The MYLL Programming Language: C++ Resyntaxed and Extended

Eine Weiterentwicklung der C Style Syntax

zur Erlangung des Grades

Master of Science – Informatik

an der

Hochschule Niederrhein

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik

vorgelegt von

Jan Helge Reitz

Geboren 1978-10-06 in Moers, Deutschland
Matrikelnummer: 756470

Datum: 2020-07-03

Prüfer: Prof. Dr. Jochen Rethmann
Zweitprüfer: Prof. Dr. Steffen Goebbels

Zusammenfassung

Ich schlage eine neue Syntax für C++ vor, welche den Umgang mit C++ unproblematischer und den Einstieg erleichtern soll.

Die von mir vorgeschlagene neue Syntax für C++ hat den Codenamen **Myll** *(frei von My Lang)*. Der Fokus des Sprach-Designs balanciert zwischen zwei grundlegenden Zielen; zum einen soll er alteingesessene C++ Programmierer abholen und dessen Arbeit in Zukunft leichter gestalten und zum anderen soll es Neulingen den Einstieg, in eine immer komplizierter werdende Sprache, erleichtern.

Um dieses Ziel zu erreichen habe ich viele Sprachkonstrukte auf die Probe gestellt und mir überlegt wie man diese besser gestalten kann, teils von anderen Sprachen inspiriert, aber auch komplett selbst erdacht.

Des Weiteren soll Myll einfach ergänzbar sein: Beispielsweise nutzen QT, UE4 und viele andere Bibliotheken *Makros*, welche an den richtigen Stellen in den Code eingesetzt werden und teilweise durch einen zusätzlichen Präprozessor ausgeführt werden. Diese verstreuten Makros können in Myll etwa durch ein Klassen- oder Variablen-Attribut ersetzt werden.

Umgesetzt ist Myll als ein Language to Language Compiler, auch Transpiler genannt. Dieser erzeugt als Ausgabe keinen Maschinencode, sondern Quellcode einer anderen Programmiersprache, in diesem Fall C++.

Betrachtet wird die Umsetzbarkeit dieses Unterfangens; Lässt sich eine ähnlich komplexe Programmiersprache wie C++ überhaupt handhaben? Welche Aspekte von C++ sind problematisch und lösbar? Sind ähnlich positive Aspekte zu erzielen wie es Transpilation bei Webentwicklungen hervorgebracht hat?
??? erklären ???

Abstract

I propose a new syntax for C++, which should make the general usage of C++ less problematic and also make it easier to get started.

The new syntax for C++ proposed by me has the code name **Myll** *(free from My Lang)*. The focus of the language design balances between two basic goals; on the one hand, it should pick up established C++ programmers and make their work easier in the future, and on the other hand, it should make it easier for newcomers to get started with a language which has become more and more complicated.

In order to achieve this goal, I have put many language constructs to the test and thought about how they could be better designed, partly inspired by other languages, but also completely conceived by myself.

Furthermore Myll should be easy to extend: For example QT, UE4 and many other libraries use macros which are inserted at the right places in the code and are partially executed by an additional preprocessor. These scattered macros can be replaced by an attribute on a type or variable in Myll .

...???

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Definitionen

1.1.1 Formatierung dieses Dokumentes

Normaler Text mit einem `*"Eingebetteten Zitat"*` und dann weiter mit etwas höchst **Wichtigem**.

> *"Dies ist ein Blockzitat*
> *Von einer im Text genannten Person"*

Exemplarisch eine Codedatei mit dem Namen *myfile.cpp:*

```
// Dies hier ist Code
int a;
float b;
```

Hier wird auf die Variablen *a* und *b* Bezug genommen und die Typen *int* und *float* erwähnt, stets im Singular. Wenn Code im Fließtext geschrieben wird dann sieht es so aus `int a[] = {1,2,3};`.

1.1.2 Begriffsdefinitionen

In jedem Dokument, welches über mehrere Programmiersprachen schreibt, müssen zunächst Mehrdeutigkeiten und Kollisionen ausgeräumt werden. Besonders Erwähnenswert sind die Unterschiede zur Namensgebung in C++, auf welche sich Myll ja stützt.

In dieser Arbeit werden oft die englischen Varianten von Begriffen aus der Informatik / Programmierung genutzt. ??? erläutern

??? Wird am Ende Sortiert

GC - Garbage Collection
: ???

C++
: Wenn ich über C++ schreibe, dann meine ich sehr oft beides: die *Sprache C++* an sich und die *C++ Standard Library*. Diese sind, insbesondere seit C++11, sehr eng miteinander verbunden; so wurde die Sprache erweitert um bestimmte Funktionalität in der Bibliothek zu ermöglichen. Ebenso sind Komponenten der Bibliothek Notwendig um die Sprache vollständig zu nutzen.
Beispiele: std::initializer_list, std::move, std::dynamic_cast
??? überabeiten

Keyword - Schlüsselwort
: Wort mit spezieller Bedeutung innerhalb der Sprache welches nicht für eigene Namen verwendet werden kann.

FhO - Funktion höherer Ordnung
: Beschrieben im Kontext einer Prozeduralen Programmiersprache:
Eine FhO ist eine Funktion, welche eine weitere Funktion (oder auch Lambda) und eine Kollektion als Parameter übergeben bekommt. Die übergebene Funktion wird auf jedes Element der Kollektion angewendet. Diese Kollektion kann auch durch einen Iterator repräsentiert werden.

TMP - Template Metaprogramming
Alternative Art der Programmierung bei der die Logik zur Kompliationszeit ausgewertet wird.

Dynamisches Array
Der std::vector aus der C++ Standard Library ist ein dynamisch wachsendes Array und wird in diesem Dokument *Dynamisches Array* oder *dyn_array* genannt.

Map & Reduce
Map ist eine FhO, bei der pro Ursprungselement ein Zielelement erzeugt wird, welche wiederum in einer Kollektion gespeichert werden. In C++ ist dies durch std::transform implementiert.
Sie wird oft zusammen mit der FhO namens *Reduce* genutzt, welche aus allen Ursprungselementen ein einzelnes Zielelement erzeugt.
???MOVE ins Kapitel
In C++ ist dies als std::accumulate, neuerdings auch als std::reduce implementiert.
Ein simples *Map & Reduce* Beispiel in Ruby:

```
fortytwo = [4, 6, 14].map{|e| e / 2}.reduce{|accu,e| accu * e}
```

Die drei Zahlen im Array (4, 6, 14) werden zunächst in *map* jeweils durch 2 dividiert, dann in *reduce* in einen Akkumulator aufmultipliziert und ergeben die Zahl 42.

Sorted Dictionary & Search Tree
Ein sortiertes assoziatives Array welches in C++ als std::map bekannt ist.

Unsorted Dictionary & Hash Table
Ein unsortiertes assoziatives Array welches in C++ als std::unordered_map bekannt ist.

Funktion & Prozedur
Manche Programmiersprachen unterscheiden hart zwischen diesen zwei Unterprogramm-Typen. (Als *Unterprogramm* versteht sich hier nicht die Definition welche COBOL verwendet)
Zum Beispiel liefern in Pascal *Prozeduren* keine Rückgabewerte. Außerdem wird in vielen Sprachen in *Funktionen* das Resultat nur aus den Eingaben erzeugt und hat keine Nebeneffekte, dieser Spezialfall wird hier *"pure Funktion"* genannt. In C++ werden all diese Unterprogramme *Funktionen* genannt, da es dort aber kein Keyword dafür gibt, konnten Benutzer im Sprachgebrauch natürlich ihre eigene Namensgebung verwenden.
In diesem Dokument wird sich der Gepflogenheit von C++ bedient: Alles sind Funktionen und können, soweit nicht anders annotiert, Nebeneffekte haben und auch *void* zurückgeben.
{{{Myll führt Keywords für Funktionen ein und bietet beide Namensgebungen um beide Lager abholen. Diese können im fast synonym genutzt werden, analog zur Einführung von *class* zu *struct* in C++.}}}

Methode
Ist eine Funktion die mit einem Objekt verknüpft ist.

UB - Undefined Behavoir - Undefiniertes Verhalten
Tritt auf wenn der Programmierer die Regeln der Sprache verletzt. Nach deren Auftritt ist es dem Programm erlaubt jedwedes Verhalten zu zeigen. Bei dieser Art der Fehlfunktion muss ein C++ Kompiler weder die Kompliation abbrechen, noch eine Warnung ausgeben.

Proto-Myll
Enthält nur Teile der Myll-Syntax, welche im aktuell betrachteten Kontext Sinn machen.

Konstrukte
Alles innerhalb einer Programmiersprache: Deklarationen, Definitionen, Statements, Expressions, Attribute.

Deklaration & Definition

Deklaration ist ???
Definition ist ???

1.2 Idee / Motivation

Die Idee zur Entwicklung dieser Sprache kam mir ursprünglich durch ein schon etwas älteres Dokument namens *'A Modest Proposal: C++ Resyntaxed'* von Werther und Conway. In Ihrem Dokument bemängeln sie zurecht einige Unschönheiten in der Grammatik von C++, welche zum Teil der Kompatibilität zu C geschuldet ist. Ihre syntaktische Reimaginierung von C++ nennen sie **SPECS**.

Auch der Erfinder von C++, Bjarne Stroustrup, glaubt

> *"within C++ there is a much smaller and cleaner language struggling to get out"*

was er in *'The Design and Evolution of C++'* schrieb, welches auch SPECS zitierte.

(:Neu formulieren:)
Diese Meinung teile ich, denn wenn ich beim schreiben von C++ Code nachdenke wie ich es umsetze, dann habe ich wesentlich kompaktere Gedanken, als nachher die Umsetzung aussieht.

Zwar hat modernes C++ (11/14/17) frischen Wind in die Sprache gebracht, aber trotzdem fast keine Zöpfe abgeschnitten. Auch wurden neue Sprachkonstrukte eingeführt welche teils syntaktisch unschön und verbos sind, dem geschuldet das alter Code durch diese Ergänzungen nicht aufhören darf zu Funktionieren.

Kleine Beispiele der neuen Features.!!!

Retrospektiv betrachtet hat die in SPECS vorgeschlagene Syntax nicht mehr viel mit C++ zu tun und dessen stark von Pascal angehauchte Syntax liegt fern von meinem Ästhetikempfinden. Mein Lebensweg als Programmierer ist von C und C++ ähnlichen Sprachen geprägt weshalb die hier vorgestellte Lösung weit von der von SPECS abweicht.

1.2.1 Alteingesessene C++ Programmierer abholen

Alteingesessene C++ Programmierer abholen und dessen Arbeit in Zukunft leichter zu gestalten.

- Don't fix what's not broken
  - Welche Aspekte sind bewahrenswert
- Provide an easy exit path, no time invested is ever wasted
  - Generierter Code soll einmalig übernehmbar und lesbar sein
- Close to modern C++
  - Semantisch wie C++
  - Syntax entschlackt
- Make features available earlier than the C++ Standard Committee does
  - Zuerst indem man sie emuliert (siehe Polyfills), in Zukunft indem man sie einfach durchreicht.

1.2.2 Neulingen den Einstieg erleichtern

Neulingen den Einstieg in eine immer komplizierter werdende Sprache zu erleichtern.

- Unify Code in one file
  - Hilft bei DRY
  - Was gehört in welche Datei?

    - Keine .cpp, .h, .impl.h, .inl.h Dateien mehr nötig
- Fix broken defaults ???
    - Implicit constructor, private inheritance
- Fix cumbersome constructs
    - Includes
- Fix common pitfalls
- Provide convenience known from other contemporary languages

!!!Detaillierter beschreiben was jedes Einzelne bedeutet.
Diese Ziele stehen sich natürlich auch, teils extrem, entgegen. Ich versuche einen gangbaren Mittelweg zu finden und Entscheide im Zweifel meist für die zukünftige Wartbarkeit und gegen die Vergangenheit.

1.3 Grundlagen

1.3.1 Was macht C++ besonders?

Es gibt sehr viele neue und moderne Programmiersprachen die vielfältige Einsatzgebiete haben, einfacher und sicherer zu benutzen sind und in Teilbereichen performanter als C++ sind. Trotzdem weigert sich C++ (weiter???) an Popularität einzubüßen. **??? an relevanz zu verlieren**

??? was ich sagen will ist: Ja, es ging mal begab, aber dieser fallende Trend setzt sich nicht fort

Einsatzgebiete in denen häufig C++ für die Umsetzung verwendet wird:

- Betriebssysteme
- Treiber
- Embedded Computing
- Computerspiele
- Simulationen
- Statistik

In diesen Bereichen wird C++ entweder aufgrund seiner guten Performance oder wegen der geringen Größe der Laufzeitumgebung und des Kompilats eingesetzt. C++ war früher auch als Entwicklungssprache für Desktopanwendungen verbreitet, wurde in diesen Bereichen aber in weiten Teilen von Java, C# aber auch von Webanwendungen abgelöst.

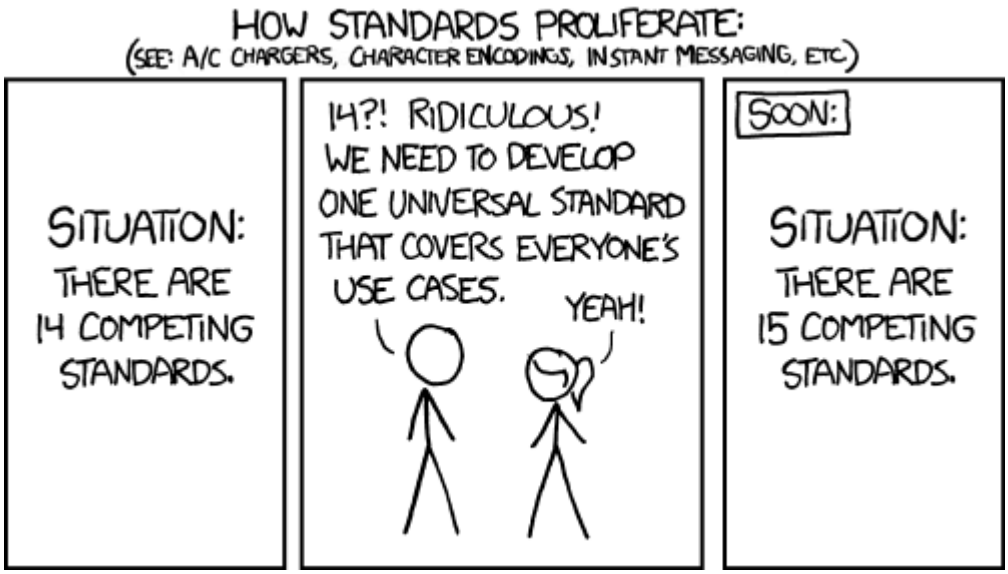
Wieso hält sich C++ in den genannten Bereichen so hartnäckig?

- Maximale Kontrolle über den Speicher
- Keine erzwungene Garbage Collection (GC)
- Keine / schlanke Laufzeitumgebung
- Native Binärdateien
- Nichts bezahlen, was nicht genutzt wird
  (abschaltbar: RTTI, Exceptions, Bounds/Overflow checks, etc)
- Keine erzwungene virtuelle Vererbung
- Mehrere Jahrzehnte alter C und C++ Code läuft fast immer ohne Anpassung

1.3.2 Wieso noch eine neue Programmiersprache?

Warum eine neue Programmiersprache wenn C++ doch seine Bereiche so erfolgreich bedient?
Weil es sich mit vielen der anderen hier betrachteten Sprachen (siehe 2.1) einfacher entwickeln lässt als mit C++.

Trotzdem wären viele Sprachkonstrukte, sobald man sie auf Sprachebene und nicht nur auf Bibliotheksebene angehen kann, eigentlich leicht übertragbar auf C++.



https://xkcd.com/927/

2 Analyse

2.1 Vergleich von C++ mit anderen Sprachen

Als Kompliationsziel von Myll soll zwar C++ dienen, jedoch mag sich Myll zum einen Syntaktisch und zum anderen von den Features anderer Programmiersprachen inspirieren lassen. Aus diesem Grund sei hier C++ mit einigen ausgewählten Programmiersprachen verglichen.

2.1.1 Vergleich mit C

Der Vorgänger von C++.

