

Wissen wir genau, was wir unter Schärfe verstehen?

Weshalb ist ein
200mm f/2.8 weniger lichtstark
als ein 24mm f/1.4,
obwohl dessen Blendenöffnung viel grösser ist?

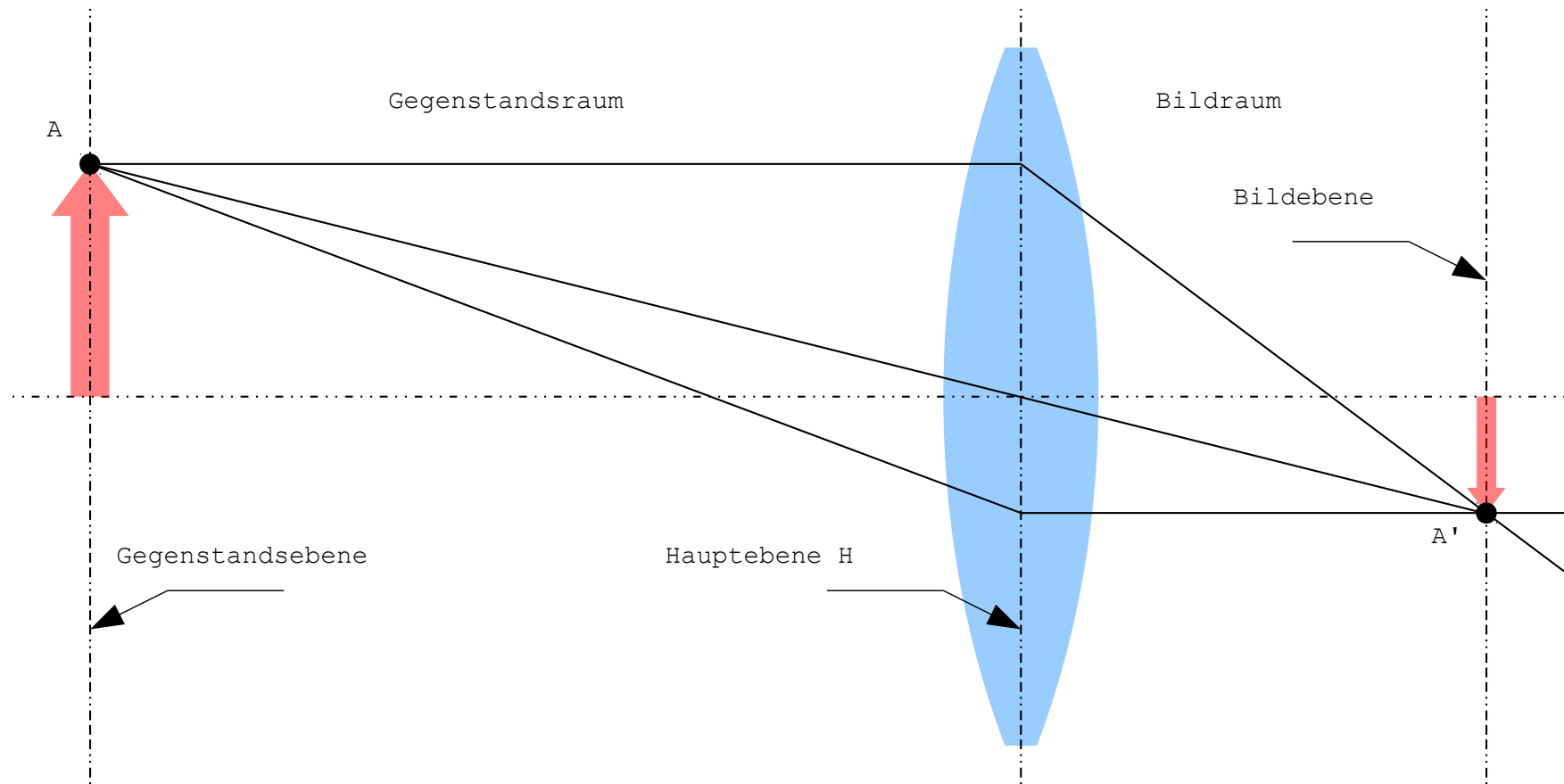
Weshalb fürchten sich Fotografen vor der Blende 11?

Die Blende beeinflusst...

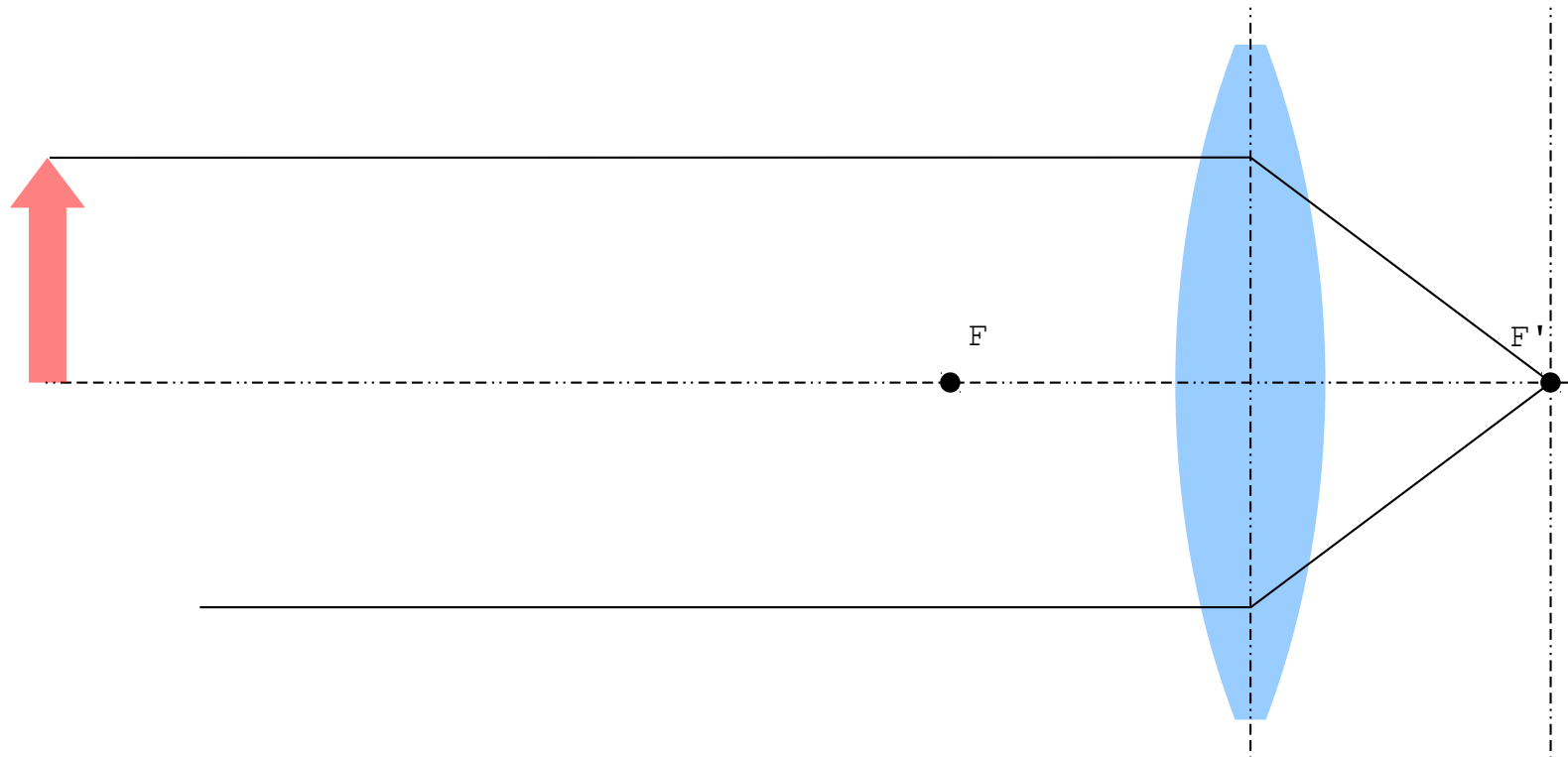
Die Blende beeinflusst vieles:

- Lichtmenge
- Schärfentiefe
- Schärfe in der Schärfenebene
- Abbildungsfehler
- Aussehen der Unschärfe (Bokeh)

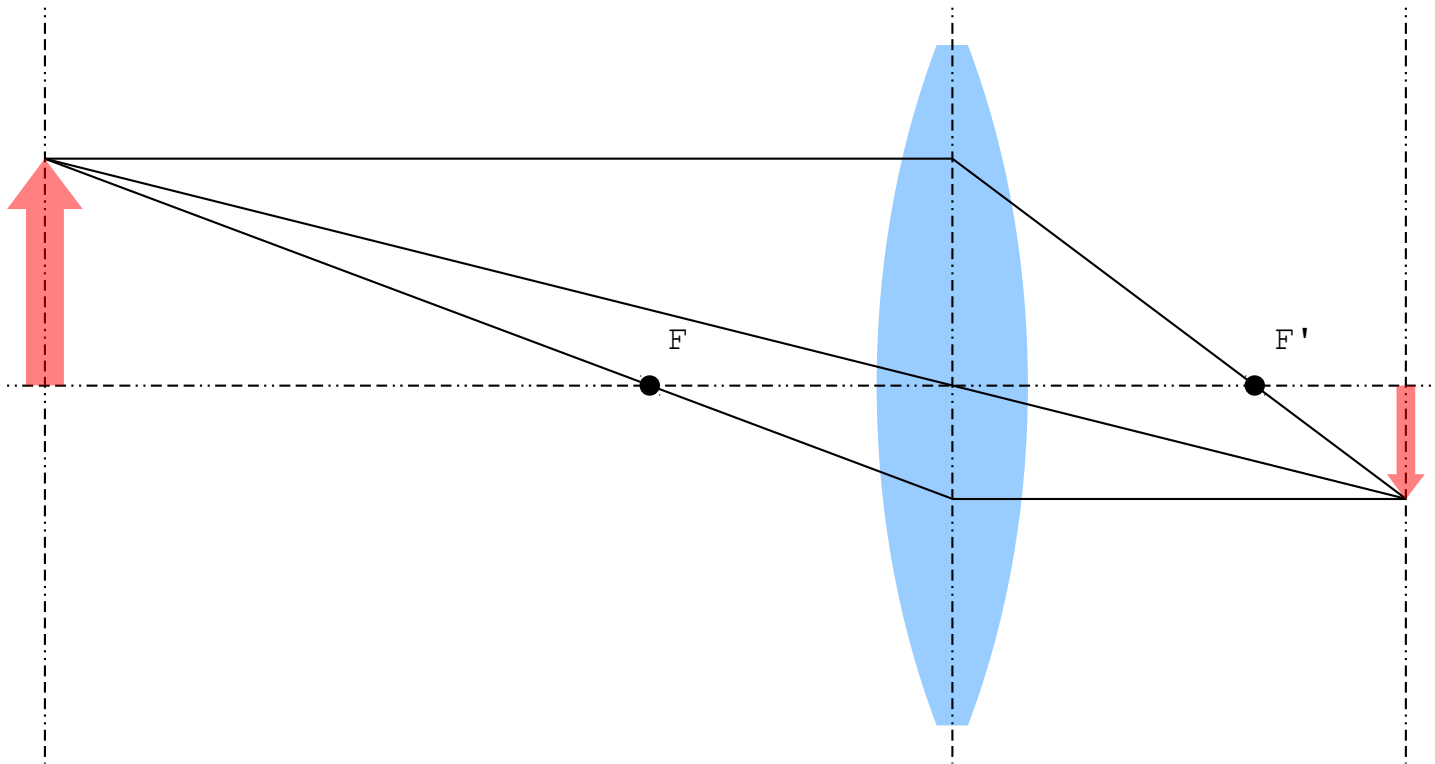
Übersicht



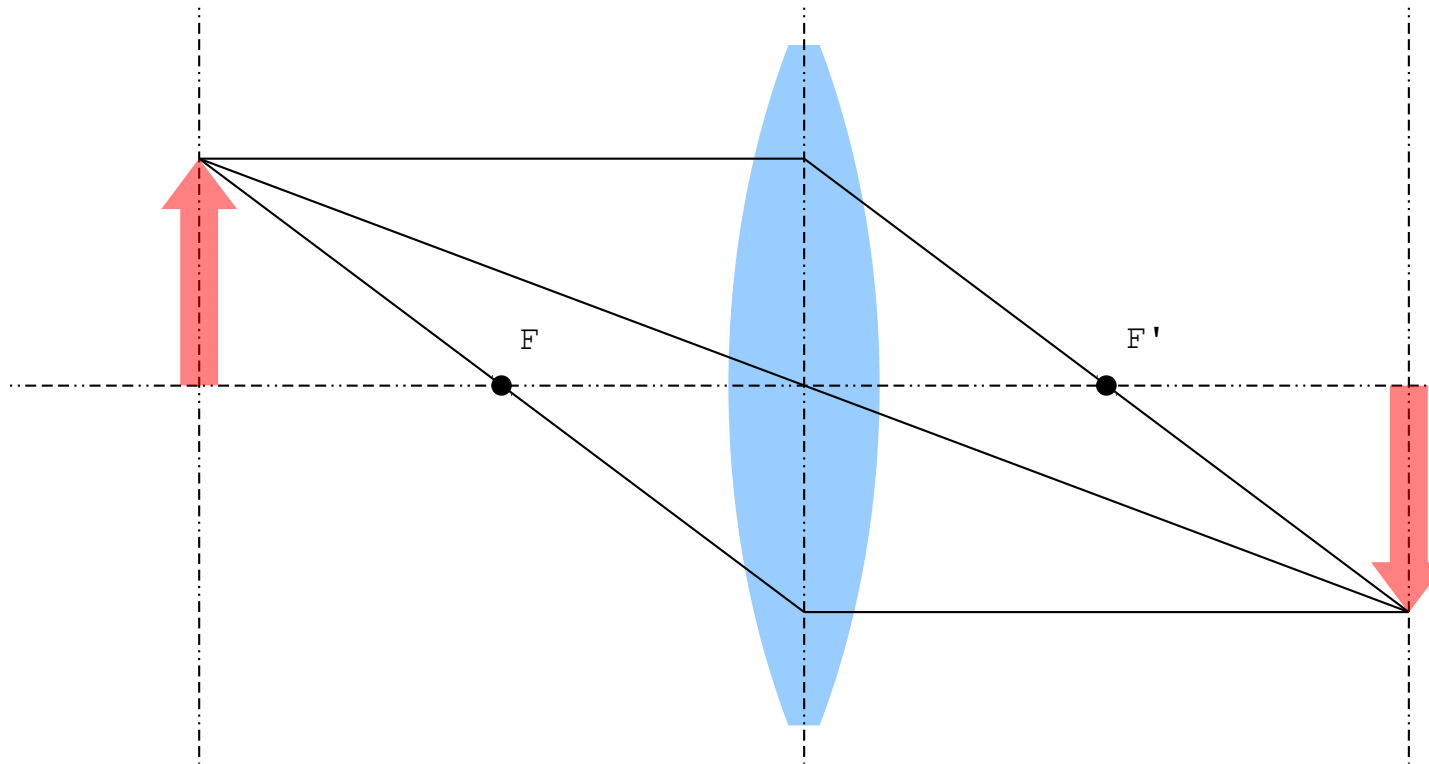
Fokussierung: Unendlich



Fokussierung: Näher (1:2)



Fokussierung: Nahe (1:1)



Die Fokussierung



Der Abbildungsmaßstab



$$ABM = \frac{\textit{Bildgrösse}}{\textit{Gegenstandsgrösse}}$$

Die Blende - Eintrittspupille

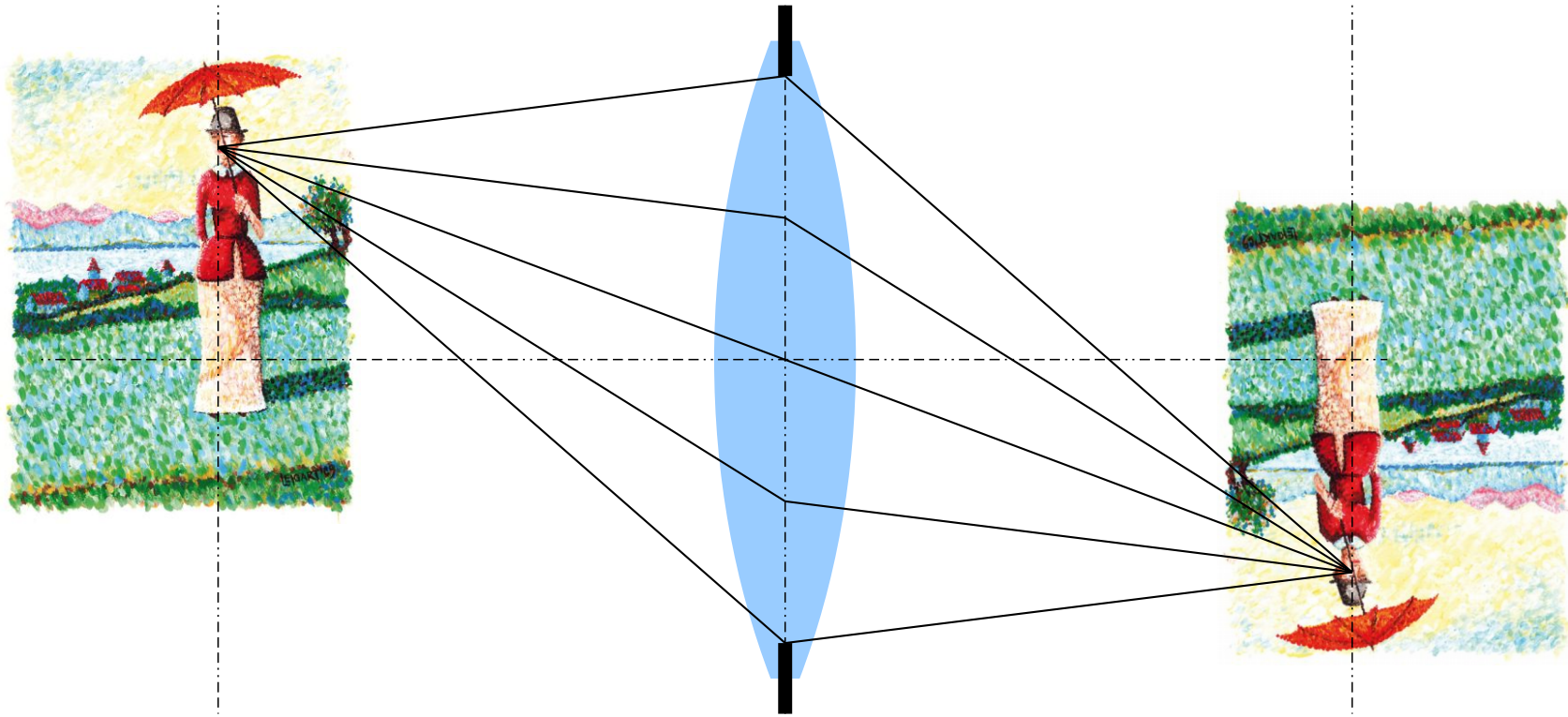
- Die Eintrittspupille
- Blendenzahl = Brennweite zu Pupillen-Ø
- Blendenreihe:

1,4 / 2,0 / 2,8 / 4,0

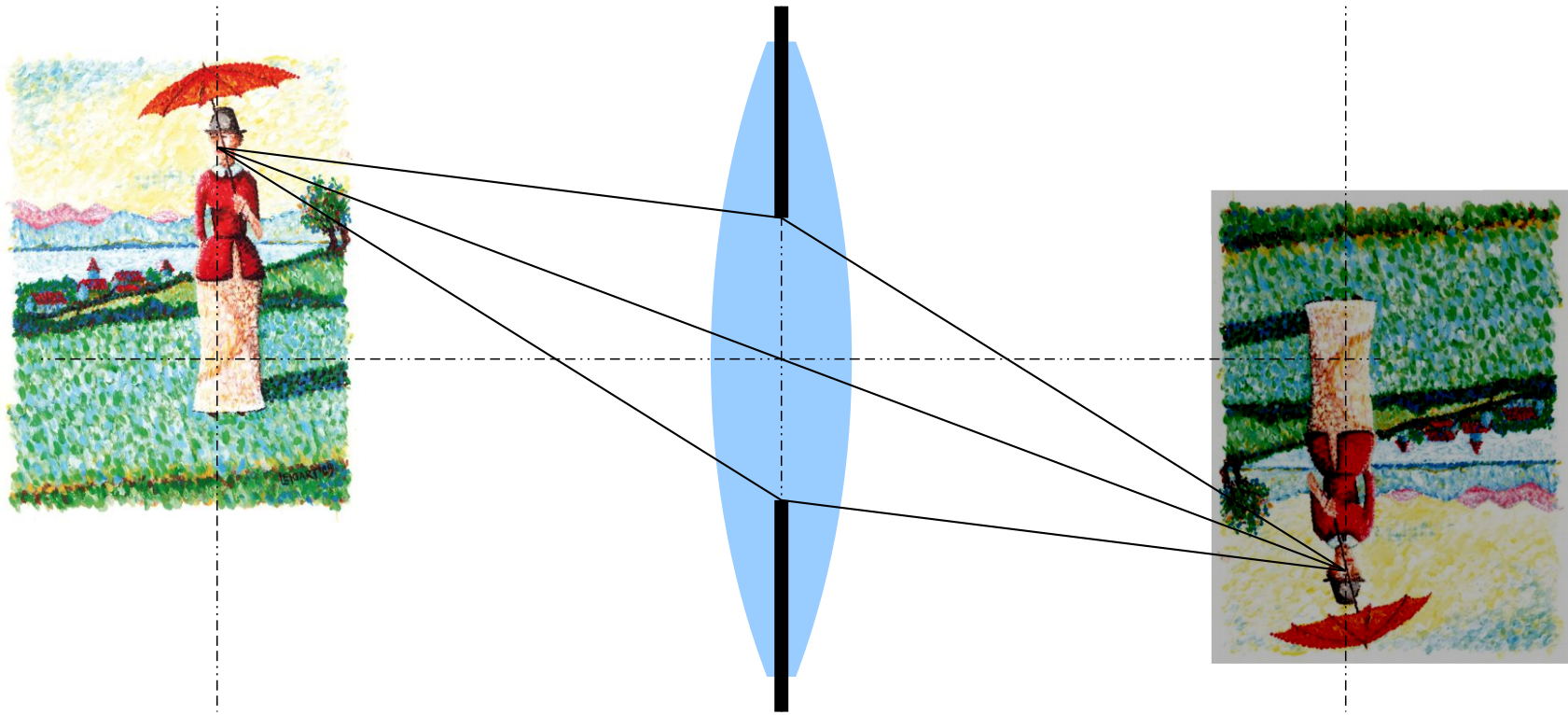
5,6 / 8,0 / 11 / 16 / 22



Helligkeit offene Blende



Helligkeit abgeblendet



Reziprozität

- Die Lichtmenge für eine korrekte Belichtung muss stimmen, unabhängig von der Blende

Ergo:

- Weniger hell bedeutet länger Belichten
- Heller bedeutet kürzer Belichten

Belichtungswert (Exposure Value)

Blende → Zeit ↓	f/1.4	f/2.0	f/2.8	f/4.0	f/5.6	f/8.0	f/11	f/16	f/22
30s	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
15s	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
8s	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
4s	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
2s	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1s	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1/2s	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1/4s	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1/8s	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1/15s	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1/30s	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1/60s	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1/125s	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1/250s	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1/500s	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1/1000s	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1/2000s	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Lichtstärke?

Welches Objektiv ist lichtstärker?



Lichtstärke?

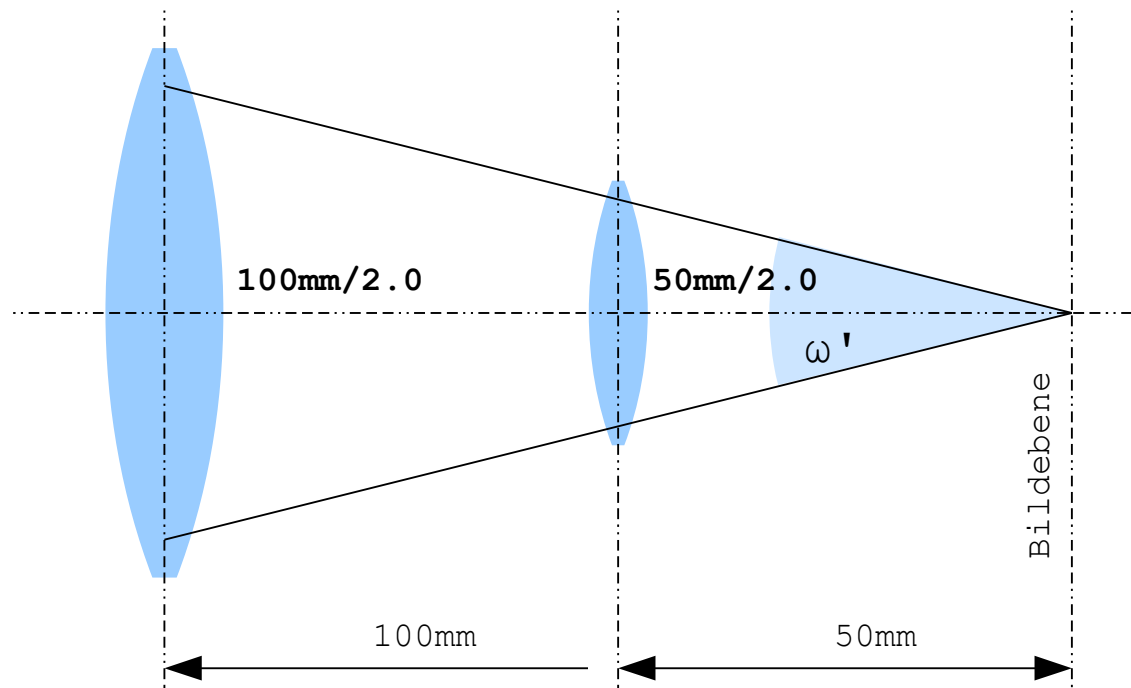
200mm/2,8

24mm/1,4



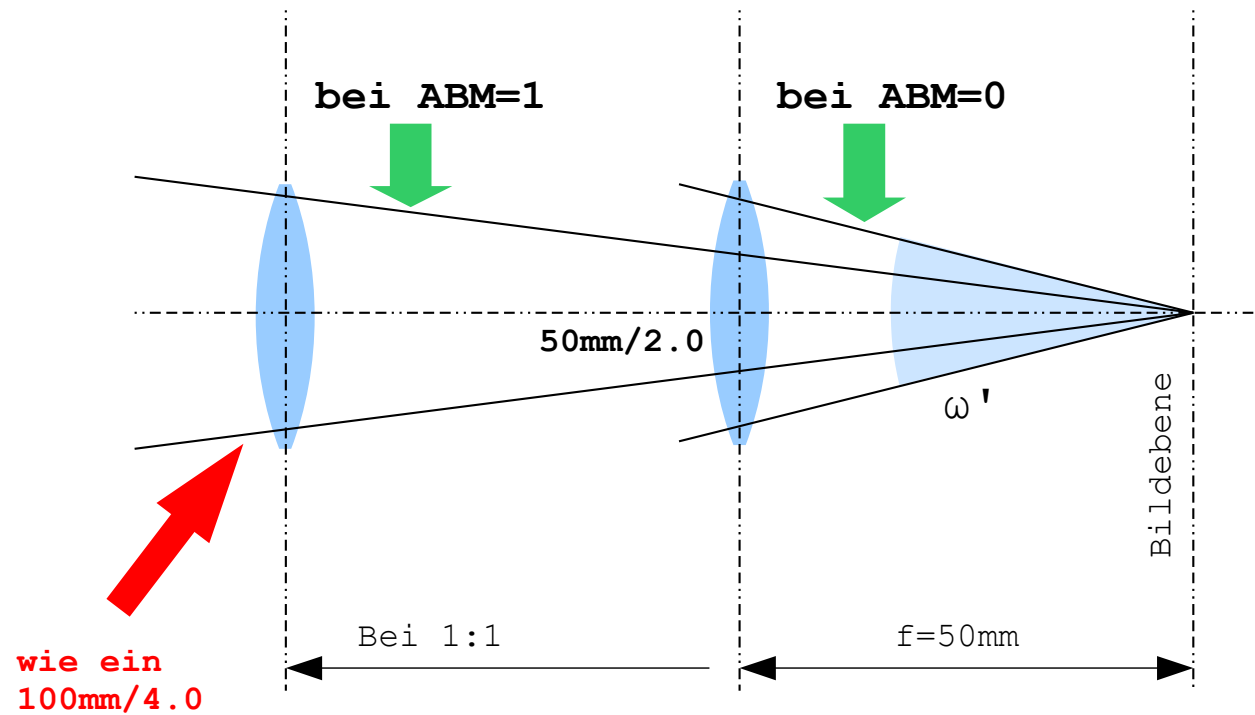
Blende von hinten betrachtet

- Aus Pixelsicht (Distanz unendlich)



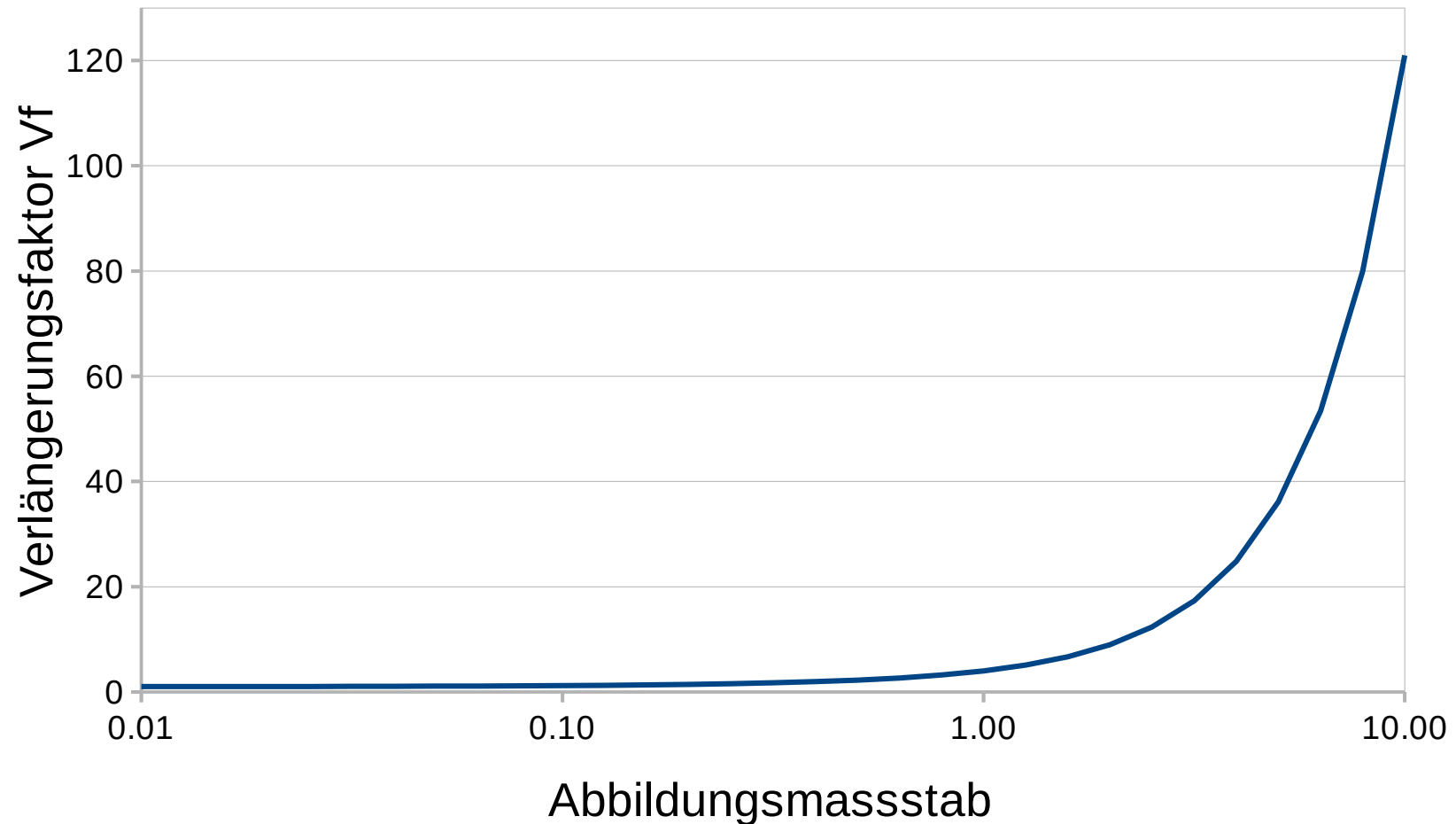
Effektive Blende

- Ein 50 f/2,0 bei verschiedenen Distanzen



Die Dunkle Seite der Fotografie

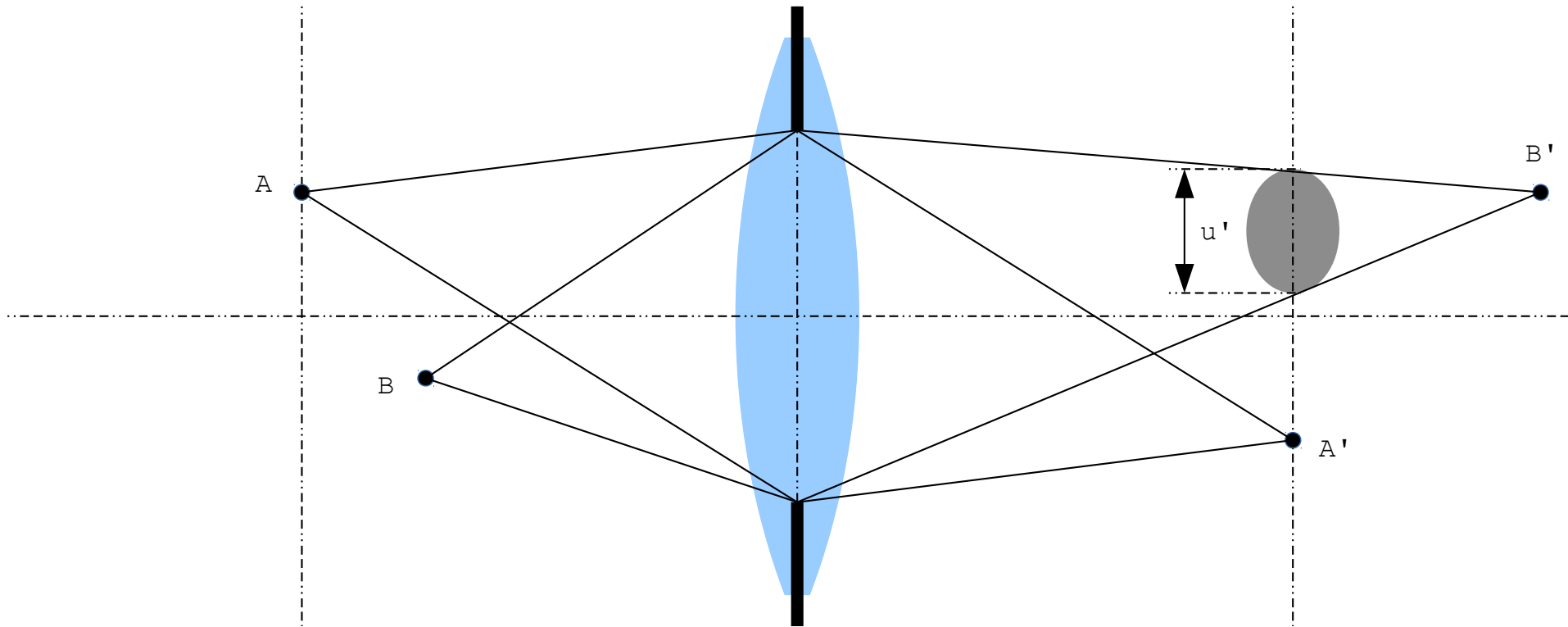
Verlängerung der Belichtungszeit



Die Dunkle Seite der Fotografie

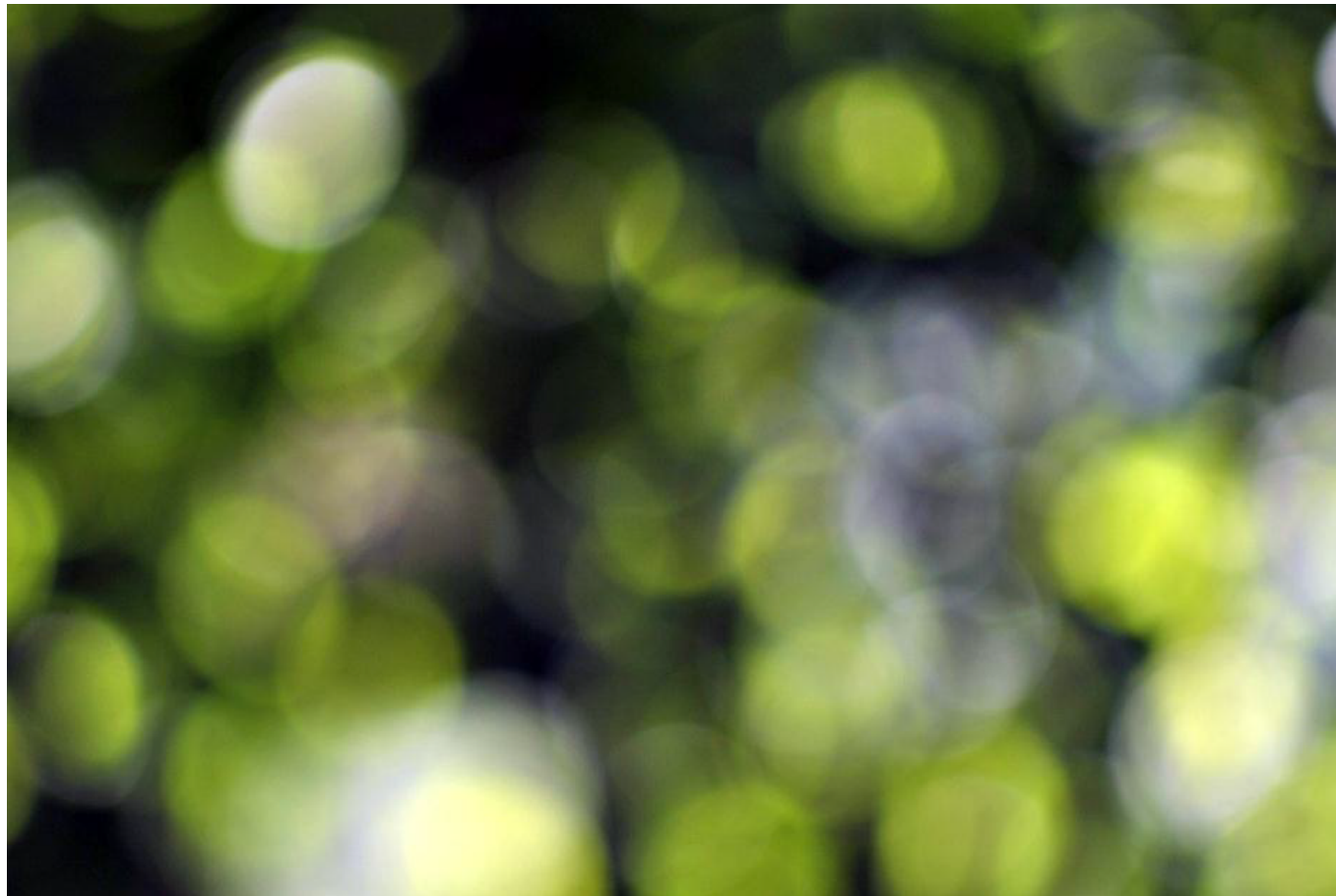
ABM	0,01	0,1	0,33	0,5	1	2	3	5	10
Vf	1,02	1,21	1,78	2,25	4,0	9,0	16	36	121
Blenden- stufen	0,03	0,28	0,83	1,17	2,0	3,17	4,0	5,17	6,92

Der Zerstreukreis



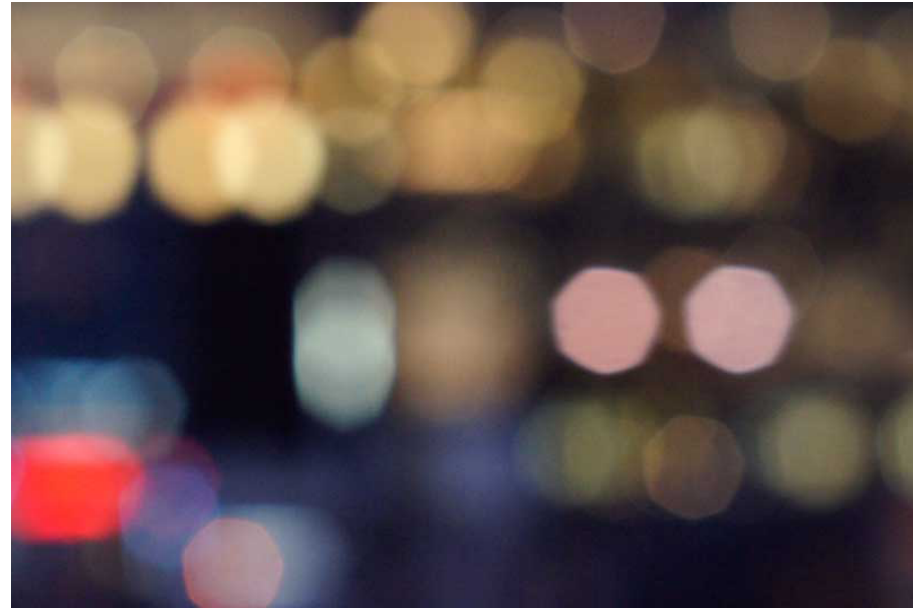
Zerstreuungskreise

- Kann man sehen

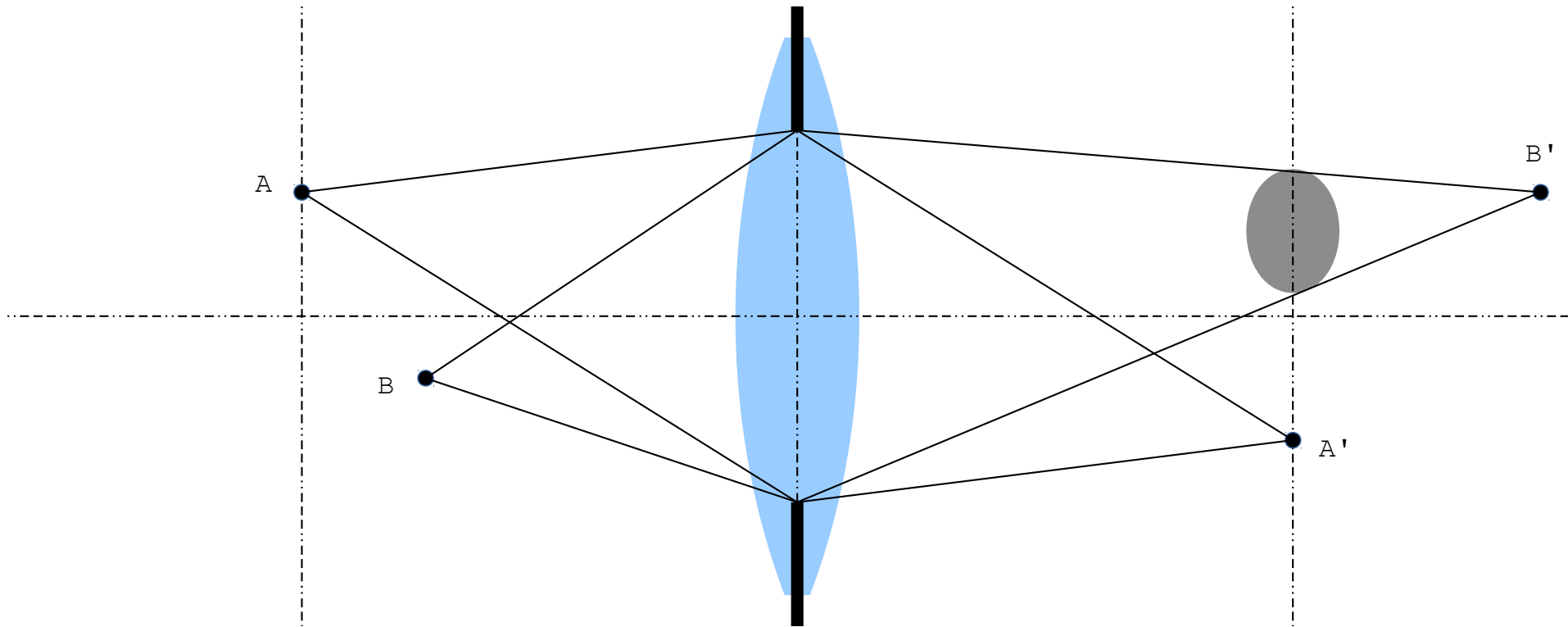


Blendenform

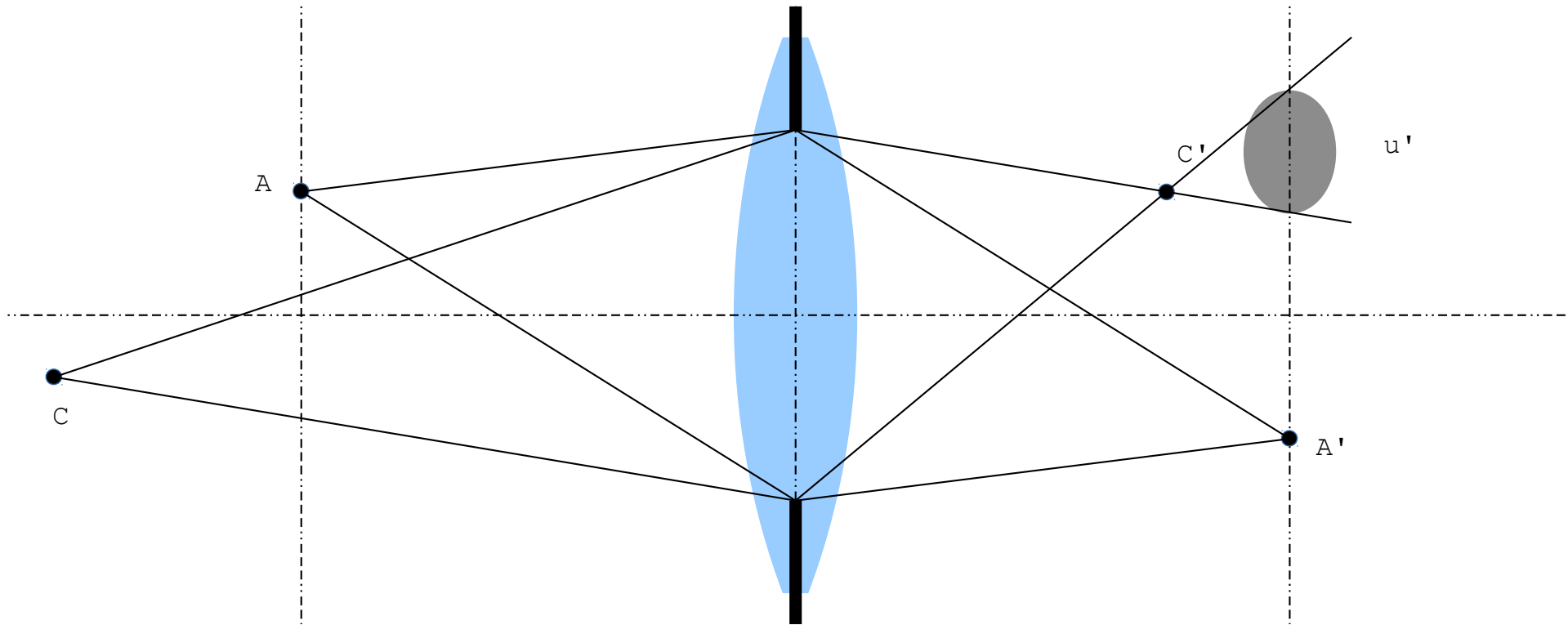
Die Blendenform ist sichtbar im Bokeh



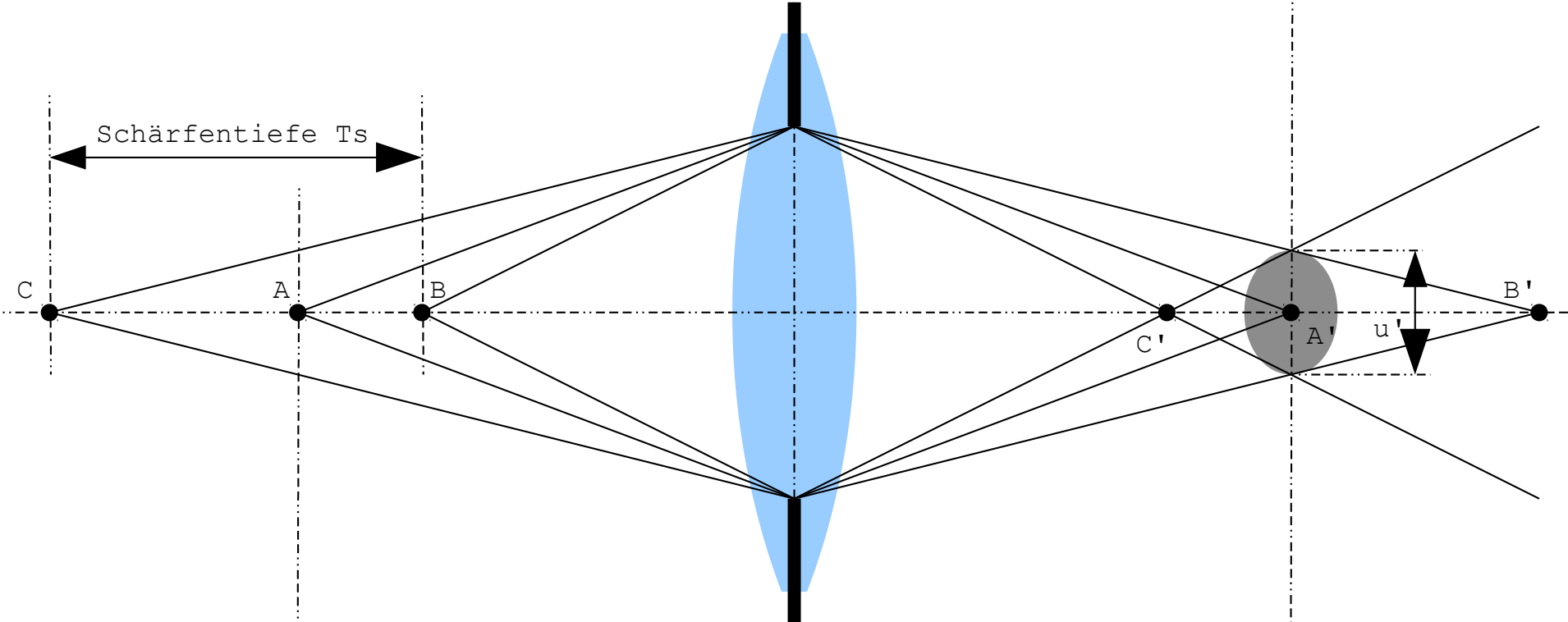
Unschärfe im Vordergrund



Unschärfe im Hintergrund



Schärfentiefe



Schärfentiefe



Schärfekriterium

- 2 Winkelsekunden
- Normalbetrachtung: Sehdistanz = Bilddiagonale
- Zerstreukreis = $1/1500$ der Bilddiagonale

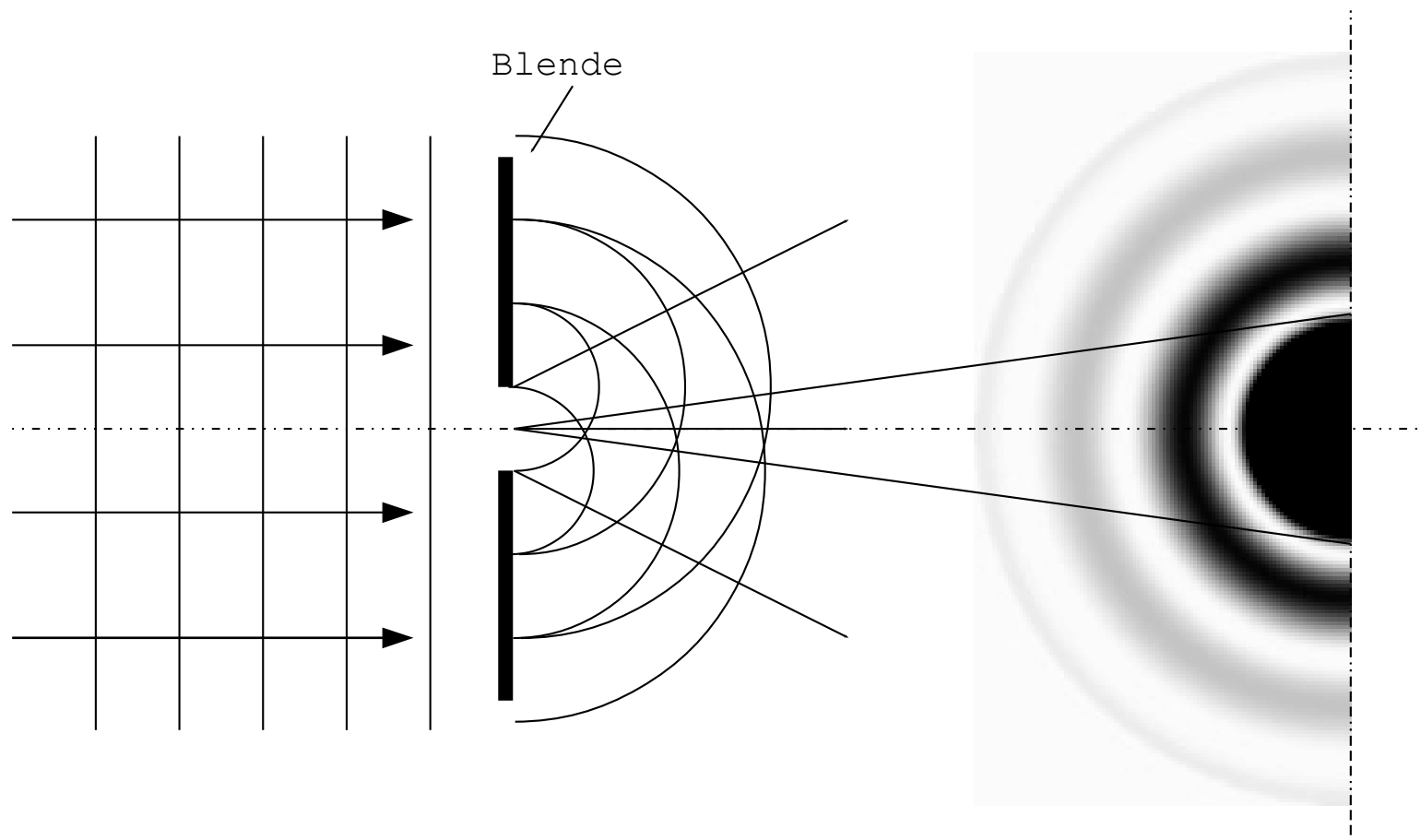
Format		u' (d/1500)	u' (d/2000)
APS-C	23,6mm x 15,8mm	0,019mm	0,014mm
Kleinbild	24mm x 36mm	0,033mm	0,025mm
Mittelformat	6cm x 6cm	0,06mm	0,04mm

Beugung

- Wellennatur des Lichts

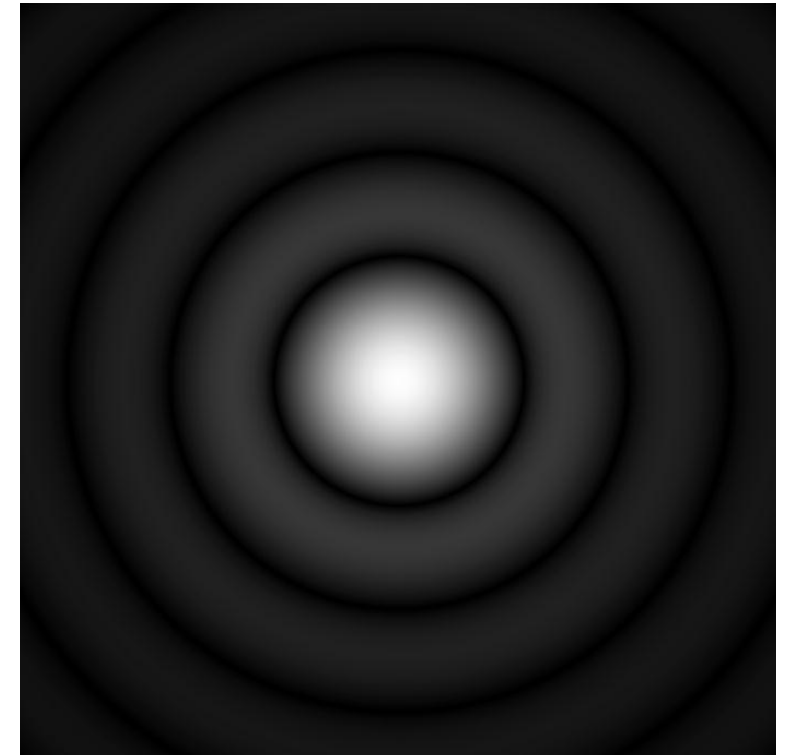


Beugung an der Blende



Airy-Disk

- Der Durchmesser des Scheibchens bedeutet Unschärfe.
- Unschärfe nimmt zu mit:
 - Blendenzahl
 - Abbildungsmaßstab
 - Wellenlänge des Lichts



Förderliche Blende

- Das Airy-Scheibchen wird so gross wie der zulässige Zerstreukreisdurchmesser.
- Die förderliche Blende ist **die kleinste nutzbare Blende**, ohne dass im Bild unmittelbar sichtbare Unschärfe durch Beugung auftritt.
- Die Schärfentiefe wird gefressen durch Beugung
→ **Tiefenschärfe wird Null**

Förderliche Blende

ABM	APS-C	Kleinbild	Mittelformat
1:10	19,0	33,9	54,2
1:5	17,4	31,0	49,7
1:3	15,7	28,0	44,8
1:2	13,9	24,8	39,7
1:1	10,4	18,6	29,8
2:1	7,0	12,4	19,9
3:1	5,2	9,3	14,9
5:1	3,5	6,2	9,9
10:1	1,9	3,4	5,4

- Je grösser der Abbildungsmassstab, desto weniger dürfen wir abblenden

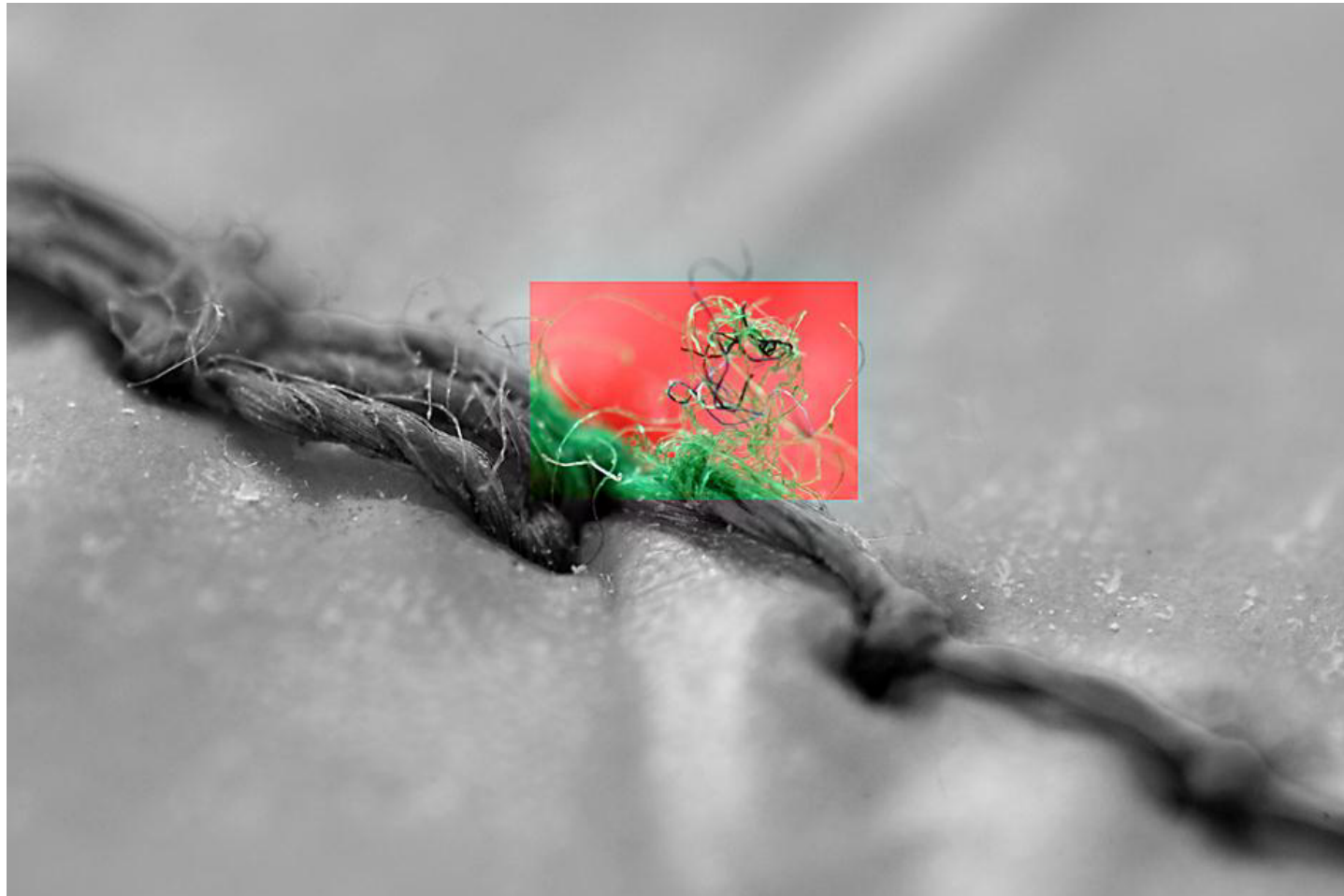
Effektive förderliche Blende

ABM	Micro Four/Thirds	APS-C	Kleinbild
1:10 ... 10:1	16,1	20,9	37,3

- Weniger Abblenden und mehr Lichtverlust – die effektive förderliche Blende ist unabhängig vom Abbildungsmaßstab.
- Nikon zeigt im Display die effektive Blende an.

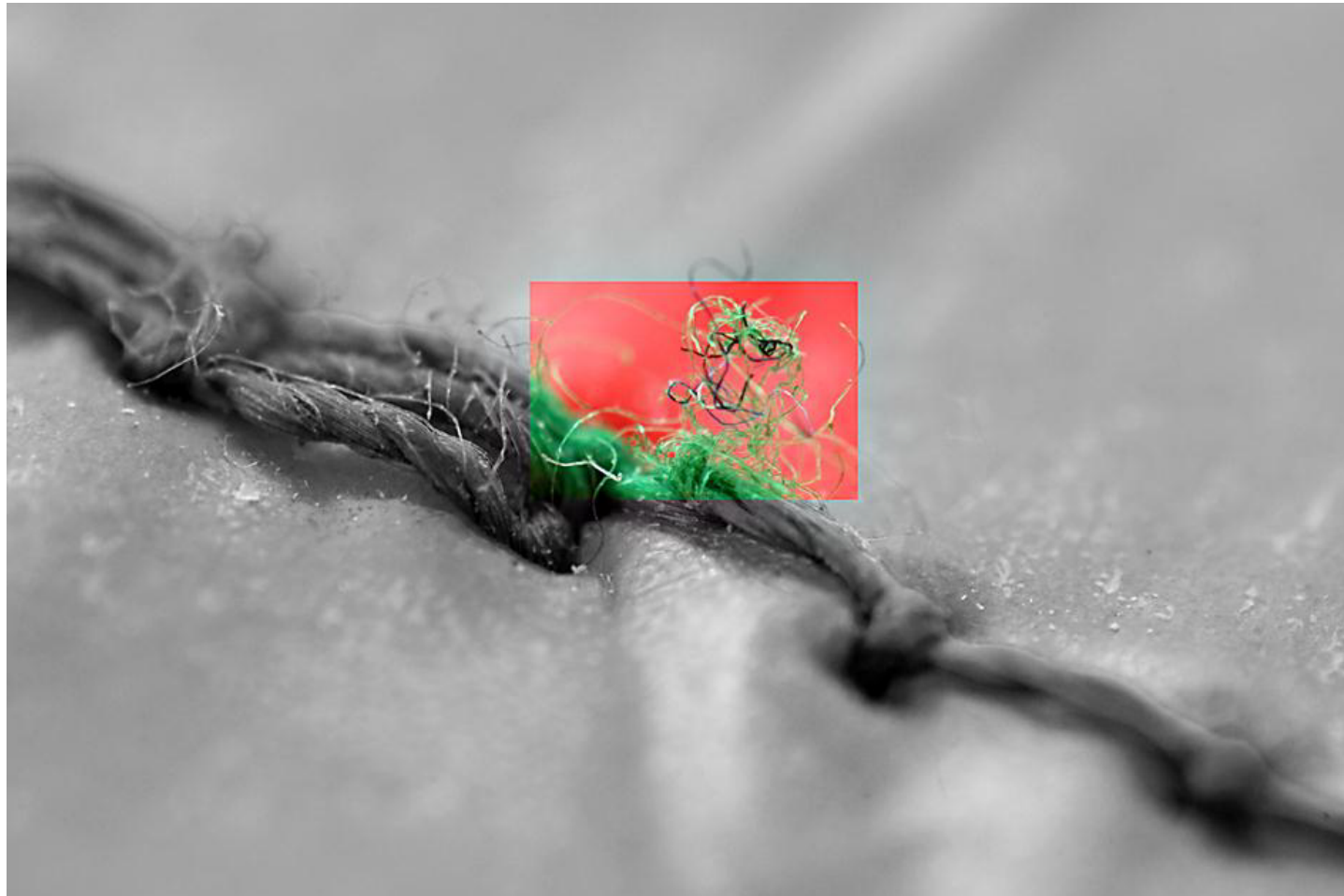
Wie sieht das aus?

- APS-C, Abbildungsmaßstab 3:1



Wie sieht das aus?

- APS-C, Abbildungsmaßstab 3:1



Förderliche Blende

- Ausschnitt, Blende 5,6



Zu stark abgeblendet

- Ausschnitt, Blende 16



Schärfentiefe mit Beugung (VF)

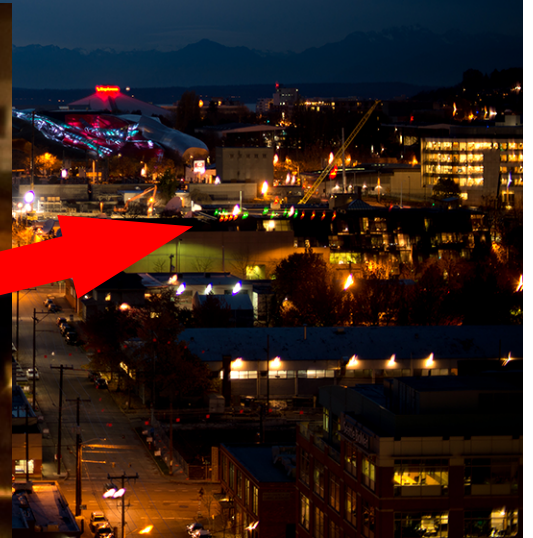
Blende ABM	2	2,8	4	5.6	8	11	16	22
1:10	11,0 <i>0,001</i>	15,3 <i>0,002</i>	21,8 <i>0,003</i>	30,4 <i>0,004</i>	42,8 <i>0,006</i>	57,3 <i>0,008</i>	77,7 <i>0,012</i>	92,2 <i>0,016</i>
1:5	2,99 <i>0,002</i>	4,18 <i>0,002</i>	5,95 <i>0,003</i>	8,26 <i>0,005</i>	11,6 <i>0,006</i>	15,4 <i>0,009</i>	20,6 <i>0,013</i>	23,3 <i>0,018</i>
1:3	1,20 <i>0,002</i>	1,67 <i>0,003</i>	2,38 <i>0,004</i>	3,29 <i>0,005</i>	4,60 <i>0,007</i>	6,07 <i>0,010</i>	7,87 <i>0,014</i>	8,14 <i>0,020</i>
1:2	0,598 <i>0,002</i>	0,835 <i>0,003</i>	1,18 <i>0,004</i>	1,64 <i>0,006</i>	2,27 <i>0,008</i>	2,96 <i>0,011</i>	3,67 <i>0,016</i>	3,06 <i>0,022</i>
1:1	0,199 <i>0,003</i>	0,277 <i>0,004</i>	0,391 <i>0,005</i>	0,534 <i>0,008</i>	0,722 <i>0,011</i>	0,888 <i>0,015</i>	0,819 <i>0,021</i>	- <i>0,030</i>

Abbildungsfehler

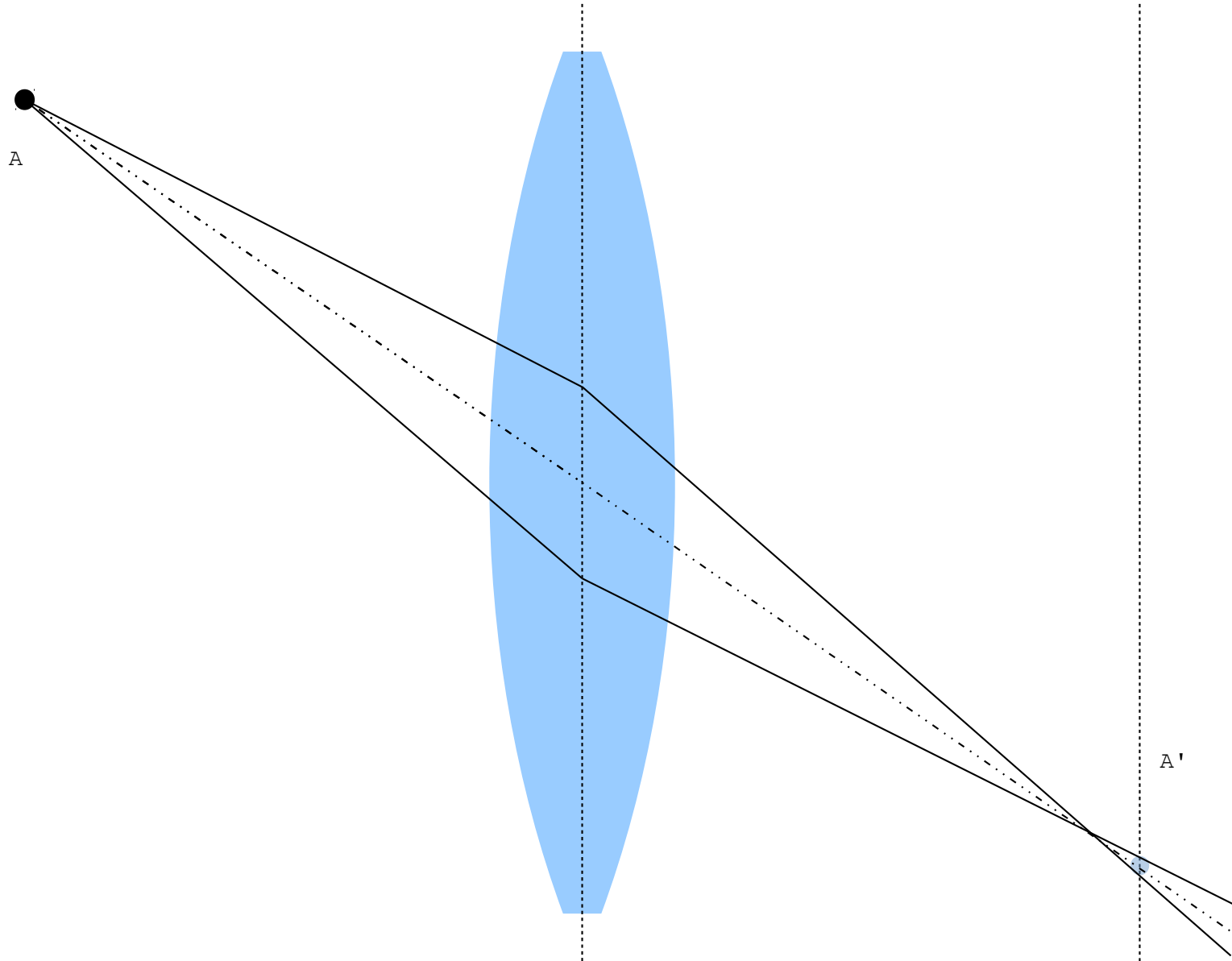
- Verschwinden (teilweise) durch Abblenden
- Beispiel:



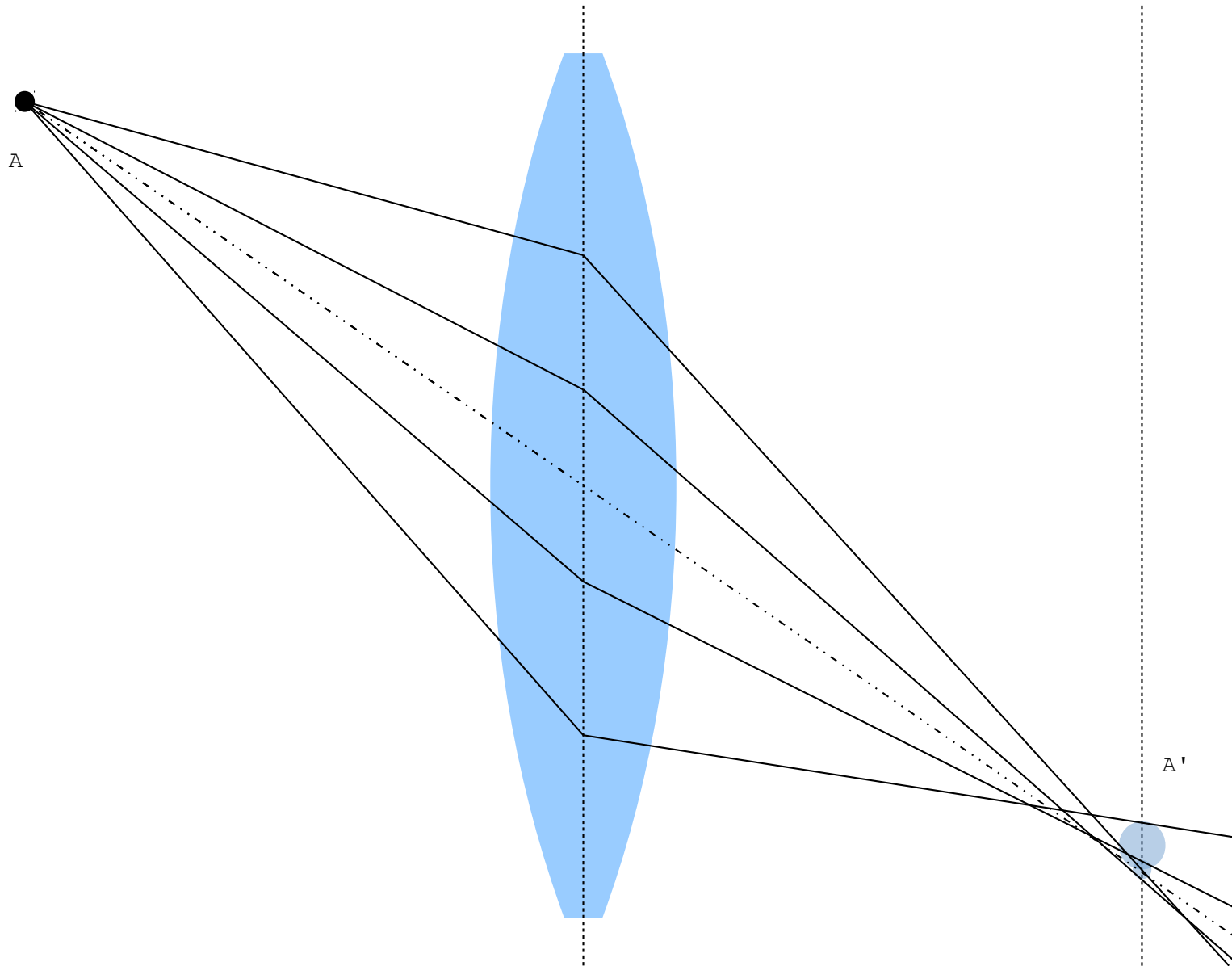
Beispiel 1: Komafehler



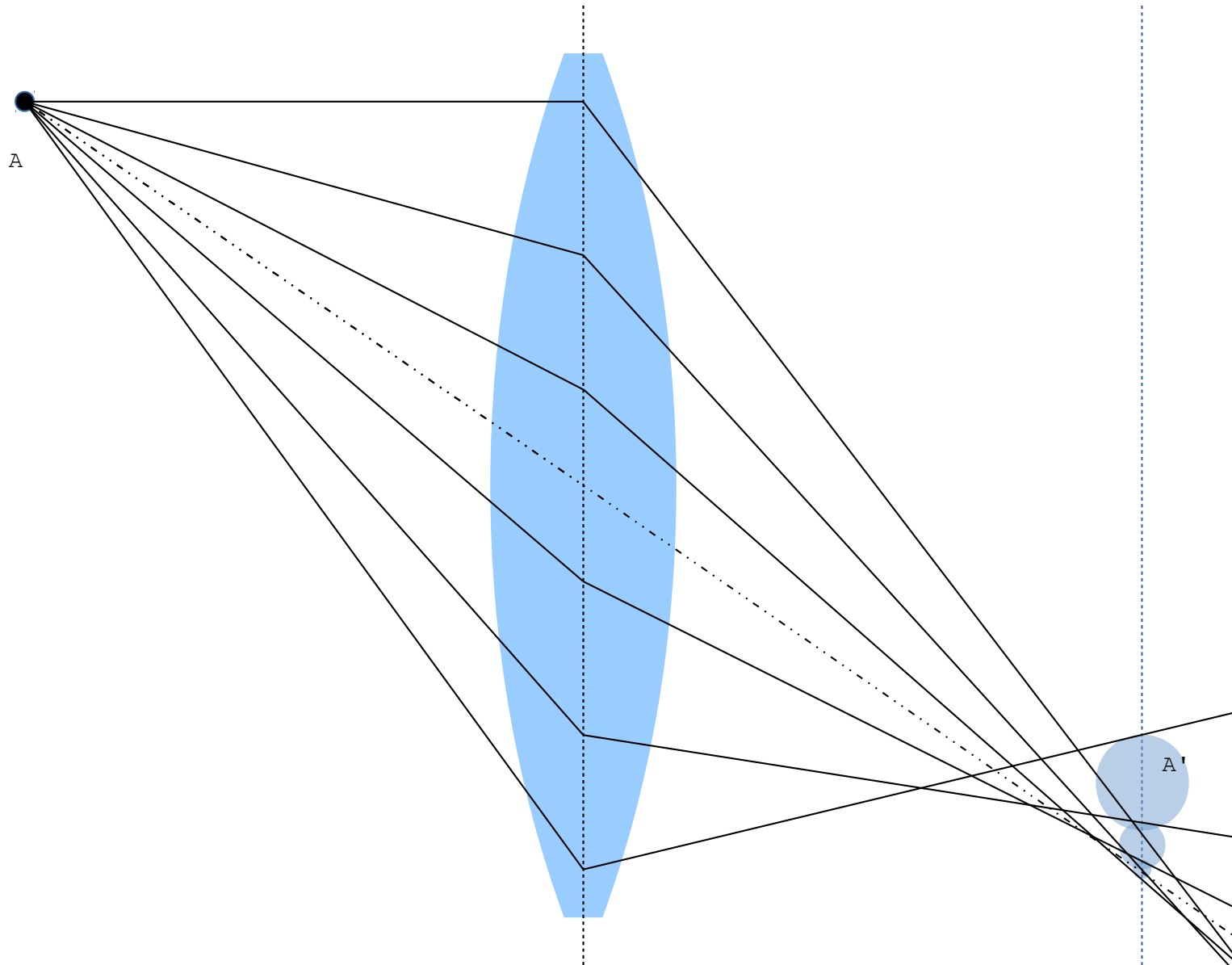
Beispiel: Komafehler



Beispiel: Komafehler



Beispiel: Komafehler



Beispiel 2: Vignettierung

- Künstlich verursacht durch Objektivtubus



Sichtbar im Bokeh

- Katzenaugeneffekt



Bildquelle: www.canon.com.br

Abbildungsfehler

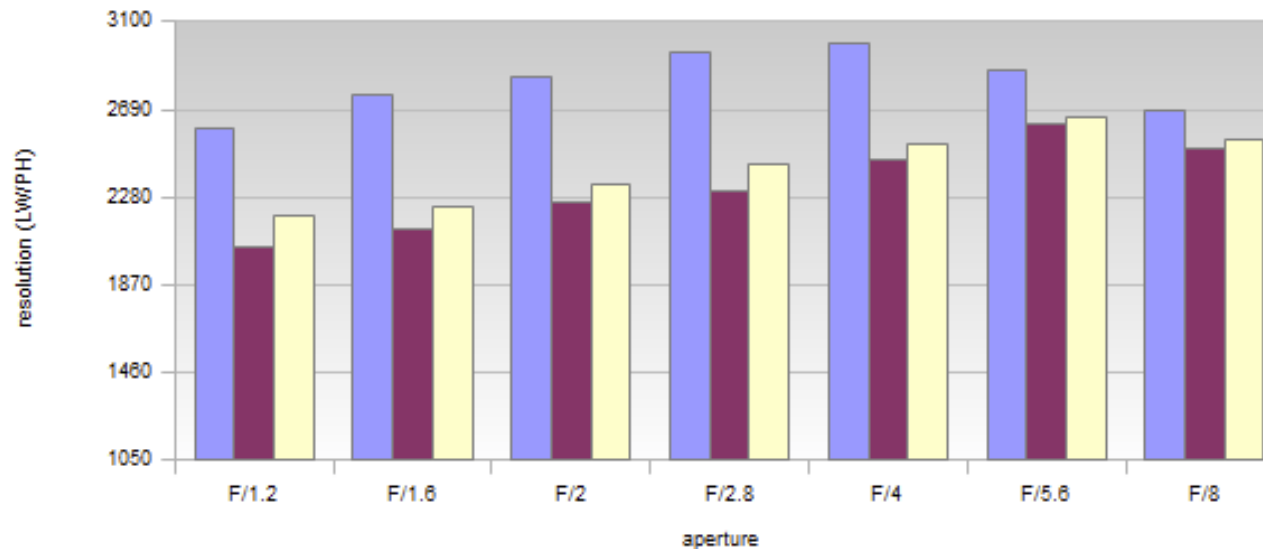
Fehlerart	Bezeichnung	Sichtbar	Im Bokeh	Abblendbar
Lage	Verzeichnung	Bildrand		nein
	Bildfeldwölbung	Bildrand		nein
Helligkeit	Randlichtabfall	Bildrand		nein
	Vignettierung	Bildrand	sichtbar	ja
Farbe	Längs-Farbfehler	Ganzes Bild	sichtbar	ja
	Quer-Farbfehler	Bildrand	sichtbar	nein
Schärfe	Sphärische Aberration	Ganzes Bild	sichtbar	ja
	Astigmatismus	Bildrand		ja
	Koma	Bildrand		ja

Kritische Blende

- Abbildungsfehler werden kleiner
- Beugung nimmt zu

Fujinon XF 56mm f/1.2 R

56mm	F/1.2	F/1.6	F/2	F/2.8	F/4	F/5.6	F/8
Center	2601	2756	2846	2954	3001	2869	2684
Border	2047	2131	2256	2305	2459	2623	2511
Extreme	2193	2233	2341	2431	2534	2658	2555



Entekaphobia

ABM=1:1, Blende=32, ungeschärft



Entekaphobia

ABM=1:1, Blende=32, nachgeschärft



Entekaphobia

ABM=1:1, Blende=10, ungeschärft



Entekaphobia

ABM=1:1, Blende=10, nachgeschärft



Wir haben doch so viele Pixel...

- Wenn wir das Bild in Vergrößerung anschauen...
- soll Limitierung der Schärfe die Pixelzahl sein.
- Dann müssen Beugung und Zerstreukreise so klein sein wie die Pixel ...
- Wie weit dürfen wir abblenden?
- Kann sonst noch was passieren?

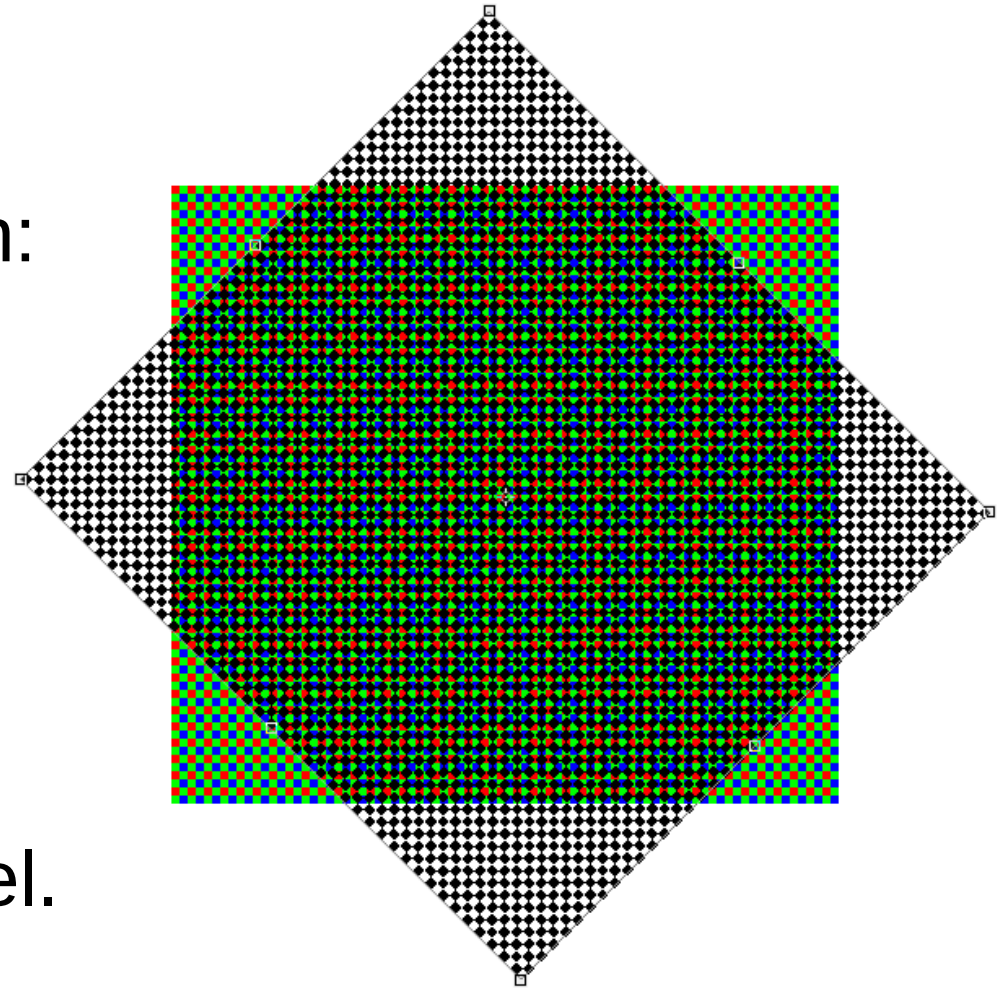
Moiré



Bildquelle: apps.lib.ua.edu/blogs (University of Alabama)

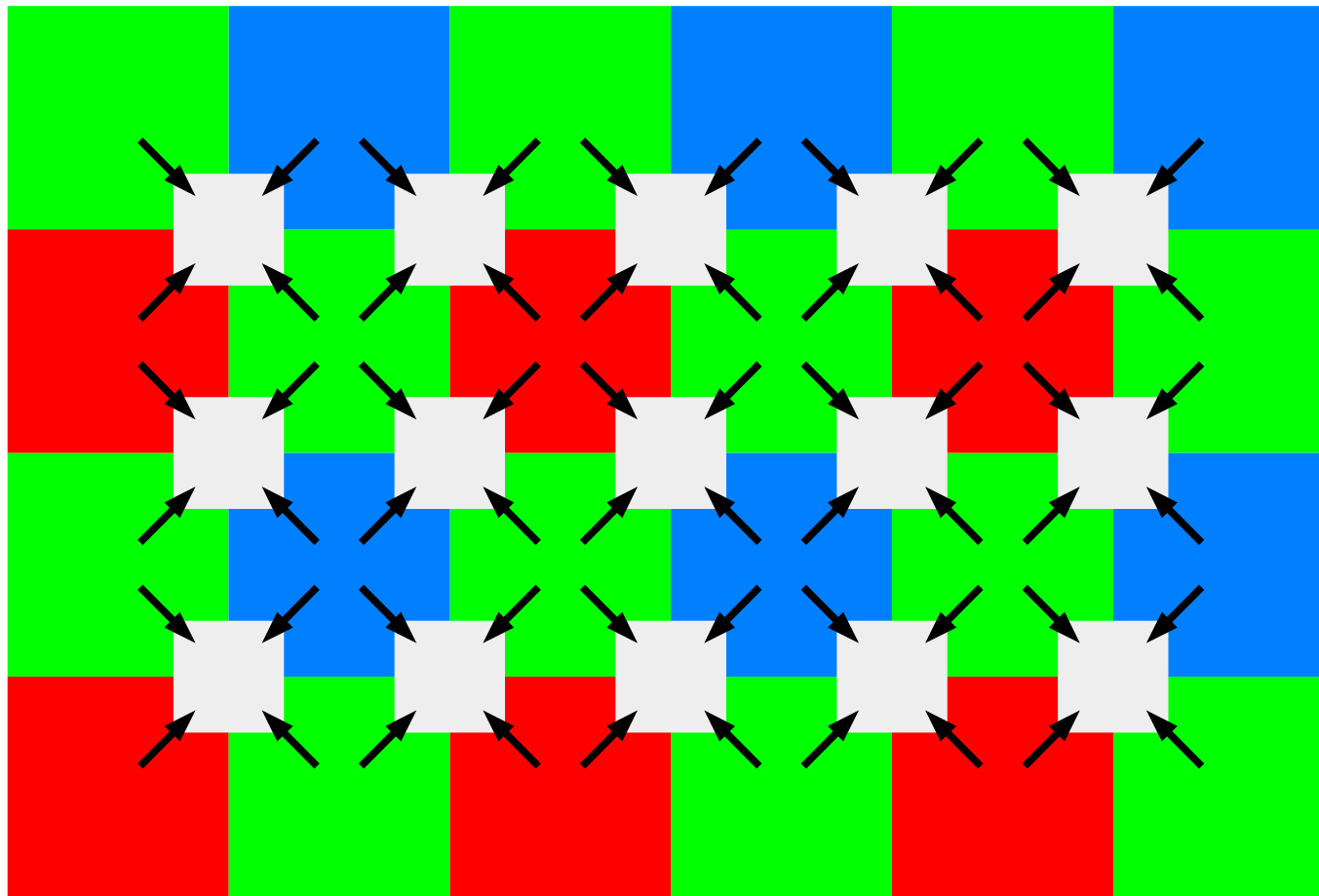
Tiefpassfilter

- Ursache von Moire: Interferenz zwischen Pixeln und Bildstrukturen
- Um Moiré zu eliminieren: Tiefpassfilterfilter verschmiert feinste Strukturen
- Ein projezierter Bildpunkt umfasst auf dem Sensor zirka 4 Pixel.



Demosaicing

- Ein Ausgabepixel wird aus 4 Eingangspixel erstellt.



Pixelpitch = Beugung

- $\varnothing_{\text{Airy}} = 0,67\mu\text{m} * \text{Blende} * (\text{ABM} + 1)$
- Sinnvoll: mit Tiefpassfilter: Pixelpitch x ~1,4
ohne Tiefpassfilter: Pixelpitch x 1

Kamera		Pitch	Blende (bei ∞)
Nikon D750	Vollformat, 24MP Tiefpassfilter	6,0 μm	12
Sony Alpha 7R II	Vollformat, 42MP Kein Tiefpassfilter	4,5 μm	6,7
Nikon D500	APS-C, 20MP Kein Tiefpassfilter	4,2 μm	6,2
Olympus OM-D E-M1	M43, 20MP Kein Tiefpassfilter	3,4 μm	5,1

Ausschnitt

- Wenn das Bild jetzt schärfer ist als es sein müsste...
- dann können wir eine Ausschnittvergrößerung machen, welche immer noch genügend scharf ist.

Grösser sinnvoller Ausschnitt

Motivdiagonale in mm:

ABM → Blende ↓	1:1	2:1	3:1	5:1	10:1
16	42,9	32,2	28,6	25,7	23,6
11	29,5	22,1	19,7	17,7	16,2
8	21,4	16,1	14,3	12,9	11,8
5,6	15,0	11,3	10,0	9,0	8,3
4,0	10,7	8,0	7,1	6,4	5,9
2,8	7,5	5,6	5,0	4,5	4,1
2,0	5,4	4,0	3,6	3,2	2,9
1,4	3,8	2,8	2,5	2,3	2,1

Aber die geringe Schärfentiefe,
wer rettet uns jetzt ...

Focusstacking

- Zusammensetzen mehrerer Bilder mit unterschiedlichen Schärfeebenen zu einem Bild mit grösserer Schärfentiefe
- Einzige (sinnvolle) Möglichkeit, der geringen Schärfentiefe zu entfliehen
- Software:
 - CombineZP
 - Helicon Focus
 - Zerene Stacker

Focusstacking

- ABM = 4:1
- Blende = 2,8
- ST = 0,044mm
- 100 Ebenen
- Montiert mit Zerene Stacker



Genug für heute

Fragen?
Diskussion

