Bericht Optimierung

Von Rebecca Sigmund Matr.Nr. 64146

Inhaltsverzeichnis

[Aufgabe 1: Schnittpunkttest optimieren 2](#_Toc30936960)

[Quelltext 2](#_Toc30936961)

[Assemblercode 4](#_Toc30936962)

[Zeitmessung 8](#_Toc30936963)

[Interpretation 8](#_Toc30936964)

[Aufgabe 2: Quadratwurzel 9](#_Toc30936965)

[Quelltext 9](#_Toc30936966)

[Assemblercode 10](#_Toc30936967)

[Zeitmessung 12](#_Toc30936968)

[Interpretation 12](#_Toc30936969)

[Aufgabe 3: k-d-Baum 13](#_Toc30936970)

[Quelltext 13](#_Toc30936971)

[Zeitmessung 15](#_Toc30936972)

[Interpretation 15](#_Toc30936973)

# Aufgabe 1: Schnittpunkttest optimieren

## Quelltext

|  |  |
| --- | --- |
| **Ausgangsversion** | **Optimierte Version** |
| **bool** intersects(Vector<T,3> origin, Vector<T,3>   direction, FLOAT &t, FLOAT &u, FLOAT &v, FLOAT   minimum\_t = INFINITY) {  *// Normale des Dreiecks bestimmen*  Vector<T, 3> normal = cross\_product(p2 - p1, p3 - p1); T normalRayProduct = normal.scalar\_product( direction );  *// used for u-v-parameter calculation*  T area = normal.length();  *// Ist die Richtung parallel zum Dreieck?* **if** ( fabs(normalRayProduct) < EPSILON ) { **return false**;  }   T d = normal.scalar\_product( p1 );  *// Wie oft wird direction benötigt, um von origin die*  *// Ebene des Dreiecks zu schneiden*  t = (d - normal.scalar\_product( origin ) ) / normalRayProduct;  *// Ist Dreieck in der falschen Richtung?*  **if** ( t < 0.0 ) {  **return false**;  }  *// Der Schnittpunkt von origin + direction mit der Ebene des Dreiecks*  Vector<T, 3> intersection = origin + t \* direction;  *// Ist der Schnittpunkt innerhalb des Dreiecks?*  Vector<T, 3> vector = cross\_product(p2 - p1, intersection - p1 );  **if** ( normal.scalar\_product(vector) < 0.0 ) {   **return false**;  }   vector = cross\_product(p3 - p2, intersection - p2 );  **if** ( normal.scalar\_product(vector) < 0.0 ) {   **return false**;  }   u = vector.length() / area;    vector = cross\_product(p1 - p3, intersection - p3 );  **if** (normal.scalar\_product(vector) < 0.0 ) {  **return false**;  }   v = vector.length() / area;   **return true**; } | **bool** intersects(Vector<T,3> origin, Vector<T,3>   direction, FLOAT &t, FLOAT &u, FLOAT &v, FLOAT   minimum\_t) {  *// Normale des Dreiecks bestimmen*  Vector<T, 3> normal = cross\_product(p2 - p1, p3 - p1); T normalRayProduct = normal.scalar\_product( direction );  *// Ist die Richtung parallel zum Dreieck?*  **if** ( fabs(normalRayProduct) < EPSILON ) {  **return false**;  }   T d = normal.scalar\_product( p1 );  *// Wie oft wird direction benötigt, um von origin die   // Ebene des Dreiecks zu schneiden*  t = (d - normal.scalar\_product( origin ) ) / normalRayProduct;  *// Ist das Dreieck in der falschen Richtung? Oder gibt es schon ein anderes   // Dreieck, welches weiter vorne liegt?* **if** ( t < 0.0 || t > minimum\_t) { **return false**;  }  *// Der Schnittpunkt von origin + direction mit der Ebene des Dreiecks*  Vector<T, 3> intersection = origin + t \* direction;  *// Ist der Schnittpunkt innerhalb des Dreiecks?* Vector<T, 3> vector1 = cross\_product(p2 - p1, intersection - p1 );  **if** ( normal.scalar\_product(vector1) < 0.0 ) {  **return false**;  }   vector1 = cross\_product(p3 - p2, intersection - p2 );  **if** ( normal.scalar\_product(vector1) < 0.0 ) {  **return false**;  }  Vector<T, 3> vector2 = cross\_product(p1 - p3, intersection - p3 );  **if** (normal.scalar\_product(vector2) < 0.0 ) {  **return false**;  }   *// u und v berechnen. Wurzel jeweils erst am Ende ziehen* T area = normal.square\_of\_length();  u = sqrt(vector1.square\_of\_length() / area);  v = sqrt(vector2.square\_of\_length() / area);   **return true**;  } |

Mit

**if** ( t < 0.0 || t > minimum\_t) { **return false**;  
}

wird überprüft, ob bereits ein Dreieck, das vor dem zu prüfendenden Dreieck liegt, gefunden wurde. In diesem Fall muss nicht weiter gerechnet werden.

Die Berechnung der Parameter u und v wurde an das Ende der Methode verschoben, um die Parameter nicht unnötig zu berechnen, falls die Methode frühzeitig abgebrochen wird.

Auch die Berechnung des Parameters area wurde ans Ende der Methode geschoben. Außerdem wird nicht direkt die Länge bestimmt, sondern zunächst das Quadrat der Länge. Somit wird eine Quadratwurzel-Berechnung eingespart.