+ Viel Kontrolle, man sieht genau was passiert
+ Viel simpler als C++
+ Sehr viel Freiheiten, aber auch Verantwortung bei der Speicherverwaltung
- Schlechte Encapsulation / Keine Native OOP Unterstützung
- Unübersichtlich bei großen Projekten, denn ohne Namespaces landet alles im globalen Raum
- Es ist der Ursprung der meisten in dieser Arbeit betrachteten syntaktischen Schwächen
- Mehr LOC für die Lösung des gleichen Problems

Hier ist ein Beispiel welches Aufzeigt was ich mit *viel Kontrolle* und *viel simpler* meine. Es ist Code welcher so in C, als auch in C++ auftreten kann. Die Kommentare beschreiben was in C++ zusätzlich, zum offensichtlichen passieren kann.

```
{
    Foo f;                  // kann in C++ einen potentiell teuren Konstruktor von Foo aufrufen
    A * a = f.get();        // kann in C++ eine Exception werfen und den folgenden Code überspringen
    a->update();            // kann in C++ eine virtuelle Methode aufrufen
}                           // kann in C++ einen potentiell teuren Destruktor von Foo aufrufen
```

2.1.2 Vergleich mit C# und Java

C# und Java sind als designierte Nachfolger von C++ mit einer Transfusion dessen OOP Bluts entstanden. Sie haben sehr viel untereinander gemein und werden deshalb hier gemeinsam betrachtet. ??? Recherche

+ Es ist leichter fehlerfreien C# und Java Code zu schreiben
+ Fehlermeldungen in Generics/Templates beschreiben viel präziser potentielle Fehlerfälle
+ Einfach auf vielen Architekturen ausführbar (oft ohne Neukompilierung)
+ Weniger LOC für die Lösung des gleichen Problems
+ Viele äquivalente Features viel früher verfügbar als in C++ (concepts, auto, ranges, override, ...)

- Erzwungene GC, weniger Kontrolle über den Speicher
- Keine multiple Vererbung
- Nicht abschaltbare Bounds/Overflow checks, Reflection, Exceptions
- Ein leichtes Performance Defizit welches bei Desktopanwendungen verschmerzbar ist

2.1.3 Vergleich mit D

D hatte sich vorgenommen die Reihe der Sprachen BCPL → B → C → C++ → D fortzusetzen.

Leider konnte D nicht annähernd den Erfolg von C oder C++ erreichen, obwohl vieles von C++ gelernt und womöglich besser gemacht wurde.

+ Sehr nah an C++ angelehnt
+ Weniger LOC für die Lösung des gleichen Problems
- GC für die Nutzung der Standard Bibliothek nötig, weniger Kontrolle über den Speicher
- Keine multiple Vererbung

2.1.4 Vergleich mit Rust

Eine sehr neue Programmiersprache welche ihren Fokus auf die Sicherheit dessen was maschinell überprüfbar ist legt. Die statischen Überprüfungen welche der Rust Compiler vornimmt sind in der Ausprägung noch nicht verbreitet gewesen.

+ Stärkere statische Checks welche zu wesentlich sicherem Code führen sollen
+ In Zukunft ist Rust ein Contender um einige Bereiche welche C++ heute bedient
- (Anfänglich) schwerer zu schreiben durch Paradigmenwechsel des Lifetimemanagements
- Exorbitante Kompilationszeiten ???

2.1.5 Vergleich mit Ruby

Dieser Vergleich ist ein wenig weiter her geholt als die anderen betrachteten Sprachen. Ich wollte hier dennoch gern über den nahen Tellerrand hinausblicken um mich auch von weiter weg inspirieren zu lassen.

+ Unglaublich wenig Code ist nötig um simple Probleme zu lösen
+ Lambdas sind schon sehr lange ein gut integrierter und fast unsichtbarer Teil der Sprache
- Interpretierte Sprache (langsam in der Ausführung)
- Erzwungene GC, weniger Kontrolle über den Speicher
- Keine Typsicherheit

2.1.6 Vergleich von JavaScript mit TypeScript

Dieser Vergleich findet nicht mit C++ statt, sondern mit der Sprache auf der TypeScript basiert. Er dient als das Beispiel eines Dreisatzes:

> *Was TypeScript für JavaScript ist, soll Myll für C++ sein!*

Das ist *noch* kein Zitat, weil ich es selbst gesagt habe. Ich finde es nur sehr einfach auf den Punkt gebracht was das Ziel dieser Sprache sein soll.

JavaScript leidet unter dem gleichen Problem unter dem auch C++ leidet, nämlich das alter Code weiterhin so funktionieren muss wie bisher. Demnach können sich beide Sprachen nur in den Dimensionen ausdehnen, welche zuvor kein kompilierendes/lauffähiges Programm ergeben hätte. Dadurch sind sie verdammt ihre schlechten Entscheidungen für immer mit sich herumzutragen.

JavaScript leidet an anderen Problemen als C++, dieses Beispiel hier soll verdeutlichen was ich meine.

```
class Human {
    _name: string;
    constructor(name: string) {
        _name = name;
    }
}
class Student extends Human {
    _mtknr: number;
    constructor(name:string, mtknr:number) {
        super(name);
        _mtknr = mtknr;
    }
    getGrade() : string {
        return "A+";
    }
}
```

Daraus macht der TypeScript Transpiler diesen ES5 JavaScript Code:

```
var __extends = /* gekürzt: 12 Zeilen lange Polyfill Funktion */
var Human = /** @class */ (function () {
    function Human(name) {
        this.name = name;
    }
    return Human;
}());
var Student = /** @class */ (function (_super) {
    __extends(Student, _super);
    function Student(name, matrikelnummer) {
        var _this = _super.call(this, name) || this;
        _this.matrikelnummer = matrikelnummer;
        return _this;
    }
    Student.prototype.getGrade = function () {
        return "A+";
    };
    return Student;
}(Human));
```

Man müsste ähnlichen Code schreiben, wenn man will das er auf einem ES5 tauglichen Browser läuft.

TypeScript bietet viele Vorteile gegenüber purem JavaScript.

- Es ist leichter Les- und Schreibbar
- Es bietet Typsicherheit
- Es ermöglicht Funktionalität von moderneren JavaScript Versionen, in älteren Versionen zu nutzen
- Es erlaubt direkt bei der Übersetzung eine Aggregation von mehreren Dateien in eine

2.2 Problematische Aspekte von C++

Einige der problematischen Konstrukte in C++ sind der direkten Kompatibilität mit C geschuldet, andere sind von C++ so eingeführt worden.

Als Quelle dient zu Teilen das Buch 'The C Programming Language' von Kerninghan und Ritchie.

(Mehr Referenzieren!!!)

2.2.1 Deklarationen, Definitionen und Initialisierung

C++ verhält sich selbst in sehr simplen Beispielen wie eine *Single-Pass parsende* Programmiersprache und erfordert dadurch vom Programmierer ein hohes Maß an Aufmerksamkeit bei der Reihenfolge der Programmierung oder fordert die Wiederholung von bereits Niedergeschriebenem.

2.2.1.1 Reihenfolge und Prototypen

Dieser Code kompiliert so nicht, er wirft den Fehler das a() nicht deklariert wurde.

```
int main() {
    a();
}
void a() {…}
```

Um diesen Fehler zu beseitigen müssen wir entweder den Code so umstellen das a() vor main() definiert wird oder wir fügen eine Prototypen-Deklaration für a() vor main() ein.

Im Falle eines alternierend rekursiven Funktionsaufrufs bleibt einem nur die Möglichkeit des Prototypen.

```
void partition(…);
void qsort(…)     { … partition(…); … }
void partition(…) { … qsort(…);     … }
```

Computer sind schnell genug diese Probleme für einen zu lösen. Lediglich der C als auch C++ Standard stehen der Unterstützung solch einfacher Inferenz??? im Wege.

2.2.1.2 Aufteilung auf verschiedene Orte

Deklarationen, Definitionen und Initialisierung können entweder innerhalb einer Datei an verschiedenen Stellen und verschiedenen Schreibweisen vorkommen oder oft sogar über Dateigrenzen hinweg verteilt sein.

Dies macht den Code schwerer durchschaubar. Jegliche andere moderne Programmiersprachen erlaubt es einem (oder zwingen einen gar dazu) alles was z.B. zu einer Klasse gehört in einer einzelnen Datei abzulegen.
Dieses Beispiel soll einige Probleme aufzeigen:
Datei *myclass.h*:

```
class MyClass {
    int myVar;
    int myOtherVar;
    int myVar3 = 3;                // Funktioniert seit C++11
    static int myStatic;           // Funktioniert nicht wie myVar3
public:
    MyClass();
    int myProc();
    int myOtherProc() {…}          // Kann inlined werden, implizit weil inline implementiert
    inline int myFunc() const;
```

```
    virtual int myVirtual();
}
int MyClass::myFunc() const {…}    // Kann inlined werden, Keyword const wird wiederholt
```

Datei *myclass.cpp*:

```
#include <myclass.h>
int MyClass::myStatic = 1;         // Keine Wiederholung des Keywords static, Typ int wiederholt
MyClass::MyClass() : myVar(1) {
    myOtherVar = 2;
}
int MyClass::myProc() {…}          // Kann nicht inlined werden (nur mit whole program optimization)
int MyClass::myVirtual() {…}       // Keine Wiederholung des Keywords virtual
```

Bewertung:

- Manche Keywords müssen in Deklaration und Definition geschrieben werden, andere nicht
- Der Abschnitt "`MyClass::`" wird sehr oft wiederholt geschrieben
- Oft gibt es mehre unterschiedliche Möglichkeiten das gleiche zu schreiben

2.2.1.3 Aufteilung im Kontext lebendiger Codebases

Die Verteilung auf mehrere Dateien ist besonders problematisch wenn ein C++ Projekt *lebt*, d.h. es immer wieder einschneidende Änderungen gibt. So muss im Beispiel das eine Methode *inline* fähig gemacht werden soll (selbst wenn die Logik unverändert bleibt) ihre komplette Implementierung aus der .cpp Datei ausgeschnitten und in die .h Datei eingefügt werden. Dadurch verliert man z.B. in seiner Versionsverwaltung den Bezug und kann nicht mehr einfach die Veränderungshistorie der Methode nachschlagen.

Das gleiche Problem tritt auf wenn eine Klasse templatisiert werden soll, nur muss in diesem Fall die komplette Implementierung in die Header Datei wandern.

2.2.2 Fehleranfällige Variablen & Typen Deklarationen

Wie findet die Deklaration von Variablen in C und C++ statt und welche Problematischen Situationen können dabei entstehen.

2.2.2.1 Ambiguität einer Deklaration

Sind die folgenden Statements Deklarationen oder nicht?

```
a * b;
c d;
c e();
```

Die Antwort darauf lautet: Es kommt drauf an.

Sollte *a* ein Typ sein, wird *b* als ein Pointer auf ein *a* Deklariert, ist *a* aber eine Variable wird `a.operator*(b)` aufgerufen. Der andere Fall ist zum einen *d*, welcher eine Variable vom Typ *c* deklariert und zum anderen *e* welcher grade nicht eine Variable vom Typ *d* deklariert die den Standardkonstruktor aufruft, sondern es ist eine Prototypen-Deklaration einer Funktion namens *e* welche ein *c* zurück gibt.

Diese Probleme bieten sich nicht nur dem Leser dieser Statements, sondern auch der Compiler musste aufwändiger erstellt werden um diese Konstruktionen richtig interpretieren zu können. Belege???

template typename dependant type problematik???

2.2.2.2 Pointer

Naiv hätte ich bei der Variablendeklaration von

```
int * ip, jp;
```

erwartet das *ip* und *jp* Pointer auf *int* sind. Damit lag ich (so wie viele meiner Kommilitonen und Kollegen) falsch und als ich zum ersten Mal über dieses Problem stolperte, stellte sich nach etwas Recherche raus das *ip* ein Pointer und *jp* nur ein *int* Objekt waren, richtig wäre an dieser Stelle

```
int *ip, *jp;
```

gewesen.

Der Ursprung dieser Syntax ist in [K&R] so beschrieben:

> *"The declaration of the pointer ip,*
> `int *ip;`
> *is intended as a mnemonic; it says that the expression *ip is an int."*

Das heißt dass man später durch Aufruf von **ip* an das bezeigte *int* gelangt. Kommt noch ein zweiter Variablenname hinzu, muss auch er mit der Eselsbrücke versehen werden wie man an sein *int* gelangt.

Obwohl ich diese Gedächtnisstütze jetzt schon lange kenne, arbeitet mein Hirn mit einem anderen mentalen Modell. In diesem Modell besteht eine Variablendeklaration aus einem Typ (der Indirektionsebenen beinhaltet) und einem oder mehrerer Namen. Nicht aus einem Basistyp (ohne Indirektionsebenen) und Namen vermischt mit Eselsbrücken wie ich an den Basistyp komme.

Als eines von vielen möglichen Beispielen von Template-Klassen verhalten sich die in C++11 eingeführten Smartpointer getreu meinem mentalen Modell, so das

```
unique_ptr<int>  ip, jp;
```

jeweils *ip* und *jp* als (Unique) Pointer auf ein *int* definiert werden.

2.2.2.3 Array

Ein ähnliches Bild wie bei den Pointern findet sich bei der Syntax zur Definition von Arrays [K&R]:

> *"The declaration*
> `int a[10];`
> *defines an array a of size 10, that is, a block of 10 consecutive objects named a[0], a[1], ... , a[9]."*

Auch hier kommt man im Nachhinein durch Aufruf von a[zahl] an die jeweiligen *int*, interessanterweise ist aber genau der Aufruf von `a[10]` ein Fehler welcher UB hervorruft. Um zwei oder mehr Arrays zu erzeugen muss man dies hier schreiben: `int a[10], b[10];`

Das C++11 Äquivalent dazu ist `array<int,10> a, b;` bei dem wieder *a* und *b* jeweils Arrays der Größe 10 vom Typ *int* sind.

2.2.2.4 Die Kombination von Pointern und Arrays

Sofern man Variablen immer jeweils einzeln erzeugt oder man dem sich mit K&Rs mentalem Modell anfreunden konnte, aber man dennoch nicht auf etwas Problematik verzichten will, dann kann man die beiden zuvor genannten Fälle kombinieren:

```
int *c[4];
```

Man weis hier zwar das `*c[4]` ein *int* ist, aber der Teil mit dem *int* ist auch das leicht Verständlichste.

Ob dies ein Pointer auf ein Array mit 4 *int* ist oder ob es ein Array aus 4 Pointern auf *int* ist ist nicht direkt ersichtlich. Dafür muss man wissen welche Operation zuerst ausgeführt wird, die Dereferenzierung oder das Subskript. Und es stellt sich noch eine weitere Frage: Wenn es das Eine ist, wie bekommt man es dazu das Andere zu sein?
(Auflösung: Es ist ein Array mit 4 Pointern auf int. Die Umkehr wird durch Klammersetzung im Typen erreicht: `int (*c)[4];`*)*

Alternativ dazu sind die C++11 Äquivalente zwar schreibintensiv, aber eindeutig und direkt verständlich:

```
unique_ptr<array<int,4>>  uptr_to_ary;
array<unique_ptr<int>,4>  ary_of_uptr;
```

2.2.2.5 Funktionspointer

Ein besonders schwer zu lesen und schreibender Teil der C & C++ Syntax ist die der Funktionspointer.
Hier 2 Beispiele:

```
int f(int a,int b) {…}       // Definition der Funktion f mit zwei int Parametern und int Rückgabe
int ff(int(*f)(int,int)) {…} // Definition der Funktion ff die einen Parameter vom Typ von f hat
int(*fp)(int,int) = f;       // Pointer auf eine Funktion fp vom gleichen Typ wie f, die auf f zeigt
void(*ffp)(int(*)(int,int)); // Pointer auf eine Funktion ffp vom gleichen Typ wie ff
```

Das Problematische hier sind die Funktionspointer deren Namen inmitten der Deklaration *versteckt* ist, welches sich noch undurchsichtiger bei verschachtelten Funktionspointern auswirkt, da diese Namenlos nur durch ein "`(*)`" identifiziert werden.

Die dritte Zeile kann auf den ersten Blick für eine *Functional Cast Expression* oder eine Deklaration eines Pointers auf ein *int* gehalten werden; vergleiche mit der Auflösung des vorangegangenen Punktes: `int(*c)[4];`.

