

## Reihe 8

Mess-,  
Steuerungs- und  
Regelungstechnik

Nr. 1261

Dipl.-Inform. Tina Mersch,  
Verl

## Regelbasierte Modell- transformation in prozessleittechnischen Laufzeitumgebungen



Lehrstuhl für  
Prozessleittechnik  
der RWTH Aachen



# **Regelbasierte Modelltransformation in prozessleittechnischen Laufzeitumgebungen**

Von der Fakultät für Georesourcen und Materialtechnik  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Ingenieurwissenschaften**

genehmigte Dissertation

vorgelegt von Dipl.-Inform.

**Tina Mersch**

aus Sömmerda

**Berichter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Andy Schürr

Tag der mündlichen Prüfung: 08.Dezember 2017

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar



# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 8

Mess-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Dipl.-Inform. Tina Mersch,  
Verl

Nr. 1261

Regelbasierte Modell-  
transformation in  
prozessleittechnischen  
Laufzeitumgebungen



Lehrstuhl für  
Prozessleittechnik  
der RWTH Aachen

Mersch, Tina

## **Regelbasierte Modelltransformation in prozesseitentechnischen Laufzeitumgebungen**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 08 Nr. 1261. Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

160 Seiten, 54 Bilder, 0 Tabellen.

ISBN 978-3-18-526108-1 ISSN 0178-9546,

€ 57,00/VDI-Mitgliederpreis € 51,30.

**Für die Dokumentation:** Modelltransformation – Automatisierungstechnik – Durchgängiges Engineering – Triple-Graph Grammatiken – TGG – Modellbasiertes Engineering – Regelbasiertes Engineering – Anlagenneutrale Automatisierungsfunktion – Automatisierung der Automatisierung

Der aus der Informatik stammende Ansatz der Modelltransformation mittels Triple-Graph-Grammatiken wird in die Welt der IEC61131-Sprachen überführt. Das dadurch entstandene Framework bietet die Grundlage für anlagenneutrale Automatisierungsfunktionen, die als Serienprodukt verkauft und per Modelltransformation anhand der Planungsdaten an die konkrete Anlage und die aktuellen Anforderungen angepasst werden können. Durch den Einsatz von Triple-Graph-Grammatiken ist es zudem möglich, Änderungen in der Automatisierungsfunktion in die Planungsdaten zurück zu spielen und somit zu dokumentieren. Das vorgestellte Konzept macht sich die starke Korrelation zwischen verschiedenen Modellen der Anlagenautomatisierung zu Nutze, indem es die Zusammenhänge und nicht das Modell selbst in den Fokus rückt. Das Wissen über diese Zusammenhänge wird dabei, abgelegt als Regeln, nutzbar für eine ganze Serie von Anlagen.

### **Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de).

D82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9546

ISBN 978-3-18-526108-1

# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Prozessleittechnik der RWTH Aachen University. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die geholfen haben diese Arbeit erfolgreich abzuschließen. Mein besonderer Dank gilt dabei Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Epple, der in seiner Rolle als Doktorvater und Chef durch spannende Diskussionen, neue Denkanstöße und durch die vielfältigen Möglichkeiten zum Austausch mit anderen Wissenschaftlern maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Aus der ursprünglich wagen Idee Modelltransformation in die Automatisierungstechnik zu bringen, hat sich insbesondere durch die langen und fachlich sehr lehrreichen Gespräche mit Herrn Professor Dr. rer. nat. Andy Schürr ein tragfähiges und wirklich spannendes Konzept entwickelt. Für die dabei aufgebrachte Geduld, die Nachsicht in vielen Dingen und nicht zuletzt für die Übernahme der Rolle des Zweitgutachters möchte ich mich bei ihm herzlich bedanken.

Auch den vielen Wegbegleitern sei ein Dank ausgesprochen. Besonders erwähnen möchte ich dabei Stefan Schmitz, dessen Ideen und Ansätze die Grundlage dieser Arbeit lieferten und Gustavo Quirós, der gerade in den ersten Phasen viele gute Ideen und Anwendungsmöglichkeiten für eine Modelltransformation in der Automatisierungstechnik beigetragen hat und mich dadurch motiviert hat, das Thema zu vertiefen. Auch möchte ich mich bei Marius Lauder bedanken, der mir in Gesprächen und gemeinsamen Arbeiten Einblicke in die Funktionsweise von TGGen gewährt und mir die Faszination dieses Ansatzes nähergebracht hat.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie. Angefangen bei meinen Eltern, die mir durch ihre Unterstützung auch bei ungewöhnlichen Ausbildungswünschen erst ermöglicht haben, diesen Werdegang einzuschlagen und bei meinen Kindern Liam und Tjard, die gerade in den heißen Phasen der Arbeit oft zurückstecken mussten, die mir aber auch immer wieder durch kleine Gesten über die unzähligen Tiefpunkte hinweggeholfen haben. Der größte Dank gilt jedoch meinem Mann Henning, der unendlich viel Geduld während der Entstehung der Arbeit aufgebracht hat und mich immer wieder motiviert hat, nicht aufzugeben.

