

# **Technische Universität Dresden**

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Institut für Regelungs- und Steuerungstheorie

## **Studienarbeit**

### **Provisorischer Titel: Semantische Katalogisierung Regelungstechnischer Systeme**

vorgelegt von: Jonathan Rockstroh  
geboren am: 14. Mai 1997 in Pirna

Betreuer: Dr.-Ing. C. Knoll  
Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. K. Röbenack  
Tag der Einreichung: 30. Juli 2021

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

**Provisorischer Titel: Semantische Katalogisierung Regelungstechnischer Systeme**

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.

Pirna, 1. September 2021

Jonathan Rockstroh

## **Kurzfassung**

An dieser Stelle fügen Sie bitte eine deutsche Kurzfassung ein.

## **Abstract**

Please insert the English abstract here.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b>	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1 Motivation . . . . .	2
1.2 Präzisierung der Aufgabenstellung . . . . .	2
<b>2 Vorüberlegungen</b>	<b>3</b>
2.1 Aktueller Stand . . . . .	4
2.2 Anforderungen an den Katalog . . . . .	6
2.3 Wissensrepräsentationen . . . . .	9
2.4 Erstellung des Klassifikationssystems . . . . .	10
<b>3 Katalog von Modellen der Regelungstechnik</b>	<b>13</b>
3.1 Klassifikationssystem . . . . .	13
3.1.1 Aufbau . . . . .	13
<b>4 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>15</b>
4.1 Übersicht zu aktuellem Funktions- und Modellumfang . . . . .	15
4.2 Ausblick . . . . .	15
<b>Literatur</b>	<b>16</b>

# Verzeichnis der Formelzeichen

# Abbildungsverzeichnis

# Tabellenverzeichnis



# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Inhalt: Kurze Erklärung warum ein Katalog von Modellen sinnvoll ist und was die Idee attraktiv macht.

### 1.2 Präzisierung der Aufgabenstellung

Inhalt: Aufgabenstellung in stichpunktartigen Sätzen.

Im Rahmen dieser Studienarbeit soll eine Katalog für regelungstechnische Systeme entworfen werden. Darin sollen Modelle als Textrepräsentation und (optional) zusätzlich als implementierter Code enthalten sein. Für beide Repräsentationsarten soll es eine einheitliche Repräsentationsweise geben. Die Umsetzung so erfolgen, das neue Modelle möglichst einfach hinzugefügt werden können. Ebenso soll ein Klassifikationssystem erstellt werden mit dem die Modelle innerhalb der regelungstechnischen Theorie eingeordnet werden können. Das Klassifikationssystem soll auf eine signifikante Anzahl regelungstechnischer Veröffentlichungen angewandt werden. Außerdem sollen ausgewählte Modelle implementiert werden.

Original (letzter Part): Ziel der Arbeit ist es, mittels sogenannter ontologischer Methoden ein Klassifikationssystem zu erstellen und auf eine signifikante Anzahl (z.B. 50) regelungstechnischer Veröffentlichungen anzuwenden. Zudem sollen die wichtigsten Modelle aus den Veröffentlichungen in Python implementiert und mittels einer Hierarchie semantischer Eigenschaften (z.B. "nichtlinear", SZustandsdimension: 8", "Flachheitsstatus: nicht flach") erfasst werden.

# Kapitel 2

## Vorüberlegungen

Inhalt:

Grundgedanken zu Modellkatalog. Ansprüche. Wünsche bzgl. Funktionsumfang und Anwendbarkeit, Prinzip: aufwändiges Hinzufügen, einfaches Anwenden

Ist-Stand: Was gibt es für vergleichbare Kataloge/Projekte? + Bewertung dieser

Beschreibung der aktuellen Situation zur Modellfindung -> Zeitintensive Suche nach Publikationen, nur ausgewählte Eigenschaften benannt und untersucht, teils uneinheitliche, unübersichtliche, komplexe Modelldarstellung, Reproduzierbarkeit der Implementierung der Ergebnisse einer Publikation aber auch allein schon des Modells oft sehr schwierig Grundüberlegungen zu den nützlichen Elementen des Kataloges:

Modell als Art Datenbankeintrag (Erschließbarkeit über Suche -> Einheitliche Attributnamen (-> KS) + Bedeutung, Erweiterbarkeit),

Textuelle (semantische?) Modelldarstellung mit einheitlicher Struktur und Modellnotation,

einheitliche Implementierung die einfache Nutzbarkeit der Modelle erlaubt

Umsetzung der einzelnen Elemente:

Metadata-File: Struktur aus ACKRep übernommen - leicht Angepasst

Klassifikationssystem: Semantische, ontologische Ausarbeitung des auf Modelle anwendbaren Teilbereich der Regelungstheorie, Anforderungen explizit? -> Graphentheorie, Finden einer fachlich korrekten, eindeutigen - in Bezug auf Ontologie selbst und auf Anwendung auf Modelle - und verständlichen Darstellung (Beispiel Polynom -> linear/nicht-linear) und Namensgebung (strictly\_non\_linear)

