



Institute for Design and Control of Mechatronical Systems

Identifikation der Reflexbewegung des menschlichen Bizeps mit mixed-effects Modellen

Katrin Wiesinger

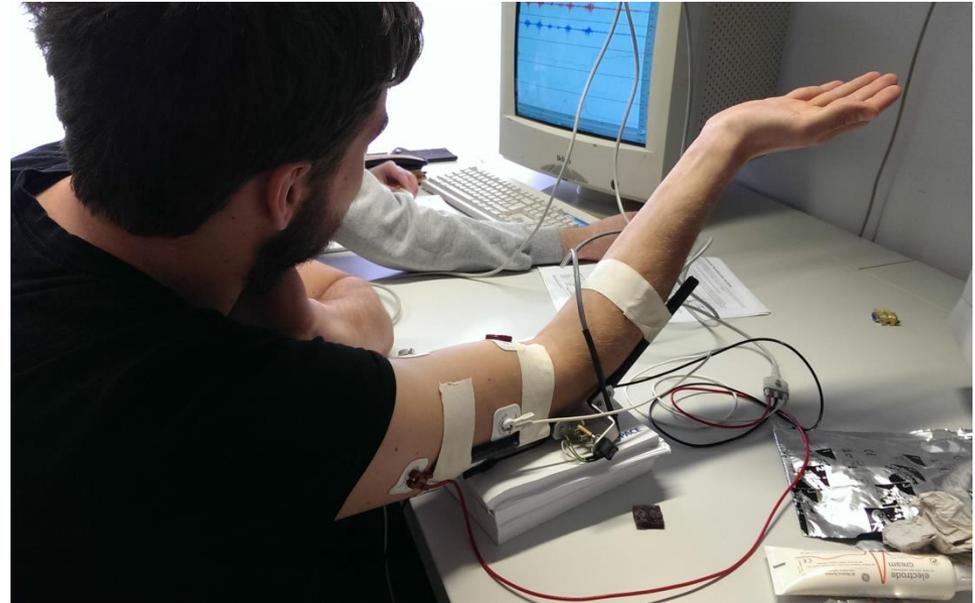
Betreuer: Dr. Harald Kirchsteiger

SS 2014



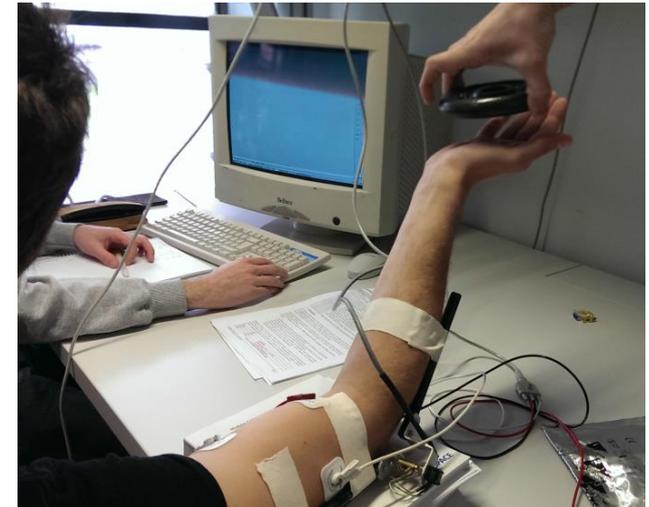
- Ausarbeitung eines mathematischen Modells zur Beschreibung des neuromuskulären Reflexverhaltens des menschlichen Bizeps
- physiologischer Hintergrund
 - Funktion der Skelettmuskulatur und Nervenleitung
- Messdatenerfassung
- Modell
 - Modellimplementierung
 - Optimierung der Modellparameter
 - mittels fmincon/fminuncon
 - mixed-effects models
Strategie anwenden
 - Vergleich Simulationsergebnisse mit Messwerten

- Reflexbewegung
- im Rahmen des PR
biologische Regelkreise
- Messsystem
Biopac Student Lab (BSL)
 - Prinzip der
Elektromyographie (EMG)
 - Elektroden messen
Oberflächenspannung an der Haut
 - Sensor im Ellbogengelenk
- jeweils 6 verschiedene Versuche
bei 3 Probanden



- Versuchsreihe

Gewicht	Fallhöhe	Muskelvorspannung
1.25 kg	aufgelegt	nein
2.5 kg	aufgelegt	nein
1.25 kg	2 cm	nein
2.5 kg	2 cm	nein
1.25 kg	2 cm	ja
2.5 kg	2 cm	ja

