

---

# Einführung in die Theoretische Informatik

---

Formale Sprachen und Automatentheorie

---

von  
Prof. Dr. Ulrich Hedtstück  
Fachhochschule Konstanz

---

2., überarbeitete Auflage

---



Oldenbourg Verlag München Wien

---

# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Vorwort</b>  | <b>vii</b> |
| <b>Einleitung</b>   | <b>5</b>   |
| <b>1 Formale Sprachen</b>                                   | <b>9</b>   |
| 1.1 Buchstaben, Wörter, Sprachen . . . . .                  | 10         |
| 1.2 Klassen von unendlichen Sprachen . . . . .              | 13         |
| 1.2.1 Abzählbare Sprachen . . . . .                         | 13         |
| 1.2.2 Aufzählbare Sprachen . . . . .                        | 19         |
| 1.2.3 Entscheidbare Sprachen . . . . .                      | 20         |
| 1.2.4 Zusammenfassendes Mengendiagramm . . . . .            | 23         |
| 1.3 Wieviele Probleme kann der Computer lösen? . . . . .    | 23         |
| <i>Übungen</i> . . . . .                                    | 25         |
| <b>2 Grammatiken</b>  | <b>27</b>  |
| 2.1 Grundlegende Definitionen . . . . .                     | 29         |
| 2.2 Die Chomsky-Hierarchie . . . . .                        | 36         |
| 2.3 Weitere Formalismen für kontextfreie Sprachen . . . . . | 41         |
| 2.3.1 Backus-Naur-Form (BNF) . . . . .                      | 42         |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.3.2    | Erweiterte Backus-Naur-Form (EBNF) . . . . .               | 43        |
| 2.3.3    | Syntaxdiagramme . . . . .                                  | 45        |
|          | Übungen . . . . .  | 48        |
| <b>3</b> | <b>Endliche Automaten und reguläre Sprachen</b>            | <b>53</b> |
| 3.1      | Arbeitsweise endlicher Automaten . . . . .                 | 54        |
| 3.2      | Grundlegende Begriffe . . . . .                            | 57        |
| 3.3      | Zustandsdiagramme . . . . .                                | 60        |
| 3.4      | Nichtdeterministische endliche Automaten . . . . .         | 63        |
| 3.5      | Reguläre Sprachen – endliche Automaten . . . . .           | 66        |
| 3.6      | Zustandsbäume . . . . .                                    | 71        |
| 3.7      | Eine kontextfreie Sprache, die nicht regulär ist . . . . . | 73        |
| 3.8      | Reguläre Ausdrücke . . . . .                               | 76        |
| 3.8.1    | Reguläre Ausdrücke – reguläre Sprachen . . . . .           | 79        |
| 3.9      | Scanner und Scanner-Generatoren . . . . .                  | 84        |
| 3.10     | Suche nach regulären Sprachen . . . . .                    | 85        |
| 3.11     | Abkürzungen für reguläre Ausdrücke . . . . .               | 87        |
| 3.12     | Wildcards . . . . .  | 89        |
|          | Übungen . . . . .  | 94        |
| <b>4</b> | <b>Kellerautomaten und kontextfreie Sprachen</b>           | <b>97</b> |
| 4.1      | Ableitungsbäume . . . . .                                  | 98        |
| 4.2      | Das Problem der Mehrdeutigkeit . . . . .                   | 100       |
| 4.2.1    | Mehrdeutigkeiten in Programmiersprachen . . . . .          | 104       |
| 4.3      | Das Prinzip der Top-Down-Analyse . . . . .                 | 107       |
| 4.4      | Parser als Erkennungsalgorithmen . . . . .                 | 111       |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.5      | Arbeitsweise von Kellerautomaten . . . . .                       | 113        |
| 4.6      | Nichtdeterministische Kellerautomaten . . . . .                  | 115        |
| 4.7      | Kontextfreie Sprachen – Kellerautomaten . . . . .                | 121        |
| 4.8      | Chomsky-Normalform . . . . .                                     | 124        |
| 4.9      | Eine kontextsensitive Sprache, die nicht kontextfrei ist . . . . | 127        |
| 4.10     | Die Extensible Markup Language XML . . . . .                     | 130        |
| 4.10.1   | Document Type Definitions . . . . .                              | 132        |
| 4.10.2   | XML-Schemata . . . . .   | 134        |
| 4.10.3   | Mehrdeutigkeiten in DTDs und XML-Schemata . . . .                | 136        |
|          | Übungen . . . . .  | 137        |
| <b>5</b> | <b>Turingmaschinen</b>   | <b>143</b> |
| 5.1      | Arbeitsweise von Turingmaschinen . . . . .                       | 144        |
| 5.2      | Erkennung von Sprachen durch Turingmaschinen . . . . .           | 146        |
| 5.3      | Turing-Berechenbarkeit . . . . .                                 | 149        |
| 5.4      | Komplexitätsuntersuchungen . . . . .                             | 152        |
| 5.4.1    | Komplexitätsmaße . . . . .                                       | 153        |
| 5.4.2    | Die Klassen $P$ und $NP$ . . . . .                               | 155        |
|          | Übungen . . . . .  | 159        |
|          | <b>Lösungshinweise für ausgewählte Übungen</b>                   | <b>163</b> |
|          | <b>Literatur</b>   | <b>167</b> |
|          | <b>Index</b>   | <b>171</b> |