

# Ableitung von Präferenzen aus GPS-Trajektorien bei landschaftsbezogenen Erholungsaktivitäten

Johannes Schamel

Julius-Maximilians-Universität Würzburg · johannes.schamel@uni-wuerzburg.de

Full paper double blind review

## 1 Einleitung

Die Kenntnis über die raumzeitliche Verteilung von Besuchern ist als Basisinformation für viele Schutz- und Erholungsgebiete elementar für die Durchführung von Besuchermanagementmaßnahmen sowie die Infrastrukturplanung. Die Erfassung der raumzeitlichen Verteilung in Erholungsgebieten erfolgte in den letzten Jahren zunehmend durch GPS-Tracking, welches die bislang gängige Methode der „time-space-budgets“ ersetzt (BEECO & HALLO 2014).

Neben der bloßen Darstellung der raumzeitlichen Verteilung der Besucher im Erholungsgebiet können die GPS-Trajektorien, indem sie mittels GIS in semantische Trajektorien überführt werden, zusätzlich genutzt werden, um die Präferenzen der Besucher in Bezug auf die naturräumliche sowie infrastrukturelle Ausstattung eines Gebietes aufzudecken. Hinsichtlich möglicher planerischer Implikationen sind darüber hinaus Differenzierungen von Subgruppen, beispielsweise basierend auf soziodemographischen Merkmalen, elementar, um zu einem effektiven Management von Erholungs- und Schutzgebieten beitragen zu können.

In diesem Beitrag werden zunächst die spezifischen Vor- und Nachteile des GPS-Trackings zur Erfassung der raumzeitlichen Verteilung von Besuchern in Schutz- und naturnahen Erholungsgebieten dargestellt. Darauf aufbauend wird die Postprozessierung von GPS-Daten erläutert und die Überführung von GPS-Daten in semantische Trajektorien anhand von Besucherdaten des Nationalparks Berchtesgaden vorgestellt. Schließlich erfolgt eine exemplarische Analyse der stationären Aktivitäten (Stoppes) der Nationalparkbesucher, bevor im abschließenden Kapitel die Möglichkeiten weitergehender Modellierungsansätze kurz skizziert werden.

## 2 Ableitung von Präferenzen aus GPS-Trajektorien

### 2.1 GPS als Methode zur Bestimmung des raumzeitlichen Verhaltens

Die zunehmende Verbreitung der GPS-Methodik ist auf eine Reihe von Vorteilen gegenüber alternativen Methoden zurückzuführen. Durch die Positionsbestimmung mittels GPS können Daten in sehr detaillierter räumlicher und zeitlicher Auflösung gewonnen werden. Die räumliche Genauigkeit ist dabei unabhängig von der Ortskenntnis sowie der Motivation der teilnehmenden Probanden (HALLO et al. 2005). Durch die hohe Genauigkeit der Datenerfassung lassen sich Bewegungsparameter wie die Geschwindigkeit, die Dauer von Stopps

sowie die Aufenthaltszeiten und Strecken abseits des Wegenetzes berechnen, die mit anderen Methoden nicht zu erzielen sind oder mit großen Unsicherheiten verbunden sind (TACZANOWSKA et al. 2008, 454).

Gegenüber anderen Methoden wie der direkten Beobachtung, oder den „space-time-budgets“, ist das GPS-Tracking zudem weit weniger intrusiv. Die Probanden sind, anders als beispielsweise bei Tagebüchern, nicht gezwungen sich während der Aktivitäten im Gebiet mit dem Erhebungsinstrument zu beschäftigen. Der geringe Grad an Intrusivität äußert sich zum einen in einer höheren Bereitschaft der Befragten an der Studie teilzunehmen, zum anderen sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass die Teilnehmer ihr Verhalten aufgrund der Studienteilnahme ändern (BAUDER 2012, 423).

