

Reihe 20

Rechnerunter-  
stützte Verfahren

Nr. 470

Dipl.-Ing. Maik Riedel,  
Pinneberg

## Ein Beitrag zur wissens- basierten Unterstützung bei der Auswahl technischer Ressourcen

### Repräsentation und Auswertung von Prinziplösungen auf Basis multidimensionaler, heterogener, vernetzter Merkmalräume



*Professur für Automatisierungstechnik*

*Professur für Prozessdatenverarbeitung  
und Systemanalyse*

Institut für Automatisierungstechnik der  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg





HELMUT SCHMIDT  
UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg

# **Ein Beitrag zur wissensbasierten Unterstützung bei der Auswahl technischer Ressourcen**

– Repräsentation und Auswertung von Prinziplösungen  
auf Basis multidimensionaler, heterogener, vernetzter Merkmalräume –

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Maik Riedel  
aus Schlema

Hamburg 2018

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay  
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple  
Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. habil. Markus Bause  
Tag der mündlichen Prüfung: 03.11.2017

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 20

Rechnerunterstützte  
Verfahren

Dipl.-Ing. Maik Riedel,  
Pinneberg

Nr. 470

Ein Beitrag zur wissens-  
basierten Unterstützung  
bei der Auswahl  
technischer Ressourcen

Repräsentation und Auswertung  
von Prinziplösungen auf  
Basis multidimensionaler,  
heterogener, vernetzter  
Merkmalräume



*Professur für Automatisierungstechnik*

*Professur für Prozessdatenverarbeitung  
und Systemanalyse*

Institut für Automatisierungstechnik der  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg

Riedel, Maik

## **Ein Beitrag zur wissensbasierten Unterstützung bei der Auswahl technischer Ressourcen**

### **Repräsentation und Auswertung von Prinziplösungen auf Basis multidimensionaler, heterogener, vernetzter Merkmalsräume**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 470. Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

244 Seiten, 74 Bilder, 5 Tabellen.

ISBN 978-3-18-347020-4, ISSN 0178-9473,

€ 85,00/VDI-Mitgliederpreis € 76,50.

**Für die Dokumentation:** Wissensbasierte Systeme – Engineering – Anlagenplanung – Technische Ressourcen – Sensoren – Aktoren – Auswahlunterstützung – Merkmale – Wissensrepräsentation – Durchflussmessung

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Unterstützung bei der Auswahl technischer Ressourcen – insbesondere der Sensorik und Aktorik automatisierter Prozessanlagen. Grundlage stellt eine ausführliche Betrachtung der Herausforderungen der komplexen Engineeringaufgabe sowie eine Analyse der Defizite heutiger Vorgehensweisen und Möglichkeiten dar. Unter Berücksichtigung aktueller Ansätze und Methoden hinsichtlich der formalen Beschreibung technischer Objekte sowie der Wissensrepräsentation und -verarbeitung erfolgt die Erarbeitung eines Konzepts zur wissensbasierten Auswahlunterstützung. Die in diesem Rahmen entwickelten Beschreibungsmittel, Methoden und Werkzeuge ermöglichen und unterstützen die Akquise, Pflege und Verwaltung, Analyse und Darstellung, Verarbeitung und Nutzung, Integration sowie die Wiederverwendung des notwendigen Expertenwissens bei der Auswahl technischer Ressourcen. Mittels verschiedener Anwendungsfälle aus der industriellen Praxis werden schließlich Anwendbarkeit und Vorteilhaftigkeit evaluiert.

#### **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).

Dissertation

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

© 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 0178-9473

ISBN 978-3-18-347020-4

---

## Geleitwort der Herausgeber

Die Automatisierungstechnik ist ein komplexes und vielfältiges wissenschaftliches Gebiet. Am Institut für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg wird zum einen die Entwicklung neuer automatisierungstechnischer Methoden vorangetrieben, zum anderen wird die Automatisierung komplexer Produktionsprozesse bearbeitet. Die reale Umsetzung im Rahmen technischer Prozesse, insbesondere industrieller Produktionsprozesse, ist das Ziel des ingenieurwissenschaftlichen Wirkens und zugleich Gradmesser für seinen Erfolg.

Im Engineering automatisierter Anlagen ist die Auswahl geeigneter Sensoren und Aktoren eine komplexe Aufgabe: einerseits steht eine Vielzahl möglicher Funktionsprinzipien und eine unübersehbare Zahl möglicherweise geeigneter Geräte zur Verfügung, andererseits schränken die physikalischen Bedingungen am Mess- bzw. Stellort die Auswahl ein. Das Expertenwissen über diese Zusammenhänge lässt sich schwer formalisieren.

