

# ÖKOZERT



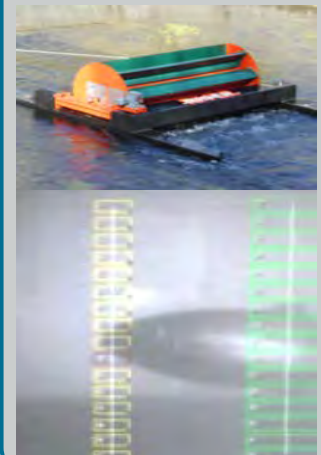
Entwicklung eines multisensorischen Analysesystems für ein multikriterielles Fischmonitoring

**Dr.-Ing. Andreas Herzog,  
Sebastian Warnemünde**  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb  
und -automatisierung IFF, Magdeburg

**Prof. Dr. Konrad Thürmer**  
Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau  
und Ökologie (IWSÖ), Weimar

Magdeburg, 27. September 2017

ÖkoZert VP 6



# GLIEDERUNG



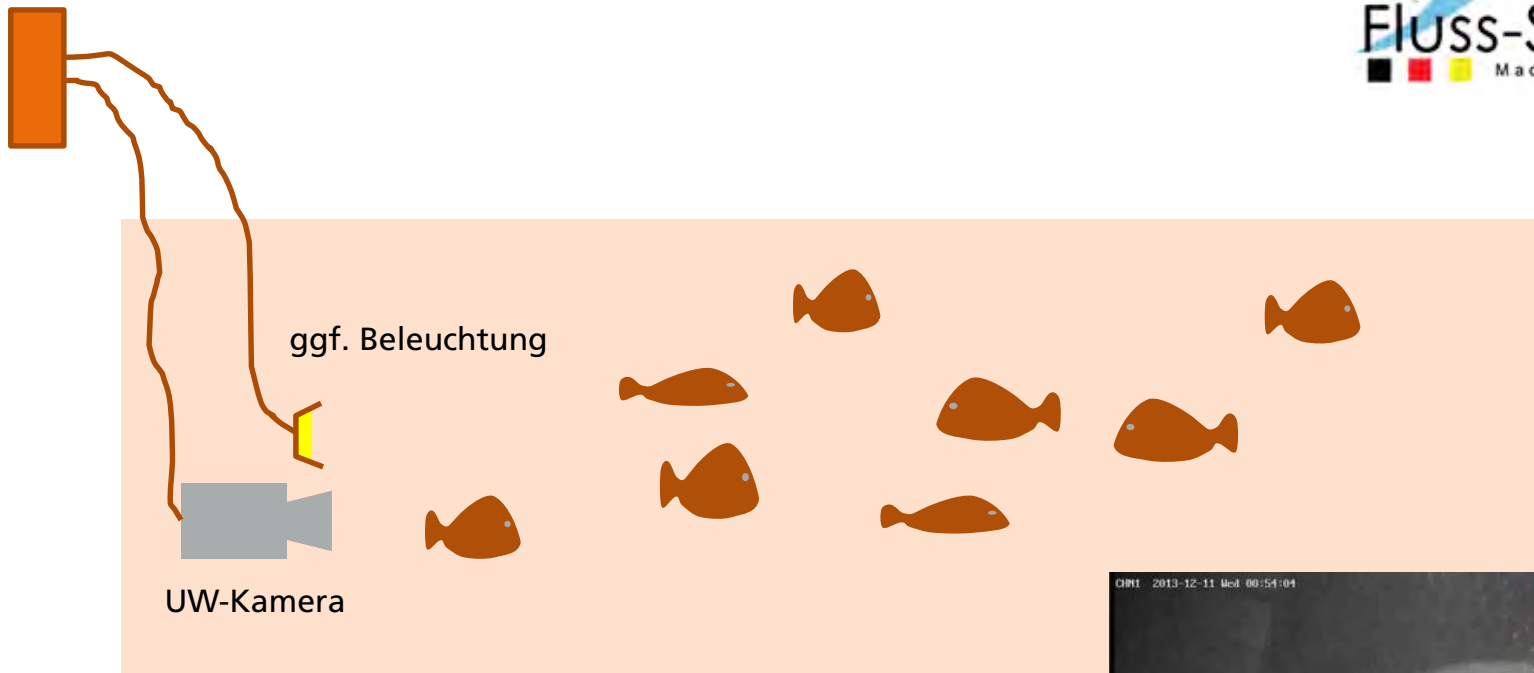
1. Überblick, Motivation
2. Bildaufnahme im Wasser,
  - Szenarien
  - ameratechnik, Beleuchtung, Befestigung
  - Testmessungen, Kalibrierung
3. Fischerkennung
  - Objekterkennung
  - Fisch / kein Fisch
  - Fischart
4. Zusammenfassung, Ausblick

# Motivation



- Das Fischmonitoring ist eine Grundlage für eine objektive Bewertung der standortbezogenen Nutzung der Wasserkraft.
- Durch die Automatisierung wird sich das Fischmonitoring erheblich vereinfachen und lässt sich mit weniger personellen Aufwand durchführen.
- Damit lassen sich die Genehmigungsverfahren und die Produktentwicklung beschleunigen, sowie im Ergebnis die Marktdurchdringung erhöhen.
- Es wird ein zusätzlicher Mehrwert erzeugt, da das Monitoring über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden kann.

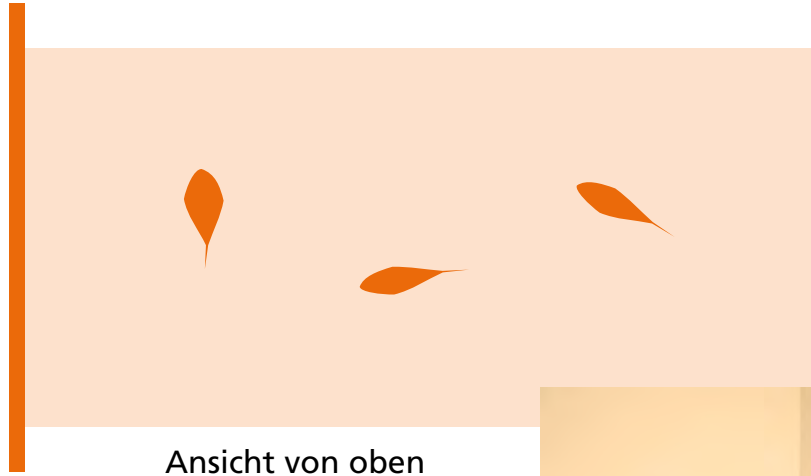
# Szenario - Klassisch



- Unterwasserkamera (Mono)
- aktive Beleuchtung oder Umgebungslicht
- Problem: Fischgröße – Entfernung
- Problem: Sichttiefe bei Schwebstoffen (Licht strahlt Partikel an)



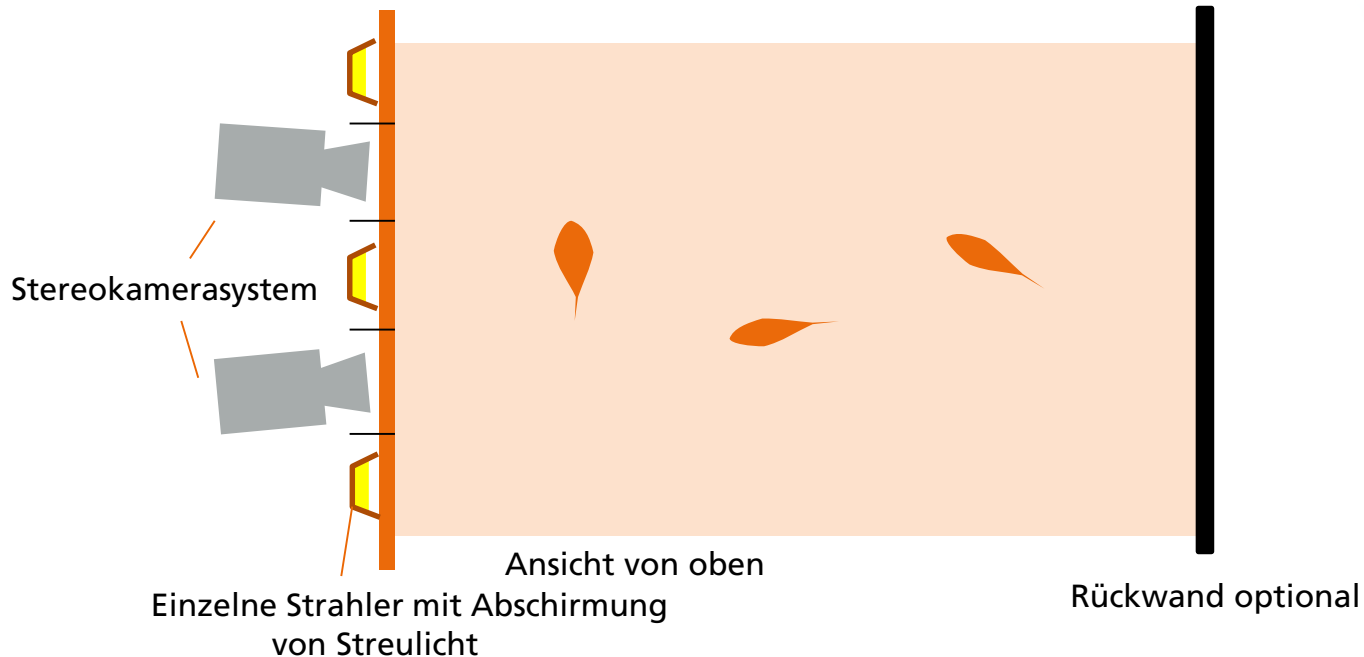
# Szenario - Stereokamerasystem



- Bestimmung der Entfernung
- Bestimmung der Größe
- Unterscheidung mehrere Fische
- Kalibrierung

# Szenario - Beleuchtungsvarianten

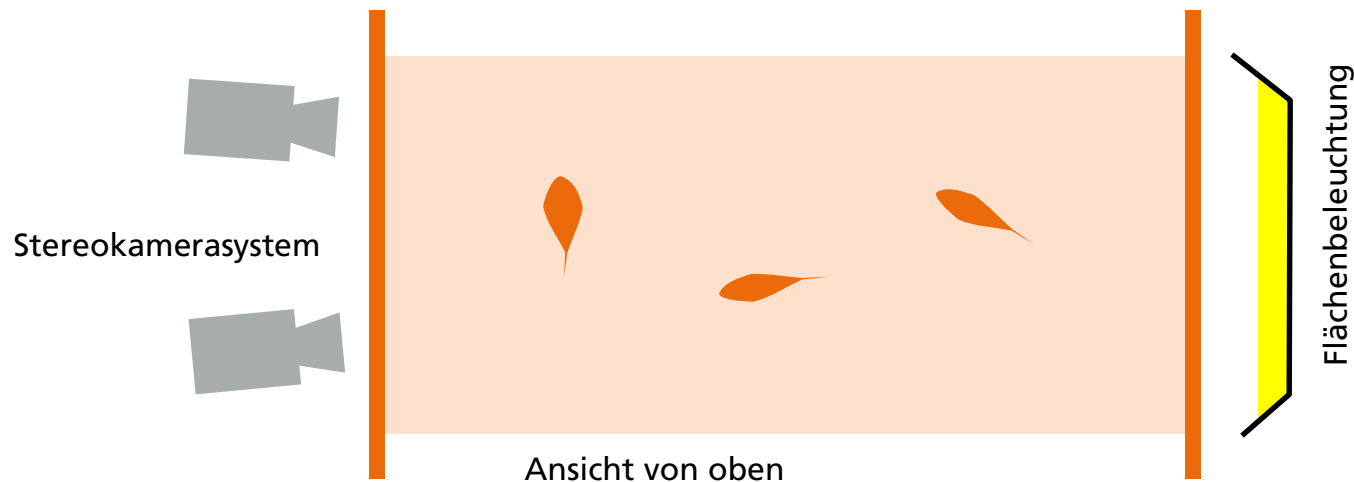
## Variante 1: Beleuchtung von vorn



- Installation nur an einer Seite (+)
- Licht muss durchs Wasser und wieder zurück (-)
  - nahe Objekte sind heller
  - Licht streut an Partikeln

# Szenario - Beleuchtungsvarianten

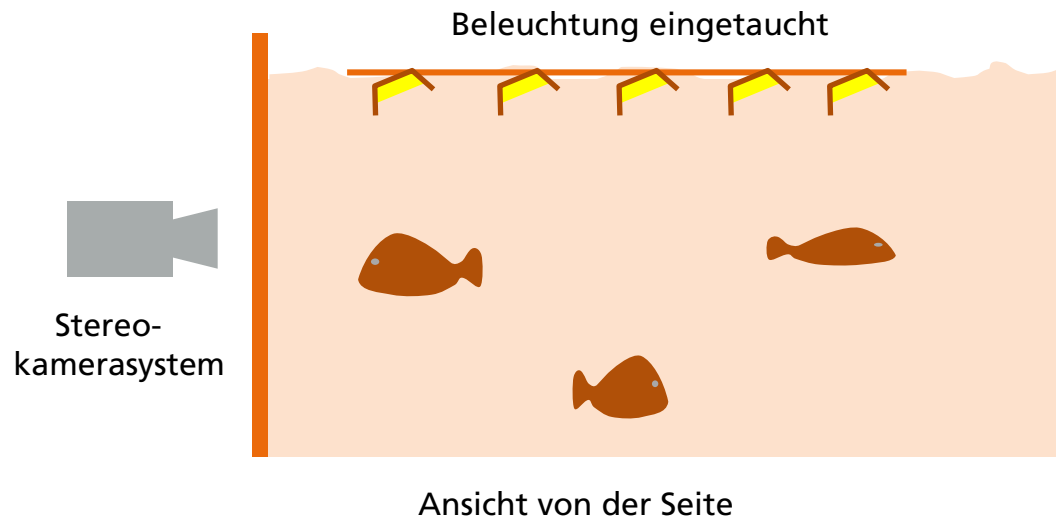
## Variante 2: flächige Beleuchtung von hinten



- Installation an beiden Seite (-)
- Licht muss nur einmal durchs Wasser (+)
- Man sieht nur Silhouette, keine Farbe oder Struktur (-)
- Wenn Trübung zu stark, keine Bilder (-)

