

**Studienarbeit**  
**Objective C und iOs Programmierung**  
**ExpressionCalc**

Christoph Cwelich Inf5

22. Dezember 2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Anleitung Taschenrechner für das iPhone</b>	<b>4</b>
1.1. Vorwort . . . . .	4
1.2. Portrait-View . . . . .	4
1.3. Landscape-View . . . . .	5
1.4. Funktionsumfang . . . . .	5
1.4.1. Grundlagen . . . . .	5
1.4.1.1. Der Platzhalter . . . . .	5
1.4.1.2. Navigation und der Focus . . . . .	5
1.4.1.3. Zahlen . . . . .	6
1.4.1.4. Operatoren . . . . .	6
1.4.1.5. Auswertung . . . . .	6
1.4.2. Weitere Funktionalitäten . . . . .	6
1.4.2.1. Mathematische Funktionen . . . . .	6
1.4.2.2. Konstanten . . . . .	7
1.4.2.3. Variablen . . . . .	7
1.4.2.4. Sondertasten . . . . .	8
 <b>I. Dokumentation</b>	 <b>9</b>
<b>2. Einleitung</b>	<b>10</b>
2.1. Umsetzung für iOS . . . . .	10
<b>3. Programmablauf</b>	<b>12</b>
3.1. Eingabe von Symbolen . . . . .	12
3.1.1. Allgemein . . . . .	12
3.1.2. Beispiel XCSpacer-triggerNum . . . . .	14
3.1.3. Beispiel Operatoraufruf . . . . .	15
3.2. Berechnung von Ausdrücken . . . . .	16
<b>4. Klassen</b>	<b>17</b>
4.1. XCViewController . . . . .	17
4.2. Kernel . . . . .	18
4.2.1. Schnittstellen (Protocols) . . . . .	18
4.2.2. XCKernel . . . . .	18
4.2.3. Hilfsklassen . . . . .	18
4.2.4. Syntax-Tree . . . . .	18
4.2.4.1. XCTupleElement . . . . .	19
4.2.4.2. XCSimpleElement . . . . .	19
4.2.4.3. XCTerminalElement . . . . .	19

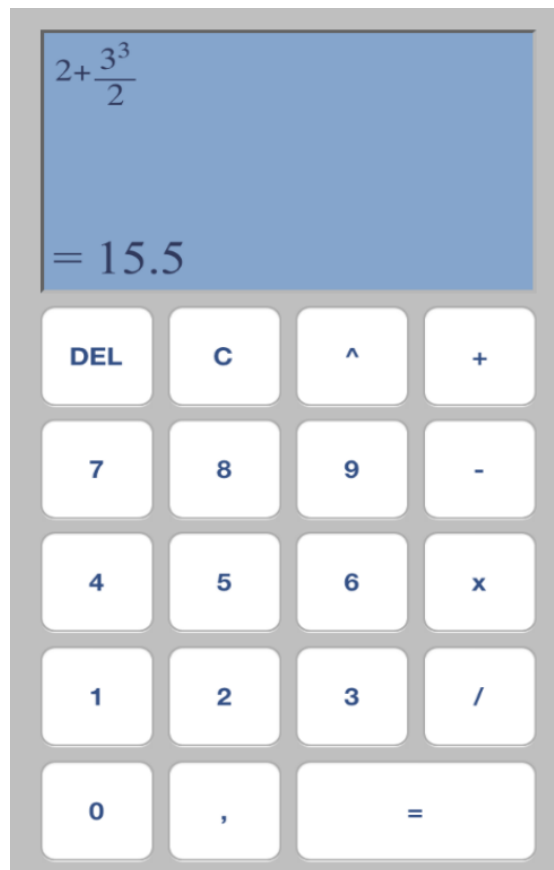


# 1. Anleitung Taschenrechner für das iPhone

## 1.1. Vorwort

Mit dem vorliegenden Taschenrechner können einfache aber auch komplexe Ausdrücke berechnet werden. Er beherrscht Punkt-vor-Strichrechnung, Klammerung und einfache Funktionen. Die Ausdrücke sind dabei navigierbar, es können neue Elemente eingefügt oder vorhandene gelöscht werden. Neben dem letzten Wert können auch Variablen gespeichert und wieder abgerufen werden. Natürlich sind auch die in der Mathematik allgegenwärtigen Konstanten  $\pi$  und  $e$  vorhanden. Es können auch vorher eingegebene Ausdrücke wiederholt werden.