## Assemblercode

Vector<T, 3> normal = cross\_product(p2 - p1, p3 - p1);

T normalRayProduct = normal.scalar\_product( direction );

// Ist die Richtung parallel zum Dreieck?

if ( fabs(normalRayProduct) < EPSILON ) {

9ea: c5 7b 10 35 70 03 00 vmovsd 0x370(%rip),%xmm14 # d62 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x5e2>

9f1: 00

9f2: 49 8d 1c c1 lea (%r9,%rax,8),%rbx

stats.no\_ray\_triangle\_intersection\_tests++;

9f6: 48 83 07 01 addq $0x1,(%rdi)

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

9fa: c5 fa 10 6b 1c vmovss 0x1c(%rbx),%xmm5

9ff: c5 fa 10 4b 04 vmovss 0x4(%rbx),%xmm1

a04: c5 d2 5c d9 vsubss %xmm1,%xmm5,%xmm3

a08: c5 7a 10 43 08 vmovss 0x8(%rbx),%xmm8

a0d: c5 fa 11 6c 24 40 vmovss %xmm5,0x40(%rsp)

a13: c5 fa 10 6b 14 vmovss 0x14(%rbx),%xmm5

a18: c4 c1 52 5c f0 vsubss %xmm8,%xmm5,%xmm6

a1d: c5 7a 10 6b 18 vmovss 0x18(%rbx),%xmm13

a22: c5 fa 10 53 0c vmovss 0xc(%rbx),%xmm2

a27: c5 fa 10 3b vmovss (%rbx),%xmm7

a2b: c5 12 5c df vsubss %xmm7,%xmm13,%xmm11

a2f: c5 7a 11 6c 24 28 vmovss %xmm13,0x28(%rsp)

a35: c5 6a 5c cf vsubss %xmm7,%xmm2,%xmm9

a39: c5 7a 10 6b 20 vmovss 0x20(%rbx),%xmm13

a3e: c5 fa 11 54 24 4c vmovss %xmm2,0x4c(%rsp)

a44: c4 c1 12 5c c0 vsubss %xmm8,%xmm13,%xmm0

template <class T>

Vector<T, 3> cross\_product(Vector<T, 3> v1, Vector<T, 3> v2) {

Vector<T, 3> cross;

cross[0] = v1[1] \* v2[2] - v1[2] \* v2[1];

a49: c5 ca 59 e3 vmulss %xmm3,%xmm6,%xmm4

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

a4d: c5 fa 10 53 10 vmovss 0x10(%rbx),%xmm2

a52: c5 6a 5c d1 vsubss %xmm1,%xmm2,%xmm10

a56: c5 7a 11 6c 24 30 vmovss %xmm13,0x30(%rsp)

cross[0] = v1[1] \* v2[2] - v1[2] \* v2[1];

a5c: c4 e2 29 bb e0 vfmsub231ss %xmm0,%xmm10,%xmm4

cross[1] = v1[2] \* v2[0] - v1[0] \* v2[2];

a61: c5 b2 59 c0 vmulss %xmm0,%xmm9,%xmm0

a65: c4 c2 49 bb c3 vfmsub231ss %xmm11,%xmm6,%xmm0

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

a6a: c4 41 2a 59 db vmulss %xmm11,%xmm10,%xmm11

a6f: c4 c2 21 9b d9 vfmsub132ss %xmm9,%xmm11,%xmm3

product += this->x[i] \* factor.x[i];

a74: c5 7a 10 5c 24 48 vmovss 0x48(%rsp),%xmm11

a7a: c4 62 19 99 dc vfmadd132ss %xmm4,%xmm12,%xmm11

a7f: c4 62 79 b9 5c 24 38 vfmadd231ss 0x38(%rsp),%xmm0,%xmm11

a86: c4 42 61 b9 df vfmadd231ss %xmm15,%xmm3,%xmm11

a8b: c4 41 78 28 eb vmovaps %xmm11,%xmm13

a90: c5 10 54 2d 60 03 00 vandps 0x360(%rip),%xmm13,%xmm13 # df8 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x678>

a97: 00

a98: c4 41 12 5a ed vcvtss2sd %xmm13,%xmm13,%xmm13

a9d: c4 41 79 2e f5 vucomisd %xmm13,%xmm14

aa2: 0f 87 5e 02 00 00 ja d06 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x586>

aa8: c5 78 28 f4 vmovaps %xmm4,%xmm14

aac: c4 62 19 99 f7 vfmadd132ss %xmm7,%xmm12,%xmm14

ab1: c4 41 78 28 ee vmovaps %xmm14,%xmm13

ab6: c5 7a 10 74 24 60 vmovss 0x60(%rsp),%xmm14

abc: c4 62 79 b9 e9 vfmadd231ss %xmm1,%xmm0,%xmm13

ac1: c4 62 19 99 f4 vfmadd132ss %xmm4,%xmm12,%xmm14

ac6: c4 42 61 b9 e8 vfmadd231ss %xmm8,%xmm3,%xmm13

acb: c4 62 79 b9 74 24 5c vfmadd231ss 0x5c(%rsp),%xmm0,%xmm14

ad2: c4 62 61 b9 74 24 58 vfmadd231ss 0x58(%rsp),%xmm3,%xmm14

return false;

}

T d = normal.scalar\_product( p1 );

// Wie oft wird direction benötigt, um von origin die Ebene des Dreiecks zu schneiden

t = (d - normal.scalar\_product( origin ) ) / normalRayProduct;

ad9: c4 41 12 5c ee vsubss %xmm14,%xmm13,%xmm13

ade: c4 41 12 5e db vdivss %xmm11,%xmm13,%xmm11

// Ist das Dreieck in der falschen Richtung? Oder gibt es schon ein anderes Dreieck, welches weiter vorne liegt?

if ( t < 0.0 || t > minimum\_t) {

ae3: c4 41 78 2e e3 vucomiss %xmm11,%xmm12

ae8: 0f 87 18 02 00 00 ja d06 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x586>

aee: c5 78 2e 5c 24 50 vucomiss 0x50(%rsp),%xmm11

af4: 0f 87 0c 02 00 00 ja d06 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x586>

sum.x[i] = this->x[i] + addend.x[i];

afa: c5 7a 10 6c 24 48 vmovss 0x48(%rsp),%xmm13

b00: c4 62 21 a9 6c 24 60 vfmadd213ss 0x60(%rsp),%xmm11,%xmm13

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

b07: c5 7a 11 6c 24 74 vmovss %xmm13,0x74(%rsp)

b0d: c5 12 5c ef vsubss %xmm7,%xmm13,%xmm13

sum.x[i] = this->x[i] + addend.x[i];

b11: c5 7a 10 74 24 38 vmovss 0x38(%rsp),%xmm14

b17: c4 62 21 a9 74 24 5c vfmadd213ss 0x5c(%rsp),%xmm11,%xmm14

b1e: c5 7a 11 74 24 64 vmovss %xmm14,0x64(%rsp)

b24: c4 41 78 28 f7 vmovaps %xmm15,%xmm14

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

b29: c5 7a 11 6c 24 68 vmovss %xmm13,0x68(%rsp)