# Szenario - Beleuchtungsvarianten

## Variante 3: gesteuerte Beleuchtung von oben

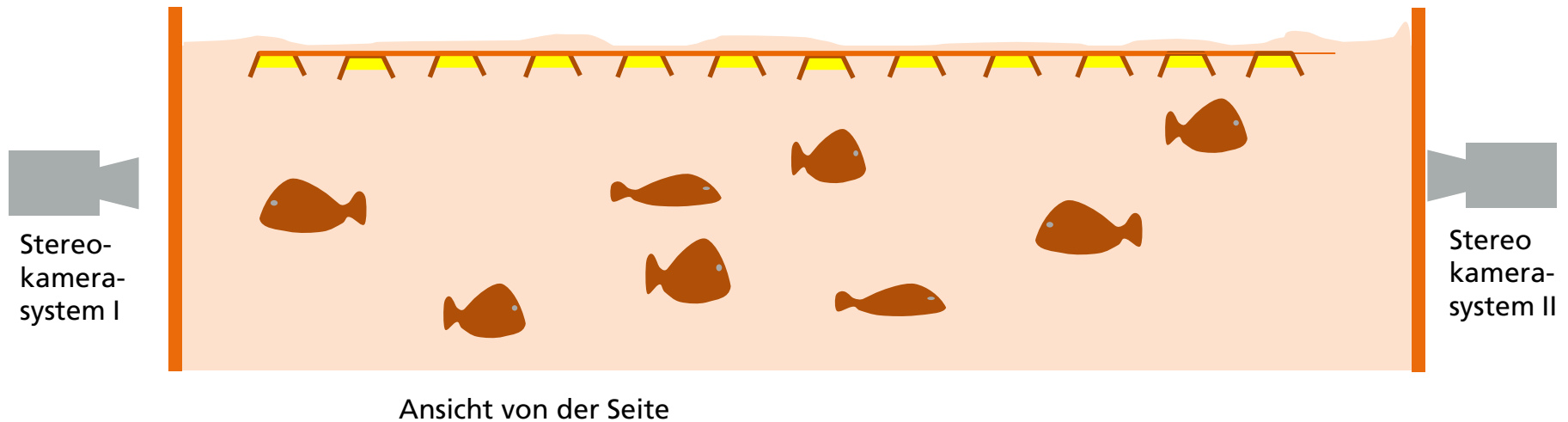


- Installation an zwei Seiten (o)
- Licht muss nur einmal durchs Wasser (+)
- Umgebungslicht wird abgeschirmt (+)
- Helligkeit adaptiv regelbar (Lampen einzeln) (+)



# Szenario - Beleuchtungsvarianten

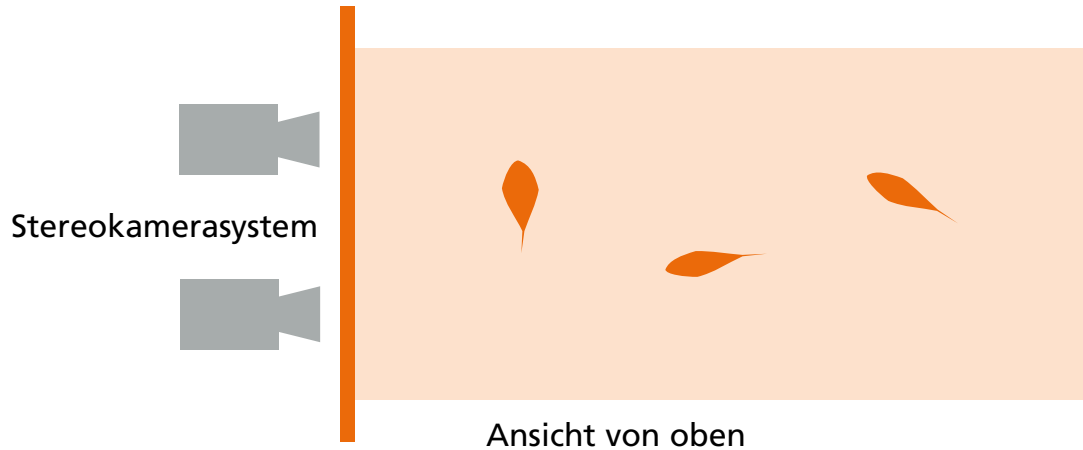
Variante 3 ext: gesteuerte Beleuchtung von oben,  
zweiseitige Aufnahme



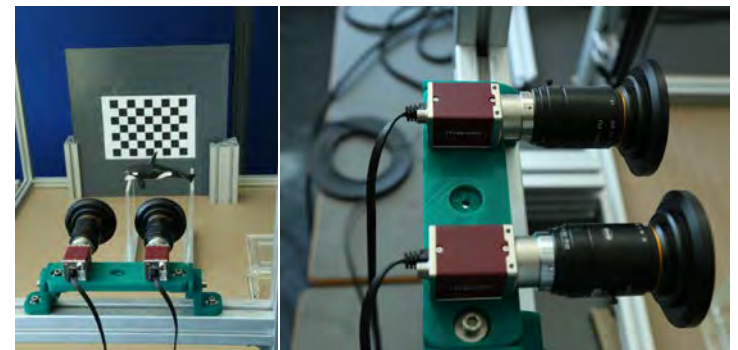
- Installation an drei Seiten (-)
- Licht muss nur einmal durchs Wasser (+)
- Umgebungslicht wird abgeschirmt (+)
- Helligkeit adaptiv regelbar (Lampen einzeln) (+)

# Szenario - Stereokameras

## Variante 1: Klassische Anordnung, nebeneinander

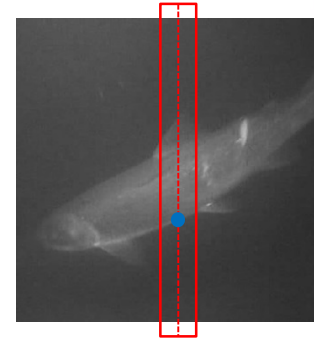
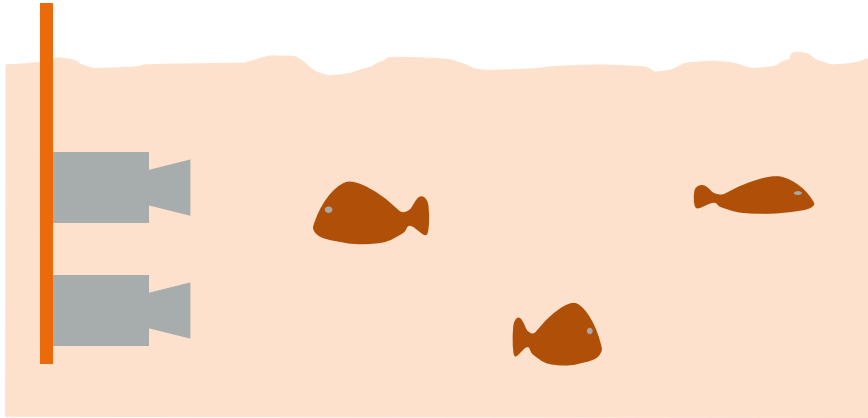


- für Größenbestimmung sind Stereobilder notwendig (Fische frei im Wasser)
- klassisch Stereobild
  - nebeneinanderliegende Kameras
  - wie Sehsystem Menschen, Tiere
- Nachteile:
  - Einbaubreite
  - senkrechte Strukturen zur Disparitätsbestimmung
  - viele Epipolarlinien nötig

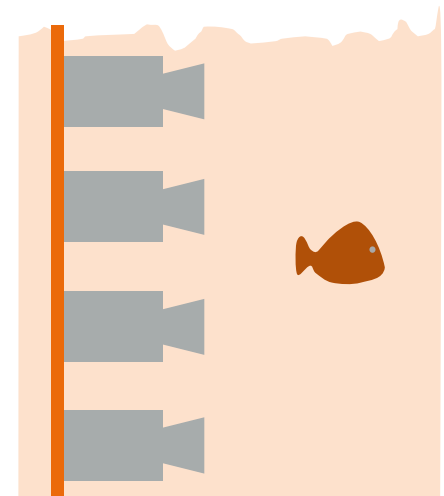


# Szenario - Stereokameras

## Variante 2: Übereinander liegende Kameras

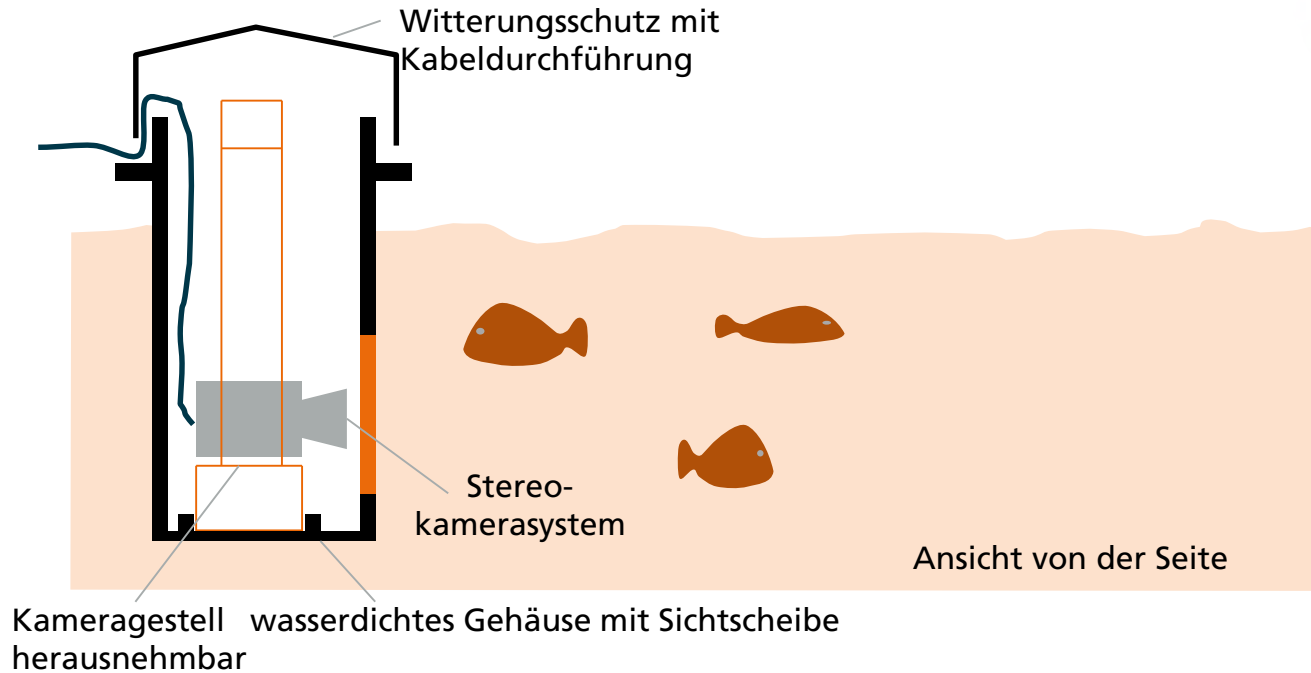


- Vorteile:
  - schmalere Einbaubreite
  - Senkrechte Epipolarlinien
  - waagerechte Strukturen (Bauch, Rücken) besser zu erkennen
  - mehrere Kameras übereinander auch möglich
  - Beleuchtung zu den Kameras zuordnen
- Fische entlang einer senkrechten Ebene im Wasser beobachten



# Szenario – Varianten für Kamerasystem

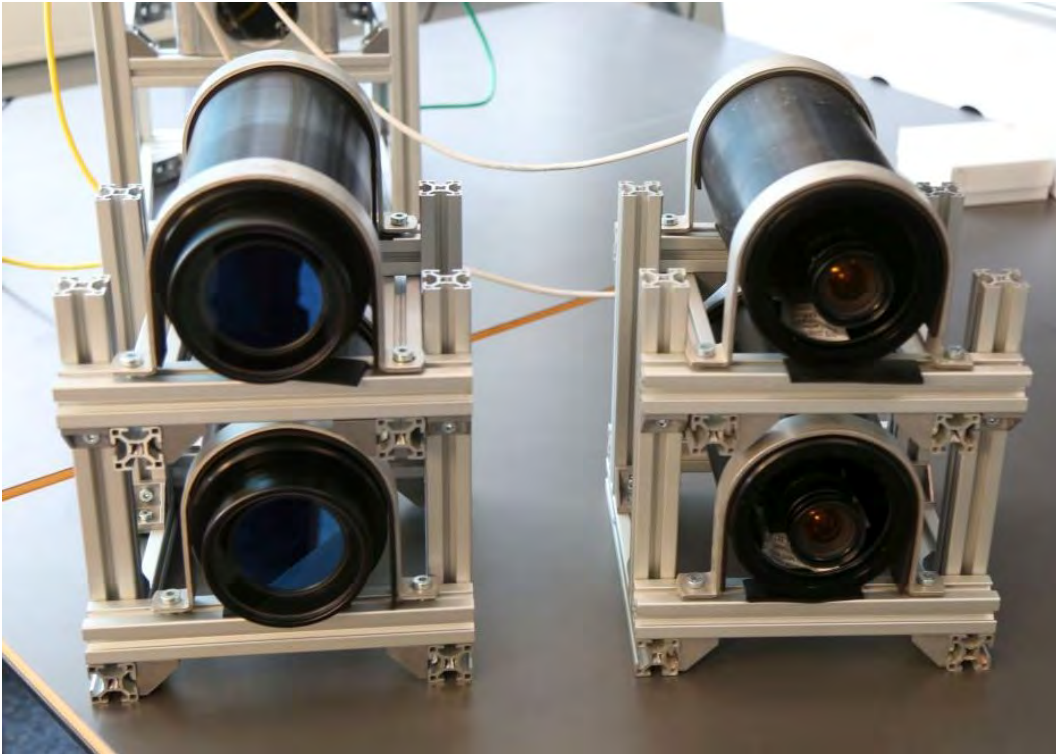
## Variante: Eintauchgehäuse



- Kamera gut zugänglich (+)
- Einfache Kabelführung (+)
- Begrenzte, fixe Tiefe (Gehäusegröße, Auftrieb, Befestigung) (--)
- Schutz gegen Beschlagen der Scheibe (-)

**verworfen**

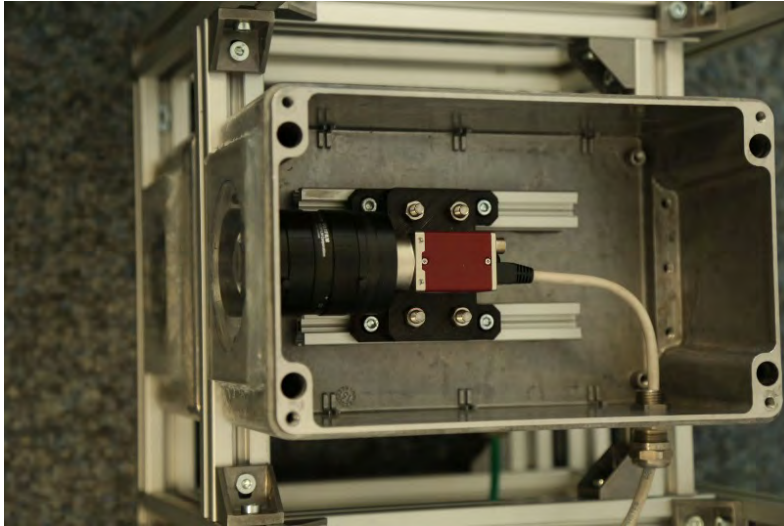
# Kamera - Baukastensystem zur UW Bildaufnahme



