

UNIVERSITÄT AUGSBURG

FAKULTÄT FÜR ANGEWANDTE INFORMATIK
INSTITUTE FOR SOFTWARE & SYSTEMS ENGINEERING



MASTERARBEIT
VON
ANTONIO GRIECO

**Programmiersprachliche Konzepte von COBOL im
Vergleich mit Java – Eine praxisorientierte
Einführung**

Erstgutachter: Prof. Dr. Alexander Knapp

Zweitgutachter: Prof. Dr. Bernhard Bauer

Betreuer: Prof. Dr. Alexander Knapp & Jonathan Streit

21. Mai 2018

Lizenzen

»Programmiersprachliche Konzepte von COBOL im Vergleich mit Java – Eine praxisorientierte Einführung« von Antonio Grieco ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-NC-SA 4.0).



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> (besucht am 19.05.2018)

Sämtliche in der Arbeit beschriebenen und auf etwaig beigelegten Datenträgern vorhandenen Ergebnisse dieser Arbeit in Form von Quelltexten, Software und Konzeptentwürfen sind, sofern nicht anders angegeben, lizenziert unter »The MIT License (MIT)«.



<https://opensource.org/licenses/MIT> (besucht am 19.05.2018)

Die LaTeX-Vorlage beruht auf den Inhalten unter
<http://f.macke.it/MasterarbeitZIP> (besucht am 19.05.2018).

Zusammenfassung

Ende der 1950er Jahre entstand die »**C**ommon **B**usiness **O**riented **L**anguage«, kurz COBOL genannt, als Projekt der US Regierung. Ziel war es, eine Sprache zu entwerfen, die es auch Menschen ohne informationstechnische Ausbildung ermöglichte, Programme zu schreiben. Was damals nicht abzusehen war, ist der Einfluss, den COBOL auch gegenwärtig noch in betrieblichen Informationssystemen hat. Diese Systeme stellen oftmals andere Anforderungen an Umgebungen und Entwickler als moderne Desktop- oder Webanwendungen. Während diese Sprache heutzutage immer seltener zum Repertoire von Programmierern gehört, ist durch die Vielzahl vorhandener COBOL-Systeme die Nachfrage nach Experten weiterhin hoch. Diese Arbeit gibt einen Überblick über Herausforderungen, die sich in Verbindung mit betrieblichen Informationssystemen ergeben, und zeigt, wie COBOL diesen Problemen begegnet. Ferner wird COBOL konzeptuell erfasst und mit Java, als Vertreter moderner Sprachen, verglichen. Dabei steht stets die praktische Anwendung der Sprachen im Vordergrund, weshalb Experteninterviews geführt wurden, um neben bestehender Fachliteratur bestmögliche Einsicht in die Entwicklung und Wartung angesprochener Systeme zu erhalten. Damit entstand ein Leitfaden, der es Programmierern mit Java-Kenntnissen erlaubt, sich mit COBOL vertraut zu machen, indem bekannte Konzepte, Muster und Konstrukte gegenübergestellt werden. Zusätzlich wird, als Ergebnis der Experteninterviews, darauf hingewiesen, wie sich der Umgang mit diesen Konzepten in der Praxis gestaltet bzw. gestalten sollte.

Abstract

COBOL, which stands for the »**C**ommon **B**usiness **O**riented **L**anguage«, began to rise in the late 1950s as a project of the US government. The aim was to design a programming language, which enables persons without knowledge of programming to engineer software systems. At that time nobody could forebode that it's still used in many existing operational information systems. It's not uncommon that these have different requirements than modern desktop or web applications regarding the environment and development. So, whilst COBOL is getting less and less attention of new programmers, the demand for highly trained and experienced professionals is still high. This thesis outlines key challenges in terms of those operational information systems and reveals how COBOL copes with them. Furthermore, COBOL gets surveyed and conceptually compared to Java, which represents state of the art programming languages. The practical approach is always on focus in this comparison, and therefore, along with available literature, experts were interviewed to get the best possible insight of development and maintenance of those systems. The purpose was to devise a guide for Java developers, which enables them to familiarize with COBOL by contrasting known concepts, pattern and constructs. The interviews led to best practice advices in combination with those concept descriptions and hints on how those are used in practice and how they should be used.

Inhaltsverzeichnis

Lizenzen	I
Zusammenfassung	II
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Listings	VII
1 COBOL und seine Bedeutung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziel der Arbeit	5
1.3 Aufbau der Arbeit	6
2 Methodik der Arbeit	7
2.1 Vorhandene Literatur	7
2.2 Experten-Interviews	8
2.3 Entwicklungsumgebungen	9
3 Herausforderungen in betrieblichen Informationssystemen	12
3.1 Datenmengen und Dimensionierung	12
3.2 Langlebigkeit, Wartbarkeit und Verlässlichkeit	13
3.3 Modularisierung, Wiederverwendbarkeit und Variabilität	14
3.4 Darstellungsgenauigkeit – Binäre und dezimale Kommaarithmetik	17
3.5 Datenquellen	21
3.6 Schnittstellen	22
4 Vergleich wichtiger Sprachkonzepte	24
4.1 Programmstruktur	24
4.2 Variablen und Datentypen	30
4.3 Arrays	36

4.4	Programmablauf und Kontrollfluss	38
4.4.1	Genereller Ablauf	38
4.4.2	Verzweigungen	42
4.4.3	Schleifen	44
4.4.4	Weitere Schlüsselwörter	46
4.4.5	Ausnahmebehandlung	49
4.4.6	Nebenläufigkeit	51
4.5	Funktionen, Unterprogramme und Rückgabewerte	51
4.6	Dateien	56
4.7	Generische Programmierung	61
4.8	Konventionen	62
4.9	Weitere Sprachkonzepte	65
4.9.1	Benannte Bedingungen	65
4.9.2	Mehrfachverzweigungen	69
4.9.3	Speicherausrichtung	73
4.9.4	Reorganisation von Daten	74
4.9.5	Implizierte Variablennamen	75
4.9.6	Modifier	78
4.9.7	Assoziation von Entitäten	79
5	Typische Pattern in COBOL und Java	82
5.1	Externe Deklaration von Daten	82
5.2	Komplexe Datenstrukturen	85
5.2.1	Listen	85
5.2.2	Sets	88
5.2.3	Maps	92
5.2.4	Verbunddatenstrukturen	92
5.3	Entwurfsmuster	96
5.3.1	Callback-Muster	97
5.3.2	Singleton-Muster	101
5.3.3	Dependency Injection	103
5.4	Redundanz durch Wertekopien	104
6	COBOL bleibt von Bedeutung	106
6.1	Fazit	106
6.2	Ausblick	106
	Literatur	XI

Abbildungsverzeichnis

4.1	Strukturelle Bestandteile eines Java-Programms	24
4.2	Strukturelle Bestandteile eines COBOL-Programms	27
4.3	UML-Diagramm einer Aggregation	75

Listings

2.1	Erstellen eines neuen COBOL Programms	10
2.2	Erstes COBOL-Programm in der Kommandozeile	11
3.1	Ungenauigkeit am Beispiel einer float-Variable	18
3.2	Dezimalzahlen in COBOL	20
4.1	Initializer in Java	25
4.2	Anonyme Klassen und Funktion in Java	26
4.3	SPECIAL-NAMES Paragraph in COBOL	28
4.4	Variablendeklarationen in Java	31
4.5	Variablendeklarationen mit verschiedenen Scopes	32
4.6	Variablendeklarationen in COBOL	34
4.7	Mehrdeutige Variablennamen in COBOL	35
4.8	Felder in Java	37
4.9	Felder in COBOL	37
4.10	Java main-Methode	39
4.11	Programmablauf in COBOL	40
4.12	Programmablaufunterschiede in COBOL mit Sections und Paragraphs	41
4.13	Verzweigung in Java	43
4.14	Verzweigung in COBOL	44
4.15	Schleifen in Java	45
4.16	Schleifen in COBOL	46
4.17	Beispiele für die Verwendung von break und continue in Java	47
4.18	EXIT PERFORM in COBOL	49
4.19	Rudimentäre Fehlerbehandlung in COBOL	50
4.20	Methoden in Java	52
4.21	Rekursion in Java	53
4.22	Rekursion in COBOL	54
4.23	Unterprogramme in COBOL	56
4.24	Datei-Ein- und Ausgabe in Java [18]	58
4.25	Ein- bzw. Ausgabedatei recordFile.txt	58
4.26	Personendaten Copybook	59

4.27	Dateien schreiben in COBOL (vgl. [28])	59
4.28	Dateien lesen in COBOL (vgl. [28])	60
4.29	Datei-Ein- und Ausgabe in COBOL (vgl. [28])	60
4.30	Generics in Java	62
4.31	Beispiel für COBOL Stufennummer 88	66
4.32	Setzen von Werten mithilfe benannter Bedingungen	67
4.33	Bedingte Werte in Java	68
4.34	Setzen eines konstanten Wertes mit einem Enum in Java	69
4.35	Mehrfachverzweigungen in Java	70
4.36	Mehrfachverzweigungen in COBOL mit ALSO	72
4.37	Mehrfachverzweigungen in COBOL als EVALUATE TRUE	73
4.38	Stufennummer 66 und RENAMES-Befehl	74
4.39	Keine implizierten Variablennamen in logischen Ausdrücken in Java	76
4.40	Verwendung von Variablennamen in logischen Ausdrücken in Java	77
4.41	Implizierte Variablennamen in COBOL	78
4.42	Assoziationen in Java	80
4.43	Assoziationen in COBOL	81
5.1	Import in Java	82
5.2	COBOL-Copybook Datei (COPYBOOK.cpy)	83
5.3	Nutzung eines COBOL-Copybook	83
5.4	COBOL-Copybook Datei (COPYBOOK-EVALUATE.cpy)	84
5.5	Nutzung von COPYBOOK-EVALUATE.cpy	84
5.6	ArrayList Beispiel in Java	86
5.7	Einfache Listen Implementierung in COBOL	88
5.8	HashSet Beispiel in Java	89
5.9	Einfache Set Implementierung in COBOL	91
5.10	Structs und Unions in COBOL	93
5.11	Struct in Java (JavaBean)	94
5.12	Union in Java	95
5.13	Observer und Observable in Java	98
5.14	Listener in Java	100
5.15	Singleton in Java	101
5.16	Dependency Injection in Java	104
6.1	Ursprünglicher COBOL-Code	107
6.2	Generierter Java-Code	108

TODOs

Möglichst wenig Vorwärtsreferenzen (Abschnitte evtl. anders anordnen)

Füllsel und unsichere Formulierungen entfernen

Seitenumbrüche + Paragraphenden “schön”

Overfull & underfull + Steht etwas über den Rand? + Gedankenstriche am Ende einer Zeile

Richtige Worttrennungen

Keine TODOs mehr

Liste der noch zu erledigenden Punkte

Möglichst wenig Vorwärtsreferenzen (Abschnitte evtl. anders anordnen) . . .	IX
Füllsel und unsichere Formulierungen entfernen	IX
Seitenumbrüche + Paragraphenden “schön”	IX
Overfull & underfull + Steht etwas über den Rand? + Gedankenstriche am Ende einer Zeile	IX
Richtige Worttrennungen	IX
Keine TODOs mehr	IX

1 COBOL und seine Bedeutung

Um die Problemstellung dieser Arbeit zu verdeutlichen, wird erläutert, welche Wichtigkeit die »**Common Business Oriented Language**«, kurz COBOL genannt, auch heute noch innehat und anschließend mit der Bedeutung, die der Sprache in der Ausbildung beigemessen wird, gegenübergestellt. Anhand dessen werden Schwierigkeiten für den Arbeitsmarkt analysiert und beschrieben.

1.1 Problemstellung

COBOL ist eine prozedurale Programmiersprache, die im Laufe der 1950er Jahre von der US Regierung entwickelt wurde. Dabei wurde das Ziel verfolgt, eine Sprache zu schaffen, die, durch ihre Anlehnung an die natürliche Sprache, auch von Personen ohne informationstechnische Ausbildung genutzt werden kann. Dies verhalf COBOL zu großer Beliebtheit.

Wichtigkeit von COBOL

»Viele Millionen Cobol-Programme existieren weltweit und müssen laufend gepflegt werden. Es ist bei dieser Situation undenkbar und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten unvertretbar in den nächsten Jahren eine Umstellung dieser Programme auf eine andere Sprache durchzuführen.« [13]

Was Herr Dr. Strunz neben vielen anderen Experten bereits 1979 prophezeite, hat auch heute noch Gültigkeit. Obwohl COBOL zum Ende der 50er Jahre entstand, 1959 veröffentlicht wurde und damit fast 60 Jahre alt ist, trifft man es auch heute in betrieblichen Informationssystemen noch häufig an. In der britischen Tageszeitung *The Guardian* zitiert der Autor Scott Colvey in seinem Artikel [5] anlässlich des 50. Geburtstages von COBOL den Micro Focus Manager David Stephenson: »some 70% to 80% of UK plc

business transactions are still based on Cobol«. Weiter führt er darin Aussagen von IBM Software-Leiter Charles Chu an, welcher die Äußerungen von Stephenson bestätigt: »[...] there are 250bn lines of Cobol code working well worldwide. Why would companies replace systems that are working well?«. Stephen Kelly, Geschäftsführer von Micro Focus, betont zudem, dass sich Stand 2009 über 220 Milliarden COBOL-Codezeilen im produktiven Einsatz befanden, welche vermutlich 80% der insgesamt weltweit aktiven Codezeilen ausmachten. Außerdem wurden zum damaligen Zeitpunkt, Schätzungen zufolge, 200-mal mehr COBOL-Transaktionen ausgeführt als Google Suchanfragen verzeichnen konnte [15]. Diese Aussagen decken sich mit den Angaben in *COBOL programmers swing with Java* [8]. Auch darin betonen Doke u. a., dass – Stand 2005 – mit 225 Milliarden Codezeilen, etwa 70% des weltweiten Codes in COBOL geschrieben sind.

Daran wird nicht nur deutlich, dass COBOL in den vergangenen Jahren einen enormen Marktanteil ausmachte, sondern auch die weiterhin bestehende Bedeutung der Sprache für die Zukunft.

COBOL-Systeme sollten dennoch aus verschiedenen Gründen sukzessive durch neue Systeme abgelöst werden. Die Programme werden oft auf Mainframe Computern ausgeführt oder gar entwickelt, deren Betrieb um ein vielfaches höhere Kosten verursacht als moderne IT-Landschaften mit konventionellen Computern. Außerdem sind die verfügbaren Entwicklungswerkzeuge teilweise veraltet und teuer, da diese nur unter kommerziellen Lizenzen verfügbar sind. Doch auch die prozeduralen Spracheigenschaften von COBOL haben vor allem in puncto Wiederverwendung und Kapselung deutliche Nachteile gegenüber neueren Sprachkonzepten und machen so den Umstieg zu modernen Programmiersprachen und Infrastrukturen attraktiv.

Allerdings gibt es bei der Migration auch Risiken, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Denn »[t]äglich werden Transaktionen mit einem Volumen von schätzungsweise drei Billionen Dollar über Cobol-Systeme abgewickelt. Dabei geht es um Girokonten, Kartennetze, Geldautomaten und die Abwicklung von Immobilienkrediten. Weil die Banken aggressiv auf eine Digitalisierung ihres Geschäftes setzen, wird Cobol sogar noch wichtiger. Denn Apps für Smartphones etwa sind in modernen Sprachen geschrieben, müssen aber mit den alten Systemen harmonieren« [2]. Außerdem besteht »ein signifikantes Risiko [...] vor allem dann, wenn das neue System Unternehmens-Know-how integrieren soll, das über die gesamte bisherige Betriebszeit eingeflossen und sonst nirgendwo außerhalb der alten Systeme dokumentiert ist.« [23] Dadurch ergibt sich die Gefahr, dass Funktionalität in Neusystemen nicht Eins-zu-eins umgesetzt ist [23], was mit den angesprochenen hohen Transaktionssummen von COBOL-Systemen zu

empfindlichen und teuren Problemen in Betriebsabläufen führen kann. Die Zahl des weltweit betriebenen COBOL-Codes stieg daher über die vergangenen Jahre sogar noch weiter an, da neue Funktionen weiterhin in bestehende Projekte integriert werden mussten.

Im TIOBE-Index [27] für April 2018 rangiert COBOL auf Platz 25 mit einem Rating von 0,541%. Dieser Index wird auf Basis von Suchanfragen nach den entsprechenden Programmiersprachen auf den frequentiertesten Internetseiten erstellt. COBOL ist somit zwar nur Teil jeder 200. Suchanfrage, rangiert damit jedoch vor anderen etablierten oder aufstrebenden Sprachen wie *Kotlin*, *Scala* oder *Haskell*. Außerdem gilt es hier zu beachten, dass COBOL zu einer Zeit entstand, in der das Internet noch lange nicht existierte und Informationen über die Sprache mittels Büchern verbreitet und vermittelt wurden. Daher ist auch heute noch das Internet nicht die vorrangige Quelle, um Wissen über COBOL zu akquirieren und COBOL im TIOBE-Rating noch zu niedrig eingeschätzt.

Bedeutung in der Ausbildung

Da COBOL bereits 60 Jahre alt ist, haben heutzutage bereits viele einstige COBOL-Entwickler das Rentenalter erreicht. Im Artikel *Cobol-Programmierer gesucht* [2] beschreibt der Autor exemplarisch den Fall eines 75-Jährigen Entwicklers, der wegen seiner Erfahrung trotz seines Alters immer noch in der Branche tätig ist.

Junge COBOL-Entwickler sind rar, da COBOL nur noch selten Teil der Ausbildung ist. Doke u. a. führen in *COBOL programmers swing with Java* [8] an, dass im Jahr 2002 lediglich für 36,2% der Studenten COBOL Teil des Grundstudiums war, obwohl im Jahr 1995 noch 89,7% der befragten Bildungseinrichtungen angaben, COBOL-Kurse als festen Bestandteil der Ausbildung zu haben. Sieht man sich dagegen die Zahlen zu Java als Vertreter moderner Programmiersprachen an, lässt sich ein klarer Trend erkennen. Erst 1995 entstanden, stieg die Zahl der Universitäten und Fachhochschulen, die Java lehrten, von 42,5% im Jahr 1998 auf 90,0% im Jahr 2002. Spinnt man diesen Wandel, zu dem sich in der Zwischenzeit noch eine Fülle neuerer Sprachen hinzugesellt hat, ins heutige Jahr weiter, lässt sich erahnen, wie selten Lehrveranstaltung zum Thema COBOL inzwischen geworden sind.

Auch eine Befragung an Berufsschulen brachte ähnliche Ergebnisse. Herr Blanke, der Oberstudienrat und Fachbetreuer im Fachbereich Informationstechnik der Berufsschule I

in Kempten, gab an, dass COBOL kein Teil der betrieblichen Lehre für Anwendungsentwickler sei. Obwohl Auszubildende zwar teilweise in ihren Betrieben damit in Kontakt kämen und die Lehrpläne mit den örtlichen Unternehmen abgestimmt werden, gäbe es seit Langem keine Gründe, COBOL zu unterrichten. Daher wurden die Lehrinhalte erst vor 4 Jahren weiter auf Java fokussiert. Der Leiter einer anderen, von der IHK gelisteten Berufsschule sagte übereinstimmend, dass »COBOL seit Schulgründung 1997 kein Thema« sei.

Man sieht daran, dass der Fokus von Ausbildung und Lehre, obwohl der Bedarf an COBOL-Programmierern weiterhin immens ist, bei anderen Programmiersprachen liegt, was die Wirtschaft zusammen mit dem zunehmenden Alter erfahrener COBOL-Entwickler vor Probleme beim Stillen der Nachfrage an Arbeitskräften stellt. Das liegt insbesondere daran, dass vorrangig die Konzepte und Grundlagen vermittelt werden, die COBOL nur eingeschränkt bzw. gar nicht enthält, weshalb sich moderne Sprachen dafür weitaus besser eignen.

Kontroverse Beurteilungen von COBOL

Die bereits angeführten Aussagen und Meinungen stammen oftmals von Personen aus dem Umfeld von Unternehmen, die teils stark vom Weiterbestehen COBOLs profitieren. Diese Aussagen sind daher, wenn auch sicherlich nicht falsch, vorsichtig und vor allem sehr differenziert zu betrachten.

Der mehrfach prämierte Informatiker Edsger Wybe Dijkstra z. B. findet sehr klare, andere Worte zu COBOL: »The use of COBOL cripples the mind; its teaching should, therefore, be regarded as a criminal offence.« [9]

Florian Hamann nennt in seinem Artikel *In Banken leben Dinosaurier* [10] die bereits erwähnte zunehmende Knappheit von Arbeitskräften auch als einen wichtigen Faktor dafür, weshalb COBOL über kurz oder lang von moderneren Systemen und Sprachen verdrängt und abgelöst wird.

Trotz dieser Kontroversen kann festgehalten werden, dass es nach wie vor einen gleichbleibend hohen Bedarf an Entwicklern gibt, den es zu decken gilt. Allerdings entstand die Sprache weit vor wichtigen Entwicklungen und Innovationen in der Informatik und bildet so keine zeitgemäße Grundlage für umfangreiche und noch weniger für neue Systeme.

1.2 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Lösung der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Probleme. Dies geschieht mithilfe eines Leitfadens, der fachkundigen Java-Entwicklern den Einstieg in COBOL erleichtert, indem gängige Sprachkonzepte gegenübergestellt und verglichen werden.

Das ermöglicht es, vorhandenes Wissen über Softwareentwicklung, im speziellen mit Java, in einen COBOL-Kontext zu bringen und passende Sprachkonzepte nutzen zu lernen. Des Weiteren wird aufgezeigt, welche konzeptuellen Herausforderungen sich bei der COBOL-Entwicklung und Migration ergeben.

Im Fokus steht hierbei neben der Einführung in relevante Sprachkonstrukte stets auch die Experteneinschätzung zur Nutzung der verschiedenen Konzepte. Daher wird, wenn möglich, zusätzlich zu den erklärten Paradigmen erläutert, wie die Verwendung in der Praxis aussehen bzw. nicht aussehen sollte und je nach Sprachmittel gegebenenfalls in der Praxis zu verwendende Alternativen aufgezeigt.

Ziel der Arbeit ist jedoch nicht, vorhandene Java-Entwickler zu Neuentwicklungen mit COBOL zu animieren oder diese gar zu COBOL-Entwicklern umzuschulen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang vielmehr, ihr Wissensspektrum so zu erweitern, dass es ihnen möglich wird, komplexe fachliche Zusammenhänge – vor allem die »business logic« – bestehender COBOL-Architekturen zu erkennen und zu verstehen. Dadurch sind diese Entwickler flexibler einsetzbar und geschult, um mit Migrations-, Renovierungs- und Wartungsaufgaben von COBOL-Systemen betraut werden zu können.

Neben den praxisrelevanten Aspekten erfasst diese Arbeit COBOL konzeptuell und bringt die Sprache so in einen universitären Kontext. Dies dient dem Zweck, die zugrunde liegenden Ansätze der Sprache statt der syntaktischen Elemente zu untersuchen und mit denen einer modernen Sprache wie Java gegenüberzustellen. Außerdem werden dabei bekannte, in der Praxis häufig zu findende Muster untersucht und verglichen, um Aufschluss darüber zu geben, wie stark sich Theorie und Praxis unterscheiden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorhandene Literatur und das Vorgehen bei der Erstellung der Arbeit werden in Kapitel 2 erläutert.

Kapitel 3 behandelt die grundlegenden Herausforderungen bei der Entwicklung von betrieblichen Informationssystemen und zeigt, wie sich diese Problemstellungen in COBOL und Java adressieren lassen. Die wichtigsten Sprachmittel und Konzepte werden in Kapitel 4 aufgezeigt und gegenübergestellt. Kapitel 5 veranschaulicht häufig auftretende Muster der Sprachen und beschreibt, wie und ob diese in der jeweils anderen abgebildet werden können.

Das Kapitel 6 beinhaltet eine Zusammenfassung und Interpretation der Thematik und gibt ein Resümee der Arbeit.

2 Methodik der Arbeit

2.1 Vorhandene Literatur

Die aufgeführte Literatur gibt oftmals einen sehr detaillierten Einblick in COBOL und bietet Hilfestellungen mit »Nachschlage-Charakter«. So wie beispielsweise in *Teach yourself Cobol in 21 days* [3] oder *COBOL programming - tutorials, lectures, exercises, examples* [28] werden häufig möglichst viele der vorhandenen COBOL-Konstrukte vorgestellt, mit Beispielen beschrieben und so ihre Verwendung gezeigt.

Neuere Literatur wie *COBOL for the 21st century* [24] betrachtet häufig zusätzliche Neuerungen wie die objektorientierte Verwendung von COBOL. *Cobol 2002 ge-packt* [21] hingegen stellt mehr ein Syntax-Wörterbuch dar als eine wirkliche Beschreibung oder Einführung in COBOL.

Beginning COBOL for programmers [6] bietet den wohl umfassendsten Überblick, sowie ausführliche Beispiele und Erklärungen zur Verwendung und wirkt dabei nicht wie ein klassisches Nachschlagewerk, sondern wie ein klar strukturiertes Fachbuch, das jedoch mit einem klaren roten Faden durch die Bestandteile von COBOL führt. Dabei zieht es vor allem in der Einführung auch an einigen, wenigen Stellen Parallelen zu Java.

Alle diese Werke setzen ein gewisses generelles Vorwissen im Bereich der Programmierung und Informatik voraus, was auch in dieser Arbeit der Fall ist. Jedoch ist an nur wenigen Stellen ein vergleichender Charakter zu anderen Sprachen zu erkennen und sehr selten die Erwähnung der jeweiligen Praxisrelevanz oder der besten Einsatzmöglichkeiten entsprechender Konstrukte zu finden.

Diese Arbeit soll nicht die vielfältig bestehende Literatur um ein weiteres ähnliches Werk ergänzen, sondern wichtige Bestandteile der Sprachen gegenüberstellen und Vorgehensweisen bei der Entwicklung aufzeigen. Dabei wird bewusst nur selten in die Tiefe der einzelnen Bestandteile gegangen und alle möglichen Verwendungsarten beschrieben, sondern praktisch relevante Aspekte beleuchtet. Für einen tieferen Einblick

in die gesamten Sprachfeinheiten bietet sich die genannte Literatur an, welche auch bei der Erstellung der Inhalte als Informationsquelle genutzt wurde.

COBOL programmers swing with Java [8] basiert auf den gleichen Ideen. Jedoch versucht dieses Buch, Personen mit fundierten COBOL-Kenntnissen die Entwicklung in Java beizubringen, indem Konzepte gegenübergestellt werden. Allerdings werden teilweise wichtige Details ausgelassen oder an manchen Stellen sogar falsch beschrieben, weshalb dieses Buch aus fachlicher Sicht zwar als eine gute Brücke von COBOL zu Java einzuschätzen ist, jedoch nicht als einzige Quelle dienen sollte. Den Brückenschlag in die andere Richtung – von Java zu COBOL – lässt es allerdings nicht ohne weiteres zu, was nicht zuletzt daran liegt, dass – wie der Name bereits andeutet – ein großer Teil des Buches grafischen Oberflächen mit *Swing* gewidmet ist.

Im Gegensatz zu vorherigem steigt *Java for COBOL programmers* [4] tiefer in die syntaktischen Konstrukte von Java ein und behandelt außerdem JavaEE (Enterprise Edition). Außerdem zielt es weniger auf grafische Systeme ab als auf Systeme, die Daten verarbeiten. So werden verschiedene Ein- und Ausgabe-Mechanismen erklärt, der Umgang mit XML-Formaten beschrieben und – als Teil der Java EE – die Verwendung von Datenbanken erläutert.

COBOL programmers swing with Java [8] und *Java for COBOL programmers* [4] ermöglichen COBOL-Entwicklern den schnellen Einstieg in Java und bieten durch die jeweils unterschiedlichen Schwerpunkte einen guten Überblick. Nicht nur, dass in diesen beiden Quellen die Sicht – Java lernen als COBOL-Entwickler – eine andere als in dieser Arbeit ist, auch wird nur selten bzw. gar nicht auf die praktische Relevanz der beschriebenen Konstrukte eingegangen. Dadurch fehlt der Charakter eines Leitfadens, welcher diese Arbeit prägt.

2.2 Experten-Interviews

Die vorliegende Arbeit nutzt vorhandenes Expertenwissen, um, statt eines Nachschlagewerks für syntaktische Zwecke, einen Leitfaden zu erarbeiten – der von praktischer Relevanz getrieben – die wichtigsten Eigenschaften von COBOL und Java beleuchtet und gegenüberstellt. Daher stellen neben den angesprochenen literarischen Quellen, vor allem Experteninterviews einen Kernpunkt dieser Arbeit dar. Um den Praxisbezug zu gewährleisten, wurden diese geführt, transkribiert und darauf aufbauend relevante Themenbereiche und Praktiken ausgemacht und analysiert.

Interviewt wurden Experten aus dem Hause der **itestra GmbH**. Diese »Mitarbeiter kombinieren eine exzellente Informatik-Ausbildung mit Branchen-Know-how«¹, »kennen sowohl Legacy-Technologien wie Assembler, RPG und COBOL als auch Java, JS, C# und iOS«¹ und »verstehen alte Systeme und setzen moderne Technologien ein«¹. Die Mitglieder der Entwicklerteams können dabei auf mehrjährige Erfahrungen im Bereich der Renovierung und dem Reengineering von COBOL-Systemen blicken, was die befragten Personen zur wohl wichtigsten Quelle dieser Arbeit macht.

Befragt wurden die drei kundigen COBOL-Entwickler *Ivaylo Bonev*, *Jonathan Streit* und *Thomas Lamperstorfer*. Dabei ging es nicht darum, eine repräsentative Stichprobe nach statistischem Vorgehen zu erheben, sondern darum eine individuelle Bewertung der Schwierigkeiten und Stolpersteine bei der Entwicklung, Wartung und dem Verständnis von bestehenden und neuen COBOL-Systemen sowie eine Einschätzung zu Parallelen und Diskrepanzen mit Java zu erhalten. Daher wurde kein Fragenkatalog ausgearbeitet, sondern offener Input gefordert, um die gewünschten subjektiven Meinungen zu bekommen.

Der Umfang der Interviews beläuft sich auf 3 Stunden Audiomaterial bzw. 30 A4-Seiten Transkription in der ersten Phase und zusätzlichem Feedback in der Zwischenphase, bei dem die Experten diese Arbeit beurteilt und weitere Anregungen gegeben haben.

2.3 Entwicklungsumgebungen

Um Codebeispiele für diese Arbeit zu erstellen, zu kompilieren und auszuführen, wurden jeweils für Java und COBOL IDEs verwendet.

Für Java-Code wurde die bekannte Eclipse² Umgebung verwendet. Dabei handelt es sich um eine etablierte IDE, welche eine Vielzahl von Funktionen zur Entwicklung und zum Debugging liefert.