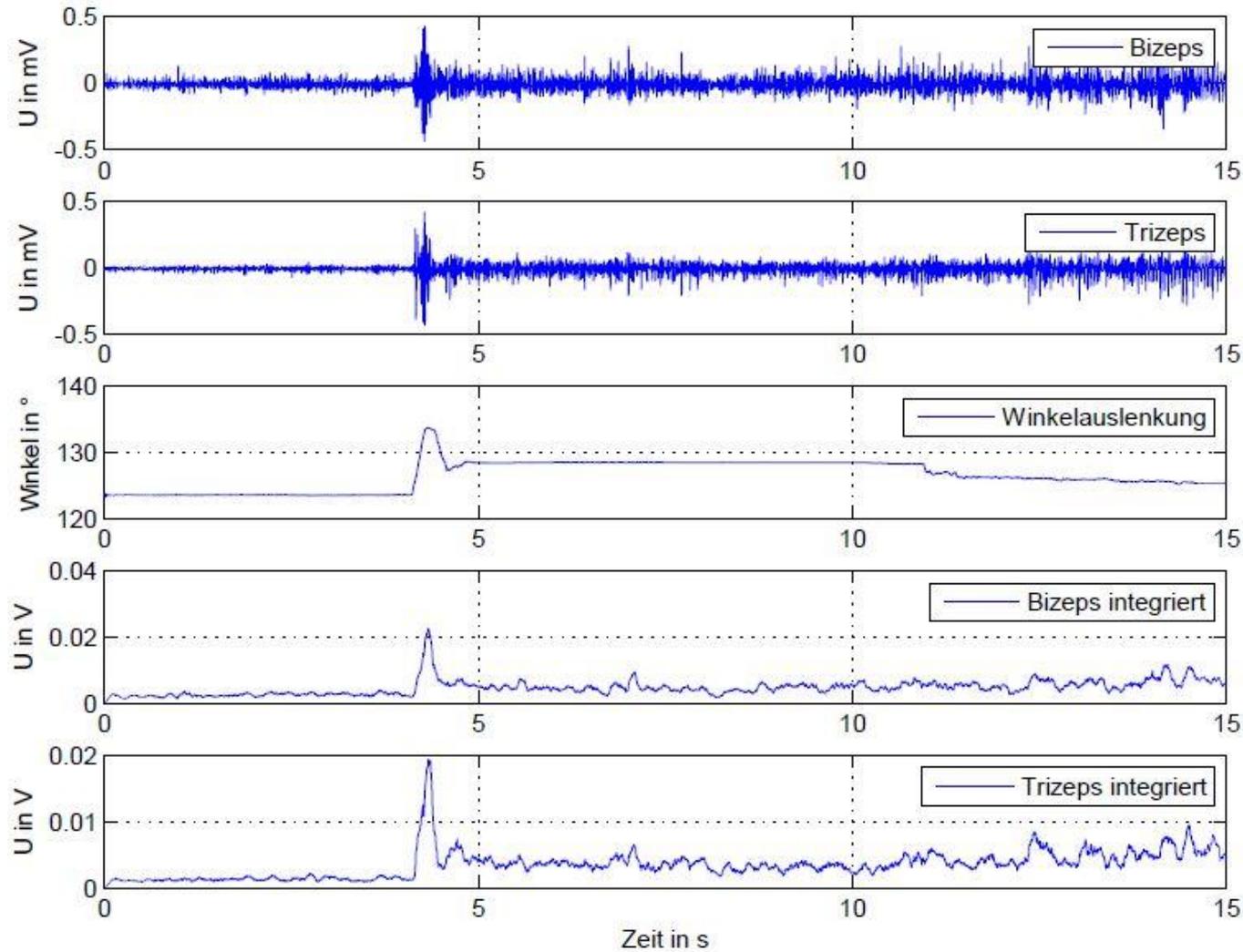


- Augen sind geschlossen um Reflexbewegung zu sichern
- Auswertung mit MATLAB

Messdatenauswertung



Gruppe 1 Versuch 1





- größeres Gewicht und größere Fallhöhe →
 - Anstieg des Winkelausschlags
 - erhöhte Muskelaktivität
- Vorspannung der Muskulatur →
 - wesentlich geringerer Winkelausschlag
 - erhöhte Grunderregung des Muskels
- Erkennung der Totzeit
 - Zeitspanne zwischen Anstieg der Muskeleerregung und Anstieg des Winkelausschlages



