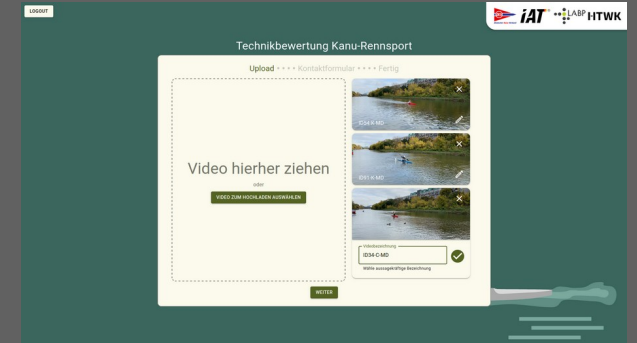
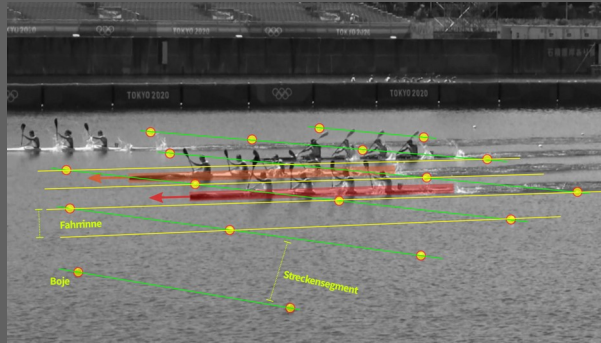


Mit KI zu Olympischem Gold: Automatische Videoanalysen für den Kanu-Rennsport

Daniel Matthes

Laboratory for Biosignal Processing | Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

04. Juni 2026 | 13. Fachtagung | Energie- & Gebäudetechnik 2026



- Einführung
- Technikanalyse im Kanu-Rennsport
- Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Einführung

Mit KI zum Olympischen Gold

- Erste Voruntersuchungen zum Thema Technikanalyse
- BISP-Anwendungsprojekt **KInematikKanu**
- BISP-Innovationsprojekt **Live-Feedback**
- BISP-Anwendungsprojekt **canoe rAlce**
- BISP-Service-Forschungsprojekt **cAlnoe talents**
- Paddelschlagerkennung aus Sensordaten (mit FES)

2018 - 2021

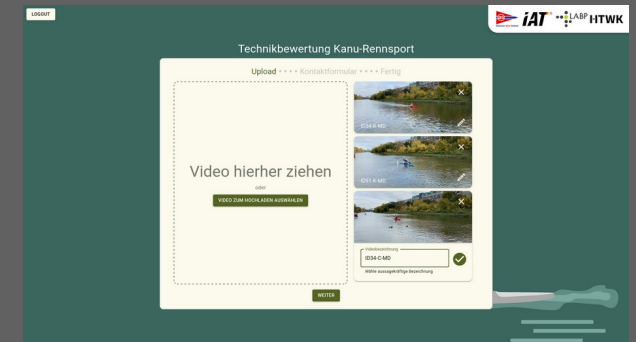
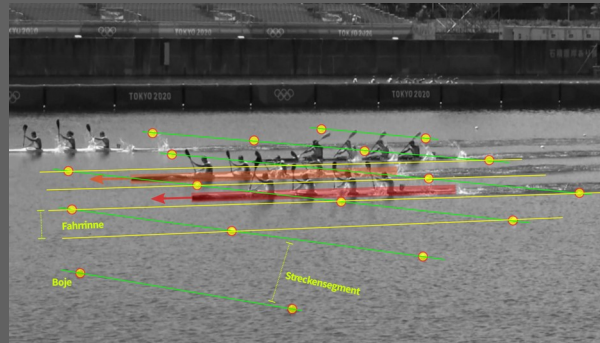
04/2021 - 04/2023

01/2022 - 12/2022

01/2023 - 12/2024

04/2024 - 12/2024

seit 01/2023



- Einführung
- **Technikanalyse im Kanu-Rennsport**
- Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Messbootfahrten: Videoaufnahmen im Freiwasser

HTWK



Foto: Rebecca Schweier

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

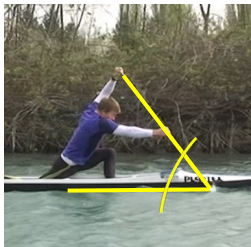
Manuelle Analyse von Messbootfahren



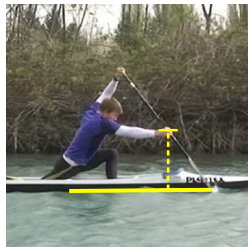
1) Wahl EINES Paddelzyklus



2) Bestimmung von 5 Analysezeitpunkten



Winkel



Abstände

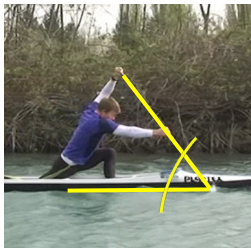
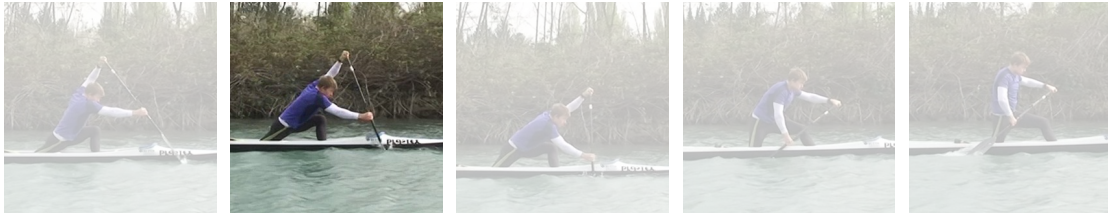
	Canadier	Kajak
Winkel	5	3
Abstände	3	3

Anzahl Parameter pro Bild

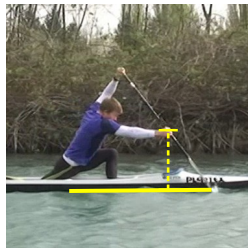
3) Annotation von 6/8 Parametern pro Analysezeitpunkt

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Manuelle Analyse von Messbootfahren



Winkel



Abstände

	Canadier	Kajak
Winkel	5	3
Abstände	3	3

#Parameter pro Bild

- Zeitaufwendig Analyse
- viel Erfahrung erforderlich
- Ergebnisse variieren (Inter-Rater-Variabilität)
- es können nur wenige Daten analysiert werden
- Methode so nur im Spitzenbereich anwendbar

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

KinematikKanu: Automatische Analyse von Messbootfahren

Projektziele:

- Entwicklung KI-basierter Algorithmen zur automatischen Bestimmung techniklebanter Parameter (Analysedauer verkürzen)
- Bereitstellung neuer Parameter
- Validierung der Methoden
- Tool/Software für Anwenderinnen und Anwender

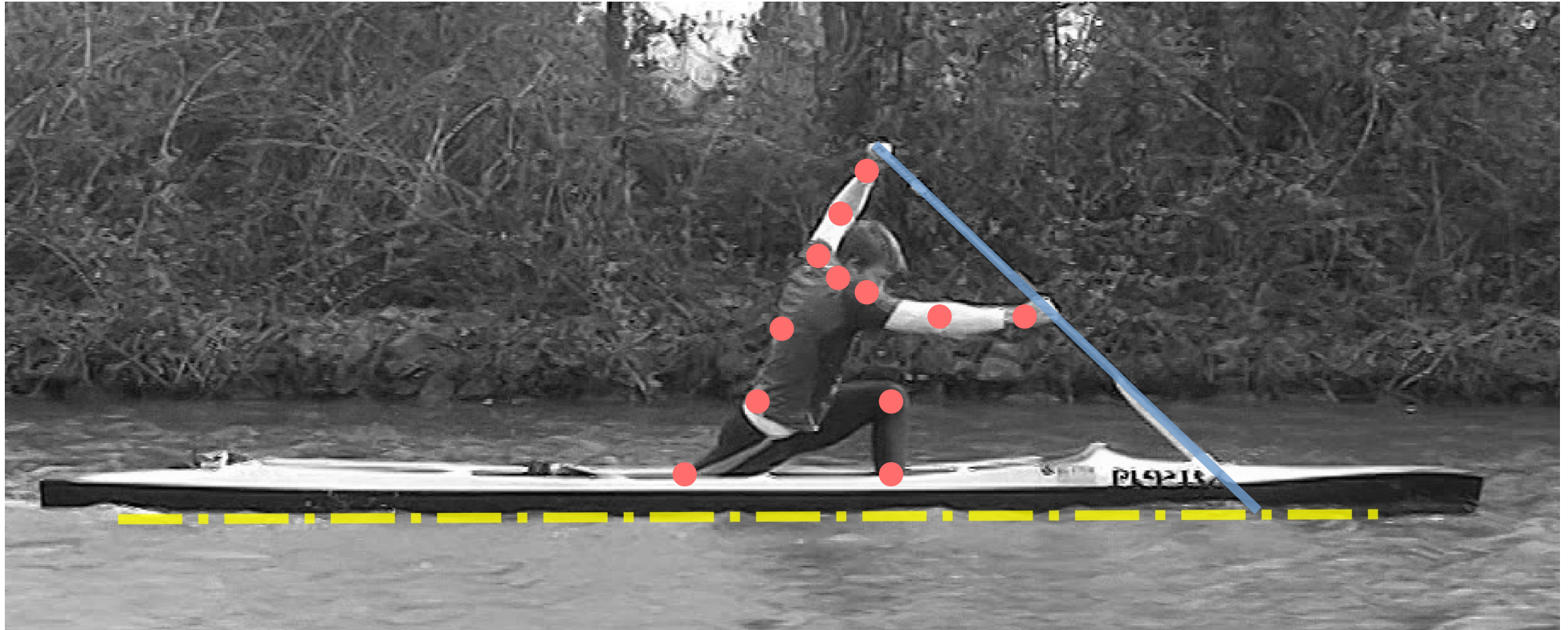


Forschungsprojekt: Entwicklung automatischer Bildanalyseverfahren auf Basis künstlicher Intelligenz zur Bestimmung von kinematischen Parametern zur Analyse der sportlichen Technik im Kanu-Rennsport und Kanu-Slalom (KinematikKanu)

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Automatische Analyse von Messbootfahren

HTWK



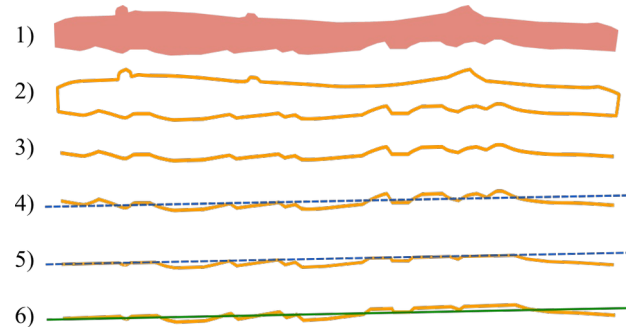
Fuchs et al., 2018, 19. Frühjahrsschule im Leistungssport, ISBN 978-3-8403-7628-3