sum.x[i] = this->x[i] + addend.x[i];

b2f: c4 62 21 a9 74 24 58 vfmadd213ss 0x58(%rsp),%xmm11,%xmm14

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

b36: c4 41 0a 5c f8 vsubss %xmm8,%xmm14,%xmm15

b3b: c5 7a 10 6c 24 64 vmovss 0x64(%rsp),%xmm13

b41: c5 12 5c e9 vsubss %xmm1,%xmm13,%xmm13

cross[0] = v1[1] \* v2[2] - v1[2] \* v2[1];

b45: c5 7a 11 6c 24 78 vmovss %xmm13,0x78(%rsp)

b4b: c4 41 4a 59 ed vmulss %xmm13,%xmm6,%xmm13

b50: c4 42 29 bb ef vfmsub231ss %xmm15,%xmm10,%xmm13

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

b55: c5 2a 59 54 24 68 vmulss 0x68(%rsp),%xmm10,%xmm10

product += this->x[i] \* factor.x[i];

b5b: c4 62 19 99 ec vfmadd132ss %xmm4,%xmm12,%xmm13

cross[1] = v1[2] \* v2[0] - v1[0] \* v2[2];

b60: c4 41 32 59 ff vmulss %xmm15,%xmm9,%xmm15

b65: c4 e2 01 9b 74 24 68 vfmsub132ss 0x68(%rsp),%xmm15,%xmm6

product += this->x[i] \* factor.x[i];

b6c: c4 e2 11 99 f0 vfmadd132ss %xmm0,%xmm13,%xmm6

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

b71: c4 62 31 bb 54 24 78 vfmsub231ss 0x78(%rsp),%xmm9,%xmm10

product += this->x[i] \* factor.x[i];

b78: c4 c2 61 b9 f2 vfmadd231ss %xmm10,%xmm3,%xmm6

// Der Schnittpunkt der direction von origin aus mit der Ebene des Dreiecks

Vector<T, 3> intersection = origin + t \* direction;

// Ist der Schnittpunkt innerhalb des Dreiecks?

Vector<T, 3> vector1 = cross\_product(p2 - p1, intersection - p1 );

if ( normal.scalar\_product(vector1) < 0.0 ) {

b7d: c5 78 2e e6 vucomiss %xmm6,%xmm12

b81: 0f 87 7f 01 00 00 ja d06 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x586>

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

b87: c5 7a 10 6c 24 74 vmovss 0x74(%rsp),%xmm13

b8d: c5 7a 10 7c 24 4c vmovss 0x4c(%rsp),%xmm15

b93: c4 41 12 5c d7 vsubss %xmm15,%xmm13,%xmm10

b98: c5 7a 10 6c 24 28 vmovss 0x28(%rsp),%xmm13

b9e: c4 41 12 5c ff vsubss %xmm15,%xmm13,%xmm15

ba3: c5 fa 10 74 24 64 vmovss 0x64(%rsp),%xmm6

ba9: c5 7a 10 6c 24 40 vmovss 0x40(%rsp),%xmm13

baf: c5 4a 5c ca vsubss %xmm2,%xmm6,%xmm9

bb3: c5 92 5c d2 vsubss %xmm2,%xmm13,%xmm2

bb7: c5 7a 10 6c 24 30 vmovss 0x30(%rsp),%xmm13

bbd: c5 8a 5c f5 vsubss %xmm5,%xmm14,%xmm6

bc1: c5 92 5c ed vsubss %xmm5,%xmm13,%xmm5

cross[0] = v1[1] \* v2[2] - v1[2] \* v2[1];

bc5: c4 41 52 59 e9 vmulss %xmm9,%xmm5,%xmm13

bca: c4 62 69 bb ee vfmsub231ss %xmm6,%xmm2,%xmm13

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

bcf: c4 c1 6a 59 d2 vmulss %xmm10,%xmm2,%xmm2

cross[1] = v1[2] \* v2[0] - v1[0] \* v2[2];

bd4: c4 c1 4a 59 f7 vmulss %xmm15,%xmm6,%xmm6

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

bd9: c4 42 69 9b cf vfmsub132ss %xmm15,%xmm2,%xmm9

product += this->x[i] \* factor.x[i];

bde: c5 78 28 fc vmovaps %xmm4,%xmm15

cross[1] = v1[2] \* v2[0] - v1[0] \* v2[2];

be2: c4 c2 49 9b ea vfmsub132ss %xmm10,%xmm6,%xmm5

product += this->x[i] \* factor.x[i];

be7: c4 42 19 99 fd vfmadd132ss %xmm13,%xmm12,%xmm15

bec: c5 78 29 fa vmovaps %xmm15,%xmm2

bf0: c4 e2 79 b9 d5 vfmadd231ss %xmm5,%xmm0,%xmm2

bf5: c4 c2 61 b9 d1 vfmadd231ss %xmm9,%xmm3,%xmm2

return false;

}

vector1 = cross\_product(p3 - p2, intersection - p2 );

if ( normal.scalar\_product(vector1) < 0.0 ) {

bfa: c5 78 2e e2 vucomiss %xmm2,%xmm12

bfe: 0f 87 02 01 00 00 ja d06 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x586>

difference.x[i] = this->x[i] - subtract.x[i];

c04: c5 fa 10 54 24 74 vmovss 0x74(%rsp),%xmm2

c0a: c5 3a 5c 44 24 30 vsubss 0x30(%rsp),%xmm8,%xmm8

c10: c5 ea 5c 74 24 28 vsubss 0x28(%rsp),%xmm2,%xmm6

c16: c5 7a 10 7c 24 40 vmovss 0x40(%rsp),%xmm15

c1c: c5 fa 10 54 24 64 vmovss 0x64(%rsp),%xmm2

c22: c5 c2 5c 7c 24 28 vsubss 0x28(%rsp),%xmm7,%xmm7

c28: c4 41 6a 5c d7 vsubss %xmm15,%xmm2,%xmm10

c2d: c5 8a 5c 54 24 30 vsubss 0x30(%rsp),%xmm14,%xmm2

c33: c4 c1 72 5c cf vsubss %xmm15,%xmm1,%xmm1

cross[0] = v1[1] \* v2[2] - v1[2] \* v2[1];

