Kurzreferenz C++

Programmstruktur

Kommentare	`/*` *Kommentar* `*/`
bis Zeilenende	`//` *Kommentar*
Deklarationen	*typen, konstanten, funktionen*
Hauptprogramm	`int main(int argc, char* argv[])`
oder	`int main()`
	{*anweisungen*}

Funktionen

anmelden	*Typ f*`(`*parameter*`);`
optimierbar	`inline` ...
festlegen	*Typ f*`(`*parameter*`)`
	{*anweisungen*}
Parameterliste	*Typ name, ...*
Vorgabewert	*Typ name*`=`*wert*
Funktion aus	`auto` *f*`=`
Lambda-Ausdruck	`[`*einschlussliste*`](`*parameter*`)`
	{*anweisungen*}`;`
aufrufen	*f*`(`*argumente*`);`
	`auto` *ergebnis*`=`*f*`(`*argumente*`);`

Module

Headerdatei `*.h`	`#ifndef` *headername*
mit Wächter	`#define` *headername*
gegen doppelte	*deklarationen*
Deklaration	`#endif`
Implementierung	`#include "`*headername*`"`
`*.cpp` / `*.cc`	*weitere includes*
Programmteil	*Funktionen*
Namensraum	`namespace` *bereich* {...}
Alias	`namespace` *name* `=` *bereich*`;`
importieren	`using namespace` *bereich*`;`

Präprozessoranweisungen

Einbinden	
Bibliothek	`#include <`*datei*`>`
eigene Datei	`#include "`*datei*`"`
Makro	`#define` *name text*
-Funktion	`#define` *name*`(`*var*`)` *text*
Beispiel	`#define abs(x) \`
mit Folgezeile	`(-(x)<(x))?(x):-(x))`
löschen	`#undef` *name*
Zeichenkette	`#x`
Verschmelzen	`a##b`
bedingte	`#if` *bedingung*
Übersetzung	`#elif`
(optional)	`#else`
(zwingend)	`#endif`
`#ifdef` *x* für	`#if defined(`*x*`)`
`#ifndef` *x*	`#if !defined(`*x*`)`

Ablaufsteuerung

Anweisung	*ausdruck*`;`
Anweisungsblock	{*anweisungen*}
Rückgabe aus Funktion	`return` *ergebnis*`;`
`void`-Funktion verlassen	`return;`
Sprung	
ans Schleifenblock-Ende	`continue;`
aus Schleife / `switch`	`break;`
innerhalb einer Funktion	`goto` *marke*`;`
Sprungziel	*marke*`:`

Wiederholungen (Schleifen)

über Wertfolge	`for(`*Typ element*`:`*liste*`)` *anweisung*
Zählschleife	`for(`*init*`;`*bedingung*`;`*schritt*`)`
	anweisung
kopfgesteuert	`while(`*bedingung*`)` *anweisung*
fußgesteuert	`do` *anweisung*
	`while(`*bedingung*`);`

Entscheidungen

einfach	`if(`*init*$;_{opt}$ *bedingung*`)` $anweisung_1$
kann entfallen	$\texttt{else}_{opt}$ $anweisung_2$
mehrfach	`switch(`*init*$;_{opt}$ *ausdruck*`) {`
Durchläufer	`case` $wert_1$`: [[fallthrough]]`
jeder Fall	`case` $wert_2$`:` *anweisungen*
mit Abschluss	`break;`
sonst-Zweig	`default:` *anweisungen*
	`}`

Zusicherungen / Ausnahmebehandlung

bei Übersetzung	`static_assert(`*Test* `,`*Meldung*$_{opt}$`);`
Ausnahme werfen	`throw` *ausdruck*`;`
weiterwerfen	`throw;` *(in `catch`-Block)*
möglich	`try` {*anweisungen*}
fangen	`catch(`*Typ*`&` *ausnahme*`)`
behandeln	{*anweisungen*}
alle anderen	`catch(...)`{*anweisungen*}

Konstanten (Literale)

Wahrheitswerte	`false true`
Ganzzahlen	`0 1 -1234 1'234 12L 12U`
binär / oktal	`0b10'1010 0377`
hexadezimal	`0xFFFF`
Gleitkommazahl	`1.0 -0.9 3e8 1.6e-19`
einfach genau	`3.14f`
Einzelzeichen	`'A' 'z' '0'`
Zeile, Tab, ...	`'\n' '\t' '\r' '\'' '\"'`
oktal, hex	`'\101' '\xFF' u8'ä'`
Zeichenkette utf8	`"Hallo" u8"Welt"`

Typen

hergeleitet / ohne	`auto` `void`
logisch, Zeichen	`bool char wchar_t`
ganzzahlig	`short int long`
Modifizierer	`signed unsigned`
nichtganzzahlig	`float double`
Umbenennung	`using` *neuername*`=`*Typ*`;`
	`typedef` *Typ neuername*`;`
Aufzählung	`enum class`$_{opt}$ *Typ* `:`*Basis*$_{opt}$
	{*name*`=`*wert*$_{opt}$`,...}`;
Überlagerung	`union` *Typ* {*komponenten*}`;`