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

KI-basierte Segmentierung von Boot und Paddel



Mask R-CNN: He et al., 2017, ICCV



Waterline Detection: von Braun et al., 2020, CVPRW



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

KI-basierte Skeletterkennung

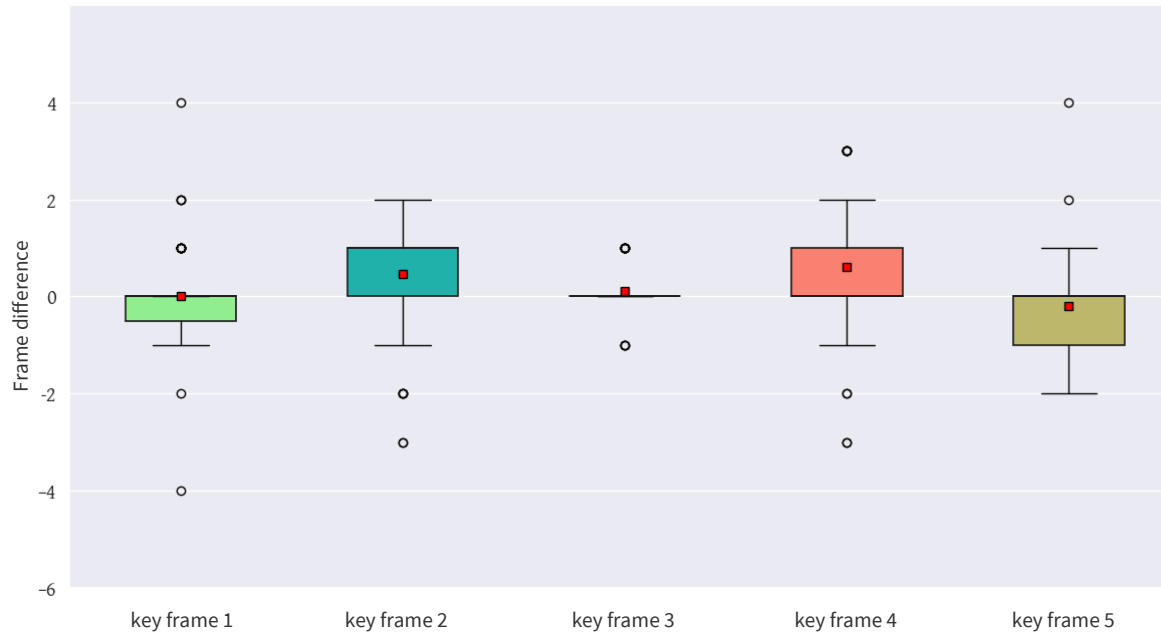
- Verbesserung der Skeletterkennung durch Nachtrainieren mit anwendungsspezifischen Daten



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Evaluierung der Genauigkeit der Detektion der Analysezeitpunkte

Temporal localization accuracy of automated key frame detection



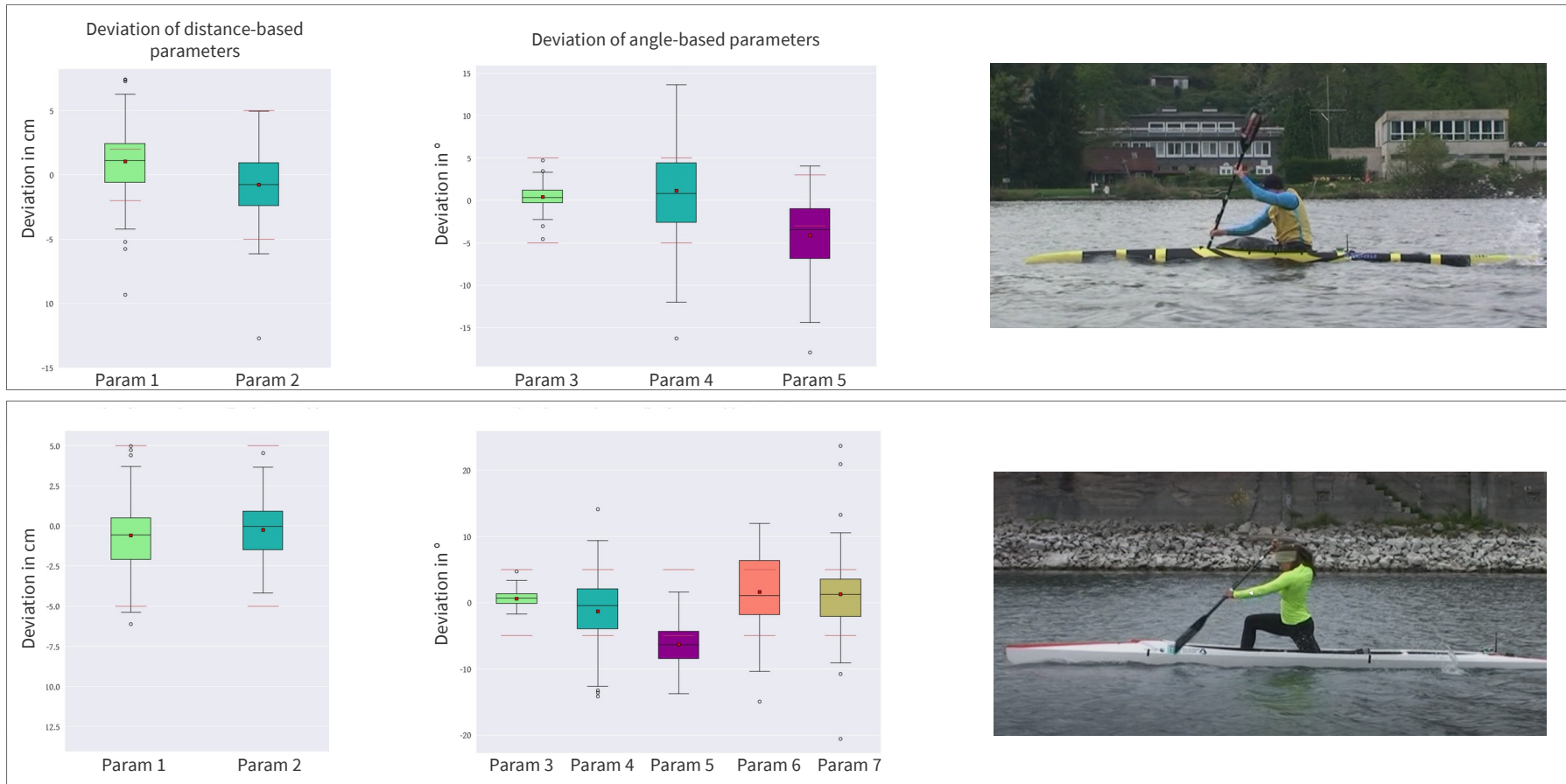
- Exakte Übereinstimmung: 45%
- ± 1 Frame: 84%
- ± 2 Frames: 94%



Matthes et al., 2022, 20. Frühjahrsschule Technologie im Leistungssport

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Evaluierung der Genauigkeit der ermittelten Technikparameter



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

KinematikKanu: Software zur automatischen Analyse

Datei Analyse Darstellung Auswertung Video Hilfe


Kalibrierung

Gelenke bearbeiten

Linien bearbeiten

Gelenkpunkte:

Referenzlinien:



36

00:00:01.500 / 00:00:13.373

Statusbox

Objekterkennung: 100%

Posenerkennung: 100%

Handerkennung: 100%

Analyse: 100%

Infobox

Bildnummer: 36

Bilderanzahl: 321

Kanute: Leistungsklasse Herren

Datum: 26.10.2022

Disziplin: Canadier

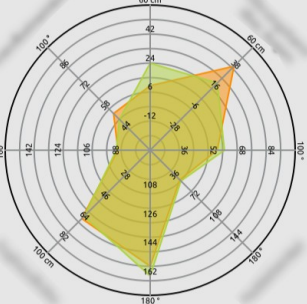
Paddelphase: Einsatzbeginn

Kalibrierwert: 0.187


Messvorlage: CH2021

Kinematische Parameter (gefilterte Daten)

Parameter	Ist	Soll	Diff	Einheit
	24	10	14	cm
	22	40	-18	cm
	61	57	4	°
	54	52	2	°
	168	162	6	°
	68	70	-2	cm
	91	90	1	°
	51	55	-4	°



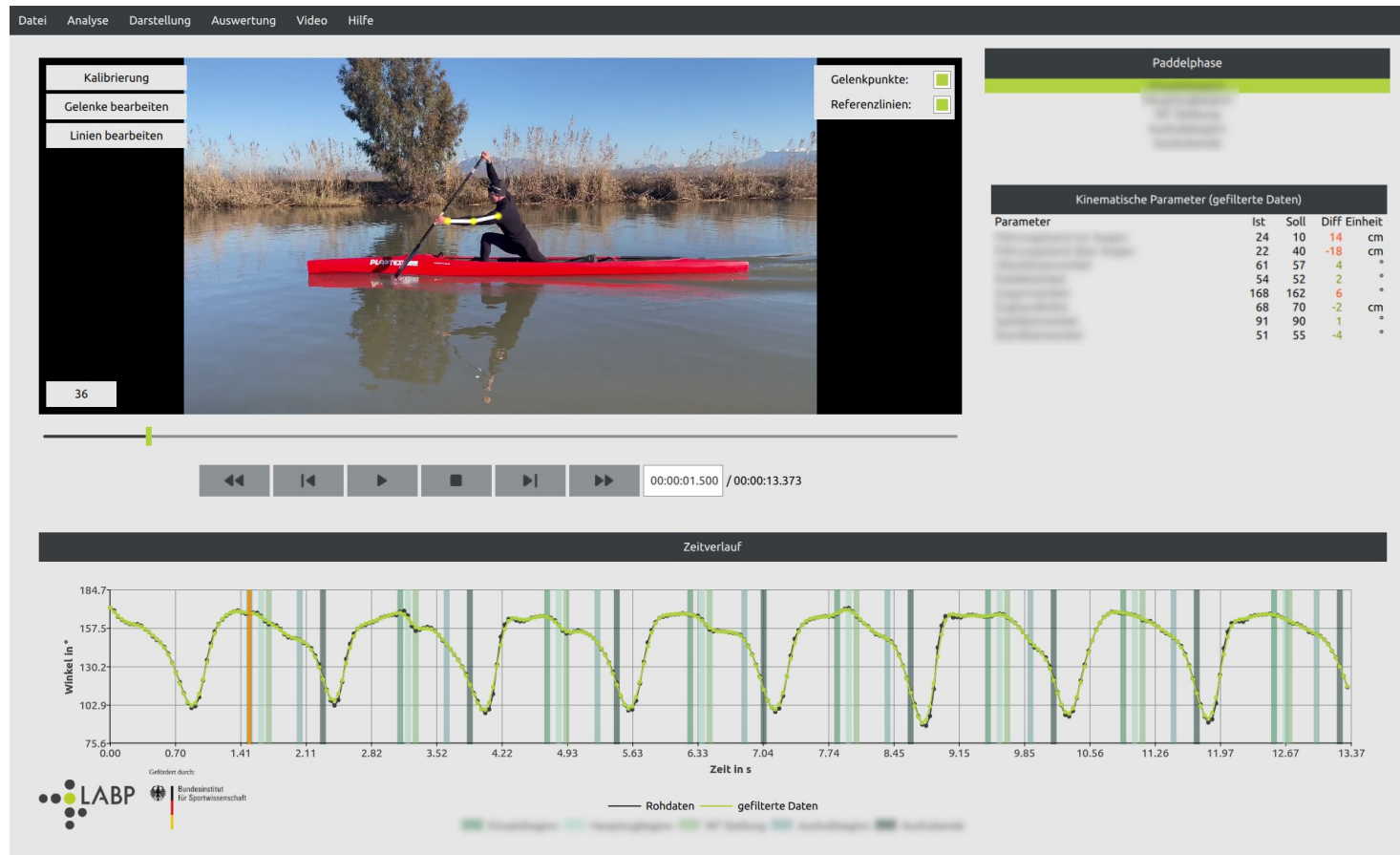
Paddelphase



Gefördert durch:
 Bundesinstitut
 für Sportwissenschaft

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

KinematikKanu: Software zur automatischen Analyse



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Transfer in den Nachwuchsleistungsbereich

