

Düsenstrahlverfahren

In-situ Formbestimmung eines Düsenstrahlelements

Inhalt der Präsentation

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Problemstellung
- Lösung & Messsystem
 - Krümmungsmessungen
 - Berechnung
 - Genauigkeit
- Kalibrierung
- Versuchsablauf
 - Messanordnung
 - Bestimmung der Bohrlochform
- Auswertung
- Ergebnisse

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

Problemstellung (1)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

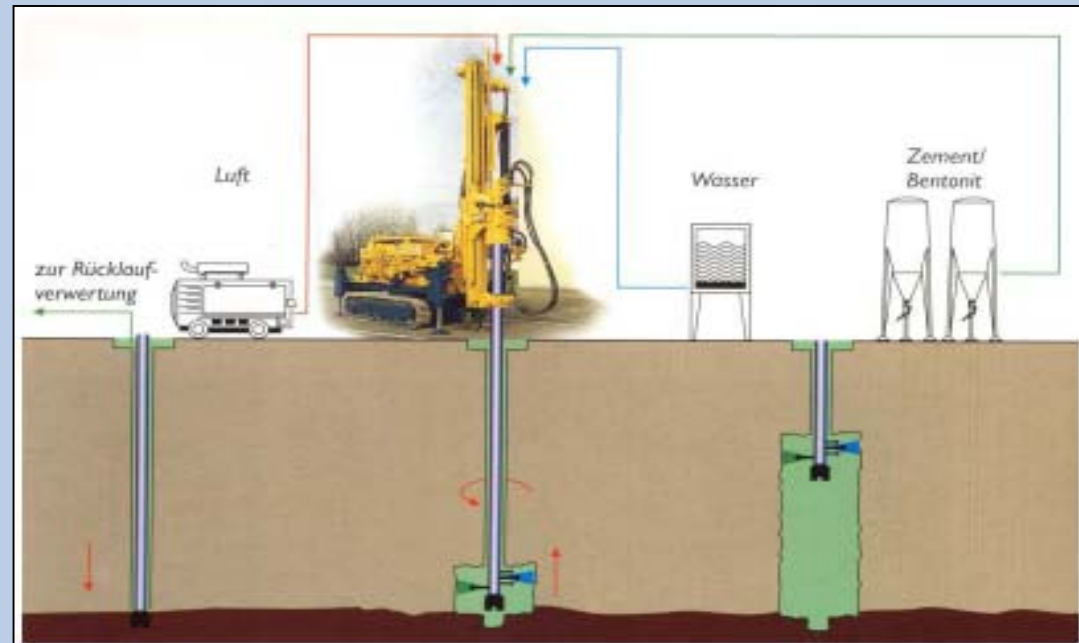
Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

- Düsenstrahlverfahren
 - Engl.: Soilcrete (Soil = Boden, to concrete = verfestigen)
 - Konstruktionsverfahren im Tiefbau zur Bodenverfestigung bzw. Abdichtung gegen Eindringen von Grundwasser
 - Erosion des Bodens mit energiereichem Flüssigkeitsstrahl
- Verschiedene Verfahren
 - Hier: Soilcrete-T
 - Hockruckwasserstrahl zur Erosion des Untergrunds (100 m/s)
 - Zementsuspension unterhalb eingespritzt



Problemstellung (2)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Anwendungen
 - Unterfangungen, Dichtwänden, Dichtsohlen
 - Bohren
 - Schneiden
 - Bodenverdichtung
 - Erweitern ⇒ Problem
 - Abmessungen der Betonsäule
- Funktionsprinzip

Inhalt

Problemstellung

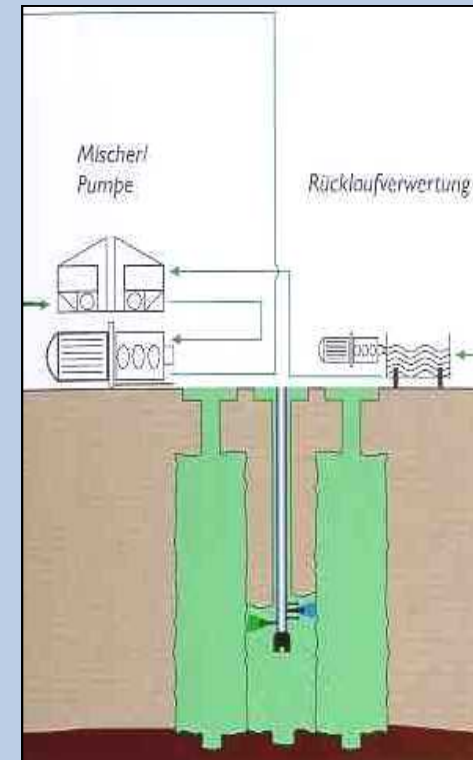
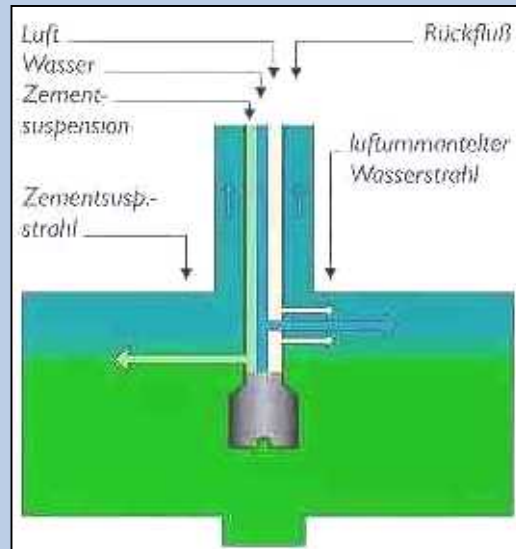
Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Problemstellung (3)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Reichweite des Wasserstrahls \Rightarrow Größe der Betonsäule
 - Messung während des Arbeitsvorgangs
 - Genauigkeit: ± 5 cm
- Fernziele
 - Steuerung des Wasserstrahls
 - Variation der Größe der Betonsäule
 - Lückenlose Abdichtung des Untergrunds

