

Plasmakristall

(Versuch #03)

Gruppe 87, WS 03/04:
Fabian Hildebrandt
Claudius Knaak

Bei diesem Versuch ging es darum, einen Plasmakristall herzustellen, indem man in ein Niedertemperaturplasma Mikropartikel injiziert. Anschließend wurden verschiedene Versuchsparameter verändert und deren Einfluß auf den Kristall untersucht.

1. Kristall erzeugen

Nachdem wir das Gas in die Kammer eingefüllt und einen Druck von 0,565 mbar eingestellt hatten, veränderten wir die anliegende Elektrodenspannung in 10er Schritten. Als das Plasma bei 110 V Zündete, regelten wir die Spannung wieder auf 10 V herunter. Wir füllten Mikropartikel ein und nach ein paar Sekunden bildeten sich hauptsächlich in der Mitte des Plasmas Strukturen aus; an den Rändern konnten wir Konvektion erkennen.

2. Kristalldimensionen bestimmen

Zunächst haben wir die Pixelabstände auf dem Bildschirm in μm umgerechnet. Dazu notierten wir den X-Wert eines markanten Bildschirmpunktes und verschoben danach die Kamera um 1 Zoll. Aus den neuen Bildschirmkoordinaten konnten wir Pixel in μm umrechnen (Pix = Pixel):

Kameraverschiebung:	2,54 cm	\Rightarrow 1 Pix =	0,003105134 cm
Bildschirm:	818 Pix	\Rightarrow 1 Pix =	31 μm

x_1 :	55 Pix
x_2 :	873 Pix

Ein Pixel auf dem Bildschirm entspricht somit $31\mu\text{m}$.

a) Gitterabstand

Um den Gitterabstand zu bestimmen verwendeten wir folgendes Bild:

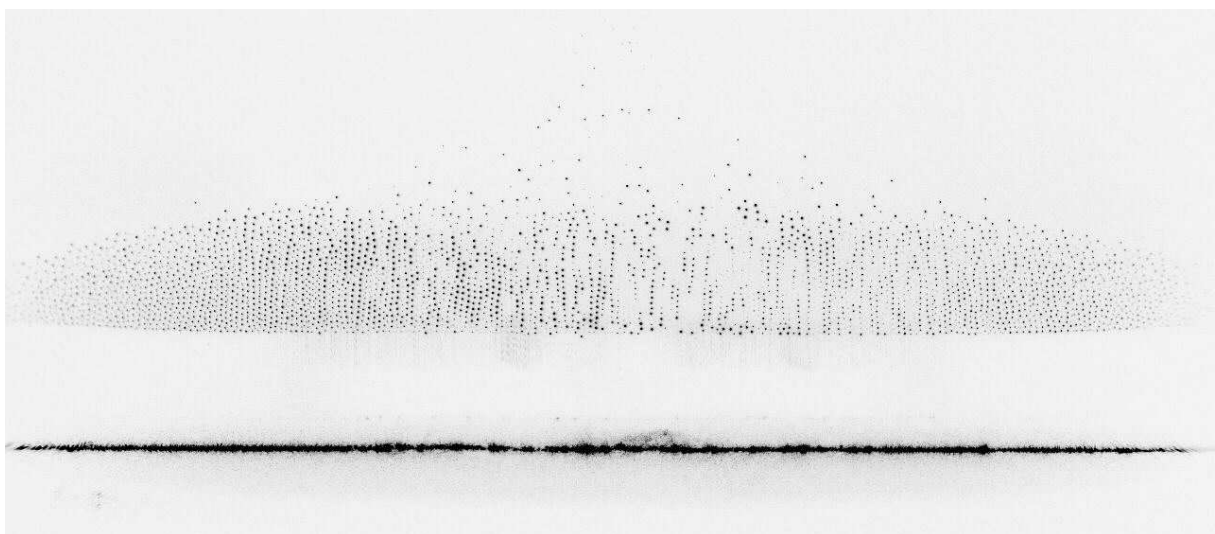


Abbildung 1: Kristall bei 10 V; 0,565 mbar

Bei einer Spannung von 10 V erhielten wir folgende Gitterabstände:

Horizontal:

Messung 1:

Anzahl der Ebenen:	7			
x_1 :	480 Pix	x_2 :	525 Pix	
y_1 :	549 Pix	y_2 :	549 Pix	
Differenz:	45 Pix			
Ebenenabstand:	6,42857143 Pix			
entspricht:	199,285714 μm			

Messung 2:

Anzahl der Ebenen:	4			
x_1 :	256 Pix	x_2 :	283 Pix	
y_1 :	535 Pix	y_2 :	534 Pix	
Differenz:	27 Pix			
Ebenenabstand:	6,75 Pix			
entspricht:	209,25 μm			

Mittelwert: 204,267857 μm

Vertikal:

Messung 1:

Anzahl der Ebenen:	5			
x_1 :	264 Pix	x_2 :	264 Pix	
y_1 :	537 Pix	y_2 :	567 Pix	
Differenz:	30 Pix			
Ebenenabstand:	6 Pix			
entspricht:	186 μm			

Messung 2:

Anzahl der Ebenen:	6			
x_1 :	592 Pix	x_2 :	592 Pix	
y_1 :	525 Pix	y_2 :	561 Pix	
Differenz:	36 Pix			
Ebenenabstand:	6 Pix			
entspricht:	186 μm			

Im Mittel ergibt sich ein horizontaler Gitterabstand von 204 μm und ein vertikaler Gitterabstand von 186 μm .

b) Breite und Höhe des Kristalls

Da die Konvektion an den Rändern im oberen Bereich stärker ausgeprägt war als im unteren Bereich des Plasmas, mussten wir die Ränder des Kristalls passend wählen. Wir taten dies so, dass im Mittel Konvektion und Kristallstruktur gleich groß waren. Für die Breite und Höhe des Kristalls erhielten wir:

x_1 :	113 Pix	x_3 :	1135 Pix
y_1 :	449 Pix	y_3 :	449 Pix
x_2 :	113 Pix	x_4 :	1135 Pix
y_2 :	590 Pix	y_4 :	590 Pix
Differenz x (Δx):	1022 Pix	=	31682 μm
Differenz y (Δy):	141 Pix	=	4371 μm

c) Gesamtteilchenzahl

Um die Gesamtteilchenzahl bestimmen zu können, mussten wir das Volumen des Kristalls und die Dichte der Teilchen abschätzen. Unter der Annahme eines zylinderförmigen Volumens erhalten wir:

$$V = r^2 \cdot \pi \cdot h = \left(\frac{\Delta x}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \Delta y = 3,4458 \cdot 10^{12} \mu\text{m}^3$$

Ausgehend von einem mittleren Teilchenabstand von $195 \mu\text{m}$ ergibt sich damit eine Teilchenzahl von

$$N = \frac{V}{(195 \mu\text{m})^3} = 4,64 \cdot 10^5$$

3. Horizontale Gitterstruktur und Paarkorrelation

Als nächstes wählten wir einen strukturierten Bereich aus und ließen uns vom „IDL-Programm“ verschiedene horizontale Gitterstrukturen und die zugehörige Paarkorrelation anzeigen:

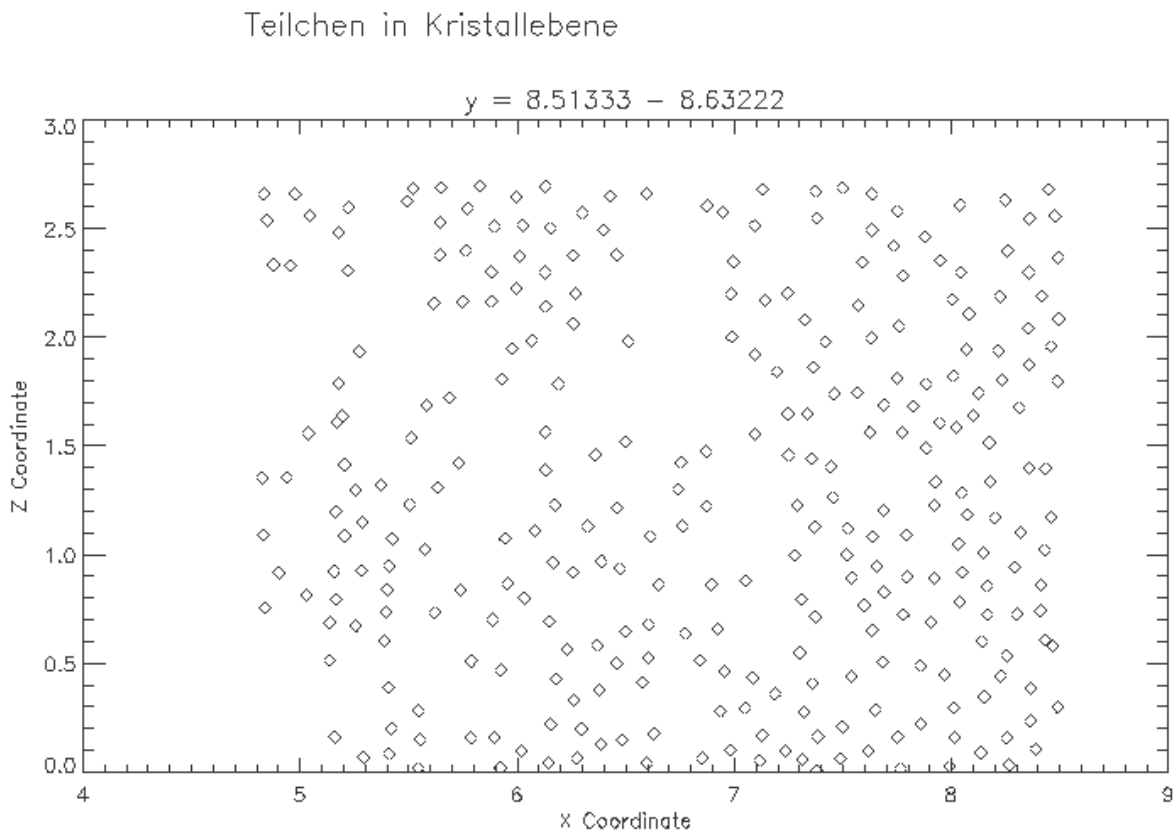


Abbildung 2: Ebene 01 (Datei: ebene01-01.bmp)

