



**Universität
Zürich** UZH

Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät
Geographisches Institut der Universität Zürich
Geographische Informationssysteme (GIS)

Agentenbasierte Modellierung von Besucherströmen im Wildnispark Zürich

GEO 511 - Masterarbeit

Abgabetermin: 30.9.2013

Betreuung: Dr. P. Laube UZH, Mag. Geogr. R. Schmidt UZH, Dr. Ch. Kaiser UNIL

Fakultätsvertretung: Prof. Dr. R. Weibel

Verfasser: Martin Baumgartner
Matrikelnr.: 07 - 927 - 916

Institut: Geographisches Institut
Universität Zürich - Irchel
Winterthurerstrasse 190
8057 Zürich

Zusammenfassung

Natur- oder Nationalpärke sind häufig mit den Forderungen konfrontiert, die natürliche Umwelt auf ihrem Territorium zu konservieren und gleichzeitig auch für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Um diesem Auftrag gerecht zu werden, setzen viele Parkverantwortliche auf das Monitoring ihrer Parkbesucher. Der Wildnispark Zürich hat diverse Anstrengungen unternommen, um die Besucherströme auf seinem Parkgebiet zu erfassen. Es wurden Besucherbefragungen und manuelle Zählungen durchgeführt sowie fixe automatische Zählstellen eingebaut.

Mit einer agentenbasierten Modellierung, welche eine leistungsfähige Modellierungstechnik für Simulationen ist, soll in dieser Masterarbeit das bestehende Wissen über die Besucherströme im Langenberg West sowie im Sihlwald abgebildet werden. Aus diesen agentenbasierten Modellierungen können anschliessend neue Informationen extrahiert werden. Das Gebiet des Langenberg West ist kleinräumig und verfügt über ein abgeschlossenes Wegnetz mit zwei Eingängen, welche mit automatischen Zählstellen ausgerüstet sind. Der Sihlwald ist grossflächig und weist eine Vielzahl von nicht im Monitoring berücksichtigten Ein- respektive Ausgängen auf.

Für den Langenberg West wurde auf zwei, für den Sihlwald auf sieben verschiedene Arten das Verhalten von Besuchern in der agentenbasierten Modellierung implementiert. Bei den Ergebnissen der Modellierung des Langenberg West und des Sihlwaldes war von Interesse, welchen Beitrag diese zur Plausibilitätsprüfung der Kalibrierungsfaktoren der automatischen Zählstellen leisten können und welcher Nutzen aus der modellierten durchschnittlichen Aufenthaltszeit der Besucher gezogen werden kann. Bei der agentenbasierten Modellierung des Sihlwaldes stellte sich zudem die Frage, welche Hinweise sie für eine optimierte Platzierung der Zählstellen geben kann.

Es konnte gezeigt werden, dass auf Basis der agentenbasierten Modellierung Aussagen zur Plausibilität der Kalibrierungsfaktoren von automatischen Zählstellen mit einer gewissen Unsicherheit gemacht werden können. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit hängt im allgemeinen stark von der Implementierungsart der Fortbewegung ab. Für den Langenberg West sind Aufenthalte an Infrastruktureinrichtungen von wesentlich grösserer Bedeutung als im Sihlwald. Zur räumlichen Optimierung von Zählstellen kann die agentenbasierte Modellierung beitragen, indem sie Besucherfrequenzen für jedes Wegsegment sowie das Verhalten und die Frequentierung an den Kreuzungen wiedergibt.

Abstract

Nature and National Parks are often faced with demands to preserve the natural environment on their territory and make it accessible to the public. In order to fulfill this goal, many park managers tend to monitor their park visitors. The Wildnispark Zürich has made several efforts to capture the stream of visitors in his park area. Visitor surveys and manual counts were made and fixed automatic visitor counters were installed.

In this master thesis, agent-based models, which are a powerful technique for modeling simulations, are built to represent the existing knowledge of visitor flows in the Langenberg West and the Sihlwald park area. From the created agent-based modeling simulations, new information can be subsequently extracted. The area of the Langenberg West is small-scale and has a closed trail network with two entrances, which are equipped with automatic visitor counters. The Sihlwald contains a larger area and has a larger number of entrances which the monitoring does not take into account.

The visitor flows of the Langenberg West were implemented with two, those of the Sihlwald with seven different movement types. In the results of agent-based modeling of the Langenberg West and the Sihlwald was of major interest, what they can contribute to test the plausibility of the calibration factors of automatic traffic counters and which benefits can be derived from the modeled average residence time of the visitors. In the agent-based modelings of Sihlwald, the question of which information they can provide for an optimized placement of the counting stations was additionally of high interest.

It was shown that on the basis of agent-based modeling statements for the plausibility of the calibration factors of automatic traffic counters can be made with a certain uncertainty. Generally, the average residence time depends strongly on the implementation of the movement type. Stops at infrastructure facilities are of much greater importance for the Langenberg West than the Sihlwald. For spatial optimization of traffic counters, agent based modeling can help by providing visitor frequencies for each path segment as well as visitor behavior and frequencies at the crossroads.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen herzlich bedanken, welche mich während meiner Masterarbeitszeit unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank gebührt meinem Betreuer Dr. Patrick Laube, welcher mir diese Arbeit ermöglicht und während dem Verfassen durch innovative Ideen und Ratschläge stets zur Seite gestanden hat.

Ein herzliches Dankeschön gilt Mag. Geogr. Ronald Schmidt für die Betreuung und Teilhabe an seinem immensen Wissen über den Wildnispark Zürich und dessen Besuchermonitoring.

Bei Dr. Christian Kaiser bedanke ich mich für seine fachliche Unterstützung bei den Sitzungen via Skype.

Ebenfalls danke ich meiner Familie und Freunden, welche mich mit konstruktiven Gesprächen beraten und beim Korrekturlesen der Arbeit geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
1. Einleitung	1
1.1. Kontext und Motivation	1
1.2. Problemstellung und Forschungsfragen	2
1.3. Zielsetzung	3
1.4. Aufbau der Arbeit	4
2. Wildnispark Zürich: Lage und Geschichte	5
3. Hintergrund	7
3.1. Besuchermonitoring	7
3.1.1. Motivationen	7
3.1.2. Methoden	9
3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich	11
3.2.1. Gründe	11
3.2.2. Umsetzung	12
3.3. Agentenbasierte Modellierung	18
3.3.1. Grundsätze	18
3.3.2. Anwendungsbereiche	22
3.4. Forschungslücken	24
4. Daten und Software	26
4.1. Daten	26
4.1.1. Geodaten	26
4.1.2. Daten Besuchermonitoring	28
4.2. Software	29
5. Methodik Langenberg West	31
5.1. Datenaufbereitung	31
5.1.1. Geodaten	32
5.1.2. Besuchermonitoring	36

5.2.	Initialisieren der Agenten	39
5.3.	Fortbewegung der Agenten	41
5.3.1.	Methode Gleiche Wahrscheinlichkeit	43
5.3.2.	Methode Ungleiche Wahrscheinlichkeit	44
5.4.	Simulationsablauf	45
6.	Methodik Sihlwald	47
6.1.	Datenaufbereitung	47
6.1.1.	Geodaten	48
6.1.2.	Besuchermonitoring	50
6.2.	Initialisieren der Agenten	52
6.3.	Fortbewegung der Agenten	54
6.3.1.	Methode M1: Gleiche Wahrscheinlichkeit	55
6.3.2.	Methode M2: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Viererkreuzungen	56
6.3.3.	Methode M3: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Kreuzungen	56
6.3.4.	Methode M4: Ungleiche Wahrscheinlichkeit	57
6.3.5.	Methode M5: Routen mit kürzestem Weg eingeschränkt	57
6.3.6.	Methode M6: Routen mit kürzestem Weg	58
6.3.7.	Methode M7: Routen	58
6.4.	Simulationsablauf	59
7.	Resultate	60
7.1.	Langenberg West	60
7.1.1.	Zählstellen und Kalibration	60
7.1.2.	Aufenthaltszeit	64
7.2.	Sihlwald	67
7.2.1.	Zählstellen und Kalibration	67
7.2.2.	Aufenthaltszeit	76
7.2.3.	Optimierte Platzierung von Zählstellen	80
8.	Diskussion	82
8.1.	Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration	82
8.1.1.	Langenberg West	82
8.1.2.	Sihlwald	84
8.2.	Ermittlung der Aufenthaltszeit von Besuchern	86
8.3.	Räumliche Optimierung von Zählstellen	88
9.	Schlussfolgerung	89
9.1.	Zusammenfassung	89
9.2.	Erkenntnisse	90
9.3.	Ausblick	92

Literaturverzeichnis	XV
A. Anhang Sihlwald	XX

Abbildungsverzeichnis

1.1. Zielsetzung der Arbeit	4
2.1. Perimeter des Wildnisparcs Zürich	6
3.1. Zählsysteme, Bilder übernommen von <i>Eco-Compteur</i> (2013)	13
3.2. Automatische Zählstellen im Gebiet Sihlwald	15
3.3. Automatische Zählstellen im Gebiet Langenberg	16
3.4. Manuelle Zählstellen im Gebiet Sihlwald	17
4.1. Datensätze von links nach rechts: Parkgrenze, Parkzonen Sihlwald, Weg- netz Wildnispark Zürich und nahe Umgebung	27
4.2. Datensätze von links nach rechts: Aussichtspunkte (blau), Feuerstellen (rot), Gastronomie (hellgrün), Infopunkte (orange)	28
4.3. Benuteroberfläche von NetLogo	30
5.1. Geodaten des Langenberg West in NetLogo	32
5.2. Zuweisung von Werten für die Variable <i>ist-weg?</i> von Patches	34
5.3. Unbearbeitetes, patchbasiertes Wegnetz mit nicht eindeutigem Wegverlauf	34
5.4. Patchbasierte Modellierung des Langenberg West: Wegnetz (grau), Kreuz- ungen (hellgrün), automatische Zählstellen (rot), Infrastruktur (gelb), Ein- und Ausgänge (blau)	35
5.5. Codeausschnitt für die Initialisierung der Agenten für die Stunden von 12 bis 14 Uhr der automatischen Zählstelle 401	40
5.6. Codeausschnitt für die Erzeugung der Charaktereigenschaften eines Be- suchers	41
5.7. Kreuzungen mit Kreuzungsnummern der patchbasierten Modellierung des Langenberg West	44
5.8. Schematische Darstellung des Simulationsablaufes für den Langenberg West	45
6.1. Geodaten des Sihlwaldes in NetLogo	48
6.2. Fiktives Beispiel des Verhaltens von Besuchern an einer manuellen Zählstelle	51
7.1. Deskriptive Statistiken und Histogramme für die Simulationsergebnisse der Methoden der gleichen Wahrscheinlichkeit (links) sowie der ungleichen Wahrscheinlichkeit (rechts)	66

7.2. Deskriptive Statistiken und Histogramme für die Simulationsergebnisse der verschiedenen Methoden für den Sihlwald	79
7.3. Vergleich von kategorisierten Aufenthaltszeiten der Methoden und Umfrageergebnissen	80
A.1. Nummern der Kreuzungen und Ein- respektive Ausgänge für das patch-basierte Wegnetz des Sihlwaldes	XXI

Tabellenverzeichnis

3.1. Techniken zur Besucherschätzung nach <i>Watson et al.</i> (2000)	10
3.2. Einbau Anzahl automatischer Zählstellen	12
3.3. Anwendungsmöglichkeiten der agentenbasierten Modellierung nach <i>Bonabeau</i> (2002)	22
5.1. Grössenverhältnisse Realität - Modellierung für den Langenberg West . .	33
5.2. Rohdatenmittelwerte nach Stunden für die Sonntage von Anfang Juni bis Ende Oktober 2011 der automatischen Zählstellen 401 und 402, gerundet auf ganze Personen	37
5.3. Kalibrierungsfaktoren nach Zählstelle und Richtung	38
5.4. Hauptgründe (Mehrfachnennung) für den Besuch des Wildparks Langenberg aus einer Besucherbefragung im Jahre 2011 durch den Wildnispark Zürich	38
5.5. Gründe für den Besuch von Infrastruktureinrichtungen mit Aufenthaltszeit im Langenberg West	42
6.1. Grössenverhältnisse Realität - Modellierung für den Sihlwald	49
6.2. Spezielle Patchfunktionen nach Anzahl in der patchbasierten Modellierung des Sihlwaldes	50
6.3. Kalibrierungsfaktoren nach Zählstellen	52
6.4. Personenaufkommen und dessen Bestimmbarkeit nach Eingängen im Sihlwald für den 23.8.2009	53
6.5. Gründe für den Besuch von Infrastruktureinrichtungen mit Aufenthaltszeit im Sihlwald	54
6.6. Eingänge, gegliedert nach Anzahl Routen	57
7.1. Austritte bei der Zählstelle 401, für die Rohdaten und Simulationsmethoden auf ganze Personen gerundet und aggregiert nach Stunden	61
7.2. Austritte bei der Zählstelle 402, für die Rohdaten und Simulationsmethoden auf ganze Personen gerundet und aggregiert nach Stunden	62
7.3. Vergleich des Besucheraufkommens mit und ohne Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen im Langenberg West	63

7.4.	Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in Minuten im Langenberg West für die verschiedenen Methoden der gleichen sowie der ungleichen Wahrscheinlichkeit	65
7.5.	Mit Rängen bewertetes Besucheraufkommen der manuellen Zählstellen während eines ganzen Tages für die unterschiedlichen Methoden	68
7.6.	Mit Rängen bewertetes Besucheraufkommen der automatischen Zählstellen während eines ganzen Tages für die unterschiedlichen Methoden	68
7.7.	Rangsummen für die manuellen und automatischen Zählstellen sowie das Total der Rangsummen für jede Methode	69
7.8.	Übertritte bei der manuellen Zählstelle 101, auf ganze Zahlen gerundet und aggregiert nach Stunden für die Rohdaten und Methoden	70
7.9.	Aufsummierte Ränge, summierte Differenz der Besucher und prozentualer Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten pro Methode und manueller Zählstelle	72
7.10.	Aufsummierte Ränge, summierte Differenz der Besucher und prozentualer Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten pro Methode und automatischer Zählstelle	73
7.11.	Aufsummierte Ränge, summierte Differenz der Besucher und prozentualer Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten für die manuellen und automatischen Zählstellen sowie das Total für jede Methode	74
7.12.	Vergleich des Besucheraufkommens mit und ohne Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen im Sihlwald	75
7.13.	Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in Minuten im Sihlwald für die unterschiedlichen Methoden	76

Kapitel 1.

Einleitung

1.1. Kontext und Motivation

Der Wildpark Langenberg und der Sihlwald bilden zusammen den Wildnispark Zürich. Dieser ist ein beliebtes Ausflugsziel und Naherholungsgebiet für die Menschen aus dem Raum Zürich. Der Parkteil des Sihlwaldes wird vom Bund als nationaler Naturerlebnispark anerkannt (*Hansmann et al.*, 2010).

Die Parkverantwortlichen haben ein Interesse daran zu wissen, wie viele Personen den Wildnispark besuchen und wie sie sich darin verhalten. Mithilfe dieses Wissens können Besucher besser durch den Park geleitet, die Infrastruktur angepasst und mögliche Übernutzungen der Natur verhindert werden.

Seit dem Jahr 2009 sind im Wildnispark Zürich Anstrengungen unternommen worden, um Besucherströme zu erfassen. An verschiedenen Orten sind automatische Zählstellen installiert worden. Diese weisen jedoch Messungenauigkeiten auf. Um die Messungenauigkeiten zu reduzieren, wurden bei den Zählstellen mehrmals Kalibrationszählungen von Hand vorgenommen. Im Rahmen des Projektes Visiman¹ wurden Besucherzählungen an weiteren, topologisch zentralen Standorten von Hand durchgeführt. Trotz diesen Anstrengungen bleibt das Wissen über die Besucherströme im Wildnispark Zürich teilweise lückenhaft. In dieser Masterarbeit sollen agentenbasierte Modellierungen erstellt werden, welche auf bislang erhobenen Daten basieren und bisherige Erkenntnisse wiedergeben. Die agentenbasierten Modellierungen der Besucherströme ermöglichen indes, daraus weitere neue Informationen abzuleiten.

Für den Wildnispark Zürich wurde bisher keine solchen Modellierungen erstellt. Für

¹www.visiman.ch

1.2. Problemstellung und Forschungsfragen

andere Naturparks existieren jedoch wissenschaftliche Arbeiten, welche eine agentenbasierte Simulation benützen, um bessere Erkenntnisse der Besucherströme zu erhalten. *O'Connor et al.* (2005) beispielsweise benützen eine agentenbasierte Modellierung, welche sie für Besucherströme in einem Nationalpark in Australien erstellt haben, um neue Methoden für die Kalibration und Validation von Besucherstrommodellen zu finden. *Stahel* (2007) verwendet eine agentenbasierte Modellierung, um das Sozialverhalten von Besuchern eines Stadtparks zu analysieren. Stark verwandte Forschungsarbeiten zu jener mit Naherholungsparks, welche mit agentenbasierten Simulationen arbeiten, sind die Evakuationsforschung (*Camillen et al.*, 2009; *Shi et al.*, 2009), Forschung zu Fussgängerströmen an stark frequentierten Orten (*Klügl und Rindsfüser*, 2007; *Batty*, 2003) oder die Segregationsforschung (*Crooks*, 2010).

1.2. Problemstellung und Forschungsfragen

Mit den bisher unternommenen Anstrengungen zur Erfassung von Besucherzahlen bleibt auch mit Kalibrationszählungen eine gewisse Messunsicherheit bestehen. Beispielsweise unterscheidet sich im Langenberg West, welcher umzäunt ist und bei seinen zwei Ausgängen permanente Zählstellen besitzt, die gemessene Anzahl an Besuchern, welche hineingehen, von denen, welche hinausgehen. Es gehen also Personen "verloren", welche direkt der Messunsicherheit zugeschrieben werden können. Zudem wurde die Kalibrationszählung nicht auf ihre Plausibilität überprüft.

Da Individuen von permanenten Zählstellen nicht unterschieden werden können und bei den manuellen Zählungen von Hand nicht auseinander gehalten wurden, können keine Aussagen über die Aufenthaltsdauer der Besucher im Park gemacht werden. Zusätzlich ist nicht bekannt, wo sich die Besucher während des Parkbesuches aufhalten. Ebenso sind ihre Wegrouten und Halte unbekannt.

Für den Sihlwald haben die Parkverantwortlichen ein zusätzliches Interesse daran, die Platzierung der Zählstellen räumlich zu optimieren, um mit gegebenen Mitteln ein Optimum an Informationen herauszuholen. Die heutigen Positionen der Zählstellen wurden auf der Basis von Kriterien gewählt, welche später erläutert werden.