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

Messsystem (1)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

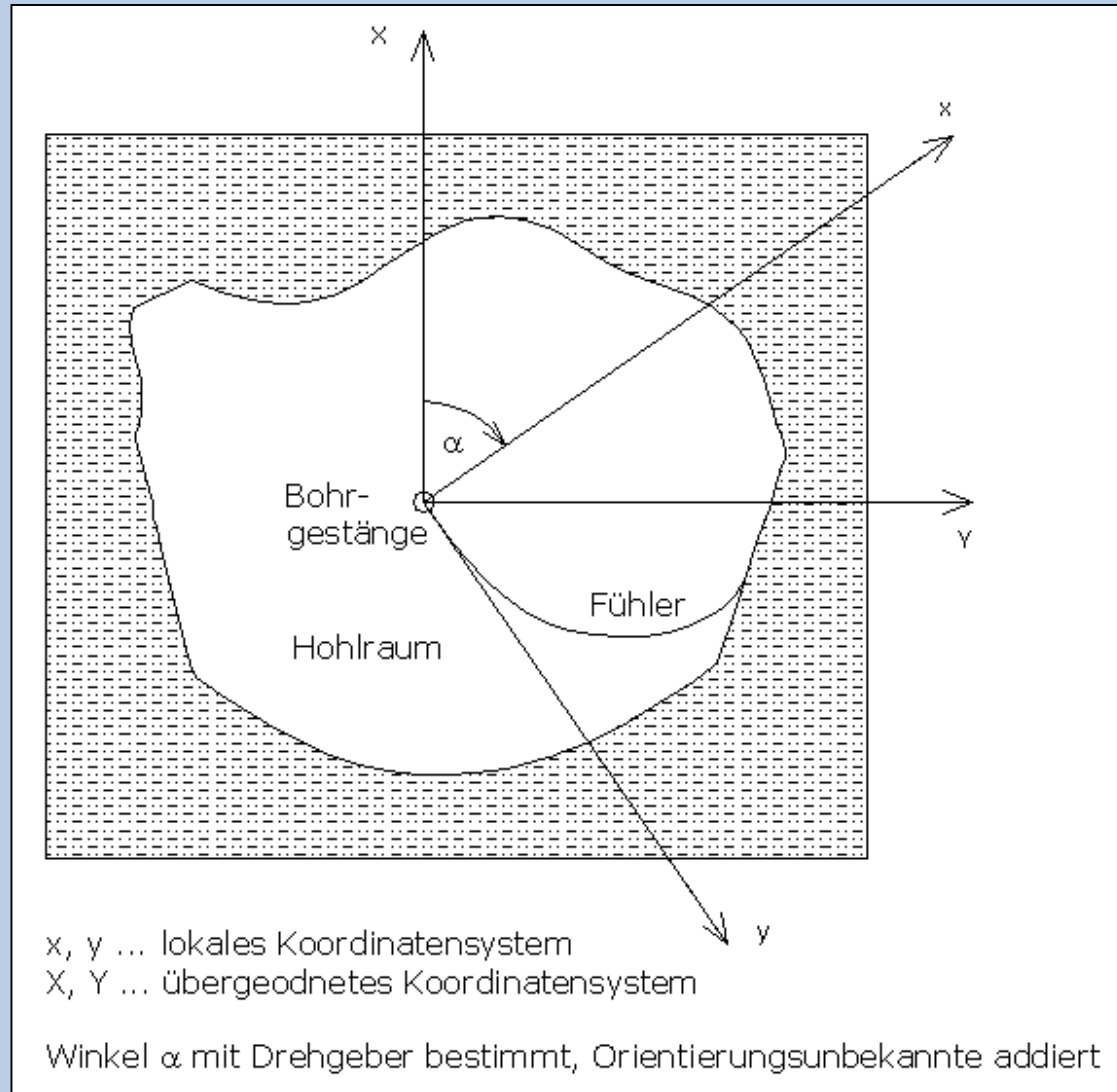
- Elastischer Fühler
 - Form des Hohlraums kann während des Düsenstrahlverfahrens durch einen elastischen Fühler bestimmt werden
 - Metallband, in horizontaler Ebene flexibel, vertikal steif
 - Fühler am Bohrgestänge unterhalb der Düse befestigt
 - dreht sich mit Bohrgestänge mit und tastet den Rand des Hohlraums spiralförmig ab
 - Fühler ist länger als Hohlraumradien und passt sich an Rand an
 - Form des Fühlers durch Krümmungsmessungen bestimmt, für jede Messepoche in einem lokalen Koordinatensystem
- Winkel zur Transformation ins übergeordnete Koordinatensystem mit einem Drehgeber gemessen, der sich auch am Bohrgestänge befindet

Messsystem (2)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Messung mit elastischem Fühler



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

Krümmungsmessungen

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

- Entlang des elastischen Fühlers mehrere Dehnungsmessstreifen (DMS) – Paare aufgeklebt
- DMS auf Ober- und Unterseite des Fühlers unterschiedlich gedehnt
- Spannungsverhältnisse gemessen, aus denen Krümmungen berechnet werden
- zwischen den DMS Krümmungen linear interpoliert
- durch Integration der Krümmungen Form des Fühlers im lokalen Koordinatensystem bestimmt