Textuelle Repräsentation: Struktur abgeleitet aus (guten) Publikationen[Referenzen], sinnvolle Informationsreihenfolge, Offenhaltung von Gestaltungsspielraum in Anbetracht des Umfangs der Regelungstechnik -> Vieles nur als Empfehlung enthalten

Das Nachdenken über das Wissen ist für die Erstellung des Modellkataloges, der eine Zusammenstellung und Aufbereitung des Wissens über regelungstechnische Modelle darstellt, ein wichtiger Aspekt gewesen. Der Prozess folgte dabei keiner Referenz. Die Grundlage für die gewählten Vorgehensweisen und getroffene Entscheidungen waren eigene Überlegungen und Schlussfolgerungen aus eigenen Analysen von Publikationen. Im diesem Kapitel wird der Ablauf zur Erstellung des Kataloges beschrieben. Ausgewählte

Entscheidungen und Schlussfolgerungen werden vorgestellt.

## 2.1 Aktueller Stand

Für die Zusammenstellung von Wissen wird eine Wissensbasis benötigt. Um diese zu erlangen und um geeignete Modelle für den Katalog zu finden erfolgte eine Modellsuche mit folgenden Erkenntnissen: **Aktuelle Situation der Modellfindung:**

1. Regelungstechnische Modelle finden sich aktuell meist verteilt in wissenschaftlichen Publikationen, wie z.B. Lehrbüchern, Artikeln, Dissertationen, Diplom- und Studienarbeiten.
2. Die Qualität der Modelldarstellung ist uneinheitlich. Das die Modellgleichungen eindeutig gekennzeichneten und gemeinsam notiert, sowie die eingeführten Variablen gut beschrieben und klar definierten Typs (Parameter, Eingangs-, Zustandsvariable) sind ist nicht immer gegeben.
  - Beispiel 1: In [9] wird auf Seite 135 das Modell übersichtlich dargestellt. Die Zustandsvariablen und der Parameter  $\sigma$  werden direkt darunter beschrieben. Die Parameter  $r$  und  $b$  haben hingegen keinen Namen und werden nur als Gleichungen repräsentiert. Der Parameter  $a$  in der Gleichung für  $b$  wird im Artikel nicht explizit eingeführt.
  - Beispiel 2: In [15] werden die Variablen am Anfang alle eingeführt. Das Modell wird ausführlich hergeleitet. Eine zusammengestellte Übersicht der Modellgleichungen fehlt jedoch. Die Zustandsvariablen müssen aus Ausgangsvektor und Abbildungen erschlossen werden. Die Modellgleichungen sind im Artikel verteilt.
3. Die Darstellungsform der Modellgleichungen kann sich unterscheiden.
  - Beispiel 3: In [13] Seite 14 werden die Modellgleichungen als Gleichungssystem von Differentialgleichungen erster Ordnung dargestellt. Allerdings mit zusätzlichen Summanden auf der linken Seite der Gleichung.
  - Beispiel 4: In [2] Seite 3 wird die Modellgleichung als Differentialgleichung zweiter Ordnung dargestellt.
  - Beispiel 5: In [6] Seite 168f, Beispiel B.3 werden die Modellgleichungen als Gleichungssystem von Differentialgleichungen zweiter Ordnung dargestellt, wobei die linke Seite der Gleichung aus Summanden und Produkten besteht.
4. Die Modelleigenschaften sind oft nur implizit gegeben, z.B. kann bei einem Steuerungsentwurf geschlussfolgert werden, dass das untersuchte System stabil ist. Die

explizite Nennung von Modelleigenschaften erfolgt meist nur, wenn diese für die Publikation von Relevanz sind.

- Beispiel 6: Im Artikel [10] Seite 761, letzter Abschnitt wird auf die Steuerbarkeit der Modelldarstellung eingegangen. Andere Eigenschaften finden keine Erwähnung.
5. In nahezu allen Publikationen erfolgt die Erprobung der Ergebnisse mittels Simulation.
- Beispiel 7: In [2] wurde der Eingang in die Modellgleichung eingesetzt. Für die Implementation musste dieser wieder extrahiert werden. Die Eingangsgröße ist nicht die Kraft, welche normalerweise für mechanische Systeme zu erwarten ist, sondern die Auslenkung. Für eine Darstellung mit der Kraft als Eingang wäre eine weitere Umformung nötig.
  - Beispiel 8: In [4] Seite 10910, Fig. 8 werden die Eingangswerte als grauer Graph dargestellt. Eine Darstellung als Gleichung fehlt. Ebenso fehlt bei den verwendeten Parameterwerte zum Beispiel der Wert für die Gleichspannung  $v_{DC}$ .
6. Die genutzte Implementation wird nicht publiziert bzw. veröffentlicht.