c38: c4 41 3a 59 f2 vmulss %xmm10,%xmm8,%xmm14

c3d: c4 62 71 bb f2 vfmsub231ss %xmm2,%xmm1,%xmm14

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

c42: c5 f2 59 ce vmulss %xmm6,%xmm1,%xmm1

cross[1] = v1[2] \* v2[0] - v1[0] \* v2[2];

c46: c5 c2 59 d2 vmulss %xmm2,%xmm7,%xmm2

cross[2] = v1[0] \* v2[1] - v1[1] \* v2[0];

c4a: c4 c2 71 9b fa vfmsub132ss %xmm10,%xmm1,%xmm7

product += this->x[i] \* factor.x[i];

c4f: c5 f8 28 cc vmovaps %xmm4,%xmm1

cross[1] = v1[2] \* v2[0] - v1[0] \* v2[2];

c53: c4 62 69 9b c6 vfmsub132ss %xmm6,%xmm2,%xmm8

product += this->x[i] \* factor.x[i];

c58: c4 c2 19 99 ce vfmadd132ss %xmm14,%xmm12,%xmm1

c5d: c4 c2 79 b9 c8 vfmadd231ss %xmm8,%xmm0,%xmm1

c62: c4 e2 61 b9 cf vfmadd231ss %xmm7,%xmm3,%xmm1

return false;

}

Vector<T, 3> vector2 = cross\_product(p1 - p3, intersection - p3 );

if (normal.scalar\_product(vector2) < 0.0 ) {

c67: c5 78 2e e1 vucomiss %xmm1,%xmm12

c6b: 0f 87 95 00 00 00 ja d06 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0x586>

square\_of\_length += ( this->x[i] \* this->x[i] );

c71: c4 e2 19 99 e4 vfmadd132ss %xmm4,%xmm12,%xmm4

c76: c4 42 19 99 ed vfmadd132ss %xmm13,%xmm12,%xmm13

c7b: c4 e2 59 99 c0 vfmadd132ss %xmm0,%xmm4,%xmm0

c80: c4 e2 11 99 ed vfmadd132ss %xmm5,%xmm13,%xmm5

c85: c4 e2 79 99 db vfmadd132ss %xmm3,%xmm0,%xmm3

c8a: c4 42 51 99 c9 vfmadd132ss %xmm9,%xmm5,%xmm9

return false;

}

// u und v berechnen. Wurzel jeweils erst am Ende ziehen

T area = normal.square\_of\_length();

u = sqrt(vector1.square\_of\_length() / area);

c8f: c5 b2 5e c3 vdivss %xmm3,%xmm9,%xmm0

c93: c5 f1 57 c9 vxorpd %xmm1,%xmm1,%xmm1

c97: c5 fa 5a c0 vcvtss2sd %xmm0,%xmm0,%xmm0

c9b: c5 f9 2e c8 vucomisd %xmm0,%xmm1

c9f: c5 cb 51 f0 vsqrtsd %xmm0,%xmm6,%xmm6

ca3: 0f 87 fd 08 00 00 ja 15a6 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0xe26>

ca9: c4 42 19 99 f6 vfmadd132ss %xmm14,%xmm12,%xmm14

cae: c4 42 09 99 c0 vfmadd132ss %xmm8,%xmm14,%xmm8

cb3: c4 e2 39 99 ff vfmadd132ss %xmm7,%xmm8,%xmm7

v = sqrt(vector2.square\_of\_length() / area);

cb8: c5 c2 5e db vdivss %xmm3,%xmm7,%xmm3

u = sqrt(vector1.square\_of\_length() / area);

cbc: c5 cb 5a f6 vcvtsd2ss %xmm6,%xmm6,%xmm6

v = sqrt(vector2.square\_of\_length() / area);

cc0: c5 e2 5a db vcvtss2sd %xmm3,%xmm3,%xmm3

cc4: c5 f9 2e cb vucomisd %xmm3,%xmm1

cc8: c5 c3 51 fb vsqrtsd %xmm3,%xmm7,%xmm7

ccc: 0f 87 b2 08 00 00 ja 1584 <\_Z8raytraceR6CameraR5SceneR6ScreenP6KDTree+0xe04>

## Zeitmessung

Zeitmessung in E203 mit dem Befehl   
g++ -Wall -pedantic -march=native -mfpmath=sse -mavx -O3 raytracer.cc statistics.cc   
bzw.   
g++ -Wall -pedantic -march=native -mfpmath=sse -mavx -O3 -D OPTIMIZED\_INTERSECTS raytracer.cc statistics.cc

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Durchlauf | Zeit ohne Optimierung (in Sekunden) | Zeit nach Optimierung (in Sekunden) |
| 1. | 8.21939 | 6.87551 |
| 2. | 8.09439 | 6.90676 |
| 3. | 8.21939 | 6.96924 |
| 4. | 8.07875 | 6.87547 |
| 5. | 8.17247 | 6.87547 |
| 6. | 8.04746 | 6.92238 |
| 7. | 8.09433 | 6.84424 |
| 8. | 8.07870 | 6.90674 |
| 9. | 8.14120 | 6.84424 |
| 10. | 8.06309 | 6.89112 |
| Durchschnitt | 8.120917 | 6.891117 |

Differenz des Durchschnitts: 1.2298 s

## Interpretation

Die Zeit für einen Durchlauf hat sich um mehr als eine Sekunde verbessert. Dies liegt vor allem daran, dass in der nicht optimierten Version, jedes Mal eine Wurzel zu Beginn der Methode gezogen wurde. Dies geschah in der Zeile: T area = normal.length(); Dies wurde bei einer Auflösung von 256x256 insgesamt 519.950.720 Mal ausgeführt. In den meisten Fällen wurde das Ergebnis dieser Berechnung jedoch nicht weiterverarbeitet, sondern die Methode wurde vorzeitig verlassen, weil sich kein Schnittpunkt ergab. Nur in 35.294 Fällen wird das Ergebnis benötigt, deshalb wurde die Zeile an das Ende der Methode verschoben und wird nun nur in diesen Fällen ausgeführt.