Klassen, Strukturen

Ankündigung	`struct` *Typ*`;` `class` *Typ*`;`
Definition	`class` *Typ* {
Zugriffsrechte	`public/private/protected:`
Folge beliebig	*methoden, attribute*
	}`;`
Zugriff erlaubt	`friend` *funktion/klasse*
klassenbezogen	`static` *methode/variable*
Attribut	*Typ name* `=`*wert*$_{opt}$`;`
Methodenkopf	*Typ f*`(`*parameter*`)`
Modifizierer	`const overload/final`
polymorph	`virtual` *virtuelleMethode*
	`virtual` *abstrakteMethode*`=0`
Destruktor	`virtual`$_{opt}$ `~`*Typ*`()=default;`
Konstruktor	`explicit`$_{opt}$ *Typ*`(`*parameter*`)`
Kopie, verschieben	*Typ*`(const` *Typ*`& x)` *Typ*`(`*Typ*`&& x)`
Zuweisung	*Typ*`& operator=(`*Typ*`& x)`
Vererbung	`class` *Abgeleitet*
abgeleitet von	`:`*art Basis, ...* {
überschreiben	*zu ändernde methoden*
ergänzen	*zusatzkomponenten*
	}`;`
Vererbungsart	`public/protected/private`
bei Rhombus	`virtual` *Basis*
Implementierung	*typ Typ*`::`*f*`(`*parameter*`)`
Methode	{*anweisungen*}
Konstruktor	*Typ*`::`*Typ*`(`*parameter*`)`
Initialisiererliste	`:`*Basis*{*wert*}`,`*attribut*{*wert*}
	{*anweisungen*}
Destruktor	*Typ*`::~`*Typ*`()`{*anweisungen*}
Objektzeiger	`this` *(in Methode)*
Objekt anlegen	*Typ objekt*{*wertliste*}`;`
auch	*Typ objekt*`;` *Typ objekt*`(`*werte*`);`
Methodenaufruf	*objekt*`.`*f*`(`*argumente*`)`

Schablonen

Funktion	`template<typename` *T ...*`>` *fkt*
Struktur, Klasse	`template<typename` *T ...*`>` *Typ*
spezialisiert	*Typ*`<`*T ...*`>` *fkt*`<`*T ...*`>(...)`

Variablen

Variable (mit Anfangswert)	*Typ name*`=`*wert*$_{opt}$
Anfangswertliste bei Strukturen	`=`$_{opt}${*wert, ...*}
aus Struktur/Feld	`auto[`*x,y,z*`]=...`
Feld (Reihe, array)	*Typ name*`[`*n*`]`
mit n Werten	`=`{*wert*$_0$, ...}
mehrdimensional	*name*`[`*m*`][`*n*`]...`
Zeichenkette	`char s[]="az"`
Referenz	*Typ*`&` *ref*`=`*alias*
Zeiger	*Typ*`*` *ptr*`=`*adresse*
nur lesbar	`const` ...
in const-Methode änderbar	`mutable` ...
beim Übersetzen berechenbar	`constexpr` ...
statisch / lokale Bindung	`static` ...
flüchtig, nicht optimieren	`volatile` ...

Operatoren (nach Rang geordnet)

Namensbereich-Auflösung	*bereich*`::`*name*
Funktionsaufruf	*funktion*`()`
Feldzugriff	*feld*`[`*index*`]`
Struktur-Komponente	*objekt*`.`*teil*
Zugriff über Zeiger	*ptr*`->`*teil*
Erhöhen, Absenken nach /	*x*`++` *x*`--`
vor Auswertung	`++`*x* `--`*x*
Vorzeichen	`+`*x* `-`*x*
logisches / bitweises NICHT	`!`*x* `~`*x*
Zeigerinhalt, Adresse	`*`*ptr* `&`*objekt*
Speicher anfordern	`new` *Typ n* {*args*}$_{opt}$
Feld	`new` *Typ*`[`*n*`]`
freigeben (einzeln/Feld)	`delete[]`$_{opt}$ *ptr*
Speicherbedarf in Byte	`sizeof(`*name*`)`
Typecast	`(`*Typ*`)` *ausdruck*
Komponentenauswahl	*objekt*`.*`*kptr*
über Objektzeiger	*ptr*`->*`*kptr*
mal, durch, Divisionsrest	*x*`*`*y* *x*`/`*y* *m*`%`*n*
addieren, subtrahieren	*x*`+`*y* *x*`-`*y*
Bits um *n* schieben	*m*`<<`*n* *m*`>>`*n*
kleiner (oder gleich)	*x*`<`*y* *x*`<=`*y*
größer (oder gleich)	*x*`>`*y* *x*`>=`*y*
gleich / ungleich	*x*`==`*y* *x*`!=`*y*
bitweises UND	*x*`&`*y*
bitweises Exklusiv-ODER	*x*`^`*y*
bitweises ODER	*x*`|`*y*
logisches UND	*x*`&&`*y*
logisches ODER	*x*`||`*y*
bedingter Ausdruck	*bed*`?`*dann*`:`*sonst*
Zuweisung und Kurzschrift	*x*`=`*wert*
für `+ - * / % << >> &	^`	*x*`+=`*y* für *x*`=`*x*`+`*y*
Ausnahme auslösen	`throw` *ausdruck*
Liste von Ausdrücken	`,`

Einstellige Operatoren, Zuweisungen von rechts, alle anderen von links bindend.

