

Technische Universität Dresden

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie

Studienarbeit

Modellbildung und Reglerentwurf für ein Brückenkransystem

vorgelegt von: Konstantin Wrede
geboren am: 19. Januar 1998 in Sondershausen

Betreuer:	M.Sc. Tommy Wohlfahrt Dipl.-Ing. Fabian Paschke Dr.-Ing. Carsten Knoll
Verantwortlicher Hochschullehrer:	Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. K. Röbenack
Tag der Einreichung:	30. September 2022

Bitte ersetzen Sie diese Seite vor dem Binden mit der Aufgabenstellung.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage an der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik eingereichte Studienarbeit zum Thema

Modellbildung und Reglerentwurf für ein Brückenkransystem

selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, wurden als solche kenntlich gemacht.

Dresden, 30. September 2022

Konstantin Wrede

Kurzfassung

An dieser Stelle fügen Sie bitte eine deutsche Kurzfassung ein.

Abstract

Please insert the English abstract here.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	1
1 Einleitung	2
2 Systembeschreibung und Modellierungsansatz	3
2.1 Demonstratorsystem	3
2.2 Problembeschreibung und Zielsetzung	4
2.3 Modellierung mittels Lagrange-Formalismus	4
2.3.1 Lagrange-Gleichungen erster Art	4
2.3.2 Lagrange-Gleichungen zweiter Art	5
2.4 Generierung und Berechnung von DAE-Systemen	6
2.5 Systematische Flachheitsanalyse von MIMO-Systemen	7
2.6 Statische Eingangs-Ausgangs-Linearisierung	8
2.7 Quasistatische Eingangs-Ausgangs-Linearisierung	8
3 Analytische Modellbildung	9
3.1 Analytisches Modell Einzelkran	10
3.2 Analytisches Modell Doppelkran	10
3.3 Systemidentifikation	10
4 Regelungsstrategie	11
4.1 Anwendung Flachheitsanalyse am Einzelkran	11
4.2 Anwendung Flachheitsanalyse am Doppelkran	11
4.3 Regelung zur Stabilisierung von Ruhelagen	12
4.4 Trajektorienplanung	12
4.5 Trajektorienfolgeregelung	12
4.5.1 Statische Rückführung	12
4.5.2 Dynamische Erweiterung	13
4.5.3 Quasi-statische Rückführungen	15
4.5.4 Exact feedforward linearization	17
5 war schon	19
5.1 Informationen zu schriftlichen Arbeiten am RST	19

5.2	Die Titelseite	20
5.3	Die ständigkeitserklärung	20
5.4	Kurzfassung	20
5.5	Auswahl des Typs der Arbeit	21
5.6	Eingebundene Pakete	21
5.7	Zusätzliche Makros	22
5.8	Weitere Informationen	22
6	Einige Informationen zu \LaTeX	25
6.1	Generalles zu Schriftgrößen, Hervorhebungen und Abständen	25
6.2	Etwas Mathematik	26
7	Verwaltung und Zitation von Literatur	29
8	kurzer Titel	31
8.1	Unterabschnitt 1	32
8.1.1	Unter-unterabschnitt 1	33
8.1.2	Unter-unterabschnitt 2	35
9	Füllkapitel 1	39
9.1	Fullabschnitt 1	39
9.1.1	Füllunterabschnitt 11	39
9.1.2	Füllunterabschnitt 12	39
9.1.3	Füllunterabschnitt 13	40
9.2	Fullabschnitt 2	40
9.2.1	Füllunterabschnitt 21	40
9.2.2	Füllunterabschnitt 22	40
9.2.3	Füllunterabschnitt 3	41
9.3	Fullabschnitt 3	41
9.3.1	Füllunterabschnitt 31	41
9.3.2	Füllunterabschnitt 32	41
9.3.3	Füllunterabschnitt 33	42
9.4	Fullabschnitt 4	42
9.4.1	Füllunterabschnitt 41	42
9.4.2	Füllunterabschnitt 42	42
9.4.3	Füllunterabschnitt 43	43
9.5	Fullabschnitt 5	43
9.5.1	Füllunterabschnitt 51	43
9.5.2	Füllunterabschnitt 52	43
9.5.3	Füllunterabschnitt 53	44
	Literatur	45

Verzeichnis der Formelzeichen

Abbildungsverzeichnis

1	Doppelkran-Demonstratorsystem mit Laufkatzen und Last.	3
2	Ein Hochleistungsschnittstellenboard wie es typisch in regelungstechnischen Echtzeitanwendungen ist, um höchsten technologischen Anforderungen im Rahmen der Industrie 4.0 gerecht zu werden.	33
3	Zwei verschiedene Anwendungsfälle für das Hochleistungsschnittstellenboard.	35
4	Vier verschiedene Anwendungsfälle für das Hochleistungsschnittstellenboard, die die unterschiedliche Leistungsfähigkeit demonstrieren.	37

Tabellenverzeichnis

1	Relative Grade der Ausgänge und explizites Auftreten der Eingänge. . .	12
2	Auftreten der Eingänge τ_j bei Ordnung k der Ausgangsableitung y_i . . .	15
3	Befehle zum Anpassen der Titelseite	20
4	Auswahl des Typs der Arbeit mittels Klassenoptionen	21
5	Auswahl eingebundener Pakete	21
6	Zusätzliche Makros und Umgebungen	22
7	Beispiele der vordefinierten Umgebungen	23

Kapitel 1

Einleitung

Kapitel 2

Systembeschreibung und Modellierungsansatz

2.1 Demonstratorsystem

Im Rahmen vorangegangener studentischer Arbeiten ist am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS [4] in Dresden ein Demonstratorsystem entwickelt worden. Langfristig soll dieses Vorteile von Regelungsstrategien auf verteilten Recheneinheiten gegenüber einer zentralen Messgrößenverarbeitung und Stellgrößenberechnung veranschaulichen. Der Demonstrator ist in Abbildung 1 dargestellt.

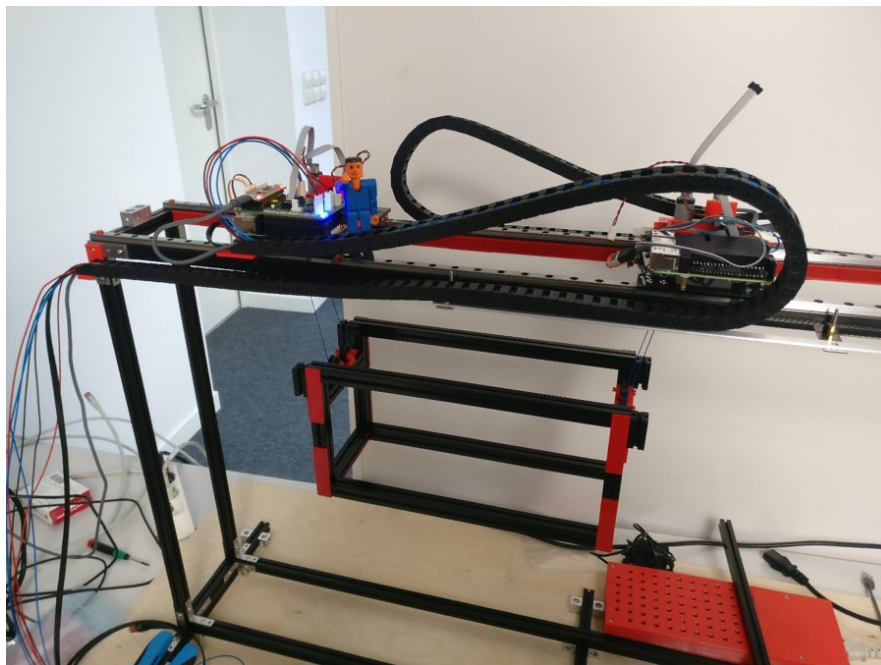


Abbildung 1 – Doppelkran-Demonstratorsystem mit Laufkatzen und Last.

Das Demonstratorsystems besteht aus zwei Brückenkränen, die eine gemeinsame Last in einer festen Ebene anheben. Die Kräne befinden sich auf Schienen und verfügen jeweils über einen Raspberry Pi 4B als Hauptrecheneinheit sowie einen STM32-Mikrocontroller für Motoransteuerungen und Messungen. Beide Raspberry Pis können über eine LAN-Verbindung miteinander kommunizieren.

Beide Kräne sind auf Schienen in horizontaler Richtung sowie die Seillängen mit jeweils einem DC-Motor aktuiert. Auf den STM32-Mikrocontroller ist bereits eine unterlagerte Strom- beziehungsweise Kraftregelung für diese implementiert. Messungen der Seillängen und Kranpositionen auf der Schiene erfolgen mittels Inkrementalgebern nach einem anfänglichen Kalibrierungsvorgang. Die Seilwinkel werden mittels mitschwingender Potentiometer bestimmt.

2.2 Problembeschreibung und Zielsetzung

Bei der Bewegung von Containern in Häfen ist ein ruckarmer und gegenüber der Horizontalen stabiler Transport notwendig. Ziel der Studienarbeit ist es deshalb, bezüglich des vorhandenen Demonstratorsystems eine zentrale Referenzregelstrategie zu entwerfen. Damit soll unter Vorgabe von Sollposen eine Planung von Trajektorien der Last in der Ebene und Folgeregelung zur Überführung dieser zwischen verschiedenen Ruhelagen ermöglicht werden. Diese Überlegungen sollen auf Basis einer Modellierung des Krans als Mehrkörpersystems geschehen.