- Paper „*physiological control systems: analysis, simulation and estimation*“ von Michael C. K. Khoo
- aus Muskel- und Armmechanik abgeleitet

$$M_0 + \frac{M_0}{\tau} = \beta \cdot \left(\dot{\theta}(t - T_d) + \frac{\theta(t - T_d)}{\eta\tau} \right)$$

- beschreibt Muskel

$$\frac{BJ}{k} \ddot{\theta} + J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} = M_x(t) - M_0(t)$$

- beschreibt Bewegung des Armes

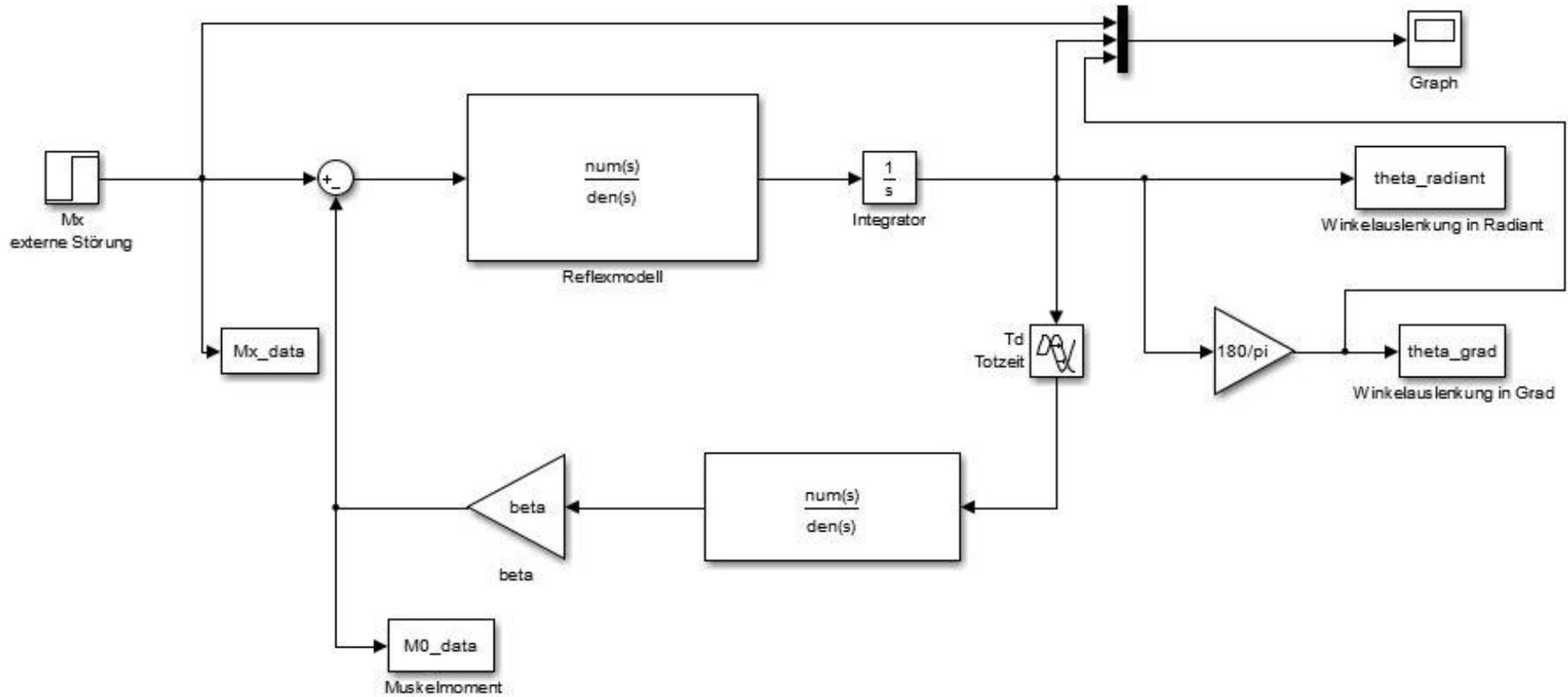


- Modellparameter
 - B ... Dämpfung
 - J ... Trägheitsmoment
 - Td ... Totzeit
 - k ... Muskelsteifigkeit
 - etc.