Berechnung

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Integration der Krümmungen

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

$$d\tau = \frac{1}{R} ds = \kappa ds$$

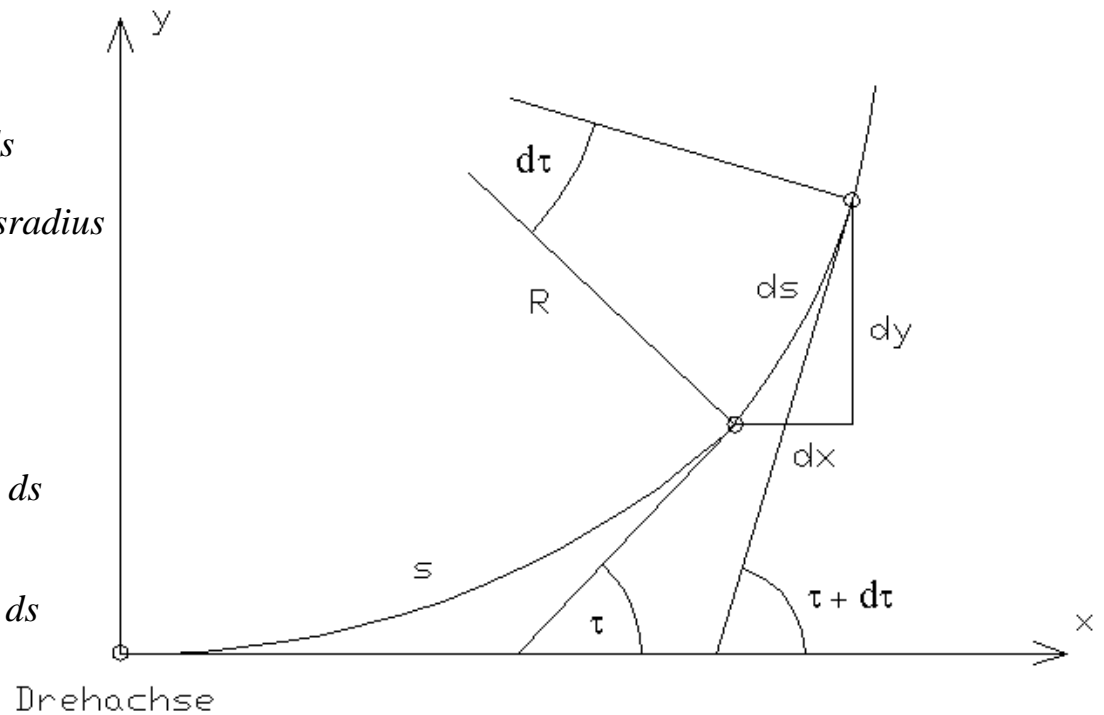
R...Krümmungsradius

κ ...Krümmung

$$\tau(s) = \int_0^s \kappa(s) ds$$

$$x(s) = \int_0^s \cos \tau(s) ds$$

$$y(s) = \int_0^s \sin \tau(s) ds$$



Genauigkeit

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

- Abhängig von
 - Präzision der Krümmungsmessung
 - *DMS-Type*
 - *Abstand der DMS*
 - *A/D Wandler*
 - *Krümmung*
 - Elastizität und Länge des Fühlers
 - Abtastfrequenz
 - Rasterweite des binären Bildes

Form des Hohlraums

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

- für alle Messepochen einer Umdrehung Fühlerlage innerhalb des Hohlraumes im übergeordneten Koordinatensystem bestimmt
- Annahme: Bohrgestänge wird nicht kontinuierlich, sondern in diskreten Schritten nach jeder vollen Umdrehung nach oben gezogen
- Düsenstrahlelement zerfällt in Lamellen
- alle Fühlerlagen einer Lamelle in einem binären Rasterbild gespeichert
- durch Kantenextraktion Umriss bestimmt (Einhüllende der Fühlerlagen)
- durch Tiefenmessung am Bohrgestänge dreidimensionale Form des Düsenstrahlelements

Kalibrierung (1)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Warum?
 - Messgerät (elastischer Fühler)
 - Selbstgebaut
 - Keine Herstellerangaben

