

Optimierung

► Optimierungsansätze:

1. Algorithmische/mathematische Optimierungen 算法
2. Wahl der Programmiersprache C++!
3. Compiler-spezifische Optimierungen
4. Hardware-spezifische Optimierungen

► Optimierungsziele: Laufzeit – aber auch: Speicherplatz, etc.

Optimierung - Tradeoffs

- ▶ Optimierter Code ist meist
 - ▶ aufwändiger zu schreiben
 - ▶ schwerer zu lesen/warten
 - ▶ komplizierter zu testen/debuggen

- ▶ *Nur performanzkritischen Code optimieren!* 否则不值得!

Fibonacci-Reihe Definition

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2} , \quad \text{mit } f_0 = 0, f_1 = 1$$

	f_0		f_1		f_2		f_3		f_4		f_5		f_6
f_0	=	0											
f_1	=			1									
f_2	=	0	+	1	=	1							
f_3	=			1	+	1	=	2					
f_4	=				1	+	2	=	3				
f_5	=						2	+	3	=	5		
f_6	=								3	+	5	=	8

Fibonacci: Rekursiv

```
1 #include <stdint.h>
2
3 uint64_t fib1(uint64_t n) {
4     if (n <= 1) {
5         return n;    // fib(0) = 0, fib(1) = 1
6     }
7
8     return fib1(n - 1) + fib1(n - 2);
9 }
```

Laufzeit Fibonacci (Rekursiv)

n	Laufzeit
0 ... 39	< 0.50s
40	0.55s
42	1.42s
44	3.73s
46	9.74s
48	26.00s
50	67.49s
52	> 2 min
53 ... 93	sehr lange

Quiz: Laufzeit Fibonacci (Rekursiv)

Warum steigt die Laufzeit dieser Implementierung so schnell?

☐

Die Lösung verbraucht noch zu viele Zeilen Code

☐

Es wird mit `uint64_t` statt mit `int64_t` Werten gerechnet

☒

Aufgrund der Berechnung mittels doppelter Rekursion

☐

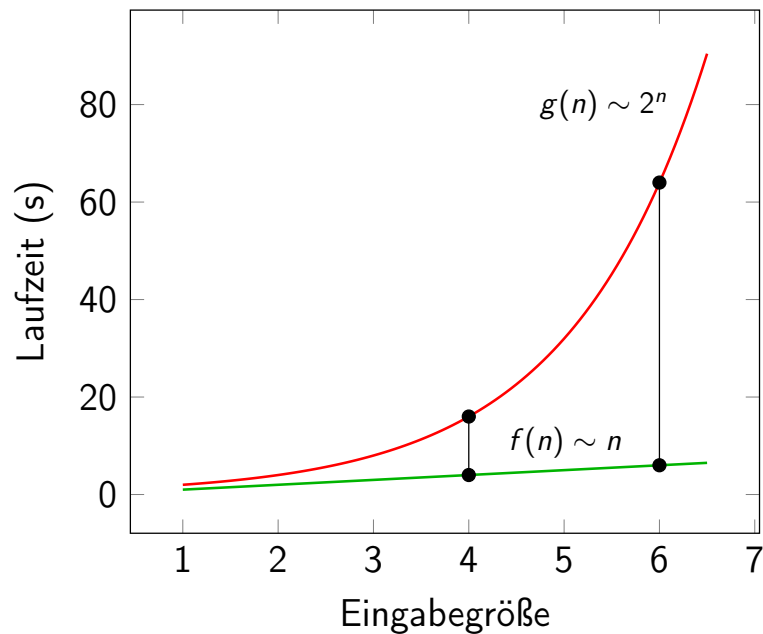
Das Programm wurde in C und nicht in Assembly geschrieben

Laufzeitklassen

- ▶ (Komplexe) Laufzeit eines Algorithmus: $f(n)$
- ▶ $f(n)$ wächst vergleichbar zu einer “simplen” Funktion $K(n)$
 - ▶ $K(n)$ ist Laufzeitklasse des Algorithmus

