brücke (simuliert mit F = -750 N)');
```

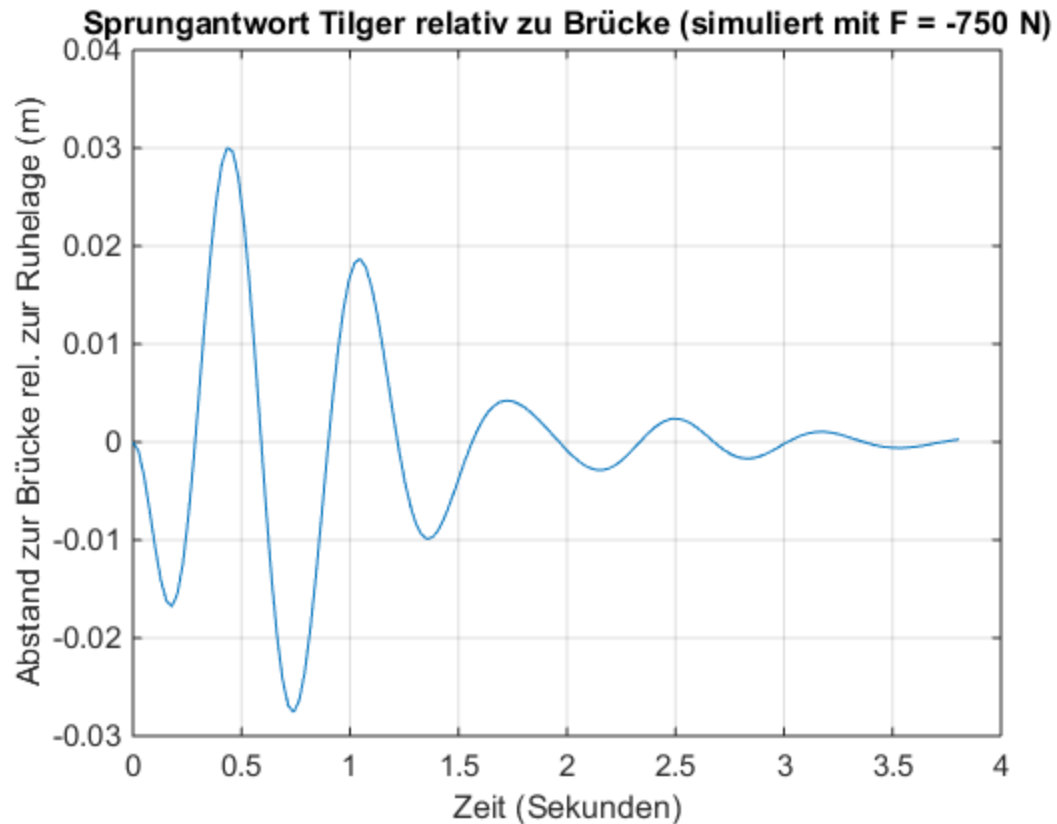
```
grid on;

% Bewegung Tilger relativ zur Brücke
figure;
opt_T = tf([rT_opt kT_opt], [mT rT_opt kT_opt]);
[y3d_T,t3d_T] = lsim(opt_T, y3d_ges, t3d_ges);
y3d_Trel = y3d_ges-y3d_T;
plot(t3d_T, y3d_Trel*u0);
xlabel('Zeit (Sekunden)');
ylabel('Abstand zur Brücke rel. zur Ruhelage (m)');
title('Sprungantwort Tilger relativ zu Brücke (simuliert mit F = -750 N)');
grid on;

%Resonanzüberhöhungen:
% mit optimiertem Tilger:      2,6
% mit unoptimiertem Tilger:   3,7
% ohne Tilger:                 5,3
```







A3d ii)

Reaktion der Brücke auf den Fußgänger - Bewegung der Brücke (mit/ ohne Tilger) - Bewegung des Tilgers relativ zur Brücke - Wie viel Platz braucht der Tilger?

```
% Anregung durch Fußgänger:
u0 = -750;
u_A = 250;
f = 1.75;
u = u0 + u_A * sin(2*pi*f*t);

% Amplitude
figure;
[y_ped t] = lsim(sys_B, u, t);
[y_ped_opt t] = lsim(opt_ges, u, t);
plot(t, y_ped, t, y_ped_opt);
title('Anregung durch Fußgänger');
xlabel('Time (seconds)');
ylabel('Amplitude (m)');
legend('ohne Tilger', 'mit optimiertem Tilger');