Herr Dr. Riedel hat im Rahmen seiner Dissertation eine Beschreibungsform erarbeitet, mit der sich diese Zusammenhänge vollständig modellieren lassen, und einen Auswertungsalgorithmus entwickelt, der prüft, welche Funktionsprinzipien für eine gegebene Anforderung im entstehenden multidimensionalen Lösungsraum realisierbar sind. Exemplarisch hat er dies zunächst auf Durchflussmessverfahren angewandt, für die im VDI/VDE-GMA-Fachausschuss 2.40 in jahrelanger Arbeit die Auswirkungen von über 30 Einflussgrößen auf 15 Messprinzipien quantitativ erarbeitet worden waren. Es ist Herrn Dr. Riedel gelungen, diese mit seinem Ansatz abzubilden und somit ein Software-Werkzeug zur Unterstützung der Auswahl geeigneter Durchflussmessverfahren zu erstellen. Die Universalität seines Ansatzes hat er durch Anwendung auf andere Mess- und Stellaufgaben nachgewiesen.

Die Herausgeber danken dem VDI-Verlag für die Möglichkeit einer breiten Veröffentlichung dieser Ergebnisse.

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay

Prof. Dr.-Ing. Klaus Krüger

## Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg in der Zeit von April 2012 bis September 2015.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Alexander Fay für die Möglichkeit der Mitarbeit an seinem Lehrstuhl sowie für die methodische und fachliche Begleitung meiner Arbeit als Doktorvater. Seine Anregungen, Forderung und Förderung, die notwendige Geduld und das über viele Jahre entgegengebrachte Vertrauen waren wesentlich für das Gelingen dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Epple danke ich für das Interesse an der Arbeit und die Übernahme des Zweitgutachtens. Herrn Professor Dr. rer. nat. habil. Markus Bause möchte ich meinen Dank für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes aussprechen.

Ich bedanke mich herzlich bei den Industrievertretern sowie den Mitgliedern und Partnern der Fachgremien und Ausschüsse mit denen ich insbesondere im Rahmen des GMA FA 2.40, GMA FA 4.14 und GMA FA 4.17 eine vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit genießen durfte. Besonders möchte ich hierbei Herrn Dr. rer. nat. Armin Brucker hervorheben. Seine Offenheit, sein Engagement sowie seine uneingeschränkte Unterstützung haben unsere Zusammenarbeit fachlich und menschlich sehr bereichert.

Ein ganz großer Dank geht an alle Kollegen und Mitarbeiter der Professur für Automatisierungstechnik. Bei aller Professionalität und Produktivität und trotz zeitweise hohen Belastungen blieben in diesem wundervollen Team immer die Menschen im Mittelpunkt und die Hilfsbereitschaft und der Spaß bei der Arbeit nie auf der Strecke. Daran werde ich mich stets dankbar erinnern und dies hat nicht zuletzt dafür gesorgt, dass aus vielen Kollegen letztlich wertvolle Freunde geworden sind. Hervorheben möchte ich mit großer Dankbarkeit an dieser Stelle Herrn Dr.-Ing. Esteban Arroyo, Herrn Dr.-Ing. Frank Schumacher, Herrn Jan Ladiges, Herrn André Scholz, Herrn Ireneus Wior und insbesondere Herrn Dr.-Ing. Sebastian Schröck. Mit ihren vielen wertvollen Tipps und Anregungen, den langen (spätabendlichen) Diskussionen, den hilfreichen Kritiken, Reviews und Korrekturen und vor allem ihren Ermunterungen, auch weit über die eigentliche Zeit an der Universität hinaus, haben sie maßgeblich zur Vollendung und zur Qualität der vorliegenden Arbeit beigetragen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Freunden und meiner Familie. Mit ihrer immerwährenden Zuversicht und dem grenzenlosen Rückhalt in all den Jahren haben sie das persönliche Umfeld geschaffen, welches mir die Erstellung dieser Arbeit ermöglicht hat – auch wenn sie in dieser Zeit oft auf mich verzichten mussten.

Meiner Frau Annika danke ich für ihre bedingungslose Unterstützung und ihr Verständnis. Ihre Liebe und ihr unerschütterlicher Glaube an mich gaben mir die notwendige Kraft, die Mühen und Entbehrungen der letzten Jahre zu meistern.