Der COBOL-Code dieser Arbeit wurde in der OpenCobolIDE³ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine minimalistische IDE, welche zum Beispiel Syntax-Highlighting oder eine übersichtliche Darstellung von Fehlern bietet. Der darunterliegende Compiler GnuCOBOL⁴ wurde jedoch auch teilweise direkt als Kommandozeilenwerkzeug ausgeführt. Im

¹<https://itestra.com/leistungen/software-renovation/> (besucht am 19.05.2018)

²<http://www.eclipse.org/> (besucht am 19.05.2018)

³<https://github.com/OpenCobolIDE/OpenCobolIDE> (besucht am 19.05.2018)

⁴<https://sourceforge.net/projects/open-cobol/> (besucht am 19.05.2018)

Gegensatz zur sonst üblichen COBOL-Entwicklung auf einem Hostsystem ermöglicht dieser Compiler das Erzeugen von ausführbaren Dateien für gängige Linuxsysteme. Dies war in dieser Arbeit sehr wichtig, um nicht auf ein System angewiesen zu sein, welches meist nur in Produktivumgebungen betrieben wird und zu dem der Zugriff oft mühsam und – durch die verschiedenen Abrechnungsmodelle dieser Hostrechner – teuer oder schlichtweg nicht möglich ist.

Das erste COBOL-Programm

Um bereits an dieser Stelle einen kleinen Einblick in COBOL, die Programmierung und die Ausführung mit der OpenCobolIDE zu bekommen, wird ein kurzes COBOL-Programm implementiert. Die einzelnen Bestandteile davon werden im Laufe der Arbeit genauer beschrieben.

```
1      IDENTIFICATION DIVISION.  
2      PROGRAM-ID. HELLO_USER.  
3      DATA DIVISION.  
4      FILE SECTION.  
5      WORKING-STORAGE SECTION.  
6          01 USERNAME PIC X(20) VALUE SPACES.  
7  
8      PROCEDURE DIVISION.  
9      MAIN-PROCEDURE.  
10         DISPLAY "Your name: " WITH NO ADVANCING.  
11         ACCEPT USERNAME.  
12         IF USERNAME EQUALS SPACES  
13             MOVE "world" TO USERNAME  
14         END-IF.  
15         DISPLAY "Hello " USERNAME.  
16         STOP RUN.  
17     END PROGRAM HELLO_USER.
```

Listing 2.1: Erstellen eines neuen COBOL Programms

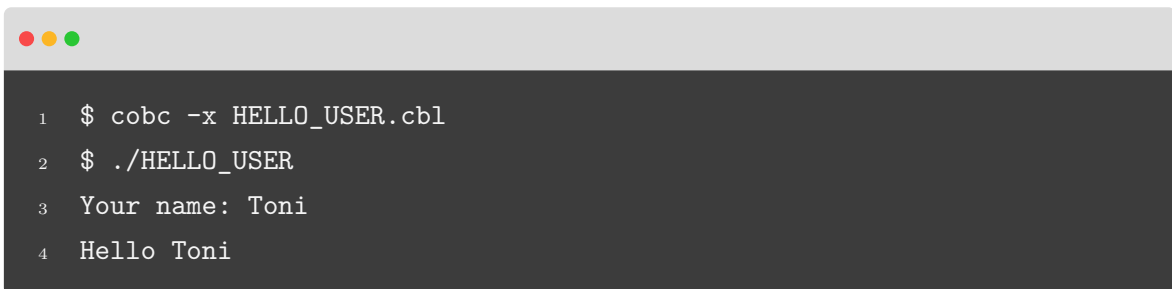
Legt man in der OpenCobolIDE ein neues Programm an, so enthält die Datei das bekannte »Hello world« als Beispielprogramm. Wir haben dieses Programm nun so erweitert, dass es die Eingabe eines Benutzernamens erwartet und eine persönliche Begrüßung ausgibt. Listing 2.1 zeigt das fertige Programm.

Als erstes wird die **PROGRAM-ID** festgelegt. Dies ist der Programmname, wie er auch nach außen – für eventuelle andere Programme – sichtbar wird, und sollte daher eindeutig sein. Wichtig hierbei ist auch das Setzen des Namens in der letzten Zeile, die das **END**

PROGRAM enthält. Diese Zeile kann entfallen, muss aber den richtigen Programmnamen enthalten wenn sie verwendet wird.

Anschließend wurde eine Variable mit dem Namen **USERNAME** angelegt, die aus 20 alphanumerischen Zeichen (**PIC X(20)**) besteht und mit Leerzeichen (**VALUE SPACES**) initialisiert wird.

Mittels **DISPLAY** wird der Nutzer aufgefordert, seinen Namen einzugeben, den das **ACCEPT**-Schlüsselwort dann in die angesprochene Variable schreibt.

A terminal window with a dark background and a light gray title bar containing three colored window control buttons (red, yellow, green). The terminal shows the following text:

```
1 $ cobc -x HELLO_USER.cbl
2 $ ./HELLO_USER
3 Your name: Toni
4 Hello Toni
```

Listing 2.2: Erstes COBOL-Programm in der Kommandozeile

Anschließend wird geprüft, ob der Nutzer eine Eingabe gemacht hat. Ist dies der Fall, wird eine persönliche Begrüßung ausgegeben. Andernfalls erscheint die generische Meldung »Hello world«. Diese Ausgaben werden wie bereits die Eingabeaufforderung mit **DISPLAY** ausgegeben.

Kompiliert wird das Programm nun mit den Tasten *F8* (kompilieren) bzw. *F5* (kompilieren und ausführen). Der GnuCOBOL-Compiler kann durch ein einfaches Kommando direkt ausgeführt werden, um eine ausführbare Datei zu erstellen. Dies wird in Listing 2.2 dargestellt.

3 Herausforderungen in betrieblichen Informationssystemen

Bei der Entwicklung von betrieblichen Informationssystemen sehen sich Entwickler mit grundlegenden Fragen und Anforderungen an die einzusetzenden Technologien und Programmiersprachen konfrontiert.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die wichtigsten Entscheidungskriterien für die Herangehensweise und zeigt auf, welchen Herausforderungen sich Programmiersprachen – im Speziellen COBOL und Java – in diesen Informationssystemen stellen müssen.

3.1 Datenmengen und Dimensionierung

Betriebliche Informationssysteme sind in der Regel dafür konzipiert, große Datenmengen zu verarbeiten. Daher ist bereits bei der Planung eines solchen Systems wichtig, den späteren Datenumfang abzuschätzen, um nachträglichen Erweiterungen entgegenzuwirken, auch wenn sich diese nie ganz ausschließen lassen.

Die Dimensionierung von Datenstrukturen nimmt in Java eine untergeordnete Rolle ein, da dynamisch Speicher alloziert werden kann, wodurch sich die Größe von Datenstrukturen dynamisch erweitern lässt, wie Abschnitt 5.2 genauer beschreibt. Um ein hohes Datenaufkommen in adäquater Zeit bewältigen zu können, spielt in Java neben der Algorithmik auch die Nutzung von paralleler Verarbeitung eine vorrangige Rolle. Ebenso beeinflusst oftmals die Plattform, auf der ein Java-System betrieben wird, wie sich die Performanz des Systems gestaltet.

In COBOL sind Vorüberlegungen zur Dimensionierung eines Systems weitaus wichtiger als in Java. Da COBOL, wie später in dieser Arbeit beschrieben, keine dynamischen Datenstrukturen bietet, muss bereits zu Beginn sehr genau überdacht werden, wie viele Daten ein System später be- und verarbeiten muss. Die befragten Experten gaben an,

dass Wartungsaufträge teilweise lediglich damit zu tun haben, dass Datenstrukturen – beispielsweise Arrays oder Strings – zu klein dimensioniert sind und künftig mehr oder längere Datensätze aufnehmen sollen. Herr Streit bestätigte dies durch ein Beispiel aus der Praxis, bei dem eine vierstellige Nummer nicht mehr ausreichend war, um Partnerunternehmen zu identifizieren. »Gelöst wurde das dann [...] durch das Zulassen von Buchstaben, weil so der Speicherbedarf nicht erhöht wurde und sich Datenstrukturen im Speicher nicht verschoben haben.« Dies illustriert einen wichtigen Aspekt von Datenstrukturen in COBOL, der später genauer beleuchtet wird: Obwohl solche Anpassungen, im Gegensatz zu Java, in COBOL vorkommen, muss stets bedacht werden, wo Variablen im Speicher liegen, da andere Daten- und Dateidefinitionen von dem bestehenden Aufbau der Datenstrukturen ausgehen.

3.2 Langlebigkeit, Wartbarkeit und Verlässlichkeit

Durch ihre hohe Komplexität werden betriebliche Informationssysteme i. d. R. über viele Jahre oder sogar Jahrzehnte betrieben und dabei gewartet, erweitert und angepasst. Um die Langlebigkeit, Wartbarkeit und Verlässlichkeit solcher Systeme sicherzustellen, werden diese in der Praxis mehr oder weniger umfangreichen Tests unterzogen. Damit kann beispielsweise sichergestellt werden, dass bestehender Code auch nach der Erweiterung um neue Funktionen weiterhin funktioniert. Eine der wichtigsten Techniken hierbei sind sogenannte Unit-Tests. Dabei werden einzelne isolierte Einheiten getestet und so Einflüsse von anderen Programmteilen minimiert.

In Java gibt es einige Frameworks, beispielsweise *JUnit*⁵ oder *Mockito*⁶, die das Testen direkt oder indirekt unterstützen. Die Wartbarkeit begünstigt in Java zusätzlich das relativ einfache Durchführen von Refactorings. So können Programme mithilfe von modernen Entwicklungsumgebungen teilweise neu geschrieben bzw. strukturiert werden und bestehender Code so im Zuge von Erweiterungen verbessert werden. Auch hierbei sind Tests zur Überprüfung der Korrektheit von Vorteil.

COBOL bietet zum Testen weitaus weniger Möglichkeiten. Entwicklung, Testen und Debuggen direkt am Host sind teuer und daher wurden, laut Herrn Lamperstorfer vor allem in frühen COBOL-Systemen, oftmals funktionierende und manuell getestete »Schablonen« beispielsweise für die Dateiverarbeitung wiederverwendet, sodass diese nur

⁵<https://junit.org/> (besucht am 19.05.2018)

⁶<http://site.mockito.org/> (besucht am 19.05.2018)

minimal angepasst werden mussten. Auch Refactorings nehme man daher in COBOL-Systemen tendenziell selten vor.

In puncto Verlässlichkeit können sich COBOL-Anwendungen jedoch oftmals auf gut isolierte Infrastrukturen verlassen, die durch ihre Homogenität, wenig Fortentwicklung und eingebaute Ausfallsicherheitsmaßnahmen eine zuverlässige Basis bieten. Java-Systeme hingegen werden auf vielen unterschiedlichen Plattformen betrieben, die sich sehr schnelllebig verändern, wodurch zusätzliches Augenmerk auf die Sicherung der oben genannten Eigenschaften gelegt werden muss.

3.3 Modularisierung, Wiederverwendbarkeit und Variabilität

Weitere wichtige Punkte bei der Entwicklung von betrieblichen Informationssystemen sind die Modularisierung und Wiederverwendbarkeit. Um ein System für die Zukunft wart- und erweiterbar zu machen, ist eine gewisse Modularisierung anzustreben. Code muss somit nicht mehrmals geschrieben werden, was auch das spätere Einarbeiten in ein Projekt erleichtert, da der Projektumfang deutlich verringert werden kann.

Zudem ist, sei es um z. B. verschiedene Mandanten, Tarife oder Sparten abzubilden, die im Grunde selbige Logik beinhalten, in betrieblichen Informationssystemen häufig eine gewisse Variabilität gefordert. Auch diese kann durch Wiederverwendbarkeit und Modularisierung stark begünstigt werden.

Java

Java ist eine hoch modulare Sprache. Objektorientierte Paradigmen wie Kapselung, Polymorphie oder Aggregation/Komposition tragen dazu bei, dass Code wiederverwendet werden kann. Dabei ist vor allem die Gliederung in Klassen und Methoden, wie Funktionen in Java gängigerweise genannte werden, ausschlaggebend. Des weiteren können Bibliotheken als Java-Archive (kurz `jar` genannt) distribuiert und in anderen Projekten wiederverwendet werden. Dieses Konzept nutzt auch die Programmiersprache aus und stellt viele Funktionalitäten über Packages (siehe Abschnitt 4.1) bereit. Die am häufigsten gebrauchten Bibliotheken sind dabei `java.util`, welche grundlegende Datenstrukturen wie z. B. Listen (siehe Unterabschnitt 5.2.1) bereitstellt, `java.io`, die

Daten-Ein- und Ausgabe ermöglicht und allen voran `java.lang`, mit Ergänzungen zu programmiersprachlichen Mitteln.

Diese Modularisierungsmöglichkeiten sorgen auch dafür, dass Java-Code variabel eingesetzt und bestehende Logik wiederverwendet oder beispielsweise durch Vererbung minimal angepasst und nachträglich erweitert werden kann und führt dazu, dass Wartungen an Systemen, die sich auf Erweiterungen des Umfangs beziehen – z. B. das Einführen eines neuen Tarifs – mit verhältnismäßig geringem Aufwand umgesetzt werden können.

Ein weiterer Punkt, der Java-Code wiederverwendbar macht, ist die Tatsache, dass dieser in plattformunabhängigen Byte-Code übersetzt wird. Die Java-Virtual-Machine (*JVM*) führt dann diesen Byte-Code aus und sorgt so dafür, dass bereits kompilierte Programme auf allen Systemen mit JVM ausführbar sind und weiterverteilt werden können, ohne neu kompiliert werden zu müssen.

COBOL

Im Gegensatz zu Java lässt COBOL ein weitreichendes Modularisierungskonzept vermissen. Wie später in Abschnitt 4.5 genauer nachzulesen ist, fehlen grundlegende Spracheigenschaften, um die Wiederverwendbarkeit von Code sicherzustellen.

Der typische Ansatz in COBOL ist, Funktionalität über Schlüsselwörter bereitzustellen. Allerdings stößt dies unweigerlich an Grenzen, da logischerweise nicht jeder Anwendungsfall als Teil der Sprache implementiert werden kann. Die Sprache bietet also grundsätzlich mehr Funktionalität durch Schlüsselwörter als Java, lässt sich im Gegensatz dazu aber schwerer erweitern.

Möglich wird dies beispielsweise durch Unterprogramme, die Logik und Daten kapseln und so wiederverwendbar machen. Auch denkbar sind sogenannte Copybooks. Dabei handelt es sich um ein ähnliches Konzept wie Headerdateien in C++, also Dateien, deren Inhalt durch den Compiler vor dem Übersetzen an andere Stellen kopiert wird. Diese werden in Abschnitt 5.1 näher beschrieben.

Diese Konzepte sind jedoch nur begrenzt für die generelle Wiederverwendung von Code geeignet. Wie Herr Lamperstorfer betonte, sieht man daher in der Praxis oftmals Code-Blöcke, die ein und die selbe Logik abbilden, aber durch die Verwendung von

anderen Daten nochmals im Copy-Paste-Stil in den Code integriert werden, was für viel Redundanz sorgt.

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, findet man diesen Copy-Paste-Stil wegen fehlender oder teurer Möglichkeiten zu testen. Weiter merkte Herr Lamperstorfer an, dass es womöglich an der fehlenden Erfahrung und Ausbildung der Entwickler lag, dass solche Vorgehensweisen häufig verwendet wurden. Außerdem sei der Wartungsaufwand zur Entstehungszeit vieler bestehender Systeme nicht in dem heute erforderlichen Ausmaß abzusehen gewesen.

Um diese Redundanzen zu vermeiden, werden teilweise Datenstrukturen für mehr als nur einen Zweck im Programm »missbraucht«. Darunter leidet die Les- und Wartbarkeit von COBOL-Code sehr, da häufig nicht klar ist, welche Daten in welchem Kontext wie verwendet werden. Zu diesem Thema sei auf Abschnitt 4.8 verwiesen.

Dies sorgt auch dafür, dass COBOL wenig Variabilität im Vergleich zu Java bietet. Code muss oftmals kopiert werden, um ähnliche Funktionalität abzubilden und so fallen Anpassungen in diesem Bereich unverhältnismäßig groß aus.

Auch ein Bibliothekskonzept ist in COBOL nicht vorhanden. So werden Programme und aufgerufene Unterprogramme beim Kompilieren statisch zu einer ausführbaren Einheit gelinkt. Um dieses Verhalten zumindest soweit zu beeinflussen, dass dynamisch geladene Unterprogramme entstehen, kann als »Trick« eine Variable eingeführt werden, welche den Namen des Unterprogramms enthält. Wird nun das Programm aufgerufen, welches in dieser Variable und nicht in einer festen Zeichenkette definiert ist, nimmt der Compiler an, dass das geladene Unterprogramm variieren kann – auch wenn der Inhalt der Variablen nicht verändert wird – und vermeidet so ein statisches Linken. Damit lässt sich erreichen, dass nur Teile von Programmen bei Änderungen neu übersetzt werden müssen.

Zwar unterstützt COBOL in neueren Standards eine objektorientierte Entwicklung, durch die Konzepte zur Modularisierung und Wiederverwendung bereitgestellt werden, jedoch ist diese Spracherweiterung in der Praxis irrelevant. Die meisten gängigen Systeme, auf denen COBOL Programme betrieben werden, verfügen nicht über derartig neue Compiler und auch bei der Verwendung merkt man, dass diese Konzepte nachträglich hinzugefügt wurden und eigentlich nicht Bestandteil der Sprache sind. Hat man das Glück, ein System mit einem kompatiblen Compiler zu haben, so bleibt als weiterer Stolperstein der Fakt, dass die ohnehin raren COBOL-Entwickler in der Verwendung

objektorientierter Konzepte nicht firm sind. Daher wird diese Spracherweiterung in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt.

3.4 Darstellungsgenauigkeit – Binäre und dezimale Kommaarithmetik

Vor allem in betrieblichen Informationssystemen – die oftmals Geldbeträge durch eine gewisse Anzahl von Rechenschritten errechnen – ist es unerlässlich, einen Blick auf die Rechengenauigkeit des Systems und der verwendeten Sprachen zu werfen. Diese ist oftmals eine Folge der Speicherrepräsentation rationaler Zahlen, die erheblichen Einfluss auf den Darstellungsbereich hat. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Speicherungen in Fließ- und Festkomma-Darstellung.

Fließkommaarithmetik

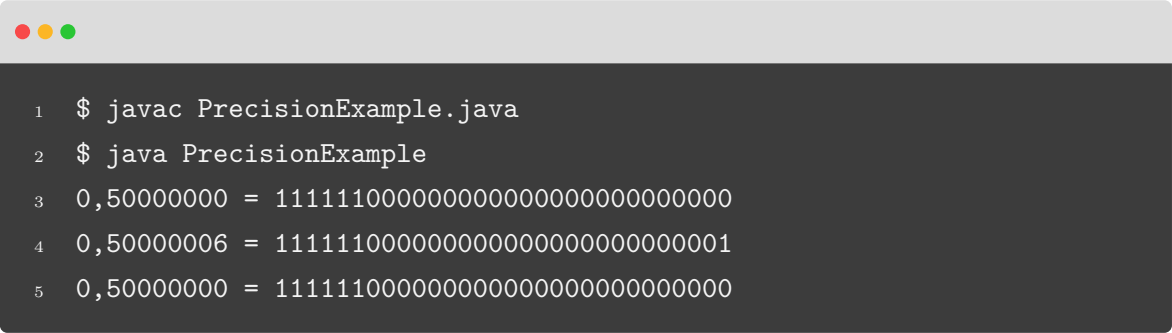
In modernen Programmiersprachen wie Java werden Datentypen für rationale Zahlen in der Fließkommarepräsentation gespeichert. Daher auch der Name **float** (engl. »floating point«). Diese Darstellung hat den großen Vorteil, dass sowohl kleine Zahlen, die gegen Null gehen, als auch sehr große Zahlen mit dem gleichen Speicherbedarf dargestellt werden können, da quasi das Trennzeichen der Vor- und Nachkommastellen verschoben wird. Java verwendet zur Darstellung standardmäßig den Datentypen **double**, ein **float** mit doppelter Darstellungsgenauigkeit bzw. doppeltem Speicherbedarf, der es ermöglicht, als kleinsten Absolutwert 2^{-1074} und als größten $(2 - 2^{-52}) \cdot 2^{1023}$ darzustellen.

```
1 public class PrecisionExample {  
2  
3     public static void main(String[] args) {  
4         float number = 0.5f;  
5         int numberInt = Float.floatToIntBits(number);  
6         printFloatAndBinary(number, numberInt);  
7  
8         numberInt++;  
9         number = Float.intBitsToFloat(numberInt);  
10        printFloatAndBinary(number, numberInt);  
11  
12        number = 0.50000002f;  
13        numberInt = Float.floatToIntBits(number);
```

```

14     printFloatAndBinary(number, numberInt);
15 }
16
17 public static void printFloatAndBinary(float number, int binary) {
18     System.out.println(
19         String.format("%.8f = %s", number,
20             Integer.toBinaryString(binary))
21     );
22 }
23
24 }

```



```

1 $ javac PrecisionExample.java
2 $ java PrecisionExample
3 0,50000000 = 11111100000000000000000000000000
4 0,50000006 = 11111100000000000000000000000001
5 0,50000000 = 11111100000000000000000000000000

```

Listing 3.1: Ungenauigkeit am Beispiel einer float-Variable

Diese Fließkommatypen werden zur Basis 2 berechnet und heißen daher auch binäre Fließkommatypen. Dabei werden Zahlen nach *IEEE 754*-Standard in Vorzeichen, Exponent und Mantisse umgerechnet und gespeichert. Ohne näher auf diesen eingehen zu wollen, kann angemerkt werden, dass dieser einen Algorithmus festlegt, mit dessen Hilfe Variablen in einem Speicherbereich repräsentiert werden. Auch die Größe dieses Speicherbereichs ist durch den Standard vorgegeben und daher fest. Dadurch und durch den Umstand, dass sowohl Exponent als auch Mantisse ins Dualsystem umgerechnet werden, ergibt sich die Problematik, dass eine Dezimalzahl u. U. nicht exakt repräsentiert und lediglich die nächste Repräsentation gespeichert werden kann, da eine Kommaverschiebung nur um dyadische Zahlenwerte passieren kann. Dieser Effekt ist schwer absehbar und kann in der Praxis zu ungenauen (Zwischen-)Ergebnissen führen.

Listing 3.1 illustriert beispielhaft, wie die Repräsentation eines Wertes vom tatsächlichen abweichen kann. Die erste Ausgabe des Programms stellt den **float**-Wert 0,5 in binärer Speicherrepräsentation dar. Diese wurde für die zweite Ausgabe um die

kleinstmögliche Einheit, einen Bitwert, erhöht. Die nächstgrößere darstellbare Zahl ist demnach 0,50000006, was bedeutet, dass keine Zahlenwerte dazwischen abgebildet werden können. Bei der dritten Ausgabe wird gezeigt, dass sich der Wert 0,50000002 nicht als **float** darstellen lässt, sondern die nächstmögliche Repräsentation 0,5 gewählt wird.

Durch die Weiterverwendung eines solchen, nicht-exakt repräsentierten Werts würden sich unter Umständen Folgefehler in Berechnungen ergeben. Außerdem können Vergleiche von Zahlen, insbesondere von Berechnungsergebnissen, dadurch fehlerbehaftet sein, weshalb Fließkommatypen stets auf ein Werteintervall statt auf Gleichheit geprüft werden sollten.

In der `java.math`-Bibliothek findet sich jedoch auch ein Objekttyp `BigDecimal`, welcher einen Fließkommawert zur Basis 10 – ein dezimales Fließkomma – darstellt. Die Speicherung beruht indessen auf zwei `Integer`-Werten, die einen unskalierten Faktor und einen Exponenten zur Skalierung repräsentieren. Außerdem ist dieser Typ steuerbar was die Rundung, die Exaktheit von Ergebnissen und das Verhalten bei nicht-darstellbaren Werten angeht. Hierbei lässt sich festhalten, dass `BigDecimals` nur über andere `BigDecimal`-Objekte oder `Strings` zuverlässig instanziiert werden können, da andere Konstruktoren die übergebenen Werte in Datentypen zwischenspeichern, die zu eben diese ungewünschten Fehlern in der Repräsentation führen. `BigDecimal` bietet somit eine Möglichkeit, Dezimalwerte exakt abzuspeichern. Mit diesem Objekttypen gehen jedoch Speicher- und Laufzeit-Overheads einher, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Außerdem müssen Zwischenergebnisse i. d. R. zusätzlich abgeschnitten oder gerundet werden, da der `BigDecimal`-Typ keine festgelegte Anzahl an Nachkommastellen hat und diese sich durch Berechnungen verändern können.

Festkommaarithmetik

Um die angesprochenen Probleme mit binären Fließkommatypen zu umgehen, verwenden manche Sprachen Festkommaarithmetik, um rationale Zahlen zu speichern, oder bieten zumindest Datentypen, um eine derartige Speicherrepräsentation zu erreichen.

Dabei wird im Gegensatz zu Fließkommazahlen festgelegt, wie viele Stellen einer Zahl vor- bzw. nach dem Komma gespeichert werden. Jede Ziffer wird dabei für sich – je nach Implementierung durch eine bestimmte Codierung – gespeichert und erlaubt somit absolute Genauigkeit im Werte- bzw. Darstellungsbereich. Auch ist der Umgang mit

Überläufen fest definiert und führt zu konsistentem und abschätzbarem Verhalten. COBOL verwendet diese Festkommaarithmetik. Ergebnisse werden zur Speicherung »abgeschnitten«, außer man definiert explizit, dass gerundet wird. Listing 3.2 enthält Beispiele zu beiden Varianten. **PIC 9V9(2)** deklariert eine Variable mit genau einer Vor- und zwei Nachkommastellen. Damit wäre beispielsweise sichergestellt, dass alle Geldbeträge < 10 – auch nach Berechnungen – korrekt dargestellt werden können.

Da Ergebnisse zeichenweise gespeichert werden und so keine Rundungsfehler oder Fehler aufgrund von unzureichendem Speicherplatz zur Abbildung zulassen, ergibt sich jedoch ein erhöhter Speicherbedarf. Dieser kann in COBOL jedoch zum Beispiel durch das Nutzen von **PACKED DECIMALS** mit dem Schlüsselwort **COMP-3** hinter der **PICTURE**-Anweisung reduziert werden. Hierbei wird lediglich ein Nibble ($1/2$ Byte) pro Ziffer benötigt.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. PRECISION-EXAMPLE.
3      DATA DIVISION.
4      FILE SECTION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 TWO-DECIMALS-VALUE PIC 9V9(2) VALUE 0.50.
7          01 THREE-DECIMALS-VALUE PIC 9V9(3) VALUE 0.499.
8          01 RESULT PIC 9V9(2) VALUE ZERO.
9
10     PROCEDURE DIVISION.
11     MAIN-PROCEDURE.
12         COMPUTE RESULT =
13             TWO-DECIMALS-VALUE + THREE-DECIMALS-VALUE.
14         DISPLAY RESULT.
15         COMPUTE RESULT ROUNDED =
16             TWO-DECIMALS-VALUE + THREE-DECIMALS-VALUE.
17         DISPLAY RESULT.
18         STOP RUN.
19
20     END PROGRAM PRECISION-EXAMPLE.

```