2.3 Modellierung mittels Lagrange-Formalismus

2.3.1 Lagrange-Gleichungen erster Art

Die Dynamik mechanischer Systeme lässt sich über Differentialgleichungen, den so genannten Lagrange-Gleichungen beschreiben. Dabei wird eine Menge aus n auftretenden und zeitlich veränderlichen Koordinaten als Konfigurationskoordinaten oder Systemgrößen $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_n)^T$ bezeichnet. Die zeitlichen Änderungsraten dieser sind die (Konfigurations-)Geschwindigkeiten $\dot{\boldsymbol{\theta}}$ [5, S.7].

Die kinetische Energie eines Systems wird im Folgenden durch die Funktion T sowie die potentielle Energie durch V beschrieben. Eine Lagrange-Funktion kann damit folgendermaßen definiert werden:

$$L(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) = T(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) - V(\boldsymbol{\theta}). \quad (2.1)$$

Mit den Lagrange-Gleichungen erster Art können Probleme mit Zwangsbedingungen

und -kräften dargestellt werden:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \tilde{Q}_i + Q_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2.2)$$

Die sich auf die jeweilige Koordinate θ_i beziehende Stellkraft $Q_i = f_i - D_i$ entspricht der verallgemeinerten Kraft, welche sich aus äußeren (Stell-)Kräften f_i sowie internen Reibungskräften D_i zusammensetzt [2, S. 49].

Aus den m holonomen Zwangsbedingungen $g_i(\boldsymbol{\theta}) = 0$ folgen die Zwangskräfte \tilde{Q}_i in Richtung der Koordinate θ_i :

$$\tilde{Q}_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j G_{ji}(\boldsymbol{\theta}) \quad (2.3)$$

Dabei werden die Lagrange-Multiplikatoren λ_j unter dieser Beziehung genutzt:

$$\frac{dg_j}{dt} = \sum_{i=1}^n G_{ji}(\boldsymbol{\theta}) \dot{\theta}_i = 0 \quad j = 1, \dots, m. \quad (2.4)$$

2.3.2 Lagrange-Gleichungen zweiter Art

Eine alternative Herleitung solcher Systemgleichungen sind die Lagrange-Gleichungen zweiter Art. Bei diesen müssen Zwangskräfte nicht explizit bestimmt werden. Die Bewegungsgleichungen können folgendermaßen aus der Lagrange-Funktion abgeleitet werden:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = Q_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2.5)$$

Eine stark automatisierte Durchführung dieses Formalismus ist unter Nutzung des Python-Pakets *sympbtools* [8] möglich.

-> ggf. dazu in Nextcloud/Präsis Folien zu modeltools -> Matrixdarstellung mit M, C, K, B

Zur Bestimmung der generalisierten Kräfte Q_i wird das Prinzip der virtuellen Arbeit hinzugezogen [9]:

$$\delta W = \sum_{k=1}^l \mathbf{F}_k \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_k}{\partial \theta_1} \delta \theta_1 + \dots + \sum_{k=1}^l \mathbf{F}_k \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_k}{\partial \theta_n} \delta \theta_n. \quad (2.6)$$

Dabei entspricht bei einem System von l (massebehafteten) Teilchen \mathbf{r}_k dem Richtungsvektor zum k -ten Partikel, \mathbf{F}_k der jeweils entlang dieses Richtungsvektoren angewandten

Stellkraft, $\delta \mathbf{r}_k$ der virtuellen Verschiebung und $\delta \theta_i$ der virtuellen Verschiebung der Koordinaten.

Die gesamte virtuelle Arbeit des Systems dieser Teilchen kann also ebenso durch

$$\delta W = Q_1 \delta \theta_1 + \dots + Q_n \delta \theta_n, \quad (2.7)$$

dargestellt werden, wobei sich die generalisierten Kräfte zu

$$Q_i = \sum_{k=1}^l \frac{\partial \mathbf{r}_k}{\partial \theta_i} \cdot \mathbf{F}_k, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.8)$$

ergeben.

2.4 Generierung und Berechnung von DAE-Systemen

Standardform:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{z}, \mathbf{u}, t) \quad (2.9)$$

$$\mathbf{0} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{z}, \mathbf{u}, t) \quad (2.10)$$

mit \mathbf{x} Zustand, \mathbf{z} algebraischer Variablen (quasi Zustandsgrößen, die in Systemgleichungen nicht differentiell vorkommen), \mathbf{u} Systemeingang, t Zeit.

Differenzieller Index: Minimale Anzahl an Differentiation $\frac{d}{dt}$ der algebraischen Gleichungen (AGL) \mathbf{g} (Zwangsbedingungen), damit unter Einbeziehung der Differentialgleichung ein explizites Differentialgleichungssystem aus dem DAE-System entsteht. (Vgl. Systementwurf Mechatronischer Systeme S. 139)

Numerische Integration von DAE-Systemen:

- mechanische Systeme mit starrer Kopplung als Zwangsbedingungen allgemein von Index 3
- Lösung über Indexreduktion auf Index 2 -> Integration über implizites Verfahren
- Lösung über Indexreduktion auf Index 1 -> Integration über explizites Verfahren + AGL-Löser oder implizites Verfahren
- Lösung über Indexreduktion auf Index 0 -> Integration über explizites oder implizites Verfahren
- Bestimmung der Anfangswerte der Integration aus gegebenen AGL oder Gleichungen, die sich im Laufe der Indexreduktion ergeben

modeltools führt dabei Reduktion von Index 3 System auf Index 1 System durch. Hier wird als Solver ODASSL verwendet. Dieser ist modifizierte Version des DASSL Solvers zur Lösung überbestimmter (mehr Gleichungen als Variablen, wieso?) Systeme (singulärer) impliziter DGL (https://jmodelica.org/assimulo/DAE_OVER_ODASSL.html). Zu DASSL: <https://www.openmodelica.org/doc/OpenModelicaUsersGuide/latest/solving.html>

Zum weiterem Verständnis von DAEs: <https://reference.wolfram.com/language/tutorial/NDSolve.html>

weitere Punkte zum behandeln: - Warum konsistente AW bei DAE wichtig, Funktionsweise von modeltools mit DAE-Systemen -> DAE System(object)->init? (Präsi zu modeltools unter Präsi in nextcloud) - Stichpunkte wie in modeltools DAEs aufgestellt werden - Schritte zur Reduktion auf Index 1 System in modeltools verstehen, warum ist Reduktion wichtig?

2.5 Systematische Flachheitsanalyse von MIMO-Systemen

Paper Fritzsche, Franke, Knoll Systematische Flachheitsanalyse und Algorithmische Anleitung : https://github.com/klim-uc_algorithm/blob/master/doc/user_guide.pdf

Mathematische Beschreibung eines nichtlinearen Systems in impliziter Form:

$$\mathbf{0} = \mathbf{F}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}), \quad \mathbf{x}(t) \in \mathbb{R}^n \quad (2.11)$$

Wobei \mathbf{x} nicht dem Zustandsvektor allein sondern allen Systemgrößen, also Zustandskomponenten und Systemeingangsgrößen entspricht.

Das DAE-System besitzt den Systemgrößenvektor \mathbf{y} mit

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\theta} \\ \dot{\boldsymbol{\theta}} \\ \boldsymbol{\lambda} \\ \boldsymbol{\tau} \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Somit wird unter Berücksichtigung der verallgemeinerten Stellkräfte $\boldsymbol{\tau}$ die implizite DGL gebildet:

$$\mathbf{0} = \mathbf{F}(\mathbf{w}, \dot{\mathbf{w}}) \quad \text{mit} \quad \mathbf{w} = \begin{pmatrix} \mathbf{y} \\ \boldsymbol{\tau} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\theta} \\ \dot{\boldsymbol{\theta}} \\ \boldsymbol{\lambda} \\ \boldsymbol{\tau} \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

Mechanische Systeme können über folgende Bewegungsgleichungen dargestellt werden

(2019_{Knoll}_{Heedt}_{Röbenack}_{Lagrangian}_{Modeltools}.pdf):

$$\mathbf{0} = \mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})\ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{C}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) + \mathbf{K}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) + \mathbf{G}(\boldsymbol{\theta})\boldsymbol{\lambda} - \mathbf{B}(\boldsymbol{\theta})\boldsymbol{\tau} \quad (2.14)$$

$$\mathbf{0} = \mathbf{g}(\boldsymbol{\theta}) \quad (2.15)$$

(für späteres Kapitel der SA!) Dieses Doppelkransystem mit den Systemgrößen

$$\mathbf{w} = \left(p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ \dot{p}_1 \ \dot{p}_2 \ \dot{p}_3 \ \dot{p}_4 \ \dot{q}_1 \ \dot{q}_2 \ \dot{q}_3 \ \dot{q}_4 \ \lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3 \ \tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3 \ \tau_4 \right)^T \quad (2.16)$$

So kann das implizite DAE-System aus den Bewegungsgleichungen und diesen definitiven Gleichungen beschrieben werden:

$$(\mathbf{I}_{6 \times 6}, \mathbf{0}_{6 \times 17})\dot{\mathbf{w}} = (\mathbf{0}_{6 \times 6}, \mathbf{I}_{6 \times 6}, \mathbf{0}_{6 \times 11})\mathbf{w} \quad (2.17)$$

2.6 Statische Eingangs-Ausgangs-Linearisierung

relativer grad ... (Buch von Röbenack) mit Definition 4.80 usw., aber nicht Erzeugung von y Ableitungen

2.7 Quasistatische Eingangs-Ausgangs-Linearisierung

Kapitel 3

Analytische Modellbildung

Verschiedene Stufen zur Modellierung im Repo:

Einzelkran: -model single crane -> ODE System zur kollokierten partiellen Linearisierung, Simulation von ODEs -DAE lift actuated single crane -> Darstellung als DAE-System mit Hubaktuierung, so dass Regelung mittels virtueller Kraft auf Ruhelage, wenn Schneckengetriebe sperrt.