1.3. Zielsetzung

Aufgrund der Problemstellung lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

1. *Welchen Beitrag kann eine agentenbasierte Modellierung zur Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration leisten?*
2. *Welcher Nutzen kann aus der mittels agentenbasierter Modellierung simulierter Aufenthaltsdauer von Besuchern gezogen werden?*
3. *Welche Hinweise liefert eine agentenbasierte Modellierung zur Konstellation der Zählstellen für ein räumlich explizit optimales Messnetzwerk?*

1.3. Zielsetzung

Die in der Abbildung 1.1 ersichtliche Zielsetzung der Arbeit soll es ermöglichen, die oben genannten Forschungsfragen zu beantworten. Zuerst soll in einem Pilotprojekt eine agentenbasierte Modellierung für den Langenberg West erstellt werden. Dabei sollen ein explorativer Umgang mit der Simulationsumgebung geübt, verschiedene Charaktere von Besuchertypen erstellt und ein Tagesgang der Besucherfrequenzen simuliert werden. Nachdem damit bestehendes Wissen abgebildet wurde, sollen in einem weiteren Schritt die Kalibrierungsfaktoren der permanenten Zählstellen auf Plausibilität geprüft und eine Analyse der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer der Besucher durchgeführt werden. Nach Abschluss dieses Prototyps soll eine umfassende agentenbasierte Modellierung für den Sihlwald erstellt werden. Neben den bereits für den Langenberg West geltenden Zielen soll die Modellierung des Sihlwaldes darauf geprüft werden, welche Hinweise sie zur räumlich expliziten Optimierung des Besuchermessnetzwerkes liefern kann.

1.4. Aufbau der Arbeit

Ziele		Pilot-ABM für das Parkgebiet „Langenberg West“	Umfassende ABM für den Sihlwald
Abbilden von bestehendem Wissen über Besucherströme	Explorativer Umgang mit Simulationsumgebung	✓	
	Erstellung verschiedener Charaktere von Besuchertypen	✓	✓
	Variation von Besucherfrequenzen in einem Tagesgang	✓	✓
Mithilfe der ABM neue Erkenntnisse gewinnen	Überprüfung der Plausibilität der Kalibrierungsfaktoren	✓	✓
	Analyse der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer der Besucher	✓	✓
	Räumlich explizite Optimierung des Besuchermessnetzwerkes		✓

Abbildung 1.1.: Zielsetzung der Arbeit

1.4. Aufbau der Arbeit

Mit einem kurzen Überblick über die Lage und Geschichte des Wildnisparcs Zürich im Kapitel 2 wird dem Leser das für die Masterarbeit relevante Bezugsgebiet vorgestellt. Im Kapitel 3 wird auf die wissenschaftlichen Hintergründe dieser Arbeit eingegangen. Dabei wird zuerst allgemein auf das Besuchermonitoring und anschliessend spezifisch auf das Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich eingegangen. In einem weiteren Teil wird der Hintergrund der agentenbasierten Modellierung erläutert.

Im Kapitel 4 wird auf die verwendeten Daten und Software eingegangen. Anschliessend wird in den Kapiteln 5 und 6 auf die verwendete Methodik für die agentenbasierte Modellierung des Langenberg West und des Sihlwaldes eingegangen. Darauffolgend werden die erhaltenen Resultate im Kapitel 7 dargestellt und im Kapitel 8 diskutiert. Die Arbeit schliesst mit der Schlussfolgerung im Kapitel 9.

Kapitel 2.

Wildnispark Zürich: Lage und Geschichte

Der Wildnispark Zürich besteht aus dem Sihlwald und dem Langenberg und ist westlich des Zürichsees gelegen, wie auf der Karte in Abbildung 2.1 ersichtlich ist. Das Gebiet des Langenbergs gehört seit dem 16. Jahrhundert der Stadt Zürich und wurde 1869 unter der Führung des Stadtforstmeisters Carl Anton Ludwig von Orelli in einen Wildpark umgestaltet. Seither haben Besucher die Möglichkeit, ehemals einheimische und heute noch in der Schweiz beheimatete Tierarten in einem naturnahen Umfeld zu betrachten (*Wildnispark*, 2013).

Der Sihlwald wurde bereits im frühen Mittelalter forstwirtschaftlich intensiv genutzt. Aufgrund der starken Nutzung wurden ab dem 15. Jahrhundert diverse Forstgesetze erlassen. In diesem Zeitraum fielen die Besitztümer des Sihlwaldes an die Stadt Zürich. Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Schritte in Richtung nachhaltiger Forstwirtschaft gemacht. Mit der Einstellung der Waldpflege im Jahre 2000 wurde der Grundstein für ein Waldreservat im Sihlwald gelegt. Nach einer Volksabstimmung in der Stadt Zürich wurde schliesslich im Jahr 2009 offiziell der Wildnispark Zürich gegründet. Zudem wurde der Wildnispark Zürich Sihlwald vom Bund als Naturerlebnispark von nationaler Bedeutung anerkannt. Heute ist der Sihlwald in eine Kernzone mit starken Schutzmassnahmen und in eine Übergangszone mit mässigem Schutz unterteilt und besitzt ein Besucherzentrum in der Nähe des Bahnhofs Sihlwald (*Wildnispark*, 2013).

Der Perimeter des Wildnisparks Zürich Sihlwald umfasst 1097 Hektaren, von denen 443 Hektaren zur Kernzone und 654 Hektaren zur Übergangszone gehören. Das Wegnetz ist etwa 77 Kilometer lang. Knapp 70 Kilometer davon können als Wanderwege, 51 Kilometer als Velowege und 41 Kilometer als Reitwege genutzt werden. Der Langenberg

Kapitel 2. Wildnispark Zürich: Lage und Geschichte

ist 78 Hektaren gross und weist ein Wegnetz, welches ausschliesslich als Wanderweg benutzt wird, von knapp 10 Kilometer auf (*Wildnispark*, 2013).

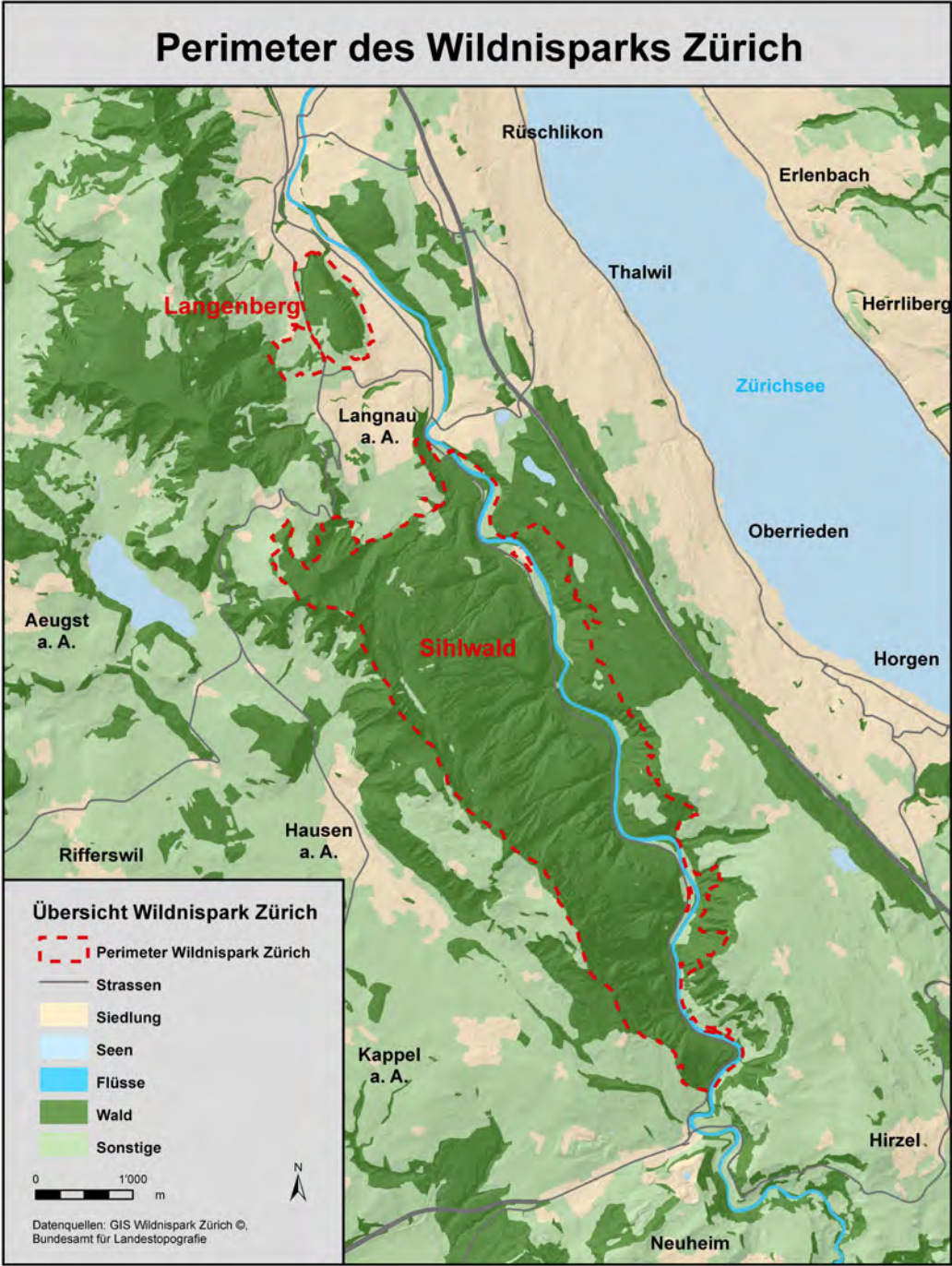


Abbildung 2.1.: Perimeter des Wildnisparks Zürich

Kapitel 3.

Hintergrund

In diesem Kapitel wird im Abschnitt 3.1 auf die Motivation und Methoden des Besuchermonitorings in Parks eingegangen. Im Folgeabschnitt 3.2 wird spezifisch auf die Gründe des Besuchermonitorings im Wildnispark Zürich eingegangen und wie es bisher umgesetzt wurde. Einen Einblick in die Grundsätze und Anwendungsbereiche der agentenbasierten Modellierung ist im Abschnitt 3.3 enthalten. Schliesslich werden im Abschnitt 3.4 die für die Masterarbeit wesentlichen Forschungslücken aufgezeigt.

3.1. Besuchermonitoring

3.1.1. Motivationen

Nach *Cessford und Muhar* (2003) haben Manager von Naturschutzgebieten wie beispielsweise Nationalparks die Verantwortung, das Erbe an wertvollen natürlichen, historischen oder kulturellen Gütern in ihrem Gebiet zu schützen. Gleichzeitig sollen die Parkverantwortlichen jedoch ermöglichen, dass die Gebiete für die Erholung und den Tourismus zur Verfügung stehen. Mit dem Konflikt zwischen primärem Schutz und sekundärer Erholungs- und Bildungsnutzung sehen sich nach *Cessford und Thompson* (2002) die meisten Parkmanager konfrontiert. Um dieser Herausforderung gewachsen zu sein, müssen gemäss *Cessford und Muhar* (2003) in fünf Bereichen Monitoringprozesse angewendet werden:

1. *Operative Prüfung von wirtschaftlichen Kennzahlen und Budget*
2. *Zustand der schützenswerten Elemente im Parkgebiet*

3.1. Besuchermonitoring

3. *Besucherzahlen und deren Verteilung im Raum*
4. *Physische Auswirkungen der Besucher auf Prozesse und Elemente im Parkgebiet*
5. *Soziale Auswirkungen hinsichtlich der Besucherkonflikte und -zufriedenheit*

Der erste Monitoringbereich bezieht sich auf ökonomische Belange, für welchen nach *Cessford und Muhar* (2003) genügend Methoden vorhanden sind. Der zweite Bereich, wo es um die Zustandsbeurteilung von schützenswerten Gütern und Prozessen geht, hat ihrer Ansicht nach eine lange Tradition und ist durch spezialisierte Erhebungsmethoden gut abgedeckt. Insbesondere in ausgedehnten langjährigen Inventaren oder Studien zur Beobachtung der Entwicklung von Arten sehen sie genügend Potential. Hingegen sehen sie in den Monitoringbereichen drei bis fünf Lücken, da das Besuchermonitoring noch nicht gleichermassen etabliert sei. Genaue und verlässliche Informationen zu Besucherzahlen erachten sie jedoch für ein gutes Besuchermanagement als unumgänglich.

Für *Kajala* (2007) nimmt das Besuchermonitoring ebenfalls eine zentrale Stellung ein. Besucherinformationen sind für sie wichtig, weil ihrer Ansicht nach das gesamte Management von Wissen und Information abhängt. Um eine effiziente und fundierte Entscheidung als Manager treffen zu können, muss dieser wissen, wieso Besucher ein bestimmtes Parkgebiet aufsuchen und was dieses Gebiet attraktiv macht.

Zudem ist es für *Kajala* (2007) wichtig, mithilfe der Besucherdaten Interessenskonflikte unter den Besuchern zu erkennen und diese zu managen. Einher geht damit, ein qualitativ möglichst hohes Erholungserlebnis für Besucher zu ermöglichen. Ausserdem können anhand der Daten Veränderungen und Trends in der Erholungsnutzung festgestellt werden.

Ferner können dank den Besucherdaten die nachhaltige Entwicklung der Erholungsnutzung gefördert und den Besuchern selbst mehr Informationen zur Verfügung gestellt werden. Auch gestattet das Besuchermonitoring dem Manager, eingeleitete Bewirtschaftungsmassnahmen auf deren Effizienz zu prüfen. Die Informationen aus den Besucherdaten können zudem als Entscheidungsgrundlage für regionale oder nationale Politiker und Nichtregierungsorganisationen dienen (*Kajala*, 2007). Dies sind nur einige Verwendungen der Daten aus dem Besuchermonitoring, die weitläufig anerkannt sind. So erwähnen *Hornback und Eagles* (1999), *Cessford und Muhar* (2003), *Cope et al.* (2000) oder *Monz und Leung* (2006) ähnliche Verwendungszwecke der Daten des Besuchermonitorings.

3.1. Besuchermonitoring

3.1.2. Methoden

Für *Muhar et al.* (2002) müssen vor der Wahl der Monitoringtechnik fünf Punkte geklärt werden, um anschliessend ein geeignetes Monitoringsystem aufbauen zu können. Als erstes soll abgeklärt werden, warum etwas überwacht werden sollte. Das Ziel des Monitoringsystems muss bekannt sein. Im Abschnitt 3.1.1 sind mögliche Absichten bereits erläutert worden.

In einem weiteren Schritt ist den Fragen nachzugehen, was und wer beobachtet werden soll. Beispielsweise können die Aktivitäten von Besuchern in den Fokus genommen werden oder die Besucherströme. Zudem besteht die Möglichkeit, dass nicht jede Person in einem Park von gleichem Interesse ist. So können beispielsweise Parkbesucher von Interesse sein, während Parkrangern keine Beachtung geschenkt werden soll.

Nachdem geklärt ist, was und wer beobachtet werden soll, müssen nach *Muhar et al.* (2002) die Fragen zu den Orten und den Zeitpunkten der Beobachtungen geklärt werden. Sie erwähnen, dass oft in der Nähe von Eingängen Besucherzählungen durchgeführt werden. Diese berücksichtigen jedoch überproportional Kurzaufenthalter und solche mit einem geringen Bewegungsradius. Bei Parks mit einem offenen Wegnetz und mit sehr vielen Eingängen sind ihrer Meinung nach zudem viele Vorprüfungen zur Wahl der Messstandorte vonnöten. Bei den Zeitpunkten ist zu entscheiden, ob ein langfristiges Besuchermonitoring anvisiert wird oder beispielsweise einzeltägewise Zählungen genügen. Ergänzend muss auch das Wetter, der Wochentag oder die Jahreszeit berücksichtigt werden.

Nachdem die Manager entschieden haben, welche Besucherdaten erhoben werden sollen, ist eine angemessene Monitoringtechnik zu wählen. Für *Watson et al.* (2000) muss diese Technik fähig sein, die Besucherdaten mit genügender Genauigkeit zu liefern, jedoch die Kosten und die Beeinträchtigung der Parkbesucher in Grenzen zu halten. In der Tabelle 3.1 sind verschiedene Techniken zur Schätzung von Parkbesuchern aufgelistet.

Bei der externen visuellen Beobachtung handelt es sich um Monitoringensätze von Personen im Eingangsbereich des Parks. Diese Technik wurde bei Studien in *Arnberger und Hinterberger* (2003) verwendet. Bei stationären internen Beobachtungen werden Personen an fixen Orten innerhalb des Parkbereichs platziert, während bei streunenden internen Beobachtungen Ranger durch das Parkgebiet gehen und dabei die Besucher be-

3.1. Besuchermonitoring

obachten. Bei der externen und stationären Beobachtung können anstelle von Personen auch Kameras angebracht werden. Beispiele für solche Beobachtungen sind in *Arnberger und Hinterberger* (2003) sowie *Iten und Siegrist* (2006) zu finden.

Weiter können auch automatische Zähler auf dem Parkgebiet angebracht werden, wie es in Studien von *Rupf-Haller et al.* (2006) oder *Andersen et al.* (2010) der Fall ist. Die bisher genannten Monitoringtechniken werden von den Besuchern, wenn sie dezent umgesetzt werden, kaum bemerkt. Die Techniken weisen zudem unterschiedliche Kosten und Genauigkeiten auf.

Monitoringtechnik	Besucherbelastung	Kosten	Genauigkeit
Externe visuelle Beobachtung	Keine	Hoch	Variabel
Stationäre interne Beobachtung	Keine	Variabel	Variabel
Streunende interne Beobachtung	Keine	Tief	Tief
Automatische Zähler	Keine	Hoch	Hoch
Registrierung	Tief	Moderat	Variabel
Genehmigungen	Moderat bis Hoch	Variabel	Hoch
Umfragen	Moderat	Hoch	Variabel
Indirekte Schätzungen	Hoch bis Tief	Hoch bis Tief	Variabel
Luftbildaufnahmen	Hoch	Hoch	Ungewiss

Tabelle 3.1.: Techniken zur Besucherschätzung nach *Watson et al.* (2000)

Bei der Registrierung von Besuchern, der Vergabe von Genehmigungen und bei Umfragen wird direkt in die Privatsphäre der Besucher eingegriffen. Je nachdem wie viel Angaben vom Parkbesucher erwartet werden, fällt die Besucherbelastung unterschiedlich aus. Zudem schwanken auch die Kosten und die Genauigkeit. Verwendungen von Registrierungen, Genehmigungen oder Umfragen können in *Kleiber* (2001), *Arnberger und Hinterberger* (2003), *Cottrell et al.* (2005), *Iten und Siegrist* (2006) sowie *Arnberger*

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

et al. (2010) gefunden werden. Weitere Monitoringtechniken sind die indirekten Schätzungen und Analysen von Luftbildaufnahmen. Bei der indirekten Schätzung kann beispielsweise anhand der parkierten Fahrzeuge die Anzahl Besucher abgeschätzt werden. Bei Luftbildaufnahmen können Personen oder Personengruppen lokalisiert und gezählt werden. Angewendet wurde diese Technik in *Iten und Siegrist* (2006).