Pinneberg, November 2017

Maik Riedel

## Inhaltsverzeichnis

<b>VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN .....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSSAR.....</b>	<b>XI</b>
<b>KURZFASSUNG.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XV</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1 HINTERGRUND UND MOTIVATION .....	1
1.2 ZIELSETZUNG UND AUFBAU .....	3
<b>2 AUSWAHL TECHNISCHER RESSOURCEN IM ANLAGENLEBENSZYKLUS .....</b>	<b>5</b>
2.1 PLT-ENGINEERING ALS BEITRAG DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK IN DER ANLAGENPLANUNG .....	5
2.2 AUSWAHL TECHNISCHER RESSOURCEN IM RAHMEN DES PLT-ENGINEERINGS .....	9
2.3 SENSORIK UND AKTORIK – TECHNISCHE RESSOURCEN DER FELDEBENE .....	12
2.4 CHARAKTERISTIK UND HERAUSFORDERUNGEN DER ENGINEERINGAUFGABE .....	13
<b>3 STATUS QUO UND HANDLUNGSBEDARF .....</b>	<b>16</b>
3.1 WISSENSAKQUISE .....	16
3.2 WISSENSVERARBEITUNG.....	17
3.2.1 MANUELLE AUSWAHL .....	18
3.2.2 VDI 2644-RICHTLINIENSFTWARE.....	19
3.2.3 PROPRIETÄRE DATENBANKBASIERTE AUSWAHL DURCH KONFIGURATOREN .....	20
3.2.4 ANSÄTZE AUS FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG .....	21
3.2.5 BEWERTUNG DER MÖGLICHKEITEN ZUR WISSENSVERARBEITUNG .....	28
3.3 BEURTEILUNG DES STATUS QUO.....	31
<b>4 GRUNDLAGEN UND ANFORDERUNGEN FÜR DIE KONZEPTENTWICKLUNG 33</b>	
4.1 ECKPFEILER EINES LÖSUNGSANSATZES .....	33
4.1.1 PRINZIPLÖSUNGEN .....	33
4.1.2 EXPERTEN-KONSENSWISSEN.....	39
4.1.3 WISSENSBASIERTE RECHNERUNTERSTÜTZUNG .....	40
4.1.4 FAZIT.....	41
4.2 BESONDERHEITEN UND RESULTIERENDE HERAUSFORDERUNGEN .....	42
4.3 ABLEITUNG KONKRETER ANFORDERUNGEN.....	44
4.3.1 ABBILDUNG UND VERARBEITUNG DES WISSENS .....	45
4.3.2 NUTZUNG UND SCHNITTSTELLE ZUM MENSCHEN.....	47
4.3.3 INTEGRATION UND SCHNITTSTELLE ZUR SYSTEM-/MASCHINENUMGEBUNG.....	48
4.3.4 ZUSAMMENFASSUNG .....	49
<b>5 BESCHREIBUNG TECHNISCHER OBJEKTE DURCH MERKMALE .....</b>	<b>50</b>
5.1 GRUNDLAGEN UND BEGRIFFSBESTIMMUNG .....	50
5.2 MERKMAL- UND KLASSIFIKATIONSSYSTEME .....	51
5.3 DAS MERKMAL ALS INFORMATIONSTRÄGER.....	53
5.3.1 MERKMALKONTEXT.....	53
5.3.2 MERKMALBESCHREIBUNG .....	55
5.3.3 MERKMALAUSSAGEN .....	56
5.4 INFORMATIONSTRUKTUREN AUF BASIS VON MERKMALEN .....	58
5.4.1 MERKMALLEISTE .....	58
5.4.2 MERKMALNETZ .....	59
5.5 BEWERTUNG .....	61

<b>6</b>	<b>AUSWAHL UND ENTSCHEIDUNG MIT HILFE VON WISSEN (IM ENGINEERING) .....</b>	<b>63</b>
6.1	EINORDNUNG .....	63
6.2	WISSENSBASIERTE SYSTEME ZUR ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG UND AUSWAHL .....	64
6.3	ABBILDUNG UND REPRÄSENTATION VON WISSEN .....	66
6.3.1	ÜBERBLICK UND SYSTEMATIK .....	66
6.3.2	LOGIK .....	67
6.3.3	SEMANTISCHE NETZE UND ONTOLOGIEN .....	68
6.3.4	FRAMES UND DER OBJEKTORIENTIERTE ANSATZ .....	69
6.3.5	REGELBASIERTE METHODEN .....	70
6.3.6	CONSTRAINTS .....	72
6.4	BEWERTUNG DER REPRÄSENTATIONSANSÄTZE .....	73
<b>7</b>	<b>KONZEPT ZUR REPRÄSENTATION UND AUSWERTUNG VERNETZTER MERKMALRÄUME.....</b>	<b>79</b>
7.1	ÜBERBLICK.....	79
7.2	VORAUSSETZUNGEN, FESTLEGUNGEN UND ANNAHMEN .....	82
7.2.1	SKALENNIVEAU-ÜBERGREIFENDE BETRACHTUNG.....	82
7.2.2	AUSSAGEZIELE .....	85
7.2.3	RELATIONEN .....	88
7.2.4	EINE HIERARCHIE VON MENGEN.....	92
7.2.5	PROBLEM- UND LÖSUNGSRAUM.....	93
7.3	MODELLIERUNG .....	94
7.3.1	RAHMENMODELL .....	95
7.3.2	METAEBENE .....	97
7.3.3	KLASSENEBENE .....	99
7.3.4	INSTANZENEBENE .....	101
7.4	ANALYSE.....	104
7.4.1	KONSISTENZPRÜFUNG UND -SICHERUNG .....	105
7.4.2	OPTIMIERUNG .....	106
7.5	VERARBEITUNG .....	108
7.5.1	ÜBERBLICK.....	109
7.5.2	VERARBEITUNGSSCHRITTE.....	112
7.6	METHODIK.....	136
7.7	INTEGRATION.....	140
<b>8</b>	<b>IMPLEMENTIERUNG.....</b>	<b>146</b>
8.1	ÜBERBLICK.....	146
8.2	WISSENSEDITOR .....	147
8.3	WERKZEUG ZUR AUSWAHLUNTERSTÜTZUNG .....	150
<b>9</b>	<b>EVALUATION.....</b>	<b>156</b>
9.1	ANWENDUNGSFALL „DURCHFLUSSMESSUNG“ .....	156
9.1.1	HINTERGRUND UND AUSGANGSSITUATION .....	156
9.1.2	DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNIS .....	157
9.2	ANWENDUNGSFALL „ANTRIEBE“ .....	165
9.2.1	HINTERGRUND UND AUSGANGSSITUATION .....	165
9.2.2	DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNIS .....	166
9.3	ANWENDUNGSFALL „STELLGERÄTE“.....	168
9.3.1	HINTERGRUND UND AUSGANGSSITUATION .....	168
9.3.2	DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNIS .....	168
9.4	AUSWERTUNG.....	169