Um weitere Zeit zu sparen, wurden die drei Quadratwurzeln durch zwei ersetzt. Dazu wurden zunächst die Längen der Vektoren im Quadrat berechnet und erst am Schluss die Wurzel der berechneten Division gezogen. Dies war möglich, da folgende Rechenregel gilt:

Weitere Zeit konnte dadurch eingespart werden, dass ein Dreieck nicht mehr überprüft wird, wenn bereits ein näheres, davor liegendes Dreieck gefunden wurde. Dies geschieht in der Zeile

**if** ( t < 0.0 || t > minimum\_t) { **return false**;  
}

Hierdurch hat sich die Anzahl der gefunden Schnittpunkte von 38.215 auf 35.294 reduziert. In diesen 2.921 eingesparten Fällen, konnte die Methode nach dem Vergleich von t und minimum\_t abgebrochen werden und die Quadratwurzeln mussten nicht berechnet werden.

# Aufgabe 2: Quadratwurzel

## Quelltext

|  |  |
| --- | --- |
| In sqrt1 wird jede Quadratwurzel-Berechnung sequenziell ausgeführt. Die beiden Float-Pointer werden zunächst zu Int-Pointern gecastet. Anschließend wird mit ihnen ein Startwert für das Newton-Verfahren berechnet. Ausgehend von diesem Startwert | **template** <size\_t LOOPS = 2> **float** sqrt1(**float** \* a) {  **float** root = 0;  *// a zu int casten* **int** \* ai = **reinterpret\_cast**<**int** \*>(a) ;  *// initial berechnen* **int** \* initial = **reinterpret\_cast**<**int** \*>( &root ) ;  \* initial = (1 << 29) + (\*ai >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  *// Newton Verfahren durchfuehren* **for** (**unsigned int** j = 0; j < LOOPS; j++) {  root = 0.5 \* ( root + (\* a / root));  }  **return** root; } |
| wird das Newton-Verfahren so oft durchgeführt, wie die Template-Variable „LOOPS“ angibt. Danach wird das Ergebnis zurückgegeben. | |
| Sqrt2 setzt die gleiche Funktionalität, wie Sqrt1 um, jedoch wird nicht eine Variable mitgegeben, sondern ein Array aus vier Werten. Für jeden der vier Werte wird das Newton-Verfahren durchgeführt und die Ergebnisse in einem weiteren Array gespeichert. | **template** <size\_t LOOPS = 2> **void** sqrt2(**float** \* **\_\_restrict\_\_** a, **float** \* **\_\_restrict\_\_** root) {  *// a zu int casten* **int** \* ai = **reinterpret\_cast**<**int** \*>(a) ;  *// initial berechnen* **int** \* initial = **reinterpret\_cast**<**int** \*>( root ) ;  initial[0] = (1 << 29) + (ai[0] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  initial[1] = (1 << 29) + (ai[1] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  initial[2] = (1 << 29) + (ai[2] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  initial[3] = (1 << 29) + (ai[3] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  *// Newton Verfahren durchfuehren* **for** (**unsigned int** j = 0; j < LOOPS; j++) {  root[0] = 0.5 \* ( root[0] + (a[0] / root[0]));  root[1] = 0.5 \* ( root[1] + (a[1] / root[1]));  root[2] = 0.5 \* ( root[2] + (a[2] / root[2]));  root[3] = 0.5 \* ( root[3] + (a[3] / root[3]));  } } |
| Auch in Sqrt3 werden die Werte als vierer Array mitgegeben. Diese werden dann zu einem Vector gecastet, um immer vier Werte auf einmal zu verarbeiten. Mit diesem Vector wird dann das Newton-Verfahren auf vier Werte gleichzeitig angewandt. | **template** <size\_t LOOPS = 2> **void** v4sf\_sqrt(v4sf \* **\_\_restrict\_\_** a, v4sf \* **\_\_restrict\_\_** root) {  *// a zu int casten* v4si \* ai = **reinterpret\_cast**<v4si \*>(a) ;  *// initial berechnen* v4si \* initial = **reinterpret\_cast**<v4si \*>( root ) ;  \* initial = (1 << 29) + (\*ai >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  *// Newton Verfahren durchfuehren* **for** (**unsigned int** j = 0; j < LOOPS; j++) {  \* root = 0.5 \* ( \* root + (\* a / \* root));  } }  *// wrapper für v4sf\_sqrt* **template** <size\_t LOOPS = 2> **void** sqrt3(**float** \* **\_\_restrict\_\_** a, **float** \* **\_\_restrict\_\_** root) {  v4sf \*as = **reinterpret\_cast**<v4sf \*>(a);  v4sf\_sqrt<LOOPS>(as, **reinterpret\_cast**<v4sf \*>(root) ); } |

