



Handbuch

MORLAB GUI

Sylvia Cremer

Stand 11. Januar 2011

Institut: Lehrstuhl für Regelungstechnik
Technische Universität München

Inhaltsverzeichnis

1	GUI starten	2
1.1	GUI aus Matlab starten	2
1.2	GUI als executable starten	2
2	Systeme laden und speichern	2
2.1	Komplette Dateien laden	3
2.2	Matrizen importieren	3
2.3	Systeme zusammensetzen	3
2.4	Systeme und Matrizen im Workspace verwalten	4
2.5	Matrizen aus Systemen extrahieren	5
3	Systeme reduzieren	5
3.1	System auswählen	6
3.2	Reduktionsmethode wählen	6
3.2.1	TBR – Balanciertes Abschneiden	6
3.2.2	Modal	8
3.2.3	Krylov	8
3.3	Reduzieren	11
4	Postprocessing	12
4.1	System auswählen	12
4.2	Übertragungsfunktion wählen	12
4.3	Plot Typ wählen	13
4.4	Figure auswählen	13
4.5	Legendentext festlegen	14
4.6	Auflösung bestimmen	14
4.7	Layout des Graphen	14
5	Systeme analysieren	14
5.1	System auswählen	14
5.2	Analysemöglichkeiten für alle Systeme	14
5.3	Analysemöglichkeiten für reduzierte Systeme	15

1 GUI starten

1.1 GUI aus Matlab starten

Die GUI wird durch die Eingabe von „run MORLAB_GUI“ im Command Window gestartet.

1.2 GUI als executable starten

Zum ausführen der GUI ohne Matlab ist es notwendig zunächst den MCRI-installer zu Installieren. Anschließend kann die .exe aus dem Ordner „distrib“ geöffnet werden.

2 Systeme laden und speichern

Abb.1 Die GUI arbeitet nicht mit dem in Matlab üblichen ss Format, son-

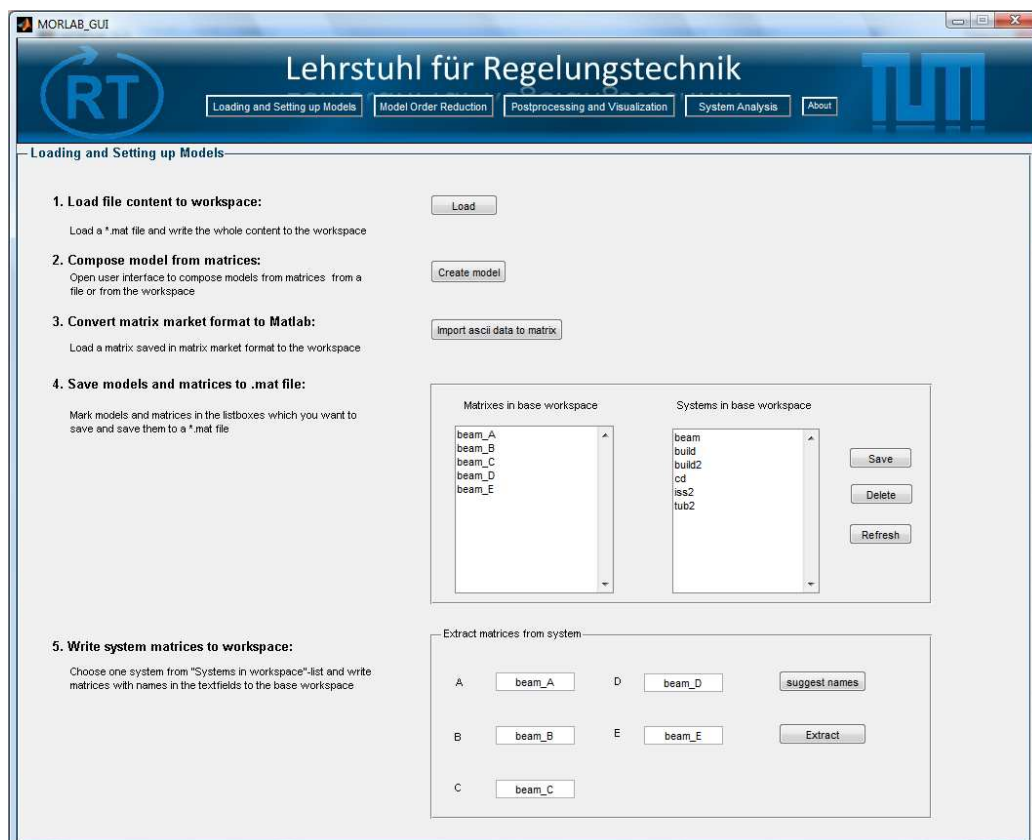



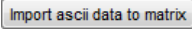
Abbildung 1: Tab Load and Save Models

dern speichert die Matrizen A,B,C,D und E in einem Struct ab. So können zusätzliche Informationen, wie beispielsweise Pole und Nullstellen oder Normen gemeinsam mit dem System gespeichert werden und müssen nur einmal berechnet werden.