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

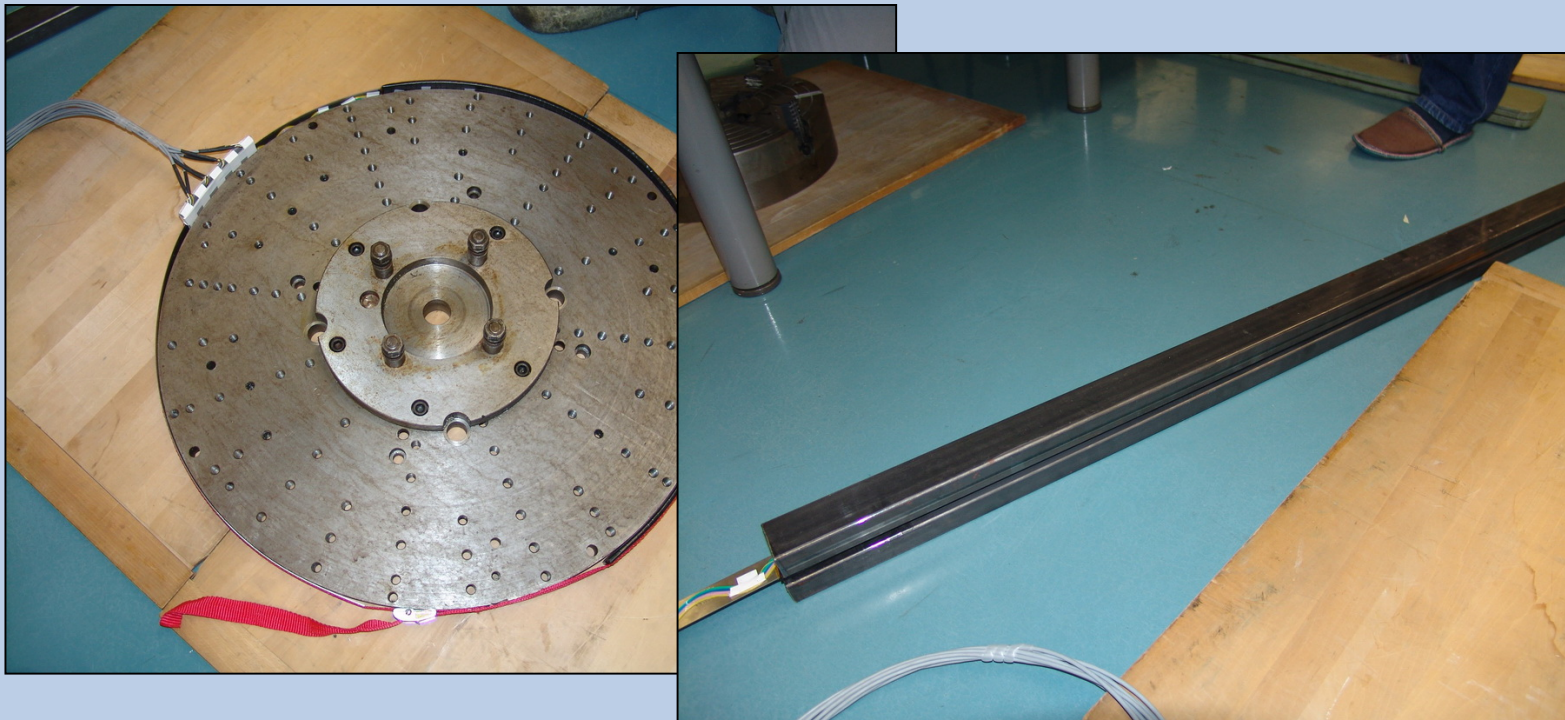
Ergebnisse

Kalibrierung (2)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O

- Wie?

- Messen von bekannten Geometrien
 - Definieren einer „+“ und „-“ Seite, messen beider Seiten
- Anlegen an einen Kreis
 - Radius messbar / Genauigkeitsinformation
 - Krümmung = $1 / \text{Radius}$
- Anlegen an einer Geraden
 - Krümmung = 0



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

Kalibrierung (3)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O

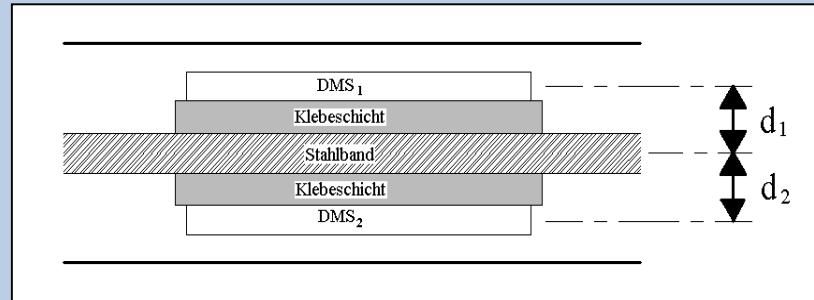


- Was?

- Messsensoren: DMS
- Sie liefern: Spannungsverhältnisse
- Aus Denen: Krümmung berechenbar
- Ergebnis: Koeffizienten a_0 und a_1

$$K = \frac{10^{-3}}{K \cdot d} \cdot \frac{U_A}{U_B}$$

- K ... Werkskonstante
- d ... Abstand DMS – Nullpunktmessung



- d ... muss bestimmt werden

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

Kalibrierung (4)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O

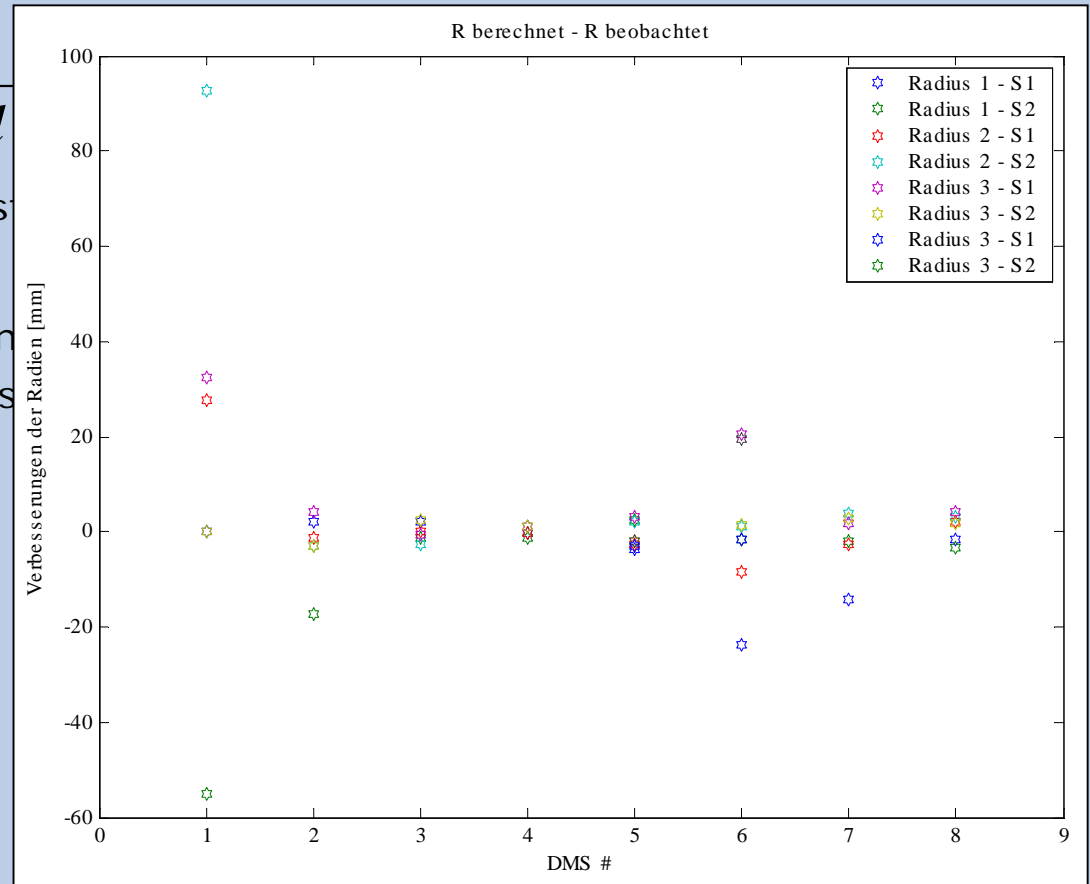


- Ausgleich nach Parametern
 - Krümmung hat Fehler
 - Spannungsverhältnis hat Fehler
- Modellannahme