```

1  0.99
2  1.00

```

Listing 3.2: Dezimalzahlen in COBOL



ABSCHNITT 3.4 In betrieblichen Informationssystemen und speziell bei der Verarbeitung von Geldbeträgen ist es unerlässlich, die Sicherheit einer exakten Darstellung von Werten zu haben. Während die binäre Fließkommadarstellung Speicherplatz-Vorteile und eine Flexibilität des Wertebereichs einer Zahl bietet, jedoch Werte unter Umständen nicht exakt repräsentieren kann, stellt eine Festkommaarithmetik sicher, dass Zahlen exakt und vorhersehbar repräsentiert werden. Dies wird durch erhöhten Speicherbereich und fehlende Flexibilität erkauft, ist jedoch in der Praxis oftmals unerlässlich. Eine Möglichkeit, diese Sicherheit in Java zu erreichen, ist das Nutzen des `BigDecimal`-Typen, der viele Nachteile und vor allem Unsicherheiten gegenüber binären Fließkommatypen aus dem Weg räumt. Jedoch führt dieser unter Umständen zu Performanz- bzw. Speichereinbußen und bedarf u. U. nach Berechnungen weiterer Bearbeitung. COBOL bietet mit Verwendung der Festkommaarithmetik bereits standardmäßig eine Darstellungssicherheit und Vorhersagbarkeit von Dezimalzahlen, die vielen modernen Sprachen fehlt.

3.5 Datenquellen

Kernaspekte von Informationssystemen sind die Daten-Ein- und Ausgabe. Neben Dateien, deren Verwendung später in Abschnitt 4.6 beschrieben wird, und Dateisystemen, stellen dabei Datenbanken eine der gebräuchlichsten Arten der Datenhaltung dar.

Um Zugriff auf Daten innerhalb einer Datenbank zu erhalten, bietet Java mit der »Java Database Connectivity« API standardisierte Mechanismen, um auf Datenbanken zuzugreifen. Darauf aufbauend existieren Abstraktionsschichten wie *Hibernate*⁷, die eine Abbildung von Entitäten der Datenbank auf Java-Klassen ermöglichen.

In COBOL können Datenbankabfragen mithilfe des `EXEC SQL`-Befehls erfolgen. Damit lässt sich der betreffende SQL-Code direkt innerhalb des COBOL-Codes schreiben und Werte aus Variablen nutzen bzw. in diese schreiben. Diese Einbettung des SQL-Codes in COBOL macht es, im Gegensatz zu Java, möglich, dass bereits der Compiler die Syntax der SQL-Abfragen überprüfen kann. Dies ist mit *Language Integrated Querys* in C# zu vergleichen. Herr Bonev bemerkte hierzu, dass diese Datenbankabfragen

⁷<http://hibernate.org/> (besucht am 19.05.2018)

oft Optimierungsmöglichkeiten bieten, da oft zu beobachten sei, dass Entwickler auf einfache Datenbankabfragen zurückgreifen und eine eventuelle Datenfilterung erst später innerhalb des Programms geschehe. Diese Filterung ist jedoch auch direkt durch eine geeignete Datenbankabfrage zu erreichen, was sehr viel performanter sei.

Im Hinblick auf Datenquellen machen betriebliche Informationssysteme mit COBOL oftmals vom *Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe*-Prinzip, kurz EVA-Prinzip, Gebrauch. Dabei wird ein Arbeitsvorgang in verschiedene Schritte unterteilt, die nacheinander ausgeführt werden. Am Ende jedes Schrittes steht die Ausgabe der (Zwischen-)Ergebnisse, sodass der darauffolgende diese weiterverarbeiten kann. Um diese einzelnen Schritte zu steuern behilft man sich der *Job Control Language*, kurz *JCL*. Diese Skriptsprache steuert die angesprochenen Stapelverarbeitungsvorgänge, engl. Batch-Jobs, und sorgt für die Ein- und Ausgabe von Daten, auch *Reporting* genannt.

Durch das EVA-Prinzip und die Tatsache, dass Host-Computer über sehr stark optimierte Datei-Ein- und Ausgabe verfügen, seien Datenbanken, laut Herrn Lamperstorfer, in COBOL weniger relevant.

3.6 Schnittstellen

In betrieblichen Informationssystemen stellen außerdem Schnittstellen ein wichtiges Thema dar. Sowohl das Bereitstellen von standardisierten und dokumentierten Interfaces als auch das Nutzen von anderen Systemen über ihre Schnittstellen ist stets Teil aller Anwendungsfälle.

Vor allem in der heutigen Zeit, in der Informationssysteme nicht mehr als alleinige Verarbeitungs-, Reporting- und Darstellungsschicht fungieren, sondern eingebettet in einen größeren Kontext aus verschiedensten Modulen, mobilen Applikationen und Websites funktionieren und mit diesen kommunizieren müssen, ist ein ausgereiftes Schnittstellenkonzept und die standardisierte Bereitstellung und Nutzung von Daten und Diensten unerlässlich.

Für Java sind eine Fülle an Bibliotheken erhältlich, welche Netzwerkkommunikation über verschiedenste Protokolle auf unterschiedlichen Ebenen ermöglichen. Neben diversen verfügbaren Fremdbibliotheken bietet bereits das JDK unterschiedliche Methoden zur Kommunikation mit Fremdsystemen.

Zudem ist es durch die Definition von Interfaces auch auf Klassenebene möglich, Schnittstellen zu bieten, die eine einfache Erweiterung von und Verbindungen zu Neusystemen möglich machen.

COBOL hingegen lässt hierfür einige Funktionalität vermissen. Durch das fehlende Bibliothekskonzept – wie in Abschnitt 3.3 erläutert – und das gänzliche Fehlen von Netzwerkkommunikationsmechanismen ist es in reinem COBOL nicht möglich, Netzwerkschnittstellen festzulegen, die von außen erreichbar sind, oder solche zu nutzen.

COBOL-Systeme nutzen daher i. d. R. Systemmodule, um Aufgaben, wie die Netzwerkkommunikation, zu erledigen, die mit reinem COBOL nicht möglich oder aufwendig sind. Außerdem erfordern diese Systeme nicht selten Anpassungen in anderen Systemen, auch wenn es nicht sinnvoll erscheint.

Auch intern kann ein COBOL-System nur bedingt Standards definieren, die zwischen unterschiedlichen Programmteilen für einheitliche Kommunikationskanäle sorgen. Allerdings basieren COBOL-Systeme, wie Abschnitt 3.5 beschreibt, auf einfachen EVA-Prinzipien, weshalb Schnittstellen in der Stapelverarbeitung datenbasiert seien, wie Herr Lamperstorfer festhielt. Diese Eigenschaft ist jedoch mehr dem Host-Umfeld zuzuschreiben als der Sprache COBOL.

Mit Tools wie IBM MQ, zuvor WebSphere MQ,⁸ können Systeme allerdings so verbunden werden, dass sie miteinander kommunizieren können. Laut Herrn Lamperstorfer lässt sich damit »technisch einfach« eine Verbindung zwischen Alt- und Neusystemen herstellen, diese sei jedoch fachlich und im Hinblick auf Performanz recht schwierig umzusetzen.

⁸<https://www.ibm.com/de-de/marketplace/secure-messaging> (besucht am 19.05.2018)

4 Vergleich wichtiger Sprachkonzepte

4.1 Programmstruktur

Dieser Abschnitt behandelt die strukturellen Unterschiede von Java- und COBOL-Programmen. Dazu wird erläutert, in welche Einheiten sich die Programme der jeweiligen Sprache aufteilen lassen.

Struktur eines Javaprogramms

Abbildung 4.1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Teile eines Java-Programms und bildet graphisch ab, wie sich die jeweiligen Komponenten zusammensetzen können.

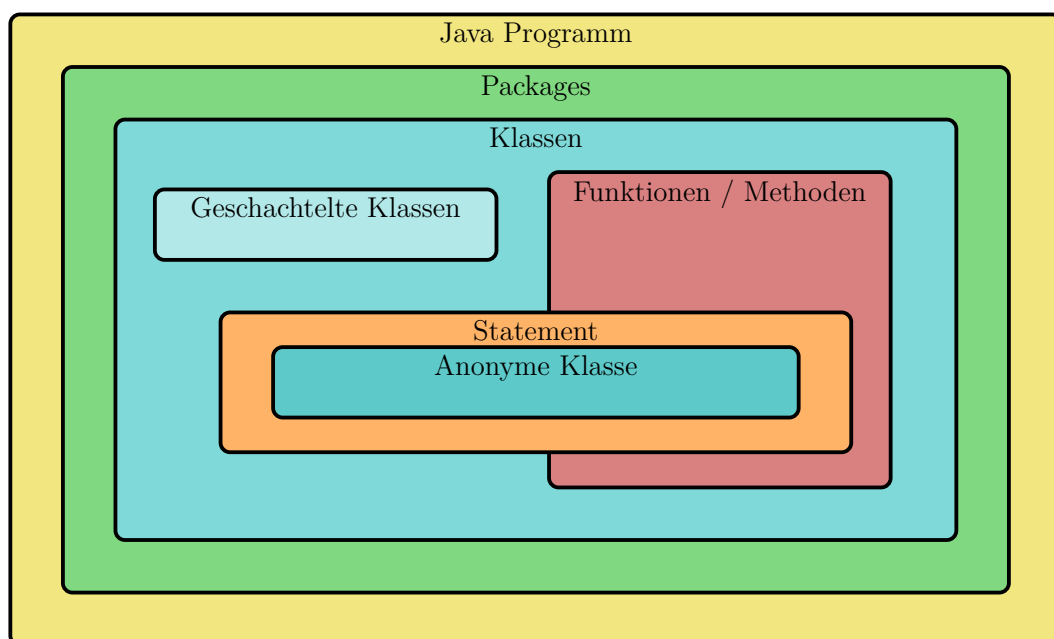


Abbildung 4.1: Strukturelle Bestandteile eines Java-Programms

Anhand dieses Diagramms werden die wichtigsten Konzepte der Strukturierung von Java-Code aufgezeigt. Die erste Zeile einer Quelldatei beinhaltet die Package-Deklaration, d. h. hiermit wird die Klasse dem genannten Package zugeordnet. Diese Deklaration muss gleich der Ordnerhierarchie sein, in denen die Java-Dateien verwaltet werden.

Die nächstkleineren Einheiten eines Java-Programms stellen Klassen dar, von denen Objekte instanziiert werden können. Hierbei handelt es sich um das Kernkonzept der objektorientierten Programmierung. Um einen tieferen Einblick in diese Thematik zu erhalten, sei auf einschlägige Fachliteratur verwiesen. Diese Klasse muss dabei in einer Datei gespeichert sein, die den selben Namen trägt wie die Klasse selbst. Die Klasse `MasterThesis` muss daher in der Datei `MasterThesis.java` stehen.

```
1  package de.masterthesis.augsburg;
2
3  public class Initializer {
4
5      static { // static initializer
6          System.out.println("Executed once for class on load");
7      }
8
9      { // initializer
10         System.out.println("Called once for every instance");
11     }
12
13     public Initializer() {
14         System.out.println("Executed after all initializers");
15     }
16
17     public static void main(String[] args) {
18         System.out.println("main: start");
19         Initializer initializer = new Initializer();
20         System.out.println("main: termination");
21     }
22 }
```

Listing 4.1: Initializer in Java

Teil dieser Klassen können Funktionen, in Java oft Methoden genannt, Variablendeklarationen und weitere Klassen sein. Diese inneren Klassen haben strukturell die selben Eigenschaften wie die umgebende Klasse. Die Bestandteile einer Klasse können jeweils statisch oder auch einer Instanz zugeordnet sein. Auch dabei handelt es sich um

ein gängiges Konzept der objektorientierten Softwareentwicklung. Statische Methoden, Variablen und Klassen können Teil einer Klasse sein und benötigen kein konkret instanziiertes Objekt, während nicht-statische Komponenten stets ein konkretes Objekt einer Klasse benötigen.

Methoden wiederum bestehen aus einzelnen Statements. Variablendeklarationen stellen auch Statements dar und sind an jeder Stelle innerhalb einer Klasse möglich, während andere Statements als Teil einer Klasse nur dann gültig sind, wenn diese in geschweiften Klammern stehen. Diese Blöcke werden – der Reihe nach – vor jedem Konstruktoraufruf ausgeführt und heißen deshalb auch *Initializer*. Auch ist die Definition von statischen *Initializer* möglich, die einmalig nach dem Laden einer Klasse ausgeführt werden. Listing 4.1 führt Beispiele dafür an.

Statements, die aus Variablendeklarationen, Zuweisungen oder Methodenaufrufen bestehen, müssen im Gegensatz zu Block-Statements, wie z. B. Schleifen oder Verzweigungen, stets mit einem Semikolon beendet werden.

```

1  package de.masterthesis;
2
3  import java.util.function.IntConsumer;
4  import java.util.stream.IntStream;
5
6  public class AnonymousClassAndMethodExample {
7
8      public static void main(String[] args) {
9          IntStream.range(0, 10).forEach(new IntConsumer() {
10             @Override
11             public void accept(int value) {
12                 System.out.print(value + " ");
13             }
14         });
15         System.out.println();
16         IntStream.range(0, 10).forEach(value -> {
17             System.out.print(value + " ");
18         });
19     }
20 }

```

Listing 4.2: Anonyme Klassen und Funktion in Java

Die letzten strukturellen Elemente sind anonyme Klassen und Funktionen, auch Lambda-Funktionen genannt, wobei anonyme Funktionen in Java genau genommen nur eine syntaktische Schreibweise einer speziellen anonymen Klasse sind. Die Verwendung wird in Listing 4.2 illustriert. Die Zeilen 9 – 14 beinhalten eine anonyme Klasse, die das `IntConsumer`-Interface implementiert. Die völlig identische anonyme Klasse wird implizit durch die Lambda-Funktion in den Zeilen 16 – 18 implementiert.

Neben der inhaltlichen Struktur kann festgehalten werden, dass Java Programme nur wenigen festen Formatierungsregeln folgen müssen. Neben den Eigenschaften, dass die Package-Deklaration vor Imports stehen, und diese wiederum vor der ersten Klasse stehen müssen, können Java-Programme nahezu beliebig formatiert werden.

Struktur eines COBOL-Programms

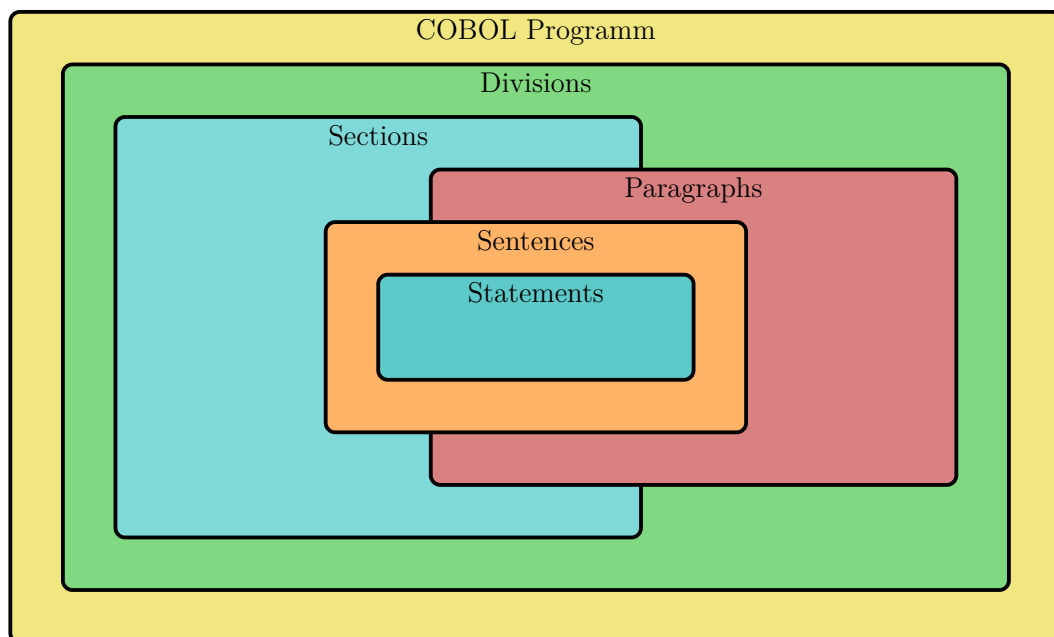


Abbildung 4.2: Strukturelle Bestandteile eines COBOL-Programms

Abbildung 4.2 zeigt die strukturellen Bestandteile eines COBOL-Programms. Ein Programm besteht dabei aus vier fest definierten Divisions:

- **IDENTIFICATION DIVISION** – Hier werden grundlegende Daten zum Programm wie der Name oder der Autor festgelegt.

- **ENVIRONMENT DIVISION** – Definiert die Ein- und Ausgabe sowie Konfigurationen der Systemumgebung.
- **DATA DIVISION** – Diese Division beinhaltet die Definitionen von Daten. Dazu zählen Variablen oder auch Datei-Record-Definitionen.
- **PROCEDURE DIVISION** – Innerhalb dieser Division befindet sich der ausführbare Code.

Eine Division – außer der **IDENTIFICATION DIVISION** – kann wiederum aus verschiedenen Sections bestehen, wobei diese nur innerhalb der **PROCEDURE DIVISION** frei definiert werden können.

Die **ENVIRONMENT DIVISION** kann zwei verschiedene Sections enthalten. Definitionen zum Zielsystem finden sich innerhalb der **CONFIGURATION SECTION** und Angaben zu Dateizugriffen sowie zu Ein- und Ausgabeoperationen in der **INPUT-OUTPUT SECTION**.

```

1  ENVIRONMENT DIVISION.
2  CONFIGURATION SECTION.
3  SPECIAL-NAMES.
4      DECIMAL-POINT IS COMMA.
5      CLASS VALID-NAME-CHARACTERS IS 'a' THRU 'z' 'A' THRU 'Z' ' ' '.

```

Listing 4.3: SPECIAL-NAMES Paragraph in COBOL

Erwähnenswert hierbei ist der **SPECIAL-NAMES** Paragraph der **CONFIGURATION SECTION**. Darin können Definitionen vorgenommen werden, die u. a. Auswirkungen auf die Syntax haben können. Listing 4.3 beinhaltet die Neudefinition des Dezimaltrennzeichens und die Definition einer Klasse von Werten, die in diesem Beispiel valide Werte eines Zeichens innerhalb von Namen darstellen. Diese Klassen sind jedoch nicht mit dem objektorientierten Konzept einer Klasse zu vergleichen.

Teil der **DATA DIVISION** sind folgende Sections:

- **FILE SECTION** – Definiert Dateien bzw. Dateischemata, auf die im Programm zugegriffen wird.
- **WORKING-STORAGE SECTION** – Enthält Variablendeklarationen, welche über mehrere Programmaufrufe hinweg bestehen bleiben.

- **LOCAL-STORAGE SECTION** – Enthält Variablendeklarationen, die bei jedem Programmaufrufe neu alloziert werden.
- **LINKAGE SECTION** – Enthält Definitionen von Variablen, welche bei einem Programmaufruf von außen übergeben werden können.

In der **PROCEDURE DIVISION** finden sich schließlich vom Entwickler definierte Sections, welche ein COBOL-Pendant zu Funktionen in Java darstellen.

Die nächstkleinere Einheit eines COBOL-Programms stellen Paragraphs dar. Diese lassen sich – mit kleinen Unterschieden – im Allgemeinen wie Sections verwenden. In bestehenden COBOL-Programmen lassen sich daher zwei unterschiedliche Stile beobachten. Auf der einen Seite gibt es Programme, die lediglich aus Paragraphs bestehen, und auf der anderen existieren Systeme, in denen Sections verwendet wurden und durch Paragraphs untergliedert sind. Generell ist zweite Variante vorzuziehen, wie auch Richards in „Enhancing Cobol program structure“ [20] beschreibt, da dadurch sowohl die Programmstruktur lesbarer als auch die Fehleranfälligkeit verringert wird. Auf beide Eigenschaften wird im weiteren Verlauf der Arbeit eingegangen.

Sections und Paragraphs können wiederum aus Sentences bestehen. Dabei handelt es sich um ein oder mehr Statements. Ein Sentence wird stets von einem Punkt abgeschlossen. Während Sections und Paragraphs Analogien zu Methoden in Java sind, kann man Sentences am ehesten mit Block-Statements – sobald diese geschachtelt werden, stimmt diese Analogie nicht mehr – und Statements mit Semikolon-terminierten Statements in Java vergleichen. Herr Streit merkte dazu im Interview an, dass darauf zu achten sei, dass diese Punkte keine Semantik transportieren. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass Statements wenn möglich durch das korrespondierende **END**-Statement (z. B. **IF** → **END IF**) abgeschlossen werden. Dadurch unterbindet der Compiler die Nutzung von Punkten innerhalb der Konstrukte, welche die Semantik ändern würden.

COBOL-Programme lassen sich nicht beliebig formatieren. So folgt ein COBOL-Programm einem festgelegten spaltenweisen Aufbau:

- **Spalte 1 – 6**

In diesen Spalten befindet sich die sog. Sequenznummer. Damit können Programmzeilen nummeriert werden. Da der Zeichensatz dafür dem zugrundeliegenden System entspricht, können Zeilen auch beispielsweise mit Buchstaben versehen werden.

- **Spalte 7**

In dieser Spalte kann ein Zeichen gesetzt werden, um dem Compiler die Bedeutung der Zeile kenntlich zu machen. Ein * leitet z. B. eine Kommentarzeile ein und durch – kann die vorherige Zeile fortgeführt werden.

- **Spalte 8 – 11 und Spalte 12 – 72**

Diese Spalten enthalten Definitionen und ausführbaren Programmcode. Je nach COBOL-Dialekt sind diese beiden Bereiche jedoch im Hinblick auf Variablendeklarationen unterschiedlich. Während in ersterem nur die Stufennummern 01 und 77 deklariert werden dürfen, müssen alle anderen in dem Bereich ab Spalte 12 stehen. Dies gilt jedoch nicht auf allen Systemen.

- **Spalte 73 – 80**

In klassischem COBOL dienen diese Spalten dazu, Kommentare zur aktuellen Zeile einzufügen. Wie Herr Streit betonte, sind diese in Altsystemen exzessiv genutzt, um Versionsinformationen – wie Änderungsdatum oder Ticketnummern – festzuhalten, sollten jedoch zum Wohl der Übersichtlichkeit entfernt und im Zuge einer Renovierung oder Migration durch eine modernen Versionsverwaltung, wie z. B. SVN oder Git, ersetzt werden. Auch ein Änderungsvergleich zwischen Programmversionen in einem entsprechenden Werkzeug wird durch diese Kommentare erheblich erschwert. Wichtig ist es jedoch zu verstehen, dass diese Kommentare, zu Zeiten, in denen es keine Versionsverwaltungssoftware gab, sinnvoll waren.

Im sogenannten *Free-Format*, welches von einigen COBOL-Dialekten unterstützt wird, gelten diese Beschränkungen nicht. Dabei gilt lediglich, dass Spalte 1 wie Spalte 7 zur Kennzeichnung von Kommentaren fungiert. Auch die Breite einer Zeile kann hierbei, im Gegensatz zum klassischen COBOL, 80 Zeichen überschreiten.

4.2 Variablen und Datentypen

Eine wichtiges Sprachmittel von Programmiersprachen ist die Verwendungsmöglichkeit von Variablen. Je nach Programmiersprache haben diese Variablen unterschiedliche Eigenschaften und werden verschieden deklariert, initialisiert bzw. definiert. Dieser Abschnitt soll die Unterschiede dabei zwischen COBOL und Java herausarbeiten.

Variablen in Java

Eine Variable in Java hat stets einen bestimmten Datentypen. Dies können primitive Datentypen – **float**, **double**, **byte**, **char**, **short**, **int**, **long**, **boolean** – aber auch komplexe Objekttypen sein. Variablen primitiver Zahltypen haben dabei stets ein Vorzeichen.

```

1  public class VariableExample {
2
3      final int CONSTANT_VARIABLE = 1907;
4      int primitiveClassVariable = 0;
5      VariableExample complexClassVariable = null;
6
7      public static void main(String[] args) {
8          // CONSTANT_VARIABLE = 1860 -> Fehler
9          int primitiveLocalVariable = 1;
10         VariableExample complexLocalVariable = new VariableExample();
11     }
12
13 }
```

Listing 4.4: Variablendeklarationen in Java

Listing 4.4 soll einige Konzepte der Variablendeklaration und -definition verdeutlichen:

- Variablen können sowohl als Teil einer Klasse als auch lokal innerhalb einer Methode deklariert werden.
- Variablen mit dem *Modifier* **final** sind Konstanten und können nicht mehr geändert werden.
- Die Deklaration erfolgt nach dem Muster » \langle Datentyp \rangle \langle Variablenname \rangle «.
- Die Initialisierung einer Variable geschieht durch das Zuweisen eines Wertes.
- Komplexe Objekttypen können den Wert **null** haben. Das bedeutet, die Variable, die in diesem Fall eine Referenz auf einen Speicherbereich darstellt, ist leer. Hier gilt es zu beachten, dass primitive Datentypen nicht **null** sein können.

- Instanzen eines Objekttypen werden durch das Schlüsselwort **new** und den Aufruf eines Konstruktors erzeugt. Dieses Schlüsselwort sorgt für die dynamische Allokation von Speicherbereich. Im Gegensatz dazu wird der Speicherplatz für primitive Datentypen, welche keine Konstruktoren besitzen, statisch reserviert.

Die Deklaration von Variablen bestimmter Datentypen sorgt dafür, dass ausreichend Speicherplatz für diese reserviert wird. Die Stelle der Deklaration im Code ist dabei frei wählbar und muss lediglich vor der ersten Verwendung stehen.

Der sog. Scope, zu deutsch Gültigkeitsbereich, gibt in der Programmierung an, in welchem Bereich eine Variable gültig ist. In Java ist der Scope einer Variablen meist einfach zu erkennen. Eine Variable ist innerhalb der geschweiften Klammern gültig, die die Variablendeklaration beinhalten. Dies verdeutlicht Listing 4.5.

```

1  public class ScopeExample {
2      int memberAndLocalVariable;
3
4      void memberFunction(int parameter) {
5          // innerMemberVariable = 0; -> Ungültig
6          int memberAndLocalVariable = 0;
7          { // int memberAndLocalVariable = 1; -> Ungültig
8              int localVariable;
9          }
10         int localVariable;
11         this.memberAndLocalVariable = 0;
12     }
13
14     void otherMemberFunction() {
15         // parameter = 0; -> Ungültig
16         this.memberAndLocalVariable = 0;
17     }
18
19     class InnerClass {
20         int innerMemberVariable;
21
22         void innerMemberFunction(int innerParameter) {
23             ScopeExample.this.memberAndLocalVariable = 0;
24             innerParameter = 0;
25         }
26     }
27 }

```

Listing 4.5: Variablendeklarationen mit verschiedenen Scopes

Das Attribut `memberVariable` ist innerhalb der gesamten Klasse `ScopeExample` und somit in jeder enthaltenen Methode, verschachtelten Klassen und wiederum deren Methoden, gültig. Eine Variable mit selbem Namen kann auch innerhalb einer Methode deklariert und auf die Instanzvariable dem `this`-Schlüsselwort zugegriffen werden. In geschachtelten Klassen muss zusätzlich der Klassenname vorangestellt werden wie Zeile 27 zeigt. Ist keine lokale Variable mit selbem Namen vorhanden, so kann dieses Schlüsselwort auch weggelassen werden. Wie Zeile 19 zeigt, ist es nicht möglich, auf lokale Variablen einer anderen Funktion zuzugreifen. Gleiches gilt für Instanzvariablen verschachtelter Klassen.

Variablen in COBOL

Die Deklaration von Variablen unterscheidet sich in COBOL stark von der in Java. Neben der Eigenschaft, dass Variablen nur innerhalb der `DATA DIVISION` – als Teil der `WORKING-STORAGE SECTION` oder der `LOCAL-STORAGE SECTION` – deklariert werden können, ist in COBOL die Definition eines Datentyps gleichzeitig auch die Festlegung der Ausgabe-Repräsentation dieser Variable.

Dies sorgt nicht nur dafür, dass Speicherplatz nicht wie mit `new` in Java dynamisch alloziert werden kann, sondern auch dafür, dass bereits an der Stelle der Variablendeklaration festgelegt werden muss, wie diese Daten im folgenden Programm dargestellt werden. Das Schlüsselwort dafür ist die `PICTURE`- oder kurz `PIC`-Anweisung.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. VARIABLE-EXAMPLE RECURSIVE.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5      01 PERSON-DATA.
6          05 PERSON-NAME PIC X(10) VALUE "Mustermann".
7          05 FILLER PIC X VALUE SPACE.
8          05 PERSON-HEIGHT-CM PIC 9(3) VALUE 178.
9          05 PERSON-HEIGHT-M REDEFINES PERSON-HEIGHT-CM PIC 9V99.
10
11     PROCEDURE DIVISION.
12         DISPLAY PERSON-DATA.
13         DISPLAY PERSON-NAME.
14         DISPLAY PERSON-HEIGHT-CM.
15         DISPLAY PERSON-HEIGHT-M.
16
17     END PROGRAM VARIABLE-EXAMPLE.
```

```

1  $ ./variableExample
2  Mustermann 178
3  Mustermann
4  178
5  1.78

```

Listing 4.6: Variablendeklarationen in COBOL


Listing 4.6 zeigt die Deklaration von vier Variablen. Dieses Beispiel illustriert verschiedene Konzepte der Variablendeklaration in COBOL.

Jede Variablendeklaration beginnt mit einer Stufennummer. Diese Stufennummer sorgt für Gruppierung von Variablen. Zulässig sind dabei Zahlen zwischen 01 und 49. Die Stufennummern sollten mit ausreichendem Abstand gewählt werden, um ein nachträgliches Einfügen zwischen zwei Stufennummern zu erleichtern. In der Praxis werden dazu i. d. R. 5er-Schritte gewählt. Die speziellen Stufennummern 66, 77 und 88 werden später separat behandelt. Wie das Beispiel demonstriert, ist der Zugriff auf einzelne Variablen auch über den Gruppennamen möglich. Konstanten sind hierbei in COBOL nicht möglich und so gilt es, wie Herr Bonev und Herr Lamperstorfer betonten, sicherzustellen, dass konstante Werte an keiner Stelle des Programms verändert werden. Ein weiterer Nachteil davon ist, dass für diese pseudo-konstanten Werte im Gegensatz zu Konstanten in Java Speicherplatz reserviert werden muss. In den Anfängen von COBOL waren diese »Konstanten« daher verpönt und wurden nur sparsam verwendet.

```

1  IDENTIFICATION DIVISION.
2  PROGRAM-ID. DUPLICATE-NAMING.
3  DATA DIVISION.
4  WORKING-STORAGE SECTION.
5      01 FIRSTGROUP.
6          05 PNAME PIC X(20) VALUE "First value".
7      01 SECONDDGROUP.
8          05 PNAME PIC X(20) VALUE "Second value".
9  PROCEDURE DIVISION.
10 MAIN-PROCEDURE.
11     DISPLAY "First: " PNAME IN FIRSTGROUP.
12     DISPLAY "Second: " PNAME IN SECONDDGROUP.
13 END PROGRAM DUPLICATE-NAMING.

```



```
1 First: First value
2 Second: Second value
```

Listing 4.7: Mehrdeutige Variablennamen in COBOL

Diese Gruppierung ermöglicht es, Variablennamen mehrfach zu verwenden. Dabei müssen Referenzen auf eine Variable, mithilfe des **IN**-Schlüsselworts immer auch die einschließende Gruppe spezifizieren, um Mehrdeutigkeit zu vermeiden. Dies zeigt Listing 4.7.

Der Stufennummer folgt ein eindeutiger Name für die Variable. Hier kann jedoch auch das Schlüsselwort **FILLER** verwendet werden. Dies sorgt dafür, dass eine Platzhaltervariable angelegt wird, auf die jedoch später nicht direkt zugegriffen werden kann.

Die Festlegung der Repräsentation geschieht wie gezeigt durch ein **PIC**. Nach diesem **PIC** wird festgelegt, wie diese Variable dargestellt werden soll. »X« steht dabei für ein alphanumerisches, »9« für ein numerisches Zeichen und »A« für einen Buchstaben. Die Angabe der Stellen einer Variable wird durch die Wiederholung des jeweiligen Zeichens oder die verkürzte Notation mit der nachgestellten Anzahl der Wiederholungen in runden Klammern – z. B. $XXXX \hat{=} X(4)$ – erreicht. Als Dezimaltrennzeichen wird wie gezeigt ein »V« verwendet und ein vorangestelltes »S« sorgt dafür, dass eine numerische Variable ein Vorzeichen führt. So wird genau festgelegt, wie viele Vor- und Nachkommastellen eine Variable hat.

Die Initialisierung einer Variable erfolgt durch die **VALUE**-Anweisung, gefolgt von dem Wert, welcher der Variablen zugewiesen werden soll. Dabei gibt es die Schlüsselwörter **SPACE** bzw. **SPACES** und **ZERO** bzw. **ZEROS**, die anstelle eines Wertes verwendet werden können, um eine Variable mit Leerzeichen bzw. Nullen zu initialisieren.

Durch die Definition der Repräsentation findet man in der Praxis oft Variablen, die auf den selben Speicherbereich wie andere verweisen, jedoch die dort enthaltenen Daten anders darstellen bzw. interpretieren. Dies geschieht, wie im Beispiel gezeigt, mithilfe des Schlüsselworts **REDEFINES**.

Eine Typsicherheit ist in COBOL nicht ausreichend gewährleistet. So kann eine Variable mit **REDEFINES** oder eine Variable, welche die eigentliche gruppiert, den Speicherbereich einer anderen mit unter Umständen ungültigen Werten befüllen. Auch sind uninitialisierte Variablen teilweise mit falschen Datentypen vorbelegt.