Als Block verschraubt und als Stereopaar zusammen kalibriert

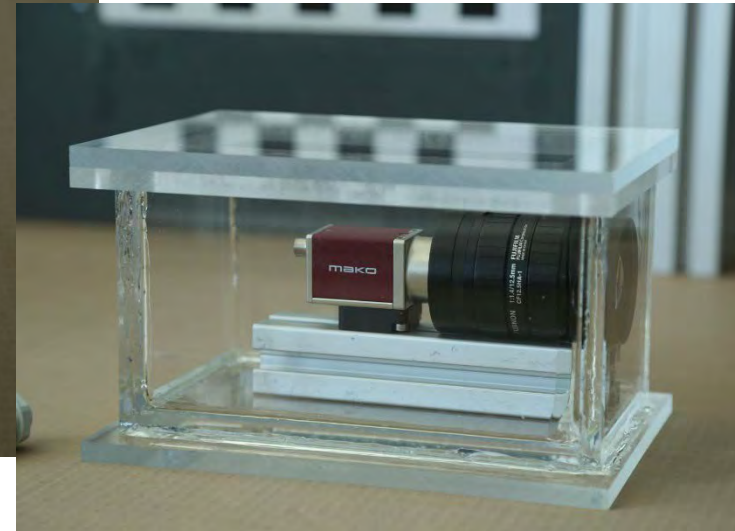
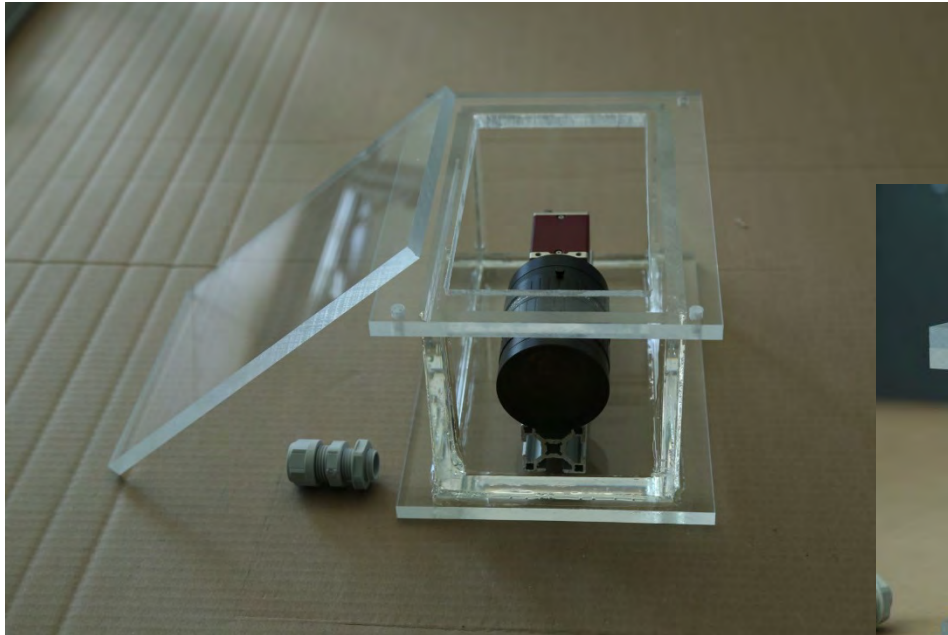
- Kameras im professionellen UW Gehäuse (200m)
  - Farbe (2048 (H) x 2048 (V) Bildpunkte mit 5,5  $\mu\text{m}$  Pixelgröße)
  - Infrarot (2048 (H) x 2048 (V) Bildpunkte mit 5,5  $\mu\text{m}$  Pixelgröße)
  - Farbe lichtstark mit IR Anteil (Überwachungskamera, 1920x1080 Pixel)
  - Pro Kamera ein Kabel (Ethernet, Stromversorgung über Ethernet)

# Kamera - Baukastensystem zur UW Bildaufnahme



- Selbstbaugehäuse (IP65 Schaltkasten)
  - innen Schienensystem für verschiedenen Kameratypen
  - Platz für zusätzliche Sensoren (Temperatur, ph, ...)
  - Test in der Elbe und Pool (überstanden)

# Kamera - Baukastensystem zur UW Bildaufnahme



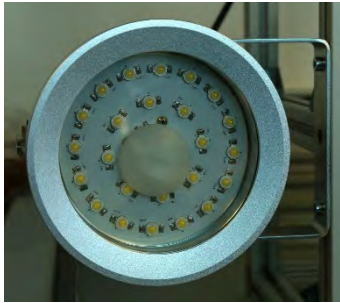
- Selbstbaugehäuse (Prexiglas)
  - innen Schienensystem für verschiedenen Kameratypen
  - Dichtheit geprüft
- GoPro
  - Wasserdichte kabellose Actionkamera,
  - Stereobetrieb schwierig
  - Batterie hält ca. 1,5h



# Licht-Baukastensystem zur UW Bildaufnahme



Linie weiß  
Linie IR



Rund weiß



Rund IR

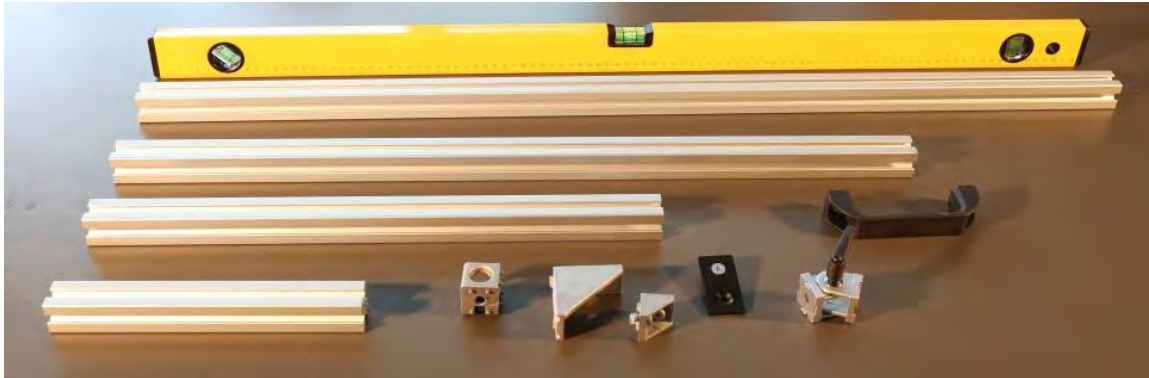


Steuergerät

- UW Beleuchtung
  - Rechteckige Strahler (Linienbeleuchtung) regelbar
  - Runde Strahler (Punktbeleuchtung) feste Helligkeit
  - Beide Varianten als weiß und Infrarot



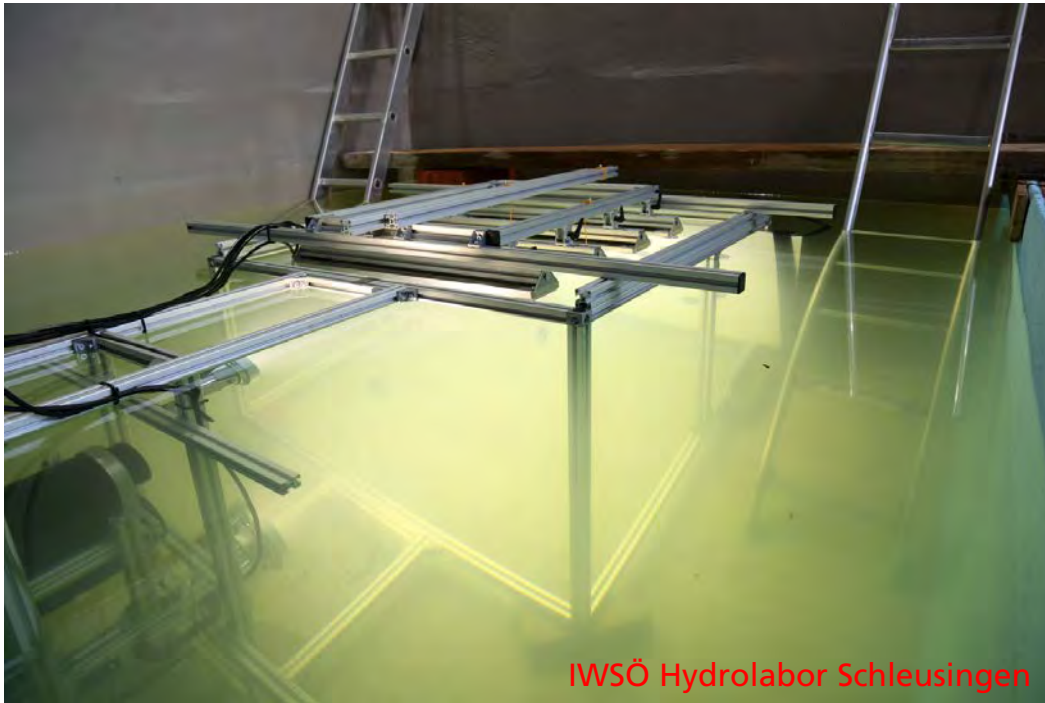
# Baukastensystem zur UW Bildaufnahme



- Mechanische Befestigungen
  - Variabel, schnell auf- und abbaubar
  - Stangenprofile (Bosch) 30x30mm
  - Standardlängen definiert 25, 50, 75, 100 cm
  - Verbindungsteile
    - Ecken, Winkel, Platten
    - Scharniere, Klemmhebel
    - Griffe



# Baukastensystem zur UW Bildaufnahme



IWSÖ Hydrolabor Schleusingen

- Mechanische Befestigungen
  - Variabel, schnell auf- und abbaubar
  - Stangenprofile (Bosch) 30x30mm
  - Standardlängen definiert



# Testmessungen im Hydrolabor Schleusingen



- Becken Tiefe 1,25m, Laenge 2,50 m ,Breite 2,50 m
- Fluten mit Wasser, Wassertiefe 1,10m
- Trübung mit Sand
- Tests
  - Stereokalibrierung über/unter Wasser
  - Beleuchtungsszenarien
  - RGB/IR



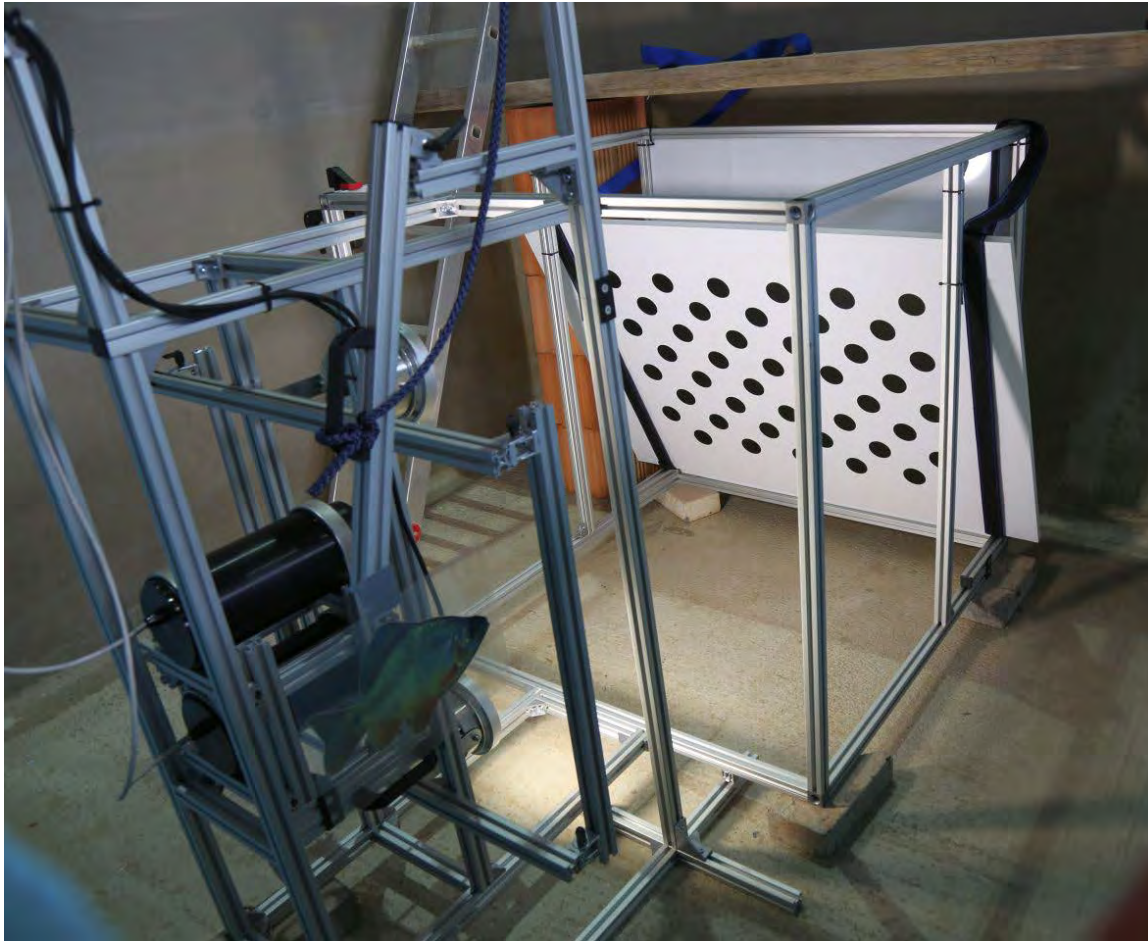
# Aufbau Schleusingen – Becken trocken



Test der Kalibrierung im Trockenen.

2 Farbkameras im Unterwassergehäuse übereinander und zwei Scheinwerfer

# Aufbau Schleusingen – Becken trocken



Kalibriernormal (weiße Platte mit regelmäßigen Punkten) kann in verschiedene Positionen gebracht werden. Für eine Kalibrierung sind etwa 10 Positionen notwendig.

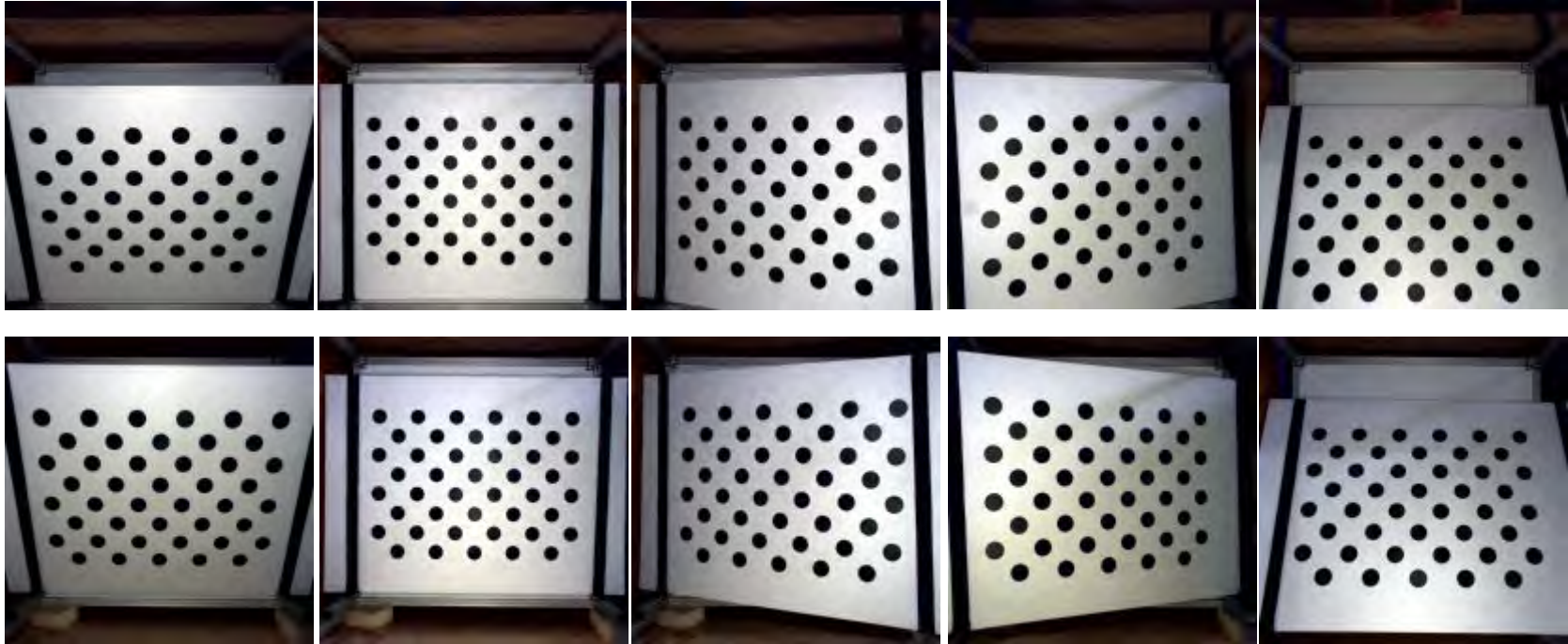
# Aufbau Schleusingen – Becken trocken



Steuer- und Aufnahmerechner für Kameras und Licht.

