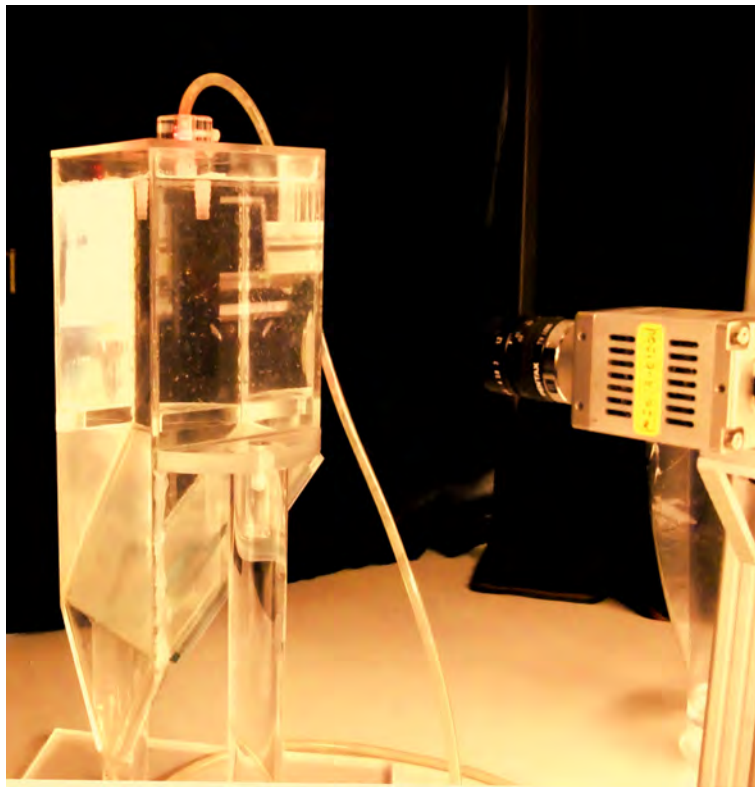


# Particle Image Velocimetry-PIV

## Laborbericht

Emanuel Mondgenast  
Markus Gartmann

4. November 2010



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PIV</b>	<b>3</b>
2.1	Prinzip der PIV . . . . .	3
2.2	Beispiele zur PIV . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>3</b>
3.1	Optische Systeme . . . . .	3
3.2	Fluid und Partikel . . . . .	5
3.3	Strömungsaufbau . . . . .	5
3.4	Justieren des Blickfeldes . . . . .	5
3.5	Pulsdauer und Zeitaufteilung . . . . .	5
3.6	Ablauf des Experiments . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Parameterwahl für die PIVview Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1	Gittergrösse . . . . .	7
4.2	Einstellungen für <b>peak detection method, correlation, interrogation, method, validation, filters</b> . . . . .	7
4.3	Allgemeine Einstellungen . . . . .	7
4.4	Umrechnung auf $\frac{m}{s}$ . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Messung</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>
6.1	Mittleres Strömungsfeld . . . . .	8
6.2	Nichtstationäres Strömungsfeld . . . . .	8
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>8</b>
7.1	Eignung der PIV im vorliegenden Strömungsfeld . . . . .	9
7.2	Mängel . . . . .	9
7.3	Mögliche Verbesserungen . . . . .	9
	<b>Literatur</b>	<b>11</b>
<b>A</b>	<b>Nomenklatur</b>	<b>11</b>
<b>B</b>	<b>MATLAB code</b>	<b>11</b>
<b>C</b>	<b>Plots</b>	<b>14</b>

# 1 Einleitung

Um eine Strömung zu charakterisieren, möchte man oft möglichst viele Geschwindigkeitsmessungen im Strömungsfeld vornehmen. Sobald man Instrumente in der Testsektion wird jedoch die Strömung verändert. Abgesehen davon wäre der Aufwand enorm. Gefragt ist also eine Technik, mit der man möglichst viele Vektoren messen kann, ohne dazu in die Strömung eingreifen zu müssen. Dies ist mit der Particle Image Velocimetry (PIV) möglich. Mit erstaunlich wenig Aufwand erreicht man schon eindruckliche Ergebnisse. Auch die Auswertung zeigt sich als mässig intensiv, obwohl sehr gute Resultate geliefert werden. Den Anwendungsbereichen sind dabei fast keine Grenzen gesetzt, da so viele Parameter auf die jeweilige Situation angepasst werden können.