<b>10 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>172</b>
10.1 ZUSAMMENFASSUNG .....	172
10.2 AUSBLICK .....	175
<b>ANHANG A PHASEN DES ANLAGEN-ENGINEERINGS.....</b>	<b>178</b>
<b>ANHANG B BEISPIELHAFTHE TAXONOMIEN DER SENSORIK UND AKTORIK....</b>	<b>179</b>
B.1. SENSORIK .....	179
B.2. AKTORIK .....	179
<b>ANHANG C DOKUMENTE IM PLT-ENGINEERING: R&amp;I-FLIEßBILD.....</b>	<b>180</b>
<b>ANHANG D DOKUMENTE IM PLT-ENGINEERING: PLT-STELLENBLATT .....</b>	<b>181</b>
<b>ANHANG E CHARAKTERISTIK VERSCHIEDENER QUELLEN ZUR WISSENSAKQUISE .....</b>	<b>182</b>
<b>ANHANG F WISSENSQUELLEN UND HILFSMITTEL ZUR AUSWAHLUNTERSTÜTZUNG.....</b>	<b>183</b>
<b>ANHANG G BEISPIELHAFTHE ANWENDERSCHNITTSTELLEN VON (ONLINE-) PRODUKTKONFIGURATOREN.....</b>	<b>184</b>
<b>ANHANG H ALGORITHMEN IM RAHMEN DER WISSENSVERARBEITUNG.....</b>	<b>185</b>
H.1. BILDUNG IMPLIZITER UNTERRÄUME IN EXTENSIONALEN RELATIONEN .....	185
H.2. VERARBEITUNG EXTENSIONALER RELATIONEN IM RAHMEN DER BILDUNG EINES RESULTIERENDEN GESAMTLÖSUNGSRAUMS (VERARBEITUNGSSCHRITT 2) .....	186
H.3. VERARBEITUNG FUNKTIONALER RELATIONEN IM RAHMEN DER BILDUNG EINES RESULTIERENDEN GESAMTLÖSUNGSRAUMS (VERARBEITUNGSSCHRITT 2) .....	187
H.4. FILTERUNG DER EINZELLÖSUNGSRÄUME DURCH FIXIERUNG VON AUSPRÄGUNGEN DER PROBLEMRUMSPEZIFIKATION .....	188
<b>ANHANG I RELATIONSTYPSPEZIFISCHE (BE)DEUTUNG DER WIRKUNGSRICHTUNG.....</b>	<b>189</b>
<b>ANHANG J FORMALISIERUNG DER MODELLEBENEN (XML) .....</b>	<b>190</b>
J.1. KLASSENEBENE (AUSSCHNITT).....	190
J.2. INSTANZENEBENE (AUSSCHNITT).....	191
<b>ANHANG K AUFBAU DES FORMALISIERUNGSSCHEMAS (XSD).....</b>	<b>192</b>
K.1. KLASSENEBENE (AUSSCHNITT).....	192
K.2. INSTANZENEBENE (AUSSCHNITT).....	193
<b>ANHANG L AUSZUG AUS DER WISSENSGRUNDLAGE ZUM ANWENDUNGSFALL „DURCHFLUSSMESSUNG“ .....</b>	<b>194</b>
<b>ANHANG M DEFINITION UND SPEZIFIKATION DER WISSENSELEMENTE FÜR DEN ANWENDUNGSFALL „DURCHFLUSSMESSUNG“ .....</b>	<b>195</b>
M.1. PZL DER FUNKTION „DURCHFLUSSMESSUNG“ IN DER PZL-BIBLIOTHEK .....	195
M.2. SPEZIFIZIERUNG DER MERKMALATTRIBUTE IN MERKMALLEXIKON UND PZL-BIBLIOTHEK .....	196
<b>ANHANG N VERMINDERUNG DES ZULÄSSIGEN PROZESSDRUCKS IN ABHÄNGIGKEIT VON DER PROZESSTEMPERATUR.....</b>	<b>196</b>