Neben der Einteilung der Monitoringtechniken nach *Watson et al.* (2000) existieren noch andere, jedoch sehr ähnliche Einteilungen. So nehmen *Muhar et al.* (2002) in ihrem Überblick über Methoden für das Besuchermonitoring in Erholungs- und Schutzgebieten eine mehrstufige, noch etwas feinere Einteilung vor. *Cessford und Muhar* (2003) teilen die Monitoringtechniken in vier Typen ein. Es sind dies eine Kategorie für direkte Beobachtungen anhand von Beobachtern oder Kameras, eine weitere für automatische Zählstellen, eine für Besucherregistrierung sowie eine für abgeleitete Zählungen. Diese Typen kommen alle in ähnlicher Form in der Tabelle 3.1 vor.

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

3.2.1. Gründe

Im Leitbild des Wildnisparks Zürich wird erwähnt, dass der Schutz von natürlichen Prozessen im Parkgebiet prioritär ist. Des Weiteren sollen dem Besucher Naturerlebnisse ermöglicht werden (*Wildnispark*, 2013). Wie bereits im Abschnitt 3.1.1 erläutert, ist eine Besucherlenkung notwendig, um das Konfliktpotential zwischen beiden Zielen zu minimieren. Durch eine effiziente Besucherlenkung kann der Naturschutz sowie eine hohe Zufriedenheit der Parkbesucher gewährleistet werden.

Ein weiterer Grund liegt in der Erfüllung der Anforderungen des vom Bundesamt für Umwelt verliehenen Titels eines Naturerlebnisparks. In den Anforderungen wird spezifisch erwähnt, dass die Natur vor schädlichen Eingriffen des Menschen geschützt werden muss und die Erholungsnutzung koordiniert und überwacht werden soll (*BAFU*, 2010). Zudem kann das Besuchermonitoring beigezogen werden, um der Stifterversammlung, dem obersten Gremium der Stiftung Wildnispark Zürich, Rechenschaft entsprechend der Leistungsvereinbarung abzulegen (*Wildnispark*, 2013). Weitere Anwendung findet das

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

Besuchermonitoring als wichtiger Indikator im Nachhaltigkeitskonzept des Wildnisparks (Roth, 2008).

3.2.2. Umsetzung

Umgesetzt wurde das Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich mit einer Kombination verschiedener Techniken. Dabei wurde auf die von *Watson et al.* (2000) genannten Techniken der stationären internen Beobachtung, automatischen Zähler und Umfragen zurückgegriffen. Für den Wildnispark wird im Kontext von automatischen Zählern von automatischen Zählstellen sowie bei stationären internen Beobachtungen von manuellen Zählstellen gesprochen. Nachfolgend werden die Vorkehrungen für jede Technik einzeln kurz erläutert.

Automatische Zählstellen

Wie in der Tabelle 3.2 ersichtlich, wurden erste automatische Zählstellen im Sommer 2009 im Sihlwald angebracht. Ein Jahr später wurden zwei Zählstellen im Besucherzentrum Sihlwald und im Jahr 2011 5 Zählstellen im Langenberg montiert.

Jahr	Sommer 2009	Sommer 2010	Sommer 2011
Sihlwald	3 Druckmattensensoren 1 Infrarotsensor 1 Induktionsschleife		
Besucherzentrum Sihlwald		2 Infrarotsensoren mit Richtungserfassung	
Wildpark Langenberg			5 Infrarotsensoren mit Richtungserfassung

Tabelle 3.2.: Einbau Anzahl automatischer Zählstellen

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

Bei den Zählstellen im Sihlwald handelt es sich um 3 Druckmattensensoren, einen Infrarotsensor und eine Induktionsschleife. Bei den Zählstellen im Besucherzentrum Sihlwald sowie im Wildpark Langenberg sind Infrarotsensoren im Einsatz, welche die Gehrichtung von Personen erfassen können.

Die im Sihlwald verwendeten Druckmattensensoren sind unterirdisch in den Gehweg verlegt und reagieren bereits auf geringfügige Druckwellen, welche ein darüber gehender Fussgänger auslöst. Wie in Abbildung 3.1 in der Mitte zu sehen ist, können bei breiten Wegen auch mehrere Matten nebeneinander gelegt werden.

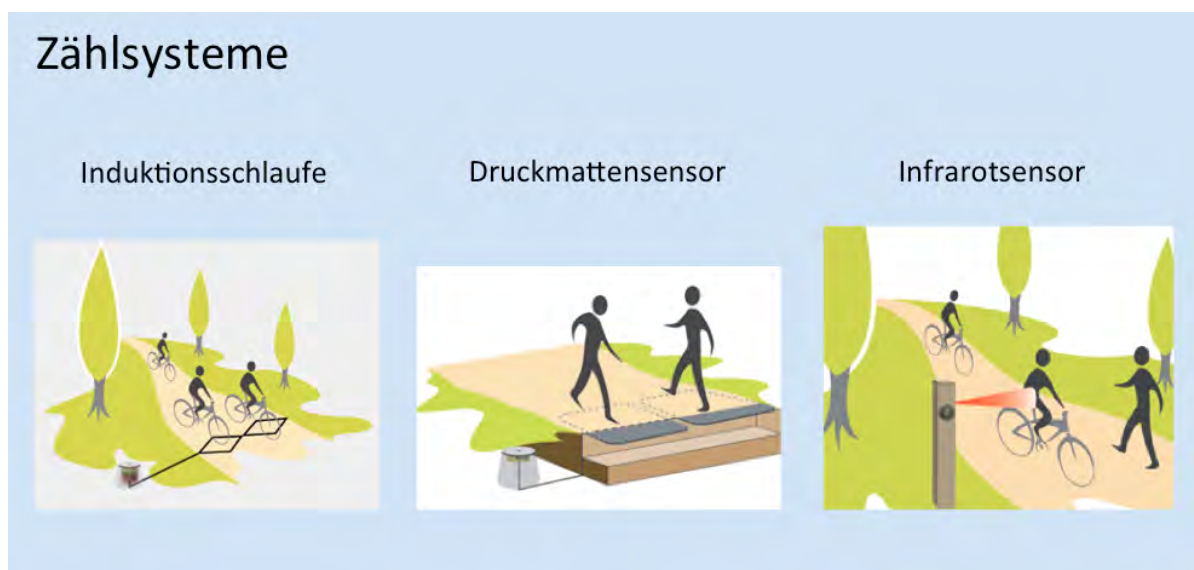


Abbildung 3.1.: Zählsysteme, Bilder übernommen von *Eco-Compteur* (2013)

Die Induktionsschleife, welche ebenfalls unterirdisch eingebaut wird, dient zum Zählen von Velofahrern (Abbildung 3.1 links). Sie ist fähig, die magnetische Signatur von Fahrrädern zu erkennen und dadurch die Anzahl passierter Fahrräder zu ermitteln. Der Infrarotsensor kann Fussgänger erkennen, indem er deren Körperwärmeabstrahlung wahrnimmt. Da der Sensor erhöht platziert werden muss, geschieht das Einbauen oft getarnt in einem Holzpfosten, wie die Abbildung 3.1 rechts illustriert (*Eco-Compteur*, 2013). Um abschätzen zu können, wie exakt die Zählstellen messen, und um Korrekturen vornehmen zu können, wurden für jede Zählstelle Kalibrationszählungen vorgenommen und Korrekturfaktoren ermittelt.

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

Die automatischen Zählstellen stammen vom französischen Hersteller Eco-Counter¹, welcher weltweiter Marktführer für Zählsysteme im Langsamverkehr ist. Geräte dieses Herstellers werden beispielsweise in Monitoringstudien von *Perrin et al.* (2006), *Yang et al.* (2010) und *Andersen et al.* (2010) verwendet.

Um die Zählstellen im Wildnispark an geeigneten Orten zu platzieren, wurden diverse Kriterien berücksichtigt. Für den Sihlwald wurden der Zonenplan sowie das Wegnetz als Grundlage verwendet, wo mit Hilfe der Erfahrung der Ranger die Wegfrequentierung abgeschätzt wurde. Für die automatischen Zählstellen wurden anschliessend möglichst repräsentative Standorte ausgewählt.

In der Abbildung 3.2 sind die gewählten Standorte der automatischen Zählstellen sichtbar. Die Zählstellen mit den Nummern 201 und 205 befinden sich am selben Ort, eine davon ist eine Induktionsschleife zum Zählen von Fahrradfahrern, die andere besteht aus Druckmattensensoren zum Erheben von Fussgängern. Die Zählstellen befinden sich südlich einer wichtigen Kreuzung auf einem Weg, mit einer von Rangern vermuteten erhöhten Frequentierung. Die Zählstelle 202 befindet sich auf einem Weg, welcher hin zum Gratweg führt und am Rande der Kernzone entlang geht. Die Zählstelle 203 befindet sich etwas weiter nördlich auf dem Gratweg. Beide Zählstellen bestehen aus Druckmattensensoren zum Zählen von Fussgängern. Bei der Zählstelle 204 handelt es sich um einen Infrarotsensor, der beim Eingang eines Hochwachtturmes angebracht ist und die Anzahl Personen zählt, welche die Aussichtsplattform besuchen. Im Besucherzentrum sind an den Ausgängen die Zählstellen 301 respektive 302 angebracht.

Im Gebiet des Langenbergs wurden im kleineren, abgeschlossenen Westteil bei beiden Eingängen Zählstellen eingebaut, um dadurch die gesamte Besucherzahl für diesen Teil erheben zu können. Die Zählstelle für den nördlichen Eingang in den Westteil trägt die Nummer 401, jene für den südlichen Eingang die Nummer 402, wie in Abbildung 3.3 ersichtlich ist. Im Zentrumsteil des Langenbergs wurde die Zählstelle 403 so platziert, dass mit ihrer Hilfe Erkenntnisse gesammelt werden können für den Bereich des Zentrumsgbietes, welches nahe am Westteil liegt. Die Zählstelle 404 befindet sich in einem Weg, welcher passiert werden muss, wenn die Besucher mit dem Auto anreisen und den dafür vorgesehenen Parkplatz benützen. Wenn Personen mit dem öffentlichen Verkehr anreisen, werden sie sehr wahrscheinlich die Zählstelle mit der Nummer 405 passieren.

¹www.eco-compteur.com

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

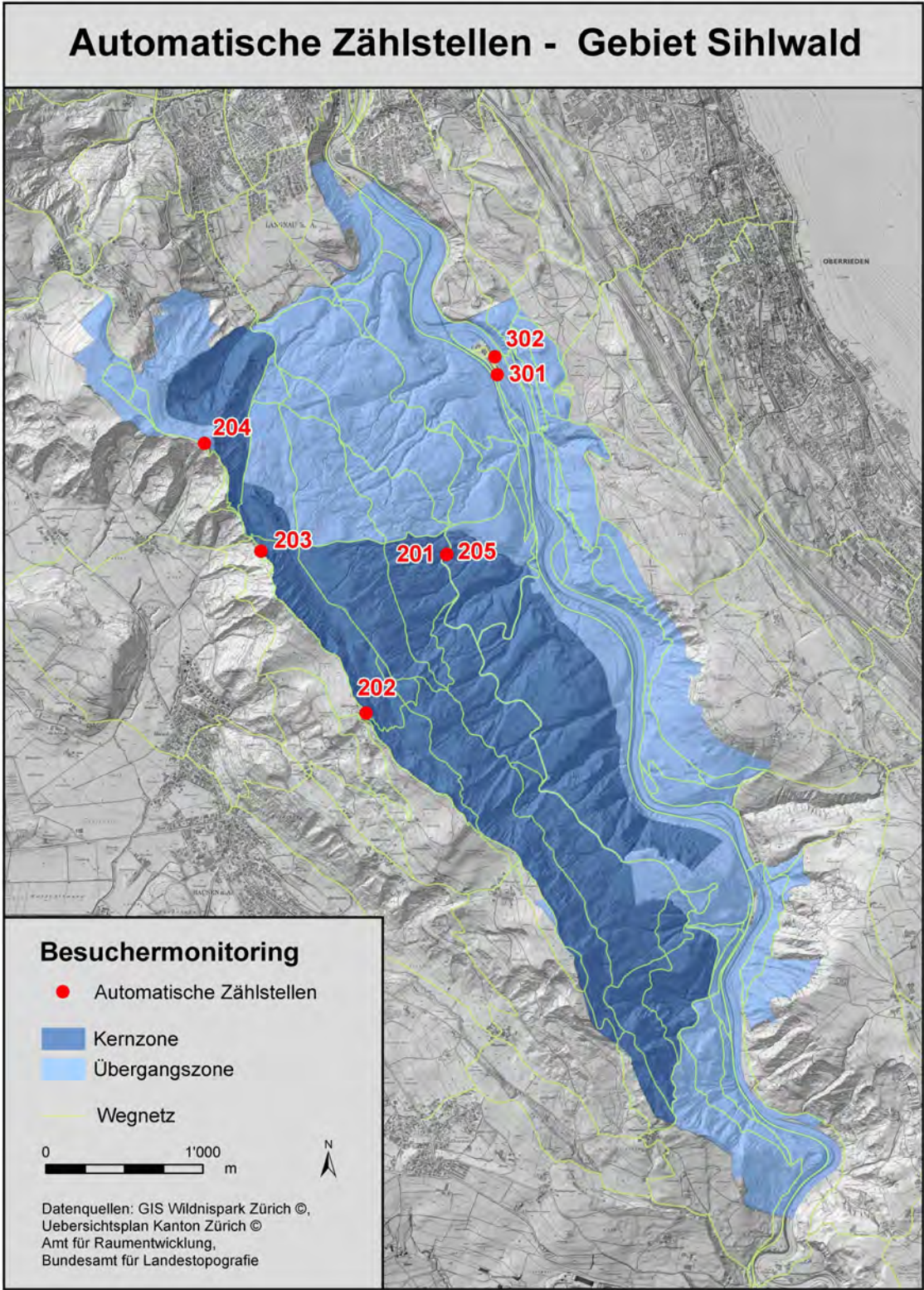


Abbildung 3.2.: Automatische Zählstellen im Gebiet Sihlwald

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

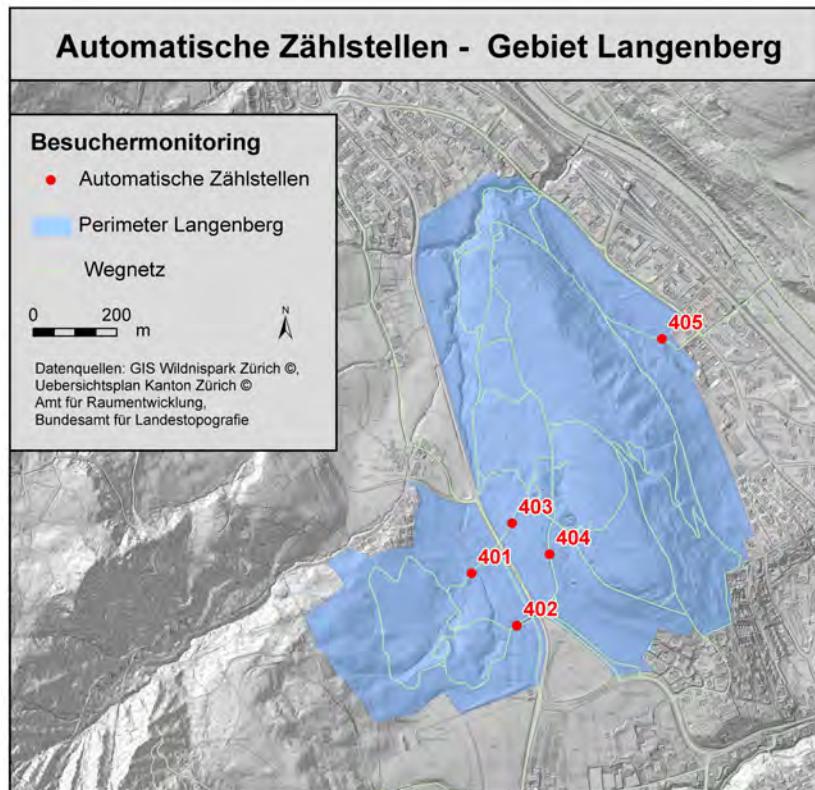


Abbildung 3.3.: Automatische Zählstellen im Gebiet Langenberg

Manuelle Zählstellen

Die Positionen der manuellen Zählstellen, bei denen von Hand gezählt wird, wurden auf Kreuzungen des Wegnetzes gesetzt und befinden sich ausschliesslich im Parkgebiet des Sihlwaldes. Des Weiteren wurden die Positionen der automatischen Zählstellen berücksichtigt, um eine möglichst grosse Abdeckung mit Zählstellen zu erreichen. Wie in Abbildung 3.4 erkennbar ist, sind die zehn manuellen Zählstellen weitläufig über das ganze Parkgebiet des Sihlwaldes verteilt. Im Rahmen des Projektes Visiman wurden im Jahre 2009 an diesen topologisch wichtigen Standorten manuelle Zählungen durchgeführt.