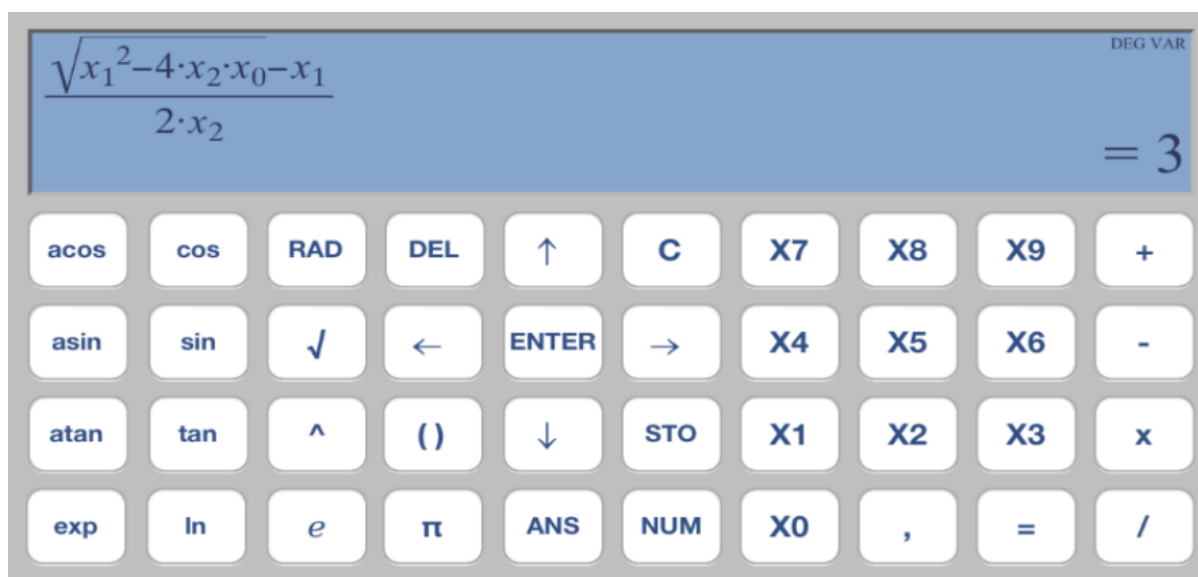
## 1.2. Portrait-View



Die Portrait-View stellt einen einfachen Taschenrechner mit minimalen Grundfunktionen zur Verfügung. Im Display wird oben der eingegebene Ausdruck angezeigt und unten das zurückgegebene Ergebnis. Zu groß geratene Ausdrücke können mit einem Wischen über das Display

gescrollt werden.

### 1.3. Landscape-View



Dreht man das Gerät in den Landscape Mode, so erhält man den vollen Funktionsumfang des Taschenrechners. Im Display erscheint außerdem eine Statusanzeige oben rechts.

### 1.4. Funktionsumfang

#### 1.4.1. Grundlagen

##### 1.4.1.1. Der Platzhalter

Am Anfang eines leeren Ausdrucks oder nach der Eingabe eines Operators erscheint ein Platzhalter ' '. Dieser fordert dazu auf, eine Zahl, eine Variable, eine Konstante oder eine Funktion einzugeben. Die Operatoren sind dabei gesperrt (Ausnahme: [ - ], [ / ]).

**Klammern verwenden:** Da alle Operatoren und Funktionen nur einen Wert im Platzhalter erwarten, muss in Fällen, in dem ein neuer Ausdruck benötigt wird, die [ ( ) ]-Taste gedrückt werden. Diese leitet einen neuen Unterausdruck ein.

**Hinweis:** Anhand der Ausdrucksangabe ist nicht immer erkennbar, ob man sich gerade in einem geklammerten Ausdruck befindet. Deshalb wird in diesem Fall in der Statusanzeige '( )' angezeigt.

##### 1.4.1.2. Navigation und der Focus

Der Focus hebt das aktuelle Element hervor. Mittels [ ← ] und [ → ] kann der Focus nach links oder rechts auf dem Ausdruck bewegt werden. Ist der Focus am linken oder rechten Ende angekommen, wechselt der Focus auf eine Ausdrucksebene höher. Die Ausdrucksebenen ergeben

sich durch die Eingabe von Klammern und Operatoren wobei Einzelemente wie Zahlen immer ganz unten stehen.

Mittels [ **ENTER** ] kann in einen markierten Ausdruck eingetreten, also auf eine Ebene tiefer gewechselt werden.

#### 1.4.1.3. Zahlen

Über den Nummernblock können Zahlen und ein Komma eingegeben werden. Neue Ziffern werden an die Zahl angehängt. Beim Drücken eines Operators wird die Zahleneingabe verlassen.

#### 1.4.1.4. Operatoren

Durch Operatoren können Werte von Elementen verknüpft werden. Wird ein Operator gedrückt, wenn ein Element im Focus steht, so wird dieses mit einem neuen Platzhalter verknüpft. Dabei spielt die Auswertungsreihenfolge (es gilt Punkt-vor-Strich) eine Rolle:

1. Es werden zuerst Ausdrücke in Klammern und Funktionswerte berechnet.
2. der Exponentenoperator [  $\wedge$  ], der eine Zahl hoch einem Exponenten nimmt.
3. [  $\times$  ] und [  $/$  ]
4. zuletzt [  $+$  ] und [  $-$  ]

#### 1.4.1.5. Auswertung

Drückt man [  $=$  ] so wird der eingegebene Ausdruck ausgerechnet und das Ergebnis am unteren Displayrand angezeigt.

