„kinectboard“ — Objekt-Tracking mit CUDA und Kinect

Michael Stapelberg, Felix Bruckner, Pascal Krause

Fakultät für Informatik
Hochschule Mannheim

2012-07-19

Projektidee: Objekttracing

Jede einigermaßen ebene Fläche soll als Whiteboard dienen können.

- Schwierigkeiten
  - Qualität des Tiefenbildes zu schlecht
  - Pure Farberkennung zu viele false-positives
- Lösungsansatz
  - Aufbereitung der Daten durch Anwenden von Filtern

Architektur

Kopiere Tiefenbild und RGB-Bild auf die Grafikkarte

GUI

Grafikkarte Nvidia GeForce GTS 250

Median-Filter

Kalibrieren

Glowfilter

RGB-Bild maskieren

Referenz-Farbe

Vorgehen

- Suchen eines open-source SDKs
- Erforschen der Kinect
- Suchen nach Problemlösungen
- Validieren der Lösungen (CPU)
- Portieren der Lösungen auf GPU
  - Programmaufbau an CUDA anpassen
  - Algorithmen für CUDA optimieren

Kinect

- Sensoren
  - 640x480 30Hz Farbbild (RGB)
  - 640x480 30Hz Tiefenbild
- Genauigkeit
  - Genauigkeit ab 50cm ca. 1,5mm
  - Genauigkeit ab 5m ca. 5cm

Grafikkarte

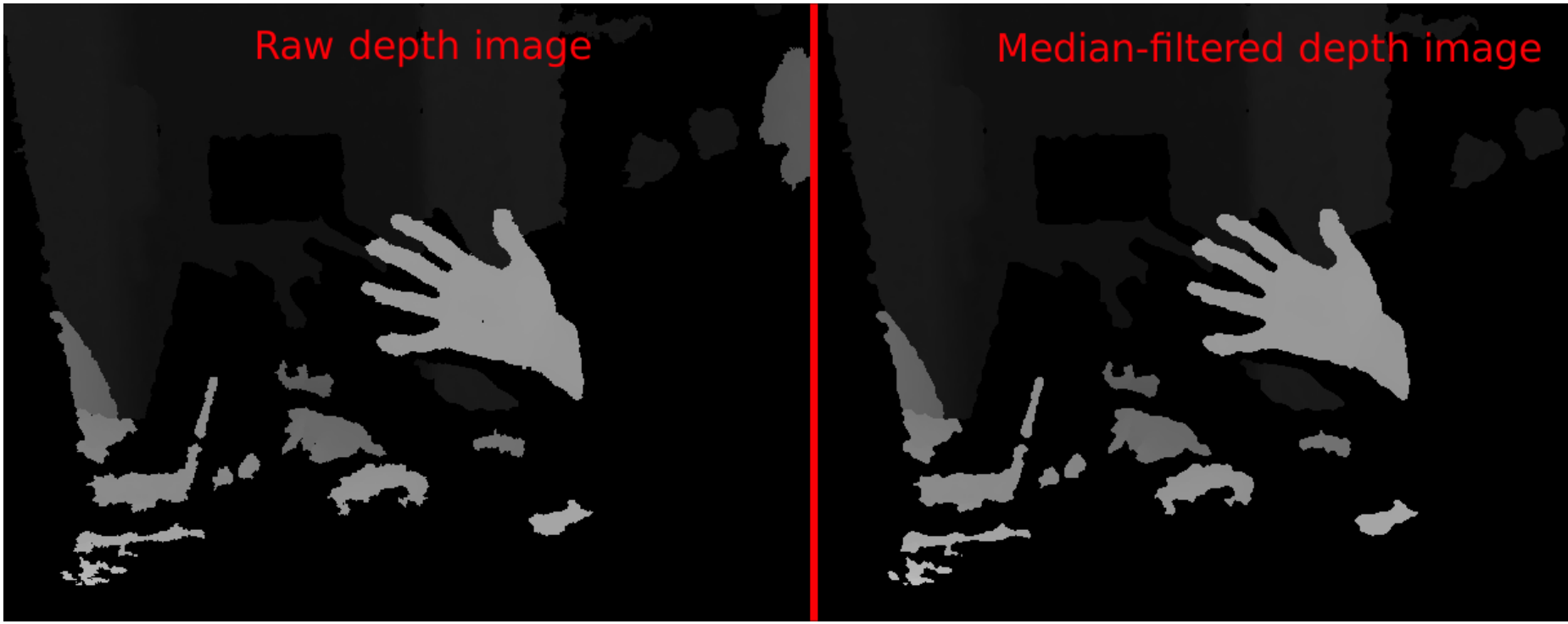
- Nvidia GeForce GTS 250
- 16 Multiprozessoren mit je 8 Cores
- 1024 MB Device-Memory