# Aufbau Schleusingen – Becken trocken

Kamera oben



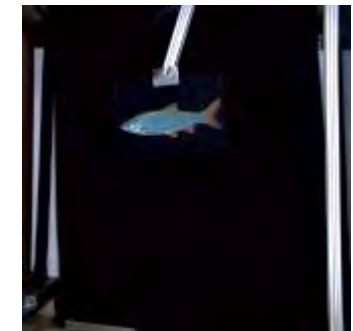
Kamera unten

Auswahl von Bildern zum Kalibrieren der Kameras. Die Punkte auf dem Kalibriernormal werden automatisch erkannt. Aus den Positionen der Punkte werden die inneren und äußeren Parameter der Kameras bestimmt.

# Aufbau Schleusingen – Becken trocken



Kamera oben



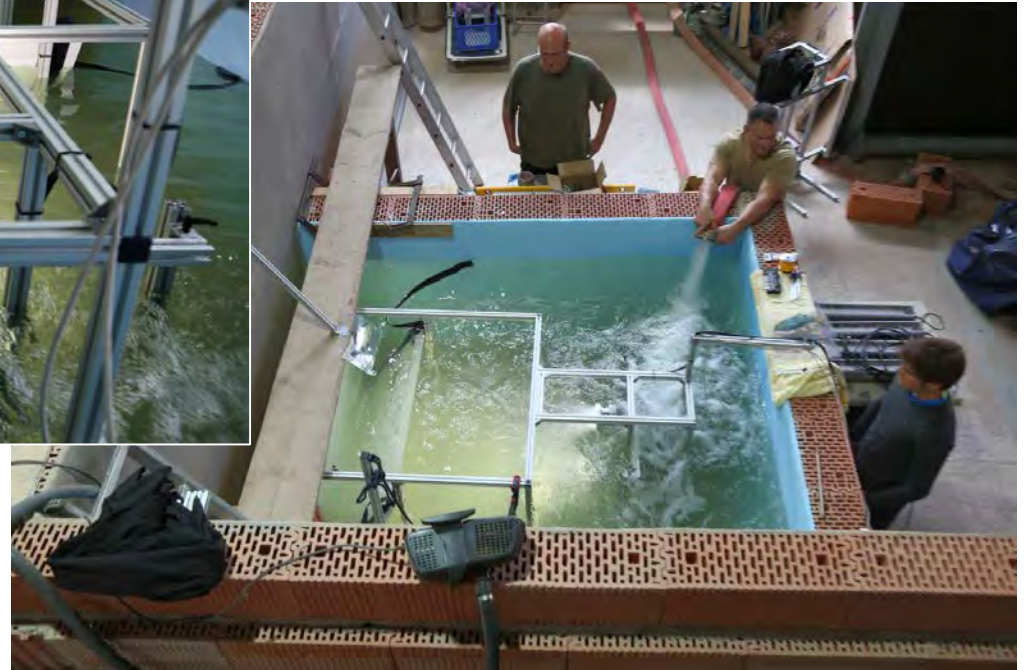
Kamera unten



Test der synchronen Bildaufnahme vor dunklem Hintergrund

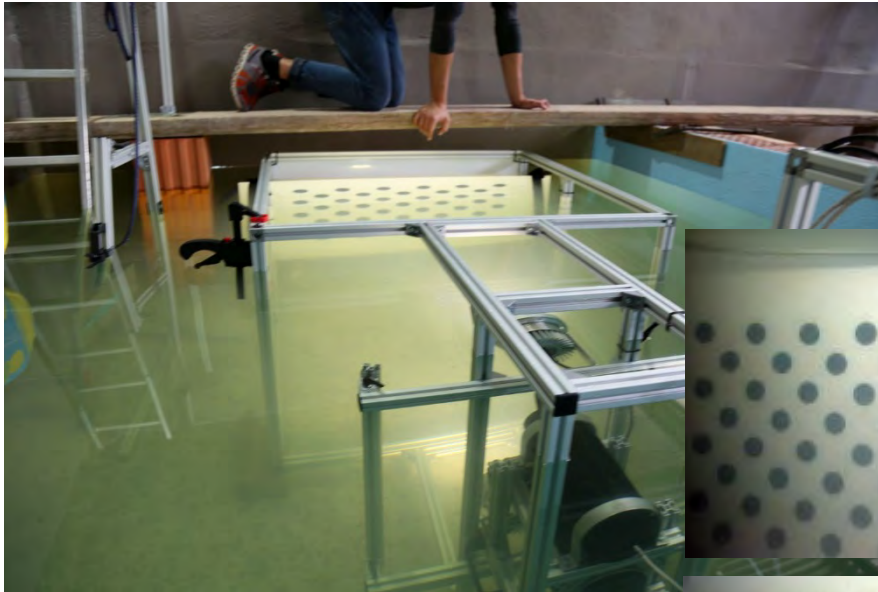


# Aufbau Schleusingen – Fluten des Beckens

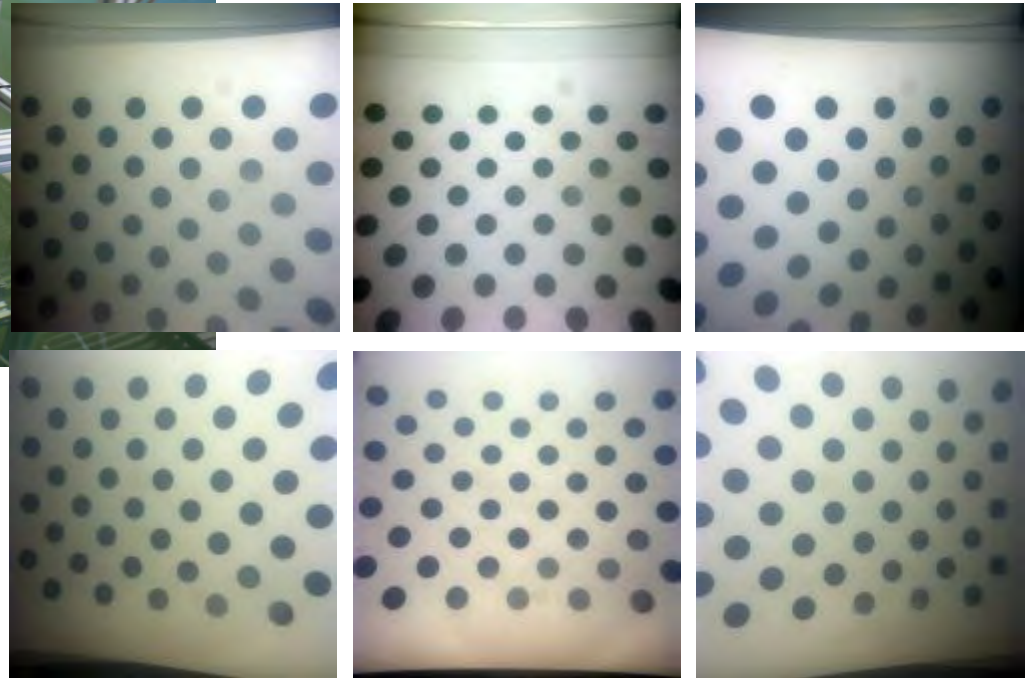


Fluten des Beckens bis 1,10m Wassertiefe

# Aufbau Schleusingen – Kalibrierung im Wasser



Kamera oben

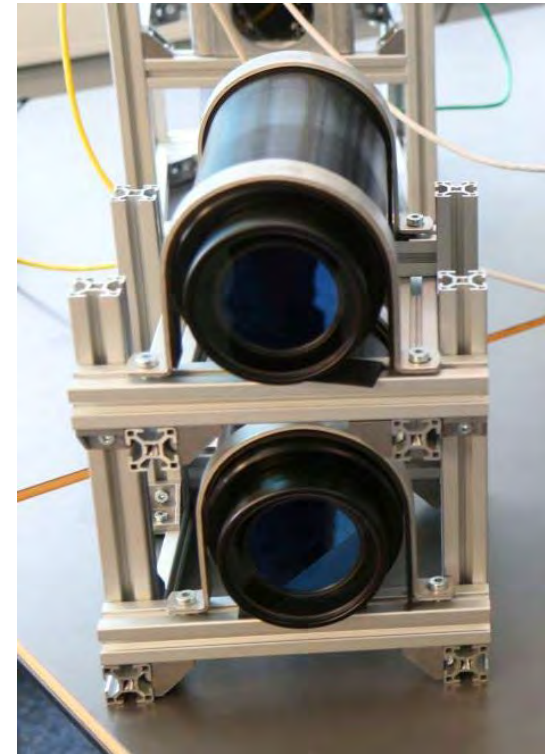
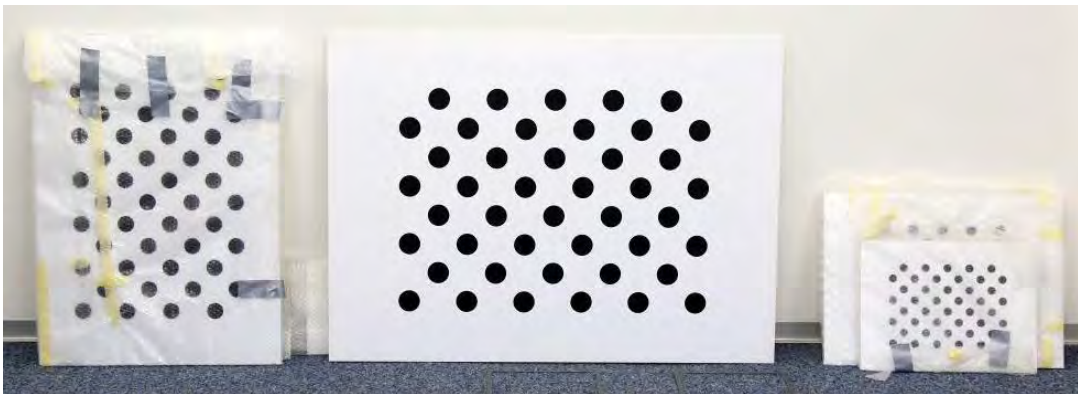


Kamera unten

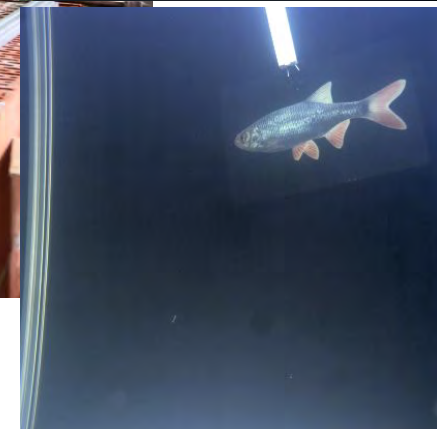
Kalibrierung im Wasser – Das Kalibriernormal lässt sich von oben in die gewünschte Position bringen.

# Ergebnis der Stereokalibrierung

- Verschraubung der Kameras zu einem Block funktioniert gut
- Kalibrierung bleibt beim Ein/Ausbau stabil
- Kalibrierung über und unter Wasser lässt sich ineinander umrechnen
- **Kamerasystem kann über Wasser kalibriert werden**



# Aufbau Schleusingen – Bildaufnahme unter Wasser



Test der Bildaufnahme im Wasser. Das Fischmodell kann mit dem Ständer verschieden positioniert werden.

Kamera unten

28

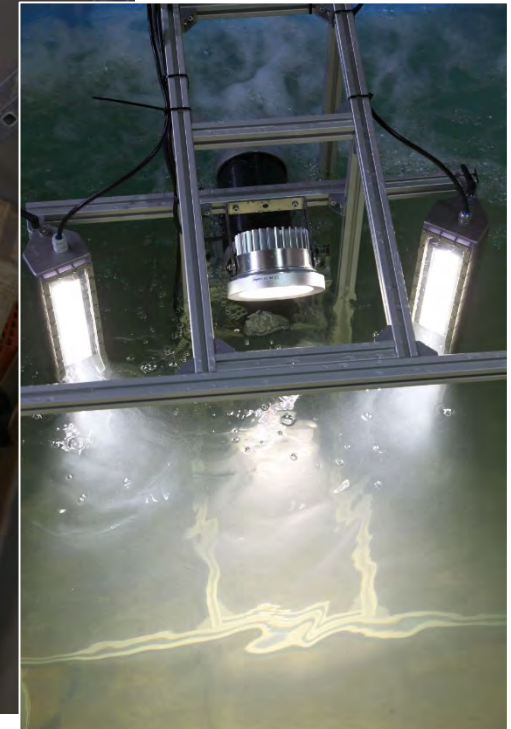
# Aufbau Schleusingen - Linienlichter



Tauchtest der Linienlichter. Die Lichter haben eine Leistung von jeweils 60W (LED) und lassen sich einzeln über Controller ansteuern. Die Helligkeit kann dabei programmgesteuert von 0 bis 255 variiert werden.

