

# GIS-gestützte Analyse und Optimierung von Bike-Sharing-Systemen

Matthias BENEDEK, Carolin VON GROOTE-BIDLINGMAIER und Sabine TIMPF  
Geoinformatics Group, Universität Augsburg · matthias.felix.benedek@student.uni-augsburg.de

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

## Zusammenfassung

Bike-Sharing-Systeme (BSS) erweitern in vielen Städten das Mobilitätsangebot. Neben der Frage nach der optimalen Standortwahl für die Stationen gilt es, den Transport der Räder zwischen diesen zu gewährleisten. Dieser ist durch die tageszeitlichen Nachfrageschwankungen, variierende Ausleihzeiten und Einwegnutzungen notwendig, da dem Nutzer trotz allem immer freie Räder zur Verfügung stehen sollen. Dazu ist eine ständige Verlagerung der Räder notwendig, wobei die Kosten dafür minimiert werden müssen. Aus diesem Grund werden Methoden für eine Optimierung erarbeitet und getestet. Diese beinhalten die Positionierung der BSS und die Logistik bezüglich der Verfügbarkeit. Um eine Unterversorgung oder falsche Positionierung zu ermitteln, werden die zugehörigen Einzugsgebiete herangezogen. Anschließend wird eine optimale Route (je nach Bedarf: schnellster oder kürzester Weg) ermittelt, auf der die Räder umpositioniert werden können.

## 1 Einführung

In Konzepten nachhaltiger Stadtentwicklung ist die Reduzierung von Emissionen ein wiederkehrendes Ziel. Zur Erreichung dieses Ziels die Förderung und der Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) von großer Bedeutung. Allerdings schränkt diese Art der Fortbewegung die Individualität der Fahrgäste durch feste Abfahrtszeiten, starre Routen und teils schlecht erschlossene Gebiete ein. Als Alternative kann man das Fahrrad als Fortbewegungsmittel nennen. Dieses trägt weder zur Staubbildung in den Innenstädten bei, noch verursacht es Feinstaub und Lärmemissionen sind vernachlässigbar. Die Attraktivität dieser Alternative wird dabei allerdings durch die Abhängigkeit vom Wetter oder weite Strecken verringert. Öffentliche Fahrradverleihsysteme, auch Bike-Sharing-Systeme (BSS) genannt, bieten die Möglichkeit, ÖPNV und Fahrrad als Verkehrsmittel zu verbinden. Durch diese Kombination werden die Nachteile beider Fortbewegungsarten teilweise kompensiert, sodass der Nutzer das für ihn aktuell sinnvollste Verkehrsmittel wählen kann.

Um den Nutzern ein optimales und passendes Angebot zu bieten, ist es notwendig, dass an zentralen oder wichtigen Stellen immer Fahrräder ausgeliehen oder zurückgegeben werden können, wodurch auch die Nachfrage erhöht werden soll. Diese Problemstellung behandeln bereits existierende Forschungsbeiträge (MATTFELD & VOGEL 2012; RICKER et al. 2012), wobei allerdings wenig auf die geographischen Aspekte des Problems bzw. die Möglichkei-

ten von Geographischen Informationssystemen (GIS) bei der Analyse eingegangen wird. In dieser Arbeit werden deshalb erste Methoden erarbeitet, um BSS mithilfe eines GIS zu analysieren und zu optimieren. Dazu werden zunächst die Herausforderungen bei BSS betrachtet, um Ansatzpunkte für eine Optimierung herausarbeiten zu können. Anschließend werden diese Methoden angewandt, um eine Analyse sowie eine Optimierung durchzuführen. Abschließend werden die Ergebnisse betrachtet und die vorgestellten Methoden auf ihre Verwendbarkeit, Einschränkungen und Erweiterbarkeit geprüft.

## **2 Hintergrundinformationen**

### **2.1 Entstehung des Fahrradverleihs**

Erste öffentliche Fahrradverleihsysteme in der heutigen Form traten ab 1996 sporadisch auf und ein erstes großes Verleihsystem wurde im Jahr 2005 in Lyon mit 1.500 Fahrrädern in Betrieb genommen (DEMAIO 2009, 43). Inzwischen gibt es zwei unterschiedliche Typen von BSS. Das stationslose BSS, wie es hauptsächlich von der DB-Tochter DB Rent verwendet wird, und das stationsbasierte System, welches in dieser Arbeit analysiert und optimiert werden soll.