Doppelkran (double crane notebooks, nur LK Aktuierung): Prinzipielles Problem, dass in kinetischer Energie T für Lagrange alle abgeleiteten p, q vorkommen müssen - DAE double crane w1 angle -> $G2$ in kartesischen Koordinaten und absoluter Lastwinkel, so dass für T nur Trägheitsmoment von Last, nicht Seilen nötig, damit alle p, q enthalten - DAE double crane w1 angle -> 3 relative Winkel, deshalb auch J in Seilen für T

Doppelkran (lift actuated double crane notebooks, vollständige Aktuierung): Prinzipielles Problem, dass effiziente Berechnung und Hubaktuierung bei Ruhelage und Schwerkraft wirken (Vgl. Einzelkran DAE lift actuated single crane) - DAE double crane fully actuated -> 3 Winkel als passive Koordinaten, aber ungelöstes Problem des Findens von konsistenten Anfangswerten - DAE double crane cartesian -> Gelenke als kartesische Koordinaten, 3 ZB in euklidischen Abständen -> keine \cos, \sin Terme (daher effiziente Simulation), Längen l_1, l_2 zunächst als feste Parameter und dann später manuell durch weitere Zustände im Modell mod ergänzt, Trick mit diskreten Massen statt homogener Last wie in Notebook erklärt - weitere Versuche der Beschreibung mit Winkeln durch Probleme bei T (alle \dot{p}) oder seeehr lange Simulationsdauern nicht zielführend

3.1 Analytisches Modell Einzelkran

3.2 Analytisches Modell Doppelkran

3.3 Systemidentifikation

Trägheitsmoment der Last nach berechnet zu 0.004553475 kg m m

Kapitel 4

Regelungsstrategie

4.1 Anwendung Flachheitsanalyse am Einzelkran

4.2 Anwendung Flachheitsanalyse am Doppelkran

Herangezogen: ODE Modell des Gantry aus Lagrange 1 (ODE flatness analysis simulation) -> relativ überschaubare mod.eqns (5 Gleichungen) - eqns.jacobian(ttau), um Spalten zu finden, in denen Größe nur 1 mal vorkommt, so dass keine widersprüchlichen Gleichungen für Bestimmung der Größe -> eliminiere Gleichung und Größe aus Zeile, bei der solche Größe gefunden: - zunächst tau1(tau2) in 1ter(2ter) Spalte und damit 4te(5te) Zeile/Gleichung zu eliminieren - bei weiteren Größen keine Spalten mehr in jacobimatrix, in denen Größen nur 1 mal vorkommen, außerdem nun Jacobi-Matrix der Dimension 3x2 -> Ziel: Durch Linearkombination (Multiplikationen von Links) soll Transformation in Form

$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ gebracht werden -> Vorgehen: $w_1 \cdot B_1 = \begin{pmatrix} I_2 \\ 0_{1 \times 2} \end{pmatrix}$ -> Bildung der Pseudo-Inversen

von B1: $B_{1,pinv} = B_1^{L+}$ sowie Links-Orthokomplement (VR aller Zeilen, die orthogonal auf allen Spalten von B) $B_1^{L\perp}$, also $B^T B_1^{L\perp} = 0 \Rightarrow \begin{pmatrix} B_1^{L+} \\ B_1^{L\perp} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{1,1} \\ B_{1,2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_2 \\ 0_{1 \times 2} \end{pmatrix}$ mit der

3x3 Matrix w1 und 2x2 Matrix $B_{1,1}$, 1x2 Matrix $B_{1,2} \Rightarrow w_1 = \begin{pmatrix} B_1^{L+} \\ B_1^{L\perp} \end{pmatrix}$, so dass neuer

Gleichungssatz eqns2 = w1 * eqns1, daraus analog wie Anfangs tau1,2 und beide Gleichungen eliminierbar ==> in letzter Gleichung (Zeile) kommen q1,2 nur algebraisch vor:

$s_2((-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3))(l_0 \sin(p_3) - p_1 \sin(p_3) + p_2 \cos(p_3) + q_2 \sin(p_3)) + (-p_1 \sin(p_3) + p_2 \cos(p_3) + q_2 \sin(p_3))$
 $s_2(l_1 l_2 m_2 \ddot{p}_1 + l_1 \tau_4(l_0 - p_1 + q_2 - s_2 \cos(p_3)) + l_2 \tau_3(-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3)))(l_0 p_2 \sin(p_3) - l_0 s_2 \sin^2(p_3))$
 $((p_2 - s_2 \sin(p_3))(l_0 - p_1 + q_2 - s_2 \cos(p_3)) - (p_2 + s_2 \sin(p_3))(-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3)))(J_2 l_1 l_2 \ddot{p}_3 + l_1 \tau_4$
0 kurz: $\kappa_0 + \kappa_{1,0} q_1 + \kappa_{0,1} q_2 + \kappa_{1,1} q_1 q_2 = 0$, so dass hieras OBdA q2 sowie die letzte Gleichung eliminiert werden kann. Die verbleibenden Systemgrößen des Flächenausgangs ergeben sich somit zu $\mathbf{y} = (p_1, p_2, p_3, q_1)^T$. Alle anderen Systemgrößen können durch $\mathbf{y}(\cdot)$ und dessen Ableitungen parametrisiert werden. Die Zusammenhänge dafür folgen

aus den im Vorhinein eliminierten Gleichungen.'

4.3 Regelung zur Stabilisierung von Ruhelagen

4.4 Trajektorienplanung

4.5 Trajektorienfolgeregelung

4.5.1 Statische Rückführung

relativer vektorieller relativer Grad \mathbf{r} des MIMO-Systems [7, S. 194]:

- Durch Zeitableitungen der jeweiligen Komponente des flachen Ausgangs y_i kann die damit korrespondierende Komponente des relativen Grades r_i bestimmen. Diese entspricht der Ableitungsordnung, bei der das erste mal ein Eingang explizit auftritt.
- Hierbei werden die Zeitableitungen des Ausgangs durch Lie-Ableitungen entlang des Vektorfelds der Systemgleichungen $\delta = \mathbf{f} + \mathbf{g}\boldsymbol{\tau}$ rekursiv erzeugt:

$$y_i^{(k)} = L_{\delta} y_i^{(k-1)} \quad (4.1)$$

-In der folgenden Tabelle sind die daraus bestimmten relativen Grade sowie die dabei explizit auftretenden Eingänge aufgelistet.

Tabelle 1 – Relative Grade der Ausgänge und explizites Auftreten der Eingänge.

i	1	2	3	4
r_i	2	2	2	2
explizities Auftreten von τ_j bei $y_i^{(r_i)}$	τ_3, τ_4	τ_3, τ_4	τ_3, τ_4	τ_1, τ_3

Das Fehlen von τ_2 bei allen dieser Ausgangsableitungen bedeutet für die Entkopplungsmatrix $\mathbf{\Lambda}$ (auf Section Statische Eingangs-Ausgangs-Linearisierung verweisen) eine Singularität aufgrund der zweiten Nullspalte, denn der einzige von Null verschiedene Eintrag in \mathbf{g}_2 erfolgt durch $g_{10,2} = \frac{1}{m_3}$ und die Lie-Ableitungen $L_{\mathbf{f}} y_i = \dot{y}_i$ geben nur die zeitliche Ableitung des flachen Ausgangs $\dot{\mathbf{y}} = (\dot{p}_1, \dot{p}_2, \dot{p}_3, \dot{q}_1)^T$ wieder. So folgt für das relevante Produkt $\frac{\partial L_{\mathbf{f}} y_i}{\partial \dot{q}_2} = 0 \forall i$. Allgemeiner gilt, dass ein Eingang τ_j in den Ausgangsableitungen $y_i^{(r_i)}$ genau dann nicht explizit auftritt, also die j -te Spalte von $\mathbf{\Lambda}$ eine Nullspalte ist, wenn für alle zugehörigen gemischten Lie-Ableitungen $L_{\mathbf{g}_j} L_{\mathbf{f}}^{r_i-1} y_i = 0$ gilt

[7, S. 201]:

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{p_1 - q_1 - s_2 \cos(p_3)}{m_2 \sqrt{(p_2 - s_2 \sin(p_3))^2 + (-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3))^2}} & \frac{-l_0 + p_1 - q_2 + s_2 \cos(p_3)}{m_2 \sqrt{(p_2 + s_2 \sin(p_3))^2 + (l_0 - p_1 + q_2 - s_2 \cos(p_3))^2}} \\ 0 & 0 & \frac{p_2 - s_2 \sin(p_3)}{m_2 \sqrt{(p_2 - s_2 \sin(p_3))^2 + (-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3))^2}} & \frac{p_2 + s_2 \sin(p_3)}{m_2 \sqrt{(p_2 + s_2 \sin(p_3))^2 + (l_0 - p_1 + q_2 - s_2 \cos(p_3))^2}} \\ 0 & 0 & \frac{s_2(p_1 \sin(p_3) - p_2 \cos(p_3) - q_1 \sin(p_3))}{J_2 \sqrt{(p_2 - s_2 \sin(p_3))^2 + (-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3))^2}} & \frac{s_2(l_0 \sin(p_3) - p_1 \sin(p_3) + p_2 \cos(p_3) + q_2 \sin(p_3))}{J_2 \sqrt{(p_2 + s_2 \sin(p_3))^2 + (l_0 - p_1 + q_2 - s_2 \cos(p_3))^2}} \\ \frac{1}{m_1} & 0 & \frac{-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3)}{m_1 \sqrt{(p_2 - s_2 \sin(p_3))^2 + (-p_1 + q_1 + s_2 \cos(p_3))^2}} & 0 \end{pmatrix}. \quad (4.2)$$

Analog gilt für den alternativen flachen Ausgang $\mathbf{y} = (p_1, p_2, p_3, q_2)^T$ aufgrund des Fehlens von τ_1 , welches eine erste Nullspalte von $\mathbf{\Lambda}$ impliziert.

Daher ist $\mathbf{\Lambda}$ in dieser Form nie regulär und \mathbf{r} nie wohldefiniert und dieses System nicht statisch eingangs-ausgangs-linearisierbar. Stattdessen können zur Regelung Ansätze mit einer dynamischen Erweiterung oder quasistatischen Zustandsrückführung verfolgt werden.

Zustandsrückführung aus Fehlerdynamik

Nach [7, S. 195] kann eine lineare Fehlerdynamik, in diesem Fall allerdings bezüglich des Trajektorienfolgefehlers $e := y - y_{\text{ref}}$ und nicht eines Festwerts, angesetzt werden:

$$e^{(n)} + c_{n-1}e^{(n-1)} + \dots + c_1\dot{e} + c_0e = 0 \Leftrightarrow y^{(n)} = y_{\text{ref}}^{(n)} - c_{n-1}e^{(n-1)} - \dots - c_1\dot{e} - c_0e. \quad (4.3)$$

Die Koeffizienten c_i , $i \in 0, 1, \dots, n-1$ müssen so gewählt werden, dass das charakteristische Polynom dieser Gleichung ausschließlich Polstellen mit negativem Realteil aufweist.

4.5.2 Dynamische Erweiterung

Die Entkopplungsmatrix $\mathbf{\Lambda}$ hat eine Nullspalte, weil τ_2 in keine r Ausgangsableitung $y_i^{(r_i)}$ explizit auftritt. Somit gilt $\text{rang } \mathbf{\Lambda} = k = 3 < m = 4$.

Verhindern von frühzeitigem auftreten der 3 Eingangskomponenten τ_1, τ_3, τ_4 in den entsprechenden Ausgangsableitungen. Dafür:

- Ergänzung dieser Eingänge um in diesem Fall jeweils zwei Integratoren, so dass die neuen Eingangskomponenten bei der selben Ableitungsordnung das erste mal explizit

auftreten wie τ_2 und Erweiterung der Systemgleichungen um die folgenden DGL:

$$\begin{aligned}
 \dot{\tau}_1 &=: \alpha_1 \\
 \dot{\tau}_3 &=: \alpha_3 \\
 \dot{\tau}_4 &=: \alpha_4 \\
 \dot{\alpha}_1 &=: \beta_1 \\
 \dot{\alpha}_3 &=: \beta_3 \\
 \dot{\alpha}_4 &=: \beta_4.
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

- Definition des neuen Eingangsvektors unter Einsortierung der zuvor abwesenden Komponente τ_2 zuletzt $\tilde{\tau} = (\beta_1, \beta_3, \beta_4, \tau_2)^T$.

- Erweiterung des Zustandsvektors auf $\tilde{\mathbf{x}} = (\mathbf{x}, \tau_1, \tau_3, \tau_4, \alpha_1, \alpha_3, \alpha_4)^T$

- Umsortierung der Nullspalte von \mathbf{A} auf die letzte Position analog zum neuen Eingangsvektor

- Herleitung des Ausgangsableitungen über Lie-Ableitungen entlang erweiterter Zustandsgleichungen $\tilde{\delta} = \tilde{\mathbf{f}} + \tilde{\mathbf{g}}\tilde{\tau}$ mit

$$\tilde{\delta} = \begin{pmatrix} \delta \\ \alpha_1 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \beta_1 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{pmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{f}} = \tilde{\delta}|_{\tilde{\tau}=0}, \quad \tilde{\mathbf{g}} = \frac{\partial \tilde{\delta}}{\partial \tilde{\tau}} \tag{4.5}$$

und diese sollen nach [7, S. 195] Gleichung 4.157 jeweils auch über:

$$y_i^{(r_i)} = L_{\tilde{\mathbf{f}}}^{r_i} y_i + L_{\tilde{\mathbf{g}}_1} L_{\tilde{\mathbf{f}}}^{r_i-1} y_i \beta_1 + L_{\tilde{\mathbf{g}}_2} L_{\tilde{\mathbf{f}}}^{r_i-1} y_i \beta_3 + L_{\tilde{\mathbf{g}}_3} L_{\tilde{\mathbf{f}}}^{r_i-1} y_i \beta_4 + L_{\tilde{\mathbf{g}}_4} L_{\tilde{\mathbf{f}}}^{r_i-1} y_i \tau_2. \tag{4.6}$$

berechnet werden können.

- Für dieses modifizierte System folgt somit stets für $r_i = 4 \forall i$.

Problem:

- Pole müssen weiter links Platziert werden für gutes Folgeverhalten bei Anfangsfehlern (wegen der zusätzlichen Integratoren bei den Eingängen ???)
- sehr lange Simulationsdauer

Änderungen der Trajektorienplanung

- an beiden Rändern für jede Referenztrajektorie jeweils 2 mal mehr stetig diffbar wegen weiterer differenzierender Zustände von τ_1, τ_3, τ_4 notwendig -> Trajektorienordnung

erhöht sich jeweils um 4

4.5.3 Quasi-statische Rückführungen

Ebenso wie die dynamische Erweiterung kann eine quasi-statische Zustandsrückführung bei einem nicht wohldefiniertem relativen vektoriiellen Grad im statischen Ansatz [7, S. 206].

Tabelle 2 – Auftreten der Eingänge τ_j bei Ordnung k der Ausgangsableitung y_i .

k	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4
$y_1^{(k)}$	4	4	2	2
$y_2^{(k)}$	4	4	2	2
$y_3^{(k)}$	4	4	2	2
$y_4^{(k)}$	2	>4	2	4
$(y_5^{(k)} = q_2^{(k)})$	>4	2	4	2

- Im Folgenden wird der flache Ausgang $\mathbf{y} = (y_1, y_2, y_3, y_4)^T = (p_1, p_2, p_3, q_1)^T$ betrachtet.
- Zeitliche Ableitungen werden durch Lie-Ableitungen bezüglich des erweiterten Zustandsvektors $\tilde{\mathbf{x}} = (\mathbf{x}, \boldsymbol{\tau}, \dot{\boldsymbol{\tau}})^T$ entlang des Vektorfelds der Zustandsgleichungen $\tilde{\boldsymbol{\delta}} = \tilde{\mathbf{f}} + \tilde{\mathbf{g}}\tilde{\boldsymbol{\tau}}$ mit

$$\tilde{\boldsymbol{\delta}} = \begin{pmatrix} \mathbf{f} + \mathbf{g}\boldsymbol{\tau} \\ \dot{\boldsymbol{\tau}} \\ \ddot{\boldsymbol{\tau}} \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

- τ_3 tritt das erste mal bei $r_1 = 2$ in \ddot{y}_1 sowie auch in allen anderen zweiten Ableitungen des flachen Ausgangs auf. Dies gilt nicht für alle weiteren Eingänge, da der relative vektorielle Grad für $r_i = 2 \forall i$ nicht wohldefiniert ist.
- Außerdem tritt τ_4 auch bei $r_3 = 2$ in \ddot{y}_1, \ddot{y}_2 und \ddot{y}_3 , nicht aber in \ddot{y}_4 auf.
- > Widerspruch zu [7, S. 206], bei dem für Auftreten von u_2 der Ausgang y_2 noch weiter differenziert werden muss!
- τ_2 tritt erst bei $r_2 = 4$ in $y_1^{(4)}, y_2^{(4)}$ oder $y_3^{(4)}$ auf.
- τ_1 tritt erst bei $r_4 = 2$ in \ddot{y}_4 auf.
- Definition neuer Eingänge:

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1 &= \ddot{p}_1 =: v_1 = \gamma_1(x, \tau_3, \tau_4) \\ y_2^{(4)} &= p_2^{(4)} =: v_2 = \gamma_2(x, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \dot{\tau}_3, \dot{\tau}_4, \ddot{\tau}_3, \ddot{\tau}_4) \\ \ddot{y}_3 &= \ddot{p}_3 =: v_3 = \gamma_3(x, \tau_3, \tau_4) \\ \ddot{y}_4 &= \ddot{q}_1 =: v_4 = \gamma_4(x, \tau_1, \tau_3). \end{aligned} \quad (4.8)$$

- Daraus ersichtlich, dass aus einem Gleichungssystem aus v_1, v_3 und v_4 in denen alle Eingänge jeweils affin auftreten, eine explizite Darstellung von τ_1, τ_3 und τ_4 möglich ist.