% Tilger relativ zu Brücke
figure;
opt_T = tf([rT_opt kT_opt], [mT rT_opt kT_opt]); % optimierter Tilger
[y_ped_opt t] = lsim(opt_ges, u, t); % Brücke+Tilger
[y3d_T t3d_T] = lsim(opt_T, y_ped_opt, t); % Tilger: u := Brücke
```

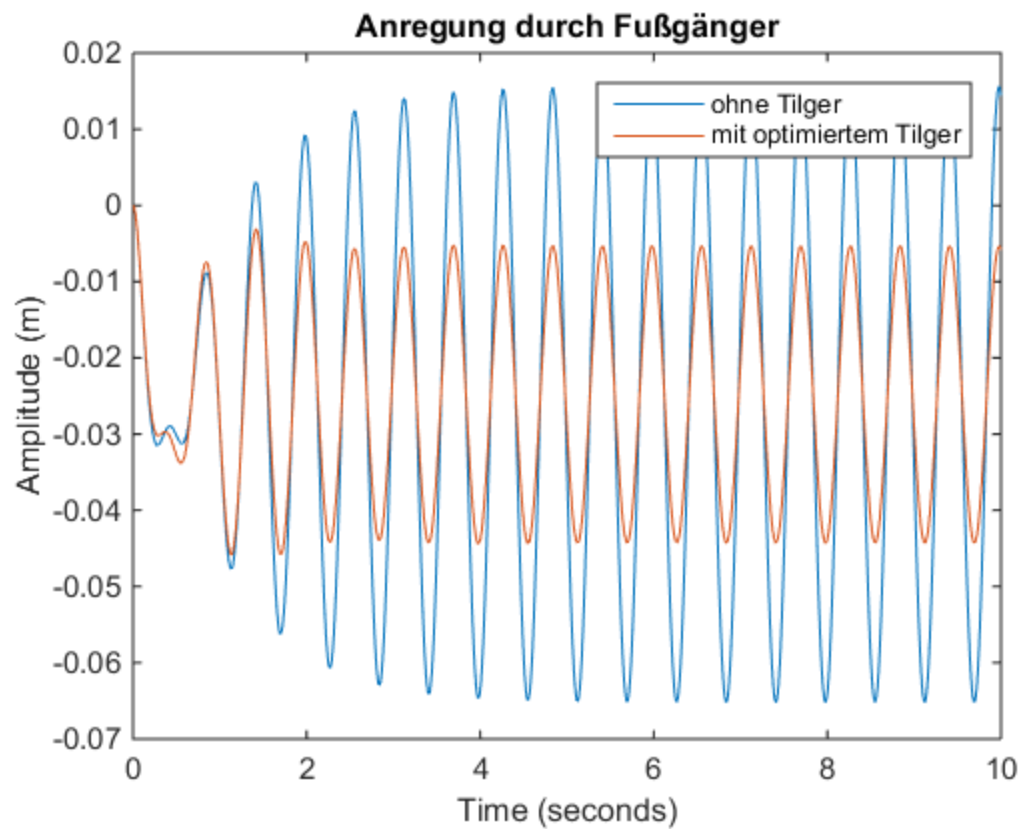
```
y3d_Trel = y_ped_opt-y3d_T;  
plot(t3d_T, y3d_Trel);  
xlabel('Zeit (Sekunden)');  
ylabel('Abstand zur Brücke rel. zur Ruhelage (m)');  
title('Bewegung Tilger relativ zu Brücke (simuliert mit Fußgänger)');  
grid on;
```

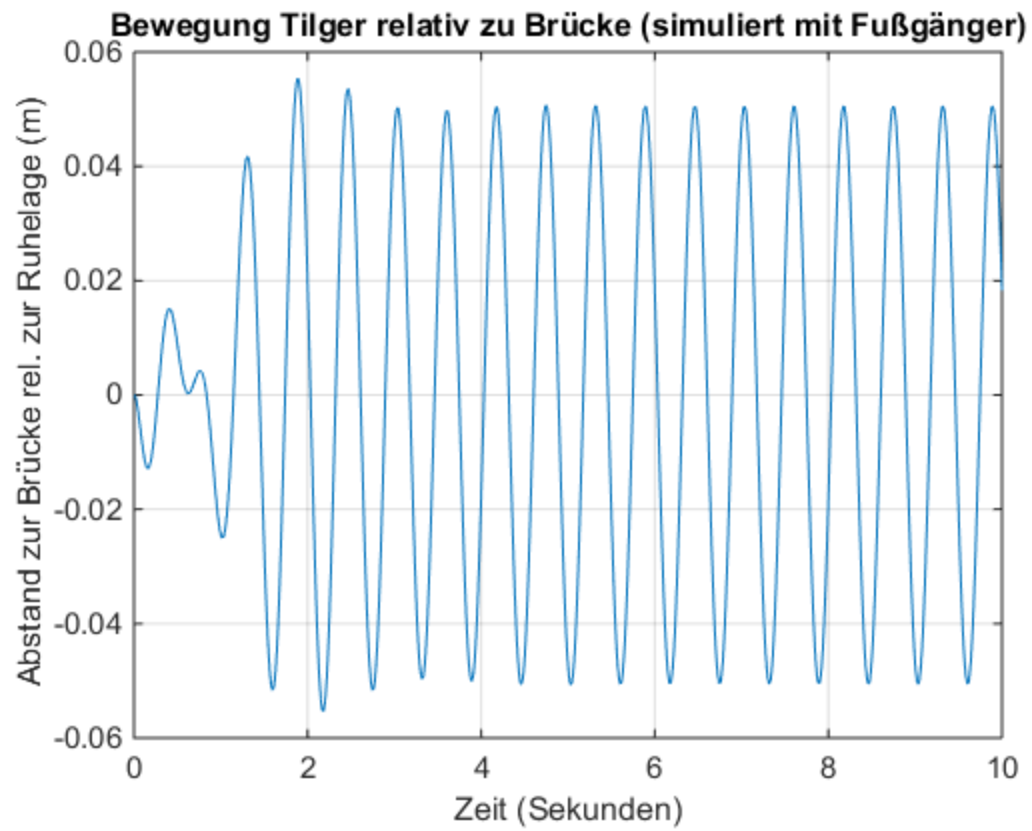
```
% Platz für Tilger
```

```
t_min = min(y3d_Trel);
```

```
t_max = max(y3d_Trel);
```

```
% Der Tilger benötigt einen Mindestabstand von ca. 5,5 cm zur Brücke.
```





Published with MATLAB® R2014b