Auch der Scope von Variablen in COBOL unterscheidet sich sehr stark von Java. Allgemein kann festgehalten werden, dass auf eine Variable von jeder Stelle innerhalb eines Programms aus zugegriffen werden kann. Das sorgt dafür, dass schnell Fehler auftreten können, die sich durch unbeabsichtigten Zugriff auf falsche Variablen ergeben. In der Praxis sind diese, so alle befragten Experten übereinstimmend, häufiger beobachtbar und bergen hohes und vor allem schwer auszumachendes Fehlerpotential. Außerdem wird das Debuggen und die Fehleranalyse erschwert, da immer das gesamte Programm betrachtet werden muss. **WORKING-STORAGE SECTION** und **LOCAL-STORAGE SECTION** unterscheiden sich jedoch leicht. Während Variablenwerte in ersterer über mehrere Programmaufrufe hinweg erhalten bleiben, werden Variablen der **LOCAL-STORAGE SECTION** bei jedem Aufruf neu instanziiert. Dieses Unterschiedes sind sich COBOL-Entwickler in der Praxis nicht immer bewusst.

Speicherplatz von Variablen muss weder in COBOL noch in Java händisch freigegeben werden. In Java sorgt der *garbage collector* dafür, dass Speicherbereich, der nicht mehr verwendet wird, freigegeben wird. In COBOL geschieht dies mit dem Ende eines Programms.

4.3 Arrays

Eine zentrale Datenstruktur in der Programmierung stellen Arrays bzw. Felder – in COBOL auch als *table* bezeichnet – dar. Dabei handelt es sich um eine geordnete Sammlung von Werten eines Typs, auf die, im Gegensatz zu z. B. verketteten Listen, direkt zugegriffen werden kann.

```
1  public class Arrays {  
2  
3      public static void main(String[] args) {  
4          int[] intArray = new int[10];  
5  
6          for(int counter = 0; counter < intArray.length; counter++)
```

```

7      {
8          intArray[counter] = counter;
9      }
10     }
11 }

```

Listing 4.8: Felder in Java

Zeile 4 in Listing 4.8 beschreibt das Anlegen eines Arrays in Java mittels **new**-Schlüsselwort, wohingegen Zeile 8 den Zugriff auf ein Element zeigt. Die Indizierung der Elemente beginnt dabei mit dem Element 0. Ein Feld der Größe 10 trägt beispielsweise die Indizes 0 – 9. Sowohl beim Anlegen als auch beim Zugreifen auf ein Element des Arrays wird der `[]`-Operator verwendet.

In COBOL können Felder durch **OCCURS**, gefolgt von der Anzahl der zu speichernden Werte und **TIMES** angelegt werden. Dies illustriert Listing 4.9. Das **INDEXED BY**-Schlüsselwort kann dazu genutzt werden, eine Variable zu definieren, mit der das Array indiziert werden kann. In Zeile 12 ist der Zugriff auf ein einzelnes Feld-Element zu sehen. Dies geschieht in COBOL mittels runder Klammern. Zu beachten ist hierbei, dass COBOL die einzelnen Elemente beginnend mit 1 indiziert. Im Gegensatz zu Java hat ein Array der Größe 10 in COBOL die Indizes 1 – 10. Dies ist jedoch nicht zwangsläufig notwendig. In COBOL werden Indizes auch *subscripts* genannt.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. ARRAYS.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 ARRAY-ELEMENT PIC 9(2) OCCURS 10 TIMES
7              INDEXED BY ELEMENT-INDEX.
8
9      PROCEDURE DIVISION.
10     MAIN-PROCEDURE.
11         ACCEPT ELEMENT-INDEX.
12         ACCEPT ARRAY-ELEMENT(ELEMENT-INDEX).
13         DISPLAY ARRAY-ELEMENT(ELEMENT-INDEX).
14         STOP RUN.
15
16     END PROGRAM ARRAYS.

```

Listing 4.9: Felder in COBOL

Eine Besonderheit von Feldern in COBOL und in Java ist, dass diese auch mehrdimensional sein können. In COBOL spricht man statt von Dimensionen von Levels. Jedes Element der ersten Dimension bzw. des ersten Levels besteht aus einem weiteren Feld. Ein Zugriff auf ein beispielhaftes zweidimensionales Array ist dann mittels `[][]` in Java bzw. `(X,Y)` in COBOL möglich. Dabei ist auch ein Zugriff auf eine ganze Dimension möglich.

Eine weitere Gemeinsamkeit ist die Tatsache, dass Felder in beiden Sprachen eine feste Größe haben. Nach dem Anlegen des Feldes kann diese Größe nicht mehr geändert werden. Jedoch muss in COBOL bereits zur Zeit der Kompilierung festgelegt werden, wie viele Elemente ein Array beinhalten soll. In Java kann diese Größe auch variabel zur Laufzeit des Programms festgelegt werden.

4.4 Programmablauf und Kontrollfluss

Durch die später in Abschnitt 4.5 erläuterten Unterschiede in der Definition von Funktionen ergeben sich auch im Programmablauf Diskrepanzen. Allerdings führen diese Unterschiede nicht zu einem gänzlich anderen Ablauf, sondern dazu, dass Gemeinsamkeiten nicht auf den ersten Blick erkennbar sind, obwohl der Ablauf im Grunde sehr ähnlich ist. Sowohl Java- als auch COBOL-Programme werden im Allgemeinen von oben nach unten durchlaufen. Beiden Programmiersprachen ist gemein, dass sie einen definierten Einstiegspunkt in ein Programm haben. Während jedes Java-Programm in der `main`-Methode startet, wird ein COBOL-Programm stets sequenziell von oben nach unten abgearbeitet und durchlaufen und beginnt daher stets mit der ersten Zeile der **PROCEDURE DIVISION**.

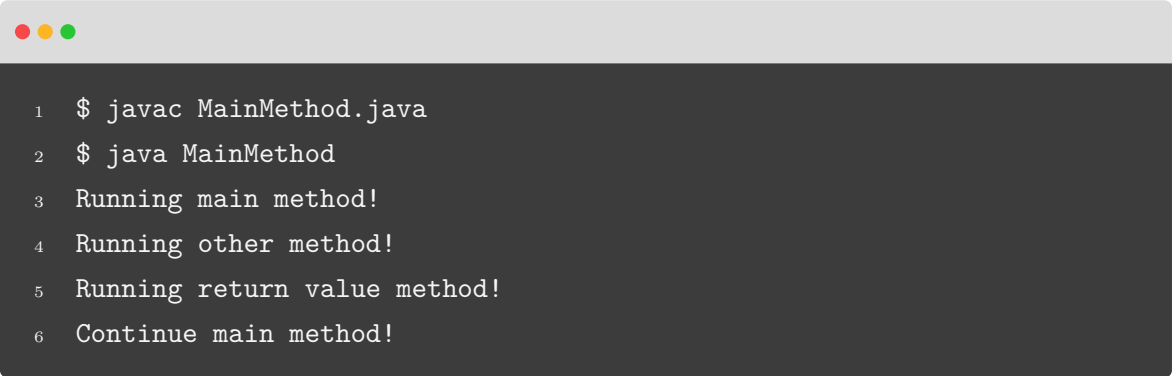
4.4.1 Genereller Ablauf

Listing 4.10 demonstriert einen sehr simplen Programmablauf in Java. Der Startpunkt eines jeden Java-Programms ist die `main`-Methode. Von dieser aus können weitere Methoden aufgerufen werden, und sobald das Ende dieser Methode erreicht ist, terminiert das Programm. Im vorliegenden Beispiel wird nach einer Ausgabe in `main` die Methode `otherMethod` aufgerufen, bevor der Ablauf wieder in der `main`-Methode fortgesetzt wird. Daran soll folgendes Verhalten deutlich werden: Endet eine aufgerufene Methode wie geplant, wird mit der nächsten Anweisung nach dem Methodenaufruf fortgefahren.

```

1  public class MainMethod{
2      public static void main(String[] args) {
3          System.out.println("Running main method!");
4          otherMethod();
5          System.out.println("Continue main method!");
6      }
7
8      public static void otherMethod() {
9          System.out.println("Running other method!");
10     }
11 }

```



```

1  $ javac MainMethod.java
2  $ java MainMethod
3  Running main method!
4  Running other method!
5  Running return value method!
6  Continue main method!

```

Listing 4.10: Java main-Methode

In COBOL gestaltet sich der Programmablauf ähnlich. Das Programm wird stets von oben nach unten durchlaufen, wobei dieser lineare Ablauf z. B. durch die Verwendung von **PERFORM**-, **CALL**-, **GO TO**- oder **NEXT SENTENCE**-Anweisungen verändert werden kann.

```

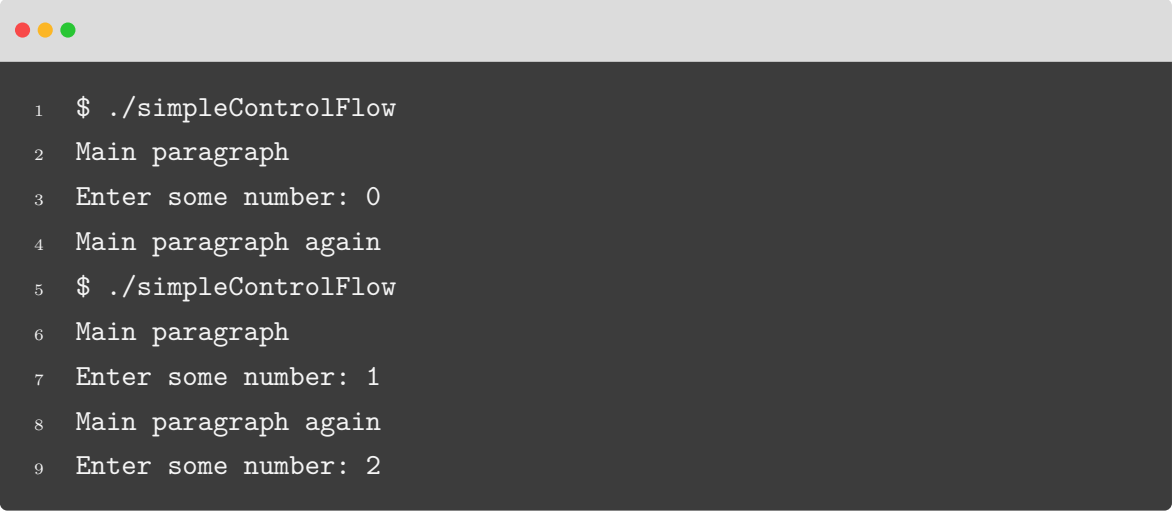
1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. SIMPLE-CONTROL-FLOW.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 INPUT-NUMBER PIC 9.
7          88 IS-ZERO VALUE 0.
8
9      PROCEDURE DIVISION.
10     MAIN-PARAGRAPH.

```

```

11         DISPLAY "Main paragraph".
12         PERFORM SECOND-PARAGRAPH.
13         DISPLAY "Main paragraph again".
14         IF IS-ZERO THEN
15             STOP RUN
16         END-IF.
17
18     SECOND-PARAGRAPH.
19         DISPLAY "Enter some number: " WITH NO ADVANCING.
20         ACCEPT INPUT-NUMBER.
21
22     END PROGRAM SIMPLE-CONTROL-FLOW.

```



```

1  $ ./simpleControlFlow
2  Main paragraph
3  Enter some number: 0
4  Main paragraph again
5  $ ./simpleControlFlow
6  Main paragraph
7  Enter some number: 1
8  Main paragraph again
9  Enter some number: 2

```

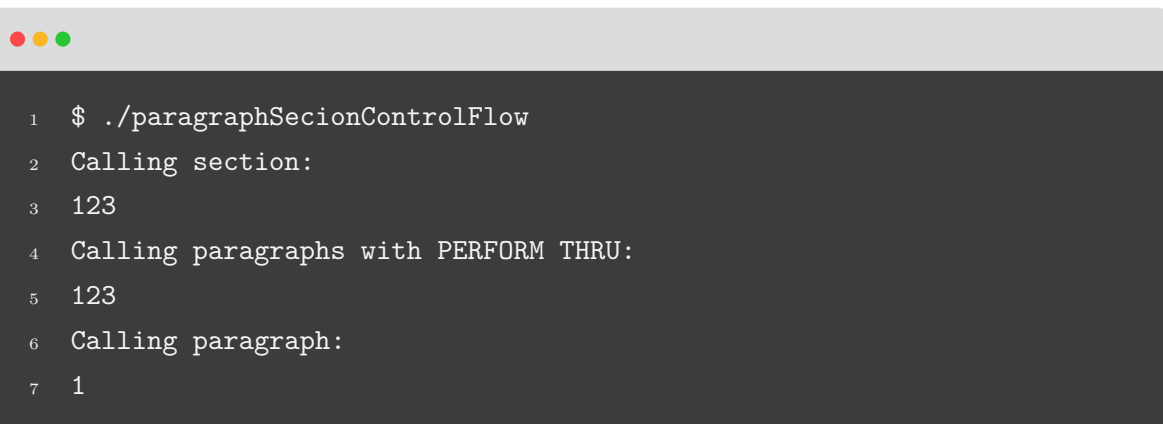
Listing 4.11: Programmablauf in COBOL

Ein Unterprogramm wird mit **CALL** aufgerufen und gibt mit **GOBACK** die Kontrolle zurück an das aufrufende Programm. Die Ausführung eines COBOL-Programms endet beim Erreichen einer **STOP RUN**-Anweisung oder mit dem Ende des Programms (**END PROGRAM**).

Die beiden Ausführungen von Listing 4.11 zeigen das angesprochene Verhalten eines COBOL-Programms. Beim ersten Durchlauf wird für die Variable **INPUT-NUMBER** der Wert 0 eingegeben, was durch das Ausführen der **STOP RUN**-Anweisung in Zeile 15, das Beenden des Programmes bewirkt. Beim zweiten Mal wird hingegen der Wert 1 eingegeben. Dieser Wert verhindert das Abschließen des Programms in Zeile 15, wodurch der Programmablauf in Zeile 17 fortgesetzt wird und somit erneut die Eingabeaufforderung erscheint.

Wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, besteht ein COBOL-Programm aus verschiedenen strukturellen Komponenten. Listing 4.12 soll den Einfluss davon auf den Programmablauf veranschaulichen.

```
1      IDENTIFICATION DIVISION.  
2      PROGRAM-ID. PARAGRAPH-SECTION-CONTROL-FLOW.  
3  
4      PROCEDURE DIVISION.  
5      MAIN-PROCEDURE.  
6          DISPLAY "Calling section:".  
7          PERFORM TEST-SECTION.  
8          DISPLAY SPACE.  
9          DISPLAY "Calling paragraphs with PERFORM THRU:".  
10         PERFORM FIRST-TEST-PARAGRAPH THRU THIRD-TEST-PARAGRAPH.  
11         DISPLAY SPACE.  
12         DISPLAY "Calling paragraph:".  
13         PERFORM FIRST-TEST-PARAGRAPH.  
14         STOP RUN.  
15  
16     TEST-SECTION SECTION.  
17     FIRST-TEST-PARAGRAPH.  
18         DISPLAY "1" WITH NO ADVANCING.  
19  
20     SECOND-TEST-PARAGRAPH.  
21         DISPLAY "2" WITH NO ADVANCING.  
22  
23     THIRD-TEST-PARAGRAPH.  
24         DISPLAY "3" WITH NO ADVANCING.  
25  
26  
27     END PROGRAM PARAGRAPH-SECTION-CONTROL-FLOW.
```



```
1 $ ./paragraphSectionControlFlow  
2 Calling section:  
3 123  
4 Calling paragraphs with PERFORM THRU:  
5 123  
6 Calling paragraph:  
7 1
```

Listing 4.12: Programmablaufunterschiede in COBOL mit Sections und Paragraphs

Wird mittels **PERFORM** eine Section aufgerufen, so werden alle Paragraphs innerhalb dieser Section der Reihe nach ausgeführt. Ruft man jedoch einen Paragraph auf, so wird nur dieser Paragraph ausgeführt. Eine weitere Möglichkeit ist die Kombination des **PERFORM** mit dem **THRU**-Schlüsselwort. Hierbei werden alle Paragraphs zwischen zwei festgelegten Paragraphs ausgeführt. Der Kontrollfluss geht bei jeder Variante stets an das Statement nach dem **PERFORM**.

Um Verwirrungen vorzubeugen und lesbaren Code zu erhalten, sollten alle Paragraphs stets Teil einer Section sein und auch nur diese Ziel einer **PERFORM**-Anweisung sein. Der letzte Paragraph einer Section sollte dabei immer ein **EXIT**-Paragraph sein, der nur das Schlüsselwort **EXIT** beinhaltet. So ist das Ende einer Section beim Lesen des Codes klar erkennbar. Dieses Vorgehen wurde auch von Richards bereits 1984 als Best-Practice beschrieben [20]. Die meisten Code-Beispiele dieser Arbeit enthalten bewusst keinen separaten **EXIT**-Paragraph, um den Umfang und die Übersichtlichkeit der Listings so gering wie möglich zu halten.

4.4.2 Verzweigungen

Eine wichtige Eigenschaft von Programmiersprachen ist bedingte Verzweigung, sprich die Ausführung von Programmteilen nur unter bestimmten Voraussetzungen. Sowohl Java als auch COBOL bieten hierfür die Schlüsselwörter **if-else** (Java) bzw. **IF-ELSE-END-IF** (COBOL). Auch die Verwendung ist sehr ähnlich, wie folgende Beispiele zeigen.

```
1  import java.util.Scanner;
2
3  public class IfExample {
4
5      public static void main(String... args) {
6          int number = new Scanner(System.in).nextInt();
7          if (number == 0) {
8              System.out.println("Number is 0");
9              System.out.println("Number is still 0");
10         } else
11             System.out.println("Number is not 0");
12
13         System.out.println(
14             number == 0 ? "Number is 0" : "Number is not 0"
```

```

15         );
16     }
17 }

```

Listing 4.13: Verzweigung in Java

In Listing 4.13 wird anhand einer Nutzereingabe eine Fallunterscheidung bzw. Verzweigung gemacht. Dabei soll gezeigt werden, dass es möglich ist sowohl mehrere Zeilen als auch nur eine Zeile konditionell auszuführen. Soll mehr als eine Zeile untergeordnet werden, ist eine Gruppierung als Block – mit geschweiften Klammern – nötig. Der **else**-Zweig zeigt eine einzelne Anweisung als bedingt auszuführendes Statement. Das letzte Statement zeigt die Verwendung des konditionalen Operators »?«. Dabei handelt es sich – im Gegensatz zu Statements in **if-else**-Konstrukten – um bedingte Expressions, also reine Ausdrücke statt Anweisungen, die abhängig von Wahrheitswerten eingesetzt werden.

Listing 4.14 bildet die selbe Logik in COBOL ab. Die beiden Sections **END-IF-EXAMPLE** und **PERIOD-IF-EXAMPLE** zeigen dabei zwei unterschiedliche Wege diese zu konstruieren. Während erstere eine **ELSE**- und eine **END-IF** Anweisung nutzt, um das Konstrukt aufzubauen und zu terminieren, verwendet letztere die Eigenschaft, dass ein **IF** auch durch ein Sentence-Ende – siehe Abschnitt 4.1 – abgeschlossen werden kann. Dies erlaubt jedoch keine verschachtelten Verzweigungen und kann – wie die befragten Experten anmerkten – in der Praxis schnell zu Fehlern oder zumindest zu schwer durchschaubarem Verhalten führen. Herr Streit betonte, dass bestehende Programme teilweise solche Konstrukte beinhalten, ein **IF** jedoch stets mit einem **END-IF** terminiert werden sollte. Dies sorgt dafür, dass es dem Compiler möglich ist, Fehler in der Verzweigung zu erkennen und eine bessere Lesbarkeit zu erreichen.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. IF-EXAMPLE.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5          01 VAR PIC 9.
6
7      PROCEDURE DIVISION.
8      MAIN-PROCEDURE SECTION.
9          ACCEPT VAR.
10         PERFORM END-IF-EXAMPLE.
11         ACCEPT VAR.

```

```

12         PERFORM PERIOD-IF-EXAMPLE.
13         STOP RUN.
14
15     END-IF-EXAMPLE SECTION.
16         IF VAR = 0
17             DISPLAY "VAR = 0"
18         ELSE
19             DISPLAY "VAR != 0"
20         END-IF.
21
22     PERIOD-IF-EXAMPLE SECTION.
23         IF VAR = 0
24             DISPLAY "VAR = 0"
25         ELSE
26             DISPLAY "VAR != 0".
27
28     END PROGRAM IF-EXAMPLE.

```

Listing 4.14: Verzweigung in COBOL

Sowohl in Java als auch in COBOL ist es möglich, arithmetische Ausdrücke in Bedingungen zu verwenden. Während dies in Java üblich ist, wies Herr Streit darauf hin, dass dies in COBOL eher selten verwendet wird, da dabei oftmals nicht ausreichend klar ist, wie viele Nachkommastellen die Ergebnisse dieser Berechnungen tragen.

4.4.3 Schleifen

Wie in vielen anderen Sprachen unterstützen Java und COBOL auch Schleifenkonstrukte. Während Java dafür dedizierte Schlüsselwörter bereitstellt, fungiert in COBOL auch dafür das **PERFORM**-Statement. Dies kann für Unklarheiten sorgen, weil dieses Schlüsselwort, wie in Unterabschnitt 4.4.1 beschrieben, auch dafür verwendet wird, Sections und Paragraphs aufzurufen.

```

1     import java.util.stream.IntStream;
2
3     public class Loops {
4
5         public static void main(String... args) {
6             int number = 0;
7             while (number < 10) {
8                 number++;

```

```

9          }
10
11         number = 0;
12         do {
13             number++;
14         } while (number < 10);
15
16         for (number = 0; number < 10; number++) {
17             System.out.println(number);
18         }
19
20         for (Integer num : IntStream.range(0, 10).toArray()) {
21             System.out.println(num);
22         }
23     }
24 }

```

Listing 4.15: Schleifen in Java

Java bietet mit **while**-, **do-while**- und **for**-Schleifen drei unterschiedliche Arten von Schleifen. Listing 4.15 enthält alle drei Konstrukte. Während die ersten beiden eine Bedingung kopf- bzw. fußgesteuert überprüfen, wird eine **for**-Schleife i. d. R. dazu genutzt, um Werte einer bestimmten (Zahlen-)Menge zu durchlaufen.

COBOL nutzt für alle Schleifen das **PERFORM**-Schlüsselwort. In Verbindung mit weiteren Statements entstehen so unterschiedliche Schleifentypen. Listing 4.16 beschreibt die wichtigsten davon. Eine bedingte Schleifenausführung lässt sich mithilfe des **UNTIL**-Schlüsselworts und einer nachfolgenden Bedingung erreichen. Eine Zählschleife, entsprechend eines **for** in Java, kann durch **VARYING**, **FROM** und **BY** konstruiert werden. Jede Schleife kann zusätzlich durch die Angabe von **WITH TEST AFTER** von einer kopfgesteuerten zu einer fußgesteuerten Schleife gemacht werden, d. h. die Bedingung wird nach einem Schleifendurchlauf geprüft und nicht davor.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. LOOP-EXAMPLE.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5          01 NUM PIC 9(2).
6
7      PROCEDURE DIVISION.

```



```

8      MAIN-PROCEDURE SECTION.
9          PERFORM PERFORM-UNTIL.
10         PERFORM PERFORM-VARYING.
11         PERFORM PERFORM-VARYING-TEST-AFTER.
12         STOP RUN.
13
14     PERFORM-UNTIL SECTION.
15         MOVE 0 TO NUM.
16         PERFORM UNTIL NUM = 10
17             COMPUTE NUM = NUM + 1
18         END-PERFORM.
19         DISPLAY NUM.
20
21     PERFORM-VARYING SECTION.
22         MOVE 0 TO NUM.
23         PERFORM VARYING NUM FROM 0 BY 1 UNTIL NUM = 10
24             DISPLAY NUM
25         END-PERFORM.
26
27     PERFORM-VARYING-TEST-AFTER SECTION.
28         MOVE 0 TO NUM.
29         PERFORM WITH TEST AFTER VARYING NUM FROM 0 BY 1 UNTIL NUM = 10
30             DISPLAY NUM
31         END-PERFORM.
32
33     END PROGRAM LOOP-EXAMPLE.

```

Listing 4.16: Schleifen in COBOL

4.4.4 Weitere Schlüsselwörter

Weitere Schlüsselwörter, die den Kontrollfluss – vor allem im Zusammenhang mit Verzweigungen und Schleifen – in Java steuern können, sind außerdem **break**, **continue** und **goto**. Zu beachten ist dabei, dass das **goto**-Schlüsselwort zwar im Sprachstandard definiert, jedoch in keiner gängigen JVM implementiert ist. Die Verwendung führt zu Fehlern beim Kompilieren. In Listing 4.17 finden sich beispielhafte Verwendungen der beiden anderen Schlüsselwörter.

```

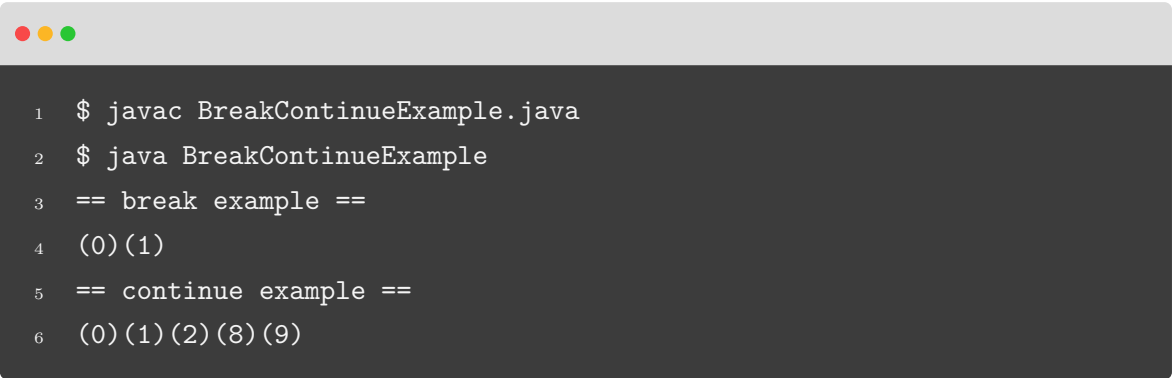
1      public class BreakContinueExample {
2
3          public static void main(String[] args) {
4              breakExample();
5              continueExample();
6          }

```

```

7
8     private static void breakExample() {
9         System.out.println("\n== break example == ");
10        for (int counter = 0; counter < 10; counter++) {
11            if (counter > 1 && counter < 8)
12                break;
13            System.out.print("(" + counter + " ");
14        }
15    }
16
17    private static void continueExample() {
18        System.out.println("\n== continue example == ");
19        for (int counter = 0; counter < 10; counter++) {
20            if (counter > 2 && counter < 8)
21                continue;
22            System.out.print("(" + counter + " ");
23        }
24    }
25 }

```



```

1 $ javac BreakContinueExample.java
2 $ java BreakContinueExample
3 == break example ==
4 (0)(1)
5 == continue example ==
6 (0)(1)(2)(8)(9)

```

Listing 4.17: Beispiele für die Verwendung von break und continue in Java

Ein einfaches **break** sorgt wie gezeigt dafür, dass die direkt umfassende Schleife verlassen wird. Auch ein simples **continue** hat Auswirkungen auf die direkt beinhaltende Schleife. So sorgt es dafür, dass der aktuelle Schleifendurchlauf abgebrochen und mit dem nächsten fortgefahren wird. Unterabschnitt 4.9.2 zeigt eine weitere Verwendung des **break**-Statements. Deutlich unüblicher – jedoch nicht weniger relevant – ist der Gebrauch eines Labels in Java. Dieses Label kann in der Verbindung mit einer **break**- oder **continue**-Anweisung genutzt werden, um mehrere umfassende Schleifen zu verlassen bzw. um

mit dem nächsten Schleifendurchlauf einer weiter außen befindlichen fortzufahren. Die Anweisung betrifft dabei die Schleife, welche das Label trägt.

In COBOL ist ebenfalls das Schlüsselwort **CONTINUE** vorhanden. Allerdings ist hierbei Vorsicht geboten, da dieses abweichende Bedeutung vom gleichnamigen Java-Schlüsselwort hat. Während in Java zum nächsten Schleifendurchlauf gesprungen werden kann, entspricht dieses Schlüsselwort in COBOL lediglich einer Anweisung, bei der nichts ausgeführt wird. Dies ist in der Praxis häufig zu beobachten, um z. B. Verzweigungsteile leer zu lassen, ohne die Bedingung negieren zu müssen, da der Compiler keine leeren Teile akzeptiert.

Neben diesem ist **NEXT SENTENCE** ein Schlüsselwort, das häufig in älterem Code zu finden sei, wie Herr Lamperstorfer bestätigte. Dieses kann dazu genutzt werden, um den aktuellen Sentence zu verlassen und mit der darauf folgenden Anweisung fortzufahren. Ein grundlegendes Problem, das sich mit Verwendung dieser Anweisung jedoch ergibt, ist, dass das in Abschnitt 4.1 angesprochene Punkt-Symbol mit Semantik belegt wird. So kann ein zusätzliches Sentence-Ende Zeichen den Programmfluss ändern. Zu beobachten ist die Verwendung von **NEXT SENTENCE** auch häufig zur Negation einer Bedingung, indem der **IF**-Zweig lediglich dieses Statement enthält und der **ELSE**-Zweig die Logik bei Nichtzutreffen der Bedingung enthält. Diese Konstrukte sollten daher vermieden werden und durch Negation mit **NOT** ausgedrückt bzw. anders ersetzt werden. Aus genannten Gründen ist dieses Schlüsselwort in GnuCOBOL standardmäßig verboten.

Seltener zu finden ist dagegen die **EXIT PERFORM**-Anweisung. Diese kann innerhalb von Schleifen dazu genutzt werden, um, wie mit einem **break** in Java, die umgebende Schleife zu verlassen oder durch **EXIT PERFORM CYCLE**, wie mit einem **continue** in Java, mit dem nächsten Schleifendurchlauf fortzufahren. Dies soll Listing 4.18 verdeutlichen.