2.1 Komplette Dateien laden

Mit  besteht die Möglichkeit ganze Dateien zu laden. Diese müssen im .mat Format vorliegen. Hierbei werden Namenskonflikte nicht überprüft und vorhandene Variablen mit gleichem Namen überschrieben.


2.2 Matrizen importieren

Matrizen, die im Matrix Market Format vorliegen, können mit  importiert werden. Beispiel für eine Matrix im MM Format:

```
% Kommentarzeilen
% A ist eine sparse Matrix, Größe 3x3 mit 5 von Null
% verschiedenen Einträgen
3 3 5
1 1 2.0
1 2 6.1
2 1 5.0
2 3 -6.3
3 3 1.0
```

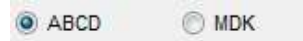
Als erstes öffnet sich ein Dialog Fenster, in welchem die Datei, in der die Matrix gespeichert ist, auszuwählen ist. Im nächsten Schritt muss ein Name für die Matrix festgelegt werden. Hier wird überprüft, ob sich bereits eine Variable mit diesem Namen im Workspace befindet. Gegebenenfalls wird die Möglichkeit geboten, den Namen zu ändern, um keine vorhandenen Variablen zu überschreiben. Beim Matrix Market Format ist es üblich, von symmetrischen Matrizen nur eine Hälfte zu speichern. Falls eine Dreiecksmatrix vorliegt, öffnet sich erneut ein Fenster, in dem gewählt werden kann, ob die Matrix gespiegelt werden soll, oder nicht. Nach dem erfolgreichen Ladevorgang erscheint eine Bestätigung.

2.3 Systeme zusammensetzen

Zum Erstellen von Systemen existiert eine Eingabemaske. (Abb. 2) Diese kann über  aufgerufen werden. Dabei werden zwei Systemdarstellun-

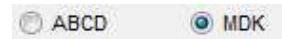
gen unterstützt:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u} \end{aligned}$$



und Systeme zweiter Ordnung:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{z}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{z}} + \mathbf{K}\mathbf{z} &= \mathbf{B}\mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C}_x\mathbf{z} + \mathbf{C}_v\dot{\mathbf{z}} \end{aligned}$$



Systeme zweiter Ordnung werden automatisch in eine *Zustandsraumdarstellung* umgewandelt.

$$\begin{aligned} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{F} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M} \end{bmatrix}}_{\mathbf{E}} \underbrace{\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{z}} \\ \ddot{\mathbf{z}} \end{bmatrix}}_{\dot{\mathbf{x}}} &= \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{F} \\ -\mathbf{K} & -\mathbf{D} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{z} \\ \dot{\mathbf{z}} \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}} \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{C}_x & \mathbf{C}_v \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}} \begin{bmatrix} \mathbf{z} \\ \dot{\mathbf{z}} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Die Matrizen aus denen ein System erstellt werden soll, können entweder aus dem Matlab Workspace stammen, oder in einer *.mat Datei gespeichert sein. Im ersten Fall muss das Kontrollkästchen ☒ **include variables from workspace** aktiviert werden. Allen Matrizen aus dem Workspace wird ein [ws] vorangestellt. Eine Datei kann über „select file“ ausgewählt werden. Das Kontrollkästchen ☒ **include variables from file** ist außerdem zu aktivieren. Die Datei wird nicht komplett in den Workspace geschrieben, es besteht also nicht die Gefahr, Variablen zu überschreiben. Der Name, den das System im Workspace tragen soll, muss im Textfeld am unteren Rand der Eingabemaske eingetragen werden. Falls bereits eine Variable mit diesem Namen existiert, erscheint eine Warnung. Nachdem in jedem Auswahlfeld eine Matrix ausgewählt wurde, kann das System über **Create System** in den Workspace geschrieben werden. Der Nutzer erhält eine Erfolgsmeldung und die Möglichkeit weitere Systeme zu kreieren, oder die Eingabemaske zu schließen.

2.4 Systeme und Matrizen im Workspace verwalten

Alle Systeme und Matrizen, die im Workspace liegen, werden auf der „Load and Save Models“ Seite angezeigt. **Refresh** aktualisiert die Listen. Mit **Save** können alle markierten Matrizen und Systeme in einer *.mat Datei gespeichert werden, oder mit **Delete** aus dem Workspace gelöscht werden.