### **2.2 Ziele der Planung von BSS**

Eines der Ziele von BSS ist es, potenzielle Nutzer ohne verfügbares Fahrrad anzusprechen. Dies muss vor allem durch Positionierung der Stationen vorwiegend in Wohngebieten sowie bei den bevorzugten Zielen des täglichen Bedarfs geschehen. Zusätzlich dazu müsste am Umsetzungsort verstärkt etwas für die Fahrradsicherheit – zum Beispiel durch einen Ausbau der Radwege – getan werden, um trotz der erhöhten Anzahl der (teils unerfahrenen) Nutzer für ausreichend Unfallsicherheit zu sorgen (OBIS 2011, 40).

Ein weiteres Ziel ist die Erhöhung des Anteils am Modal Split. Die BSS werden dabei als flexible Erweiterung des ÖPNV gesehen. Dies kann in Gebieten eine Verbesserung erzielen, in denen eine Versorgung mit dem ÖPNV nicht möglich bzw. diese kaum bis gar nicht vorhanden ist. Zudem kann auch bei stark frequentierten Strecken eine Alternative benötigt werden (OBIS 2011, 40). Dafür ist es wichtig, dass sich die Standorte der Stationen in der Nähe zentraler Haltestellen oder in unterversorgten Gebieten befinden.

Als ein letztes mögliches Ziel betrachten wir die Förderung des Tourismus. Touristen waren bereits von Beginn an eine Zielgruppe des Fahrradverleihs (MONHEIM 2011, 4) und haben durch BSS die Möglichkeit, sich vor Ort schnell, unkompliziert und kostengünstig fortzubewegen (OBIS 2011, 41). Um auch Touristen als Zielgruppe anzusprechen, sollten Stationen daher vor allem in der Nähe von Sehenswürdigkeiten positioniert werden.

### **2.3 Herausforderungen und Optimierungsmöglichkeiten**

Eine Optimierung bestehender BSS ist unter anderem notwendig, um den bei der Installation eines BSS nicht immer kalkulierbaren Bedarf bzw. erhöhten Bedarf zu Stoßzeiten (MATTFELD & VOGEL 2012, 1), in welchen viele Nutzer gleichzeitig ein Rad benötigen oder an Stationen in der Nähe von beliebten Zielorten, auszugleichen (RICKER et al. 2012, 2). Eine geringe Nachfrage lässt darauf schließen, dass potenzielle Nutzer die Standorte

nicht oder nur schwer erreichen können, bzw. durch ihre Entfernung zu den Stationen keine Verwendbarkeit sehen (OBIS 2011, 59). Die Nutzer müssen also Stationen bei Bedarf schnell erreichen und an zentralen Orten das geliehene Rad auch zurückgeben können.

Um den erhöhten Bedarf vor allem bei Stoßzeiten zu befriedigen, ist neben der Anpassung von Stationen die Umverteilung von Fahrrädern notwendig. Bei der Umverteilung sollen Engpässe, die durch tageszeitliche Schwankungen entstehen, ausgeglichen werden (MATTFELD & VOGEL 2012, 25). Hier sorgen vor allem eine starke Einwegnutzung und variierende Ausleihzeiten dafür, dass Stationen unter- oder überversorgt sind (MATTFELD & VOGEL 2012, 25). Die Schwankungen sind auch nicht kalkulierbar, da keine Reservierungsmöglichkeit besteht. Das Ziel muss also sein, dass Nutzer an Stationen Räder in ausreichender Menge vorfinden und Räder zurückgeben können, wobei zu beachten ist, dass eine Umverteilung für den Betreiber effizient verlaufen muss und lange Leerfahrten vermieden werden.

Eine weitere Möglichkeit der Optimierung betrifft die Nähe der Stationen zu Haltestellen des ÖPNV. Da der Verleih häufig genutzt wird, um kaum erschlossene Gebiete zu erreichen (VOGEL & MATTFELD 2010, 1987), ist eine nahe Lage an Haltestellen, Parkhäusern, P&R-Plätzen sowie Carsharing Ports empfehlenswert (OBIS 2011, 64). Dadurch soll eine Alternative, vor allem bei Kurzstrecken, entstehen oder die bestehenden Verkehrsmittel ergänzt werden.

## 3 Methodik

### 3.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage wurden Wohnbevölkerungsdaten von Augsburg nach Stadtteilen, sogenannte „Points of Interest“ (POI), das Straßennetz, Gebäudeflächen, Gemeinde- und Bezirksgrenzen und Flächennutzungsdaten verwendet. Die Bevölkerungsdaten der Stadtbezirke wurden dem Strukturatlas der Stadt Augsburg 2012 und die Bevölkerungsdaten der angrenzenden Gemeinden Friedberg und Stadtbergen der Genesis Datenbank entnommen. Bei den geographischen Daten wurden die POI, das Straßennetz und die Gebäudedaten dem frei verfügbaren Kartendienst OpenStreetMap (OSM), die Verwaltungsgrenzen den frei verfügbaren Daten des Landesamts für Vermessungsverwaltung Bayern und die Flächennutzungsdaten den kostenpflichtigen ATKIS-Bestandsdaten entnommen.