```
1      IDENTIFICATION DIVISION.  
2      PROGRAM-ID. EXIT-PERFORM.  
3      DATA DIVISION.  
4      WORKING-STORAGE SECTION.  
5          01 NUM PIC 9(2).  
6  
7      PROCEDURE DIVISION.  
8          MAIN-PROCEDURE SECTION.  
9              PERFORM EXIT-PERFORM.  
10             PERFORM EXIT-PERFORM-CYCLE.  
11             STOP RUN.  
12  
13          EXIT-PERFORM SECTION.  
14              MOVE 0 TO NUM.
```

```
15         PERFORM VARYING NUM FROM 0 BY 1 UNTIL NUM = 10
16         EXIT PERFORM
17         DISPLAY "This is omitted!"
18     END-PERFORM.
19     DISPLAY NUM.
20
21     EXIT-PERFORM-CYCLE SECTION.
22     MOVE 0 TO NUM.
23     PERFORM VARYING NUM FROM 0 BY 1 UNTIL NUM = 10
24     EXIT PERFORM CYCLE
25     DISPLAY "This is omitted!"
26     END-PERFORM.
27     DISPLAY NUM.
28
29     END PROGRAM EXIT-PERFORM.
```



1	00
2	10

Listing 4.18: EXIT PERFORM in COBOL

Die Verwendung des **GO TO**-Befehls sollte in COBOL unterlassen werden und ist oftmals sogar durch projekt- oder unternehmensspezifische Vorgaben verboten ist, da ansonsten sehr schwer verständlicher und wartbarer Code entstehen kann. Eine Ausnahme dieses Verbotes stellt dabei das **GO TO** mit einem **EXIT**-Paragraphen (siehe Unterabschnitt 4.4.1) als Ziel dar. Dies ist nötig, da COBOL keinen Befehl wie das **return** in Java enthält, um die Ausführungskontrolle an die aufrufende Stelle zurückzugeben. Leider findet man in der Praxis oftmals Code, der **GO TO**-Befehle zur Steuerung des Ablaufs verwendet. Sogar Schleifenkonstrukte sind in älteren Programmen oft damit realisiert, worauf Herr Streit hinwies.

4.4.5 Ausnahmebehandlung

In modernen Sprachen sind Ausnahmebehandlungsmechanismen vorhanden, um die Steuerung des Kontrollflusses klar von der Fehlerbehandlung zu trennen. So wird zum einen eine übersichtlichere Implementierung erlaubt, aber auch erreicht, dass bereits

der Compiler auf Fehler hinweisen kann, die bei der Ausführung auftreten können bzw. gänzlich das Kompilieren bei ungenügender Fehlerbehandlung verweigert.

Java bietet dabei das Konzept der **Exceptions**. Diese lassen sich in sogenannte *checked* und *unchecked-Exceptions* unterteilen. Während *checked-Exception* stets einer ausreichenden Fehlerbehandlung oder Deklaration im Code bedürfen und ansonsten zu Fehlern des Kompiliervorgangs führen, können *unchecked-Exceptions* unbehandelt gelassen werden. Zur genauen Verwendungserklärung kann weiterführende Literatur wie *Java for COBOL programmers* [4] von Byrne und Cross herangezogen werden.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. IF-EXAMPLE.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5      01 NUM PIC 9(2).
6      01 TARGET-STRING PIC X(5).
7
8      PROCEDURE DIVISION.
9      MAIN-PROCEDURE SECTION.
10         ACCEPT NUM.
11         COMPUTE NUM = NUM * 2
12             ON SIZE ERROR DISPLAY "The value could not be doubled."
13             STOP RUN
14         END-COMPUTE.
15         DISPLAY "Doubled number: " NUM.
16
17         STRING 'This is a little too long' DELIMITED BY SIZE
18         INTO TARGET-STRING
19         ON OVERFLOW DISPLAY "The string is too long!".
20
21         STOP RUN.
22
23     END PROGRAM IF-EXAMPLE.

```

Listing 4.19: Rudimentäre Fehlerbehandlung in COBOL

COBOL bietet zur generellen Ausnahmebehandlung keine Methodik. Fehlerfälle müssen über Variablenwerte signalisiert, geprüft und entsprechend behandelt werden. Herr Streit wies darauf hin, dass eine ungenügende Prüfung hierbei zum kompletten Absturz des Programms führen kann. Jedoch ist es möglich, vordefinierte Fehler bei Berechnungen oder String-Zuweisungen abzufangen und darauf zu reagieren, wie Listing 4.19 zeigt. Dazu können **ON SIZE ERROR** und **ON OVERFLOW** genutzt werden.

4.4.6 Nebenläufigkeit

In Java ist es möglich und durchaus üblich, Programme nebenläufig zu entwickeln und ablaufen zu lassen. Das heißt, mehrere Threads arbeiten parallel und führen Verarbeitungen – je nach Hardware nur scheinbar – gleichzeitig aus. Dabei muss der Entwickler auf die Synchronisation von gemeinsam genutzten Speicherbereichen achten, um gültige Daten zu gewährleisten. Diese nebenläufige Programmierung birgt zwar ein gewisses Fehlerpotential bei der Implementierung, sorgt jedoch dafür, dass Logik tendenziell effizienter ausgeführt wird.

In COBOL ist diese nebenläufige Ausführung nicht möglich. Ein COBOL-Programm führt Verarbeitungsschritte stets sequenziell aus und erlaubt keine parallelen Ausführungen. Durch einen Transaktionsmonitor ist es jedoch möglich, dass verschiedene Programme gleichzeitig ausgeführt werden, die jedoch keine Kenntnis von anderen ausgeführten Programmen haben. Bei einem Transaktionsmonitor handelt es sich um eine Art Middleware, vergleichbar zu Application-Servern in Java, welche Anfragen entgegennimmt, dafür sorgt, dass Ressourcen geöffnet und aufgeräumt werden, auf Host-Systemen Terminal-Masken zur Verfügung stellt und entscheidet, wie viele und welche Programme parallel ausgeführt werden. Ein Beispiel hierfür ist das *Customer Information Control System*, kurz *CICS*. Um aus einem COBOL-Programm Teile des Transaktionsmonitors aufzurufen, gibt es Befehle wie `EXEC CICS`.

4.5 Funktionen, Unterprogramme und Rückgabewerte

Ein wichtiger Bestandteil von vielen Programmiersprachen sind Prozeduren und Funktionen. Dabei handelt es sich um Codeabschnitte, die von einer anderen Stelle aus aufgerufen werden können. Im Gegensatz zu Prozeduren, die bestimmte Verarbeitungsschritte durchlaufen, liefern Funktionen dabei noch zusätzlich einen Rückgabewert.

Java

In Java muss jede Anweisung Teil einer Funktion sein. Wie in Abschnitt 4.4 beschrieben startet ein Java-Programm mit der `main`-Methode. Die Unterscheidung zwischen Methoden und Prozeduren wird in Java gängigerweise nicht getroffen. Oft findet sich auch

die Bezeichnung Funktion. Java unterscheidet sich hier von manchen anderen modernen Sprachen, da es keine Methodenschachtelungen erlaubt.

```
1  public class MethodExample {  
2  
3      public void printGreeting(String greeting) {  
4          System.out.println(greeting);  
5      }  
6  
7      public String getGreeting(String firstName, String surname) {  
8          return String.format("Hello %s %s!", firstName, surname);  
9      }  
10  
11     public void process() {  
12         String greeting = getGreeting("Max", "Mustermann");  
13         printGreeting(greeting);  
14     }  
15 }
```

Listing 4.20: Methoden in Java

Listing 4.20 zeigt verschiedene Methoden. An diesem Beispiel sollen zwei wichtige Konzepte dargestellt werden:

- **Übergabe von Parametern**

Wie gezeigt, erhalten die Funktionen unterschiedliche Parameter. Die Methode `process()` zum Beispiel erhält keinen Parameter. `getGreeting(String, String)` erwartet hingegen zwei Parameter vom Typ `String`.

- **Rückgabe eines Wertes**

Eine Funktion muss stets den Typ ihres Rückgabewertes definieren. Soll kein Rückgabewert geliefert werden, ist der Typ als `void` zu definieren. Im Gegensatz zu anderen Sprachen kann eine Methode in Java lediglich einen Wert zurückliefern.

Der Aufruf einer Funktion erfolgt, wie in Zeile 12 gezeigt, mittels Methodennamen und den zu übergebenden Parametern. Außerdem zeigt sich, dass Funktionen mithilfe des `return`-Statements **einen** Rückgabewert an die aufrufende Funktion zurückgeben können. Ein `return` kann auch dazu benutzt werden, um Funktionen an anderen Stellen als der letzten Zeile zu verlassen. Eine Funktion ohne Rückgabewert – `void` – terminiert implizit in der letzten Zeile und benötigt kein explizites `return`, kann dieses jedoch

auch ohne Rückgabewert nutzen, um vorher den Funktionsablauf zu beenden. Eine Methode mit Rückgabewert muss stets einen Wert mit passendem Datentyp durch **return** zurückgeben.

```
1  public class RecursionExample {  
2  
3      public static int facultyRecursive(int number) {  
4          if (number <= 1)  
5              return 1;  
6          return number * facultyRecursive(number - 1);  
7      }  
8  
9      public static int facultyIterative(int number) {  
10         int product = 1;  
11         while (number > 1) {  
12             product = product * number;  
13             number--;  
14         }  
15         return product;  
16     }  
17 }
```

Listing 4.21: Rekursion in Java

Eine elegante Möglichkeit, die sich mit Funktionen in Java bietet, ist die Rekursion. Dabei handelt es sich um eine Funktion, die sich selbst aufruft. In Java begegnet man rekursiven Implementierungen selten, obwohl diese, im Gegensatz zu iterativen Ansätzen, oft eleganter und durch weniger Code formuliert werden könnten. Auf der anderen Seite ist die iterative Implementierung jedoch sicherer, da rekursive Varianten unter Umständen an die nicht fest definierte Grenze der maximalen Rekursionstiefe gelangt. Die Funktionen `facultyRecursive` und `facultyIterative` in Listing 4.21 berechnen die Fakultät einer übergebenen Zahl rekursiv bzw. iterativ.

COBOL

Das Konzept einer Funktion existiert in COBOL nicht. Lediglich das Aufrufen einer Section oder eines Paragraphs mithilfe eines **PERFORM** geben ansatzweise ähnliche Möglichkeiten und können daher als Vergleich herangezogen werden. Jedoch können dabei weder Parameter übergeben noch ein Wert zurückgeliefert werden. Darum ist es

nötig, Werte, die innerhalb einer Section verwendet oder zurückgeliefert werden sollen, in Variablen zu kopieren. Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, sind diese Variablen jedoch immer global innerhalb eines Programms definiert.

Oft bringt das allerdings Probleme mit sich. Zum Beispiel werden in der Praxis oft Variablen, die für etwas anderes gedacht sind, an einer anderen Stelle wiederverwendet. So ist nicht ganz klar, welchen Zweck Variablen erfüllen. Ein weiterer großer Nachteil ist, dass Logik oftmals kopiert und sehr ähnlich nochmals geschrieben werden muss, um auf anderen Daten zu operieren.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. FACULTY RECURSIVE.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 WS-NUMBER PIC 9(4) VALUE 5.
7          01 WS-PRODUCT PIC 9(4) VALUE 0.
8      LOCAL-STORAGE SECTION.
9          01 LS-NUMBER PIC 9(4).
10
11     PROCEDURE DIVISION.
12         IF WS-NUMBER = 0
13             MOVE 1 TO WS-PRODUCT
14         ELSE
15             MOVE WS-NUMBER TO LS-NUMBER
16             COMPUTE WS-NUMBER = WS-NUMBER - 1
17             CALL "FACULTY"
18             COMPUTE WS-PRODUCT = LS-NUMBER * WS-PRODUCT
19         END-IF.
20         IF LS-NUMBER = 5
21             DISPLAY WS-PRODUCT
22         END-IF.
23         GOBACK.
24
25     END PROGRAM FACULTY.

```

Listing 4.22: Rekursion in COBOL

Rekursive **PERFORM**-Aufrufe sind zwar syntaktisch möglich, jedoch führt die Ausführung zu einem undefinierten Verhalten des Programms und ist deshalb in jedem Fall zu unterlassen. Es kann quasi festgehalten werden, dass Rekursionen innerhalb eines Programms in COBOL nicht möglich sind. Anders sieht es dabei mit gesamten Programmen aus.

Listing 4.22 enthält analog zu gezeigtem Java-Beispiel auch ein Programm, welches rekursiv die Fakultät einer Zahl errechnet und ausgibt. Wichtig ist hierbei vorallem die **RECURSIVE** Definition hinter dem Programmnamen in Zeile 2. Die **WORKING-STORAGE**

SECTION enthält dabei Variablen, welche von jeder Instanz des rekursiv aufgerufenen Programms gemeinsam genutzt werden. In **LOCAL-STORAGE SECTION** finden sich Variablen, deren Gültigkeitsbereich sich auf die aktuelle Aufrufinstanz beschränken.

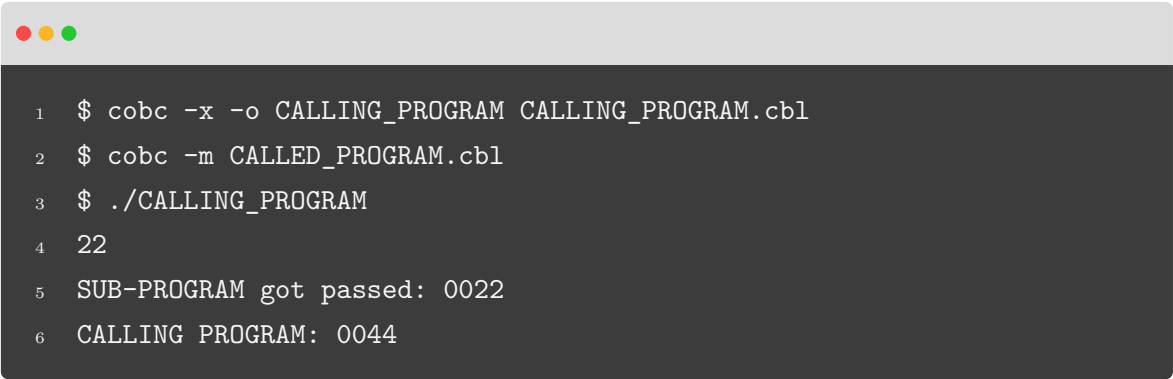
In COBOL ist es möglich, eigenständige Unterprogramme aufzurufen. Wie bereits in Abschnitt 4.1 erläutert, dient die **LINKAGE SECTION** dazu, im Unterprogramm zu definieren, welche Variablen übergeben werden. Mithilfe der **CALL**-Anweisung, des Programmnamens und der Angabe von Variablennamen kann dieses Unterprogramm aufgerufen und die Werte übergeben werden. Wie in Abschnitt 3.3 kann die Angabe des Programmnamens auch pseudo-variabel geschehen, um ein statisches Linken der Programmteile zu vermeiden.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. CALLING_PROGRAM.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5          01 SUB-PROGRAM-PARAMS.
6              05 INPUT-NUMBER PIC 9(4).
7              05 RET-VALUE PIC 9(4).
8
9      PROCEDURE DIVISION.
10     MAIN-PROCEDURE.
11         ACCEPT INPUT-NUMBER.
12         CALL "CALLED_PROGRAM" USING SUB-PROGRAM-PARAMS.
13         DISPLAY "CALLING PROGRAM: " RET-VALUE.
14         STOP RUN.
15
16     END PROGRAM CALLING_PROGRAM.
```

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. CALLED_PROGRAM.
3      DATA DIVISION.
4      LINKAGE SECTION.
5          01 SUB-PROGRAM-PARAMS.
6              05 INPUT-NUMBER PIC 9(4).
7              05 RET-VALUE PIC 9(4).
8
9      PROCEDURE DIVISION USING SUB-PROGRAM-PARAMS.
10     MAIN-PROCEDURE.
11         DISPLAY "SUB-PROGRAM got passed: " INPUT-NUMBER.
12         COMPUTE RET-VALUE = INPUT-NUMBER * 2.
13         GOBACK.
14
15     END PROGRAM CALLED_PROGRAM.
```

A terminal window with a dark background and light text. It shows the compilation of two COBOL programs, CALLING_PROGRAM and CALLED_PROGRAM, followed by the execution of CALLING_PROGRAM. The output shows the value 22 and the message 'SUB-PROGRAM got passed: 0022'.

Listing 4.23: Unterprogramme in COBOL

Listing 4.23 zeigt den Aufruf eines Unterprogramms und die Übergabe von Parametern. Diese Parameter werden per Referenz übergeben. Das heißt, dass Unterprogramme stets auf den gleichen Speicherbereich zugreifen wie das ursprüngliche Programm und so auch dessen Daten verändern. Dies gilt es zu beachten, da dadurch ungewünschte Seiteneffekte oder gar Fehler auftreten können. Das Definieren eines Rückgabewertes in einem Unterprogramm ist nicht möglich. Soll ein Rückgabewert im aufgerufenen Programm gesetzt werden, so ist dieser innerhalb der übergebenen Datenstruktur zu setzen, auf die auch das aufrufende Programm Zugriff hat. In Java sind diese Aufrufe von Unterprogrammen weitestgehend mit klassenübergreifenden Methodenaufrufen zu vergleichen.

4.6 Dateien

Wie in Abschnitt 3.6 beschrieben wurde, stellen oftmals auch Dateien eine wichtige Datenressource dar. Der Umgang – das Lesen und Schreiben – mit Dateien in Java und COBOL wird nachfolgend erläutert und gegenübergestellt.

Dateien in Java

Java bietet bereits mit Bibliotheksfunktionen des JDK umfangreiche Möglichkeiten, Dateien zu lesen und zu schreiben. Dies geschieht dabei in der Regel zeilenweise, wobei auch byte- bzw. zeichenweises Lesen möglich ist. Das Beispiel Listing 4.24 zeigt dabei zusätzlich die Verwendung der Klasse `InputStream`. Diese sorgt dafür, dass die Datei nicht auf einmal in den Speicher geladen wird, sondern nur die gelesenen Daten im Speicher gehalten werden. Dies ist essenziell, um große Dateien zu lesen, da der Speicher des Systems ohne eine solche Methodik möglicherweise nicht ausreichend wäre, um die gesamte Datei zu speichern und so eine `Exception` auftreten würde.

```
1  import java.io.BufferedReader;
2  import java.io.BufferedWriter;
3  import java.io.IOException;
4  import java.io.InputStream;
5  import java.io.InputStreamReader;
6  import java.nio.charset.Charset;
7  import java.nio.charset.StandardCharsets;
8  import java.nio.file.FileSystems;
9  import java.nio.file.Files;
10 import java.nio.file.Path;
11
12 public class FileInputOutput {
13
14     private final static Path filePath =
15         ↪ FileSystems.getDefault().getPath("file.txt");
16
17     public static void main(String... args) {
18         writeFile();
19         readFile();
20     }
21
22     private static void writeFile() {
23         String s = "I'm getting written to the File\n";
24
25         try (BufferedWriter writer =
26             Files.newBufferedWriter(filePath, StandardCharsets.UTF_8)) {
27             writer.write(s, 0, s.length());
28         } catch (IOException x) {
29             System.err.format("IOException: %s\n", x);
30         }
31     }
```

```

32     private static void readFile() {
33         try (InputStream in = Files.newInputStream(filePath);
34             BufferedReader reader = new BufferedReader(new
35                 ↳ InputStreamReader(in))) {
36             String line = null;
37             while ((line = reader.readLine()) != null) {
38                 System.out.println(line);
39             }
40         } catch (IOException x) {
41             throw new RuntimeException(x);
42         }
43     }

```

Listing 4.24: Datei-Ein- und Ausgabe in Java [18]

In Java sind darüber hinaus viele Bibliotheken erhältlich, die das Parsen von bestimmten, standardisierten Dateiformaten erleichtern können. Jedoch erfordert es ohne diese Bibliotheken stets eigene Implementierungen, da das JDK nicht viel mehr als die gezeigten Abstraktionen und Möglichkeiten bietet.

Dateien in COBOL

In COBOL hingegen wird der Zugriff auf Dateien auf Basis sogenannter *Records* bewerkstelligt. Dies entspricht weitestgehend dem gezeigten Java-Beispiel, jedoch hat der Entwickler hier die Möglichkeit zu definieren, wie eine Zeile der Datei aufgebaut ist. Dies setzt zwar voraus, dass der Dateiinhalt in einer Art Tabelle formatiert ist, sorgt allerdings dafür, dass kein Mehraufwand beim Parsen nötig ist.

1	26	Monika Hofmann
2	21	Marc Bauer
3	45	Sophia Maier

Listing 4.25: Ein- bzw. Ausgabedatei recordFile.txt

```

1      01 PERSON.
2          88 EOF VALUE HIGH-VALUES.
3          05 AGE PIC 9(3).
4          05 FILLER PIC X.
5          05 FIRSTNAME PIC X(9).
6          05 FILLER PIC X.
7          05 SURNAME PIC X(7).

```

Listing 4.26: Personendaten Copybook

Listing 4.25 zeigt den Aufbau der zu verarbeitenden Datensätze, die in Listing 4.26 als COBOL Struktur definiert sind. Listing 4.28 und Listing 4.27 beinhalten Sections, die die Datei-Ein- bzw. Ausgabe bewerkstelligen. Diese werden durch den **COPY** Befehl in Listing 4.29 eingebunden und genutzt. Zeile 8 spezifiziert dabei, dass es sich um eine Datei handelt, deren Einträge durch einen Zeilenvorschub getrennt sind. Im Gegensatz dazu kann man den Aufbau als **ORGANIZATION IS RECORD SEQUENTIAL** bzw. **ORGANIZATION IS SEQUENTIAL** definieren oder weglassen, da dies dem Standard entspricht, was bedeutet, dass die Einträge nicht voneinander abgetrennt sind. Dies wäre gleichbedeutend mit dem Entfernen der Zeilenumbrüche in Listing 4.25.

```

1      WRITE-FILE SECTION.
2          DISPLAY "Write to file:".
3          OPEN EXTEND RecordFile.
4          DISPLAY "AGE FIRSTNAME SURNAME"
5          ACCEPT PERSON.
6          WRITE PERSON.
7          CLOSE RecordFile.

```

Listing 4.27: Dateien schreiben in COBOL (vgl. [28])

```

1      READ-FILE SECTION.
2          DISPLAY "Read from file:".
3          OPEN INPUT RecordFile.
4          PERFORM UNTIL EOF
5              READ RecordFile AT END SET EOF TO TRUE
6          END-READ
7          IF EOF EXIT PERFORM CYCLE
8          END-IF
9              DISPLAY "Age: " AGE SPACE "Name: " SURNAME ", " FIRSTNAME
10         END-PERFORM.
11         CLOSE RecordFile.

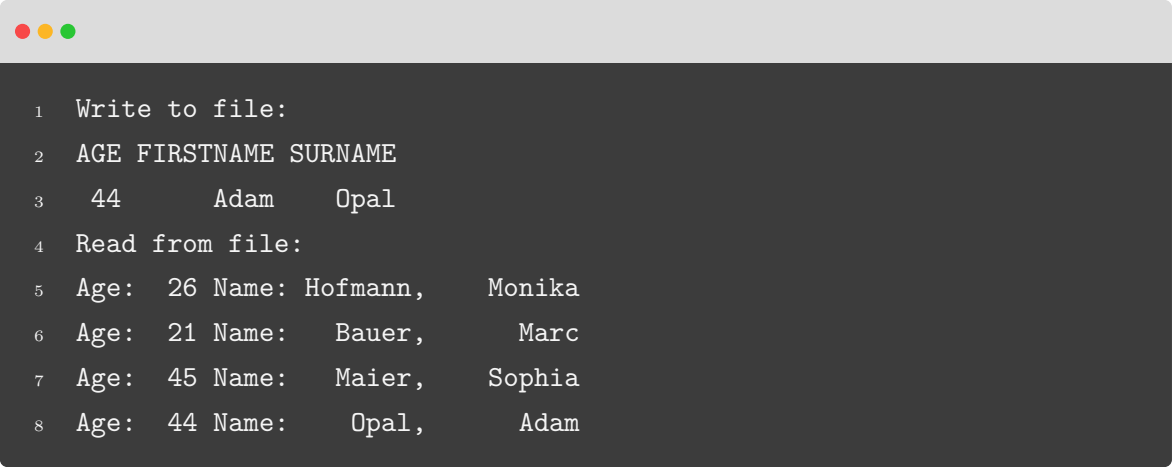
```

Listing 4.28: Dateien lesen in COBOL (vgl. [28])

Mit relativer Dateiorganisation – **ORGANIZATION IS RELATIVE** – und anderen Zugriffsmodi wie **ACCESS MODE IS RANDOM** lassen sich auch nicht-sequenzielle Dateizugriffe, beispielsweise über Record-Indizes, realisieren.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. FILES.
3      ENVIRONMENT DIVISION.
4      INPUT-OUTPUT SECTION.
5      FILE-CONTROL.
6      SELECT RecordFile ASSIGN TO "recordFile.txt"
7          ORGANIZATION IS LINE SEQUENTIAL.
8
9      DATA DIVISION.
10     FILE SECTION.
11     FD RecordFile.
12     COPY "PersonData".
13
14     PROCEDURE DIVISION.
15     MAIN-PROCEDURE.
16         PERFORM WRITE-FILE.
17         PERFORM READ-FILE.
18         STOP RUN.
19
20     COPY "WRITE_FILE".
21     COPY "READ_FILE".
22
23     END PROGRAM FILES.
```



```

1 Write to file:
2 AGE FIRSTNAME SURNAME
3 44      Adam      Opal
4 Read from file:
5 Age:  26 Name: Hofmann,    Monika
6 Age:  21 Name:  Bauer,      Marc
7 Age:  45 Name:  Maier,      Sophia
8 Age:  44 Name:   Opal,      Adam
```

Listing 4.29: Datei-Ein- und Ausgabe in COBOL (vgl. [28])

4.7 Generische Programmierung

Moderne Programmiersprachen wie Java oder C# erlauben eine Programmierung mit sogenannten *Generics*. Dabei handelt es sich um ein Konzept, bei dem Variablentypen generisch sein können, solange sie bestimmte Eigenschaften erfüllen. Diese Eigenschaften werden durch das Implementieren eines bestimmten Interfaces oder durch das Erben von einer bestimmten Klasse beschrieben. Dies soll Listing 4.30 verdeutlichen. Hieran wird auch deutlich, dass sowohl für Interfaces als auch für Oberklassen stets das Schlüsselwort **extends** verwendet werden muss.

In diesem Beispiel werden die drei generischen Typen *S*, *T* und *U* verwendet. *T* muss dabei die Eigenschaft erfüllen, das **Serializable** Interface zu implementieren. *S* muss eine Unterklasse von **Number** sein. Für *U* hingegen wird keine bestimmte Eigenschaft definiert. Das bedeutet, dass jede Klasse, die von der Klasse **Object** erbt – in Java **jede** Klasse – verwendet werden kann.

Eine weitere Eigenschaft, die gezeigt werden soll, ist, dass es sowohl generische Klassen als auch generische Methoden geben kann. Generische Typen, die für eine Klasse definiert sind, stehen in der gesamten Klasse zur Verfügung, müssen jedoch bereits beim instanziiieren festgelegt werden. Generische Methoden hingegen definieren generische Typen nur für den eigenen Scope.

```

1  import java.io.Serializable;
2
3  public class GenericExample {
4
5      public static void main(String... args) {
6          GenericClass<Exception, Float> genericObject = new
              ↳ GenericClass<>();
7
8          genericObject.decorate(genericObject);
9      }
10
11     static class GenericClass<T extends Serializable, S extends Number> {
12
13         T serializableObject;
14         S someNumber;
15
16         public <U> String decorate(final U someObject) {
17             return "~" + someObject.toString() + "~";

```



```
18         }  
19     }  
20  
21 }
```

Listing 4.30: Generics in Java

Dieses Konzept sorgt dafür, dass Algorithmen implementiert und als Bibliotheken bereitgestellt werden können, ohne Kenntnis über die tatsächlich verwendeten Datentypen zu haben, was die in Abschnitt 3.3 angesprochenen Modularisierungsmöglichkeiten unterstützt. Beispielsweise kann ein Sortieralgorithmus implementiert werden, welcher generische Objekte entgegennimmt, die das `Comparable`-Interface – ein Java Interface, welches dafür sorgt, dass zwei Objekte in eine Größenbeziehung gesetzt werden können – implementieren. Folglich können mit diesem Algorithmus alle Objekte sortiert werden, die das Interface implementieren. Dieses Konzept ist in der objektorientierten Programmierung grundlegend und trägt maßgeblich zur Wiederverwendung und Kapselung bei.

COBOL hingegen unterstützt keine generischen Datentypen, was, wie in Abschnitt 3.3 gezeigt, deutlich weniger Möglichkeiten zur Wiederverwendung und Modularisierung mithilfe von Bibliotheken zur Folge hat.

4.8 Konventionen

Da in umfangreichen Softwareprojekten oft eine Vielzahl von Entwicklern tätig ist und sich das Entwicklerteam auch über die Zeit ändern kann, ist es nötig, dass alle Entwickler einen ähnlichen Stil verfolgen, sodass das Zurechtfinden innerhalb des Codes eines anderen Programmiers erleichtert wird. Diese Konventionen können zwar auch auf Projektebene festgelegt werden, jedoch entwickeln sich in Programmiersprachen oft Konventionen, die sich projekt-, personen- und unternehmensunabhängig etablieren. In diesem Kapitel werden die wichtigsten dieser Konventionen beschrieben.

Groß- und Kleinschreibung

Beim Programmieren wird oftmals Groß- und Kleinschreibung verwendet, um ein höheres Maß an Struktur und Lesbarkeit des Codes zu erreichen.

Java ist »case-sensitive«, d.h. es wird zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterschieden, während COBOL »case-insensitive« ist, folglich – außer in Strings – keinen Unterschied macht. In Java ist es üblich, Methodennamen und veränderbare Variablen mit einem kleinen Buchstaben beginnend zu benennen. Besteht der Name aus mehreren Wörtern, so wird dieser im »CamelCase« geschrieben, was bedeutet, dass stets Großbuchstaben für den Beginn eines neuen Wortes verwendet werden. Beispiele hierfür wären `getAdditionalData()` oder `int currentAmountOfMoney`. Klassennamen werden in selbigem Muster geschrieben, beginnen jedoch mit einem Großbuchstaben: `ToolBox`. Konstante Variablen und Werte innerhalb eines Aufzählungstyps sollten durchgehend aus Großbuchstaben bestehen, wobei einzelne Wörter mit einem Unterstrich voneinander getrennt werden (`final int MULTIPLY_FACTOR = 2`).

COBOL hingegen unterscheidet bei Variablennamen und Schlüsselwörtern nicht zwischen Groß- und Kleinschreibung. Es ist jedoch üblich, sowohl Schlüsselwörter als auch Variablennamen komplett groß zu schreiben. Dies rührt daher, dass COBOL aus der Lochkartenzeit stammt, die meist lediglich Großbuchstaben im Zeichensatz hatten. Auch frühe Host-Systeme, auf denen COBOL entwickelt und ausgeführt wurden, arbeiteten meist nur mit Großschreibung, sodass Programme auch über die Zeit hinweg nur so geschrieben wurden.

Affixe

Ein weiteres wichtiges Werkzeug bei der Strukturierung von Programmcode ist das Versehen mit Affixen (Prä- oder Suffixen).

In Java ist es nicht ratsam, Affixe zu verwenden. Da diese jedoch in einigen bestehende Codebasen Verwendung finden, werden im Folgenden die üblichsten behandelt. Oftmals werden Interfaces in Java mit einem vorangestellten »I« gekennzeichnet. Diese Konvention sorgt jedoch dafür, dass Implementierungen eines Interfaces namentlich nicht immer klar abgegrenzt und definiert sind. Wird beispielsweise ein Interface `IOutput` definiert, so könnten valide Implementierungen `ConsoleOutput` oder `PrinterOutput` sein. Jedoch

erlaubt dies namentlich auch die Interface-Implementierung namens `Output`, bei der nicht ausreichend klar ist, welchen Zweck diese Klasse erfüllt.