## 2 PIV

### 2.1 Prinzip der PIV

Mit der PIV ist es möglich Geschwindigkeit und Richtung des Strömungsfeldes in einem ganzen Bereich zu bestimmen. Im Prinzip werden innerhalb sehr kurzen Zeitabständen Bilder eines mit Partikeln versetzten Fluids gemacht. Nun wird das Bild in kleinere Bereiche unterteilt und dort charakteristische Partikelgruppen ausgewählt. Diese werden per Computer in der zweiten Aufnahme wieder gesucht. Da die Zeit zwischen den Aufnahmen bekannt ist, lässt sich mit der eben bestimmten Verschiebung die Geschwindigkeit und Richtung der Strömung an diesem Punkt bestimmen.

### 2.2 Beispiele zur PIV

So einfach das Prinzip dieser Methode auch ist, so vielseitig sind die Anwendungsmöglichkeiten. So lassen sich von Tieren oder auch von Rotorblättern verursachte Strömungen untersuchen. Ebenso breit ist die Auswahl an PIV-Methoden; die Palette reicht momentan bis zu dreidimensionalen Methoden wie Hologramm PIV.

## 3 Versuchsaufbau

### 3.1 Optische Systeme

Zur Aufzeichnung der Bilder dient eine CCD-Kamera mit einer Auflösung von 1280x1024 Pixel. Die Optik der Kamera verursacht leichte radiale Verzerrungen im Randbereich. Normalerweise werden hochgeschwindigkeitskameras verwendet, in unserem Fall wurde aus Kostengründen die Pixelfly von PCO verwendet, welche eine sehr niedrige Belichtungszeit benötigt und

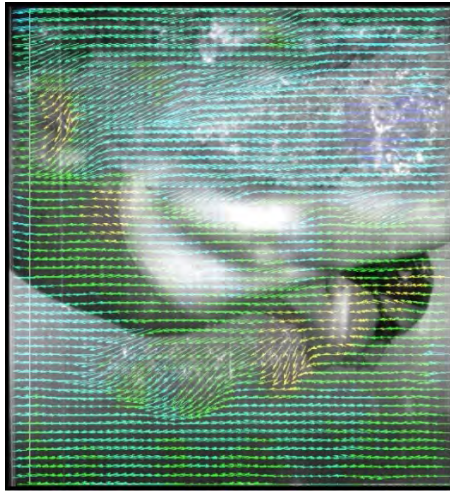


Abbildung 1: PIV Analyse einer Schwimmerin [1]

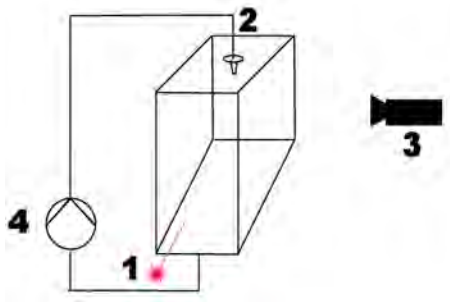


Abbildung 2: Aus der Düse (2) strömt Wasser durch das Plexiglasgehäuse. Mit einem Laser (1) wird der zu untersuchende Ausschnitt beleuchtet und gleichzeitig zeichnet die Kamera (3) die Partikel auf. Die Pumpe (4) ermöglicht den benötigten Druckunterschied.

zwei aufeinanderfolgende Bilder in kurzem Abstand aufnehmen kann. Der zu untersuchende Abschnitt wird mit einem diskontinuierlicher Laser der Marke Lasiris mit der Wellenlänge  $670nm$  und einer Leistung von  $0.5W$  ausgeleuchtet.

