

**John E. Hopcroft  
Jeffrey D. Ullman**

**Einführung in die  
Automatentheorie,  
Formale Sprachen und  
Komplexitätstheorie**



**ADDISON-WESLEY**

Bonn · Paris · Reading, Massachusetts · Menlo Park, California · New York  
Don Mills, Ontario · Wokingham, England · Amsterdam · Milan · Sydney · Tokyo  
Singapore · Madrid · San Juan · Seoul · Mexico City · Taipei, Taiwan

# INHALT

## Kapitel 1 Vorbemerkungen

1.1 Zeichenketten, Alphabete und Sprachen.....	1
1.2 Graphen und Bäume .....	2
1.3 Induktionsbeweise .....	4
1.4 Mengen-Notation .....	5
1.5 Relationen.....	7
1.6 Übersicht über das Buch.....	8

## Kapitel 2 Endliche Automaten und reguläre Ausdrücke

2.1 Systeme mit endlicher Zustandsmenge .....	13
2.2 Grundlegende Definitionen.....	16
2.3 Nichtdeterministische endliche Automaten .....	19
2.4 Endliche Automaten mit $\epsilon$ -Bewegungen .....	24
2.5 Reguläre Ausdrücke .....	28
2.6 Zweiseitige endliche Automaten.....	37
2.7 Endliche Automaten mit Ausgabe .....	44
2.8 Anwendungen für endliche Automaten .....	47

## Kapitel 3 Eigenschaften von regulären Mengen

3.1 Das Pumping-Lemma für reguläre Mengen .....	59
3.2 Abgeschlossenheit regulärer Mengen .....	62
3.3 Entscheidungsalgorithmen für reguläre Mengen.....	67
3.4 Der Satz von Myhill-Nerode und die Minimierung endlicher Automaten .....	69

## Kapitel 4 Kontextfreie Grammatiken

4.1 Motivation und Einleitung.....	83
4.2 Kontextfreie Grammatiken .....	85
4.3 Ableitungsbäume.....	88
4.4 Vereinfachung kontextfreier Grammatiken.....	94
4.5 Chomsky-Normalform .....	99
4.6 Greibach-Normalform .....	101
4.7 Die Existenz inhärent mehrdeutiger kontextfreier Sprachen....	106

## Kapitel 5 Kellerautomaten

5.1 Informelle Beschreibung .....	115
5.2 Definitionen .....	117
5.3 Kellerautomaten und kontextfreie Sprachen .....	121

**Kapitel 6 Eigenschaften kontextfreier Sprachen**

6.1 Das Pumping-Lemma für kfS .....	133
6.2 Abgeschlossenheit bei kfS.....	138
6.3 Entscheidungsalgorithmen für kfS.....	145

**Kapitel 7 Turing-Maschinen**

7.1 Einführung .....	157
7.2 Das Turing-Maschinen-Modell .....	158
7.3 Berechenbare Sprachen und Funktionen.....	161
7.4 Techniken zur Konstruktion von Turing-Maschinen.....	164
7.5 Modifizierte Turing-Maschinen.....	170
7.6 Die Church'sche Hypothese .....	178
7.7 Turing-Maschinen als Generatoren.....	179
7.8 Beschränkte, zum Grundmodell äquivalente Turing-Maschinen	182

**Kapitel 8 Unentscheidbarkeit**

8.1 Probleme.....	191
8.2 Eigenschaften rekursiver und rekursiv aufzählbarer Sprachen ..	193
8.3 Universelle Turing-Maschinen und ein unentscheidbares Problem .....	195
8.4 Der Satz von Rice und weitere unentscheidbare Probleme .....	200
8.5 Unentscheidbarkeit des Post'schen Korrespondenzproblems ..	210
8.6 Gültige und ungültige Berechnungen von TM: ein Werkzeug zum Beweis für die Unentscheidbarkeit von kfS-Problemen .....	217
8.7 Der Satz von Greibach .....	221
8.8 Einführung in die Theorie rekursiver Funktionen .....	223
8.9 Orakel-Berechnungen .....	226

**Kapitel 9 Die Chomsky-Hierarchie**

9.1 Reguläre Grammatiken .....	237
9.2 Nicht eingeschränkte Grammatiken .....	240
9.3 Kontextsensitive Sprachen .....	244
9.4 Relationen zwischen Sprachklassen.....	247

**Kapitel 10 Deterministische kontextfreie Sprachen**

10.1 Normalformen für DKA .....	255
10.2 Abgeschlossenheit von dkfS unter Komplementbildung .....	257
10.3 Vorhersagende Maschinen .....	262
10.4 Zusätzliche Abgeschlossenheitseigenschaften von dkfS .....	265
10.5 Entscheidbarkeitseigenschaften von dkfS .....	268
10.6 LR(0)-Grammatiken .....	270
10.7 LR(0)-Grammatiken und DKA .....	275
10.8 LR( $k$ )-Grammatiken .....	284

**Kapitel 11 Abgeschlossenheitseigenschaften von Sprachfamilien**

11.1 Trios und volle Trios .....	295
11.2 Abbildungen verallgemeinerter sequentieller Maschinen .....	296
11.3 Weitere Abgeschlossenheitseigenschaften von Trios .....	301
11.4 Abstrakte Sprachfamilien .....	302
11.5 Unabhängigkeit der ASF-Operationen .....	304
11.6 Zusammenfassung .....	304

**Kapitel 12 Komplexitätstheorie**

12.1 Definitionen .....	311
12.2 Lineare Beschleunigung, Bandkompression und Reduktion der Anzahl der Bänder .....	314
12.3 Hierarchie-Sätze .....	321
12.4 Beziehungen zwischen Komplexitätsmaßen .....	327
12.5 Translationslemmata und nichtdeterministische Hierarchien ..	329
12.6 Eigenschaften allgemeiner Komplexitätsmaße: Der Lücken-, Beschleunigungs- und Vereinigungssatz .....	333
12.7 Axiomatische Komplexitätstheorie .....	341

**Kapitel 13 Hartnäckige Probleme**

13.1 Polynomiale Zeit und polynomiales Band .....	351
13.2 Einige $NP$ -vollständige Probleme .....	355
13.3 Die Klasse $\text{Co-}NP$ .....	374
13.4 PBAND-vollständige Probleme .....	376
13.5 Vollständige Probleme für $\mathcal{P}$ und NBAND( $\log n$ ) .....	380
13.6 Einige beweisbar hartnäckige Probleme .....	383
13.7 Die $\mathcal{P} = NP$ Frage für TM mit Orakeln: Die Grenzen unserer Fähigkeit zu bestimmen, ob $\mathcal{P} = NP$ gilt .....	396

**Kapitel 14 Wesentliche Aspekte anderer wichtiger Sprachklassen**

14.1 Hilfskellerautomaten .....	415
14.2 Stack-Automaten .....	420
14.3 Indizierte Sprachen .....	429
14.4 Entwicklungssysteme .....	431
14.5 Zusammenfassung .....	432

<b>Literatur</b> .....	437
------------------------	-----

<b>Index</b> .....	453
--------------------	-----