Handschuh

- 100% Baumwolle
- Hoher Tragekomfort
- Farbe: Orange

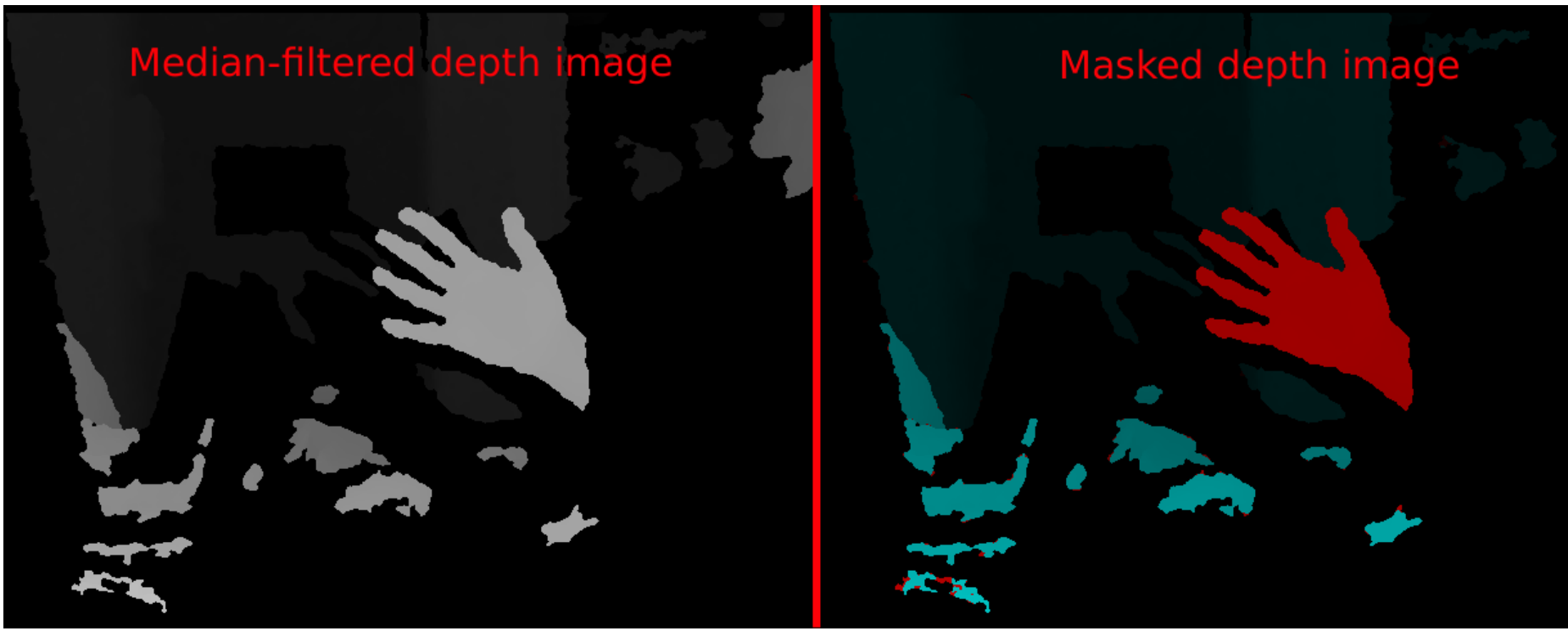
Median Filter

- Arbeitet auf dem Tiefenbild
- Filtert das Rauschen aus dem Tiefenbild heraus



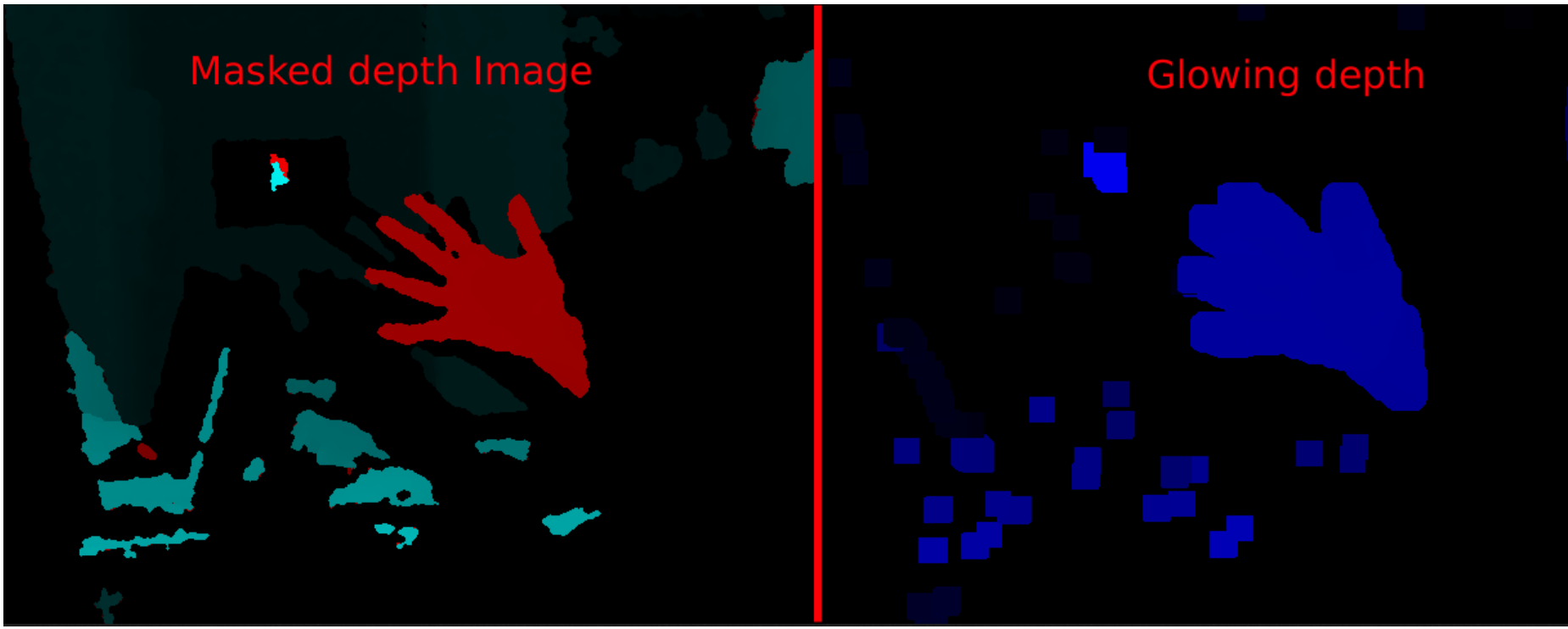
Kalibrierung

- Es kann auf neuen Hintergrund kalibriert werden
- Arbeitet auf dem Tiefenbild
- Filtert alle sich nicht bewegenden Punkte aus dem Tiefenbild.



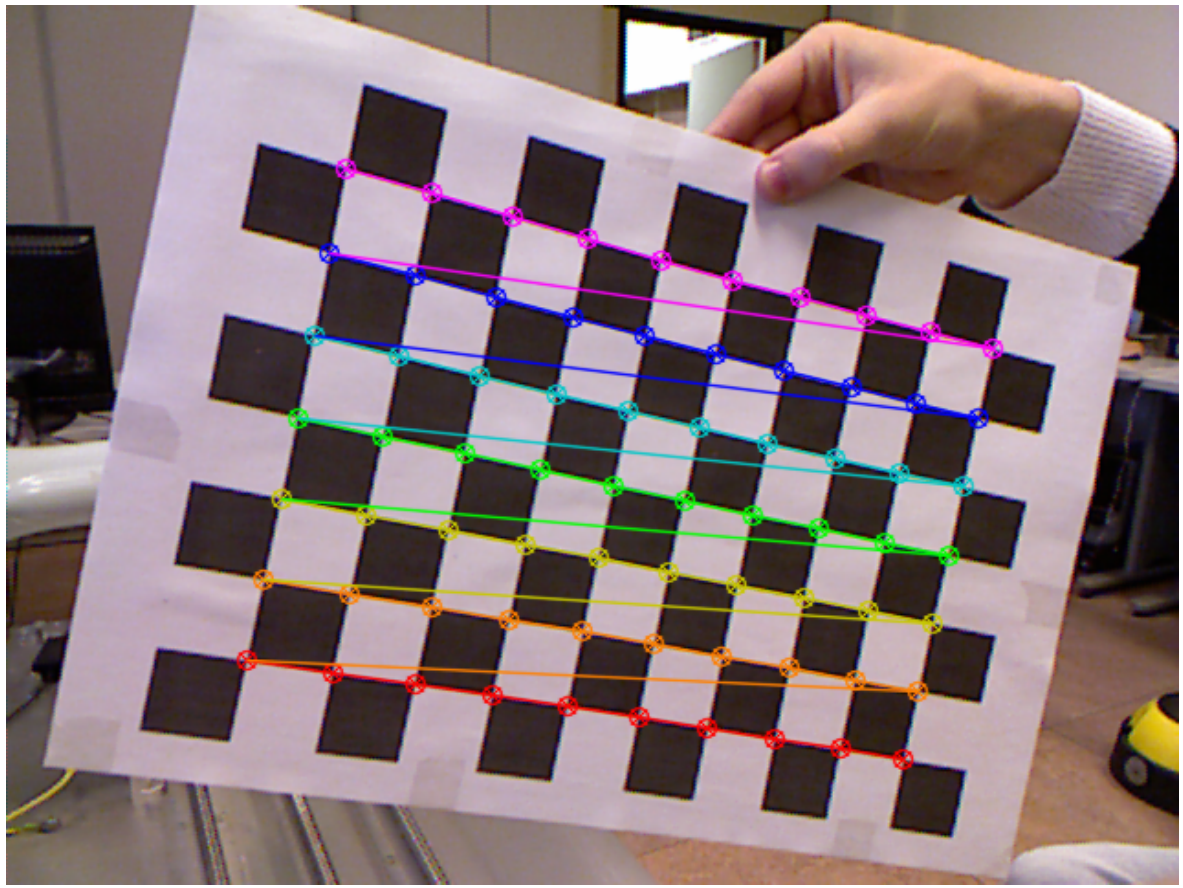
Gloweffekt

- Arbeitet auf dem Tiefenbild
- Expandiert alle anzuzeigenden Punkte im Tiefenbild, anhand eines einstellbaren Radius