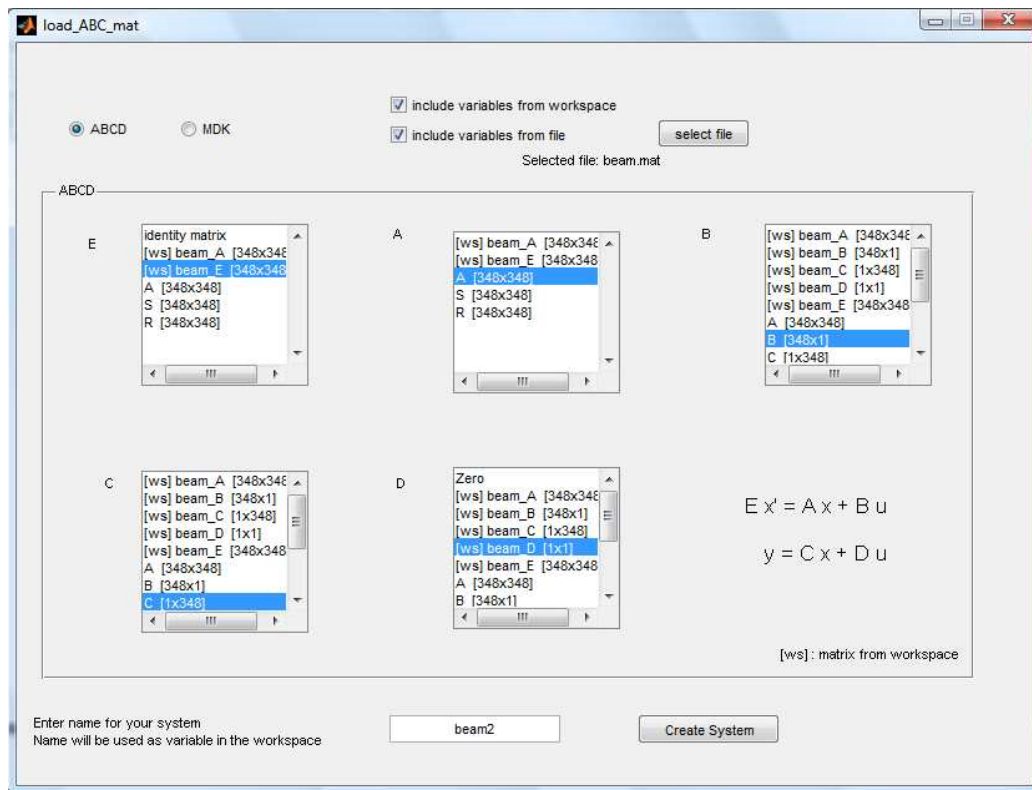


Abbildung 2: Eingabemaske zur Erstellung von Systemen


2.5 Matrizen aus Systemen extrahieren

Um verschiedene Systemmatrizen zu neuen Systemen zu kombinieren, können einzelne, oder mehrere Matrizen aus einem System in den Workspace geschrieben werden. Dazu muss in der „Systems in base Workspace“ Liste ein System markiert werden. Ein automatischer Namensvorschlag kann über **suggest names** generiert werden. Leere Namensfelder bewirken, dass die entsprechenden Matrizen nicht in den Workspace geschrieben werden. Nach der Eingabe eines Matrizennamens erscheint eine Warnmeldung, falls bereits eine Variable mit dem gleichen Namen im Workspace vorliegt. Der Vorgang wird mit **Extract** gestartet. Anschließend erscheint eine Bestätigung.

3 Systeme reduzieren

Abb.3

3.1 System auswählen

Das zu reduzierende Modell muss in der Dropdown-Liste ausgewählt werden. Es erscheinen nun einige Informationen darüber im Textfeld daneben. Falls die Liste nicht mehr auf dem neuesten Stand sein sollte, kann sie über  aktualisiert werden.

3.2 Reduktionsmethode wählen

Die GUI unterstützt drei Reduktionsmethoden: Balanciertes Abschneiden, Modal, und Krylov. Die gewünschte Methode kann bei „Reduction Method“ ausgewählt werden.

Bei allen unterstützten Reduktionmethoden wird das System

$$\begin{aligned}\mathbf{E}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u}\end{aligned}$$

durch Multiplikation mit den Projektionsmatrizen $\mathbf{W}^T \in \mathbb{R}^{q \times n}$ und $\mathbf{V} \in \mathbb{R}^{n \times q}$

$$\begin{aligned}\overbrace{\mathbf{W}^T \mathbf{E} \mathbf{V}}^{\mathbf{E}_r} \dot{\mathbf{x}}_r &= \overbrace{\mathbf{W}^T \mathbf{A} \mathbf{V}}^{\mathbf{A}_r} \mathbf{x}_r + \overbrace{\mathbf{W}^T \mathbf{B}}^{\mathbf{B}_r} \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \underbrace{\mathbf{C} \mathbf{V}}_{\mathbf{C}_r} \mathbf{x}_r + \mathbf{D} \mathbf{u}\end{aligned}$$

auf die Ordnung q reduziert.

3.2.1 TBR – Balanciertes Abschneiden

Beim balancierten Abschneiden werden die Transformationsmatrizen so gewählt, dass das System in einem Schritt balanciert und reduziert wird. Balancieren bedeutet das System so zu transformieren, dass jeder Zustand gleich gut steuer- und beobachtbar ist und die Zustände nach ihrer Steuer- bzw. Beobachtbarkeit sortiert sind. Beim Reduzieren werden dann weniger steuer- und beobachtbare Zustände abgeschnitten. Zur Beurteilung von Steuer- und Beobachtbarkeit werden die Gram'sche Steuerbarkeitsmatrix und die Gram'sche Beobachtbarkeitsmatrix herangezogen. Diese sind folgendermaßen definiert:

$$\begin{aligned}\mathbf{P} &= \int_0^\infty e^{\mathbf{A}t} \mathbf{b} \mathbf{b}^T e^{\mathbf{A}^T t} dt && \text{Gram'sche Steuerbarkeitsmatrix,} \\ \mathbf{Q} &= \int_0^\infty e^{\mathbf{A}^T t} \mathbf{c}^T \mathbf{c} e^{\mathbf{A}t} dt && \text{Gram'sche Beobachtbarkeitsmatrix.}\end{aligned}$$

