

# Zeitlich stabile blue noise Fehlerverteilung im Bildraum für Echtzeitanwendungen

Bachelorarbeit von

**Jonas Heinle**

An der Fakultät für Informatik  
Institut für Visualisierung und Datenanalyse,  
Lehrstuhl für Computergrafik

21. November 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Prelude</b>	<b>1</b>
1.1	Abstract . . . . .	1
1.2	Einleitung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Path Tracer . . . . .	2
2.1.0.1	Funktionsweise . . . . .	2
2.1.0.2	Monte-Carlo-Integration . . . . .	3
2.2	Blue Noise . . . . .	3
2.2.1	Eigenschaften . . . . .	3
2.2.1.1	Uniformität . . . . .	3
2.2.1.2	Niedrige Frequenzen . . . . .	3
2.2.1.3	Isotropie . . . . .	4
2.2.1.4	Kachelung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Temporal Algorithmus</b>	<b>5</b>
3.1	Sorting . . . . .	5
3.2	Retargeting . . . . .	5
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>7</b>

# **1. Prelude**

## **1.1 Abstract**

## **1.2 Einleitung**

## 2. Grundlagen

### 2.1 Path Tracer

#### 2.1.0.1 Funktionsweise

Bei der Bilderzeugung, ausgehend von Szenen, welche viel Geometrie beinhalten bzw. bei Szenen die generelle BRDF's verwenden eignet sich das 2.1path tracing [Kaj86]. Das 2.1path tracing ist in Hinsicht der Beleuchtung komplett. Deshalb lässt sich damit *Global Illumination* erreichen. Das hier verwendete 2.1path tracing in [BYF<sup>+</sup>18, eragae] verwendet eine klassische Umsetzung.

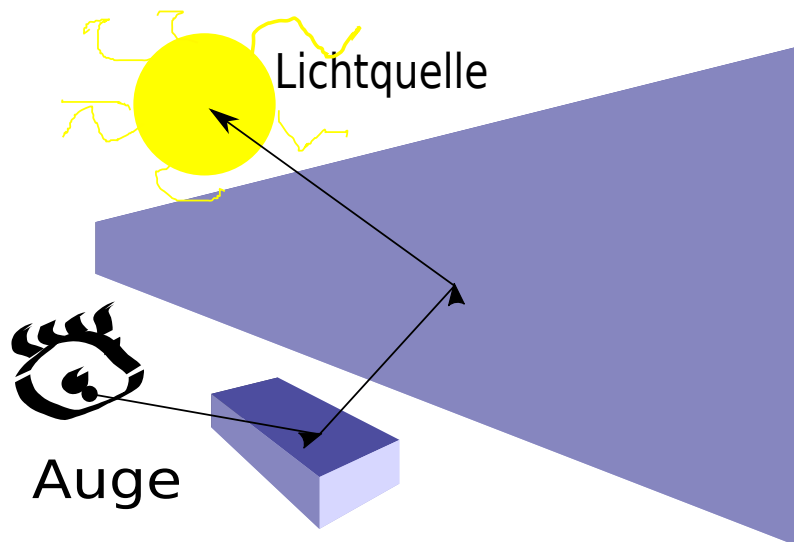


Abbildung 2.1: Grundkonzept path tracer

Wie in [MS09] beschrieben wird ausgehend von der vollständigen Transportgleichung

$$L_s(k_0) = L_e(k_0) + \int_{all(k_i)} \rho(k_i, k_0) * L_f(k_i) * \cos(\theta_i) d\theta_i \quad (2.1)$$

$$I(x, x') = g(x, x') * \left[ \epsilon(x, x') + \int_S \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right] \quad (2.2)$$

Sie beschreibt den Energietransport  $I$  von einem Punkt  $x'$  zu einem Punkt  $x$ . Dabei ist ein maßgebender Faktor der Geometrieterm  $g$ , der die relative Lage der beiden Punkte zueinander im Raum beschreibt. Ein weiterer Faktor ist die Abstrahlung  $\epsilon$  von  $x'$  nach  $x$ . Beeinflusst wird der Energiefluss auch durch die bidirektionale Verteilungsfunktion  $\rho$ , welche Aufschluss über das einfallende Licht von einem Punkt  $x''$  über  $x'$  zu  $x$  gibt.

Die Schlussfolgerung aus dieser Gleichung 2.2 ist: Die transportierte Intensität von einem Licht zu einem Anderen ist die Summe des ausgestrahlten Lichts und das ausgestrahlte Licht zu  $x$  von allen anderen Oberflächen.