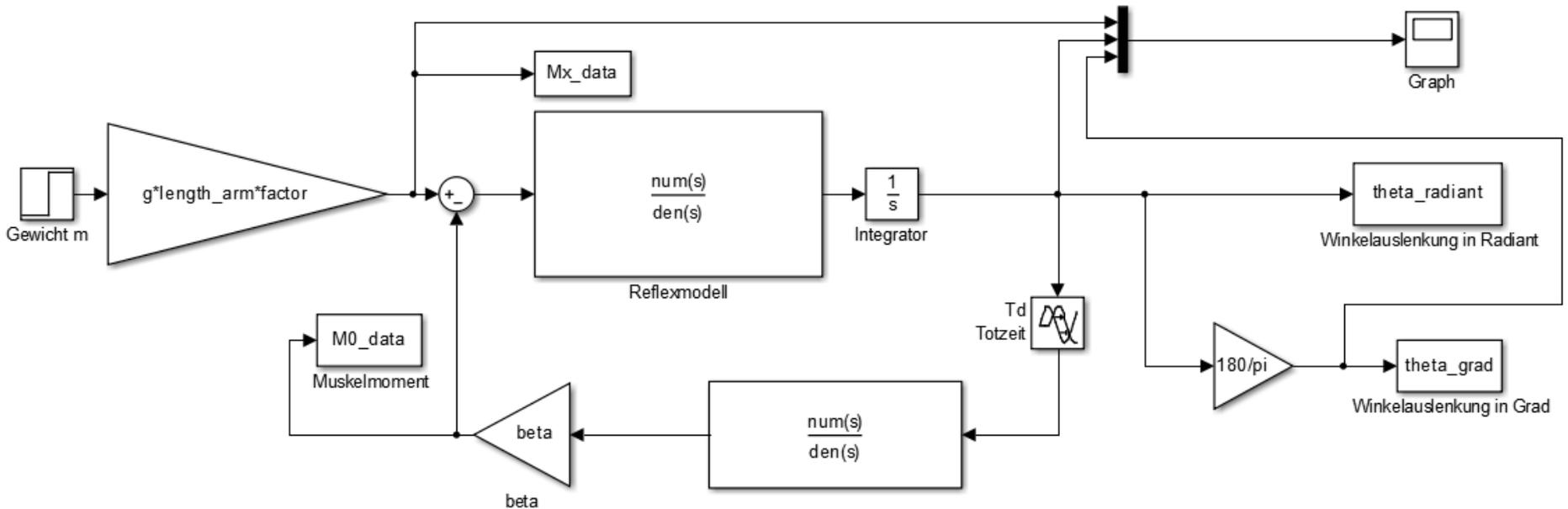
$$\theta(s) = \frac{M_x(s) - M_0(s)}{s \left(\frac{BJ}{k} s^2 + Js + B \right)}$$