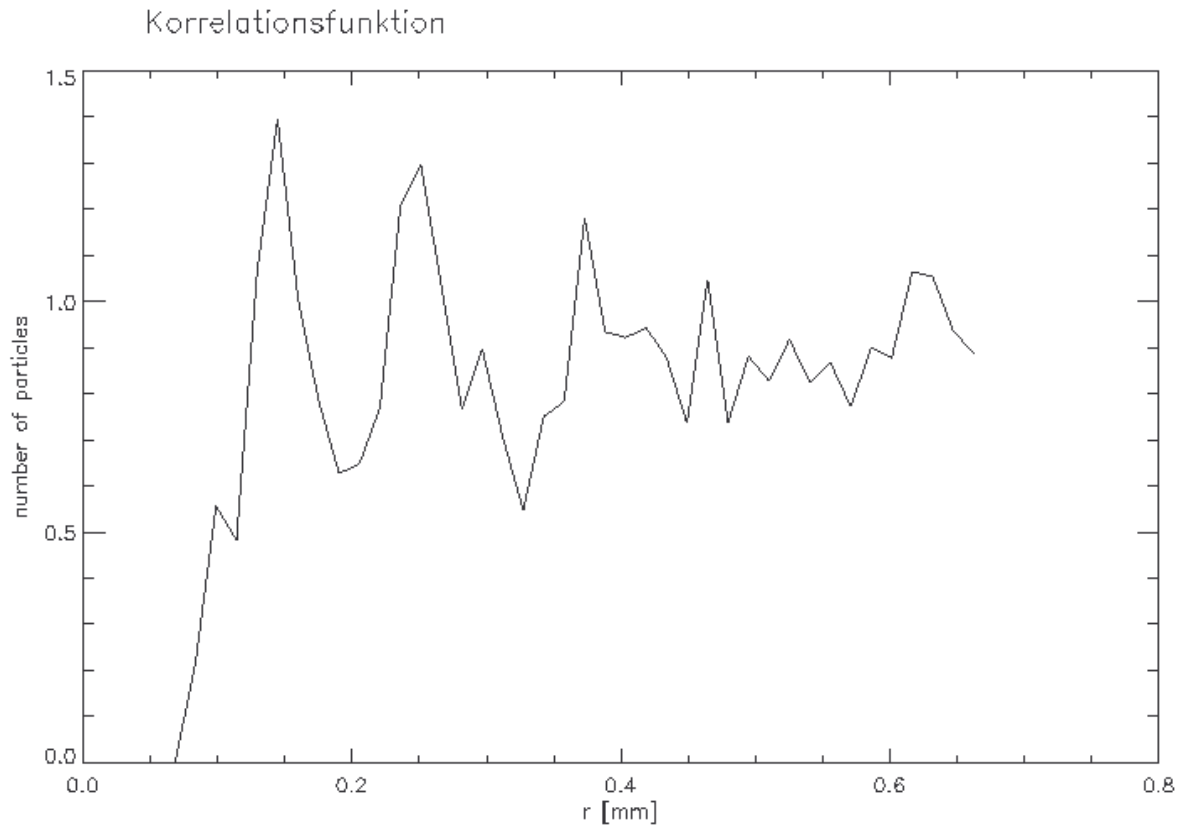


Abbildung 3: Paarkorrelation für Ebene 01 (Datei: gr01-01.bmp)

Man sieht deutlich die verschiedenen Spitzen, die auf eine Kristallstruktur hindeuten. Ist keine Kristallstruktur vorhanden, so erwartet man nur eine Spitze, da es dann keine Anhäufungen von Teilchen in regelmäßigen Abständen gibt. Um das zu sehen, wählten wir einen anderen, unregelmäßigeren Bereich des Kristalls aus:

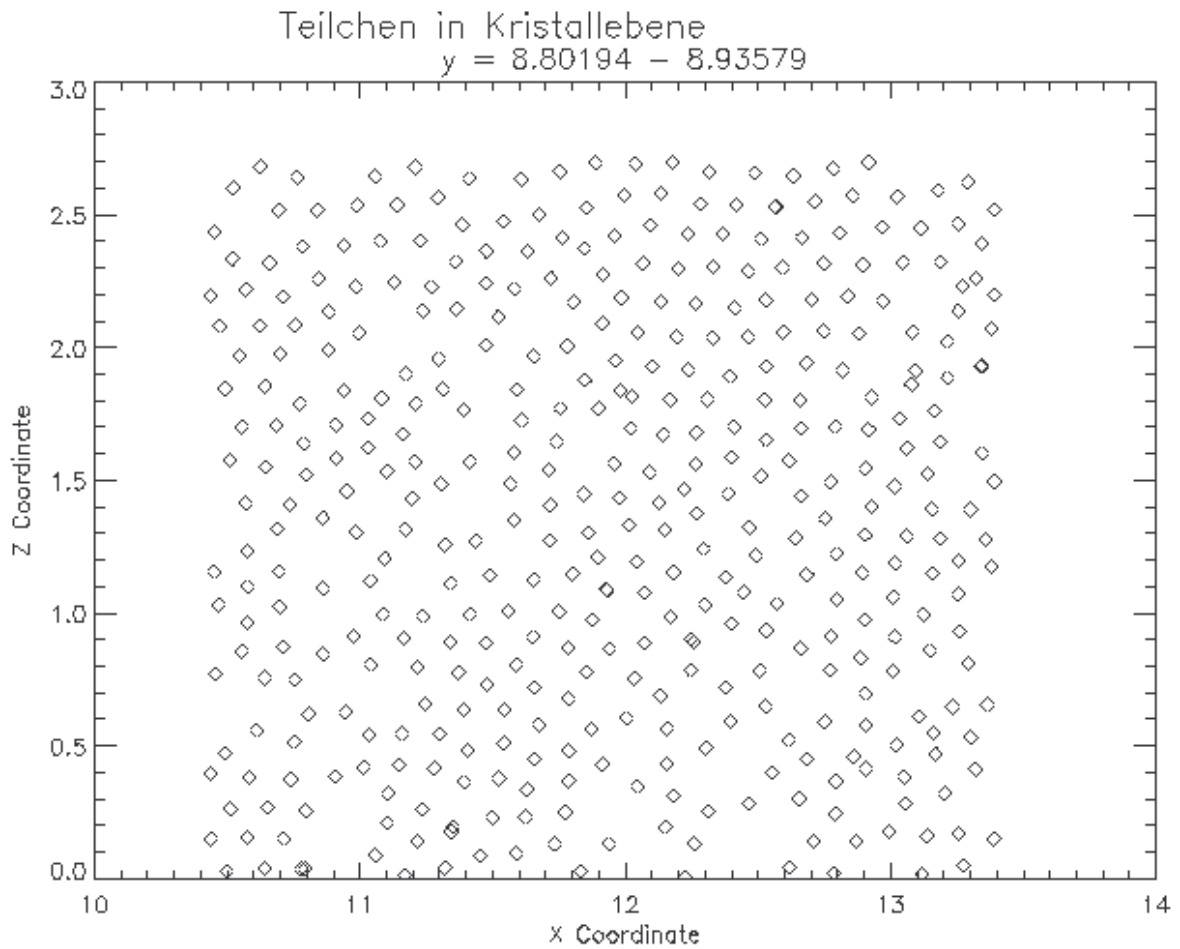


Abbildung 4: Ebene 3 (Datei: ebene3.bmp)

Korrelationsfunktion

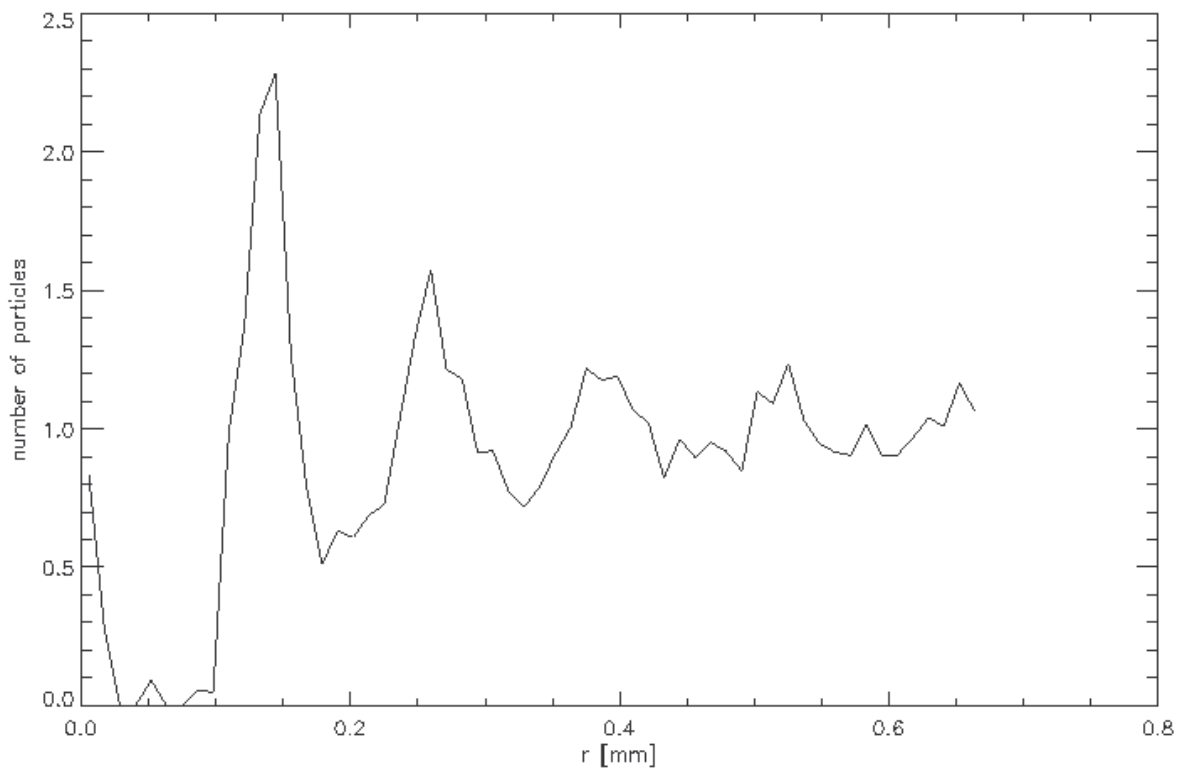


Abbildung 5: Paarkorrelation für Ebene 3 (Datei: gr3.bmp)

Im Vergleich zur vorherigen Paarkorrelation ist hier nur noch die erste Spitze stark ausgeprägt, die zweite ist schon kleiner und danach gibt es keine ausgeprägten Spitzen mehr.