<b>ANHANG O VISUALISIERTE INSTANZENMODELLE VON PZL DER FUNKTION „DURCHFLUSSMESSUNG“</b> .....	<b>198</b>
O.1. PZL „CORIOLIS-(MASSE-)DURCHFLUSSMESSUNG“ .....	198
O.2. PZL „WIRBELZÄHLER“ .....	199
O.3. PZL „MAGNETISCH INDUKTIVE DURCHFLUSSMESSUNG“ (ALTERNATIVE MODELLIERUNG) .....	200
<b>ANHANG P BEISPIELHAFTE PE-SPEZIFIKATION FÜR DIE FUNKTION „DURCHFLUSSMESSUNG“</b> .....	<b>201</b>
<b>ANHANG Q WISSENSGRUNDLAGE DES ANWENDUNGSFALLES „ANTRIEBE“</b> ..	<b>202</b>
<b>ANHANG R DEFINITION UND SPEZIFIKATION DER WISSENSELEMENTE FÜR DEN ANWENDUNGSFALL „STELLGERÄTE“</b> .....	<b>203</b>
R.1. PZL DER FUNKTION „STELLGERÄTE“ IN DER PZL-BIBLIOTHEK .....	203
R.2. SPEZIFIZIERUNG DER MERKMALATTRIBUTE IN MERKMALLEXIKON UND PZL-BIBLIOTHEK .....	204
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>205</b>
LITERATUR .....	205
NORMEN, RICHTLINIEN UND EMPFEHLUNGEN .....	221
VERÖFFENTLICHUNGEN DES AUTORS .....	225
STUDENTISCHE ARBEITEN .....	225
REFERENZIERTER INTERNETQUELLEN .....	226
REFERENZIERTER SOFTWARE .....	228

**Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen****Abkürzungen**

AML	Automation Markup Language
AK	Arbeitskreis
AT	Automatisierungstechnik
CAEX	Computer Aided Engineering Exchange
CAD	Computer Aided Design
CSP	Constraint Solving Problem
FA	Fachausschuss
FAT	Factory Acceptance Test
GMA	Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik
HART	Highway Addressable Remote Transducer
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Standardization Organization
KI	Künstliche Intelligenz
LOP	List Of Properties
LORP	List Of Relevant Properties
ML	Merkmalleiste
MMI	Machine Machine Interface
NAMUR	Normenausschuss Mess- und Regeltechnik
OO	Objektorientierter Ansatz
OWL	Web Ontology Language
PE	Planungselement
PDF	Portable Document Format
PLM	Product Lifecycle Management
PLS	Prozessleitsystem
PLT	Prozessleittechnik
PROLIST	Project Group Lists Of Properties
PZL	Prinziplösung
RDF	Ressource Description Framework
R&I-Fließbild	Rohr- und Instrumentierungsfließbild
SAT	Site Acceptance Test

SIT	Site Integration Test
SN	Semantische Netze
STEP	Standard For The Exchange Of Product Model Data
TR	Technische Ressource
URI	Uniform Ressource Identifier
VDI/VDE	Verein Deutscher Ingenieure/Elektroingenieure
WBS	Wissensbasiertes System
XML	Extensible Markup Language
XLS	Excel Spreadsheet
XSD	Extensible Schema Definition

### **Formelzeichen**

$A$	Ausprägungsmenge
$A_{\text{Anf}}$	Anforderungsausprägung
$A_{\text{Zus}}$	Zusicherungsausprägung
$D$	Definitionsmenge
DN	Nenndurchmesser
$E$	Ergebnismenge
$G$	Grundwertemenge
$P(A)$	Potenzmenge (einer Ausprägungsmenge)
PN	Nenndruck
$R$	Relation, Relationsmenge
$R_e$	Extensionale Relation
$R_f$	Funktionale Relation
$f(x)$	Funktion von $x$
$T_D$	Turn-Down(-Ratio)
$\bar{v}$	Strömungsgeschwindigkeit
$\dot{V}$	Volumenstrom
Y	Messunsicherheit
*	„don't care“-Operator

## Glossar

Sofern nicht spezifisch definiert oder referenziert, sind die Erläuterungen der Begriffe auf die ihnen in vorliegender Arbeit zugeordnete Bedeutung bezogen und beschränkt.