2.2.3 Schlechtes Standardverhalten

2.2.3.1 Ein Parameter Konstruktor

Ein Konstruktor, welcher einen einzelnen Parameter übernimmt, erfüllt nicht nur die Rolle eines Konstruktors mit einem Parameter, sondern er exponiert damit auch die Funktionalität der impliziten Konvertierung des Parametertypen zum Klassentypen. Dieses Default-Verhalten bringt den nicht-Profi in die Situation, Funktionalität bereitzustellen ohne davon zu wissen.

```
class C {
    C(int) {…}
    explicit C(float) {…}
};
C c1 = C(1);
C c2 = 2;
C c3 = C(3.0f);
C c4 = 4.0f;       // Compiletime Error
```

Der Entwickler wollte *c1* und bekommt *c2* ohne jede Warnung hinzu. Gleichfalls funktioniert *c3*, nur *c4* wird mit einem Compiletime Fehler verhindert.

2.2.3.2 Private Ableitung

```
class D : C {…};                    // D leitet private von C ab, was keinen Sinn ergibt…
class D { C base; … };              // …sollte man dies gewollt haben, kann man es auch so schreiben
class D : public C {…};             // Dies ist der Fall den man üblicherweise will
```

2.2.3.3 Alles kann Exceptions werfen

Funktionen sind, wieder aufgrund von Kompatibilitätsgründen, auch ohne explizite Auszeichnung so definiert das sie Exceptions werfen können. Das führt dazu das man in Exception-Armen Projekten jede Funktion mit *noexcept* auszeichnen muss. Mitglieder des C++ Standardkomitees denken darüber nach in weniger Funktionalität der Standardbibliothek Exceptions zu nutzen und auch ein neues invertiertes Keyword Namens *throws* einzuführen.

2.2.3.4 Switch fällt von selbst

Als *Labels* und *goto* noch ein oft genutzter Teil von Programmiersprachen war, konnte man noch einfach verstehen was an dem folgenden Beispiel falsch läuft. Da aber heutzutage, bis auf das switch/case Statement, alle Kontrollstrukturen durch geschweifte Klammern begrenzt sind, tritt der hier gezeigte Fehler nicht selten auf.

```
switch( a ) {
    case 1:
        do_this();
    case 2:
        or_do_that();
        break;              // ???
    case 3:
    case 4:
        two_cases_want_the_same();
        break;
}
```

Hier wird im Falle das a = 1 ist *do_this* ausgeführt und nach dessen ordnungsgemäßer Beendigung auch *or_do_that*.

2.2.4 Inkonsistente Syntax

2.2.4.1 Funktions- & Methodendeklarationen

In C++ gibt es zahlreiche unterschiedliche Möglichkeiten Funktionen und Methoden zu definieren.

```
float pow(float b, int e)         {…}       // nicht optimal weil fest vorgegebener Typ
auto pow(auto b, int e) -> float {…}       // ab C++11, auto vorn überflüssig, aber syntaktisch
nötig
auto pow(auto b, int e)           {…}       // ab C++14
template <typename T>
T pow(T b, int e)                 {…}       // Analog auch auto Rückgabetyp, auch anhängend möglich
[](auto b, int e) -> auto         {…}       // Lambda-Syntax, kein Rückgabetyp vorweg
```

Die Spezifikation der Typen von Parameter und Rückgabe ist in jedem aufgeführten Fall unterschiedlich, besonders die Positionierung des Rückgabetypen variiert stark. Die mit C++11 eingeführte Lambda-Syntax besitzt gar keine Möglichkeit eines vorangestellten Rückgabetypen mehr.

2.2.4.2 Notwendigkeit des Semikolons

Manchmal braucht man ein Semikolon nach Sprachkonstrukten und ein andermal braucht man es bei sehr ähnlichen Konstrukten nicht.

```
class E {…};
do {…} while(…);

namespace A {…}
while(…) {…}
if(…) {…}
```

2.2.4.3 Verteilung der Attribute

In C++ sind die Attribute einer Funktion / Methode chaotisch um den Kern der Deklaration verteilt. Gegeben sei dieses Beispiel, zur besseren Lesbarkeit nach logischen Gruppen umgebrochen, formatiert und erklärt:

```
[[noreturn]]                        // Attribut welches angibt das die Funktion nicht zurückkehren
wird
virtual                             // Methode ist virtuell überschreibbar
const float const           // Rückgabetyp
foo()                               // Methodenname und leere Parameterliste
const override final noexcept       // Methode verändert this nicht, ist überschrieben, nicht weiter…
{…}                                 // …überschreibbar und wirft keine Exceptions
```

Man beachte das *const* dreimal vorkommt, wobei sich die ersten zwei Vorkommen (redundant) auf den Rückgabeparameter, das dritte auf die Methode selbst bezieht. Man betrachte das *virtual*, *override* und *final* verwandte Terme sind (die innerhalb einer Definition wie hier aufgeführt nicht gemeinsam verwendet werden) aber dennoch an unterschiedlichen Positionen geschrieben werden.

Diese wahllos wirkende Verteilung der Attribute ist der Evolution von C++ geschuldet, *virtual* ist ein Keyword aus der Entstehung von C++, *override* und *final* sind relativ neu und lediglich *identifiers with special meaning*, welche nur in einem speziellen Kontext als Keyword dienen. In anderen Kontexten können sie etwa als Typ oder Variablenname verwendet werden, aus diesem Grund können sie nicht an der gleichen Position wie *virtual* geschrieben werden.
??? Standard zitieren

2.2.4.4 Implizite Konvertierungen

In C++ sind viele unsichere implizite Konvertierungen möglich. Dies Betrifft insbesondere numerische Datentypen.

```
void foo(int) {…}
void foo(void*) {…}
int a = 707, b = 1337;
char c = a + b;             // Konvertierungen zu kleineren Typen erzeugten keine Warnung
static_assert(-1<1u);       // Dies hier schlägt fehl, weil -1 implizit zu unsigned konvertiert wird
int *  ip = 0;              // 0 ist implizit zu jeglichem Pointer konvertierbar…
int *  jp = NULL;  // …das ist so, weil das NULL Makro oft einfach als 0 definiert ist
foo(NULL);                  // Ruft foo(int) auf
foo(nullptr);               // Ruft foo(void*) auf
void * vp = ip;             // Alle Pointer sind implizit zu void Pointern konvertierbar
if( a  ) {…}                // Jegliche numerische Datentypen sind implizit zu bool konvertierbar,…
if( ip ) {…}                // …was auch für Pointer gilt
```

Das die Addition zweier *int* sich sehr Wahrscheinlich nicht vollständig in einem *char* speichern lässt, ist kein Zustand über den sich C++ beschwert. Noch absurder wird es wenn -1 nicht mehr kleiner als 1 sein soll. Das liegt daran dass für diesen Vergleich von *signed* und *unsigned int* beide in *unsigned int* konvertiert werden. Diese Konvertierung findet höchst performant statt, was bedeutet dass das -1 *signed int* einfach als *unsigned int* reinterpretiert wird und dann den Wert 4294967295 hat, welcher nicht kleiner als 1 ist.

Um einem Pointer mit dem besonderen leeren Wert zu initialisieren wird ihm entweder *0*, *NULL* oder *nullptr* zugewiesen, wobei aber nur der letztgenannte vom Typ Pointer ist. Dies wirkt sich insbesondere

negativ bei Funktionsüberladungen aus, welche im Falle der Parametrierung etwa mit *NULL* die Integer Überladungen bevorzugen.

2.2.5 Problematische Reihenfolge der Syntax

2.2.5.1 Unerwartete Operator Precedence

Operatoren sind im aktuellen C++ in 17 Ebenen einer Vorrangs-Tabelle eingeteilt.
[??? Vorrangstabelle Einfügen]
Manche dieser Ebenen sind in einer Reihenfolge, in welcher man sie nicht vermuten würde. Die Kommentare zeigen mittels Klammerung welcher Teil zuerst evaluiert wird.

```
cout << 1 & 2;              // (cout << 1) & 2;
if( a ^ b == 2 )    …       // if( a ^ (b == 2) ) …
cout << a == b;             // (cout << a) == b;
```

Die Einordnung in der Vorrangs-Tabelle der Bitweisen *Und* und *Oder* Operation geht auf BCPL zurück. Dort erfüllte der Operator "&" kontextsensitiv entweder die Funktionalität der Konjunktion (logischem *Und*) oder des bitweisen *Und*, analog traf das selbe auf den Operator "|" und *Oder* zu. In der Entwicklung von C wurde die Funktionalität in & und && aufgespalten.
Quelle: https://www.lysator.liu.se/c/clive-on-bcpl.html#operators
https://en.wikipedia.org/wiki/Operators_in_C_and_C%2B%2B#Criticism_of_bitwise_and_equality_operators_precedence

(Auszug aus der) Tabelle?

https://www.bell-labs.com/usr/dmr/www/chist.html

> *Their tardy introduction explains an infelicity of C's precedence rules. In B one writes*
>
> ```
> if (a==b & c) ...
> ```
>
> *to check whether a equals b and c is non-zero; in such a conditional expression it is better that & have lower precedence than ==. In converting from B to C, one wants to replace & by && in such a statement; to make the conversion less painful, we decided to keep the precedence of the & operator the same relative to ==, and merely split the precedence of && slightly from &. Today, it seems that it would have been preferable to move the relative precedences of & and ==, and thereby simplify a common C idiom: to test a masked value against another value, one must write*
>
> ```
> if ((a&mask) == b) ...
> ```
>
> *where the inner parentheses are required but easily forgotten.*

Die Notwendigkeit B Programme nach C umzusetzen ist nicht mehr gegeben, dennoch schleppt C++ immer noch diesen Ballast mit sich herum.

2.2.5.2 Pre- und Suffix Operationen

Ähnlich zur Variablendeklaration von Pointern in Kombination mit Arrays bietet auch das Zusammenspiel von Pre- und Suffix Operationen oft eine Ambiguität mit sich, welche Klammersetzung erfordert.
Verwirrend ist auch die Nutzung der gleichen Symbole für unterschiedliche Arten von Operationen: *&, *, +, -*
Diese werden zum einen für Unäre Prefix- sowie Binäre Operationen verwendet, als auch in doppelter Erwähnung als Prefix, Suffix und Binäre Operation.

```
*a[i];              // Ausgeführt wird *(a[i]) denn [] bindet stärker als *
(*a)[i];            // Sollte man a zuerst dereferenzieren wollen so muss man dies hier schreiben
```

```
(*a)->draw();      // Auch bei mehrfach Dereferenzierung muss geklammert werden

&i & & j && &k;    // Keine Verletzung der Sprache! Funktioniert z.B. nicht mit int…
++i++ + ++j++;     // …aber kompiliert wenn i, j und k von einem präpariertem Typ sind
*i**j;             // In diesem Beispiel sind nicht mal Leerzeichen nötig, Ausführung: (*i)*(*j);
```

2.2.5.3 Zuweisungen und Throw Expressions

```
if( a = 1 )               // Fälschliche Zuweisung

??? throw bspl
```

2.2.5.4 Textkomposition mit Streams

(MOVE)
BSPL
Es ist zu erwähnen das die *stream* Schreibweise bei Textkomposition inhärent suboptimal für viele Einsatzgebiete ist; z. B. bei Übersetzungen, wenn die Reihenfolge der Argumente je nach Sprache anders ist.

Myll bietet deshalb die fmt.dev Bibliothek mit an, welche eine sehr gute Mischung aus Features, Compiletime, Binarysize und Runtimeperformance bietet.
??? änderung das es nur noch eine footnote bei den ops << >> ist

2.2.6 Schwer durchschaubare automatische Verhaltensweisen

2.2.6.1 Special Member Functions

Es gibt sechs spezielle an eine Klasse gebundene Funktionen in C++ und diese werden unter jeweils unterschiedlichen Bedingungen automatisch generiert.
Siehe: https://en.wikipedia.org/wiki/Special_member_functions

- Default Constructor
- Destructor
- Copy Constructor
- Copy Assignment Operator
- Move Constructor
- Move Assignment Operator

Problematisch ist dies in vielerlei Hinsicht. Zuallererst muss man sie überhaupt erkennen, um sie mit der notwendigen Sorgfalt zu behandeln. Drei von ihnen sind Konstruktoren, zwei davon erwarten einen einzelnen Parameter mit vorgegebenem Typ. Diese gleichen Typen erwarten auch die speziellen Zuweisungsoperatoren.
Sobald man einen davon selbst implementiert, fallen automatisch einige der anderen weg. Dies ist schwer durchschaubar und wirft im Normalfall noch zusätzliche Probleme auf, so das die Verhaltensregeln Rule-of-Three, Rule-of-Five und Rule-of-Zero erdacht wurden. Diese geben vor, das wenn man eine der speziellen Funktionen implementiert (mit Ausnahme des Default Constructors), das man in dem Zuge auch einige der anderen Implementieren soll. Anders der Fall des Rule-of-Zero, welcher vorgibt das man komplett auf die Implementierung der speziellen Funktionen (wiederum mit Ausnahme des Default Constructors) verzichten sollte.
Diese Regeln existieren auf dem Papier, aber leider nicht in der Sprache, somit ist die Validation deren Befolgung auch komplett an den Benutzer übertragen.

Standard from 10.2/2

Zusammenfassung:

- Man muss sie erkennen
- Sie müssen in besonderen Konstellationen auftreten
- Der Compiler validiert nichts davon

Lösung:

```
[rule_of_n=5]              // Dies wirft einen Fehler beim Kompilieren: Es fehlt dtor und move=
class Test {
    move_ctor(other) {…}   // Der Leser sieht direkt das es sich um einen Move Constructor handelt
    copy_ctor(other) {…}   // Der Leser sieht direkt das es sich um einen Copy Constructor handelt
    copy=(other) {…}       // Der Leser sieht direkt das es sich um ein Copy Assignment handelt
}
```

2.2.6.2 Overloading mit Vererbung, Shadowing

https://www.geeksforgeeks.org/does-overloading-work-with-inheritance

```
class Base {
    void f(int) {…};
}
class Derived : public Base {
    // using Base::f;      // diese Zeile würde das Problem beheben
    void f(double) {…};
}
int main() {
    Derived d;
    d.f(1337);     // Ruft Derived::f(double) auf und nicht das logischere Base:f(int)
}
```

Lösung:
Inversion des Verhaltens, erwarte vom Benutzer das er explizit erwähnt das er Shadowing will.

```
class Derived : public Base {
    void f(double) {…};            // using Base::f; wird automatisch hinzugefügt
}
class OtherDerived : public Base {
    [shadow]
    void f(double) {…};            // using Base::f; wird nicht hinzugefügt
}
int main() {
    Derived d;
    d.f(1337);                     // Ruft Base::f(double) auf
    OtherDerived d2;
    d2.f(1338);                    // Ruft wie explizit angefordert Derived::f(double) auf
}
```

2.2.7 Schlechte Namensgebung

vector
map
unsigned long long int
constexpr

Lösung:

dyn_array
search_tree oder sorted_dict // vermittelt sofort das es sortiert ist
uint64
???

2.2.8 Verbose Schreibweise

unique_ptr 2.2.11
static_cast<>
(auto)
(move)

2.2.9 Keyword reusage

Inflationäre Nutzung von:
const
static
constexpr
consteval

Lösung:
[pure]
[(no)global]
unnamed namespace { ... }
[RT] stmt; // Force execution at Runtime
[CT] stmt; // Force execution at Compiletime

2.2.10 East Const und West Const

Gangkriminalität zwischen verfeindeten Clans ist hier nicht gemeint, es geht lediglich um die mögliche Positionierung des Keywords *const*. (Auch wenn es auch hier analoge Auseinandersetzungen wie zwischen der *geschweifte Klammer in neuer Zeile* mit der *geschweifte Klammer auf der gleichen Zeile* Fraktionen gibt)

```
const int * a;
int const * b;
int * const c;
```

Die Variablendeklaration von *a* und *b* sind identisch, das *const* bezieht sich auf das *int*. Bei der Deklaration von *c* hingegen bezieht sich das *const* auf den Pointer. Das heißt dass es an manchen Stellen möglich ist das const links von der zu attributierenden Stelle zu schreiben (west const) und an anderen rechts (east const).
Auch wenn es wesentlich häufiger der Fall ist *a* anstelle von *b* anzutreffen, gibt es in C++ nur eine Schreibweise die immer Funktioniert, welches natürlich der unnatürlichere Fall des *east const ist*.

2.2.11 Schlecht nutzbare Smart-Pointer

std::unique_ptr<T> ptr1 = std::make_unique<T>(val);
T* ptr2 = new T(val);

Welches Beispiel ist leichter lesbar und verstehbar?
ptr1 hat einen Vorteil: automatisches cleanup des allokierten Speichers.