- > im Gegensatz zu [7, S. 207], bei dem relative Grade der Ausgangskomponenten aufsteigend sind, so dass kein Gleichungssystem gelöst werden muss, sondern sukzessives Einsetzen vorher berechneter Eingänge und Umstellen der abgeleiteten Ausgänge genügt.
- Die Berechnung von τ_2 erfordert größeren Aufwand. Dabei Substitution bisheriger Eingangskomponenten und deren Ableitungen, welche aus Lie-Ableitung entlang von $\tilde{\delta}$ generiert werden. Es folgt ein sehr umfangreicher Ausdruck für τ_2 , der bereits zu diesem Zeitpunkt mehr als einhunderttausend Rechenoperationen enthält.
 - Nach [7, S. 208] kann eine lineare Fehlerdynamik \mathbf{v} entsprechend jeweiligem relativen Grad der Ausgangskomponente angesetzt werden. Für v_1 , v_3 und v_4 diese jeweils nur von Zustandskomponenten abhängig, bei v_2 allerdings auch von $\ddot{y}_2 = \ddot{p}_2$ und $y_2^{(3)} = p_2^{(3)}$:

$$\begin{aligned}\ddot{p}_2 &= L_{\tilde{\delta}}\dot{y}_2 = L_{\tilde{\delta}}\dot{p}_2 \\ p_2^{(3)} &= L_{\tilde{\delta}}\ddot{p}_2.\end{aligned}\tag{4.9}$$

und Ableitungen der anderen Komponenten von \mathbf{v} , die wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned}\ddot{e} + c_1\dot{e} + c_0e &= 0 \\ e^{(3)} + c_1\ddot{e} + c_0\dot{e} &= 0 \\ e^{(3)} + c_1(-c_1\dot{e} - c_0e) + c_0\dot{e} &= 0 \\ e^{(3)} - c_1^2\dot{e} + c_0\dot{e} - c_0c_1e &= 0 \\ e^{(3)} + (c_0 - c_1^2)\dot{e} - c_0c_1e &= 0 \\ e^{(4)} + (c_0 - c_1^2)\ddot{e} - c_0c_1\dot{e} &= 0 \\ e^{(4)} + (c_0 - c_1^2)(-c_1\dot{e} - c_0e) - c_0c_1\dot{e} &= 0 \\ e^{(4)} + (c_1^3 - 2c_0c_1)\dot{e} + (c_0c_1^2 - c_0^2)e &= 0 \\ \Rightarrow \text{für } i = 1, 3, 4 : \dot{v}_i = y_i^{(3)} = y_{i,\text{ref}}^{(3)} - (c_{i,0} - c_{i,1}^2)\dot{e} + c_{i,0}c_{i,1}e \\ \ddot{v}_i = y_i^{(4)} = y_{i,\text{ref}}^{(4)} - (c_{i,1}^3 - 2c_{i,0}c_{i,1})\dot{e} - (c_{i,0}c_{i,1}^2 - c_{i,0}^2)e,\end{aligned}\tag{4.10}$$

so dass sich der neue Eingang v_2 wie folgt ergibt:

$$v_2 = y_2^{(4)} = y_{\text{ref}}^{(4)} - c_{2,3}(y^{(3)} - y_{\text{ref}}^{(3)}) - c_{2,2}(\ddot{y} - \ddot{y}_{\text{ref}}) - c_{2,1}(\dot{y} - \dot{y}_{\text{ref}}) - c_{2,0}(y - y_{\text{ref}})\tag{4.11}$$

- Problem mit Singularitäten wenn in den Berechneten Stellgrößen wirklich alle gemessenen Zustandskomponenten \mathbf{x} vorkommen statt nur die von \mathbf{y} und seinen Ableitungen.

Singularitäten in der Nähe von Ruhelagen

In allen Stellgrößen $\boldsymbol{\tau}$ treten in der Nähe von Ruhelagen Singularitäten auf. Diese äußern sich aufgrund numerischer Effekte, da es sich eigentlich beim Einsetzen solcher ...

Bedingungen (measured quantities!) um Definitionslücken von rückgeführten Mess- bzw. Simulationsgrößen handelt. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Definitionslücken durch algebraische Manipulation hebbar sind. Allerdings ist eine weitere händische Untersuchung dieses Zusammenhangs mit hohem Aufwand verbunden und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter untersucht. Die CAS-Bibliothek *SymPy* bietet mittels des Aufrufs *smpIf* ebenso bei relativ langer Rechenzeit kein Ergebnis.

Zur Untersuchung bieten sich relativ einfache Terme der Nenner von τ_1 , τ_3 und τ_4 an ...

Weiter interessant, wieso sich solche Lücken bei der Konstruktion der Trajektorie in den Ruhelagen ergeben ...

4.5.4 Exact feedforward linearization

An der Stelle einer Kompensation der Nichtlinearität mittels Rückführung der gemessenen beziehungsweise simulierten Zustandskomponenten wie bei der exakten Eingangs-Ausgangs-Linearisierung wird im Folgenden die Referenztrajektorie eingesetzt. [3]

Heuristisch wird eine Fehlerdynamik der Ordnung zwei für alle Komponenten des Koordinatenvektors angesetzt:

$$\ddot{\boldsymbol{\theta}} = \ddot{\boldsymbol{\theta}}_{\text{ref}} - \mathbf{c}_1^T \dot{\mathbf{e}} - \mathbf{c}_0^T \mathbf{e}. \quad (4.12)$$

Aus der Zusammensetzung des Zustandsvektors $\mathbf{x} = (\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}})^T$ und der eingangsaffine Zustandsraumdarstellung kann außerdem der Zusammenhang:

$$\ddot{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{f}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta}) + \mathbf{g}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta})\boldsymbol{\tau} \quad (4.13)$$

hergestellt werden. Dabei bedeutet die Indizierung $\bullet_{[i,j]}$, die Auswahl der Zeilen i bis j von \bullet . Da $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^4$ und $\mathbf{g}_{[6,10]} \in \mathbb{R}^{5 \times 4}$ gilt, kann dieser Zusammenhang über die Bildung einer Pseudo-Inversen von $\mathbf{g}_{[6,10]}^+$ nach dem Eingangsvektor aufgelöst werden:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{g}_{[6,10]}^+(\boldsymbol{\theta}) (\ddot{\boldsymbol{\theta}}_{\text{ref}} - \mathbf{c}_1 \dot{\mathbf{e}} - \mathbf{c}_0 \mathbf{e} - \mathbf{f}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta})). \quad (4.14)$$

Unter Einsetzen von $\boldsymbol{\theta}_{\text{ref}}$ in $\mathbf{g}_{[6,10]}^+$ und $\mathbf{f}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta})$ wird die Exact feedforward linearization realisiert:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{g}_{[6,10]}^+(\boldsymbol{\theta}_{\text{ref}}) (\ddot{\boldsymbol{\theta}}_{\text{ref}} - \mathbf{c}_1 \dot{\mathbf{e}} - \mathbf{c}_0 \mathbf{e} - \mathbf{f}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta}_{\text{ref}})). \quad (4.15)$$

Vereinfachung mittels Ausgangsselektion

Statt der Nutzung einer Pseudo-Inversen kann auch eine Selektion von vier der fünf Gleichungen der Beschleunigungen $\ddot{\boldsymbol{\theta}}$ vorgenommen werden. Symbolisch werde dies über

eine Selektionsmatrix S dargestellt:

$$S\ddot{\boldsymbol{\theta}} = S(\ddot{\boldsymbol{\theta}}_{\text{ref}} - \mathbf{c}_1^T \dot{\mathbf{e}} - \mathbf{c}_0^T \mathbf{e}) = S\mathbf{f}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta}) + S\mathbf{g}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta})\boldsymbol{\tau}. \quad (4.16)$$

Durch die Wahl der letzten 4 Gleichungen kann eine direkte Inversion der somit quadratischen Eingangsmatrix $\mathbf{g}_{[7,10]} = S\mathbf{g}_{[6,10]}$ erfolgen:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{g}_{[7,10]}^{-1}(\boldsymbol{\theta}_{\text{ref}}) S(\ddot{\boldsymbol{\theta}}_{\text{ref}} - \mathbf{c}_1 \dot{\mathbf{e}} - \mathbf{c}_0 \mathbf{e} - \mathbf{f}_{[6,10]}(\boldsymbol{\theta}_{\text{ref}})) \text{ mit } S = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4.17)$$

Diese Berechnungsvorschrift der Stellgrößen enthält deutlich weniger Operationen als alle zuvor dargestellten Ansätze. Damit eignet sie sich insbesondere für eine spätere Implementierung in Echtzeitsystemen sowie sehr viel kürzeren Simulationszeiten. Es ergibt sich für Beispieltrajektorien mit Anfangsfehlern ein sehr gutes Folgeverhalten sowie eine stationäre Genauigkeit.