### Domäne

Eine Domäne ist ein „[...] abgrenzbares Aufgabengebiet, in dem eine Aufgabenstellung mit deren domänenspezifischen Anforderungen bearbeitet wird.“ [MÜH12]. Die Domäne beschreibt damit einen Interessens- oder Betrachtungsbereich [SCH00]. Weder eine scharfe Abgrenzung und definitorische Bestimmung einzelner Domänen noch eine Unterscheidung zwischen Domänen und Sub-Domänen sind Ziel und Inhalt vorliegender Arbeit. Die bewusst allgemeine Begriffsdeutung lässt zu, dass der Begriff aus dem Aspekt der Wissensrepräsentation und -verarbeitung heraus als ein spezifischer Wissens- und/oder Problembereich verstanden werden kann.

### Engineering

Das Engineering ist die systematische Anwendung von Wissen zur Konzeption, Erschaffung und Verbesserung von Anlagen [VDI/VDE 3695-1]. In einem engen Begriffsverständnis konzentriert sich das Engineering dabei auf die Planungsphase im Anlagenbau [TAU13], während Engineering in einem weiten Begriffsverständnis prinzipiell auch alle anderen Ingenieurstätigkeiten im Lebenszyklus von Anlagen (u. a. auch in Phasen wie dem Betrieb und der Demontage) umfasst [FAY09], [TAU13]. Da über die Planungsphase hinausgehende Engineeringtätigkeiten im Rahmen vorliegender Arbeit nicht betrachtet werden, wird von dem engen Verständnis ausgehend der Begriff Engineering synonym zum Begriff der Planung verstanden und verwendet.

### Engineeringprozess/-Workflow

In Bezug auf die hier verwendete Begriffsdeutung des *Engineering* bezeichnet der Engineeringprozess den Ablauf und Prozess der gesamten Engineeringtätigkeiten im Rahmen der Anlagenplanung. Dieser Prozess ist vor allem durch die Erhebung, Verteilung und Nutzung vielfältiger Informationen zwischen unterschiedlichsten Prozessteilnehmern geprägt. Ein als synonym verstandener und genutzter Begriff ist der des *Engineering-Workflow*.

### Feldgerät

Feldgeräte subsumieren die zur untersten Ebene der Automatisierungstechnik, der Feldebene, zugeordneten Geräte zur Prozess- oder Maschinenbeeinflussung. Hauptsächlich verkörpern Feldgeräte damit die gerätetechnischen sensorischen und aktorischen Funktionsträger der Automatisierungstechnik der Anlage [BIR01], mit zumeist unmittelbarem Kontakt zum Prozess.

### Funktion

Funktionen beschreiben den zweckgebundenen Sinn eines Objekts oder Systems [EPP08], [GAA10] und damit die Aufgabe, die ihm in seiner Umgebung zugeordnet ist [EPP08]. Sie erklären das „Wozu?“ und „Warum?“, ggf. auf verschiedenen Abstraktionsstufen [HUB76] und beschreiben das Objekt bzw. System damit lösungsneutral, ohne das „Wie?“ zu beantworten. Davon ausgehend, werden Funktionen in der vorliegenden Arbeit als abstrakte, funktionale Aufgabenstellungen betrachtet, die sich nicht zwangsläufig am rein technischen Zweck orientieren müssen.

**Lösungsraum**

Der Lösungsraum ist die räumliche Repräsentation der, auf Basis von Merkmalen und ihren Ausprägungen, spezifizierten Anforderungen und Zusicherungen einer Prinziplösung in Form eines Merkmalraums.

**LORP**

Die LORP (list of relevant properties) beschreibt die Menge der hinsichtlich einer spezifischen Funktion und der Beurteilung derer Prinziplösungen relevanten Merkmale. Die LORP bestimmt grundsätzlich Art und Anzahl der zu betrachtenden Dimensionen der beteiligten Merkmalräume (Problemraum, Lösungsraum) und bildet die semantische Basis für den Vergleich zwischen Problem- und Lösungsraum, und damit für die Eignungsbewertung der Prinziplösungen der betroffenen Funktion.

**Merkmal**

Merkmale sind klassifizierbare Eigenschaften zu beschreibender Objekte [MER11], die zur Identifizierung [WÄL12] und Unterscheidung [DIN 4002-2], [WÄL12] bzw. Klassenbildung [MER11], [HAD114] dieser Objekte dienen.

**Merkmalste (ML)**

Merkmalste (auch LOP: List of Properties) sind zweckgebundene Gruppierungen mehrerer Merkmale zur Beschreibung einer Klasse (gleichartiger) Objekte [DIN 4002-2]. Merkmalste dienen der Optimierung an der Schnittstelle zwischen Herstellern und Kunden im Beschaffungsprozess und werden mittlerweile auch für andere Anwendungsgebiete und Lebenszyklusphasen, wie die Instandhaltung oder Parametrierung [GEO14A], genutzt. In *eCI@ss* beschreiben Merkmalste beispielsweise Produktklassen auf der untersten Abstraktionsebene. In einer Merkmalste zusammengefasste Merkmale bilden somit die abstrahierte Beschreibung einer Klasse bzw. eines Typs technischer Ressourcen und können für alle zu dieser Klasse gehörenden konkreten technischen Ressourcen zur Beschreibung verwendet werden.