## Assemblercode

$ cd /cygdrive/c/Users/RebeccaS/Documents/raytracer/src

g++ -Wall -pedantic -march=native -mfpmath=sse -mavx2 -O3 -c -g sqrt\_opt.cc

objdump -S sqrt\_opt.o > sqrt\_opt.s

|  |  |
| --- | --- |
| Sqrt1  Die Additionen werden einzeln durchgeführt | \* initial = (1 << 29) + (\*ai >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  439: c4 e2 6a f7 84 24 84 sarx %edx,0x84(%rsp),%eax  440: 00 00 00  443: c5 fa 10 a4 24 84 00 vmovss 0x84(%rsp),%xmm4  44a: 00 00  44c: 05 00 40 bb 1f add $0x1fbb4000,%eax  451: 83 f9 02 cmp $0x2,%ecx  454: 89 44 24 20 mov %eax,0x20(%rsp)  458: c5 f9 6e 74 24 20 vmovd 0x20(%rsp),%xmm6  root = 0.5 \* ( root + (\* a / root));  45e: c5 da 5e ee vdivss %xmm6,%xmm4,%xmm5  462: c5 d2 58 ee vaddss %xmm6,%xmm5,%xmm5  466: c5 d2 59 e8 vmulss %xmm0,%xmm5,%xmm5  46a: c5 da 5e e5 vdivss %xmm5,%xmm4,%xmm4  46e: c5 da 58 e5 vaddss %xmm5,%xmm4,%xmm4  472: c5 da 59 e0 vmulss %xmm0,%xmm4,%xmm4  476: c5 fa 11 a4 24 84 35 vmovss %xmm4,0xc3584(%rsp)  47d: 0c 00  47f: 0f 84 68 10 00 00 je 14ed <\_Z17measure\_sqrt\_timeILm2EEvv+0x14ed> |
| Sqrt1 mit 4x pro Schleife  SIMD-Befehle werden genutzt | \* initial = (1 << 29) + (\*ai >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  608: c4 a1 7d 6f 24 36 vmovdqa (%rsi,%r14,1),%ymm4  60e: 41 83 c7 01 add $0x1,%r15d  612: c5 d5 72 e4 01 vpsrad $0x1,%ymm4,%ymm5  617: c5 d5 fe f3 vpaddd %ymm3,%ymm5,%ymm6  root = 0.5 \* ( root + (\* a / root));  61b: c5 dc 5e ee vdivps %ymm6,%ymm4,%ymm5  61f: c5 d4 58 ee vaddps %ymm6,%ymm5,%ymm5  623: c5 d4 59 ea vmulps %ymm2,%ymm5,%ymm5  627: c5 dc 5e e5 vdivps %ymm5,%ymm4,%ymm4  62b: c5 dc 58 e5 vaddps %ymm5,%ymm4,%ymm4  62f: c5 dc 59 e2 vmulps %ymm2,%ymm4,%ymm4 |
| Sqrt2  SIMD-Befehle werden genutzt  (256-Bit Register packed single precision) | initial[0] = (1 << 29) + (ai[0] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  initial[1] = (1 << 29) + (ai[1] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  initial[2] = (1 << 29) + (ai[2] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  initial[3] = (1 << 29) + (ai[3] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  // Newton Verfahren durchfuehren  for (unsigned int j = 0; j < LOOPS; j++) {  root[0] = 0.5 \* ( root[0] + (a[0] / root[0]));  e98: c5 54 5e ce vdivps %ymm6,%ymm5,%ymm9  e9c: c5 34 58 ce vaddps %ymm6,%ymm9,%ymm9  initial[1] = (1 << 29) + (ai[1] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  ea0: c5 cd 72 e4 01 vpsrad $0x1,%ymm4,%ymm6  ea5: c5 cd fe f3 vpaddd %ymm3,%ymm6,%ymm6  root[1] = 0.5 \* ( root[1] + (a[1] / root[1]));  ea9: c5 dc 5e fe vdivps %ymm6,%ymm4,%ymm7  root[0] = 0.5 \* ( root[0] + (a[0] / root[0]));  ead: c5 34 59 ca vmulps %ymm2,%ymm9,%ymm9  eb1: c4 c1 54 5e e9 vdivps %ymm9,%ymm5,%ymm5  root[1] = 0.5 \* ( root[1] + (a[1] / root[1]));  eb6: c5 c4 58 f6 vaddps %ymm6,%ymm7,%ymm6  initial[2] = (1 << 29) + (ai[2] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  eba: c5 c5 72 e1 01 vpsrad $0x1,%ymm1,%ymm7  ebf: c5 c5 fe fb vpaddd %ymm3,%ymm7,%ymm7  root[1] = 0.5 \* ( root[1] + (a[1] / root[1]));  ec3: c5 cc 59 f2 vmulps %ymm2,%ymm6,%ymm6  root[2] = 0.5 \* ( root[2] + (a[2] / root[2]));  ec7: c5 74 5e c7 vdivps %ymm7,%ymm1,%ymm8  root[0] = 0.5 \* ( root[0] + (a[0] / root[0]));  ecb: c4 c1 54 58 e9 vaddps %ymm9,%ymm5,%ymm5  ed0: c5 d4 59 ea vmulps %ymm2,%ymm5,%ymm5  root[1] = 0.5 \* ( root[1] + (a[1] / root[1]));  ed4: c5 dc 5e e6 vdivps %ymm6,%ymm4,%ymm4  root[2] = 0.5 \* ( root[2] + (a[2] / root[2]));  ed8: c5 3c 58 c7 vaddps %ymm7,%ymm8,%ymm8  initial[3] = (1 << 29) + (ai[3] >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  edc: c5 c5 72 e0 01 vpsrad $0x1,%ymm0,%ymm7  ee1: c5 c5 fe fb vpaddd %ymm3,%ymm7,%ymm7  root[2] = 0.5 \* ( root[2] + (a[2] / root[2]));  ee5: c5 3c 59 c2 vmulps %ymm2,%ymm8,%ymm8  root[3] = 0.5 \* ( root[3] + (a[3] / root[3]));  ee9: c5 7c 5e d7 vdivps %ymm7,%ymm0,%ymm10  root[1] = 0.5 \* ( root[1] + (a[1] / root[1]));  eed: c5 dc 58 e6 vaddps %ymm6,%ymm4,%ymm4  ef1: c5 dc 59 f2 vmulps %ymm2,%ymm4,%ymm6  root[2] = 0.5 \* ( root[2] + (a[2] / root[2]));  ef5: c4 c1 74 5e c8 vdivps %ymm8,%ymm1,%ymm1  root[3] = 0.5 \* ( root[3] + (a[3] / root[3]));  efa: c5 ac 58 ff vaddps %ymm7,%ymm10,%ymm7  efe: c5 c4 59 fa vmulps %ymm2,%ymm7,%ymm7  f02: c5 fc 5e c7 vdivps %ymm7,%ymm0,%ymm0  root[2] = 0.5 \* ( root[2] + (a[2] / root[2]));  f06: c4 c1 74 58 c8 vaddps %ymm8,%ymm1,%ymm1  f0b: c5 f4 59 ca vmulps %ymm2,%ymm1,%ymm1  root[3] = 0.5 \* ( root[3] + (a[3] / root[3]));  f0f: c5 d4 14 e1 vunpcklps %ymm1,%ymm5,%ymm4  f13: c5 d4 15 c9 vunpckhps %ymm1,%ymm5,%ymm1  f17: c5 fc 58 c7 vaddps %ymm7,%ymm0,%ymm0  f1b: c4 e3 5d 18 f9 01 vinsertf128 $0x1,%xmm1,%ymm4,%ymm7  f21: c4 e3 5d 06 c9 31 vperm2f128 $0x31,%ymm1,%ymm4,%ymm1  f27: c5 fc 59 c2 vmulps %ymm2,%ymm0,%ymm0 |
| Sqrt3  SIMD-Befehle werden genutzt | \* initial = (1 << 29) + (\*ai >> 1) - (1 << 22) - 0x4C000;  1052: c5 f9 6f 44 05 00 vmovdqa 0x0(%rbp,%rax,1),%xmm0  1058: c5 f1 72 e0 01 vpsrad $0x1,%xmm0,%xmm1  105d: c5 f1 fe d4 vpaddd %xmm4,%xmm1,%xmm2  // Newton Verfahren durchfuehren  for (unsigned int j = 0; j < LOOPS; j++) {  \* root = 0.5 \* ( \* root + (\* a / \* root));  1061: c5 f8 5e ca vdivps %xmm2,%xmm0,%xmm1  1065: c5 f0 58 ca vaddps %xmm2,%xmm1,%xmm1  1069: c5 f0 59 cb vmulps %xmm3,%xmm1,%xmm1  106d: c5 f8 5e c1 vdivps %xmm1,%xmm0,%xmm0  1071: c5 f8 58 c1 vaddps %xmm1,%xmm0,%xmm0  1075: c5 f8 59 c3 vmulps %xmm3,%xmm0,%xmm0  1079: c4 c1 78 29 44 05 00 vmovaps %xmm0,0x0(%r13,%rax,1) |