Die beschriebenen Sachverhalte in den Beispielen sind nicht zwangsläufig als Kritik gemeint. Es kann gute Gründe dafür geben. Für die Erfassung der Situation sind diese aber nicht von Bedeutung. Eine Beleuchtung möglicher Gründe findet deshalb nicht statt.

### **Feststellung:**

Die zielgerichtete Suche nach Modellen, z.B. mit bestimmten Eigenschaften, ist oft eine zeitintensive und aufwendige Angelegenheit. Zudem braucht es häufig zusätzliche Eigenarbeit um zu einer brauchbaren Modelldarstellung zu gelangen. Die Implementierung muss aktuell fast immer von eigener Hand erfolgen. Für die Validierung des eigenen Codes und die Reproduktion der Resultate einer Publikation ist eine softwaretechnische Implementation des Modells sowie der daran angehängten Umgebung (Steuerung, Regelung, Beobachter etc.) oft notwendig (vgl. [7], Seite 1). Durch obige Aspekte ist das meist aufwendig oder nicht möglich. **Aktuelle Situation von Modellsammlungen und -Katalogen:**

Bestehende Zusammenstellungen von regelungstechnischen Modellen sind schwer zu finden. Das kann daran liegen, dass wenige existieren. Es könnte aber auch daran liegen, dass diese einfach nur schwer zu finden sind. Zum Beispiel, weil diese von Suchmaschinen als irrelevant eingestuft werden und folglich sehr weit hinten in den Suchergebnissen landen. Zudem basieren die Suchergebnisse nur auf den eingegebenen Wörtern. Ein Verständnis für den Kontext fehlt. Eine sehr große Anzahl von Suchergebnissen ist die Folge. Es ist also durchaus plausibel, dass mehr als die beiden Zusammenstellungen, die im Folgenden kurz vorgestellt werden, existieren.

**The Automatic Control Knowledge Repository (ACKRep):**

Das in [5] vorgestellte ACKRep<sup>1</sup> ist ein Tool, mit dem Ziel die implementierten Ergebnisse von Publikationen reproduzierbar zu machen. Der Teil der *ProblemSpecification* ist eine Sammlung von Modellen, die als Python-Quellcode repräsentiert werden. Weitere Informationen zu den Modellen sind in einer YAML-Datei hinterlegt.

**Beispiele unteraktuierter mechanischer Systeme in [8]:**

Im Zuge der Betrachtung unteraktuierter mechanischer Systeme werden in dem Artikel die Modellgleichungen von 11 Beispielen tabellarisch in einer vereinheitlichten Form aufgeführt. Es wurden Differentialgleichungen zweiter Ordnung als Darstellungsform gewählt. Zudem werden die Systeme bezüglich ihrer Beschränkungen, ihrer Konfigurationscharakteristik und ihrer regelungstechnischen Problemstellung klassifiziert. Im ACKRep liegt der Fokus auf der Implementierung der Modelle. Ein weiterer Fokus liegt auf der Auffindbarkeit der Modelle innerhalb des ACKReps. Dafür ist eine Suchfunktion angedacht, die auf die Informationen aus der YAML-Datei zugreift. Die in [7] eingeführte *Ontology of Control Systems Engineering (OCSE)* soll zu einer einheitlichen Benennung der Modellinformationen beitragen.

In [8] liegt der Fokus auf der menschlichen Lesbarkeit. Die Modellgleichungen sind als Text bzw. Formeln repräsentiert und ermöglichen die Anwendung von analytischen Methoden.

Beide Zusammenstellungen verwenden eine einheitliche Form für die Modellrepräsentation. Zudem findet bei beiden eine Klassifikation der Modelle statt, die sich allerdings in Umfang und Inhalt unterscheiden.

## 2.2 Anforderungen an den Katalog

**Anforderungen an den Katalog:**

Der Katalog soll den Prozess der Modellfindung und Nutzung vereinfachen, sodass die in Abschnitt: „**Aktueller Stand**“ beschriebenen Schwierigkeiten nicht durchlaufen werden müssen. Daher wurden folgende Anforderungen an den Katalog gestellt:

**Anforderung A.1:** Neue Modelle sollen einfach und unkompliziert zu finden sein.

**Anforderung A.2:** Die Modelleigenschaften sollen so gut wie möglich erfasst sein. Das heißt:

- Sie sollen möglichst vollständig sein.
- Sie sollen in einer übersichtlichen Darstellung aufgelistet sein.
- Sie sollen einer einheitlichen Namensgebung folgen.