RGB-Bild maskieren

- Arbeitet auf dem RGB-Bild
- Rechnet das Tiefenbild auf das RGB-Bild um, und maskiert alle relevanten Pixel



Referenz-Farbe

- Arbeitet auf dem RGB-Bild
- Zeigt nur noch die Pixel auf dem RGB-Bild an, welche farblich ähnlich genug zur Referenzfarbe sind

Speed-Up

$$S(p) = \frac{\text{Ausführungszeit SingleCore}}{\text{Ausführungszeit MultiCore}}$$

Recheneinheit	**Median Filter**	**RGB-Bild maskieren**
CPU	30 Millisekunden	? Millisekunden
GPU	1,5 Milisekunden	? Mikrosekunden

Speed-Up Median Filter: 5%

Speed-Up RGB-Bild-Maskierung: over9000%

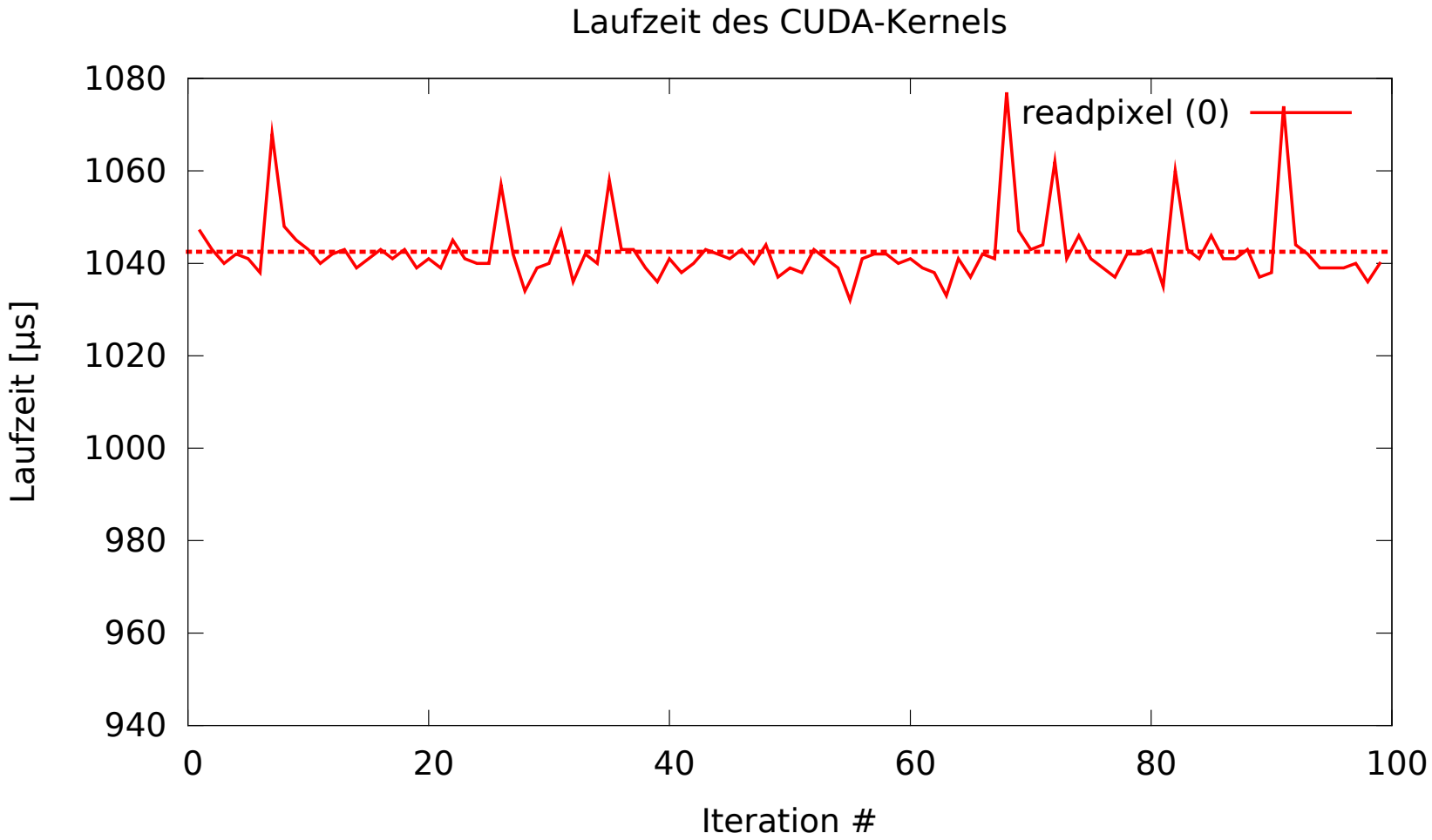
Median-Filter: Überblick

1. Host: Bilddaten auf die Grafikkarte kopieren, Kernel starten
2. Index berechnen, (umliegende) Pixel-Werte lesen
3. Median-Filter anwenden
4. Pixel-Wert umwandeln in RGB-Wert
5. Ausgabe-Pixel schreiben
6. Host: Bild anzeigen

