



Arto K. Salomaa

Formale Sprachen

Übersetzt aus dem Englischen von E.-W. Dieterich

Mit 18 Figuren

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1978

Arto K. Salomaa
Dept. of Mathematics
SF-20500 Turku 50

Übersetzer:

E.-W. Dieterich
Institut für Informatik
der TU
Postfach 202420
D-8000 München 2

Titel der englischsprachigen Originalausgabe:
„Formal Languages“
© by Academic Press, New York 1973

ISBN-13: 978-3-540-09030-4 e-ISBN-13: 978-3-642-67081-7
DOI: 10.1007/978-3-642-67081-7

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek. *Salomaa, Arto*: Formale Sprachen / Arto K. Salomaa. Übers. aus d. Engl. von E.-W. Dieterich. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1978. – Einheitssacht.: Formal languages < dt. >

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978

Satzarbeiten: Elsner & Behrens, Oftersheim.
Druck- und Bindearbeiten: Beltz Offsetdruck, Hemsbach/Bergstr.
2145/3140-543210

Für Kaarina, Kai und Kirsti

Vorwort

In diesem Buch wird eine Theorie der formalen Sprachen vom Standpunkt der Erzeugungsverfahren, hauptsächlich der Grammatiken aus entwickelt. Erkennungsverfahren, also Automaten, werden nur als eine zweite Möglichkeit eingeführt und im Rahmen von Ersetzungssystemen vorgestellt.

Das Hauptgewicht liegt auf den mathematischen Aspekten der formalen Sprachen und nicht auf ihren Anwendungen. Wer nur an Anwendungen auf Programmiersprachen (bzw. natürliche Sprachen) interessiert ist, würde sicherlich eine ausführlichere Diskussion von Themen wie $LR(k)$ -Grammatiken (bzw. Transformationsgrammatiken) bevorzugen. Solche Diskussionen liegen außerhalb des Rahmens dieses Buches.

Wir vermeiden unnötige Abstraktionen, da von Seiten des Lesers keine tieferen mathematischen Kenntnisse verlangt werden. Es wird nur vorausgesetzt, daß der Leser mit den grundlegendsten Begriffen der Algebra und der Logik vertraut ist. Es sind keine Vorkenntnisse über formale Sprachen erforderlich. Das Niveau der Darstellung entspricht dem Stoff kurz nach dem Vordiplom.

Das Buch ist in sich abgeschlossen, so daß man keine weiteren Quellen für die Beweise von Ergebnissen benötigt, die als Sätze formuliert sind. Einige weitere Ergebnisse werden bisweilen ohne Beweis angeführt, hauptsächlich als Behauptungen oder in den Bemerkungen im Anschluß an einige Abschnitte. Selbstverständlich werden diese Ergebnisse in den Beweisen späterer Sätze nicht verwendet. Es wurde auch versucht, die jüngsten Ergebnisse mit einzubeziehen.

Danksagungen

Teile des Manuskriptes für dieses Buch wurden als Unterlagen für Vorlesungen verwendet, die an den Universitäten von Aarhus (Dänemark), Turku (Finnland), Uppsala (Schweden) und Western Ontario (London, Canada) gehalten wurden. Ich möchte den Teilnehmern dieser Vorlesungen danken. Das Programm über formale Sprachen im Sommer 1971 am Computer Science Department der Universität von Western Ontario war besonders hilfreich bezüglich vieler Details und der Verschärfung der Beweise. Ich möchte dem Leiter des Departments, Dr. John Hart, danken, der dieses Programm ermöglichte. Ich bin (zumindest) den folgenden Personen dankbar für nützliche Diskussionen über verschiedene Details: A. Aho, G. Beckhoff, R. Book, B. Brodda, J. Brzozowski, S. Ginsburg, M. Harrison, G. Herman, G. Hotz, Neil Jones, E. Latikka, J. van Leeuwen, A. Lindenmayer, M. Linna, B. Mayoh, R. Newkirk, M. Nivat, P. Palomäki, A. Paz, M. Penttonen, A. Phalén, R. Rosebrugh, G. Rozenberg, M. Steinby, A. Szilard, P. Turakainen und D. Wood. Spezieller Dank gebührt Lauri Pimiä für den Entwurf der Figuren, Hannu Velmala für nützliche Kommentare bezüglich des Manuskripts und Leena Leppänen für das sorgfältige Tippen des Manuskripts.