### 3.2 Fluid und Partikel

Als Partikel dienen Polyamidkugeln mit einem Durchmesser von  $57\mu m$ , da diese fast die gleiche Dichte wie das Strömungsmedium Wasser aufweisen und sich dadurch nicht setzen. Eine Pumpe verursacht den nötigen Druckunterschied für die Strömung.

### 3.3 Strömungsaufbau

Es soll die Strömung nach einer Düse untersucht werden. Diese ist in einem Plexiglasgehäuse befestigt, welches wiederum mit Wasser gefüllt ist. Die Abschrägung im unteren Bereich des Gehäuses ist verspiegelt, damit auch der Bereich hinter der Düse ausgeleuchtet wird.

### 3.4 Justieren des Blickfeldes

Der Bildausschnitt wurde so gewählt, dass der Düseneingang in etwa in der Mitte rechts des Bildes zu liegen kommt. Des weiteren wurde darauf geachtet, dass die Ränder noch im Ausschnitt erscheinen.

### 3.5 Pulsdauer und Zeitaufteilung

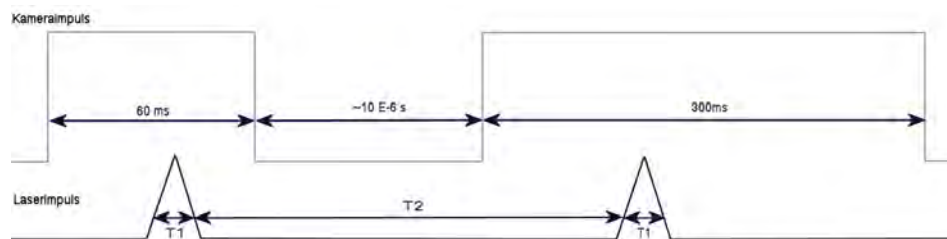


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Zeiten

Der zeitliche Ablauf ist in Abbildung 3 gezeigt. Die Kamera zeichnet während  $60\text{ ms}$  auf. In diesem Zeitfenster beleuchtet der Laser die Partikel für eine Zeit  $T_1$ . Während ungefähr  $1\mu s$  schliesst die Blende der Kamera und öffnet sich anschliessend  $300\text{ ms}$  lang. Nach einer Zeit  $T_2$  wird der zweite Laserpuls ausgelöst.

Um die Geschwindigkeiten in  $\frac{mm}{s}$  angeben zu können, muss der Umrechnungsfaktor  $M = \left[ \frac{mm}{Pixel} \right]$  bestimmt werden. Hierfür wird der Durchmesser

der Düse in  $mm$  gemessen und den selben in Pixel am Computer. Der Umrechnungsfaktor  $M$  ergibt sich zu

$$M = \frac{7mm}{71Pixel} = 0.0986 \frac{mm}{Pixel}.$$

In Abbildung 3 wird deutlich, dass der Zeit  $T_2$  Grenzen gesetzt sind, da der Laserpuls im Bereich der Beleuchtungszeit der Kamera liegen muss. Der maximale Wert lässt sich mit Formel 2 bestimmen.

$$U = M \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}, \text{ wobei } U=100 \frac{mm}{s} \text{ und } x = 16Pixel \quad (1)$$

$$\Delta t = M \cdot \frac{\Delta x}{U} = 0.0986 \cdot \frac{mm}{Pixel} \frac{16Pixel}{100 \frac{mm}{s}} = 0.01578s \quad (2)$$

### 3.6 Ablauf des Experiments

Im ersten Schritt wird das mit Partikeln versehene Wasser in das Gehäuse gefüllt. Nun muss die Apparatur ausgerichtet und kalibriert werden. Da nur die von der Düse verursachte Strömung von Interesse ist, muss die Laserebene genau in diesem Bereich liegen. Das Gehäuse wird so gedreht, dass das im Spiegel reflektierte Licht den Bereich hinter der Düse abdeckt.