Stabilitätsbetrachtung

Ljapunows erste (indirekte) Methode zeigt, dass entlang ausgewählter Trajektorien zu späteren Zeitpunkten der Simulation Eigenwerte mit positiven Realteil vorkommen. Es ist möglich, dass aufgrund des bis dahin abgeklungenen Folgefehlers keine weitere Destabilisierung des Systems stattfindet, sondern eine stationäre Genauigkeit dennoch erreicht wird. Bis zum Ende der Simulationen weisen alle Eigenwerte erneut einen negativen Realteil auf.

Kapitel 5

war schon

In den folgenden Abschnitten werden einige Erläuterungen zur L^AT_EX-Dokumentenklasse `ArbeitRST.cls` gegeben werden. Diese basiert auf der Klasse `scrbook` aus dem KOMA-Script-Paket und kann daher mit Hilfe der Methoden aus diesem Paket modifiziert werden. Für nähere Informationen dazu sei auf die KOMA-Script-Anleitung unter <http://www.ctan.org/pkg/koma-script> verwiesen. Das Wichtigste in Kürze gibt es auch in einem Cheatsheet unter <https://ctan.org/pkg/latex-refsheet>.

Die Vorlage wurde zuletzt am 8. August 2022 getestet mit der folgenden Version von KOMA-Script: 2020/01/24 v3.29 KOMA-Script

Changelog

- 09.10.2020: Kompatibilität mit neuen KOMA-Script Versionen hergestellt (scrpage2 → scrlayer-scrpage).
- 09.07.2019: Umstellung auf biber/biblatex.

5.1 Informationen zu schriftlichen Arbeiten am RST

Informieren Sie sich in der für Sie relevanten Prüfungsordnung über die *Anzahl der geforderten Exemplare* die eingereicht werden müssen. Bitte beachten Sie, dass jedes dieser Exemplar die *Aufgabenstellung* enthalten muss. Lassen Sie diese bitte beim Binden zwischen der Titelseite und der Selbstständigkeitserklärung einfügen. Eines der Exemplare muss dabei das *originale*, vom Vorsitzenden des Prüfungsausschusses und dem verantwortlichen Hochschullehrer unterzeichnete, Dokument enthalten, bei den restlichen genügen Kopien. Bitte beachten Sie, dass die Arbeit *einseitig* ausgedruckt werden muss. Ausschlaggebend für die fristgemäße Einreichung ist die *Bestätigung des Prüfungsamtes*. Informieren Sie sich daher im *Vorfeld* über die Öffnungszeiten am Abgabetag. Sollte das Prüfungsamt geschlossen haben, ist es in der Regel möglich mit

den Mitarbeitern eine individuelle Vereinbarung zu treffen.

5.2 Die Titelseite

Die Titelseite kann über die in Tabelle 3 angegebenen Befehle angepasst werden.

Tabelle 3 – Befehle zum Anpassen der Titelseite

Befehl	Bedeutung
<code>\author</code>	legt den Namen des Autors der Arbeit fest
<code>\geburtsdatum</code>	legt das Geburtsdatum des Autors fest
<code>\geburtsort</code>	legt das Geburtsort des Autors fest
<code>\title</code>	legt den Titel der Arbeit fest
<code>\subtitle</code>	legt den Untertitel der Arbeit fest
<code>\betreuer</code>	fügt einen Betreuer hinzu
<code>\date</code>	legt das Einreichungsdatum der Arbeit fest – wird dieser Befehl nicht aufgerufen wird standardmäßig das zum Kompilationszeitpunkt eingestellte Systemdatum verwendet.

5.3 Die ständigkeitserklärung

In der Selbstständigkeitserklärung werden automatisch der Typ der Arbeit, ihr Titel sowie der Name des Autors übernommen. Der Ort kann über den Befehl `\selbstort` geändert werden, wobei standardmäßig „Dresden“ verwendet wird. Das Datum ist standardmäßig identisch zum Einreichungsdatum, kann aber mit dem Befehl `\selbstdatum` geändert werden.

5.4 Kurzfassung

Eine Kurzfassung der Arbeit kann mit dem Befehl `\kurzfassung{deutsch}{englisch}` eingefügt werden. Das erste Argument entspricht dabei der deutschen, das zweite der englischen Version.

5.5 Auswahl des Typs der Arbeit

Zur Auswahl des Typs der Arbeit steht die Klassenoption `arbeit` zur Verfügung. Mit dieser können sie zwischen Diplom-, Master- und Studienarbeit sowie dem Bericht zum Forschungspraktikum auswählen:

Tabelle 4 – Auswahl des Typs der Arbeit mittels Klassenoptionen

Diplomarbeit	<code>\documentclass[arbeit=diplom]{ArbeitRST}</code>
Masterarbeit	<code>\documentclass[arbeit=master]{ArbeitRST}</code>
Studienarbeit	<code>\documentclass[arbeit=studie]{ArbeitRST}</code>
Bericht zum Forschungspraktikum	<code>\documentclass[arbeit=forsch]{ArbeitRST}</code>

5.6 Eingebundene Pakete

In der Dokumentenklasse werden bereits einige L^AT_EX-Pakete geladenen. Davon sind die zum Verfassen einer Arbeit möglicherweise relevanten in der Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5 – Auswahl eingebundener Pakete

<code>amsmath</code> , <code>amssymb</code> , <code>amsfonts</code> , <code>amsthm</code>	Pakete zum Satz mathematischer Formeln, Dokumentation finden sie unter http://www.ams.org/publications/authors/tex/amslatex , besonders empfehlenswert ist der „Short Math Guide for L ^A T _E X“
<code>booktabs</code>	ermöglicht das Setzen „schöner“ Tabellen, Dokumentation unter http://ctan.org/pkg/booktabs
<code>cite</code>	verbessert einige Aspekte des Zitierens, Dokumentation unter http://ctan.org/pkg/cite
<code>caption</code> , <code>subcaption</code>	Pakete zum Anpassen der Unter- und Überschriften von Tabellen, Grafiken etc., Dokumentation unter http://ctan.org/pkg/caption http://ctan.org/pkg/subcaption

Neben diesen Paketen wird das Paket `hyperref` (<http://ctan.org/pkg/hyperref>) zur farbigen Hervorhebung von Verweisen, Links etc. eingebunden. Bitte deaktivieren Sie diese Markierungen vor dem Ausdrucken mit Hilfe des Befehls

```
\hypersetup{hidelinks}.
```

5.7 Zusätzliche Makros

In die Dokumentenklasse `ArbeitRST` wurden einige Makros aufgenommen, die sich bei der Arbeit mit \LaTeX als nützlich erwiesen haben.

Tabelle 6 – Zusätzliche Makros und Umgebungen

Syntax	Ausgabe	Beschreibung
<code>\vect{a}</code>	<i>a</i>	Umschaltung auf fette Schriftart im Mathemodus – oft für Vektoren genutzt
<code>\diag(a,\ldots,z)</code>	$\text{diag}(a, \dots, z)$	Nützlich zur Definition von Diagonalmatrizen
<code>\diff[n]{q}{t}</code>	$\frac{d^n q}{dt^n}$	Ableitungen darstellen
<code>\partiell[n]{q}{t}</code>	$\frac{\partial^n q}{\partial t^n}$	partielle Ableitungen darstellen
<code>\dr</code>	d	Aufrechtes d für Integrale ($\int f(t)dt$)
<code>\Reals</code>	\mathbb{R}	Körper der reellen Zahlen
<code>\Complex</code>	\mathbb{C}	Körper der komplexen Zahlen
<code>\Real(a)</code>	$\Re(a)$	Realteil von a
<code>\Imag(a)</code>	$\Im(a)$	Imaginärteil von a
<code>\norm{a}</code>	$\ a\ $	Norm von a
<code>\abs{a}</code>	$ a $	Betrag von a
<code>\skalprod{a}{b}</code>	$\langle a, b \rangle$	Skalarprodukt von a und b
<code>\grad(a)</code>	$\text{grad}(a)$	Gradient von a
<code>\div(a)</code>	$\text{div}(a)$	Divergenz von a

Neben diesen Makros wurden Umgebungen zum Erzeugen von Definitionen (`definition`), Beispielen (`beispiel`), Lemmata (`lemma`) und Bemerkungen (`bemerkung`) definiert.