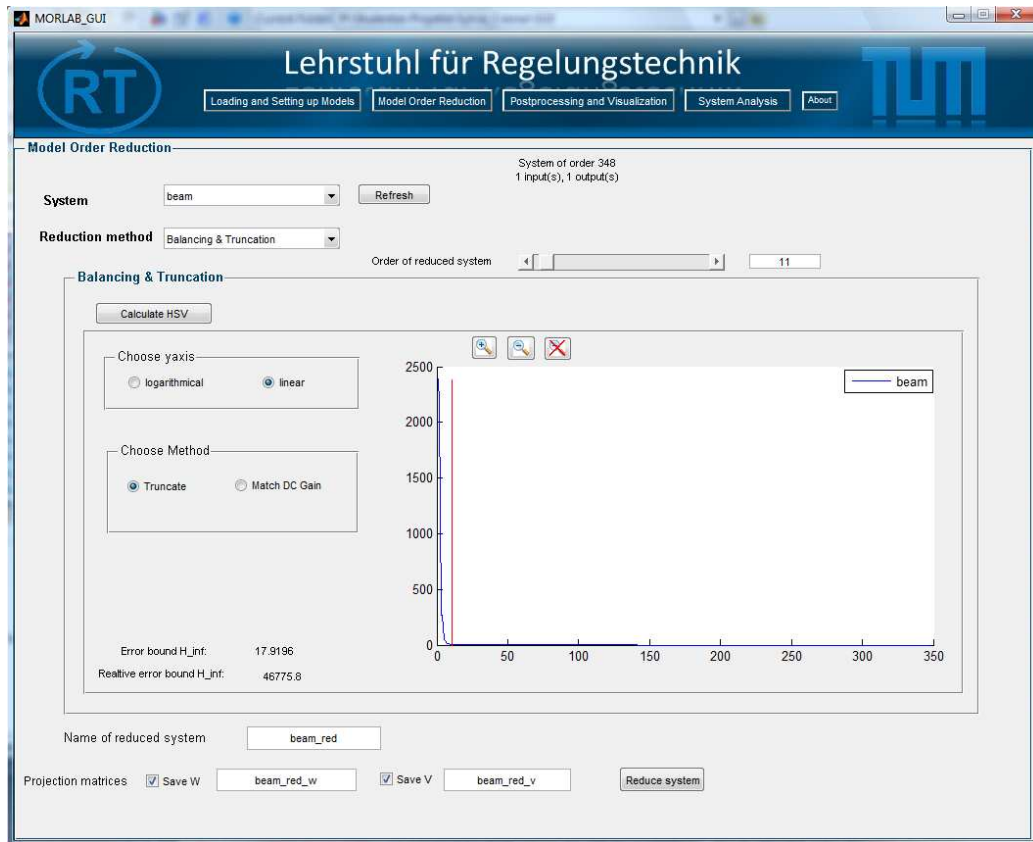


Abbildung 3: Tab Model Order Reduction – TBR

Für ein vollständig steuer- und beobachtbares System existiert eine balancierte Darstellung in der gilt:

$$\mathbf{P} = \mathbf{Q} = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$$

Die σ_i werden als Hankel'sche Singulärwerte (HSV) bezeichnet.

Sie müssen berechnet werden, bevor eine Reduktion möglich ist. Die Berechnung kann über „Calculate HSV“ gestartet werden und dauert bei größeren Systemen einige Zeit, da zwei Lyapunov Gleichungen gelöst werden müssen. Nach der Berechnung werden die HSV in einem Diagramm dargestellt und außerdem in dem Feld „hsv“ des Systems abgelegt. Die y-Achse des Diagramms kann entweder logarithmisch, oder linear skaliert werden. Ein Wechsel zwischen den Skalierungen ist über die Radiobuttons im „Choose yaxis“ Feld möglich. Die Wahl der Ordnung des reduzierten Systems kann auf drei Wegen geschehen. Entweder über den Schieber, durch die Eingabe im Textfeld daneben, oder durch klicken im Diagramm. Es erscheint ein

roter Balken im Diagramm, welcher zeigt, welche Singulärwerte abgeschnitten werden. Außerdem werden die Fehlergrenzen der \mathcal{H}_∞ Norm neben dem Diagramm angezeigt. (siehe Abb.3)

3.2.2 Modal

Bei der modalen Reduktion wird das Originalsystem auf den Raum projiziert, der durch einige Eigenvektoren aufgespannt wird. Die Zahl der Eigenvektoren wird durch die Ordnung des reduzierten Systems festgelegt. Dies kann entweder durch den Schieber oder durch Eingabe im Textfeld neben dem Schieber geschehen. Für die Wahl der Eigenvektoren, bzw der zugehörigen Eigenwerte gibt es drei Möglichkeiten:

1. Eigenwerte mit dem größten Betrag
2. Eigenwerte mit dem kleinsten Betrag
3. Eigenwerte in der Nähe eines Punktes

Die Wahl wird über den Radiobutton getroffen. Gegebenenfalls muss ein Punkt eingegeben werden (siehe Abb. 4).