Um eine Annäherung an die Bevölkerungsdichte, speziell an die Wohnbevölkerungsdichte, zu erreichen, werden die Wohnflächen und Flächen gemischter Nutzung aus den ATKIS-Daten entnommen und mit den Gebäudeflächen (aus OSM) verschnitten. Dieses Ergebnis wird mit den Wohnbevölkerungsdaten der 15- bis 65-jährigen verbunden und somit die Wohnbevölkerung jeder Fläche berechnet. Das Ergebnis liefert keine konkrete Aussage über die Bevölkerungsverteilung, dient allerdings als Richtwert für die Berechnung und dem Vergleich der Ergebnisse. Die Auswahl der Altersgruppe erfolgte in Anlehnung an die in der Umfrage „Fahrrad-Monitor Deutschland“ (SINUS 2011) befragten Altersgruppen. Kinder unter 15 Jahren wurden hierbei ausgenommen, da diese als nicht relevant für die Nutzung eingestuft werden und auch keine Kinderräder ausgeliehen werden können.

Die POI aus OSM werden ebenfalls für die Optimierung überarbeitet. Punkte, welche als nicht relevant eingestuft werden (Ampeln, etc.) werden entfernt. Die verbliebenen Typen

werden in sieben Kategorien unterteilt. Die Kategorisierung fand in Anlehnung an die Umfrage „Fahrrad-Monitor Deutschland“ (SINUS 2011) sowie MATTFELD & VOGEL (2012, 27f) statt (Tabelle 1). Eine Überprüfung der Datengrundlage auf Vollständigkeit konnte nur aus eigener Erfahrung und stichprobenartig erfolgen.

**Tabelle 1:** Klassifizierung und Bewertung der POI

| Kategorie            | Definition  | Wert |
|----------------------|---|------|
| ÖPNV                 | Alle Haltestellen des ÖPNV  | 10   |
| Freizeit & Tourismus | Öffentliche Einrichtungen: Theater, Kino, Sehenswürdigkeiten etc.             | 8    |
| Einkaufen            | Geschäfte für Einkäufe des tägl. Bedarfs, Bekleidungsgeschäfte etc.           | 7    |
| Erledigungen         | Geschäfte/Dienstleistungen mit begrenzten Öffnungszeiten: Ärzte, Banken, etc. | 7    |
| Gastronomie          | Restaurants, Cafés, Bars, Clubs etc.  | 5    |
| Arbeit & Bildung     | Arbeitsstätten und Bildungseinrichtungen                                      | 4    |
| Sonstiges            | Geldautomaten, Briefkästen, Fahrradständer etc.                               | 2    |

Dem öffentlichen Personennahverkehr wurde die höchste Bewertung zugewiesen, da die Nähe zu den Haltestellen und damit die Erweiterung des ÖPNV eine zentrale Ausrichtung der Optimierung sein soll. Als Arbeitsstätten werden nur diejenigen POI mit Personal gewertet, welche zuvor keiner Kategorie eindeutig zugeordnet werden konnten. Die Tatsache, dass im Prinzip alle Einrichtungen als Arbeitsplatz gewertet werden können und damit doppelt belegt wären, wird nicht weiter betrachtet. Die letzte Kategorie wurde mit „Sonstiges“ gebildet. Diese enthält, im Gegensatz zur Kategorie „Arbeit“, weniger wichtige und passive Punkte, welche nicht standortentscheidend sind, aber eine geringe Bedeutung besitzen. Die Bewertung der Kategorien und der Abstand der Werte richten sich hauptsächlich nach den Ergebnissen der Umfrage Fahrrad-Monitor Deutschland 2009 und 2011 (SINUS 2011) und sollen den Tourismus, bzw. die Freizeitaktivitäten in den Vordergrund stellen.

Ein letzter Punkt betrifft das Straßennetz für die Netzwerkanalyse. Dieses wurde aus dem OSM-Datensatz entnommen. Als Impedanzen wurden die Wegstrecke in Meter und der Zeitbedarf in Minuten verwendet. Weitere Faktoren wie z. B. die Steigung werden nicht beachtet. Die Geschwindigkeitswerte der einzelnen Straßentypen werden aus OpenRouteService, einem freien Routenservice auf Basis von OSM, entnommen und stellen die Geschwindigkeiten des MIV dar. Falls für ein Feature eine Höchstgeschwindigkeit hinterlegt ist, wird diese anstelle des Wertes von OpenRouteService verwendet.