- Übertragungsfunktion System 3. Ordnung

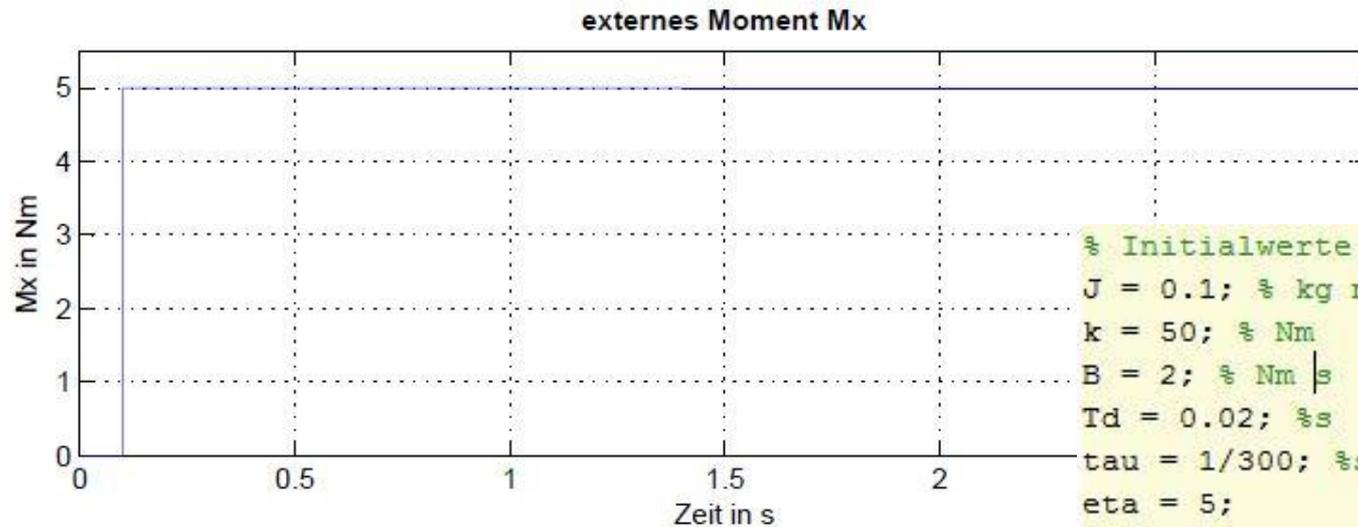
Modellimplementierung



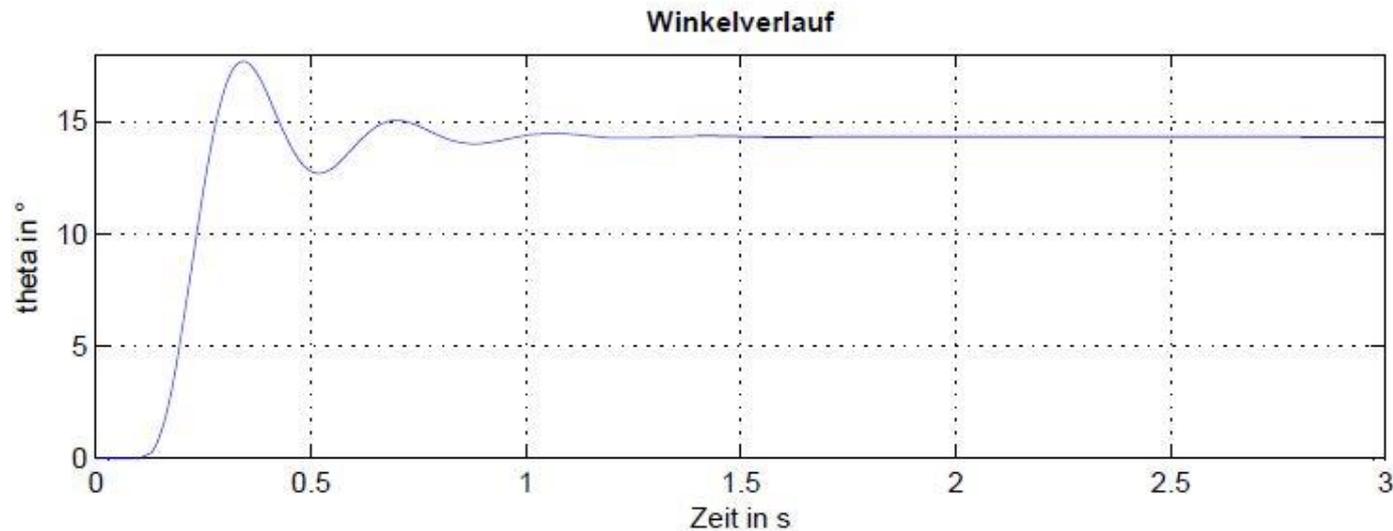
Modellimplementierung – alternative Version