Dem hohen Maß an zeitlicher und räumlicher Genauigkeit steht bei GPS-Studien im Bereich der Forschung zum Thema „outdoor recreation“ das Problem fehlender Werte oder stark verrauschter Signale gegenüber. Fehlende Werte sind nicht nur hinsichtlich der Gewinnung ausreichender Stichproben problematisch, sie stellen insbesondere dann ein Problem dar wenn sie nicht zufällig verteilt sind, sondern in einem systematischen Zusammenhang zu einem inhaltlichen Aspekt der Erhebung stehen. Technisch bedingte fehlende Werte treten bei GPS-Studien oftmals in Gebieten mit schwierigen Empfangsbedingungen wie engen Talräumen mit dichter Waldbedeckung auf, wo aufgrund der größeren Abschattung weniger Satelliten für den Empfänger sichtbar sind (HALLO et al. 2012, 594). Auch die Höhe der Mehrwegeeffekte nimmt in Umgebungen mit einem hohen Reflexionsgrad wie z. B. in Felsbereichen zu. Der Grad der Unsicherheiten des GPS-Signals bzw. fehlender GPS-Signale sind demnach nicht zufällig im Gebiet verteilt, sondern räumlich konzentriert auf Gebiete mit schwierigen Empfangsbedingungen (HALLO et al. 2005, 176). Dieser Aspekt der Ungleichverteilung fehlender Werte wurde bisher in GPS-basierten Studien nicht ausreichend thematisiert. Durch den Ausschluss von Fällen aufgrund von fehlenden Werten sind Trajektorien, die durch Gebiete mit schwieriger Empfangsqualität, also beispielsweise durch waldbedeckte, enge Talräume führen, in der Stichprobe systematisch unterrepräsentiert, was bei weitergehenden Analysen zu Fehlschlüssen führen kann.

Schwierige Empfangsbedingungen wirken sich nicht nur auf die Anzahl von fehlenden Werten aus, sondern auch auf die Genauigkeit der Positionsbestimmung. Besonders bei der Ableitung von Bewegungsparametern aus GPS-Trajektorien muss diese Unsicherheit bereinigt werden, um zu validen Ergebnisse zu gelangen (DECESARE et al. 2005, 808).

Ein weiteres Problem bei GPS-Studien, insbesondere bei offenen, komplexen Wegesystemen mit mehreren Ein- und Ausgangspunkten, besteht in der Logistik der Ausgabe, Ladung und Rückgabe der Geräte. Können die Geräte nur an den Ausgabepunkten zurückgegeben werden, so sind Rundwege in den GPS-Tracks überrepräsentiert (TACZANOWSKA et al. 2008, 454). Bei mehrtätigen Untersuchungen müssen die Geräte zudem neu geladen werden und es besteht die Gefahr, dass der Empfänger nicht mitgeführt wird. Falls das Bewegungsmuster innerhalb einer Destination untersucht werden soll, ist auch zu bedenken, dass die Befragten zu Beginn ihres Aufenthalts angetroffen werden müssen. Eine nachträgliche Informationsgewinnung wie bei Befragungen ist hier nicht möglich. Tabelle 1 stellt zusammenfassend die Vor- und Nachteile des GPS-Trackings bei Aktivitäten der landschaftsbezogenen Erholung dar.

**Tabelle 1:** Vor- und Nachteile der Datenaufnahme mit GPS

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weltweite Verfügbarkeit</li> <li>• Hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Daten</li> <li>• Gewinnung neuer Parameter wie Geschwindigkeit oder die Dauer von Stopps sowie Strecken abseits der Wege</li> <li>• Höhere Antwortbereitschaft, wenig intrusive Methodik</li> <li>• Automatisierte Integration in GIS möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten der GPS-Einheiten</li> <li>• Datenverlust/ Bias durch Datenverlust</li> <li>• Logistik der Geräterückgabe, des Ladens/ Möglicher Verlust der Geräte/ Beschränkung der Trackingdauer aufgrund der Batterielaufzeit/ Probanden müssen vor dem Aufenthalt im Gebiet angesprochen werden</li> <li>• Ablehnung aufgrund ethischer Bedenken, Angst vor Überwachung/ Bias in Teilnahmebereitschaft</li> <li>• Mögliche Veränderung des Besucherverhaltens</li> </ul>

(SHOVAL & ISAACSON 2010, 82; WOLF et al. 2012, 26, 2012, 176; HALLO et al. 2005, 176; HALLO et al. 2012, 592; TACZANOWSKA et al. 2008, 454)

## 2.2 Postprozessierung von GPS-Daten

Damit aus den Trajektorien Präferenzen hinsichtlich der naturräumlichen und infrastrukturellen Ausstattung eines Gebietes im Kontext der landschaftsbezogenen Erholung ermittelt werden können, ist eine Postprozessierung von GPS-Daten notwendig, die den Unsicherheiten der GPS-basierten Positionsbestimmung Rechnung trägt. Bisher wird diesem Aspekt in GPS-Studien zur landschaftsbezogenen Erholung kaum Beachtung geschenkt. In anderen Disziplinen wie den Transportwissenschaften haben LIU et al. (2013, 311) und SCHUESSLER & AXHAUSEN (2009, 311) festgestellt, dass die Bereinigung vom GPS-Daten im Wesentlichen bei variabler Reihenfolge aus folgenden Modulen besteht: Datenfilterung und -glättung, Trennung von Aktivitäten und Trips, Bestimmung von Verkehrsmitteln und Map-Matching. Auch KERR et al. (2011) empfehlen weitestgehend ähnliche Schritte auf dem Gebiet der Health Research.

Meist steht am Beginn der Bereinigung die Datenfilterung, bzw. -glättung. BEECO et al. (2013, 151) plädieren in Erholungsgebieten unter anderem für eine visuelle Ausreißererkennung und schlagen dafür folgende Kriterien vor: „1. *Distance from former and next point* 2. *Physical feasibility* (e.g., are points in water or on the same side of a ridge) 3. *Acceptable level of error* (i.e., is the point within a reasonable amount of GPS error) 4. *Pattern of GPS points in space and time* (i.e., is it consistent with human behavior).“

Da bei der landschaftsbezogenen Erholung die Fortbewegung zumeist auf linearen Infrastrukturen stattfindet, ist hier der Map-Matching-Prozess ein effektiver Weg zur Datenglättung und bietet gegenüber anderen Methoden wie gleitenden Durchschnitten den Vorteil, dass die GPS-Trajektorien mit Informationen über das lineare Wegenetz angereichert werden können. Hierbei muss jedoch eine Besonderheit im Verhalten von Wanderern und Spaziergängern berücksichtigt werden. Map-Matching-Algorithmen ordnen normalerweise alle GPS-Punkte dem Straßennetz zu. Fußläufige Personen sind während der landschaftsbezogenen Erholung nicht zwangsläufig an Wege gebunden. Sie können den ausgewiesenen Weg verlassen, um beispielsweise abzukürzen oder einem hohen Besucheraufkommen zu

entgehen. Im Kontext der landschaftsbezogenen Erholung muss es also bei der Durchführung des Map-Matchings möglich sein, dass der Algorithmus die Rohdatenpunkte nicht dem Wegenetz zuordnet, sondern sie als Offroad-Kandidaten unverändert lässt.

Die Ausweisung von stationären Aktivitäten stellt einen weiteren wichtigen Schritt dar, um von GPS-Rohdaten zu semantischen Trajektorien zu gelangen. Für die Auswahl eines geeigneten Algorithmus sind im Wesentlichen die Performance-Indikatoren Anzahl der Stopps, Dauer der Stopps, und Verortung der Stopps sowie die Abhängigkeit von den gewählten räumlichen und zeitlichen Schwellenwerten entscheidend. Die Auswahl geeigneter Schwellenwerte stellt eine große Herausforderung dar, wobei sich kernelbasierte Algorithmen hierbei im Allgemeinen weniger sensitiv zeigen (THIERRY et al. 2013, 536).

Aufgrund der beschränkten Anzahl an Verkehrsmitteln sowie der oftmals räumlich infrastrukturellen Trennung von fußläufigem Verkehr zu motorisiertem Verkehr kann die Trennung der Verkehrsmittel manuell anhand visueller Kontrolle sowie anhand von Geschwindigkeitswerten erfolgen.

Nach der Postprozessierung lassen sich die aufbereiteten Daten über einfache Verschneidungsoperationen mit Geodaten zur infrastrukturellen und naturräumlichen Ausstattung des Gebietes ergänzen. Inwieweit Trajektorien mit semantischen Informationen angereichert werden können, hängt vom Umfang und Detailgrad der Geodatenbank ab, welche die semantischen Informationen enthält. Tabelle 2 zeigt eine Auswahl an denkbaren Attributen, welche aus Trajektorien bei Aktivitäten der landschaftsbezogenen Erholung wie Wandern extrahiert werden können.

**Tabelle 2:** Mögliche Parameter abgeleitet aus semantischen Trajektorien

Bewegungsphasen	Stationäre Aktivitäten (Stopps)
<p><b>Aus GPS-Trajektorie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zurückgelegte Distanz; Gesamtdauer; Durchschnittsgeschwindigkeit, Überwundene Höhenmeter, Anzahl Auf-/Abstiege, Steigung von Wegesegmenten Rundtour vs. Streckenwanderung, Kurvigkeit des Weges,</li> </ul>	<p><b>Aus GPS-Trajektorie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl an Stopps; Dauer je Stopp, Gesamtdauer der Stopps je Wanderung, Zeitpunkt der Stopps im Bezug zur Gesamtdauer der Wanderung</li> </ul>
<p><b>Attribute durch semantische Anreicherung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegschwierigkeit (<i>DAV-Skala: gelb, blau, rot, schwarz</i>)</li> <li>• Markierung des Weges (<i>ausgeschildert, markiert, ohne Markierung</i>)</li> <li>• Frequentierung des Weges</li> <li>• Genutzte Verkehrsmittel</li> <li>• Nutzung durch andere Aktivitäten (<i>Radweg, Forstweg, etc.</i>)</li> <li>• Landnutzung/Vegetation/Höhenstufe entlang des Weges (<i>kollin, montan, subalpin, alpin</i>)</li> <li>• Aussicht/landschaftliche Attraktivität</li> </ul>	<p><b>Attribute durch semantische Anreicherung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rast-/Informations-/Orientierungs-/Transport-/Multifunktionsinfrastruktur</li> <li>• Landnutzung/Vegetation/Höhenstufe/Gipfelbesuche</li> <li>• Aussicht/landschaftliche Attraktivität</li> </ul>

### 3 Analyse von stationären Aktivitäten am Beispiel des Erholungsgebietes Nationalpark Berchtesgaden

#### 3.1 Datenerhebung

Im Folgenden werden Erfahrungen eines Projektes, welches sich mit dem raumzeitlichen Verhalten von Erholungssuchenden im Nationalpark Berchtesgaden beschäftigt, dargelegt. Im Rahmen der Studie wurden im Jahr 2014 an zehn Tagen Besucher mit einem standardisierten Fragebogen befragt und mit einem GPS-Logger des Typs i-blue 747Pro von Transystem ausgestattet. Um zu verhindern, dass nur Personen mit identischen Start- und Zielpunkt befragt werden konnten, wurden die Logger in einem bereits frankierten Umschlag ausgehändigt. Damit konnten auch Befragungsstandorte ausgewählt werden, an denen sich kein geeigneter Rückgabepunkt befand.

#### 3.2 Postprozessierung der GPS-Daten

Im ersten Schritt der Datenaufbereitung wurden Tracks mit fehlenden Werten aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Basierend auf der Empfehlung SHOVAL & ISAACSON (2010, 189) wurde hierfür ein zeitlicher Schwellenwert gewählt. Falls die zeitliche Dauer fehlender Werte über 15 % der Gesamtdauer lag, wurde der Track aus weiteren Analysen ausgeschlossen. Insgesamt konnten letztlich von 633 gesammelten Trajektorien  $n = 535$  verwendet werden (84,5 %). Bei inkludierten Tracks wurden die fehlenden Werte mit der kürzesten Strecke nach DIJKSTRA (1959) interpoliert.

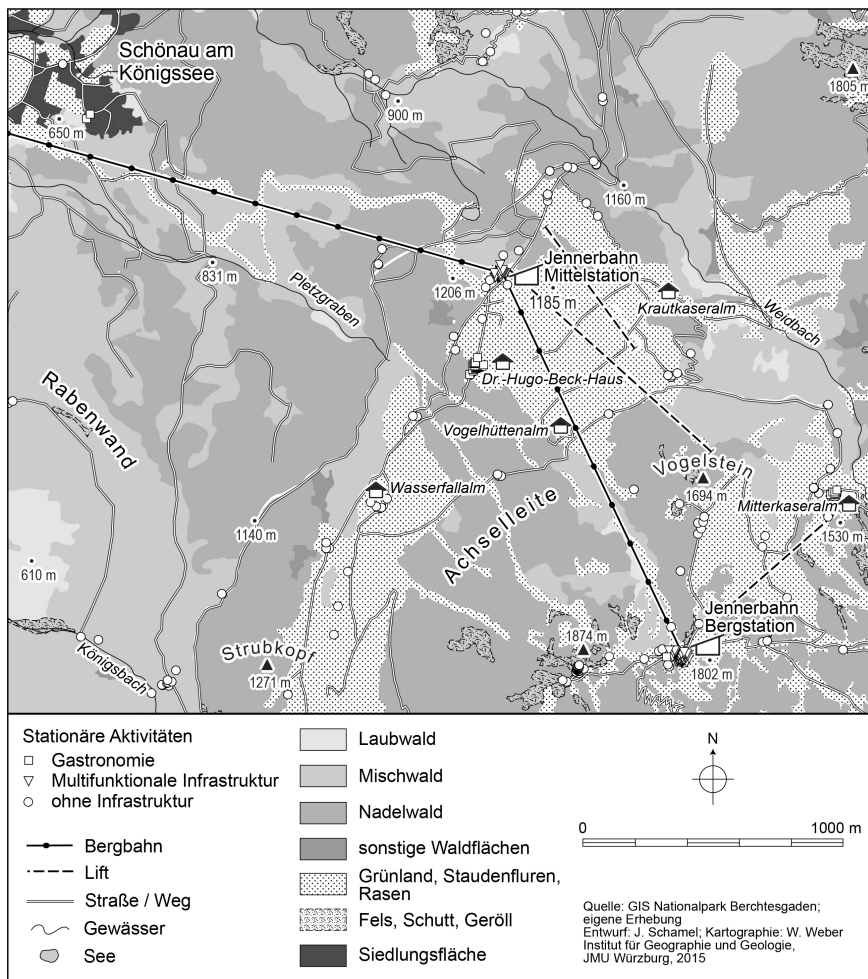
Um systematischen Fehlern in der Positionsbestimmung zu begegnen, wurden die Daten bereinigt. Da sich die Datenfilterung allein basierend auf den HDOP-Werten aufgrund verbreitet vorkommender Mehrwegefehler als nicht praktikabel herausstellte, wurden Ausreißer in den Trajektorien auf Basis einer visuellen Kontrolle identifiziert. Hierbei wurden die von BEECO et al. (2013, 151) definierten Kriterien (vgl. Kapitel 2.2) berücksichtigt. Ausreißer wurden meist entweder kurz nach Start der Logger-Aufzeichnung festgestellt, wenn sich das Gerät kalibrieren musste, während Stopps in Gebäuden oder in Gebieten mit gleichzeitig großer Abschattung und gut reflektierenden felsigen Bereichen, die Mehrwegefehler begünstigten. Dem Zufallsfehler bei der Positionsbestimmung wurde durch Datenglättung im Rahmen des Map-Matchings begegnet.

Für die Detektion von Stopps wurde der Algorithmus von THIERRY et al. (2013) implementiert. Er analysiert dabei nicht die Abfolge der GPS-Punkte, sondern nutzt einen globalen Ansatz, indem er über eine Kerneldichte eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion als Rasteroberfläche konstruiert. Als Mindestdauer für die Abgrenzung eines Stopps wurde der vergleichsweise niedrige Wert von fünf Minuten festgelegt, um Phasen der Orientierung, Erholung, etc. einzuschließen.

Um die Daten zu glätten und mit weiteren Informationen über das Wegenetz anreichern zu können, wurden die GPS-Rohdaten dem Wegenetz zugeordnet. Genutzt wurde hierfür der Map-Matching-Algorithmus von HAUNERT & BUDIG (2012), deren Algorithmus es erlaubt auch mit unvollständigen Wegenetzdaten zu arbeiten. Das heißt, in bestimmten Fällen werden die GPS-Punkte nicht auf das Straßennetz versetzt, sondern bleiben als Offroad-Segmente mit den ursprünglichen Koordinaten erhalten. Der Wanderer hat demnach die Möglichkeit das Wegenetz zu verlassen und querfeldein zu gehen. Bei der Wahl der Para-

meter des Algorithmus wurden die von den Autoren vorgeschlagenen Standardwerte mit zwei Anpassungen übernommen: die Wahrscheinlichkeiten auf dem Wegenetz laufend, dieses zu verlassen und die Wahrscheinlichkeit nicht auf dem Wegenetz, also Querfeldein zu laufen und das Wegenetz anschließend zu betreten, wurde verringert. Es wird also, verglichen mit der Implementierung der Standardparameter, verstärkt davon ausgegangen, dass Wanderungen auf Wegen gegenüber Wanderungen abseits der Wege bevorzugt werden.

### 3.3 Analyse stationärer Aktivitäten



**Abb. 1:** Nutzung von Infrastrukturen während stationärer Aktivitäten

Im Folgenden werden zwei Auswertungsmöglichkeiten von stationären Aktivitäten diskutiert. Abbildung 1 zeigt die aus den Trajektorien bestimmten Stops in einem Ausschnitt des Untersuchungsgebietes des Nationalparks Berchtesgaden. Durch Verschneidungsoperationen konnten die ermittelten Stops mit semantischen Informationen angereichert werden.

Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, ergibt sich eine Konzentration von Stopps an Orten mit erholungsrelevanter Infrastruktur. Aus planerischer Sicht könnten jedoch auch Orte interessant sein, die zwar über eine Vielzahl von Stopps verfügen aber keiner Infrastruktur zuzuordnen sind. Sie könnten geeignet sein, um beispielsweise Informationstafeln aufzustellen.

Für weitergehende Analysen, beispielsweise clusterbasierte Segmentierungsansätze reicht eine visuelle Analyse nicht mehr aus, sondern es ist notwendig numerische Parameter aus den Trajektorien zu gewinnen. Tabelle 3 zeigt die Variation zweier Parameter: die Anzahl an stationären Aktivitäten und die durchschnittliche Dauer einer stationären Aktivität. Es ist ersichtlich, dass der soziale Faktor der Gruppengröße sich primär auf die Anzahl der Stopps je Trajektorie auswirkt. Die durchschnittliche Dauer je Stopp zeigt hingegen wesentlich stärkere Variationen hinsichtlich der Infrastrukturnutzung. So ist die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in der Gastronomie ca. dreimal so lang wie bei Stopps im Gelände ohne Infrastrukturausstattung.

**Tabelle 3:** Semantisch angereicherte stationäre Aktivitäten je Trajektorie

	Personen in der Reisegruppe					Total
	1	2	3	4	>5	
<b>Anzahl an stationären Aktivitäten</b>						
Gastronomie	0,6	0,7	0,6	1,2	1,0	0,7
Transport	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
Multifunktionale Infrastruktur	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
Ohne Infrastruktur	2,7	2,1	3,2	2,7	5,5	2,7
Total	3,6	3,3	4,4	4,7	7,1	3,9
<b>Ø Dauer einer stationären Aktivität (in Minuten)</b>						
Gastronomie	37	39	41	44	49	41
Transport	12	16	18	8	13	14
Multifunktionale Infrastruktur	25	24	30	25	32	26
Ohne Infrastruktur	13	14	12	13	13	13
Total	18	20	18	21	19	20

## 4 Fazit und Ausblick

Der Beitrag zeigt, wie aus Kombination von GPS-Tracking, semantischer Anreicherung und standardisierter Befragung das raumzeitliche Verhalten von Erholungssuchenden beschrieben werden kann. Es lassen sich sowohl die Einflüsse der Gebietskonfiguration als auch die Einflüsse der Charakteristika der Besucher auf das raumzeitliche Verhalten bestimmen. Die hohe Genauigkeit des GPS-Trackings ermöglicht es, Parameter wie die Anzahl und Dauer von stationären Aktivitäten präziser zu bestimmen. Nichtsdestotrotz stellen fehlende Beobachtungswerte im Zuge von Singalverlusten immer noch ein Problem unter

schwierigen Empfangsbedingungen dar und führten zum Ausschluss von einem erheblichen Teil der Trajektorien. Zudem müssen die GPS-Rohdaten einer aufwendigen Postprozessierung unterworfen werden, um zu einer sinnvollen Ableitung von Bewegungsparametern zu gelangen. Durch die Verwendung neuester Datenlogger, die sowohl Signale des GPS-Systems sowie des GLONASS-Systems, als auch perspektivisch von Galileo empfangen können, kann das Problem fehlender Werte in Zuge von Abschattung minimiert werden. Satellite Based Augmentation Systeme (SBAS) wie EGNOS können die Genauigkeit der Positionsbestimmung nochmals steigern, womit eine zuverlässigere Ableitung der Bewegungsparameter erfolgen kann.

Die mit dem vorgestellten Ansatz gewonnenen Informationen können als Basisparameter für weitergehende Modellierungen dienen. So lässt sich beispielsweise die Wanderzeit, die bisher meist auf Näherungsformeln basieren, genauer berechnen. Die dazu notwendigen Geschwindigkeitswerte können in Abhängigkeit der Steigung eines Weges sowie seiner technischen Schwierigkeit ermittelt werden. Durch die subgruppenspezifischen Auswertungen werden Wegezeitberechnungen nach Alter, Finesseinschätzung, etc. ermöglicht. Da die Wanderzeit ein elementares Entscheidungskriterium bei der Tourenwahl ist, könnten zielgruppenspezifische Informationen dabei helfen, Wanderer bei der richtigen Tourenwahl zu unterstützen und damit letztlich auch die Unfallhäufigkeit senken.

Die detaillierten Informationen über das raumzeitliche Verhalten können zudem als Inputparameter für GIS-basierte Multiagentensysteme dienen. Durch die Modifikation der Agenten können diese Systeme die Auswirkungen von veränderten Nachfragestrukturen, beispielsweise steigender Besucherzahlen oder einen zunehmenden Anteil an älteren Besuchern, auf das Erholungs- bzw. Schutzgebiet modellieren.

## Anmerkung

Diese Studie wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Programms Sachbeihilfe (GZ JO 388/9-1) gefördert.

## Literatur

- BAUDER, M. (2012), Erfahrungen aus dem GPS-Tracking individueller Mobilität von Touristen – Konsequenzen für die Weiterentwicklung als neue humangeographische Methode. In: J. STROBL, T. BLASCHKE & GRIESEBNER, G. (Eds.), *Angewandte Geoinformatik 2012*. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, 420-429.
- BEECO, J. A. & HALLO, J. (2014), GPS Tracking of Visitor Use: Factors Influencing Visitor Spatial Behavior on a Complex Trail System. *Journal of Park and Recreation Administration*, 32 (2), 43-61.
- BEECO, J. A., HALLO, J., ENGLISH, W. & GIUMETTI, G. W. (2013), The importance of spatial nested data in understanding the relationship between visitor use and landscape impacts. *Applied Geography*, 45, 147-157.



- DECESARE, N. J., SQUIRES, J. R. & KOLBE, J. A. (2005), Effect of forest canopy on GPS-based movement data. *Wildlife Society Bulletin*, 33 (3), 935-941.
- DIJKSTRA, E. W. (1959), A note on two problems in connexion with graphs. *Numer. Math.*, 1 (1), 269-271.
- HALLO, J. C., BEECO, J. A., GOETCHEUS, C., MCGEE, J., MCGEHEE, N. G. & NORMAN, W. C. (2012), GPS as a Method for Assessing Spatial and Temporal Use Distributions of Nature-Based Tourists. *Journal of Travel Research*, 51 (5), 591-606.
- HALLO, J., MANNING, R., VALLIERE, W. & BUDRUK, M. (2005), A Case Study Comparison of Visitor Self-reported and GPS Recorded Travel Routes. In: USDA (Ed.), *Proceedings of the Northeastern Recreation Research Symposium (General Technical Report, NE-341)*, 172-177.
- HAUNERT, J.-H. & BUDIG, B. (2012), An algorithm for map matching given incomplete road data. In: ACM (Ed.), *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. Redondo Beach, California, 510-513.
- KERR, J., DUNCAN, S. & SCHIPPERIJN, J. (2011), Using global positioning systems in health research: a practical approach to data collection and processing. In: *American journal of preventive medicine*, 41 (5), 532-540.
- LIU, J., ZHENG, H., FENG, T., YUAN & S. LU, H. (2013), Post-processing Procedures for Passive GPS based Travel Survey. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 96, 310-319.
- SCHUESSLER, N. & AXHAUSEN, K. W. (2009), Processing Raw Data from Global Positioning Systems Without Additional Information. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2105 (1), 28-36.
- SHOVAL, N. & ISAACSON, M. (2010), *Tourist mobility and advanced tracking technologies*. Routledge, New York.
- TACZANOWSKA, K., BRANDENBURG, C. & MUHAR, A. (2008), Potential and limitations of gps tracking for monitoring spatial and temporal aspects of visitor behaviour in recreational areas. In: RASCHI, A. & RAMPETTI, S. (Eds.), *Fourth International Conference on Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*, 451-455.
- THIERRY, B., CHAIX, B. & KESTENS, Y. (2013), Detecting activity locations from raw GPS data: a novel kernel-based algorithm. In: *International journal of health geographics*, 12, 14.
- WOLF, I. D., HAGENLOH, G. & CROFT, D. B. (2012), Visitor monitoring along roads and hiking trails: How to determine usage levels in tourist sites. In: *Tourism Management*, 33 (1), 16-28.