Ein weiterer Codingstil, der gelegentlich angewendet wird, ist das Nutzen von »m« und »s« als Präfix von Variablen. Diese sollen kennzeichnen, dass eine Variable entweder Instanzvariable (**m**ember) oder statisch (**s**tatic) ist. Durch die Verwendung von modernen IDEs, die beide farblich unterschiedlich darstellen, und des Schlüsselwortes **this**, welches exakt für Referenzen auf Instanzvariablen gedacht ist, werden Variablen jedoch bereits ausreichend gekennzeichnet, sodass der Code durch die Verwendung dieser Präfixe unnötigerweise schwerer lesbar gemacht wird.

In COBOL ist es in der Praxis dagegen sehr sinnvoll, Affixe zu verwenden. Da es nicht möglich ist, lokale Variablen zu definieren, erlauben diese, schnell und übersichtlich kenntlich zu machen, welche Variablen zu welchem Programmteil gehören. Dabei handelt es sich um eine Best-Practice-Methode, um den Code verständlicher und leichter lesbar zu machen, wie Herr Streit im Fachinterview betonte, auch wenn in der Praxis oftmals darauf verzichtet wird.

So kann man den Namen einer Section oder eines Paragraph mit einem Präfix versehen und auch die darin genutzten Variablen damit kennzeichnen. Beispielsweise sollte eine Variable **PC-100-VALUE** nur in der Section **PC-100-PROCESS** verwendet werden.

Oft finden sich in bestehendem Code auch Präfixe, welche die Art des Speichers – z. B. **WS-** für **WORKING-STORAGE** – kennzeichnen. Eine Benennung nach den genutzten Programmteilen ist jedoch vorzuziehen und sorgt für klarere Struktur und Lesbarkeit.

In COBOL ist jedoch Vorsicht geboten, da, vor allem in alten Systemen, die Zeichenzahl von Datei-, Programm- und Variablennamen Begrenzungen unterliegt. So ist es nicht unüblich, dass beispielsweise lediglich 8 Stellen für Dateinamen zur Verfügung stehen, was eine sinnvolle Benennung erheblich erschwert. Dies ist auch ein Grund dafür, dass Affixe seltener beobachtbar sind, als sie sein sollten.

Schlüsselwörter

In COBOL ist es möglich, bestimmte Schlüsselwörter zu verkürzen. Dabei kann jedoch nicht beliebig gekürzt werden. Es sind lediglich weitere Schlüsselwörter mit selber Funktion definiert, die genutzt werden können. Ein Beispiel dafür ist die **PICTURE-**

Anweisung, die auch als **PIC** geschrieben werden kann. Dabei handelt es sich zwar nicht um eine Konvention im eigentlichen Sinne, jedoch findet sich in der Praxis oftmals COBOL-Code, der gekürzte Schlüsselwörter verwendet.

In Java ist ein Verkürzen von Schlüsselwörtern hingegen nicht möglich.

Formatierung des Quelltextes

Neben den in Abschnitt 4.1 beschriebenen fest vorgegebenen strukturellen Eigenschaften von Java- und COBOL-Programmen, lassen sich auch Konventionen beschreiben, die das Formatieren des Quelltextes betreffen.

Für COBOL und Java gilt hierbei gleichermaßen, dass pro Zeile genau ein Statement stehen sollte. Alles innerhalb eines Blocks – eine oder mehrere untergeordnete Anweisungen – werden konventionell um einen Tabulatorsprung eingerückt. Außerdem sollten zwischen Blöcken und Anweisungen Leerzeilen eingefügt werden, die die Lesbarkeit erhöhen. In COBOL ist jedoch bei der Einrückung das bereits beschriebene Spaltenprinzip zu beachten.

4.9 Weitere Sprachkonzepte

4.9.1 Benannte Bedingungen

Neben den bereits angesprochenen Stufennummern stellt die *88* eine weitere Besonderheit in COBOL dar. Mit ihr ist es möglich, einer Variable einen Wahrheitswert zuzuweisen, der von einem anderen Variablenwert abhängt. Es entsteht eine sogenannte benannte Bedingung.

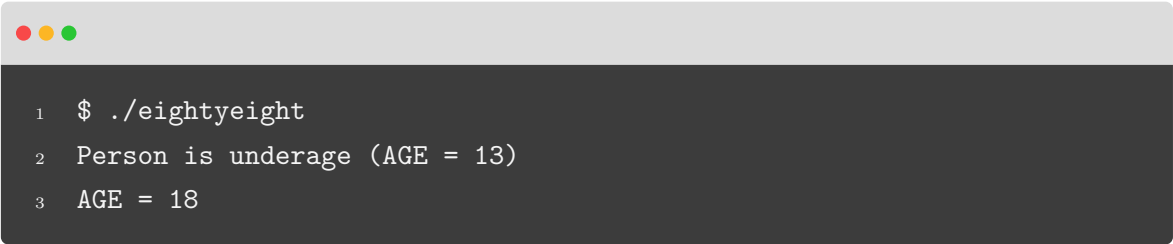
Listing 4.31 zeigt die Verwendung der Stufennummer 88. Die Variable **AGE** kann dabei zweistellige numerische Werte enthalten, die einem beispielhaften Alter entsprechen, welches zu Beginn mit 13 vorbelegt wird. Liegt der Wert zwischen 0 und 17 (**VALUE 0 THRU 17**), so weisen die Variablen **ISUNDERAGE** den Wahrheitswert **TRUE** und **ISADULT** den Wahrheitswert **FALSE** auf.

Der so entstandene Wahrheitswert kann folglich immer dann verwendet werden, wenn überprüft werden soll, ob die Variable `AGE` im Bereich zwischen 0 und 17 bzw. zwischen 17 und 99 liegt, sprich getestet werden, ob das Alter einer minder- oder volljährigen Person entspricht.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. EIGHTYEIGHT.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 AGE PIC 9(2) VALUE 13.
7              88 ISUNDERAGE VALUE 0 THRU 17.
8              88 ISADULT VALUE 18 THRU 99.
9
10     PROCEDURE DIVISION.
11     MAIN.
12         IF ISUNDERAGE THEN
13             DISPLAY 'Person is underage (AGE = 'AGE')'
14         ELSE
15             DISPLAY 'Person is adult'
16         END-IF.
17         SET ISADULT TO TRUE
18         DISPLAY 'AGE = ' AGE.
19         STOP RUN.
20
21     END PROGRAM EIGHTYEIGHT.

```



```

1 $ ./eightyeight
2 Person is underage (AGE = 13)
3 AGE = 18

```

Listing 4.31: Beispiel für COBOL Stufennummer 88

Zeile 14 des Programms illustriert einen weiteren Anwendungsfall der benannten Bedingungen. So lässt sich der Wert der eigentlichen Variable setzen, indem der bedingten Variable der Wahrheitswert `TRUE` zugewiesen wird. Das Ergebnis dieser Zuweisung wird in der Ausgabe von Listing 4.31 in Zeile 3 dargestellt. Zu beachten ist hierbei, dass die meisten COBOL-Compiler nur das Setzen des Wertes `TRUE` erlauben.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. VALUE-DEFAULT.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 ERROR-MESSAGE PIC X(50) VALUE SPACE.
7              88 FIRST-ERROR VALUE "The first error occurred!".
8              88 SECOND-ERROR VALUE "The second error occurred!".
9              88 THIRD-ERROR VALUE "The third error occurred!".
10
11     PROCEDURE DIVISION.
12     MAIN.
13         SET SECOND-ERROR TO TRUE.
14         DISPLAY ERROR-MESSAGE.
15         STOP RUN.
16
17     END PROGRAM VALUE-DEFAULT.

```

Listing 4.32: Setzen von Werten mithilfe benannter Bedingungen

Dieses Verhalten kann dazu genutzt werden, um Variablen mit bestimmten Werten zu belegen. Dieses Verhalten beschreibt Listing 4.32. Oftmals fungieren diese bedingten Bedingungen auch als Schalter bzw. Flags, d. h. je nach Wert werden unterschiedliche Funktionalitäten ausgeführt.

Abbildung in Java

Java besitzt kein Sprachkonstrukt, um die Funktionalität der Stufennummer 88 direkt nachzubilden. Eine Möglichkeit, gleiches Verhalten darzustellen bietet allerdings die Implementierung spezieller Methoden. Dies soll Listing 4.33 veranschaulichen.

```

1      public class EightyEight{
2
3          public static void main(String[] args) {
4              AgeCheck ageCheck = new AgeCheck();
5              printAgeInformation(ageCheck);
6              ageCheck.setAge(18);
7              printAgeInformation(ageCheck);
8          }
9
10         public static void printAgeInformation(AgeCheck ageCheck)

```

```
11     {
12         System.out.println(
13             String.format(
14                 "Age %s is %s!",
15                 ageCheck.getAge(),
16                 ageCheck.isAdult() ? "adult":"underage"
17             )
18         );
19     }
20
21     static class AgeCheck
22     {
23         private int age;
24
25         public AgeCheck() {
26             age = 13;
27         }
28
29         public void setAge(int newAge) {
30             age = newAge;
31         }
32
33         public int getAge() {
34             return age;
35         }
36
37         public boolean isUnderage() {
38             return (0 <= age && age <= 17);
39         }
40
41         public boolean isAdult() {
42             return (age >= 18);
43         }
44     }
45 }
```

Listing 4.33: Bedingte Werte in Java

Die Methoden `isUnderage` und `isAdult` geben einen Wahrheitswert in Abhängigkeit des Variablenwertes zurück. Die Funktion `setAge` setzt wiederum das Alter.

```
1  public class ValueSet {
2
3      enum ErrorMessage {
4          FIRST_ERROR("The first error occurred!"),
5          SECOND_ERROR("The second error occurred!"),
6          THIRD_ERROR("The third error occurred!");
7
8          private String message;
9
10         private ErrorMessage(String message){
11             this.message = message;
12         }
13
14         String getMessage(){
15             return this.message;
16         }
17     }
18
19     public static void main(String[] args) {
20         ErrorMessage errorMessage = ErrorMessage.SECOND_ERROR;
21         System.out.println(errorMessage.getMessage());
22     }
23 }
```

Listing 4.34: Setzen eines konstanten Wertes mit einem Enum in Java

Der Anwendungsfall, dass eine benannte Bedingung in COBOL verwendet wird, um bestimmte Werte zu setzen, lässt sich in Java am elegantesten über Aufzählungstypen – **enum** – realisieren. Wie der Typ `ErrorMessage` in Listing 4.34 zeigt, setzt jeder einzelne konstante Wert des Aufzählungstypen eine eigene Fehlernachricht, welche anschließend über die `getMessage`-Funktion verfügbar ist.

4.9.2 Mehrfachverzweigungen

Ein wichtiges Konstrukt, um den Programmfluss eines Programms zu steuern, sind Mehrfachverzweigungen. Obwohl sowohl Java als auch COBOL Mehrfachverzweigungen bieten, sind diese doch leicht unterschiedlich zu verwenden. Im Folgenden sollen verschiedene Verwendungsmöglichkeiten der jeweiligen Konstrukte dargestellt werden.

In Java bildet das **switch-case**-Konstrukt eine Mehrfachverzweigung ab. Listing 4.35 zeigt dabei die wichtigsten Verwendungsmöglichkeiten.

```
1  public class MyCalendar {  
2  
3      public void printMonthDays(int month)  
4      {  
5          switch(month){  
6              case 1: case 3: case 5: case 7:  
7                  case 8: case 10: case 12:  
8                      System.out.println("This Month has 31 days.");  
9                      break;  
10             case 2:  
11                 System.out.println("This Month has 28 or 29 days.");  
12                 break;  
13             case 4: case 5: case 9: case 11:  
14                 System.out.println("This Month has 30 days.");  
15                 break;  
16             default:  
17                 System.out.println("Month is not valid");  
18                 break;  
19         }  
20     }  
21 }
```

Listing 4.35: Mehrfachverzweigungen in Java

Zum einen ist zu beachten, dass Werte nur mit Literalen und Konstanten verglichen werden können. Ein Vergleich einer Variablen mit einer weiteren ist hierbei nicht zulässig, solange diese nicht als **final** deklariert ist. Auch der Vergleich auf bestimmte Wertebereiche oder nicht-primitive Datentypen ist nicht zulässig (Seit Java 7 sind Vergleiche mit String-Literalen möglich).

Jedoch ist ein gewolltes »Durchfallen« möglich, um bei verschiedenen Werten die gleichen Programmzweige zu durchlaufen. Dabei spielt das Schlüsselwort **break** eine entscheidende Rolle. Wird kein **break** am Ende einer **case**-Anweisung verwendet, so wird automatisch in den ausführbaren Block der darauffolgenden **case**-Anweisung gesprungen. Dies zeigt sich in den Zeilen 6–9 und 17f. von Listing 4.35. Die Verwendung der **break**-Anweisung wird hingegen in den Zeilen 11, 15 und 20 genutzt, um den **switch**-Block zu verlassen.

Das Fehlen eines **break** kann in der Praxis schnell zu unerwünschtem und unerklärlichem Verhalten führen. Deshalb folgt in der Regel jedem **case** ein **break**.

Das Pendant in COBOL stellt das Schlüsselwort **EVALUATE** dar. Wenngleich es den gleichen Sinn wie das **switch-case**-Konstrukt in Java erfüllen soll, ist es vielseitiger einsetzbar, wie die folgenden Beispiele illustrieren sollen. Listing 4.36 und Listing 4.37 sind hierbei semantisch gleich, obwohl das **EVALUATE**-Konstrukt jeweils leicht anders verwendet wird.

Das folgende Listing 4.36 führt die Verwendungsmöglichkeit an, die dem **switch-case**-Konstrukt in Java am nächsten kommt. Nach dem **EVALUATE**-Schlüsselwort werden Variablennamen angegeben, deren Werte anschließend in einer **WHEN**-Bedingung betrachtet werden sollen.

Auch hier sieht man in den Zeilen 14, 17, 20, 23 ein gewolltes »Durchfallen« wie in Java. Einziger Unterschied hierbei ist, dass in COBOL jeder ausführbare Block nach einem **WHEN** eigenständig ist somit kein **break** notwendig ist. Ein »Durchfallen« ist nur möglich, wenn der komplette Anweisungsblock leer ist.

Der **OTHER**-Zweig entspricht in COBOL dem aus Java bekannten **default**. Dieser Zweig wird ausgeführt, wenn die Kriterien keines anderen zutreffen.

Die erste Besonderheit, die Listing 4.36 illustrieren soll, ist das Testen von jeweils zwei Bedingungen. Dies geschieht mithilfe des **ALSO**-Schlüsselworts. Während in Java lediglich die Evaluation einer einzelnen Bedingung möglich ist, erlaubt COBOL die Überprüfung beliebig vieler Kriterien.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. SWITCH-CASE-EVALUATE.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 AGE PIC 9(3).
7          01 SEX PIC X(1).
8
9      PROCEDURE DIVISION.
10     MAIN.
11         ACCEPT AGE.
12         ACCEPT SEX.
13         EVALUATE AGE ALSO SEX
14             WHEN 0 THRU 17 ALSO "M"
15             WHEN 0 THRU 17 ALSO "m"
16             DISPLAY "Underage boy"

```

```

17         WHEN 0 THRU 17 ALSO "F"
18         WHEN 0 THRU 17 ALSO "f"
19             DISPLAY "Underage girl"
20         WHEN 17 THRU 99 ALSO "M"
21         WHEN 17 THRU 99 ALSO "m"
22             DISPLAY "Adult man"
23         WHEN 17 THRU 99 ALSO "F"
24         WHEN 17 THRU 99 ALSO "f"
25             DISPLAY "Adult woman"
26         WHEN OTHER
27             DISPLAY "Unknown age or gender"
28     END-EVALUATE.
29     STOP RUN.
30
31 END PROGRAM SWITCH-CASE-EVALUATE.

```

Listing 4.36: Mehrfachverzweigungen in COBOL mit ALSO

Eine weitere Eigenheit zeigt sich in der Auswertung der Variable `AGE`. Hierbei werden im Beispiel Wertebereiche angegeben, in denen die Variable liegen kann. Auch das ist in Java so nicht möglich, da nur mit Literalen und Konstanten verglichen werden kann.

Listing 4.37 stellt weitere Unterschiede zu Mehrfachverzweigungen in Java dar. So ist diese `EVALUATE TRUE`-Variante (auch als `EVALUATE FALSE` möglich) mit geschachtelten `if`-Abfragen in Java zu vergleichen. Jede Bedingung hinter dem `WHEN`-Schlüsselwort entspricht hierbei einem vollständigen logischen Ausdruck. Daher ist es möglich, wie in Zeile 16 gezeigt, Rechenoperationen durchzuführen oder logische Operatoren wie in diesem Fall das `OR` zu verwenden.

```

1     IDENTIFICATION DIVISION.
2     PROGRAM-ID. SWITCH-CASE-EVALUATE.
3
4     DATA DIVISION.
5     WORKING-STORAGE SECTION.
6         01 FIRST-NUM PIC 9(2).
7         01 SECOND-NUM PIC 9(2).
8
9     PROCEDURE DIVISION.
10    MAIN.
11        ACCEPT FIRST-NUM.
12        ACCEPT SECOND-NUM.
13        EVALUATE TRUE
14            WHEN FIRST-NUM EQUALS SECOND-NUM
15                DISPLAY "Both numbers are equal"
16            WHEN FIRST-NUM > SECOND-NUM*2 OR FIRST-NUM*2 < SECOND-NUM
17                DISPLAY "One number is more then twice the other"

```

```
18         WHEN FIRST-NUM < SECOND-NUM
19             DISPLAY "The first number is lower"
20         WHEN FIRST-NUM > SECOND-NUM
21             DISPLAY "The first number is greater"
22     END-EVALUATE.
23     STOP RUN.
```

Listing 4.37: Mehrfachverzweigungen in COBOL als EVALUATE TRUE

Mithilfe des **ALSO**-Schlüsselworts sind sowohl Variablen-Vergleiche wie in Listing 4.36 als auch **TRUE**-Vergleiche wie in Listing 4.37 zusammen möglich.

4.9.3 Speicherausrichtung

Dieser Abschnitt soll einen kurzen Abriss über die COBOL Stufennummer 77 geben. Mit der Stufennummer 77 deklarierte Daten haben folgende beiden Eigenschaften:

- Die Variable kann nicht weiter unter gruppiert werden.
- Die Variable wird an festen Grenzen des Speichers ausgerichtet.

Während ersteres wenig Bedeutung in der Praxis hat, war es früher nötig, Variablen für bestimmte Instruktionen an festen Speichergrenzen auszurichten. Üblicherweise mussten die Adressen dieser Grenzen je nach Compiler ganzzahlig durch 4 bzw. 8 teilbar sein. Dieses Verhalten ist heutzutage jedoch nicht mehr nötig. Dies und die Tatsache, dass durch forcierte Speicherausrichtung Speicherbereiche zwischen Daten mit Stufennummer 77 ungenutzt, aber reserviert bleiben, führen dazu, dass diese Stufennummer nicht mehr genutzt werden sollte.

In Java gibt es kein vergleichbares Konzept, da die Speicherverwaltung komplett abstrahiert ist und dem Entwickler nicht ermöglicht wird, direkten Einfluss darauf zu nehmen.

4.9.4 Reorganisation von Daten

Dieser Abschnitt beschreibt die COBOL Stufennummer *66*, die eine besondere Rolle spielt.

In Listing 4.38 wird die Stufennummer 66 in Verbindung mit der **RENAMES**-Anweisung, was zwingend erforderlich ist, verwendet, um Teile der Personendaten neu zu gruppieren. Dies geschieht durch die Verwendung des **THRU**-Schlüsselworts. Ohne die Angabe dieses Bereichs können auch einzelne Variablen umbenannt werden. Hierbei wird lediglich eine neue Referenz auf den selben Speicherbereich erstellt, nicht jedoch neuer Speicher alloziert.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. COBOL-RENAMES-EXAMPLE.
3      DATA DIVISION.
4      FILE SECTION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6      01 PERSON-DATA.
7          05 FIRST-NAME PIC X(10) VALUE "Max".
8          05 SURNAME PIC X(10) VALUE "Mustermann".
9          05 STREET PIC X(15) VALUE "Musterstraße".
10         05 HOUSENUMBER PIC X(5) VALUE "7a".
11         05 ZIP-CODE PIC X(6) VALUE "12345".
12         05 CITY PIC X(15) VALUE "Musterstadt".
13
14         66 PERSON-NAME RENAMES FIRST-NAME THRU SURNAME.
15         66 PERSON-ADDRESS RENAMES STREET THRU CITY.
16
17     PROCEDURE DIVISION.
18     MAIN-PROCEDURE.
19         DISPLAY PERSON-NAME.
20         DISPLAY PERSON-ADDRESS.
21         STOP RUN.
22
23     END PROGRAM COBOL-RENAMES-EXAMPLE.
```



```

1  Max      Mustermann
2  Musterstraße 7a  12345 Musterstadt
```

Listing 4.38: Stufennummer 66 und RENAMES-Befehl

Diese Stufennummer wird in der Praxis selten verwendet und auch ist in Java zu dieser Stufennummer kein exaktes Pendant zu finden.

Abbildung in Java

Die Gruppierung von Daten erfolgt in Java in eigenen Klassen, aus denen sich wiederum andere Objekte zusammensetzen können. Diese Aggregationsbeziehung ist im Diagramm in Abbildung 4.3 dargestellt.

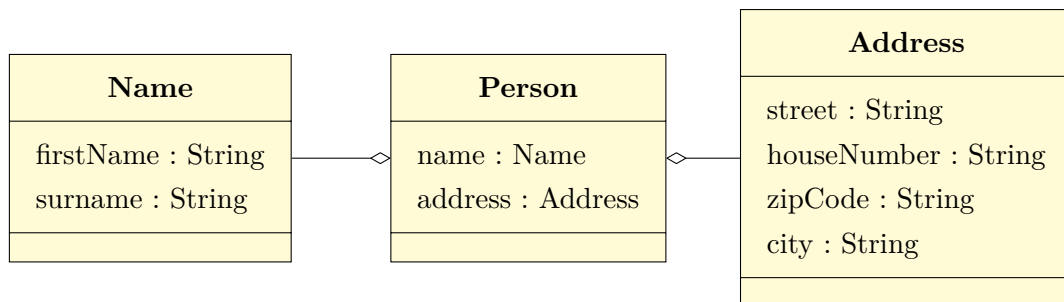


Abbildung 4.3: UML-Diagramm einer Aggregation

Die Verwendung der Stufennummer 66 als reines Umbenennen eines Datums entfällt in Java, da in diesem Fall neue Variablen mit anderen Namen deklariert werden können, welchen der ursprüngliche Wert zugewiesen wird.

4.9.5 Implizierte Variablennamen

Dieser Abschnitt behandelt einen Fehler, der typischerweise zu Beginn in der Softwareentwicklung beobachtet werden kann. Listing 4.39 zeigt, wie Anfänger häufig versuchen, logische Ausdrücke zu konstruieren. Dies entspricht dem intuitiven Gedanken »Wenn Variable X größer 0 und kleiner 5 ist, dann ...« oder der mathematischen Definition $\gg 0 < X < 5 \ll$.

```

1  public class IfVariableError {
2
3      public static void main(String[] args) {
4          long timeMillis = System.currentTimeMillis();
  
```

```

5
6     if (timeMillis > 0 && < Long.MAX_VALUE) {
7         System.out.println("We never get here!");
8     }
9
10    if (0 < timeMillis < Long.MAX_VALUE) {
11        System.out.println("We never get here either!");
12    }
13 }
14
15 }

```

```

1  $ javac -Xmaxerrs 3 IfVariableError.java
2  IfVariableError.java:4: error: > expected
3      if (System.currentTimeMillis() > 0 && < Long.MAX_VALUE) {
4                                          ^
5  IfVariableError.java:4: error: ')' expected
6      if (System.currentTimeMillis() > 0 && < Long.MAX_VALUE) {
7                                          ^
8  IfVariableError.java:8: error: illegal start of type
9      if (0 < System.currentTimeMillis() < Long.MAX_VALUE) {
10     ^
11  3 errors

```

Listing 4.39: Keine implizierten Variablennamen in logischen Ausdrücken in Java

Versucht man, Listing 4.39 zu kompilieren, treten einige Fehler auf. In Java können nur vollständige logische Ausdrücke mit logischen Operatoren verknüpft werden. Zum anderen kann innerhalb eines logischen Ausdrucks lediglich maximal einmal ein Vergleichsoperator verwendet werden.

```

1  public class IfVariableNoError {
2

```

```

3     public static void main(String[] args) {
4         long timeMillis = System.currentTimeMillis();
5         if (0 < timeMillis && timeMillis < Long.MAX_VALUE) {
6             System.out.println("We get here everytime!");
7         }
8     }
9 }

```

```

1 $ javac IfVariableNoError.java
2 $ java IfVariableNoError
3 We get here everytime!

```

Listing 4.40: Verwendung von Variablennamen in logischen Ausdrücken in Java

Listing 4.40 demonstriert eine funktionsfähige Implementierung des vorhergehenden Beispiels. Dieser Code kann fehlerfrei kompiliert und ausgeführt werden wie die Ausgabe zeigt.

Implizierte Variablennamen in COBOL

In COBOL hingegen ist das Schreiben von logischen Ausdrücken mit implizierten Variablennamen möglich.

```

1     IDENTIFICATION DIVISION.
2     PROGRAM-ID. IMPLICIT-VARIABLE-NAMES.
3
4     DATA DIVISION.
5     WORKING-STORAGE SECTION.
6         01 INPUT-NUMBER PIC 9(2).
7
8     PROCEDURE DIVISION.
9     MAIN-PROCEDURE.
10        ACCEPT INPUT-NUMBER.
11        IF INPUT-NUMBER >= 10 AND <= 20 THEN

```



```
12         DISPLAY "Your number is >= 10 and <= 20."  
13     ELSE  
14         DISPLAY "Your number is < 10 or > 20."  
15     END-IF.  
16     STOP RUN.  
17  
18     END PROGRAM IMPLICIT-VARIABLE-NAMES.
```

Listing 4.41: Implizierte Variablennamen in COBOL

Listing 4.41 stellt in Zeile 11 die Verwendung von implizierten Variablennamen in COBOL dar, die im Gegensatz zu Java möglich ist.

4.9.6 Modifier

In Java ist es, anders als in COBOL, möglich die Sichtbarkeit von Variablen, Funktionen und Klassen nach außen zu steuern. Dazu dienen sogenannte *Modifier*, die an dieser Stelle kurz erläutert werden.

Auf Funktionen oder Variablen, die mit dem Schlüsselwort **public** gekennzeichnet sind, kann von jeder Stelle des Programms aus zugegriffen werden.

protected beschränkt den Zugriff auf die enthaltende Klasse (mitsamt geschachtelter Klassen) und alle Unterklassen. Erbt eine Klasse eine solche Methode oder Variable, kann sie diese nutzen. Andere Klassen haben keinen Zugriff darauf.

Um maximal-restriktiven Zugriff auf einen Teil einer Klasse sicherzustellen, bietet sich das Schlüsselwort **private** an. Dieses erlaubt nur Zugriffe aus der enthaltenden Klasse und aus geschachtelten Klassen.

Wird kein Schlüsselwort explizit genutzt, so ist die Sichtbarkeit auf das aktuelle Package beschränkt (engl. *package-private*). Das bedeutet, dass alle Klassen des Packages Zugriff erhalten, wohingegen Klassen anderer Packages keinen erhalten.

4.9.7 Assoziation von Entitäten

Vor allem in der objektorientierten Programmierung ist es nötig, innerhalb von Objekten Referenzen auf andere Entitäten zu halten, um so Verbindungen zwischen diesen Objekten zu realisieren. Damit können Funktionalitäten und Daten von anderen Entitäten genutzt und verändert werden.

In der Regel unterscheidet man zwischen drei Arten von Assoziationen. Die 1-zu-1 Beziehung beschreibt eine Beziehung bei der jeweils einem Objekt ein anderes zugeordnet ist. Ein Beispiel dafür wäre eine klassische Ehekonstellation, bei der einem Partner genau ein anderer zugeordnet wird, wobei auch Beziehungen zwischen Entitäten unterschiedlicher Typen möglich sind.

Bei der 1-zu-N Assoziation hingegen wird einer Entität eine Menge anderer zugeordnet. Exemplarisch dafür wäre eine Bibliothek-Buch Beziehung. Während ein konkret gedrucktes Buchexemplar nur in einer Bibliothek stehen kann, kann diese mehrere (N) Bücher beinhalten.

Die dritte Form stellt eine M-zu-N Assoziation dar, in der mehreren Objekten auf einer Seite mehrere auf der jeweils anderen zugeordnet werden. Dies ist beispielsweise bei der Beziehung von Studenten und Veranstaltungen gegeben. Während mehrere Studenten Teil einer Veranstaltung sein können, kann ein Student mehr als eine Veranstaltung besuchen.

```
1  public class AssociationExample {
2
3      // 1-to-1 association
4      class MarriageParticipant {
5          MarriageParticipant partner;
6      }
7
8      // 1-to-many association
9      class Library {
10         List<Book> books;
11     }
12
13     class Book {
14         Library library;
15     }
16 }
```

```

17      // many-to-many association
18      class Student {
19          List<Course> courses;
20      }
21
22      class Course {
23          List<Student> students;
24      }
25  }

```

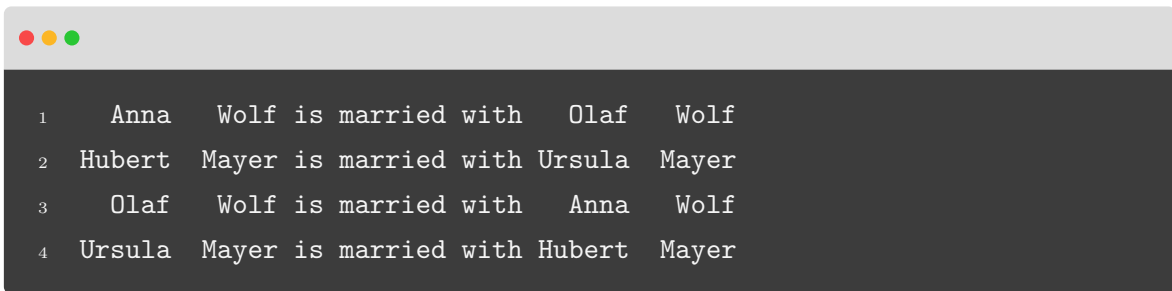
Listing 4.42: Assoziationen in Java

In Java lassen sich diese Assoziationen durch Attribute innerhalb einer Klasse realisieren, wie Listing 4.42 für die oben beschriebenen Beispiele zeigt. Ob diese Attribute innerhalb der Klasse instanziiert werden oder wie in Unterabschnitt 5.3.3 gezeigt von außen zur Verfügung gestellt werden hat dabei keine Auswirkung.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. ENTITIES.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5      01 PERSON OCCURS 4 TIMES INDEXED BY P-IDX.
6          05 FIRSTNAME PIC X(6).
7          05 SURNAME PIC X(6).
8          05 PARTNER-IDX PIC 9.
9      PROCEDURE DIVISION.
10     MAIN-PROCEDURE.
11         PERFORM SET-PARTNER.
12         PERFORM PRINT-PARTNER.
13         STOP RUN.
14
15     SET-PARTNER SECTION.
16         MOVE " Anna Wolf3" TO PERSON(1).
17         MOVE "Hubert Mayer4" TO PERSON(2).
18         MOVE " Olaf Wolf1" TO PERSON(3).
19         MOVE "Ursula Mayer2" TO PERSON(4).
20
21     PRINT-PARTNER SECTION.
22         PERFORM VARYING P-IDX FROM 1 BY 1 UNTIL P-IDX = 5
23             DISPLAY FIRSTNAME(P-IDX) " SURNAME(P-IDX)
24                 " is married with "
25                 FIRSTNAME(PARTNER-IDX(P-IDX)) " "
26                 SURNAME(PARTNER-IDX(P-IDX))
27         END-PERFORM.
28
29     END PROGRAM ENTITIES.

```

A terminal window with a light gray title bar containing three colored window control buttons (red, yellow, green). The terminal has a dark gray background and displays four lines of COBOL code, each preceded by a line number from 1 to 4. The code uses the 'is married with' phrase to define associations between names.