3.2. Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich

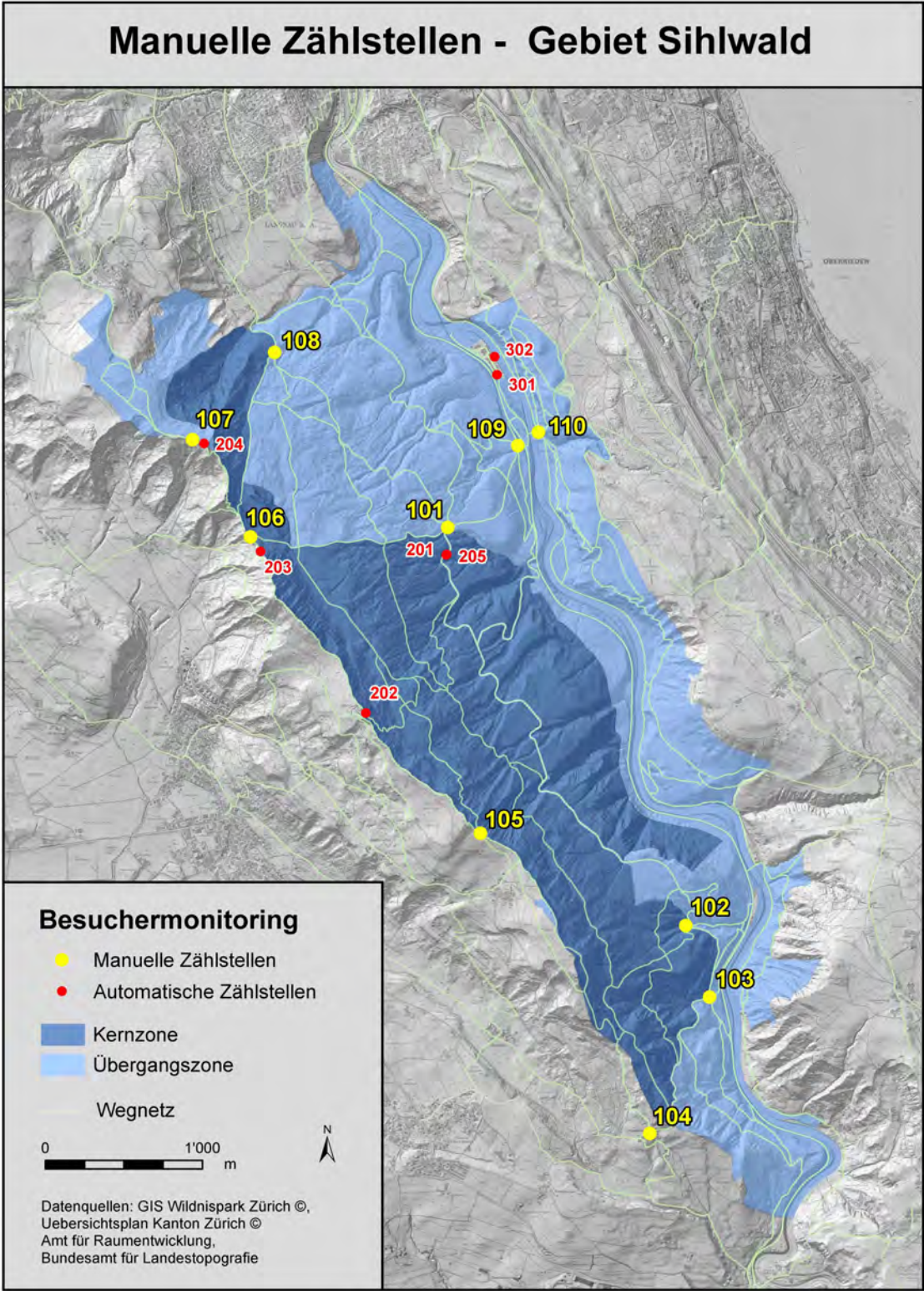


Abbildung 3.4.: Manuelle Zählstellen im Gebiet Sihlwald

3.3. Agentenbasierte Modellierung

Umfragen

Die erste Besucherbefragung wurde im Jahr 2004 im Wildpark Langenberg durchgeführt. Bei einer zweiten Befragung im Jahr 2006 wurden die Besucher nach dem Alter, dem Geschlecht, der Aufenthaltsdauer, dem Grund des Aufenthaltes, der Begleitung, der Anreiseart und dem Wohnort gefragt.

Im Jahre 2011 wurde eine weitere Besucherbefragung durchgeführt, wobei für jeden Parkteil einzeln eine Befragung durchgeführt wurde. Im Vergleich zu 2006 wurde der Fragebogen mit Fragen zum öffentlichen Verkehr und der Kundenzufriedenheit in verschiedenen Belangen wie beispielsweise der Infrastruktur, dem Waldcharakter oder der Tierhaltung stark erweitert.

3.3. Agentenbasierte Modellierung

3.3.1. Grundsätze

Begriffsdefinitionen

Um verstehen zu können, worum es sich bei einer agentenbasierten Modellierung handelt, ist eine Definition des Begriffes von Vorteil. Der Begriff der agentenbasierten Modellierung besteht aus zwei Bestandteilen. Einerseits bedient er sich des Wortes der Modellierung und andererseits ist diese Modellierung agentenbasiert, womit Agenten den zweiten Bestandteil bilden.

Im Kontext der geographischen Informationswissenschaft definieren *Castle und Crooks* (2006) ein Modell als eine vereinfachte Abbildung der Realität, wobei es verschiedene Arten von Abbildungen der Realität geben kann. Ein Modell kann für sie mithilfe eines Computerprogrammes erstellt werden, welches eine vereinfachte digitale Repräsentation von einem oder mehreren Aspekten der Realität ist. Nach *Longley et al.* (2005) ist ein Modell statisch, wenn der Input und Output eines Modells sich zeitlich decken, dynamisch, wenn der Output einem späteren Zeitpunkt entspricht als jenem des Inputs. Diese Definition eines Modells im Kontext der geographischen Informationswissenschaft wird auch von *Getchell* (2008) geteilt.

3.3. Agentenbasierte Modellierung

Für den zweiten Bestandteil des Begriffs der agentenbasierten Modellierung, dem Term Agenten, herrscht nach *Macal und North* (2005) keine universelle Zustimmung über dessen Definition. Ihrer Meinung nach haben die verschiedenen Definitionen jedoch mehr Gemeinsamkeiten als Unterschiede. Einen möglichen Grund für unterschiedliche Definitionen sieht *Bonabeau* (2002) darin, dass Eigenschaften von Agenten nur schwierig auf eine konsistente und exakte Art aus der Literatur extrahiert werden können, da Agenten je nach Disziplin unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können. In *Castle und Crooks* (2006), *Getchell* (2008) und *Crooks und Heppenstall* (2012) ist eine Zusammenstellung von Charakteristiken vorhanden, welche für Agenten am häufigsten sind. Nachfolgend sind die Charakteristiken aufgelistet:

- *Autonomie*
- *Heterogenität*
- *Aktivität*
 - *Zielstrebigkeit*
 - *Reaktivität*
 - *Begrenzte Rationalität*
 - *Interaktivität*
 - *Mobilität*
 - *Adaptation*

Mit Autonomie bezeichnen die Verfasser die Fähigkeit von Agenten, eigenständige und unabhängige Entscheidungen treffen zu können, insbesondere bei Interaktionen mit anderen Agenten.

Die Heterogenität bezieht sich auf die Vielfalt der Agenten. Agenten erlauben die Entwicklung von autonomen Individuen mit unterschiedlichen Attributeigenschaften. *Crooks und Heppenstall* (2012) nehmen Agenten, welche Menschen repräsentieren, als Beispiel. Diese Agenten können unterschiedliche Werte für die Attribute Alter, Geschlecht oder Beruf besitzen.

Mit Aktivität drücken die Autoren das Können der Agenten aus, selbständig Einfluss auf die Simulation auszuüben. Jeder Agent handelt nach den Regeln der Simulation und des

3.3. Agentenbasierte Modellierung

ihm vorprogrammierten Verhalten. Dabei kann der Agent zielstrebig handeln, indem er ein Ziel unter Berücksichtigung seines für ihn vorprogrammierten Verhaltens erreichen will. Weiter kann er seine Umgebung wahrnehmen und auf diese reagieren. Durch das Einschränken von Wissen kann ein begrenzt rationales Verhalten erzeugt werden. Für *Castle und Crooks* (2006) können beispielsweise die Agenten alle Notausgänge eines Gebäudes kennen, doch sie wissen nicht, ob alle zugänglich sind. Mit Interaktivität wird die Fähigkeit von Agenten bezeichnet, untereinander oder mit der Umwelt kommunizieren zu können. *Getchell* (2008) erwähnt, dass dies unter anderem die Zerstörung eines Agenten hervorbringen oder die Zielsetzung ändern kann. Die Mobilität ist eine besonders nützliche Funktion von Agenten. Sie ermöglicht es, die Interaktivität mit der Umwelt und anderen Agenten erheblich zu verbessern. Als letzte Funktion erwähnen die Verfasser die Adaptation. Durch Lernen ist es Agenten möglich, sich an ihre Umwelt oder andere Agenten anzupassen.

Castle und Crooks (2006) fassen zusammen, dass agentenbasierte Modelle aus mehreren interagierenden Agenten bestehen, welche in einer Modell- oder Simulationsumgebung eingebettet sind. Dabei kann das Verhalten der Agenten variieren von Reaktivität bis hin zu Zielstrebigkeit. Ergänzend wird erwähnt, dass die Handlungen der Agenten synchron oder zeitlich versetzt stattfinden können und dass die Modell- oder Simulationsumgebung den Raum definiert, in welchem die Agenten operieren. Je nach Modellzweck reicht eine implizite Angabe über den Ort des Agenten, ansonsten muss der Ort explizit angegeben werden.

Vor- und Nachteile

Bonabeau (2002) identifiziert drei wesentliche Vorteile der agentenbasierten Modellierung gegenüber herkömmlichen Modellierungstechniken, wobei für ihn der Erstgenannte von grösster Bedeutung ist:

1. *Sie kann emergente Phänomene auffassen*
2. *Sie bietet eine realitätsnahe Umgebung zur Studie bestimmter Systeme*
3. *Sie ist sehr flexibel hinsichtlich der Entwicklung von räumlichen Modellen*

Emergente Phänomene resultieren nach *Bonabeau* (2002) aus Interaktionen von individuellen Objekten. Sie können zudem Eigenschaften eines Systems hervorrufen, welche

3.3. Agentenbasierte Modellierung

logisch unabhängig von anderen Eigenschaften sind. Als Beispiel wird von *Bonabeau* (2002) ein Verkehrsstau genommen, welcher aufgrund der Interaktion von Fahrzeugkernen entsteht. So kann es vorkommen, dass sich in entgegengesetzter Fahrtrichtung ein Stau bildet, da Schaulustige den Verkehrsfluss stören. Eine agentenbasierte Modellierung kann jedoch dieses kontraintuitive Phänomen erfassen.

Ein weiterer Vorteil nach *Bonabeau* (2002) ist die realitätsnahe Umgebung, welche eine agentenbasierte Modellierung bietet. Im Gegensatz zu abstrakten mathematischen Formeln, können in einer agentenbasierten Modellierung viel anschaulicher und unkomplizierter Bewegungen von Menschenmengen abgebildet werden. Insbesondere bei komplexem individuellem Verhalten von Individuen, welches nur mit einer Vielzahl von Gleichungen abgebildet werden kann, erweist sich die agentenbasierte Modellierung als sehr geeignet.

Die agentenbasierte Modellierung ist nach *Bonabeau* (2002) in mehrerer Hinsicht flexibel. So ist es einerseits einfach der Modellierung neue Agenten hinzuzufügen. Andererseits kann die Komplexität der Agenten hinsichtlich deren Verhalten, Grad ihrer Rationalität, ihrer Fähigkeit zu Lernen oder die Regeln ihrer Interaktionen einfach angepasst werden. Zudem kann das Aggregationslevel gewählt werden. So können Untersuchungen auch nur für Teilgruppen von Agenten oder einzelne Agenten durchgeführt werden.

Neben den oben genannten Vorteilen weist die agentenbasierte Modellierung jedoch auch Limitationen auf. Für *Castle und Crooks* (2006) ist ein Modell nur so nützlich wie es dem Zweck seiner Konstruktion entspricht. *Couclelis* (2002) bemerkt, dass es ausserdem wichtig ist, das agentenbasierte Modell auf der richtigen Beschreibungsebene des zu untersuchenden Phänomens zu erstellen und mit einer passenden Menge an Details zu versehen. Nach *Axtell* (2000) muss das agentenbasierte Modell zudem auf seine Robustheit überprüft werden. Diese kann ermittelt werden, indem Simulationen mit gleichbleibenden Parametern mehrmals laufen gelassen werden. Schliesslich erwähnt *Couclelis* (2002), dass bei mathematischen Rechenmodellen die Möglichkeit besteht, dass Agenten ein überraschendes Verhalten zeigen, welches in der realen Welt so selten gefunden wird.

3.3. Agentenbasierte Modellierung

3.3.2. Anwendungsbereiche

Die agentenbasierte Modellierung kann in diversen, sehr unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. *Bonabeau* (2002) teilt die Anwendungsmöglichkeiten in vier Hauptfelder, welche in Tabelle 3.3 ersichtlich sind. Die Bereiche der Märkte, Organisation und Diffusion sind für diese Masterarbeit von untergeordneter Bedeutung. Von wesentlichem Interesse ist der Bereich der Flüsse, dessen Anwendungsfeld sich aus der Evakuierung, dem Verkehr und dem Kundenflussmanagement zusammensetzt.

Flüsse	Märkte	Organisation	Diffusion
Evakuierung	Börse	Operationelles Risiko	Diffusion von Innovation
Verkehr	Preisvergleichsdienst	Organisatorische Gestaltung	Dynamik von Annahmen
Kundenflussmanagement	Strategische Simulationen		

Tabelle 3.3.: Anwendungsmöglichkeiten der agentenbasierten Modellierung nach *Bonabeau* (2002)

Bei der Evakuationsforschung können agentenbasierte Modellierungen dazu genutzt werden, um Fussgängerströme im Falle einer Evakuierung zu simulieren. *Camillen et al.* (2009) simulieren für ein Museum das Verhalten von Besuchern während dem normalen Betrieb und einer plötzlichen Alarmsituation. Das Verhalten der Agenten untersteht gewissen Beschränkungen. So verunmöglichen *Camillen et al.* (2009), dass zwei Agenten am gleichen Platz sein können und dass Agenten einen schon bereits besuchten Museumsraum erneut besuchen können. Des Weiteren ist das Sichtfeld der Agenten auf die nähere Umgebung beschränkt. Um individuelles Verhalten von Agenten erzeugen zu können, wird jedem Agenten zufällig ein Interessensniveau an Kunstwerken zugeteilt sowie unterschiedliche Toleranzen der Wartezeit, bis er es anschauen kann. In verschiedenen Simulationsgängen werden die Anzahl Notausgänge sowie die Anzahl Kennzeichnungen in Richtung Notausgang variiert. Mit diesem Vorgehen kann Wissen über den Verlauf von Evakuierungen generiert werden, so dass schliesslich die effizienteste Konstellation an Notausgängen und Kennzeichnungen in der Realität umgesetzt werden kann.

Shi et al. (2009) bilden in ihrer Arbeit eine agentenbasierte Modellierung, welche eine

3.3. Agentenbasierte Modellierung

Evakuierung in einem Hochhaus, ausgelöst durch Feuer, simuliert. Wie bereits bei *Camillen et al.* (2009) haben die Agenten nur eine begrenzte Sichtweite und müssen aufgrund ihrer lokalen Umgebung Entscheidungen treffen. Bei jedem Zeitschritt müssen sich die Agenten entscheiden, wo und wie schnell sie hingehen und wie sie mit der Konfrontation mit anderen Agenten umgehen. Während die Wahl des Weges und der Gehgeschwindigkeit von *Shi et al.* (2009) für die Agenten individuell festgelegt wurde, wird bei einer Begegnung von zwei Agenten zufällig einem der Vortritt gelassen.

Als weiteres Anwendungsfeld im Bereich der Flüsse nennt *Bonabeau* (2002) den Verkehr. Eine kombinierte Anwendung der agentenbasierten Modellierung für die Felder der Evakuierung und des Verkehrs machen *Chen und Zhan* (2006). Sie nutzen die Technik um Verkehrsflüsse auf Basis von einzelnen Fahrzeugen zu modellieren und um damit das kollektive Verhalten der Fahrzeuge zu untersuchen. Dabei werden auf drei verschiedenen Strassennetzwerken, einem mit Raster, einem als Ringnetz und einem als verzweigtes Strassennetzwerk, Simulationen durchgeführt. Durch Variation der Anzahl Fahrzeuge und der Evakuierungsreihenfolge lassen sich etliche Szenarien abbilden und aufgrund der Resultate Aussagen über die Effizienz von Evakuierungsplänen machen.

Cetin et al. (2003) untersuchen in einer grossskaligen agentenbasierten Verkehrssimulation, wie sich Verkehrsteilnehmer bei Stau auf Kreuzungen verhalten. Schlüsselkomponenten sind in ihrem Modell die Kapazität und der Platz des verwendeten Strassennetzwerks sowie die Maximalgeschwindigkeit. Ein Interesse der Studie liegt darin, das Verhalten der Verkehrsteilnehmer mithilfe dieser Untersuchung realistischer gestalten zu können. Die Studie wird in *Raney et al.* (2003) weiter entwickelt. Sie prüfen, welche Eigenschaften eine Simulation braucht, um als eine grossskalige Verkehrssimulation verwendet werden zu können.

Als drittes Anwendungsfeld nennt *Bonabeau* (2002) das Kundenflussmanagement. So erwähnen *Twomey und Cadman* (2002) sowie *Bonabeau* (2002) ein Modell namens *SimsStore*², welches ein agentenbasiertes Modell eines Supermarktes ist und anhand von realen Einkaufslisten die Wege der Kunden berechnet und anschliessend die Dichte der Kunden im Supermarkt eruiert.

Klügl und Rindsfuser (2007) verwenden eine agentenbasierte Modellierung, um für einen

²simworld.co.uk

3.4. Forschungslücken

Bahnhof die Besucherströme zu einer stark frequentierten Uhrzeit zu modellieren. Dabei sind die Agenten fähig, von einem Startpunkt zu einem Ziel ohne Kollision mit anderen Agenten zu gelangen und unterwegs, falls notwendig, ihre Route neu zu planen. Sie hoffen dabei neue Erkenntnisse zu gewinnen, welche bei der Planung von Fussgängereinrichtungen von Nutzen sein können.

Im Kundenflussmanagement inbegriffen ist zudem das Monitoring von Parkbesuchern. *O'Connor et al.* (2005) haben für den 12 Apostel Nationalpark in Australien eine agentenbasierte Modellierung mit dem Zweck erstellt, die gegangenen Wege von Parkbesuchern nachzubilden. Das Verhalten der Besucher soll in Bezug zur Fussgängerinfrastruktur und zu vorgenommenen Besucherleitungsmassnahmen betrachtet werden. Weiter von Interesse sind für sie die Besuchererfahrung sowie die Infrastrukturkapazität des Nationalparks. Als Datengrundlage wurden frühere Verkehrszählungen verwendet. Um die Simulation zu validieren und zu kalibrieren, wurden 900 Besucher mit Sendern ausgestattet und deren gegangene Wege aufgenommen.