- KI-basierte Videoanalyse von Messbootfahrten reduziert die Analysezeit und ermöglicht die Ableitung neuer Parameter
- Limitierung: Im Nachwuchsbereich sind Videoaufnahmen von einem Motorboot i.d.R. nicht möglich

The screenshot shows a software interface for video analysis. At the top, there are menu items: Datei, Analyse, Darstellung, Auswertung, Video, Hilfe. Below the menu is a toolbar with buttons for 'Kalibrierung', 'Gelenke bearbeiten', and 'Linien bearbeiten'. The main area features a video player showing a red motorboat on a river. To the right of the video is a radar chart with concentric circles and radial lines, labeled 'Paddelphase'. Below the video player is a progress bar with a play button and a time display '00:00:01.500 / 00:00:13.373'. At the bottom, there are three panels: 'Statusbox' with progress bars for 'Objekterkennung: 100%', 'Posenerkennung: 100%', 'Handenerkennung: 100%', and 'Analyse: 100%'; 'Infobox' with metadata like 'Bildnummer: 36', 'Bildanzahl: 321', 'Kanut: Leistungsklasse Herren', 'Datum: 26.10.2022', 'Disziplin: Canadier', 'Paddelphase: Einsatzbeginn', 'Kalibrierwert: 0.187', and 'Messvorlage: CR0201'; and 'Kinematische Parameter (gefilterte Daten)' with a table.

Parameter	lit.	Soll	Diff	Einheit
	24	10	14	cm
	22	40	-18	cm
	61	57	4	°
	54	52	2	°
	168	162	6	°
	68	70	-2	cm
	91	90	1	°
	51	55	-4	°



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Transfer in den Nachwuchsleistungsbereich

- Videoaufnahme erfolgt von einem festen Standort am Ufer unter Einsatz von Zoom und Schwenk
- Bestimmung ähnlicher Parameter wie im Spitzenbereich
- Manuelle Analyse solcher Videos ist noch zeitaufwendiger (große Anzahl Athletinnen/Athleten)

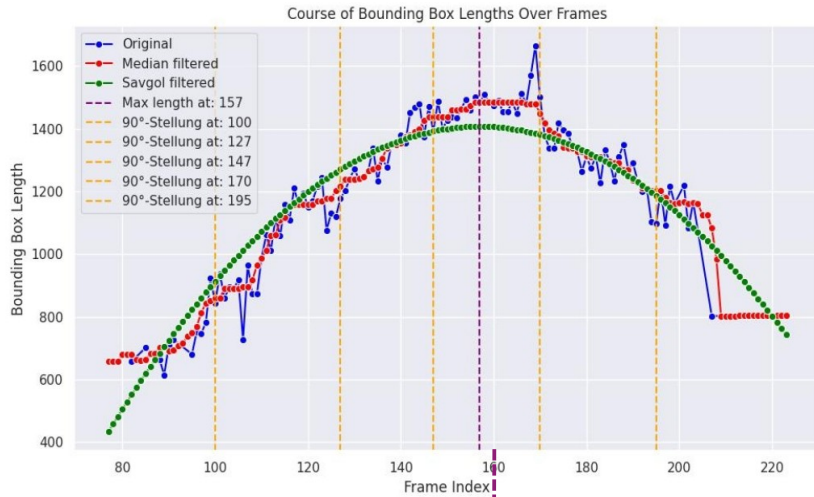


Forschungsprojekt: Software zur automatischen Bewertung der Fahrtechnik im Rahmen bundeseinheitlicher Landeskadertests im Kanu-Rennsport (cAlnoe talents)

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Automatische Analysezeit- und Technikparameterbestimmung

Automatische Bestimmung des Analysezeitfensters



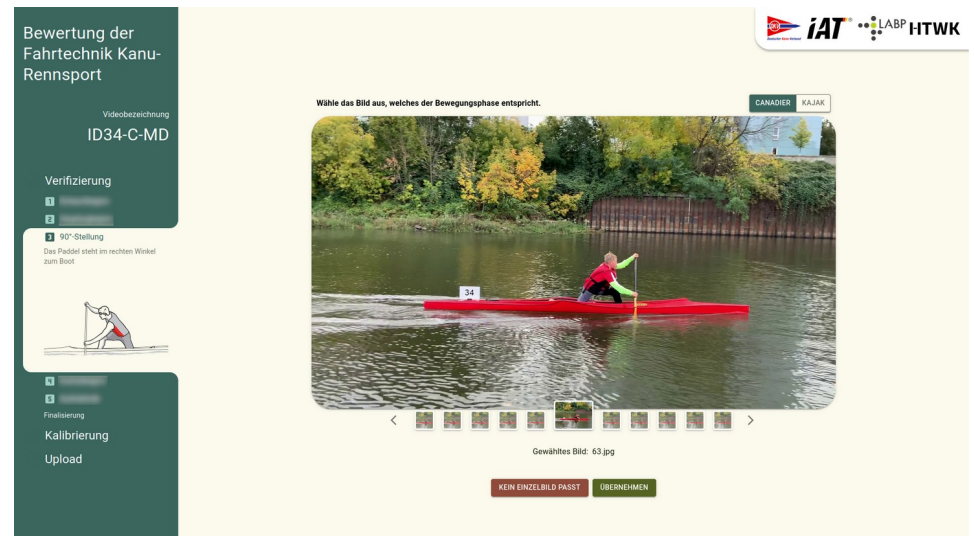
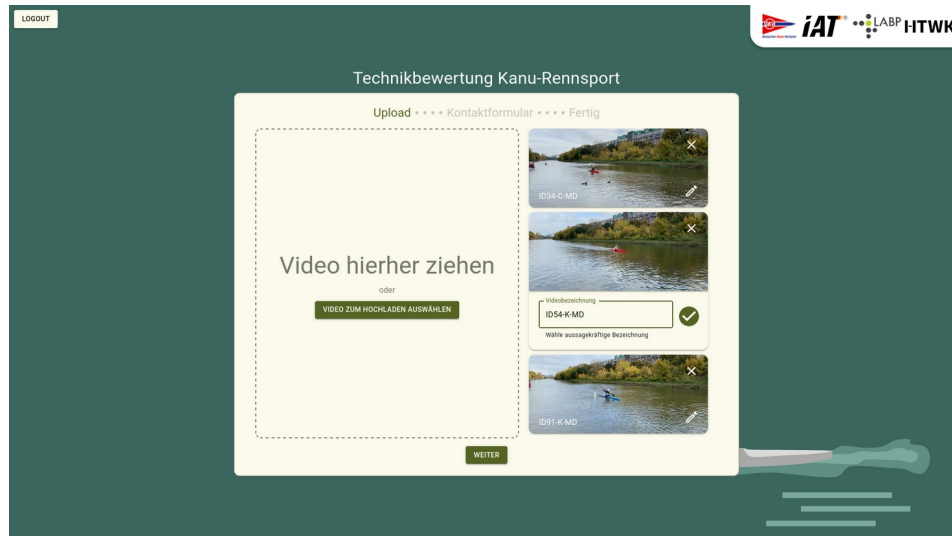
Automatische Bestimmung der Technikparameter

Phase	Merkmal	Bewertung	Soll-Wert	Technikleitbild	Individuelle Umsetzung
Einsetzen (E)	E 1	3			
	E 2	2			
	E 3	2			
	E 4	1			
	E 5	3			
Hauptzug (H)	H 1	3			
	H 2.1	2			
	H 2.2	2			
Ausheben (A)	A 1	1			
	A 2	1			

Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Webplattform zur Videoanalyse

- Aus dem Spitzenbereich für den Einsatz im Nachwuchsbereich adaptierte Algorithmen
- Minimale Nutzerinteraktion
- Stapelverarbeitung und Erzeugung von PDF-Berichten



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Live-Feedback kinematischer Parameter im Strömungskanal

HTWK



Forschungsprojekt: Realisierung und Erprobung eines markerlosen Systems für das Live-Feedback 3D kinematischer Parameter in einer Kanu-Gegenstromanlage anhand von Mehrkameradaten

