Moving Point Data: Chancen und Herausforderungen

Monika Sester
Prof. Dr.-Ing. habil.
Institut für Kartographie und Geoinformatik
Leibniz Universtät Hannover

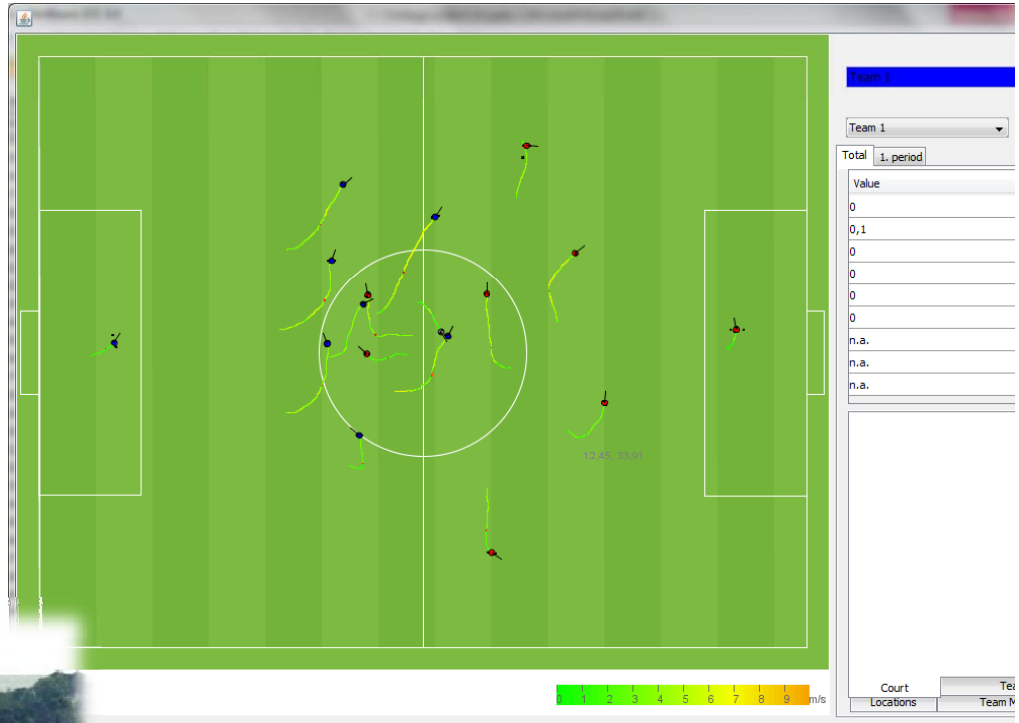
Institut für Kartographie und Geoinformatik | Leibniz Universität Hannover

Moving Point Data: Chancen und Herausforderungen

Prof. Dr. Monika Sester

Leibniz Universität Hannover

Moving point data



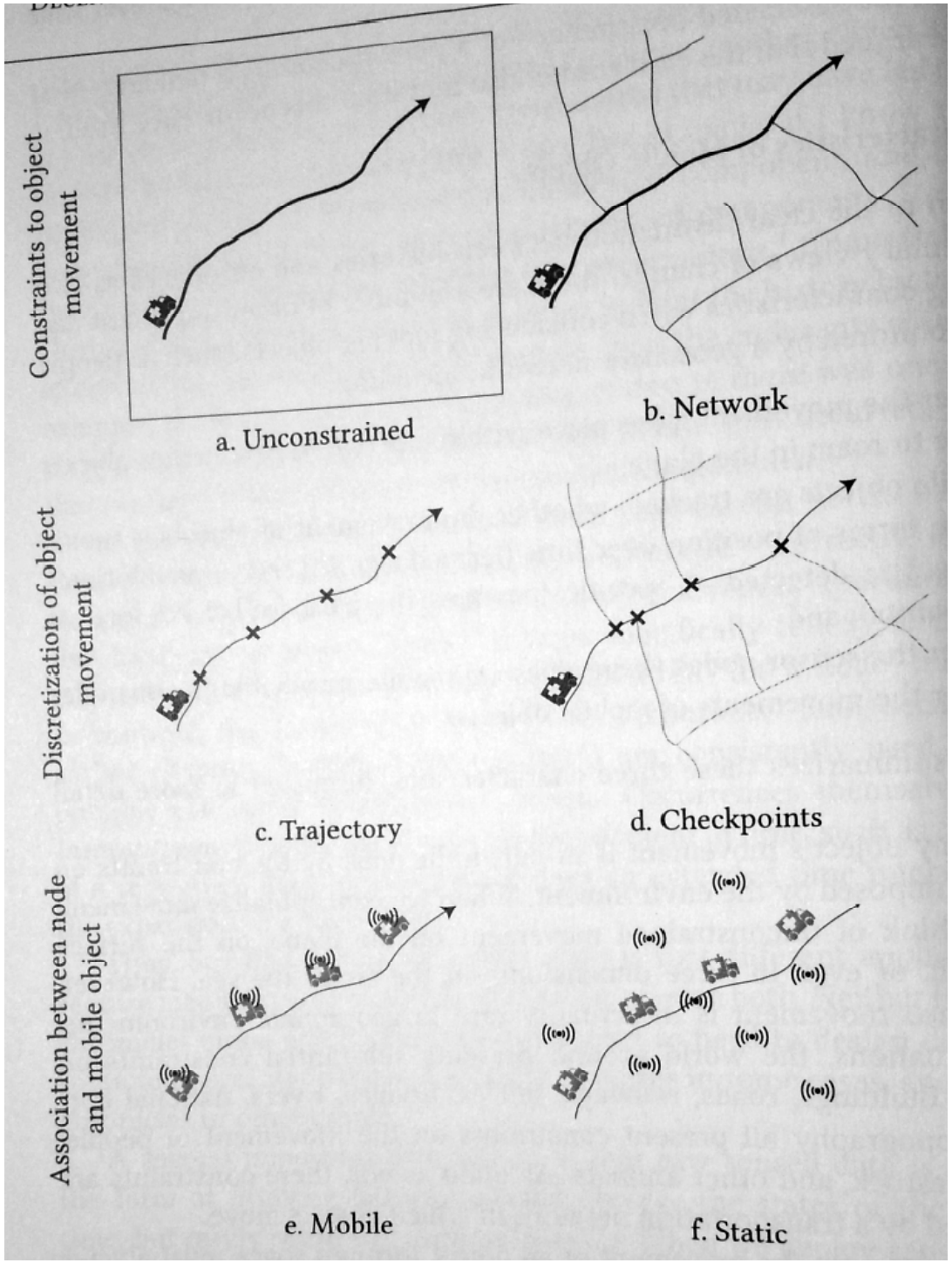
Trajektorien

- Bewegungstrajektorien stellen neue Datenquelle dar
- Sequenz von Punkten:
  - x,y(,z),t
- Trajektorien von
  - Fahrzeugen
  - Fußgängern
  - Tieren
  - Fußballspielern
  - …

Charakteristika bewegter Objekte

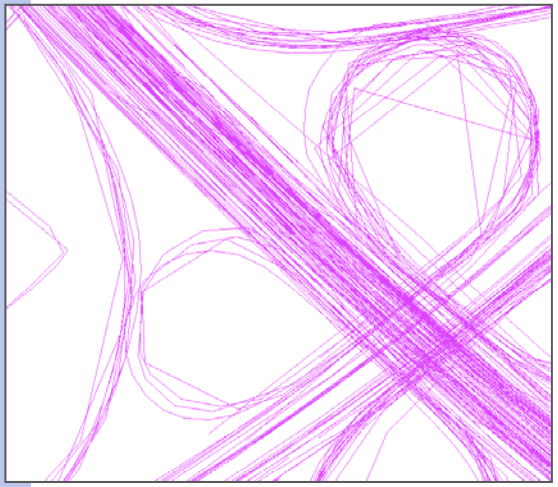
a. unbeschränkte Bewegung; kontinuierliche Aufzeichnung
b. Bewegung auf Netzwerk beschränkt
c. diskrete Messpunkte
d. Messung an speziellen Messstellen (Ankerpunkten, z.B. RFID, Beacons)
e. Mobile Sensoren
f. Statische Sensoren beobachten bewegte Objekte

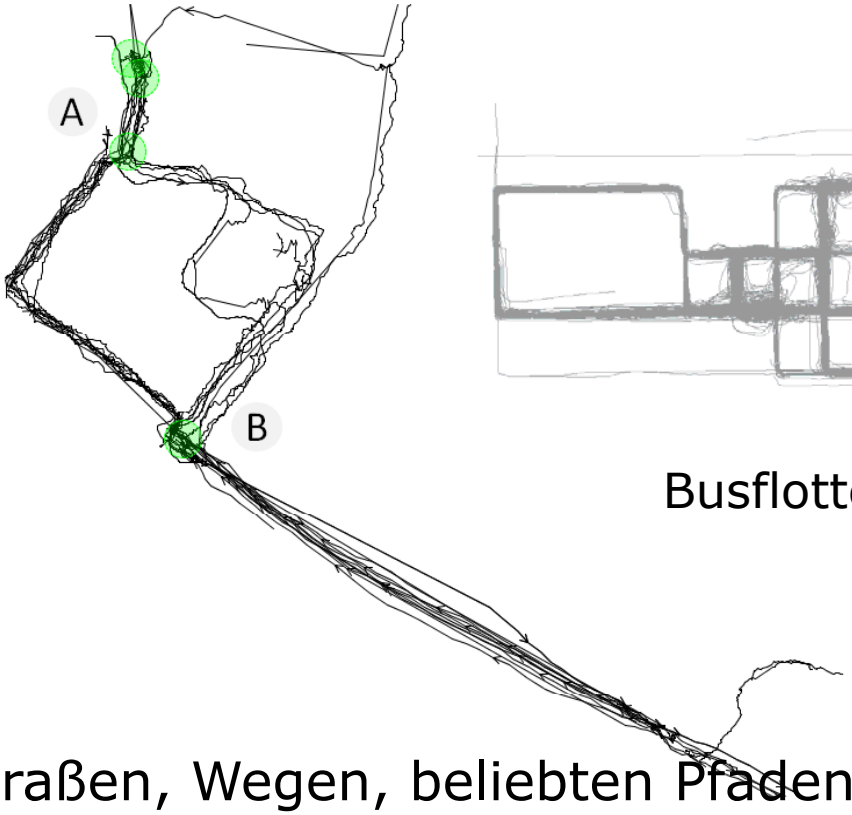
[Duckham, 2012]

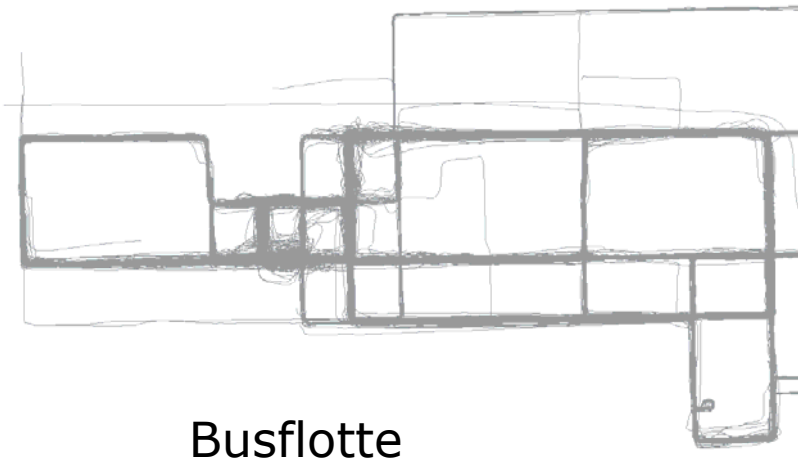


Eingeschränkte Bewegung

- Durch Verkehrsnetz (d.h. Regeln bzw. Zugänglichkeit)
  - Bsp: Autobahnkreuz aus OSM-Daten
  - Fußgängertrajektorien zwischen Haltestelle Schneiderberg (B) und Hochhaus (A)







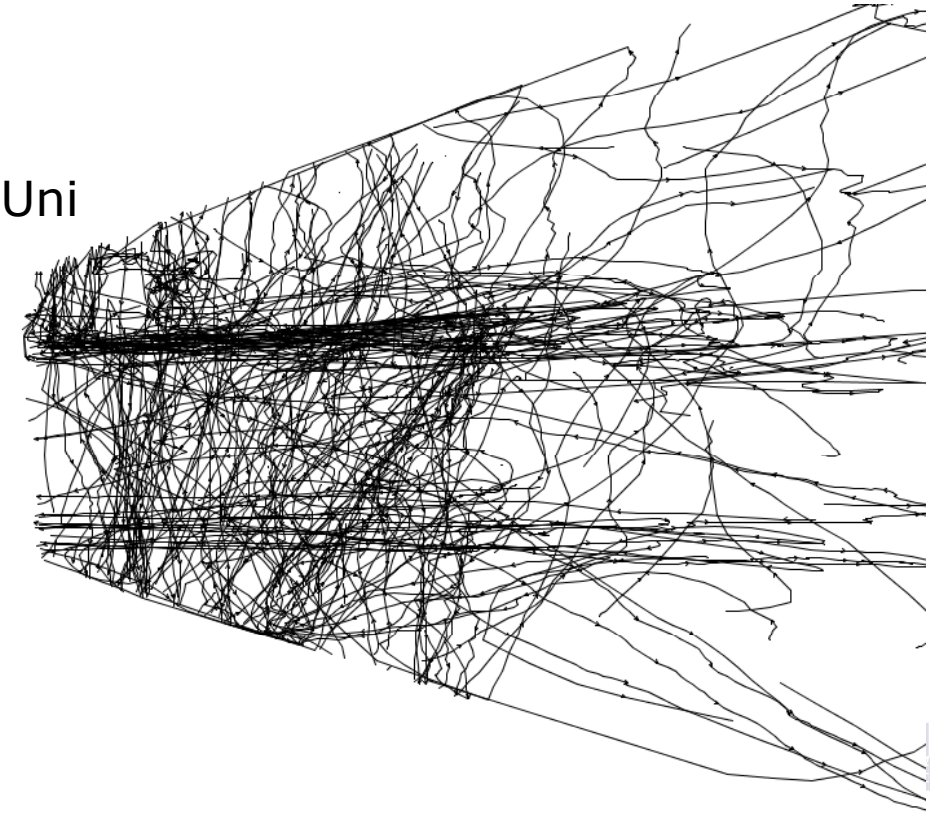
Busflotte

- „Digitalisierung" Straßen, Wegen, beliebten Pfaden

Eingeschränkte Bewegung

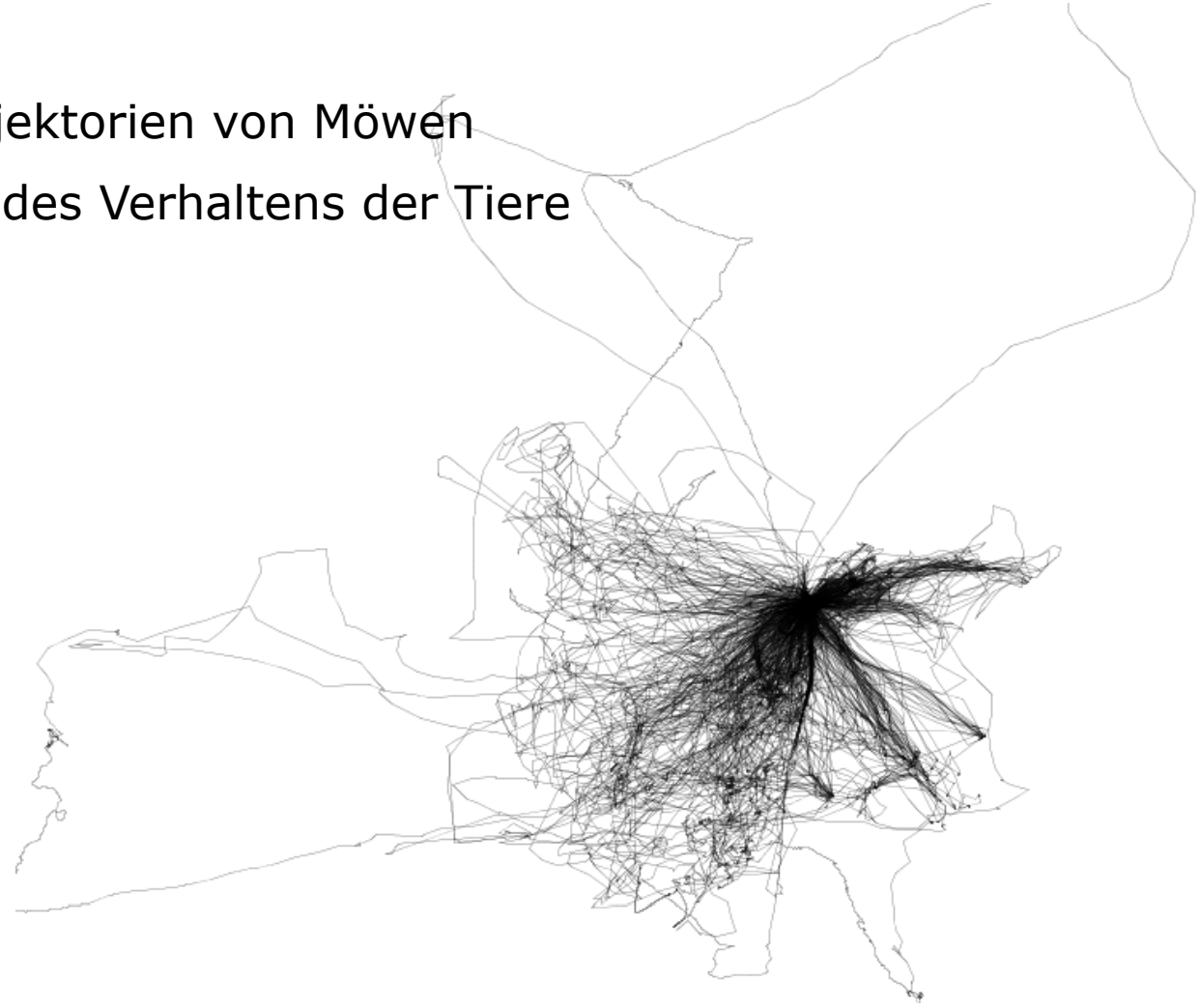
- Durch Umgebung:
  - Bewegung in einem Bahnhof eingeschränkt durch Räumlichkeiten, d.h. Art der Bebauung wie Treppen, Verkaufsstände, …)
  - Gewohnheit, z.B. Durchqueren eines Parks mittels „Abkürzungen“ abweichend von gegebenen Wegen („Trampelpfade“)

- Beispiel:
  - Trajektorien im Lichthof der Uni
  - Projekt CamInSens



Eingeschränkte Bewegung

- Durch Verhalten / Lebensweise: Beobachtung von Tieren
- Beispiel:
  - GPS-Trajektorien von Möwen
  - Analyse des Verhaltens der Tiere



Mögliche Analysen

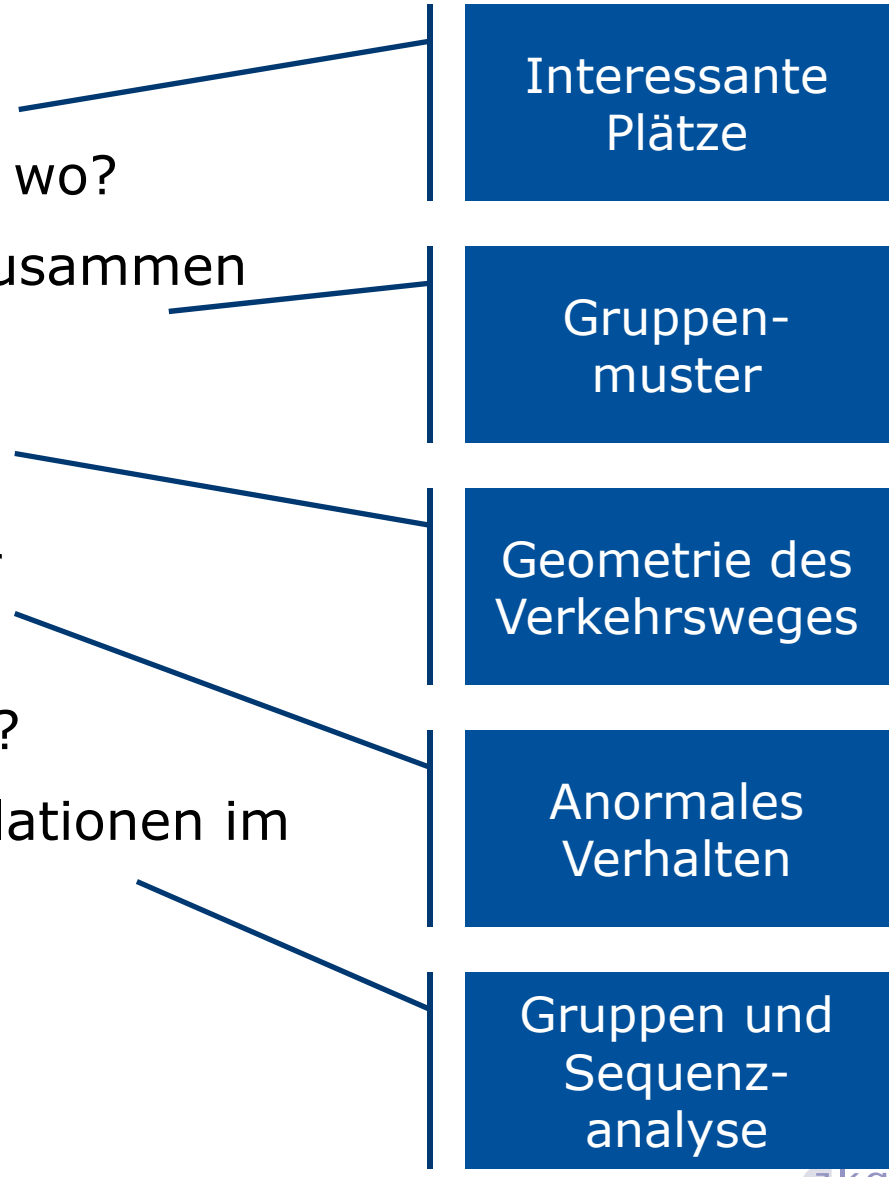
- Sensor registriert Bewegung

- Mögliche Schlüsse
  - Beschränkte Bewegung -> Bestimmung des Bewegungspfads
  - Bewegungsverhalten
  - Kollektives Bewegungsverhalten

- Analyse
  - zentrale oder dezentrale Verarbeitung

Fragestellungen

- wo nisten die Vögel?
- wann treffen sich die Vögel und wo?
- wann bewegen sich die Autos zusammen mit gleicher Geschwindigkeit?
- wo bewegen sich Menschen mit Fahrrädern?
- wo bewegen sich Fahrzeuge auf ungewöhnliche Art und Weise?
- wo wird das Fahrzeug abbiegen?
- gibt es spezielle Angriffskonstellationen im Fußball?
- ….



Automatische Ableitung von Geometrie und Art der Bewegung

Lijuan Zhang

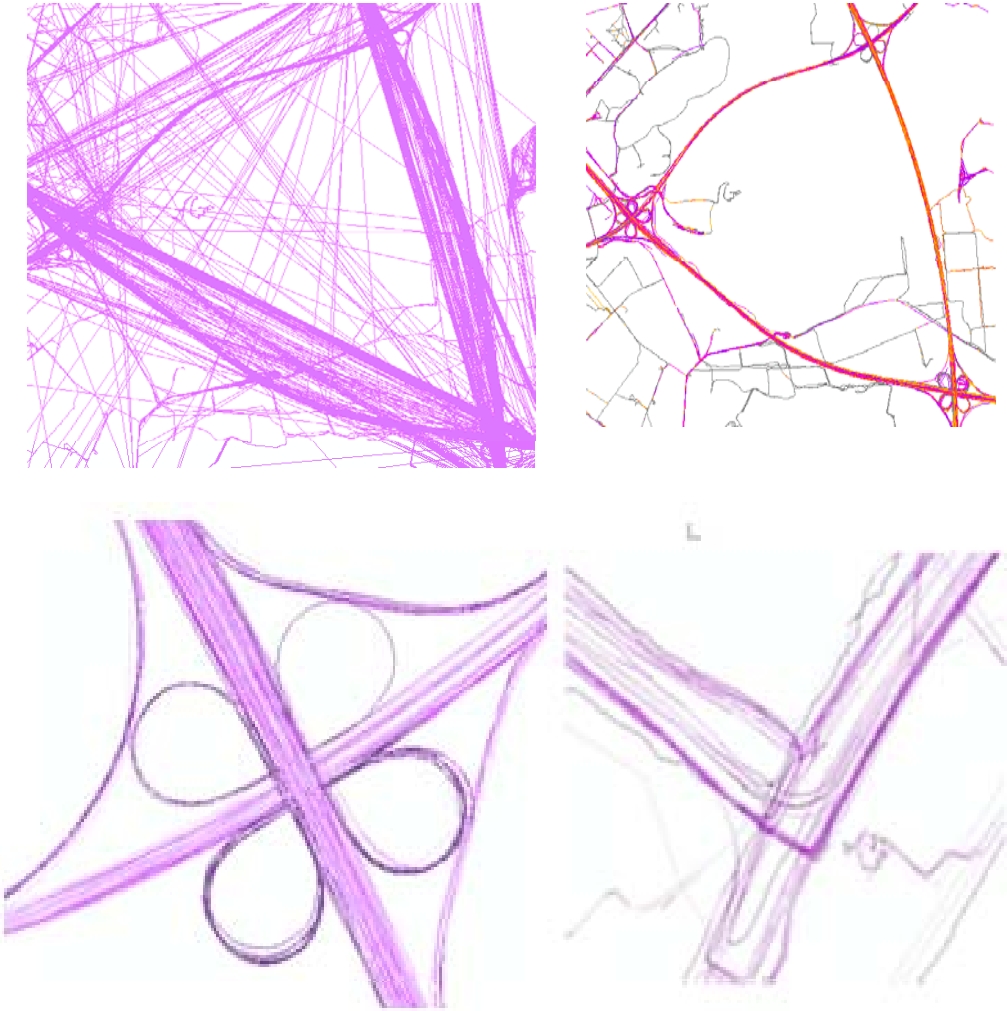
Datensätze und Vorverarbeitung

GPS Trajektorie in individuelle Trips aufteilen

- Distanz zw. Punkten <300m
- Orientierung< 45 deg.

Bestimmung der Geschwindigkeit aus GPS

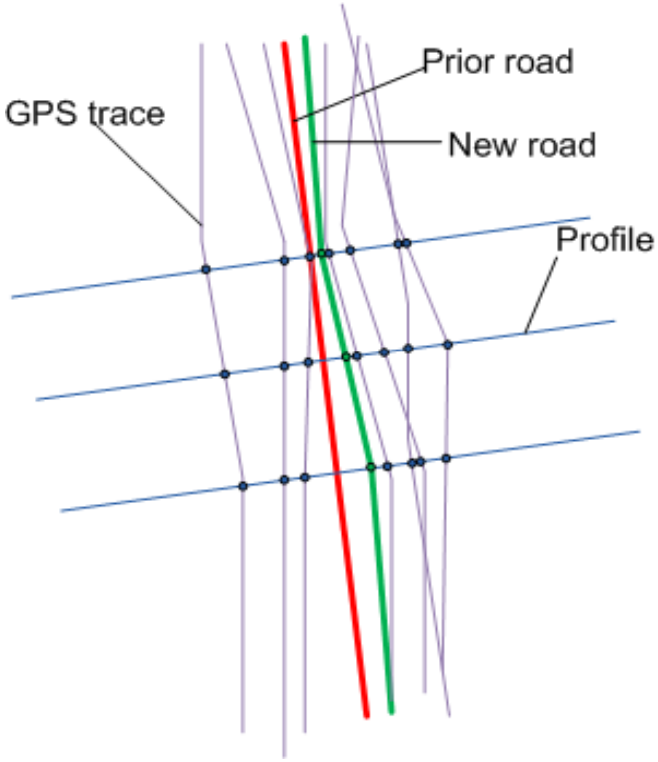
- Dunkler -> langsamer



[Lijuan Zhang]

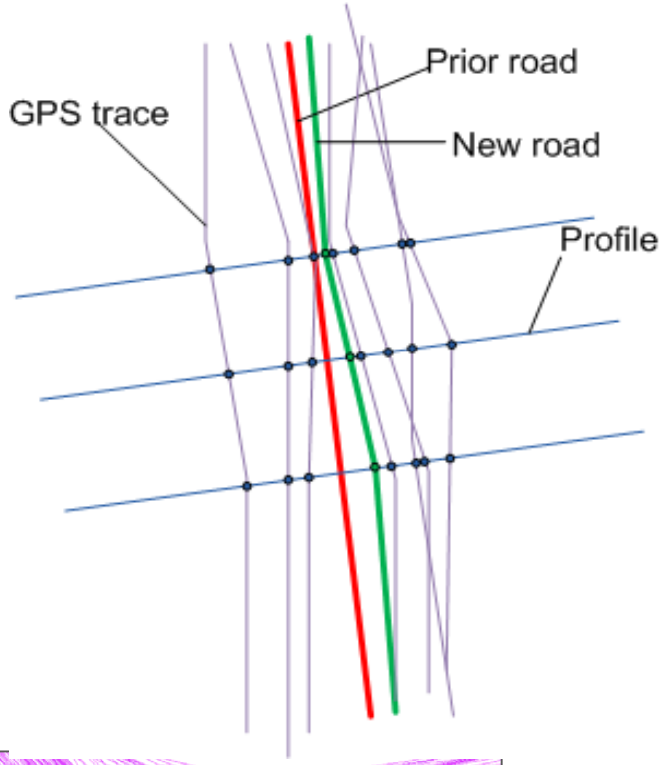
Bestimmung der Mittelachse

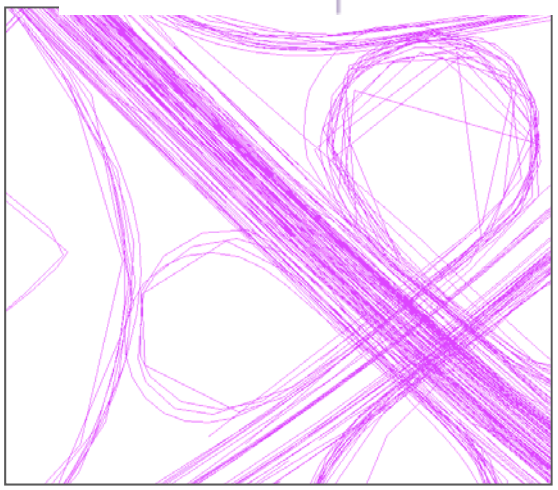
- Grundlegende Idee
  - OSM Kartengeometrie als Näherungsinformation verwenden
  - Senkrecht zur Straße werden alle schneidenden GPS-Trajektorien betrachtet
  - Individueller GPS-Track wird als Messung interpretiert
  - Mittelwerte der Trajektorien bilden Mittelachse



Bestimmung der Mittelachse

- Grundlegende Idee
  - OSM Kartengeometrie als Näherungsinformation verwenden
  - Senkrecht zur Straße werden alle schneidenden GPS-Trajektorien betrachtet
  - Individueller GPS-Track wird als Messung interpretiert
  - Mittelwerte der Trajektorien bilden Mittelachse
- Herausforderung
  - Korrekte Zuordnungen zu Straßen finden

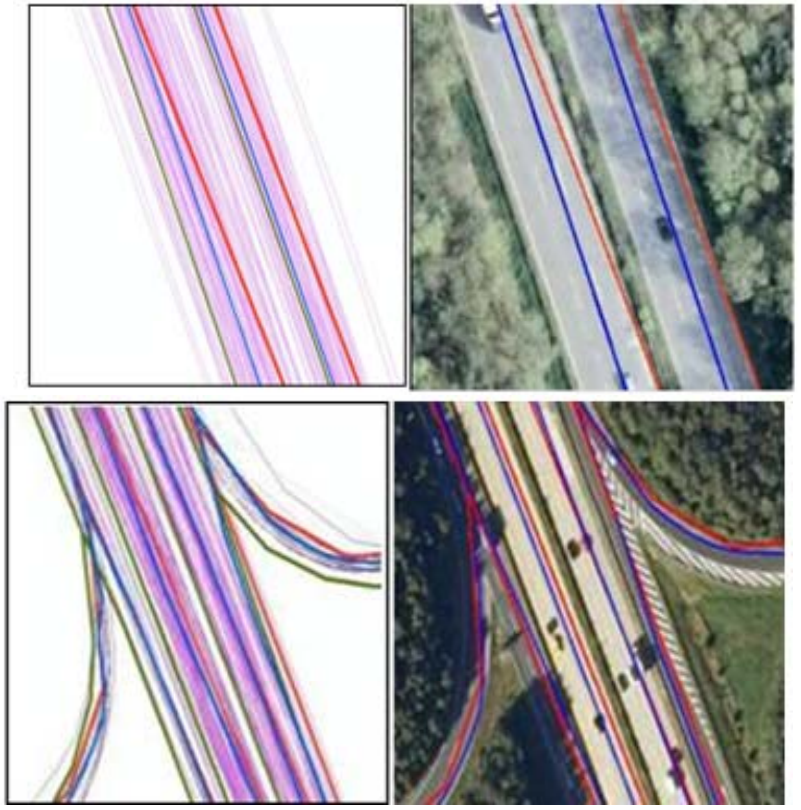




ikg

Bestimmung der Mittelachse - Experiment

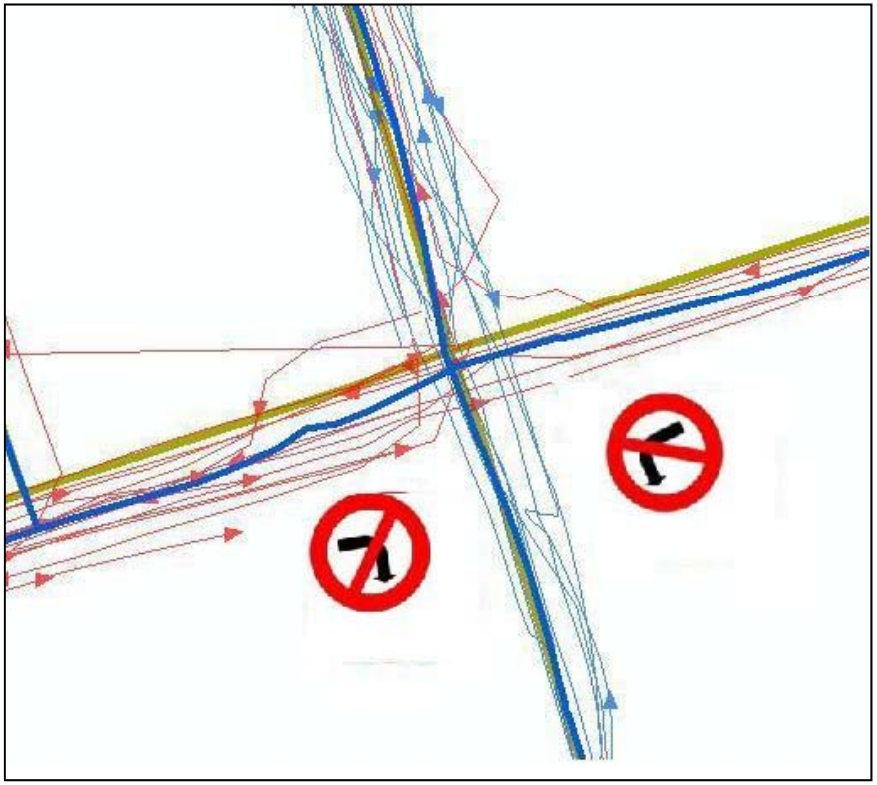
- Gemittelte Straßen (in blau)
  - Passen zu Luftbild
  - Sind getrennt, wenn getrennte Fahrbahnen

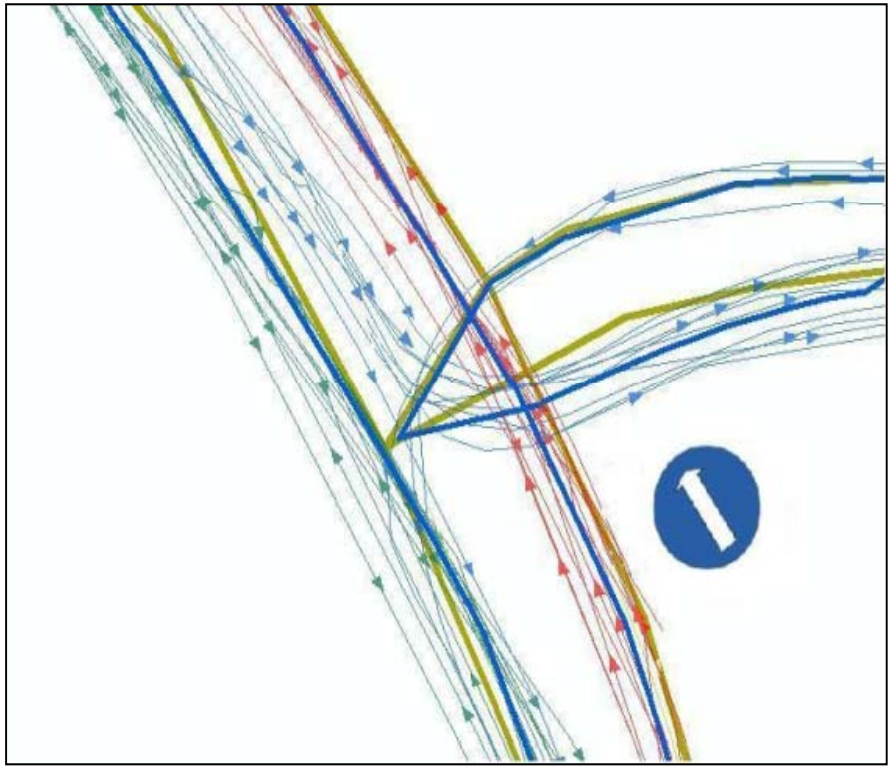


- Quantitativer Vergleich der Positionsgenauigkeit
  - Vergleich von Ergebnis, OSM-Daten und TeleAtlas Daten

Buffer size (meter)	2	5	7
Result roads	27.4%	61.7%	73.9%
Priori roads (OSM)	14.8%	46.8%	65.8%

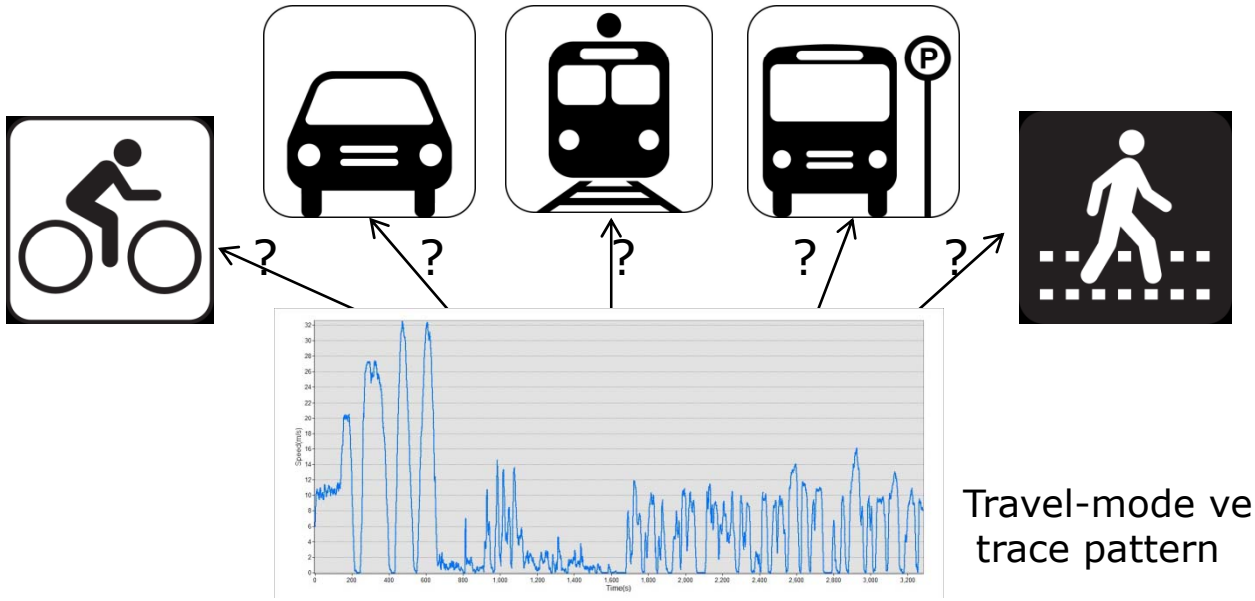
Extraktion von Attribut-Information: Abbiegebeschränkungen





Transportmodus

- Aus Geschwindigkeitsmuster und Beschleunigungsdaten kann eine Klassifikation des Transportmodus erfolgen
- Eine GPS-Trajektorie kann aus mehreren Transportmodi zusammengesetzt sein (gehen, Bus, gehen)
- **Kombination aus regelbasiertem Ansatz und überwachter Klassifikation mit SVM**
- Letzendlich soll es damit möglich sein, neben der Straßengeometrie auch noch auf den Straßentyp zu schließen



Travel-mode velocity trace pattern

Ergebnisse

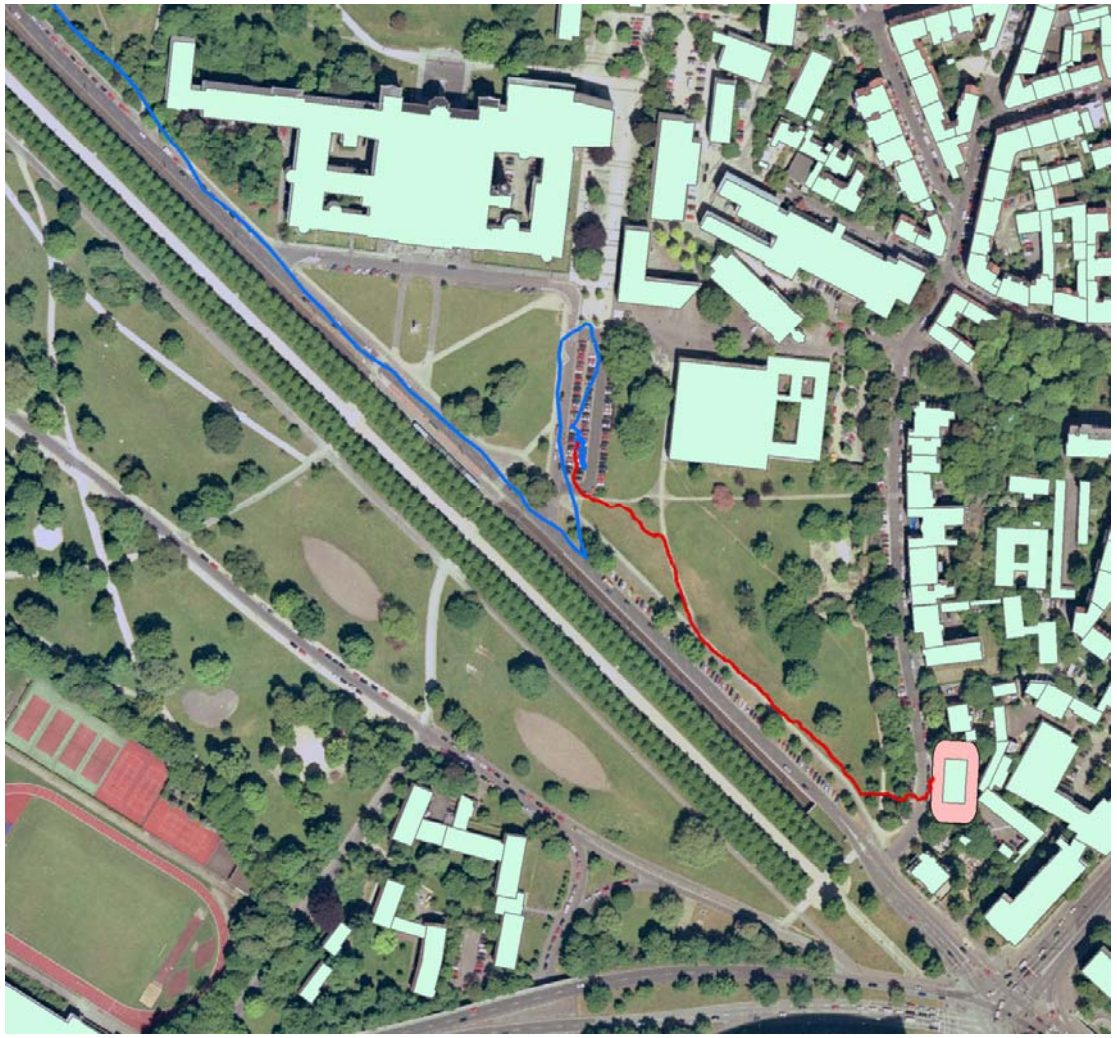
- Walk
- Bicycle
- Car
- Bus
- Tram
- Train

Source: Google maps

Interpretation von Verhalten

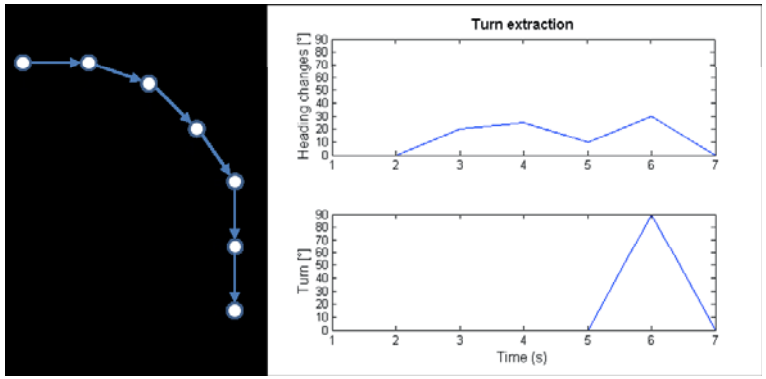
Analyse von typischen Übergängen zwischen Transportmodi

- z.B. Auto -> Gehen: Zusammenhang zwischen Adresse und möglichem Parkplatz

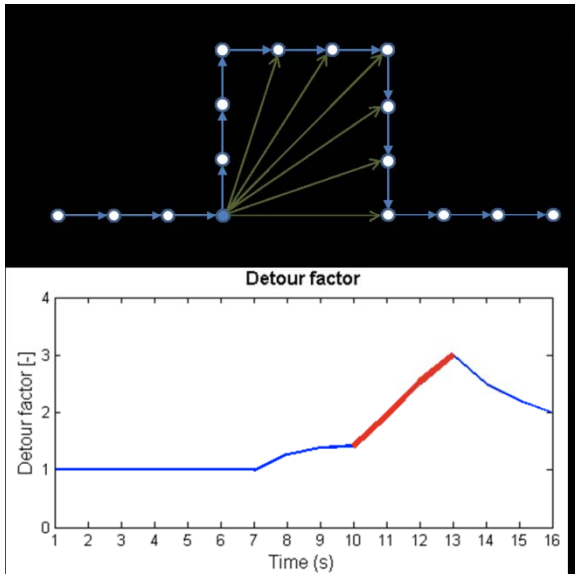


Bestimmung von anormalem Verhalten

- Idee: Autofahrer zeigt spezielles Verhalten, wenn er sich verfahren hat
- -> gezielt Hilfe anbieten!



- Komponenten des Verhaltens:
  - Abbiegungen in dichter Folge
  - Umweg
  - Routenwiederholung

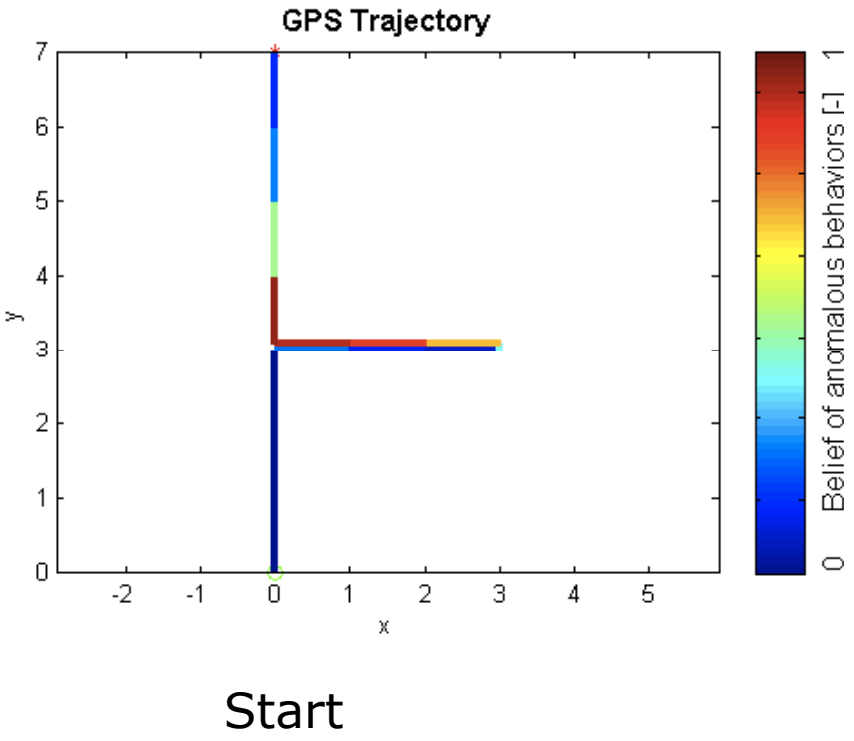


- Für diese Komponenten werden Wahrscheinlichkeiten für typisches Verhalten bestimmt
- Fusion der Wahrscheinlichkeiten über Hidden Markov Modell

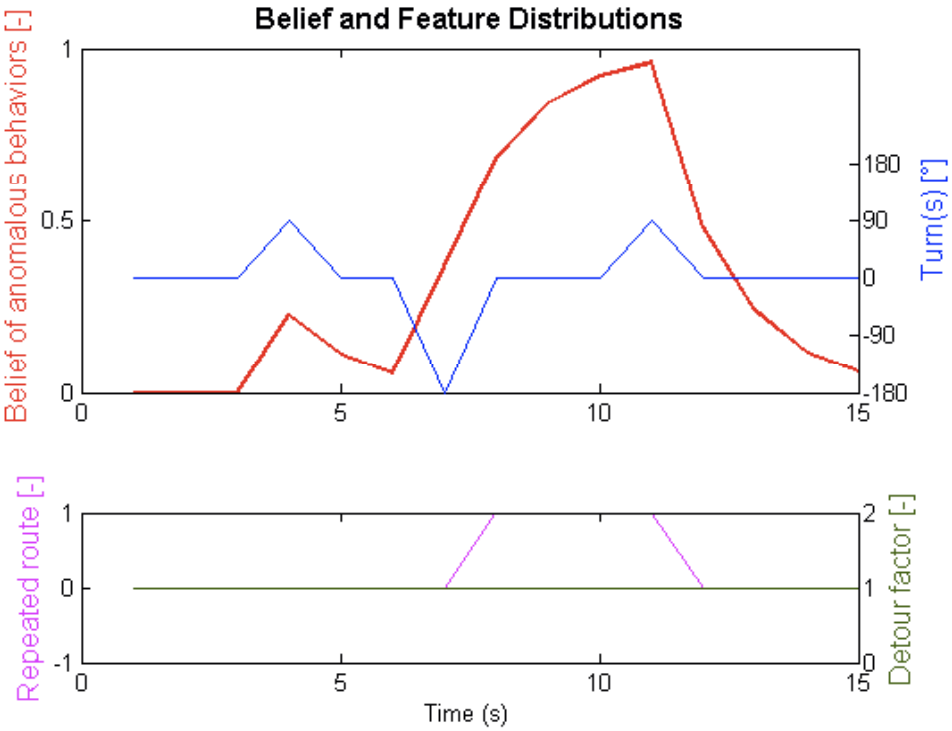
Bestimmung von anormalem Verhalten

- Beispiel: Route von unten nach oben

Ziel

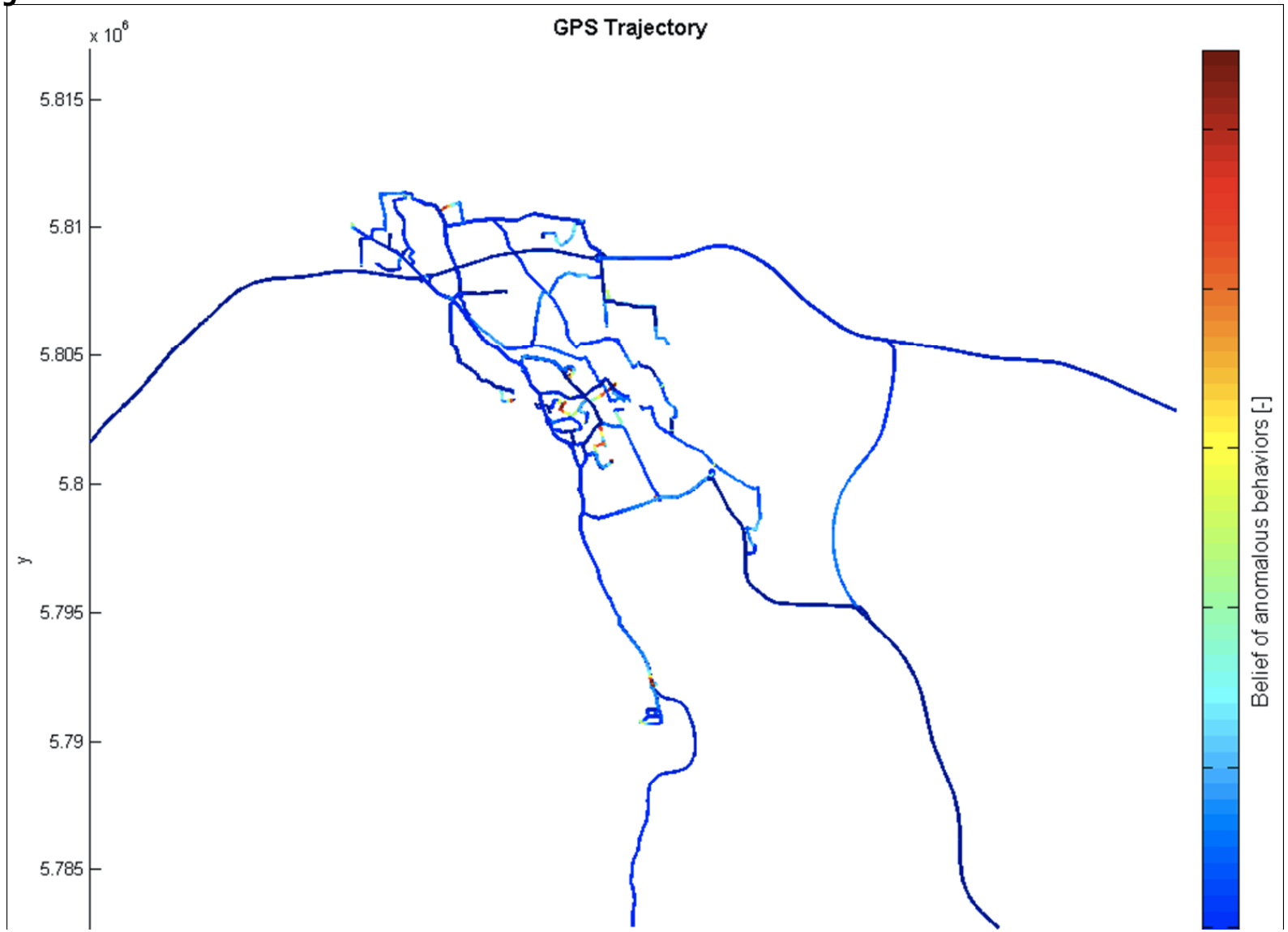


Start



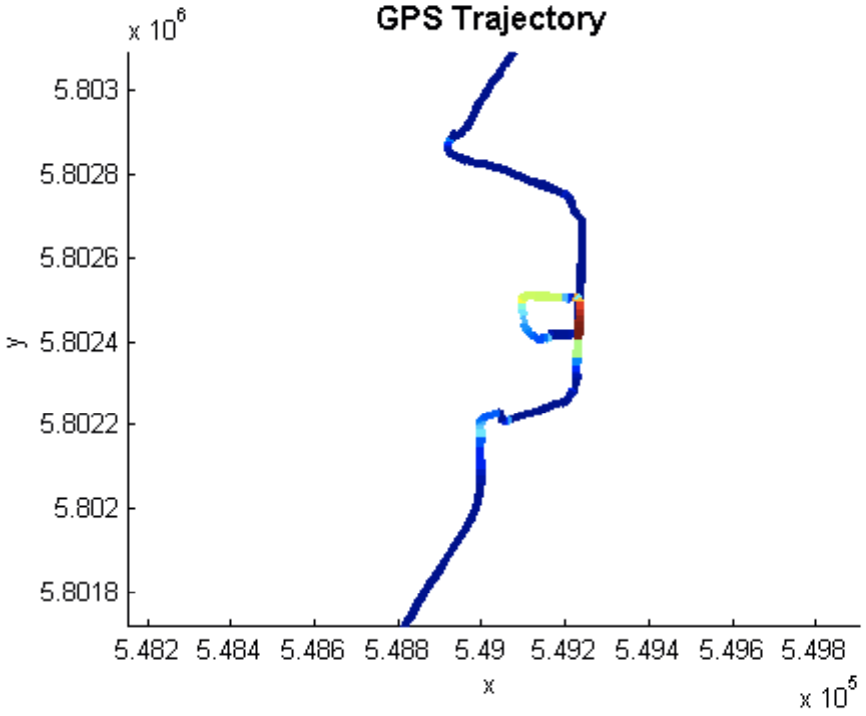
Bestimmung von anormalem Verhalten

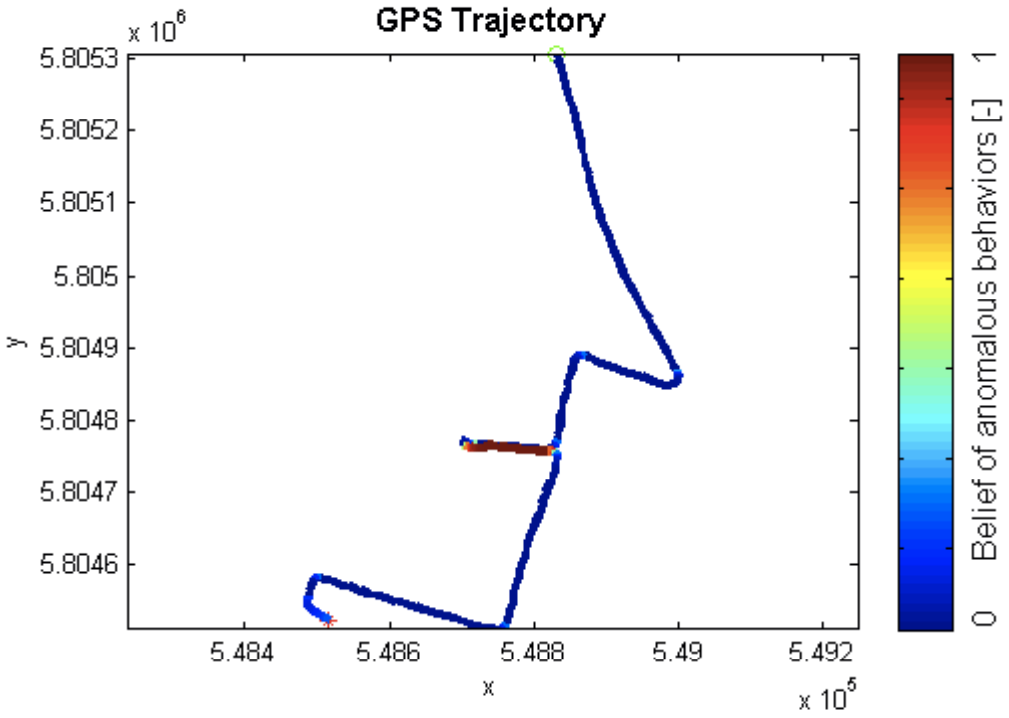
- 100 Trajektorien



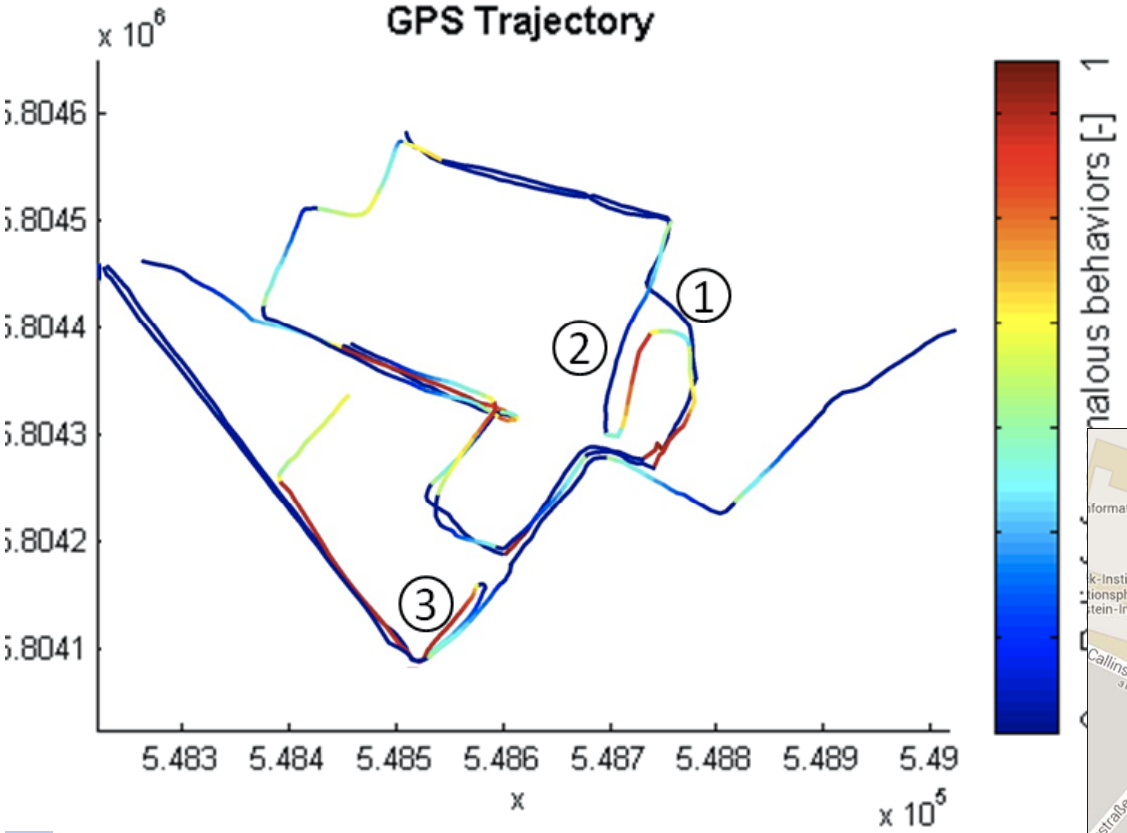
Beispiele

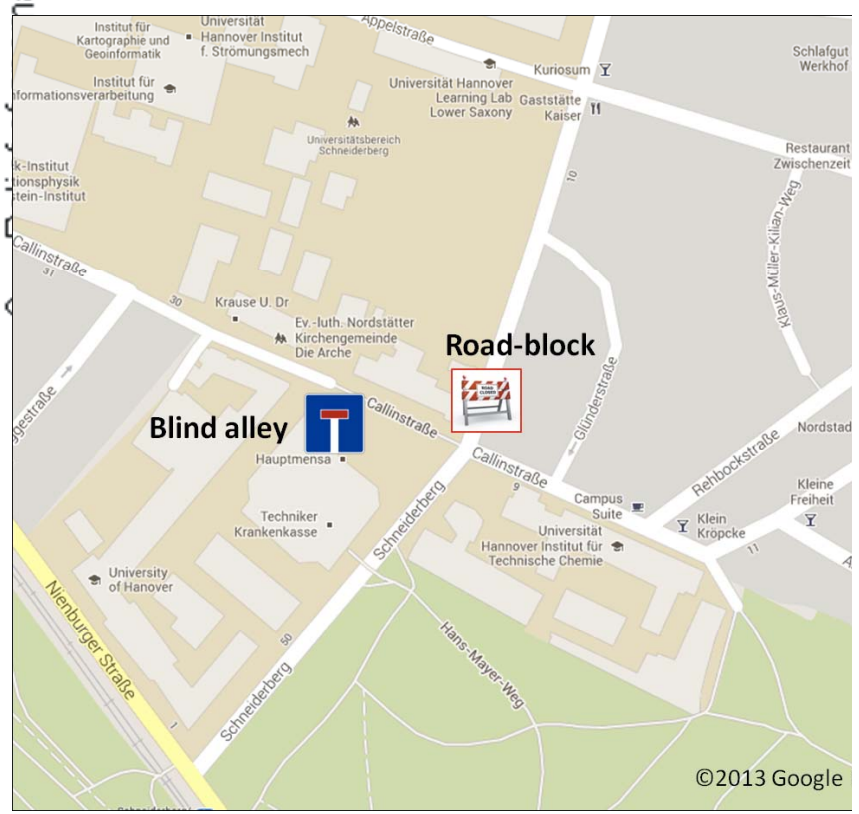
- Details





Hinweis auf anormale Verkehrssituation



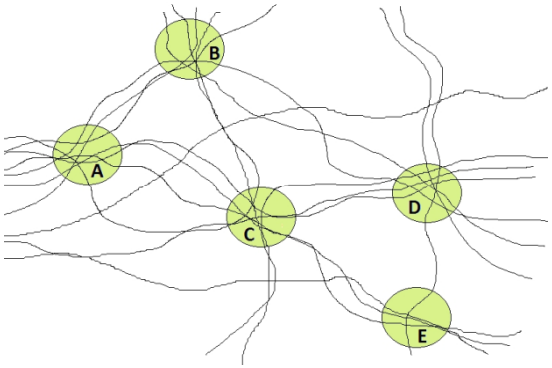


Trajektorienanalyse

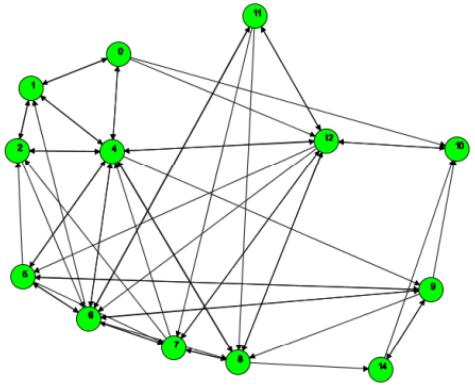
Udo Feuerhake

Trajektorienanalyse

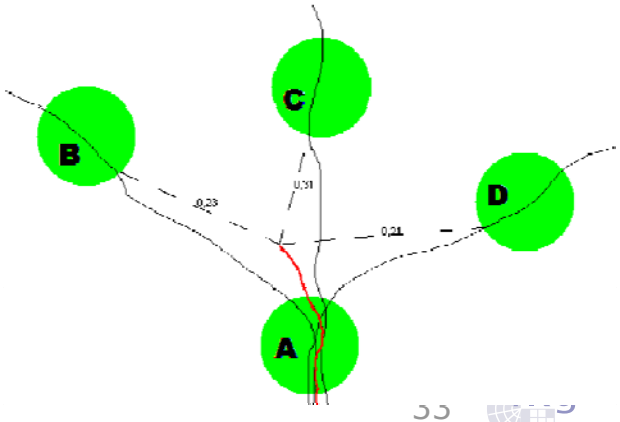
- Erzeugung von semantisch bedeutsamen Trajektoriensegmenten
  - Extraktion interessanter Plätze und ihrer Verbindungen
  - (Rasterbasierte Ansätze)



- Repräsentation der Bewegung mit Hilfe von Graphstrukturen



- Graphstruktur kann verwendet werden für
  - … Detektion von ungewöhnlichem Verhalten
  - … Prädiktion von Bewegungen der Objekte

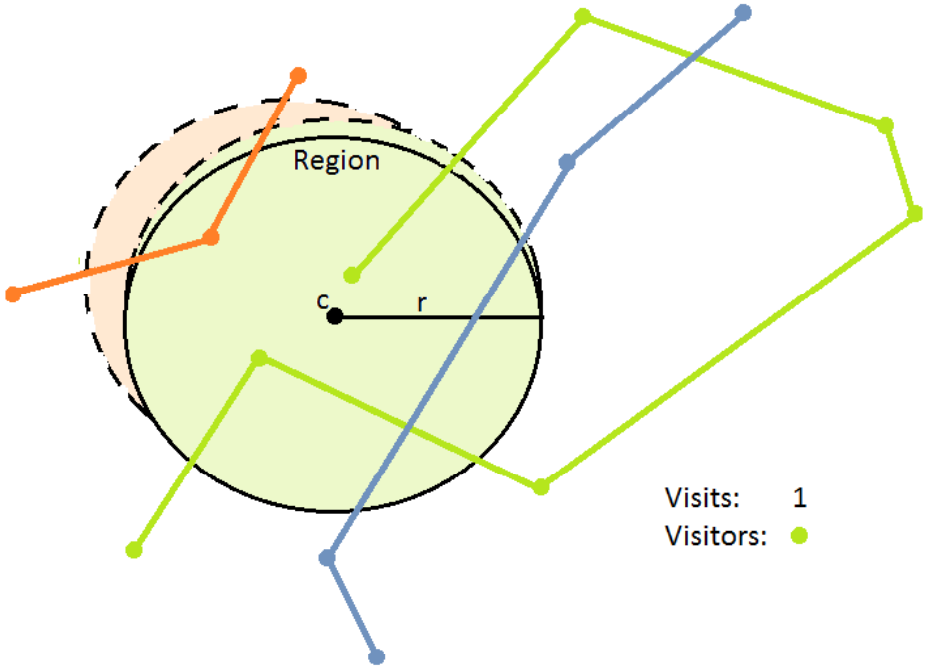


Anforderungen, Annahmen und Definitionen Interessante Plätze

- Anforderungen
  - Große Menge an Daten mit konstanter, hoher Sampling-Rate
- Definitionen
  - Attraktiver Ort ist Region um Punkt mit mindestens **N Besuchen**
  - Region hat gewisse Geometrie und **Ausdehnung**
- Annahmen
  - Individuen werden **langsamer** an attraktiven Orten
  - Aufenthalte sind durch **Geschwindigkeit** identifizierbar (Schwellwert)

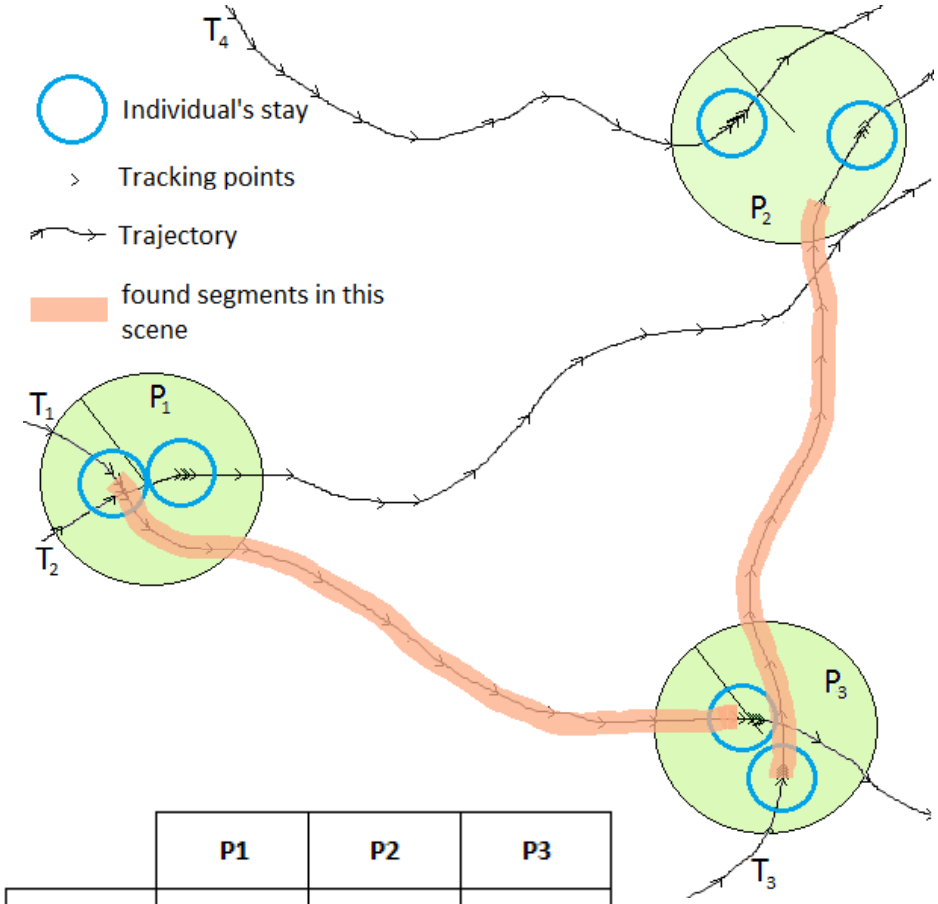
Schritt 1: Interessante Plätze

- Überprüfung der Aufenthaltsbedingungen jeder Bewegung
- Erstellung von Kandidaten-Regionen
  - Bed.: einfacher Besuch
- Erstellung attraktiver Regionen
  - Bed.: N-facher Besuch einer Kandidaten-Region insgesamt
  - Dabei:
    - Anzahl Betreten und Verlassen je Individuum
    - Besucherzahl insgesamt
    - Korrektur/Anpassung der Koordinaten des Orts



Schritt 2: Graphstruktur

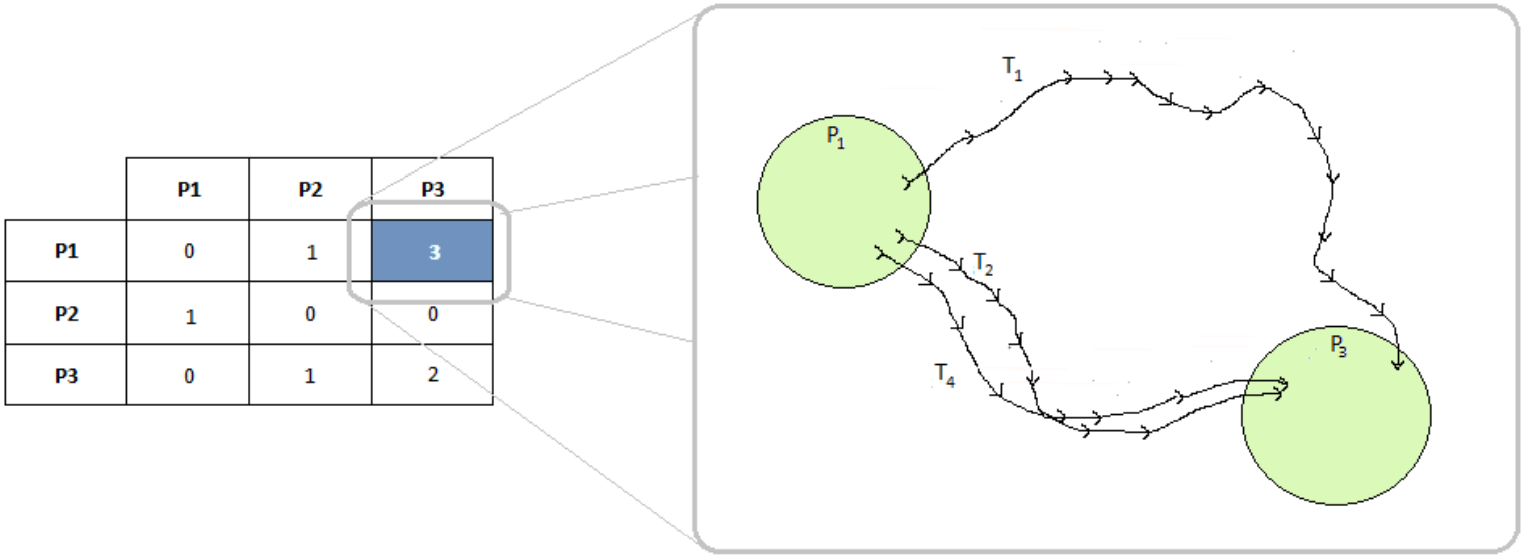
- Iteration über TrackingPoints jeder Trajektorie
- Start eines neuen Segments, wenn TrackingPoint in Ort
- Ende des Segments bei nächstem Erreichen einer Region
- Angefangene Segmente werden verworfen, wenn keine weitere Region erreicht wird
- Ergebnis:
  Matrix mit Clustern



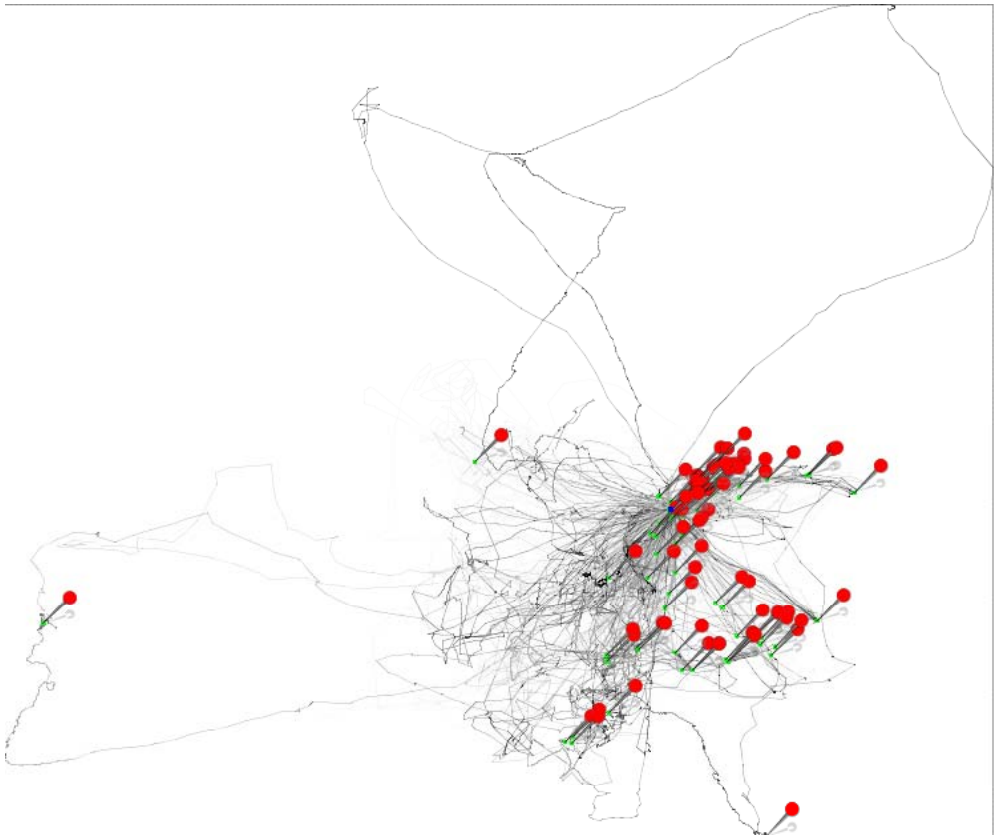
	P1	P2	P3
P1	0	0	1
P2	0	0	0
P3	0	1	0

Schritt 3: Analyse der Segmente

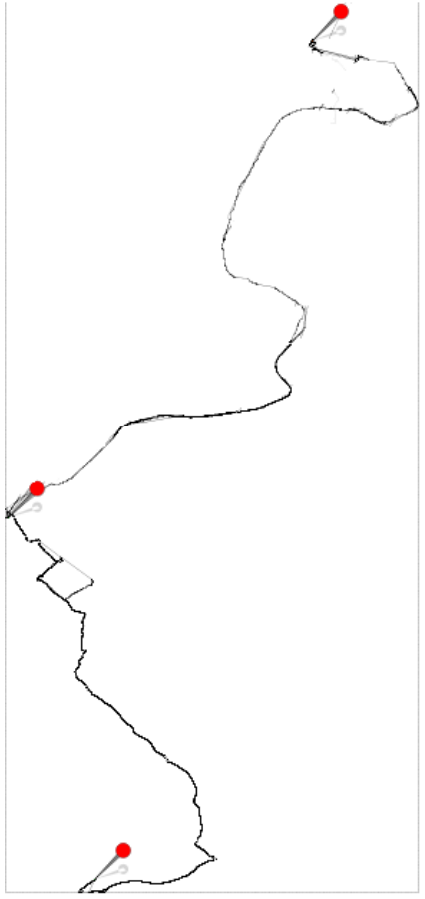
- Evaluation von Segmenten innerhalb der jeweiligen Cluster
- Möglichkeit: Weitere Clustering-Verfahren anhand von räuml. und geom. Attributen
  - Bspw. Hausdorff-Distanz
- Attribute abhängig von beobachteter Domäne



Ergebnisse – Schritt 1

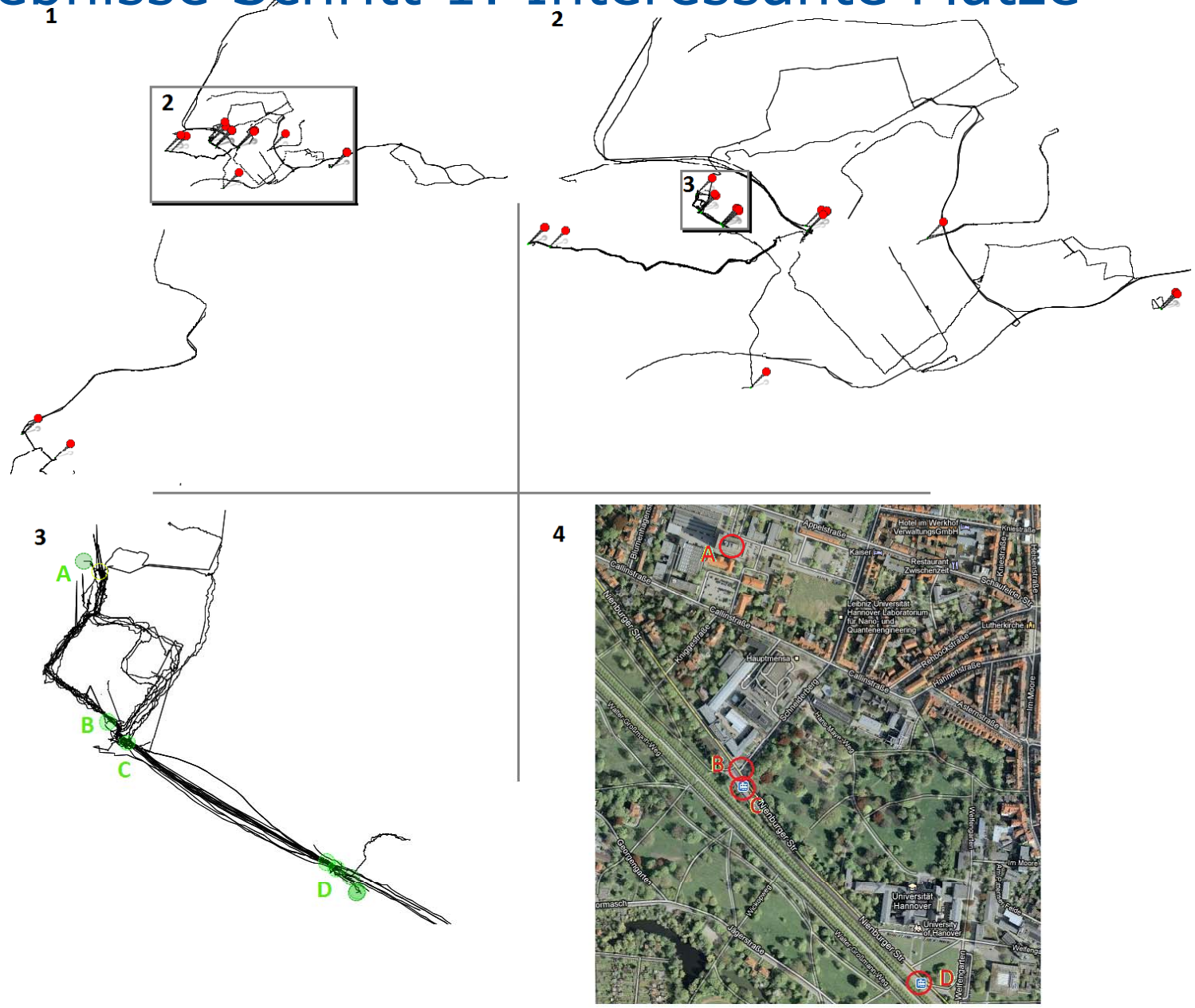


Möwen

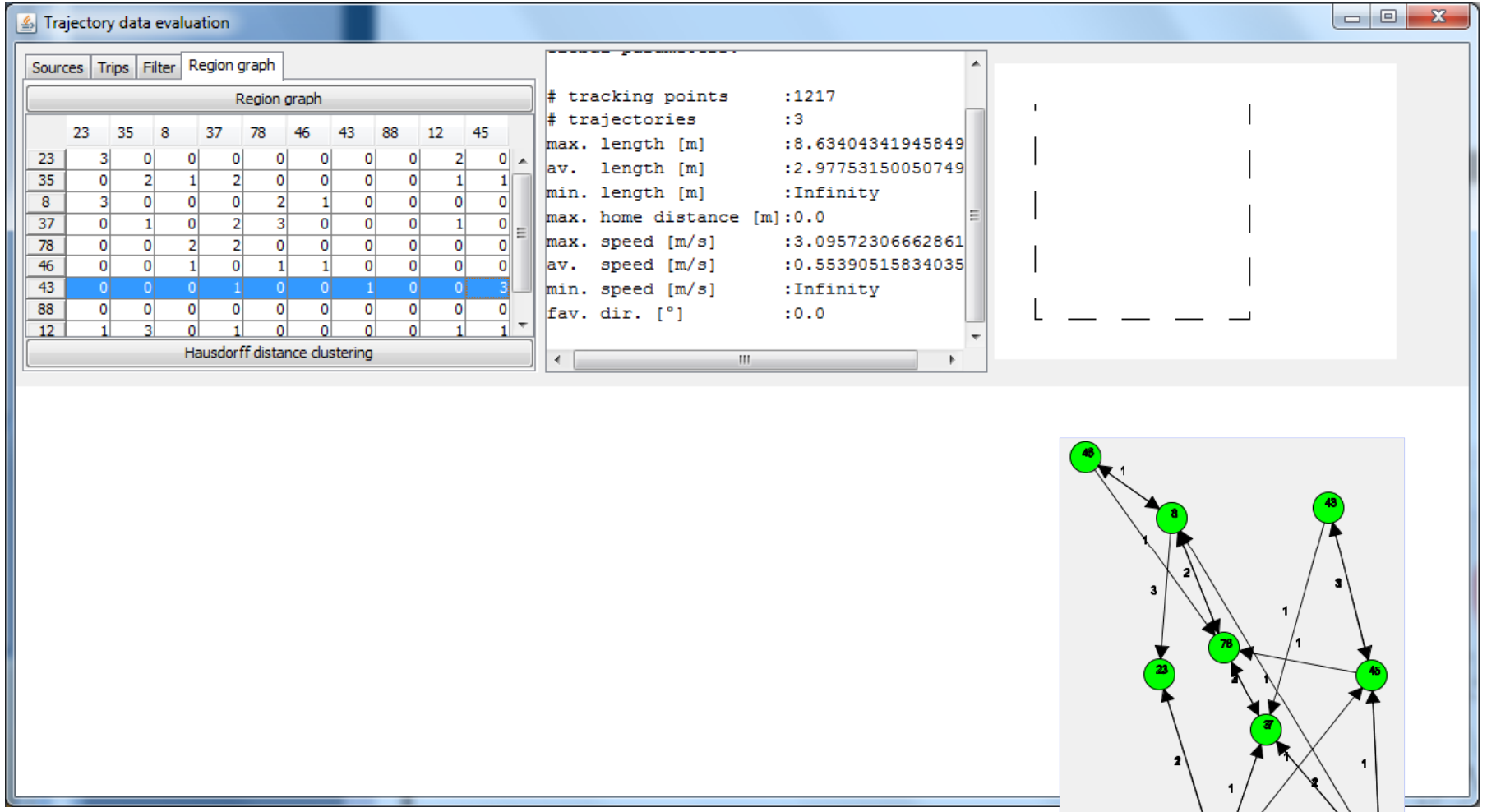


IKG Tracer

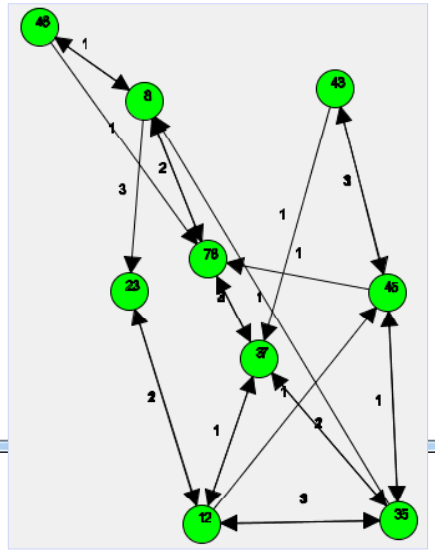
Ergebnisse Schritt 1: Interessante Plätze



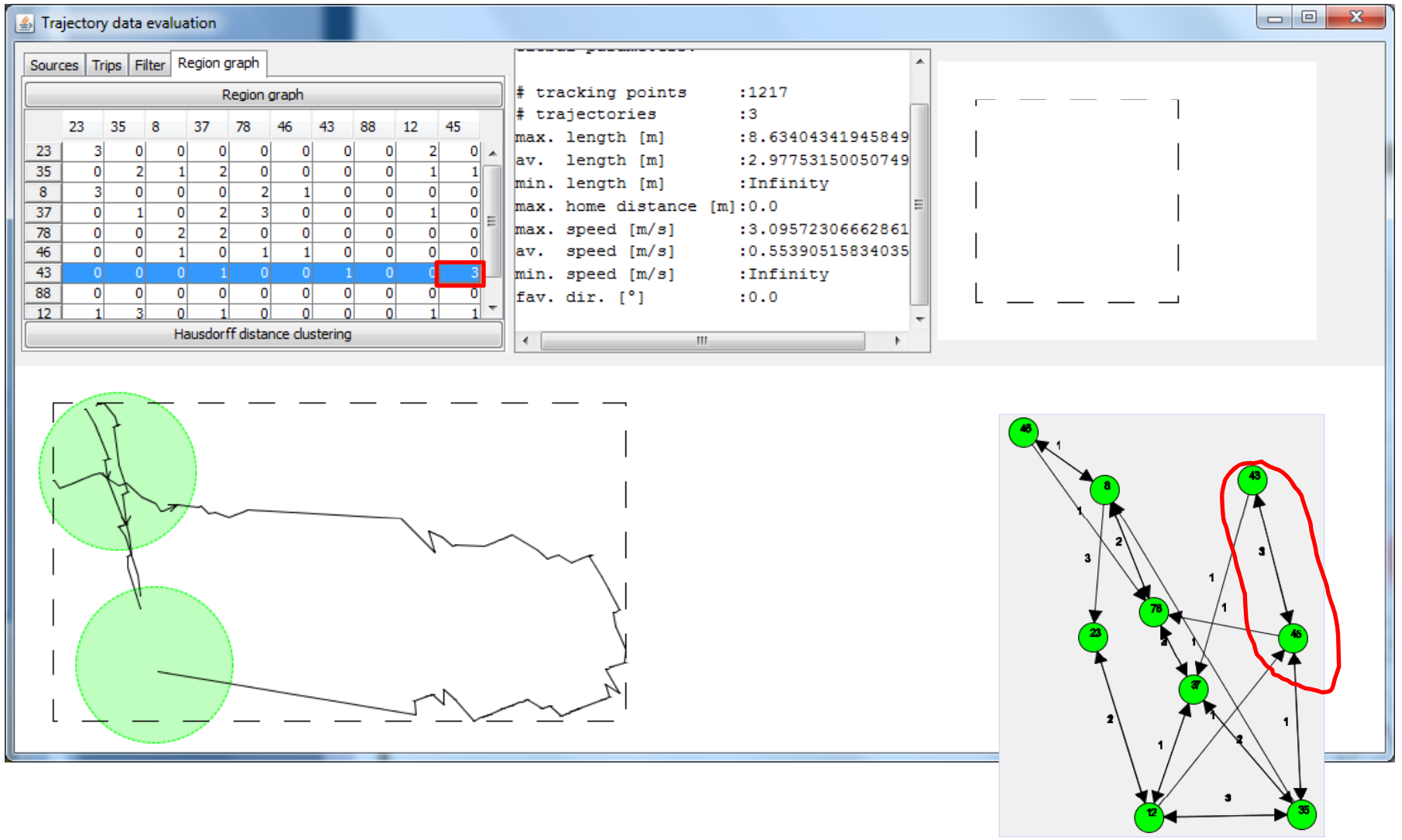
Ergebnisse – Schritt 2



	23	35	8	37	78	46	43	88	12	45
23	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0
35	0	2	1	2	0	0	0	0	1	1
8	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0
37	0	1	0	2	3	0	0	0	1	0
78	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
46	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
43	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	3	0	1	0	0	0	0	1	1

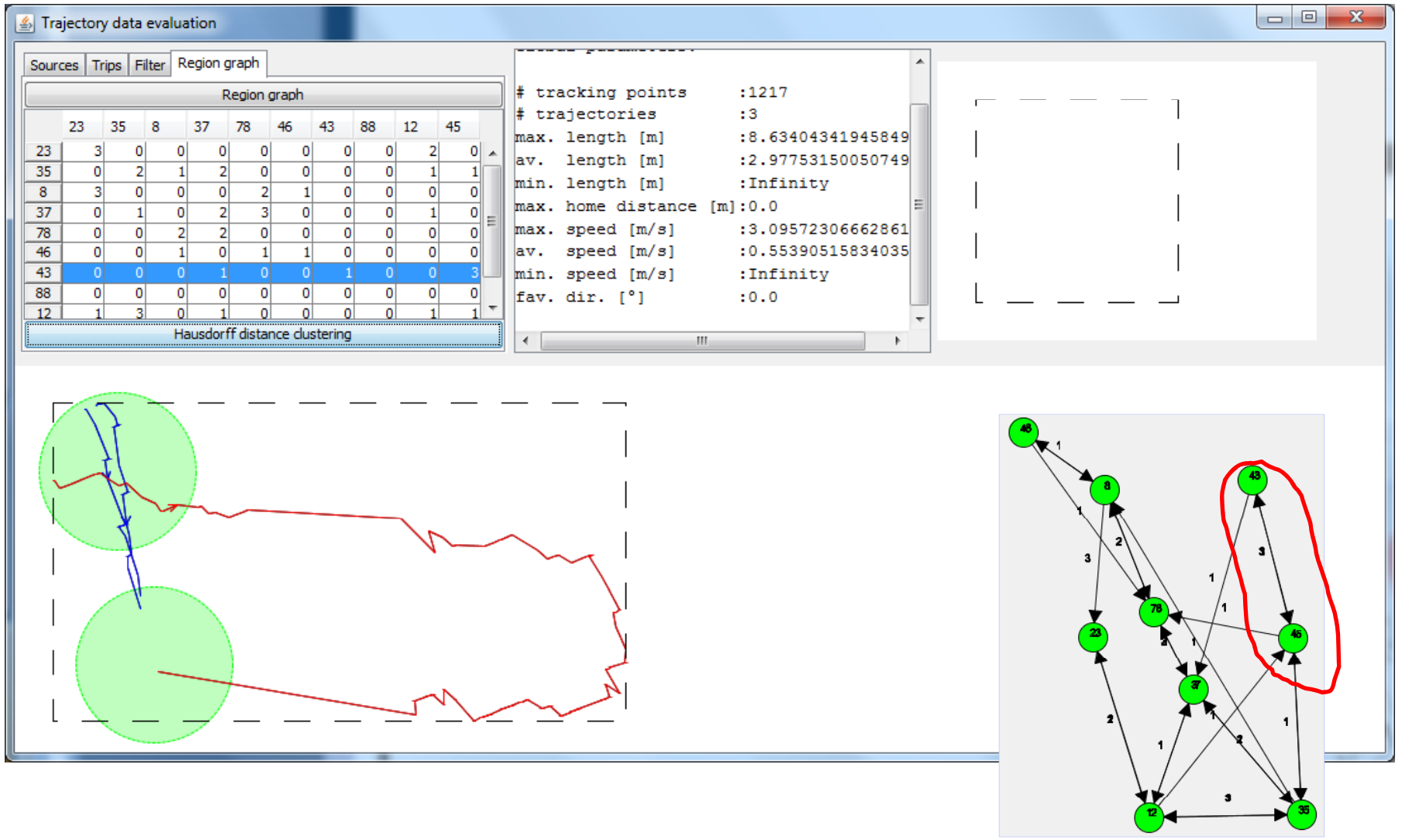


Ergebnisse – Schritt 2



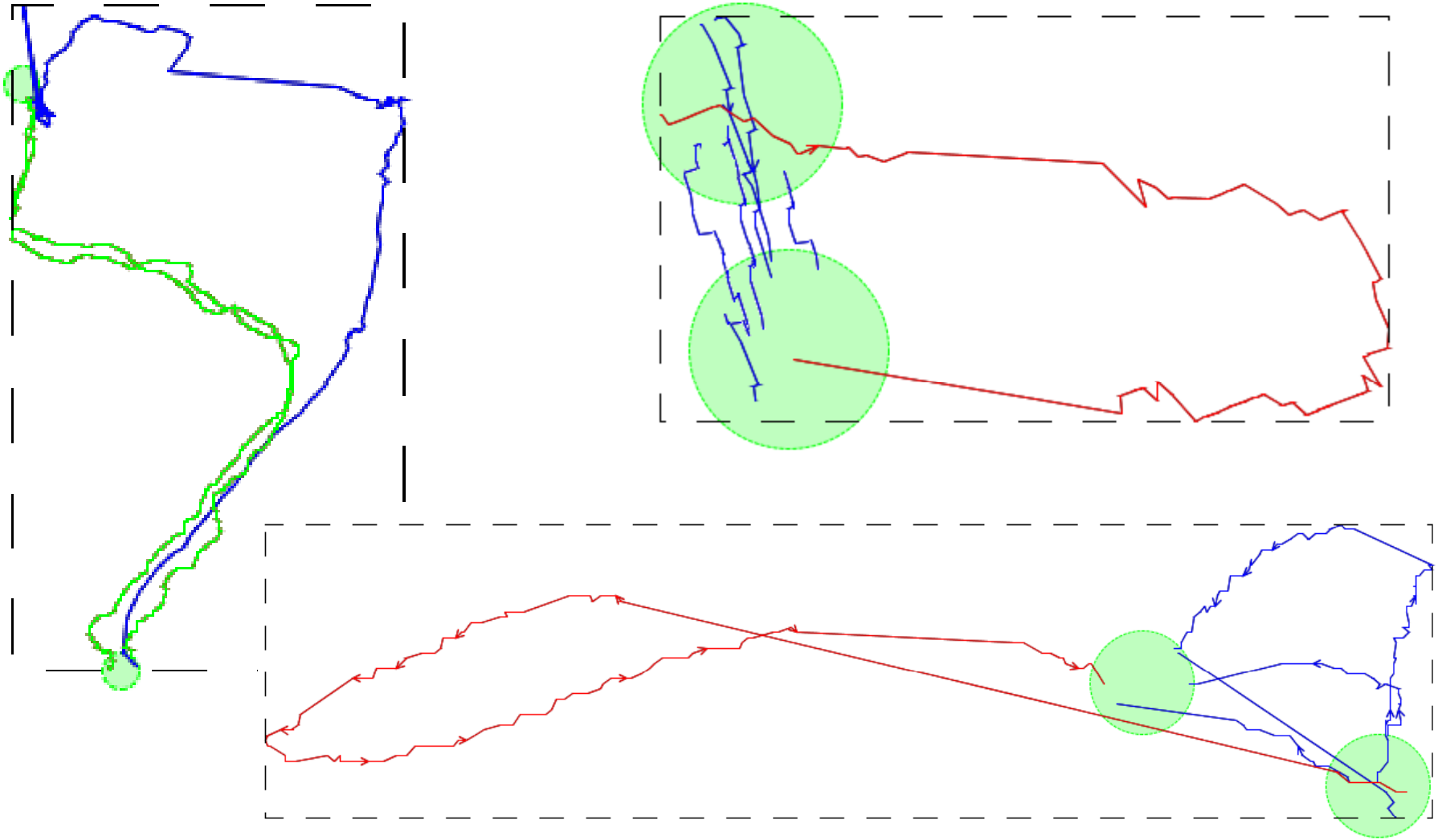
	23	35	8	37	78	46	43	88	12	45
23	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0
35	0	2	1	2	0	0	0	0	1	1
8	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0
37	0	1	0	2	3	0	0	0	1	0
78	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
46	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
43	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	3	0	1	0	0	0	0	1	1

Ergebnisse – Schritt 3



	23	35	8	37	78	46	43	88	12	45
23	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0
35	0	2	1	2	0	0	0	0	1	1
8	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0
37	0	1	0	2	3	0	0	0	1	0
78	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
46	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
43	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	3	0	1	0	0	0	0	1	1

Weitere Beispiele



Gruppenmuster und Sequenzanalyse

Udo Feuerhake

Analyse von Konstellationen von Gruppen fester Größe

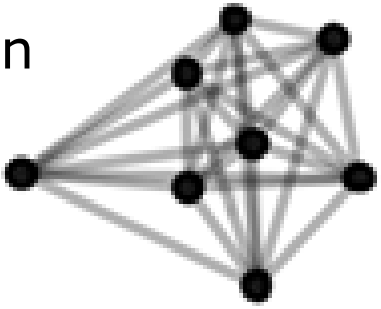
- Bestimmung von Bewegungsmustern innerhalb fester Gruppe
- Konstellationssequenzen im Beobachtungszeitraum aufzeichnen (z.B. 1Hz)

- **Clustern** von ähnlichen Konstellationenssequenzen
  - Ähnlichkeit festlegen: hier: ähnliches Abstandsmuster

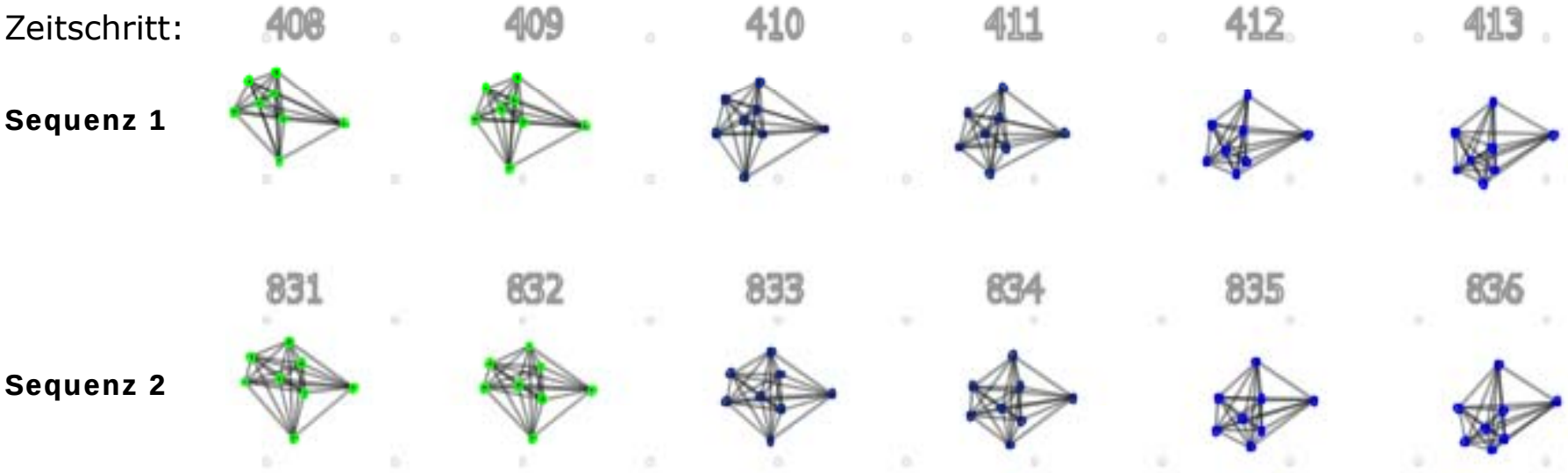
  - -> Cluster-Sequenzen
- **Sequence Mining**: Suche nach gleichen Abfolgen von Konstellationen
  - z.B. D,F,A,A,B,C,D,E,F,A,A,B,A,B,C,C, ..

Anwendung: Gruppenbewegung im Fußball

- Konstellation: Vektor mit relativen Spielerpositionen

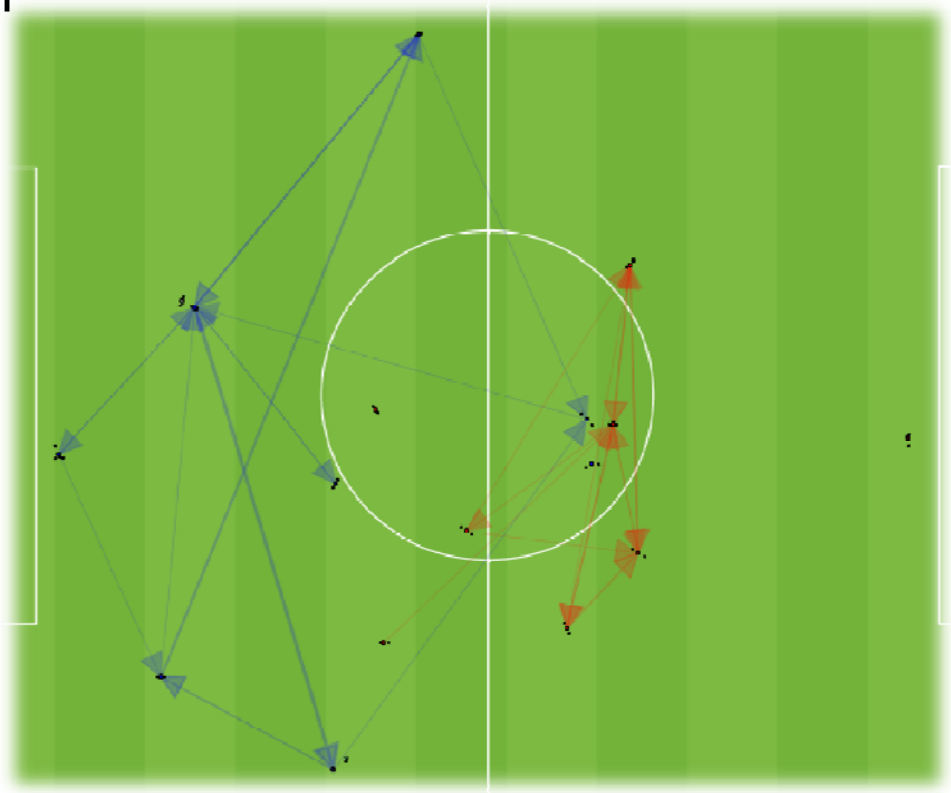


- Beispielmuster:
  - trat in der Beobachtungszeit zwei Mal auf:
  - Übergang von Konstellation grün,grün,blau,blau,hellblau,hellblau
  - “drei mittlere Spieler bewegen sich von oben nach unten”



Weitere Analysen: “Passgraph”

- Erzeugung einer Graphstruktur
  - Knoten ⟷ Spieler
  - Kanten ⟷ Pässe
  - Kantengewicht ⟷ Anzahl der Pässe zwischen Paaren von Spielern

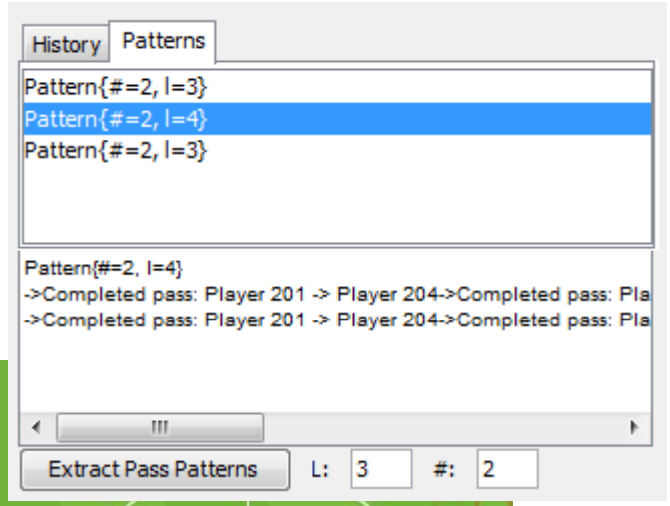


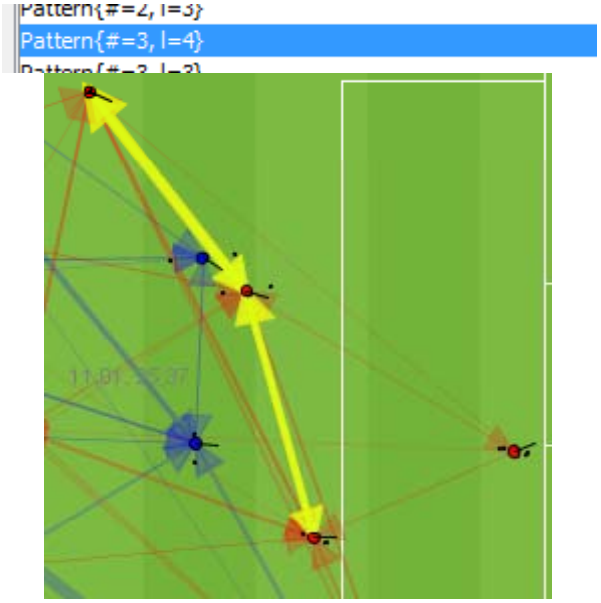
- Visuelle Analyse
- Automatische Auswertung durch graphbasierte Algorithmen
  - z.B. häufige Passsequenzen
  - …

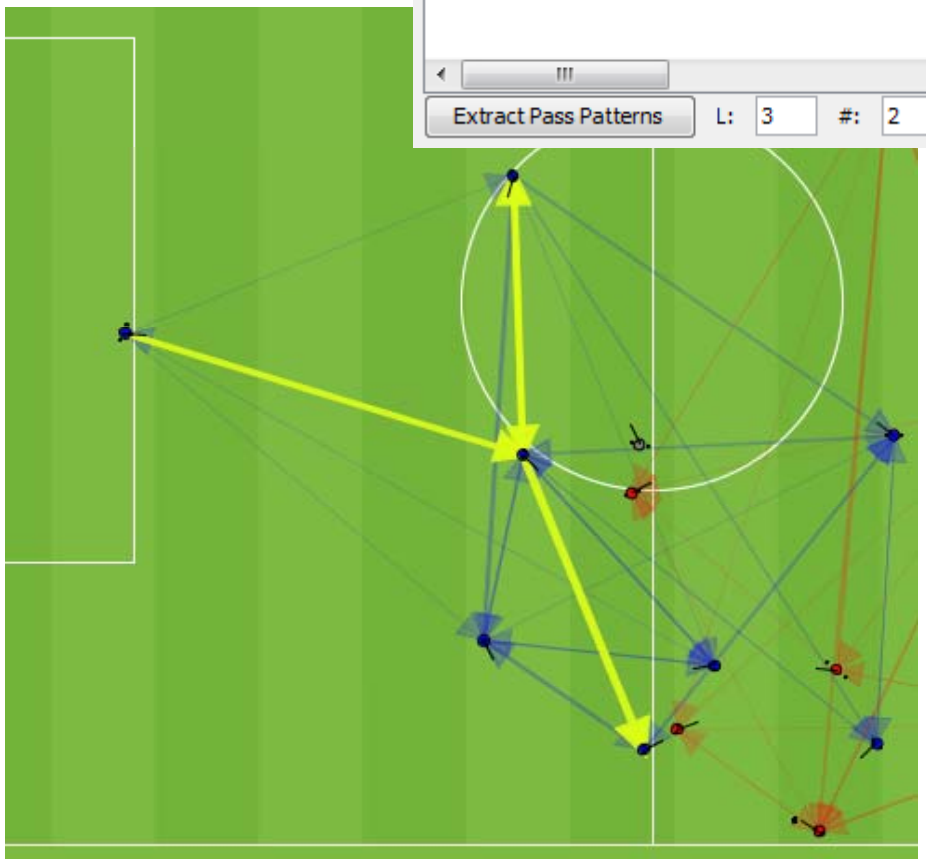
Passmuster

- Muster aus der Pass-Historie

- Sequenz Mining Ansatz (Spieler A spielt B an, der C und zurück zu A, ..



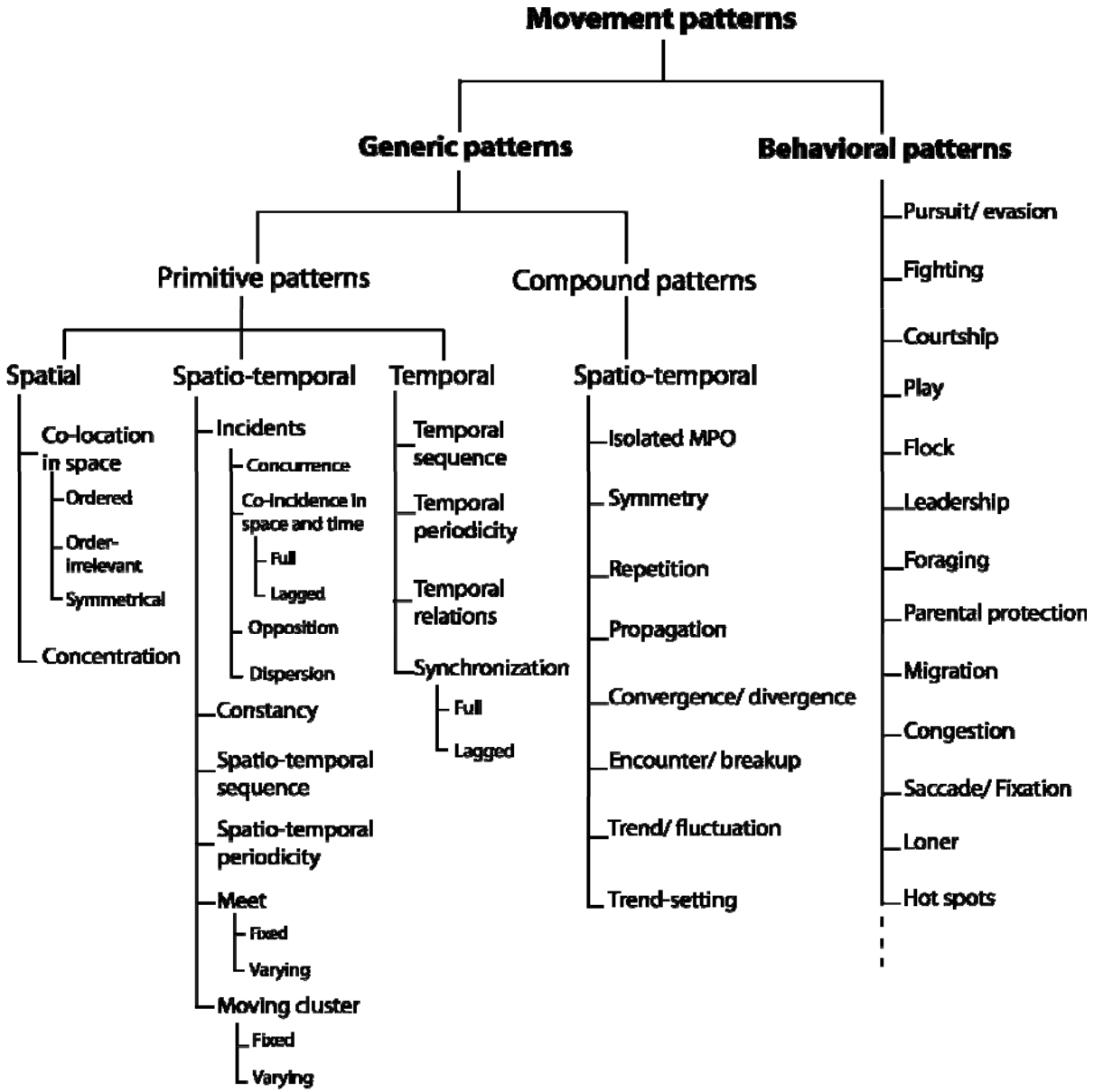




Bestimmung von Gruppenmustern

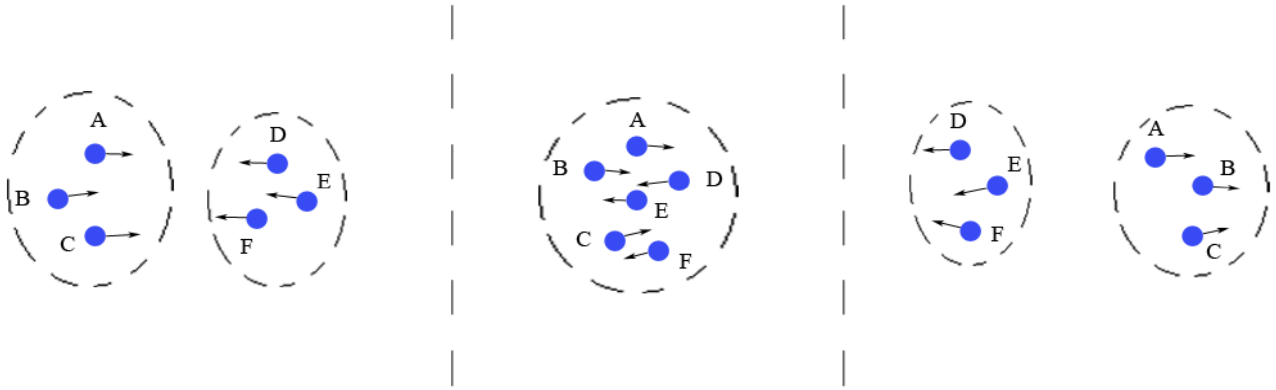
Colin Kuntzsch

Taxonomie von Bewegungsmustern (Dodge et al.)

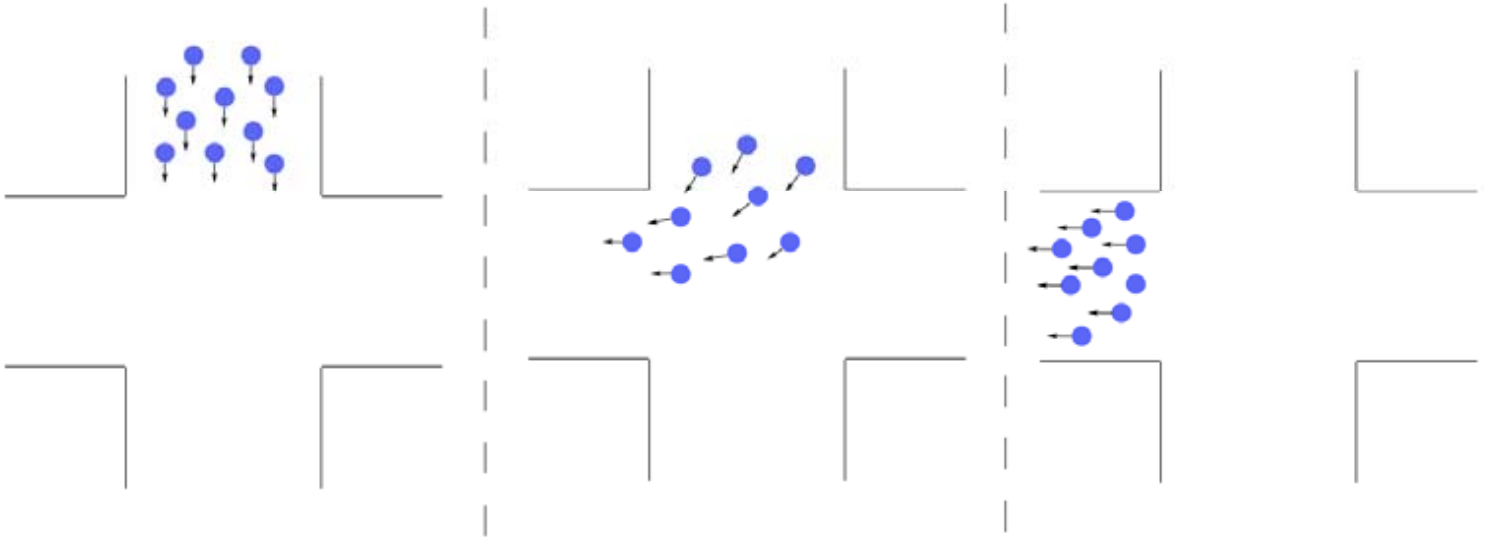


Gruppenmuster – Annahmen

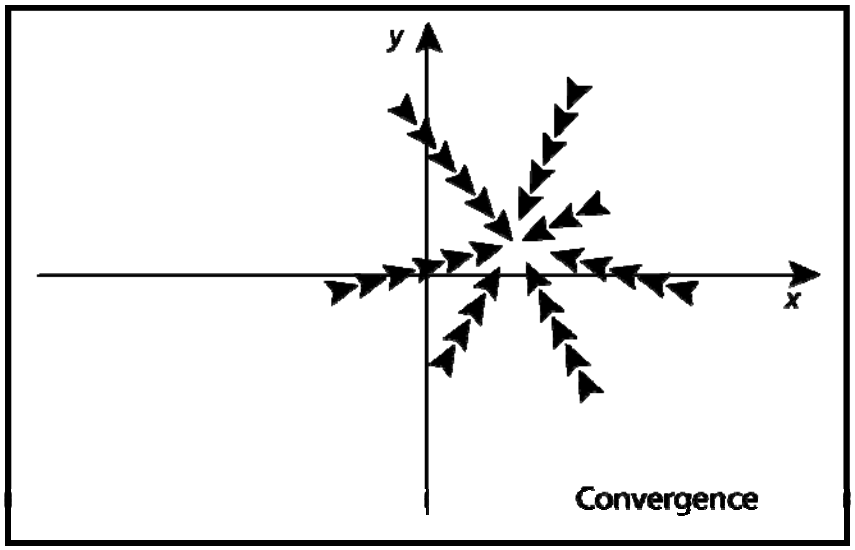
- Konstanz der Komposition

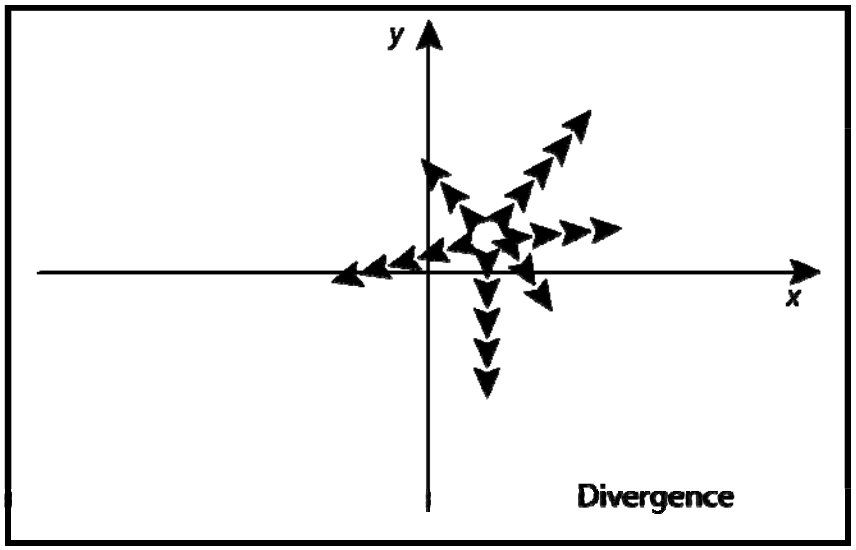


- Variabilität in Geometrie und Topologie



Gruppenmuster





- Flock

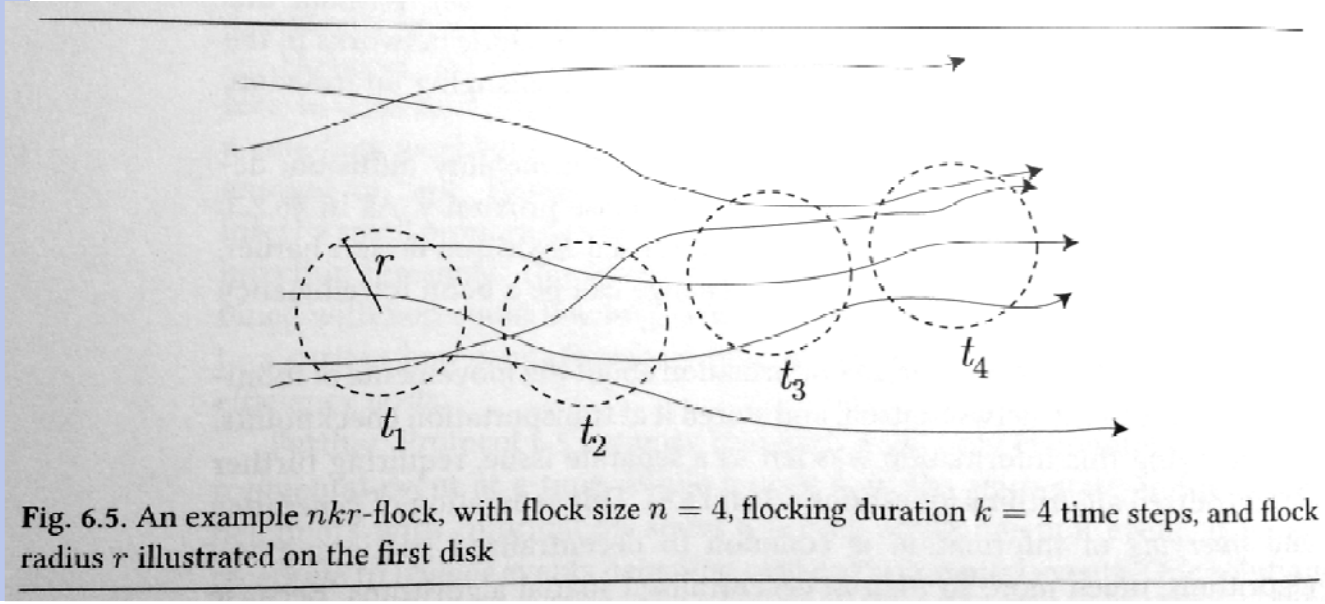
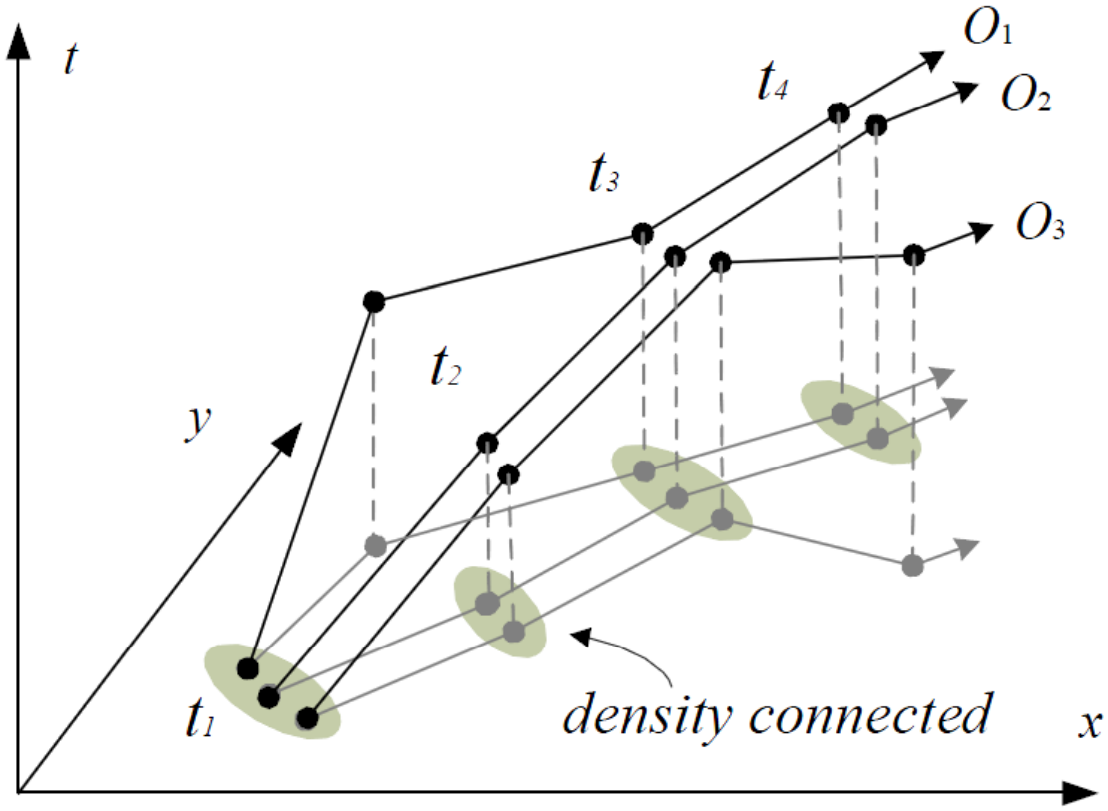


Fig. 6.5. An example nkr-flock, with flock size $n = 4$, flocking duration $k = 4$ time steps, and flock radius r illustrated on the first disk

Gruppenmuster

- Flock:
  - Gruppe wird durch Kreis umschlossen
- Konvoi:
  - beliebige Gruppenform

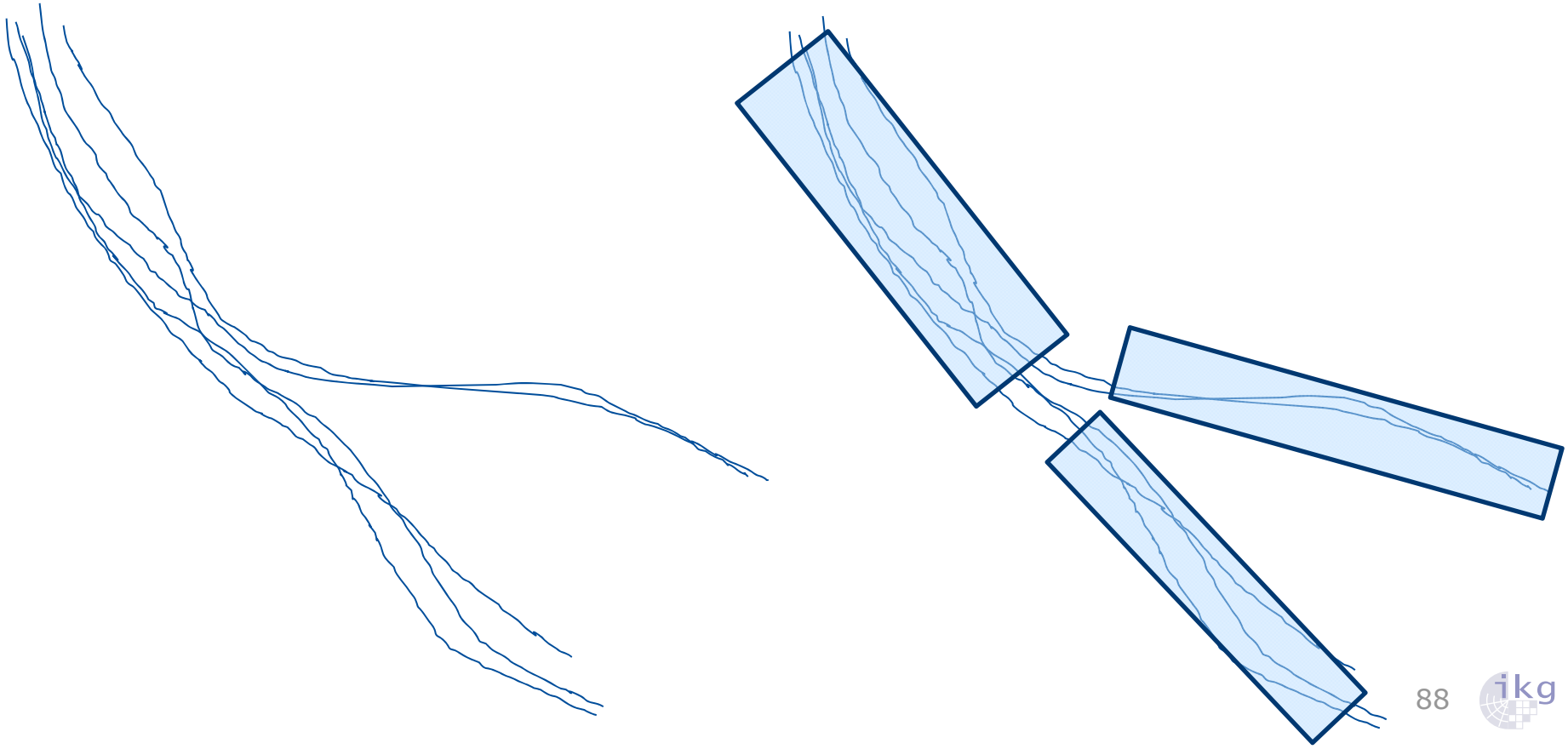


Statistischer Ansatz zur Bestimmung von Gruppen

- „Gruppe“ := Gemeinsame Bewegung (räumliche Nähe) in zeitlichem Intervall
- Probleme
  - Große Anzahl an möglichen Gruppenkompositionen
  - Konstanz der Gruppen
  - Parameter des Modells, z.B. Anzahl Teilnehmer, Abstand, …)
- Idee
  - Bestimmung einer Evaluationsfunktion, mit der die Qualität einer Repräsentation bezogen auf Gruppenhypothesen bestimmt werden kann: kürzeste Beschreibungslänge (MDL)
    - Repräsentation der wahren Gruppe ist kürzer als alle individuellen Trajektorien separat zu repräsentieren
  - Optimierung der Evaluationsfunktion mittels Markov Chain Monte Carlo

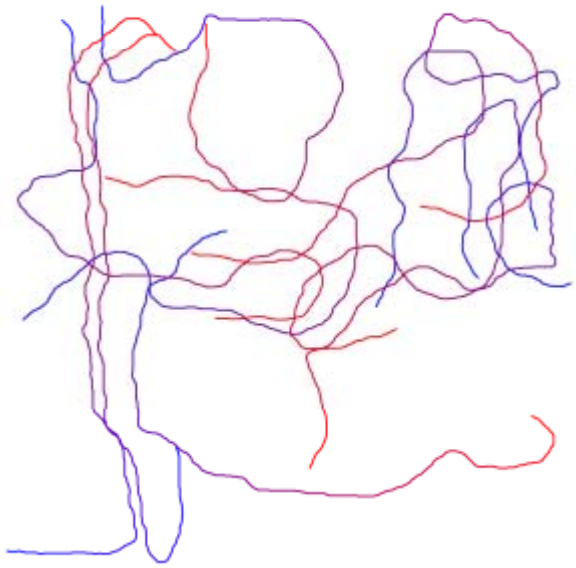
Idee

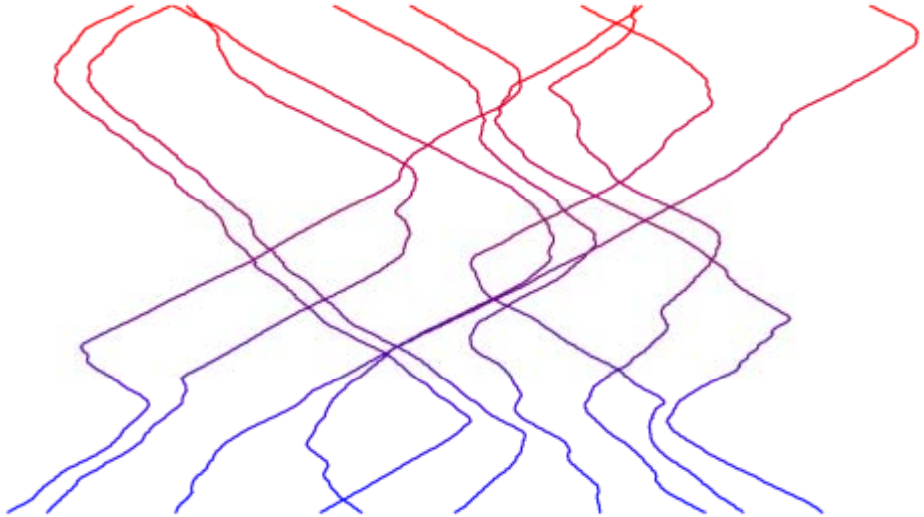
- Anstelle der individuellen Beschreibung von 5 Trajektorien (links)
- Beschreibung von 3 Gruppen (mittlere Trajektorien) und den jeweiligen Abweichungen zu den Gruppen (rechts)



Beispieldaten

- Ziel:
  - generische Gruppen,
  - keine Vorgabe konkreter Abstandsparameter





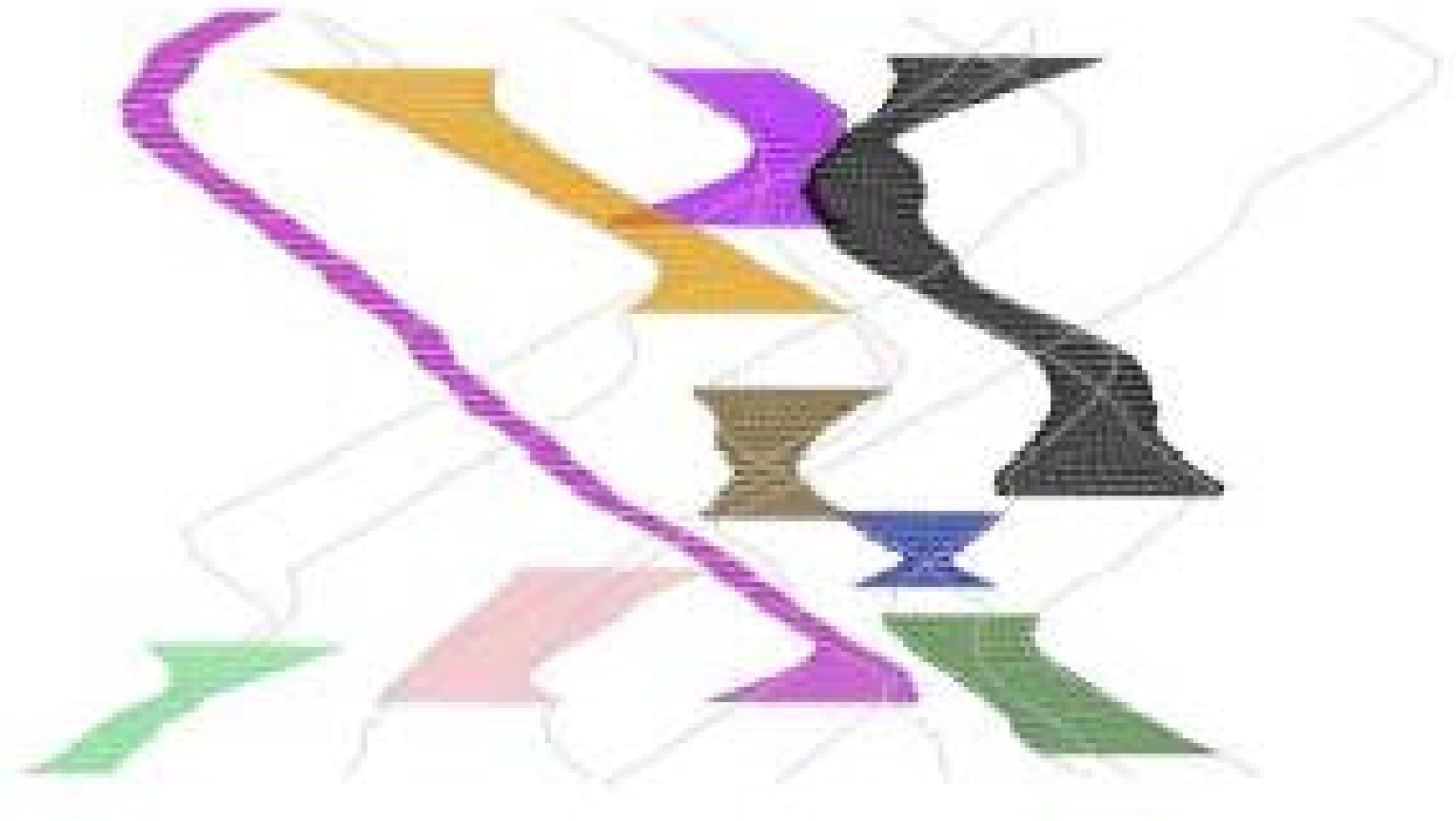
Modell + Modellbewertung

- gegeben {trajectory | trajectory = (id, {p | p=(t, pos (x, y)))}
- Modell: θ = {group g | g = (id_1, id_2, t_start, t_end)}
- explizite Semantik:
  - Trajektorie id_1 und Trajektorie id_2 befinden sich im zeitlichen Intervall [t_start, tend] in derselben Gruppe
- gesucht: Bewertungsfunktion s(x=θ) ≥ 0 für alle θ
  - dann möglich: Sampling und Optimierung von s durch Monte Carlo Sampling
  - z.B.: wie gut passt vorgeschlagene Gruppe zu den Daten?

rjMCMC zum Übergang zwischen Lösungsräumen unterschiedlicher Dimensionalität

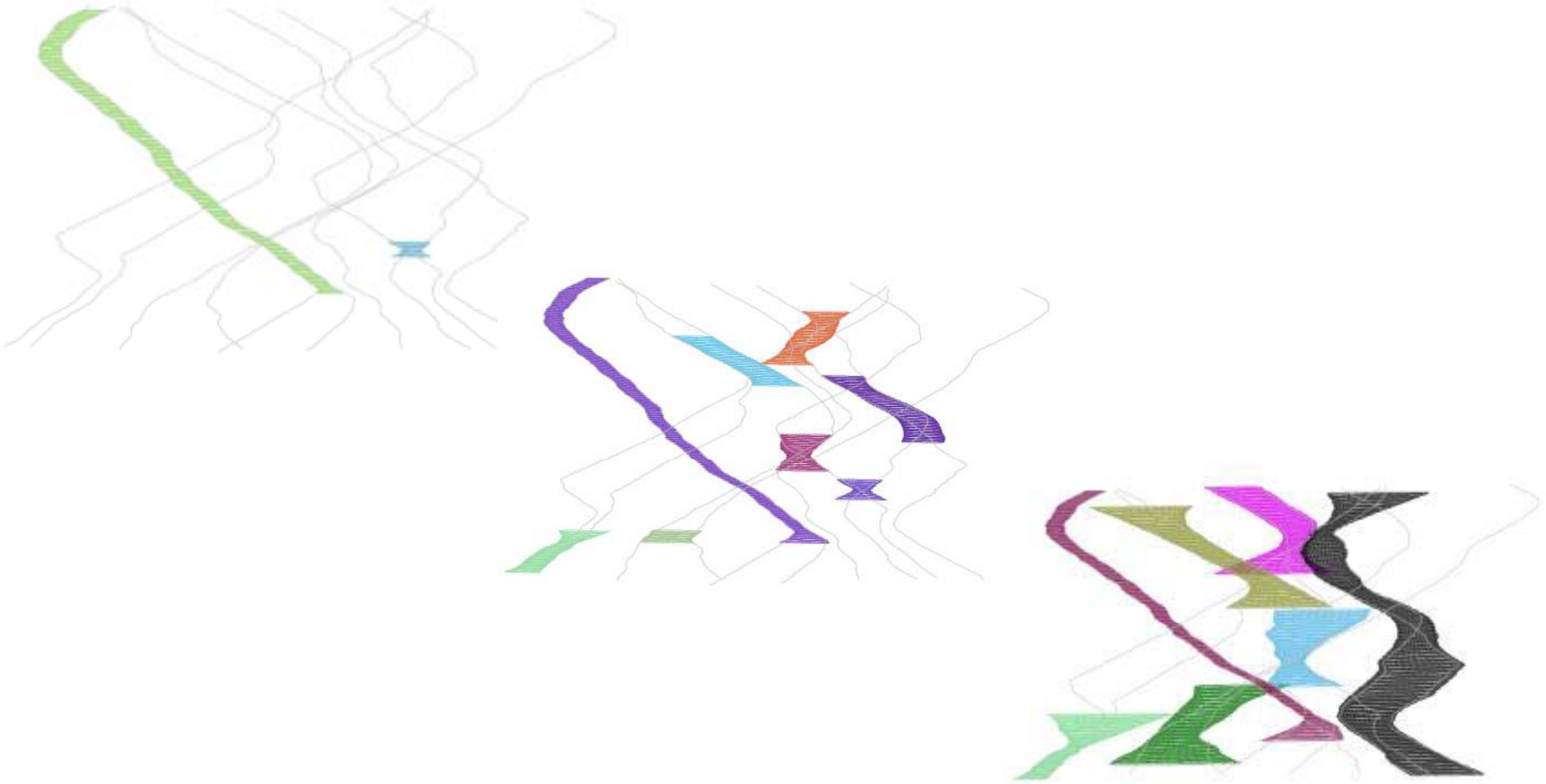
- Zustandsübergangsoperationen
  - MODIFY: Anzahl Gruppen bleibt gleich, modifiziert werden lediglich Start- und/oder Endzeitpunkt
  - BIRTH/DEATH: Erzeugen oder Entfernen einer Gruppe über zufälligem initialen Zeitintervall (erhöht/reduziert Dimensionalität des Parameterraumes; Abbildung zwischen Parameterräumen trivial)
  - optional: MERGE/SPLIT: Vereinigung zweier Zeitintervalle auf demselben Trajektorienpaar/Aufteilung eines Zeitintervalls

Ergebnis



Gruppen in Raum und Zeit

- Variation der Gruppenstärke



[Kuntzsch]

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Trajektoriendaten liegen in großem Maße vor
- Daten enthalten reichhaltige meist implizite Information über zugrunde liegende räumliche Struktur und / oder das Verhalten
- Relevante Anwendungen
  - Analyse von Verhalten von Tieren
  - Erfassung von dynamischer Umweltinformation (z.B. Verkehrsstaus, Nutzung der Infrastruktur, Vorhersage von Verhalten)
- Viele leistungsfähige Ansätze und Algorithmen liegen bereits vor

Zusammenfassung und Ausblick

- Herausforderungen
  - sehr große Datensätze
  - Integration heterogener Daten
  - Generische Datenanalyse und Interpretation
  - dezentrale Datenverarbeitung
  - oft Echtzeitverarbeitung erforderlich

- und …
  - Privatsphäre
  - wem gehören die Daten? wer verdient Geld damit?