Anschliessend folgen die Einstellungen der Kamera. Da die Lichtmenge im Versuchsaufbau relativ gering ist, muss die Blende ganz geöffnet werden. Durch Drehen am Objektiv können die Partikel scharfgestellt werden.

Mit dem Programm "PIV Experimental Camera" werden die Aufnahmen nach dem Einstellen der Parameter gemacht und abgespeichert. Bevor eine grössere Bildserie gemacht wird, müssen die eingegebenen Parameter überprüft werden. Hierfür reichen 20 Bilder, welche auf Schärfe der Partikel, Kontrast des Bildes und aufgenommenen Ausschnitt überprüft werden. Die Analyse geschieht einerseits per Auge, aber auch mit PIVview in welchem die berechneten Vektoren mit der beobachteten Strömung abgeglichen werden. Stimmen die Einstellungen, können in 10 Schritten jeweils 100 Bilder aufgenommen werden.

Die Auswertung geschieht in PIVview und zusätzlich in Matlab.

## 4 Parameterwahl für die PIVview Auswertung

Es ist anzumerken, dass keine optimale Parameterkombination gefunden werden konnte. Da es möglich ist, unzählige Einstellungen vorzunehmen, wurde versucht, einerseits empirisch, andererseits aufgrund von theoretischen Überlegungen geeignete Parameter zu wählen. Schliesslich wurde eine Kombination gefunden, welche brauchbare Ergebnisse liefert. Die Grössen,

welche in diesem Experiment verändert wurden, werden im Folgenden erwähnt. Alle anderen entsprechen den Standardeinstellungen des Programms. Da bei den Resultaten aus den gemittelten Werten wie erwähnt eine starke Glättung auftritt, konzentrieren wir uns bei der Analyse auf die Resultate aus jeweils einem Bildpaar.

#### 4.1 Gittergrösse

Die Gittergrösse bestimmt die Auflösung der Berechnung, da pro Bildabschnitt ein Verschiebungsvektor entsteht. Zu klein dürfen diese jedoch nicht gewählt werden, da dann die Genauigkeit der Zuordnung abnimmt. Der ideale Wert muss jeweils empirisch bestimmt werden. In unserem Experiment verwendeten wir Quadrate mit einer Seitenlänge von 64 Pixel. Kombiniert mit 50 Prozent Überlappung zwischen zwei Gittereinheiten, in welchen die Partikel gesucht werden, liefert dies eine vernünftige Anzahl Vektoren. Mit dem Überschneiden der Quadrate wird versucht, eine bessere Übereinstimmung zu finden, indem man ein Fenster in unserem Fall um nur 32 Pixel weiterschiebt und dort die Partikelgruppen zuzuordnen.

#### 4.2 Einstellungen für peak detection method, correlation, interrogation, method, validation, filters

Für die Korrelation wurde die *Phase-correlation* welche eine bessere Übereinstimmung [2] und die *Nyquist Frequenzfilterung*, welche sich speziell für turbulente Strömungen eignet, ausgewählt. Unter dem Tab Algorithm liefert *Multiple-pass interrogation* mit 3 Iterationen die besten Ergebnisse. Bei der Peak Detection wählten wir den *Least squares Gauss fit*, welcher für die meisten Applicationen gute Ergebnisse liefert [2]. Die falsch erscheinenden Vektoren sortierten wir mit *Outlier Detection* und *Maximum Displacement Test* [px] = 20 aus. Diese Vektoren werden mit den Optionen *Try lower order peaks* und Interpolation ersetzt. Als Filter wurde ein Data smoothing von 0.9 verwendet. Die Differentiation stellten wir auf *Calculate cell size for differentiation*.

