



# Algorithmen der Bildverarbeitung

## Punktoperationen und Filter

Basisinformationstechnologie II – Sommersemester 2020 – 28.06.2021

Dr. Jan Wieners

# Themenüberblick

- Eine Herausforderung um OCR und Merkmalsextraktion
- Vorverarbeitung: Verbesserung des Quellmaterials
  - Punktoperationen
    - Umwandlung RGB → Graustufenbild
    - Histogramm
    - Binarisierung
  - Filter
    - Mittelwertfilter
    - Medianfilter

# Optische Zeichenerkennung (OCR) in schwierigen Umgebungen



# CEEC

Codices Electronici  
Ecclesiae Coloniensis

Erzbischöfliche  
Diözesan- und  
Dombibliothek



Universität zu Köln  
- HKI -

Gefördert durch die Deutsche  
Forschungsgemeinschaft





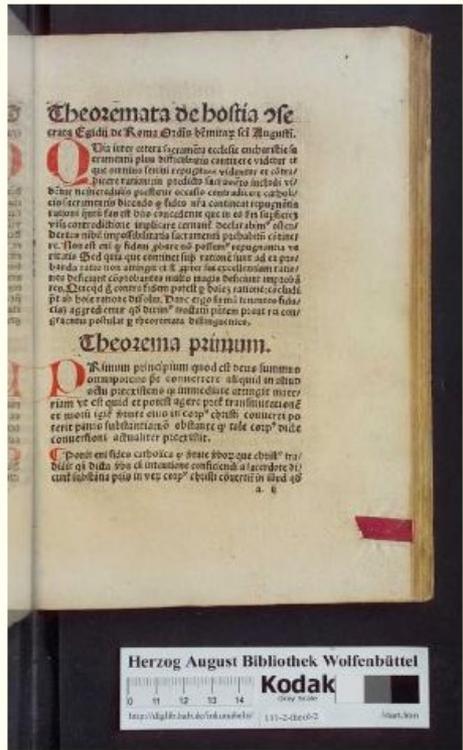
Digitalisate nach ...

ISTC Nr.: ia00078000 HAB Wolfenbüttel: 111-2-theol-2 3



ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Verfasser	Titel	ISTC
<b>Abstemius, Laurentius:</b> 1499	Fabulae (Ed: Domicus Palladius Soranus). Add: Aesopus: Fabulae (Tr: Laurentius Valla) (ISTC Nr.: ia00012000)	
<b>Accoltis, Franciscus de:</b> 1481	Super secundo libro Decretalium (ISTC Nr.: ia00020500)	
<b>Adrianus Carthusiensis:</b> 1470 1470-72	De remediis utriusque fortunae (ISTC Nr.: ia00054000)	
<b>Adrianus Carthusiensis:</b> 1484 1487	De remediis utriusque fortunae (ISTC Nr.: ia00057000)	
<b>Aegidius (Columna) Romanus:</b> 1490	De corpore Christi theoremata L, sive Theoremata de hostia consecrata (ISTC Nr.: ia00078000)	
<b>Aegidius (Columna) Romanus:</b> 1493	De esse et essentia theoremata XXII. With commentary (ISTC Nr.: ia00080000)	
<b>Aegidius (Columna) Romanus:</b>	De partibus philosophiae. De differentia rhetoricae, politicae et ethicae. De gradibus formarum accidentalium. Quaestio de gradibus formarum in ordine ad Christi opera	



Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel  
 Kodak  
 http://dlib.ub.uni-koeln.de/inkunabeln/ 111-2-theol-2



vdlb - Verteilte Digitale In x WDB - Wolfenbütteler Dig x

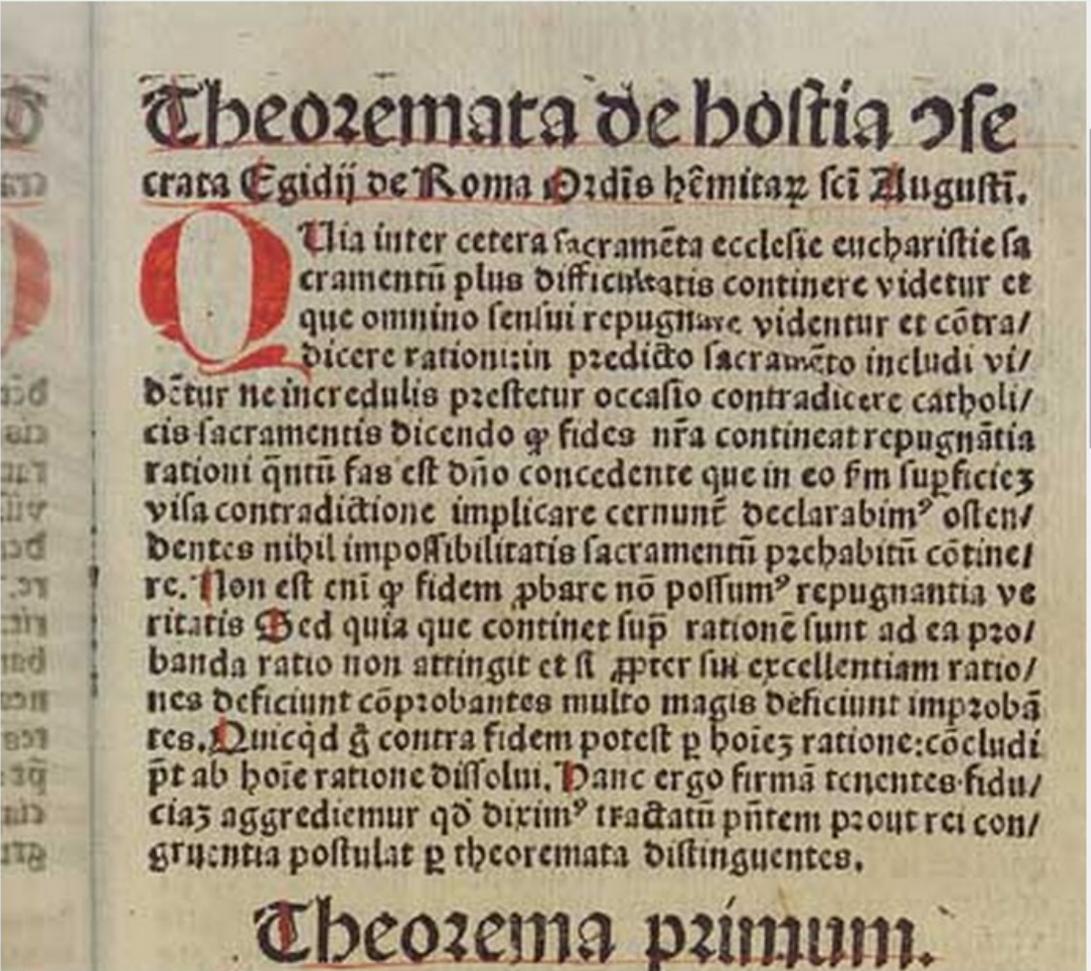
diglib.hab.de/inkunabeln/111-2-theol-2/start.htm?image=00003&imgtyp=2

Theoremata de hostia co[n]secrata Egidij de roma ordinis heremita[rum] sancti Augustini / Egidius &#60;de Roma&#62;. - [Electronic ed.]. - Colonia : Koelhoff, 14.X.1490  
Permalink: <http://diglib.hab.de/inkunabeln/111-2-theol-2/start.htm>

Deutsch

--- select display type--- Digital library Bibliographic description How to quote? Citations Download | Order CD Copyright

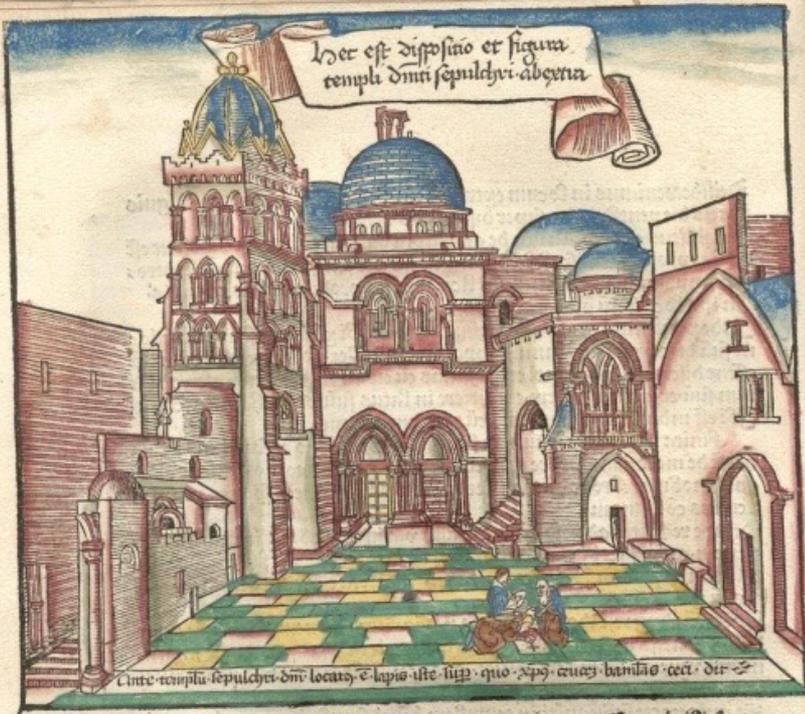
- section Theoremata de hostia consecrata Egidii de Roma Ordinis heremitarum sancti Augustini.
  - section Theorema primum.
    - section PRimum principium quod est deus summus omnipotens possit conuertere aliquid in aliud ...
  - section Capitulum quintum.
    - section QUod corpus christi vt est sub sacramento altaris aliquo modo determinatur ad locum licet non circumscribat nec diffiniatur ibidem.