Verl, im Oktober 2018

*Tina Mersch*

*Most of the fundamental ideas of science are essentially simple,  
and may, as a rule, be expressed in a language comprehensible to  
everyone.*

Albert Einstein

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	2
1.3 Gliederung . . . . .	6
<b>2 Formale Modellierung</b>	<b>8</b>
2.1 Allgemeine Begriffsbestimmung . . . . .	8
2.2 Darstellungsformen . . . . .	10
2.2.1 Deskriptiv vs. Konstruktiv . . . . .	12
2.2.2 Textuell vs. Graphisch . . . . .	13
2.3 Formalisierungsgrad . . . . .	14
2.4 Formale Modellierung . . . . .	16
2.4.1 Deskriptive, grafische Modellierung . . . . .	16
2.4.2 Konstruktive, textuelle Modellierung . . . . .	17
2.4.3 Deskriptive, textuelle Modellierung . . . . .	21
2.4.4 Konstruktive, grafische Modellierung . . . . .	21
2.5 Fazit . . . . .	23
<b>3 Modelle in der Automatisierungstechnik</b>	<b>24</b>
3.1 Stand der Technik . . . . .	24
3.2 Bewertung der Modelle . . . . .	27
3.2.1 Fließschemata für verfahrenstechnische Anlagen . . . . .	27
3.2.2 CAEX . . . . .	28
3.2.3 PandIX . . . . .	29
3.2.4 Sprachen für die SPS-Programmierung . . . . .	30
3.2.5 AutomationML . . . . .	31
3.2.6 ACPLT-Modelle . . . . .	32
3.3 Gewonnene Erkenntnisse . . . . .	33
<b>4 Modelltransformation in der Automatisierungstechnik</b>	<b>36</b>
4.1 Allgemeine Begriffsbestimmung . . . . .	36
4.2 Besondere Herausforderungen in der Automatisierungstechnik . . . . .	38
4.3 Stand der Technik . . . . .	40
<b>5 Modelltransformation</b>	<b>44</b>
5.1 Tripel-Graph-Grammatiken . . . . .	44
5.1.1 Operationale Regeln . . . . .	51

5.1.2	Kontrollalgorithmus . . . . .	52
5.1.3	Modelltransformation zur Laufzeit . . . . .	53
5.2	Alternative Ansätze . . . . .	54
<b>6</b>	<b>ACPLT/MT - Modelltransformation für die Automatisierungstechnik</b>	<b>56</b>
6.1	Grundlegende Design-Entscheidungen . . . . .	56
6.2	Deklarative Ebene . . . . .	60
6.3	Kommandostruktur . . . . .	66
6.4	Operationale Ebene . . . . .	68
6.4.1	MT-Objekt . . . . .	70
6.4.2	Modifikatoren . . . . .	71
6.4.3	Korrespondenzgraph . . . . .	73
6.5	Kontrollalgorithmus . . . . .	73
6.6	Referenzimplementierung . . . . .	74
6.6.1	Taskingkonzept . . . . .	75
6.6.2	ACPLT/MT-Framework im Laufzeitsystem . . . . .	77
6.6.3	MT_Element . . . . .	79
6.6.4	MT_Object . . . . .	82
6.6.5	Metavariablen, Variablen und Links . . . . .	85
6.7	IEC 61131 basierte Modelltransformation . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Validierung</b>	<b>89</b>
7.1	S0 – Bereitstellung von Planungsdaten im Laufzeitsystem . . . . .	89
7.2	S1 – Einzelne Automatisierungsfunktion als Serienprodukt . . . . .	90
7.3	S2 – Entwicklungsbegleitende Modelltransformation . . . . .	94
7.4	S3 – Konsistenzanalyse und Modellreparatur . . . . .	97
7.5	Anforderungen an eine bidirektionale Modelltransformation . . . . .	98
7.6	Anforderungen an eine Modelltransformation für die Automatisierungstechnik . .	100
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>102</b>
8.1	Modelltransformation für prozessleittechnische Laufzeitumgebungen . . . . .	102
8.2	Erweiterte Einsatzszenarien und mögliche Spracherweiterungen . . . . .	104
<b>Anhang A</b>	<b>ACPLT/MT-Schema-Definition</b>	<b>107</b>
<b>Anhang B</b>	<b>TGG der Anwendungsszenarien</b>	<b>116</b>
<b>Anhang C</b>	<b>Schritt-für-Schritt-Anwendung einer ACPLT/MT-Regel</b>	<b>128</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>144</b>
<b>Normen und Richtlinien</b>		<b>151</b>