#### 4.3 Allgemeine Einstellungen

Gute Resultate liefern die Bilder mit den Kamerawerten  $T_1 = 6$ ,  $T_2 = 15.775$  und  $T_e = 60$ . Mit diesen Werten sind die Partikel im Wasser scharf und nicht verschwommen auf dem Bild wahrzunehmen. Ein Ausnahmebereich bildet die Strömung direkt bei der Düse. Hier ist die Strömung zu schnell, um mit unserer Kamera noch gut aufgelöst dargestellt werden zu können. Ein weiteres Indiz liefern die Bilder der Korrelation. Sind die Punkte in den Feldern gut erkennbar, zeigt diese eine gute Übereinstimmung zwischen 2 folgenden Bildern.

#### 4.4 Umrechnung auf $\frac{m}{s}$

Die erhaltenen Pixelwerte werden folgendermassen in  $mm$  umgerechnet:

$$M \cdot \text{Pixelwerte}$$

Dies liefert uns ein Bild, welches ca.  $125 \times 100 mm$  gross ist.

### 5 Messung

Nach unterschiedlichen Testbildern wurde eine Serie von 1000 Bildern mit den gewählten Kameraeinstellungen aufgenommen. Für den Fall, dass die erste Bildserie wider Erwarten schlechte Auswertungsergebnisse liefern sollte, wurde eine zweite Serie von 500 Bildern mit leicht veränderten Parametern aufgenommen. Hierzu wurde  $T_2$  auf 2.13 eingestellt.

### 6 Diskussion

#### 6.1 Mittleres Strömungsfeld

Beim Mitteln der Strömung fallen die meisten Turbulenzen weg. Es zeigt sich dass das Fluid in der Mitte hauptsächlich eine x-Koordinate aufweist und mit grösserer Distanz zur Düse die Wirbel zunehmen. Die Geschwindigkeit nimmt in der Nähe der Wände ab. Oberhalb der Düse ist tendenziell eine Rückströmung vorhanden, unterhalb jedoch zeigt die Geschwindigkeit in Hauptströmungsrichtung.

#### 6.2 Nichtstationäres Strömungsfeld

Da die Optik der Kamera radiale Verzerrungen verursacht, können die Randbereiche nur bedingt ausgewertet werden. Von Interesse ist hauptsächlich die Strömung im Zentrum, weshalb diese Fehler keine Auswirkungen auf die Resultate haben. Analysiert man zwei Bilder der 500er Serie, so kann man feststellen, dass die Wirbel leicht nach oben driften. Da unten eine Abschrägung eingebaut ist, entspricht dies den Erwartungen. Es erstaunt jedoch, dass unten keine Rückströmung auftritt. Was ebenfalls überrascht ist, dass die Verwirbelung unmittelbar nach der Düse beginnt und sich gar nie eine Strömung bildet, die einem Freistrahle ähnelt.

### 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Strömung einer Düse wurde mittels der 2 dimensional PIV Methode untersucht. Ein pulsierender Laser diente dabei als Beleuchtung und war mit der Kamera synchronisiert. Die erhaltenen Bilder wurden mit PIVview und Matlab ausgewertet. Probleme bei der Analyse machten die Reflexionen durch die Plexiglaswände, welche zum Glück hauptsächlich in der Randzone