### 3.2 Standortoptimierung der Stationen

Für die Optimierung der Stationen werden die Bevölkerungsdaten sowie die POI verwendet. Das Ziel ist es eine Station in der Nähe so vieler Einwohner oder so vieler POI wie möglich zu platzieren. Die Nähe zu Einwohnern dient der Maximierung der potenziellen Nutzer in fußläufiger Umgebung und soll die potenziellen Freizeitnutzer maximieren. Die Nähe zu den POI dient der Erreichbarkeit beliebter Orte von den Stationen aus.

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wird eine Analyse der bestehenden Stationen durchgeführt. Die Analyse umfasst eine Netzwerkanalyse und erstellt ein Einzugsgebiet mit der Impedanz von 300 und 600 Metern um jede Station. Anschließend wird das Einzugsgebiet mit den Flächen der Wohnbevölkerung sowie den POI überschritten. Die Impedanz 300 bzw. 600 Metern entspricht einer Laufzeit von fünf bis zehn Minuten und orientiert sich an der fußläufigen Entfernung, welche in der Stadtplanung als maximale Entfernung von Wohngebieten zu Versorgungsmöglichkeiten definiert ist (ILS 2007, 1). Als Ergebnis erhält man für jede Station die Anzahl der Einwohner, welche diese Station erreichen, und die Anzahl der erreichbaren POI sortiert nach deren Kategorie.

Für die Berechnung neuer Standorte wird eine Netzwerkanalyse vom Typ Location-Allocation verwendet. Das Ziel einer Location-Allocation-Analyse besteht darin, die optimale Verteilung – hinsichtlich der Abdeckung von Bedarfspunkten – verschiedener Einrichtungen zu ermitteln. Die Analyse wird separat für die POI und für die Bevölkerung ausgeführt, um die zutreffendste Problemlösung für jeden Fall verwenden zu können.

Bei der Optimierung unter Verwendung der POI wird die Problemlösung „Flächendeckung maximieren“ gewählt. Hierbei werden die zu suchenden Einrichtungen so angeordnet, dass möglichst viele Bedarfspunkte innerhalb der angegebenen Impedanz erreicht werden können. Die Gewichtung der Distanzpunkte nimmt mit steigender Entfernung nicht ab und eignet sich daher für eine Ausrichtung nach den POI, da die Stationen an möglichst zentralen Orten positioniert werden sollen. Für die Gewichtung entspricht der Wertung der Kategorien. Als Impedanz wird hier eine Distanz von 300 Meter verwendet, um so viele POI wie möglich im engen Umkreis zu finden.

Bei der Bevölkerung wird dagegen der Problemtyp „Erreichbarkeit maximieren“ verwendet. Hierbei wird versucht, den Einrichtungen so viel Bedarfsgewichtung wie möglich zuzuordnen. Die Bedarfsgewichtung nimmt dabei mit steigender Entfernung zu der Einrichtung ab. Dieser Problemtyp wird z. B. auch bei Bushaltestellen verwendet, da angenommen wird, dass mit steigender Entfernung die Bereitschaft abnimmt, die Einrichtung aufzusuchen (ESRI 2013). Daher kann für diese Analyse ein ähnliches Verhalten der Nutzer angenommen werden. Als Gewichtung wird die absolute Bevölkerungszahl einer Wohnfläche verwendet. Die gewählte Impedanz wird hierbei mit 600 Meter an die Obergrenze der fußläufigen Entfernung gelegt.

Die Location-Allocation-Analyse benötigt weiterhin bereits bestehende, potenzielle Standorte. Diese werden durch sämtliche Bus- und Straßenbahnhaltstellen repräsentiert. Damit wird das Ziel einer Erweiterung der Erreichbarkeit des ÖPNV in die Analyse mit aufgenommen. Um eine hohe Abdeckung zu erreichen und die Methoden zu testen, werden zwei Optimierungen – mit fünf und zehn zusätzlichen Stationen – durchgeführt.

### 3.3 Optimierung der Radumverteilung

Die Umverteilung der Räder erfolgt in Abhängigkeit des Bestandes und Bedarfs an jeder einzelnen Station. Da keine realen Daten zur Verfügung stehen, wird die Optimierung mit generierten Werten durchgeführt, welche sechs Szenarien der Umverteilung an einem Tag repräsentieren. Die Unterscheidung der Tageszeit findet durch die Anzahl der Stationen mit Bedarf statt. Es wird lediglich zwischen den Zuständen „muss angefahren werden“ und „muss nicht angefahren werden“ unterschieden.