3.2.3 Krylov

Bei den Krylov-Unterraum Methoden werden die Transformationsmatrizen als Basen des Eingangs-Krylov-Unterraums und/oder als Basen des Ausgangs-Krylov-Unterraums gewählt. Diese Auswahl wird unter **3. Choose Moment Matching** getroffen.

Der Krylov-Unterraum K_q der Matrix \mathbf{A} und des Vektors \mathbf{x} ist definiert als:

$$K_q(\mathbf{A}, \mathbf{x}) = \text{span}\{\mathbf{x}, \mathbf{A}\mathbf{x}, \mathbf{A}^2\mathbf{x}, \dots, \mathbf{A}^{q-1}\mathbf{x}\}.$$

Der Eingangs-Krylov-Unterraum um s_0 ist definiert als:

$$K_q((\mathbf{A} - s_0\mathbf{I}^{-1}, (\mathbf{A} - s_0\mathbf{I})^{-1}\mathbf{b}),$$

der Ausgangs-Krylov-Unterraum um s_0 als:

$$K_q((\mathbf{A} - s_0\mathbf{I}^{-T}, (\mathbf{A} - s_0\mathbf{I})^{-T}\mathbf{c}^T).$$



Abbildung 4: Tab Model Order Reduction – Modal

Explizit (Abb.5) Der Nutzer hat die Wahl, ob ein Entwicklungspunkt, oder mehrere gewählt werden sollen.

Bei einem Entwicklungspunkt muss die Ordnung des reduzierten Systems über den Slider „Order of reduced System“ festgelegt werden, oder über das Textfeld daneben. Der Entwicklungspunkt muss reell sein und in der Box „Choice of expansion point“ eingegeben werden.

Mehrere Entwicklungspunkte werden in die Tabelle in der Box „Choice of expansion points“ eingegeben, die erscheint, sobald von einem auf mehrere Entwicklungspunkte umgestellt wurde. Es besteht die Möglichkeit einen zweidimensionalen Vektor aus dem Workspace zu verwenden. Ein in Frage kommender Vektor kann aus der Dropdown-Liste „Import vector from workspace“ ausgewählt werden. Ansonsten müssen Entwicklungspunkte in der Spalte „exp pt“ und die zugehörige Zahl der zu matchenden Momente in der Spalte „match mom“ eingetragen werden. Weitere Zeilen können über „Add row“ hinzugefügt werden. Mit „reset“ werden alle Entwicklungspunkte