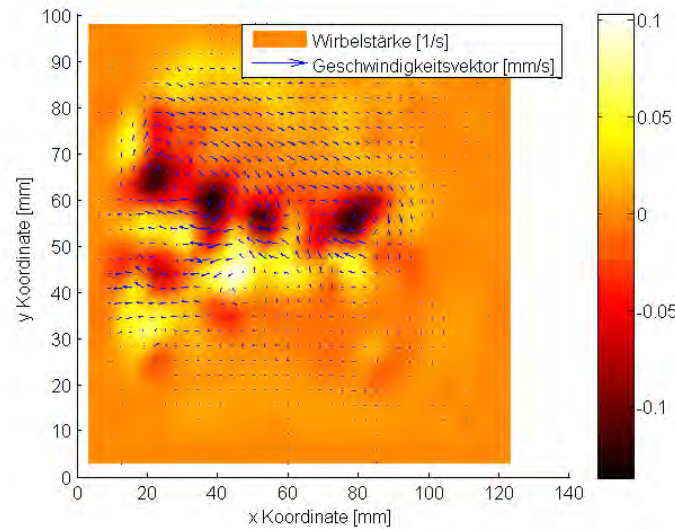


Abbildung 4: Wirbelstärke, berechnet aus 2 Bildern der 500er Serie

waren. Zu Ungenauigkeiten führt auch die schnellere Strömung direkt nach der Düse, da diese nicht mehr scharf aufgezeichnet werden konnte. Die Auswertung zeigt eine nicht axialsymmetrische Strömung, welche etliche Wirbel aufweist. Oberhalb ist, im Gegensatz zur unteren Hälfte, eine leichte Rückströmung vorhanden.

### 7.1 Eignung der PIV im vorliegenden Strömungsfeld

Im vorliegenden Strömungsfeld kann man Wirbel entlang der Mittelachse beobachten. Die 2D PIV Analyse eignet sich für die Untersuchung unserer Düse, da nur sehr kleine Vektorkomponenten senkrecht zur Bildebenen verlaufen, welche das Bild nur marginal verfälschen.

### 7.2 Mängel

Wie schon erwähnt, ist es nicht möglich, die Partikel, welche die Düse unmittelbar verlassen haben zu erfassen. Des weiteren findet man in den aufgenommenen Bildern viele Reflektionen. Diese äussern sich in den sehr hellen Bildbereichen. Ist der Kontrast zwischen Strömung und Partikeln zu gering, wird es unmöglich, sie noch zu verfolgen.

### 7.3 Mögliche Verbesserungen

Um die Qualität zu verbessern, gibt es mehrere Möglichkeiten, welche man auch kombiniert werden können. Einerseits kann man eine Lichtempfindlichere und schnellere Kamera verwenden, mit welcher man kürzere Ver-

schlusszeiten realisieren kann. Andererseits ist es möglich, einen stärkeren Laser zu verwenden.

Um die Reflektionen zu vermeiden, welche vor allem in den Randbereichen auftreten, gibt es sicherlich reflektionsärmere Materialien als Plexiglas. Des weiteren empfiehlt es sich, den Bildausschnitt kleiner zu wählen, so, dass die Wände oben und unten nicht mehr im Bildausschnitt erscheinen.

## Literatur

- [1] Bild PIV Analyse einer Schwimmerin. [http://images.gizmag.com/gallery\\_lrg/9791\\_120808103818.jpg](http://images.gizmag.com/gallery_lrg/9791_120808103818.jpg); visited on December 17th 2010.
- [2] PIVview User Manual. [http://www.pivtec.com/download/PIVview\\_v30\\_Manual.pdf](http://www.pivtec.com/download/PIVview_v30_Manual.pdf); visited on November 14th 2010.

## A Nomenklatur

$T_e$ : camera exposure time  
 $T_2$ : pulse separation  
 $T_1$ : pulse length  
 $\Delta x$ : Verschiebung eines Partikels  
 $U$ : Geschwindigkeit der Strömung  
 $M$ : Umrechnungsfaktor

## B MATLAB code

```

clc
clear all
close all

% filename muss jeweils angepasst werden!
filename = 'C:\Users\workstation\Documents\My Dropbox\Studium\experimentelle
Methoden\PIV\PIV_Daten\Output_500\_avg_piv.dat';

d = dir([filename]);
if length(d)>0 % the file exists
    disp([' reading: ' filename]);

    fid = fopen(filename,'r');
    [line1,count] = fscanf(fid,'%s',[1,84])
    stri = fscanf(fid,'%s',[1,1])
    strj = fscanf(fid,'%s',[1,1])
    [line2,count] = fscanf(fid,'%s',[1,3])
    eval([stri ';'']); %I=
    eval([strj ';'']); %J=

    col = 7;%ursprünglicher wert: 6
    lin = I*J;

    [A,count] = fscanf(fid,'%g',[col,lin]);
    fclose(fid);

end

A = A';

%Umrechnung von Pixel in mm
M=7/71;
A=M*A;

% Because the x,y,u and v values are columnwise in matrix A, we have to
% split them up into 4 two-dimensional matrices, which have the same x and y values
as was
% analysed in the PIV software (64x64, 50% overlap, so each 32 pixels a
% vector). This is done in the following loop

for jj = 1:J % y-value
    for ii = 1:I % x-value

        kk = ii + (jj-1)*I; % row value for columns in matrix A

        coord_x(jj,ii) = A(kk,1); % x-coordinate for 2D-matrix
        coord_y(jj,ii) = A(kk,2); % y-coordinate for 2D-matrix
        u(jj,ii) = A(kk,3); % u-velocity for 2D-matrix
        v(jj,ii) = A(kk,4); % v-velocity for 2D-matrix

    end
end
v(1,1)

figure(1)