29

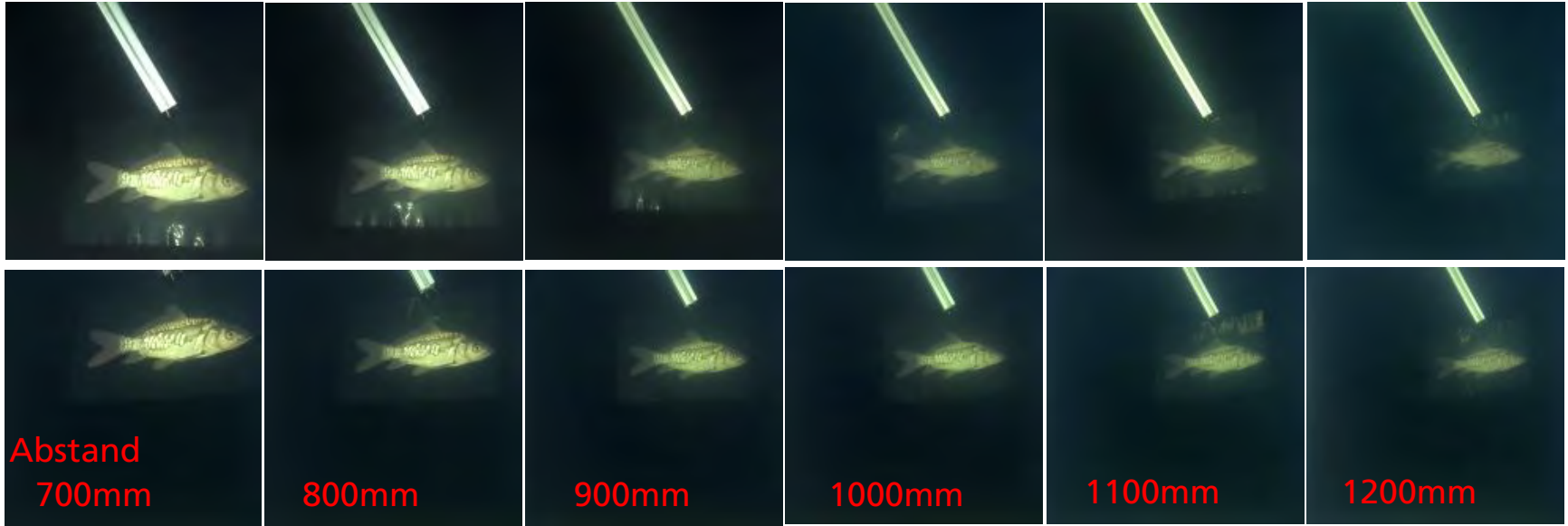
# Aufbau Schleusingen - Linienlichter



Nach bestandenen Tauchtest wurden die Linienlichter senkrecht neben den Kameras montiert und das Becken wieder geflutet.

# Aufbau Schleusingen - Linienlichter

Kamera oben

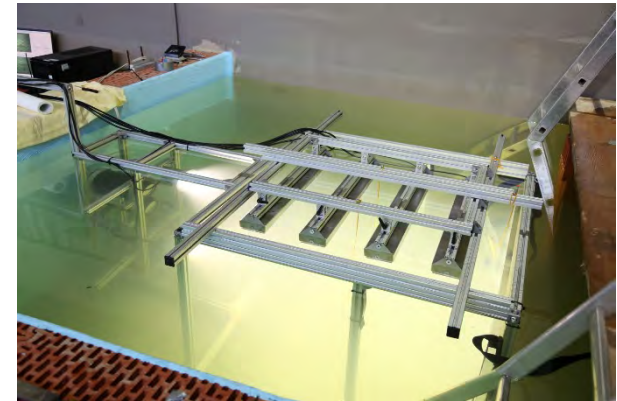
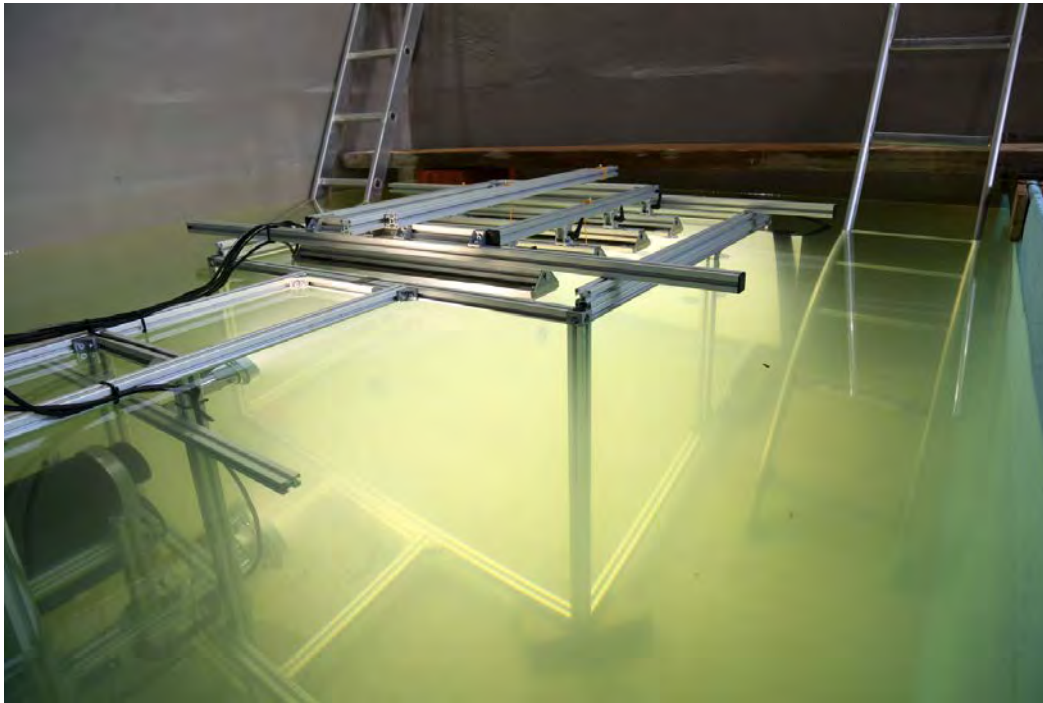


Kamera unten

Test Fischmodell in verschiedenen Abständen.

Gute gleichmäßige Ausleuchtung mit senkrechten Linienlichtern.

# Aufbau Schleusingen – Beleuchtung von Oben

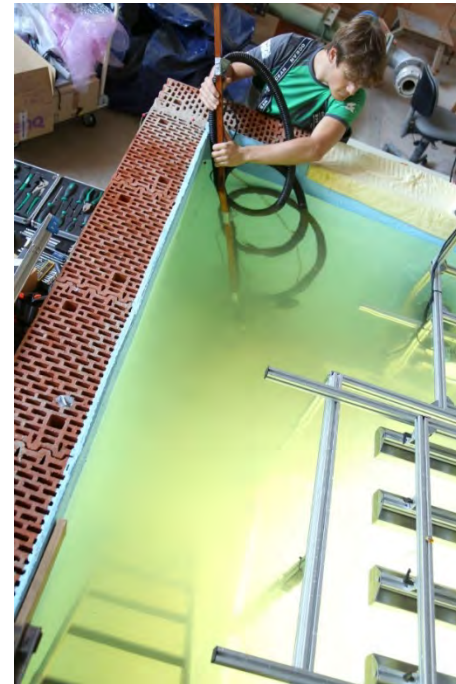


Umbau der Linienlichter für eine Beleuchtung von Oben. Die 4 Linienlichter lassen sich in zwei Gruppen (oben vorne und oben hinten) in 256 Stufen steuern.

Die Lichter vorne (runde Scheinwerfer über und unter den Kameras) können zugeschaltet werden.

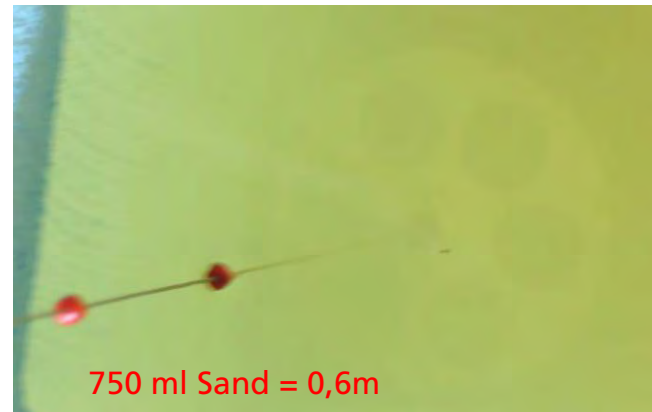
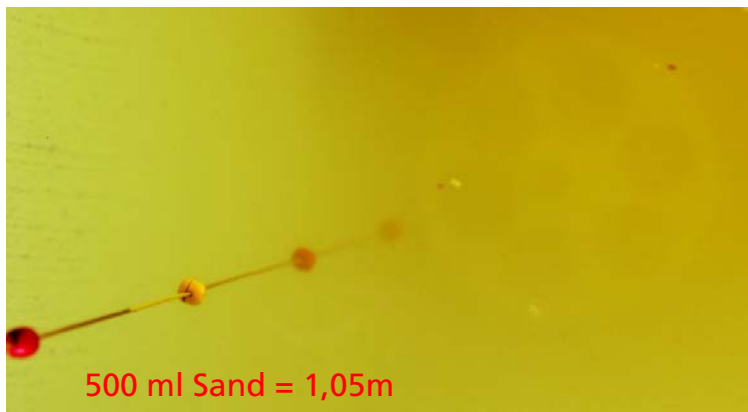
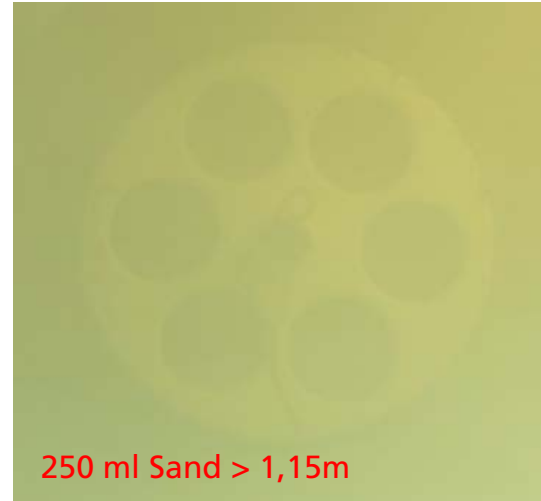


# Aufbau Schleusingen – Trübungsexperimente



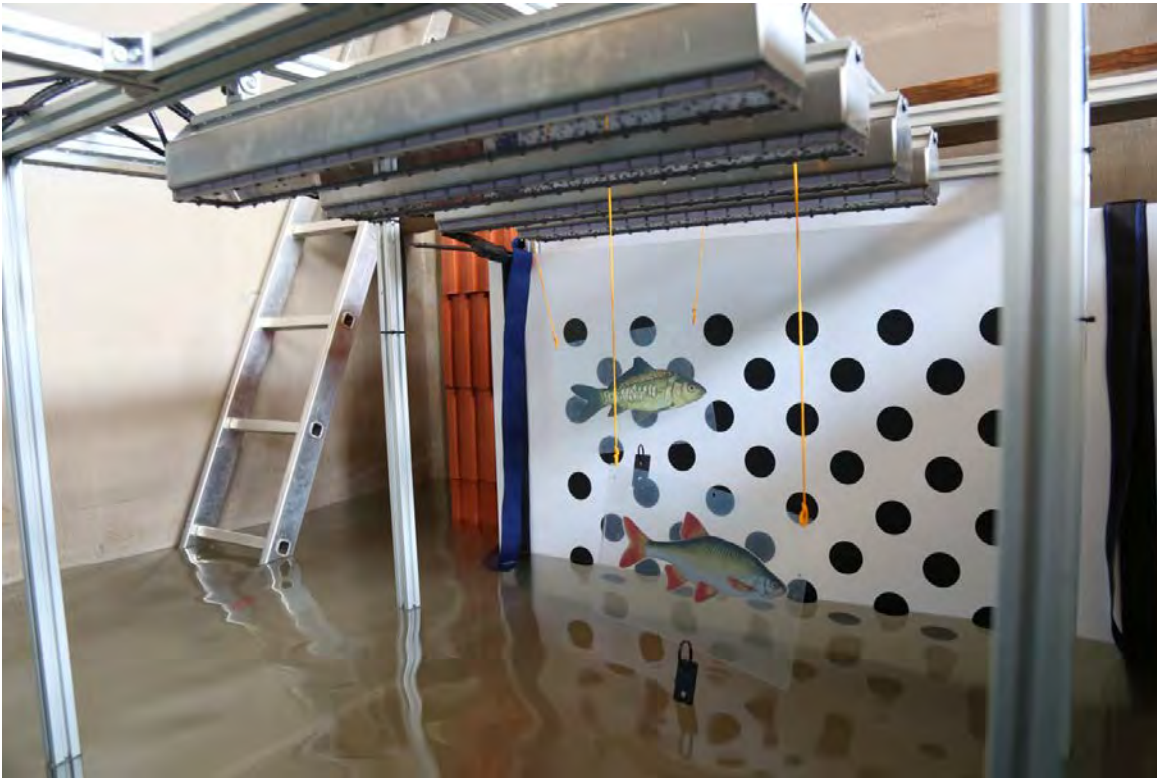
Durch die Zugabe von Sand wurden vier Trübungsstufen (0, 250, 500 und 750 ml Sand) realisiert. Der Sand wurde mit Hilfe eines Wasserstrahls aus einer Tauchpumpe gleichmäßig verteilt.

# Aufbau Schleusingen – Trübungsexperimente



Es wurde eine Sichttiefenmessung mit einer Secchi Scheibe durchgeführt.

# Aufbau Schleusingen – Trübungsexperimente



Es wurden zwei Fischmodelle platziert (rechts unten, zwischen Lampe 2 und 3 und links oben hinter Lampe 4).

Zum Einschätzen der Tübung wurde das Kalibriernormal an der hinteren Wand angebracht.

# Aufbau Schleusingen – Beleuchtungsvariationen



Kamera oben, alle Lampen an (vorn an, oben vorne 255, oben hinten 255)



Trübung ohne Sand

250 ml Sand

500 ml Sand

750 ml Sand

Es wurden zwei Fischmodelle platziert (rechts unten, zwischen Lampe 2 und 3 und links oben hinter Lampe 4) und die Beleuchtungen variiert. Die Belichtungszeit der Kameras wurde an die Lichtstärke angepasst.