### 2.1.0.2 Monte-Carlo-Integration

Mit der Monte Carlo Integration approximieren wir die Rendergleichung.

Bei gegebener Funktion  $f : S \rightarrow \mathbb{R}$  und der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $x \sim p$  [DS02]

$$\int_{x \in S} g(x) d\mu \simeq \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \frac{g(x_i)}{p(x_i)} \quad (2.3)$$

...

## 2.2 Blue Noise

### 2.2.1 Eigenschaften

Wie in [Gam17] vorgestellt, macht man sich die Eigenschaften einer blue noise Textur zu Nutze. Dabei werden im Folgenden, die dort bereit gestellten blue noise verteilten Texturen verwendet, welche anhand des in [Uli93] vorgestellten Algorithmus erstellt wurden. Die korrespondierenden Spektren werden mit Hilfe von [FFT] erstellt.

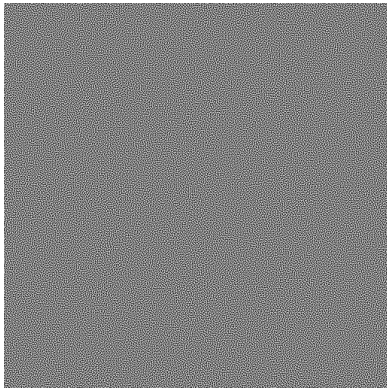
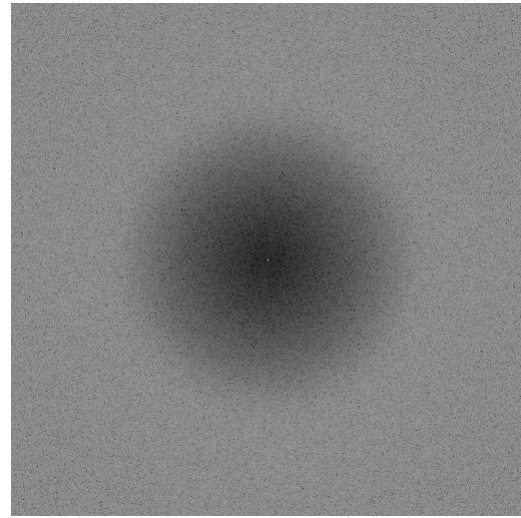
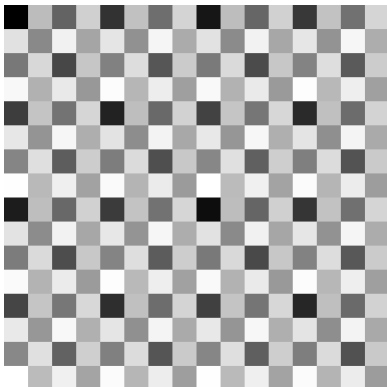
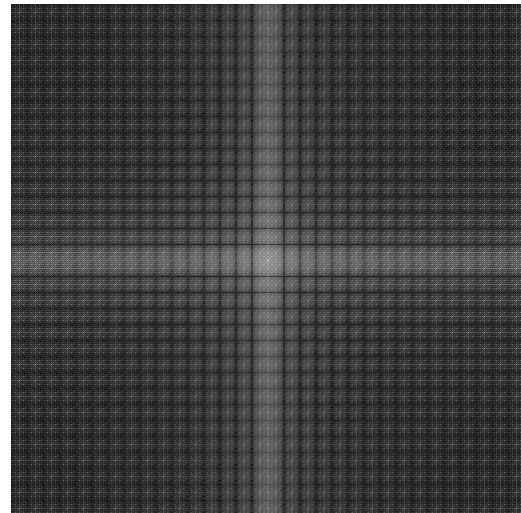
#### 2.2.1.1 Uniformität

Die Uniformität (lat. *uniformitas*-Einförmigkeit) garantiert uns wie in [Uli88] eine gleichverteilte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion mit zugehöriger gleichverteilter Wahrscheinlichkeitsfunktion. In [Gam17] sieht sie wie folgt aus:

$$P(n \leq p) = p \quad (2.4)$$

#### 2.2.1.2 Niedrige Frequenzen

Niedrige Frequenzen sind in einer blue noise sehr wenig bis gar nicht vertreten. Dies ist an dem schwarzen Ring innerhalb der Fouriertransformierten zu erkennen 2.2.1.2.

