

Funktionale und objektorientierte Programmierkonzepte

Übungsblatt 07



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Entwurf

Achtung: Dieses Dokument ist ein Entwurf und ist noch nicht zur Bearbeitung/Abgabe freigegeben. Es kann zu Änderungen kommen, die für die Abgabe relevant sind. Es ist möglich, dass sich **alle** Aufgaben noch grundlegend ändern. Es gibt keine Garantie, dass die Aufgaben auch in der endgültigen Version überhaupt noch vorkommen und es wird keine Rücksicht auf bereits abgegebene Lösungen genommen, die nicht die Vorgaben der endgültigen Version erfüllen.

Hausübung 07

Lambda-Ausdrücke

Gesamt: 36 Punkte

-NoValue-

Verbindliche Anforderungen für die gesamte Hausübung:

- Auch in dieser Hausübung fordern wir wieder Dokumentation mittels JavaDoc. Informationen dazu finden Sie unter anderem auf Übungsblatt 03.
- Schreiben Sie für die einzelnen Komponenten Ihrer Lösung immer sofort Tests und wenden Sie sie auch sofort zur eigenen Kontrolle an, wie Sie es von den früheren Übungsblättern her gewohnt sein sollten!

Einleitung

In der letzten Hausübung ging es primär um Methodenimplementationen, also Anweisungen und Ausdrücke, davor ging es um Klassen und Interfaces. Jetzt kommen wir zu einem „Schmankerl“, welches beides miteinander verbindet: **Lambda-Ausdrücke**. Das ist eine der vielen schönen und nützlichen programmiersprachlichen Konstrukte, die in funktionalen Sprachen (wie Racket) entwickelt und in anderen Programmiersprachen (wie Java) übernommen worden sind. Leider leidet die Schönheit bei einer solchen Übertragung zwangsläufig, ist vielleicht aber immer noch sichtbar. Die Nützlichkeit ist jedenfalls, wie Sie sehen werden, auch in Programmiersprachen wie Java hoch.

Um Sie in dieser Hausübung also diesem, vielleicht anfangs etwas überfordernd wirkendem, Thema anzunähern, werden Sie den direkten Vergleich zwischen standardmäßigen Implementieren von Interfaces zur Nutzung von Lambda-Ausdrücke für Selbiges direkt sehen.

In der ersten Aufgabe werden Sie dabei zunächst einige Klassen, die ein Interface implementieren, wie gewohnt vervollständigen, indem Sie die übergebene Methode des Interfaces selbst implementieren. Die zweite Aufgabe verläuft dabei völlig analog: Auch hier vervollständigen Sie Klassen, die ein Interface implementieren.

Erst in der dritten Aufgabe erhalten Sie den ersten konkreten Kontakt mit Lambda-Ausdrücken. Hier werden Sie die Funktionalitäten der Methoden aus der ersten Aufgabe nicht in standardmäßiger Form, sondern eben mittels Lambda-Ausdrücken implementiert. Dabei haben Sie dann einen direkten Vergleich zwischen der Ihnen bereits bekannten Art und Weise und dieser nun neu eingeführten, praktischeren Methode.

Als vierte Aufgabe vervollständigen Sie dann die letzten Reste einer Fabrik, die Ihnen, anhand der ihr übergebenen

Spezifikationen, einen Operator zurückliefert.

H1: Unäre und binäre Operatoren auf „Array von `double`“ als Functional Interfaces**10****Punkte****Hinweis:**

Alle in dieser Aufgabe relevanten Klassen und Methoden befinden sich im Package `arrayoperators`.

Sie finden in der Vorlage zunächst drei Interfaces:

- Ein Interface namens `DoubleArrayUnaryOperatorGivingArray` mit einer funktionalen Methode `applyAsDoubleArray`, die einen Parameter vom formalen Typ „Array von `double`“ und Rückgabotyp „Array von `double`“ hat. Die Hauptfunktionalität von implementierenden Klassen soll es sein, eine einfache *Filteroperation* auf dem gegebenen Array zu implementieren, die ggf. dieses Array modifiziert und zurückliefert.
- Ein Interface namens `DoubleArrayBinaryOperatorGivingArray` mit der selben funktionalen Methode `applyAsDoubleArray`, die allerdings zwei Parameter vom formalen Typ „Array von `double`“ aufweist und ebenfalls Rückgabotyp „Array von `double`“ hat. Ziel einer implementierenden Klasse ist es hierbei, die Methode so zu implementieren, dass eine gewisse *Vergleichsoperation* auf beiden aktuellen Parameterwerten stattfindet. Das Resultat dieser Vergleichsoperation wird dann zurückgeliefert.
- Zuletzt noch ein Interface namens `DoubleArrayBinaryOperatorGivingDouble`, abermals mit der funktionalen Methode `applyAsDoubleArray`. Diese hat einen formalen Parameter vom Typ „Array von `double`“ und hat als Rückgabotyp `double`. Implementierende Klassen sollten hierbei mittels `applyAsDoubleArray` eine *Faltungsoperation* auf einem Array implementieren, die lediglich einen Wert zurückliefert.

Unbewertete Verständnisfrage:

In den folgenden drei Teilaufgaben ist von „Filter“, „Map“ und „Fold“ die Rede. Können Sie sich vorstellen, was diese drei Teilaufgaben mit dem zu tun haben, was in Kapitel 04c als „Filter“, „Map“ und „Fold“ bezeichnet wird?

H1.1: Unäre Filter-Klasse auf „Array von `double`“**3 Punkte**

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Rückgabe von null

Bepunktung: 0,5 Punkte für korrekte Länge des Arrays

Bepunktung: 0,5 Punkte für korrekte Reihenfolge in Ergebnissen

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Ergebnisse (bei Verwendung)

Passend zum ersten Interface finden Sie in der Codevorlage die Klasse `ReduceDoubleArray`, die das Interface `DoubleArrayUnaryOperatorGivingArray` implementiert. Folglich, wie Sie es bereits von Interfaces kennen, muss die Methode `applyAsDoubleArray` des Interfaces implementiert werden. Ein Objekt dieser Klasse hat darüber hinaus, ein Objektattribut „`predicate`“ vom Typ `DoublePredicate`¹.

Nun implementieren Sie die geerbte Methode `applyAsDoubleArray` wie folgt: Falls einer der beiden aktuellen Parameterwerte der Methode `applyAsDoubleArray` gleich `null` ist, liefert diese Methode `null` zurück. Andernfalls liefert die Methode ein Array zurück, das höchstens so lang ist wie der aktuelle Parameter (die Länge der Rückgabe kann auch 0 sein). Dabei enthält die Rückgabe alle Komponenten, für die die Methode `test` des Prädikats `predicate` `true` liefert. Diese Komponenten sind in der Rückgabe in derselben Reihenfolge, wie auch schon im aktuellen Parameter. Darüber hinaus hat die Rückgabe keine weiteren Komponenten.

Dabei geht Ihre Methode `applyAsDoubleArray` zweimal durch den aktuellen Parameter: einmal, um die Länge der Rückgabe zu bestimmen, und ein zweites Mal, um die Komponenten des zurückzuliefernden Arrays zu setzen.

¹Gemeint ist natürlich `java.util.function.DoublePredicate`.

Anmerkung:

Hierbei empfiehlt es sich die Zählung der Komponenten der Rückgabe in einer separaten Methode zu zählen, ist aber nicht zwangsläufig notwendig.

H1.2: Binäre Map-Klasse auf „Array von `double`“**3 Punkte**

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Rückgabe von null

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Länge des Arrays

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Ergebnisse (bei Verwendung)

Des Weiteren finden Sie in der Codevorlage die Klasse `PairwiseDoubleArrayBinaryOperatorGivingArray`, passend zum Interface `DoubleArrayBinaryOperatorGivingArray`. Ein Objekt dieser Klasse hat ein Objektattribut vom Typ `DoubleBinaryOperator`² namens „operator“.

Die Implementation der Methode `applyAsDoubleArray` verläuft nun anders als in der vorhergehenden Aufgabe. Falls einer der beiden aktuellen Parameterwerte der Methode gleich `null` ist, liefert diese Methode `null` zurück. Ist dies nicht der Fall, liefert sie ein Array zurück, das genauso lang ist, wie das *kürzere* der beiden aktuellen Parameter.

Das Array wird nun wie folgt befüllt: An jedem Index i des zurückgelieferten Arrays steht das Ergebnis der Anwendung des Attributs `operator` auf den Wert am selben Index i in den beiden aktuellen Parametern. Hierbei ist die Reihenfolge dieselbe. Der erste aktuelle Parameter von `applyAsDouble` ist aus dem ersten aktuellen Parameter von `applyAsDoubleArray` entnommen, der Zweite entsprechend aus dem Zweiten.

Unbewertete Verständnisfrage:

Ist dieser binäre Operator auf Arrays kommutativ? Wenn ja wann?

H1.3: Binäre Fold-Klasse auf „Array von `double`“**4 Punkte**

Bepunktung: 2 Punkte für korrekte Ergebnisse (bei Verwendung)

Bepunktung: 1 Punkt für keine Rekursion

Bepunktung: 1 Punkt für eine einzige for-Schleife

Als letzte Klasse dieser Aufgabe finden Sie `PairwiseDoubleArrayBinaryOperatorGivingScalar`, die zum vorher erwähnten Interface `DoubleArrayBinaryOperatorGivingScalar` passt. Ein Objekt dieser Klasse hat zwei Objektattribute namens „operator1“ und „operator2“ vom Typ `DoubleBinaryOperator` sowie ein Objektattribut `init` vom Typ `double`.

Im Folgenden bezeichnet der **erste** binäre Operator `operator1` die **Komponentenverknüpfung** und der **zweite** binäre Operator `operator2` die **Faltungsoption**.

Die Implementation der Methode `applyAsDoubleArray` übersetzt die folgende Logik aus der Programmiersprache Racket in Java, wobei `join-fct` die Komponentenverknüpfung, `fold-fct` die Faltungsoption und `init` das

²Gemeint ist natürlich `java.util.function.DoubleBinaryOperator`

`double`-Attribut von `PairwiseDoubleArrayBinaryOperatorGivingScalar` ist:

```

1 ( define ( apply lst1 lst2 join-fct fold-fct init )
2   ( cond
3     [ ( or ( empty? lst1 ) ( empty? lst2 ) ) init ]
4     [ else ( fold-fct
5               ( join-fct ( first lst1 ) ( first lst2 ) )
6               ( apply ( rest lst1 ) ( rest lst2 ) join-fct fold-fct init ) ) ] ) )

```

Verbindliche Anforderung:

Die Methode `applyAsDoubleArray` von `PairwiseDoubleArrayBinaryOperatorGivingScalar` wird durch eine einzige Schleife realisiert, das heißt, Rekursion ist nicht erlaubt und mehr als eine Schleife ist ebenfalls nicht erlaubt.

Unbewertete Verständnisfragen:

- Dieses Auswertungsschema ist linksassoziativ auf den beiden Listen in Racket bzw. Arrays in Java. Was bedeutet dies und wie würde man Rechtsassoziativität in Java erreichen? (Siehe bspw. https://de.wikipedia.org/wiki/Operatorassoziativit%C3%A4t#Linksassoziative_Operatoren.)
- Im Aufruf von `fold-fct` finden Sie wieder `fold-fct`. Ist das jetzt Rekursion oder was ist das sonst?

H2: Binäre Operatoren auf `double` als Functional Interfaces

6 Punkte

Hinweis:

Alle in dieser Aufgabe relevanten Klassen befinden sich im Package `doubleoperators`.

H2.1: Erste binäre Operatorklasse auf `double`

2 Punkte

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Ergebnisse (bei Verwendung)

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Reihenfolge der Produkte

In der Codevorlage finden Sie nun eine Klasse `DoubleSumWithCoefficientsOp`³, die das Interface `DoubleBinaryOperator` implementiert.

Klasse `DoubleSumWithCoefficientsOp` besitzt noch zwei Attribute, `coeff1` und `coeff2`, vom primitiven Datentyp `double`. Darüber hinaus erhält die Methode `applyAsDouble` ebenfalls zwei `double` Werte als Parameter, nämlich `left` als den Ersten und `right` als den Zweiten.

Konkret soll Ihre Methode `applyAsDouble` ihren ersten Parameter `left` mit `coeff1` und ihren zweiten Parameter `right` mit `coeff2` multiplizieren und die Summe dieser beiden Produkte zurückliefern.

Unbewertete Verständnisfrage:

Ist dieser binäre Operator kommutativ? Was ist im Fall `coeff1 == coeff2`?

³Siehe z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Koeffizient> für die Namensgebung.

H2.2: Zweite binäre Operatorklasse auf `double`1 Punkt

Bepunktung: 1 Punkt für richtige Ergebnisse (bei Verwendung)

Sie finden in der Vorlage außerdem noch die Klasse `EuclideanNorm`, die ebenfalls das Interface `DoubleBinaryOperator` implementiert. `applyAsDouble` implementieren Sie hier so, dass sie für ihre aktuellen Parameterwerte `x` und `y` vom Typ `double` den eindimensionalen euklidischen Abstand⁴, also konkret den Wert $\sqrt{x^2 + y^2}$, mit Hilfe der Klassenmethode `sqrt` von Klasse `Math`⁵ zurückliefert.

H2.3: Dritte binäre Operatorklasse auf `double`1 Punkt

Bepunktung: 1 Punkt für richtige Ergebnisse (bei Verwendung)

Als dritte Operatorklasse finden Sie noch `DoubleMaxOfTwo`, die abermals das Interface `DoubleBinaryOperator` implementiert. Diese liefert in ihrer Methode `applyAsDouble`, wie der Name der Klasse bereits vermuten lässt, das Maximum ihrer beiden aktuellen Parameterwerte, `left` und `right` zurück.

H2.4: Vierte binäre Operatorklasse auf `double`2 Punkte

Bepunktung: 1 Punkt für korrekte Ergebnisse (bei Verwendung)**Bepunktung:** 1 Punkt für korrekte Reihenfolge der Operatoren

Als letzte der vier Operatorklassen, implementieren Sie noch die `applyAsDouble` Methode der Klasse `ComposedDoubleBinaryOperator`. Ein Objekt dieser Klasse besitzt selbst drei Objektattribute vom Typen `DoubleBinaryOperator`.

Konkret ist die Funktionalität ihrer `applyAsDouble` Methode nun wie folgt: Zunächst wird der erste Operator `op1` die beiden aktuellen Parameterwerte `x` und `y` angewandt und separat davon auch noch der zweite Operator `op2` auf die selben übergebenen `double`-Werte (in der selben Reihenfolge). Schließlich wird nun der dritte Operator `op3` auf das Ergebnis dieser beiden Operatoren angewandt und das Resultat von der Methode zurückgeliefert.

Unbewertete Verständnisfrage:

Was gilt bezüglich Kommutativität bei diesem Operator?

H3: Lambda-Ausdrücke in Kurzform und Standardform11 Punkte

Hinweise:

- Auch die für diese Aufgabe relevante Klasse, `DoubleBinaryOperatorFactory` befindet sich im Package `doubleoperators`. Darüber hinaus befinden sich in diesem Package zwei Klassen, `PairOfDoubleCoefficients` und `TripleOfDoubleBinaryOperators`. Die Klasse `PairOfDoubleCoefficients` weist zwei `public`-Objektattributen „coeff1“ und „coeff2“ vom Typ `double` auf. `TripleOfDoubleBinaryOperators` besitzt drei `public`-Objektattributen „op1“, „op2“ und „op3“ vom Typ `DoubleBinaryOperator`. Diese werden in der folgenden Aufgabe benötigt.
- Im Folgenden bezieht sich die **Standard**- und die **Kurzform** eines Lambda-Ausdruckes auf die Darstellungen gemäß Kapitel 04c, Folien 89-97 der FOP

⁴https://de.wikipedia.org/wiki/Euklidischer_Abstand

⁵Gemeint ist natürlich `java.lang.Math`.

H3.1: Lambda-Ausdruck anstelle von DoubleSumWithCoefficientsOp**2.5 Punkte****Bepunktung:** 1 Punkt für richtigen Lambda-Ausdruck**Bepunktung:** 1 Punkt für richtige Ergebnisse (bei Verwendung)**Bepunktung:** 0,5 Punkte für null

In der Klasse `DoubleBinaryOperatorFactory` finden Sie die Methode `doubleSumWithCoefficientsOpAsLambda`. Diese erhält einen aktuellen Parameter vom Typ `Object` und liefert ein `DoubleBinaryOperator`-Objekt zurück.

Die Methode implementieren Sie wie folgt: Sollte der dynamische Typ des aktuellen Parameters `PairOfDoubleCoefficients` oder ein Subtyp davon sein, erstellen Sie die Rückgabe mittels eines Lambda-Ausdrucks in **Standardform**. Dabei ist die Logik dieser Rückgabe äquivalent zu der Funktion der Methode `applyAsDouble` von `DoubleSumWithCoefficientsOp`. Die Koeffizienten entnehmen Sie dabei 1 zu 1 aus dem `PairOfDoubleCoefficients`-Objekt im aktuellen Parameter.

Andernfalls wird `null` von `doubleSumWithCoefficientsOpAsLambda` zurückgeliefert.

H3.2: Lambda-Ausdruck anstelle von EuclideanNorm**2 Punkte****Bepunktung:** 1 Punkt für richtigen Lambda-Ausdruck**Bepunktung:** 1 Punkt für richtige Ergebnisse (bei Verwendung)

Sie finden außerdem eine Methode namens `euclideanNormAsLambda` in der Klasse `DoubleBinaryOperatorFactory`. Die Rückgabe dieser Methode erstellen Sie wieder mittels eines Lambda-Ausdrucks in **Standardform**. Dabei ist die Logik dieses Ausdrucks äquivalent zu der Funktion der Methode `applyAsDouble` in `EuclideanNorm`.

H3.3: Lambda-Ausdruck anstelle von DoubleMaxOfTwo**4 Punkte****Bepunktung:** 1 Punkt Lambda-Ausdruck bei `true`**Bepunktung:** 1 Punkt bei korrekter Verwendung von `<`**Bepunktung:** 1 Punkt Methodenreferenz bei `false`**Bepunktung:** 1 Punkt für richtige Ergebnisse (bei Verwendung)**Bepunktung:** 0,5 Punkte für null

Als nächstes implementieren Sie die Methode `doubleMaxOfTwoAsLambda`. Diese erhält wie auch schon die Methode `doubleSumWithCoefficientsOpAsLambda` einen aktuellen Parameter vom Typ `Object` und auch hier entscheidet sich die Art der Rückgabe anhand dieses Objektes.

Ist der dynamische Typ des aktuellen Parameters gleich `Boolean`, wird anhand des in diesem Objekt eingekapselten `bool'schen` Wertes die Rückgabe bestimmt: Kapselt das Objekt `true` ein, wird hier der Lambda-Audruck **nicht** in **Standardform**, sondern in **Kurzform** gebildet, wobei hier die Maximumsberechnung keine Methode verwendet, sondern mit Hilfe des Bedingungsoperators „`<`“ bestimmt wird.

Kapselt das `Boolean`-Objekt hingegen `false` ein, soll im Lambda-Ausdruck eine Methodenreferenz mit der Methode `max` von Klasse `Math` verwendet werden (siehe dazu Kapitel 04c, Folien 186-213 der FOP).

Ist der dynamische Typ des aktuellen Parameters **nicht** `Boolean`, liefert diese Methode `null` zurück.

H3.4: Lambda-Audruck anstelle von `ComposedDoubleBinaryOperator`2.5 Punkte

Bepunktung: 1 Punkt für richtigen Lambda-Ausdruck**Bepunktung:** 1 Punkt für richtige Ergebnisse (bei Verwendung)**Bepunktung:** 0,5 Punkte für null

Zuletzt fehlt noch die Methode `composedDoubleBinaryOperatorAsLambda`. Auch sie erhält einen aktuellen Parameter vom Typ `Object` und auch hier entscheidet sich die Art der Rückgabe anhand dieses Objektes.

Sollte der dynamische Typ des aktuellen Parameters `TripleOfDoubleBinaryOperators` oder ein Subtyp davon sein, erstellen Sie die Rückgabe mittels eines Lambda-Ausdrucks in **Kurzform**. Dabei ist die Logik dieser Rückgabe äquivalent zu der Funktion der Methode `applyAsDouble` von `ComposedDoubleBinaryOperator`. Die Koeffizienten entnehmen Sie dabei 1 zu 1 aus dem `TripleOfDoubleBinaryOperators`-Objekt im aktuellen Parameter.

Andernfalls wird `null` von `composedDoubleBinaryOperatorAsLambda` zurückgeliefert.

H4: Das Bauen von Operatoren mit Hilfe der Klasse `DoubleBinaryOperatorFactory`
Punkte9

In der vorhergehenden Aufgabe haben Sie vielleicht schon die Schönheit von Lambda-Ausdrücken erkannt. Anstatt lästig ein Interface zu implementieren und ein Objekt dieser implementierenden Klasse zu erstellen haben Sie hier einfach einen völlig äquivalenten Ausdruck innerhalb von einer einzigen Zeile erstellt. In dieser Aufgabe soll dieser Vorteil nun noch einmal zur Geltung kommen, denn hier erstellen Sie die eigentliche Fabrik, die Ihnen anhand gewisser Spezifikationen Operatoren erstellt und zurückgeliefert. Dabei werden einmal die von Ihnen in Aufgabe H3 implementierten Klassen mittels `new` erstellt und auf der anderen Seite einfach die soeben implementierten Methoden aufgerufen. Spätestens danach erkennen Sie den Nutzen von Lambda-Ausdrücken.

H4.1: Die Methode `buildOperator`2 Punkte

Bepunktung: 1 Punkt für richtige Rückgabe**Bepunktung:** 1 Punkt für richtige Unterscheidung zwischen `true` und `false`

Sie finden also in der Klasse `DoubleBinaryOperatorFactory` noch eine weitere Methode namens `buildOperator`. Diese erwartet mehrere Spezifikationen als aktuelle Parameter. Der erste aktuelle Parameter vom Typ `String` legt die Art des `DoubleBinaryOperator`-Objektes fest, die die Fabrik zurückliefert. Der zweite aktuelle Parameter vom Typ `Object`⁶ legt, unter Umständen, eine bestimmte Initialisierung des zurückgelieferten `DoubleBinaryOperator`-Objektes fest und der dritte, bool'sche, aktuelle Parameter entscheidet über die Art und Weise, wie der Operator erstellt wird.

Die Rückgabe der Methode ist `null`, sollte der erste aktuelle Parameter keiner der vier Strings `"Coeffs"`, `"Euclidean"`, `"Max"` oder `"Composed"` beinhaltet.

Sollte der dritte Parameter nun „`true`“ eingekapseln, ruft `buildOperator` die Methode `buildOperatorWithNew` auf. Dabei werden die ersten beiden aktuellen Parameter von `buildOperator` einfach für `buildOperatorWithNew` übernommen.

Ist der Wert des dritten Parameters allerdings `false`, wird stattdessen die Methode `buildOperatorWithLambda` aufgerufen. Auch diese erhält die selben Parameter, wie auch schon `buildOperatorWithNew`.

⁶Warum wir diesen Typen absichtlich so flexibel gehalten haben, erfahren Sie gleich.

H4.2: Operatoren mittels `new`**4 Punkte****Bepunktung:** 0,5 Punkte für jede richtige Rückgabe**Bepunktung:** 1 Punkt für Nutzung von `new`**Bepunktung:** 1 Punkt für `switch`-Block

Nun implementieren Sie zunächst die Methode `buildOperatorWithNew`. Wir unterscheiden die Art des zurückgelieferten Operators dabei wie folgt anhand des ersten aktuellen Parameters `operator`:

- **"Coeffs"**: Nun entscheidet der zweite aktuelle Parameter über die Rückgabe. Ist der dynamische Typ des Parameters `PairOfDoubleCoefficients` oder ein Subtyp davon ist, ist der dynamische Typ der Rückgabe `DoubleSumWithCoefficientsOp` und die zwei Koeffizienten entnehmen Sie aus dem zweiten aktuellen Parameter. Andernfalls liefert `buildOperator` `null` zurück.
- **"Euclidean"**: Hier wird der zweite aktuelle Parameter der Methode ignoriert. Der dynamische Typ der Rückgabe ist einfach `EuclideanNorm`.
- **"Max"**: Auch hier wird der zweite aktuelle Parameter der Methode ignoriert. Der dynamische Typ der Rückgabe ist einfach `DoubleMaxOfTwo`.
- **"Composed"**: Hier entscheidet der zweite aktuelle Parameter wieder. Falls der dynamische Typ des zweiten aktuellen Parameters gleich `TripleOfDoubleBinaryOperators` oder ein Subtyp davon ist, ist der dynamische Typ der Rückgabe `ComposedDoubleBinaryOperator` und die drei Operatoren werden, wie bereits im ersten Fall, aus dem zweiten aktuellen Parameter geholt. Andernfalls wird wieder `null` von `buildOperator` zurückgeliefert.

Verbindliche Anforderung:

Die Fallunterscheidung anhand des ersten Parameters soll in einer einzigen `switch`-Anweisung (siehe Kapitel 03c, Folien 214-226 der FOP) geschehen.

H4.3: Operatoren mittels Lambda-Ausdrücken**3 Punkte****Bepunktung:** 0,5 Punkte für jede richtige Rückgabe**Bepunktung:** 1 Punkt für `switch`-Block

Die Methode `buildOperatorWithLambda` funktioniert nun ziemlich analog zur Methode `buildOperatorWithNew`. Auch hier machen Sie eine Fallunterscheidung anhand des ersten Parameters `operator`. Allerdings wird hier nun die Rückgabe der Methode in jedem der Fälle durch einen Aufruf der in Aufgabe H3 implementierten Methoden gewährleistet:

- **"Coeffs"**: Sie liefern die Rückgabe des Aufrufs der Methode `doubleSumWithCoefficientsOpAsLambda` zurück. Dabei übergeben Sie der Methode den zweiten aktuellen Parameter der Methode `buildOperatorWithLambda`.
- **"Euclidean"**: Sie liefern die Rückgabe des Aufrufs der Methode `euclideanNormAsLambda` zurück.
- **"Max"**: Sie liefern die Rückgabe des Aufrufs der Methode `doubleMaxOfTwoAsLambda` zurück. Dabei übergeben Sie der Methode erneut den zweiten aktuellen Parameter der Methode `buildOperatorWithLambda`.
- **"Composed"**: Sie liefern die Rückgabe des Aufrufs der Methode `composedDoubleBinaryOperatorAsLambda` zurück. Dabei übergeben Sie, völlig analog zum ersten Fall, der Methode den zweiten aktuellen Parameter der Methode `buildOperatorWithLambda`.

Verbindliche Anforderungen:

- In dieser Aufgabe dürfen keine Objekte mittels des Operators `new` erstellt werden.
- Verwenden Sie abermals eine einzige `switch`-Anweisung.

Anhand dieser Aufgabe haben Sie die eigentliche Stärke von Lambda-Ausdrücken kennen gelernt. Um bisher beispielsweise die relativ simple Funktionalität der oben eingeführten Operatoren zu implementieren, brauchten wir bisher eine Klasse, die eine Methode (hier `applyAsDouble`) eines Interfaces (hier `DoubleBinaryOperator`) implementiert. Wie Sie jetzt in dieser Aufgabe gelernt haben, geht dies auch wesentlich eleganter von statten, ohne große Implementationen oder ohne lästiges Erstellen von Objekten, nämlich einfach mit einem einzigen Lambda-Ausdruck in Standard- oder Kurzform. Diese wundervolle Funktionalität der Programmiersprache Java wird Ihnen immer wieder über den Weg laufen, beispielsweise beim Umgang mit Listen (Stichwort Sortierung, Filterung, etc.).

Unbewertete Verständnisfragen:

- Sehen Sie hier irgendwo Closure gemäß Kapitel 04c, Folien 68-70 der FOP?
- Dieses Design mit einem zusätzlichen Parameter vom Typ `Object` für fallspezifische, optionale Zusatzinformationen ist offensichtlich sehr flexibel. Es wird auch an verschiedenen Stellen in der Java-Standardbibliothek angewandt. Welches Risiko steckt darin?
- Sie lesen oben mehrfach „oder ein Subtyp davon“. Warum? Bei einem Parameter vom formalen Typ `String` oder `Boolean` können wir uns gewiss sein, dass `String` bzw. `Boolean` auch der aktuelle Typ ist. Warum? Was ist die hilfreiche Konsequenz aus dieser Gewissheit, wenn Sie mit `instanceof` testen wollen, ob der dynamische Typ gleich `String` bzw. `Boolean` ist?