# Kurzfassung

Eine Umfrage unter 1800 Mitgliedern des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) [Sch12] zeigte, dass sich schon heute 61% der befragten Entwicklungs- und Konstruktionsingenieure den Herausforderungen bei der Entwicklung neuer Maschinen und Anlagen nicht mehr in vollem Umfang gewachsen fühlen. Mehr als die Hälfte der Befragten erwarten sogar, dass „die Technik, die für die Erstellung effizienter, leistungsfähiger und flexibler Maschinen benötigt wird, immer aufwendiger wird“. Zudem „nehmen Kompetenz und Qualifikation auf der Anwender- und Bedienerseite ab“. Dieses Zusammentreffen von steigender Komplexität und sinkendem Fachwissen verlangen nach neuen Methoden im Engineering von Anlagen. Anne Schneller, die diese Umfragen im Rahmen des VDI-Artikels vorstellt, schlägt vor, dass der Weg der Automatisierungstechnik in Richtung „Parametrieren statt Implementieren“ zu lenken ist, um diesen Herausforderungen auch in Zukunft gewachsen zu sein. Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag dazu, dieses Paradigma auch für komplexe Automatisierungsfunktionen zugänglich zu machen.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept macht sich die starke Korrelation zwischen verschiedenen Modellen der Anlagenautomatisierung zu Nutze, indem es die Zusammenhänge und nicht das Modell selbst in den Fokus rückt. Die Verwendung von Modelltransformation als Basis einer anlagenneutralen Realisierung der Automatisierungsfunktion ermöglicht die Anpassung der Funktionalität an den konkreten Anlagenkontext durch Parametrieren mit den anlagenspezifischen Planungsdaten. Das Fachwissen wird dabei, abgelegt als Regeln, nutzbar für eine ganze Serie von Anlagen.

Die Methode der regelbasierten Modelltransformation hat ihren Ursprung in der Informatik, wo die entwickelten Ansätze bereits beachtliche Ergebnisse in den für sie geschaffenen Modellwelten erzielen. Trotz der langjährigen, erfolgreichen Entwicklung auf dem Gebiet der Modelltransformation stellt das Anwendungsbereich der Automatisierungstechnik bisher eine besondere Herausforderung dar. Insbesondere semiformale Modellbeschreibungen, die Vielfalt der Modelle, erlaubte Varianzen in der Modellierung und multiple Quellmodelle erschweren den Einsatz von Standardverfahren oder machen ihn unmöglich. Nicht nur die hohen Anforderungen der Informatik an den Formalisierungsgrad und die Passgenauigkeit der beteiligten Modelle stellen eine Hürde bei der Zusammenführung der beiden Disziplinen dar, auch die konservative Einstellung der Automatisierungstechnik bringen besondere Herausforderung mit sich. Das in der Arbeit vorgestellte Konzept realisiert einen der erfolgversprechendsten Ansätze aus der Informatik und gliedert diesen nahtlos in für die Automatisierungstechnik übliche Programmiersprachen ein. Dem Applikateur bieten sich dadurch alle Freiheiten der kooperativen Nutzung von Modelltransformation und Standardprogrammierung.

# Abstract

A survey of 1800 members of the German engineering association VDMA [Sch12] showed that 61% of development and design engineers surveyed don't feel up to the challenges in the development of new machines and equipment. More than one half of the respondents expect that the development of efficient, powerful and flexible machines will become even more complex in future. In addition, they predict that users and operators will become less qualified. This concurrence of increasing complexity and decreasing knowledge demands new methods in the engineering of plants. Anne Schneller, author of the VDI article about the survey, suggests that automation technology has to progress toward "parameterization instead implementation" to cope with these challenges. The work at hand aims to contribute to make this paradigm applicable for complex automation functions.

The approach presented in this work takes advantage of the strong correlation between different models of plants. It uses model transformation as the basis of a system-neutral development of automation functions. Those automation functions can be parametrized with the plant-specific planning data without further coding costs. The knowledge about the model correlations is stored once as rules, available for a large set of plants.

The method of rule-based model transformation has its roots in computer science, where the approaches already developed achieved significant results in the model worlds created for them. Despite of many years of progress in the field of model transformation, automation technology presents special challenges for adoption. In particular, semiformal model descriptions and the variances in modeling as well as multiple source models make the use of standard methods impossible. Not only are the high demands of computer science on formalization and the fit of the participating models a hurdle in merging the two disciplines but the conservative attitude of automation technology brings particular challenges with it as well. One requirement for the acceptance of these approaches in automation technology is the smooth integration of the concepts in the application domain without ignoring the domain experts. The concept presented realizes one of the most promising approaches from computer science and integrates it seamlessly into automation programming. With this approach the installation technician can combine model transformation and standard programming in accordance with his purposes.