T*! ptr3 = new T(val);
Erzeugt den identischen Code wie ptr1, ist dennoch leicht lesbar.

2.2.12 WOANDERS HIN:???

FhO

LINQ

(Schöner machen, ergänzen und strukturieren)

3 Konzept

3.1 Einleitung

Um bei der Konzeption der Sprache das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren, wurden einige simple Grundsätze definiert, welche auch auf Englisch verfügbar sind. Die Einhaltung der anfangs aufgestellten Grundsätze soll später bewertet werden.

Der Autor vertritt die Auffassung das viel Inspiration von anderen Sprachen eine gute Sache ist und mehr Wiedererkennungswert den Einstieg einfacher macht.

3.1.1 Grundsätze der Sprache Myll

1. Erwarte vom Benutzer nicht sich zu wiederholen, wenn es nicht nötig ist
2. Außergewöhnliches Verhalten muss Explizit sein
3. Das was man Naïv >~75% der Zeit will, kann Implizit oder Standard sein
4. Breche nicht mit der grundsätzlichen Semantik von C++
5. Breche mit C sofern es einen Nutzen bringt
6. Entwickle die Syntax so weiter das es zu keiner Most Vexing Parse, o.ä. kommen kann
7. Sei auch dann nützlich, wenn die Entwicklung am einmalig erzeugten C++ Code weitergeht
8. Spare nicht mit neuen Keywords, wenn die Lesbarkeit profitieren kann

3.1.2 Fundamental Principles of Myll

1. Don't ask the user to repeat themselves, if it's not necessary
2. Exceptional behavior needs to be explicit
3. What you naïvely expect to happen in >~75% cases can be implicit or default
4. Don't break with C++'s general semantic
5. Do break with C if there is a benefit
6. Evolve the syntax that it can't have a Most Vexing Parse or alike
7. Be useful even if a one-time translation to C++ is all that's wanted
8. Don't be frugal with new keywords, if it benefits readability

3.1.3 Inspiration

Ich habe mich schon eine lange Zeit vor dem Beginn dieser Arbeit mit dem Design und der Erstellung von Programmiersprachen beschäftigt. Das Video »**Ideas about a new programming language for games.**« von **Jonathan Blow**, aus dem Jahre 2014, brachte mich dazu mein Vorhaben, eine eigene Programmiersprache zu erstellen, in die Tat umzusetzen. Dieses und viele seiner weiteren Videos diente auch als Inspirationsquelle vieler Aspekte der hier vorgestellten Sprache. Jonathan Blow ist als Game-Designer und Chef-Entwickler der Spiele *Braid* und *The Witness* bekannt. Er entwickelt aktuell parallel die Programmiersprache **Jai**, zusammen mit einem weiteren Spiele-Projekt, einem komplexen Sokoban Puzzlespiels, welches in eben dieser Programmiersprache implementiert ist.

Auch ein zweites Projekt begleitete den Pfad, der zur Erstellung dieser Arbeit führte, über eine längere Zeit: **Bitwise** von **Per Vognsen**. In Bitwise ging es darum einen kompletten Computer, also den gesamten Hard- und Software-Stack, als Open-Source selbst zu erzeugen. Von besonderem Interesse für mich war die Erzeugung des **Ion** getauften Compilers dieses Projektes. Herausstechend daran war das die Entwicklung live übertragen wurde und der Code dieser Entwicklung jederzeit einsehbar war. Zu sehen, dass ein Compiler innerhalb kurzer Zeit von seiner Konzeption zur Funktion gebracht werden konnte war höchst ermutigend. Auch beim Sprachdesign wurde ich Inspiriert, eine einfach lesbare Syntax, sowohl für Parser, als auch für Menschen zu erzeugen. Per Vognsen war lange Zeit als Spielentwickler und Systemprogrammierer tätig, welcher aktuell seine Zeit in informative und lehrreiche Projekte mit geringem kommerziellem Interesse investiert.

Konträr zu diesen beiden Projekten liegt mein Fokus nicht auf extrem schneller Verarbeitung / Kompilation, sondern auf schneller Einarbeitung, weniger Flüchtigkeitsfehler und weniger Wiederholung.

Ein Artikel ist mir positiv und inspirierend aufgefallen »**Ideas for a Programming Language Part 3: No Shadow Worlds**« von **Malte Skarupke**, welcher mein Bewusstsein auf die unterschiedlichen Programmebenen hinwieß, welche alle gleichzeitig in einer einzelnen Programmiersprache vorhanden sind. Da ist das erwartete Prozedurale als auch das Objektorientierte in C++. Dahinter verborgen, quasi im Schatten dieser Offensichtlichen, liegen noch Generisch (und dessen Spezialfall TMP), Funktional und vom Präprozessor vorverarbeitet. Das Schlimme daran ist das sich teils mehrere dieser schattenhaften Ebenen überlagern und dadurch das Verständnis dessen was an einem Codeblock passiert verkomplizieren. Auch aufgrund dieses Artikels habe ich mich strikt gegen die Aufnahme eines Präprozessors entschieden und versuche TMP so gut es geht durch einfachere Lösungen zu ersetzen.

Außerdem stieß ich bei der Recherche dieser Arbeit auf ein Proposal. welches viele problematische Aspekte von C++ auflistet und für deren Behandlung den offiziellen Weg durch den Standardisierungsprozess gehen will. Es handelt sich dabei um »**Epochs: a backward-compatible language evolution mechanism**« von **Vittorio Romeo**. Das Proposal zeigt, wie die Probleme von C++ durch einen "Epochen-Schalter" gelöst werden können. Dieser Schalter könnte selektiv, pro Datei / Translation-Unit sogar "Zöpfe abschneiden". Sollte dieses oder ein ähnliches Proposal die Aufnahme in C++ finden, werden bestimmt nicht alle der betrachteten Probleme gelöst und der frühestmögliche Zeitpunkt wäre 2023 oder gar 2026. Leider sehe ich auch einige der Richtlinien unter 8.12 als absolut nicht *unumstritten* an und ich kenne einen ganzen Schlag Leute die dies ähnlich sehen (Spielentwickler).

3.1.4 Lerneffekte der verglichenen Sprachen

Welche Lerneffekte kann Myll aus den mit C++ verglichenen Programmiersprachen ziehen?

Von **C** kann man Simplizität Lernen: einfache Syntax für Casts, an Raw-Pointer angelehnte Smartpointer Syntax. Syntaktisch schwer durchschaubare und problematische Konstrukte hingegen sollen vermieden werden. Von **C#** und **Java** kann man sich einen Feature-Vorsprung zu C++ und eine entschlackte Syntax abschauen. Das Ziel von **D** war ein recht ähnliches wie meines, nämlich ein besseres C++ zu sein, Myll wird keine GC verwenden und auch nicht (absichtlich) auf Kernfeatures von C++ verzichten. Von **Rust** direkt schneidet sich Myll keine Scheibe ab, einen Paradigmenwechsel in der Schreibweise von C++ soll es explizit nicht geben, es wird lediglich versucht den halben Weg in Richtung sicherer Software durch die Behandlung einfach zu lösender Probleme zu gehen. Von **Ruby** soll sich ein "Das könnte doch viel einfacher geschrieben werden!" abgeschaut werden, welchen C# sich schon über die Jahre von Ruby oder ähnlichen Sprachen abgeschaut hat. Von **TypeScript** kommt die ursprüngliche Umsetzungsidee dieses Transpilers.

3.2 Behandlung der Probleme

Hier werden die Probleme behandelt, welche in Kapitel 2.2 aufgezeigt wurden.

3.2.1 Deklarationen, Definitionen und Initialisierung

3.2.1.1 Reihenfolge und Prototypen

In Myll gibt es keine separate Deklaration und Definition, beides erfolgt in einem Schritt. Sollte im erzeugten C++ Code dadurch ein Reihenfolge Problem entstehen, wird automatisch eine Prototyp-Deklaration vor der Nutzungsstelle erzeugt.

3.2.1.2 Aufteilung auf verschiedene Orte

Durch diese Zusammenführung ist auch die Aufteilung auf separate Dateien unnötig geworden. Es werden natürlich für den erzeugten C++ Code weiterhin .h und .cpp Dateien erzeugt.

Das folgende Beispiel enthält die gleiche Menge an Information wie die Dateien *myclass.h* und *myclass.cpp* aus der Analyse. Es lassen sich aus diesem Beispiel die originalen Dateien (fast identisch) wiederherstellen.

Datei *myclass.myll:*

```
class MyClass {
    field int myVar;
    field int myOtherVar;
    field int myVar3 = 3;
    [static] field int myStatic = 1;
public:
    ctor() {
        myVar = 1;                          // Generiert wenn möglich C++ Code wie myVar im Original
        myOtherVar = 2;                     // Generiert wenn möglich C++ Code wie myVar im Original
    }
    proc myProc() -> int {…}
    [inline]  proc myOtherProc()   -> int {…}
    [virtual] proc myVirtual()     -> int {…}
    [inline]  func myFunc3()       -> int {…} // func ist implizit const, alternativ:
    [inline, const] proc myFunc3() -> int {…} // proc mit const attribut auch möglich
}
```

Analyse des Urspungscodes und der bereinigten Syntax, ohne Whitespace und Kommentare:

Ursprung, C++: 18 Zeilen, 34 Wörter, 351 Zeichen
Bereinigung: 13 Zeilen, 26 Wörter, 264 Zeichen

Diese Transformation brachte in diesem sehr simplen, von Implementieriung befreiten, Beispiel eine Reduktion der Zeilen um 28%, der Wörter um 24% und der Zeichen um 21%. Es geht in diesem betrachteten Punkt des Konzepts auch explizit nicht um die Implementierung. Größere und realistischere Beispiele werden späteren Verlauf der Thesis Betrachtet und Ausgewertet.

3.2.1.3 Aufteilung im Kontext lebendiger Codebases

2.2.1.3 Erklärt lebendige Codebases???

Lebendiger Code profitiert von der irrelevant gewordenen Reihenfolge von Deklarationen und der Vereinigung auf eine Datei. Ein inline hinzu, ein inline entfernt, erzeugt eine geänderte Zeile im *diff* der Versionen.

3.2.2 Fehleranfällige Variablen & Typen Deklarationen

3.2.2.1 Ambiguität einer Deklaration

Um der Ambiguität ob etwas Beispielsweise eine Variable, eine Multiplikation oder einen Funktions-Prototyp ist entgegen zu wirken führt Myll Keywords zur einfachen Identifikation deren ein.

```
var a * b;          // Variablen Deklaration
const a * b;        // Konstanten Deklaration
a * b;              // Multiplikation
var c d;            // Variablen Deklaration
var c e();          // Variablen Deklaration mit Aufruf des Standard Konstruktors
func e() -> c;      // Funktionsdeklaration (unnötig in Myll, mehr dazu in dediziertem Kapitel)
```

Das Keyword *var* für Variablen, *const* für Konstanten (was in C++ bereits so aussieht), *func* für Funktionen.

Außerdem ist es gleichförmig zu anderen Konstrukten in C++, welche mit einem vorangestellten Keyword den Leser direkt wissen lassen was folgen wird: *class*, *struct*, *union*, *enum*, *namespace*, *using*, *static*; selbst *template*, *typename*, *typedef*, *#define* erfüllen dieses Kriterium.

Inspiriert war diese Syntax von einigen anderen Programmiersprachen, aber die Entscheidung zu genau diesen Keywords kam durch das Projekt Bitwise von Per Vognsen welcher in seiner Programmiersprache **Ion** die gleichen Keywords verwendet.???

3.2.2.2 Pointer und Array

In Myll ändert sich die Pointer und Array Syntax so das der Stern und auch das Kaufmanns-Und sowie die eckigen Klammern zum Typ gehören und der Typ für alle Variablennamen gleich ist:

```
var int*     a, b; // Variablen a und b sind beide Pointer auf int
var int[10]  c, d; // Variablen c und d sind beides int Arrays mit 10 Elementen
```

Verloren geht dadurch die Möglichkeit total unterschiedliche Initialisierungen wie diese hier in einer Zeile schreiben:

```
int i = 1, *p = NULL, f(), (*pf)(double), a[10];
```

Diese Änderungen beseitigt nicht nur die potentiell Fehleranfällige Syntax von K&R C, sondern harmonisiert außerdem mit der Template Schreibweise in C++ und der allgemeinen Schreibweise in anderen Sprachen wie C#, Java, D.

Dies ist ein Trade-off welcher die häufiger genutzte Art der Deklaration vereinfacht und die seltener genutzte erschwert.

3.2.2.3 Pointer auf Arrays

Des weiteren wird eine neue Schreibweise für Pointer auf Arrays eingeführt:

```
int[*] a;
int[]* a;   // besser???
```

Damit lassen sich möglicherweise schon in Myll Fehler diagnostizieren wenn ein Pointer auf ein Skalar so verwendet wird wie ein Pointer auf ein Array z.B.:

```
int      skalar;
int[10]  ary;
int*     ptr_to_skalar = &skalar;
int[*]   ptr_to_ary    = &ary;     // Expliziter Decay des Arrays zu einem Array-Pointer
int[]*   ptr_to_ary    = &ary;     // Expliziter Decay des Arrays zu einem Array-Pointer, besser???
ptr_auf_skalar++;                  // Compiletime Error: Pointer auf Skalare verbieten Arithmetik
ptr_auf_ary++;                     // Funktioniert wie erwartet
```

Auch wird der implizite Decay von Arrays zu Pointern verhindert, will man, dass ein Array zum Pointer wird, nutzt man die identische Syntax um ein Pointer auf ein Skalar zu bekommen.

3.2.2.4 Die Kombination von Pointern und Arrays

Die Kombination aus Pointern und Arrays ist durch die bereits genannten Änderungen schon abgedeckt und die Unklarheit der Reihenfolge, welche in C vorhanden war, ist nicht mehr vorhanden. Es gibt:

```
int[4]*  ptr_to_ary_of_4;          // Ein Pointer auf ein Array aus 4 int
int*[4]  ary_of_4_ptrs;            // Ein Array aus 4 Pointern auf int
```

Dadurch besteht keine Notwendigkeit Klammern zusetzten und es ist auch nicht so schreibintensiv wie die Template-Syntax.

3.2.2.5 Funktionspointer

In Myll erkennt am linken Rand der Deklaration sehr schnell ob etwas eine Funktion, ein Funktionspointer oder etwas anderes ist, die Namen sind außerdem leicht auffindbar an der rechten Seite der Deklaration. Auch verschachtelte Funktionspointer sind nicht schwerer lesbar als Funktionspointer im Allgemeinen.

Das identische Beispiel von 2.2.2.5 in Myll:

```
func f(int a,int b)->int {…}
func ff(func(int,int)->int f)->int {…}
var func(int,int)->int fp = f;
var func(func(int,int)->int)->void ffp;
```

3.2.3 Schlechtes Standardverhalten

3.2.3.1 Ein Parameter Konstruktor

Die Lösung zum Konstruktor, welcher einen einzelnen Parameter übernimmt, ist die Umkehrung der Bereitstellung der impliziten Konvertierung. Sollte diese Konvertierung gewünscht sein, muss sie explizit erwähnt werden.
Auch Jonathan Müller, C++ Library Developer und Konferenzsprecher betrachtete dieses Problem in einem Blogpost und Urteilte:

> *"As with most defaults, this default is wrong. Constructors should be explicit by default and have an implicit keyword for the opposite."*

Quelle: https://foonathan.net/blog/2017/10/11/explicit-assignment.html
Dieses Beispiel in Myll weist die gleiche Bereitstellung wie im C++ Beispiel auf:

```
class C {
    implicit C(int) {…}
    C(float) {…}
};
C c1 = C(1);
C c2 = 2;          // ok, da explizit erwähnt wurde das von int implizite Konvertierungen erlauben
soll
C c3 = C(3.0f);
C c4 = 4.0f;       // Error
```

Der Entwickler bekommt ein Funktionierendes *c1* und wie angefordert auch *c2*. Gleichfalls funktioniert *c3*, jedoch wird *c4* mit einem Compiletime Fehler verhindert.

3.2.3.2 Private Ableitung

```
class D : C {…};                  // Dies ist der Fall den man üblicherweise will
class D : private C {…};    // Wenn man will kann D private von C ableiten
```

3.2.3.3 Alles kann Exceptions werfen

Das, auch für zukünftige C++ Standards angedachte, Keyword *throws* ist in Myll nötig um in einer Funktion Exceptions nutzen zu können. Dieses Keyword kann in Myll auch einmalig einer gesamtem Klasse zugewiesen werden und gilt dann für alle Member.