## Zeitmessung

Zeitmessung für vier Iterationen in E203 mit dem Befehl   
g++ -Wall -pedantic -march=native -mfpmath=sse -mavx2 -O3 sqrt\_opt.cc

./a.exe

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Durchlauf | Math.Sqrt [ns] | Sqrt1, ein Mal pro Schleife [ns] | Sqrt1, vier Mal pro Schleife [ns] | Sqrt2 [ns] | Sqrt3 [ns] |
| 1. | 1015718 | 359401 | 375045 | 359385 | 359402 |
| 2. | 1031334 | 359389 | 375031 | 359420 | 359388 |
| 3. | 1015724 | 359405 | 375031 | 375030 | 359388 |
| 4. | 1015725 | 343777 | 359403 | 375049 | 359404 |
| 5. | 1015725 | 359388 | 375047 | 359387 | 359421 |
| 6. | 1015702 | 359402 | 406295 | 406267 | 406293 |
| 7. | 1031344 | 359385 | 375028 | 390672 | 359402 |
| 8. | 1031347 | 359384 | 359402 | 359402 | 359402 |
| 9. | 1015718 | 359402 | 375028 | 359402 | 359402 |
| 10. | 1031328 | 343775 | 359419 | 375011 | 359420 |
| Durchschnitt | 1 021 966,5 | 356 270,8 | 373 472,9 | 371 902,5 | 364 092,2 |

## Interpretation

Die implementierten Newton-Sqrt-Verfahren haben sich um einen Faktor von ca. 3 verbessert im Vergleich zur Standardimplementierung. Alle Ausführungszeiten der Newton-Versionen liegen dicht beieinander. Eine Verbesserung konnte durch die SIMD-Befehle nicht erreicht werden. Es zeigt sich, dass sqrt1 mit einer Berechnung pro Schleife am schnellsten ist, obwohl alle Berechnungen Sequenziell durchgeführt werden. Sqrt3 braucht die zweit wenigste Zeit zum Ausführen, da hier die Berechnungen mit SIMD-Befehlen in vierer-Blöcken parallelisiert wurden. Das diese Version nicht schneller ist als die erste Sqrt1 Version, könnte an dem zusätzlichen Aufwand der Typkonvertierung zu Vektoren liegen. Sqrt1 mit vier Berechnungen pro Schleife benötigt die meiste Zeit. Dies könnte an der zusätzlichen Schleife liegen, die jedes Mal durchlaufen werden muss.