3.4. Forschungslücken

Für das Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich wurde bisher keine agentenbasierte Modellierung der Besucherströme durchgeführt, so wie es beispielsweise *O'Connor et al.* (2005) für den 12 Apostel Nationalpark gemacht haben. Der Einsatz einer agentenbasierten Modellierung für das Besuchermonitoring im Wildnispark Zürich ermöglicht es, bestehendes Wissen über Besucherströme in einer Simulation abzubilden und daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen. So kann die agentenbasierte Modellierung der Besucherströme dazu beigezogen werden, um die Plausibilität der Kalibration automatischer Zählstellen zu prüfen. In der Literatur konnte keine Studie gefunden werden, welche diesen Ansatz bereits verfolgte. Daraus lässt sich eine erste Forschungsfrage ableiten:

1. *Welchen Beitrag kann eine agentenbasierte Modellierung zur Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration leisten?*

Bei agentenbasierten Modellierungen, sei es in der Evakuationsforschung, im Bereich des Verkehrs oder im Kundenflussmanagement, kann die Aufenthaltszeit eines Agenten

3.4. Forschungslücken

festgehalten werden. Im Falle einer Evakuationsimulation, wie jener von *Camillen et al.* (2009), ist die Evaluation der Gesamtevakuationszeit von wesentlichem Interesse. Für die Parkteile des Wildnisparks Zürich sind nur geschätzte Aufenthaltszeiten aus Umfragen vorhanden oder gar keine Aufenthaltszeiten bekannt. Daher bietet sich die agentenbasierte Modellierung der Besucherströme als neue Informationsquelle an. Dementsprechend ergibt sich folgende Forschungsfrage:

2. *Welcher Nutzen kann aus der mittels agentenbasierter Modellierung simulierter Aufenthaltsdauer von Besuchern gezogen werden?*

In der Literatur zur agentenbasierten Modellierung wurde bisher auch nicht darauf eingegangen, ob mit einer Besucherstromsimulation eine räumliche Optimierung von Zählstellen vorgenommen werden kann. Eine räumliche Optimierung der Zählstellen ist für den Wildnispark Zürich interessant, weil einerseits das Besuchermonitoring verbessert und andererseits die finanziellen Mittel effizienter eingesetzt werden können. Aus dieser Gegebenheit kann folgende Forschungsfrage gestellt werden:

3. *Welche Hinweise liefert eine agentenbasierte Modellierung zur Konstellation der Zählstellen für ein räumlich explizit optimales Messnetzwerk?*

Kapitel 4.

Daten und Software

4.1. Daten

Für die agentenbasierte Modellierung der Besucherströme im Sihlwald wurden einerseits Geodaten für das Gebiet des Wildnispark Zürich verwendet, um das Wegnetz und die Infrastruktur abbilden zu können. Andererseits wurden Daten aus dem Besuchermonitoring des Wildnisparks verwendet, um Besucherfrequenzen und Besucherverhalten in der Simulation modellieren zu können.

4.1.1. Geodaten

Grenzen, Zonen und Wegnetz

Die Datensätze für die Parkgrenze, die verschiedenen Parkzonen und das Wegnetz stammen aus der Geodatenbank des Wildnispark Zürich¹. Die Datensätze der Parkgrenze und der Parkzonen stammen aus dem Jahr 2008. Der Datensatz der Parkgrenze enthält die Grenzen für den Langenberg sowie den Sihlwald, jener der Parkzonen enthält eine Einteilung des Sihlwaldes in die Kategorien der Kernzone sowie der Übergangszone.

Der Datensatz des Wegnetzes enthält die Wege des Parks und seiner näheren Umgebung und wurde ab Orthophotos von 2004 und 2005, der Schräglichtdarstellung des digitalen Terrainmodelles und Daten der amtlichen Vermessung digitalisiert und laufend überarbeitet. Die Geometrie weist eine höhere Genauigkeit auf als die Schweizer Landeskarte.

¹Metadaten: www.parc.ch/wpz

4.1. Daten

In der Abbildung 4.1 sind die Datensätze, jeweils mit dem digitalen Terrainmodell unterlegt, ersichtlich.

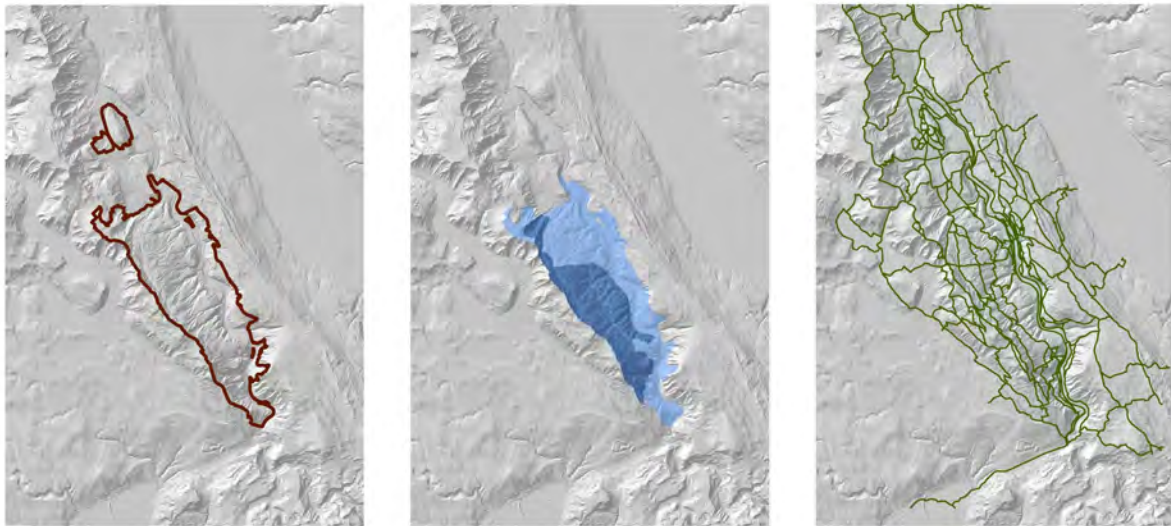


Abbildung 4.1.: Datensätze von links nach rechts: Parkgrenze, Parkzonen Sihlwald, Wegnetz Wildnispark Zürich und nahe Umgebung

Infrastruktur

Die Geodaten für die Infrastruktur im Wildnispark Zürich bestehen aus Punktdatensätzen. Es existieren Datensätze für die automatischen und manuellen Zählstellen, welche bereits in den Abbildungen 3.2 bis 3.4 ersichtlich waren.

Ferner sind Datensätze für Aussichtspunkte, Feuerstellen, Gastronomie sowie Infopunkte vorhanden. Bei den Infopunkten handelt es sich um historische Orte, Spielplätze, Erlebniswelten und das Besucherzentrum. Wie bereits die Datensätze der Parkgrenze, den Parkzonen und des Wegnetzes stammen die Infrastrukturdatensätze aus der Geodatenbank des Wildnispark Zürich. Nachfolgend sind in Abbildung 4.2 die Infrastrukturdatensätze ausser den Zählstellen, hinterlegt mit dem digitalen Terrainmodell und der Parkgrenze, dargestellt.

4.1. Daten

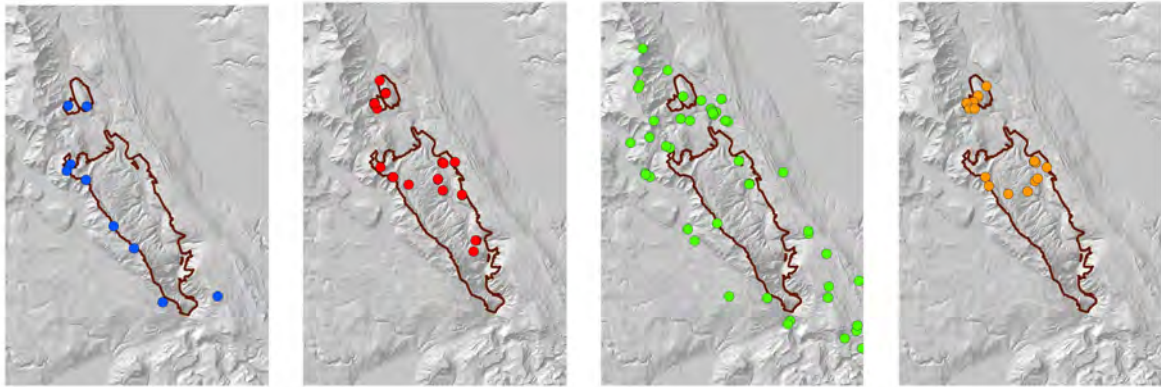


Abbildung 4.2.: Datensätze von links nach rechts: Aussichtspunkte (blau), Feuerstellen (rot), Gastronomie (hellgrün), Infopunkte (orange)

4.1.2. Daten Besuchermonitoring

Daten aus dem Besuchermonitoring wurden aus den automatischen und manuellen Zählstellen sowie aus den durchgeführten Umfragen akquiriert.

Die Daten der automatischen Zählstellen sind nach Zählstellennummern geordnet. Für jede automatische Zählstelle existieren Rohdaten, welche die Besucherzahlen nach Stunden aggregiert seit ihrer Inbetriebnahme wiedergeben. Die automatischen Zählstellen im Wildpark Langenberg und im Besucherzentrum Sihlwald weisen zudem richtungsgetrennte Besucherzahlen auf. Aufgrund von technischen Störungen oder sonstigen Umständen weisen die Messreihen gewisser Zählstellen Lücken auf. Zu jeder automatischen Zählstelle existiert ein Kalibrierungsfaktor (bei den richtungsgetrennten Zählstellen ein Kalibrierungsfaktor pro Richtung), welcher auf der Basis von Kalibrierungszählungen erstellt wurde. Mittels dieses Kalibrierungsfaktors werden die Stundenwerte der Rohdaten korrigiert. Anschliessend können die korrigierten Stundenwerte beliebig weiter aggregiert und ausgewertet werden.

An den manuellen Zählstellen wurden an dreizehn Tagen Zählungen vorgenommen und nach Stunden aggregiert. Bei der Auswahl der Zähltage wurde berücksichtigt, dass gewisse Zähltage auf Arbeits- und andere auf Wochenendtage fallen. Für jeden Besucher wurde die Richtung aufgenommen, von der er auf die Kreuzung zugegangen ist und in

4.2. Software

welche Richtung er sie wieder verlassen hat. Weiter wurde der Besuchertyp der Person festgehalten. Dabei wurden Wanderer, Wanderer mit angeleinten oder nicht angeleinten Hunden, Biker und Reiter unterschieden.

Die Daten der Besucherumfragen, eine im Parkteil Langenberg, die andere im Sihlwald, liegen als absolute wie auch als relative Werte vor. Bei gewissen Fragen konnten die Besucher Mehrfachantworten geben. Für Fragen, welche auf einer Werteskala beantwortet werden konnten, sind Mittelwerte sowie die Standardabweichung berechnet worden.

4.2. Software

Zur Umsetzung der agentenbasierten Simulation der Besucherströme bedarf es einer Modellierungsumgebung. *Railsback et al.* (2006), *Castle und Crooks* (2006), *Getchell* (2008) sowie *Crooks und Castle* (2012) setzen sich unter anderem mit den Simulationsplattformen Swarm, Repast, MASON und NetLogo auseinander.

Swarm ist eine der ältesten Programmierumgebungen für agentenbasierte Modellierungen, basiert in den neueren Versionen auf Java und wurde seither in unzähligen Forschungsstudien verwendet (*Getchell*, 2008). *Najlis et al.* (2001) bemerken jedoch, dass die Einarbeitung in Swarm zu Beginn sehr umständlich sein kann.

Im Gegensatz zu Swarm wurde Repast mit der Motivation entwickelt, seit Beginn an auf Java zu basieren. Zudem wurde das Hauptanwendungsgebiet der Sozialwissenschaft gewidmet. Weiter wurde darauf geachtet, dass die Lernkurve zur neuen Nutzung des Programmes steiler verläuft als bei Swarm (*Railsback et al.*, 2006). Dies hat dazu geführt, dass Repast im Verlaufe der Zeit eine recht grosse Nutzergruppe erreicht hat und dass eine umfangreiche Dokumentation existiert (*Crooks und Castle*, 2012).

MASON, mit dem Ziel konzipiert, eine kleinere und schnellere Alternative von Repast zu sein, ist geeignet für rechenintensive Modellierungen (*Railsback et al.*, 2006). Da MASON eine jüngere Entwicklung als Repast und Swarm ist, weist die Simulationsplattform eine geringere, jedoch steigende Nutzerzahl und eine sich stetig verbessernde Dokumentation auf (*Crooks und Castle*, 2012).

NetLogo weist nach *Railsback et al.* (2006) die grösste Benutzerfreundlichkeit auf und ist die Plattform mit der professionellsten Erscheinung. Der Grund dafür liegt darin, dass die Plattform nicht nur für die Forschung, sondern auch für die Lehre entwickelt wur-

4.2. Software

de. Deshalb existiert auch eine sehr umfassende Dokumentation und Tutorials (*Castle und Crooks*, 2006). Aufgrund der klaren Vorzüge im Bereich der Benutzerfreundlichkeit wurde für diese Masterarbeit die Simulationsplattform NetLogo verwendet. Nachfolgend werden einige weitere Charaktereigenschaften der Plattform genauer erläutert.

Sklar (2007) beschreibt die Benutzeroberfläche von NetLogo, sichtbar in Abbildung 4.3, als einen visuellen Editor, wo der Benutzer graphische Elemente erstellen und editieren kann. Standardmässig ist zudem ein Fenster auf der Benutzeroberfläche angebracht, welches als Simulationsoberfläche dient. Die Simulationsoberfläche besteht aus einer definierbaren Anzahl gleich grosser Zellen, Patches genannt. Auf diesen Patches können sich virtuelle Wesen, sogenannte Turtles, bewegen. Patches sowie auch Turtles werden als Agenten bezeichnet. Falls keine Einschränkungen getroffen werden, steht es allen Agenten frei, miteinander interagieren zu können. Die Agenten sind fähig, mehrere Aufgaben zeitgleich auszuführen (*Tisue und Wilensky*, 2004).

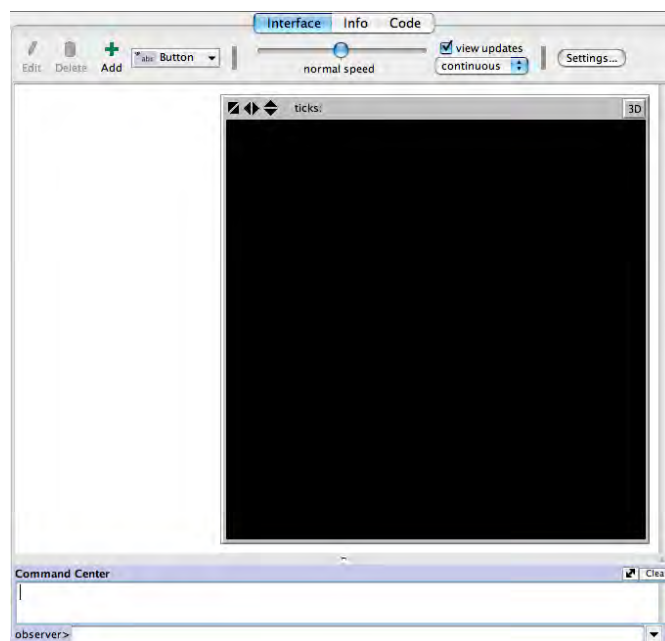


Abbildung 4.3.: Benutzeroberfläche von NetLogo

Anwendung in der Literatur, welche agentenbasierte Modellierungen zur Untersuchung von Verkehrs- oder Fussgängerverhalten in unterschiedlichsten Situationen benützt, findet NetLogo in Studien wie *Camillen et al.* (2009), *Madireddy et al.* (2011), *Dijkstra et al.* (2011) oder *Almeida et al.* (2012).

Kapitel 5.

Methodik Langenberg West

Der Parkteil Langenberg des Wildnisparks Zürich besteht aus einem grösseren Zentrums- und einem kleineren Westteil. Der Westteil verfügt über zwei Besuchereingänge und wird durch einen Zaun von der Aussenwelt abgetrennt. Personen, welche den Parkteil Langenberg West besuchen möchten, müssen demzufolge durch einen der beiden Besuchereingänge hinein und wieder durch einen hinaus.

An beiden Besuchereingängen ist jeweils eine automatische Zählstelle montiert. Falls die automatischen Zählstellen exakt zählen würden, müsste jede Person erfasst werden und im Verlaufe eines Tages gleich viele Personen hinein- wie auch hinausgehen. Von April bis Oktober ist der Parkteil von 8 bis 19 Uhr und von November bis März von 8 bis 16 Uhr für die Besucher zugänglich. Dieser Umstand macht den Langenberg West zu einem geeigneten Gebiet, um die agentenbasierte Modellierung von Besucherströmen während eines Tages in einem geschlossenen Wegnetz anzuwenden. In den nachfolgenden Abschnitten wird das methodische Vorgehen zur agentenbasierten Modellierung der Besucherströme im Langenberg West beschrieben.

5.1. Datenaufbereitung

Um eine agentenbasierte Simulation der Besucherströme im Langenberg West zu ermöglichen, müssen einerseits die notwendigen Geodaten und andererseits relevante Daten aus dem Besuchermonitoring aufbereitet werden. Auf die Herkunft der Daten wurde bereits im Abschnitt 4.1 eingegangen.

5.1. Datenaufbereitung

5.1.1. Geodaten

Ein wichtiger Entscheid, welcher bei der Aufbereitung von Geodaten getroffen werden muss, ist die Wahl des Perimeters. Da der Langenberg West ein abgeschlossenes Wegnetz aufweist, bietet sich der gesamte Parkteil Langenberg West als Perimeter an.

Die für die Modellierung relevanten Geodaten, in diesem Fall ein Vektordatensatz für das Wegnetz, ein Punktdatensatz für die automatischen Zählstellen und einer für diverse Infrastrukturpunkte, können in einem Geoinformationssystem auf den verwendeten Perimeter reduziert werden. Des Weiteren wurde zur illustrativen Unterstützung ein Vektordatensatz der Parkgrenze des Langenberg West und ein Orthofoto für den Perimeter verwendet. In Abbildung 5.1 ist die Simulationsoberfläche von NetLogo, bei welcher die verwendeten Geodaten eingeblendet sind, ersichtlich.



Abbildung 5.1.: Geodaten des Langenberg West in NetLogo

5.1. Datenaufbereitung

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, wie die Geodaten in der Modellierung implementiert werden können. Grundvoraussetzung ist, dass sich die Agenten auf dem Wegnetz, den Infrastrukturpunkten sowie den automatischen Zählstellen bewegen und aufhalten können. *Dijkstra et al.* (2011) wählen eine Implementierweise, bei welcher Wege als Knoten und Verbindungssegmente in NetLogo dargestellt werden, ähnlich einem vektorbasierten Ansatz. Dazu benötigen sie jedoch noch ein zusätzliches Programm namens MapInfo zur Aufbereitung der Geodaten. *Almeida et al.* (2012) verwenden für ihr Modell keine Geodaten, erstellen ihr Wegnetz jedoch ebenfalls mit Knoten und Verbindungssegmenten.

Camillen et al. (2009) und *Almeida et al.* (2012) verfolgen einen anderen Ansatz zur Implementierung von Geodaten in der Simulation. Sie arbeiten mit Patches der Simulationsoberfläche (siehe Abschnitt 4.2). Sie definieren jeweils die Anzahl Patches für die Simulationsoberfläche und weisen einem Patch eine Fläche aus der Realität zu. Bei *Camillen et al.* (2009) hat beispielsweise ein Patch in der Realität eine Ausdehnung von 60 x 60 cm. Dargestellt wird massstabsgetreu ein Stockwerk eines historischen Gebäudes. Jedem Patch wird dabei eine spezielle Funktion zugewiesen, beispielsweise hat er die Eigenschaft einer Wand, einer Tür oder eines Flurs.