Standard-Bibliothek (Auswahl)

implementiert in `namespace std`

Container

Allgemeine Container-Eigenschaften

Kopie	C`(`C_2`)`
aus Bereich	C`(`f`,`l`)`
Zuweisung	C`=`C_2
Tausch	C`.swap(`C_2`)`
Vergleich	`== !=`
lexikographisch	`< <= >= >`
ist leer?	C`.empty()`
Anzahl Werte	C`.size()`
max. Anzahl	C`.max_size()`
Iteratoren	C`.begin()` C`.end()`
lesend	C`.cbegin()` C`.cend()`
rückwärts	C`.rbegin()` C`.rend()`
	C`.crbegin()` C`.crend()`
Einfügen	C`.insert(`*pos*`,`x`)`
Entfernen	C`.erase(`*pos*`)`
	C`.erase(`f`,`l`)`
	C`.clear()`

Assoziative Container

[unordered_] [multi]	`set<T>`
[unordered_] [multi]	`map<Key,Value>`
Vergleich Werte	C`.value_comp()`
Schlüssel	C`.key_comp()`
Zählen	C`.count(`*key*`)`
Suchen	C`.find(`*key*`)`
Anfang	C`.lower_bound(`*key*`)`
Ende	C`.upper_bound(`*key*`)`
Bereich	C`.equal_range(`*key*`)`
Einfügen	C`.insert(`x`)`
Bereich	C`.insert(`f`,`l`)`
Entfernen	C`.erase(`*key*`)`

Mengen `<set> <unordered_set>`

geordnet	[multi] `set<T` [◁] `>`
ungeordnet	`unordered_` [multi] `set<T` [H] `>`
Kriterium [◁] [H]	`less<T> / hash<T>`

Assoziative Felder `<map> <unordered_map>`

Schlüssel K,	[multi] `map<K,V` [◁] `>`
Wert V	`unordered_` [multi] `map<K,V` [H] `>`
Eintrag	`pair<const K,V>`
Kriterium [◁] [H]	`less<K> / hash<K>`
Wert-Zugriff	C`.at(`k`)` C`[`k`]` C`[`k`]=`v

```
vector<T>            [1|2|3|4|5] <->
deque<T>          <-> [1|2|3|4|5] <->
listT>            [1]-[2]-[3]-[4]-[5]
forward_list<T>   ->[1]->[2]->[3]->
set<T>            {1 2 3 4 5}
multiset<T>       {1 2 3 3 5}
map<K, V>         Mueller | 3373721
                  Schulze | 4632536
```

Sequentielle Container

`vector<T>` `deque<T>` `list<T>` `forward_list<T>`	
Konstruktoren	C`(`n`)`
	C`(`n`,`x`)`
Zuweisung	
n Std-Werte	C`.assign(`n`)`
n mal Wert x	C`.assign(`n`,`x`)`
Bereich	C`.assign(`f`,`l`)`
erstes Element	C`.front()`
letztes Element	C`.back()`
Einfügen bei *pos*	C`.insert(`*pos*`)`
n mal Wert x	C`.insert(`*pos*`,`n`,`x`)`
Bereich	C`.insert(`*pos*`,`f`,`l`)`
am Ende	C`.push_back(`x`)`
auf n Elemente	C`.resize(`n`)`
mit x auffüllen	C`.resize(`n`,`x`)`
Entferne hinten	C`.pop_back()`

dynamisches Feld `<vector>`

sequentiell	`vector<T>`
Feldzugriff	C`[`*index*`]` C`.at(`*index*`)`

doppelendige Schlange `<deque>`

wie `vector<T>`	`deque<T>`
Einfügen vorn	C`.push_front(`x`)`
Entfernen vorn	C`.pop_front()`

Listen `<list> <forward_list>`

Einfügen vorn	C`.push_front(`x`)`
Einspleißen	C`.splice(`*pos*`,`*list*`)`
ab *start*	C`.splice(`*pos*`,`*list*`,`*start*`)`
Bereich f,l	C`.splice(`*pos*`,`*list*`,`f`,`l`)`
Einmischen	C`.merge(`*list* [◁]`)`
Sortieren	C`.sort(` [◁]`)`
Umdrehen	C`.reverse()`
Entfernen vorn	C`.pop_front()`
	C`.remove(`*wert*`)`
Zutreffen P	C`.remove_if(`P`)`
Dubletten	C`.unique(` [P_2] `)`
`forward_list<T>`	C`.before_begin() / end()`
	C`.splice_after(`*pos*`,`*list*`...)`