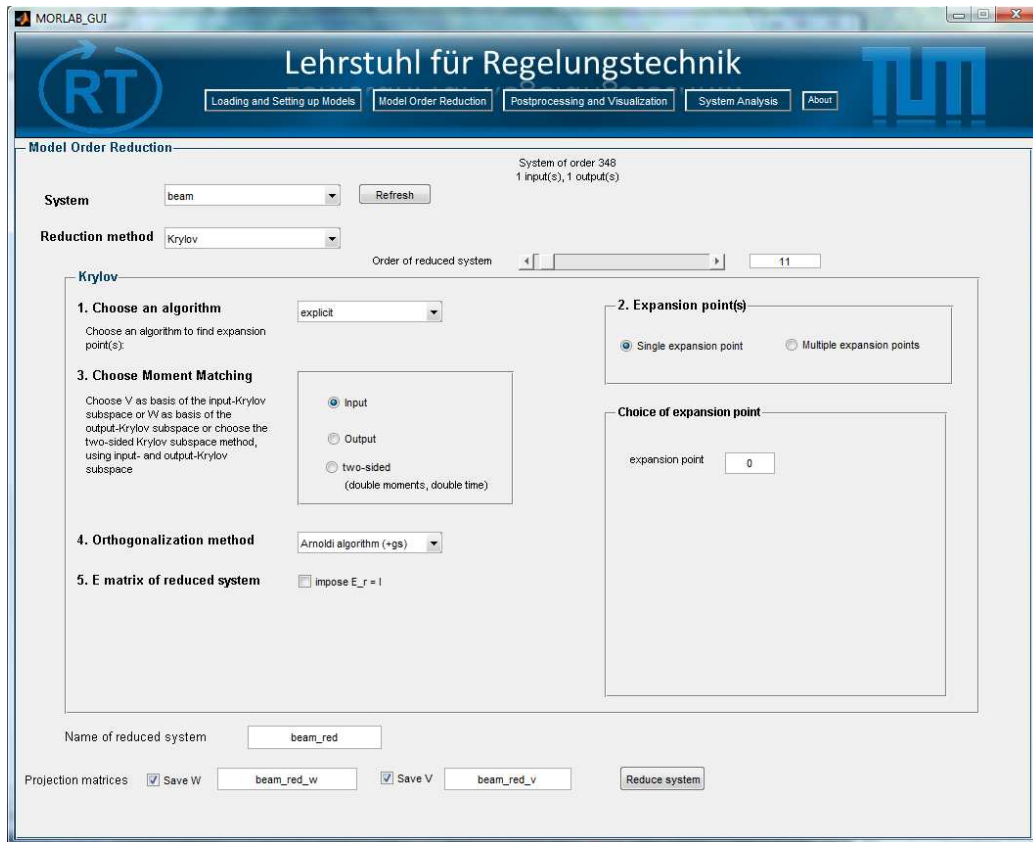


Abbildung 5: Tab Model Order Reduction – Krylov, explicit

gelöscht. Bei der Eingabe werden gleiche Punkte automatisch zusammen gefasst. Außerdem wird ein komplexer Punkt automatisch zu einem konjugiert-komplexen Punktepaaar erweitert und die Zahl der zu matchenden Momente angepasst. Die Ordnung des reduzierten Systems wird automatisch über die Momente festgelegt.

ICOP ist ein Algorithmus, der den optimalen Entwicklungspunkt iterativ bestimmt. (Abb.6) Dieser benötigt einen Startpunkt, in der „Choice of expansion point“ Box angegeben wird. Außerdem kann der Nutzer entscheiden, ob Momente um den Krylov-Eingangs- oder -Ausgangs-Unterraum, oder beides gematcht werden sollen.

IRKA ist ebenfalls ein Algorithmus zur Bestimmung von optimalen Entwicklungspunkten. Als Startpunkt kann entweder ein Punkt, oder verschiedene übergeben werden. Allerdings werden Momente immer beidseitig ge-



Abbildung 6: Tab Model Order Reduction – Krylov, ICOP

matcht. (Abb.7)

Die Wahl und Eingabe von Entwicklungspunkt(en) erfolgt bei IRKA und ICOP wie bei „explizit“.

3.3 Reduzieren

Nachdem, gemäß der oben beschriebenen Möglichkeiten, alle Schritte erfolgt sind, muss ein Name für das reduzierte System ausgewählt werden und in das Feld „Name of reduced System“ eingetragen werden. Es besteht außerdem die Option die Transformationsmatrizen W und V im Workspace abzulegen. Dazu müssen die Kontrollkästchen ☒ **Save W** bzw. ☒ **Save V** aktiviert und Variablennamen eingegeben werden. Nun kann die Reduktion über **Reduce system** gestartet werden. Dieser Vorgang kann, je nach gewählter Methode und Systemgröße, einige Zeit in Anspruch nehmen. Nach der erfolgreichen Reduktion erscheint eine Meldung.

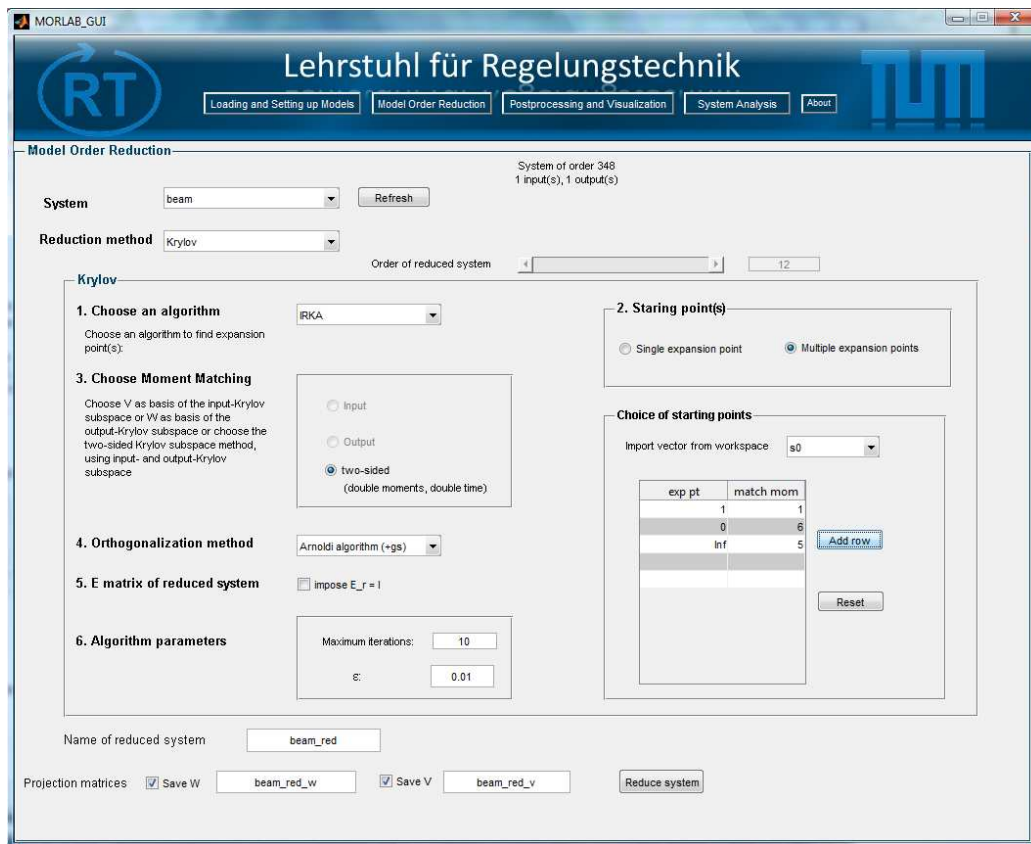


Abbildung 7: Tab Model Order Reduction – Krylov, IRKA

4 Postprocessing

Auf der „Postprocessing and Visualization“ Seite können Impulsantwort, Sprungantwort, Bode Diagramm, Frequenzantwort und eine Polstellen/Nullstellen Karte erzeugt werden. (Abb.8)