# Aufbau Schleusingen – Beleuchtungsvariationen



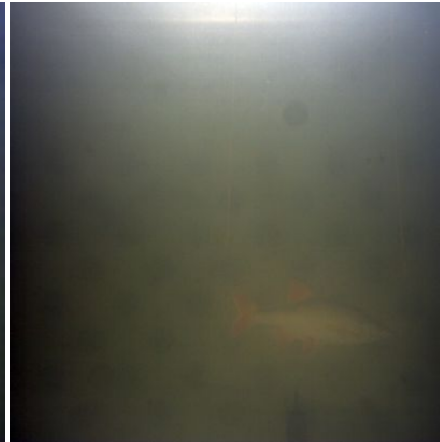
Kamera oben, nur vordere Lampen an (vorn an, oben vorne 0, oben hinten 0)



Trübung ohne Sand



250 ml Sand



500 ml Sand

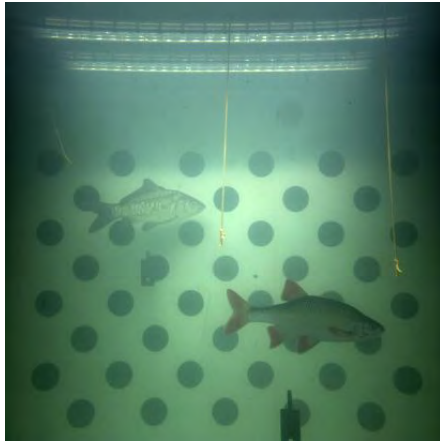


750 ml Sand

Beleuchtung nur von vorne (runde Lampen)

# Aufbau Schleusingen – Beleuchtungsvariationen

Kamera oben, nur obere Lampen an (vorn aus, oben vorne 255, oben hinten 255)



Trübung ohne Sand



250 ml Sand



500 ml Sand



750 ml Sand

Beleuchtung nur von oben

# Aufbau Schleusingen – Beleuchtungsvariationen



Kamera oben, nur obere vordere Lampen an (vorn aus, oben vorne 255, oben hinten 0)



Trübung ohne Sand



250 ml Sand



500 ml Sand



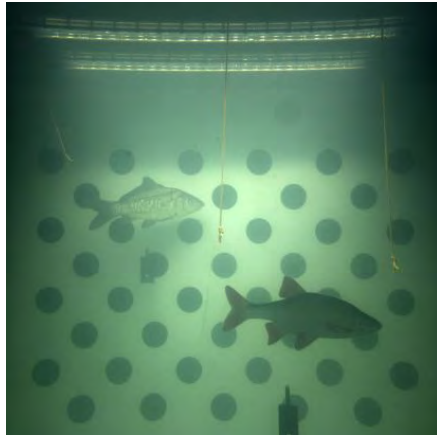
750 ml Sand

Beleuchtung nur von oben vorne

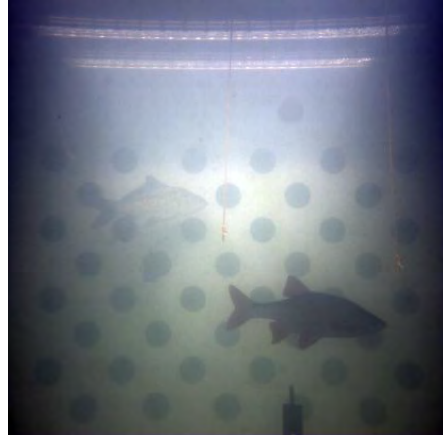
# Aufbau Schleusingen – Beleuchtungsvariationen



Kamera oben, nur obere Lampen an (vorn aus, oben vorne 127, oben hinten 255)



Trübung ohne Sand



250 ml Sand



500 ml Sand



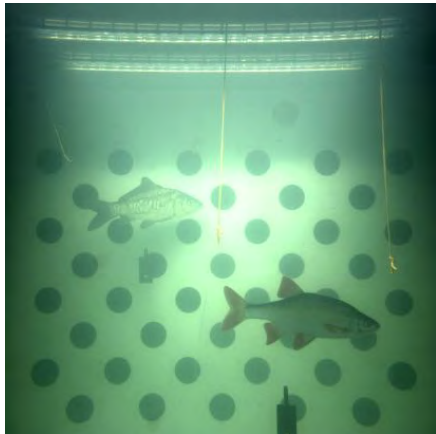
750 ml Sand

Beleuchtung nur von oben vorne etwas wenig, hinten viel



# Aufbau Schleusingen – Beleuchtungsvariationen

Kamera oben, nur obere Lampen an (vorn aus, oben vorne 220, oben hinten 255)



Trübung ohne Sand



250 ml Sand



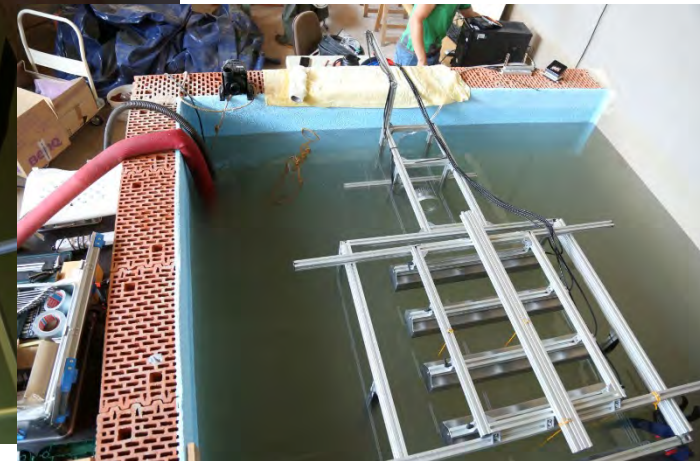
500 ml Sand



750 ml Sand

Beleuchtung nur von oben vorne wenig, hinten viel

# Aufbau Schleusingen - Trübungsexperimente



Mit 750ml Sand war das Wasser so trüb, dass es nicht mehr in den Klarwassertank zurück durfte. Statt dessen wurde es in den Tank der Modellbauhalle gepumpt

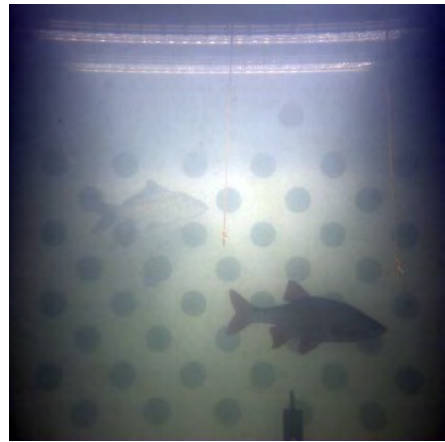
# Ergebnis der Trübungsexperimente



- Sichtbares Licht - Stereokamera
  - Entfernungsmessung auch bei Trübung stabil
  - Beleuchtungsszenario muss entsprechend der Trübung gewählt werden

nur vordere Lampen an

nur obere Lampen an (vorne 127, hinten 255)



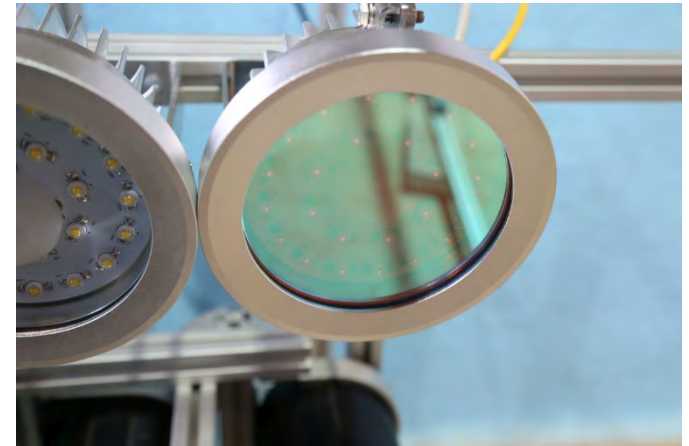
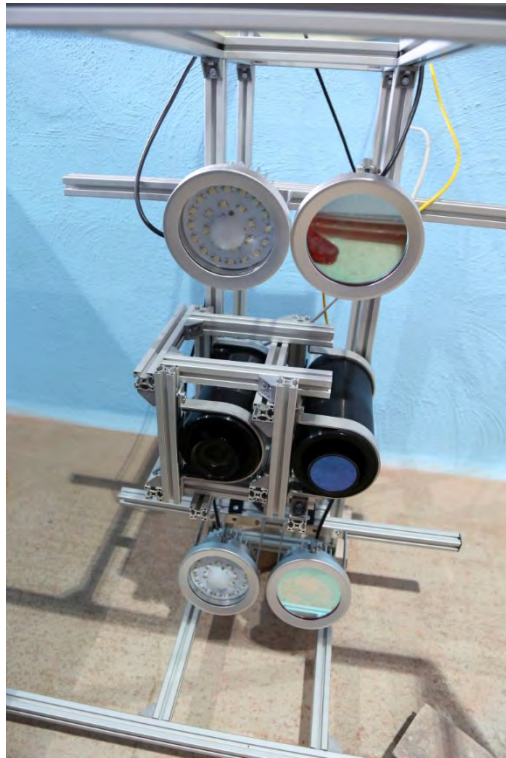
Trübung ohne Sand

250 ml Sand

500 ml Sand

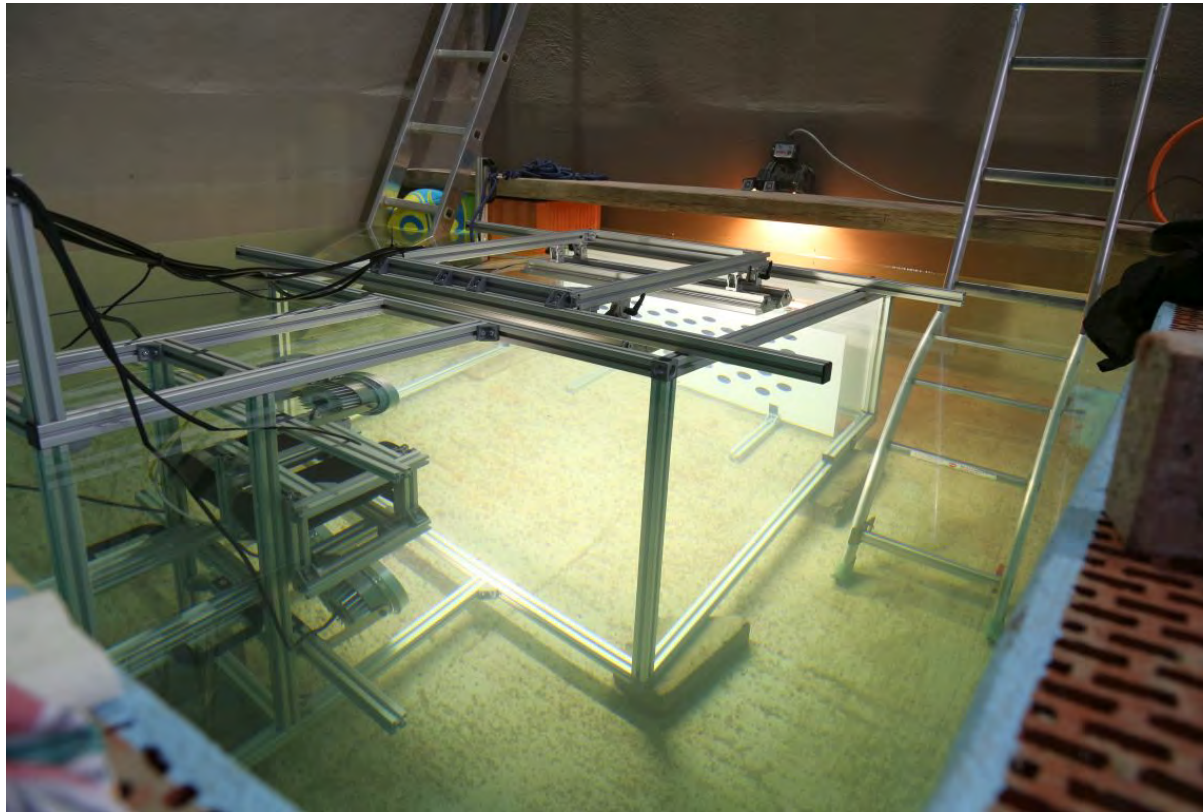
750 ml Sand

# Versuche Lichtarten Infrarot - Farbe



- IR – Kamera und Farbkamera in gleicher Wassertiefe
- Beleuchtung von vorn IR und Weiß in gleicher Wassertiefe

# Versuche Lichtarten Infrarot - Farbe

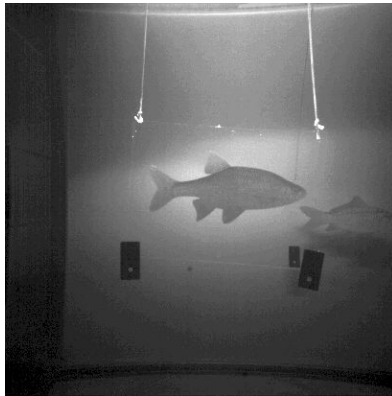


- Beleuchtung von oben vorne und hinten je eine Beleuchtung IR und Weiß
- Beleuchtung von hinten breitbandig (Halogen)
- Trübungsexperimente
- Kalibrierpad in verschiedenen Entfernungen

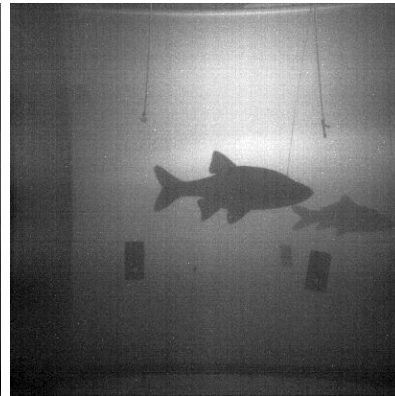
# Trübungsexperimente Infrarot - Farbe

## Beleuchtung von Hinten

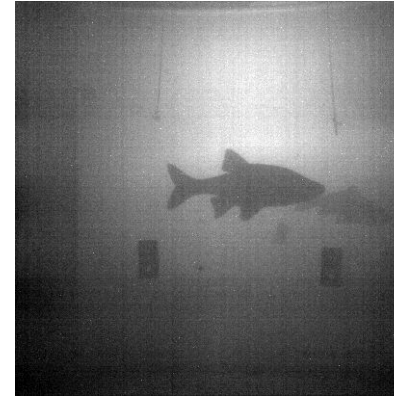
IR



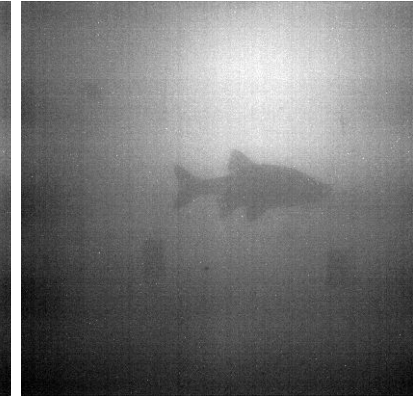
Trübung ohne Sand



250 ml Sand

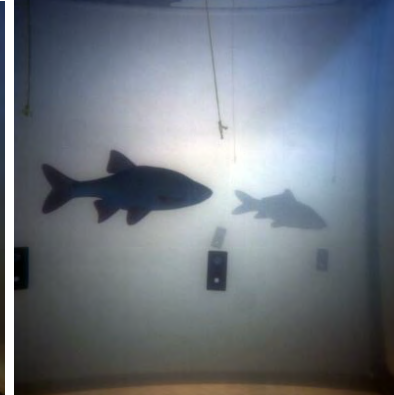
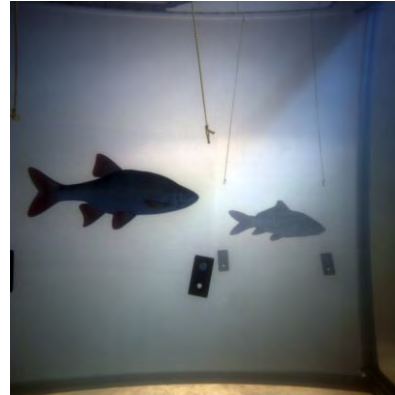
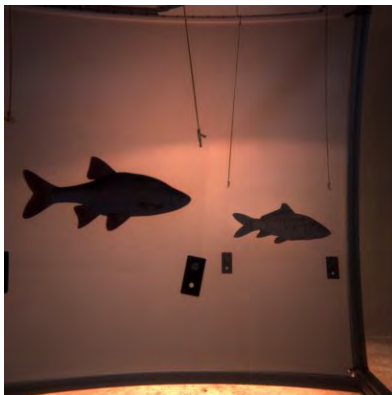