```
1  Anna  Wolf is married with  Olaf  Wolf
2  Hubert Mayer is married with Ursula Mayer
3  Olaf  Wolf is married with  Anna  Wolf
4  Ursula Mayer is married with Hubert Mayer
```

Listing 4.43: Assoziationen in COBOL

In COBOL werden Daten häufig als Array gespeichert. Dabei lassen sich Beziehungen über die Speicherung von Indizes erreichen. Dies zeigt Listing 4.43 für das Beispiel verheirateter Personen. Um mehrfache Beziehungen herzustellen kann, statt einem Index, ein Array von Indizes gespeichert werden.

5 Typische Pattern in COBOL und Java

5.1 Externe Deklaration von Daten

Sowohl zur Wiederverwendbarkeit als auch zur Erreichung einer gewissen Typsicherheit ist es in vielen Programmiersprachen möglich, Datenstrukturen extern in einer eigenen Datei zu deklarieren und an verschiedenen Stellen wieder zu verwenden. Dies ist auch in COBOL und Java möglich, wenngleich sich die Ansätze stark unterscheiden. In Java ist diese Deklaration ein entscheidendes Sprachkonzept und so muss – wie bereits beschrieben – jede Klasse in einer eigenen Datei angelegt werden. In COBOL bietet dieses Konzept lediglich einen gewissen komfortableren Umgang mit Datendeklarationen, ist jedoch nicht zwingend notwendig.

In Java werden Klassen in sogenannten Packages organisiert. Um auf Klassen aus einem anderen Package zuzugreifen, ist ein Importieren der betreffenden Klasse notwendig. Dies geschieht wie in Listing 5.1 mithilfe des **import**-Statements.

```
1  package com.firstpackage;
2
3  import com.secondpackage.MySystemPart;
4
5  public interface MySystem {
6
7      public void doSomething(MySystemPart systemPart);
8
9  }
```

Listing 5.1: Import in Java

Das Interface `MySystem` nutzt dabei die in Package `com.secondpackage` enthaltene Klasse `MySystemPart`. Bei der Verwendung einer Klasse aus dem selben Package ist kein

zusätzliches **import**-Statement notwendig. Das Importieren geschieht dabei implizit über das Setzen des Packagenamens wie in Zeile 1 gezeigt.

COBOL bietet zur externen Deklaration von Daten das **COPY**-Schlüsselwort. Hiermit wird der Inhalt einer anderen Datei, eines sogenannten *COBOL-Copybook*, durch den Compiler an die Stelle des **COPY** kopiert. Das Verhalten ist stark mit der Präprozessoranweisung **#include** in den Programmiersprachen C und C++ zu vergleichen.

```

1      01 ERROR-MESSAGES.
2          05 ERR-MSG PIC X(20) OCCURS 3 TIMES INDEXED BY MSG-INDEX.
3
4      01 ERROR-MESSAGES-INIT-VALUES.
5          05 FILLER PIC X(20) VALUE "Error 1 occurred".
6          05 FILLER PIC X(20) VALUE "Error 2 occurred".
7          05 FILLER PIC X(20) VALUE "Error 3 occurred".

```

Listing 5.2: COBOL-Copybook Datei (COPYBOOK.cpy)

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. COPY-EXAMPLE.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          COPY COPYBOOK
7              REPLACING ERR-MSG          BY MSG
8              "Error 1 occurred" BY "First error occurred!".
9
10     PROCEDURE DIVISION.
11     MAIN-PROCEDURE.
12         MOVE ERROR-MESSAGES-INIT-VALUES TO ERROR-MESSAGES.
13         ACCEPT MSG-INDEX.
14         DISPLAY MSG(MSG-INDEX).
15         STOP RUN.
16
17     END PROGRAM COPY-EXAMPLE.

```

Listing 5.3: Nutzung eines COBOL-Copybook

Listing 5.2 zeigt den Inhalt des Copybooks. Hier werden die Datenstrukturen definiert, die dann an anderer Stelle genutzt werden können. In Listing 5.3 Zeile 6 wird das COBOL-Copybook in die **WORKING-STORAGE SECTION** kopiert, sodass die deklarierten Daten im Programm genutzt werden können.

In diesem speziellen Fall wird zusätzlich Gebrauch der Schlüsselwörter **REPLACING** und **BY** gemacht. Dieses kann dazu verwendet werden, um Variablennamen oder Strings im dem Copybook auszutauschen. Dieser Mechanismus führt zu einer höheren Wiederverwendbarkeit, sollte jedoch mit Bedacht genutzt werden, da eine Analyse des Programms erschwert wird, weil Variable durch die Namensersetzung im Quelltext schwerer zu finden sind.

Am Rande wird hier auch die Nutzung eines **FILLER** gezeigt. Hierbei handelt es sich um eine Variable, die nicht direkt verwendet werden kann, da sie keinen Namen hat. Wie im Beispiel sind FILLER oftmals Teile von größeren Strukturen.

Das Einbinden eines Copybooks ist jedoch auch innerhalb der **PROCEDURE DIVISION** möglich wie Listing 5.4 und Listing 5.5 darstellen. Somit wird es möglich, Logik in Form von Code, der wiederverwendet wird, auszulagern und an verschiedenen Stellen zu nutzen. Dies ist allerdings in einigen Unternehmen verpönt, wie Herr Streit anmerkte und daher eher seltener zu sehen.

```
1      EVALUATE VAR
2          WHEN 1 DISPLAY "First error occurred!"
3          WHEN 2 DISPLAY "Second error occurred!"
4          WHEN 3 DISPLAY "Third error occurred!"
5          WHEN OTHER DISPLAY "Unknown error code!"
6      END-EVALUATE.
```

Listing 5.4: COBOL-Copybook Datei (COPYBOOK-EVALUATE.cpy)

```
1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. COPY-EVALUATE.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 INPUT-NUMBER PIC 9(2).
7
8      PROCEDURE DIVISION.
9      MAIN-PROCEDURE.
10         ACCEPT INPUT-NUMBER.
11         COPY COPYBOOK-EVALUATE REPLACING VAR BY INPUT-NUMBER.
12         STOP RUN.
13
14     END PROGRAM COPY-EVALUATE.
```

Listing 5.5: Nutzung von COPYBOOK-EVALUATE.cpy

Herr Lamperstorfer wies darauf hin, dass diese Copybooks jedoch auch problematische Eigenschaften mit sich bringen, die es zu beachten gilt. So müssen bei Änderungen daran, alle Programme, die das Copybook einbinden, neu kompiliert werden. Außerdem werden Dateistrukturen oftmals durch diese repräsentiert, wodurch Änderungen daran, Anpassungen der in Abschnitt 4.6 erwähnten **RECORD**-basierten Dateien erfordern, da sich alle Datenfelder ohne eine Trennung von Zeilenvorschüben verschieben.



ABSCHNITT 5.1

In Java ist die Auslagerung von Daten und Logik fester Bestandteil der Sprache. Dieses Konzept spiegelt sich auch in der Modularisierung – vgl. Abschnitt 3.3 – wieder. COBOL bietet hierfür das Schlüsselwort **COPY**. Wenngleich dieses Konzept deutlich weniger mächtig ist als das **import**-Statement in Java so ist es doch eine Möglichkeit Daten und Logik zu kapseln und auszulagern. Wie Herr Streit betonte, werden diese Copybooks in der Praxis zwar verwendet, könnten aber noch feingranularer und öfter zum Einsatz kommen.

5.2 Komplexe Datenstrukturen

5.2.1 Listen

Während Abschnitt 4.3 Felder behandelt, welche wie angesprochen eine feste Größe haben, bietet das Konzept von Listen deutliche Vorteile, wenn die Anzahl der Elemente variabel, d. h. zum Zeitpunkt des Erstellens nicht bekannt ist.

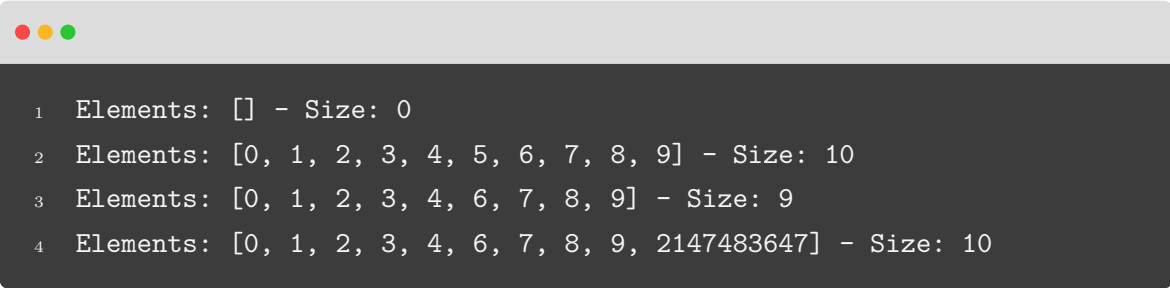
Listen in Java

In Java kann das **List**-Interface implementiert werden bzw. ein Objekt dieser Implementierung instanziiert werden, um eine Liste variabler Größe zu erhalten. Die wohl gebräuchlichste Implementierung dieses Interfaces stellt die Klasse **ArrayList** dar. Intern hält diese – wie der Name schon vermuten lässt – ein Array, welches bei Bedarf in ein neues, größeres Array kopiert wird. Die einfache Handhabung dieser Klasse wird in Listing 5.6 dargestellt.


```

1  import java.util.ArrayList;
2  import java.util.Arrays;
3  import java.util.List;
4  import java.util.stream.IntStream;
5
6  public class ArrayListExample{
7
8      public static void main(String[] args) {
9          List<Integer> integerList = new ArrayList<>();
10         printListInformation(integerList);
11
12         IntStream.range(0, 10)
13             .forEach(value -> integerList.add(value)) ;
14         printListInformation(integerList);
15
16         integerList.remove(5);
17         printListInformation(integerList);
18
19         integerList.add(Integer.MAX_VALUE);
20         printListInformation(integerList);
21     }
22
23     private static void printListInformation(List<Integer> list) {
24         System.out.println(
25             "Elements: " + Arrays.toString(list.toArray()) +
26             " - Size: " + list.size()
27         );
28     }
29 }
30

```



```

1  Elements: [] - Size: 0
2  Elements: [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] - Size: 10
3  Elements: [0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9] - Size: 9
4  Elements: [0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 2147483647] - Size: 10

```

Listing 5.6: ArrayList Beispiel in Java


Listen in COBOL

Eine exakte Abbildung von Listen ist in COBOL nicht möglich, da hier bereits zum Zeitpunkt des Kompilierens feststehen muss, wie groß ein Feld ist.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. LIST-EXAMPLE.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 LIST PIC 9(3) OCCURS 99 TIMES INDEXED BY L-IDX.
7          01 D-IDX PIC 9(2).
8          01 D-IDX-COUNT PIC 9(2).
9          01 D-IDX-COUNT-TMP PIC 9(2).
10         01 P-IDX PIC 9(2).
11         01 I-VAL PIC 9(3).
12
13     PROCEDURE DIVISION.
14     MAIN-PROCEDURE.
15         PERFORM PRINT-LIST.
16         MOVE 2 TO I-VAL. PERFORM INSERT-VALUE. PERFORM PRINT-LIST.
17         MOVE 4 TO I-VAL. PERFORM INSERT-VALUE. PERFORM PRINT-LIST.
18         MOVE 1 TO D-IDX. PERFORM DELETE-VALUE. PERFORM PRINT-LIST.
19         STOP RUN.
20
21     INSERT-VALUE SECTION.
22         MOVE I-VAL TO LIST(L-IDX).
23         IF L-IDX < 99 THEN
24             COMPUTE L-IDX = L-IDX + 1
25         END-IF.
26
27     DELETE-VALUE SECTION.
28         IF D-IDX <= 99 THEN
29             COMPUTE L-IDX = L-IDX - 1
30             PERFORM VARYING D-IDX-COUNT
31                 FROM D-IDX BY 1
32                 UNTIL D-IDX-COUNT = L-IDX
33                 COMPUTE D-IDX-COUNT-TMP = D-IDX-COUNT + 1
34                 MOVE LIST(D-IDX-COUNT-TMP) TO LIST(D-IDX-COUNT)
35             END-PERFORM
36         END-IF.
37
38     PRINT-LIST SECTION.
39         PERFORM VARYING P-IDX FROM 1 BY 1 UNTIL P-IDX = L-IDX
40             DISPLAY LIST(P-IDX) ", " WITH NO ADVANCING
41         END-PERFORM.
42         COMPUTE P-IDX = L-IDX - 1.
43         DISPLAY " SIZE: " P-IDX.
44
45     END PROGRAM LIST-EXAMPLE.

```



```
1  SIZE: 00
2  002, SIZE: 01
3  002,004, SIZE: 02
4  004, SIZE: 01
```

Listing 5.7: Einfache Listen Implementierung in COBOL

Listing 5.7 zeigt jedoch beispielhaft eine einfache und unvollständige Implementierung einer Liste in COBOL. Hierbei sind lediglich Einfüge- und Löschoperationen realisiert. Zu beachten ist, dass aus bereits genannten Gründen auch diese Liste eine maximale Größe hat, die unter Umständen nicht ausreichend ist. Weitere Funktionalitäten der Liste müssten analog implementiert werden.

5.2.2 Sets

Neben den in Unterabschnitt 5.2.1 beschriebenen Listen bieten Sets in der Programmierung eine weitere häufig genutzte Datenstruktur. Die zwei wesentlichen Unterschiede im Gegensatz zu Listen sind zum einen eine fehlende Ordnung der Elemente und zum anderen die Eigenschaft, dass ein und das selbe Element nur genau einmal innerhalb eines Sets vorkommen darf. Das Set entspricht somit weitestgehend der mathematischen Definition einer Menge.

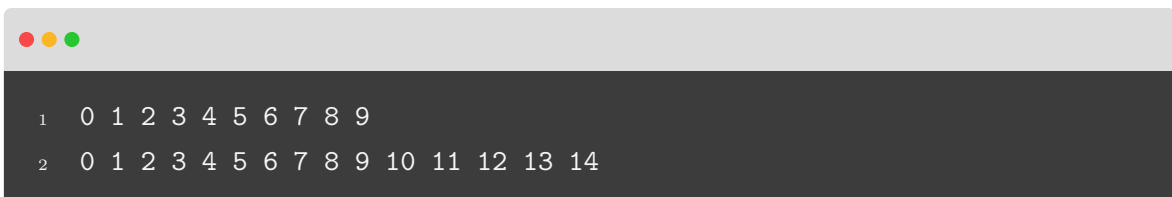
Sets in Java

Wie für Listen bietet Java auch für Sets das **Set**-Interface. Die wohl am häufigsten genutzte Implementierung dieses Interfaces stellt die **HashSet**-Klasse dar, welche die **hashCode**-Methode eines Objektes nutzt, um es pseudo-eindeutig identifizierbar zu machen. Dadurch wird vermieden, dass die gesamte Liste durchlaufen werden muss, um Duplikate zu finden.

In Listing 5.8 wird gezeigt, dass das Einfügen von Elementen, die bereits im Set enthalten sind, keine Auswirkung hat. Die Eigenschaft, dass ein Set ungeordnet ist, lässt sich leider nicht zeigen, da Java die Werte bei der gezeigten Ausgabe ordnet. Dieses Verhalten tritt auch auf, wenn die Werte in umgekehrter Reihenfolge dem Set hinzugefügt werden,

was jedoch in keinem Fall bedeutet, dass es sich beim Set um eine stets sortierte Liste handelt, auch wenn es den Eindruck vermittelt.

```
1  import java.util.HashSet;
2  import java.util.Set;
3  import java.util.stream.IntStream;
4
5  public class HashSetExample {
6
7      public static void main(String[] args) {
8          Set<Integer> integerSet = new HashSet<>();
9
10         IntStream.range(0, 10).forEach(number -> integerSet.add(number));
11         integerSet.forEach(number -> System.out.print(number + " "));
12
13         System.out.println();
14
15         IntStream.range(5, 15).forEach(number -> integerSet.add(number));
16         integerSet.forEach(number -> System.out.print(number + " "));
17     }
18 }
```



```
1  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
2  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
```

Listing 5.8: HashSet Beispiel in Java

Sets in COBOL

Analog zu Listen kann festgehalten werden, dass eine Implementierung von Sets in COBOL nicht ohne weiteres möglich ist. Die Einschränkung der Größe der Datenstruktur bestünde auch hier.

```

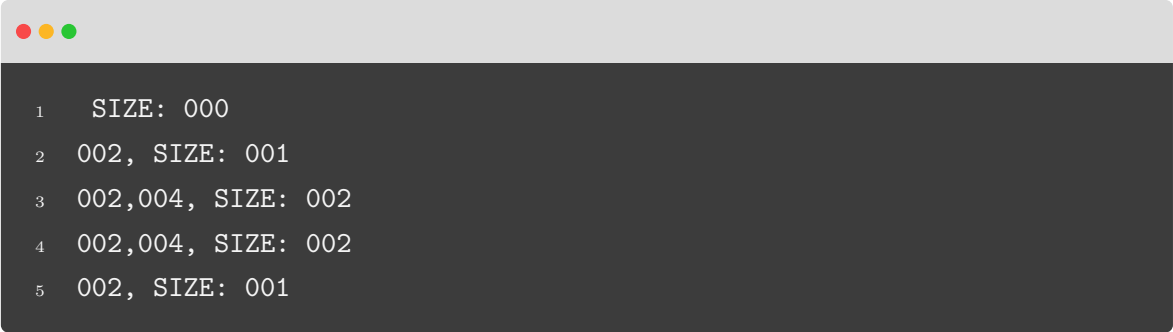
1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. SET-EXAMPLE.
3
4      DATA DIVISION.
5      WORKING-STORAGE SECTION.
6          01 SET-STORAGE PIC 9(3) OCCURS 100 TIMES INDEXED BY S-IDX.
7          01 SET-NIL-VALUE PIC 9(3) VALUE 0.
8          01 SET-SIZE PIC 9(3) VALUE 000.
9          01 I-VAL PIC 9(3).
10         01 D-VAL PIC 9(3).
11
12     PROCEDURE DIVISION.
13     MAIN-PROCEDURE.
14         PERFORM INIT-SET.
15         PERFORM PRINT-SET.
16         MOVE 2 TO I-VAL. PERFORM INSERT-VALUE. PERFORM PRINT-SET.
17         MOVE 4 TO I-VAL. PERFORM INSERT-VALUE. PERFORM PRINT-SET.
18         MOVE 2 TO I-VAL. PERFORM INSERT-VALUE. PERFORM PRINT-SET.
19         MOVE 4 TO D-VAL. PERFORM DELETE-VALUE. PERFORM PRINT-SET.
20         STOP RUN.
21
22     INIT-SET SECTION.
23         PERFORM VARYING S-IDX FROM 1 BY 1 UNTIL S-IDX = 100
24             MOVE SET-NIL-VALUE TO SET-STORAGE(S-IDX)
25         END-PERFORM.
26
27     INSERT-VALUE SECTION.
28     SEARCH-EQUAL-VALUE.
29         PERFORM VARYING S-IDX FROM 1 BY 1
30             UNTIL S-IDX = 100 OR I-VAL = SET-NIL-VALUE
31                 IF SET-STORAGE(S-IDX) = I-VAL THEN
32                     SET I-VAL TO SET-NIL-VALUE
33                 END-IF
34             END-PERFORM.
35
36     INSERT-IF-NOT-ALREADY-PRESENT.
37         PERFORM VARYING S-IDX FROM 1 BY 1
38             UNTIL S-IDX = 100 OR I-VAL = SET-NIL-VALUE
39                 IF SET-STORAGE(S-IDX) = SET-NIL-VALUE THEN
40                     MOVE I-VAL TO SET-STORAGE(S-IDX)
41                     SET I-VAL TO SET-NIL-VALUE
42                     COMPUTE SET-SIZE = SET-SIZE + 1
43                 END-IF
44             END-PERFORM.
45
46     INSERT-VALUE-EXIT.
47         EXIT.
48
49     DELETE-VALUE SECTION.
50         PERFORM VARYING S-IDX FROM 1 BY 1
51             UNTIL S-IDX = 100 OR D-VAL = SET-NIL-VALUE
52                 IF SET-STORAGE(S-IDX) = D-VAL THEN
53                     SET SET-STORAGE(S-IDX) TO SET-NIL-VALUE
54                     SET D-VAL TO SET-NIL-VALUE
55                     COMPUTE SET-SIZE = SET-SIZE - 1
56                 END-IF
57             END-PERFORM.

```

```

58
59     PRINT-SET SECTION.
60     PERFORM VARYING S-IDX FROM 1 BY 1 UNTIL S-IDX = 100
61         IF NOT SET-STORAGE(S-IDX) = SET-NIL-VALUE THEN
62             DISPLAY SET-STORAGE(S-IDX) ", " WITH NO ADVANCING
63         END-IF
64     END-PERFORM.
65     DISPLAY "SIZE: " SET-SIZE.
66
67     END PROGRAM SET-EXAMPLE.

```



```

1  SIZE: 000
2  002, SIZE: 001
3  002,004, SIZE: 002
4  002,004, SIZE: 002
5  002, SIZE: 001

```

Listing 5.9: Einfache Set Implementierung in COBOL

Listing 5.9 greift jedoch die Kernaspekte von Sets auf und zeigt eine mögliche Implementierung in COBOL. Wie auch in Listing 5.9 sind nur Einfüge- und Löschooperationen realisiert.

Wenngleich diese Implementierung beispielhaft zeigt, dass die Grundidee eines Sets auch in COBOL abbildbar ist, so hat sie gegenüber Java doch einige Nachteile. Zum einen ist sie ineffizient, da – anders als z. B. bei `HashSet` – stets alle Werte der Liste durchlaufen werden müssen, um Redundanz zu vermeiden. Zum anderen liegt die große Stärke von Datenstrukturen in Java in der Generizität (siehe Abschnitt 4.7). Diese kann in COBOL nicht erreicht werden, wodurch ein Set stets neu für die zugrundeliegenden Datentypen implementiert werden muss.

5.2.3 Maps

Maps erlauben schnellen Zugriff auf bestimmte Elemente. Erreicht wird dies oft durch eine sogenannte *HashMap*, wobei auch andere Implementierungen wie Bäume denkbar sind. Bei diesen *HashMaps* wird der Speicherbereich, in dem ein Element der Datenstruktur gespeichert werden, mithilfe der Daten des Objekts berechnet, was auch als *gehasht* bezeichnet wird. Dies eignet sich vor allem, wenn viele Elemente in der Datenstruktur gespeichert werden und konstante Zugriffszeit – $O(1)$ – auf Elemente notwendig ist. Diese Zugriffszeit hängt von der zugrundeliegenden Implementierung ab.

In Java steht dafür das Interface `Map` und Implementierungen wie `HashMap` bereit. Damit werden generische Objekte anhand ihrer `hashCode`-Funktion in einer Map verwaltet.

COBOL bietet keine Konstrukte, um eine Map abzubilden. Wie die Experten Bonev und Streit angaben, wurden in der Praxis allerdings Möglichkeiten entwickelt, eine solche Datenstruktur in COBOL abzubilden, indem z. B. eine eigene Hash-Funktion für den genauen Anwendungsfall implementiert wird, die die Eingabewerte eindeutig auf Indizes eines Arrays fester Größe abbildet. Eine weitere bereits beobachtete Variante ist das Nutzen von zwei Listen, wobei eine nach einem bestimmten Attribut der enthaltenen Daten sortiert wird und den Index des eigentlichen Objektes in der zweiten Liste beinhaltet, wodurch sich durch effiziente Indexsuche eine Map abbilden lässt.

5.2.4 Verbunddatenstrukturen

Structs und *Unions* sind weitere in der Programmierung verbreitete Datenstrukturen. Beide Typen bilden sogenannte Verbunddatenstrukturen, d. h. sie bieten eine Art Kapselung von mehreren Variablen, welche unterschiedlichen Typs sein können. *Structs* bezeichnen dabei einen Speicherbereich, der aus mehreren Variablen besteht, die so gruppiert gespeichert werden. *Unions* hingegen bezeichnen einen Speicherbereich, der auf verschiedene Weisen – in unterschiedlichen Datentypen – interpretiert werden kann. Sie gruppieren mehrere Variablen, von denen stets nur eine Gültigkeit aufweisen kann.

Structs und Unions in COBOL

Das fundamentale Konzept von Variablendeklarationen in COBOL ist – wie bereits in Abschnitt 4.2 angesprochen – die Nutzung von Stufennummern und eine Untergliederung

mithilfe dieser Stufennummern. Das sorgt dafür, dass jede untergliederte Variable in COBOL eine Verbunddatenstruktur darstellt.

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. UNION-PROGRAM.
3      DATA DIVISION.
4      WORKING-STORAGE SECTION.
5          01 NUMBER-GROUP.
6              05 FIRST-NUMBER PIC 9(4) VALUE 1907.
7              05 SECOND-NUMBER PIC 9(2) VALUE 42.
8              01 NEW-NUMBER REDEFINES NUMBER-GROUP PIC 9(4)V9(2).
9      PROCEDURE DIVISION.
10     MAIN-PROCEDURE.
11         DISPLAY "INTEGER: " NUMBER-GROUP.
12         DISPLAY "DECIMAL: " NEW-NUMBER.
13         CALL "UNION-SUB-PROGRAM" USING NUMBER-GROUP.
14         STOP RUN.
15     END PROGRAM UNION-PROGRAM.
```

```

1      IDENTIFICATION DIVISION.
2      PROGRAM-ID. UNION-SUB-PROGRAM.
3      DATA DIVISION.
4      LINKAGE SECTION.
5          01 PASSED-VALUE PIC 9(3)V9(3).
6      PROCEDURE DIVISION USING PASSED-VALUE.
7      MAIN-PROCEDURE.
8          DISPLAY "UNION-SUB-PROGRAM: " PASSED-VALUE.
9          GOBACK.
10     END PROGRAM UNION-SUB-PROGRAM.
```

```

1 $ cobc -x -o UNION-PROGRAM UNION-PROGRAM.cbl
2 $ cobc -m UNION-SUB-PROGRAM.cbl
3 $ ./UNION-PROGRAM
4 INTEGER: 190742
5 DECIMAL: 1907.42
6 UNION-SUB-PROGRAM: 190.742
```

Listing 5.10: Structs und Unions in COBOL

Listing 5.10 zeigt sowohl die Verwendung als Struktur-Typ, als auch den Zugriff als Union-Typ in einem Unterprogramm und mithilfe der in Abschnitt 4.2 beschriebenen **REDEFINES** Anweisung. Wie bereits in dieser Arbeit gezeigt, wird – in diesem Falle zur Ausgabe – auf eine gesamte Datenstruktur zugegriffen, die mehrere unterschiedliche Variablen enthält. Diese Datenstruktur stellt ein Struct dar. Im gezeigten Unterprogramm hingegen wird der selbe Speicherbereich anders interpretiert.

Dies wird laut Herrn Streit in der Praxis auch oft ausgenutzt, um Erweiterungen von Programmen zu realisieren. Da Unterprogramme lediglich einen Zeiger auf Datenstrukturen übergeben bekommen, können diese Strukturen erweitert werden, ohne das Unterprogramm zu ändern, solange neue Datenfelder an das Ende angehängt werden. Weitere Unterprogramme, welche an neue Datenfelder angepasst wurden, können wiederum die Daten, die hinten angehängt wurden, nutzen. Das Einfügen von Feldern zwischen bestehenden, hat unweigerlich die Anpassung aller Komponenten zur Folge.

Structs und Unions in Java

In Java gehen Verbunddatenstrukturen in Klassen und Aufzählungstypen (javenum) auf. Klassen stellen weiterentwickelte Formen von Structs dar, die, wie Listing 5.11 zeigt, unterschiedliche Attribute kapseln. Diese Klassen werden auch *Java Beans* genannt.

```
1  public class Bean{  
2      public int age;  
3      public String firstName;  
4      public String surname;  
5  }
```

Listing 5.11: Struct in Java (JavaBean)

Unions dagegen lassen sich durch verschiedene getter-Methoden abbilden. Dabei bietet eine Klasse mehrere Methoden, die sich auf das selbe Feld zurückführen lassen, aber dieses – wie Listing 5.12 zeigt – in verschiedenen Datentypen zurückliefern oder Felder verbinden.

```
1  public class Union {  
2      private int heightInCm;  
3      private String firstName;  
4      private String surname;  
5  
6      public int getHeightInCentimeter() {  
7          return heightInCm;  
8      }  
9  
10     public float getHeightInMeter() {  
11         return heightInCm / 100f;  
12     }  
13  
14     public String getFullName() {  
15         return firstName + " " + surname;  
16     }  
17 }
```

Listing 5.12: Union in Java



ABSCHNITT 5.2

Die vorgestellten Datenstrukturen bieten eine Möglichkeit, je nach Anwendungsfall, Daten effizient und dynamisch zu speichern und bereitzustellen. Während Java Listen, Sets und Maps bereits im Sprachstandard unterstützt, müssen diese von Entwicklern in COBOL selbst implementiert werden, was selbstverständlich Wissen über die Algorithmen voraussetzt. Herr Streit betonte, dass etwaige Datenstrukturen manchmal in bestehenden COBOL-Programmen zu finden sind, jedoch – durch das Fehlen des entsprechenden Vokabulars in der Entstehungszeit – oft andere Namen tragen und daher als solche nicht leicht zu erkennen sind.