3.2.3.4 Switch fällt von selbst

Umkehr der Verhaltensweise, *fall* wenn Fallthrough erwünscht, *break* ist der default.

```
switch( a ) {
    case 1:
        do_this();
                                  // implizites break
    case 2:
        or_do_that();
        fall;                     // fällt in den darunterliegenden case
    case 3, 4:                    // wenn mehrere cases genau das gleiche wollen geht es auch so
        two_cases_want_the_same();
}
```

3.2.4 Inkonsistente Syntax

3.2.4.1 Funktions- & Methodendeklarationen

So sehen die identischen Deklarationen in Myll aus.

```
func pow(float b, int e) -> float {…}      // nicht optimal weil fest vorgegebener Typ
func pow(auto b, int e) -> auto   {…}      // Rückgabetyp
func pow(auto b, int e)           {…}      // das gleiche wie die Zeile davor
func pow<T>(T b, int e) -> T      {…}      // Auch auto Rückgabetyp möglich
func(auto b, int e) -> auto       {…}      // Lambda-Syntax, fast identisch zur Funktions-Syntax

proc do_something()               {…}      // Momentan Synonym zu func
method draw()                     {…}      // Innerhalb von Klassen Synonym zu proc
```

Funktionen und Methoden aller Art werden mit dem neuen Keyword *func* eingeleitet, die Rückgabetypen werden nur Folgend angegeben. In der Evolution von C++ wurde der folgende Rückgabetyp mit C++11 eingeführt und gewann seit dem immer mehr an Bedeutung und Funktionalität. Die Template-Syntax wurde für simple Fälle wie diesen hier entschlackt, mehr dazu in separatem Kapitel. Lambdas sind nun leichter Identifizierbar und bis auf ihre Namenlosigkeit identisch in der Schreibweise zu Funktionen.
Die Nutzung der Keywords *proc* und *method* ist auch möglich, *proc* ist momentan komplett Synonym zu *func*, *method* hingegen nur im Klassenkontext nutzbar.

Analog zu *const* Methoden, welche eine Veränderung des assoziierten Objektes verbieten, gibt es die Möglichkeit jede Funktion als *pure* zu markieren, welche die Veränderung von jeglichem globalen Zustand verbietet.

3.2.4.2 Notwendigkeit des Semikolons

Ohne die Notwendigkeit, wie in C, für alles via *typedef* einen nutzbaren Alias zu erzeugen, fällt auch die Notwendigkeit des Semikolons nach Klassen, Strukturen, Unions und Enumerationen weg. Verloren ist die Möglichkeit der direkten Erzeugung von Variablen des neuen Typs.

```
class E {…}
do {…} while(…)
```

3.2.4.3 Verteilung der Attribute

Das gleiche Beispiel auch hier nach logischen Gruppen Formatiert:

```
[noreturn, pure, virtual, override, final, noexcept]       // Alles was sich auf die Methode bezieht
func foo()
-> const float                                             // Rückgabetyp mit west-const
{…}
```

Myll gruppiert Attribute in Eckigen Klammern vor dem jeweiligen Konstrukt, dadurch sind zukünftige Erweiterungen einfach möglich, ohne das es Kollisionen mit bestehendem Code & Syntax gibt. *West const* ist hier die einzig Korrekte Schreibweise um etwas *const* zu machen.

3.2.5 Problematische Reihenfolge der Syntax

3.2.5.1 Unerwartete Operator Precedence

In Java und C# sind die Operatoren &, | und ^ in ähnlichem Vorrang wie in C++ und seinen Vorgängern einsortiert und diese verhalten sich je nach booleschen oder ganzzahligem Kontext analog zu C++.
Die Sprachen Rust und Ruby hingegen sortieren die Operatoren &, | und ^ direkt über die Vergleichsoperatoren ein und eliminieren die in Kapitel 2.2.5.1 angesprochene Problematik.

Myll ordnet die booleschen Operatoren in die Ebenen der Punkt- und Strichrechnung ein: Operator & in die Ebene der Punktrechnung, | und ^ in die Ebene der Strichrechnung.

Die Idee hierzu kam durch das Projekt Bitwise von Per Vognsen welcher in seiner Programmiersprache **Ion** die gleiche Änderung der Operator Precedence umgesetzt hat.

Der letzte aufgeführte Problemfall wurde nicht Behandelt damit dies hier noch so funktioniert:

```
if( a << 1 == 23 ) // if( (a << 1) == 23 )
```

Siehe auch 4.1.4.3. what??? leider Pointer auf umbenanntes Kapitel

3.2.5.2 Pre- und Suffix Operationen

Pech:

```
(*a)->draw();      // Auch bei mehrfach Dereferenzierung muss geklammert werden
```

3.2.5.3 Zuweisungen und Throw Expressions

Zuweisungen und *throw* sind keine Expressions mehr. Dadurch sind die genannten Beispiele nicht mehr valider Code und müssen in einfacher durchschaubaren Code umgeschrieben werden. In den seltenen Fällen wo eine Zuweisung eine Expression war muss sie nun einzeln als Statement geschrieben werden. C# und ??? löst es genau so.

3.3 Design der Sprache Myll

Die schlichte Behandlung einzelner Probleme macht noch keine Sprache aus, sie bietet lediglich ein besseres Fundament. Eine Programmiersprache sollte auch ein einheitliches Gesamtbild, wenig widersprüchliche Konstrukte und eine gute Lesbarkeit aufweisen.

Keywords sind hier **fett** hervorgehoben und eingebaute Typen *kursiv*.

```
module MyContainers;

import MyMath;

class MyStack<T> {
    const usize _default_reserved = 8;
    field usize _reserved;
    field usize _size = 0;
    field T[]*! _data;
  public:
    ctor( usize reserved = _default_reserved ) {
        _reserved = reserved;
        _data     = new T[_reserved];
    }
    func empty() -> bool => _size == 0;
    func top()   -> T    => _data[_size-1];
    proc push( T val ) {
        if( _size >= _reserved )
            grow();
        _data[_size] = val;
        ++_size;
    }
    proc pop() {
        --_size;
    }
  private:
    proc grow() {
        const usize new_reserved = _reserved * 2;
        var   T[]*! new_data     = new T[new_reserved];
        do _size times i {
            new_data[i] = _data[i];
        }
        _reserved = new_reserved;
        _data     = new_data;
    }
}
```

Hinweis: Das Member `_data` ist ein Unique-Pointer (`*!`), deshalb braucht diese Implementierung weder ein `delete` in `grow()`, noch einen manuell implementierten Destructor. Auf Fehlerbehandlung wurde explizit verzichtet, der Nutzer darf nur bei `!empty()` die Methoden `top()` und `pop()` aufrufen.

Jede Deklaration beginnt mit einem Keyword welche es direkt erkennbar macht was die Zeile enthält. Was darauf folgt ist meist ein Name oder auch ein Typ, gefolgt von weiteren Informationen welche entweder mit Semikolon oder einem Block (Geschweifte Klammern und deren Inhalt) beendet werden. Dies gilt hier auch für *import* und *module*.

3.3.1 Neue Keywords

Myll nutzt einige neue Keywords, denn Syntax ohne Keywords hat sehr schnell alle *schönen* Konstellationen verbraucht und Monster wie diese hier entstehen:

```
[](){}();                          // valides C++11, leeres Lambda welches direkt aufgerufen wird
void(*ffp)(int(*)(int,int));       // valide seit dem Anbeginn von C++
```

Die Liste der neuen Keywords ist:

```
ctor, dtor, func, proc, method     // alle Arten von Funktionen
var, field                         // alle Arten von Variablen
get, set, refget                   // zur Erstellung von Accessoren
import, module                     // Bekanntmachung und inkludierung von Modulen
loop, times                        // neue Schleifen
requires, alias                    // etc
```

Es wurden Abkürzungen mittlerer Länge gewählt welches sich an die ursprünglichen Keywords aus C++ anlehnt: struct(ure), enum(eration), float(ing point number), double (precision float), int(eger). Für Funktionen wäre *fn* zu wenig Information und kollidiert zu leicht.

4 Implementierung

4.1 Umsetzung

Meine Arbeit mit TypeScript (welches das Arbeiten mit JavaScript erträglich macht???) und ähnlichen Projekten, welche eine Source to Source Übersetzung (Transpilation) durchführen, brachte mich dazu dieses Projekt mit dem gleichen Verfahren zu beginnen.

Durch Transpilation entgeht man vielen problematischen und arbeitsintensiven Aspekten wie:

- Erzeugung von Assembly / Maschinencode
- Optimierung von Assembly / Maschinencode
- Erzeugung eines ABI (Application Binary Interface, Binäre Repräsentation ??? move to Begriffsbla)
- Linking von Object Files
- Bereitstellung eines Debuggers

Es bietet einem die Möglichkeit eine Sprache zu bedienen, ohne sie schreiben zu müssen, sowie die gesamte Infrastruktur der Zielsprache nutzen zu können.

Auch andere aktuelle Entwicklungen nutzen Transpilation um schneller einsatzbereit zu werden, wie zum Beispiel Jonathan Blow's JAI, welches anfänglich zu C++ Code transpilierte und Per Vognsen's ION welches immer noch zu C Code transpiliert. C++ selbst war in seinen Anfängen (C with Classes) als Transpiler zu C-Code umgesetzt.

Myll soll direkt mit C++ Code zusammenspielen, also einer Mixtur aus .cpp/.h und .myll Dateien, es soll die C++ Standardbibliothek, sowie C und C++ Libraries nutzen können.

Die Umsetzung erfolgt in C# und nutzt Antlr4 als Lexer und Parser Generator.

4.1.1 C++ predigen, aber C# und Java trinken

Man sollte immer das beste Werkzeug für seine Arbeit nutzen. Aufgrund der Komplexität eine Sprache wie C++ zu Lexen und zu Parsen, bediene ich mich eines weitverbreiteten Parser-Generators und einer einfacher zu nutzenden Sprache. Die *Performance* welche bei dieser Arbeit im Vordergrund steht, ist die Umsetzung von möglichst viel Funktionalität im gegebenen Zeitfenster, dies lässt sich mit C# einfacher realisieren. ANTLR ist in Java geschrieben und erfordert lediglich für die Übersetzung der Grammatik ein installiertes JRE (Java Runtime Environment).

4.1.2 Alternative Umsetzungsmöglichkeiten

Im Kontext der Erstellung dieser Masterarbeit habe ich auch Alternativen zur Umsetzung betrachtet.

- Selbstgeschriebener Lexer/Parser
  - Nach einigen kleinen Prototypen war klar das eine Programmiersprache, welche annähernd die Komplexität von C++ aufweist, sich nicht in absehbarer Zeit manuell Lexen & Parsen lässt
  - Dieses Unterfangen wäre sicher Interessant gewesen, ist hier aber nicht der gewünschte Fokus
- C++ mit Boost Spirit X3
  - Sehr schwierig eine komplexe und rekursive Grammatik zu definieren
  - Lange Kompilationszeiten

    - Spirit X3 hat angeblich eine gute Runtime Performance
- C++ mit PEGTL
    - Sehr ähnliche Probleme wie mit Spirit X3
- C++ mit ANTLR
    - Grammatik relativ einfach zu definieren, nah an der Backus-Naur-Form
    - Unterstützung von ANTLR in C++ ist nicht so ausgereift wie die von C#
    - Siehe die aufgeführten Nachteile von C++ in diesem Dokument
    - Implementations-Geschwindigkeit wichtiger als Runtime-Performance
- C# mit ANTLR
    - Grammatik relativ einfach zu definieren, nah an der Backus-Naur-Form
    - ANTLR hat die beste Interoperabilität mit C# von den unterstützten Sprachen welche ich beherrsche
    - Die Arbeit mit C# erlaubt einfache Nutzung einer Graphischen Oberfläche und hat auch sonst eine schnelle Implementationsgeschwindigkeit

4.2 Details

Die Pipeline eines Kompilers ist meist in diese Schritte unterteilt:

- Design der Sprache (Siehe 3.3)
- Lexikalische Analyse mittels Lexer
- Syntaktisch Analyse mittels Parser
- Semantische Analyse mittels Sema
- Ausgabe des Kompilats – hier Quellcodeerzeugung
- ???
- Profit :-P

Auch Myll hat diese Schritte.

4.3 Lexer / lexikalischer Scanner

Lexer werden verwendet um einen Eingabetext in logisch zusammenhängende Stücke zu zerteilen, diese Stücke werden Tokens genannt. Dieser Schritt, welcher *lexikalische Analyse* genannt wird, dient der Vorverarbeitung der Eingabe und wird von nahezu jedem Compiler durchgeführt. Leerraum wird im Normalfall in diesem Schritt verworfen (außer bei Sprachen in denen Leerraum Bedeutung hat, wie etwa Python). Oft werden Lexer durch ein Tool erzeugt, diese nehmen ein Vokabular und erzeugen daraus Programmcode. Alternativ zur Generierung können sie aber durchaus auch von Hand erstellt werden.

Ein Beispiel:

```
var int test = 99;
```

Diese Eingabe wird in folgende mit `|` getrennte Tokens aufgeteilt, Klammern zeigen optionalen Inhalt:

```
VAR | INT | ID( test ) | ASSIGN | INTEGER_LIT( 99 ) | SEMI
```

Der für Myll implementierte Lexer hat nur wenige Besonderheiten, zu seiner Erstellung wurde der Lexer-Generator von ANTLR 4 zu Hilfe genommen wurde, hierzu musste ein Vokabular definiert werden.

Die üblichen Spezialfälle wie *String* und *Character-Literale* sind so definiert das sie an ihrem einleitenden Zeichen anfangen (»`"`« und »`'`«). Von da an werden alle folgenden Zeichen und die meisten Escape-Sequenzen zum Literal gezählt, bis die Verarbeitung auf ein schließendes Zeichen stößt, welches identisch mit dem respektiven einleitenden Zeichen ist. Das Character-Literal muss es genau ein Zeichen enthalten.

Die Escape-Sequenzen für Oktale-, Hexadezimale- und Unicode-Zeichen werden bislang nicht unterstützt. Alternativ dazu ist aber die direkte Eingabe von UTF-8 Zeichen im Texteditor möglich.

Auch *Kommentare* sind in Myll möglich und erlauben die aus C++ bekannten Varianten, *bis zum ende der Zeile* via `// …` und *über mehrere Zeilen hinweg* via `/* … */`. Sie schreiben alle Eingaben in ihrem Geltungsbereich in einen speziellen Kanal, welcher abseits der zu verarbeitenden Code-Tokens liegt. Aktuell wird dieser Kanal noch nicht weiter genutzt, d.h. die Kommentare werden nicht in den erzeugten übernommen, es ist aber durchaus möglich dies zu einem späteren Zeitpunkt nachzurüsten.

Die Sprachen C sowie C++ leiden unter einem Entscheidungsproblem welches ich in 2.2.2.1 schon aufgeführt habe. Die Problematik ist, dass hier Identifier (Bezeichner) schon während der lexikalischen Analyse in *Typen Identifier* und *Variablen Identifier* klassifiziert werden müssen. Zur Lösung dieser Problematik wird ein sogenannter *Lexer-Hack* verwendet um die Tokens richtig zu klassifizieren. Darin wird dem Lexer vom Parser ein Rückwärtskanal in Form einer Symboltabelle bereitgestellt, anhand derer eingesehen werden kann ob ein Identifier nun einen Typen oder eine Variable darstellt.
(Siehe https://en.wikipedia.org/wiki/Lexer_hack)
Clang verzichtet auf diesen Hack und klassifiziert zunächst alle Identifier in eine gemeinsame Kategorie und entscheidet weit später, während der semantischen Analyse, die richtige Klassifikation.
Myll braucht diesen Hack ebenfalls nicht und unterscheidet Identifier auch nicht. Es ist durch die eindeutigere Syntax aber schon im Parser bekannt ob es sich um einen Typ oder eine Variable handelt.