4. Druckabhängigkeit des Kristalls

Wir verringerten den Druck auf 0,457 mbar. Die Konvektion an den Rändern breitete sich aus, aber es war immer noch eine Kristallstruktur zu erkennen (siehe Abbildung 6).

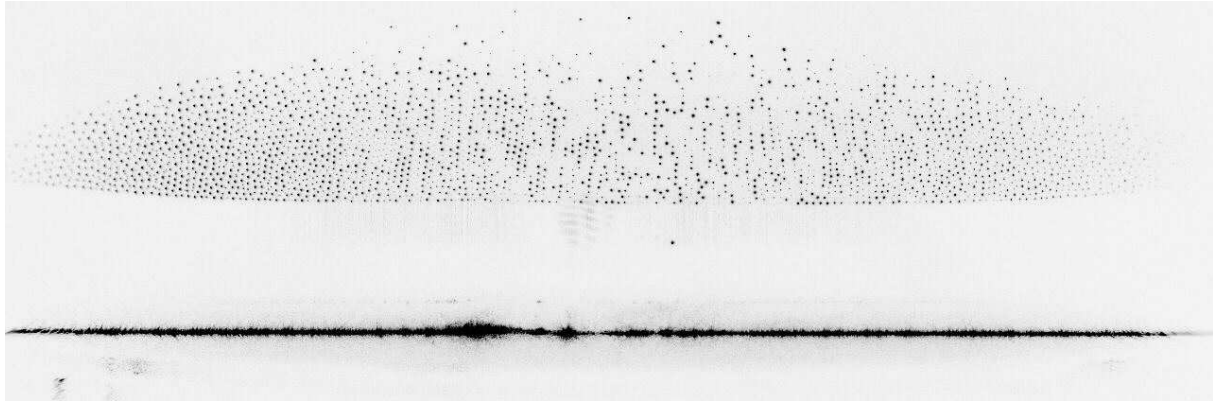


Abbildung 6: Kristall bei 10 V; 0,457 mbar

Auch hier haben wir die Abstände der Gitterebenen gemessen:

Horizontal:

Anzahl der Ebenen:	4			
x1:	452 Pix	x2:	481 Pix	
y1:	481 Pix	y2:	478 Pix	
Differenz:	29 Pix			
Ebenenabstand:	7,25 Pix			
entspricht:	224,75 μm			

Vertikal:

Anzahl der Ebenen:	4			
x1:	687 Pix	x2:	687 Pix	
y1:	522 Pix	y2:	493 Pix	
Differenz:	29 Pix			
Ebenenabstand:	7,25 Pix			
entspricht:	224,75 μm			

Im Vergleich zu einem mittleren Abstand von 195 μm bei 0,565 mbar haben wir hier eine Zunahme des Gitterabstands von 15% auf 225 μm .

Bei weiterer Druckverminderung auf 0,227 mbar war keine Kristallstruktur mehr vorhanden. Statt dessen begannen sich Schwingungen auszubilden. Eine weitere Druckerniedrigung auf 0,113 mbar verstärkte die Schwingungen.