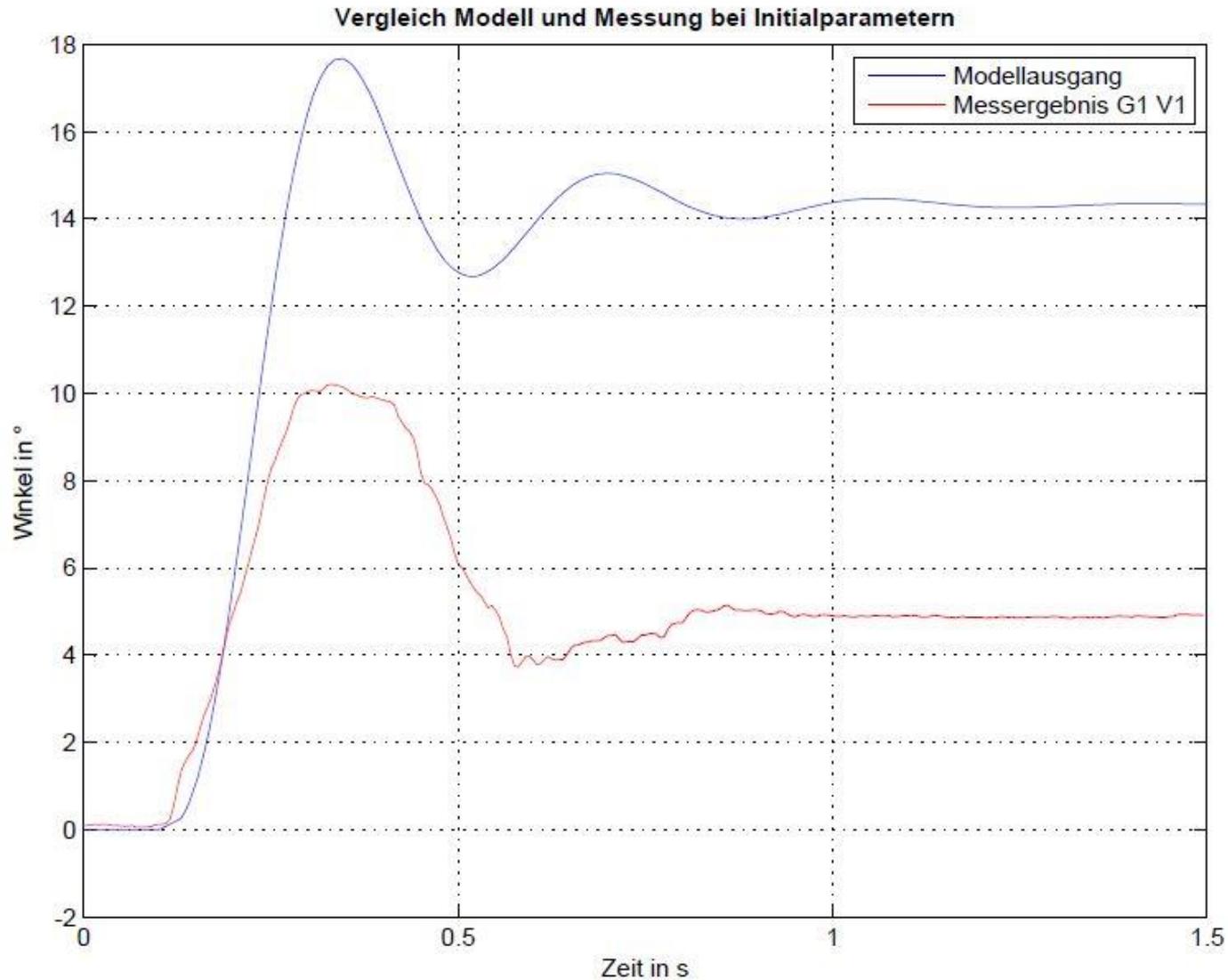


Modellimplementierung



```
% Initialwerte der Parameter  
J = 0.1; % kg m^2  
k = 50; % Nm  
B = 2; % Nm | s  
I_d = 0.02; % s  
tau = 1/300; % s  
eta = 5;  
beta = 100;
```