$K(n)$	Laufzeitklasse
2^n	exponentiell
n^2	quadratisch
n	linear
$\log n$	logarithmisch
1	konstant

Laufzeitklassen - n vs 2^n



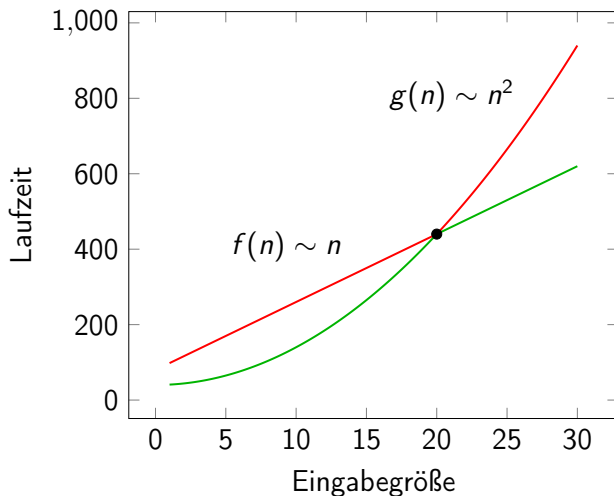
n	f(n)	g(n)
1	1s	2s
2	2s	4s
4	4s	16s
6	6s	64s
8	8s	4min
10	10s	17min
15	15s	9h
20	20s	12d

Optimierungen - Laufzeitklassen

- ▶ Laufzeitklasse des Algorithmus entscheidend 首先考虑
 - ▶ Erst Laufzeitkomplexität optimieren!
- ▶ Andere Optimierungen zunächst unnötig
 - ▶ Insb. von frühzeitigen Mikrooptimierungen absehen!

Optimierung für kleine Eingabewerte

- ▶ Schlechtere Laufzeitklassen möglicherweise schneller
 - ▶ Konstante Faktoren und Offsets ausschlaggebend
- ▶ Muss *individuell* getestet werden



Quiz: Laufzeitklassen (1)

Welche der folgenden Optimierungsmöglichkeiten sollte in der Regel zuerst betrachtet werden?

☐

Speicherzugriffe und Cacheverhalten

☐

Die Anzahl verwendeter Variablen

☒

Die Auswahl des Algorithmus (Verbesserung der Laufzeitklasse)

☐

Die Länge des Codes

Quiz: Laufzeitklassen (2)

Was haben (frühzeitige) Mikrooptimierungen meist zur Auswirkung?

- ☒ Der Code wird schwerer zu lesen und zu warten
- ☐ Die Laufzeit des Algorithmus verbessert sich um mehrere Größenordnungen
- ☒ Der Code wird fehleranfälliger und komplizierter zu debuggen
- ☐ Der Code wirkt professioneller, was wiederum zu einer Gehaltserhöhung führt

Quiz: Laufzeitklassen (3)

Was gilt für zwei Algorithmen A und B, wobei sich Algorithmus A in einer besseren Laufzeitklasse befindet als Algorithmus B?

☐

Algorithmus A braucht für alle Eingabewerte weniger Zeit

☒

Algorithmus A braucht vor allem für große Eingabewerte weniger Zeit

☒

Für kleine Eingabewerte kann Algorithmus B schneller sein

☒

In der Praxis kann die Verwendung von Algorithmus B oft ausreichend sein

Fibonacci: Lineare Schleife

► Doppelte Rekursion (exponentiell) → Lineare Schleife

```
1 uint64_t fib2(uint64_t n) {  
2     if (n == 0) {  
3         return 0;  
4     }  
5     if (n > 93) {  
6         return UINT64_MAX;  
7     }  
8  
9     uint64_t a = 0;  
10    uint64_t b = 1;  
11    ...
```