# Aufgabe 3: k-d-Baum

## Quelltext

|  |  |
| --- | --- |
| Die Bounding-Box wird entlang der längsten Achse in der Mitte in zwei Hälften aufgeteilt. Zuerst wird bestimmt, welches die längste Seite ist. Danach werden je nach ausgewählter Achse neue Minimal- und Maximal-Eckpunkte gewählt für die beiden neuen Bounding-Boxen. | **void** BoundingBox::split(BoundingBox & left, BoundingBox & right) {  Vector<FLOAT,3> div = max - min;  Vector<FLOAT,3> leftMax;  Vector<FLOAT,3> rightMin;  **if** (div[0] >= div[1] && div [0] >= div[2]) {  FLOAT x = min[0] + 0.5 \* div[0];  leftMax = {x, max[1], max[2]};  rightMin = {x, min[1], min[2]};  } **else if** (div[1] >= div[2]) {  FLOAT y = min[1] + 0.5 \* div[1];  leftMax = {max[0], y, max[2]};  rightMin = {min[0], y, min[2]};  } **else** {  FLOAT z = min[2] + 0.5 \* div[2];  leftMax = {max[0], max[1], z};  rightMin = {min[0], min[1], z};  }  left = \***new** BoundingBox(min, leftMax);  right = \***new** BoundingBox(rightMin, max); } |
| Die erste contains-Methode prüft, ob ein bestimmter Punkt in der Bounding-Box enthalten ist. Die zweite contains-Methode nutzt die erste, um zu bestimmen, ob ein Dreieck mit mindestens einem seiner Eckpunkte in der Bounding-Box liegt. | **bool** BoundingBox::contains(Vector<FLOAT, 3> v) {  **for** (**unsigned int** i = 0; i < 3; i++) {  **if** (min[i] > v[i] || v[i] > max[i]) {  **return false**;  }  }  **return true**; }  **bool** BoundingBox::contains(Triangle<FLOAT> \*triangle) {  **return** contains(triangle->p1) || contains(triangle->p2) ||  contains(triangle->p3); } |
| Die statische Methode buildTree erstellt einen neuen k-d-Baum und gibt das Wurzel-Element zurück. Dazu wird zuerst die Bounding-Box um die gesamte Szene berechnet und für das Wurzel-Element abgespeichert. Anschließend wird der restliche Baum über die private Methode buildTree rekursiv gebildet. | KDTree \* KDTree::buildTree(std::vector< Triangle<FLOAT> \*> & triangles) {  KDTree \* root = **new** KDTree();  Triangle<FLOAT> \*triangle = triangles[0];  Vector<FLOAT,3> min = triangle->p1;  Vector<FLOAT,3> max = triangle->p1;  **for** (**unsigned int** i = 0; i < triangles.size(); i++) {  triangle = triangles[i];  **for** (**unsigned int** x = 0; x < 3; x++) {  *//(b < a && b < c) ? b : ((a < c) ? a : c)* FLOAT minTPoint = (triangle->p1[x] < triangle->p2[x]  && triangle->p1[x] < triangle->p3[x]) ? triangle->p1[x]  : ((triangle->p2[x] < triangle->p3[x]) ? triangle->p2[x]  : triangle->p3[x]);  min[x] = (min[x] < minTPoint) ? min[x] : minTPoint;  FLOAT maxTPoint = (triangle->p1[x] > triangle->p2[x]  && triangle->p1[x] > triangle->p3[x]) ? triangle->p1[x]  : ((triangle->p2[x] > triangle->p3[x]) ? triangle->p2[x]  : triangle->p3[x]);  max[x] = (max[x] > maxTPoint) ? max[x] : maxTPoint;  }  }  root->box = \***new** BoundingBox(min, max);;  **return** root->buildTree(root, triangles); } |
| Die Methode prüft zunächst, ob die Anzahl der zu speichernden Dreiecke kleiner ist als die maximal zulässige Anzahl Dreiecke für ein Blatt des Baumes. Ist dies der Fall, so bricht die Rekursion ab. Ist dies nicht der Fall, so werden zwei weitere Knoten an den aktiven Knoten angehängt. Die Dreiecke werden dann den neuen beiden Knoten zugeteilt. Ist ein Dreieck in beiden Knoten enthalten, so verbleibt es im aktiven Knoten und wird nicht zugeteilt. | KDTree \* KDTree::buildTree(KDTree \* tree,  std::vector< Triangle<FLOAT> \*> & triangles) {  **if** (triangles.size() <= MAX\_TRIANGLES\_PER\_LEAF) {  **this**->triangles = triangles;  **return** tree;  }  left = **new** KDTree();  right = **new** KDTree();  BoundingBox \*leftBox = **new** BoundingBox();  BoundingBox \*rightBox = **new** BoundingBox();  box.split(\*leftBox, \*rightBox);  left->box = \*leftBox;  right->box = \*rightBox;  std::vector< Triangle<FLOAT> \*> leftTriangles;  std::vector< Triangle<FLOAT> \*> rightTriangles;  **for** (**unsigned int** i = 0; i < triangles.size(); i++) {  Triangle<FLOAT> \*triangle = triangles[i];  **if** (leftBox->contains(triangle)) {  **if** (rightBox->contains(triangle)) {  **this**->triangles.push\_back( triangle );  } **else** {  leftTriangles.push\_back( triangle );  }  } **else** {  rightTriangles.push\_back( triangle );  }  }  left->buildTree(left, leftTriangles);  right->buildTree(right, rightTriangles);  **return** tree; } |
| Die letzte zu implementierende Methode ermittelt das erste Dreieck, welches von einem Sehstrahl getroffen wird. Auch diese Methode wird rekursiv ausgeführt, um den k-d-Baum zu durchlaufen. Zuerst wird überprüft, ob der Sehstrahl die Bounding-Box durchquert. Ist dies nicht der Fall, so bricht die Rekursion hier ab. Dann wird die Methode erneut für die beiden anhängenden Knoten durchgeführt. Anschließend wird mit den im Knoten gespeicherten Dreiecken ein Schnittpunkttest durchgeführt. Wurde ein Schnittpunkt gefunden, so wird überprüft, ob dies der näheste Schnittpunkt des Sehstrahl ist. Ist dies der Fall, so wird die Variable „nearest\_triangle“ auf dieses Dreieck gesetzt und zurückgegeben, dass die Suche erfolgreich war. | **bool** KDTree::hasNearestTriangle(Vector<FLOAT,3> eye, Vector<FLOAT,3> direction,   Triangle<FLOAT> \* & nearest\_triangle, FLOAT &t, FLOAT &u,   FLOAT &v, FLOAT minimum\_t) {  **if** (!box.intersects(eye, direction)) {  **return false**;  }  **if** (left != **nullptr**) {  **bool** intersect = left->hasNearestTriangle(eye, direction,   nearest\_triangle, t, u, v, minimum\_t);  **if** (intersect) {  **if** (t < minimum\_t) {  minimum\_t = t;  }  }  }  **if** (right != **nullptr**) {  **bool** intersect = right->hasNearestTriangle(eye, direction,   nearest\_triangle, t, u, v, minimum\_t);  **if** (intersect) {  **if** (t < minimum\_t) {  minimum\_t = t;  }  }  }  **for** (**unsigned int** i = 0; i < triangles.size(); i++) {  Triangle<FLOAT> \*triangle = triangles[i];stats.no\_ray\_triangle\_intersection\_tests++;  **bool** intersect = triangle->intersects(eye, direction,   t, u, v, minimum\_t);  **if** (intersect) {  stats.no\_ray\_triangle\_intersections\_found++;  **if** ( (nearest\_triangle == **nullptr**) || (t < minimum\_t) ) {  nearest\_triangle = triangle;  minimum\_t = t;  }  }  }  t = minimum\_t;  **return** nearest\_triangle != **nullptr**; } |

## Zeitmessung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Durchlauf | Zeit ohne Optimierung (in Sekunden) | Zeit mit Optimierung (in Sekunden) |
| 1. | 6.91346 | 1.70324 |
| 2. | 6.87557 | 1.70325 |
| 3. | 6.89121 | 1.73451 |
| 4. | 6.91299 | 1.70325 |
| 5. | 6.93803 | 1.70325 |
| Durchschnitt | 6.90625 | 1.70950 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Ohne Optimierung | Mit Optimierung |
| Durchgeführte Schnittpunkttests | 519 950 720 | 139 090 305 |
| gefundene  Schnittpunkte | 35 294 | 36 806 |
| Ergebnis |  |  |

## Interpretation

Mit der Optimierung ist das Programm ca. 4-mal schneller als vor der Optimierung. Dies liegt daran, dass sich auch die durchgeführten Schnittpunkttests in etwa um diesen Faktor verringert haben. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Dreiecke in mehrere verschachtelte Bounding-Boxen aufgeteilt wurden. Kreuzt ein zu testender Sehstrahl eine Bounding-Box nicht, so können alle darin enthaltenen Dreiecke für die weitere Schnittpunktüberprüfung mit diesem Sehstrahl ignoriert werden.