5.8 Weitere Informationen

Da \LaTeX seine Funktionalität im wesentlichen durch frei verfügbare Pakete erhält, ist es günstig eine Distribution zu installieren, die bereits die wesentlichen Pakete enthält und

Tabelle 7 – Beispiele der vordefinierten Umgebungen

Syntax	Ausgabe
<code>\begin{definition}[Beispiel]</code> Beispiel für eine Definitionsumgebung <code>\end{definition}</code>	Definition 5.1 (Beispiel). <i>Beispiel für eine Definitionsumgebung</i>
<code>\begin{beispiel}[Beispiel]</code> Beispiel für eine Beispielumgebung <code>\end{beispiel}</code>	Beispiel 5.1 (Beispiel). <i>Beispiel für eine Beispielumgebung</i>
<code>\begin{lemma}[Beispiel]</code> Beispiel für eine Lemmaumgebung <code>\end{lemma}</code>	Lemma 5.1 (Beispiel). <i>Beispiel für eine Lemmaumgebung</i>
<code>\begin{bemerkung}[Beispiel]</code> Beispiel für eine Bemerkungsumgebung <code>\end{bemerkung}</code>	Bemerkung 5.1 (Beispiel). <i>Beispiel für eine Bemerkungsumgebung</i>

das Hinzufügen weiterer Pakete vereinfacht. Für Windows existiert beispielsweise MiKTeX (<http://miktex.org/>) und für Linux TeX Live (<http://www.tug.org/texlive/>). Zum Erstellen von L^AT_EX-Dokumenten unter Windows hat sich das Programm TeXnicCenter (<http://www.texniccenter.org/>), vor allem in Verbindung mit dem Sumatra PDF-Betrachter (<http://blog.kowalczyk.info/software/sumatrapdf>), als sehr nützlich erwiesen. Unter Linux gilt dasselbe für das Programm Kile (<http://kile.sourceforge.net/>). Zum Erstellen und Verwalten von Bibtex-Dateien wurden gute Erfahrungen mit JabRef (<http://jabref.sourceforge.net/>) gemacht. Es existieren zahlreiche Bücher zum Umgang mit L^AT_EX, von denen an dieser Stelle nur [6] aufgeführt wird.

Kapitel 6

Einige Informationen zu L^AT_EX

6.1 Generalles zu Schriftgrößen, Hervorhebungen und Abständen

Im Gegensatz zu WYSIWAG-Programmen wie Microsoft Word oder LibreOffice muss sich der Nutzer nicht um die explizite Festlegung der Schriftgrößen kümmern. Für das Dokument wird eine Basisschriftgröße definiert – im hier vorliegenden Fall 12 pt –, und alle anderen Größen von Überschriften etc. werden entsprechend gültiger und anerkannter Satzregeln automatisch festgelegt. Nur ausnahmsweise sollte die Schriftgröße manuell festgelegt werden. Hierzu gibt es die Makros `\tiny`, `\footnotesize`, `\small`, `\normalsize`, `\large`, `\Large`, `\huge` und `\Huge`.

Hervorhebungen sollte man nicht durch fette Buchstaben oder Unterstreichungen realisieren, sondern durch *kursiv setzen*. Dies geschieht mit dem Befehl `\emph{Text der kursiv gesetzt werden soll}`.

Einen Absatz beendet man in L^AT_EX mit einer Leerzeile und nicht, was häufig falsch gemacht wird, mit einem Doppelbackslash `\\`:

Korrektter L^AT_EX-Code:

Dies ist der erste Absatz.

Hier beginnt der zweite Absatz.

Falscher L^AT_EX-Code:

Dies ist der erste Absatz.\\
Hier beginnt der zweite Absatz.

oder auch falsch:

Dies ist der erste Absatz.\\

Hier beginnt der zweite Absatz.

Im kompilierten Dokument wird ein neuer Absatz entweder durch eine Einrückung in der ersten Zeile, oder durch einen vertikalen Abstand zum vorherigen Absatz kenntlich gemacht. Dieses Verhalten steuert man mit den Schaltern `\parindent` und `\parskip` am

Beginn des Dokuments. Der Parameter `\parindent` legt fest, mit welcher Einrückung jeder neue Absatz beginnen soll, der Parameter `\parskip` legt fest, wieviel vertikaler Abstand zwischen zwei Absätzen liegen soll. Einer der beiden Werte sollte ungleich Null gesetzt sein, z.B. auf `2ex`¹. Beide Werte ungleich Null zu setzen macht satztechnisch keinen Sinn. Dieses Dokument ist mit

```
\setlength{\parindent}{0ex}
\setlength{\parskip}{2ex}
```

gesetzt worden.

Auf die Absatzgestaltung ist auch bei Formeln zu achten, je nachdem, ob nach einer Formel ein neuer Absatz beginnt oder nicht:

Nach der Formel beginnt neuer Absatz:

```
Man erhält letztendlich
\begin{equation}
a^2 + b^2 = c^2.
\end{equation}
```

Nun wird der Abstand zur Quelle betrachtet.

Nach der Formel geht der Satz weiter:

```
Es ergibt sich die Gleichung
\begin{equation}
a^2 + b^2 = c^2
\end{equation}
in der $a$, $b$ und $c$ die
Seiten des Dreiecks sind.
```

Man erhält letztendlich	Es ergibt sich die Gleichung
$a^2 + b^2 = c^2. \quad (6.1)$	$a^2 + b^2 = c^2 \quad (6.2)$
Nun wird der Abstand zur Quelle betrachtet.	in der a , b und c die Seiten des Dreiecks sind.

6.2 Etwas Mathematik

L^AT_EX eignet sich in besonderem Maße zum Setzen von mathematischen Formeln. Eine einzelne Formel erhalten Sie mit der `equation`-Umgebung:

$$1 + e^{i\pi} = 0. \quad (6.3)$$

Bitte beachten Sie, dass Formeln Teil des Satzes sind und somit mit den entsprechenden Satzzeichen versehen werden müssen².

¹1ex = Breite des Buchstabens x

²Dies ist ein langer Fussnotentext, um zu testen, wie es mit der Einrückung aussieht bei mehrzeiligen Fussnoten. Da kann es zu unschönem Aussehen kommen.

In der Regel genügt es, für eine Gleichung nur dann eine Nummer zu vergeben, wenn Sie später auch auf diese verweisen. Um auf die Nummer einer Gleichung zugreifen zu können verwenden Sie den Befehl `\eqref`:

... wie in Gl. (6.3) gezeigt....

Möchten Sie verhindern, dass eine Gleichung nummiert wird, verwenden Sie die `equation*`-Umgebung:

$$E + F - K = 2.$$

Mathematische Ausdrücke im Text werden durch Dollarzeichen abgegrenzt, z.B.: „Es gilt stets $x \approx \sin(x)$, man kann also davon ausgehen, dass $|x| < 10$ “.

Für Gleichungssysteme bietet sich die `align`- bzw. `align*`-Umgebung an, wobei bei letzterer keine Gleichungsnummern ausgegeben wird:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} \tag{6.4}$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}. \tag{6.5}$$

Alternativ können Sie auch eine `aligned`-Umgebung verwenden:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{\partial v}{\partial x}. \end{aligned} \tag{6.6}$$

Mit Hilfe der `subequations`-Umgebung lassen sich die Nummern der einzelnen Gleichungen eines Systems vereinheitlichen:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = 0 \tag{6.7a}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(gh + \frac{u^2}{2} \right) = 0. \tag{6.7b}$$

Die `subequations`-Umgebung funktioniert auch zusammen mit mehreren einzelnen Gleichungen:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = 0 \tag{6.8a}$$

und

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(gh + \frac{u^2}{2} \right) = 0. \tag{6.8b}$$

Mit dem `intertext`-Befehl kann man auch innerhalb von `align`-Umgebungen Anmerkungen zwischen den Zeilen einfügen, ohne dass die Formelausrichtung verloren geht:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = 0 \quad (6.9a)$$

Es gilt außerdem:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(gh + \frac{u^2}{2} \right) = 0. \quad (6.9b)$$

Für wichtige mathematische Funktionen gibt es in L^AT_EX vordefinierte Makros, zum Beispiel `\sin` für `sin` (anstelle der Ausgabe von `sin`):

`\sin, \cos, \tan, \cot, \arcsin, \arccos, \arctan,`
`\log, \ln, \sinh, \cosh, \tanh, \coth`

Weitere Details können diesem Dokument entnommen werden: <ftp://ftp.ams.org/ams/doc/amsmath/short-math-guide.pdf> bzw. der Gesamtdokumentation des Paketes `amsmath`: <ftp://ftp.ams.org/ams/doc/amsmath/amslldoc.pdf>.

Kapitel 7

Verwaltung und Zitation von Literatur

Die Literaturverwaltung und Referenzierung von verwendeter Literatur ist in \LaTeX komfortabel möglich. Diese Vorlage verwendet das neue `biblatex/ biber`-System. Bitte verwenden Sie *nicht* das veraltete `bibtex`!

Es wird zunächst eine Datei aufgebaut, die die Literaturquellen sammelt. Diese Datei muss die Dateiendung `.bib` haben, also z.B. `Literatur-Arbeit.bib`. Jedem Eintrag wird dabei ein Kürzel zugewiesen. Auf die Literaturstelle wird dann innerhalb Ihres \LaTeX -Dokuments mit dem `\cite`-Befehl verwiesen. Also z.B. so: `\cite{FLMR95ijc}` liefert [1].

Informationen zum Aufbau der `.bib`-Datei finden sich hier: <https://verbosus.com/bibtex-style-examples.html>. In der Regel werden die Eintragstypen `book`, `article` und `inbook` benötigt.