HTWK

FTZ

LABORATORY for
BIOSIGNAL PROCESSING

iAT



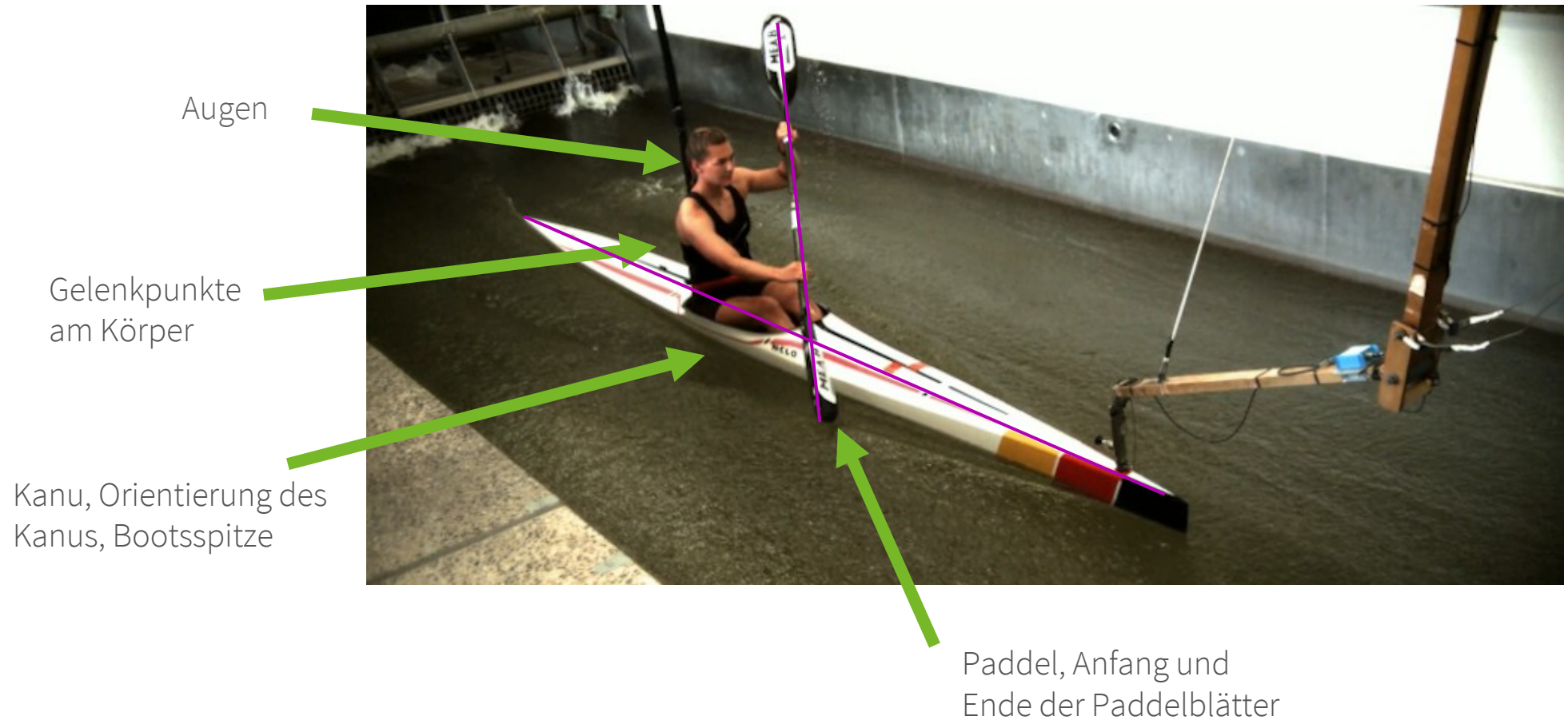
Live-Feedback
FKZ 2522BI2105
01/2022 - 12/2022



Technikanalyse im Kanu-Rennsport

Live-Feedback: KI-basierte Merkmalsextraktion

HTWK



- Einführung
- Technikanalyse im Kanu-Rennsport
- **Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport**

Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Ziele der Wettkampfanalyse

- Analyse während eines Wettkampfes ...
 - (1) zur Bewertung der Performance
 - (2) zur Planung der Rennstrategie zukünftiger Läufe (Geschwindigkeits- und Schlagfrequenzprofile)



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Bisherige Analysetechniken

- GPS-Daten (nicht verfügbar für alle Boote)
- Geschwenkte und gezoomte Videos EINZELNER Boote von einem festen Standort (nur manuell analysierbar; keine Informationen über gegnerische Boote)
- Videoaufnahmen von einem Fahrrad (manuelle Videoanalyse; Verdeckungen; nicht durchgängig möglich)

Videos von einem festen Standort



Videoaufnahmen von einem Fahrrad



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

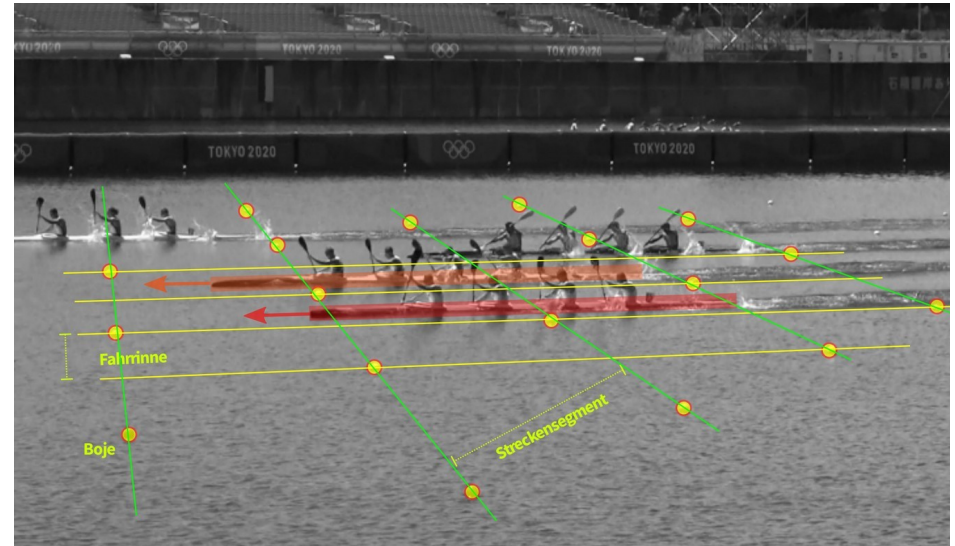
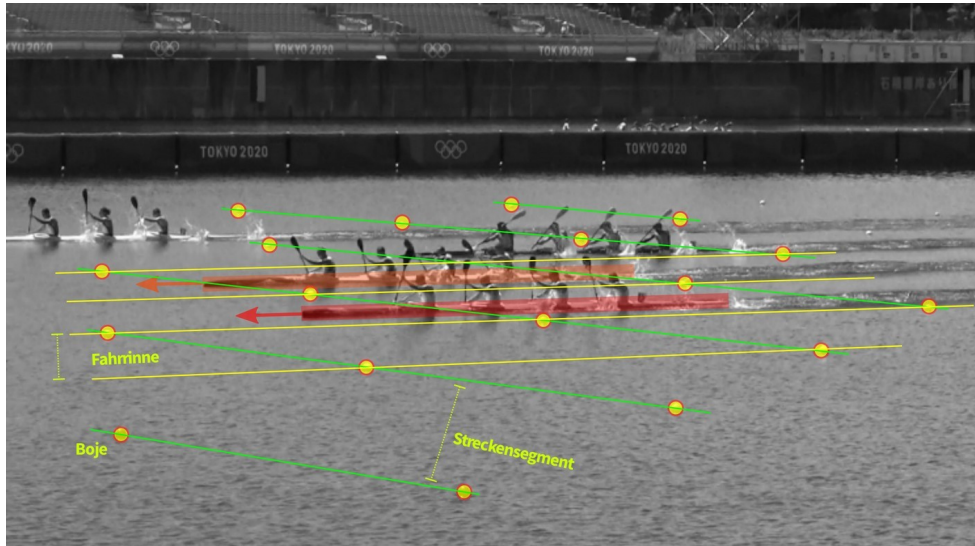
Analyse geschwenkter und gezoomter Videoaufnahmen

- Aufzeichnung einfach
- Enthält alle Informationen zur Rekonstruktion der Szenengeometrie und damit (1) zur Positionsbestimmung ALLER Boote (→ Geschwindigkeitsprofile) sowie (2) zur Schlagfrequenzanalyse für aller Boote (→ Schlagfrequenzprofile)
- Problem: manuelle Analyse praktisch unmöglich



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

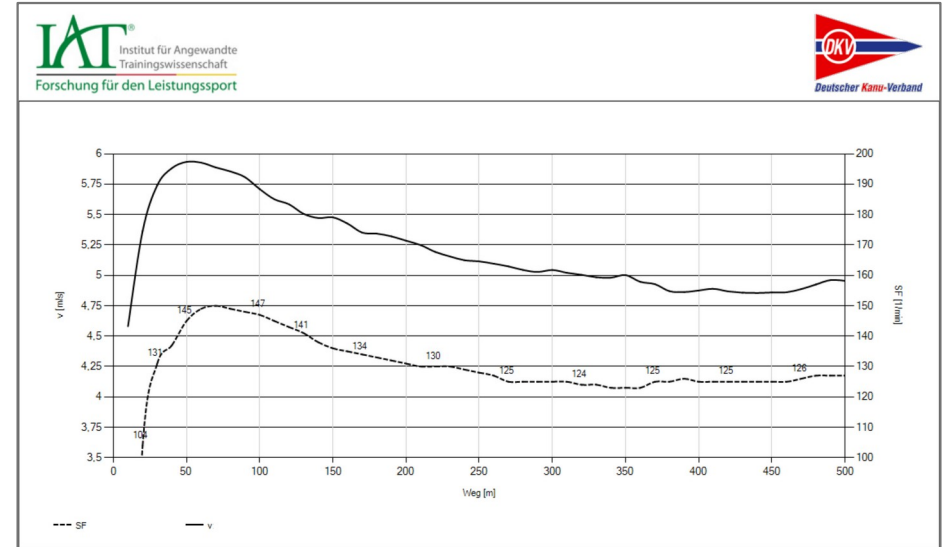
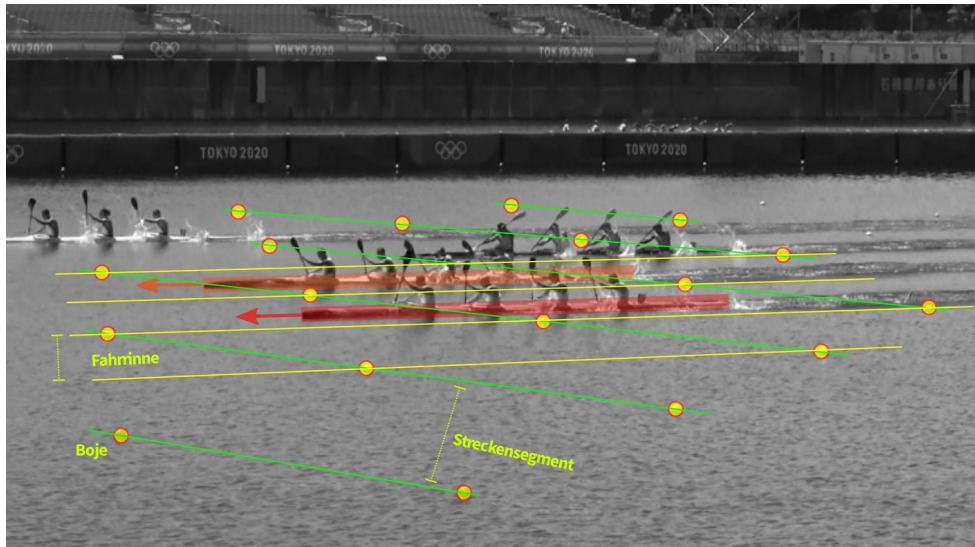
cAlnoe race: Videobasierte Ad-hoc Wettkampfanalyse



Forschungsprojekt: Videobasierte automatisierte Ad-hoc-Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport (cAlnoe race)

Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

cAlnoe race: Videobasierte Ad-hoc Wettkampfanalyse

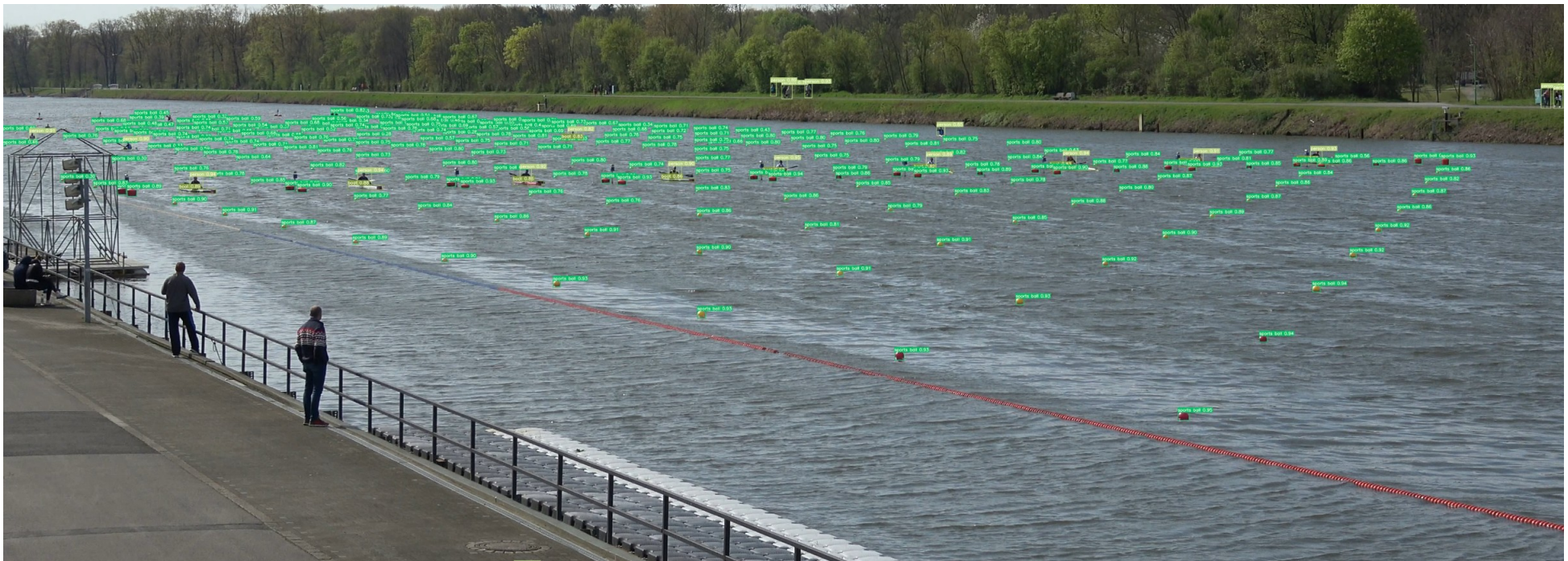


Forschungsprojekt: Videobasierte automatisierte Ad-hoc-Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport (cAlnoe race)

Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

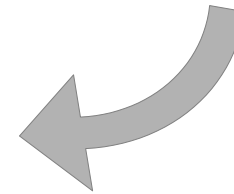
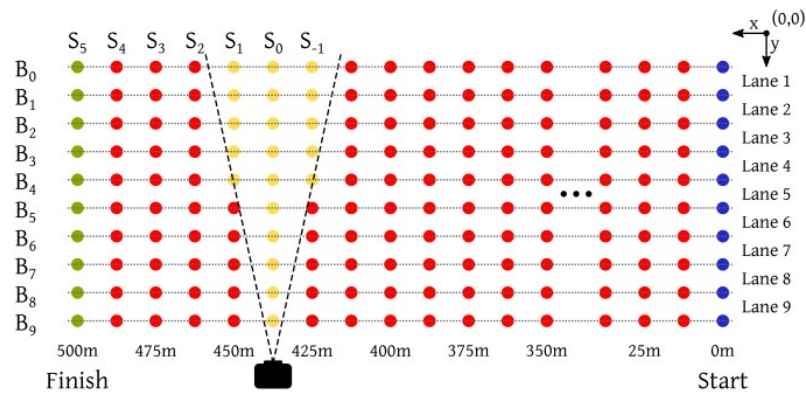
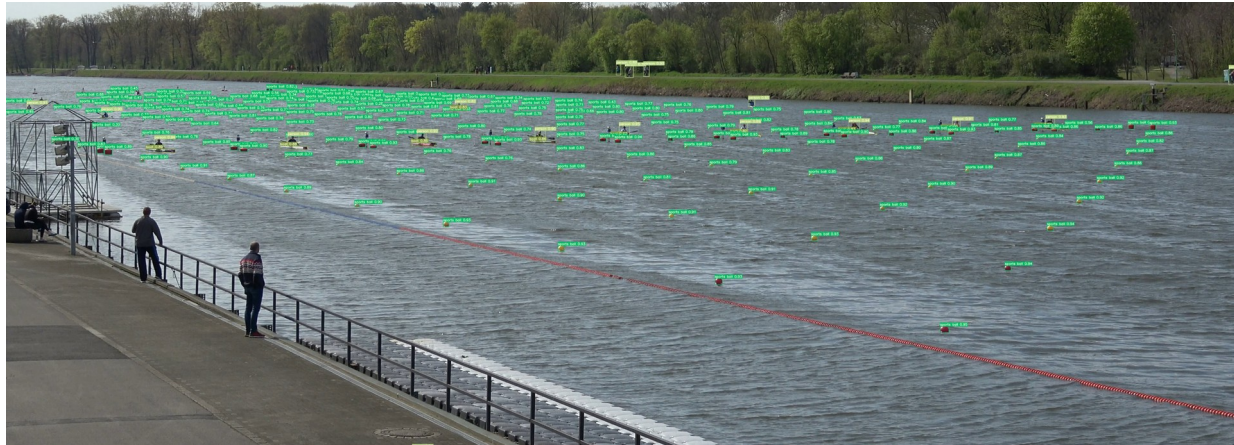
KI-basierte Bojen- und Personendetektion

- Anpassung eines YOLOv8-Objektdetektionsmodells mit 1.321 Bildern
- Datensatz: 92.734 Bojen & 12.703 Athleten



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

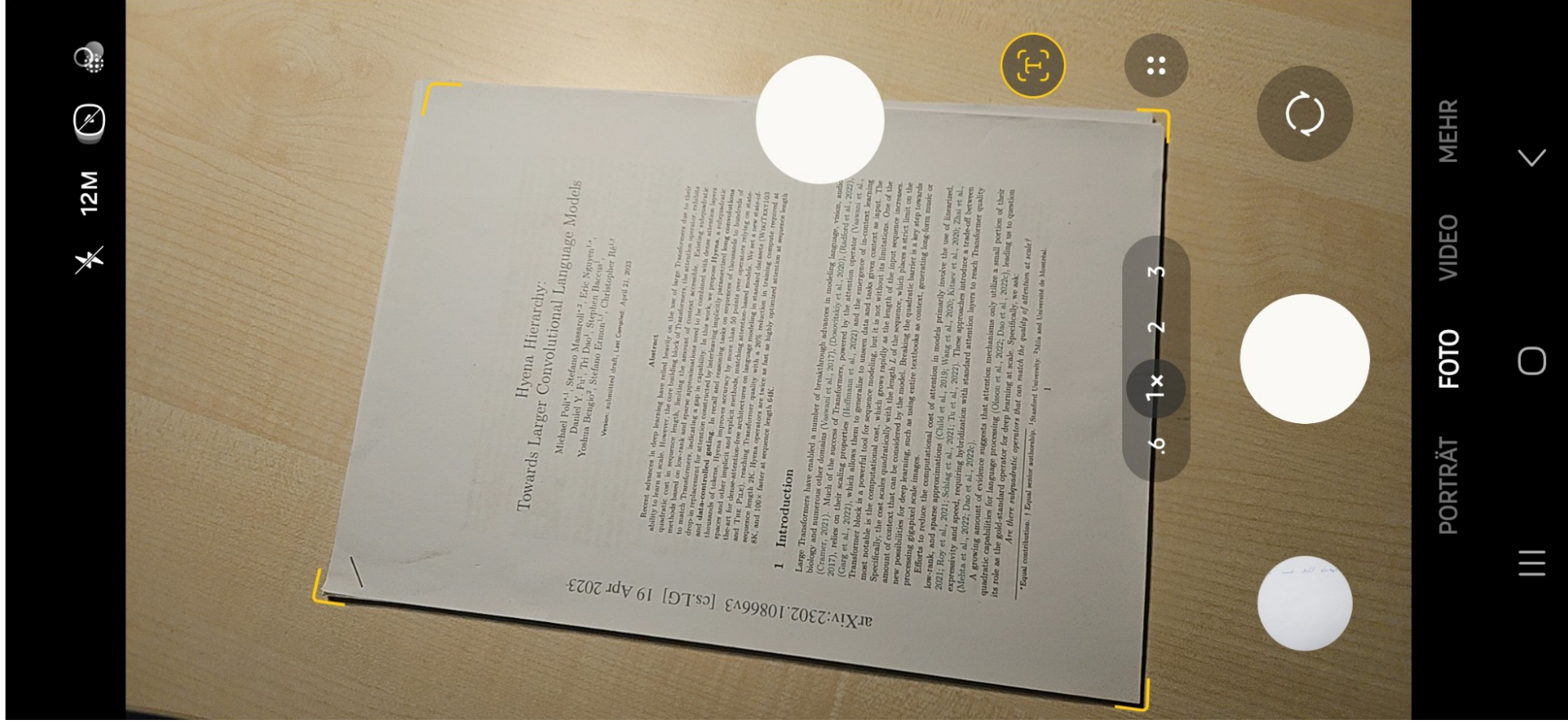
Szenenrekonstruktion durch Zusatzwissen



Iterative Rekonstruktion
der Szene

Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

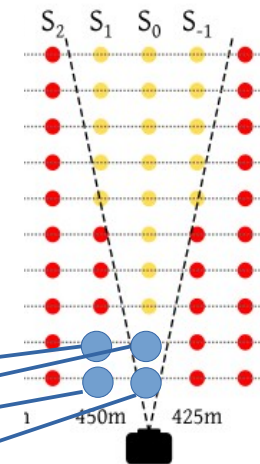
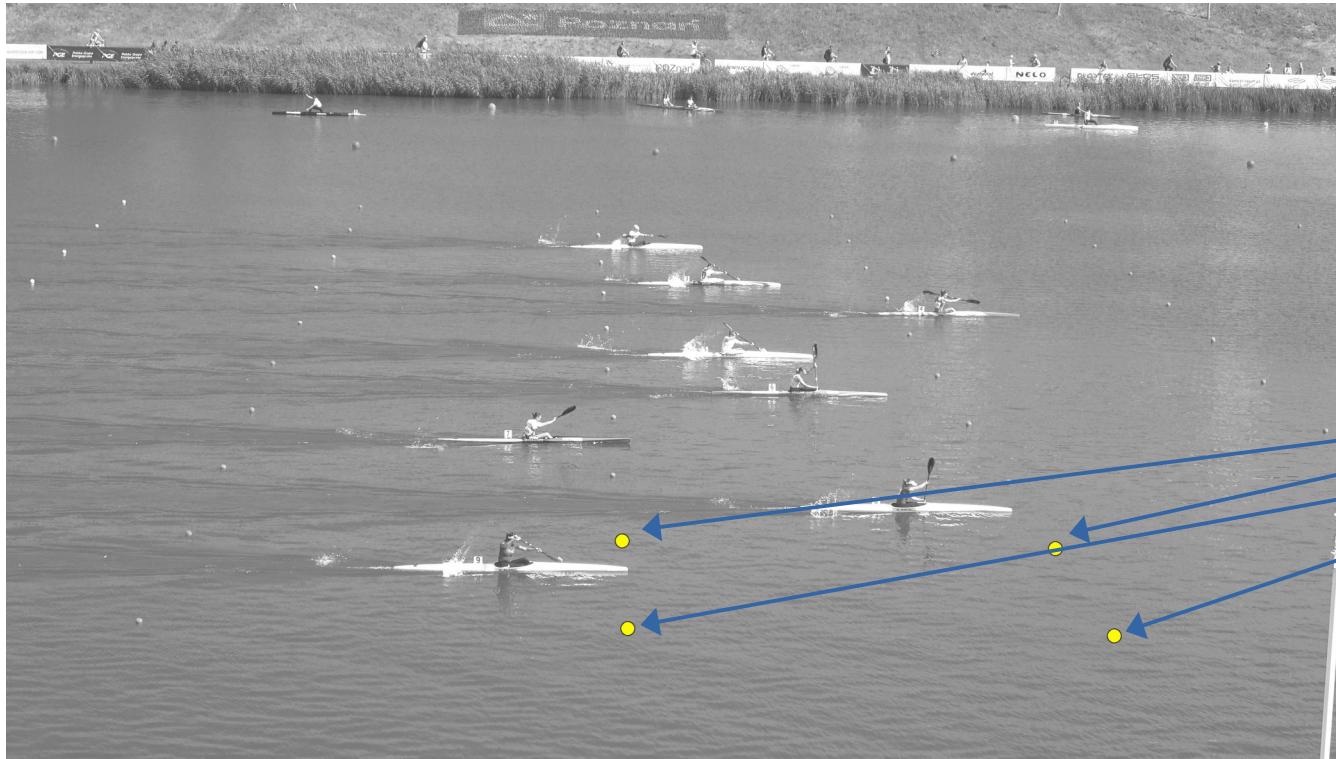
Bild-zu-Welt-Transformation



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Bild-zu-Welt-Transformation in einem Initialbild

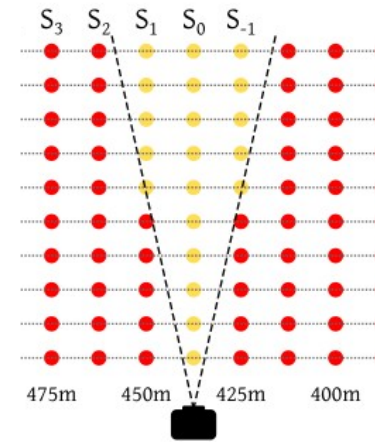
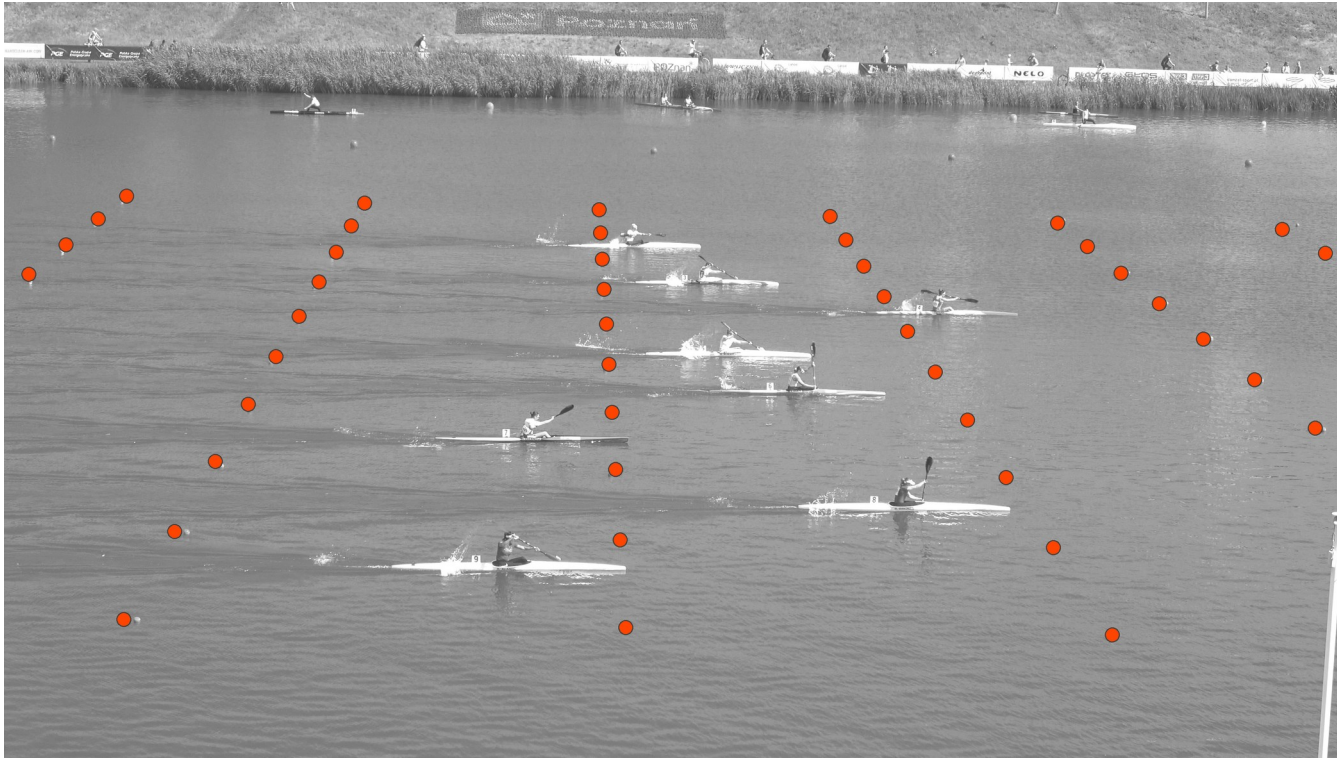
- Manuelle Co-Registrierung in 90°-Perspektive



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Bild-zu-Welt-Transformation in einem Initialbild

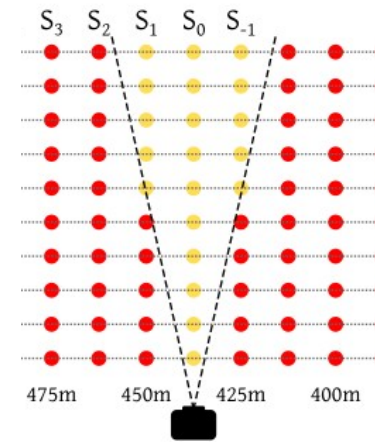
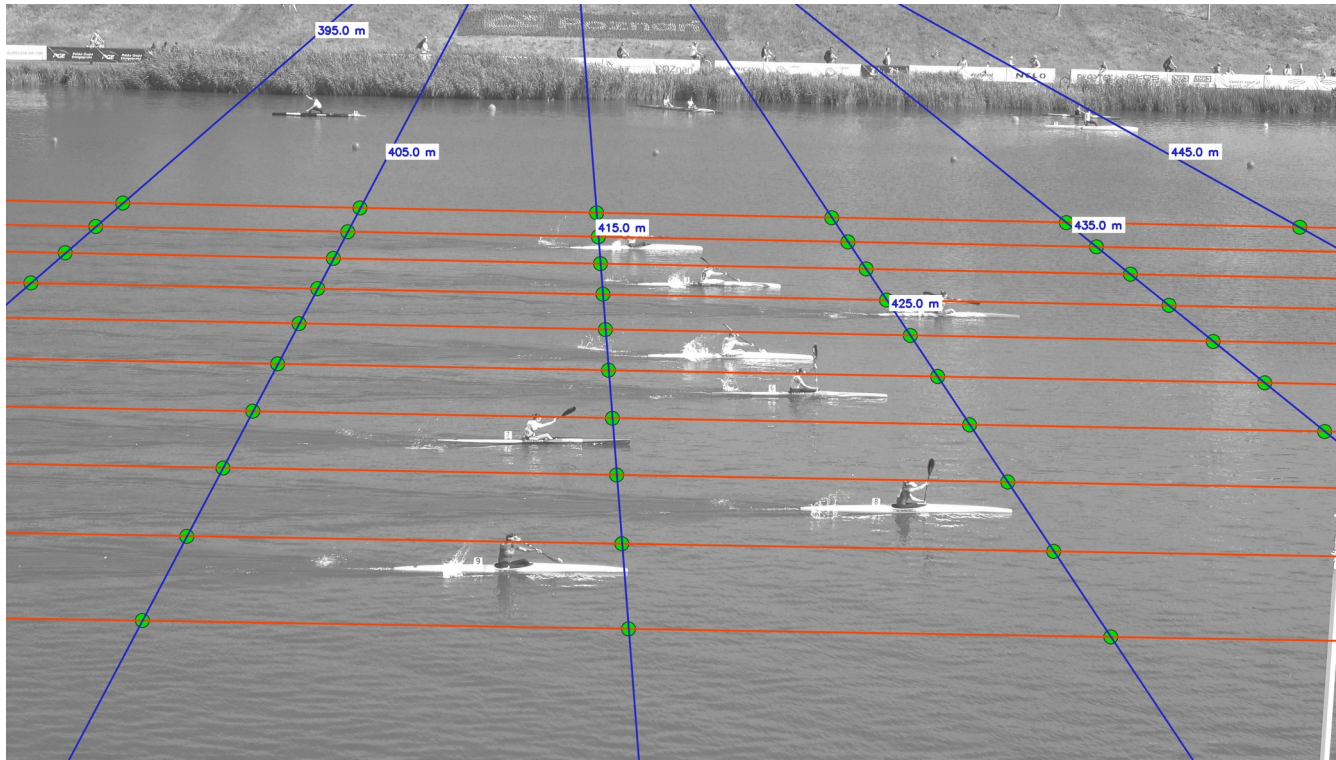
- Modell-basierte Identifikation aller Bojen



Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

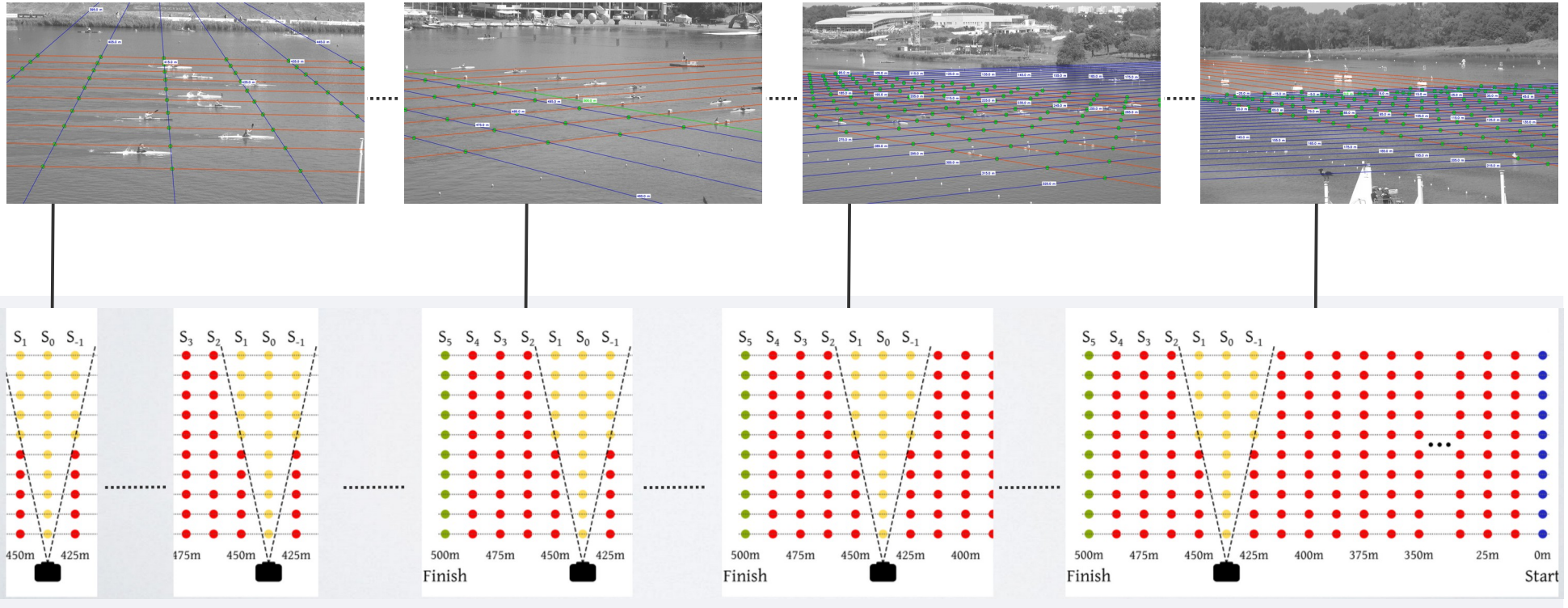
Rekonstruktion der Szene in einem Initialbild

- Vollständige Rekonstruktion der Szene: Fahrlinien und Streckensegmente



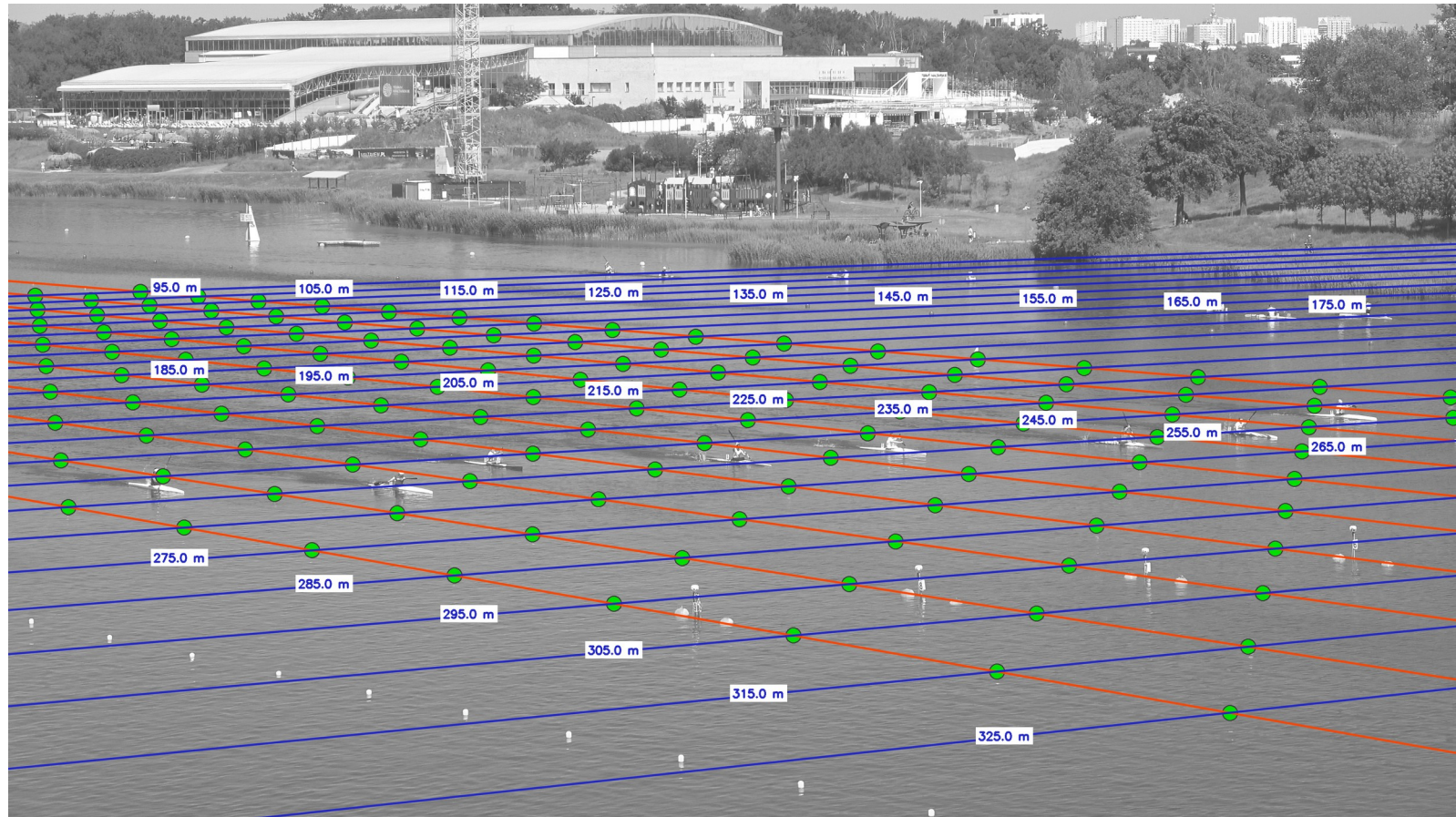
Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Modell-basierte Szenenrekonstruktion in jedem Videobild



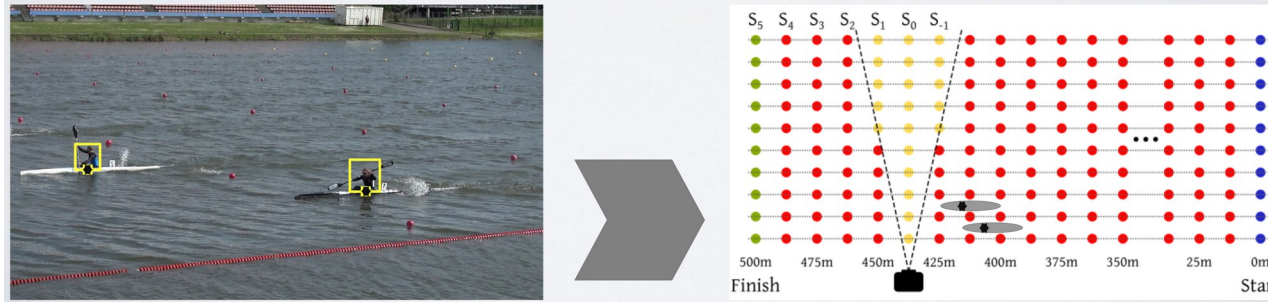
Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Modell-basierte Szenenrekonstruktion in jedem Videobild



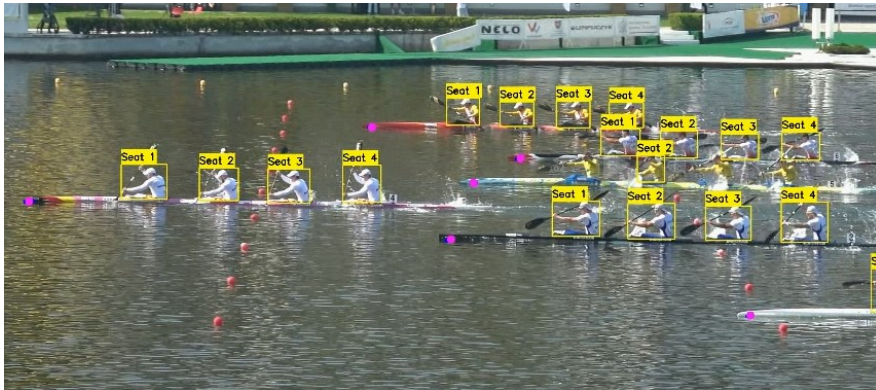
Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Positionsbasierte Bestimmung der Geschwindigkeitsprofile

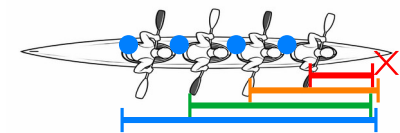
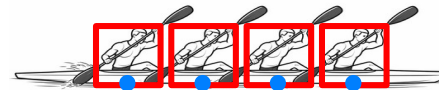


Matthes et al., 2025, IEEE STAR, doi: 10.1109/STAR66750.2025.11264798

17

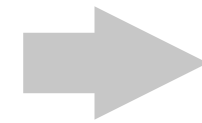
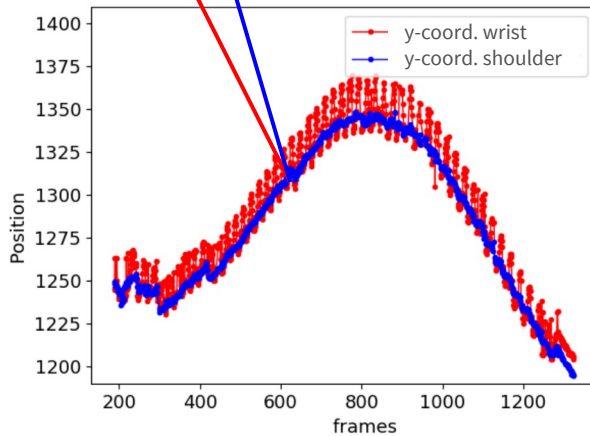
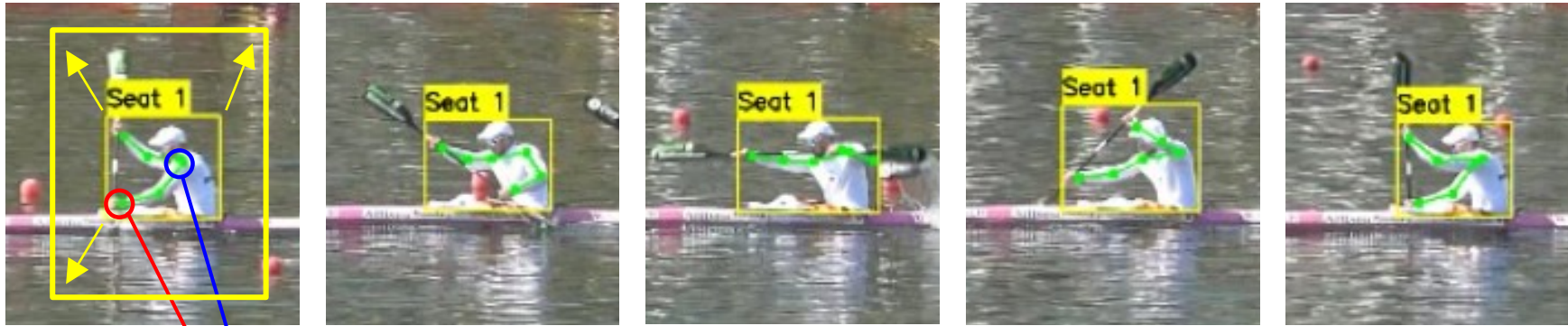


Ziegler et al., 2026, EMMS, <https://arxiv.org/abs/2602.22941>

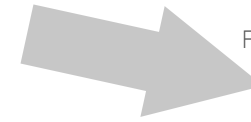
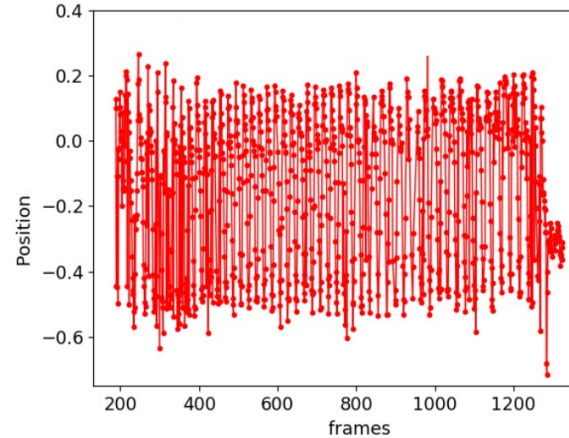


Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

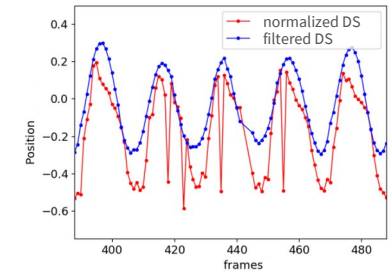
Skelettpunkt-basierte Bestimmung der Schlagfrequenzprofile



Difference signal,
box-size
normalization



FIR filter



Ziegler et al., 2026, EMMS, <https://arxiv.org/abs/2602.22941>

Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Evaluierung

- **Datensatz:**

- Duisburg: Nationale Quali 2023; ICF Canoe Sprint World Championships 2023
- Poznan: 2024 ICF Canoe Sprint World Cup
- 4k videos @ 25fps

- **54 GPS Datensätze in 40 Videoaufnahmen des Rennens** (Geschwindigkeits- und Schlagfrequenzprofile)

- Kameraposition: Erhöhter Standort, ca. ~40-90m vor Ziellinie

- **Evaluationsziele**

- Übereinstimmung zwischen GPS- und Video-basierten Geschwindigkeits- und Schlagfrequenzprofilen
- Genauigkeit Video-basierter Geschwindigkeits- und Schlagfrequenzprofile in Abhängigkeit der Renndistanz

Distance	K1	C1	K2	C2	K4	Total
200 m	8	3	–	–	–	11
500 m	21	6	7	5	4	43
Total	29	9	7	5	4	54

Videos je Bootsklasse und Renndistanz

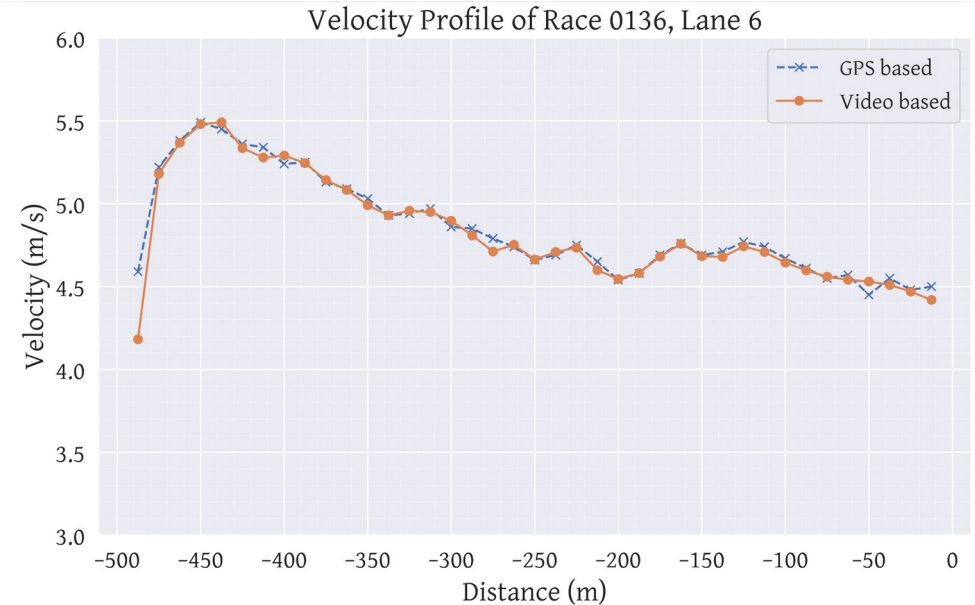
Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Evaluierungsergebnisse: Übereinstimmung zwischen Video und GPS

Fehler und Korrelation zwischen GPS- und Video-basierten Geschwindigkeiten

Velocity RMSE (m/s)	Velocity RRMSE	Velocity Spearman r	Venue	Class
0.098 ± 0.041	0.020 ± 0.008	0.964 ± 0.034	Duisburg	1
0.084 ± 0.040	0.018 ± 0.007	0.953 ± 0.053	Poznań	1
0.092 ± 0.041	0.019 ± 0.008	0.960 ± 0.043	everywhere	1
0.139 ± 0.076	0.028 ± 0.017	0.925 ± 0.073	Duisburg	2
0.094 ± 0.083	0.020 ± 0.018	0.947 ± 0.051	Poznań	2
0.109 ± 0.080	0.023 ± 0.017	0.939 ± 0.057	everywhere	2
0.103 ± 0.052	0.017 ± 0.009	0.965 ± 0.041	Poznań	4
0.103 ± 0.052	0.017 ± 0.009	0.965 ± 0.041	everywhere	4
0.097 ± 0.052	0.020 ± 0.011	0.956 ± 0.046	everywhere	all

Vergleich Video- und GPS-basierter Geschwindigkeitsprofile eines K4-Bootes



Experiment: Positionsbasierte Bestimmung der Geschwindigkeiten und Mittlung auf 12.5m-Segmentabstände.

Ergebnis: Hohe Übereinstimmung

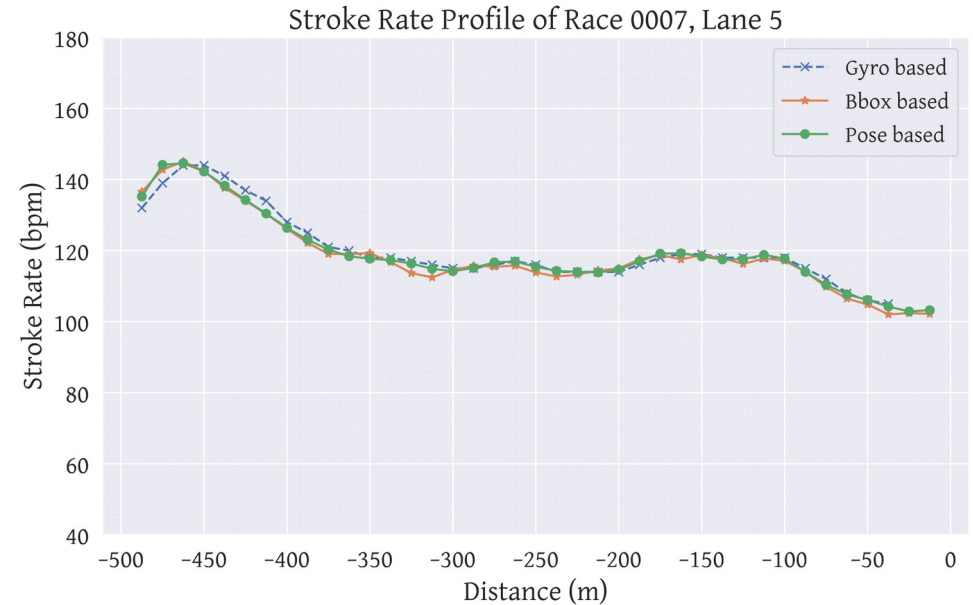
Wettkampfanalyse im Kanu-Rennsport

Evaluierungsergebnisse: Übereinstimmung zwischen Video und GPS

Fehler und Korrelation zwischen Gyro- und Video-basierten Schlagfrequenzen

Stroke Rate RMSE (bpm)	Stroke Rate RRMSE	Stroke Rate Spearman r	Venue	Class
1.716 ± 0.893	0.016 ± 0.009	0.966 ± 0.034	Duisburg	1
1.293 ± 0.914	0.010 ± 0.005	0.953 ± 0.059	Poznań	1
1.533 ± 0.914	0.013 ± 0.008	0.961 ± 0.046	everywhere	1
1.807 ± 1.210	0.021 ± 0.018	0.916 ± 0.119	Duisburg	2
4.215 ± 3.125	0.047 ± 0.044	0.856 ± 0.179	Poznań	2
3.412 ± 2.832	0.038 ± 0.039	0.876 ± 0.159	everywhere	2
5.870 ± 4.283	0.044 ± 0.032	0.850 ± 0.249	Poznań	4
5.870 ± 4.283	0.044 ± 0.032	0.850 ± 0.249	everywhere	4
2.352 ± 2.347	0.022 ± 0.024	0.932 ± 0.115	everywhere	all

Vergleich Video- und Gyro-basierter Schlagfrequenzprofile eines K4-Bootes



Experiment: Skelettpunkt-basierte Bestimmung der Schlagfrequenz und Mittelung auf 12.5m-Segmentabstände.

Ergebnis: Hohe Übereinstimmung

Danke für die
Aufmerksamkeit!

HTWK

● LABORATORY for
● BIOSIGNAL PROCESSING



iAT[®]

FES