**Theoremata de hostia consecrata Egidij de Roma Ordinis heremitarum sancti Augustini.**

**Q**uia inter cetera sacramenta ecclesie eucharistie sacramentum plus difficultatis continere videtur et que omnino sensui repugnare videntur et contra dicere rationi: in predicto sacramento includi videtur ne incredulis prestetur occasio contradicere catholicis sacramentis dicendo quod fides nostra contineat repugnantia rationi quantum fas est domino concedente que in eo sine superficie visa contradictione implicare cernuntur declarabimus ostendentes nihil impossibilitatis sacramentum prehabitu continere. Non est enim quod fidem probare non possumus repugnantia veritatis. Sed quia que continet super rationem sunt ad ea probanda ratio non attingit et si propter sui excellentiam rationes deficiunt comprobantes multo magis deficiunt improbares. Quicquid ergo contra fidem potest per hominum rationem concludi potest ab homine ratione dissolui. Hanc ergo firmam tenentes fiducia aggrediemur quod diximus tractatum partem prout rei congruentia postulat per theoremata distinguentes.

**Theorema primum.**



De ingressu in templum dñici sepulchri et processione inibi facta ad loca sacra.

**D**e .vij. Julij hora vespertina in ipm venerandū dñici sepulchri templū a paganis id est rectoribus ipsius ciuitatis sancte Ierosolime suim? admissi et numerati ostijs p eos apertis: pro qua re vnusquisq; nostrū quinq; exsoluit ducatos nec vnq; alias hoc aperitur templū ab eis nisi vel propter aduenientes peregrinos vel fratres mutandos qui ibi pro custodia deputantur. Quoz nobis intromissis templū clauerūt. Intrauerūt autē nobiscū Gardianus ipse et plures suoz cōfratru. Quāprimū autē deuotus quisq; xpianus vel peregrin? in templū hoc pedem posuerit: plenariā cosequitur remissionem.

Est autē hoc dispositio templi eiusdem sacratissimi. Ecclesia ipa rotunda est et habet p diametru inter columnas septuaginta tres pedes: ab sidesq; que habent p circuitū a muro exteriori ecclesie decē pedes super sepulchru dñi qd in mediū eiusdem ecclesie est apertura rotunda: ita vt rota cripta sancti sepulchri sit sub diuo. Galgathana autē ecclesia ad hēret istū est oblonga loco chori ecclesie sancti sepulchri adiuncta sed parū demissio: sunt tamē ambe sub vno tecto. Spelunca in qua est sepulchru dñi habet in lōgitudine octo pedes: in latitudine similiter octo vndiq; tecta marmore exteri? sed interi? est rupes vna sicut fuit tpe sepulture

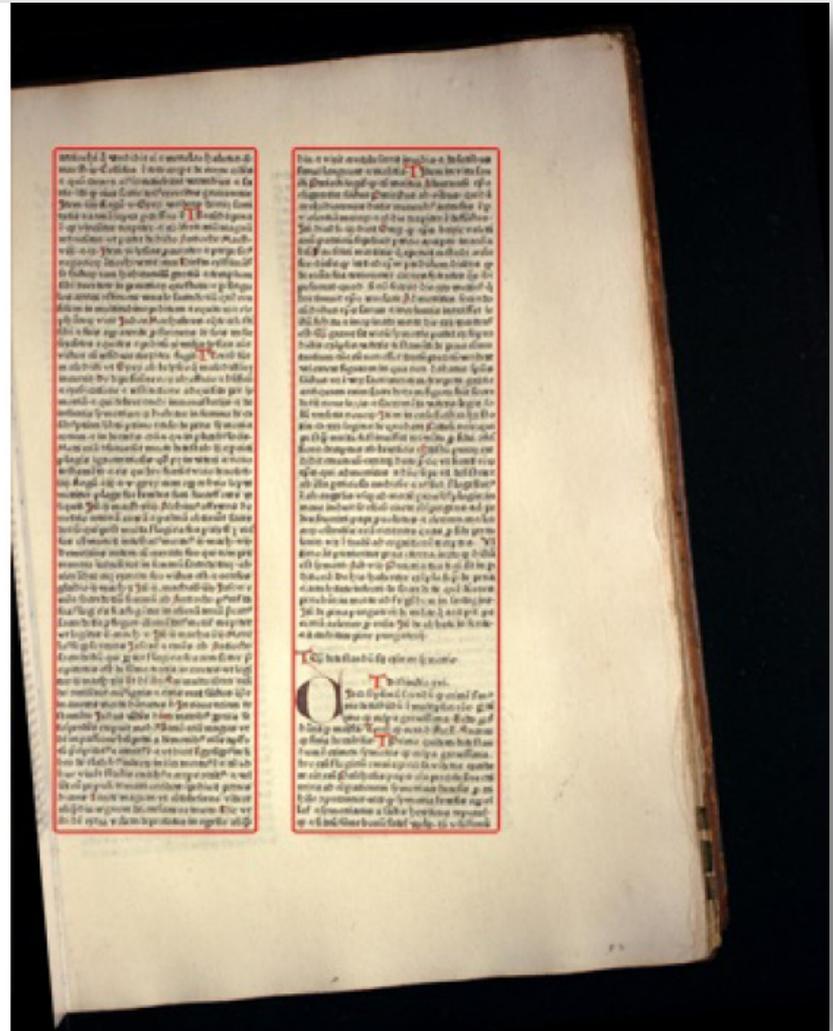
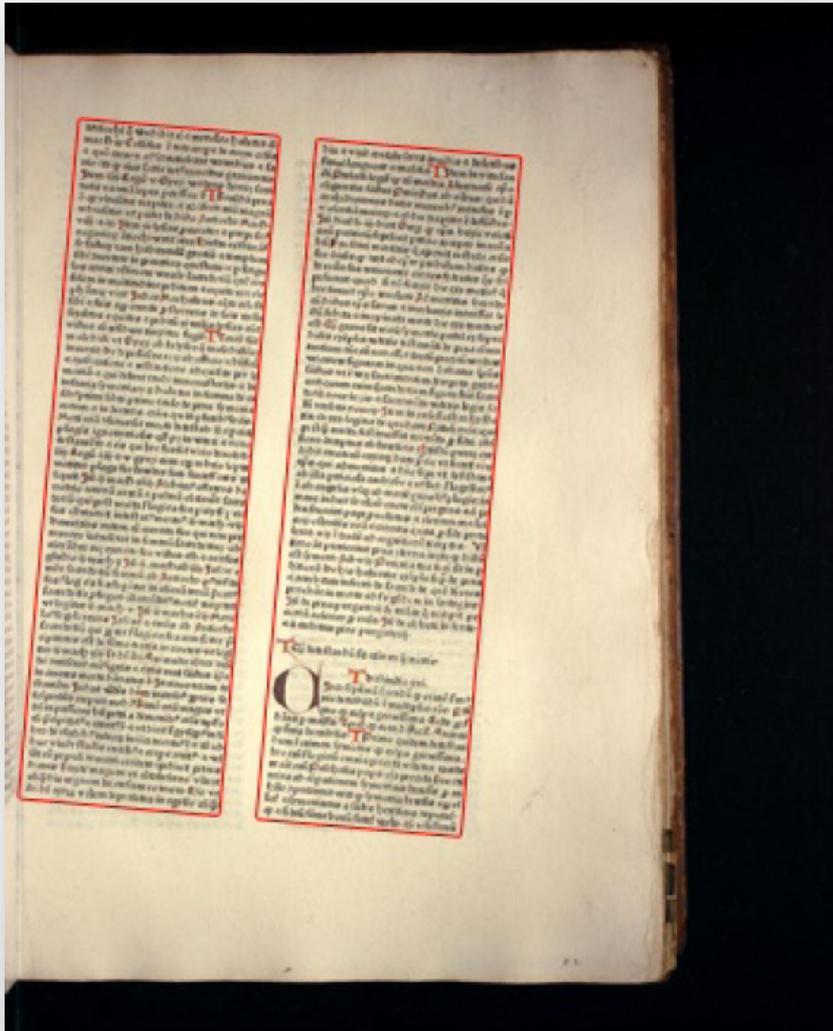
homo. **E**rite filii audite  
morem dñi docebo vos.  
homo qui uult uitam: di  
hies uidere bonos. **R**olibe  
in tuā a malo. **&** labia tua  
quantum dolum. **R**uertere  
o **&** fac bonum: inquire pa  
psequere eum. **E**culi dñi  
ntos. **&** aures eius in preces  
n. **V**ultus autem sup facien  
ala: ut pda de terra meo  
eorum. **L**anauerunt iusti  
s exaudiuit eos. **&** ex omni  
bulationibus eoz libera  
eos. **T**urra est dñs his qui  
mlata sunt corda: **&** hui  
bū saluabit. **A**ulte tribu  
nef eorum: **&** de his omni  
tante eos dñs. **C**ustodit  
omnia ossa eoz: **n**unquam ex  
non conterentur. **N**on peccato  
a pessima: **&** qui oderunt uis  
a delinquentibus. **E**demer dñs