Damit beim Kompilieren der \LaTeX -Datei eine korrekte Verarbeitung der Literatur erfolgt, muss am Beginn des Dokuments

```
\addbibresource{Literatur-Arbeit.bib}
```

und am Ende

```
\printbibliography
```

eingefügt werden, so wie in dieser Vorlage schon geschehen. Zur Erstellung des Gesamtdokuments sind dann folgende Kommandos erforderlich:

```
pdflatex ArbeitRST.tex
biber ArbeitRST
pdflatex ArbeitRST.tex
pdflatex ArbeitRST.tex
```

Achtung! Wenn Sie ihren Text in einer L^AT_EX-Entwicklungsumgebung schreiben, müssen Sie das dortige Kommando zur Literaturerstellung ggf. anpassen!

Details zur Nutzung und Konfiguration von biblatex: https://de.sharelatex.com/learn/Bibliography_management_with_biblatex.

Hinweise zu deutschsprachigen Anpassungen: www.nagel-net.de/Latex/DOKU/DTK-2_2008-biblatex-Teil1.pdf.

Ein Programm zur komfortablen, plattformunabhängigen Verwaltung von bib-Dateien ist JabRef: <http://www.jabref.org/>.

Eine Untersuchung zu Umlauten findet sich hier

Kapitel 8

Ausführlicher Kapiteltitel, der wirklich viel zu lang für das Inhaltsverzeichnis in dieser Dokumentvorlage ist

In diesem Kapitel sind einige Abbildungen verstreut, um den Umgang mit Grafiken zu demonstrieren. Der restliche Text ist Blindtext.
--

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

8.1 Unterabschnitt 1

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

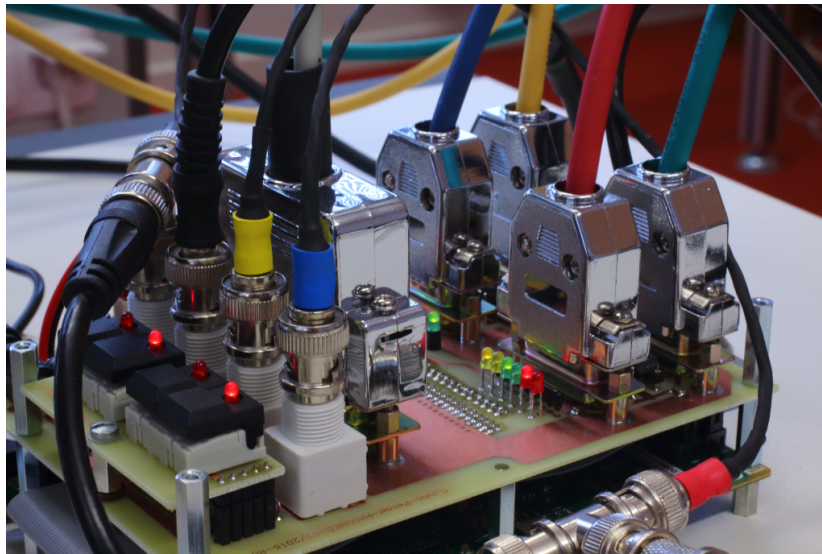


Abbildung 2 – Ein Hochleistungsschnittstellenboard wie es typisch in regelungstechnischen Echtzeitanwendungen ist, um höchsten technologischen Anforderungen im Rahmen der Industrie 4.0 gerecht zu werden.

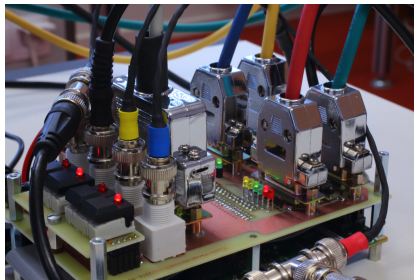
8.1.1 Unter-unterabschnitt 1

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text

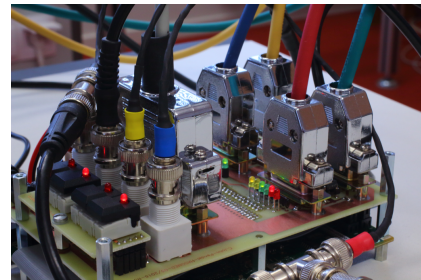
liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert

der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a\sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin\vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a\sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin\vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.



a) Fall mit Synchronisation.



b) Fall ohne Synchronisation.

Abbildung 3 – Zwei verschiedene Anwendungsfälle für das Hochleistungsschnittstellenboard.

8.1.2 Unter-unterabschnitt 2

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte

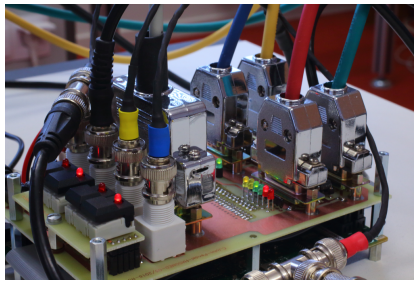
aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

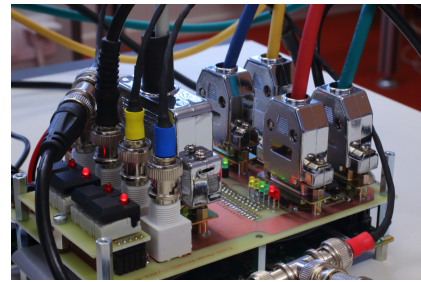
Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

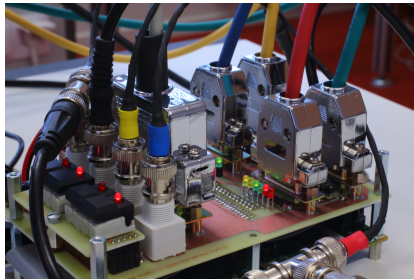
Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der



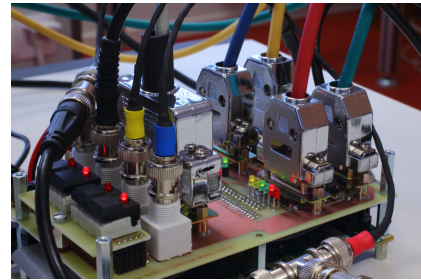
a) Fall mit Synchronisation.



b) Fall ohne Synchronisation.



c) Fall mit unterkritischer partieller Synchronisation.



d) Fall mit überkritischer partieller Synchronisation.

Abbildung 4 – Vier verschiedene Anwendungsfälle für das Hochleistungsschnittstellenboard, die die unterschiedliche Leistungsfähigkeit demonstrieren.

Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein

Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Kapitel 9

Füllkapitel 1

9.1 Fullabschnitt 1

9.1.1 Füllunterabschnitt 11

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.1.2 Füllunterabschnitt 12

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.1.3 Füllunterabschnitt 13

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.2 Fullabschnitt 2

9.2.1 Füllunterabschnitt 21

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.2.2 Füllunterabschnitt 22

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.2.3 Füllunterabschnitt 3

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.3 Fullabschnitt 3

9.3.1 Füllunterabschnitt 31

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.3.2 Füllunterabschnitt 32

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.3.3 Füllunterabschnitt 33

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.4 Fullabschnitt 4

9.4.1 Füllunterabschnitt 41

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.4.2 Füllunterabschnitt 42

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.4.3 Füllunterabschnitt 43

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.5 Fullabschnitt 5

9.5.1 Füllunterabschnitt 51

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.5.2 Füllunterabschnitt 52

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

9.5.3 Füllunterabschnitt 53

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Literatur

- [1] M. Fliess u. a. „Flatness and defect of non-linear systems: introductory theory and examples“. In: *International Journal of Control* 61.6 (1995), S. 1327–1361.
- [2] Torsten Fließbach. *Mechanik : Lehrbuch zur Theoretischen Physik I*. Spektrum Akademischer Verlag, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2188-3_8.
- [3] Veit Hagenmeyer und Emmanuel Delaleau. „Exact feedforward linearization based on differential flatness“. In: *International Journal of Control* 76.6 (2003), S. 537–556. DOI: [10.1080/0020717031000089570](https://doi.org/10.1080/0020717031000089570). eprint: <https://doi.org/10.1080/0020717031000089570>. URL: <https://doi.org/10.1080/0020717031000089570>.
- [4] *Home page Fraunhofer IIS/EAS*. Fraunhofer-Institut fuer Integrierte Schaltungen IIS, Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS. Juni 2022. URL: <https://www.eas.iis.fraunhofer.de/>.
- [5] Carsten Knoll. „Regelungstheoretische Analyse- und Entwurfsansätze fuer unteraktuierte mechanische Systeme“. Diss. TU Dresden, 2016. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-209765>.
- [6] Frank Mittelbach und Michel Goossens. *Der L^AT_EX-Begleiter*. 2. Pearson Studium, 2005.
- [7] Klaus Röbenack. *Nichtlineare Regelungssysteme*. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44091-9>.
- [8] *symbtools GitHub Repository*. Juni 2022. URL: <https://github.com/TUD-RST/symbtools>.
- [9] Bruce Torby. „Energy Methods“. In: *Advanced Dynamics for Engineers* (1984).