500 ml Sand



750 ml Sand

RGB



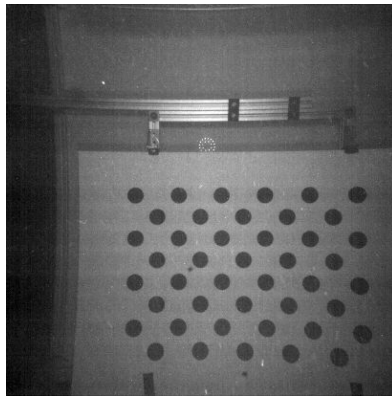
Infrarot wird im Wasser stärker absorbiert

# Trübungsexperimente Infrarot - Farbe

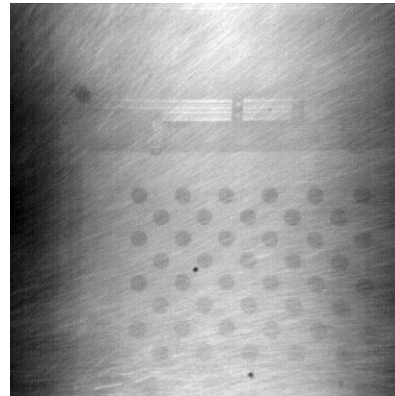
Beleuchtung von vorne, Abstand 1,25m



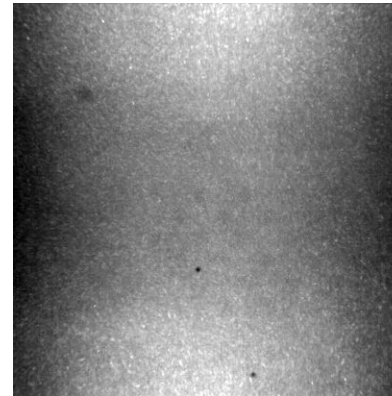
IR



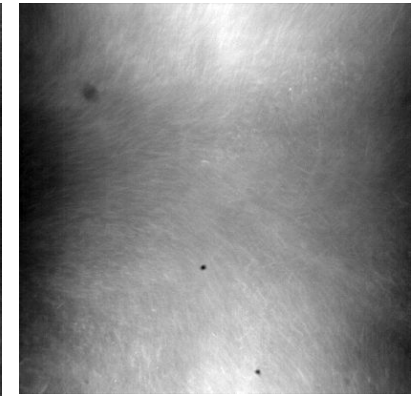
Trübung ohne Sand



250 ml Sand

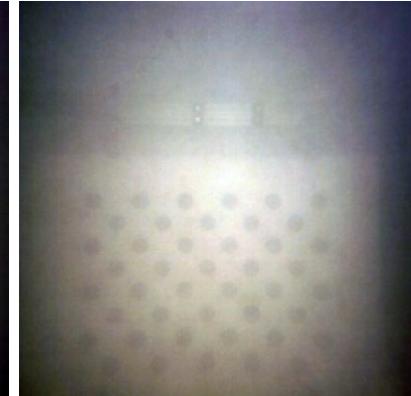
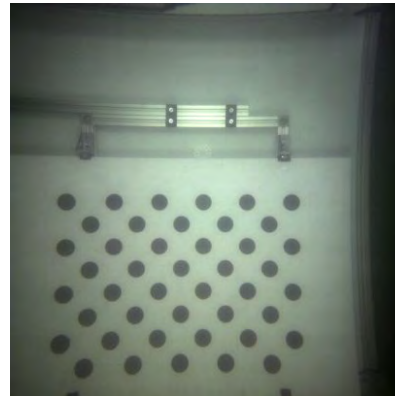
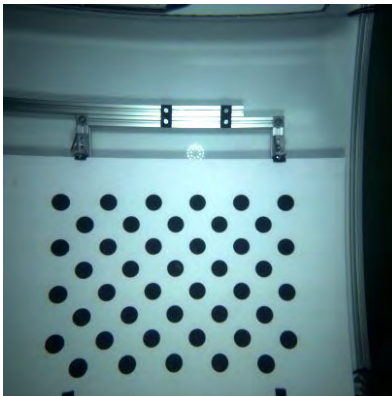


500 ml Sand



750 ml Sand

RGB

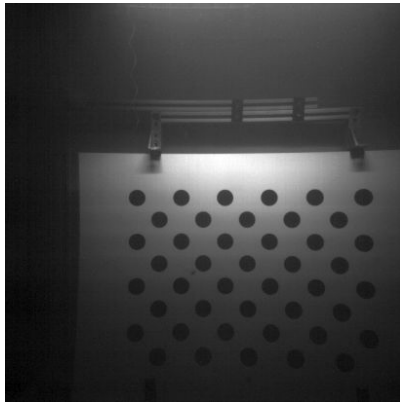


# Trübungsexperimente Infrarot - Farbe

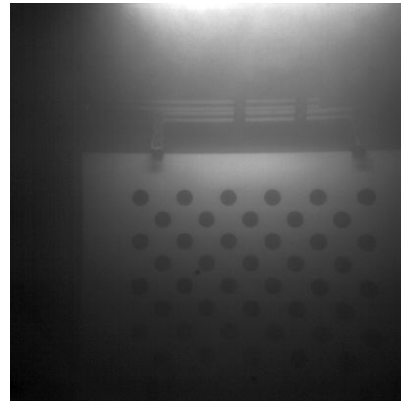
Beleuchtung von oben (hinten), Abstand 1,25m



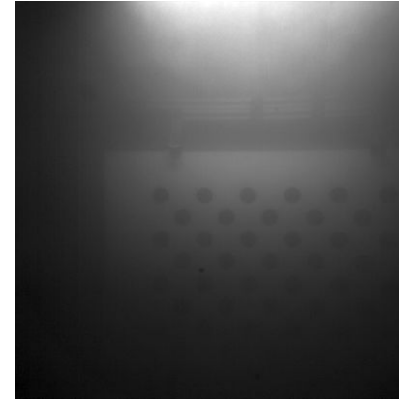
IR



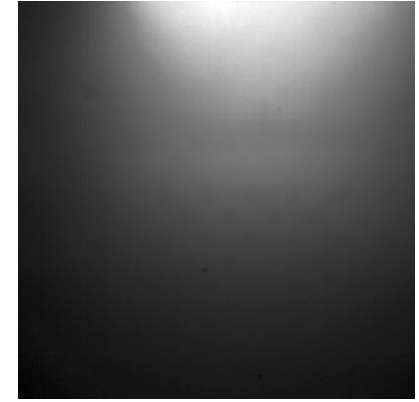
Trübung ohne Sand



250 ml Sand

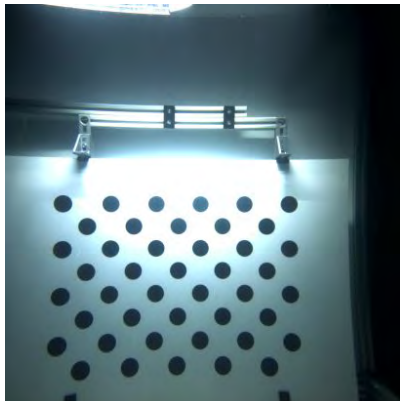


500 ml Sand



750 ml Sand

RGB

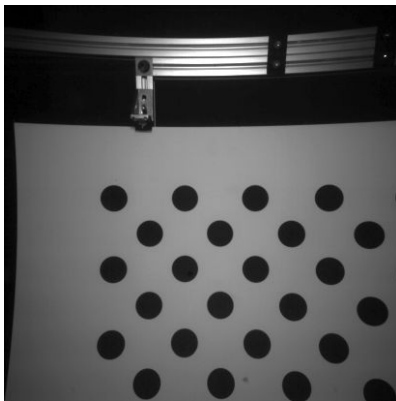




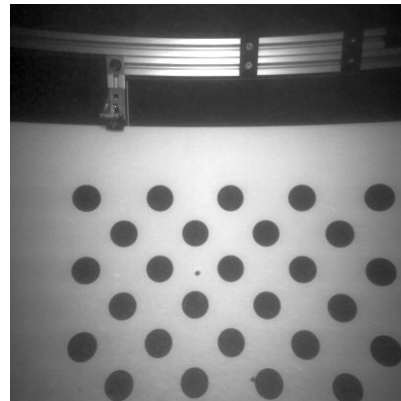
# Trübungsexperimente Infrarot - Farbe

Beleuchtung von vorne, Abstand 0,75m

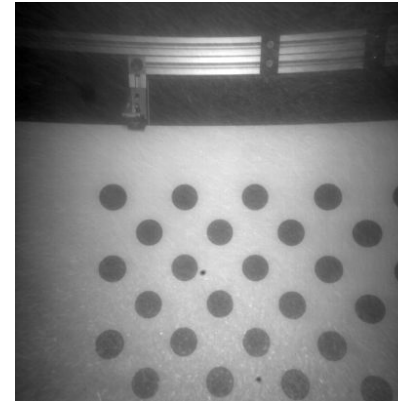
IR



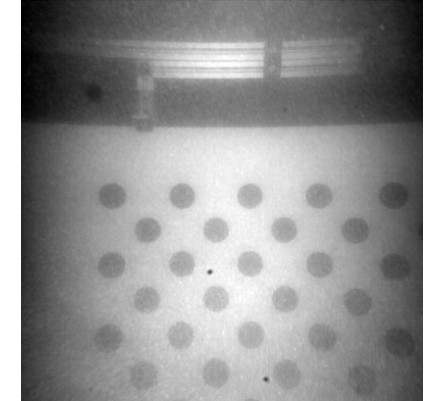
Trübung ohne Sand



250 ml Sand

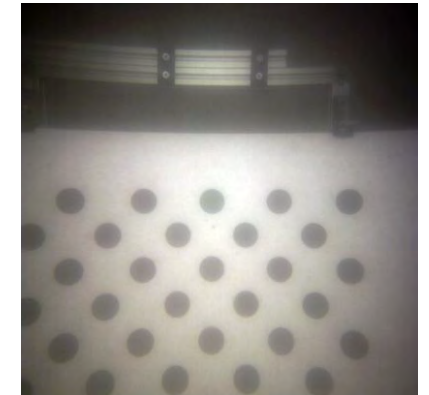
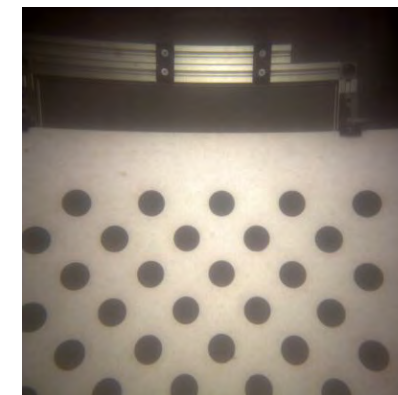
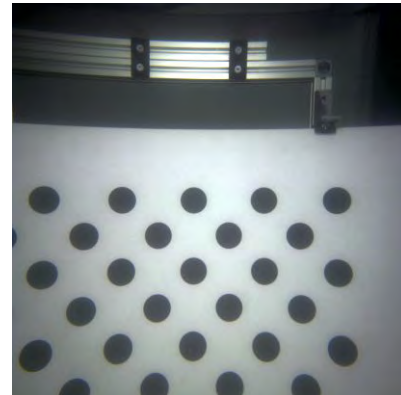
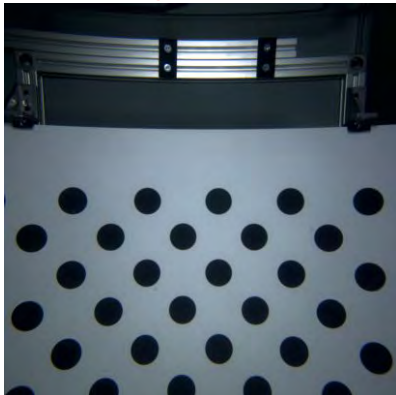


500 ml Sand



750 ml Sand

RGB



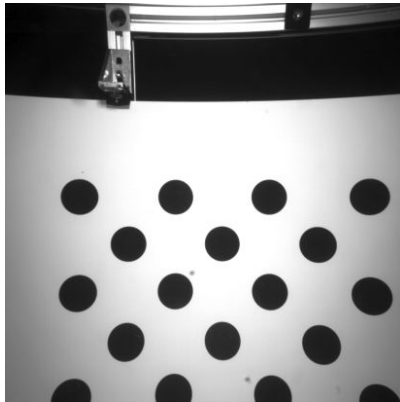
Infrarot wird im Wasser stärker absorbiert

# Trübungsexperimente Infrarot - Farbe

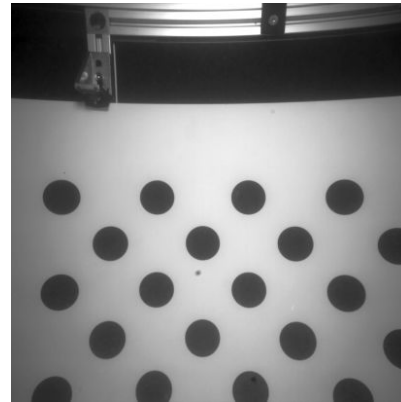
Beleuchtung von vorne, Abstand 0,55 m



IR



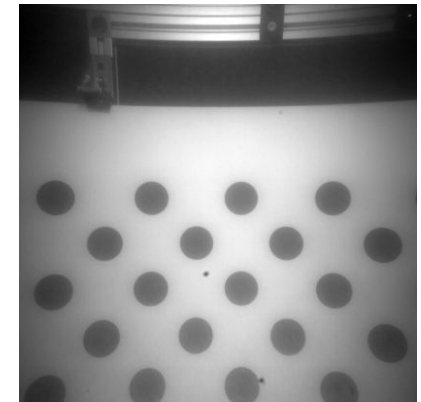
Trübung ohne Sand



250 ml Sand

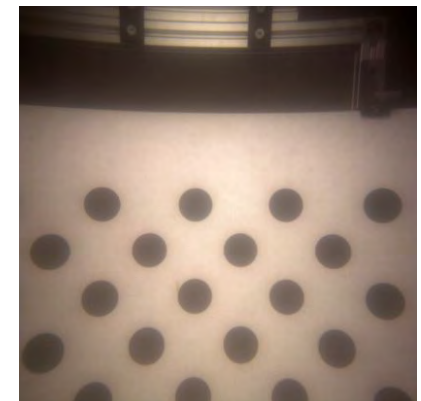
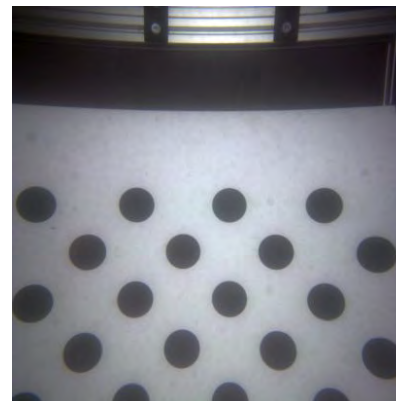
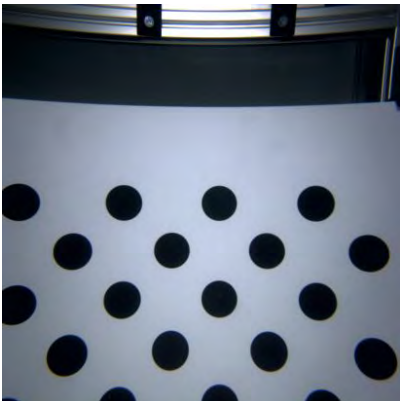


500 ml Sand



750 ml Sand

RGB

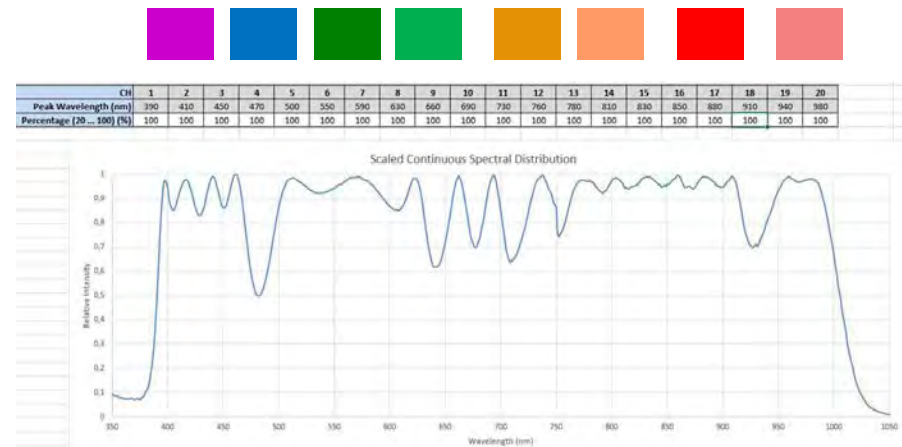
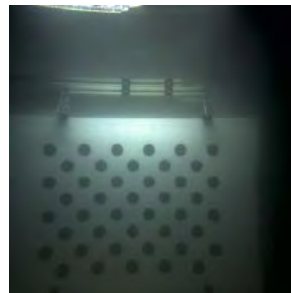
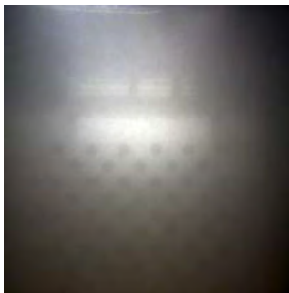


# Trübungsexperimente Infrarot – Farbe



## Ergebnisse, Ausblick

- Beide Lichtarten werden von der Trübung beeinflusst
- Infrarot wird im Wasser viel stärker absorbiert – schlechtere Sicht bei größerer Entfernung
- Beleuchtung sollte adaptiv angepasst werden
- Frage: Ist die Sichtweite abhängig von Art der Trübung (Sand, Algen)?
- Kerngebiet Hyperspektrale Bildverarbeitung
- Spektrale Verteilung der Beleuchtung adaptiv an Situation anpassen
- Speziallampe 20 Kanäle ist in Bestellung (seit 12/2016)

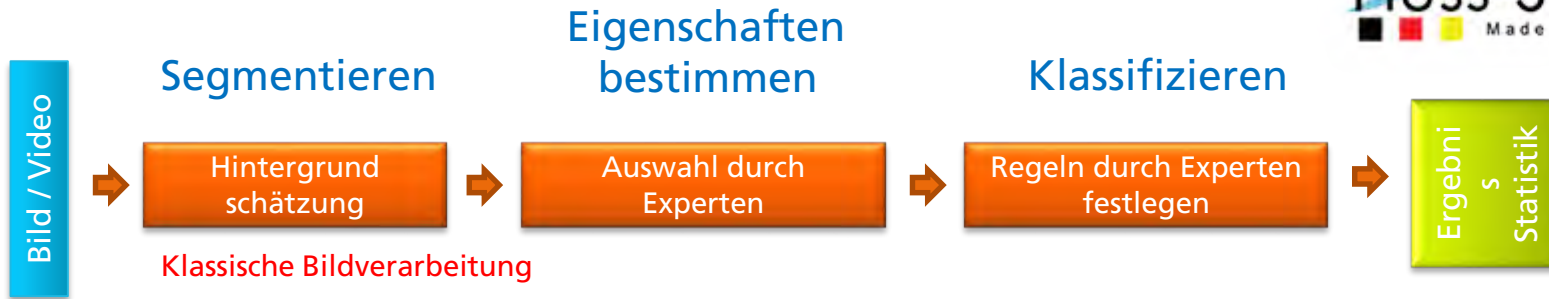


# Automatische Fischerkennung



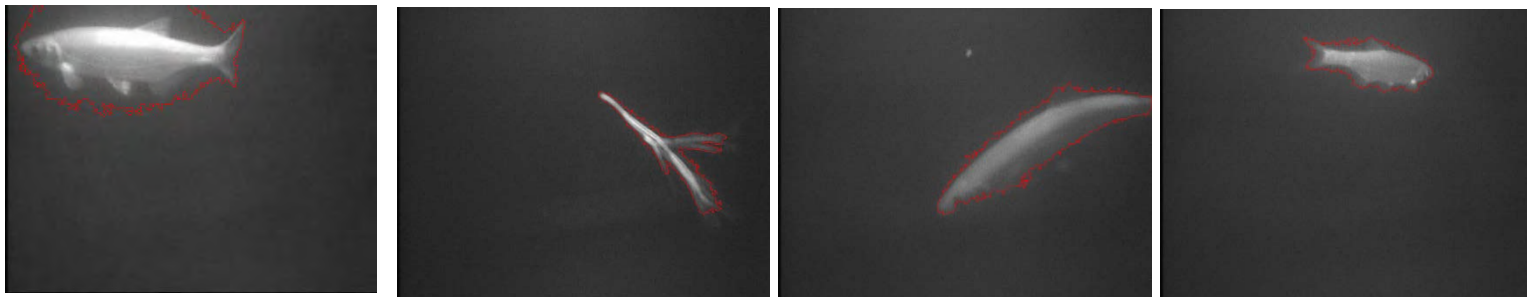
Genereller Ablauf der Bilderkennung mit verschieden entwickelten Algorithmen.

# Automatische Fischerkennung



- Eigenschaften Bestimmen (Größe, Form, Maske)
- Eigenschaften müssen interpretierbar sein !
- Regeln aufstellen

# Automatische Fischerkennung

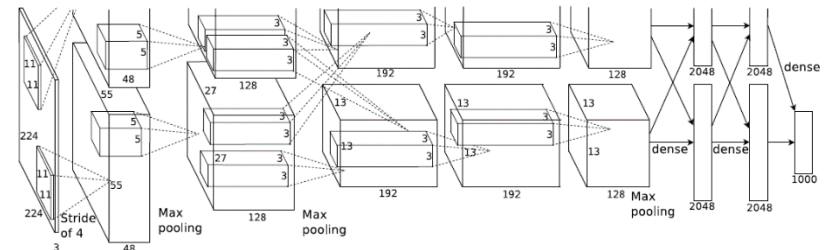


- Eigenschaften Bestimmen (Größe, Form, Maske)
- Eigenschaften können abstrakt sein
- Training des Klassifikators mit Beispielen
- (Beispiel: Gesichtserkennung in der Kamera)

# Automatische Fischerkennung

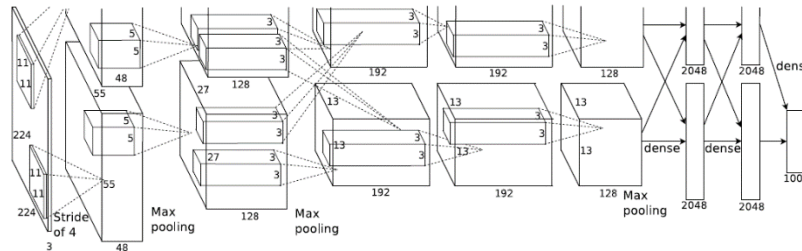


- Mehrere konkurrierende Systeme (Caffe (Barclay), Tensor Flow (Google), .. )
- Software Workflow mit Schnittstellen zu verschiedenen Systemen
- Unterscheidung Training / Recall
- hohe Rechenleistung (Grafikkarte)
- Mit Positionsbestimmung (Grafikkarten > 6 GByte RAM)



Deep Learning Netzwerk (Caffe)

# Training von Deep Learning Netzwerken



Featuregenerierung

Klassifizierung

## Featuregenerierung

- Training mit ähnlichen Daten, nur grundsätzlich ähnlich

## Klassifizierung

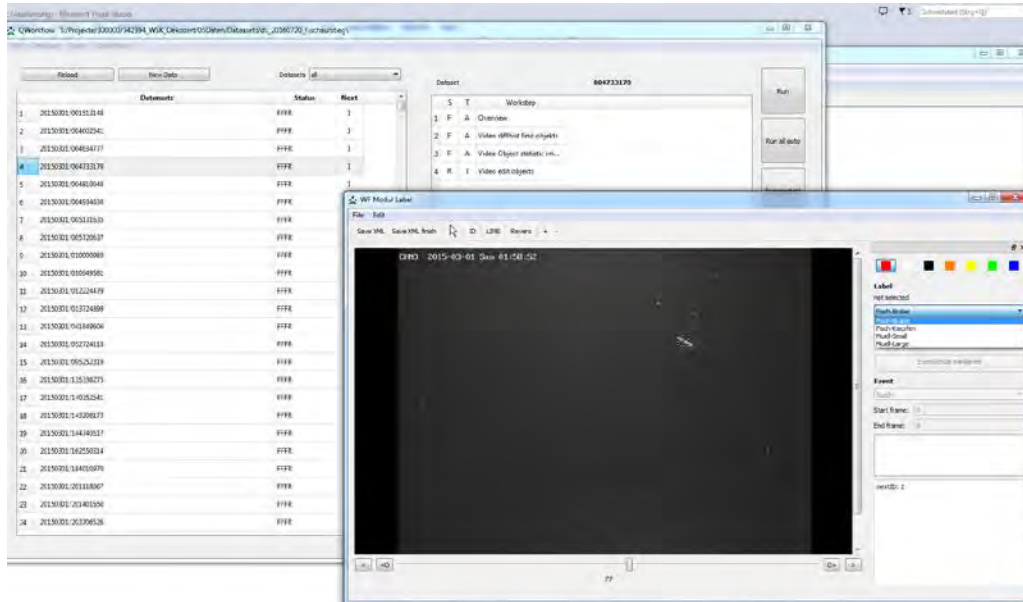
- Voll verschaltetes Netzwerk
- Nachtrainieren
- Neue Klassen hinzufügen

Deep Learning Netzwerk (Caffe)

56



# Bilderkennung Fisch - Fischart



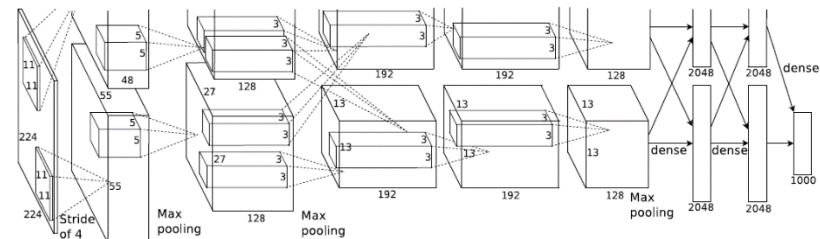
Videoeditor



Beispiele aus Fishcam  
(Prof. Mader)

## ■ Deep Learning Netzwerk

- Erzeugung Trainingsdaten, Zusammenarbeit mit Prof. Mader
- Test: Videoeditor, Verzeichnisbaum
- Training auf Rechnern mit großer Grafikkarte

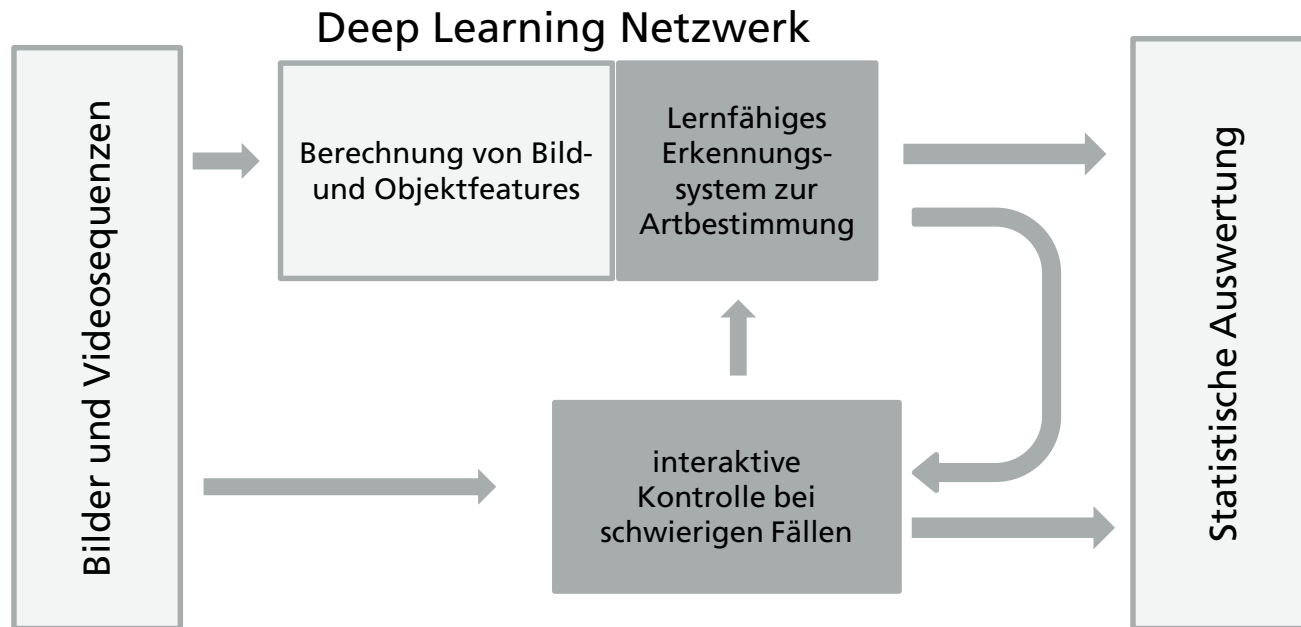


Deep Learning Netzwerk (Caffe)

# Bildererkennung Zusammenfassung



- Pipeline zur Bildverarbeitung steht
- erste Trainingsdaten (Zusammenarbeit mit Prof. Mader) vorhanden
- Aktuelle Arbeiten: Effektive Verfahren zur Manuellen Eingabe von neuen Trainingsdaten



Danke für die Aufmerksamkeit

gefördert durch



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

WACHSTUMSKERNE  
UNTERNEHMEN  
REGION  
Die BMBF-Innovationsinitiative  
Neue Länder