4.1 System auswählen

Zunächst muss ein System ausgewählt werden. Dazu existiert, wie auch schon bei der Ordnungsreduktion eine Dropdown Liste. Im Textfeld unter der Liste erscheinen Informationen über das gewählte System.

4.2 Übertragungsfunktion wählen

Bei MIMO-Systemen (multiple input multiple output) kann gewählt werden ob alle Übertragungsfunktionen berücksichtigt werden sollen, oder nur einzel-

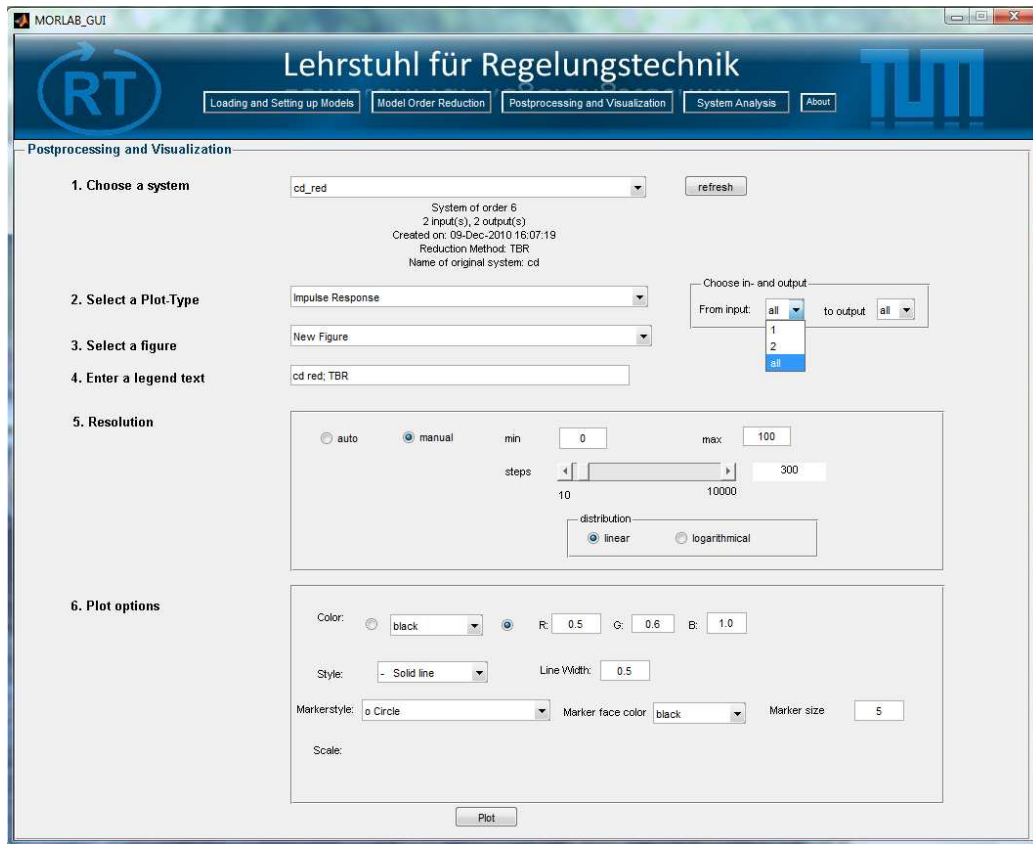


Abbildung 8: Tab Postprocessing

ne. Für die Auswahl ist das Feld „from in to out“ vorgesehen, welches nur sichtbar ist, wenn ein entsprechendes System gewählt wurde.

4.3 Plot Typ wählen

Unter „Plot-Type“ kann ausgewählt werden, was erzeugt werden soll

4.4 Figure auswählen

Zur Auswahl steht entweder eine neue Figure, oder eine in der sich bereits ein Graph des gleichen Typs befindet. So ist es zum Beispiel nicht möglich ein Bodediagramm in eine Figure zu zeichnen, in der sich bereits eine Impulsantwort befindet.

4.5 Legendentext festlegen

Der Text, der im Textfeld „legend text“ eingegeben wird, erscheint später in der Legende.