Abbildung 2.2:  $512^2$  blue noise TexturAbbildung 2.3: Fourier Spektrum  $512^2$  blue noise TexturAbbildung 2.4:  $512^2$  bayer pattern TexturAbbildung 2.5: Fourier Spektrum  $512^2$  bayer pattern Textur

### 2.2.1.3 Isotropie

Die Isotropie (altgr. *isos*-gleich und *tropos*-Richtung) einer blue noise Textur wird ausgenutzt. Dabei haben wir in allen Dimensionen (in dieser Arbeit werden Texturen mit zwei benutzt) die Unabhängigkeit einer Eigenschaft.

### 2.2.1.4 Kachelung

Eine weitere nützliche Eigenschaft der blue noise Verteilung ist die Möglichkeit der Kachelung.

...

## 3. Temporal Algorithmus

Im Folgenden wird auf den in [EH19] vorgestellten Algorithmus eingegangen.

...

### 3.1 Sorting

(replace dummy code with correct code) [EH19]

ToDo

---

**Algorithm 1** Sortier Schritt  $t$  nach dem Rendern von Frame  $t$  und vor dem Rendern von Frame  $t+1$

---

```
1: pixel consists of value,index;
2: List framePixelsIntensities, noiseIntensities;
3: List  $L \leftarrow$  pixels in block
4: //init lists
5: for all  $(i,j) \leftarrow L$  do
6:   framePixelsIntensities $(i,j)$  = pixelIntensity(frame $(i,j)$ );
7:   noiseIntensities $(i,j)$  = pixelIntensity(blueNoise $(i,j)$ );
8: end for

9: //sort the two lists by means of intensities
10: sort(framePixelsIntensities);
11: Sort(noiseIntensities);

12: //now we reorder our seeds hence the sorted lists
13: for all  $i = 1..numberOfPixelsPerBlock$  do
14:   sortedSeeds(noiseIntensities.getIndex(i)) = incomingSeeds(framePixelIntensities.getIndex(i));
15: end for
```

---

...

### 3.2 Retargeting

(replace dummy code with correct code) [EH19]

ToDo

...

---

**Algorithm 2 Retargeting Schritt t Vor Rendern Frame t+1 nach Sortier Schritt**

---

```

1: //permutation indices from precomputed texture
2: List<PixelPermutation> L = getRetargetedSeedsIndices(incomingSeeds);
3: for all i = 1 .. numberOfPixelsPerBlock do
4:   retargetedSeeds(L.getPermIndices()) = incomingSeeds(L.getOldIndices());
5: end for

```

---



# Literaturverzeichnis

- [BYF<sup>+</sup>18] Nir Benty, Kai Hwa Yao, Tim Foley, Matthew Oakes, Conor Lavelle und Chris Wyman: *The Falcor Rendering Framework*, Mai 2018. <https://github.com/NVIDIAGameWorks/Falcor>, <https://github.com/NVIDIAGameWorks/Falcor>.
- [DS02] G. Drettakis und H. P. Seidel: *Efficient Multidimensional Sampling*. 21:1–8, 2002.
- [EH19] Laurent Belcour Eric Heitz: *Distributing Monte Carlo Errors as a Blue Noise in Screen Space by Permuting Pixel Seeds Between Frames*. 38:1–10, 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02158423/document>.
- [FFT] *FFTProg*. <http://bigwww.epfl.ch/demo/ip/demos/FFT/>. Accessed: 21.11..2019.
- [Gam17] Epic Games: *The problem with 3d blue noise*, 2017. <http://momentsingraphics.de/3DBlueNoise.html>, Blogpost.
- [Kaj86] James T Kajiya: *The rendering equation*. In: *ACM SIGGRAPH computer graphics*, Band 20, Seiten 143–150. ACM, 1986.
- [MS09] Steve Marschner und Peter Shirley: *Fundamentals of computer graphics*. CRC Press, 2009.
- [Uli88] R. A. Ulichney: *Dithering with blue noise*. Proceedings of the IEEE, 76(1):56–79, Jan 1988, ISSN 1558-2256.
- [Uli93] Robert A Ulichney: *Void-and-cluster method for dither array generation*. In: *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, Band 1913, Seiten 332–343. International Society for Optics and Photonics, 1993.



# Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht und die Satzung des KIT zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der jeweils gültigen Fassung beachtet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen.

Karlsruhe, den 21. November 2019

(Jonas Heinle)