Der für Myll implementierte Lexer betrachtet aber auch weiterhin die Tokens `>>` nicht gemeinsam, sondern als jeweils zwei separate `>` Tokens, so wie C++. Dies ist notwendig da sie je nach Auftrittsort entweder der logische bitweise Verschiebung nach rechts oder das schließen zweier Templates gemeint sind. Dies ist außerdem nun auch für den neuen Potenzierungs-Operator `**` nötig, da es in anderem Kontext auch zwei Dereferenzierungs-Aufrufe sein können.

```
vector< vector< int >>     // Zwei separate Templates werden geschlossen
                84 >> 1    // Logischer rechts-shift
8 ** 2                     // 8 hoch 2
  **a                      // a wird zwei mal dereferenziert
```

Nach dem Schritt der lexikalischen Analyse ist bekannt ob der eingegebene Text Anomalien aufweist. Keine Anomalien heißt aber noch lange nicht das ein Text Sinn macht, also ein syntaktisch korrektes Programm zeigt.

```
if if int ()));    // OK vom Lexer: Keine Anomalie
€                  // Lexer meldet Fehler: € ist weder Keyword, Operator oder Identifier
"                  // Lexer meldet Fehler: Das Anführungszeichen wird nicht geschlossen
```

Die komplette Auflistung des Vokabulars des Lexers ist im Anhang ??? einzusehen.

4.4 Parser / syntaktische Analyse

Parser nehmen den vom Lexer erzeugten Token-Strom und erzeugen daraus entweder einen AST (Abstract Syntax Tree, einen Syntax Baum) oder einen Parse Tree (auch CST, Concrete Syntax Tree).
Mit dem linearen Strom an Tokens welcher der Lexer erzeugt hat, durchläuft der Parser in der syntaktischen Analyse Phase meist einen Entscheidungsbaum, in jenem er versucht alle Tokens zu passenden Regeln zu zuordnen. Die definierten Regeln sind mittels *Und* und *Oder* Gliedern verkettet und der gesamte Regelsatz wird Grammatik genannt. *Und* Verknüpfungen deuten an das mehrere Tokens in Reihe übereinstimmen müssen, *Oder* Verknüpfungen bieten alternative Pfade an, trifft eine Regel nicht zu wird die nächste versucht. Jede Regel, die mit dem aktuell betrachteten Token übereinstimmt, wird in die Tiefe des Baums gefolgt. Sollte eine Regel in keinem Pfad zu einem Token passen, wird im Baum wieder nach oben gesprungen und von dort aus Alternativen durchlaufen. Dabei werden alle erfolgreich übereinstimmenden Regeln aufgezeichnet. Sollten bis zum Ende der syntaktischen Analyse alle Tokens verbraucht worden und der Regel-Baum wieder am Wurzelknoten sein, so bilden diese aufgezeichneten Knoten den AST oder CST des eingegebenen Textes und bestätigen das der eingegebene Text gültig ist. Wie Lexer, werden auch Parser oft von einem Tool erzeugt. Deren händische Erstellung ist ebenso möglich aber, je nach Komplexität der gewünschten Grammatik, ein sehr ambitioniertes Unterfangen.

Der für Myll implementierte Parser wurde mittels des ANTLR 4 Parser Generators erstellt. In jenem kann eine kontextfreie Grammatik in Erweiterter Backus-Naur-Form (EBNF) formuliert werden.

Anhand der folgenden stark reduzierten Grammatik werden die beispielhaft erzeugten Tokens aus dem Lexer Beispiel syntaktisch analysiert. Tokens werden hier komplett groß geschrieben, Regeln starten mit einem Kleinbuchstaben.

```
stmt        :  (   RETURN  expr            SEMI
               |   VAR     typespec idVars SEMI    );
typespec    :  (   BOOL
               |   FLOAT
               |   INT     );
idVars      :      idVar   (COMMA  idVar)*;
idVar       :      ID      (ASSIGN expr )?;
expr        :  (   expr    PLUS    expr
               |   ID
               |   INTEGER_LIT     );
```

Der Token Strom des Lexer Beispiels

```
VAR | INT | ID( test ) | ASSIGN | INTEGER_LIT( 99 ) | SEMI
```

Der Einstiegspunkt in der Grammatik sei für dieses Beispiel die Regel stmt und das aktuelle Token ist VAR. Die Regel stmt wird betrachtet und enthält als erste Alternative RETURN (es ist eine Alternative weil die beiden Regeln mit einem *Oder* getrennt sind), dies stimmt nicht mit dem aktuellen Token überein also wird jetzt die Alternative betrachtet. Diese enthält VAR als erstes Element, was mit dem aktuellen Token übereinstimmt, das heißt der Token Strom springt zum nächsten Token. Zwischen VAR und typespec steht kein Operator, deswegen ist es eine implizite *Und* Verknüpfung. typespec ist eine weitere Regel und kein Token, deswegen wird sie zur weiteren Überprüfung betreten. In typespec wird jetzt geschaut ob ein Token mit INT übereinstimmt (natürlich der Reihe nach), und ja ist es: Strom einen weiter. Da typespec keine weiteren Regeln mehr enthält gilt es als erfolgreich erfüllt. Der Parse Tree / CST (welcher von ANTLR seit Version 4 erzeugt wird) sieht aktuell so aus:

stmt → VAR
→ typespec → INT

Zurück im Ursprung in stmt steht idVars als nächste Regel an, diese wird betreten und es findet sich eine weitere Regel idVar, auch dort wird hineingesprungen. ID stimmt mit der ID aus dem Strom überein, der

textuelle Inhalt des Token ist hier egal, die Regel ist erfüllt, Strom++. Dann kommt ein optionaler Anteil (zu erkennen am Fragezeichen als Suffix) welcher erfüllt sein kann, aber nicht muss. Es wird überprüft ob der nächste Token mit ASSIGN übereinstimmt, was er macht, Strom++. Der optionale Bereich ist aber noch nicht vorbei, d.h. die Regel expr wird betreten, welche wiederum Alternativen enthält. Die erste Regel enthält wieder expr als erste Regel. Aktuell sieht es anscheinend so aus als würde dies in einem ewigen Abstieg durch immer wieder der ersten (linken) Regel machen. Glücklicherweise hat ANTLR 4 genau für diese Problematik eine Sonderbehandlung, welche die direkte Rekursion der Regel ganz links erlaubt, welche bei vielen anderen Parsergeneratoren jetzt dazu geführt hätte das man seine Grammatik auf komplett andere weise neu implementieren müsste. Siehe: Precedence climbing ??? (https://en.wikipedia.org/wiki/Operator-precedence_parser#Precedence_climbing_method)
Die Sonderbehandlung führte dazu das die erste Regel temporär übersprungen wurde und nun INTEGER_LIT mit ID verglichen wird, was nicht übereinstimmt. Die nächste Alternative ist INTEGER_LIT, ein Treffer also Strom++ und damit ist die optionale `(ASSIGN expr)?` Regel erfüllt, als auch idVar beendet. Jetzt steht eine optionale als auch wiederholbare Regel an (Erkennbar am Asterisk als Suffix), welche mit einem COMMA beginnen soll; hier könnten weitere Variablen vom gleichen Typ definiert werden. Diese Regel ist nicht erfüllt und idVars ist damit abgeschlossen. In stmt wird noch verlangt das noch ein SEMI folgt. Wäre dies nicht der Fall, wäre alle Arbeit verworfen worden und der Text als ungültig bewertet worden. Der komplette Parse Tree sieht am Ende so aus:

stmt → VAR
→ typespec → INT
→ idVars → idVar → ID(test)
→ ASSIGN
→ expr → INTEGER_LIT
→ SEMI

??? Baumstruktur graphisch umsetzen, 90° im Uhrzeigersinn gedreht

??? PS: C ist nicht LL(1) Parsebar.

Nach dem Schritt der syntaktischen Analyse ist bekannt ob der eingegebene Text grammatisch valide ist, was noch nicht heißt das dessen Code so auch ausgeführt werden kann.

Die vollständige Auflistung der Grammatik des Parsers ist im Anhang ??? einzusehen.

4.5 Semantische Analyse

Die semantischen Analyse betrachtet die Bedeutung des Textes ... Allgemein???

Clang nennt die für die semantische Analyse genutzte Softwarekomponente Sema, dieser Namensgebung möchte ich mich hier anschließen.

Für die semantische Analyse gibt es keine Generatoren, zumindest nicht von ANTLR.

Da ANTLR anstelle eines AST, einen CST erzeugt hat, wird dieser Schritt hier nachgeholt. Der Unterschied eines AST zu einem CST besteht darin, das ein AST meist nur Blätter und Verzweigungen enthält, während der Baum eines CST viele unnötige Zwischenschritte beinhaltet. So sieht der AST des zuvor erzeugten Beispiels aus.

stmt → VarDecl → INT
→ ID(test)
→ INTEGER_LIT

??? Baumstruktur graphisch umsetzen, 90° im Uhrzeigersinn gedreht

VarDecl hat zwei verpflichtende und einen optionalen Kindsknoten: Typ, Name und opt. Initialisierung. Der Informationsgehalt des AST entspricht dem des CST, die Informationsdichte des AST ist höher.

Bei der Frage wie der CST durchlaufen werden soll, bot ANTLR zwei Möglichkeiten: *Visitor* (Besucher) und *Listener* (Lauscher). Die Entscheidung fiel auf den *Visitor*, da dort der Durchlauf des Syntax Baums selbst gesteuert werden kann; man kann Visit() auf die Kindersknoten in einer selbst gewählten Reihenfolge aufrufen oder auch manche Teile gar nicht besuchen. Alternativ dazu hätte der *Listener* alle Knoten von selbst in vorgegebener Reihenfolge durchlaufen und einem lediglich die Möglichkeit gegeben dabei *zuzuhören*.

Die Semantische Analyse ist in Myll in drei Phasen unterteilt, die erste dieser Phasen findet schon beim Traversal des CST statt. Mehr???

Neu:

1. Durchlauf des CST, Erzeugung eines vorläufigen AST des kompletten Programms.
   Die Namen von global sichtbaren Deklarationen werden in einer Datenstruktur erfasst:
   - Namespaces
   - Typen Deklarationen (struct, class, enum, union, alias)
   - globale-, statische- und instanz-Variablen
   - Funktionen und Methoden

   Alle importierten Module müssen diesen Schritt durchlaufen haben, bevor der nächste Schritt beginnen darf, weil sonst Typen womöglich falsch aufgelöst werden.
2. Alle globalen Namen sind bekannt, alle Referenzen auf Globale können jetzt zugeordnet werden.
   Diese Referenzen sind:
   - Using Namespace
   - Basisklassen
   - Typen der Variablen
   - Parameter und Rückgabetypen von Funktionen und Methoden

   Die Zuordnung geschieht durch die Ersetzung der textuellen Repräsentation durch einen Zeiger auf das aufgelöste Element.
   Aus myUsingDecl { namespace = "std" } wird myUsingDec { namespace = &myStdDecl }
   !!! Dieser Schritt ist nicht vollständig implementiert im aktuellen Prototypen
   TODO: Fähigkeit diese Daten in einfach einzulesender Form abzuspeichern. Für partielle rekompilationen können diese eingelesen werden ohne die abhängigen Module neu zu kompilieren. Auch nicht-Myll Code kann über diesen Weg bereitgestellt werden.
3. Funktionen, Methoden und Expressions können nun Aufgelöst werden

   ??? HIER WEITER 16. Mai 2020

Was sind Module??? So etwas wie *includes*, aber Module eskalieren keine Imports.

- Mod b importiert Mod a
- Mod c importiert Mod b
- Mod a ist nicht in Mod c verfügbar

Dies ist Gegensätzlich zu *includes* in C++, welche sämtliche *sub-includes* mitbringen.

Selbst wenn ich Schritt 2 noch nicht mache, weis ich dennoch was Pointer sind und was nicht und ich könnte einen Zugriff auf Circle* c; via c.area() erlauben und in c->area() übersetzen. (Siehe Go Lang)
In C++ gibt es nichts was die Syntax c.*irgendwas* auf einen Pointer sinnvoll nutzt.

1. Globale Typendeklarationen und Identifier erfassen
2. Globale Typen werden vervollständigt
3. Funktionskörper werden Analysiert

Was bedeutet 'fertig'??? erklären???

Beispiel

```
var int g_i;                                // (1) g_i
func myfunc() -> BC::Sub {                  // (2) myfunc
    var BC      a;
    var BC::Sub b;
    a.c( b, g_i );
    return b;
}
class BC : SomeBase {                       // (3) BC
    class Sub {}                            // (4) BC::Sub
}
class SomeBase {                            // (5) SomeBase
    func c<T>( BC::Sub& b, T i ) {…}        // (6) SomeBase::c<T>
}
```

In diesem Beispiel sind sechs globale Deklarationen enthalten

Phase 1:

- Alle globalen Deklarationen werden hierarchisch durchlaufen
- Die globale Variable namens *g_i* wird mit dem eingebauten Typen *int* erfasst, diese Deklaration ist damit schon vollständig aufgelöst und wird als fertig markiert
- *myfunc* wird global als Funktion erfasst mit *BC::Sub* als Rückgabetyp, da dieser bisher unbekannt ist, wird er aktuell nur textuell erfasst und die Implementierung von *myfunc* wird vorerst ignoriert
- *BC* wird global als Klasse erfasst, die Basisklasse *SomeBase* ist noch unbekannt und wird deswegen auch nur textuell erfasst
- *Sub* wird unter *BC* als Klasse erfasst, ist vollständig aufgelöst und wird als fertig markiert
- *SomeBase* wird global als Klasse erfasst
- Die Funktion *c* wird unter *SomeBase* mit Parametertyp *BC::Sub* textuell erfasst, T bleibt offen
- Implementierung von *SomeBase::c* wird vorerst ignoriert

Phase 2:

- Alle nicht fertigen globalen Deklarationen werden erneut hierarchisch durchlaufen
- Der Rückgabetyp von *myfunc* wird jetzt durch einen Verweis auf die in Phase 1 erfasste *BC::Sub* Klasse ersetzt und da ihre Signatur vollständig aufgelöst ist wird sie als fertig markiert

- Die Basisklasse von *BC* wird durch einen Verweis auf die Klasse *SomeBase* ersetzt, sie wird als fertig markiert, da hier nichts direkt auf die (bisher nicht fertige) Basisklasse *SomeBase* verweist
- Die Parametertyp *BC::Sub* von *SomeBase::c* wird aufgelöst, T bleibt offen, wird als fertig markiert
- Rückkehr zur Klasse *SomeBase*, diese wird als fertig markiert da alle Kinder fertig sind
- Phase 2 wird ein erneut durchlaufen sollte etwas nicht als fertig markiert sein
- Sollte die Anzahl der noch nicht fertigen Deklarationen nicht zwischen den erneuten Aufrufen schrumpfen, liegt ein fehlerhaftes Programm vor

Phase 3:

- Alle nicht-Template Funktionskörper werden aufgelöst
- Lokaler Scope von *myfunc* wird erzeugt
- Variable *a* vom Typ *BC* wird in lokalem Scope erzeugt
- Variable *b* vom Typ *BC::Sub* wird in lokalem Scope erzeugt
- Variable *a* ruft die Methode *c* auf, in dieser wird der Templateparameter *T* mit dem Typen *int* der globalen Variable *g_i* instanziiert und der Typ der Variable *b* ist kompatibel mit dem ersten Parameter
- Variable *b* wird zurückgegeben, dessen Typ ist kompatibel mit dem Rückgabetyp der Funktion
- Der lokale Scope wird geschlossen
- Templatefunktionen wie *SomeBase::c* werden (wie in C++) nur im Falle der Nutzung aufgelöst. Im Falle ihrer Nutzung sind sie natürlich vollständig typisiert und werden wie normale Funktionen erzeugt.

4.6 Details zur Implementierung

Drei verschiedene Arten von Basistypen machen die Knoten meines AST aus:

Decl - Deklarationen (welche korrekterweise Globale- & Instanz-Deklarationen hätten heißen müssen)

Stmt - Statements (welche korrekterweise Lokale-Deklarationen und Statements hätten heißen müssen)

Expr - Expressions

Die schlechteste Entscheidung die ich bei dieser Modellierung getroffen habe, ist die geringe Überschneidungen der Deklarationen und Statements vom gleichen Code / der gleiche Klasse behandeln zu lassen. Dies betraf insbesondere die Lokalen-, Globalen- und Instanz-Variablen Deklarationen.

4.7 Generator

Problem: Ich brauche eine spezialisierte String Klasse / Datenstruktur welche die effiziente Erzeugung von Output unterstützt.