99. 3. 35. \*

19. 7. 1 gram.

mensurabilem posuisti dies meos.  
substantia mea tanquam mel  
luna ante te. **V**erum tamen  
uer suauitas: omnis homo u  
uens. **E**ritum tamen in un  
ne pte: **n** homo: sed **&** frustis  
conturbatur. **H**esauriat **&** i  
norat: cui congregabit ea. **T**  
que est expectatio mea non me  
**&** substantia mea apud te est. **E**  
omnibus iniquis: **h**is non  
mei obprobrium in sapientia dñi  
mei. **H**ominis **&** non querit o  
meum: **o**mni tunc est amor et a  
plagas eoz. **F**erunt dñs  
tue **&** id est: in increpatione  
pore iniquitatem: **c**orruptio  
herum **&** tunc tabe facta  
licet dñs eam: **m**inimam  
cūstam **&** uane **&** uidebat  
nā homo: **a**uē: **n**ationem  
nā dñs: **d**elationem  
am dñs: **q**ue: **n**on as

# Deskew / „Geraderücken“



**De voluntate dei . xxxxiij**

**De iusticia dei . xxxxiij**

**De misericordia dei . xxx**

D e v o l u n t a t e d e i . x x x x i i j

D e i u s t i c i a d e i . x x x x i i j

D e m i s e r i c o r d i a d e i . x x x

"Zur Erweiterungsfähigkeit bestehender OCR  
Verfahren auf den Bereich extrem früher Drucke"

<https://github.com/janwieners/TED>

# Auf dem Weg zur Merkmalsextraktion

## Vorverarbeitung des Quellenmaterials

# Maschinelles Sehen

## Von der Rastergrafik zur Merkmalsextraktion – Algorithmen & Co.

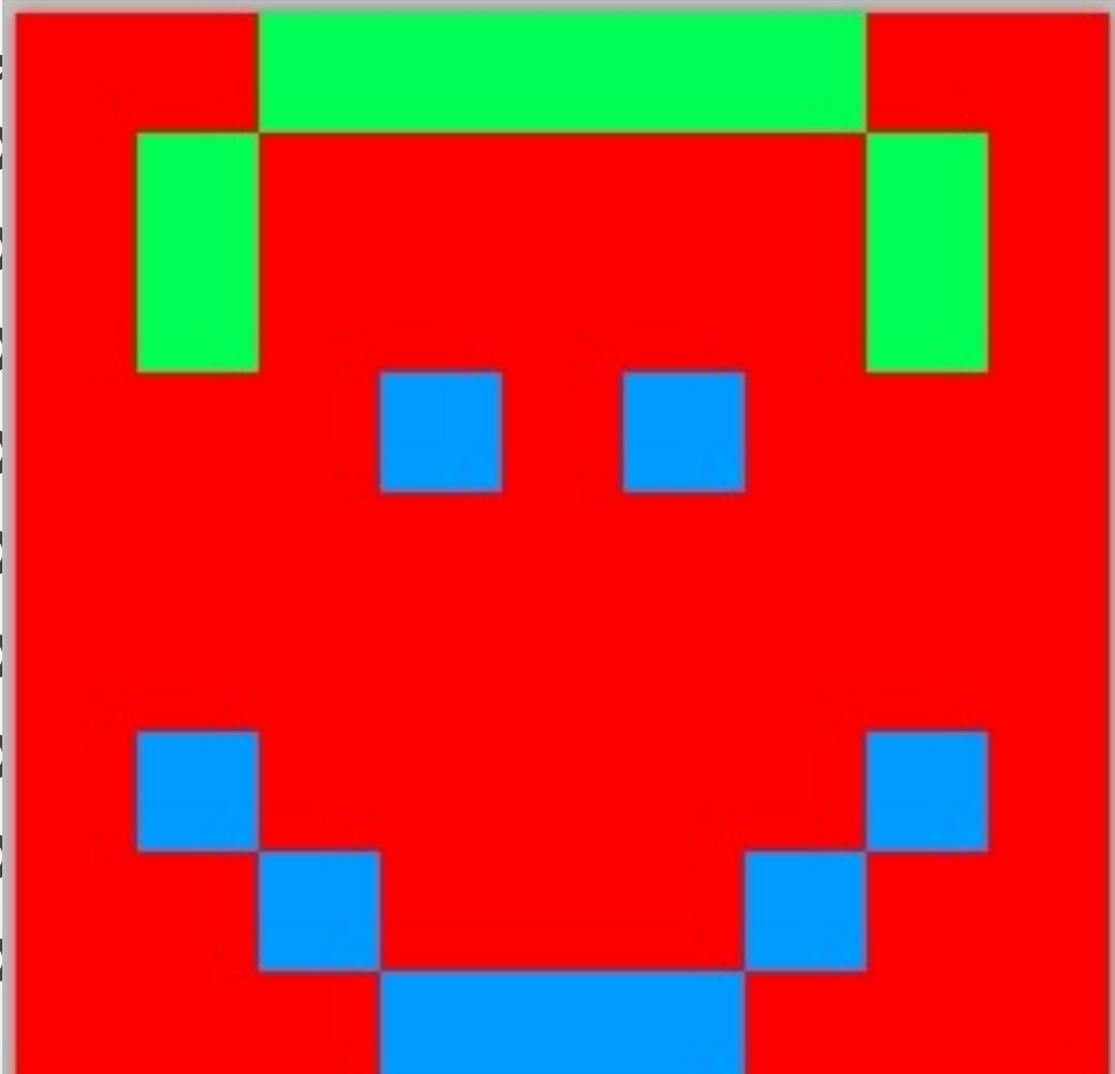
- Vorbereitung bzw. Vorverarbeitung, u.a.:
  - Punkt-Operationen
  - Filter
  - Geometrische Operationen
    - Drehung, Streckung, Verschiebung des Bildes
- (Objektidentifikation)
- (Merkmalsextraktion)
- (Clustering, z.B. Kohonen-Karte / Selbstorganisierende Karte)

# Punkt-Operationen

und Objektisolierung (Anwendungsfall)

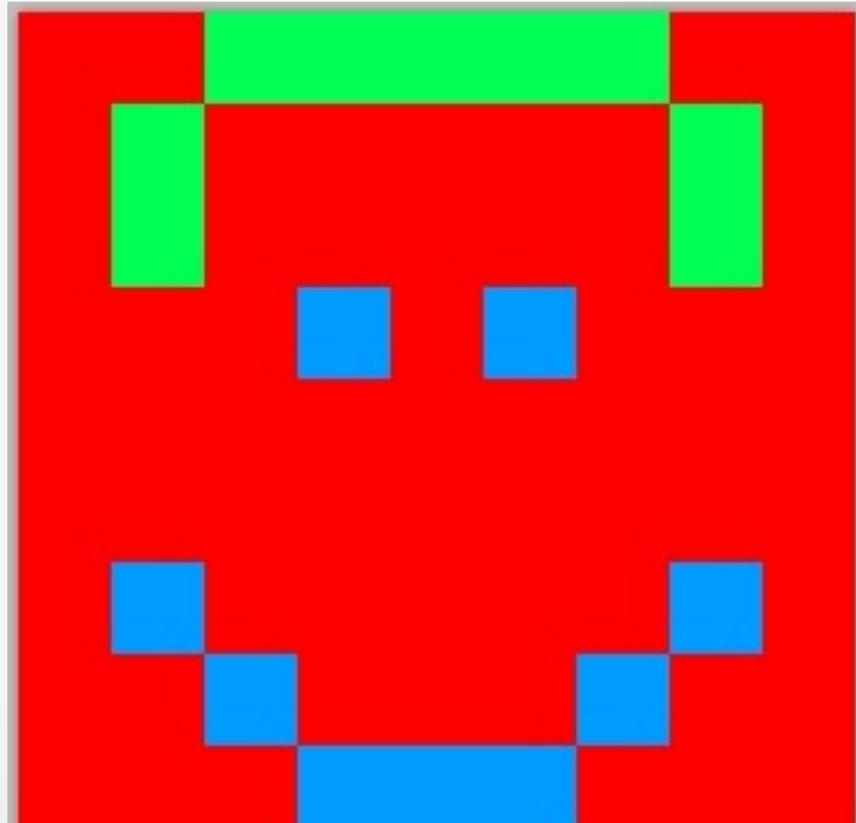
**rot, rot, grün, grün, grün, grün, grün,  
rot, rot, rot, grün, rot, rot, rot, rot,  
rot, grün, rot, rot, grün, rot, rot, rot,  
rot, rot, grün, rot, rot, rot, rot, blau,  
rot, blau, rot, rot, rot, rot, rot, rot,  
rot, rot, rot, rot, rot, rot, rot, rot, rot,  
rot, rot, rot, rot, rot, blau, rot, rot,  
rot, rot, rot, blau, rot, rot, rot, blau,  
rot, rot, rot, blau, rot, rot, rot, rot,  
rot, blau, blau, blau, rot, rot, rot**

rot,  
ro  
ro  
ro  
ro  
ro  
ro  
ro  
ro  
ro  
ro



grün,  
rot,  
ot, rot,  
blau,  
rot,  
ot, rot,  
rot,  
blau,  
rot,  
ot

Punkt-Operation: Betrachtung / Veränderung eines Pixels unabhängig von seinen Nachbarpixeln







Reese Witherspoon



Reese Witherspoon





Reese Witherspoon



Reese Withoutaspoon





**THOR**



**THOR**





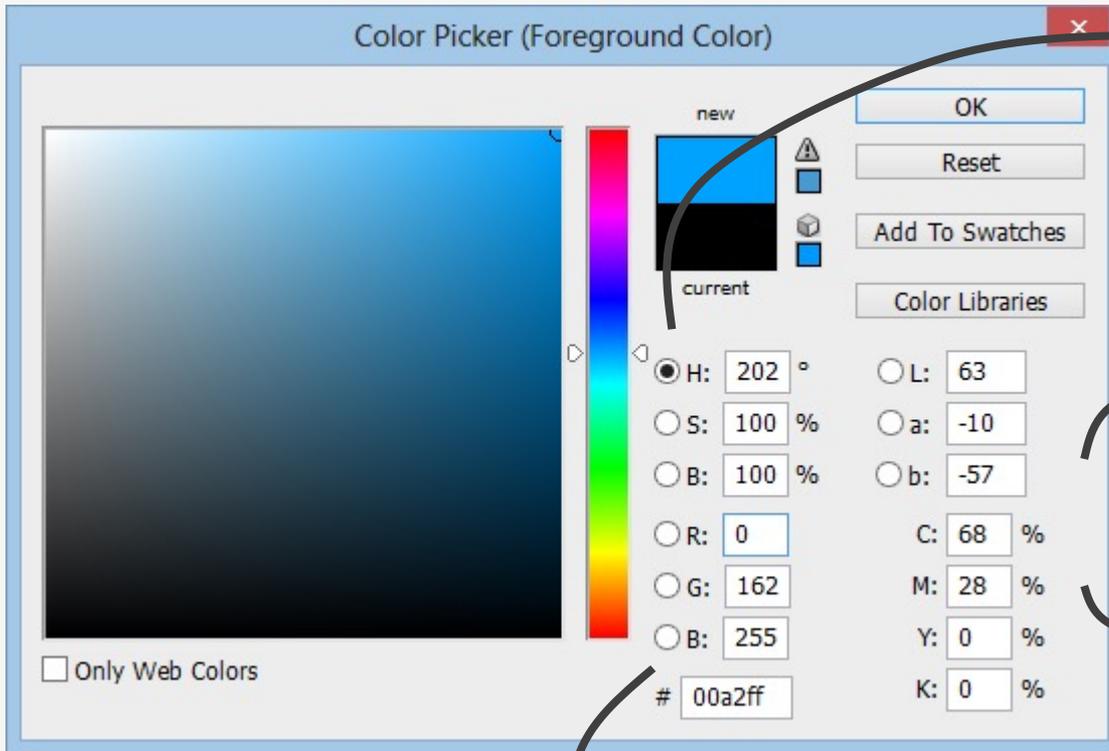
**THOR**



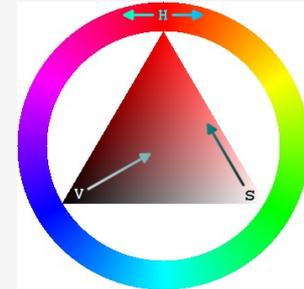
**HIPSTHOR**



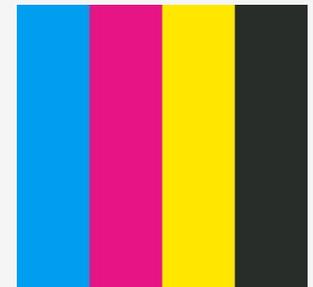




**HSV:**  
Farbwinkel,  
Sättigung,  
Hellwert bzw.  
absolute  
Helligkeit (B),  
Brightness



**L\*a\*b\*:** Menschl.  
Wahrnehmung



**RGB:** Wenn jede der drei Primärfarben mit einer Auflösung von 256 Werten dargestellt werden kann, dann erhalten wir  $256^3 = 16,7$  Mio. verschiedene Farbtöne.

Zu viel Information: Umwandlung in Graustufenbild

Das IHS-Farbsystem (auch HSI, HSV Farbsystem):

- Leuchtstärke (Intensity): Maßeinheit der Helligkeit, resultiert aus dem Durchschnitt der Farbwerte

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

Zu viel Information: Umwandlung in Graustufenbild

Das IHS-Farbsystem (auch HSI, HSV Farbsystem):

- Leuchtstärke (Intensity): Maßeinheit der Helligkeit, resultiert aus dem Durchschnitt der Farbwerte

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

- Sättigung (Saturation): Beschreibt die Farbreinheit

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I}$$

Zu viel Information: Umwandlung in Graustufenbild

Das IHS-Farbsystem (auch HSI, HSV Farbsystem):

- Leuchtstärke (Intensity): Maßeinheit der Helligkeit, resultiert aus dem Durchschnitt der Farbwerte

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

- Sättigung (Saturation): Beschreibt die Farbreinheit

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I}$$

- Farbton (Hue): Proportional zur durchschnittlichen Wellenlänge der Farbe; basiert auf Abbildung der Farben in einem Polarkoordinatensystem:

$$H = \cos^{-1}\left(\frac{(R - G) + (R - B)}{2} \cdot \frac{1}{((R - G)^2 + (R - B)(G - B))^{1/2}}\right)$$

# Zu viel Information: Umwandlung in Graustufenbild

Relevant für Umwandlung in Graustufenbild: Leuchtstärke (Intensity)

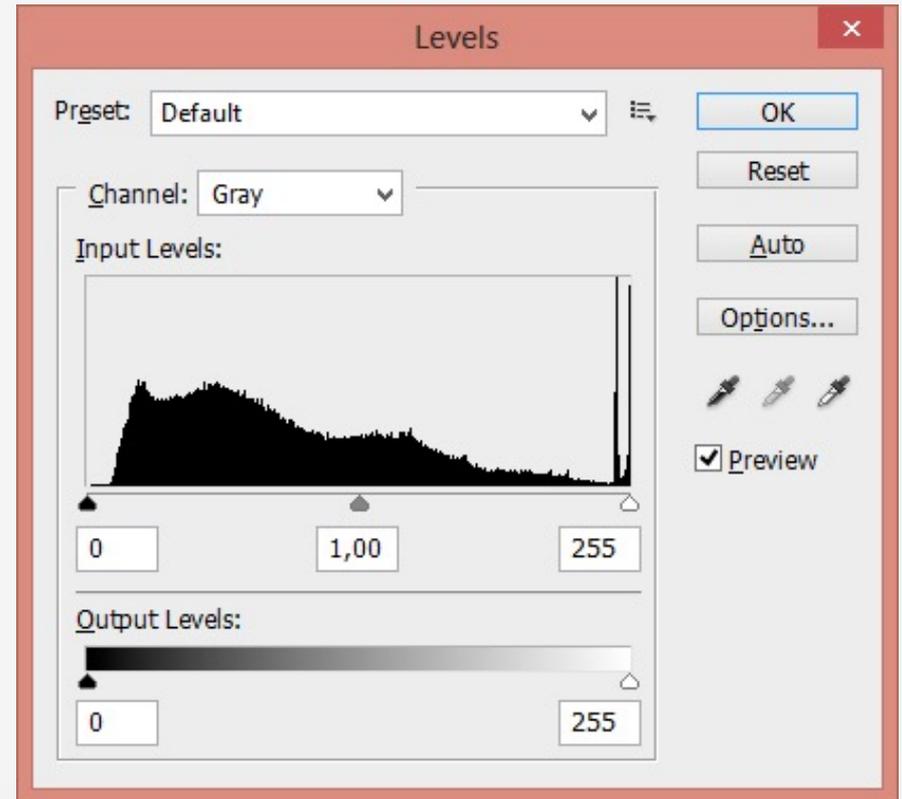
Algorithmus:

- Betrachte jedes Pixel  $P$  der Rastergrafik
- Weise jedem Farbkanal des betrachteten Pixels  $P$  die Summe der Werte der einzelnen Farbkanäle R, G und B zu und dividiere anschließend durch die Anzahl der drei:

$$P = rgb\left(\frac{P_R + P_G + P_B}{3}, \frac{P_R + P_G + P_B}{3}, \frac{P_R + P_G + P_B}{3}\right)$$



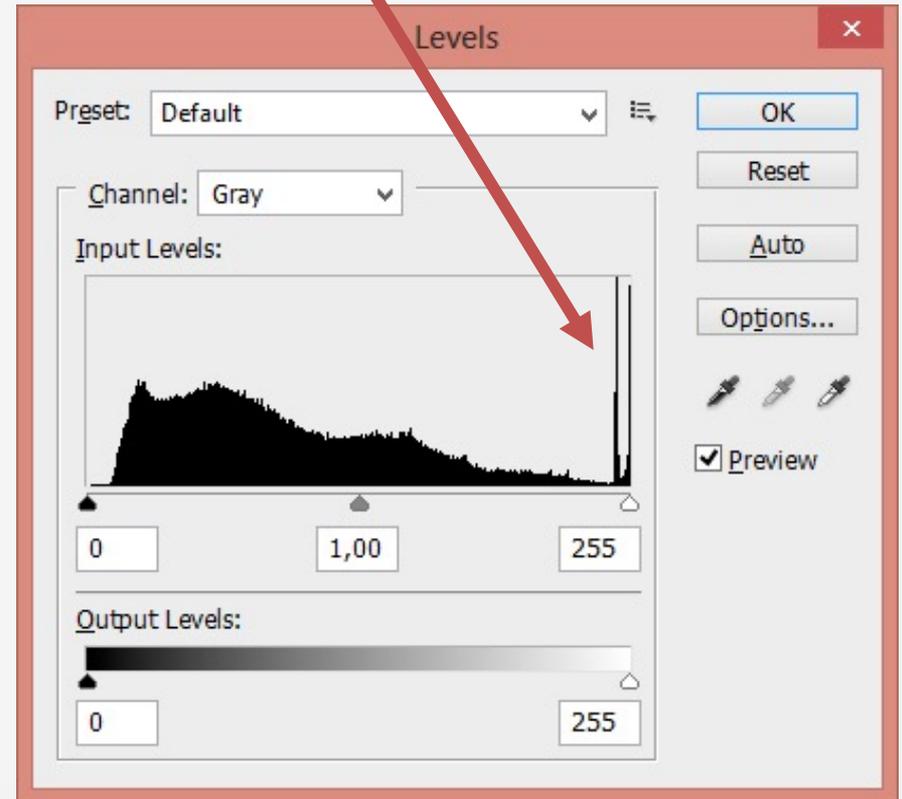
# Histogramm



Das **Histogramm** eines Bildes dokumentiert (bei einem 8-Bit Graustufenbild) über eine Liste von 256 Elementen die Anzahl (y-Achse) der Pixel des Bildes, die mit dem entsprechenden Graustufenwert belegt sind.

# Histogramm

?

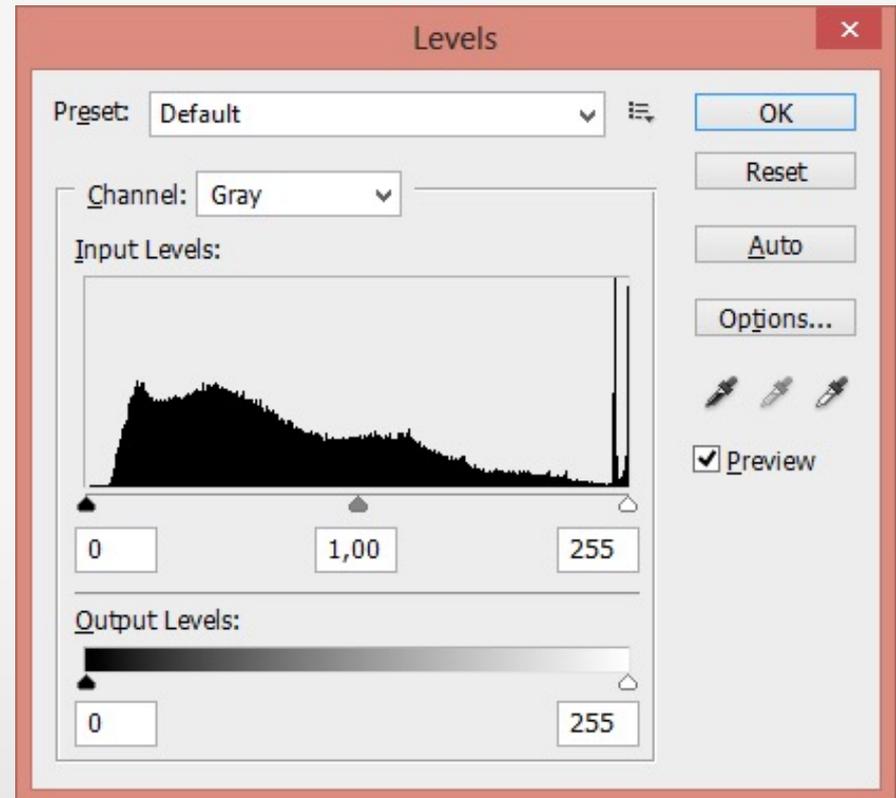


Das **Histogramm** eines Bildes dokumentiert über eine Liste von 256 Elementen (8-Bit Graustufenbild) die Anzahl der Pixel des Bildes, die mit dem entsprechenden Farb- bzw. Graustufenwert belegt sind.

# Übungsaufgabe

Schreiben Sie einen Algorithmus (Pseudocode), der aus einem Graustufenbild (256 Farb- bzw. Graustufenwerte) ein Histogramm erstellt.

Tipps: Schleife, Array, Index



# Histogrammerstellung – so funktioniert's

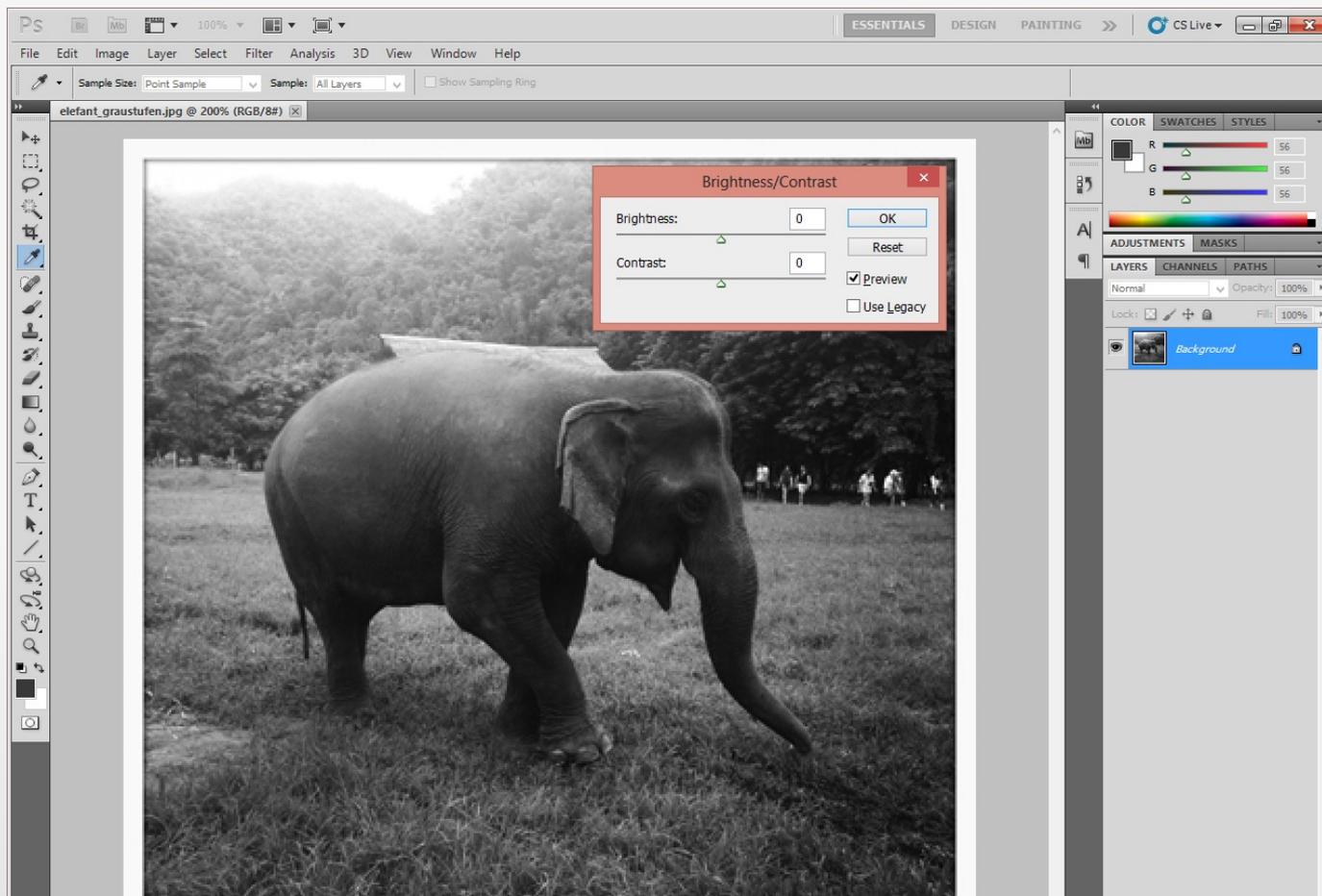
## Algorithmus:

- Initialisiere jede Speicherstelle des Arrays mit 0:  
array histogram[0-255] = 0;
- Betrachte anschließend jedes Pixel  $P$  der Rastergrafik
- Inkrementiere die Anzahl der Pixel mit entsprechendem Graustufenwert in dem assoziierten Array:  
array histogram[  $P_R$  ] += 1;

1 weiteres Beispiel: Aufhellung

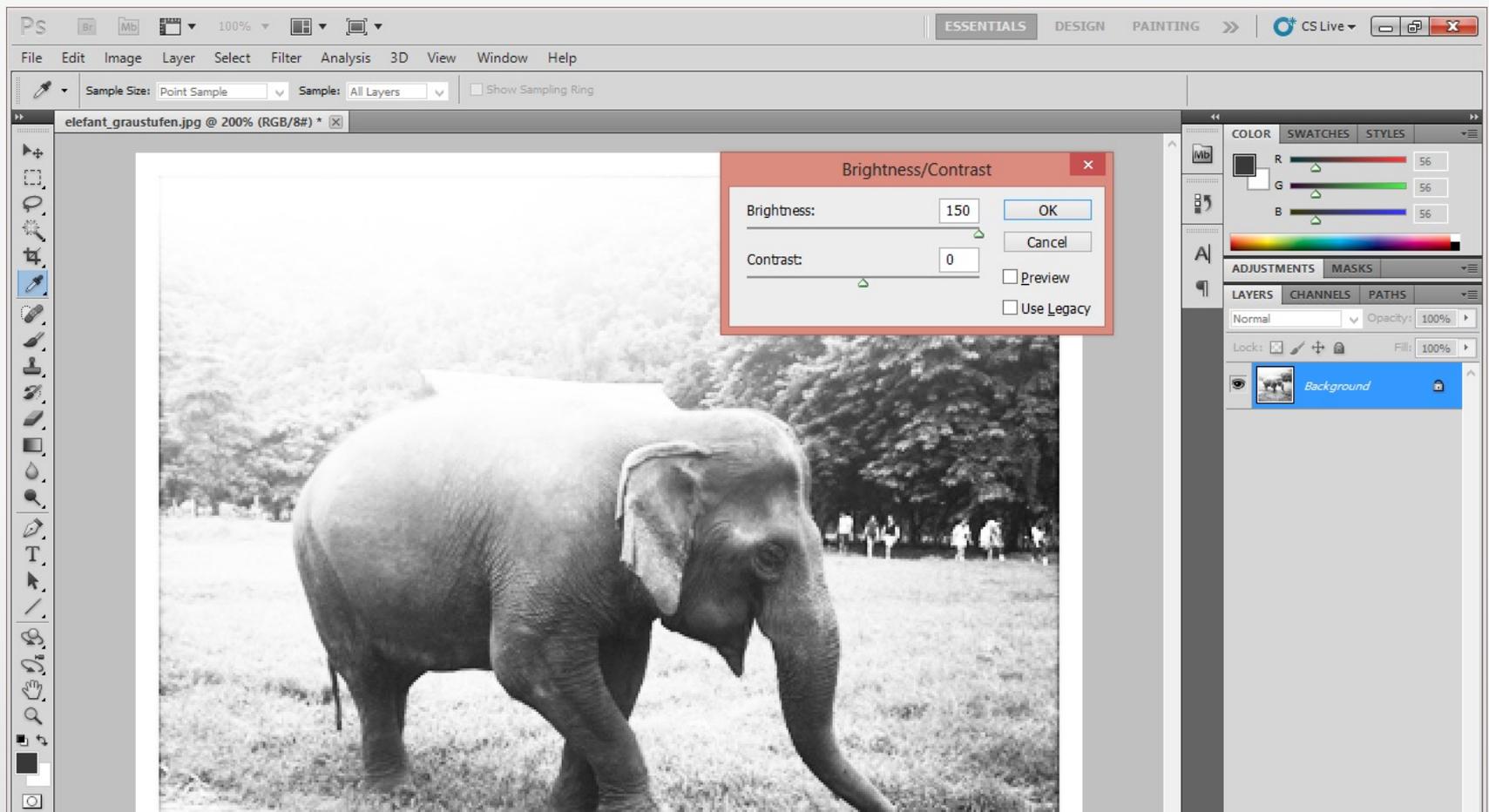
# Übung: Bildaufhellung?

Wie lässt sich (algorithmisch) eine Aufhellung des Graustufenbildes vornehmen?



# Übung: Bildaufhellung?

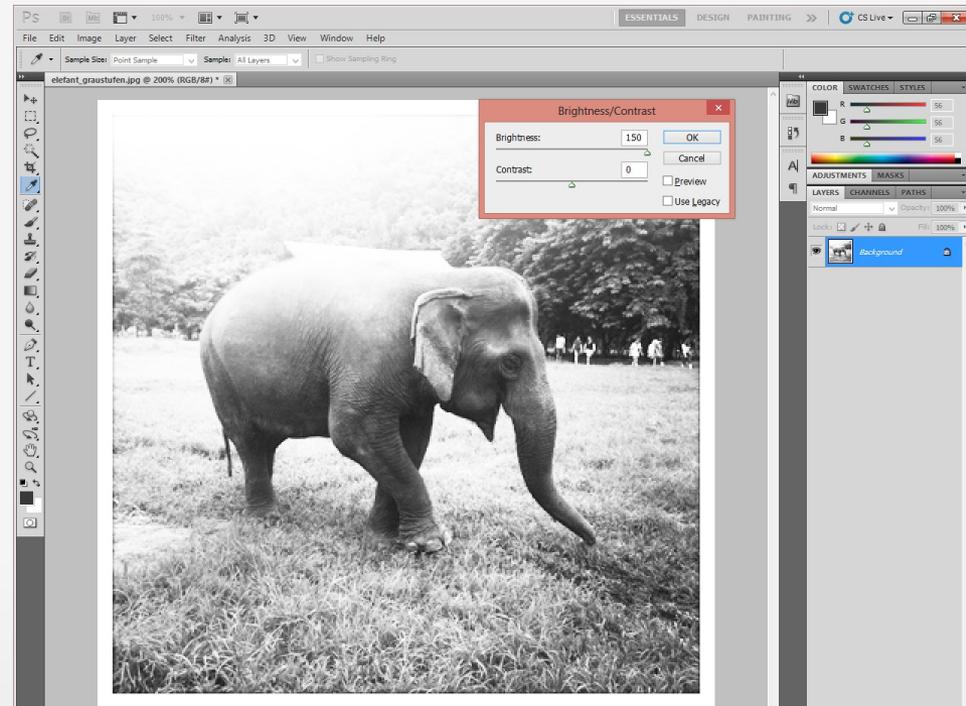
→ Wie lässt sich (algorithmisch) eine Aufhellung des Graustufenbildes vornehmen?



# Übungsaufgabe

Schreiben Sie einen Algorithmus (Pseudocode), der ein Graustufenbild (256 Farb- bzw. Graustufenwerte) aufhellt.

Tipps: Schleife, Array, Index



# Histogrammerstellung – so funktioniert's

## Algorithmus:

- Betrachte jedes Pixel  $P$  der Rastergrafik
- Erhöhe den Graustufenwert jedes Pixels um  $n$ , berücksichtige dabei den Wertebereich von 8 Bit (0 bis 255)

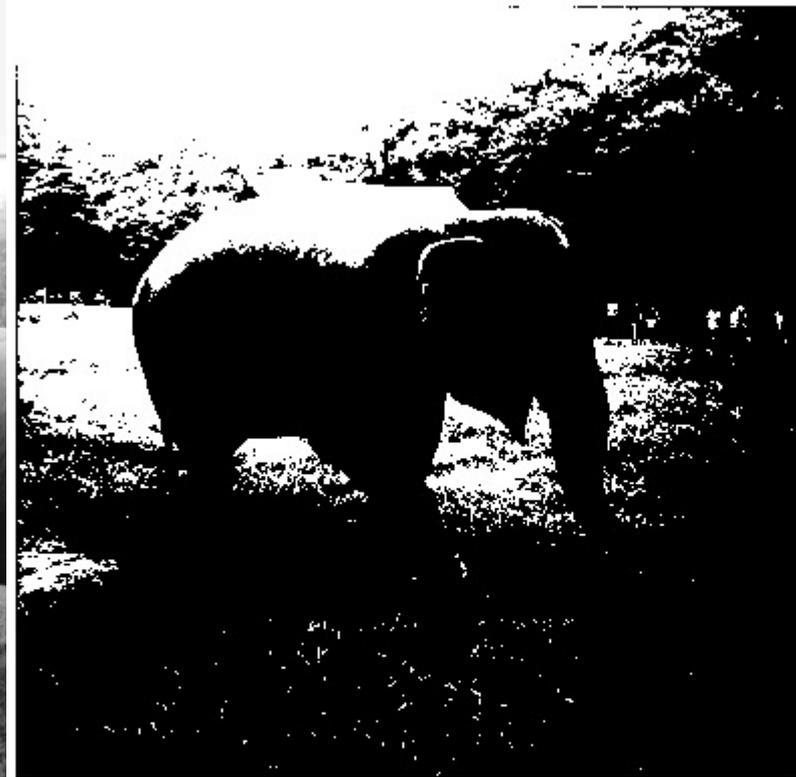
# Informationsreduktion

# Binarisierung

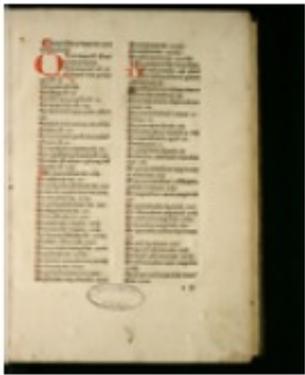
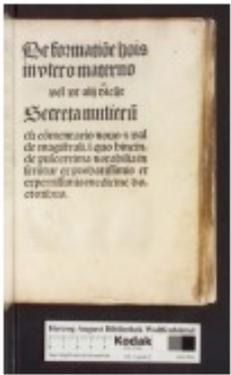


Grundfrage dieses (und der vergangenen Verfahren): Wie lässt sich Bildinformation verwerfen, ohne die Bildcharakteristika (i.e. die Form des Elefantens) zu zerstören?

# Binarisierung



Grundfrage dieses (und der vergangenen Verfahren): Wie lässt sich Bildinformation verwerfen, ohne die Bildcharakteristika (i.e. die Form des Elefantens) zu zerstören?

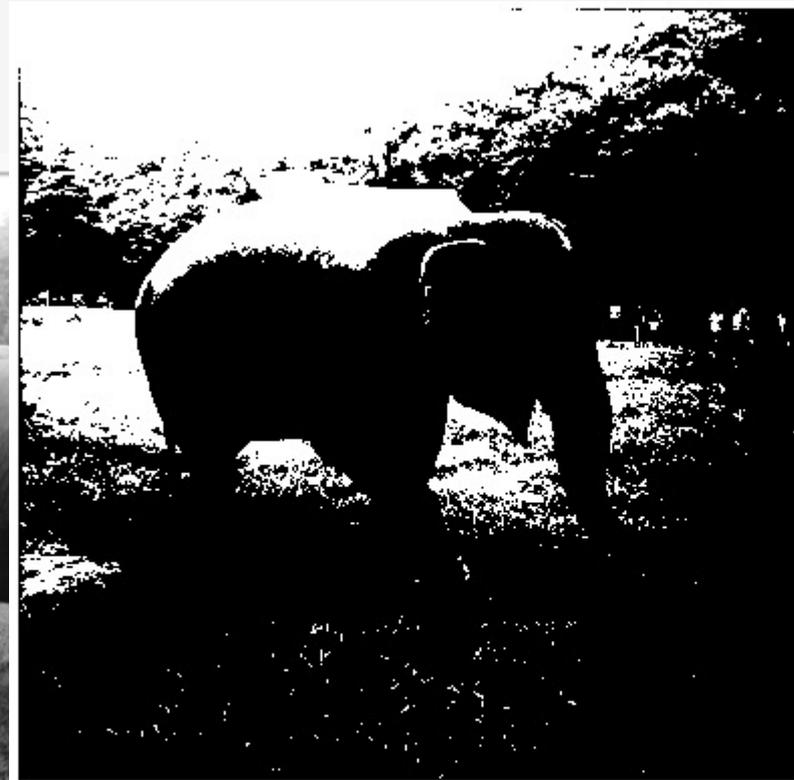
			
<b>Algorithmus</b>	<b>Magnus I</b>	<b>Methodius</b>	<b>Magnus II</b>
Glob. Schwellwert ( $T=128$ )			
Glob. Schwellwert ( $T=155$ )			
Glob. Schwellwert ( $T=192$ )			

<https://github.com/janwieners/TED>

# Übungsaufgabe

Schreiben Sie einen Algorithmus (Pseudocode), der ein Graustufenbild (256 Farb- bzw. Graustufenwerte) binarisiert, d.h. zu einem Schwarz-Weiß-Bild umwandelt..

Tipps: Schleife, Array, Index, Bedingungen



Binarisierung mit konstantem Schwellenwert – so funktioniert's

Zwei Pixelklassen:

$$\text{a) } I(i, j) < T$$

$$\text{b) } I(i, j) \geq T$$

Algorithmus:

- Betrachte jedes Pixel  $P$  der Rastergrafik
- Vergleiche den Farb-/Grauwert jedes Pixels mit dem Schwellenwert  $T$ .
  - Ist der Wert kleiner als der Schwellenwert, so wird es schwarz eingefärbt (a).
  - Ist der Wert größer oder gleich dem Schwellenwert, so wird es weiß eingefärbt (b).

# Übung: Binarisierung

T = 15

23	29	101	101	101	101	101	29	23
15	101	29	29	29	29	29	101	15
10	98	15	30	30	30	15	98	10
10	10	10	155	35	155	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15
19	155	23	15	15	15	23	155	19
15	17	155	15	15	15	155	17	15
15	15	15	155	155	155	15	15	15

T = 15

23	29	101	101	101	101	101	29	23
15	101	29	29	29	29	29	101	15
10	98	15	30	30	30	15	98	10
10	10	10	155	35	155	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15
19	155	23	15	15	15	23	155	19
15	17	155	15	15	15	155	17	15
15	15	15	155	155	155	15	15	15

T = 128

23	29	101	101	101	101	101	29	23
15	101	29	29	29	29	29	101	15
10	98	15	30	30	30	15	98	10
10	10	10	155	35	155	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15
19	155	23	15	15	15	23	155	19
15	17	155	15	15	15	155	17	15
15	15	15	155	155	155	15	15	15

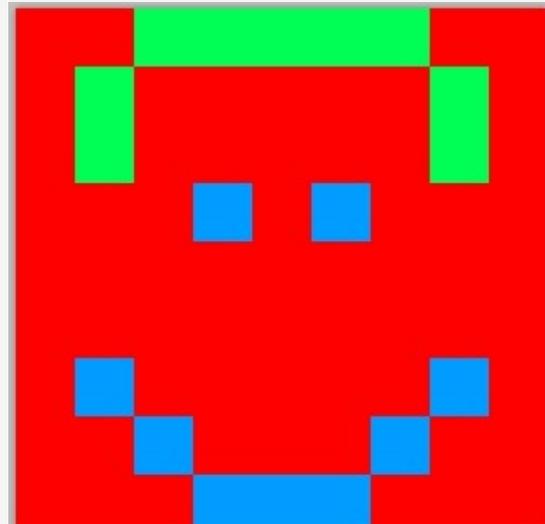
T = 128

23	29	101	101	101	101	101	29	23
15	101	29	29	29	29	29	101	15
10	98	15	30	30	30	15	98	10
10	10	10	155	35	155	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15
19	155	23	15	15	15	23	155	19
15	17	155	15	15	15	155	17	15
15	15	15	155	155	155	15	15	15

Filter

# Filter

**Filter:** Betrachtung / Veränderung eines Pixels in Abhängigkeit seiner Nachbarpixel



Achtung: Weil Originalpixel für das Ergebnis der Filterung relevant (und unabdingbar) ist: Nutzung eines Zwischenbildes als Ausgabe- oder Eingabepuffer.

# Filter

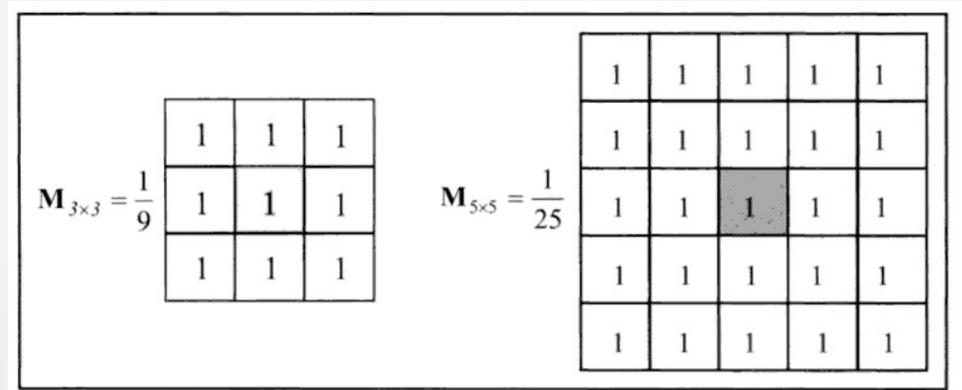
- **Lineare Filter (LSI-Filter, linear shift-invariant filters):**  
Jedes Pixel im Verarbeitungsfenster wird mit einem vordefinierten Wert aus einer Faltungs- bzw. Filtermatrix multipliziert.
- **Nichtlineare Filter: U.a. heuristische Ansätze**  
Heuristik (vgl. Precht / Burkard): „Lehre bzw. Theorie der Verfahren zum Finden von Neuem und Problemlösen.“

# Einfacher Mittelwertfilter

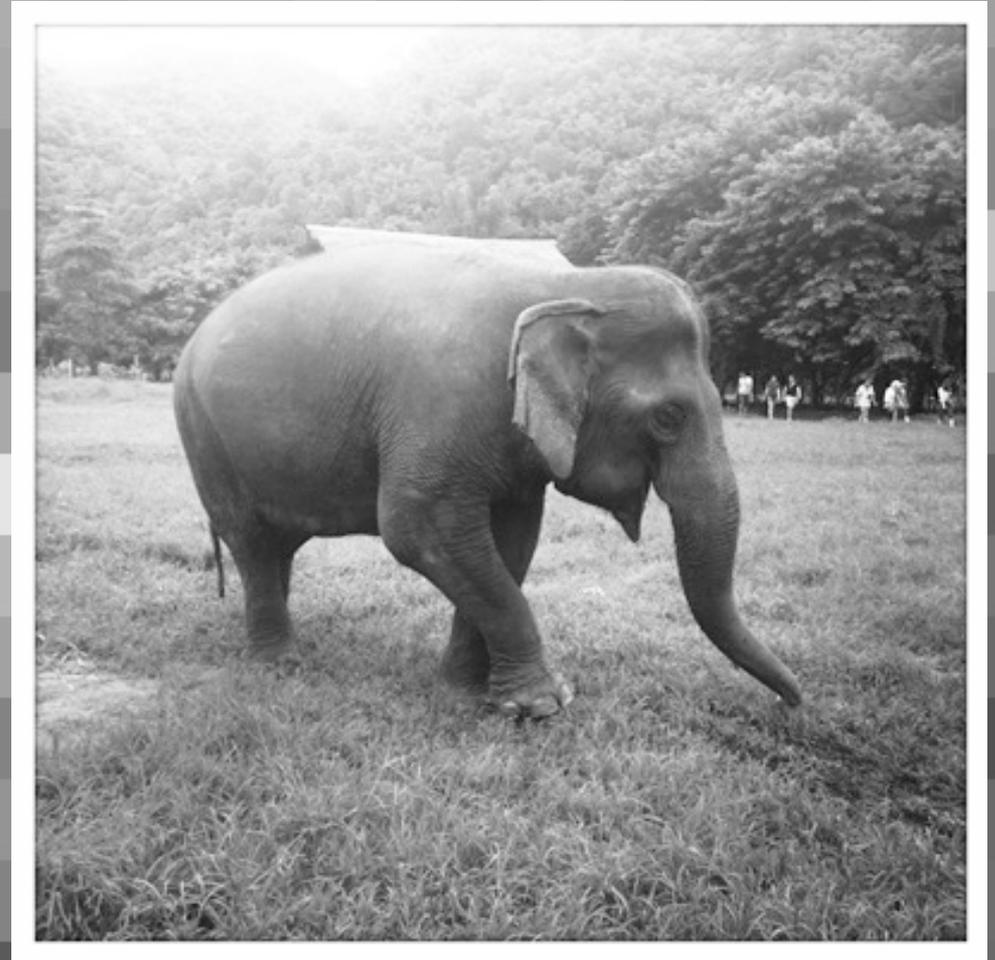
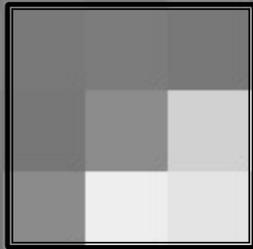
- Berechnet einfachen arithmetischen Mittelwert der Pixelwerte in der Nachbarschaft unter der Filtermaske

- Faltungsmatrix  $M = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

- Pro / Contra:
  - Rauschen reduziert
  - Glättung / „Blurring“
  - Kanten verwischen



# Einfacher Mittelwertfilter: 3x3 Pixel „Hotspot“



# Einfacher Mittelwertfilter – so schaut's aus

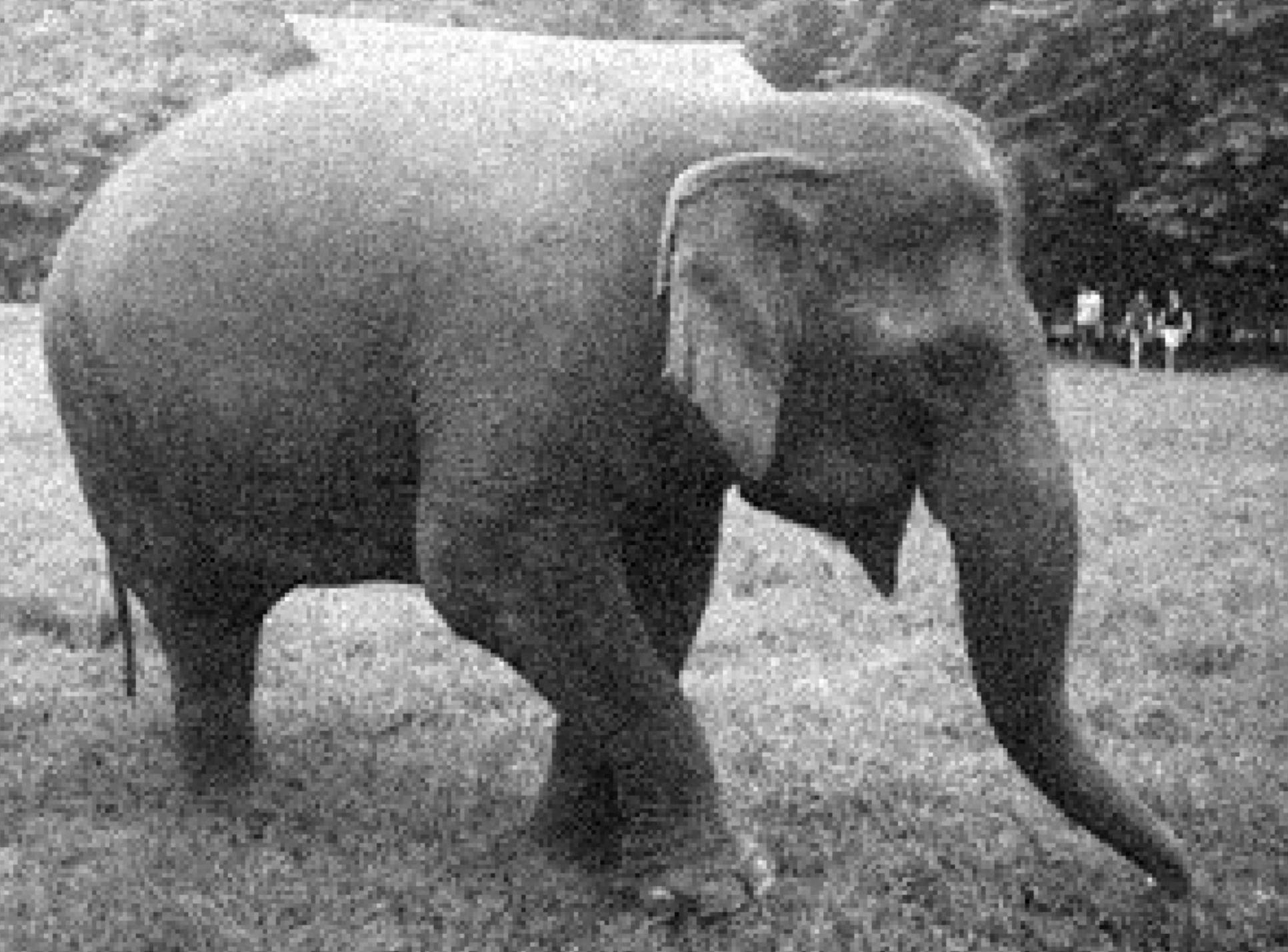
Custom

	1	1	1	
	1	1	1	
	1	1	1	

Scale:  Offset:

Preview

- 100% +



## Beispiel Nichtlinearer Filter: Medianfilter

### Algorithmus Medianfilter (Rangordnungsfiler):

- Rangordnungsfiler betrachten die **Nachbarschaftspixel** jedes Pixels, speichern die gefundenen Farb- bzw. Graustufenwerte und sortieren die so gewonnenen Werte in aufsteigender Reihenfolge.
- Aus einer 3x3 Pixelmatrix resultiert eine Liste, bestehend aus insgesamt neun Werten. Relevant für das Medianfilter ist das Element, das sich in der **Mitte** der sortierten Liste der Pixelwerte befindet.
- Das Medianfilter selektiert den Pixelwert des fünften Listenelements und weist dem Pixel in der Mitte der Matrix den Median, d.h. den fünften Wert der Liste zu.



### Median

OK  
Cancel  
 Preview



-| 100% |+|

Radius:  pixels

🏠 \_\_\_\_\_



### Median



OK  
Cancel  
 Preview

- 100% +

Radius:  pixels

⏪ \_\_\_\_\_ ⏩

The dialog box is titled "Median". It contains a preview window showing the result of the median filter applied to the elephant image. Below the preview are buttons for "OK", "Cancel", and a checked "Preview" checkbox. There are also zoom controls with minus, "100%", and plus buttons. At the bottom, there is a "Radius" input field with the value "3" and the unit "pixels". Below the radius field is a horizontal slider with a home icon on the left and a right-pointing arrow on the right.



# Übung Medianfilter

Welchen Wert erhalten die – isoliert betrachteten – grau hinterlegten Pixel unter Verwendung des Medianfilters mit einem 3x3 Pixel großen Filterfenster zugewiesen?

23	29	101	101	101	101	101	29	23
15	101	29	29	29	29	29	101	15
10	98	15	30	30	30	15	98	10
10	10	10	155	35	155	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15
19	155	23	15	15	15	23	155	19
15	17	155	15	15	15	155	17	15
15	15	15	155	155	155	15	15	15

$$PXvalue_{median}(3,3) = ?$$

$$PXvalue_{median}(6,4) = ?$$

$$PXvalue_{median}(8,8) = ?$$

Welchen Wert erhalten die – isoliert betrachteten – grau hinterlegten Pixel unter Verwendung des Medianfilters mit einem 3x3 Pixel großen Filterfenster zugewiesen?

23	29	101	101	101	101	101	29	23
15	101	29	29	29	29	29	101	15
10	98	15	30	30	30	15	98	10
10	10	10	155	35	155	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15
19	155	23	15	15	15	23	155	19
15	17	155	15	15	15	155	17	15
15	15	15	155	155	155	15	15	15

$PXvalue_{median}(3,3) =$  Unsortiert: 101,29,29,98,15,39,19,19,155

Sortiert: 15,19,19,29,**29**,39,98,101,155

$PXvalue_{median}(6,4) =$  Unsortiert: 30,30,15,35,155,10,15,15,15

Sortiert: 10,15,15,15,**15**,30,30,35,155

$PXvalue_{median}(8,8) = ?$

/

## Bildnachweise

- [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universitat zu Koln Hauptgebaude ost.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universitat_zu_Koln_Hauptgebaude_ost.jpg)
- <http://causeitsallaboutthepayno.tumblr.com/post/131746453874/im-currently-listening-to-adeles-new>
- [www.giphy.com](http://www.giphy.com)