4.6 Auflösung bestimmen

Der Nutzer kann das Zeit- bzw. Frequenzintervall automatisch bestimmen lassen (Radiobutton „auto“ im Resolution Feld) oder über „manual“ Anfang und Ende des Zeit-/Frequenzbereichs eingeben, sowie die Zahl der zu Berechnenden Punkte. Die Verteilung der Punkte kann linear oder logarithmisch erfolgen. (Feld „distribution“)

4.7 Layout des Graphen

Im Feld „Plot options“ kann das Layout des Graphen bestimmt werden. Die Farbe kann entweder über eine Dropdown-Liste, die die Standard Farben von Matlab enthält, oder durch Eingabe eines Farbvektors erfolgen. Bei diesem werden die Intensitäten von rot, grün und blau in den Feldern „R“, „G“ und „B“ eingegeben. Die Werte müssen zwischen 0 und 1 liegen.

5 Systeme analysieren

Diese Registerkarte dient zum Berechnen verschiedener Normen. (Abb.9)

5.1 System auswählen

Die Auswahl eines Systems erfolgt wie in den anderen Registerkarten. Es gibt zwei Textfelder, in denen Informationen zum ausgewählten System angezeigt werden. Im linken erscheinen allgemeine Informationen, wie beispielsweise die Ordnung des Systems, im rechten werden nur Informationen über die Reduktion des Systems angezeigt, falls es sich um ein reduziertes System handelt.

5.2 Analysemöglichkeiten für alle Systeme

Es können \mathcal{H}_∞ - und \mathcal{H}_2 -Norm berechnet werden, außerdem die Stabilität und eine exemplarische Simulationszeit bestimmt werden. Die exemplarische Simulationszeit ist die Zeit, die der Algorithmus benötigt um Pole und Residuen, und damit zu 1000 Zeitpunkten eine Systemantwort zu berechnen.

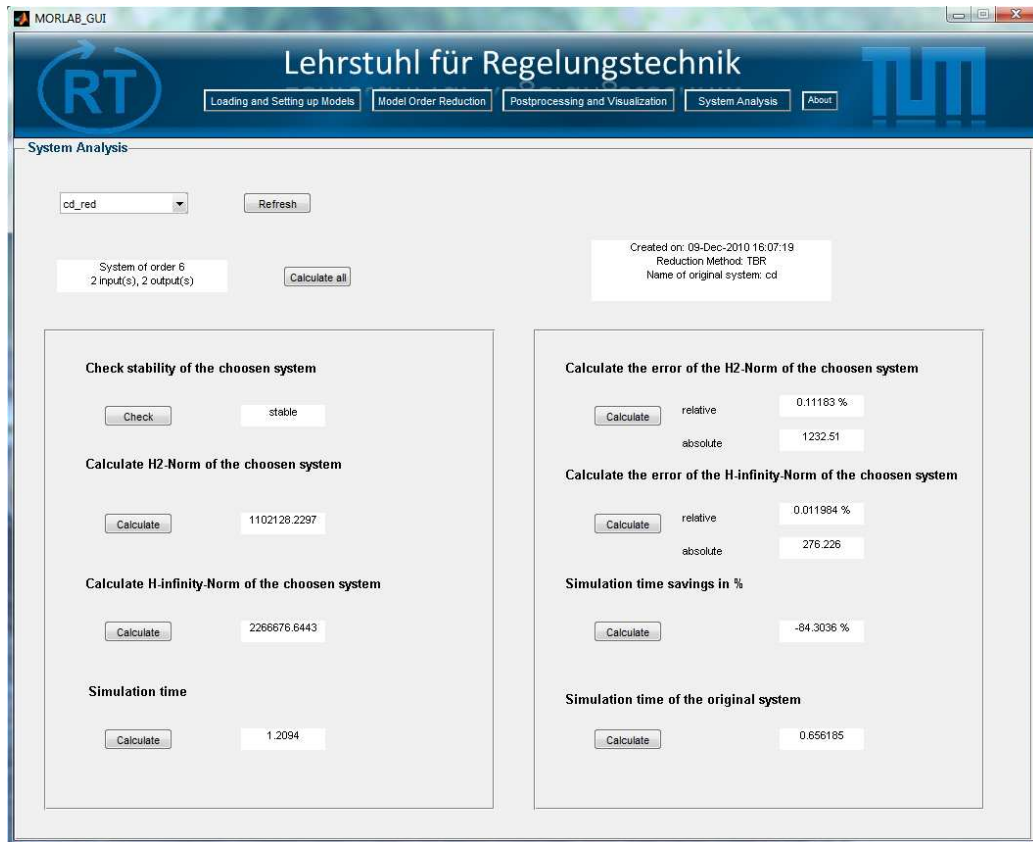


Abbildung 9: Tab Analysis

5.3 Analysemöglichkeiten für reduzierte Systeme

Bei einem reduzierten System können außerdem relativer und absoluter Fehler von \mathcal{H}_∞ - und \mathcal{H}_2 -Norm, die Einsparung in der Simulationszeit und die Simulationszeit des Originalsystems berechnet werden (vorausgesetzt, dieses liegt ebenfalls im Workspace). Da die Fehlersysteme eine höhere Ordnung, als die Originalsysteme besitzen ist mit einem erhöhten Zeitaufwand zu rechnen.

Mit **Calculate all** werden alle Felder berechnet.