Bericht Optimierung

Von Rebecca Sigmund

Inhaltsverzeichnis

[Aufgabe 1: Schnittpunkttest optimieren 2](#_Toc25106320)

[Quelltext 2](#_Toc25106321)

[Assemblercode 3](#_Toc25106322)

[Zeitmessung 7](#_Toc25106323)

[Interpretation 7](#_Toc25106324)

[Aufgabe 2: Quadratwurzel 8](#_Toc25106325)

[Quelltext 8](#_Toc25106326)

[Assemblercode 8](#_Toc25106327)

[Zeitmessung 8](#_Toc25106328)

[Interpretation 8](#_Toc25106329)

[Aufgabe 3: k-d-Baum 9](#_Toc25106330)

[Quelltext 9](#_Toc25106331)

[Assemblercode 9](#_Toc25106332)

[Zeitmessung 9](#_Toc25106333)

[Interpretation 9](#_Toc25106334)

# Aufgabe 1: Schnittpunkttest optimieren

## Quelltext

*// optimized version***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**;  
 }

## 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. |  |  |
| 2. |  |  |
| 3. |  |  |
| 4. |  |  |
| 5. |  |  |
| 6. |  |  |
| 7. |  |  |
| 8. |  |  |
| 9. |  |  |
| 10. |  |  |
| Durchschnitt |  |  |

Verbesserung des Durchschnitts:

## Interpretation

Die Zeit für einen Durchlauf hat sich 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

## Assemblercode

g++ -Wall -pedantic -march=native -mfpmath=sse -mavx -O3 -D OPTIMIZED\_INTERSECTS -c -g raytracer.cc

objdump -S raytracer.o > raytracer.s

## 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. |  |  |
| 2. |  |  |
| 3. |  |  |
| 4. |  |  |
| 5. |  |  |
| 6. |  |  |
| 7. |  |  |
| 8. |  |  |
| 9. |  |  |
| 10. |  |  |
| Durchschnitt |  |  |

## Interpretation

# Aufgabe 3: k-d-Baum

## Quelltext

## Assemblercode

## Zeitmessung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Durchlauf | Zeit ohne Optimierung (in Sekunden) | Zeit nach Optimierung (in Sekunden) |
| 1. |  |  |
| 2. |  |  |
| 3. |  |  |
| 4. |  |  |
| 5. |  |  |
| 6. |  |  |
| 7. |  |  |
| 8. |  |  |
| 9. |  |  |
| 10. |  |  |
| Durchschnitt |  |  |

## Interpretation