---

<sup>1</sup>ACKRep GitHub Repository: [https://github.com/ackrep-org/ackrep\\_data](https://github.com/ackrep-org/ackrep_data)

- Sie sollen eine klare Definition haben.

**Anforderung A.3:** Die Modelle sollen eine einheitliche Darstellungsform haben.

**Anforderung A.4:** Die Variablen, deren Typ und Bedeutung sollen in einer sinnvollen, einheitlichen Darstellung notiert sein.

**Anforderung A.5:** Die Modelle sollen möglichst implementiert vorliegen. Die Implementierung soll einfach verwendbar sein.

**Anforderung A.6:** Der Katalog soll erweiterbar sein.

Die Anforderung [A.6](#) macht es notwendig den Fall einer großen Anzahl von im Katalog existierenden Modellen mitzudenken. Mit zunehmender Modellanzahl wird es komplizierter bestimmte Modelle innerhalb der Ordnerstruktur des Kataloges zu finden. Außerdem sollte auch die Auffindbarkeit von Modellen anhand bestimmter Modelleigenschaften beachtet werden. Das macht eine Suchfunktion erstrebenswert um die Anforderung [A.1](#) zu erfüllen. Die Erstellung einer Suchfunktion soll durch folgende Entscheidung erleichtert werden:

**Entscheidung E.1:** Zu jedem Modell soll eine Datei (*Metadaten-Datei*) geben, in der wichtige Informationen wie der Modellschlüssel und -Name, die Modelleigenschaften und der Modellersteller hinterlegt werden. Die Metadaten-Datei soll im einfach les- und editierbaren YAML Format vorliegen.

Die Idee und Umsetzung von Entscheidung [E.1](#) basiert auf [\[5\]](#). Die Struktur der Metadaten-Datei wurde aus dem *ACKRep* übernommen und leicht angepasst.

Anforderung [A.2](#) wird durch das in der Aufgabenstellung geforderte *Klassifikationssysteme (KS)* und die Anwendung dessen erfüllt. Die Auflistung der Modelleigenschaften erfolgt in der Metadaten-Datei. Die Namen der Attribute im KS stellen eine einheitliche Namensgebung sicher. Die Definition der Attribute und die Relationen zwischen diesen basieren auf im KS enthaltenen Referenzen.

**Entscheidung E.2:** Die Einträge des KS, welche unter anderem Namen, Relationen zu anderen Einträgen und Wertetyp enthalten werden im YAML Format gespeichert. Um eine grafische Darstellung des KS zu erhalten soll ein Python-Skript geschrieben werden.

Wie vollständig die in der Metadaten-Datei enthaltenen Modelleigenschaften sind hängt davon ab, wie gut erforscht das Modell ist und wie viel Zeit in das Anlegen des Modells gesteckt wird.

In Textform dargestellt Modelle haben den Vorteil das Elemente wie Tiefstellung grafisch dargestellt werden können. Im Fließtext muss die Umsetzung der Elemente über ein Notationssystem erreicht werden, welches die Lesbarkeit allerdings im Allgemeinen

verringert. Die Notation der Modellgleichungen in einer für Menschen gut lesbaren Form ist erstrebenswert, damit die Modelle für die Anwendung von analytischen Methoden einfacher verwendbar sind.

**Entscheidung E.3:** Die Modellgleichungen und die zugehörigen Variablen werden in Textform notiert. Grundlage ist ein  $\text{\LaTeX}$ -Dokument, das in eine PDF-Datei umgewandelt wird. Die Modellgleichungen werden als System von Differentialgleichungen erster Ordnung dargestellt. Die Auflistung der Variablen und ihrer Bedeutung erfolgt gebündelt.

Die Bündelung der Variablendefinitionen innerhalb der Textrepräsentation macht diese gut im Dokument auffindbar. Die Verwendung von DGLn erster Ordnung ist zum einen Allgemein, da DGLn höherer Ordnung durch Einführung definitorischer Gleichungen in ein System von DGLn erster Ordnung überführt werden können, und zum anderen die in Publikationen am häufigsten verwendete Form zur Darstellung der Modellgleichungen.

**Entscheidung E.4:** Die Modelle werden in der Programmiersprache Python implementiert. Dabei soll jedes Modell als Python-Klasse umgesetzt werden.

Die Implementierung der Modelle als Klasse soll den zweiten Teil von Anforderung [A.5](#) erfüllen. Die Modelle werden in der Verwendung als Objekt instanziiert, was für das Verständnis eine einfache und intuitive Parallele zur realen Welt ist in der Systeme als physische Objekte existieren. Zudem können innerhalb des instanziierten Objektes eine Reihe von Informationen zu dem spezifisch implementierten Modell gespeichert und abgefragt werden. Die Verwendung für eigene Simulationen ist damit sehr unkompliziert, da die innerhalb der Klasse enthaltenen Modellgleichungen über die Methoden der Klasse direkt verwendet werden können.