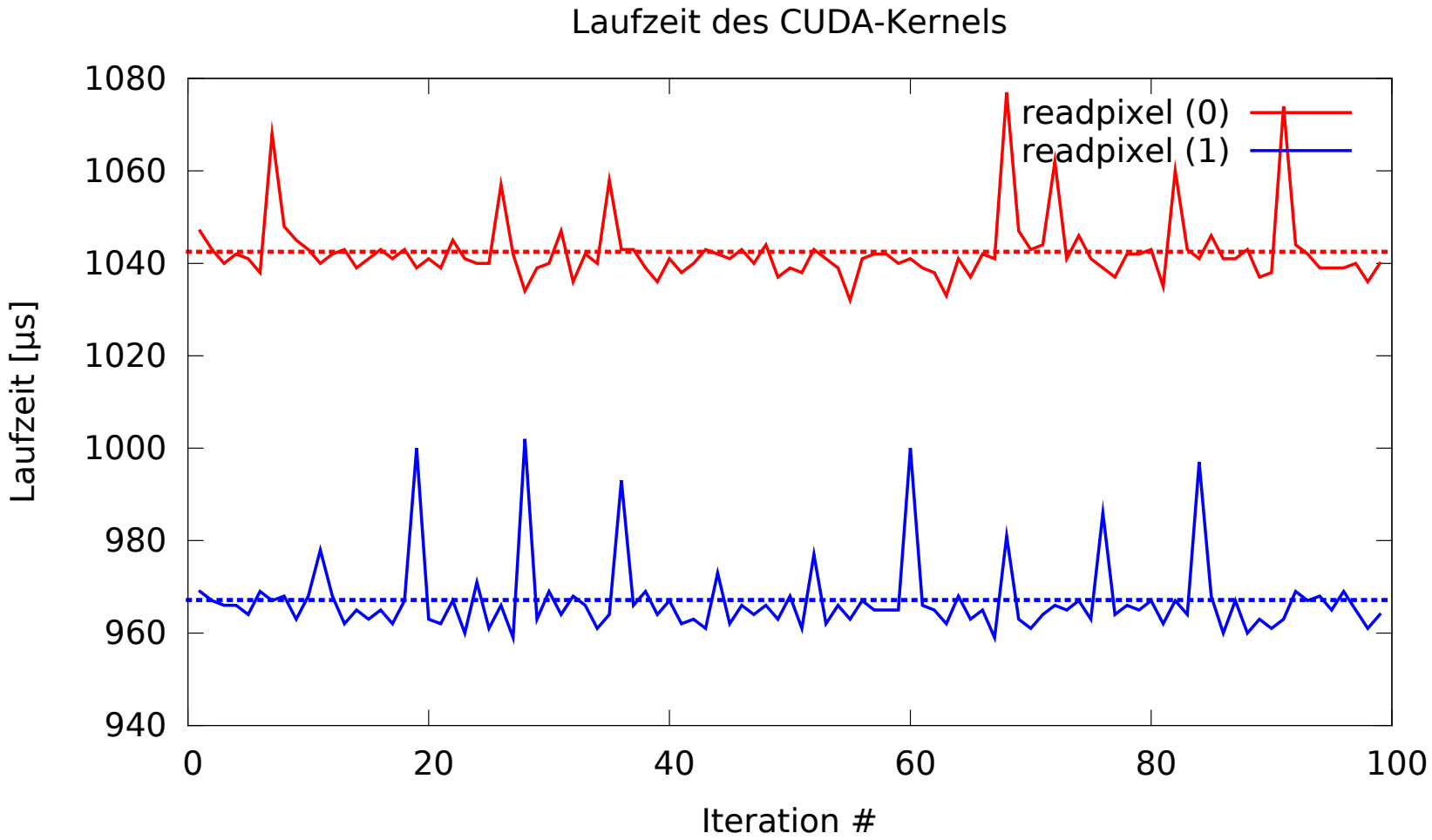
Wert lesen und umrechnen (readpixel0)

```
__global__ void median(uint16_t *depth,
    uint8_t *table, uint8_t *output)
{
  int x = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x;
  int y = blockIdx.y * blockDim.y + threadIdx.y;
  int i = (y * 640) + x;

  // Pixel in RGB wandeln
  int conv = table[depth[i]];

  // Makro, welches output[i], output[i+1] und
     output[i+2] setzt.
  pushrgb(output, i, conv);
}
```

Wert lesen und umrechnen (readpixel0)



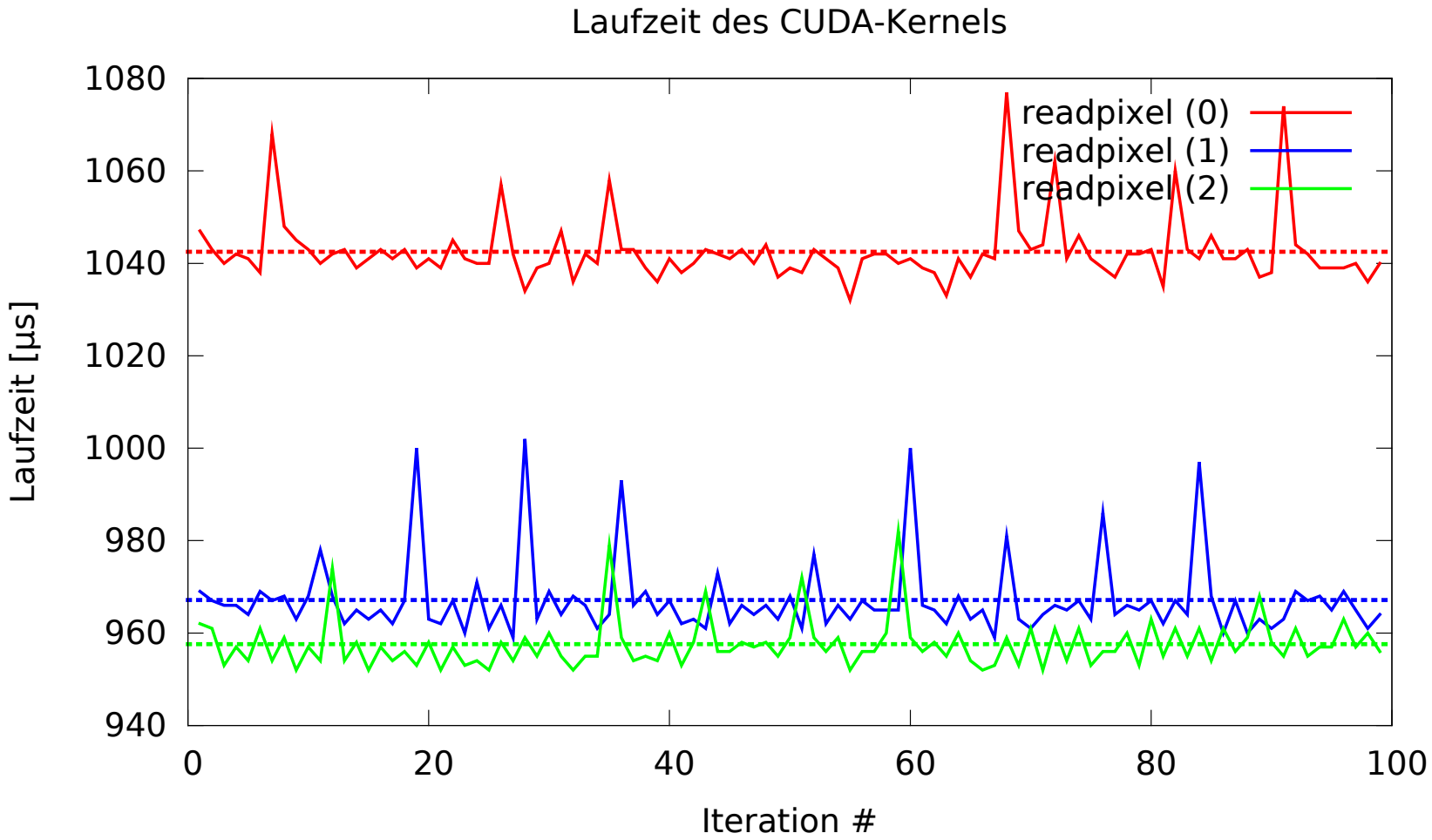
Wert lesen und umrechnen (readpixel0/1)



Wert lesen und umrechnen (readpixel1)

```
texture<uint16_t, 2> depthT;
texture<uint8_t, 2> tableT;

__global__ void median(uint8_t *output) {
  // x, y, i wie zuvor
  int c = tex2D(tableT, tex2D(depthT, x, y), 1);
  pushrgb(output, i, c);
}

// memcpy table und depth

cudaChannelFormatDesc desc =
    cudaCreateChannelDesc<uint16_t>();
cudaBindTexture2D(NULL, &depthT, depth, &desc,
    640, 480, 640 * sizeof(uint16_t));
desc = cudaCreateChannelDesc<uint8_t>();
cudaBindTexture2D(NULL, &tableT, table, &desc,
    2048, 1, 2048 * sizeof(uint8_t));
```

Wert lesen und umrechnen (readpixel0/1/2)