Eckpunkte:

- Erzeugung von Iteratoren auf Positionen im Text, welche sich bei Einfügeoperationen mit verschieben und Reallokationen mitmachen
- Einfügen von Text an jeglicher Stelle der genannten Iteratoren, ohne das für jeden Aufruf alle Folgezeichen verschoben werden müssen
- Unterstützung von sehr großen Strings und mehrerer dessen parallel

Was ich nicht brauche:

- Thread-Sicherheit

DONE: Das ganze Programm überprüfen ob ich noch irgendwo NEW class variables benutzt hab!!!

5 Auswertung & Zusammenfassung

5.1 Bewertung der Grundsatzeinhaltung

Wiederholung der Grundsätze:

1. Erwarte vom Benutzer nicht sich zu wiederholen, wenn es nicht nötig ist
2. Außergewöhnliches Verhalten muss Explizit sein
3. Das was man Naïv >~75% der Zeit will, kann Implizit oder Standard sein
4. Breche nicht mit der grundsätzlichen Semantik von C++
5. Breche mit C sofern es einen Nutzen bringt
6. Entwickle die Syntax so weiter das es zu keiner Most Vexing Parse, o.ä. kommen kann
7. Sei auch dann nützlich, wenn die Entwicklung am einmalig erzeugten C++ Code weitergeht
8. Spare nicht mit neuen Keywords, wenn die Lesbarkeit profitieren kann

Im späteren Verlauf der Umsetzung soll die entstandene Programmiersprache sich an der Einhaltung dieser Grundsätze messen.

1. Dedublizierung durch Reduktion auf eine Datei
   Keine Notwendigkeit von Prototypen
2. Implicit Konstruktoren
   Array Decay
   Switch Fall
3. Bitweise Operationen vor Gleichheit
   Kein Shadowing
   Switch Break
   Public Ableitung
   Noexcept
4. Größte Sorgfalt wurde darauf gelegt diese Semantik beizubehalten
5. Jeder Bruch mit der Syntax von C ist dokumentiert und dient einem Nutzen
6. Viele syntaktische Makel welche in C & C++ auftraten wurden beachtet und vermieden
7. ??? Sei auch dann nützlich, wenn die Entwicklung am erzeugten C++ Code weitergeht
   Dies kann etwa durch die Erzeugung von vom Menschen lesbarem C++ Code passieren
8. Es wurden einige Keywords eingeführt um Ambiguitäten zu unterbinden, den Code Lesbarer zu gestalten und neue Konstrukte mit angenehmer Syntax einzuführen

5.2 Das sieht ja gar nicht mehr wie C++ aus!

Ja, das stimmt schon... Aber sieht denn C++11 noch so aus wie C++98?
Nein, siehe folgendes Beispiel:

```
VALIDIEREN!!!

// C++98
int * pi = new int(42);                              // Hier der Standard, verpönt in der Zukunft
```

```
delete pi;                                          // Freigeben nicht vergessen!
typedef a b;                                        // Typalias

// C++11
unique_ptr<int> pi = make_unique<int>(42); // So soll es in C++11 aussehen, delete unnötig
using b = a;                                        // Moderner Typalias

Mehr BSPL???
perfect forwarding, move semantics
oder einfach einen guten Artikel verlinken?
```

Wird C++20 noch so aussehen wie C++11?
Auch Nein: Der Standard ist schon abgesegnet und einiges von diesem neuen Standard hat sich im Vergleich zum letzten Großen neun Jahre vorher verändert. Es gibt schon Compiler welche viele Funktion des neuen Standards unterstützen.

Das Feature constexpr hat schon viel TMP unnötig gemacht und wird dies Dank der Einführung von consteval fortsetzen. Man kann damit beispielsweise Funktionen schreiben welche zur Compiletime ausgeführt werden, die selben aber auch zur Runtime verwenden. Kein

Concepts werden die am schwersten zu durchschauenden Template-Parametrierungs-Fehler durch Sinnvolle Fehlermeldungen ersetzen und einige schwer zu schreibende SFINAE TMP Konstruktionen unnötig machen.

Der Spaceship Operator <=> wird einem die Arbeit abnehmen die meisten Vergleichsoperatoren zu implementieren. Er verhält sich relativ analog zu *strcmp*.

Es ist auch gut das man vom einen C++ Standard zum anderen eine Veränderung sehen kann, sonst hätte sich ja auch nicht viel verbessern können.

Genau das versuche ich auch zu Bezwecken, Myll soll *Vertraut* aber dennoch *Anders* sein. Vielleicht in eine andere Himmelsrichtung Anders als die kommenden C++ Standards, aber sonst wäre Myll ja auch sinnlos.

Known issues

(Partial) Template Specialization might not work, thus TMP might not work as well

Keine Lambdas ATM

Es wird Code geben der von Myll nach C++ kompiliert, dann aber beim kompilieren des C++ Codes scheitert. Aufgrund von unvorhergesehener Namenskollision oder ähnlichem. Wenn man Myll in dieser Form scheitern lassen will, dann schafft man dies auch.

Letter to:

Bjarne Stroustrup,

Tell what I do and why I ask.

I know that you do not like C# because of its proprietary nature. Thus I am only interested in your opinion on just C#'s Syntax. Especially in the light of your sentence: Cleaner Language...

I personally think that C#'s syntax for defining template classes and functions is almost always as expressive as C++'s and way easier to use. Can you relate to my gut feeling?

A. Heijlsberg,

Tell what I do and why I ask.

Do I even have Questions?

A. Alexandrescu,

I recently read an Answer on Quora concerning the DLanguage

Herb Sutter

Parameter passing, sink, passing shared, unique and raw pointers

Per Vognsen,

Jonathan Blow:

NO NAGGING stuff...

You don't like the name 'Vector' for auto growing arrays, what would be your choice if you would not want to use purely 'Array'. C# calls these 'List' and Java 'ArrayList', do you think these names are good or do you have a better idea how to call them?

Read the surroundings of the quotes.

5.3 Performance Benchmark

Ruby Script um die Benchmark-Datei zu erzeugen:
f=File.read("stack_proto.myll");16.times{|n|fo=File.open "stack_big_"+n.to_s+".myll","w";fo.write "module stack_big_"+n.modulo(4).to_s+";\n";500.times{|i|fo.write "namespace Rethmann::Uebung_"+i.to_s+";\n";fo.write f}; fo.close}

Parallelisierbarkeit

==== #IN ====
Genereller Scope von Myll:

Einführung geplanter C++17/20 features ahead of time.

Einführung nicht von ISOCPP geplanter Features.

Änderung alter C Syntax, Modernisierung auf aktuelles C++ Verhalten. (Typen, Deklarationen)

Einführung von Funktionalität welche nur im Transpiler existiert, für warnings oder errors verwendet wird, im Endeffekt aber keinen C++ Code erzeugt.

Vielfache Nutzung von static für unterschiedlichste Zwecke

Beschränkung der Nutzung und ersetzen durch Alternativen, Bestenfalls als Attribut, kollidiert nicht mit der Sprache.

Different operator precedence table

Boolsche Operatoren sind schlecht einsortiert: a&1==0 ist a&(1==0) sollte (a&1)==0 sein.

Idee von /PV.

Neue Operatoren, von C# und selbst Ausgedachte.

All variables initialized by default, uninitialized must be specified.

Idee von /JB

Default relational ops and compound assignment

Overrideable

Header and Implementation in a single file

Assignment is a Statement where left hand side Type communicates with the right hand side

Wirkt effektiv gegen if(a=1), macht anderen code auch wesentlich schwerer obfuskierbar.

Enums can be linear or quadratic auto-indexed (flags enum)

Enums have reflection back to their string representation, oder andersherum

Leichter zu debuggen oder configs einzulesen.

Easier safe cast Expressions

Reuse the easy cast syntax from C, but this is only static_cast, others equally simple

Easier use of Smartpointers

int @! a; für unique_ptr<int> a;

Easier Template syntax

C# zeigt das es auch anders geht.

Concepts Lite Lite

Make Concepts available for all the easy cases

Spaceship Operator

UFCS

Nur in einer Richtung: aus foo(a) wird das hier nutzbar a.foo()

Accessors

Getter/Setter incl. dem syntaktischen zucker welcher sie ohne () aufrufbar macht.

Implicit ret var

Functions/Procedures liefern automatisch eine Variable die ret heißt und dem Rückgabetyp entspricht.

Enum methods

6 Ausblick

Everything is constexpr, when it can be, you dont need to write it.

6.1 Benamte Parameter

NICE TO HAVE, DONT WASTE TIME, DUDE!

```
func spawn_entity(bool is_visible) {…}
func spawn_entity(bool put_a_hat_on) {…}

spawn_entity(is_visible: true);
```

Diese beiden Funktionen würden in C++ durch ihre identische Signatur nicht gemeinsam existieren können. In Myll ist ein Aufruf mit `is_visible: true` jedoch eindeutig der ersten Variante zuzuordnen. Ein Aufruf dieser mit benamten(benannten) Parametern überladenen Funktion ohne die Nennung der Argumentnamen ist allerdings nicht mehr möglich, außer der ein Attribut markiert die primär/namenlos zu verwendende Funktion oder ein Invertiertes markiert die namenlos Untauglichen.

```
[primary/nameless] func spawn_entity(bool initially_visible) {…}
// ODER
[explicit/onlynamed]       func spawn_entity(bool put_a_hat_on) {…}

spawn_entity(true);        // ruft die primäre Funktion auf
spawn_entity(is_visible: true);    // trotzdem schöner zu lesen, weil man sieht was das true
bedeutet
```

Benannt == Benamt?

6.2 Intelligentere Parameter Übername

Der Programmierer muss im allgemeinen mehr Gehirnschmalz in die Gestaltung der Übernahmeparameter stecken als man Naïv annimmt.

IDEE: Jeder Typ spezifiziert zu Compiletime welche Kosten ein Copy, ein Move oder ein Referenzieren hat. Auch für Literals des Typen

Als Beispiel dient eine Funktion welche nur wenige Parameter lesen will:

```
func(   int                     a,
        vector<int>             b,
        shared_ptr<image>       c,
        unique_ptr<database>    d
) -> void { ... }
```

An welchen Stellen treten hier Probleme auf und welche Möglichkeiten bieten sich diese zu unterbinden?

a. Dieser Parameter ist unproblematisch. Hier ließe sich lediglich noch ein *const* hinzufügen, was an der Korrektheit nach Außen nichts ändert, es wirkt sich lediglich als nur-lesen Einschränkung nach innen aus.

b. Dieser Parameter hat in dieser Form eine potentielles performance Problem, da der Vektor mit seinem kompletten Inhalt kopiert wird. Mir fällt nur ein guter Grund ein dies so zu schreiben und zwar wenn man den Vektor innerhalb der Funktion ändern will, sich diese Änderung aber nicht nach aussen hin auswirken soll.
c. Höchstwarscheinlich passiert hier das richtige, es ist im Falle des nur-lesens lediglich ein überflüssiges inkrementieren und dekrementieren des usage-counters möglich.
d. Dies ist sehr warscheinlich ein Fehler, es sei denn man wollte wirklich das die Funktion die Datenbank konsumiert, sprich das übergebene Argument invalidiert.

Bauen wir die Parameter so um das sie warscheinlich das richtige tun.

```
func(   const int ODER int ODER int& ODER int*                                  a,
        const vector<int>& ODER vector<int>& ODER const vector<int>* ODER vector<int>*  b,
        const shared_ptr<image> ODER const shared_ptr<image>& ODER const shared_ptr<image>*
        shared_ptr<image> ODER shared_ptr<image>& ODER shared_ptr<image>*       c,
        unique_ptr<database>& ODER unique_ptr<database>* ODER database*         d
) -> void { ... }
```

Dieses Feature lässt sich möglicherweise mit TMP lösen, wird dann aber warscheinlich eine verbose Syntax haben.

Nein, denn es ließe sich mit viel SFINAE Magic maximal die Signatur der Funktion ändern, die Position des Aufrufs bleibt unangetastet... außer es soll zusätzlich auch um jedes Argument aller Call Sites gewrapt werden, weil wenn z.B. in der decl aus T -> T* wird muss an der call site aus arg -> &arg werden.

```
template <typename T>
void foo(typename look_t<T>::type t) {...}
...
foo(look(argument));
```

6.3 Ranges

Läuft das so?

```
int sum = container | filter | sort | reduce;
```

6.4 Rest

==== #MAYBE ====

- 'maybe_const', is an Aspect of a Function which will make it implement a const and a non-const version of itself. It is a
- Named function arguments, makes refactoring easier and calls like this easier to read: DoSomething(false) -> DoSomething(checkBefore:false).
  For bools even this syntactic sugar might be possible: DoSomething(!checkBefore), DoSomething(NOTcheckBefore), DoSomething(checkBefore), DoSomething(DOcheckBefore)
- Glue Classes (with UFCS?)
  - Classes that tie two or more classes together and only exist when both(all) classes are loaded
- Multithreaded compiler
- Be configurable for the user e.g. "@!" can be std::unique_ptr or a custom pointer class
- Enable aspect oriented programming through Attributes
- Warnings for many holes in Structs due to alignment/bad ordering
- Reimagined Parameter definitions (lend, sink)
  - Copy:

    - Look:
    - Edi
- UTF8 in strings, 32bit Codepoint for single chars

==== #OUT ====

Use ifs everywhere as alternative to #ifdefs

Dynamic size for integer types: i23 for a 23 bit integer

Do not piggyback on C++ anymore

7 Appendix

7.1 Listings

7.1.1 Vokabular des Lexers

```
lexer grammar MyllLexer;

channels { NEWLINES, COMMENTS }

COMMENT      :       (       '#!' ~('\r'|'\n')*       // ignore shebang for now
                     |       '//' ~('\r'|'\n')*
                     |       '/*' .*? '*/'
                     ) -> channel(COMMENTS);

STRING_LIT   : '"' (STR_ESC | ~('\\' | '"'  | '\r' | '\n'))* '"';
CHAR_LIT     : '\'' (CH_ESC | ~('\\' | '\'' | '\r' | '\n')) '\'';
fragment STR_ESC: '\\' ('\\' | '"'  | 'a' | 'b' | 'f' | 'n' | 't' | 'r' | 'v');
fragment CH_ESC:  '\\' ('\\' | '\'' | 'a' | 'b' | 'f' | 'n' | 't' | 'r' | 'v');

MOVE         : '(move)';
ARROW_STAR   : '->*';
POINT_STAR   : '.*';
PTR_TO_ARY   : '[]*';        // [*] could be a dynamic array
COMPARE      : '<=>';
TRP_POINT    : '...';
DBL_POINT    : '..';
DBL_AMP      : '&&';
DBL_QM       : '??';
QM_COLON     : '?:';
//DBL_STAR   : '**'; // this is only supported by 2x STAR because of: var int** a
                     // which is a double pointer, not a pow
DBL_PLUS     : '++';
DBL_MINUS    : '--';
RARROW       : '->';
PHATRARROW   : '=>';
LSHIFT       : '<<';
//RSHIFT     : '>>'; // this is only supported by 2x GT because of: var v<v<int>> a;
                     // which is two templates closing, not a right shift
SCOPE        : '::';
AT_BANG      : '@!';
AT_QUEST     : '@?';
AT_PLUS      : '@+';
AT_LBRACK    : '@[';
AUTOINDEX    : '#' DIGIT;
LBRACK       : '[';
RBRACK       : ']';
LCURLY       : '{';
RCURLY       : '}';
QM_LPAREN    : '?(';
LPAREN       : '(';
RPAREN       : ')';
AT           : '@';
AMP          : '&';
STAR         : '*';
SLASH        : '/';
MOD          : '%';
PLUS         : '+';
MINUS        : '-';
SEMI         : ';';
COLON        : ':';
COMMA        : ',';
QM_POINT_STAR: '?.*';
QM_POINT     : '?.';
QM_LBRACK    : '?[';
DOT          : '.';
CROSS        : '×';
DIV          : '÷';
POINT        : '.';
EM           : '!';
TILDE        : '~';
```

```
DBL_PIPE     : '||';
PIPE         : '|';
QM           : '?';
HAT          : '^';
USCORE       : '_';

EQ           : '==';
NEQ          : '!=';
LTEQ         : '<=';
GTEQ         : '>=';
LT           : '<';
GT           : '>';

ASSIGN       : '=';
AS_POW       : '**=';
AS_MUL       : '*=';
AS_SLASH     : '/=';
AS_MOD       : '%=';
AS_DOT       : '·=';
AS_CROSS     : '×=';
AS_DIV       : '÷=';
AS_ADD       : '+=';
AS_SUB       : '-=';
AS_LSH       : '<<=';
AS_RSH       : '>>=';
AS_AND       : '&=';
AS_OR        : '|=';
AS_XOR       : '^=';

AUTO         : 'auto';
VOID         : 'void';
BOOL         : 'bool';
INT          : 'int';
UINT         : 'uint';
ISIZE        : 'isize';
USIZE        : 'usize';
BYTE         : 'byte';
CHAR         : 'char';
CODEPOINT    : 'codepoint';
STRING       : 'string';
//HALF       : 'half';
FLOAT        : 'float';
//DOUBLE     : 'double';
//LONGDOUBLE : 'longdouble';

I64          : 'i64';
I32          : 'i32';
I16          : 'i16';
I8           : 'i8';
U64          : 'u64';
U32          : 'u32';
U16          : 'u16';
U8           : 'u8';
B64          : 'b64';
B32          : 'b32';
B16          : 'b16';
B8           : 'b8';
F128         : 'f128';       // long double prec. float
F64          : 'f64';        // double prec. float
F32          : 'f32';        // single prec. float
F16          : 'f16';        // half prec. float

NS           : 'namespace';
MODULE       : 'module';
IMPORT       : 'import';
VOLATILE     : 'volatile';
STABLE       : 'stable';
CONST        : 'const';
MUTABLE      : 'mutable|mut';
//STATIC     : 'static';
//EXTERN     : 'extern';
PUB          : 'public'|'pub';
PRIV         : 'private'|'priv';
PROT         : 'protected'|'prot';
USING        : 'using';
ALIAS        : 'alias';
UNION        : 'union';
STRUCT       : 'struct';
CLASS        : 'class';
CTOR         : 'ctor';
```

```
COPYCTOR     : 'copyctor'|'copy_ctor'|'cctor';
MOVECTOR     : 'movector'|'move_ctor'|'mctor';
DTOR         : 'dtor';
COPYASSIGN   : 'copy=';
MOVEASSIGN   : 'move=';
FUNC         : 'func';
PROC         : 'proc';
METHOD       : 'method';
ENUM         : 'enum';
CONCEPT      : 'concept';
REQUIRES     : 'requires';
PROP         : 'prop';
GET          : 'get';
REFGET       : 'refget';
SET          : 'set';
FIELD        : 'field';
OPERATOR     : 'operator';
VAR          : 'var';
LET          : 'let';
LOOP         : 'loop';
FOR          : 'for';
DO           : 'do';
WHILE        : 'while';
TIMES        : 'times';
IF           : 'if';
ELSE         : 'else';
SWITCH       : 'switch';
DEFAULT      : 'default';
CASE         : 'case';
BREAK        : 'break';
FALL         : 'fall';
RETURN       : 'return';
SIZEOF       : 'sizeof';
NEW          : 'new';
DELETE       : 'delete';
THROW        : 'throw';

ID           : ALPHA_ ALNUM_*;

NUL          : 'null'|'nullptr';
CLASS_LIT    : 'this'|'self'|'base'|'super';
BOOL_LIT     : 'true'|'false';
FLOAT_LIT    :       (       DIGIT* '.' DIGIT+ ( [eE] [+-]? DIGIT+ )?
                     |       DIGIT+ [eE] [+-]? DIGIT+
                     ) [lfLF]?;
HEX_LIT     : '0x' HEXDIGIT HEXDIGIT_*;
OCT_LIT     : '0o' OCTDIGIT OCTDIGIT_*;
BIN_LIT     : '0b' BINDIGIT BINDIGIT_*;
INTEGER_LIT  : (DIGITNZ DIGIT_*|[0]);

fragment DIGITNZ     : [1-9];
fragment DIGIT       : [0-9];
fragment DIGIT_      : [0-9_];
fragment HEXDIGIT    : [0-9A-Fa-f];
fragment HEXDIGIT_   : [0-9A-Fa-f_];
fragment OCTDIGIT    : [0-7];
fragment OCTDIGIT_   : [0-7_];
fragment BINDIGIT    : [0-1];
fragment BINDIGIT_   : [0-1_];
fragment ALPHA_      : [A-Za-z_];
fragment ALNUM_      : [0-9A-Za-z_];

NL           : ('\r'|'\n')+  -> channel(NEWLINES);
WS           : (' '|'\t')+   -> skip;// channel(HIDDEN);
```

7.1.2 Grammatik des Parsers

```
parser grammar MyllParser;

options { tokenVocab = MyllLexer; }

comment      :       COMMENT;

// all operators handled by ToOp except mentioned
postOP       :       v=(     '++' | '--' );

// handled by ToPreOp because of collisions
```

```
preOP       :       v=(     '++' | '--' | '+' | '-' | '!' | '~' | '*' | '&' );

powOP       :               '*''*';
multOP      :       v=(     '*' | '/' | '%' | '&' | '·' | '×' | '÷' );
addOP       :       v=(     '+' | '-' | '^' | '|' ); // split xor and or?
shiftOP     :               '<<' | '>''>';

cmpOp       :       '<=>';
orderOP     :       v=(     '<=' | '>=' | '<' | '>' );
equalOP     :       v=(     '==' | '!=' );

andOP       :               '&&';
orOP    :           '||';

nulCoalOP   :               '?:';

memAccOP :   v=(     '.'  | '?.'  | '->'  );
memAccPtrOP  :       v=(     '.*' | '?.*' | '->*' );
//memAccOP   :       v=(     '.'  | '..'  | '?.'  | '?..'  | '->'  );
//memAccPtrOP        :       v=(     '.*' | '..*' | '?.*' | '?..*' | '->*' );

// handled by ToAssignOp because of collisions
assignOP :          '=';
aggrAssignOP:       v=(     '**=' | '*=' | '/=' | '%=' | '&=' |       '·=' |   '×=' |   '÷=' |
                            '+='  | '-=' | '|=' | '^=' | '<<=' | '>>=' );

lit         :       CLASS_LIT | HEX_LIT | OCT_LIT | BIN_LIT | INTEGER_LIT | FLOAT_LIT | STRING_LIT |
CHAR_LIT | BOOL_LIT | NUL;
wildId      :       AUTOINDEX | USCORE;
id          :       ID;
idOrLit     :       id | lit;

// +++ handled
specialType  :      v=( AUTO | VOID | BOOL );
charType :   v=( CHAR | CODEPOINT | STRING );
floatingType:       v=( FLOAT | F128 | F64 | F32 | F16 ); // 80 and 96 bit?
binaryType   :      v=( BYTE | B64 | B32 | B16 | B8 );
signedIntType:      v=( INT  | ISIZE | I64 | I32 | I16 | I8 );
unsignIntType:  v=( UINT | USIZE | U64 | U32 | U16 | U8 );

qual    :   v=( CONST | MUTABLE | VOLATILE | STABLE );

typePtr     :       qual*
                    ( ptr=( DBL_AMP | AMP | STAR | PTR_TO_ARY )
                    | ary=( AT_LBRACK | LBRACK ) expr? RBRACK )
                    suffix=( EM | PLUS | QM )?;

idTplArgs   :       id tplArgs?;

typespec :   qual*
                    ( typespecBasic          typePtr*
                    | FUNC typePtr*  typespecFunc
                    | typespecNested typePtr*);

typespecBasic       :       specialType
                    |       charType
                    |       floatingType
                    |       binaryType
                    |       signedIntType
                    |       unsignIntType;

typespecFunc :      funcTypeDef (RARROW typespec)?;

// TODO different order than ScopedExpr
typespecNested      :       idTplArgs (SCOPE idTplArgs)*;
typespecsNested     :       typespecNested (COMMA typespecNested)* COMMA?;     // trailing COMMA here
really possible?

// --- handled

arg         :       (id COLON)? expr;
args    :   arg (COMMA arg)* COMMA?;
funcCall :   ary=( QM_LPAREN | LPAREN )       args?    RPAREN;
indexCall   :       ary=( QM_LBRACK | LBRACK )        args     RBRACK;

param       :       typespec id?;
funcTypeDef  :      LPAREN (param (COMMA param)* COMMA?)? RPAREN;

// can't contain expr, will fck up through idTplArgs with multiple templates (e.g. op | from enums)
```

```
tplArg       :       lit | typespec;
tplArgs      :       LT tplArg (COMMA tplArg)* COMMA? GT;

tplParams    :       LT id (COMMA id)* COMMA? GT;

threeWay :   (orderOP|equalOP)       COLON    expr;

// Tier 3
//cast: nothing = static, ? = dynamic, ! = const & reinterpret
// TODO REMOVE THEM ALL, IN CODE TOO
//                          xxx
//preOpExpr  :       preOP;
//castExpr   :       (MOVE|LPAREN (QM|EM)? typespec RPAREN);
//sizeofExpr :       SIZEOF;
//deleteExpr :       DELETE   (ary='['']')?;

// The order here is significant, it determines the operator precedence
expr     :   (idTplArgs      SCOPE)+  idTplArgs        # ScopedExpr
             |       expr
                     (       postOP
                     |       funcCall
                     |       indexCall
                     |       memAccOP idTplArgs )      # PostExpr
             | // can not even be associative without a contained expr
                     NEW     typespec?       funcCall?               # NewExpr
             | // inherent <assoc=right>, so no need to tell ANTLR
                     (       (       MOVE // parens included
                     |       LPAREN (QM|EM)? typespec RPAREN)
                     |       SIZEOF
                     |       DELETE   ( ary='['']' )?
                     |       preOP
                     )                                                       expr     # PreExpr // this visitor
is unused
             |       expr     memAccPtrOP              expr     # MemPtrExpr
             | <assoc=right>
                     expr     powOP                    expr     # PowExpr
             |       expr     multOP                   expr     # MultExpr
             |       expr     addOP                    expr     # AddExpr
             |       expr     shiftOP                  expr     # ShiftExpr
             |       expr     cmpOp                    expr     # ComparisonExpr
             |       expr     orderOP                  expr     # RelationExpr
             |       expr     equalOP                  expr     # EqualityExpr
             |       expr     andOP                    expr     # AndExpr
             |       expr     orOP                     expr     # OrExpr
             |       expr     nulCoalOP                expr     # NullCoalesceExpr
             // TODO: cond and throw were in the same level, test if this still works fine
             | <assoc=right>
                     expr     QM expr COLON    expr     # ConditionalExpr
             | <assoc=right>
                     expr     DBL_QM threeWay+ (COLON expr)?    # ThreeWayConditionalExpr
             | <assoc=right>
                     THROW    expr                                    # ThrowExpr               // Good or
not?
             |       LPAREN   expr     RPAREN                  # ParenExpr
             |       wildId                                                  # WildIdExpr
             |       lit                                                             # LiteralExpr
    // TODO
             |       idTplArgs                                               # IdTplExpr
             ;

idAccessor   :       id       (LCURLY accessorDef+ RCURLY)?     (ASSIGN expr)?;
idExpr       :       id                                                                      (ASSIGN
expr)?;
idAccessors  :       idAccessor       (COMMA idAccessor)*      COMMA?;
idExprs      :       idExpr           (COMMA idExpr)*          COMMA?;
typedIdAcors:        typespec         idAccessors      SEMI;

attribId :   id | CONST | FALL | THROW;
attrib       :       attribId
                     (       '=' idOrLit
                     |       '(' idOrLit (COMMA idOrLit)* COMMA? ')'
                     )?;
attribBlk    :       LBRACK   attrib (COMMA attrib)* COMMA? RBRACK;

caseStmt :   CASE expr (COMMA expr)*
                     (       COLON            levStmt+ (FALL SEMI)?
                     |       LCURLY           levStmt* (FALL SEMI)? RCURLY
                     |       PHATRARROW       levStmt  (FALL SEMI)?);
```

```
initList :   COLON id funcCall (COMMA id funcCall)* COMMA?;

// is just SEMI as well in levStmt->inStmt
funcBody :   PHATRARROW expr SEMI
             |       levStmt;
accessorDef  :       attribBlk? a=( PUB | PROT | PRIV )?
                     qual* v=( GET | REFGET | SET ) funcBody;
funcDef      :       id                      tplParams?      funcTypeDef (RARROW typespec)?
                     (REQUIRES typespecsNested)?             // TODO
                     funcBody;
opDef        :       STRING_LIT      tplParams?      funcTypeDef (RARROW typespec)?
                     (REQUIRES typespecsNested)?             // TODO
                     funcBody;
// TODO: can be used in more places
condThen :   LPAREN expr RPAREN      levStmt;

// DON'T refer to these in* here, ONLY refer to lev* levels
// ns, class, enum, func, ppp, c/dtor, alias, static
inDecl       :       NS id (SCOPE id)* SEMI                                          # Namespace // or
better COLON
             |       NS id (SCOPE id)* LCURLY levDecl+ RCURLY  # Namespace
             |       v=( STRUCT | CLASS | UNION ) id tplParams?
                     (COLON          bases=typespecsNested)?
                     (REQUIRES       reqs=typespecsNested)?   // TODO
                                     LCURLY  levDecl* RCURLY  # StructDecl
             |       CONCEPT  id tplParams?           // TODO
                     (COLON  typespecsNested)?
                                     LCURLY  levDecl* RCURLY  # ConceptDecl
             // TODO aspect
             |       ENUM    id
                     (COLON  bases=typespecBasic)?
                     LCURLY  idExprs         RCURLY                  # EnumDecl
             |       v=( FUNC | PROC | METHOD )
                     (       LCURLY  funcDef* RCURLY
                     |                       funcDef                         )       # FunctionDecl
             |       OPERATOR
                     (       LCURLY  opDef*          RCURLY
                     |                       opDef                           )       # OpDecl
// class only:
             |       v=( PUB | PROT | PRIV ) COLON            # AccessMod
             |       v=( CTOR | COPYCTOR | MOVECTOR )
                     funcTypeDef     initList?       (SEMI | levStmt) # CtorDecl
             |       DTOR    LPAREN RPAREN   (SEMI | levStmt) # DtorDecl
             ;

// using, var, const: these are both Stmt and Decl
inAnyStmt    :       USING                   typespecsNested  SEMI    # Using
             |       ALIAS id ASSIGN  typespec                SEMI    # AliasDecl
             |       v=( VAR | FIELD | CONST | LET )
                     (       LCURLY  typedIdAcors*   RCURLY
                     |                       typedIdAcors                    )       # VariableDecl
             ;

inStmt       :       SEMI                                                            # EmptyStmt
             |       LCURLY  levStmt* RCURLY                  # BlockStmt
             |       RETURN  expr?           SEMI                    # ReturnStmt
             |       THROW   expr            SEMI                    # ThrowStmt
             |       BREAK   INTEGER_LIT?    SEMI            # BreakStmt
             |       IF                      condThen
                     (ELSE IF condThen)*     // helps with formatting properly and de-nesting the AST
                     (ELSE           levStmt)?                               # IfStmt
             |       SWITCH  LPAREN expr RPAREN       LCURLY
                     caseStmt+       (DEFAULT levStmt+)? RCURLY      # SwitchStmt
             |       LOOP    levStmt                                         # LoopStmt
             |       FOR LPAREN levStmt       // TODO: add the syntax: for( a : b )
                             expr SEMI
                             expr RPAREN     levStmt
                     (ELSE                   levStmt)?                       # ForStmt
             |       WHILE           condThen
                     (ELSE           levStmt)?                               # WhileStmt
             |       DO              levStmt
                     WHILE   LPAREN expr RPAREN                      # DoWhileStmt
             |       DO expr TIMES           id?     levStmt         # TimesStmt
             |       expr    (assignOP               expr)+ SEMI     # MultiAssignStmt
             |       expr    aggrAssignOP    expr SEMI       # AggrAssignStmt
             |       expr SEMI                                                       # ExpressionStmt
             ;

// ONLY refer to these lev* levels, NOT the in*
levDecl      :       attribBlk       LCURLY  levDecl+ RCURLY  # AttribDeclBlock // must be in here, since
```

```
it MUST have an attrib block
        //  |       attribBlk        COLON // everything needs an antonym to make this work
            |       attribBlk?       ( inAnyStmt | inDecl )    # AttribDecl;
levStmt     :       attribBlk?       ( inAnyStmt | inStmt )    # AttribStmt;

module      :       MODULE id SEMI;
imports     :       IMPORT id (COMMA id)* COMMA? SEMI;

prog    :   module? imports* levDecl+;
```