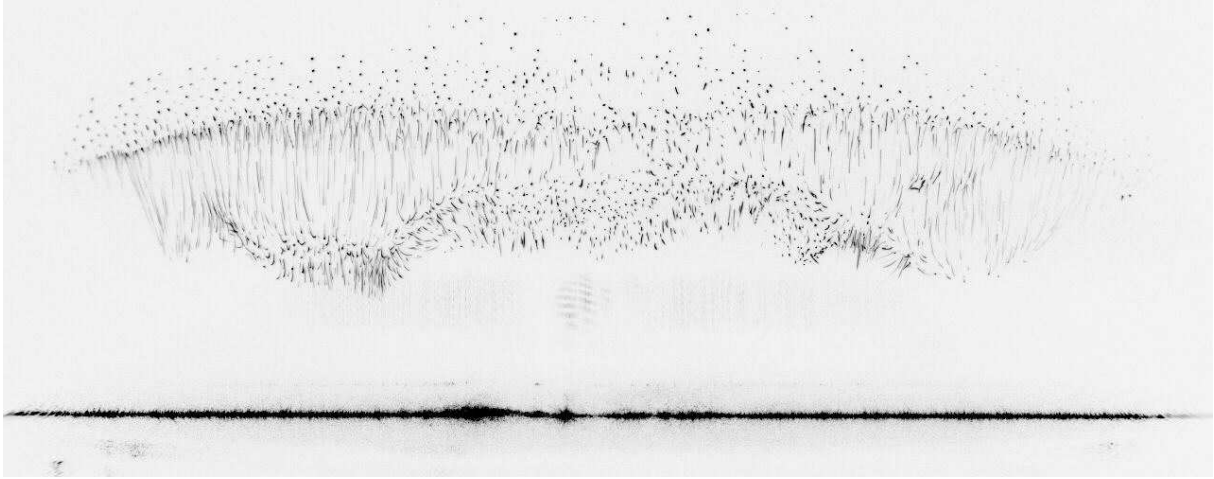


Abbildung 7 a): 10V; 0,113 mbar

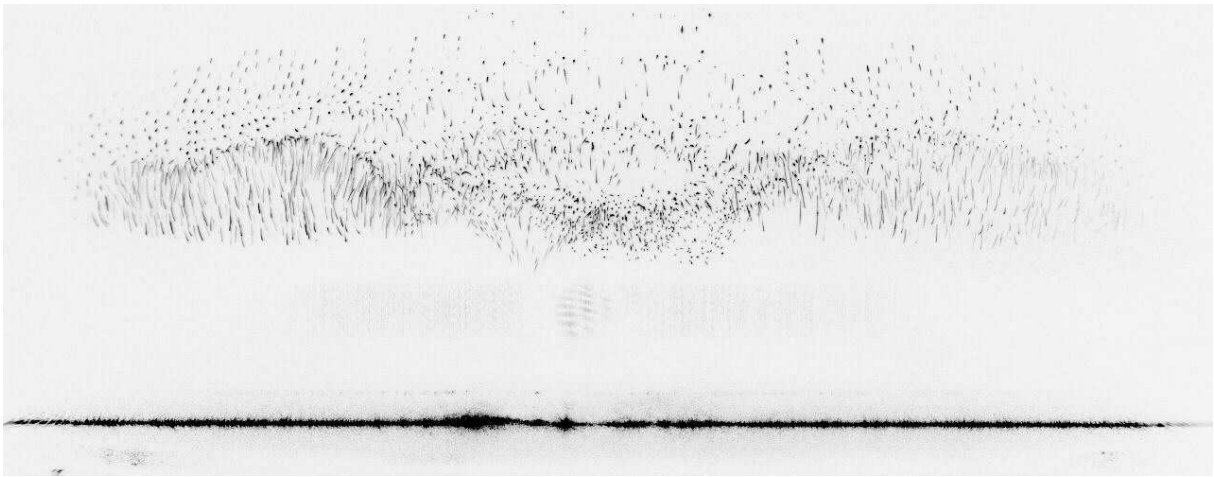


Abbildung 7 b): 10V; 0,113 mbar

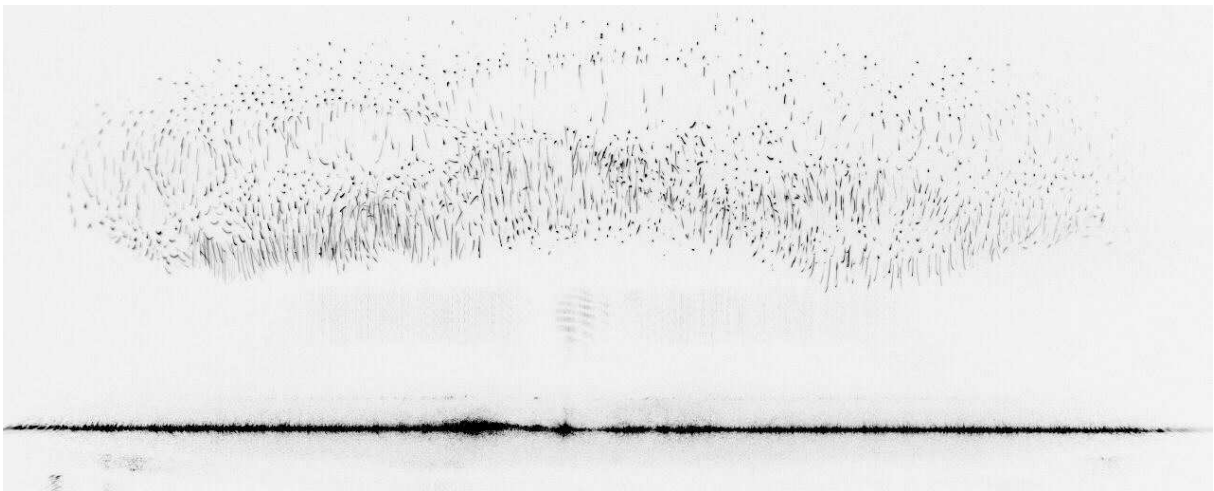


Abbildung 7 c): 10V; 0,113 mbar

5. Spannungsabhängigkeit des Kristalls

Schließlich stellten wir den Ausgangsdruck wieder her und veränderten die Spannung. Bei einer Spannung von 30 V haben wir wieder die Abstände der Gitterebenen gemessen:

Horizontal:

Anzahl der Ebenen:	5				
x1:	239	Pix	x2:	264	Pix
y1:	563	Pix	y2:	561	Pix
Differenz:	25	Pix			
Ebenenabstand:	5	Pix			
entspricht:	155	µm			

Vertikal:

Anzahl der Ebenen:	6				
x1:	252	Pix	x2:	253	Pix
y1:	586	Pix	y2:	555	Pix
Differenz:	31	Pix			
Ebenenabstand:	5,1666667	Pix			
entspricht:	160,166667	µm			

Mittelwert: 157,583333 µm

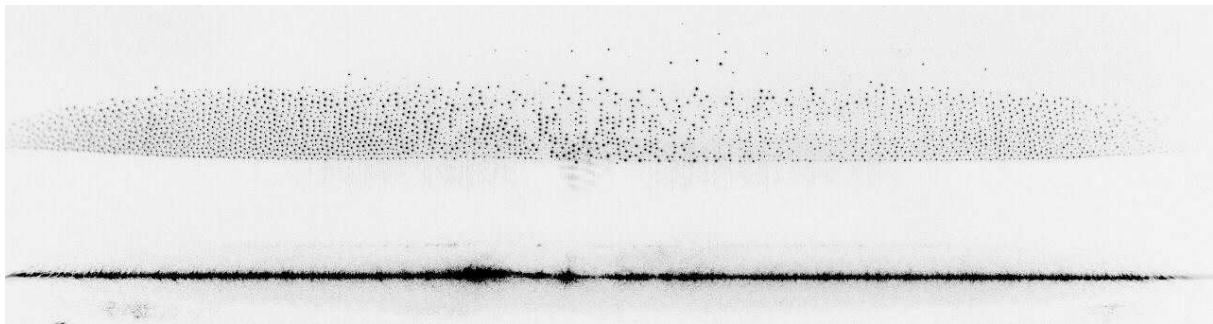


Abbildung 8: Kristall bei 30V; 0,565 mbar

Was augenscheinlich zu vermuten war, bestätigte sich: bei höherer Spannung werden die Teilchen näher zur Elektrode gezogen, weshalb der Gitterabstand um 20% auf (im Mittel) 158 µm sank.

Verringert man die Spannung auf 5 V, so gibt es mehr Konvektion. Bei 4 V ist das Plasma erloschen. Um zu sehen, welchen Einfluß die Teilchen auf das Erlöschen des Plasmas haben, zündeten wir das Plasma abermals: zuerst erhöhten wir die Spannung in 10er Schritten bis 100 V und danach jeweils um 1 V. Das Plasma zündete bei 105 V. Ohne Teilchen einzufüllen verringerten wir die Spannung, bis schließlich bei 2 V das Plasma wieder erlosch.

Abschließend kann man sagen, dass dieser Versuch zu den interessanteren zu zählen ist, da man hier nicht nur Zahlen notiert, sondern auch die Auswirkungen der Versuchsparameter direkt sehen kann.