$y_{ij} = f(\phi_i, x_{ij}) + e_{ij}$... Modellbeschreibung

$\phi_i = A_i\beta + B_ib_i$... Parameterbeschreibung

β ... fixed effects

b_i ... random effects

A_i, B_i ... Design- bzw. Gewichtungsmatrizen

i ... Individuum

- MATLAB-Befehl `nlmefit`

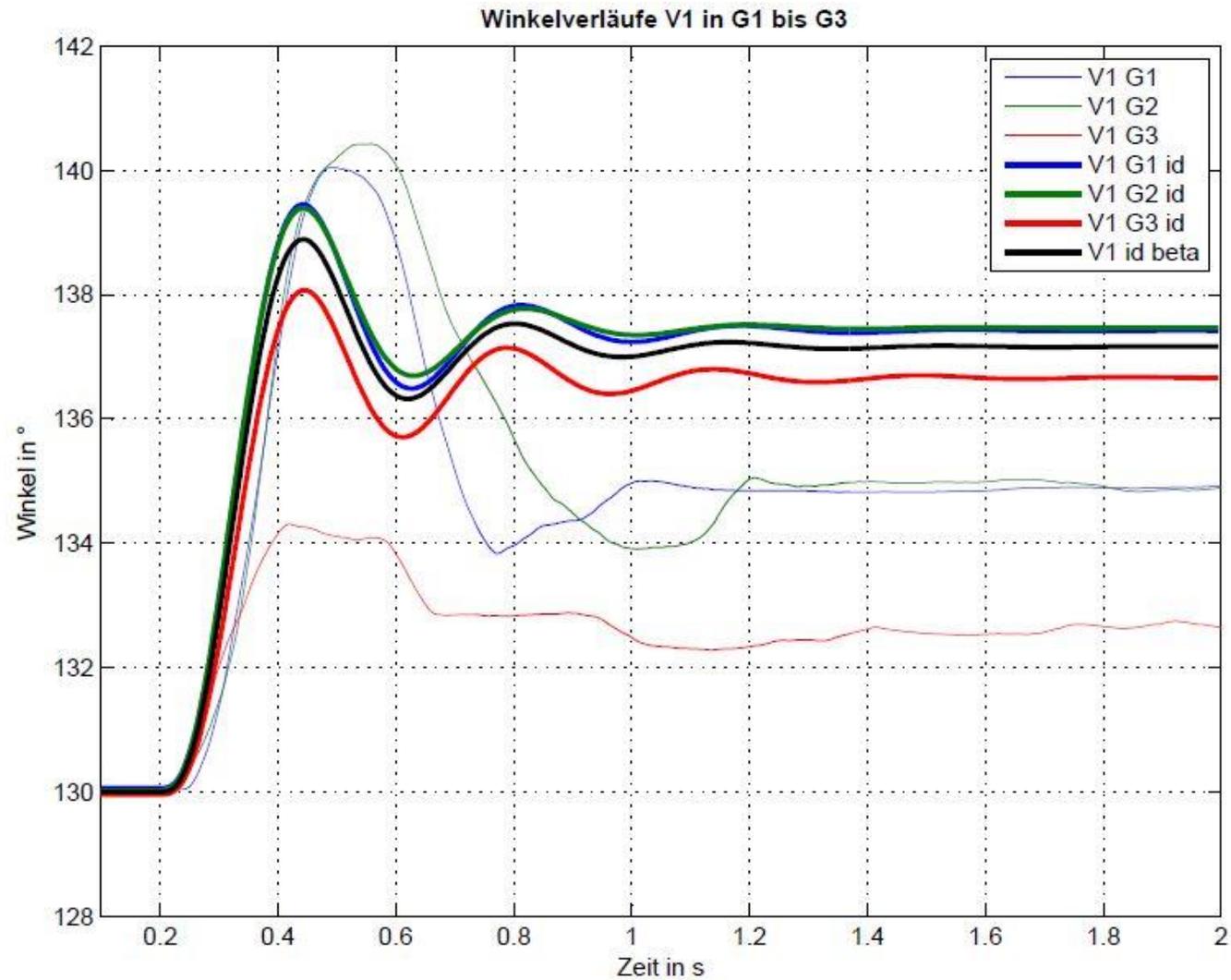


- nlmeFit benötigt Modellbeschreibung um Parameter zu ermitteln
- weitere Übergabeparameter für nlmeFit
 - Eingänge
 - Winkelverläufe
 - Gruppierungsvariablen
 - Startwert
- interne Optimierungsvorschrift fminsearch
 - unbeschränkte Optimierung
 - Parametereinschränkung selbst eingebaut
- mindestens 2 Datensätze gleichzeitig