Bei fehlerhaften Eingaben (z.B. Teilen durch 0) wird 'ERROR' zurückgegeben

#### Sonderfunktionen:

[  $-$  ] Wird auf einem Platzhalter Minus gedrückt, so wird dieser bzw. der spätere enthaltene Wert negiert. Erneutes Drücken entfernt das '-'.  
[  $/$  ] Wie [  $-$  ]. Allerdings wird der enthaltene Wert invertiert (entspricht  $x^{-1} = \frac{1}{x}$ ).

### 1.4.2. Weitere Funktionalitäten

#### 1.4.2.1. Mathematische Funktionen

Drückt man auf eine Funktion so erscheint ein neues Funktionsobjekt im Ausdruck. Dabei wird ein Platzhalter geschaffen, der die oben beschriebenen Eigenschaften erfüllt. Bei der Auswertung wird dann der Wert (oder Ausdruck) rechts neben der Funktion in die Funktion eingesetzt und der berechnete Wert zurückgegeben.

#### Folgende Funktionen sind enthalten:

[ **exp** ] Die  $e$ -Funktion

[  $\sqrt{\phantom{x}}$  ] Die Quadratwurzel

[ **ln** ] Der natürliche Logarithmus

[ **cos** ], [ **sin** ], [ **tan** ] Die Winkelfunktionen

[ **acos** ], [ **asin** ], [ **atan** ] Die Umkehrfunktionen der Winkelfunktionen

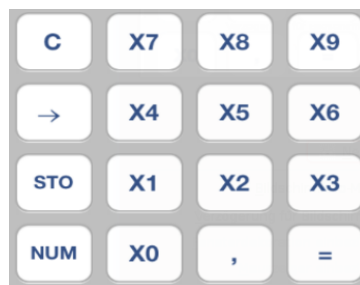
#### 1.4.2.2. Konstanten

Es ist auch möglich mit symbolischen Konstanten zu rechnen. Deren Werte werden dann beim Auswerten in die Rechnung eingesetzt

[  $\pi$  ] die Kreiszahl  $\pi$

[  $e$  ] die eulersche Zahl

#### 1.4.2.3. Variablen



**Variablen** Drückt man die [ **VAR** ]-Taste dann wechseln die Ziffern des Nummernblocks auf [ **X0** ] bis [ **X9** ]. Die Taste [ **VAR** ] verändert dabei ihren Titel zu [ **NUM** ]. In der Statusanzeige wechselt zudem das Symbol 'NUM' auf 'VAR'. Der Rechner befindet sich also im Variablenmodus.

Drückt man nun auf eine der Nummerblocktasten so wird die entsprechende Variable in den Ausdruck eingesetzt. Beim Berechnen wird dann der Wert aus der Variable entnommen und in den Ausdruck eingefügt.

Durch erneutes Drücken der [ **NUM/VAR** ]-Taste kann wieder zum Nummernmodus zurückgekehrt werden.

**Hinweis:** Alle Variablen werden mit 0 initialisiert

**Speichern** Beim Betätigen von [ **STO** ] wechselt der Nummernblock in den Variablenmodus. Wird nun eine Variable ausgewählt, wird diese mit einem Zuweisungspfeil links neben den Ausdruck geschrieben. Nach dem Bestätigen von [ **=** ] wird der Wert im Ausdruck ermittelt und in der Variable gespeichert.

**ANS** Unabhängig von den oben genannten Variablen wird immer der letzte berechnete Wert in die ANS-Variable gespeichert. Diese kann man wie eine Variable über die [ **ANS** ]-Taste in den Ausdruck einsetzen.

#### 1.4.2.4. Sondertasten

[ **RAD** ] / [ **DEG** ] Damit lässt sich der Winkelmodus für die Winkelfunktionen von Grad (DEG) auf Bogenmaß (RAD) verändern. Der aktuelle Zustand wird in der Statusanzeige ausgegeben.

[ **DEL** ] mit dieser Taste lassen sich einzelne Elemente oder ganze Teilausdrücke löschen.

- befindet sich der Focus innerhalb einer Zahl, wird die letzte Ziffer gelöscht.
- befindet sich der Focus auf einem Element oder (Teil-) Ausdruck, dann wird der gesamte Teil durch einen Platzhalter ersetzt.
- auf einem Platzhalter wird auch der letzte zugehörige Operator (oder die zug. Funktion) gelöscht.

[ **C** ] Damit wird der aktuelle Ausdruck zurückgesetzt.

[ **↑** ], [ **↓** ] Damit kann über vorher eingegebene Ausdrücke rück- oder vorwärts navigiert werden. Mittels [ **ENTER** ] kann auch in einen ausgewählten Ausdruck wieder eingetreten werden.



**Teil I.**

**Dokumentation**

## 2. Einleitung

Die vorliegende Dokumentation beschreibt den Programmablauf sowie die Klassenstruktur. Bei der App handelt es sich um einen Taschenrechner, der komplexe Ausdrücke nach den gängigen Regeln berechnen kann und diese in einer ansehnlichen mathematischen Form (mathml) auf das Display ausgibt. Ein solcher Ausdruck kann mit einer Grammatik beschrieben werden.