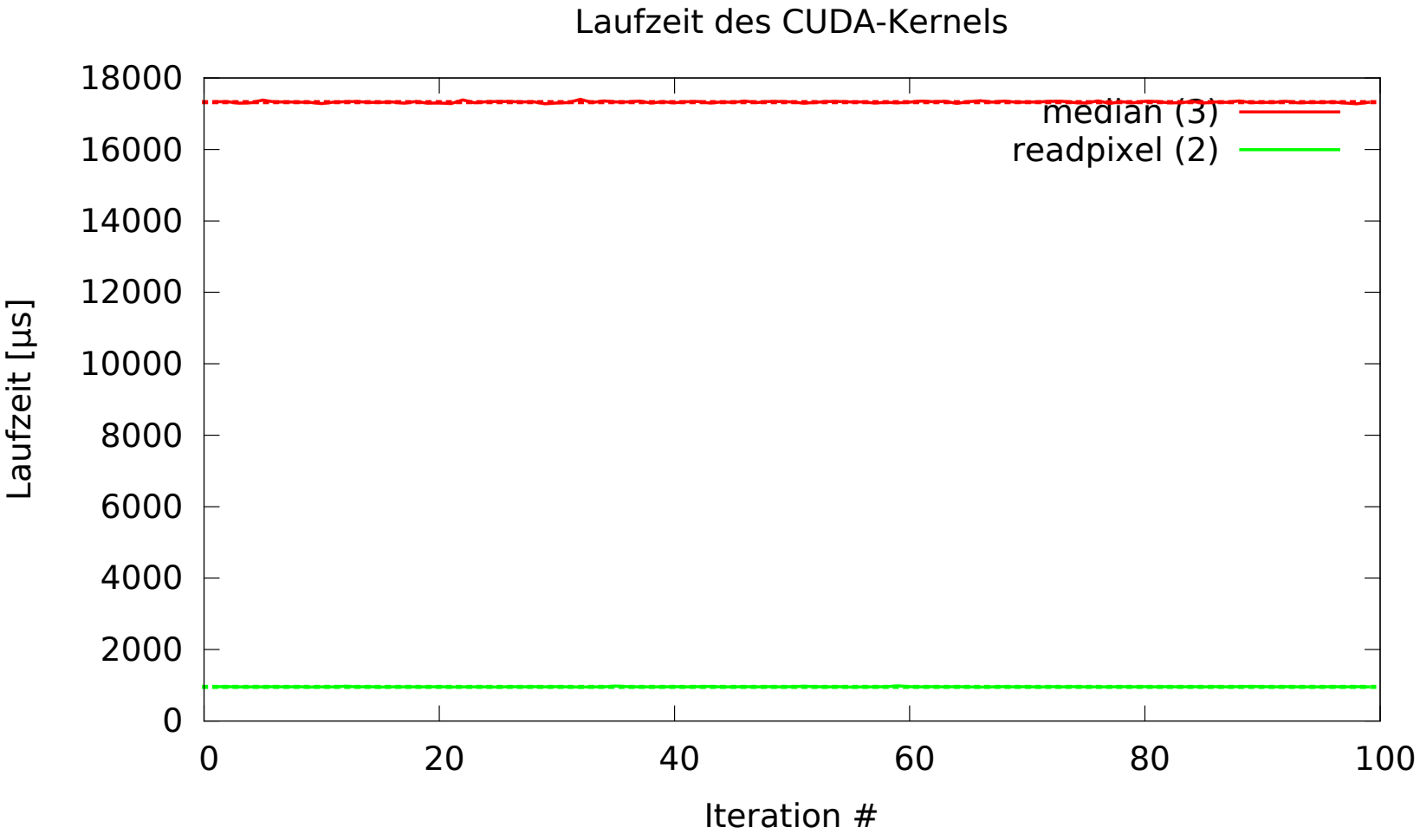
Wert lesen und umrechnen (readpixel2)

```
texture<uint16_t, 2> depthT;
texture<uint8_t, 2> tableT;

__global__ void median(uint8_t *output) {
  // x, y, i wie zuvor
  int d = tex2D(depthT, x, y);
  int c = (float)(2048 * 256) / (d - 2048);

  pushrgb(output, i, c);
}

// memcpy table und depth
// cudaBindTexture2D wie zuvor
```

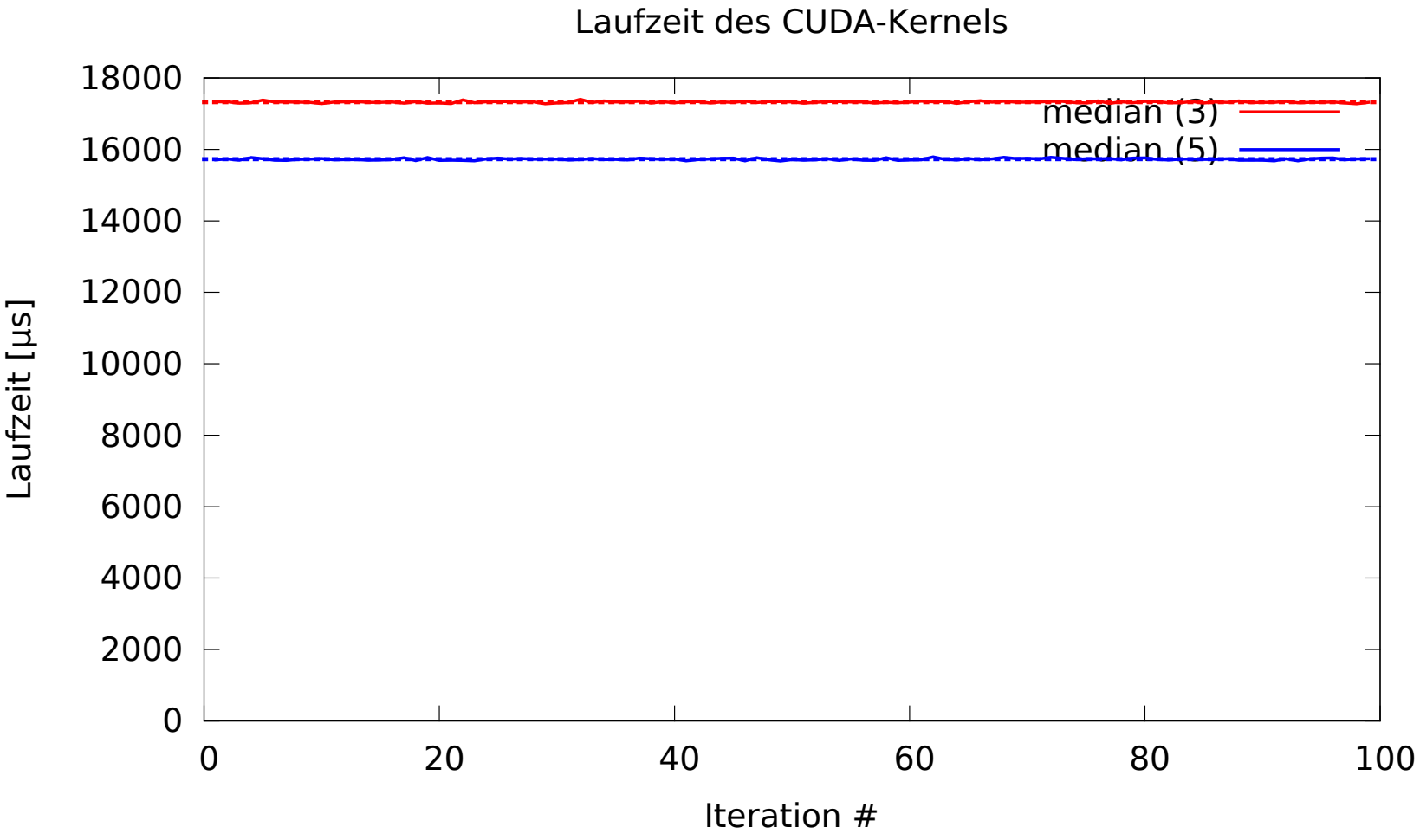
Median-Filter (median3)

```
__global__ void median(uint8_t *output) {
  // x, y, i wie zuvor
  int neigh[25], ic, ir, ni = 0;
  for (ic  = (x - (5 / 2));
       ic <= (x + (5 / 2));
       ic++) {
    for (ir  = (y - (5 / 2));
         ir <= (y + (5 / 2));
         ir++) {
      neigh[ni++] = tex2D(depthT, ic, ir);
    }
  }

  // quick_select aus "Numerical recipes in C"
  int c = (float)(2048 * 256) / (quick_select(
     neigh, 25) - 2048);
  pushrgb(output, i, c);
}
```