2^n

```
11    ... "while"  
12    uint64_t i = 1;  
13    for (; i < n; i++) {  
14        uint64_t tmp = b;  
15        b += a;  
16        a = tmp;  
17    }  
18  
19    return b;  
20 }
```

Ausblick: Formel von Binet

$$\text{fib}(n) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^n - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^n \right)$$

- + Logarithmische Laufzeit (mit schneller Exponentiation)
- Fließkommazahlen mit begrenzten Nachkommastellen
 - ▶ Genauigkeitsverluste

Optimierung mittels Lookuptabelle (LUT)

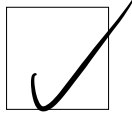
- ▶ Nur 94 Fibonaccizahlen mit `uint64_t` darstellbar
- ▶ Vorbereitung der Zahlen mit implementiertem Algorithmus
 - ▶ Speichern in Lookuptabelle (LUT)
- ▶ Algorithmus schlägt Werte einfach in LUT nach

Fibonacci: LUT

```
1 // All 94 64-bit fibonacci numbers (n = 0,...,93)
2 uint64_t lut[] = {
3     0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,144,233,377,...,
4     7540113804746346429,12200160415121876738};
5
6 uint64_t fib3(uint64_t n) {
7     if (n > 93) {
8         return UINT64_MAX;
9     }
10
11     return lut[n];
12 }
```

Quiz: Optimierung mittels LUTs

Wann sind LUTs zur Optimierung meist gut geeignet?



Für eine bekannte und “überschaubare”
Menge an benötigten Werten



Für nicht-deterministische Algorithmen



Für Algorithmen mit unendlich vielen
möglichen Eingabe- und Ausgabewerten



Für häufig auftretende, identische Berechnungen

Speicherplatzoptimierung

- + Mittels LUT konstante “Berechnungszeit”
- Nur verwendbar, wenn alle gewünschten Fibonacci-Zahlen bereits vorberechnet sind
- Lookuptabelle potentiell sehr groß
 - ▶ Hoher Speicherplatzverbrauch
 - ▶ Nicht für sehr große n praktikabel/möglich

Speicherplatzoptimierung: LUT verkleinern

- ▶ Lookuptabelle in Abschnitte unterteilen
 - ▶ Erste zwei Werte jeden Abschnitts speichern
 - ▶ Restlichen Werte ab Abschnittanfang dynamisch zur Laufzeit berechnen
- ▶ Z.B. 6 Abschnitte mit je 16 (14 im letzten Abschnitt) Zahlen
 - ▶ Lookuptabelle schrumpft von 94 Einträgen auf 12

缩小

$$16 - 2 = 14$$

Fibonacci: Kleine LUT (1)

```
1 #include <stdint.h>
2
3 // LUT for n = {0,16,32,48,64,80}
4 uint64_t lut0[] = {
5     0,987,2178309,4807526976,10610209857723,
6     23416728348467685};
7
8 // LUT for n = {1,17,33,49,65,81}
9 uint64_t lut1[] = {
10    1,1597,3524578,7778742049,17167680177565,
11    37889062373143906};
12 ...
```