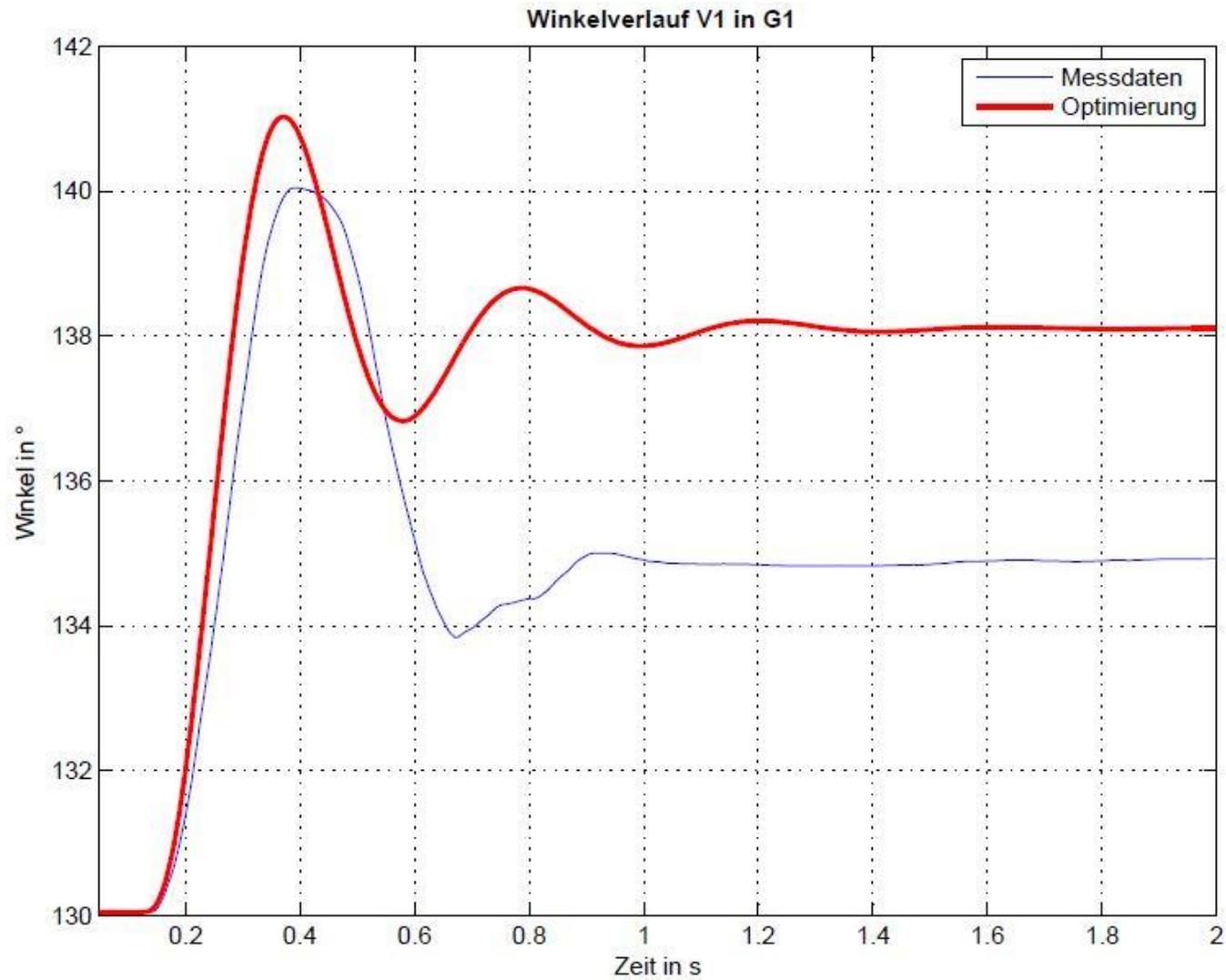
$$\beta = \begin{pmatrix} 1.9255 \\ 0.1011 \\ 48.7338 \\ 0.0171 \\ 0.0044 \\ 4.0000 \\ 80.0000 \end{pmatrix}, b_i = \begin{pmatrix} -0.1173 & -0.1511 & 0.2684 \\ -0.0029 & -0.0022 & 0.0051 \\ 0.2900 & 4.0845 & -4.3745 \\ 0.0021 & 0.0015 & -0.0037 \\ -0.0004 & -0.0006 & 0.0009 \\ 0.0547 & 0.0766 & -0.1313 \\ -1.1028 & -1.5407 & 2.6435 \end{pmatrix}$$

$$\Phi = \beta + b_i = \begin{pmatrix} 1.8082 & 1.7744 & 2.1939 \\ 0.0981 & 0.0989 & 0.1062 \\ 49.0238 & 52.8183 & 44.3593 \\ 0.0192 & 0.0186 & 0.0134 \\ 0.0040 & 0.0039 & 0.0054 \\ 4.0547 & 4.0766 & 3.8688 \\ 78.8972 & 78.4593 & 82.6435 \end{pmatrix}$$





- 7 Optimierungsvariablen (alle Modellparameter)
- Kostenfunktion $e = (\theta_{meas} - \theta_{sim})^2$
- Optimierungsfunktion fmincon
 - Parameterbeschränkung
physiologisch motiviert
- Startwerte variieren
- Probleme bei Optimierung
 - idealer Startwert unbekannt
 - keine Garantie für globales Minimum





- mixed-effects models Strategie
 - gut geeignet, wenn Mittelwertmodell erwünscht
 - kann Grundverhalten und geringfügige Abweichungen repräsentieren
 - benötigt viele Informationen

- Optimierung
 - individuell auf 1 Problem zugeschnitten
 - gut geeignet, wenn nur 1 Datensatz identifiziert werden soll
 - liefert für 1 Datensatz exaktere Ergebnisse



Institute for Design and Control of Mechatronical Systems

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!