$$K = \frac{10^{-3}}{K \cdot d}$$

- Ausreißertes

- Ergebnis
 - Koeffizienten
 - Genauigkeits



- Inhalt
- Problemstellung
- Messsystem
- Kalibrierung
- Versuchsablauf
- Auswertung
- Ergebnisse

Versuchsanordnung (1)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Holz- PU-Schaum – Konstruktion als Bohrloch
- Achse mit Inkrementaldrehgeber

Inhalt

Problemstellung

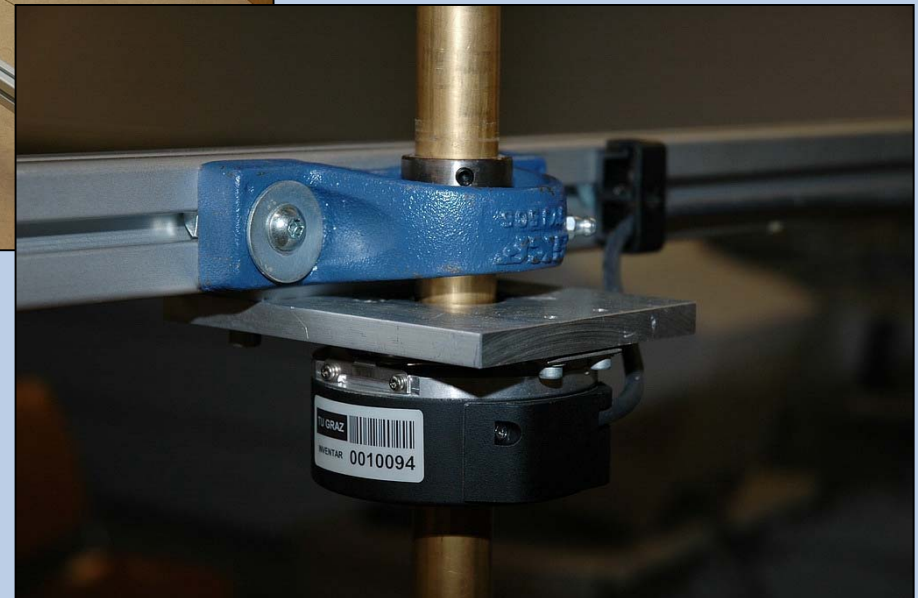
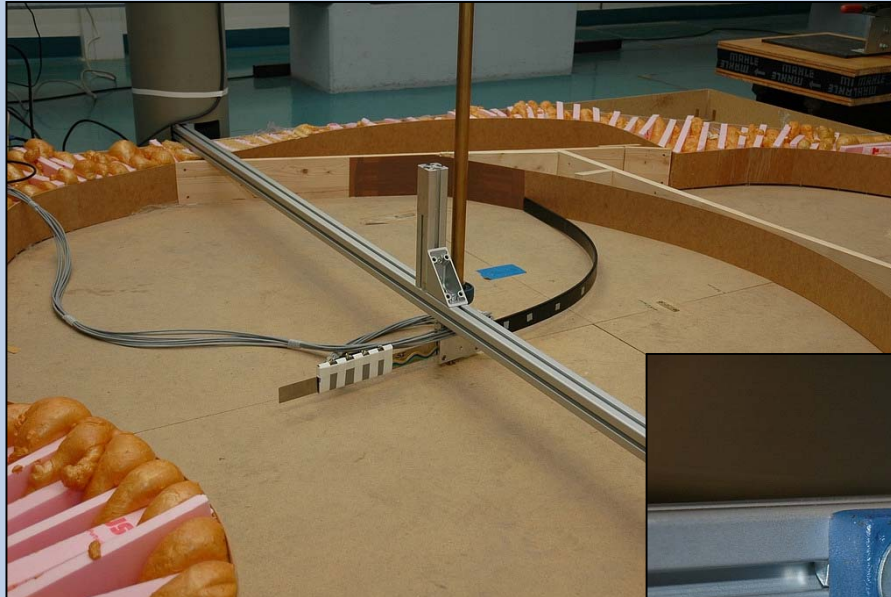
Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Versuchsanordnung (2)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Elastischer Messfühler
- Digitales Mehrkanalmesssystem (Spider8)
- Zwei PCs zur Datenspeicherung

