



# **TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN**

Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen

Prof. Dr. -Ing. Georg Wachtmeister

## **Titel der Arbeit**

Masterarbeit

Verfasser: B.Sc. Max Mustermann

Matrikel-Nr.: 0000000000

Studienrichtung: Fahrzeug- und Motorentechnik

Betreuer: Dipl. -Ing. James Bond

Ausgabe am: 01. Januar 2015

Abgabe am: 01. Juli 2015

# Aufgabenstellung

**Masterarbeit/ SA/ BA**

**Titel der Arbeit**

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Der Kandidat verpflichtet sich, die Masterarbeit selbstständig durchzuführen und die von ihm verwendeten wissenschaftlichen Hilfsmittel anzugeben. Der Lösungsweg und die Ergebnisse sind zu dokumentieren. Die eingereichte Arbeit verbleibt als Prüfungsunterlage im Eigentum des Lehrstuhls und wird Dritten nicht zugänglich gemacht.

Bearbeitungszeitraum: 01. Januar 2015 – 01. Juli 2015

München, den 28. Mai 2015

---

Dipl.-Ing. James Bond

---

B.Sc. Max Mustermann

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bildverzeichnis</b>	<b>ii</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>iv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1 Formeln . . . . .	3
2.1.1 Plots . . . . .	3
2.2 Bilder einfügen . . . . .	4
2.3 Abkürzungen und Zahlen mit Einheiten . . . . .	4
2.4 Tabellen . . . . .	5
<b>3 Versuchsträger</b>	<b>6</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Anhang A</b>	<b>8</b>
<b>Anhang B</b>	<b>9</b>

# Bildverzeichnis

2.1	Verlauf der Kolbengeschwindigkeit ( $\lambda = 0.32, n = 1500 \frac{1}{\text{min}}$ ) . . . . .	3
2.2	Untersuchter Kolben mit Kolbenringen . . . . .	4

# Tabellenverzeichnis

2.1 Motor- und Betriebspunktdaten . . . . . 5

# Nomenklatur

## Lateinische Symbole

<i>Symbol</i>	<i>Einheit</i>	<i>Bedeutung</i>
$A$	$\text{m}^2$	Fläche
$\tilde{a}$	—	entdimensionierte Beschleunigung
$a$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	Beschleunigung
$C_\mu$	—	Empirischer Schließungskoeffizient
$c_m$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Mittlere Kolbengeschwindigkeit
$C_H$	—	Empirische Modellierungskonstante
$c_p$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
$c_v$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
$D_d$	$\text{m}$	Empirischer Tropfen-/ Blasendurchmesser der dispersen Phase
$\mathbf{f}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$	Vektor der Volumenkraft auf das Kontrollvolumen
$\mathbf{H}_{kl}$	$\frac{\text{J}}{\text{m}^3\cdot\text{s}}$	Energieaustausch zwischen den Phasen k und l über den Rand $\partial V$ des Kontrollvolumens $V$ hinweg
$H_c, -H_d$	$\frac{\text{J}}{\text{s}}$	Enthalpieströme von der kontinuierlichen Phase c zur dispersen Phase d
$h_k$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	Spezifische Enthalpie der Phase k
$k$	—	k-Faktor
$k_k$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	Turbulente kinetische Energie (TKE) der Phase k
$l$	$\text{m}$	(Pleuel-)Länge
$\dot{m}$	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$	Massenstrom
$\mathbf{M}_{kl}$	$\text{N}$	Impulsaustausch zwischen den Phasen k und l über den Rand $\partial V$ des Kontrollvolumens $V$ hinweg
$N$	—	Anzahl der Einzelphasen
$n$	$\frac{1}{\text{min}}$	Drehzahl
$Nu$	—	Nusseltzahl