**Merkmalraum**

Ein Merkmalraum ist die räumliche Repräsentation einer spezifischen Menge im Verbund betrachteter Merkmale und derer Ausprägungen. Die Dimensionen des Raums werden dabei von der Anzahl sowie der Art (z. B. Skalierung, Definitionsbereich) der beteiligten Merkmale bestimmt.

**Planungselement (PE)**

Das Planungselement stellt einen abstrakten Platzhalter innerhalb der Anlagenplanung dar. Es kann bei verfahrenstechnischen Anlagen beispielsweise eine PLT-Stelle (z. B. in Planungsdokumenten wie dem R&I-Fließbild oder dem PLT-Stellenblatt) darstellen und u. a. für die Spezifikation einer sensorischen oder aktorischen Funktionalität bzw. Aufgabenstellung genutzt werden. Das Planungselement verkörpert mit seiner Spezifikation geplante Eigenschaften (z. B. zu tolerierende Bedingungen der zukünftigen Einsatzumgebung und/oder spezifische Anforderungen), welche in einer späteren Realisierung zumeist durch technische Ressourcen gewährleistet werden sollen.

**Prinziplösung (PZL)**

Eine Prinziplösung ist eine durch Eigenschaften charakterisierte und semantisch eindeutig definierte, abstrakte Lösung(svariante). Als Lösung (beispielsweise in Form eines Handlungs- oder Umsetzungsprinzips) bietet sie damit grundsätzlich das Potential eine zugehörige Funktion zu erfüllen und bildet mit anderen Prinziplösungen zusammen die mögliche Lösungsmenge der Funktion. Die Prinziplösung stellt keine konkrete technische Umsetzung dar, kann jedoch auch als Verkörperung einer Gruppe, als Sammelbegriff oder Klasse, mehrerer konkreter technischer Umsetzungen interpretiert werden.

**Problemraum**

Der Problemraum ist die räumliche Repräsentation der, auf Basis von Merkmalen und ihren Ausprägungen, spezifizierten Anforderungen und Zusicherungen eines Planungselements in Form eines Merkmalraums.

**Spezifikation**

Unter Spezifikation ist das zielgerichtete Aufstellen und Präzisieren von Anforderungen in strukturierter Form an ein System [SCH99], ein Produkt oder einen Prozess zu verstehen. Gleichwohl wird das meist formalisierte Ergebnis dieses Vorgangs ebenfalls als Spezifikation bezeichnet, beispielsweise in Form eines Lastenheftes oder einer Merkmalleiste [BRW07].

**Technische Ressource (TR)**

Der Begriff technische Ressource subsumiert konkrete technische Produkte in Form beispielsweise von Komponenten und Geräten.

## **Kurzfassung**

Im Engineering verfahrenstechnischer Anlagen treffen steigende Anlagen- und Gerätekomplexität, kombiniert mit einer stark wachsenden Anzahl technischer Lösungsmöglichkeiten, auf einen ständig zunehmenden Kosten- und Zeitdruck vor dem Hintergrund einer anspruchsvollen, globalen Wettbewerbssituation. Diese Problematik gilt insbesondere für die im Engineering der notwendigen Automatisierungstechnik einbezogene Aufgabenstellung der Auswahl geeigneter technischer Ressourcen in der Feldebene. Diese Auswahl stellt aufgrund der Häufigkeit ihrer Durchführung, aufgrund der Bedeutung der technischen Ressourcen für die Wirtschaftlichkeit und Qualität des Anlagenbetriebs und wegen des mit der Auswahl verbundenen Fehlerrisikos einen bedeutenden Kostenfaktor und -hebel für das Engineering und die gesamte Anlagenplanung dar. Gleichwohl ist die Auswahl, unter Berücksichtigung vielfältiger, spezifischer Bedingungen und Anforderungen des Einsatzortes sowie des Anwenders, eine sehr komplexe und dementsprechend wissensintensive Aufgabenstellung. In Anbetracht dieser Herausforderung verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, die Auswahl technischer Ressourcen durch den Einsatz auf Wissen basierender Methoden und Werkzeuge zu unterstützen und damit im Sinne der „Automatisierung der Automatisierung“ einen Beitrag zur Effizienzsteigerung des Engineerings zu leisten.