Inhalt

Problemstellung

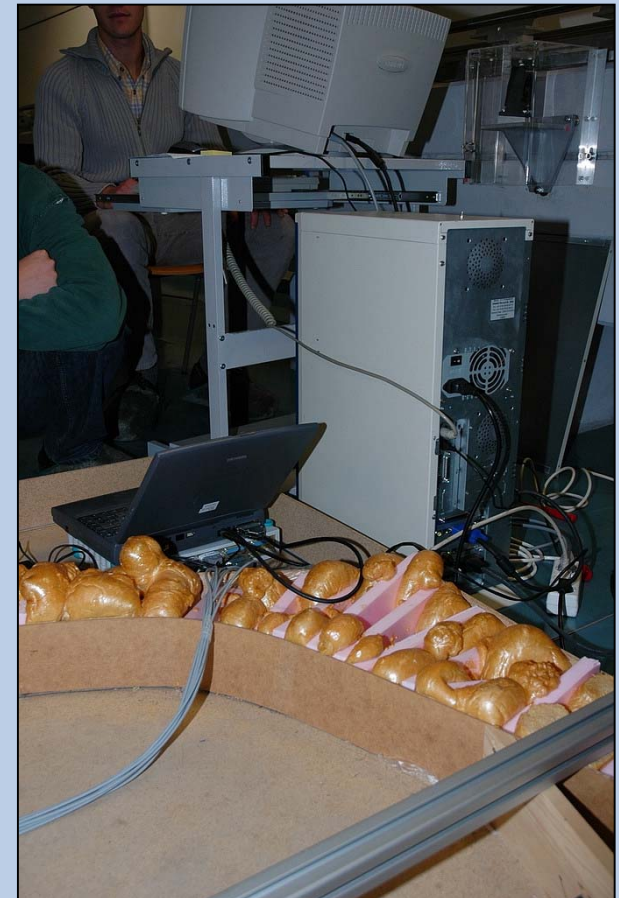
Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Bestimmung der Bohrlochform

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Gewünschte Genauigkeit: 0.5 [cm]
- Bestimmung der Sollform mittels
 - Orthogonalaufnahme mit dem Distometer
 - Definition eines kartesischen Koordinatensystems
 - Messen der Distanzen in konstanten Abständen

Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Versuchsablauf

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Nullabgleich DMS
- Orientierung der Winkelmessung
- Manueller Antrieb der Drehachse
- Speichern der Messdaten
 - Winkelmessung des Inkrementaldrehgebers
 - DMS Messungen vom Spider

Inhalt

Problemstellung

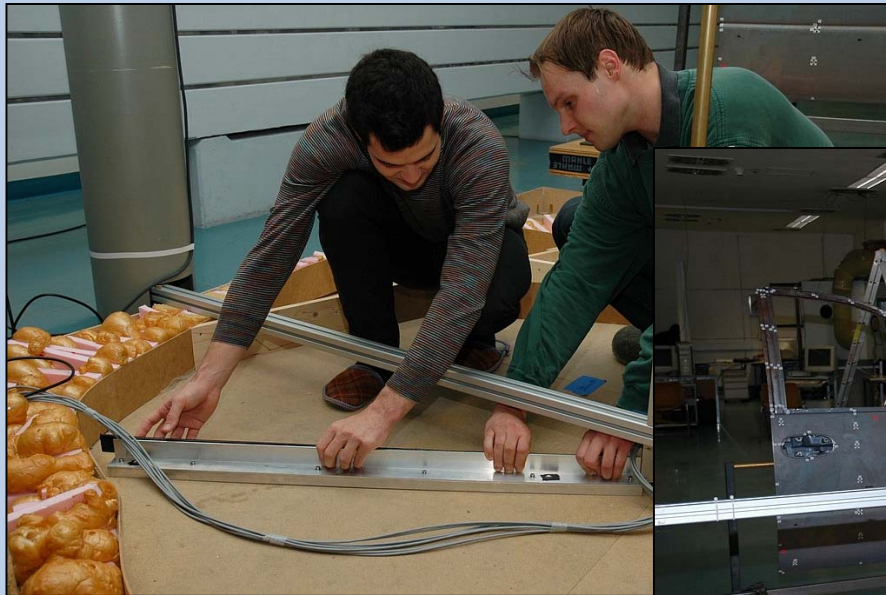
Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Auswertung Übersicht

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

- Einlesen der Daten
 - DMS
 - Winkeldaten
- Laden der Sensordaten
 - Kalibrierung
 - Fühlerlänge anpassen
- Synchronisation der Winkel und DMS-Daten
- Interpolation der Winkeldaten zur zeitlichen Anpassung an die Krümmungsmessungen
- Berechnung im lokalen Koordinatensystem der einzelnen Shapes für jede Epoche
- Transformation der Koordinaten in ein übergeordnetes System
- Visualisierung

Auswertung (1)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Angular data and DMS data plots
 - Objective: to determine the beginning and ending time of the movement