Hinweise für den Leser

Jedes der Kapitel IV bis IX stellt (abgesehen von kleineren Punkten) eine selbständige Einheit dar, die nach den grundlegenden Kapiteln I bis III studiert werden können. Der Unterschied zwischen „Sätzen“ und „Behauptungen“ ist der, daß letztere in diesem Buch nicht bewiesen werden (und auch nicht in folgenden Beweisen verwendet werden).

Wir verwenden die übliche mengentheoretische Notation. Insbesondere bezeichnet $\{x | P_1, \dots, P_k\}$ die Menge aller Elemente x , die jede der Eigenschaften P_1, \dots, P_k besitzen.

Das Symbol \square markiert das Ende eines Beweises.

Inhaltsverzeichnis

Teil Eins	1
Kapitel I. Sprache und Grammatik	3
1. Ersetzungssysteme	3
2. Grammatiken	9
3. Abgeschlossenheit bezüglich elementarer Operationen . .	17
4. Automatenhierarchie	26
Übungen	39
Bibliographische Bemerkungen	41
Bibliographie	41
Kapitel II. Reguläre und kontextfreie Sprachen	42
5. Äquivalente Charakterisierungen regulärer Sprachen . . .	42
6. Kontextfreie Ableitungen	51
7. Parikh-Abbildung und homomorphe Charakterisierung .	62
8. Teilfamilien kontextfreier Sprachen	72
Übungen	77
Bibliographische Bemerkungen	79
Bibliographie	80
Kapitel III. Kontext-sensitive Sprachen und Typ-0-Sprachen .	81
9. Rekursiv aufzählbare und rekursive Sprachen. Hierarchie von vier Sprachfamilien	81
10. Platzbedarf	92
11. Homomorphe Charakterisierung von Typ-0-Sprachen . .	101
12. Rudimentäre Prädikate	108
Übungen	116
Bibliographische Bemerkungen	117
Bibliographie	118

Teil Zwei	119
Kapitel IV. Abstrakte Familien von Sprachen	121
1. Abhängigkeit von Operationen	121
2. AFL's und verwandte Systeme	128
Übungen	137
Bibliographische Bemerkungen	138
Bibliographie	139
Kapitel V. Gesteuerte Ersetzung	140
3. Matrix-Grammatiken	140
4. Zeitvariierende Grammatiken	149
5. Programmierte Grammatiken	157
6. Kontrollsprachen	169
7. Geordnete Grammatiken	183
Übungen	188
Bibliographische Bemerkungen	189
Bibliographie	190
Kapitel VI. Kontextfreie Sprachen, Fortsetzung	191
8. Formale Potenzreihen	191
9. Mehrdeutigkeit	200
10. Eingeschränkte Ableitungen	205
11. Regulärartige Ausdrücke	212
12. LR(k)- und LL(k)-Grammatiken	219
Übungen	226
Bibliographische Bemerkungen	228
Bibliographie	229
Kapitel VII. Weitere Klassen von Erzeugungsverfahren	231
13. Lindenmayer-Systeme: Parallele Ersetzung ohne terminale Zeichen	231
14. Transformationsgrammatiken, kategorische, indizierte, Scattered-Kontext- und probabilistische Grammatiken	248
Übungen	258
Bibliographische Bemerkungen	259
Bibliographie	259

Teil Drei	261
Kapitel VIII. Lösbarkeit und Unlösbarkeit	263
1. Die Existenz von Algorithmen	263
2. Das Postsche Korrespondenzproblem und unlösbare Probleme für Sprachen	269
3. Lösbarkeit der Strukturäquivalenz kontextfreier Grammatiken	282
Übungen	288
Bibliographische Bemerkungen	290
Bibliographie	290
Kapitel IX. Komplexität	291
4. Zeitbeschränkte Grammatiken. Der Beschleunigungssatz .	291
5. Axiomatischer Ansatz. Das Gap-Theorem	300
Übungen	306
Bibliographische Bemerkungen	306
Bibliographie	307
Einführung in die Literatur	309
Sachverzeichnis	312