Median-Filter (median3)



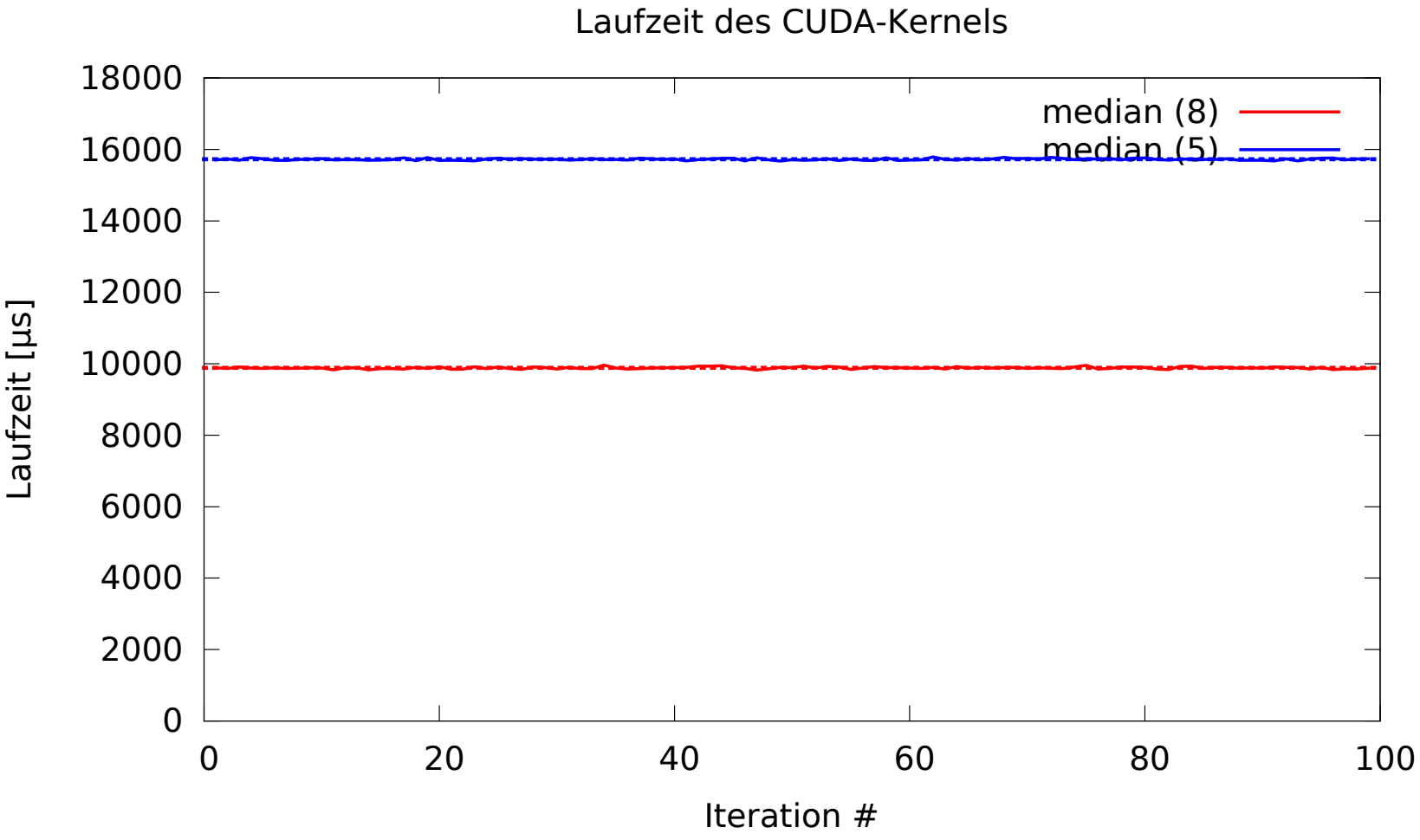
Median-Filter (median3/5)



Median-Filter (median5)

```
__global__ void median(uint8_t *output) {
  __shared__ float smem[BLOCK_X][BLOCK_Y];
  smem[threadIdx.x][threadIdx.y] = tex2D(depthT,
      x, y);
  __syncthreads();

  int neigh[25], ic, ir, ni = 0;
  for (ic  = (threadIdx.x - (5 / 2));
       ic <= (threadIdx.x + (5 / 2));
       ic++) {
    for (ir  = (threadIdx.y - (5 / 2));
         ir <= (threadIdx.y + (5 / 2));
         ir++) {
      neigh[ni++] = smem[ic][ir];
    }
  }

  // quick_select wie zuvor
}
```