Inhalt

Problemstellung

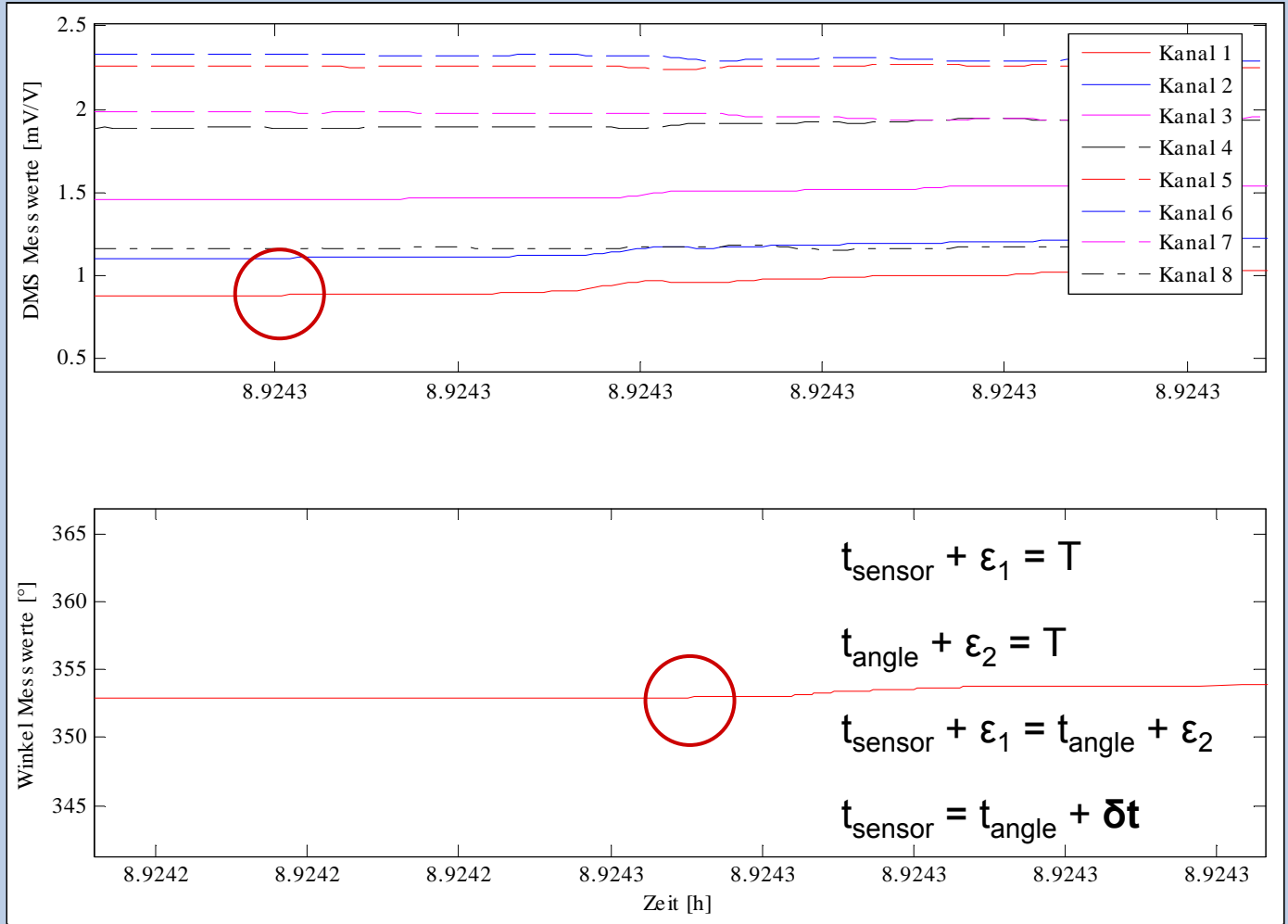
Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Auswertung (2)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

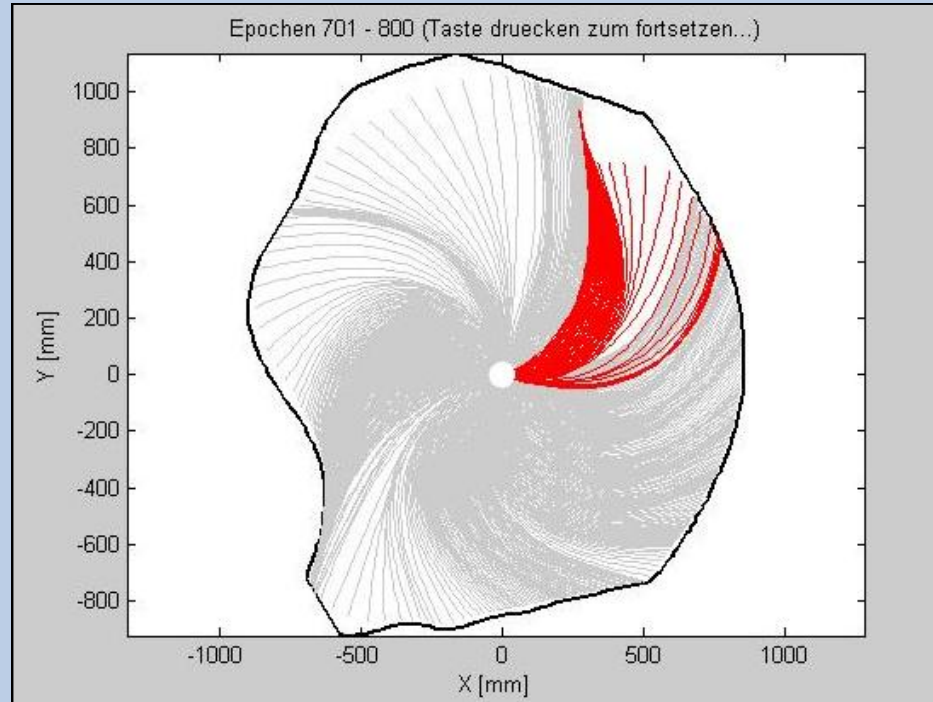
- Determining the true shape
- Using the calibration data
 - $\kappa = a_0 + a_1 * dms_data$
- Zero curvature at the beginning and end of the blade
- Interpolate between points
- Determine tau (cumulative summation of the curvature values multiplied by the interpolation steps)
- Using tau, determine the x and y values of the points along the blade

Ergebnisse (1)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Calculated Shapes
 - Every 25th epoch