```

```

hold on
I = imread('C:\Users\workstation\Documents\My Dropbox\Studium\experimentelle\
Methoden\PIV\Bericht\PIV_Daten\2_images\500_pics\Titelbild.png');
% background = imopen(I, strel('disk', 15));
I = imresize(I, M);
% background=imresize(background,M);
% bild=imsubtract(I, background);

image(I)

quiver(coord_x,coord_y,u,v); %Geschwindigkeitsplot
xlabel('x Koordinate [mm]')
ylabel('y Koordinate [mm]')
legend('Geschwindigkeitsvektor [mm/s]')

figure(2)
hold on
image(I)
streamline(stream2(coord_x,coord_y,u,v,coord_x,coord_y));
xlabel('x Koordinate [mm]')
ylabel('y Koordinate [mm]')
legend('Stromlinie')

% figure(3)
% hold on
% scale = 6;
% quiver(coord_x,coord_y,u,v,'r');
% h = streamline(stream2(coord_x,coord_y,u,v,coord_x,coord_y));
% set(h,'Color','green')
% xlabel('x Koordinate [mm]')
% ylabel('y Koordinate [mm]')
% legend('Geschwindigkeitsvektor [mm/s]','Stromlinie')

figure(4)
hold on
cav=curl(coord_x,coord_y,u,v);
pcolor(coord_x,coord_y,cav); shading interp
hold on;
quiver(coord_x,coord_y,u,v,'b')
hold off
colormap hot
xlabel('x Koordinate [mm]')
ylabel('y Koordinate [mm]')
legend('Wirbelstärke [1/s]','Geschwindigkeitsvektor [mm/s]')
colorbar