Aufgrund der einfacheren Struktur und besseren Übersichtlichkeit wird der rasterbasierte Ansatz von *Camillen et al.* (2009) und *Almeida et al.* (2012) verwendet.

Der Geodatensatz mit der grössten Ausdehnung ist das Satellitenbild mit einem Ausmass von 800 x 800 Metern. Da das Ausmass quadratisch ist, muss die Simulationsoberfläche ebenfalls ein quadratisches Ausmass aufweisen. Aufgrund der Gegebenheit in NetLogo, dass der Koordinatennullpunkt der Patches in der Mitte der Simulationsoberfläche liegt, wurden 201 x 201 Pixel als Ausmass für die Implementation gewählt, was in jeder Richtung 100 Pixel entspricht. Wie aus der Tabelle 5.1 zu entnehmen ist, kommt ein Patch in der Realität einer Fläche von knapp 4 x 4 Meter gleich.

Ausmass Langenberg West real	Ausmass Langenberg West implementiert	Ausmass Patch real
800 x 800 m	201 x 201 Pixel	knapp 4 x 4 m

Tabelle 5.1.: Grössenverhältnisse Realität - Modellierung für den Langenberg West

5.1. Datenaufbereitung

Nachdem die Anzahl Patches für die Simulationsoberfläche festgelegt worden ist, können in einem nächsten Schritt den Patches Eigenschaften zugewiesen werden. Eigenschaften können mithilfe von für Patches gültigen Variablen definiert werden. Diese Variablen können dann zu einem späteren Zeitpunkt von einem Agenten abgerufen werden, damit er beispielsweise weiss, was für Eigenschaften der Patch hat, auf dem er sich gerade befindet.

Um das Wegnetz abzubilden, wurden alle Patches gefragt, ob sie mit dem Datensatz des Wegnetzes eine Überschneidung haben. In der Abbildung 5.2 ist der relevante Code ersichtlich. Bei einer Überschneidung wurde die Variable `ist-weg?` auf `true` gesetzt sowie dem Patch die Farbe grau zugeordnet.

```
; Ordnet den Patches Werte und eine Farbe zu, ob sie einen Weg enthalten oder nicht
ask patches [ set ist-weg? false ]
ask patches gis:intersecting wegnetz_langenberg_west-dataset
[ set ist-weg? true
  set pcolor grey ]
```

Abbildung 5.2.: Zuweisung von Werten für die Variable `ist-weg?` von Patches

Diese Überschneidung des vektorisierten Wegnetzdatensatzes mit den Patches produzierte ein patchbasiertes Wegnetz, welches zusätzlicher Nachbearbeitung bedarf. Der Grund dafür liegt in der Transformation von Vektor- zu Rasterdaten. Die Wegabschnitte, welche im Vektordatensatz sehr nahe beieinander liegen, weisen im patchbasierten Wegnetz teilweise nicht mehr eindeutige Wegverläufe auf.



Abbildung 5.3.: Unbearbeitetes, patchbasiertes Wegnetz mit nicht eindeutigen Wegverlauf

5.1. Datenaufbereitung

Die Abbildung 5.3 zeigt Beispiele nicht eindeutiger Wegverläufe auf. Insbesondere an Kreuzungen weist das patchbasierte Wegnetz zu breite Wege auf, welche nachbearbeitet werden müssen. Nach dem Bereinigen der Wegverläufe wurden zwei Variablen für Patches eingeführt, welche als Wegkreuzungen fungieren sowie zwei Variablen, welche Patches als Ein- respektive Ausgänge erkennbar machen können. Eine Variable dient jeweils dazu, um allgemein festzustellen, ob es sich um eine Kreuzung oder einen Ein- respektive Ausgang handelt. Die zweite Variable wird jeweils gebraucht, um der Kreuzung oder dem Ein- respektive Ausgang eine Identifikationsnummer zu geben.

Für den Infrastruktur- und automatischen Zählstellendatensatz wurden ebenfalls Überschneidung mit den Patches vorgenommen und bei Bedarf Nachbearbeitungen durchgeführt. Für die Infrastruktureinrichtungen wie auch für die automatischen Zählstellen sind jeweils nach Vorbild der Kreuzungen beziehungsweise der Ein- respektive Ausgänge zwei Variablen erzeugt worden.

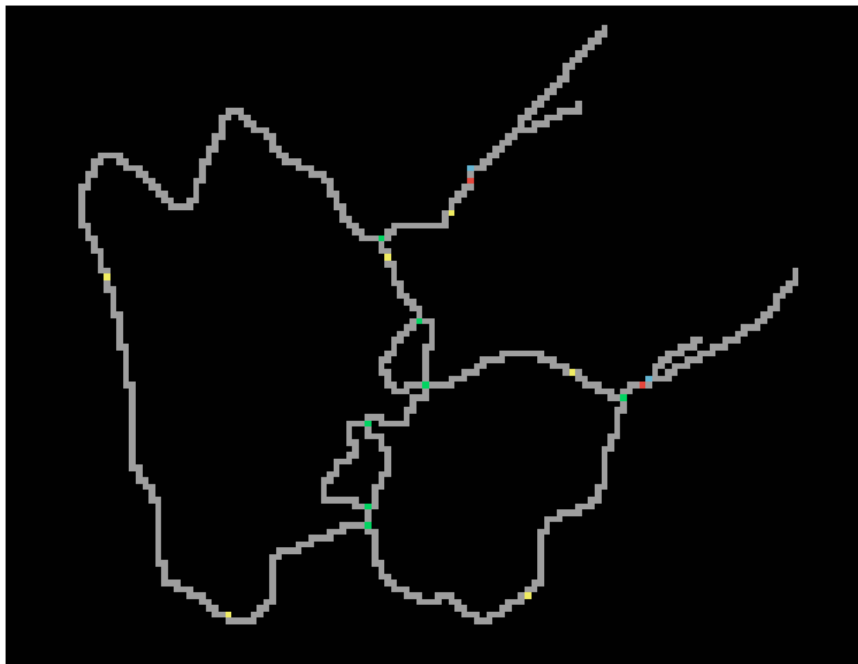


Abbildung 5.4.: Patchbasierte Modellierung des Langenberg West: Wegnetz (grau), Kreuzungen (hellgrün), automatische Zählstellen (rot), Infrastruktur (gelb), Ein- und Ausgänge (blau)

5.1. Datenaufbereitung

Patches, welche als Kreuzungen, Ein- und Ausgänge, automatische Zählstellen oder Infrastruktureinrichtung dienen, haben auch gleichzeitig eine Funktion als einfacher Weg. In Abbildung 5.4 ist die patchbasierte Modellierung des Langenberg West mithilfe der Geodaten ersichtlich.

5.1.2. Besuchermonitoring

Um die auf Basis der Geodaten erstellte patchbasierte Modellierung des Langenberg West mit Agenten bevölkern zu können, kann auf das Besuchermonitoring zurückgegriffen werden. Mithilfe der Erhebungen der automatischen Zählstellen kann das Besucheraufkommen während eines Tages geschätzt und anhand der Besucherbefragung eine Charakterisierung der Besucher vorgenommen werden.

Für den Langenberg West sind die automatischen Zählstellen mit den Nummern 401 und 402 (siehe Abbildung 3.3), welche sich an dessen Ein- respektive Ausgängen befinden, von Relevanz.

Die automatischen Zählstellen befinden sich seit Juni 2011 im Einsatz. Während des Sommers 2012 wurde eine der Zählstellen demoliert, sodass sie zwischenzeitlich keine verlässlichen Daten liefern konnte. Deshalb scheint es sinnvoll, nur die Daten aus dem Jahre 2011 zu verwenden. Da der Langenberg West von April bis Oktober längere Öffnungszeiten aufweist als in den Wintermonaten, liegt eine weitere Eingrenzung auf diesen Zeitraum sehr nahe. Um dem unterschiedlich hohen Besucheraufkommen je nach Wochentag gerecht zu werden, sollen nur Sonntage berücksichtigt werden. Der Sonntag wurde gewählt, weil an diesem Wochentag ein erhöhtes Besucheraufkommen gegenüber anderen Wochentagen vermutet wird. Die Mittelwerte aller Sonntage seit dem Messbeginn Anfang Juni bis Ende Oktober 2011 bilden die Datengrundlage für das Besucheraufkommen.

In der Tabelle 5.2 sind die Messwerte der Zählstellen, aggregiert nach Stunden, aufgelistet. Für die jeweilige Zählstelle sind alle Durchgänge innerhalb einer Stunde im Total aufgelistet, während mit hinein nur Parkbesucher registriert wurden, welche in den Langenberg West hinein gingen und bei hinaus nur solche gezählt wurden, welche den Parkteil verliessen. Da es sich bei den Besucherzahlen um Mittelwerte von 22 Sonntagen handelt, sind die aufgeführten Zahlen auf ganze Zahlen gerundet. Dementsprechend

5.1. Datenaufbereitung

kann es sein, dass leichte Abweichungen zwischen dem Total und den richtungsgetrennten Werten vorkommen können. Anhand der Summen ist ersichtlich, dass die Zählstellen mehr Besucher zählen, welche den Park verlassen als solche, welche den Langenberg West betreten.

Ferner ist zu erwähnen, dass der Langenberg West während des Erhebungszeitraumes von 8 bis 19 Uhr für die Öffentlichkeit zugänglich war. Die vorher und nachher registrierten Besucher könnten Mitarbeiter des Parks sein. Weiter scheint möglich, dass der Park für Besucher etwas früher geöffnet oder etwas später geschlossen hat.

Tageszeit	401 Total	401 hinein	401 hinaus	402 Total	402 hinein	402 hinaus
6 bis 7	0	0	0	0	0	0
7 bis 8	2	2	0	4	1	3
8 bis 9	4	2	2	5	3	2
9 bis 10	13	8	5	12	7	4
10 bis 11	53	33	20	48	32	16
11 bis 12	85	42	43	68	42	26
12 bis 13	105	45	60	90	43	48
13 bis 14	115	61	54	101	56	45
14 bis 15	144	70	73	133	70	63
15 bis 16	155	71	84	150	65	85
16 bis 17	123	56	67	112	48	64
17 bis 18	66	32	34	74	30	45
18 bis 19	22	11	12	23	9	13
19 bis 20	5	2	3	7	3	4
20 bis 21	0	0	0	0	0	0
Summe	892	435	457	828	409	418

Tabelle 5.2.: Rohdatenmittelwerte nach Stunden für die Sonntage von Anfang Juni bis Ende Oktober 2011 der automatischen Zählstellen 401 und 402, gerundet auf ganze Personen

Im Zeitraum von Juni 2011 bis Mai 2012 wurden Kalibrationszählungen für beide Zählstellen vorgenommen. Dabei wurden während 6 bis 11 Stunden neben den automatischen auch manuelle Zählungen durchgeführt. Aufgrund des Unterschiedes zwischen den manuell gezählten Werten und jenen der automatischen Zählstellen wurden Kalibrierungsfaktoren ermittelt, welche in der Tabelle 5.3 ersichtlich sind. Für die Zählstelle 402

5.1. Datenaufbereitung

sind die Kalibrierungsfaktoren der Ein- und Austritte ähnlich hoch, während bei der Zählstelle 401 der Kalibrierungsfaktor für die Eintritte wesentlich höher ist.

	Zählstelle 401		Zählstelle 402	
Richtung	Hinein	Hinaus	Hinein	Hinaus
Kalibrierungsfaktor	1,5152	1,2114	1,3704	1,3715

Tabelle 5.3.: Kalibrierungsfaktoren nach Zählstelle und Richtung

Neben dem Festlegen des Besucheraufkommens während eines Tages kann mithilfe des Besuchermonitorings eine Charakterisierung der Besucher vorgenommen werden. Bei einer Besucherbefragung durch den Wildnispark Zürich im Jahr 2011 sind die Besucher nach ihrem Hauptgrund für den Besuch des Wildparks Langenberg gefragt worden. Bei dieser Frage konnten die Teilnehmer Mehrfachantworten geben. 404 Teilnehmer haben die Frage beantwortet und haben sich gemäss der Tabelle 5.4 dazu geäußert. Der wichtigste Grund scheint eindeutig im Tiererlebnis zu liegen. Weitere wichtige Gründe sind ein erholsamer Spaziergang, der Kinderspielplatz sowie das Walderlebnis.

Hauptgrund	Absolut	Relativ
Tiererlebnis	307	75,99 %
Walderlebnis	95	23,51 %
Kinderspielplatz	115	28,47 %
Hund ausführen	7	1,73 %
Erholung, Spaziergang	151	37,38 %
Sport	2	0,50 %
Wandern	18	4,46 %
Essen, Restaurant	64	15,84 %
Picknick, Grillieren	44	10,89 %
Bildung, Erlebnispfade	22	5,45 %
Teilnehmer	404	100,00 %

Tabelle 5.4.: Hauptgründe (Mehrfachnennung) für den Besuch des Wildparks Langenberg aus einer Besucherbefragung im Jahre 2011 durch den Wildnispark Zürich

5.2. Initialisieren der Agenten

Durch die Datenaufbereitung des Besuchermonitorings des Wildnisparcs Zürich konnte festgelegt werden, wann wie viele Besucher in der Simulation des Langenberg West den Park betreten sollen und welche möglichen Charaktere sie aufweisen.

Da in NetLogo die Simulationsschritte mit sogenannten Ticks und nicht Sekunden oder einer sonstigen Zeiteinheit durchgeführt werden, bedarf es einer Definition eines Ticks in realer Zeit. In der Simulation legen die Besucher während eines Ticks eine Strecke von einem Patch zurück. Aufgrund der Ausmasse des Langenberg West, welche in der Tabelle 5.1 beschrieben sind, ist die Länge eines Patches bekannt. Die Besucher legen während eines Ticks annähernd 4 Meter zurück.

Aufgrund einer durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit der Personen kann entsprechend eine Zeit definiert werden. *Knoblauch et al.* (1996) ermitteln in ihrer Feldstudie für Fussgänger eine durchschnittliche Gehgeschwindigkeit von 1,25 m/s für Personen im Alter zwischen 14 und 64 Jahren und 0,97 m/s für Personen, welche 65 Jahre oder älter sind. *Bohannon* (1997) stellt in seiner Studie über angenehme Gehgeschwindigkeiten Werte zwischen 1,27 bis 1,46 m/s fest. Da angenommen wird, dass im Wildnispark Zürich die Besucher nicht in Eile sind und sich Kinder unter den Besuchern befinden, wurde eine durchschnittliche Gehgeschwindigkeit von 1 m/s festgelegt. Dieser Wert liegt zwar wesentlich unter den ermittelten Werten von *Bohannon* (1997) und jenen für jüngere Erwachsene von *Knoblauch et al.* (1996), scheint jedoch angesichts eines gewissen Anteils an Kindern immer noch relativ hoch. Aus praktischen Gründen wurde er jedoch bei 1 m/s belassen, da dadurch 1 Tick 4 Sekunden entspricht.

Da das Besucheraufkommen nach Stunden aggregiert vorliegt und dadurch nicht bekannt ist, wann innerhalb einer Stunde die Besucher die automatische Zählstelle passiert haben, sollen die Besucher in regelmässigen Abständen den Park betreten. Dazu wurden die Ticks in Stunden eingeteilt, wobei Tick 0 der Zeit um 7 Uhr am Morgen entspricht. Die Ticks 1 bis 900 entsprechen demzufolge der Zeit zwischen 7 und 8 Uhr, die Ticks von 901 bis 1800 der Stunde von 8 bis 9 Uhr und so weiter.

Für beide automatischen Zählstellen werden, je nach Besucheraufkommen pro Stunde, unterschiedlich viele Personen initialisiert. Die Abbildung 5.5 zeigt einen Codeausschnitt, welcher die Initialisierung von Besuchern der Stunden von 12 bis 14 Uhr für die automatische Zählstelle 401 vollzieht. Die Stunde von 12 bis 13 Uhr entspricht den Ticks

5.2. Initialisieren der Agenten

von 4500 bis 5400, bei welcher 45 Personen in den Langenberg West eintreten sollen. Jedes Mal, wenn zwischen den Ticks > 4499 und < 5400 die Division des aktuellen Ticks durch 20 Ganzzahlig bleibt, wird ein Besucher initialisiert. Dieses Vorgehen erzeugt in der Zeitperiode von 12 bis 13 Uhr 45 Besucher. In der Zeitperiode von 13 bis 14 Uhr wird anstelle von 20 die Zahl 15 als Divisor verwendet, da 61 Besucher erzeugt werden sollen.

```
to personenaufkommen401
.
.
; 12.00 bis 13.00 (4500-5400 Ticks), 45 Personen
if remainder ticks 20 = 0 and ticks > 4499 and ticks < 5400
[ ask n-of 1 patches with [ einausgangsnr = 401 ]
  [ erstelleperson401 ]
]
; 13.00 bis 14.00 (5400-6300 Ticks), 61 Personen
if remainder ticks 15 = 0 and ticks > 5399 and ticks < 6301
[ ask n-of 1 patches with [ einausgangsnr = 401 ]
  [ erstelleperson401 ]
]
.
.
end
```

Abbildung 5.5.: Codeausschnitt für die Initialisierung der Agenten für die Stunden von 12 bis 14 Uhr der automatischen Zählstelle 401

Durch das Aufrufen der Methode `erstelleperson401` wird der Besucher mit seinen individuellen Eigenschaften erzeugt. In [Abbildung 5.6](#) ist der Code der Methode fragmentarisch ersichtlich. Die Methode weist für den Besucher einerseits grundlegende Variablen, wie jene für Ein- und Austretenszeiten bei Zählstellen, Zählstelleneingangsnummer und Zählstellenausgangsnummer sowie je eine Liste für besuchte Kreuzungen und Infrastruktureinrichtungen zu. Andererseits generiert er Charaktereigenschaften anhand der Daten aus den in [Tabelle 5.4](#) erörterten Befragungsergebnissen. Dabei wird jeder Hauptgrund mit der Wahrscheinlichkeit aus der Besucherbefragung dem Besucher zugeordnet oder nicht. Dieses Vorgehen ermöglicht das Generieren eines individuellen Charakters für jeden Besucher. Die Charaktereigenschaften werden Auswirkungen bei den Infrastrukturpatches haben. Je nach Charakter hält dort ein Besucher oder geht weiter.

5.3. Fortbewegung der Agenten

```
to erstelleperson401
  sprout-personen 1 [
    .
    .
    set infrastrukturbesuche 0
    set zaehlstelleneingangsnr 0
    .
    .
    ifelse random 10000 < 7599
    [ set tiererlebnis 1 ]
    [ set tiererlebnis 0 ]
    ifelse random 10000 < 2351
    [ set walderlebnis 1 ]
    [ set walderlebnis 0 ]
    ifelse random 10000 < 2847
    [ set kinderspielplatz 1 ]
    [ set kinderspielplatz 0 ]
    .
    .
  ]
end
```

Abbildung 5.6.: Codeausschnitt für die Erzeugung der Charaktereigenschaften eines Besuchers

5.3. Fortbewegung der Agenten

Befinden sich die Besucher auf Patches, welche nur eine Funktion als normalen Weg haben, in der Abbildung 5.4 grau dargestellt, bewegen sie sich während eines Ticks auf dem Weg ein Patch vorwärts.