这样确保
每个表所访问的根都是
相同的。

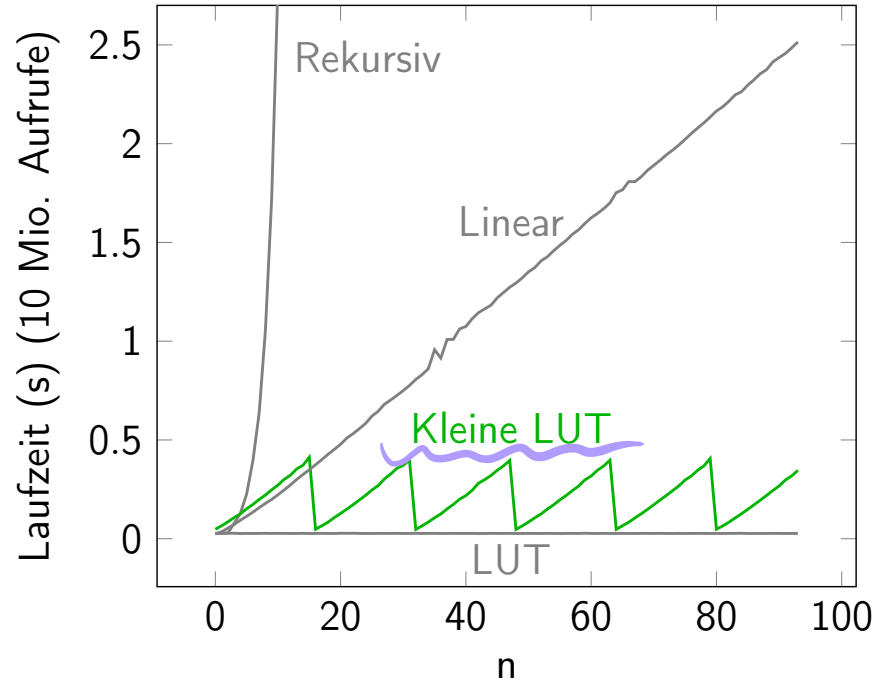
Fibonacci: Kleine LUT (2)

```
12 ...
13 uint64_t fib4(uint64_t n) {
14     if (n > 93) {
15         return UINT64_MAX;
16     }
17
18     uint64_t index = n / 16;
19     uint64_t a = lut0[index];
20     uint64_t b = lut1[index];
21     ...
```

Fibonacci: Kleine LUT (3)

```
21     ...
22     index *= 16;
23     if (index == n)
24         return a;
25
26     index++;
27     for (; index < n; index++) {
28         uint64_t tmp = b;
29         b += a;
30         a = tmp;
31     }
32
33     return b;
34 }
```

Laufzeit der Fibonacci Implementierungen im Vergleich



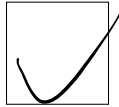
Laufzeitvergleich der Fibonacci Algorithmen

	Rekursiv	Schleife	LUT	Kleine LUT
Laufzeitklasse	Exponentiell	Linear	Konstant	Konstant ¹
Wiederholungen	1	——	10.000.000	——
f (40)	0.55s	1.13s	0.03s	0.23s
f (45)	6.02s	1.27s	0.03s	0.36s
f (50)	67.49s	1.40s	0.03s	0.09s
f (93)	—	2.70s	0.03s	0.36s

¹Je weniger Werte die LUT umfasst, desto mehr hat die worst-case Laufzeit linearen “Charakter”

Quiz: Fibonacci (Kleine LUT) (1)

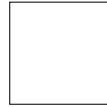
Um welchen Faktor können wir eine LUT ^{12B} ungefähr verkleinern, wenn wir sie mit der eben besprochenen Speicherplatzoptimierung (speziell für die Fibonacci Zahlen) in 8 Abschnitte aufteilen?



≈ 6



≈ 8



≈ 12



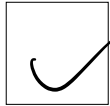
≈ 16

Quiz: Fibonacci (Kleine LUT) (2)

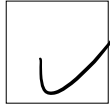
Für welche Eingabewerte hat die Laufzeit der kleinen LUT ihr

Minimum

Maximum



Für die Werte am Anfang
jedes Abschnitts



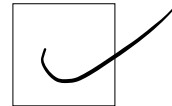
$n \in \{0, 16, 32, 48, 64, 80\}$



Für die Werte am Ende
jedes Abschnitts



$n \in \{15, 31, 47, 63, 79\}$



Quiz: Vergleich der Implementierungen

Welche Implementierung ist jeweils am besten auf (1) Laufzeit, (2) Speicherplatz, und (3) Laufzeit *und* Speicherplatz optimiert?

	1 時間	2 空間	3 平衡
Rekursiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lineare Schleife	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LUT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kleine LUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>