```

## C Plots

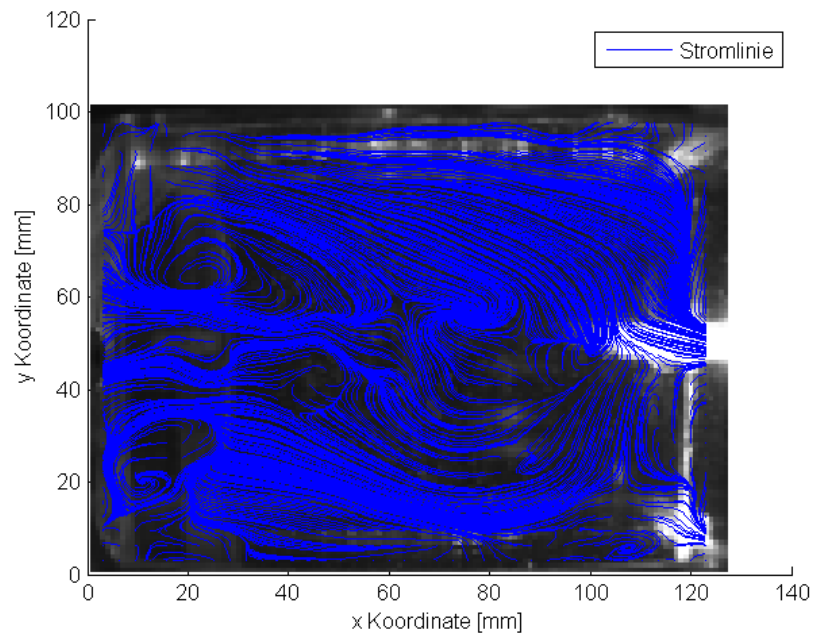


Abbildung 5: Stromlinien, berechnet aus 2 Bildern der 500er Serie

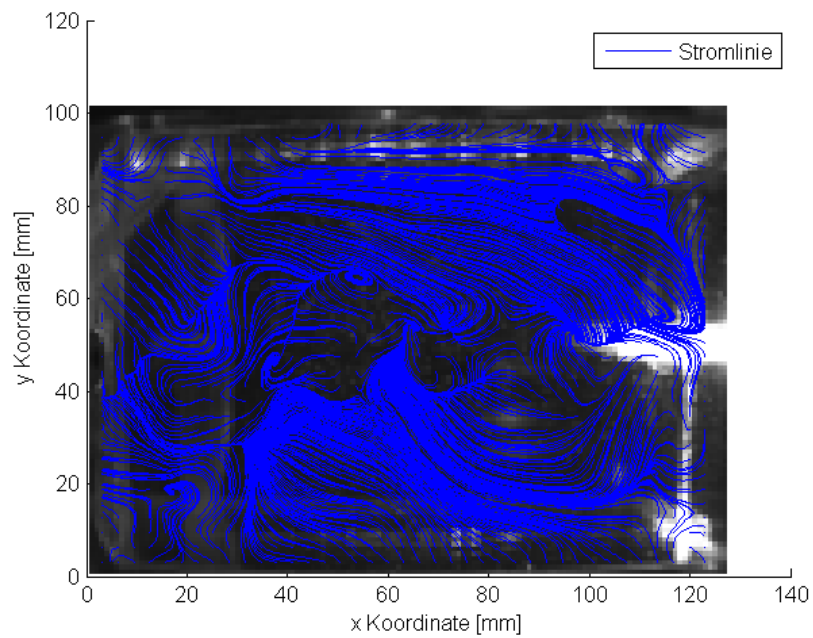


Abbildung 6: Stromlinien, berechnet aus 2 Bildern der 1000er Serie

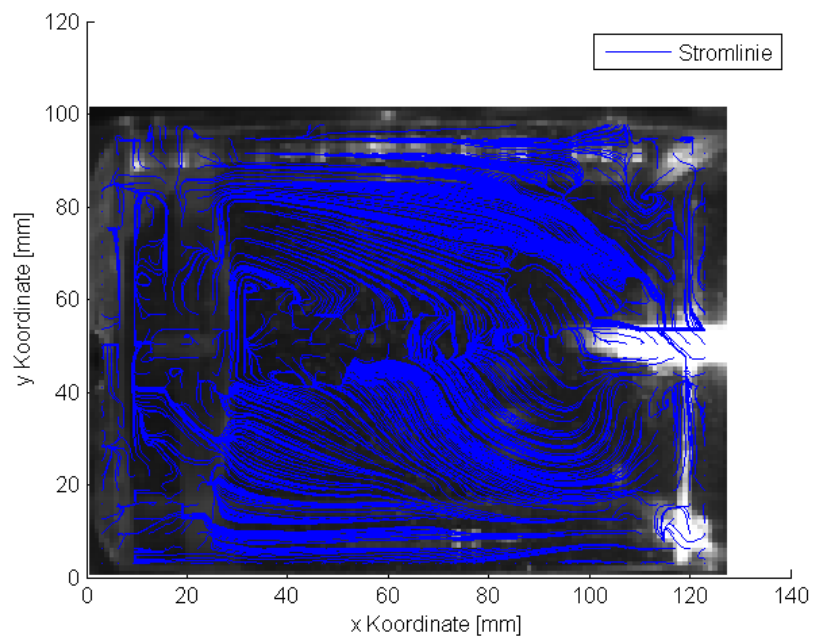


Abbildung 7: Stromlinien, berechnet aus den gemittelten Bildern der 1000er Serie