COBOL bietet dagegen Verbunddatenstrukturen, die vielfältig genutzt, aber auch ausgenutzt werden können, als fundamentalen Teil des Variablenkonzepts. Bei der Nutzung ist darauf zu achten, dass Werte entweder synchronisiert oder zumindest nicht durch die Nutzung an verschiedenen Stellen korumpiert werden.

Herr Lamperstorfer wies mit Blick auf komplexe Datenstrukturen außerdem darauf hin, dass im Gegensatz zu Java, wo viele Algorithmen für Standardprobleme wie beispielsweise das Sortieren einer Liste, durch das JDK bereitgestellt werden, COBOL wenig Mittel liefert. Daher werden an diesen Stellen häufig Programme des Betriebssystems aufgerufen, um diese Aufgaben zu erfüllen.

5.3 Entwurfsmuster

Vor allem in objektorientierter Programmierung sind Entwurfsmuster – engl. design patterns – von hoher Bedeutung. Dabei handelt es sich um Muster, die sich häufig in der Planung und im Implementieren von Software bewährt haben und so als wiederverwendbare Vorgehensweise bei bestimmten Problemstellungen angewendet werden kann. Dieses Kapitel erläutert die gebräuchlichsten Entwurfsmuster in Java. Für einen umfassenden Überblick kann auf *Design Patterns* [11] von Gamma u. a. verwiesen werden, welches wohl als Grundlagenwerk auf diesem Gebiet bezeichnet werden kann.

5.3.1 Callback-Muster

In der Programmierung ist es häufig nötig, dass bestimmte Ereignisse andere Aktionen auslösen. Dies ist insbesondere in Programmen sinnvoll, die parallele Verarbeitungsschritte beinhalten. Um auf diese Ereignisse zu reagieren gibt es im Allgemeinen zwei Möglichkeiten:

- **(Busy-)Polling**

Unter Polling versteht man das zyklische Abfragen eines Wertes oder eines Zustandes, durch einen Teil, der von diesem Wert abhängt.

- **Callbacks**

Callbacks sind Funktionen, die in einer bestimmten Art und Weise anderen Programmabschnitten zur Verfügung gestellt werden und bei Bedarf aufgerufen werden können, um z. B. über Zustandsänderungen zu benachrichtigen.

Im Gegensatz zum Polling, bei dem permanent Rechenzeit dafür aufgewendet werden muss, aktiv eine Zustandsänderung zu überwachen, wird in der Praxis häufig das Entwurfsmuster der Callbacks verwendet. Damit wird erreicht, dass ein Teilprogramm nicht wie beschrieben aktiv Änderungen beobachten muss, sondern sich von einem anderen Programmabschnitt über Zustände benachrichtigen lassen kann.

Obwohl das klassische Callback-Muster aufgrund von fehlenden funktionalen Elementen in Java nicht direkt implementierbar ist, finden sich oft sehr ähnliche Abbildungen davon. Die standardisierten Schnittstellen **Observer** und **Observable** bieten dabei eine generische Möglichkeit zur Änderungsbenachrichtigung. Häufiger lassen sich jedoch sogenannte **Listener** beobachten, welche das Callback-Muster abbilden. Hierbei werden eigene Interfaces definiert, was zwar die Generizität verringert, jedoch zu breiterem Funktionsumfang und leichter verständlichem Code führt.

Das Listing 5.13 zeigt die Handhabung des **Observer**-Pattern [11] in Java mithilfe der **Observer** und **Observable**-Interfaces. Wie gezeigt, kann die Implementierung des **Observer**-Interfaces auch in einer anonymen Klasse geschehen. Diese sprachlichen Konstrukte wurden bereits in Abschnitt 4.1 beschrieben.

```
1  import java.time.Instant;  
2  import java.util.Observable;
```

```

3  import java.util.Observer;
4  import java.util.concurrent.Executors;
5  import java.util.concurrent.ScheduledExecutorService;
6  import java.util.concurrent.TimeUnit;
7
8  public class ObserverPattern {
9
10     public static void main(String[] args) {
11         TimeObservable timeObservable = new TimeObservable();
12         Observer plainObserver = new Observer() {
13             public void update(Observable o, Object arg) {
14                 System.out.println("PlainTime: " + arg);
15             }
16         };
17         FormattedObserver formattedObserver = new FormattedObserver();
18         timeObservable.addObserver(plainObserver);
19         timeObservable.addObserver(formattedObserver);
20         timeObservable.startObservable();
21     }
22
23     static class FormattedObserver implements Observer {
24         public void update(Observable o, Object arg) {
25             System.out.println("FormattedTime: " +
26                 Instant.ofEpochMilli((long) arg).toString());
27         }
28     }
29
30     static class TimeObservable extends Observable {
31
32         private ScheduledExecutorService executor =
33             ↪ Executors.newScheduledThreadPool(3);
34
35         public void startObservable() {
36             for(int delay : new int[]{1,3,5}) {
37                 executor.schedule(() -> {
38                     setChanged();
39                     notifyObservers(System.currentTimeMillis());
40                 }, delay, TimeUnit.SECONDS);
41             }
42         }
43     }
44 }

```

Listing 5.13: Observer und Observable in Java

Die sehr viel gebräuchlichere Variante ist es jedoch, `Listener` zu verwenden. Dabei handelt es sich streng genommen um nichts anderes, als eine eigene Definition des `Observer`-Interfaces. Jedoch wird durch die klare Definition der Funktionalität deutlich spezifischerer Code geschrieben, der vor allem in puncto Typsicherheit und Lesbarkeit einige Vorteile gegenüber des Java-eigenen Interfaces bietet.

```

1  import java.time.Instant;
2  import java.util.ArrayList;
3  import java.util.List;
4  import java.util.concurrent.Executors;
5  import java.util.concurrent.ScheduledExecutorService;
6  import java.util.concurrent.TimeUnit;
7
8  public class ListenerPattern {
9
10     public static void main(String[] args) {
11         TimeProducer timeProducer = new TimeProducer();
12         TimeListener plainListener = new TimeListener() {
13             @Override
14             public void printTime(long timeMillis) {
15                 System.out.println("PlainTime: " + timeMillis);
16             }
17         };
18         FormattedListener formattedListener = new FormattedListener();
19         timeProducer.registerListener(plainListener);
20         timeProducer.registerListener(formattedListener);
21         timeProducer.start();
22     }
23
24     interface TimeListener {
25         void printTime(long timeMillis);
26     }
27
28     static class FormattedListener implements TimeListener {
29         @Override
30         public void printTime(long timeMillis) {
31             System.out.println("FormattedTime: " +
32                 Instant.ofEpochMilli(timeMillis).toString());
33         }
34     }
35
36     static class TimeProducer {
37
38         private ScheduledExecutorService executor =
39             ↪ Executors.newScheduledThreadPool(3);

```

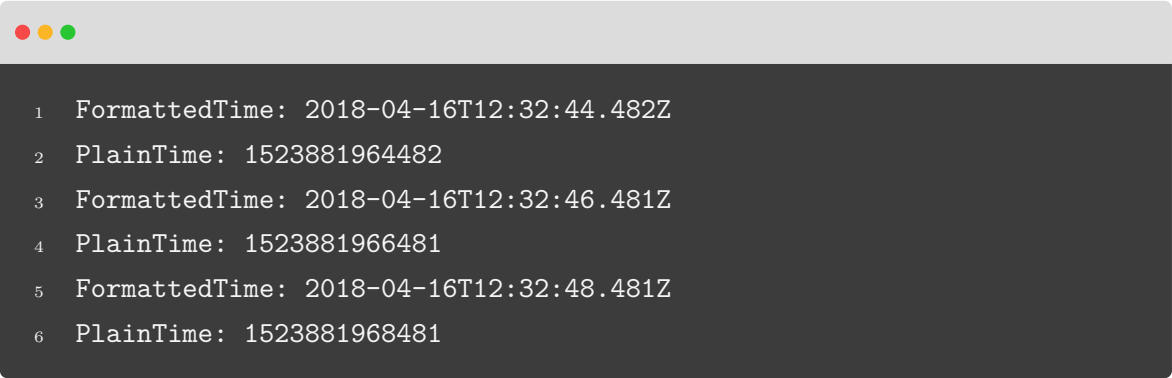
```

39     private List<TimeListener> timeListeners = new ArrayList<>();
40
41     void registerListener(TimeListener timeListener) {
42         timeListeners.add(timeListener);
43     }
44
45     void notifyListeners(long value) {
46         timeListeners.forEach(listener -> listener.printTime(value));
47     }
48
49     void start() {
50         for (int delay : new int[] { 1, 3, 5 }) {
51             executor.schedule(
52                 () -> notifyListeners(System.currentTimeMillis()),
53                 delay, TimeUnit.SECONDS);
54         }
55     }
56 }
57
58 }

```

Listing 5.14: Listener in Java

Die Aufgabe beider Beispiele ist die gleiche. Jedoch verdeutlicht Listing 5.14 die Typsicherheit eigener Interfaces und kennzeichnet, wie diese erreicht wird. Folgendes wäre eine beispielhafte Ausgabe beider Programme:



```

1  FormattedTime: 2018-04-16T12:32:44.482Z
2  PlainTime: 1523881964482
3  FormattedTime: 2018-04-16T12:32:46.481Z
4  PlainTime: 1523881966481
5  FormattedTime: 2018-04-16T12:32:48.481Z
6  PlainTime: 1523881968481

```

In COBOL können Callbacks nur rudimentär abgebildet werden, helfen jedoch auch hier, Code klarer zu strukturieren. So kann beispielsweise für jedes Element einer Liste, ein

Unterprogramm als Callback aufgerufen werden oder durch die in Unterabschnitt 4.9.2 gezeigten Mehrfachverzweigungen Code abhängig von Bedingungen ausgeführt und so unterschiedliches Verhalten erreicht werden. Vor allem in Verbindung mit Flags (siehe Unterabschnitt 4.9.1) kann die Ausführung von einzelnen Codeteilen erreicht werden, die dem Callback-Muster ähnlich ist. Diese Callback-Strategien lassen sich laut Herrn Streit auch in realen Systemen beobachten.

5.3.2 Singleton-Muster

»Alles ist ein Objekt.« [25] Diese Aussage findet sich in unzähliger Hochschullektüre und Fachbüchern. Genauer wäre – mit Blick auf statische Elemente – zwar die Aussage, dass alles Teil einer Klasse sei, jedoch ist für die Idee dahinter beides richtig. Gemeint ist damit, dass es keine Funktionalität oder Eigenschaft gibt, die nicht Teil einer Klasse bzw. eines Objektes ist.

```
1  public class Pope {  
2  
3      private static Pope instance = null;  
4  
5      private Pope() {}  
6  
7      public static Pope getInstance() {  
8          if (instance == null) {  
9              instance = new Pope();  
10         }  
11         return instance;  
12     }  
13  
14     public static void die() {  
15         instance = null;  
16     }  
17 }
```

Listing 5.15: Singleton in Java

Manchmal jedoch wird eine Klasse zwar durch ein Objekt repräsentiert, allerdings existiert nur genau eine Instanz davon. Im realen Leben könnte man z. B. den Papst als genau einmalig vorkommende Instanz nehmen. Diese spezielle Person gibt es stets nur

einmal und so muss bei der Modellierung beachtet werden, dass es zu jedem Zeitpunkt nur eine Instanz der Klasse gibt.

Listing 5.15 modelliert das Beispiel des Papstes in Java. Um die angesprochenen Eigenschaften einer Singleton-Klasse zu realisieren, werden verschiedene Mechanismen verwendet. Zum einen enthält die Klasse einen privaten Konstruktor, um eine Instanziierung mittels `new`-Operator zu verhindern bzw. nur innerhalb der eigenen Klasse zuzulassen. Außerdem speichert und liefert die Klasse mit der statischen `getInstance()`-Methode die aktuell gültige Instanz und legt ggf. eine neue an. Die `die()`-Funktion wurde beispielhaft für das Ableben eines Papstes implementiert, sodass in der `getInstance()`-Methode eine neue Instanz erzeugt würde.

In der Praxis stellen zum Beispiel eine Datenbank-, Konfigurations- oder Hardware-schnittstellen oftmals ein Singleton-Objekt dar. Im Gegensatz zu statischen Klassen und Funktionen bieten Singletons einige Vorteile:

- Eine Singleton-Klasse kann Interfaces implementieren und von anderen Klassen erben.
- Singleton-Klassen können instanziiert werden, sobald sie gebraucht werden. Statische Klassen werden beim Starten des Programms initialisiert.
- Klassen können von Singleton-Klassen erben und erhalten damit die Member-Variablen und -Funktionen.

Allerdings gibt es auch Anwendungsfälle, in denen eine Klasse mit statischen Variablen und Funktionen genutzt werden sollte. Als Faustregel dafür gilt zum einen, dass die Klasse keinen Zustand repräsentiert und zum anderen lediglich eine Sammlung von Variablen und Funktionen gleicher Domäne – z. B. mathematische Operationen – bereitstellt.

In COBOL ist das Singleton-Muster irrelevant, da es sich dabei um ein rein objektorientiertes Konzept handelt und diese COBOL-Erweiterungen kein Teil der vorliegenden Arbeit sind.

5.3.3 Dependency Injection

In einer objektorientierten Programmierungsumgebung werden Funktionalitäten in Klassen gekapselt und so die Wiederverwendbarkeit erhöht. Dies wurde bereits in Abschnitt 3.3 dargestellt. Um damit komplexere Probleme zu lösen und Abhängigkeiten herzustellen, werden Klassen oftmals komponiert bzw. aggregiert. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten wie eine Aggregation aussehen kann:

- Erzeugung aller nötigen Objekt-Instanzen innerhalb der Klasse, die diese benötigt.
- Erzeugung der nötigen Objekt-Instanzen an zentraler Stelle und Injizieren in Objekte, welche diese benötigen (Dependency Injection).

Die erste der angesprochenen Vorgehensweise verletzt allerdings – je nach Ausnutzen und Implementierung – mehr oder weniger die Eigenschaft, dass eine Klasse für genau eine Aufgabe zuständig ist. Außerdem werden so implizit Abhängigkeiten zwischen Komponenten hergestellt, die schwer zu durchschauen sind. Dependency Injection sorgt dafür, dass Abhängigkeiten explizit hergestellt werden. Martin beschreibt in seinem Buch *Clean Code* [16] dieses Muster auch als »Inversion of Control«, da dabei die Kontrolle über die Instanziierung verlagert – quasi invertiert – wird. So entsteht eine losere Kopplung, durch die Abhängigkeiten auch zur Laufzeit geändert und gesteuert werden können. Ein weiterer Vorteil zeigt sich beim Testen von Systemen. So lassen sich für Komponenten, welche Abhängigkeiten von Außen bekommen leichter Unit-Tests schreiben, da darunterliegende Strukturen extern gesteuert werden können.

```

1  public class DependencyInjection {
2
3      public static void main(String... args) {
4          Injectable injectable = () -> 42;
5          InjectionTarget injectionTarget = new
6              ↪ InjectionTarget(injectable);
7          injectionTarget.printNumber();
8      }
9
10     interface Injectable {
11         int getNumber();
12     }
13
14     static class InjectionTarget {

```

```
14         private final Injectable injectable;
15
16         public InjectionTarget(Injectable injectable) {
17             this.injectable = injectable;
18         }
19
20         public void printNumber() {
21             System.out.println(injectable.getNumber());
22         }
23     }
24 }
```

Listing 5.16: Dependency Injection in Java

Listing 5.16 beinhaltet eine einfache Dependency Injection. Der Code macht gleichzeitig Gebrauch von Interfaces, was einen Teil der Flexibilität der Dependency Injection verdeutlicht. Neben der gezeigten Möglichkeit der Übergabe an den Konstruktor einer Klasse, erwähnt Martin [16] auch die Varianten diese Abhängigkeiten über Setter-Methoden oder Interfaces herzustellen.

Da Variablen, wie Abschnitt 4.2 beschreibt, in COBOL immer dem ganzen Programm zugänglich sind, ist die Dependency Injection hier nicht relevant.

5.4 Redundanz durch Wertekopien

Abschnitt 4.2 beschreibt Variablendeklarationen und -definitionen in Java und COBOL. Wie bereits geschildert, sind Datentyp und Repräsentation in COBOL eng miteinander verwoben. Das sorgt in der Praxis häufig für redundanten Code, da nur zu Darstellungszwecken häufig Werte kopiert werden müssen. Dies hat nicht nur Auswirkungen auf die Lesbarkeit des Codes sondern auch auf die Performanz.

Laut Herrn Bonev ist beobachtbar, dass der dafür nötige **MOVE**-Befehl große Teile von COBOL-Code ausmacht, da häufig etliche Variablen für den selben Wert existieren und der Inhalt synchron gehalten werden muss, weil COBOL innerhalb eines Programms keine Referenzen auf Variablen oder Objekte bietet. Auch beim Aufrufen von Unterprogrammen – wie in Abschnitt 4.5 beschrieben – wird dies, den Experten nach, häufig

genutzt, um eine gewisse Sicherheit zu haben, dass Daten an anderer Stelle nicht verändert werden oder um Daten in Strukturen zu packen, die vom aufgerufenen Programm verstanden werden. Dazu werden Daten vor einem Aufruf in Variablen kopiert, das entsprechende Programm aufgerufen und die Ergebnisse anschließend wieder in die ursprünglichen Strukturen kopiert.

Eine Möglichkeit, welche laut Herrn Streit in Betracht gezogen werden kann, ist es, verschiedene Variablen als *Union*-Verbunddatenstruktur, wie in Unterabschnitt 5.2.4 beschrieben, mithilfe des **REDEFINES**-Schlüsselworts anzulegen und so **MOVE**-Befehle einzusparen. Diese Lösung bringt auch Sicherheit im Bezug auf Synchronisation, da das Kopieren nicht versehentlich vergessen werden kann. Häufig wird dies jedoch nicht eingesetzt, da sich Seiteneffekte und Fehler ergeben können, wenn Daten an unterschiedlichen Stellen modifiziert werden. Dabei sollte, wie in Abschnitt 4.8 beschrieben, auf klare Affixe geachtet werden, was in der Folge dazu führt, dass mehr **MOVE**-Befehle verwendet werden müssen, die nur schlecht vermeidbar sind. Während diese **MOVE**-Befehle zur Übersichtlichkeit beitragen und daher in Kauf genommen werden können, sollten andere genau untersucht und wenn möglich entfernt werden.

Eine weitere Strategie, **MOVE**-Befehle einzusparen, ist die Nutzung des **CALL USING** Befehls wie in Abschnitt 4.5. Laut Herrn Streit ist tendenziell selten zu beobachten, dass Entwickler an dieser Stelle die Variablen übergeben, die das Programm wirklich benötigt. Stattdessen werden wie in Abschnitt 5.1 gezeigt Copybooks angelegt, die an mehreren Stellen genutzt werden, um eine Struktursicherheit zu haben, und nur diese einem Unterprogramm übergeben. Das macht das Kopieren von und in ursprüngliche Strukturen notwendig. Hierbei wäre es allerdings möglich, vorhandene Strukturen per Variablennamen zu übergeben, solange der Aufbau dem in den aufgerufenen Unterprogrammen entspricht.

Seltener lässt sich die Nutzung von **MOVE CORRESPONDING** beobachten. Dabei werden alle untergruppierten Variablen einer gegliederten Datenstruktur in eine andere Datenstruktur kopiert, die eine exakte namentliche Entsprechung in der Zielstruktur haben. Dies sei, den Experten nach, jedoch nicht weit verbreitet und sollte vermieden werden, da Programmlogik und -semantik abhängig von Variablennamen gemacht wird.

6 COBOL bleibt von Bedeutung

6.1 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Sprachen COBOL und Java auf den ersten Blick stärker unterscheiden, als dies in Wahrheit der Fall ist. Viele bekannte Konzepte lassen sich wiederfinden und Parallelen zwischen unterschiedlich wirkenden Konstrukten ziehen.

Nichtsdestotrotz ist auch klar erkennbar, dass COBOL so manches vermissen lässt, was von neueren Sprachen wie Java zur Verfügung gestellt wird und an einigen Stellen andere Ansätze verfolgt. Dies gilt auch für die Werkzeuge und Umgebungen für die jeweiligen Sprachen. Dadurch wird die Analyse von Fehlern und das Erweitern solcher Systeme i. d. R. komplexer als bei Systemen, die auf neuen Technologien basieren. Eine konsequente Einhaltung einiger Richtlinien sorgt jedoch dafür, dass COBOL leichter les- und wartbar wird.

Selbst für erfahrene Entwickler können daher erste Kontakte mit COBOL-Systemen befremdlich wirken. Doch mit Wissen über häufig beobachtbare Muster, ungewohnte Stolpersteine und nicht direkt erkennbare Analogien zwischen COBOL-Konzepten und denen bekannter Sprachen, ist die Einarbeitung problemlos möglich.

6.2 Ausblick

Durch den Wandel der letzten Jahre bzw. Jahrzehnte in komplexen Softwaresystemen wird es immer schwerer, reine COBOL-Systeme zu nutzen und sinnvoll in eine heterogene IT-Landschaft einzubetten. Kunden sind von Applikationen für verschiedenste Systeme und Plattformen abhängig und müssen sich darauf verlassen können, dass die Erweiterung um neue Back- und Frontends ohne Einfluss auf bestehende Komponenten

vonstattengehen kann. Auch ist es nötig, die Basis für interne Systemergänzungen zu schaffen, indem festgelegte Interfaces bedient, verwendet und angeboten werden. Während diese Anforderungen mit modernen Sprachen wie Java mühelos erreicht werden können, bieten Altsysteme nur spärliche Möglichkeiten in dieser Richtung.

Aber auch finanzielle Aspekte sorgen über kurz oder lang dafür, dass Unternehmen Altsysteme migrieren und Geschäftslogik zunehmend in neuen Technologien abbilden. Dieser Wandel ist jedoch auch dafür verantwortlich, dass in Zukunft weiterhin Entwickler mit COBOL-Know-how gefragt sein werden, um schlecht dokumentierte Altsysteme mit all ihren Zusammenhängen zu verstehen und in neuen Code zu überführen.

Verknüpfung von COBOL und Java

Abschließend bleibt zu sagen, dass auch der gleichzeitige Betrieb von COBOL und Java in der Praxis möglich ist. Das verspricht kleinere Einheiten von Programmcode, die migriert und in Java neu implementiert oder weiterverwendet werden können.

Herr Lamperstorfer wies darauf hin, dass es dazu die Möglichkeit gibt, COBOL-Code innerhalb der JVM laufen zu lassen. Man spricht auch von *Rehosting*. Dazu wird ein spezieller Compiler benötigt, der den COBOL- in Byte-Code der JVM übersetzt. Damit wird es möglich, COBOL-Module direkt aus Java-Code heraus zu nutzen. Außerdem existieren Werkzeuge, die COBOL-Code in Java-Code übersetzen, sodass dieser anschließend – im Gegensatz zu generiertem Byte-Code – weiter bearbeitet werden kann.

Mit dem *Java Native Interface*, kurz *JNI* genannt, ergibt sich eine weitere Möglichkeit COBOL und Java zu verknüpfen. Dabei handelt es sich um eine Schnittstelle, die es Java-Programmen ermöglicht Systembibliotheken zu laden und Systemprogramme aufzurufen, womit kompilierter COBOL-Code aufgerufen werden.

```

1      (44) 01  W-DATE-FORM.
2      (45) 05  W-JJ              PIC XX.
3      (46) 05  FILLER            PIC X      VALUE '.'.
4      (47) 05  W-MM              PIC XX.
5      (48) 05  FILLER            PIC X      VALUE '.'.
6      (49) 05  W-AA              PIC XX.

```

Listing 6.1: Ursprünglicher COBOL-Code

```
1      Var w_Date_Form = declare.level(1).var() ;  
2      Var w_Jj = declare.level(5).picX(2).var() ;  
3      Var filler$1 = declare.level(5).picX(1).value(".").filler() ;  
4      Var w_Mm = declare.level(5).picX(2).var() ;  
5      Var filler$2 = declare.level(5).picX(1).value(".").filler() ;  
6      Var w_Aa = declare.level(5).picX(2).var() ;
```

Listing 6.2: Generierter Java-Code

Laut Herrn Streit ist jedoch eine solche Verknüpfung in der Praxis nicht zufriedenstellend und wird daher weitestgehend vermieden. Listing 6.1⁹ und Listing 6.2⁹ unterstreichen dies und zeigen, dass der generierte Java-Code in diesem Fall nicht zur weiteren Verwendung zu gebrauchen ist.

⁹ Dieser Code ist Teil einer Beispieldatei (Zeile 51-56) des NACA-Projekts, das sich auf die Übersetzung von COBOL nach Java spezialisiert hat.
<https://github.com/charleso/naca/blob/master/NacaSamples/src/online/ONLINE1.java>
(besucht am 19.05.2018)

Literatur

- [1] Franck Barbier. *Cobol software modernization*. Hoboken, NJ: ISTE Ltd/John Wiley and Sons Inc, 2014. ISBN: 978-1-84821-760-7.
- [2] Beat Balzli. *Cobol-Programmierer gesucht: Diese Unternehmen setzen auf IT-Rentner*. 19. Apr. 2017. URL: <https://www.wiwo.de/unternehmen/banken/cobol-programmierer-gesucht-diese-unternehmen-setzen-auf-it-rentner/19679936.html> (besucht am 19.05.2018).
- [3] Mo Budlong. *Teach yourself Cobol in 21 days*. 2nd ed. Indianapolis, IN: Sams Pub, 1997. 1056 S. ISBN: 978-0-672-31137-6.
- [4] John C Byrne und Jim Cross. *Java for COBOL programmers*. Boston, MA: Charles River Media, 2009. ISBN: 978-1-58450-618-8. URL: <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3136100>.
- [5] Scott Colvey. „Cobol hits 50 and keeps counting“. In: *The Guardian. Technology* (8. Apr. 2009). ISSN: 0261-3077. URL: <http://www.theguardian.com/technology/2009/apr/09/cobol-internet-programming> (besucht am 19.05.2018).
- [6] Michael Coughlan. *Beginning COBOL for programmers*. The expert's voice in COBOL. Berkeley, California: Apress, 2014. 556 S. ISBN: 978-1-4302-6253-4.
- [7] Georg Disterer, Hrsg. *Taschenbuch der Wirtschaftsinformatik: mit 71 Tabellen*. München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl Hanser Verl, 2000. 663 S. ISBN: 978-3-446-21051-6.
- [8] E. Reed Doke, Bill C Hardgrave, Richard A Johnson und E. Reed Doke. *COBOL programmers swing with Java*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2005. ISBN: 978-0-511-08240-5.
- [9] Edsger Wybe Dijkstra. *How do we tell truths that might hurt?* 18. Juni 1975. URL: <https://www.cs.utexas.edu/users/EWD/transcriptions/EWD04xx/EWD498.html> (besucht am 19.05.2018).
- [10] Florian Hamann. *In Banken leben Dinosaurier: Cobol kaum totzukriegen*. 31. Jan. 2017. URL: <https://news.efinancialcareers.com/de-de/272568> (besucht am 19.05.2018).
- [11] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson und John Vlissides. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. ISBN: 978-0-201-63361-0.
- [12] IBM Corporation. *Enterprise COBOL for z/OS Language Reference*. 2013. URL: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSQ2R2_9.0.1/com.ibm.ent.cbl.zos.doc/PGandLR/igy5lr10.pdf (besucht am 19.05.2018).
- [13] *Ist Cobol die Programmiersprache der Zukunft?* 26. Jan. 1979. URL: <https://www.computerwoche.de/a/ist-cobol-die-programmiersprache-der-zukunft,1191656> (besucht am 19.05.2018).

- [14] Jia Walker. *COBOL Programming Fundamental*. Nov. 2004. URL: http://yusman.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/33460/COBOL_Programming_Fundamental.pdf (besucht am 19.05.2018).
- [15] Stephen Kelly. *Cobol – still doing the business after 50 years*. 10. Juli 2009. URL: <https://www.ft.com/content/9c40ed12-569c-11de-9a1c-00144feabdc0> (besucht am 19.05.2018).
- [16] Robert C. Martin. *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*. 1. Aufl. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2008. ISBN: 978-0-13-235088-4.
- [17] Michael Löwe. *Betriebliche Informationssysteme*. URL: <http://ux-02.ha.bib.de/daten/L%C3%B6we/Master/IIS/BetrieblicheInformationssysteme.pdf> (besucht am 19.05.2018).
- [18] Oracle. *Reading, Writing, and Creating Files (The Java™ Tutorials > Essential Classes > Basic I/O)*. URL: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/io/file.html> (besucht am 19.05.2018).
- [19] Christian Rehn. *Tutorials schreiben oder: Wenn sich Programmierer in Prosa versuchen*. 29. Sep. 2009. URL: <http://www.christian-rehn.de/wp-content/uploads/2009/09/tutorials2.pdf> (besucht am 19.05.2018).
- [20] R. M. Richards. „Enhancing Cobol program structure: sections vs. paragraphs“. In: *ACM SIGCSE Bulletin* 16.2 (1. Juni 1984), S. 48–51. ISSN: 00978418. DOI: 10.1145/989341.989353. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=989341.989353> (besucht am 19.05.2018).
- [21] Uwe Rozanski. *Cobol 2002 ge-packt*. 1. Aufl. Die ge-packte Referenz. Bonn: mitp-Verl, 2004. 492 S. ISBN: 978-3-8266-1363-0.
- [22] Paul Rubens. *Why it's time to learn COBOL*. 1. Apr. 2016. URL: <https://www.cio.com/article/3050836/developer/why-its-time-to-learn-cobol.html> (besucht am 19.05.2018).
- [23] Harry M. Sneed, Ellen Wolf und Heidi Heilmann. *Softwaremigration in der Praxis: Übertragung alter Softwaresysteme in eine moderne Umgebung*. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt.Verl, 2010. 318 S. ISBN: 978-3-89864-564-5.
- [24] Nancy B. Stern, Robert A. Stern und James P. Ley. *COBOL for the 21st century*. 11th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006. 1 S. ISBN: 978-0-471-72261-8.
- [25] Susanne Hackmack. *Objekte, Typen, Typhierarchien, Instanzen, Klassen*. 2018. URL: <http://www.fb10.uni-bremen.de/homepages/hackmack/clst/pdf/klassen.pdf> (besucht am 19.05.2018).
- [26] Patrick Thibodeau. *Should Universities Offer Cobol Classes?* 8. Apr. 2013. URL: <https://www.cio.com/article/2386947/education/should-universities-offer-cobol-classes-.html> (besucht am 19.05.2018).
- [27] *TIOBE Index / TIOBE - The Software Quality Company*. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (besucht am 19.05.2018).
- [28] University of Limerick; Department of Computer Science & Information Systems. *COBOL programming - tutorials, lectures, exercises, examples*. URL: <http://www.csis.ul.ie/cobol/> (besucht am 19.05.2018).