

---

Christian Wagenknecht • Michael Hielscher

# Formale Sprachen, abstrakte Automaten und Compiler

Lehr- und Arbeitsbuch für  
Grundstudium und Fortbildung

2., überarbeitete Auflage

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Theoretische Informatik und ihre Anwendungen . . . . .    | 1         |
| 1.2      | AtoCC - unsere Lernumgebung . . . . .                     | 4         |
| <b>2</b> | <b>Struktur von Programmen</b>                            | <b>5</b>  |
| 2.1      | Sprache, Syntax, Semantik und Pragmatik . . . . .         | 5         |
| 2.2      | Konkrete Syntax . . . . .                                 | 7         |
| 2.3      | Abstrakte Syntax . . . . .                                | 12        |
| 2.4      | Syntaxanalyse . . . . .                                   | 14        |
| <b>3</b> | <b>Grundbegriffe</b>                                      | <b>17</b> |
| 3.1      | Alphabet und Zeichen . . . . .                            | 17        |
| 3.2      | Wort, Wortlänge und Verkettung . . . . .                  | 19        |
| 3.3      | Wortmenge . . . . .                                       | 21        |
| 3.4      | Sprache . . . . .   | 25        |
| <b>4</b> | <b>Definition unendlicher Mengen</b>                      | <b>27</b> |
| 4.1      | Muster und formale Grammatiken . . . . .                  | 27        |
| 4.2      | Ableitung und definierte Sprache . . . . .                | 30        |
| 4.3      | Nichtdeterminismus des Ableitungsprozesses . . . . .      | 32        |
| 4.4      | Mehrdeutigkeit kontextfreier Grammatiken . . . . .        | 35        |
| 4.5      | CHOMSKY-Hierarchie . . . . .                              | 36        |
| 4.6      | $\epsilon$ -Sonderregelungen . . . . .                    | 39        |
| 4.7      | Das Wortproblem . . . . .                                 | 42        |
| 4.8      | Recognizer und Parser für kontextfreie Sprachen . . . . . | 44        |
| <b>5</b> | <b>Sprachübersetzer</b>                                   | <b>47</b> |
| 5.1      | Compiler und Interpreter . . . . .                        | 47        |
| 5.2      | Die Sprache eines Zeichenroboters . . . . .               | 48        |
| 5.3      | Modellierung von Übersetzungsprozessen . . . . .          | 50        |
| 5.4      | Scanner und Parser . . . . .                              | 55        |
| <b>6</b> | <b>Endliche Automaten und reguläre Sprachen</b>           | <b>61</b> |
| 6.1      | Aufbau abstrakter Akzeptoren . . . . .                    | 61        |
| 6.2      | Deterministischer Endlicher Automat (DEA, EA) . . . . .   | 63        |
| 6.3      | Endlicher Automat und reguläre Grammatik . . . . .        | 67        |
| 6.4      | Nichtdeterministischer endlicher Automat (NEA) . . . . .  | 70        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 6.5       | Konstruktion eines äquiv. DEA aus einem NEA . . . . .    | 76         |
| 6.6       | Minimalautomaten . . . . .                               | 81         |
| 6.7       | NEA mit $\varepsilon$ -Übergängen . . . . .              | 91         |
| 6.8       | Das Pumping Lemma für reguläre Sprachen . . . . .        | 98         |
| 6.9       | Endliche Maschinen . . . . .                             | 101        |
| <b>7</b>  | <b>Reguläre Ausdrücke</b>                                | <b>107</b> |
| 7.1       | Definition . . . . .                                     | 107        |
| 7.2       | Klammersparregeln . . . . .                              | 109        |
| 7.3       | Äquivalente reguläre Ausdrücke . . . . .                 | 109        |
| 7.4       | Reguläre Ausdrücke und endliche Automaten . . . . .      | 110        |
| 7.5       | Reguläre Ausdrücke in der Praxis . . . . .               | 117        |
| 7.6       | Anwendungsgebiete für reguläre Ausdrücke . . . . .       | 120        |
| 7.7       | Reguläre Ausdrücke in Scannergeneratoren . . . . .       | 122        |
| <b>8</b>  | <b>Kellerautomaten und kontextfreie Sprachen</b>         | <b>129</b> |
| 8.1       | Grenzen endlicher Automaten . . . . .                    | 129        |
| 8.2       | Nichtdeterministischer Kellerautomat (NKA) . . . . .     | 130        |
| 8.3       | Äquivalenz von NKA und kontextfreier Grammatik . . . . . | 137        |
| 8.4       | Parsing kontextfreier Sprachen . . . . .                 | 144        |
| 8.5       | Deterministischer Kellerautomat (DKA) . . . . .          | 148        |
| 8.6       | Deterministisch kontextfreie Sprachen . . . . .          | 150        |
| 8.7       | Parsergeneratoren für dkfS . . . . .                     | 153        |
| 8.8       | Optimierung kontextfreier Grammatiken . . . . .          | 155        |
| 8.9       | CHOMSKY-Normalform . . . . .                             | 158        |
| 8.10      | Das Pumping Lemma für kontextfreie Sprachen . . . . .    | 160        |
| <b>9</b>  | <b>LL(k)-Sprachen</b>                                    | <b>165</b> |
| 9.1       | Deterministische Top-down-Syntaxanalyse . . . . .        | 165        |
| 9.2       | Begriff . . . . .  | 166        |
| 9.3       | LL(1)-Forderungen . . . . .                              | 168        |
| 9.4       | Top-down-Parser für LL(1)-Grammatiken . . . . .          | 173        |
| 9.5       | Methode des Rekursiven Abstiegs . . . . .                | 175        |
| 9.6       | Grammatiktransformationen . . . . .                      | 184        |
| <b>10</b> | <b>LR(k)-Sprachen</b>                                    | <b>191</b> |
| 10.1      | Begriff . . . . .  | 191        |
| 10.2      | Deterministische Bottom-up-Syntaxanalyse . . . . .       | 191        |
| 10.3      | Tabellengesteuerte LR(k)-Syntaxanalyse . . . . .         | 195        |
| 10.4      | Automatisierte Parsergenerierung . . . . .               | 199        |
| 10.5      | Compiler . . . . .                                       | 202        |
| <b>11</b> | <b>Sprachübersetzerprojekt</b>                           | <b>211</b> |
| 11.1      | Motivation und Anwendungskontext . . . . .               | 211        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 11.2      | Die Notensprache <i>ML</i> . . . . .                          | 212        |
| 11.3      | Entwicklung eines <i>ML</i> -Interpreter . . . . .            | 214        |
| 11.4      | Entwicklung eines <i>ML</i> → <i>SVG</i> -Compilers . . . . . | 218        |
| <b>12</b> | <b>TURING-Maschine (TM) und CHOMSKY-Typ-0/1-Sprachen</b>      | <b>225</b> |
| 12.1      | Grenzen von Kellerautomaten . . . . .                         | 225        |
| 12.2      | Die TURING-Maschine (TM) . . . . .                            | 226        |
| 12.3      | Die Arbeitsweise einer DTM . . . . .                          | 228        |
| 12.4      | Alternative TM-Definitionen . . . . .                         | 230        |
| 12.5      | Die DTM als Akzeptor . . . . .                                | 231        |
| 12.6      | DTM, NTM, LBTM und Sprachklassen . . . . .                    | 233        |
| 12.7      | TM in Komplexitäts- und Berechenbarkeitstheorie . . . . .     | 235        |
| 12.8      | TM zur Berechnung von Funktionen . . . . .                    | 236        |
|           | <b>Sachverzeichnis</b>  | <b>243</b> |