Bei Patches, welche zusätzlich eine Funktion als automatische Zählstelle aufweisen, in Abbildung 5.4 rot koloriert, bewegen sich die Besucher genau gleich. Darüber hinaus wird bei einem Eintritt ergänzend in den Variablen der Besucher festgehalten, bei welcher Zählstelle und zu welchem Tick der Besucher den Langenberg West betritt. Bei einem Verlassen des Parkteils werden alle Daten, welche ein Besucher während seines Aufenthaltes akquiriert hat, in eine Datei geschrieben. Es sind dies, die Ein- und Austretenszeiten in Ticks, die Ein- und Austrittszählstellen, die besuchten Infrastruktureinrichtungen und Kreuzungen. Vollständigkeitshalber werden auch die Charaktereigenschaften

5.3. Fortbewegung der Agenten

eines Besuchers mit in die Datei geschrieben.

Tritt ein Besucher auf einen Patch, welcher eine Funktion als Ein- respektive Ausgang aufweist, in Abbildung 5.4 blau markiert, wird dieser Besucher aus der Simulation ausgeschlossen und verschwindet.

Das Verhalten der Besucher bei Patches, welche neben der Weg- auch eine Infrastrukturfunktion aufweisen, in Abbildung 5.4 gelb eingefärbt, ist unterschiedlich, je nachdem welche Charaktereigenschaften sie aufweisen. In der Tabelle 5.5 sind die sechs Infrastruktureinrichtungen mit deren Besuchsgründen und Aufenthaltszeiten in Ticks und Minuten aufgelistet.

Infrastruktureinrichtung	Besuchsgründe	Aufenthaltszeit in Ticks / Minuten
Feuerstelle Aussichtspunkt Feuerhöhle	Walderlebnis Kinderspielplatz Picknick, Grillieren Bildung, Erlebnispfade	225 / 15
Knochenwald Feuerstelle	Walderlebnis Kinderspielplatz Picknick, Grillieren Bildung, Erlebnispfade	150 / 10
Fuchsscheune	Tiererlebnis Walderlebnis Bildung, Erlebnispfade	75 / 5
Elchhaus	Tiererlebnis Walderlebnis Bildung, Erlebnispfade	120 / 8
Mongolische Jurte	Kinderspielplatz Bildung, Erlebnispfade	120 / 8
Elchquiz	Walderlebnis Bildung, Erlebnispfade	60 / 4

Tabelle 5.5.: Gründe für den Besuch von Infrastruktureinrichtungen mit Aufenthaltszeit im Langenberg West

5.3. Fortbewegung der Agenten

Die Aufenthaltszeiten wurden geschätzt aufgrund von nicht repräsentativen Beobachtungen im Feld. Sobald die Aufenthaltszeit vorüber ist, bewegt sich ein Agent wieder normal auf dem Wegnetz in fortgesetzter Richtung. Der Aufenthalt des Besuchers wird in seiner Variable für Infrastrukturbesuche festgehalten. Mehrmalige Aufenthalte an der selben Infrastruktureinrichtung sind für die Besucher nicht möglich.

Falls sich ein Besucher auf einem Patch mit Kreuzungsfunktion befindet, in der Abbildung 5.4 grün eingefärbt, hat er die Möglichkeit, verschiedene Wege zu gehen. Der Entscheidung, welchen Weg er nehmen soll, kann durch Wahrscheinlichkeiten festgelegt werden. Mit dem Festlegen von Wahrscheinlichkeiten kann ein starker Einfluss auf die Besucherströme genommen werden, was somit von beträchtlicher Relevanz ist. Deshalb werden die Vorgehensweisen, mit welchen Methoden Wahrscheinlichkeiten für die Kreuzungen im Langenberg West festgelegt wurden, in den folgenden Unterabschnitten genauer erläutert.

5.3.1. Methode Gleiche Wahrscheinlichkeit

Bei dieser Umsetzungsweise für das Verhalten der Besucher an Kreuzungen wird mit der Prämisse gearbeitet, dass sich die Besucher zufällig für einen der zur Verfügung stehenden Wege entscheiden. Falls an einer Weggabelung einem Besucher zwei Wege zur Verfügung stehen, wird jeder Weg mit 50 % Wahrscheinlichkeit gewählt. Stehen auf einer Kreuzung drei Wege zur Auswahl, so beträgt die Wahrscheinlichkeit 33,3 % für einen Wegabschnitt, dass er vom Besucher gewählt wird. Mit diesem Vorgehen wird zudem verunmöglicht, dass ein Besucher umkehrt und den gleichen Weg zurückgeht.

In der Abbildung 5.7 ist erkennbar, dass bei der Kreuzung 6 den Agenten drei Wege und bei allen anderen Kreuzungen jeweils zwei Wege zur Auswahl stehen. Um zu verhindern, dass die Agenten mehrere Male im Park einen grossen Kreis gehen, wurde eine Einschränkung getroffen. Falls ein Besucher zum zweiten Mal die Kreuzung 4 oder 7 betritt, wird ihm vorgegeben, dass er in Richtung Ausgang gehen muss und dadurch den Langenberg West verlässt. Es ist zu bemerken, dass mit dieser Einschränkung vermehrt Besucher denselben Ein- und Ausgang benützen werden, als ohne Einschränkung.

5.3. Fortbewegung der Agenten

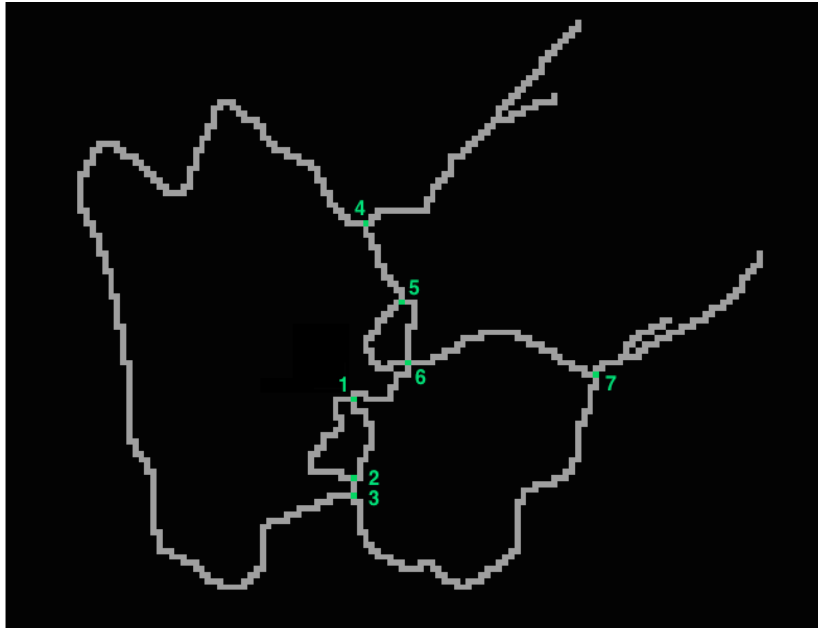


Abbildung 5.7.: Kreuzungen mit Kreuzungsnummern der patchbasierten Modellierung des Langenberg West

5.3.2. Methode Ungleiche Wahrscheinlichkeit

Im Gegensatz zur Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit im Unterabschnitt 5.3.1 wird bei der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit nicht mehr mit der Prämisse gearbeitet, dass ein Besucher an einer Kreuzung zufällig einen Weg wählt, sondern eine Präferenz hat. Die Einschränkung, dass ein Besucher den Langenberg West verlassen muss, falls er schon einmal auf der Kreuzung 4 oder 7 war, wird hingegen übernommen. Zusätzlich kommen Einschränkungen hinzu, dass Besucher maximal eine Runde auf den Kreisen drehen können, welche einerseits die Kreuzungen 5 mit 6 und andererseits 1 mit 2 zusammen bilden. Die Wahrscheinlichkeiten für die Wahl von Wegen an den Kreuzungen wurde für jede Abzweigung individuell angepasst. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass eine geringere Wahrscheinlichkeit besteht, dass Besucher im Kreis gehen. Die Wahl der Wahrscheinlichkeiten basiert auf nicht repräsentativen Beobachtungen im Feld und diversen Probedurchläufen der Simulation mit unterschiedlich gewählten Wahrscheinlichkeiten.

5.4. Simulationsablauf

5.4. Simulationsablauf

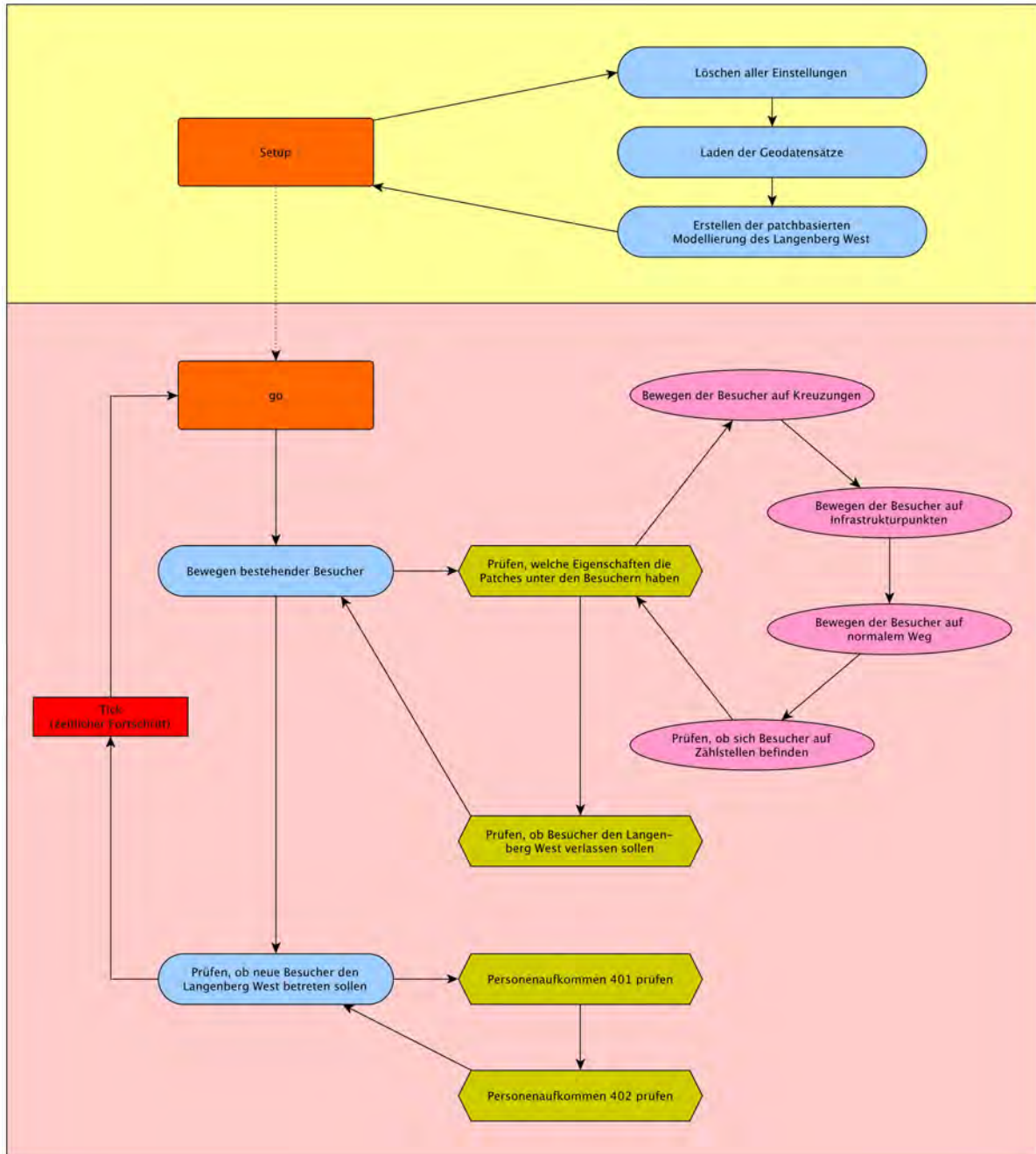


Abbildung 5.8.: Schematische Darstellung des Simulationsablaufes für den Langenberg West

5.4. Simulationsablauf

Die Abbildung 5.8 beschreibt den Simulationsablauf in NetLogo für den Langenberg West. Sie ordnet die in den Abschnitten 5.1 bis 5.3 beschriebenen Vorbereitungen und Prozesse als Schema in den Verlauf der Simulation ein.

In einem ersten Schritt wird durch das Betätigen des Setup - Feldes die Grundlage für die eigentliche Simulation geschaffen. Dabei werden zuerst alle Einstellungen zurückgesetzt. Einträge in Variablen von der vorhergehenden Simulation werden gelöscht und die Anzahl Ticks wieder auf 0 gesetzt. Des Weiteren werden die Geodatenätze geladen und in globalen Variablen gespeichert. Auf Basis der Geodatenätze wird die patchbasierte Modellierung des Langenberg West in einer nächsten Etappe erstellt. Detailliertere Informationen dazu sind im Unterabschnitt 5.1.1 zu finden.

Mit dem Drücken des go - Feldes wird die eigentliche Simulation gestartet. Als Erstes werden die Besucher bewegt, welche sich bereits im Langenberg West aufhalten. Dazu wird simultan für alle Besucher geprüft, welche Funktionen die Patches, auf denen sie sich jeweils befinden, ausweisen. Anschliessend werden die Besucher je nach Eigenschaften ihrer Patches bewegt. Nachdem sich alle Agenten bewegt haben, wird überprüft, ob sich Besucher auf Zählstellen befinden. Falls sich Besucher auf Zählstellen befinden, wird deren Passieren festgehalten. Genauere Informationen über die Art der Fortbewegung sind im Abschnitt 5.3 zu finden. Als Abschluss des Bewegens bestehender Besucher wird überprüft, ob sich Agenten auf ein Ein- respektive Ausgangspatch begeben haben. Diese Besucher sollen die Simulation verlassen und werden gelöscht.

Sobald die Bewegung bestehender Besucher abgeschlossen ist, wird als Zweites geprüft, ob neue Besucher den Langenberg West betreten sollen. Dazu wird für jeden Eingang geschaut, ob ein Besucher erstellt werden muss oder nicht. Eine genauere Darlegung dieses Vorganges wurde bereits im Abschnitt 5.2 vorgenommen.

Ist das Prüfen, ob neue Besucher den Park betreten sollen, beendet, wird der Tickzähler um eine Einheit erhöht. Danach beginnt der Prozess, welcher durch das Betätigen des go - Feldes ausgelöst wurde, von neuem.

Für die in den Unterabschnitten 5.3.1 und 5.3.2 beschriebenen Fortbewegungsmethoden wurden jeweils 100 Simulationsgänge mit 15'000 go - Schritten durchgeführt. Die Zahl von 100 Durchgängen wurde gewählt aufgrund des Gesetzes der grossen Zahlen (Judd, 1985). Ebenso haben *Camillen et al.* (2009) mit einem ähnlichen Modell genau gleich viele Simulationsgänge durchgeführt.

Kapitel 6.

Methodik Sihlwald

Der Parkteil Sihlwald des Wildnisparcs Zürich, welcher in eine Kernzone sowie eine Übergangszone gegliedert ist und von der Sihl durchflossen wird, ist wesentlich grösser als der Langenberg und kann im Gegensatz zu dessen Westteil rund um die Uhr besucht werden. Das Gebiet weist ein offenes Wegnetz auf, welches nur teilweise mit automatischen Zählstellen abgedeckt ist. Hinzu kommen manuelle Zählstellen, welche weitere Aufschlüsse über das Aufkommen von Besuchern geben. Im Gegensatz zum Langenberg West gibt es jedoch kein Gebiet, welches die Besucherbewegungen vollständig anhand von Zählstellen erfassen kann.

Auf Basis dieser Gegebenheiten soll, ähnlich der agentenbasierten Modellierung der Besucherströme im Langenberg West, eine agentenbasierte Modellierung für den Sihlwald erstellt werden. In den darauffolgenden Abschnitten wird in gleicher Reihenfolge wie für das methodische Vorgehen bei der Simulation des Langenberg West die Vorgehensweise für die agentenbasierte Modellierung der Besucherströme im Sihlwald erläutert.

Aufgrund dessen, dass Vorgehensweisen, welche gleich sind wie in der Simulation im Langenberg West, nicht mehr ausführlich erklärt werden, empfiehlt es sich, das Kapitel 5 bereits vergewärtigt zu haben.

6.1. Datenaufbereitung

In den Folgeabschnitten wird die Aufbereitung der Geodaten für das Gebiet des Sihlwaldes sowie der Daten aus dem Besuchermonitoring für den Sihlwald genauer dargelegt.

6.1. Datenaufbereitung

6.1.1. Geodaten

Die Wahl des Perimeters für die Modellierung des Sihlwaldes gestaltet sich im Vergleich zum Langenberg West schwieriger, da sich für den Sihlwald kein so konkreter Perimeter anbietet wie im Langenberg. Als Entscheidungshilfen für die Wahl des Perimeters dienten die Verteilung der Zählstellen, das Wegnetz, die Parkgrenze sowie natürliche Gegebenheiten. Da sich nur eine manuelle Zählstelle rechtsseitig der Sihl befindet, wurde das zu modellierende Parkgebiet auf die linke Seite der Sihl beschränkt.