Um die Verwendbarkeit der vorliegenden Modelle weiter zu vereinfachen erschien es sinnvoll ein Beispielset der Parameterwerte zur Verfügung zu stellen. Die Beispielwerte sollen in beiden Notationsformen vorliegen.

**Entscheidung E.5:** Zu jedem Modell soll es ein Beispielset für die Parameterwerte geben. Diese sollen sowohl in der Textform als auch in der implementierten Form Anwendung finden. Die Beispielwerte sollen redundanzfrei notiert werden.

Die Entscheidungen [E.3](#) und [E.4](#) haben als Folge, das für eine Erweiterung des Kataloges eine Einarbeitung in die Form der Implementation und der Textrepräsentation erfolgen muss. Die folgende Entscheidung soll die Einarbeitung für neue Nutzer aber auch generell das Erstellen von neuen Modellen vereinfachen. Außerdem soll diese zur konstanten Erfüllung der Anforderungen [A.3](#) und [A.4](#) bei Erweiterung des Kataloges durch neue Personen beitragen.

**Entscheidung E.6:** Für Implementation und Textrepräsentation sollen Vorlagen er-

stellt werden, welche die repetitiven Elemente, wie z.B. die Struktur, dieser enthält.

Die folgenden Abschnitte behandeln den Prozess um das Wissen über Modelle und deren Modelleigenschaften formal darzustellen.

## 2.3 Wissensrepräsentationen

Wissensrepräsentationen sollen das existierende Wissen innerhalb eines Wissensbereichs formal abbilden. Für die Bestandteile der Repräsentation wird ein explizites Vokabular genutzt und die Beziehungen zwischen diesen werden definiert (vgl. [1] S.60, [12] S.1). Eine häufig verwendete Möglichkeit um eine formale Darstellung von Wissensrepräsentationen zu erhalten ist die Verwendung von Methoden und Begriffen aus der Graphentheorie.

Exkurs: *Graphentheorie*<sup>2</sup>

Ein *Graph* besteht aus einer Menge von *Knoten*  $N$  und *Kanten*  $E$ . Die Kanten verbinden die Knoten. Die Menge  $E$  besteht also aus 2-Element Untermengen von  $N$ . Ist der Graph *gerichtet*, so hat der Graph die zwei Funktionen  $s : E \rightarrow N$  und  $t : E \rightarrow N$  die jeder Kante  $e$  einen Ursprungsknoten  $s(e)$  und einen Endknoten  $t(e)$  zuweisen. Kann der Graph mehrere Kanten zwischen denselben zwei Knoten haben, dann wird dieser *gerichteter Multi-Graph* genannt. Zusätzlich kann die Menge  $L$  und die Funktion  $l$  eingeführt werden. Die Menge  $L$  umfasst die Namen der Knoten und Kanten. Die Funktion  $l : N \cup E \rightarrow L$  weist jedem Knoten  $n$  und jeder Kante  $e$  einen Namen aus der Menge  $L$  zu. Ein gerichteter *Pfad* ist ein Graph  $P = (N, E)$ , der zwei Knoten  $x_1$  und  $x_i$  eines Graphen  $G$  über eine Sequenz von Kanten  $(e_1, \dots, e_i)$  verbindet. Ein Knoten kann maximal ein Mal entlang eines Pfades vorkommen. Zwei erwähnenswerte Spezialfälle von Graphen sind Bäume und kreisfreie Graphen. Ein Baum liegt vor, wenn jeder Knoten  $n \in N$  genau einen Nachfolger besitzen. „Ein Graph heißt kreisfrei, wenn es keinen Knoten gibt der einen Pfad zu sich selbst hat. Kreisfreie gerichtete Graphen werden auch DAG (engl. **D**irected **A**cylic **G**raph) genannt“<sup>3</sup>.

In Wissensrepräsentationen, die sich der Graphentheorie bedienen, steht jeder Knoten für einen Bestandteil der Repräsentation und jede Kante stellt eine Beziehung zwischen zwei Bestandteilen dar. Der Name der Kante definiert die Art der Beziehung. Für die Wissensrepräsentation gibt es verschiedene Formen die sich in ihrer semantischen Vielfalt unterscheiden. Beispiele solcher Formen sind: Taxonomie, Thesaurus, Semantisches Netz. Auf die Taxonomie und das Semantische Netz wird im Folgenden kurz eingegangen.