Algorithmen `<algorithm>`

nicht modifizierend

Anwenden F	`for_each(`f`,`l`,`F`)`
Quantoren	`all_of(`f`,`l`,`P`)`
	`any_of(`f`,`l`,`P`)`
	`none_of(`f`,`l`,`P`)`
Zählen *wert*	`count(`f`,`l`,`*wert*`)`
Zutreffen P	`..._if(`f`,`l`,`P`)`
Suche nach *wert*	`find(`f`,`l`,`*wert*`)`
Zutreffen P	`..._if(`f`,`l`,`P`)`
Wert ∈ $[f_2,l_2)$	`..._first_of(`f`,`l`,`f_2`,`l_2` [`P_2`])`
Schluss $[f_2,l_2)$	`..._end(`f`,`l`,`f_2`,`l_2` [`P_2`])`
Anfang $[f_2,l_2)$	`search(`f`,`l`,`f_2`,`l_2` [`P_2`])`
$n$malig	`..._n(`f`,`l`,`n`,`*wert*` [`P_2`])`
Nachbarn	`adjacent_find(`f`,`l` [`P_2`])`
Binärsuche *wert*	`binary_search(`f`,`l`,`*wert*` [◁])`
Grenzen	`lower_bound(`f`,`l`,`*wert*` [◁])`
	`upper_bound(`f`,`l`,`*wert*` [◁])`
Bereich	`equal_range(`f`,`l`,`*wert*` [◁])`
Minimum	`min(`a`,`b` [◁])`
Maximum	`max(`a`,`b` [◁])`
im Bereich	`min_element(`f`,`l` [◁])`
(Position)	`max_element(`f`,`l` [◁])`
Eingrenzen	`clamp(`x`,`lo`,`hi` [◁])`
Vergleich	`equal(`f`,`l`,`f_2` [`P_2`])`
Sortierfolge	`lexicographical_compare(`
$[f,l)\triangleleft[f_2,l_2)$	f`,`l`,`f_2`,`l_2` [◁])`
Unterschied ab	`mismatch(`f`,`l`,`f_2`,`l_2` [`P_2`])`

modifizierend (wertändernd)

Tauschen	`swap(`a`,`b`)`
Kopieren	`copy(`f`,`l`,`*to*`)`
	`..._backward(`f`,`l`,`*to*`)`
Ausfüllen	`fill(`f`,`l`,`*wert*`)`
	`..._n(`f`,`n`,`*wert*`)`
mit Funktor	`generate(`f`,`l`,`*Gen*`)`
	`..._n(`f`,`n`,`*Gen*`)`
Ersetzen	`replace(`f`,`l`,`*alt*`,`*neu*`)`
	`..._if(`f`,`l`,`P`,`*neu*`)`
	`..._copy(`f`,`l`,`*to*`,`*alt*`,`*neu*`)`
	`..._copy_if(`f`,`l`,`*to*`,`P`,`*neu*`)`
Entfernen	`remove(`f`,`l`,`*wert*`)`
	`..._if(`f`,`l`,`P`)`
	`..._copy(`f`,`l`,`*to*`,`*wert*`)`
	`..._copy_if(`f`,`l`,`*to*`,`P`)`
ohne Dubletten	`unique(`f`,`l` [`P_2`])`
	`..._copy(`f`,`l`,`*to* [`$P_2$`])`
Umrechnen	`transform(`f`,`l`,`*to*`,`F`)`
	`transform(`f`,`l`,`f_2`,`l_2`,`*to*`,`F_2`)`

mutierend (Reihenfolge ändernd)

Umkehren	`reverse(`f`,`l`)`
	`..._copy(`f`,`l`,`*to*`)`
Teile tauschen	`rotate(`f`,`*mitte*`,`l`)`
	`..._copy(`f`,`*mitte*`,`l`)`
Durchmischen	`shuffle(`f`,`l`,`*RandGen*`)`
n Werte	`sample(`f`,`l`,`*to*`,`n`,`*RandGen*`)`
Permutieren	`next_permutation(`f`,`l` [◁])`
	`prev_permutation(`f`,`l` [◁])`
Sortieren	`sort(`f`,`l` [◁])`
	`stable_sort(`f`,`l` [◁])`
Teilbereich	`partial_sort(`f`,`*mitte*`,`l` [◁])`
	`..._copy(`f`,`*mitte*`,`l` [◁])`
bis zum n-ten	`nth_element(`f`,`*nth*`,`l` [◁])`
Zweiteilen	`partition(`f`,`l`,`P`)`
bzgl. P	`stable_partition(`f`,`l`,`P`)`
Mischen sortiert	`merge(`f`,`l`,`f_2`,`l_2`,`*to* [◁])`
	`inplace_...(`f`,`*mitte*`,`l`,` [◁])`
$[f,l) \supseteq [f_2,l_2)$?	`includes(`f`,`l`,`f_2`,`l_2 [◁])`
$[f,l) \cup [f_2,l_2)$	`set_union...`
$[f,l) \cap [f_2,l_2)$	`set_intersection...`
$[f,l) \setminus [f_2,l_2)$	`set_difference...`
$[f,l)\ \Delta\ [f_2,l_2)$	`set_symmetric_difference`
	(`$f$`,`$l$`,`$f_2$`,`$l_2$`,`*to* [◁])`

numerische Algorithmen `<numeric>`

ggT / kgV	`gcd(`m`,`n`)` `lcm(`m`,`n`)`
Summe	`accumulate(`f`,`l`,`*init* [⊕])`
Teilsummen	`partial_sum(`f`,`l`,`*to* [⊕])`
Nachbardifferenz	`adjacent_difference(`f`,`l`,`*to* [⊖])`
Skalarprodukt	`inner_product(`f`,`l`,`f_2`,`*init* [⊕,⊙])`