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

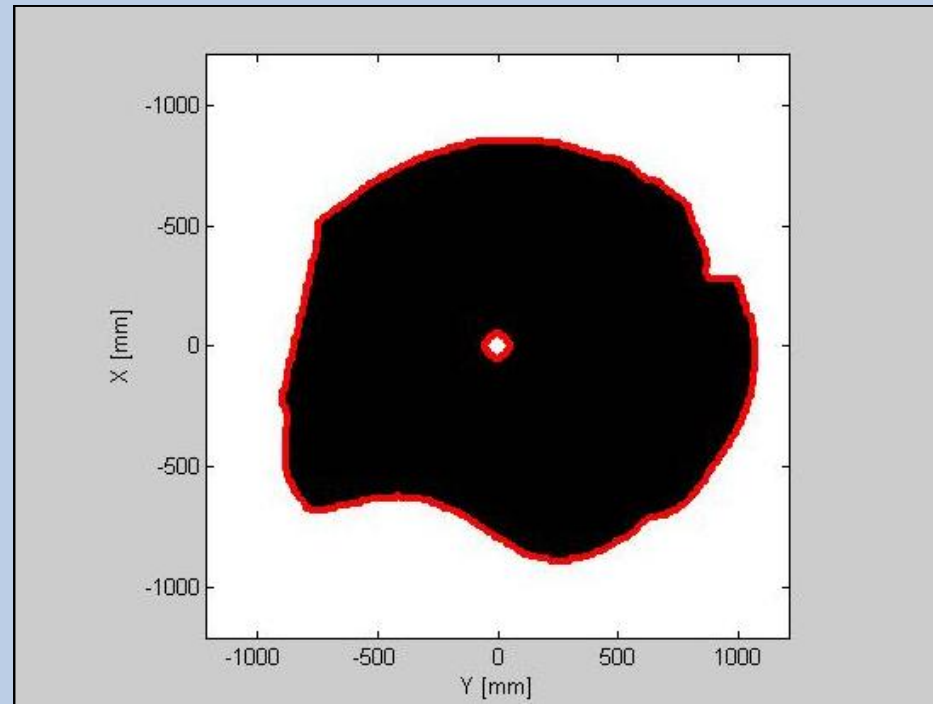
Ergebnisse

Ergebnisse (2)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Calculated binary Shape-Image
 - Black pixels: Overcoated area by the blade
 - White pixels: Not overcoated area by the blade
 - Red pixels: Boundary between black & white pixels (Shape of the borehole)



Inhalt

Problemstellung

Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse

Ergebnisse (3)

47° 05' 42" N
15° 27' 18" O



- Computed animation of the sensor
 - Computed with every 25th frame
 - $600 \text{ Hz} / 25 = 24 \text{ fps}$

Inhalt

Problemstellung

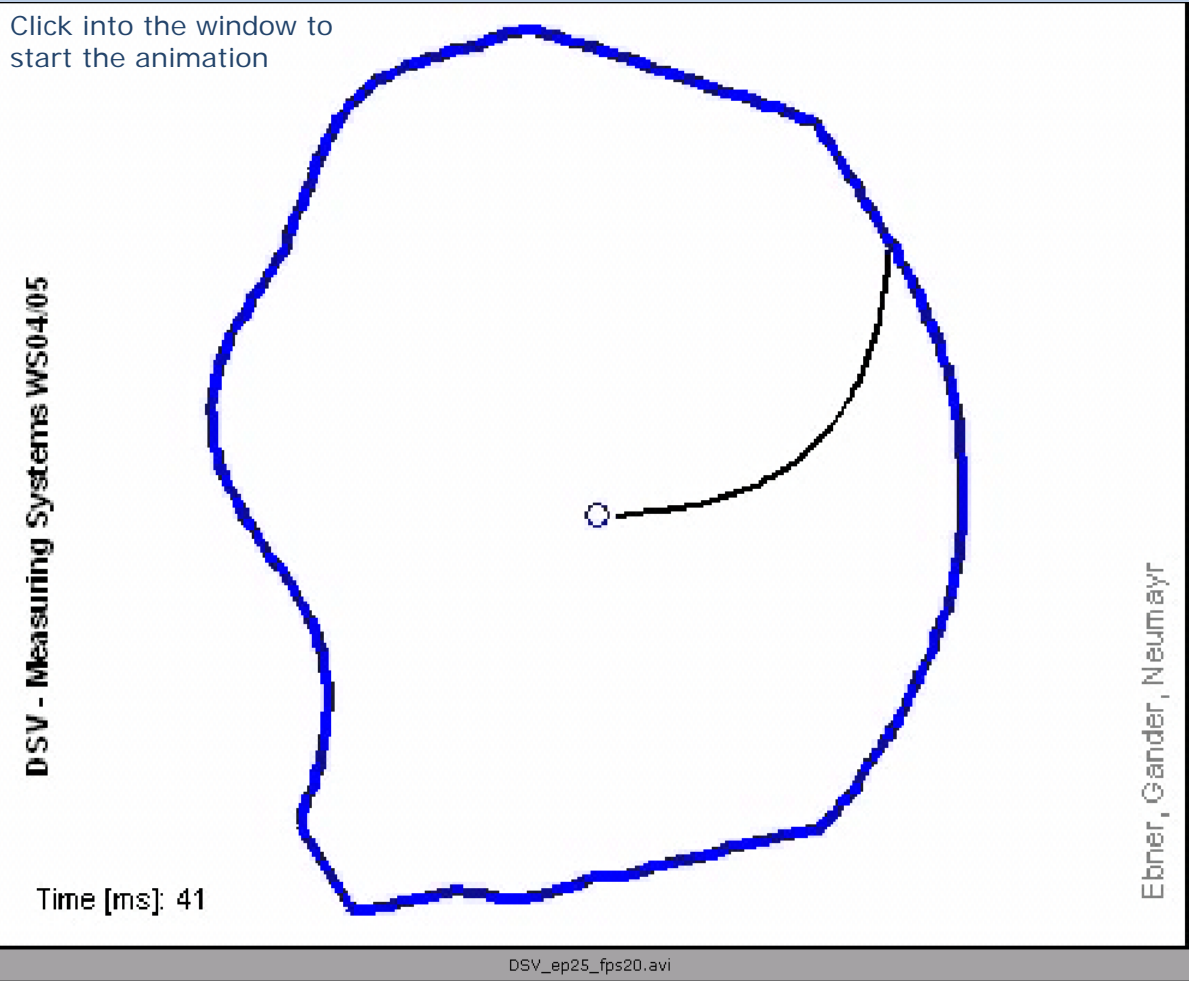
Messsystem

Kalibrierung

Versuchsablauf

Auswertung

Ergebnisse



Für Ihre Aufmerksamkeit bedanken sich ...

Carina Dunn, Alexander Ebner, Thomas Feigl, Daniel Gander, Rudolf Neumayr,
Bernhard Schütz, Heimo Schwarzenbacher, Saelde Wirnsberger