Die *Taxonomie* ist eine der einfachsten Formen der Wissensrepräsentationen. Die Bestandteile dieser sind Kategorien die in eine Hierarchie aus Ober- und Unterkategorien

<sup>2</sup>siehe [14] S.29 und [3] Abschnitte 1.1, 1.3 und 1.10

<sup>3</sup>14.



gesetzt werden. Jede Kante stellt eine „ist auch“ Beziehung dar. Jede Unterkategorie ist auch ein Element ihrer Oberkategorie. Die Darstellung kann über einen DAG erfolgen. *Semantische Netze* „sind Graphen die Begriffe und ihre Relationen zueinander darstellen“<sup>4</sup>. Im Unterschied zur Taxonomie sind die Namen der Kanten nicht auf eine Bezeichnung festgelegt. Durch diese verschiedenen Kantentypen werden die unterschiedlichen Beziehungen zwischen den Bestandteilen des Netzes beschrieben. Das Semantische Netz weist zudem verschiedene Knotentypen auf. Knoten können Kategorien sein, die sich wie in der Taxonomie in Ober- und Unterkategorien aufteilen. Die Kanten zwischen Knoten, die Kategorien darstellen, sind mit „ist auch“ bezeichnet. Knoten in Semantischen Netzen können zudem Werte und konkrete Objekte bestimmter Kategorien repräsentieren. Zudem spezifiziert das Netz bestimmte charakteristische Eigenschaften, die alle Elemente eines Knotens gemeinsam haben. Diese charakteristischen Eigenschaften werden in einem Semantischen Netz durch Beziehungen zu anderen Knoten des Netzes dargestellt. Semantische Netze haben häufig eine ‚Open-World‘ Annahme. Wenn in einem Semantischen Netz eine Aussage nicht enthalten ist wird nicht automatisch davon ausgegangen, dass diese nicht gilt.

## 2.4 Erstellung des Klassifikationssystems

Das *Klassifikationssystem* (*KS*) soll eine Wissensrepräsentation zu den Eigenschaften von regelungstechnischen Modellen darstellen. Die Frage: „Welchen Umfang soll das KS haben?“ ist eine zentrale Frage für die Erstellung des KS, denn Sie entscheidet welche Wissensbereiche das KS abdecken soll. Die zu der Frage zugehörige Entscheidung basiert auf der Überlegung, welches Wissen nötig ist um eine einheitliche Benennung der Modelleigenschaften zu erreichen.

**Entscheidung E.7:** Das Klassifikationssystem soll nur den Teilbereich des Wissens der Mathematik, sowie Regelungs- und Steuerungstheorie enthalten, der sich auf regelungstechnische Systeme und Modelle bezieht.

Eine Folgefrage zu der Entscheidung [E.7](#) war: Sollen selten verwendete und sehr unbekannte Eigenschaften mit in das KS genommen werden? Dafür spricht zum einen, dass auch eher unbekannte Eigenschaften ein Teil des Wissens über Modelle ist und zum anderen, dass es im laufenden Prozess der Erstellung des KS, der über den in [3](#) vorgestellten Stand des KS hinausgeht, einfacher einmal hinzugefügte Eigenschaften zu entfernen, als solche neu hinzuzufügen. Dagegen spricht, dass das KS mit der Intention erstellt wird, dass es aktiv verwendet werden soll. Die Komplexität des KS niedrig zu halten ist dafür eine sinnvolle Sache. Eine Entscheidung zur Beantwortung dieser Frage wurde nicht getroffen.

Des weiteren galt es zu Entscheiden, welche Form der Wissensrepräsentation das KS

---

<sup>4</sup>[\[14\]](#) S.28

haben soll. Die dahinter stehende Frage lautet: Welche semantischen Elemente werden benötigt bzw. sollen verwendet werden, um das dazustellende Wissen zu repräsentieren? Die Antworten zu dieser Frage wurden im Prozess der Erstellung gegeben und diese werden von der folgenden Entscheidung zusammen gefasst.

**Entscheidung E.8:** Das KS soll ein Semantisches Netz sein.

Die Namensgebung ist ein zentrales Element im KS.

**Entscheidung E.9:** Die Namen der Eigenschaften im KS sind eindeutig. Es gibt eine festgelegte Menge von Kantennamen, welche die Arten der Beziehung zwischen zwei Knoten definieren.

Es kann theoretisch auftreten, dass für dieselben Eigenschaften verschiedene Begrifflichkeiten in der Literatur auftauchen. In einem solchen Fall wäre als Name der Begriff zu wählen, der in der Praxis geläufiger ist. Ein Beispiel für einen solchen Fall sind die Begriffe *Zeitvarianz* und *Zeitvariabilität*. Beide Bezeichnen die Eigenschaft, dass die Parameter eines Modells Funktionen in Abhängigkeit der Zeit sind. Perspektivisch kann für die Darstellung synonyme Begriffe, das Element *synonym* in die Menge der Kantennamen aufgenommen werden.