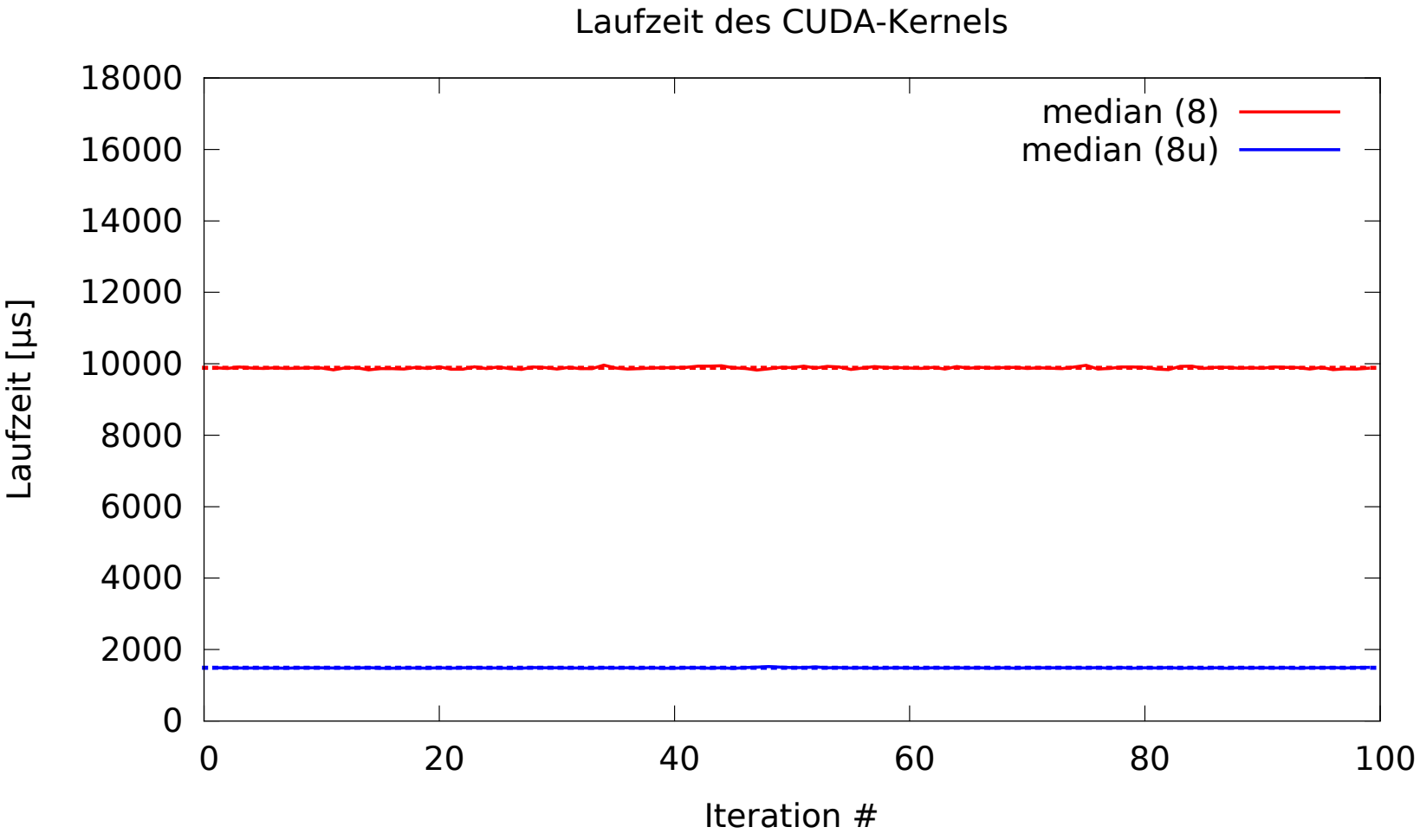
Median-Filter (median5/8)



Median-Filter (median8)

```
__global__ void median(uint8_t *output) {
    int ic, ir, ni = 0;
    float neigh[9], ma, mi;
    for (ic = (x - 1); ic <= (x + 1); ic++) {
      for (ir = (y - 1); ir <= (y + 1); ir++) {
        neigh[ni++] = tex2D(depthT, ic, ir);
      }
    }
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
      for (int j = 0; j < (8-i); j++) {
        ma = fmaxf(neigh[j], neigh[j+1]);
        mi = fminf(neigh[j], neigh[j+1]);
        neigh[j] = mi;
        neigh[j+1] = ma;
      }
    }
    int c = (float)(2048 * 256) / (neigh[9/2] -
       2048.0);
}
```

Median-Filter (median8/8u)



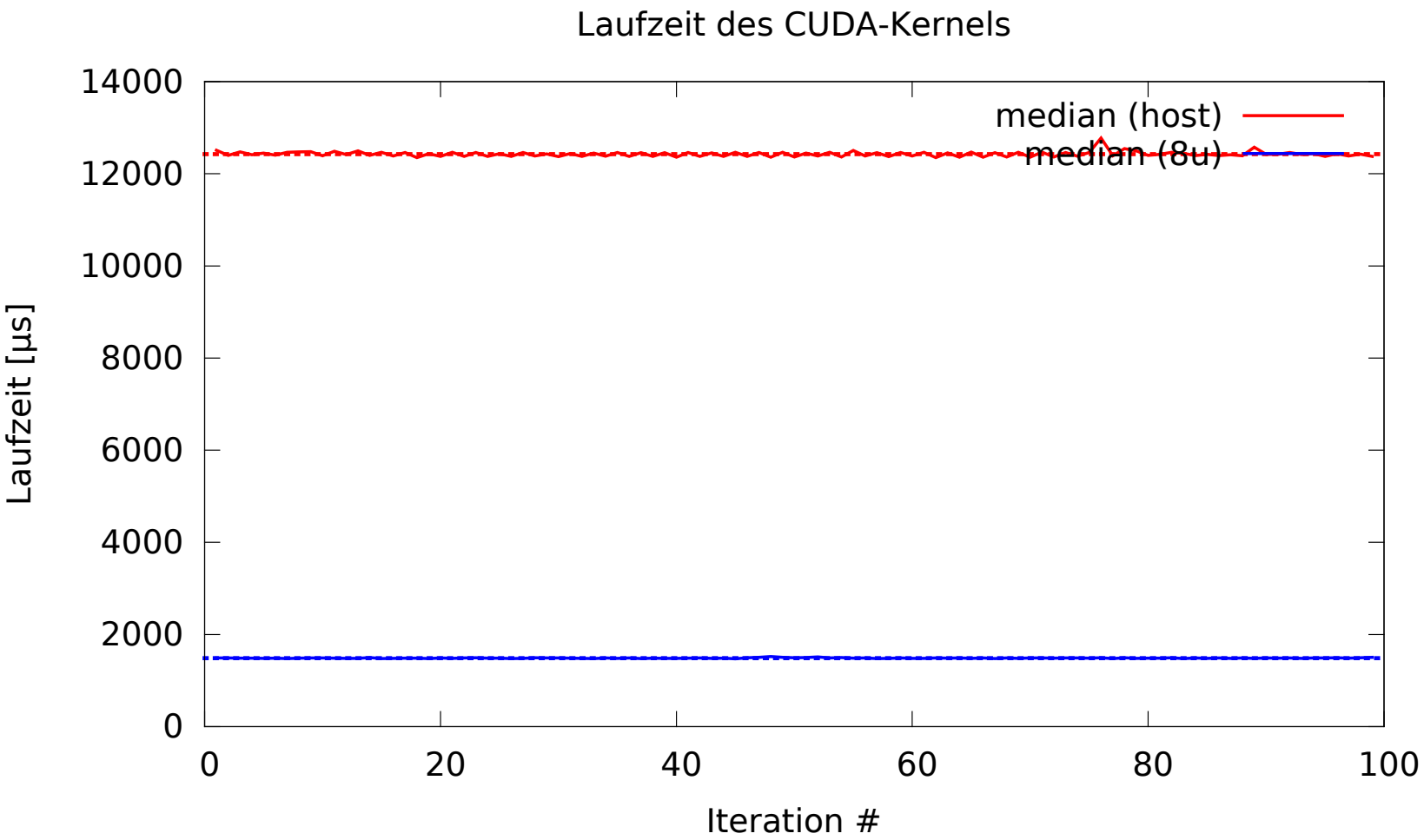
Median-Filter, PTX (median8)

```
$Lt_0_5634:
 //<loop> Loop body line 89, nesting depth: 1, iterations: 8
    mov.u32     %r58, 0;
    setp.le.s32     %p1, %r57, %r58;
    @%p1 bra    $Lt_0_5890;
    mov.s32     %r59, %r57;
    mov.u64     %rd1, __cuda___cuda_local_var_19377_11_non_const_nneighbors_1624;
    mov.s32     %r60, 0;
    mov.s32     %r61, %r59;
$Lt_0_6402:
 //<loop> Loop body line 89, nesting depth: 2, estimated iterations: unknown
    .loc    16  96  0
    ld.local.f32    %f70, [%rd1+0];
    ld.local.f32    %f71, [%rd1+4];
    max.f32     %f72, %f70, %f71;
    .loc    16  98  0
    min.f32     %f73, %f70, %f71;
    st.local.f32    [%rd1+0], %f73;
    .loc    16  99  0
    st.local.f32    [%rd1+4], %f72;
    add.s32     %r60, %r60, 1;
    add.u64     %rd1, %rd1, 4;
    setp.ne.s32     %p2, %r57, %r60;
    @%p2 bra    $Lt_0_6402;
```