Zufallszahlen `<random>`

Entropiequelle	`random_device`
Zufallsgenerator	`mt19937(`*rd*`)` `minstd_rand(`*rd*`)`
Verteilungen [m,n]	`uniform_int_distribution(`m`,`n`)`
[a,b)	`uniform_real_distribution(`a`,`b`)`
$N(\mu,\sigma^2)$	`normal_distribution(`μ`,`σ`)`
Zufallswert	*dist*`(`*gen*`)`

Legende:	
Iterator-Bereiche [first,last)	f,l f_2,l_2
Iterator Anfang Zielbereich	*to*
verallgemeinerte Funktionen	F,F_2
Generator `x=`*Gen*`()`	*Gen*
Prädikat `bool` P`(x)`	P
zweistellig `bool` P_2`(x,y)`	P_2
Vergleich `bool` ◁`(x,y)`	x◁y
Binäroperator	x⊕y x⊙y
optionales Argument, z.B. ◁	[◁]

Zubehör

Container-Adapter `<stack> <queue>`

Stapel `stack<T>`	
ist leer?	s`.empty()`
Anzahl Elemente	s`.size()`
Vergleiche	`< == ...`
Einfügen Wert x	s`.push(`x`)`
Entfernen (ohne Rückgabe)	s`.pop()`
oberstes Element	s`.top()`

Warteschlange `queue<T>`	
ist leer?	q`.empty()`
Anzahl Elemente	q`.size()`
Vergleiche	`< == ...`
Einfügen Wert x	q`.push(`x`)`
Entfernen (ohne Rückgabe)	q`.pop()`
erstes Element	q`.front()`
letztes Element	q`.back()`

... mit Vordrängeln `priority_queue<T` C`,`$\triangleleft$`>`

Sortierkriterium $\triangleleft$	`less<T>`
ist leer?	p`.empty()`
Anzahl Elemente	p`.size()`
Einfügen Wert x	p`.push(`x`)`
Entfernen (ohne Rückgabe)	p`.pop()`
oberstes Element	p`.top()`

Heapfunktionen	*aus* `<algorithm>`
Herstellen Heap	`make_heap(`f`,`l`,`$\triangleleft$`)`
`*(`l`-1)` dazu	`push_heap(`f`,`l`,`$\triangleleft$`)`
`*`f nach hinten	`pop_heap(`f`,`l`,`$\triangleleft$`)`
Heap-Sort	`sort_heap(`f`,`l`,`$\triangleleft$`)`

Array `<array> <valarray>`

feste Größe	`array<`T`,`N`>`
dyn. Größe	`valarray<`T`>`
Elementauswahl	v`[slice(`pos`,`n`,`$dist$`)]`
für $0 \le i < n$	v`[`pos`+`i`*`$dist$`]`
Operatoren	`+ - * / % & | ^ << >>`
	`+ && || < <= >= > == !=`
`<cmath>`	`sqrt(`v`) ...`

Bitfolgen `<bitset>`

feste Größe N	`bitset<`N`>`	
aus Zahl	`bitset(`*ulong*`)`	
Zeichenkette	`bitset(`*str* `,pos` `,n``)`	
Bits setzen	b`.set()`	b`.set(i)`
löschen	b`.reset()`	b`.reset(i)`
negieren	b`.flip()`	b`.flip(i)`
gesetzte Bits	b`.count()`	
	b`.any()`	b`.none()`
Konversion	b`.to_string()`	
	b`.to_ulong()`	

Wrapper

Tupel `<tuple>`	`tuple<`*Typliste*`>`
	`make_tuple(`*param*`)`
Zugriff	t`.get<`*Typ*`>()` t`.get<`nr`>()`
geordnetes Paar	`pair<U,V>`
`<utility>`	p`.first` p`.second`
Vergleich	`== <`
evtl. vorhanden	`optional<T>`
`<optional>`	o`.has_value()`
	o`.value_or(`y`)`
`<variant>`	`variant<`*Typliste*`>`
bel. Typ `<any>`	`any`
Smarte Zeiger	`unique_ptr<T>`
`<memory>`	`shared_ptr<T>`
	`make_unique<T>(`*param*`)`
	`make_shared<T>(`*param*`)`
Zugriff	`*`p p`->member`
ohne Zähler	`weak_ptr<T>(`*shared*`)`
wieder zählen	sp `=` w`.lock()`

Funktoren `<functional>`

Objektklassen mit überladenem `operator()`	
einstellig	`unary_function<Arg,Res>`
$f(x)\mapsto$`-`x	`negate<T>`
$f(x)\mapsto$`!`x	`logical_not<T>`
zweistellig	`binary_function<`A_1`,`A_2`,Res>`
$f(x,y)\mapsto x$`+`y	`plus<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`-`y	`minus<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`*`y	`multiplies<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`/`y	`divides<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`%`y	`modulus<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`==`y	`equal_to<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`!=`y	`not_equal_to<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`>`y	`greater<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`<`y	`less<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`>=`y	`greater_equal<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`<=`y	`less_equal<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`&&`y	`logical_and<T>`
$f(x,y)\mapsto x$`||`y	`logical_or<T>`
Negierer/Binder	
$f($*args*$)\mapsto$`!`$f($*args*$)$	`not_fn(`*args*`)`
$f($*args*$)\mapsto f($*fewer*$)$	`bind(`f`,`*args*`)`
Methodenzeiger	`mem_fn(`*Klasse::methode*`)`
Funktionszeiger	`function<`R`(`*ParamTypen*`)>`

Beispiele:

```
int a[4] = { 1, 9, 6, 3 };
sort(a,a+4,greater<>()); // 9 6 3 1
transform(a,a+4,a,negate<>());
                          // -9 -6 -3 -1
function<int(int)> f =
  [](int x){ return -x; };
transform(a,a+4,a,f);    // 9 6 3 1
```

Iteratoren `<iterator>`

Iteratorkategorien

		Operatoren
Output		`* ++`
Input		`== != * -> ++`
Forward	*zusätzlich*	`=`
Bidirectional	*zusätzlich*	`--`
Random Access	*zusätzlich*	`< <= > >= + -` `+= -= []`
Reverse (Bidirectional)		
vertauschte Wirkung		`++ --`
versetzt darunterliegend		*ri*`.base()`

```
 begin() -->  end()
 v       ++   v
[............)
^ |       ++ ^ |
rend()   <-- rbegin()
```

Iterator *in* um *n* weitersetzen	`advance(`*in*`,`*n*`)`
Abstand Input-Iteratoren	`distance(`*f*`,`*l*`)`

Iterator-Adapter

Einfüger in Container *C*	
an Position	`insert_iterator<`*C*`>`
am Anfang	`front_insert_iterator<`*C*`>`
am Ende	`back_insert_iterator<`*C*`>`
Erzeuger-Funktionen	`inserter(`*C*`,`*pos*`)`
	`front_inserter(`*C*`)`
	`back_inserter(`*C*`)`

Beispiel:

```
copy(first,last,back_inserter(c2));
```

Ausgabestrom-Iteratoren	`ostream_iterator<`*T*`>`
Konstruktor	*o*`(`*strom* [`,`*trennstring*]`)`

Beispiel:

```
ostream_iterator<int> o(cout);
*o = 123; // cout << "123 ";
 o++;
```

Eingabestrom-Iteratoren	`istream_iterator<`*T*`>`
Konstruktor	*i*`(` [*strom*] `)`

Beispiel:

```
istream_iterator<int> end; // ohne Strom
istream_iterator<int> in{cin};
              // liest und puffert 1. Wert
while(in != end) {
  wert = *in; // liefern
  ++in;       // neuen Wert einlesen
}
```

Zeichenketten `<string_view>`

Literal	`"..."sv`
ab Zeiger *p*	`string_view(`*p*`)`
n Zeichen	`string_view(`*p*`, `*n*`)`
Zuweisungen	*s=s2*
Vergleiche	`< <= == >= > !=`
	`compare(`*s2*`,`*pos2*$_{opt}$`,`*n2*$_{opt}$`)`
	`compare(`*pos*`,`*n*`,`*s2*`,`*pos2*`,`*n2*`)`
Suchen *liefert*	`npos` *bei Misserfolg*
von vorn	*s*`.find(`*params*`)`
von hinten	*s*`.rfind(`*params*`)`
falls in Liste	*s*`.find_first_of(`*params*`)`
nicht in Liste	*s*`.find_first_not_of(`*params*`)`
letzte ...	*s*`.find_last_of(`*params*`)`
	s`.find_last_not_of(`*params*`)`
Iteratoren	*s*`.begin()` *s*`.end()`
lesend	*s*`.cbegin()` *s*`.cend()`
rückwärts	*s*`.rbegin()` *s*`.rend()`
	s`.crbegin()` *s*`.crend()`
Anzahl Zeichen	*s*`.size()`
leer	*s*`.empty()`
Teilstring	*s*`.substr(`*i*`,`*n*`)`
Kopiere ab *s*`[`*i*`]`	*s*`.copy(`*p*`,`*n*`,`*i*`=0)`
nach char-Feld *p*	*max.* `n` *Zeichen, ohne* `'\0'`
`&s[0]`	*s*`.data()` *nicht terminiert!*
n Zeichen	*s*`.remove_prefix(n)`
entfernen	*s*`.remove_suffix(n)`

Zeichenketten `<string>`

Literal	`"..."s`
zusätzlich zu	`string_view:`
Konstruktoren	mit *params*
n ab *s*`[`*i*`]`	`string(`*s*`,`*i*`=0,`*n*`=npos)`
aus `char[]`	`string(`*ptr*`,`*n*$_{opt}$`)`
n mal *c*	`string(`*n*`,`*c*`)`
Bereich	`string(`*first*`,`*last*`)`
	`string(`*string_view*`)`
	`to_string(`*x*`)`
Verkettungen	*s* `+=` *s1*`+`*s2*
Anhängen	*s*`.append(`*params*`)`
Einfügen bei	*s*`.insert(`*ipos*`,`*params*`)`
	s`.insert(`*iter*`,`*params*`)`
Löschen	*s*`.erase(`*iter*`)`
n ab *s*`[`*i*`]`	*s*`.erase(`*i*`,`*n*`)`
Bereich	*s*`.erase(`*from*`,`*to*`)`
Ersetzen ab	*s*`.replace(`*ipos*`,`*n*`,`*params*`)`
Bereich	*s*`.replace(`*from*`,`*to*`,`*params*`)`
Inhalt löschen	*s*`.clear()`
Konversion	`stoi(`*s*`) stol(`*s*`)`
	`stof(`*s*`) stod(`*s*`)`
	`string_view(`*langlebiger_s*`)`

Zeichenarten <cctype>

Kleinbuchstabe		`tolower(`c`)`
Großbuchstabe		`toupper(`c`)`
klein?		`islower(`c`)`
groß?		`isupper(`c`)`
Buchstabe?		`isalpha(`c`)`
Buchstabe oder Ziffer?		`isalnum(`c`)`
Ziffer `0`...`9`?		`isdigit(`c`)`
Hexziffer `0`...`9` `A`...`F` `a`...`f`		`isxdigit(`c`)`
Leerraum, Tab, Zeilenende		`isspace(`c`)`
Satzzeichen?		`ispunct(`c`)`
Steuerzeichen?		`iscntrl(`c`)`
druckbar?	auch ' '	`isprint(`c`)`
	ohne ' '	`isgraph(`c`)`

Reguläre Ausdrucke <regex>

Raw string s	`R"`*delim*`(...)`*delim*`"`
Konstruktor	`regex(`s`,`$type_{opt}$`)`
Typ	`ECMAScript,basic,grep,...`
Übereinstimmung	`regex_match(`s`,`rex`)`
Suchergebnis	`regex_match` m
Suche	`regex_search(`s`,`m`,`rex`)`
gesamt	m*[0]*
Teile	m`[1]...`m`[`m`.size()-1]`
Ersetzen	`regex_replace(`s`,`rex`,`new`)`

Mathematik <cmath>

Betrag / runden	`fabs(`x`) round(`x`)`
$\lceil x \rceil$ / $\lfloor x \rfloor$	`ceil(`x`) floor(`x`)`
x^y / $\sqrt{x}$	`pow(`x`,`y`) sqrt(`x`)`
Pythagoras	`hypot(`x`,`y`,`z_{opt}`)`
e^x / $\ln x$ / $\lg x$	`exp(`x`) log(`x`) log10(`x`)`
trigonometrisch	`sin(`x`) cos(`x`) tan(`x`)`
Arcusfunktionen	`asin(`x`) acos(`x`) atan(`x`)`
im Kreis$\backslash(0,0)$	`atan2(`y`,`x`)`
Hyberbelfkt.	`sinh(`x`) cosh(`x`) tanh(`x`)`

Komplexe Zahlen <complex>

Spezialisierungen	`complex<float>`
	`complex<double>`
	`complex<long double>`
Realteil	c`.real()` `real(`c`)`
Imaginärteil	c`.imag()` `imag(`c`)`
Betrag r	`abs(`c`)`
Winkel ϕ	`arg(`c`)`
Betragsquadrat	`norm(`c`)`
Konjugierte	`conj(`c`)`
	`polar(`r`,`ϕ`)`
Funktionen aus	`<cmath>`

Zahlen-Wertebereiche <limits>

Schablone `numeric_limits<T>`
Spezialisierungen fur alle numerischen Typen

Angaben abrufbar	`is_specialized`
kleinster Wert	`min()`
größter Wert	`max()`
Anzahl Ziffern (Basissystem)	`digits`
im Dezimalsystem	`digits10`
vorzeichenbehaftet	`is_signed`
ganzzahlig	`is_integer`
beschränkt	`is_bounded`
exakt	`is_exact`
Überlauf möglich	`is_modulo`
Zahlenbasis	`radix`
IEC 559 Gleitkommatyp	`is_iec559`
kleinstes e mit `radix`^{e}	`min_exponent`
mit 10^e	`min_exponent10`
größtes ...	`max_exponent`
	`max_exponent10`
Wert fur ∞ verfugbar	`has_infinity`
∞	`infinity()`
kleinstes ε mit $1+\varepsilon > 1$	`epsilon()`
max. Rundungsfehler	`round_error()`
Rundungsart	`round_style`
`round_indeterminate`	
`round_toward_zero`	
`round_to_nearest`	
`round_toward_infinity`	
`...toward_neg_infinity`	

und weitere ...

Beispiel:

```
cout << numeric_limits<long>::min() << ' '
     << numeric_limits<long>::max();
```

Fehlererkennung <cassert>

Prufung	`assert(`*Bedingung*`)`
bei Misserfolg	*Ausschrift, Programmende*
Test abschalten	`#define NDEBUG`
vor	`#include <cassert>`

Hilfsfunktionen <cstdlib>

Kommando	`system(`*befehl*`)`
Programmende	`exit(`*fehlernum*`)`

Ein-/Ausgabeströme <iostream>

Ausgabeströme (ostream)	cout cerr
Eingabeströme (istream)	cin
formatierte Ausgabe	*os*<<*wert*
formatierte Eingabe	*is*>>*variable*
ein Zeichen *c* schreiben	*os*.put(*c*)
Vorausschau	*is*.peek()
ein Zeichen *c* lesen	*is*.get(*c*)
Zeichenkette char *s*[*n*] lesen	*is*.getline(*s*,*n*)
string *s* lesen	getline(*is*,*s*)
max. *n* char bis *c* ubergehen	*is*.ignore(*n*,*c*)
bisher erfolgreich?	if(*os*) ...
solange Strom gultig	while(*is*) ...
Fehlerzustand zurucksetzen	*stream*.clear()

Formatierung mit Manipulatoren <iomanip>

Eingabe	*is*>>*manip*
Ganzzahlbasis	dec hex oct
Übergehen von	ws *no*skipws
Whitespaces	' ' '\t' '\n'
Ausgabe	***os*<<*manip***
Zeilenvorschub	endl
Puffer leeren	flush
logische Werte	*no*boolalpha
Zahldarstellung	*no*showpos *no*showpoint
Nichtganzzahlen	fixed scientific
Genauigkeit	setprecision(*n*)
Ganzzahlbasis	dec hex oct *no*showbase
Hexziffern, e/E	*no*uppercase
Ausgabebreite	setw(*n*) *(fluchtig)*
Ausrichtung	left internal right
Fullzeichen	setfill(*c*)
Zeit ausgeben	put_time(*tptr*, "*format*")

```
cout<<fixed<<showpos<<setprecision(2)
    <<right<<setw(10)<<x<<endl;
```

Stringströme <sstream>

Eingabestrom	istringstream *is*(*string*)
Ausgabestrom	ostringstream *os*
alle Ausgaben	*os*.str()
E-/A-Strom	stringstream *ss*

I/O-Operatoren fur Typ T uberladen

```
ostream& operator<<(ostream& os, T x)
{ // ...
  return os;
}
istream& operator>>(istream& is, T& x)
{ // ...
  return is;
}
```

Dateiströme <fstream>

Eingabedatei	ifstream *is*(*name*)
Ausgabedatei	ofstream *os*(*name*)
E-/A-Datei	fstream *fs*(*name,modus*)
Modi aus ios	out ate in app binary
Beispiel:	ifstream d("a.txt",
	ios::in|ios::binary)
unformatiert	*is*.read(*adresse*, *nbytes*)
lesen, schreiben	*os*.write(*adresse*, *nbytes*)
positionieren	*is*.seekg(*pos*)
relativ zu	*os*.seekp(±*n*,ios::*bezug*)
Position	*bezug* = beg cur end
Position	*is*.tellg()
erfragen	*os*.tellp()
Datei schließen	*fs*.close() *(automatisch)*

Zeitfunktionen <ctime>

Systemzeit	time(*tptr*) *(Sek. ab 1970)*
Zeitdifferenz	difftime(t_2,t_1)
lokale und	localtime(*tptr*)
Weltzeit	gmtime(*tptr*)
struct tm*	tm_sec tm_min tm_hour
	tm_mday tm_mon *0...11*
	tm_year *ab 1900*
Wochentag	tm_wday *So=0...Sa=6*
TagNr/Sommer	tm_yday tm_isdst
lokal → System	mktime(*tmptr*)
Zeichenkette	asctime(*tmptr*)
	ctime(*tptr*)

Uhren und Zeitspannen <chrono>

Uhren	high_resolution_clock
	steady_clock system_clock
Zeitpunkt	*uhr*::now()
konvertieren	system_clock::to_time_t(*t*)
	system_clock::from_time_t(*t*)
Zeitspannen	*t1*.time_since_epoch()
berechnen	*t2*>=*t1* *t2*-*t1* *t1*+*dt*
Ticks	*dt*.count()
Zeiteinheiten	duration<*rep*, *ratio*>
	nanoseconds ... hours
umrechnen	duration_cast<*Ziel*>(*dt*)
gebrochen	duration<double, milli>
SI-Vorsatz	*yocto zepto* atto femto pico
<ratio>	nano micro milli centi deci
10^{-24}...10^{+24} *(abh.*	deca hecto kilo mega giga
von intmax_t)	tera peta exa *zetta yotta*