Folgend werden zwei besondere Problemstellungen vorgestellt. Problemstellung: **Polynom**

Ein Polynom kann abhängig von seiner Ordnung linear oder nichtlinear sein. Um diesen Sachverhalt vollständig im KS abzubilden müsste das Polynom im KS ein Objekt der Kategorien *Linear* und *Strictly\_Non\_Linear* sein, die zwei sich gegenseitig ausschließende Werte der Kategorie *Linearity* sind. In der Anwendung auf ein Modell lässt sich dieser Widerspruch problemlos aufheben. Die durch diese Problemstellung aufgetretene Frage ist also: Sollen Widersprüche im KS auftreten dürfen, wenn diese sich bei Anwendung auf konkrete Modelle aufheben?

**Entscheidung E.10:** Innerhalb KS soll es keine Widersprüche geben.

Der Grund für die Entscheidung ist, dass es in Anbetracht der Anwendbarkeit für sinnvoller das KS widerspruchsfrei zu gestalten. In Folge dieser Entscheidung wurde das Polynom der Kategorie *Strictly\_Non\_Linear* zugeordnet.

Problemstellung: **Linearität** Die Knoten *Linear* und *Strictly\_Non\_Linear* sind Werte des Knotens *Linearity* und gleichzeitig Oberkategorien für weitere Knoten. Das ist für ein Semantisches Netz formal nicht korrekt. Die Intention, dass das KS aktiv verwendet werden soll und der Fakt, dass die Eigenschaft der *Linearität* und dessen spezifische Werte *Linear* und *Nichtlinear* häufig in der Regelungstechnik verwendet werden haben zu folgender Entscheidung geführt:

**Entscheidung E.11:** Alle Kategorien haben Wertetypen, die festlegen welche Art von Werten diese bei Anwendung des KS auf ein Modell haben können. Werteknoten können Kategorien sein.

Die formale Inkorrektheit in der Struktur des KS wird dadurch bewusst in Kauf genommen.

Folge: Modell mit spezifischer Eigenschaft hat auch alle Eigenschaften entlang des gerichteten Pfades, der im Knoten der spezifischen Eigenschaft startet und in dem einzigen Knoten des KS endet, der keine Oberkategorie hat. Sinnvoll für Aufwandsbegrenzung beim Hinzufügen von neuen Modelle. Nur die Angabe der spezifischsten Eigenschaften in der Metadaten-Datei notwendig. Schlussfolgerung, dass die entsprechend verbundenen allgemeineren Eigenschaften auch gelten durch Interpretation des KS möglich.

# Kapitel 3

## Katalog von Modellen der Regelungstechnik

### 3.1 Klassifikationssystem

Das *Klassifikationssystem (KS)* ist eine Übersicht von Attributen die Systemen im Rahmen der Regelungstechnik zugeordnet werden können. Da eine solche Übersicht bisher nicht im gewünschten Umfang existiert wurde diese selbst erstellt. Es lehnt stark an die in [5] eingeführte OCSE an von der es sich insofern unterscheidet, das im KS nur der Teilbereich des Wissens der Regelungs- und Steuerungstheorie enthalten ist, der sich auf regelungstechnische Systeme und Modelle bezieht. Die im KS verwendeten Bezeichnungen sollen in den metadaten-Dateien der Modelle bevorzugt verwendet werden um einen einheitlichen Sprachgebrauch zu erreichen.

#### 3.1.1 Aufbau

Das KS ist ein Graph der aus Knoten und Kanten besteht. Jeder Knoten enthält ein Attribut<sup>1</sup>. Die Kanten sind beschriftete Pfeile zwischen Knoten, welche einen Zusammenhang von zwei Attributen zeigen. Das Attribut des Kantenursprungs ist spezifischer als das Attribut des Kantenendes. Die Beschriftung der Kanten legt die genaue Art des Zusammenhanges fest. Für die Verwendung in den Metadaten-Dateien haben die dafür verwendbaren Knoten einen Werteintrag. Der Typ (boolean, string, list etc.) und gegebenenfalls die konkreten Werte, welche der Werteintrag annehmen kann sind im KS gegeben.

Es gibt drei Attribute die kein Kantenursprung sind. Diese stellen die Hauptkategorien des KS dar.

**Mathematische Eigenschaften:**

---

<sup>1</sup>Knoten und Attribute werden in diesem Kapitel synonym verwendet.

Umfasst Eigenschaften die durch die mathematische Repräsentation des Modells gegeben sind.

**Systemeigenschaften:**

Umfasst Eigenschaften die aus der mathematischen Repräsentation mit Methoden aus der Regelungstechnik abgeleitet werden.

**Verwendung:**

Umfasst Anwendungsfälle und -bereiche in denen die Systeme häufig genutzt werden.