Nach einer Einordnung der Aufgabenstellung in das Engineering verfahrenstechnischer Anlagen und einer Analyse der mit ihr verbundenen grundsätzlichen Herausforderungen, werden verfügbare Möglichkeiten zur Akquise des benötigten (Experten-)Wissens sowie Ansätze und praktizierte Vorgehensweisen zu dessen Verarbeitung untersucht. Basierend sowohl auf den Herausforderungen und Rahmenbedingungen der Aufgabenstellung als auch auf den Defiziten des Status Quo in Praxis und Forschung wird anschließend ein Anforderungskatalog für die Konzept- und Werkzeugentwicklung erarbeitet. Unter Berücksichtigung aktueller, existierender Ansätze und Methoden hinsichtlich der formalen Beschreibung technischer Objekte sowie der Wissensrepräsentation und -verarbeitung erfolgt die Entwicklung eines Konzepts zur wissensbasierten Auswahlunterstützung. Dafür wird zunächst ein theoretisches Fundament, bestehend aus Voraussetzungen, Festlegungen und Annahmen definiert. Auf diesen Grundlagen wird ein Modell für die geeignete Abbildung des benötigten Wissens entwickelt, welches sich auf die drei Abstraktionsebenen der Meta-, Klassen- und Instanzenebene erstreckt und sowohl anwendungsfallspezifische als auch anwendungsfallunabhängige Wissensanteile repräsentiert. Zudem werden Mechanismen für die geeignete Verarbeitung des repräsentierten Wissens sowie eine Methodik für die Konzeptanwendung beschrieben. Ergänzt wird dies durch einen Ansatz zur Integration in den durchgängigen Engineeringprozess unter Nutzung etablierter Ansätze zur Beschreibung von Anlagenstrukturinformationen und Semantik. Für die Umsetzung und den praktischen Einsatz des Konzepts werden zwei funktionell kooperierende Softwarewerkzeuge implementiert: ein Wissenseditor für das konzept- und methodenkonforme Erstellen einer konsistenten Wissensbasis auf Grundlage des Wissensmodells sowie ein Werkzeug zur Auswahlunterstützung, welches die im Editor erstellten Wissensinhalte nutzt und die Wissensverarbeitung im Zusammenhang mit jeweils problemfallspezifischen Informationen durchführt. Das erstellte Konzept wird abschließend unter Verwendung der erstellten Softwarewerkzeuge anhand von verschiedenen Anwendungsfällen aus dem Bereich von Sensorik und Aktorik evaluiert. Die Erkenntnisse aus der Evaluation werden genutzt, um die anwendungsfallübergreifende Anwendbarkeit und, durch den Vergleich mit den aufgestellten Anforderungen, die Vorteilhaftigkeit von Konzept und Werkzeugen zu belegen.

## Abstract

In process plant engineering, rising complexity of plants and devices, accompanied by an increasing number of potential technical solutions, meets rising cost and time pressure in the context of a demanding, globally competitive environment. This difficulty applies in particular to the selection of suitable technical resources in the field level as a task of automation engineering. The selection of technical resources is an important cost factor for engineering and for the entire planning process because of its frequent occurrence, the relevance of technical resources for the efficiency and quality of the plant operation, and the high impact of wrong decisions. In consideration of the various specific conditions and requirements of the operating site and the operator, the selection is a very complex and knowledge-intensive task. Considering these challenges, this thesis aims to support the selection of technical resources by knowledge-based methods and tools, and thereby to contribute to an improvement of engineering efficiency in accordance with the idea of “automation of automation”.

After classification of the task within process plant engineering and an analysis of task-related challenges, available opportunities to gather required (expert) knowledge are identified, and different approaches to process and apply this knowledge are analysed. Based on the constraints and the challenges of the engineering task, including the existing shortcomings of the status quo in practice and research, a catalogue of requirements for concept and tool development is compiled. Considering state of the art approaches and methods concerning the formal description of technical objects, knowledge representation and knowledge processing, a concept for knowledge-based selection support is developed. For this purpose, a theoretical basis is first defined, comprising prerequisites, definitions and assumptions. On this basis, a model for a suitable representation of the required knowledge is developed. This model comprises three levels of abstraction, encompassing meta, class and instance level, and represents both application-independent and application-specific knowledge. Furthermore, mechanisms for an adequate inference of the represented knowledge and a method for concept application are defined. The concept is completed by an approach for the integration into the continuous engineering workflow. This approach utilizes established methods for plant description and for semantics. For the realisation and practical use, two functionally cooperating software tools are implemented: a knowledge editor for a concept- and method-compliant generation of a knowledge base in accordance with the knowledge model. Furthermore a selection support tool that uses the edited knowledge and conducts knowledge processing by including case-specific information. Finally, the established concept is evaluated based on different cases of application in the domains of actuators and sensors, utilizing the implemented software tools. Moreover, the evaluation results are used to confirm the applicability across the cases of application and to prove the advantages of the concept and tools by benchmarking against the predefined requirements.

für  
**Helmut Riedel**  
(1937-2005)