Die Berechnung der Wegstrecken erfolgt durch eine Netzwerkanalyse nach dem „Problem des Handlungsreisenden“. Dabei werden die Punkte neu sortiert, um die Route mit der kürzesten Strecke oder dem geringsten Zeitaufwand zu finden. Die Route startet stets bei der Station der „Jungen Werkstatt“ und endet wieder dort, da dies der Standort des Umverteilungswagens ist (SCHÄFER 2013).

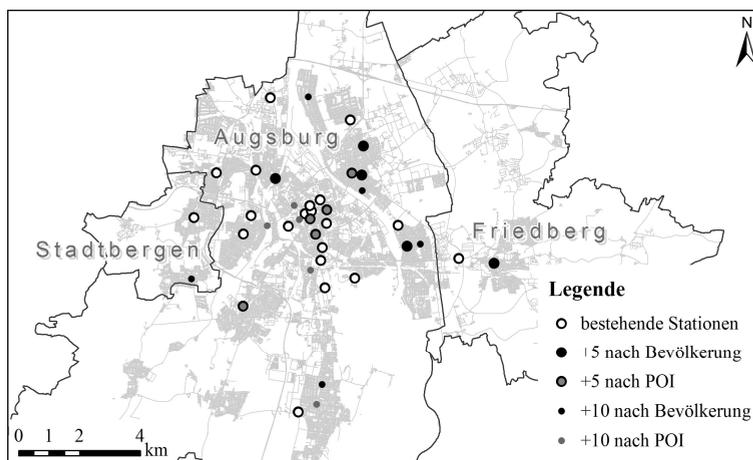
Die erstellten Fälle sollen anschließend optimiert werden. Dazu werden zwei Routenanalysen mit jeweils Distanz oder Zeit als Kostenfaktor durchgeführt. Die Optimierung läuft für jede der sechs Situationen wie folgt ab:

1. Die Stationen werden nach dem gemeldeten Bedarf ausgewählt um die Route zur berechnen.
2. Um die Route von 1. wird ein Puffer erstellt, alle Stationen innerhalb dieses Puffers neu als Haltepunkte hinzugefügt und mit derselben Impedanz neu berechnet. Die zusätzlich ausgewählten Stationen (im Vergleich zu 1.) werden von der Bedarfsliste der nächsten Situation entfernt.

Der Grundgedanke ist die Abdeckung mehrerer Stationen mit einem geringen Mehraufwand. So kann eine Station durch einen geringen Umweg mitversorgt werden, benötigt bei der nächsten Umverteilung keine Anfahrt und kann dadurch ausgelassen werden. Ein Nebeneffekt dieser Methode kann sein, dass sich das Angebot für die Nutzer verbessert. Als Wert für die Pufferdistanz wurden 200 Meter nach mehreren Testläufen festgelegt, da der Umweg nicht zu groß sein darf, gleichzeitig allerdings noch Stationen entlang der Route in den Puffer fallen sollen. Als Ergebnis ist eine generell höhere Verfügbarkeit an Rädern, höhere Zufriedenheit der Nutzer sowie geringere Kosten zu erwarten, da ungelegene Stationen bei einer nächsten Fahrt unter Umständen nicht mehr angefahren werden müssen.

## 4 Ergebnisse

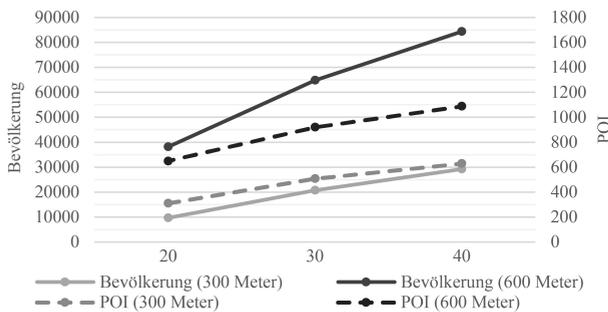
### 4.1 Ergebnisse der Standortsuche



**Abb. 1:**  
Übersicht über  
die Stationen

Die Ergebnisse der Standortsuche mit den POI und mit der Bevölkerung unterscheiden sich deutlich voneinander. Die zusätzlichen Stationen bei der Optimierung nach den POI wurden hauptsächlich in der Innenstadt und dem näheren Umfeld positioniert, während die neuen Standorte bei der Optimierung nach der Bevölkerung in typischen Wohngebieten verortet wurden (Abb. 1). Eine Verschneidung der Ergebnisse um die besten Standorte beider Analysen ermitteln zu können ist aufgrund der räumlichen Verteilung nicht möglich.

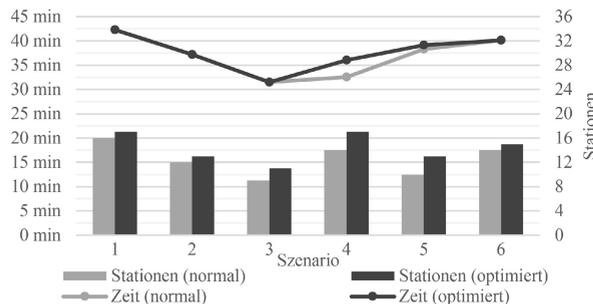
Werden die Ergebnisse aus beiden Analysen allerdings zusammengefügt, so erhält man insgesamt zehn bzw. zwanzig zusätzliche Stationen. Vergleicht man die Werte für die erreichten Einwohner und erreichbaren POI der neuen Zustände mit dem ursprünglichen Zustand (Abb. 2) so lässt sich erkennen, dass nach der Analyse höhere Ergebnisse erreicht werden. Während die Auswertung der bestehenden Stationen auch Nullwerte enthält, liefern die neuen Stationen Ergebnisse über dem bisherigen Durchschnitt. Dadurch liegen die Zahlen im Umkreis von 300 Metern bei den erreichten Einwohnern um das 2,1-Fache und bei den POI um das 1,6-Fache höher als im ursprünglichen Zustand. Bei insgesamt 20 zusätzlichen Stationen erhöht sich der Anteil der Bevölkerung um das Dreifache, während die erreichbaren POI um das Zweifache ansteigen. Bei einem Untersuchungsradius von 600 Metern ist das Ergebnis ähnlich, der Faktor, um den die Werte steigen, ist allerdings geringer.



**Abb. 2:** Ergebnis der Suche nach zusätzlichen Standorten von Stationen

### 4.2 Ergebnisse der Routenberechnung

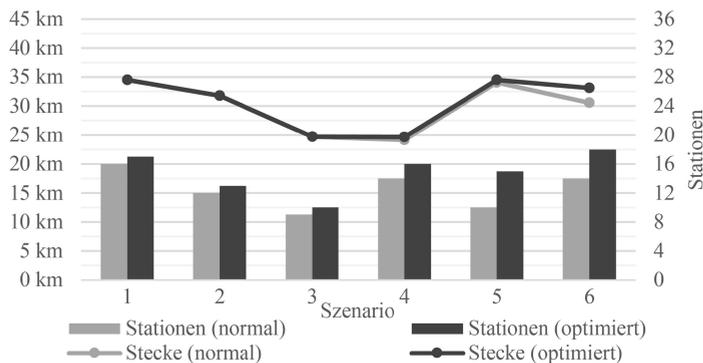
Bei den Ergebnissen der Routenberechnung ist zu erkennen, dass bei der optimierten Route mehr Stationen angefahren werden (Abb. 3 und Abb. 4), während sich die aufgewendete Zeit bzw. Strecke nur wenig verändert. Bei der Berechnung mit der Impedanz wird pro Station zwischen sechs und 20 % weniger Zeit aufgewendet. Dadurch ergibt sich eine Gesamt-



**Abb. 3:** Ergebnis der Routenberechnung nach der Zeit

ersparnis pro Station von elf Prozent. Es können also, mit einem geringen zeitlichen Mehraufwand, insgesamt 86 anstatt 75 angefahren werden. Eine Verringerung der aufgewendeten Zeit findet dagegen nicht statt.

Mit der Strecke als Impedanz werden zwischen sechs und 32 % der aufgewendeten Strecke pro Station eingespart. Insgesamt werden 89 Stationen angefahren und anstatt 179 km 183 km aufgewendet, wodurch sich eine Gesamtersparnis von 14 % ergibt. Auch hier findet bei keiner Route eine Verringerung der aufgewendeten Strecke statt.



**Abb. 4:**  
Ergebnis der Routenberechnung nach der Strecke

## 5 Diskussion

Die unterschiedliche Erhöhung der Werte für Bevölkerung und POI lässt sich auf die Verteilung der Bedarfspunkte zurückführen. Während im Raum Augsburg mehrere, verteilte Wohngebiete mit hohen Bevölkerungszahlen existieren, sind die POI auf die Innenstadt konzentriert. Bei der verwendeten Analyseverfahren dürfen neue Standorte nicht die POI der bereits gesetzten Standorte beanspruchen, also ein POI kann nur einfach gewichtet werden. Da es nur eine begrenzte Anzahl an POI gibt, kann eine sinnvolle Verteilung der Standorte nach den POI nur bis zu einer gewissen Anzahl erfolgen.

Bei der Bevölkerung dagegen fällt eine bessere Effizienz auf. Dies ist auch durch einige bestehende Stationen begründet, welche in ihrem Einzugsgebiet keine oder nur sehr wenig Bevölkerung abdeckt. Die Vermutung liegt nahe, dass die Stationen wenig Ausleihaktivität haben. Reale Nutzungsdaten für den Abgleich der theoretisch errechneten Werte liegen nicht vor, allerdings wurde von den Stadtwerken eine der Stationen als Schlechteste genannt, welche nach den Ergebnissen der Analyse ebenfalls keine Bevölkerung abdeckt (SCHÄFER 2013). Solche Stationen sind allerdings nicht generell unwirtschaftlich, da diese an Endhaltestellen des ÖPNV liegen können. Dadurch wird, falls Gegenstationen in Wohngebieten vorhanden sind, eine Verbindung in entfernte Wohngebiete realisiert.

Ein weiterer Punkt ist die unterschiedliche Verteilung der Stationen, welche auf die getrennte Suche durch Bevölkerungszahlen und POI zurückzuführen ist. Eine Kombination der Analysen war nicht möglich, da eine Gewichtung beider Werte nicht begründet werden konnte. Um eine Annäherung an eine Gewichtung zu erzielen, müssten in zukünftigen Arbeiten Nutzungsdaten vorliegen oder erhoben werden und entsprechend ausgewertet werden. Allerdings kann man die getrennte Analyse als unterschiedliche Anforderungen

werten und weiterhin getrennt behandeln, da beide Stations-, „Arten“ benötigt werden um eine Verbindung von interessanten Orten mit den Nachfragern, der Bevölkerung, zu erreichen.

Die letzten Punkte bei der Standortsuche sind die Kategorisierung und Gewichtung der POI sowie die Ableitung der Bevölkerungszahlen. Die Kategorisierung wurde hauptsächlich auf Basis einer Umfrage vorgenommen und muss nicht zwingend den realen Anforderungen entsprechen. Hierfür müssen also noch verlässliche Anhaltspunkte, eventuell durch Nutzungsdaten, ermittelt werden, um den Anforderungen zu entsprechen. Bei der Ableitung der Bevölkerungszahlen wurden aufgrund der nur großräumig verfügbaren Daten mehrere Annahmen getroffen, welche das Ergebnis verfälschen können. Für eine bessere Aussagekraft müssten hier kleinräumigere Daten zur Verteilung der Wohnbevölkerung vorhanden sein. Eine Validierung der Ergebnisse war daher noch nicht möglich.

Die Ergebnisse der Routenberechnung zeigen, dass eine theoretisch höhere Effizienz bei der Umverteilung möglich ist. Die aufgewendete Zeit, bzw. aufgewendete Strecke pro Station wird gesenkt. Betrachtet man den exakten Verlauf der Routen, dann erkennt man, warum bei keiner optimierten Umverteilung weniger Stationen angefahren werden. So werden die Stationen, welche bei der vorherigen Umverteilung mit angefahren wurden zwar berücksichtigt und aus dem Bedarf gelöscht, allerdings liegen an einer anderen Stelle neue Stationen oder sogar die gelöschte Station wieder im Puffer. Daher bedarf die Methode zur Umverteilung weitere Testläufe und Anpassungen, um nicht nur dem Nutzer erhöhte Verfügbarkeit zu bieten, sondern auch dem Betreiber Einsparungsmöglichkeiten zu geben. Weiterhin wurde ein wichtiger Einflussfaktor, die benötigte Zeit zum ein- und ausladen, bei der Zeitangabe noch nicht berücksichtigt.

Die Steigerung der Effizienz, durch die zusätzliche Auswahl von Stationen, spricht für die Methode, allerdings sind durch den Puffer negative Effekte möglich. So könnten durch den Puffer Stationen auf der anderen Seite von unpassierbaren Hindernissen (z. B. Flüsse) ausgewählt werden und dadurch ein erheblicher Umweg vorgeschlagen werden. Abhilfe würde hier die Verwendung von TINs schaffen, bei welchen Hindernisse berücksichtigt werden können. Eine weitere, rechenintensive Möglichkeit wäre, zusätzliche Stationen nacheinander hinzuzufügen und die Routenergebnisse auf Ausreißer zu überprüfen.

Zuletzt ist zu anzumerken, dass der Kapazität des Transporters und der individuelle Bedarf der anzufahrenden Stationen bei der Optimierung keine Bedeutung zugemessen wurde. So ist es möglich, dass eine weitere Station gar nicht angefahren werden kann, da keine Räder oder kein Platz auf dem Transporter zur Verfügung steht.

## **6 Fazit und Ausblick**

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Methoden für eine GIS-gestützte Analyse und Optimierung von BSS vorgestellt. Diese wurden in einem GIS am Beispiel Augsburg umgesetzt und auf deren Verwendbarkeit und Effektivität getestet.

Die Hauptaspekte bei der Stationsoptimierung waren die Erreichbarkeit jener aus Sicht der Einwohner und die Nähe zu interessanten Orten. Ignoriert man die bestehende Ungenauigkeit durch die gestellten Annahmen, so lässt sich anhand der Kriterien feststellen, dass die Position der zusätzlichen Stationen vergleichsweise besser ist. Eine Verbesserung dieser

Methodiken ließe sich erreichen wenn erhobene Daten, wie Nutzungsdaten, mit einfließen würden und man daraus die Bedeutung der Kriterien und Bewertung der Kategorien bei den POI besser einschätzen könnte.

Bei der Routenoptimierung war der Kosten/Nutzen-Faktor das Hauptkriterium. Von diesem ausgehend wurde angenommen, dass auch eine bessere Versorgung aller Stationen stattfindet. Eine bessere Versorgung bzw. ein besseres Angebot an den Stationen konnte in dieser Arbeit nicht bewiesen werden. Im Gegensatz dazu war allerdings zu erkennen, dass durch die angepasste Routenführung weniger Zeit bzw. eine kürzere Strecke pro Station notwendig ist. In zukünftigen Arbeiten muss diese Methodik noch verbessert und weiter an den realen Ablauf angepasst werden. Dafür ist es denkbar, ein Multi-Agenten-System zu verwenden, um Faktoren wie die Transporterkapazität sinnvoll mit einzubinden.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die hier vorgestellten Methoden einen messbaren Effekt erzielen können, welcher allerdings noch nicht validiert wurde. Es sollte außerdem eine Verbindung der beiden Optimierungsschritte stattfinden. Zukünftige Arbeiten müssten ferner Nutzungsdaten von BSS verwenden, um neben der Validierung aussagekräftigere Ergebnisse und Handlungsempfehlungen zu erhalten.

## Literatur

- ESRI (2013), ArcGIS Help 10.1. Location-Allocation-Analyse. Esri.  
<http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/na/004700000050000000/>  
(28.01.2014).
- DEMAIO, P. (2009), Bike Sharing. History, Impacts, Models of Provision and Future. *Journal of public transportation*, 12 (4), 41-56.
- ILS – INSTITUT FÜR LANDES- UND STADTENTWICKLUNGSFORSCHUNG UND BAUWESEN DES LANDES NRW (2007), Trends. Entwicklungen in NRW. Dortmund.
- MATTFELD, D. C. & VOGEL, P. (2012), Unterstützung der Standortplanung in Bike-Sharing-Systemen durch Geographic Knowledge Discovery. In: M.-O. LÖWNER, F. HILLEN & R. WOHLFAHRT (Hrsg.), *Geoinformatik 2012 – Mobilität und Umwelt*. Konferenzband, 28. – 30. März 2012. Braunschweig, 25-32.
- MONHEIM, H. (2011), Statusanalyse Fahrradverleihsysteme. Potenziale und Zukunft kommunaler und regionaler Fahrradverleihsysteme in Deutschland. Trier.
- OBIS (2011), Optimising bike sharing in European cities. A handbook. Deutschland.
- RICKER, V., MEISEL & MATTFELD, D. C. (2012), Optimierung von stationsbasierten Bike-Sharing Systemen. In: MATTFELD, D. & ROBBA-BISSANTZ (Hrsg), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012*. Tagungsband der MKWI 2012. Berlin/Braunschweig, 215-227.
- SCHÄFER, D. (Stadtwerke Augsburg Verkehrs-GmbH) (2013), Persönliches Interview, geführt von Matthias Benedek. Augsburg, 09.04.2013.
- SINUS MARKT- UND SOZIALFORSCHUNG GMBH (2011), Fahrrad-Monitor Deutschland. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Heidelberg.
- VOGEL, P. & MATTFELD, D. C. (2010), Informationssysteme im Bike-Sharing: Ein System Dynamics Ansatz. In: SCHUMANN, M., KOLBE, L. M., BREITNER, M. H. & FRERICH, A. (Hrsg), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010*. Göttingen, 23. – 25. Februar 2010. Göttingen, 1987-1999.