Median-Filter (median8)

```
__global__ void median(uint8_t *output) {
    int ic, ir, ni = 0;
    float neigh[9], ma, mi;
    for (ic = (x - 1); ic <= (x + 1); ic++) {
      for (ir = (y - 1); ir <= (y + 1); ir++) {
        neigh[ni++] = tex2D(depthT, ic, ir);
      }
    }
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
      for (int j = 0; j < 8; j++) {
        ma = fmaxf(neigh[j], neigh[j+1]);
        mi = fminf(neigh[j], neigh[j+1]);
        neigh[j] = mi;
        neigh[j+1] = ma;
      }
    }
    int c = (float)(2048 * 256) / (neigh[9/2] -
       2048.0);
}
```

Fazit



Speedup durch CUDA: $\approx 12x$

Portierung auf GPU

- Ausgangssituation (CPU)
  - SDL Surface
  - Softwarerendering
  - 3 FPS bei einschalten der Filter
- Ziel (GPU)
  - Bilder von Host auf Grafikkarte kopieren
  - Bilder auf Grafikkarte berechnen
  - Bilder von Grafikkarte auf Host kopieren
  - extrem langsam

Optimierung 1

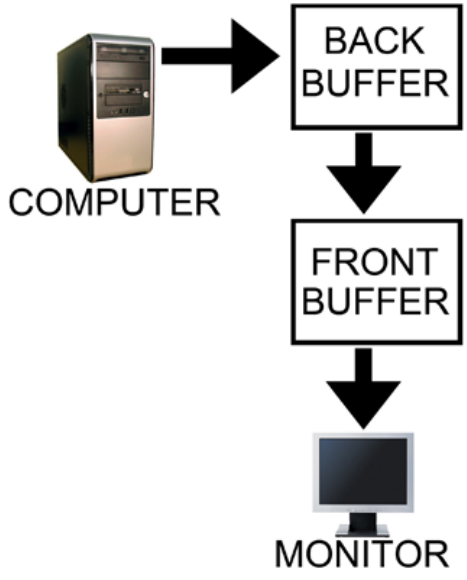
- Alle Bilder in einen Block
- Weniger Memcopys
- Immernoch zu langsam (5fps)
- Kosten für ein Memcopy 7ms
- Maximale Durchlaufdauer 30ms

Optimierung 2

- Hardwarerendering mit OpenGL
- Spezielle OpenGL-Bufferobjekte
- Nur noch kopieren der Input-Bilder erforderlich

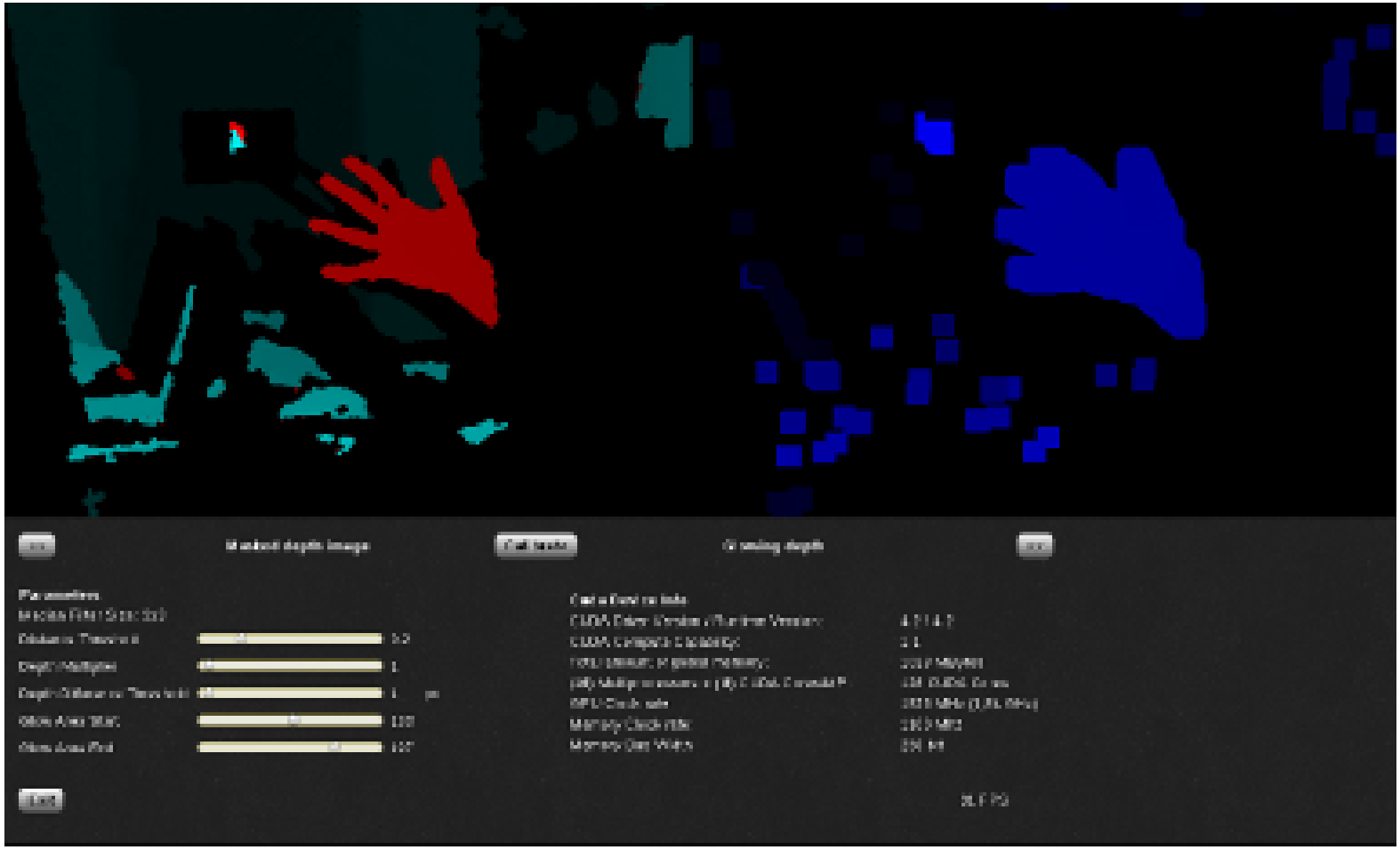
Optimierung 3

- Doublebuffering verhindert flackern
- BufferObjekt besteht aus front & back
- Bufferwechsel bei Pixelveränderung
- VSync



GPU GUI

- Alte SDL-GUI keine OpenGL unterstützung
- Awesomium



Ausblick

- Bewegung interpolieren
- Extremitäten statt Pixel
- Visuell bedienbare GUI
  - Buttons
  - Gesten
- Ausführlichere Dokumentation
- Plattformabhänigkeit minimieren

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit