

Analyse von raumzeitlichen Bewegungsmustern auf Basis von Bluetooth-Sensoren

Timothy ELLERSIEK, Thomas LIEBIG, Dirk HECKER und Christine KÖRNER

Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

Zusammenfassung

Informationen über das Kundenverhalten sind ein wesentlicher Forschungsbestandteil im Bereich des Marketings. Dabei hilft das Verstehen von Entscheidungsfindungsprozessen des potenziellen Kunden – in einem raumzeitlichen Wechselspiel mit seiner Umgebung – dem Anbieter die Qualität seines Produktes aufzuwerten. Bis vor kurzem wurden Veränderungen am Produkt häufig durch Trial-and-Error-Methoden vorgenommen; heute jedoch erlauben neuartige Technologien wie beispielsweise Bluetooth, GPS oder Video neue Möglichkeiten, dem Anbieter zielgenaue Qualitäts-Validierungen seiner Produkte durchzuführen. In dem vorliegenden Beispiel wird der vorangehende Sachverhalt auf die Mobilität im Duisburger Zoo übertragen. Repräsentative Daten über das Bewegungsverhalten der Besucher werden unter Wahrung der Privatsphäre in einem siebentägigen Versuchszeitraum anhand von Bluetooth-Tracking erfasst, anschließend aufbereitet, analysiert und interpretiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Reproduktion von Mobilitätsinformationen durch die Erfassung von privaten Endgeräten der Besucher mittels einer kostengünstigen Technologie wie das Bluetooth möglich ist.

1 Einleitung

Ein bedeutendes Element des Besucherverhaltens sind Informationen über die Mobilität, da sie Aufschlüsse über die Attraktivität von Standorten geben können sowie die Dynamik von Bewegungen widerspiegeln. Die Herausforderung liegt dabei in der Art und Weise der Erfassung solcher Mobilitätsinformationen. Gegenwärtig verwendete Technologien zur Erhebung von Mobilitätsinformationen sind zum einen kostenintensive Videoüberwachungssysteme, die durch Witterungseinflüsse im Outdoor-Bereich gestört werden können (CUCCHIARA et al. 2003), gleichermaßen kostenintensive GPS-Geräte, die aktiv unter Besuchern verteilt werden müssen sowie empirische Sozialforschungsmethoden wie etwa Umfragen oder Beobachtungen von Personen.

Im Unterschied zu den genannten Erfassungsmöglichkeiten wird im Folgenden ein Projekt vorgestellt, welches darauf abzielt, zusammenhängende und detaillierte Mobilitätsmuster von Besuchern in einem abgegrenzten Areal kostengünstig zu erheben. Dabei wird die Bluetooth-Erfassung angewendet, die wetterunabhängig sowohl im Indoor- als auch im Outdoor-Bereich ohne großen Aufwand installiert werden kann. Zudem muss dem Besu-

cher zur Erfassung kein spezielles Gerät übergeben werden, da private Endgeräte mit aktiviertem Bluetooth erfasst werden. Übergeordnetes Ziel ist es, den Duisburger Zoo in seinem Marketing zu unterstützen, indem neue Erkenntnisse – nämlich die Bewegungsprofile von Besuchern – dazu genutzt werden, die Standortwahl und -bewertung neuer bzw. bestehender Gehege (Attraktionen) und die Errichtung neuer Wegabschnitte zu bestimmen sowie neue Besucherführungen zu erstellen.

2 Forschungsfragen

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit zwei Bereichen, den ortsgebundenen Analysen (1) und den weggebundenen Analysen (2). Erstere betrachten Attraktionen, die mit Bluetooth-Sensoren gesehen wurden, und zielen darauf ab, folgende Fragen zu beantworten:

- Wie häufig und wie lange werden Attraktionen besucht?
- Bestehen raumzeitliche Zusammenhänge bezüglich der Besucherfrequenz von Attraktionen?

Ziel der ortsgebundenen Analysen ist es, einen Attraktivitätsfaktor einzelner Attraktionen zu bestimmen, um dadurch einen besseren Überblick darüber zu erhalten, welche Standorte häufig und welche weniger häufig frequentiert werden. Dabei wird untersucht, wieviele Besucher einen Standort besuchen, und des Weiteren, wie lange Besucher dort durchschnittlich verweilen. Weiterhin sollen Frequenzinformationen von Attraktionen mit denen anderer Attraktionen daraufhin verglichen werden, ob etwa kausale Zusammenhänge zwischen ihnen existieren, wie beispielsweise Fluktuationen von Besucherzahlen, die an einer Attraktion in einem temporären Abschnitt steigen können, während sie gleichzeitig an einer zweiten Attraktion fallen.

Neben ortsgebundenen Analysen an unterschiedlichen Punkten des Zoos wird im zweiten Schritt die Mobilität im Untersuchungsgebiet, also im weiteren Sinne die raumzeitliche Dynamik von Besucherfrequenzen der Attraktionen, untersucht. In diesem Kontext lässt sich, wie eingangs erläutert, ein Vorteil des Bluetooth-Tracking nochmals erwähnen. Dadurch, dass ein Endgerät eines Besuchers mit aktiver Bluetooth-Funktion einen eindeutigen „Identifizier“ besitzt, ist es nicht nur möglich, ortsgebundene Analysen an gewissen Standorten vorzunehmen, sondern radiusübergreifende Mobilitätsmuster von Besuchern im gesamten Untersuchungsraum zu erkennen. Der Fokus dieser zweiten Kategorie von Analysen ist darauf gerichtet, folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Wege werden besonders häufig genutzt?
- Lassen sich Mobilitätstrends in gewissen wiederkehrenden Zeitfenstern erkennen?
- Existieren typische Wege durch den Zoo?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde das Projekt in mehrere Schritte aufgeteilt, die in den folgenden Kapiteln im Detail dargestellt werden. Kapitel 4 soll einen kurzen Überblick über verwandte Arbeiten, die sich ebenso mit Mobilitätsanalysen beschäftigt haben, geben. Im nächsten Schritt wird in Kapitel 5 ff. das Areal des Duisburger Zoos beschrieben, die Bluetooth-Technologie erklärt sowie notwendige Schritte der Datenaufbereitung erläutert. Abschließend wird eine Auswahl von Ergebnissen präsentiert.

3 Verwandte Arbeiten

Im Kontext dieses Projekts werden verwandte Arbeiten vorgestellt, die grundsätzlich dasselbe Ziel verfolgen: die Analyse der Mobilität von Personen. In diesem Zusammenhang hat der Leipziger Zoo Besucher mit GPS-Geräten ausgestattet, um Informationen über die Laufwege, Verweildauer an Gehegen und Informationen über ihre Besucherführungen zu erhalten (CZAPLICKI 2009). Während in dem Leipziger Projekt Freiwillige mit GPS-Geräten ausgestattet wurden, wurden in dem hier vorliegenden Projekt private Mobiltelefone der Besucher erfasst. Durch Verwendung von mehreren Bluetooth-Sensoren (BRUNO & DELMASTRO 2003), die die Anwesenheit von Bluetooth-Geräten (und damit der Personen) in Sensornähe protokollieren, kann eine zellbasierte Ortung der Personen erfolgen. Bei dieser Form der Ortung, in FULLER (2009) ausgeführt, wird eine Person in einem Funkzellen-Netzwerk (auch bei überlappenden Empfangsbereichen) genau einer diskreten Funkzelle (in unserem Fall einem Bluetooth-Sensor) zugewiesen. Diese Form der Ortung ist ebenfalls in Wireless-Network und Mobilfunknetzen möglich, erfordert dort jedoch Eingriffe in bestehende Infrastrukturen und kann im Fall von Mobilfunkdaten auch mit Eingriffen in die Privatsphäre verbunden sein. Ein Projekt, welches in vergleichbarer Weise zu dieser Arbeit, denselben Ansatz zum Erfassen von Personen nutzte, wurde von Studierenden der Amsterdamer Universität im Jahr 2005 durchgeführt. Das Ziel ihres Projekts war es, Reisende über drei bedeutende Bahnhöfe in den Niederlanden anhand von Bluetooth-Tracking zu verfolgen. Dazu wurden Bluetooth-Geräte, zwei in Amsterdam und eines in Utrecht Centraal, aufgebaut, welche über mehrere Tage Mobiltelefone erfasst haben. Mit den Erhebungen war es ihnen möglich, über den Tag dieselben Reisenden an allen drei Bahnhöfen zu erfassen (PELS et al. 2005). Andere Projekte wie das der Salzburg Research Forschungsgesellschaft nutzten die Bluetooth-Technologie ebenfalls, um Personenströme während des Donauinselfestes zu rekonstruieren (LEITINGER et al. 2010). Ebenso hat sich das Fraunhofer IAIS mit der Mobilität in Großevents beschäftigt, um die Frequenz einzelner Attraktionen zu messen sowie Fluktuationsströme von Besuchern zwischen Standorten zu bestimmen. Hierbei wurden neuartige Filteralgorithmen entwickelt, um anhand der Signalstärke von doppelten Messungen verschiedener Sensoren bestimmen zu können, welchem Sensor ein Besucher letztendlich zugeordnet wird (STANGE et al. 2011).

4 Der Arbeitsablauf im Projekt

Für die Wissensextraktion der erhobenen Daten beruht das Projekt auf dem Hintergrund des *Knowledge-Discovery-Prozesses* (FAYYAD et al. 1997) und beschreibt vier konsekutive Schritte. Der erste Schritt umfasst eine effiziente und wirtschaftliche Standortplanung der begrenzten Anzahl von Bluetooth-Sensoren im 16 Hektar großen Duisburger Zoo. Wirtschaftlich musste sie daher sein, weil die Anzahl der Bluetooth-Sensoren einem strikten Projektbudget unterlag; so musste die Standortplanung notwendigerweise effizient geplant sein, da eine vollständige Abdeckung nicht realisierbar war. Folglich wurden im ersten Schritt neuralgische Standorte in Bezug auf Besucherströme im Zoo identifiziert. Die anschließende Datenerhebung erfolgte vollautomatisch, musste jedoch gewissen Richtlinien des Datenschutzes unterliegen und wurde daher mit Verschlüsselungsverfahren entsprechend kodiert. In Anlehnung an die Datenerhebung wurden die Daten in eine gewisse Form aufbereitet, um im letzten Schritt des *Knowledge-Discovery-Prozesses* neue Mobilitätskenntnisse im Rahmen von Analysen extrahieren zu können (siehe Abbildung 1).



Abb. 1: Der Arbeitsablauf dieses Projekts im *Knowledge Discovery Prozess*

4.1 Areal und Standortplanung

Der Projektzeitraum umfasste insgesamt sieben Tage im Juli und August 2011. Für die ortsgebundenen Analysen wurden Sensoren erstens sowohl an Gehegen und gastronomischen Einrichtungen als auch an den beiden Ein- bzw. Ausgängen installiert. Weiterhin wurden wichtige frequenzstarke Knotenpunkte im Zoo mit Geräten versehen, um im Anschluss zweitens die Laufweg-Analyse durchzuführen. Daher wurden die Sensoren in drei Kategorien klassifiziert und in Abbildung 2 ihrer Lage entsprechend markiert. Sensoren an Ein- bzw. Ausgängen sind mit einem Kreuz-Symbol dargestellt, Sensoren in Gehegen bzw. Kioske sind weiß mit einem runden schwarzen Rand und Sensoren an Wegen sind dunkelgrau mit einem runden weißen Rand dargestellt. Geräte, ausgestattet mit 20-m-Sensoren, sind mit einem Quadrat symbolisiert, 100-m-Sensoren mit einem Kreis. Die im Gebäude installierten Geräte wurden absichtlich mit 20-m-Sensoren ausgestattet, um weitestgehend Besucher im Gebäude und nicht die am Gebäude entlanglaufenden Personen zu erfassen.



Abb. 2: Arealübersicht mit Bluetooth-Sensoren-Standorte

4.2 Datenerhebung und -aufbereitung

Für die Erfassung von Besuchern wurde ein vom *Fraunhofer-Institut für intelligente Analyse- und Informationssysteme* bereitgestellter Mini-Computer verwendet. Dieser ist angelehnt an BRUNO & DELMASTRO (2003) und besteht aus einem Einplatinen-Microcomputer, welcher u. a. mit SD-Karten-Slot und drei USB 2.0 Anschlüssen versehen ist. Drei Bluetooth-Adapter sind daran angeschlossen, die wahlweise einen theoretischen Radius von 20 bzw. 100 Metern erfassen können. Praktisch kann davon ausgegangen werden, dass die Sensoren einen Umkreis von fünf bis zehn bzw. 20-30 Metern abdecken. Durch Einsatz von drei Adaptern pro Bluetooth-Sensor reduziert sich das theoretische Scan-Intervall von zehn auf drei Sekunden, in denen aktiv nach einem Endgerät mit aktiviertem Bluetooth gesucht wird. Gründe für die Verwendung dieser Technologie sind vielfältig. In erster Linie ist die Einsatzfähigkeit der Geräte unkompliziert, da lediglich Strom in Form von Batterie oder Netzanschluss vorhanden sein muss. Weiterhin beschreibt diese Technologie eine kostengünstige Variante für Mobilitätserfassungen; sie ist unsensibel gegenüber Witterungseinflüssen und Helligkeitsunterschieden und bedarf keiner Wartung. Darüber hinaus müssen für die Erfassungen von Personen keine Geräte wie etwa GPS-Sender an Besucher verteilt werden, da private Mobiltelefone erfasst werden.

Bei erfolgreicher Erfassung eines Mobiltelefons speichert das aktive Programm jeweils eine Zeile in eine Text-Datei, die auf der SD-Karte abgelegt wird. Jeder Eintrag besteht zunächst aus einem Datum einschließlich Uhrzeit, einer Gerätenummer des Bluetooth-Sensors (Standort), eine verschlüsselte ID mit Herstellerkennung des jeweilig erfassten Mobiltelefons sowie die Signalstärke:

```
[Zeitstempel][Bluetooth_Sensor_ID][Verschlüsselte ID][Signalstärke];
```

Aus Datenschutzgründen wurden alle MAC-Adressen bei Erfassung in verschlüsselte IDs transformiert, um dadurch Rückschlüsse auf die jeweiligen Personen zu verhindern. Dabei wurde eine Einweg-Hashfunktion, ein spezielles Verschlüsselungsverfahren (NIST 2002), implementiert. Da Bluetooth-Antennen nicht nur in Mobiltelefonen integriert sind, sondern beispielsweise in Computer, Headsets und Navigationsgeräten (die ebenso erfasst wurden), spielten die Anfangskennungen der MAC-Adressen in der Datenaufbereitung eine Rolle und wurden daher im Verschlüsselungsverfahren nicht transformiert. Daraus folgt, dass nur die letzten acht Zeichen jeder erfassten MAC-Adresse mit dem Verschlüsselungsalgorithmus in ein unumkehrbares Ergebnis verschlüsselt sind. Demnach sieht eine verschlüsselte MAC-Adresse wie folgt aus:

```
[00:02:EE:][dd421d711855c5ac1cb984f23dc130f6];
```

In dem Projektzeitraum wurden ca. 150.000 Rohdaten aufgezeichnet, die sich auf etwa 2.000 unterschiedliche Endgeräte aufgeteilt haben. Davon konnten jedoch nicht alle Daten in den jeweiligen Analysen verwendet werden, da die Endgeräte nicht alle während des gesamten Zoo-Besuchs erfasst wurden, sondern aus verschiedenen Gründen nur teilweise. Einerseits wurde oftmals die Bluetooth-Funktion bzw. das Mobiltelefon während des Aufenthaltes im Zoo ausgeschaltet, andererseits bewegten sich Besucher häufig in toten Winkeln, also in nicht abgedeckten Sensorbereichen. Um zu bestimmen, wie hoch der Prozentsatz des erfassten Anteils von Besuchern ist, wurde eine Gegenüberstellung der erhobenen Datenmenge und den tatsächlichen Besuchermengen vorgenommen. In dieser Berechnung sind alle Personen, die eine minimale Verweildauer von 30 Minuten und eine maximale

von zehn Stunden aufweisen, berücksichtigt. Die von den Bluetooth-Sensoren erfasste Stichprobe von Besuchern umfasste im Durchschnitt 6 % der Grundgesamtheit.

4.3 Raumzeitliche Zusammenhänge von Attraktionen

Zur Analyse der ortsgebundenen Fragestellungen ist es das Ziel, raumzeitliche Zusammenhänge von Besucherzahlen an unterschiedlichen Standorten zu identifizieren. Betrachtet wurden eindeutige Besucher-IDs. Es wurden Besucherzahlen stark-frequenter Attraktionen im Tagesverlauf gegenübergestellt und in halbstündlichen Zeitfenstern dargestellt. In diesem Zusammenhang wurden insgesamt vier Gehege mit hohen Besucherzahlen analysiert, und zwar das Delfinarium, das Äquatorium, das Aquarium und das Koalahaushaus. Für diese vier Attraktionen wurden fünf Tage im Projektzeitraum betrachtet, an denen Delfinarium-Vorführungen an allen Tagen zur selben Uhrzeit – insgesamt vier an der Zahl – stattfanden. Dabei wurde die Besucheranzahl dieser fünf Tage für den jeweiligen Standort gemittelt und in 30-Minuten Intervallen aggregiert und abgebildet (siehe Abbildung 3).

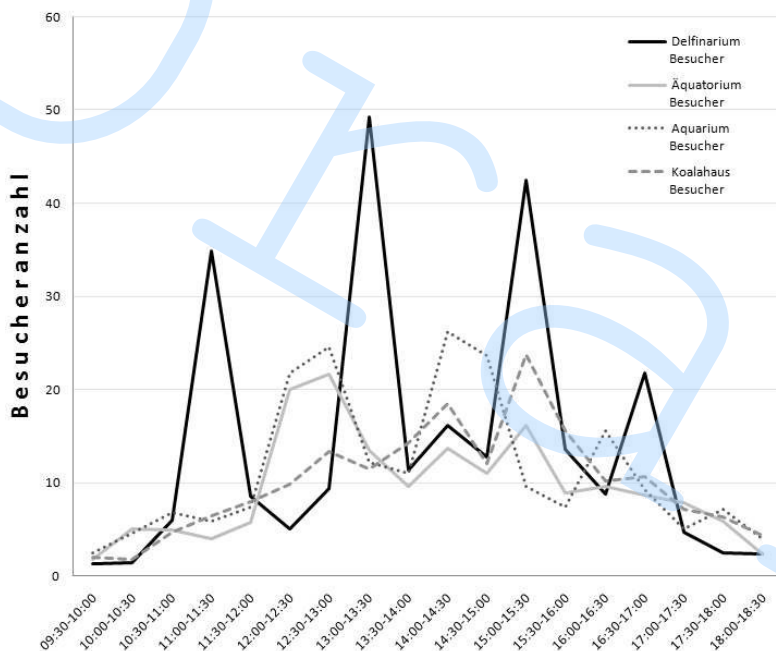


Abb. 3: Gegenüberstellung Besucherzahlen von vier Gehegen im Tagesverlauf

Während die Besucherzahlen am Delfinarium zu den Vorführungen ansteigen, nehmen gleichermaßen die Besucher im Aquarium und Äquatorium ab. Genauso steigen die Besucherzahlen am Äquatorium und Aquarium an, sobald die Delfinarium-Vorführung endet. Einen klar erkennbaren Zusammenhang zwischen den Besucherzahlen des Delfinariums und denen des Koala-Hauses lässt sich jedoch nicht erkennen, welcher sich durch die große räumliche Distanz zwischen Koalahaushaus und Delfinarium erklären lässt.

4.4 Standort-Sequenzen-Analyse von Trajektorien

Zur wegebundenen Analyse sind zusammenhängende Bewegungsprofile von Besuchern zwischen mehreren Standorten von Interesse. Diese werden raumzeitlich als Trajektorien dargestellt und bestehen aus Sequenzen, da Besucher während des Aufenthalts verschiedene mit Scannern versehene Standorte ablaufen. Diese Standort-Sequenzen bestehen also aus einer zeitlichen Reihenfolge von Erfassungen und fallen dabei ganz unterschiedlich aus, da Besucher individuelle Wege durch das Areal wählen. Ziel ist es, Muster von Standort-Sequenzen zu finden, die dadurch zustande kommen, dass mehrere Personen denselben Weg durch den Zoo ablaufen. Dazu muss zuvor der Datensatz entsprechend aufbereitet werden. In Rohform beinhaltet ein Datensatz eines Mobiltelefons mehrere Erhebungen pro Standort, da alle drei Sekunden ein Scan-Vorgang gestartet wird. Ein Beispiel wäre:

[1-1-3-3-3-3-9-9-9-9-9-9-10-10-10-10-10-10-14-14-14-12-12-12-12];

Es muss jedoch eine Sequenz aus eindeutigen Standorten gebildet werden und nicht eine, die unterschiedliche Standorte mehrmals auflistet. Folglich wird die zeitliche Sequenz aus der ersten Erfassung pro Standort einer Trajektorie gebildet, in diesem Fall:

[1-3-9-10-14-12];

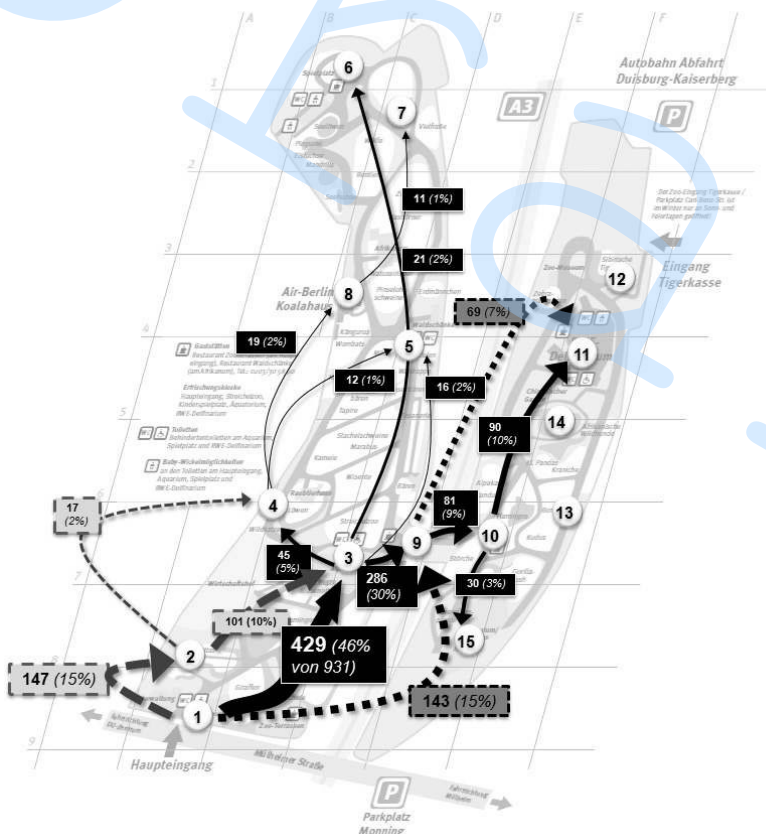


Abb. 4: Standort-Sequenzen beginnend am Haupteingang

Datenbasis in Abbildung 4 sind 931 Besucher; und zwar die Personen, die sowohl beim Eintritt als auch beim Verlassen des Zoos erfasst wurden. Die Pfeile stellen Abfolgen von Sequenzen dar. In der Klammer wird auf die Anzahl der Besucher und deren Prozentsatz

der Datenbasis verwiesen. Betrachtet sind nur Standort-Sequenzen von Besuchern, die am Haupteingang des Zoos beginnen. Der Grund dafür ist, dass vermehrt Gemeinsamkeiten in den Anfängen der Trajektorien, also zu Beginn des Aufenthalts von Besuchern im Zoo existieren. Diese werden nach allmählichem Fortschreiten des Besuchs immer diverser, da gewählte Routen von Besuchern zum Großteil sehr individuell sind. Folglich enden Trajektorien nicht an dem Ort, wo keine Pfeile mehr dargestellt sind, sondern am Hauptausgang. Auffällig ist, dass der Großteil der Besucher direkt zum Aquarium (3) läuft, das Kattas-Gehege nicht besucht (grau-strichelte Sequenzen), und ihren Weg im Anschluss Richtung Delfinarium (11) im östlichen Areal fortsetzt, während nur wenige nach Aufenthalt im Aquarium (3) in der westlichen Arealhälfte verweilen (schwarze Sequenzen). Deutlich wird auch, dass nicht wenige Besucher auf schnellstem Wege das Delfinarium (11) aufsuchen, was wahrscheinlich durch die zeitlich festgelegten Delfin-Vorführungen bedingt ist (schwarz-gestrichelte Sequenz).

4.5 Ein typischer Weg durch den Zoo

Die Diversität von unterschiedlichen Sequenzen bedeutet nicht zwangsläufig, dass es ausschließlich Gemeinsamkeiten von Trajektorien in Teilsequenzen dieser gibt. Denn das Ziel dieser Analyse ist es, die meistbelaufene Route zu definieren. Dabei wurden Trajektorien von Besuchern betrachtet, die sowohl an einem Eingang beginnen als auch an einem Ausgang enden und dazwischen keine zeitlichen Lücken aufweisen. Durch Hinzunahme der Ergebnisse, wie die Attraktivität von Attraktionen oder die Frage, welche Wege zu welchen Uhrzeiten am Meisten belaufen werden, konnte vermutet werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines typischen Aufenthalts in zeitlicher Reihenfolge durch Aufenthalte am Haupteingang, Aquarium, Delfinarium, Äquatorium, Koala-Haus, nördlichen Kiosk und schließlich am Hauptausgang definiert wird (*was nicht bedeutet, dass keine weitere Gemeinsamkeiten von typischen Wegen existieren*). Diese Abfolge wurde auf Datensätzen, die sowohl am Haupteingang starten als auch enden, mit folgendem Ergebnis geprüft. Das Sequenzmuster [Haupteingang; Aquarium; Delfinarium; Äquatorium; Koala-Haus; nördlicher Kiosk; Hauptausgang] findet sich bei 112 von 561 Besuchern wieder und verweist auf eine beliebte Route durch den Zoo.

Als typischer Weg wird dieser mit durchschnittlichen Aufenthalten an jeweiligen Standorten und durchschnittlichen Transferzeiten zwischen Standorten im nachstehenden *Space-time-cube* (Abbildung 5) visualisiert. Nach HÄGERSTRAND (1982) spannt in dieser Abbildungsform die Zeit eine dritte Dimension über den zweidimensionalen geographischen Raum auf. Im Allgemeinen wird eine Trajektorie in dem entstehendem dreidimensionalen Kubus durch eine Linie dargestellt. Da es sich in dieser Arbeit jedoch um zellbasierte Daten handelt, deren Lücken nicht durch Routing geschlossen sind, stellt Abbildung 5 einen typischen Weg durch den Zoo als alternierende Sequenz von Aufenthalten (dargestellt durch Zylinder) und Transitionen (von Linien repräsentiert) dar.

5 Fazit und Ausblick

Das Gesamtziel dieser Arbeit war es, unter Berücksichtigung der Privatsphäre von Personen Aspekte der Mobilität von Besuchern im Duisburger Zoo mittels Bluetooth-Technologie zu bestimmen. Wo zuvor lediglich über Ticketverkäufe Aussagen getroffen

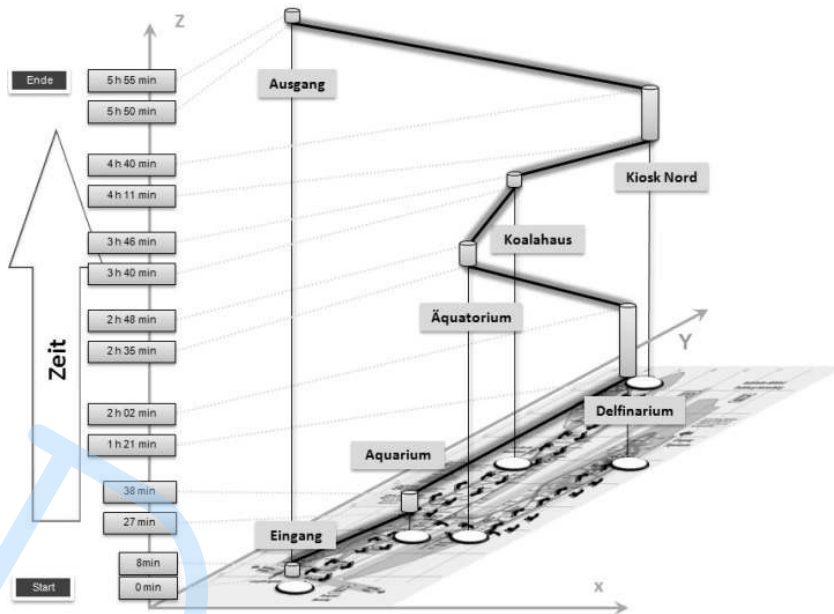


Abb. 5: Ein typischer Weg durch den Zoo veranschaulicht im *Space-time-cube*

werden konnten, wie viele Personen im Areal sind, liefern die Antworten auf die eingangs formulierten Fragestellungen wertvolle Erkenntnisse der Mobilität in einer abgegrenzten Testumgebung (Mikrokosmos). Denn für einen Zoo als Entscheidungsträger sind Informationen über ihre Besucher in Bezug auf Bewegungsmuster eine wichtige, insbesondere ökonomische Komponente. Daher sollte dieses Projekt auch dazu beitragen, infrastrukturelle Aufwertungen und Veränderungen im Zoo in Zukunft zu unterstützen. Praktisch umgesetzt durch den *Knowledge-Discovery-Prozess* wurden zwei Stränge von Fragestellungen beantwortet. Während in den standortbezogenen Fragestellungen die Attraktivität von Gehegen bestimmt wurde, lag das Hauptaugenmerk in diesem Fachbeitrag auf den Bewegungsprofilen von Besuchern des Duisburger Zoos. Dabei wurden nur Trajektorien, die am Haupteingang beginnen, betrachtet, da Routen im allmählichen Fortschreiten des Besuchs stets diverser werden. Des Weiteren wurde identifiziert, welche Route besonders oft gewählt wird, indem Häufigkeiten von gleichen Trajektorien über mehrere beliebte Standorte hinweg aufsummiert wurden. Das Projekt konnte dadurch dazu beitragen, Bewegungsmuster von Besuchern anhand von *Bluetooth-Tracking* im Duisburger Zoo detailliert zu erkennen.

Für zukünftige Projekte kann ein in dieser Arbeit ausgeblendeter Aspekt aufgegriffen werden, welcher durch weitere ausgiebige Forschung zur qualitativen Erweiterung der Erkennung von Bewegungsmustern beitragen kann. Denn für räumlich genauere Standortbestimmungen im Radius eines Bluetooth-Sensors sind Berechnungen anhand der Signalstärken möglich. In diesem Kontext ergibt sich die Motivation, beispielsweise Besucherzahlen an verschiedenen Eingängen eines Geheges durch Hinzunahme weiterer Bluetooth-Sensoren differenziert zu betrachten. Des Weiteren stößt man auf Schwierigkeiten bei der Frage nach der Repräsentativität der Stichprobe. Ziel wäre dann, dass die erhobene Stichprobe als ein Abbild der Grundgesamtheit gilt. Dazu müssen jedoch zuvor qualitative Umfragen durchgeführt werden, da im Moment nicht bekannt ist, ob die Heterogenität der Stichprobe der Heterogenität der Grundgesamtheit entspricht. Trotz dieser Einschränkungen kann insgesamt als Ergebnis festgehalten werden, dass das vorliegende Projekt nicht nur verwandte Untersuchungen methodisch fortführt, sondern diese grundsätzlich insbesondere im Hin-

blick auf die Bewegungsprofile in einem Mikrokosmos erweitert. So stellt es auch eine Grundlage dar, an die die weitere Forschung mit den genannten Erweiterungen innovativ anschließen kann. Ebenfalls beweist dieses Projekt, dass die Bestimmung der Mobilität in Mikrokosmen anhand einer kostengünstigen und leicht einsetzbaren Technologie – wie die des *Bluetooth-Trackings* – möglich ist.

Danksagung

Hiermit möchten wir uns beim Duisburger Zoo für die freundliche Unterstützung und ebenfalls für die Publikationserlaubnis dieses Projekts bedanken.

Literaturverzeichnis

- BRUNO, R. & DELMASTRO, F. (2003), Design and Analysis of a Bluetooth-based Indoor Localization System. In: Personal Wireless Communications, IFIP-TC6 8th International Conference, PWC 2003, 711-725.
- CUCCHIARA, R., GRANA, C., PICCARDI, M. & PRATI, A. (2003), Detecting Moving Objects, Ghosts and Shadows in Video Streams. In: IEEE Computer Society, Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25 (10), 1337-1341.
- CZAPLICKI, A. (2009), Nutzung von GPS-Daten. Analyse der Besucherwege des Leipziger Zoos. In: KÖNIG, C., STAHL, M. & WIEGAND, E. (Hrsg.), Gesis. Nicht reaktive Erhebungsverfahren. Bonn, 73-81.
- FAYYAD, U., PIATETSKY-SHAPIRO, G. & SMYTH, P. (1997), From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. In: AI Magazine – Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 3, 37-54.
- FULLER, R. (2009), Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments. In: Tutorial on Location Determination by RF Means. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.
- HÄGERSTRAND, T. (1982), Diorama, path and project, In: Royal Dutch Geographical Society, Journal of Economic and Social Geography, 73, 323-339.
- LEITINGER, S., GRÖCHENIG, S., PAVELKA, S. & WIMMER, M. (2010), Erfassung von Personenströmen mit der Bluetooth-Tracking-Technologie. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2010. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, 220-225.
- NIST – Institute Of Standards and Technology, Secure Hash Standard. Washington. Federal Information Processing Standard 180-2. <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips180-2/fips180-2withchangenotice.pdf> (06.04.2012).
- PELS, M., BARHORST, J., MICHELS, M., HOBBO, R. & BARENDSE, J. (2005), Tracking People Using Bluetooth, Implications of Enabling Bluetooth Discoverable Mode, University of Amsterdam.
- STANGE, H., LIEBIG, T., HECKER, D., ANDRIENKO, G. & ANDRIENKO, N. (2011), Analytical Workflow of Monitoring Human Mobility in Big Event Settings Using Bluetooth. In: Proceedings of the 3rd International Workshop on Indoor Spatial Awareness, 51-58.