## Griechische Symbole

*Symbol    Einheit    Bedeutung*

$\alpha$	$\frac{1}{\text{K}}$	Wärmeausdehnungskoeffizient
$\alpha_k$	—	Volumenanteil der Phase k
$\Gamma_{kl}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}}$	Massenaustausch zwischen den Phasen k und l über den Rand $\partial V$ des Kontrollvolumens $V$ hinweg
$\epsilon_k$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}^3}$	Dissipationsrate der Phase k
$\kappa$	—	Isentropenexponent
$\kappa_c$	$\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}$	Wärmeleitfähigkeit der kontinuierlichen Phase
$\lambda$	—	Schubstangenverhältnis
$\mu_k$	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	Dynamische Viskosität
$\mu_k^t$	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	Turbulente Viskosität
$\rho_k$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Dichte der Phase k
$\tau_k$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	Schubspannungen der Phase k (Tensor)
$\varphi$	°	Kurbelwinkel (°KW)
$\Psi$	—	Durchflussfunktion
$\psi$	°	Winkel um die Kolbenhochachse
$\omega$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$	Winkelgeschwindigkeit

## Konstanten

*Symbol    Wert    Bedeutung*

$\pi$	3.141 593	Kreiszahl
$R$	8.314 472 $\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$	Universelle Gaskonstante



## Mathematische Symbole

*Symbol*    *Bedeutung*

$x$	Skalar
$\mathbf{v}$	Vektor, Matrix
$\partial/\partial x_i$	Partielle Ableitung
$\nabla$	Nabla-Operator ( $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n} \right)$ )
$\int$	Integral
$\sum$	Summe
$\mathbf{I}$	Einheitstensor

## Indizes

*Symbol*    *Bedeutung*

$c$	Kontinuierlich
$d$	Dispers
$i$	Indiziert
$s$	Simuliert





### **Akronyme**

<b>OT</b>	Oberer Totpunkt
<b>ZOT</b>	Zünd-OT

# 1 Einleitung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft.



schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Formeln

Nach [1, S. 157 ff.] (Beispiel für Zitat) ergibt sich:

$$\dot{m}_2 = A_2 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \sqrt{2c_p \rho_1^2 \frac{p_1 \frac{1}{\rho_1}}{c_p \left( \frac{\kappa-1}{\kappa} \right)} \left( 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right)} \quad (2.1)$$

$$= A_2 \sqrt{2p_1 \rho_1} \underbrace{\sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left( \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)}}_{\text{Durchflussfunktion } \Psi} \quad (2.2)$$

Gleichung 2.2 kann auch referenziert werden (S. 3).

#### 2.1.1 Plots

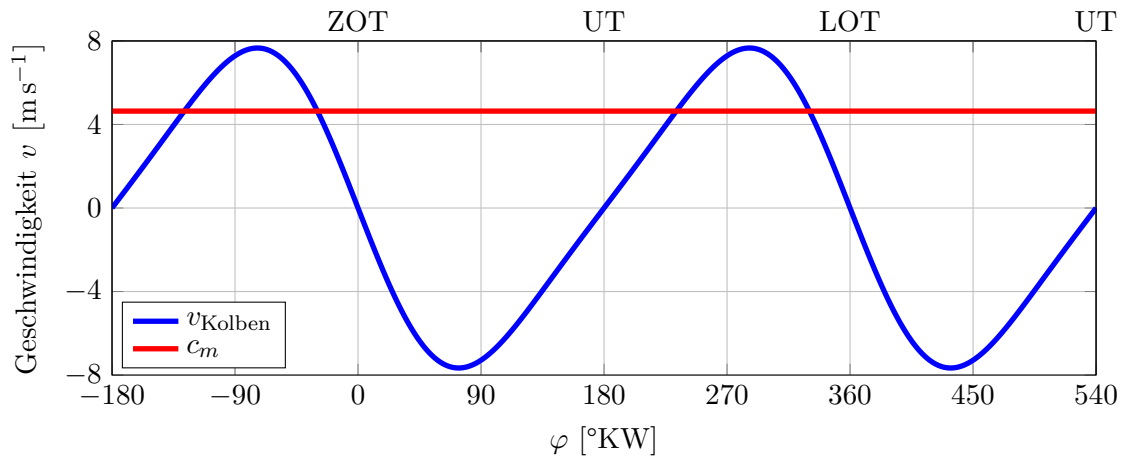


Abbildung 2.1: Verlauf der Kolbengeschwindigkeit ( $\lambda = 0.32$ ,  $n = 1500 \frac{1}{\text{min}}$ )



## 2.2 Bilder einfügen

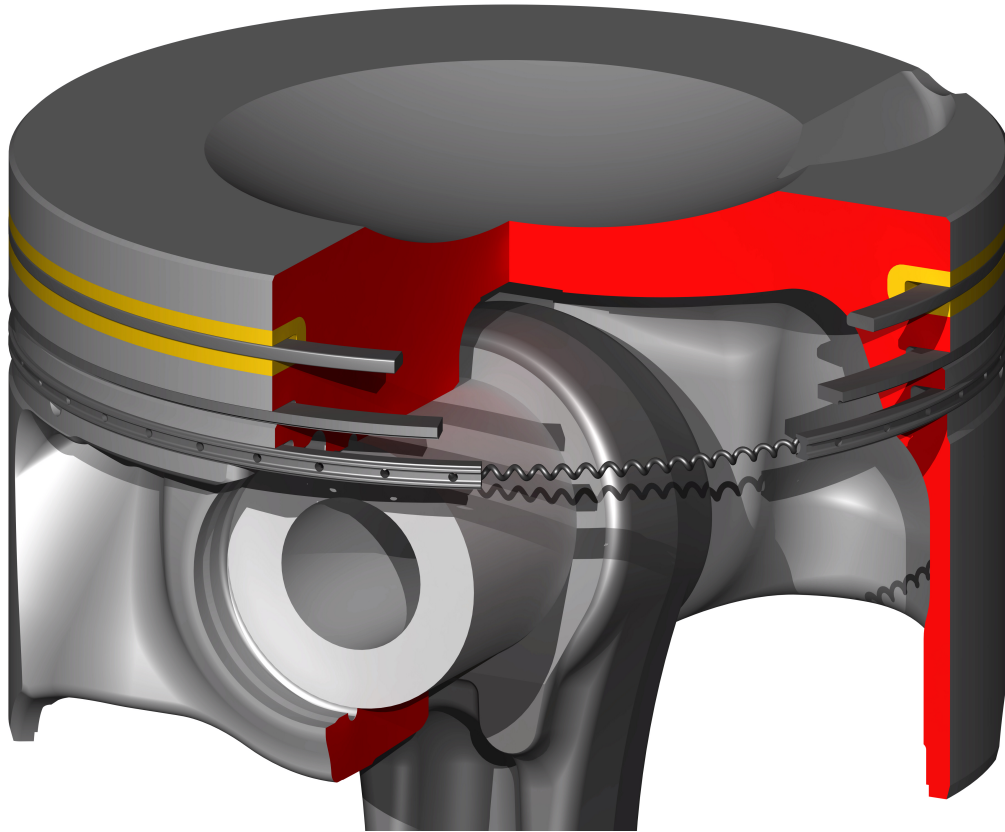


Abbildung 2.2: Untersuchter Kolben mit Kolbenringen

## 2.3 Abkürzungen und Zahlen mit Einheiten

Abkürzungen wie Oberer Totpunkt (OT) und Zünd-OT (ZOT) können mit dem Acronym-usepackage verwaltet werden.

Einheiten werden mit siunitx richtig gesetzt, z. B.  $20\text{ }^{\circ}\text{KW}$ , oder  $5.2\text{ }\frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Auch werden große Zahlen leichter lesbar dargestellt: Standard: 1000017 Pa mit siunitx: 1 000 017 Pa. Bereiche können leicht angegeben werden:  $10\text{ }^{\circ}\text{KW} - 100\text{ }^{\circ}\text{KW}$  und auch Exponenten:  $1.456 \cdot 10^6\text{ }\frac{\Omega}{\mu\text{m}^2}$ .



## 2.4 Tabellen

Größe	Wert
Hub $s = 2 \cdot r$	92.8 mm
Pleuellänge $l$	144 mm
Drehzahl $n$	1500 $\frac{1}{\text{min}}$
Indizierter Mitteldruck $p_{mi}$	5 bar

Tabelle 2.1: Motor- und Betriebspunktdaten

### 3 Versuchsträger

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

# Literaturverzeichnis

- [1] KÖHLER, Eduard ; FLIERL, Rudolf: *Verbrennungsmotoren: Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors ; mit ... 23 Tabellen.* 6., erw. Aufl. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2011 (Praxis). – ISBN 978-3-8348-1486-9



# Anhang A

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## Anhang B

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.