Folgende erweiterte Backus-Naur-Form bildet die Grundlage für das vorliegende Programm:

```
// basic definitions
<Statement>      ::= 'var' <Whitespace> <Variable> '=' ] <Expression>
<Expression>     ::= [ <opSum> ] <Product> ( <opSum> <Product> )*
<Product>        ::= <Power> ( <opProduct> <Power> )*
<Power>          ::= <Literal> ( <opExponent> <Literal> )*
<Literal>        ::= <Number> | <Identifizier>
                  | '(' <Expression> ')' | <Function>
<Identifizier>   ::= <Constant> | <Variable>
<Constant>       ::= <pi> | <e>
<Variable>       ::= ANS | X0 | ... | X9
<Function>       ::= <FunctionName> <Literal>
<FunctionName>   ::= 'cos' | 'sin' | 'tan'
                  | 'acos' | 'asin' | 'atan'
                  | <sqrt> | 'exp' | 'ln'

//tokentype: operator
<opSum>          ::= '+' | '-'
<opProduct>      ::= '*' | '/'
<opExponent>     ::= '^'
//tokentype: number
<Number>         ::= <Decimal> [ 'E' ( <Digit> )+ ]
<Decimal>        ::= ( ( <Digit> )+ [ '.' ( <Digit> )* ] )
                  | ( ( <Digit> )* '.' ( <Digit> )+ )
<Digit>          ::= '0' | '1' | ... | '9'
//special
<Whitespace>     ::= '␣'
```

Die Grammatik gibt dabei an, wie der Syntaxbaum im Rechner aufgebaut wird. Gleichzeitig wird damit die Bindungsstärke der Operatoren geregelt, nämlich von außen die Addition/Subtraktion (schwache Bindung) bis nach innen der Exponentialoperator (starke Bindung).

### 2.1. Umsetzung für iOS

Normalerweise dient eine Grammatik dazu, Text von der Tastatur oder aus Textfiles zu parsen. Für den Taschenrechner auf iOS-Basis bringt dies aber Nachteile mit sich:

- Es wird nur eine beschränkte Anzahl von Zeichen und Symbolen benötigt, wobei die benötigten Symbole überwiegend mathematisch sind.
- Beim Navigieren über den Ausdruck (und Löschen von Elementen) gibt es Schwierigkeiten, schließlich hat mein keinen Texteditor vor sich.
- Eine “schöne” mathematische Darstellung ist kaum möglich, es müsste eine Art Programmiersprachensyntax verwendet werden, oder die Ausgabe im getrennten Display erfolgen (Platzmangel)
- Es können durch falsche Eingaben viele Fehler auftreten → Benutzerunfreundliches debugging.

Stattdessen wird folgende Vorgehensweise forciert:

- Die Symbole aus der Grammatik werden in eine Klassenstruktur umgewandelt.
- Der “Objekt-Syntaxbaum” baut sich dann praktisch selbst auf.
- Die “Zeichen” die hinzugefügt werden können, werden direkt als Methode an den Syntaxelementen definiert. Jedes Syntaxelement kann dann abhängig von seinem Kontext entscheiden, wie es auf die Eingabe reagieren soll.
- die Eingabemethoden werden dann über den ViewController mit Buttons in der View verknüpft.
- Jedes Element erzeugt seine Ausgabe selbst als mathml. Damit wird der Objektbaum in eine HTML/XML-Struktur transformiert. Das damit aufgebaute HTML kann dann in einer UIWebView ausgegeben werden.

Dieses Vorgehen bietet folgende Vorteile:

- Eingabefehler werden minimiert, da die (Syntax-) Elemente nur definierte Eingaben akzeptieren. Unpassendes kann einfach ignoriert werden.
- Eingabe erfolgt nur über Buttons, die Ausgabe “live” über HTML.
- Änderungen und die Navigation kann direkt über die Syntaxbaumelemente erfolgen, statt über einzelne Zeichen.

## 3. Programmablauf

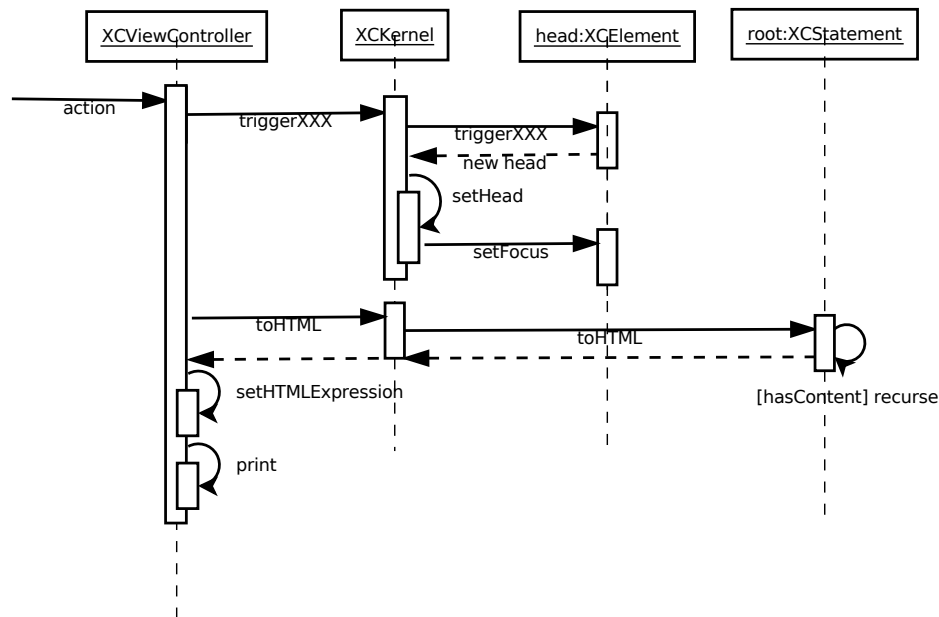


Abbildung 3.1.: Sequenzdiagramm: Trigger Allgemein

In diesem Kapitel soll der allgemeine Programmablauf dargestellt werden. Einzelne Klassen werden hier schon mal kurz angesprochen, aber erst im nächsten Kapitel eingehender behandelt.

### 3.1. Eingabe von Symbolen

Dieser Abschnitt zeigt den generellen Ablauf bei Eingaben durch den Benutzer. Anschließend wird noch ein ausgewähltes Beispiel vorgestellt werden.

#### 3.1.1. Allgemein

Diagramm 3 zeigt den allgemeinen Ablauf, wenn der Benutzer einen Button auf der View betätigt.

1. Durch Betätigung eines Buttons wird im ViewController eine Action ausgelöst.

2. Im VC wird eine entsprechende `trigger`-Nachricht an den Kernel (XCKernel-Klasse) geschickt. Triggernachrichten haben immer die Form:

```
hasTriggers triggerXXX [ args ]
```

- `hasTriggers` ist dabei der Rückgabewert, also ein Element welches wieder Trigger besitzt. Tatsächlich implementieren alle Elemente des Syntaxbaums sowie der Kernel das Protocol `XCHasTriggers`.
  - `triggerXXX` ist der Methodenname, wobei “trigger” immer als Präfix steht und “XXX” das eigentliche “Zeichen” ist, welches eingegeben werden soll.
  - `[ args ]` bei manchen Triggermethoden müssen noch Argumente mitgegeben werden.
3. Der Kernel gibt den Triggerruf an das Headelement weiter. Head ist praktisch das Element im Syntaxbaum, auf dem der Focus bzw. der Cursor steht. Dieses wird dann im HTML-output hervorgehoben.
4. Das Element entscheidet nun wie mit dem Triggerruf zu verfahren ist. Dabei gibt es in der Regel folgende Möglichkeiten:
- I Je nach Element und Kontext werden neue Elemente erzeugt und im Baum eingehängt, wobei es vorkommen kann, dass sich das aufgerufene Objekt dabei selbst ersetzt. Dabei wird auch meist ein neuer Platzhalter erzeugt, der zurückgegeben wird.
  - II Das Element gibt den Aufruf an sein Elternelement im Baum weiter.
  - III Im Zweifelsfall gibt sich das Element selbst zurück, ignoriert also den Knopfdruck des Benutzers.
5. Der Kernel setzt nun den head neu, löscht den Focus (Bitflag) vom ehemaligen Head und setzt den Focus beim neuen Head
6. Anschließend ruft der ViewController die `toHTML`-Methode im Kernel auf, welcher diesen Aufruf an das Root-element des Baums weitergibt. Das HTML wird nun rekursiv erzeugt und nach Fertigstellung in ein Template eingesetzt und in einer UIWebView dargestellt.

### 3.1.2. Beispiel XCSpacer-triggerNum

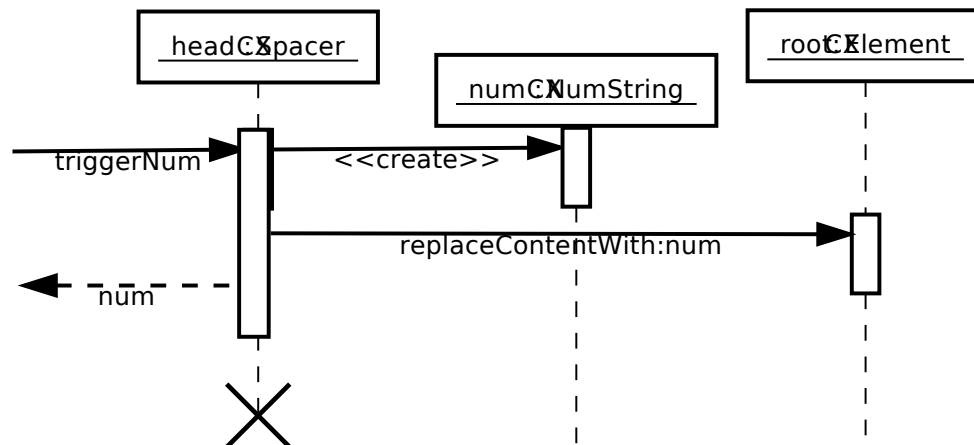


Abbildung 3.2.: Sequenzdiagrammfragment: `triggerNum` auf `XCSpacer`

Der Interne Ablauf im Baum bei einem Triggerruf soll nun anhand eines Beispiels gezeigt werden. Das Diagrammfragment 3.1.2 zeigt den Aufruf von `triggerNum` auf einem `XCSpacer`-objekt.

`XCSpacer` ist das Analogon zum Literal in der Grammatik und fungiert als Platzhalter für Zahlen, Funktionen, Konstanten, Variablen oder geschachtelte Ausdrücke. Der Spacer wird immer dann eingesetzt, wenn auf die Eingabe von Literale “gewartet” wird, also nach der Eingabe von Operatoren oder am Anfang, wenn ein leerer Ausdruck dasteht.

#### Nun zum Beispiel:

1. die `triggerNum`-Methode von `XCSpacer` erzeugt eine neue `XCNumString`-Instanz. Dies ist ein Stringbuffer für Dezimalzahlen.
2. `XCSpacer` ruft sein Elternelement auf und gibt ihm die Nachricht den aktuellen Inhalt (also sich selbst) mit der `XCNumString`-instanz zu ersetzen.
3. zuletzt wird das neue `XCNumString`-objekt zurückgegeben und wie oben beschrieben weiterverfahen (Head neu gesetzt, HTML ausgegeben...).
4. Nachdem der Spacer weder im Kernel noch im Syntaxbaum referenziert ist, wird er zerstört.

### 3.1.3. Beispiel Operatoraufruf

Hier noch ein kurzes Beispiel in Textform:

1. Es wurde bereits folgendes eingegeben: '5+4\*3', der Focus steht auf der '3'. In der description-Methodenschreibweise sieht der Ausdruck so Aus:  $+(5, \ast(4, 3))$ <sup>1</sup>
2. Nun wird '+' eingegeben. Es wird die Methode `triggerOperator` auf dem Element '3' aufgerufen. Diese erkennt, dass das Elternelement ein Produkt ist und gibt den Aufruf an dieses weiter.

```
return [parent triggerOperator: op];
```

3. Da das Elternlement des Produktelements '4\*3' eine Summe ist, erzeugt dieses ein neues Summenelement mit sich selbst und einem Platzhalter als Parameter. Anschließend ersetzt es sich selbst im Elternknoten mit der neuen Summe. Der Ausdruck sieht nun wie folgt aus:  $+(5, +( \ast(4, 3), \_ ))$
4. Zuletzt wird der Platzhalter als neues Head-Element zurückgegeben.
5. Es wird nun noch die '2' gedrückt, welche den Platzhalter ersetzt.
6. Die Ausgabe auf dem Bildschirm ist nun '5 + 4 \* 3 + 2'
7. Drückt man '=' wird der Ausdruck wie folgt ausgewertet:  $((4 \cdot 3) + 2) + 5 = 19$  s.u.

---

<sup>1</sup>Bei den Elementen handelt es sich entweder wie bei den Operatoren um Tupel mit der Schreibweise `<Operator>(<Operand1>, Operand2)`, Elemente mit einem Element als Inhalt (`<Name>(<Element>)`) oder um Terminalsymbol (-elemente).

## 3.2. Berechnung von Ausdrücken

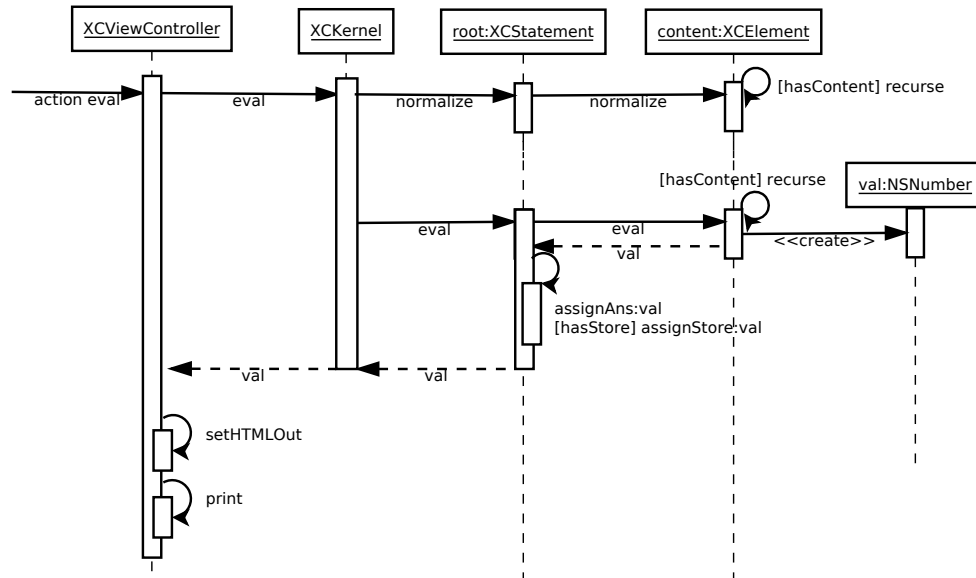


Abbildung 3.3.: Sequenzdiagramm: eval

Es wird nun die Berechnung von Ausdrücken in allgemeiner Form beschrieben:

1. Nach dem Drücken des “=”-Buttons wird die `eval` am Kernel aufgerufen.
2. Diese leitet eine Normalisierung auf dem Syntaxbaum ein. Dabei werden z.B. Vorzeichen aufgelöst (z.B.  $\frac{1}{-3} \Rightarrow -\frac{1}{3}$ ).
3. Anschließend wird der Baum rekursiv evaluiert. Dabei wird Bottom-Up der Ausdruck ausgewertet (evtl. Fehlerflags gesetzt) und die Zwischenergebnisse in Form von `NSNumber` Objekten an den Aufrufer zurückgegeben.
4. im Root-Element des Baums (immer `XCStatement`) wird schließlich noch der Wert in der ANS-Variable gesetzt. Eine eventuell mit “STO” gesetzte Variable wird auch noch überschrieben.
5. Das zurückgegebene Ergebnis wird im ViewController in der WebView dargestellt.



## 4. Klassen

In diesem Kapitel wird näher auf die wichtigsten Klassen und die Architektur eingegangen. Das Programm ist aufgeteilt in den XCKernel-Bereich, welcher den inner Zustand des Taschenrechners verwaltet und XCViewController-Bereich, in dem die View gesteuert wird. Der XCViewController benutzt dabei den Kernel.

### 4.1. XCViewController

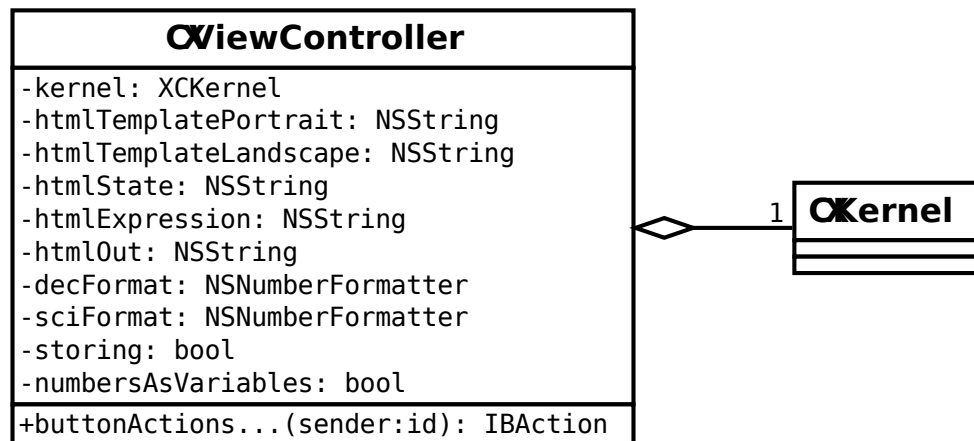


Abbildung 4.1.: Klassendiagramm

Der ViewController verwaltet seinen Zustand den er zum Darstellen des Displays und zum Ansteuern der Trigger im Kernel benötigt. Außerdem wird geregelt, wie die Tasten dargestellt werden sollen (z.B. Zahlen  $\iff$  Variablen, DEG  $\iff$  RAD). Der Kernel (s.u.) übernimmt die eigentliche Aufgabe der Eingabe neuer Zeichen und der Berechnung.

## 4.2. Kernel

(siehe auch extra beiliegends Klassendiagramm)

### 4.2.1. Schnittstellen (Protocols)

Viele Schnittstellen von häufig verwendeten Methoden(-gruppen) werden in folgenden Protocols zusammengefasst:

**XCHasHtmlOutput** Die Implementierung kann ihren Inhalt in (mathml)-HTML ausgeben.

**XCHasTriggers** Die Implementierung hat Trigger (siehe oben), kann also Eingabe durch den Benutzer verarbeiten.

**XCEvaluable** Die Implementierung kann ihren Inhalt als NSNumber (berechnen und) zurückgeben.

### 4.2.2. XCKernel

Der Kernel verwaltet das Root-Element (XCStatement) des Syntaxtrees und das Head-Element, auf welchem der Focus steht. Außerdem enthält er einen Buffer (XCStatementBuffer), der die letzten Eingaben in einem Ringpuffer (XCCircBuf) abrufbar verwaltet.

### 4.2.3. Hilfsklassen

**NSNumber+XCNumber** Hierbei handelt es sich um eine Obj C Category, welche NSNumber um die unten benötigten Operatoren und einige Zustandsabfragen erweitert. Außerdem wird eine interne Typ und Überlaufskontrolle durchgeführt. Dabei werden eingegebene Integerwerte erhalten und im Fall von Überläufen in double konvertiert. Eine Erkennung von ganzzahligen double-Werten ist auch enthalten.

**XCGlobal** Dies ist zum einen eine Art global.h, welche globale symbolische Konstanten enthält, aber auch eine Singleton-Klasse, welche globale Werte verwaltet (derzeit nur die Grad/-Bogenmaß Winkeleinstellung)

### 4.2.4. Syntax-Tree

Die Oberklasse für alle Elemente des Syntaxbaums ist die Klasse XCElement. Diese ist konform zu allen oben genannten Protokollen und NSCopying<sup>1</sup>. Für alle Methoden wird eine Standardimplementierung angeboten. Unterklassen müssen dann nur ihr eigenes Verhalten implementieren.

Desweiteren ist ein Bitflag-struct zur Speicherung des inneren Zustands nebst Hilfsmethoden enthalten, die von den Unterklassen zur Erstellung der HTMLs benötigt werden.

Außerdem ist ein parent-Element vorhanden. Mittels content-Methode und parent ist der Syntaxbaum aufwärts und abwärts navigierbar.

Eine Ableitung von XCElement ist der bereits besprochene XCSpacer. Alle weiteren Unterklassen von XCElement werden nochmals in drei Kategorien eingeteilt:

---

<sup>1</sup>Wird beim Wiederholen aus dem Statementbuffer benötigt, damit beim Ändern keine alten Ausdrücke überschrieben werden

#### 4.2.4.1. XCTupleElement

Diese Elemente enthalten zwei weitere Kindelemente und werden derzeit ausschließlich zur Implementierung der Operatoren verwendet.<sup>2</sup>

**Unterklassen sind:**

**XCSum** Die Summe. Negative Werte werden in XCNegate verpackt. Anders als in Grammatik wird der “geklammerte Ausdruck” aber extra behandelt: siehe XCExpression.

**XCTProduct** Das Produkt. Divisionen werden in Form von XCIinvert dargestellt.

**XCExponentiation** Der Exponentialoperator

#### 4.2.4.2. XCSimpleElement

Die simplen Elemente enthalten immer nur ein weiteres Element.

**Unterklassen sind:**

**XCStatement** Analog zur Grammatik bildet das Statement immer das Root-Element eines Syntaxbaums. Es enthält einen Ausdruck, der berechnet werden kann sowie optional eine explizit zugewiesene Variable, welcher nach der Berechnung das Ergebnis eingesetzt wird. Implizit wird immer das Ergebnis der ANS-Variable zugewiesen.

**XCFFunction** Die Funktion besteht aus einem Name und einem Ausdruck, dessen Ergebnis in die Funktion eingesetzt wird. Die Klasse verwaltet ein Dictionary von XCFuncAlg-Instanzen (XCTrigoFuncAlg für Winkelfunktionen). Diese enthalten die eigentliche Funktion als Functionpointer. XCSqrt ist eine Spezialisierung von XCFFunction, es wird lediglich die toHTML-Methode für die Wurzeldarstellung überschrieben.

**XCValModifier** Diese Elemente neutralisieren sich selbst und ein hinzugefügtes Element, falls dieses vom gleichen Typ ist. Beispiel: aus -(-2) wird 2. Weitere Unterklassen sind:

**XCIinvert** Invertiert einen Wert. Wird unter anderem von XCTProduct verwendet, da diese Klasse nur multiplizieren kann.

**XCNegate** Der enthaltene Wert wird negiert. Analog zu XCIinvert: von XCSum zur Darstellung von Minus benutzt.

**XCExpression** Kapselt einen weiteren Ausdruck.

#### 4.2.4.3. XCTerminalElement

Wie der Name schon andeutet handelt es sich dabei um die Implementierung der Terminalsymbole aus der Grammatik. Naturgemäß enthalten diese keine weiteren Syntaxelemente und bilden die Blätter des Syntaxbaums.

---

<sup>2</sup> In einer vorherigen Version waren diese als “komplexe” Elemente mit einem MutableArray vorhanden. Die Tupleversion hat sich aber letztendlich als einfacher erwiesen.

**Unterklassen sind:**

**XCIdentifier** enthält ein XCStorage-objekt, also eine Variable (XCVariable) oder eine Konstante (XCConstant).

**XCNumString** Diese Klasse hat lediglich einen String-Buffer mit dem Dezimalzahlen erstellt werden können (also Digits und Komma). Die Klasse ist hinreichend intelligent um falsche Eingaben, wie mehrfaches Komma abzufangen. Beim Aufruf von eval wird der Buffer geparkt und in ein NSNumber umgewandelt.

## 5. Tests

Grundlegende Funktionalitäten wurden mit Unittests erfasst, dabei wurde folgendes getestet:

- korrekte Berechnung durch die NSNumber-Category
- richtige Auswertung von Ausdrücken anhand der einzelnen Elemente.
- XCKernelTest: Hier wird mittels der trigger-Methoden mehrere Eingaben von Ausdrücken getestet.
- Auswertung nach der Normalisierung.
- Grundlegende Klassen wie der XCStatementBuffer

Das dynamische Verhalten wurde “am lebenden Objekt” immer wieder getestet:

- Ausgabe von HTML
- Verhalten bei der Navigation und beim Löschen
- Aufrufreihenfolge bei Operatoren.
- Verhalten des XCViewControllers