# Kapitel 4

## Zusammenfassung und Ausblick

### 4.1 Übersicht zu aktuellem Funktions- und Modellumfang

Inhalt:

Aktueller Stand bzgl. Modellumfang und möglicher Modellkomplexität -> Problem mit komplexen Größen

Aktuelle Vorlagen und Limitierungen, Aufwandseinschätzung für das Hinzufügen neuer Modelle

### 4.2 Ausblick

Inhalt:

Was noch denkbar/wünschenswert/möglich wäre bzgl. Funktionsumfang

Versionsverwaltung, Ideen/Konzept zur Öffnung für breite(re) Nutzerschaft (Mögliche Vorlage: ACKRep, aber evtl. Orientierung auch an anderen Nutzer basierten Datenbanken (Wiki-like))

Abfragbare KS Implementierung via networkx-Package die weitere Informationen zu Einträgen des KS enthält (kurze Beschreibung, Referenz bzgl. Bedeutung -> Umsetzung mit .bib Datei und Verweis auf Kürzel + ggf. Seitenangabe etc.)

Suchfunktion

Automatische Erstellung einer Übersicht aller der enthaltenen Modelle (ist Verknüpft mit Suchfunktion?)

# Literatur

- [1] Alexander Benevolenskiy. *Ontology-based modeling and configuration of construction processes using process patterns = Ontologie-basierte Modellierung und Konfiguration der Bauprozesse mit Hilfe von Prozessvorlagen*. Dresden: Institut für Bauinformatik, Fakultät Bauingenieurwesen, TU Dresden, 2016. ISBN: 9783867804776.
- [2] Eugene I. Butikov. „Kapitza’s Pendulum: A Physically Transparent Simple Treatment“. Web Link: <http://butikov.faculty.ifmo.ru/InvPendulumCNS.pdf>. 2021.
- [3] Reinhard Diestel. *Graph theory*. New York: Springer, 2000. ISBN: 0387989765.
- [4] Hendrik Fehr und Albrecht Gensior. „Improved Energy Balancing of Grid-Side Modular Multilevel Converters by Optimized Feedforward Circulating Currents and Common-Mode Voltage“. In: *IEEE Transactions on Power Electronics* 33.12 (Dez. 2018), S. 10903–10913. DOI: [10.1109/tpel.2018.2805103](https://doi.org/10.1109/tpel.2018.2805103).
- [5] Carsten Knoll; Robert Heedt. „Tool-based Support for the FAIR Principles for Control Theoretic Results: "The Automatic Control Knowledge Repository"“. [Soll im: System Theory, Control and Computing Journal veröffentlicht werden.] 2020.
- [6] Carsten Knoll. „Regelungstheoretische Analyse- und Entwurfsansätze für unteraktuierte mechanische Systeme“. Diss. Technische Universität Dresden, Juni 2016.
- [7] Carsten Knoll und Robert Heedt. „“Automatic Control Knowledge Repository” – A Computational Approach for Simpler and More Robust Reproducibility of Results in Control Theory“. In: *2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*. IEEE, Okt. 2020. DOI: [10.1109/icstcc50638.2020.9259657](https://doi.org/10.1109/icstcc50638.2020.9259657).
- [8] Yang Liu und Hongnian Yu. „A survey of underactuated mechanical systems“. In: *IET Control Theory & Applications* 7.7 (Mai 2013), S. 921–935. DOI: [10.1049/iet-cta.2012.0505](https://doi.org/10.1049/iet-cta.2012.0505).
- [9] Edward N. Lorenz. „Deterministic Nonperiodic Flow“. In: *Journal of Atmospheric Sciences* 20 (März 1963), S. 130–141.
- [10] Sharmila J. Petkar u. a. „Robust Model Predictive Control of PVTOL Aircraft“. In: *IFAC-PapersOnLine* 49.1 (2016), S. 760–765. DOI: [10.1016/j.ifacol.2016.03.148](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.148).
- [11] Otto E. Rössler. „Continuous Chaos - Four Prototype Equations“. In: *New York Academy of Sciences* (1979), S. 376–392.

- 
- [12] J. Sebestyénová. „Usage of Domain Ontology in e-Learning“. In: (2004).
  - [13] Alecsandru Simion, Leonard Livadaru und Adrian Munteanu. „Mathematical Model of the Three-Phase Induction Machine for the Study of Steady-State and Transient Duty Under Balanced and Unbalanced States“. In: *Induction Motors - Modelling and Control*. InTech, Nov. 2012. DOI: [10.5772/49983](https://doi.org/10.5772/49983).
  - [14] Heiner Stuckenschmidt. *Ontologien*. Springer Berlin Heidelberg, 2009. DOI: [10.1007/978-3-540-79333-5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-79333-5).
  - [15] Sansal K. Yildiz u. a. „Dynamic modelling and simulation of a hot strip finishing mill“. In: *Applied Mathematical Modelling* 33.7 (Juli 2009), S. 3208–3225. DOI: [10.1016/j.apm.2008.10.035](https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.10.035).