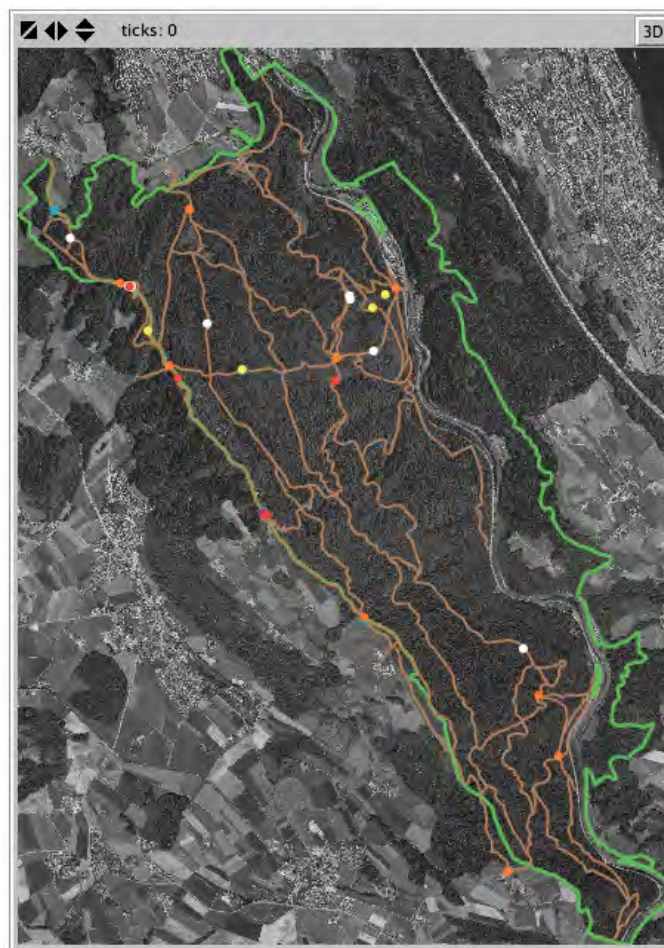


Abbildung 6.1.: Geodaten des Sihlwaldes in NetLogo

Aufgrund von Ratschlägen eines Experten für das Besuchermonitoring im Wildnispark

6.1. Datenaufbereitung

Zürich, wurden Wegstücke, welche über die Parkgrenze hinausgehen und für die Besucherströme als wichtig angesehen werden, beigezogen und weniger wichtige Wege innerhalb der Parkgrenze weggelassen. Als Beispiel für das Weglassen eines Weges innerhalb der Parkgrenze kann die Kantonsstrasse entlang der Sihl genommen werden, welche wohl für den Autoverkehr, jedoch nicht für die Fussgänger von Bedeutung ist.

In Abbildung 6.1 sind die Geodaten für den Parkteil des Sihlwaldes in der Simulationsoberfläche von Netlogo abgebildet. Es handelt sich dabei um das Satellitenbild, den Perimeter (hellgrün) und das Wegnetz (braun) als Vektordatensätze, sowie die automatischen (rot) und manuellen (orange) Zählstellen, die Aussichtspunkte (blau), die Feuerstellen (weiss), die Gastronomie (magenta) und Infopunkte (gelb) als Punktdatensätze.

Wie beim Langenberg West wurde auf Basis der Geodatenätze eine patchbasierte Modellierung vorgenommen. Um die reale Grösse eines Patches eruieren zu können, wurde die Breite des grössten Geodatenatzes durch die Anzahl Patches der Breite der Simulationsoberfläche dividiert. Wie in der Tabelle 6.1 aufgeführt, weist ein Patch eine Fläche von etwa 12.18 x 12.18 Meter in der Realität auf.

Ausmass Sihlwald real	Ausmass Sihlwald implementiert	Ausmass Patch real
etwa 4886 x 6727 m	401 x 552 Pixel	etwa 12.18 x 12.18 m

Tabelle 6.1.: Grössenverhältnisse Realität - Modellierung für den Sihlwald

Für die Erstellung der patchbasierten Modellierung des Sihlwaldes ist gleich vorgegangen worden wie für den Langenberg West. Das Ausmass der Modellierung ist jedoch wesentlich grösser. Eine Darstellung davon ist in der Abbildung A.1 im Anhang zu finden. Aus der Tabelle 6.2 können jedoch Informationen zur patchbasierten Modellierung entnommen werden. Für jede spezielle Patchfunktion, abgesehen von der Funktion als Weg, ist die Anzahl Patches aufgelistet, welche diese Funktion aufweist. Ein Patch kann mehrere dieser Funktionen inne haben. Insbesondere sind alle Patches, welche eine Funktion als manuelle Zählstelle besitzen, auch gleichzeitig Kreuzungen, da die manuellen Zählungen an Kreuzungen stattgefunden haben. Die Funktion als manuelle Zählstelle ist teilweise auf mehrere Kreuzungen verteilt worden, da beispielsweise eine Weggabelung mit 5 Wegen nicht nur mit einer Kreuzung abgebildet werden konnte.

6.1. Datenaufbereitung

Patchfunktion	Anzahl
Kreuzungen	76
Ein- / Ausgänge	18
Automatische Zählstellen	4
Manuelle Zählstellen	13
Aussichtspunkte	4
Feuerstellen	8
Gastronomie	1
Infopunkte	5

Tabelle 6.2.: Spezielle Patchfunktionen nach Anzahl in der patchbasierten Modellierung des Sihlwaldes

6.1.2. Besuchermonitoring

Im Gegensatz zum Langenberg West stehen Daten nicht nur aus automatischen Zählstellen, sondern auch aus manuellen Zählungen zur Verfügung. Anhand dieser Erhebungen soll wiederum das Besucheraufkommen während eines Tages geschätzt und mithilfe der Besucherbefragung eine Charakterisierung der Besucher vorgenommen werden.

Da sich manuelle Zählungen auf das Jahr 2009 beschränken, soll ein Tagesgang des Besucheraufkommen für einen der Erhebungstage dieses Zeitraumes durchgeführt werden. Als geeignet erscheint der Sonntag des 23.8.2009, da das Besucheraufkommen gegenüber den anderen Erhebungstagen verhältnismässig hoch war. Bei den manuellen Zählstellen wurden zudem die Besucher nach verschiedenen Gruppen erhoben. Vereinfachend werden für die agentenbasierte Modellierung nur die Besuchergruppen der Wanderer sowie Personen mit Hunden berücksichtigt. Biker und Reiter werden in der Simulation nicht berücksichtigt. Der Grund liegt darin, dass nur eine automatische Zählstelle für das Messen des Aufkommens von Bikern ausgelegt ist, während die anderen auf Fussgänger

6.1. Datenaufbereitung

und nicht auf Reiter oder Biker abgestimmt sind. Die automatischen Zählstellen, welche sich im Sihlwald befinden und auf Fussgänger ausgelegt sind, können die Richtung der Fussgänger nicht erfassen. Bei den manuellen Zählstellen hingegen wurde erhoben, aus welcher Richtung ein Besucher gekommen und in welche Richtung er gegangen ist. Für alle manuellen Zählstellen wurden über alle Erhebungstage die Bewegungen der Besucher analysiert, um Wahrscheinlichkeiten für die Wahl von Wegen zu ermitteln. Die manuellen Zählstellen wurden an den 13 Erhebungstagen jeweils von 9.00 bis 17.00 Uhr, mit einigen Abweichungen, besetzt.

In Abbildung 6.2 ist ein fiktives Beispiel einer manuellen Zählstelle dargestellt. Personen welche vom Ort A kommen, gehen mit einer Wahrscheinlichkeit von 28 % zum Ort B und von 72 % zum Ort C. Personen vom Ort B gehen mit 66 % zum Ort A und mit 34 % zum Ort C und solche vom Ort C mit 81 % zum Ort A und mit 19 % zum Ort B. Der Einfachheit halber wurde ein fiktives Beispiel gewählt. Viele manuelle Zählstellen befinden sich auf Kreuzungen mit vier Wegen. Zudem gibt es Besucher, welche den selben Weg wieder zurückgehen, wo sie hergekommen sind.

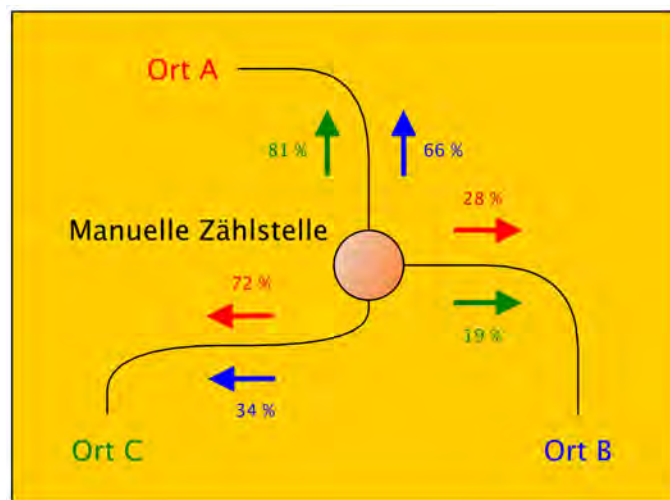


Abbildung 6.2.: Fiktives Beispiel des Verhaltens von Besuchern an einer manuellen Zählstelle

Wie bereits für den Langenberg West sind auch im Sihlwald Kalibrationszählungen für automatische Zählstellen durchgeführt worden. Für die Zählstellen 201 und 202 wurden

6.2. Initialisieren der Agenten

im November 2010 und für die Zählstellen 203 und 204 in den Septemberrn im Jahre 2009 und 2011 Kalibrationszählungen durchgeführt. Die Kalibrationswerte sind in der Tabelle 6.3 ersichtlich. Je näher die Kalibrationszählungen an dem zu modellierenden Tagesgang des 23.8.2009 liegen, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Zählstellen aufgrund von äusseren Einflüssen einen anderen Kalibrierungsfaktor aufweisen.

	Zählstelle 201	Zählstelle 202	Zählstelle 203	Zählstelle 204
Kalibrierungs-faktor	1,1072	1,0363	0,9419	0,8215

Tabelle 6.3.: Kalibrierungsfaktoren nach Zählstellen

Für die Charakterisierung der Besucher des Sihlwaldes wurden Daten aus der gleichen Besucherbefragung herangezogen wie für den Langenberg, dieses Mal jedoch aus demjenigen Teil, wo Personen im Sihlwald über den Sihlwald befragt wurden.

6.2. Initialisieren der Agenten

Im Gegensatz zur agentenbasierten Modellierung der Besucherströme im Langenberg West ist das Besucheraufkommen im Sihlwald nicht eindeutig mithilfe von Zählstellen bestimmbar. Die automatischen Zählstellen sind für die Abschätzung des Besucheraufkommens an den Eingängen ungünstig positioniert. Die manuellen Zählstellen hingegen können besseren Aufschluss darüber geben. Für 7 von 18 Eingängen kann das Besucheraufkommen mithilfe der manuellen Zählstellen definiert werden. Bei 5 Eingängen ist ein Erahnen des Besucheraufkommens möglich. Ein Erahnen ist beispielsweise dann möglich, wenn von einem Eingang zwei Wege wegführen und von einem Weg das Besucheraufkommen bekannt ist. Bei den restlichen 6 Eingängen kann nur von den bestimmmbaren Besucheraufkommen eine Schätzung abgeleitet werden. Es kann jedoch auf die Erfahrung eines Experten für das Besuchermonitoring zurückgegriffen werden, welcher urteilen kann, ob ein Eingang eher hoch oder gering frequentiert wird.

6.2. Initialisieren der Agenten

Eingangsnr	Bestimmbarkeit	Eintritte	Eingangsnr	Bestimmbarkeit	Eintritte
1001	nicht definiert	15	1010	definiert	35
1002	definiert	35	1011	definiert	52
1003	ahnbar	7	1012	definiert	1
1004	ahnbar	25	1013	definiert	6
1005	definiert	29	1014	ahnbar	45
1006	ahnbar	106	1015	definiert	249
1007	nicht definiert	4	1016	nicht definiert	44
1008	ahnbar	31	1017	nicht definiert	4
1009	nicht definiert	6	1018	nicht definiert	7

Tabelle 6.4.: Personenaufkommen und dessen Bestimmbarkeit nach Eingängen im Sihlwald für den 23.8.2009

Vier von sechs Eingängen, bei denen das Besucheraufkommen nur grob geschätzt werden kann, sind gering frequentierte Eingänge. Eine Fehlschätzung bei diesen Eingängen wirkt sich weniger aus als bei den zwei beliebteren Eingängen. Bei den Eingängen mit ahnbarem Besucheraufkommen bleibt ebenfalls eine gewisse Unsicherheit, insbesondere weil sie grössere Besucheraufkommen ausweisen. Zudem sind für alle Eingänge die Besucheraufkommen vor 9.00 Uhr und nach 17.00 Uhr geschätzt. Da diese Uhrzeiten Randzeiten entsprechen, ist das geschätzte Aufkommen sehr gering. Total betreten 707 Besucher während eines Simulationsganges den Sihlwald.

Nachdem bestimmt ist, wie gross das Besucheraufkommen an den jeweiligen Eingängen ist, bedarf es noch deren Implementierung in NetLogo. Dazu muss, wie bei der Simulation für den Langenberg West, festgelegt werden, wie viele Sekunden ein Tick in der Realität repräsentiert. Die für den Langenberg West angenommene Gehgeschwindigkeit von 1 m/s soll auch für den Sihlwald gelten. Gemäss Tabelle 6.1 weist ein Patch eine Länge von etwa 12.18 Meter auf. Folglich entspricht 1 Tick in der Realität 12 Sekunden. Für die Implementierung in NetLogo wurde gleich vorgegangen wie für den Langenberg West, bloss dass nun 300 Ticks einer Stunde in der Realität entsprechen und die Daten vom Sihlwald verwendet werden.

6.3. Fortbewegung der Agenten

Das Prinzip der Fortbewegung der Agenten ist dasselbe wie im Langenberg West. Befindet sich ein Besucher auf einem Patch, welcher nur eine Wegfunktion aufweist, so geht er während eines Ticks den Weg ein Patch vorwärts. Weist der Wegpatch eine zusätzliche Funktion als automatische Zählstelle auf, wird der Besucher bei dieser Zählstelle registriert, indem seine bisher akquirierten Daten in eine für diese Zählstelle vorgesehene Datei geschrieben werden. Bei den manuellen Zählstellen wird gleich vorgegangen, diese befinden sich jedoch auf Patches, welche zusätzlich eine Bestimmung als Kreuzung haben.

Bei den Patches, welche zusätzlich eine Infrastrukturfunktion aufweisen, machen die Besucher je nach Charaktereigenschaften einen Halt. In der Tabelle 6.5 sind die Infrastruktureinrichtungen mit ihrer Anzahl, den Besuchsgründen und der Aufenthaltszeit in Tick sowie Minuten ersichtlich. Alle Infrastruktureinrichtungen können höchstens einmal besucht werden. Zum Beispiel ist es den Agenten untersagt, zweimal am gleichen Aussichtspunkt oder der gleichen Feuerstelle einen Halt zu machen. Bei den Infopunkten halten die Besucher nicht an. Der Grund dafür liegt in der Gegebenheit der Infopunkte. Es macht wenig Sinn, beispielsweise auf einem historischen Weg eine Pause einzulegen, nur weil dieser historisch ist. Die Aufenthaltszeiten an den Infrastrukturpunkten wurden geschätzt und basieren nicht auf statistischen Erhebungen.

Infrastruktureinrichtung	Anzahl	Besuchsgründe	Aufenthaltszeit in Ticks / Minuten
Aussichtspunkte	4	Walderlebnis Erholung, Spaziergang Wandern	50 / 10
Feuerstellen	8	Picknick, Grillieren	300 / 60
Gastronomie	1	Essen, Restaurant	300 / 60
Infopunkte	3	Walderlebnis Bildung, Erlebnispfade	0 / 0

Tabelle 6.5.: Gründe für den Besuch von Infrastruktureinrichtungen mit Aufenthaltszeit im Sihlwald

6.3. Fortbewegung der Agenten

Wie bei der Simulation für den Langenberg West bilden auch beim Sihlwald die Kreuzungen jene Einheit, welche entscheidend für die Besucherströme sind, da je nach Verhalten an den Kreuzungen unterschiedliche Besucherströme entstehen. Im Langenberg West wurden zwei verschiedene Methoden umgesetzt, wie sich die Besucher an Kreuzungen verhalten können. Für den Sihlwald sind nun sieben Methoden erarbeitet worden. Nachfolgend wird in den Unterabschnitten einzeln auf die Methoden eingegangen. Die Methoden der gleichen und ungleichen Wahrscheinlichkeiten sind dieselben wie für den Langenberg West. Jene Methoden der ungleichen Wahrscheinlichkeit Viererkreuzungen und der ungleichen Wahrscheinlichkeit Kreuzungen sind Abwandlungen der Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit. Da bereits einige Aspekte der Methodenansätze im Teil des Langenberg West beschrieben wurde, wird nachfolgend nur kurz darauf eingegangen. Die Methoden, welche Routen beinhalten und neu sind, werden ausführlicher beschrieben. Die Kurzbezeichnungen der Methoden mit M1, M2 und fortlaufend, dienen zur vereinfachten Bezugnahme auf die jeweilige Methode und haben ansonsten keine weitere Bedeutung.

6.3.1. Methode M1: Gleiche Wahrscheinlichkeit

Für die Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit gilt wie für den Langenberg West die Prämisse, dass sich die Besucher zufällig für einen Weg an einer Kreuzung mit gleich verteilten Wahrscheinlichkeiten entscheiden. Bei einer Kreuzung mit zwei Wegen zur Auswahl besteht die Wahrscheinlichkeit je 50 % und bei drei je 33,3 %, dass ein Weg gewählt wird. Von dieser Prämisse jedoch ausgenommen sind Kreuzungen, welche gleichzeitig eine Funktion als manuelle Zählstelle aufweisen. Da von diesen Kreuzungen die Wahrscheinlichkeiten für die Wahl von Wegen durch die Besucher dank den manuellen Zählstellen bekannt sind, werden diese verwendet. Insgesamt sind 13 von 76 Kreuzungen mit Daten von den manuellen Zählungen gespiesen, die Wahrscheinlichkeiten an den anderen Kreuzungen orientieren sich an der Prämisse. Falls ein Besucher nach 3300 Ticks beziehungsweise 18 Uhr eine Kreuzung betritt, welche an einen Ausgang angrenzt, muss er den Sihlwald über diesen Ausgang verlassen.

6.3. Fortbewegung der Agenten

6.3.2. Methode M2: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Viererkreuzungen

Diese Methode bedient sich einer Prämisse, welche einer leicht abgeänderten Form von jener der gleichen Wahrscheinlichkeit aus dem Unterabschnitt 6.3.1 entspricht. Bei Weggabelungen, welche aus vier Zugängen bestehen und dem Besucher eine Auswahl von drei Wegen ermöglichen, wird bei dieser Methode der Weg, welcher geradeaus führt, durch die Besucher präferiert. Ansonsten bleibt die Prämisse für Weggabelungen mit drei Zugängen und solche, welche zugleich als automatische Zählstelle agieren, gleich. Bei den Viererkreuzungen wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % der Besucher den Wegpatch gerade aus betreten und mit je 25 % Wahrscheinlichkeit den Patch links oder rechts von ihm. Wie bereits bei der Methode M1 muss ein Besucher nach 18 Uhr den Sihlwald verlassen, falls eine Kreuzung an einen Ausgang grenzt.

6.3.3. Methode M3: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Kreuzungen

Im Gegensatz zur Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit Viererkreuzungen aus 6.3.2, welche eine Präferenz für das Geradeausgehen von Besuchern an Weggabelungen mit vier Zugängen aufweist, wird dieses Verhalten auf Weggabelungen mit nur drei Zugängen erweitert. Dabei wird der Wegpatch, welcher geradeaus liegt, mit 66,6 % Wahrscheinlichkeit vom Besucher betreten und der Patch, welcher sich links- oder rechtsseitig von ihm befindet, mit 33,3 %. Falls ein Besucher an einer Kreuzung nur nach links oder rechts abbiegen kann, wählt er mit gleicher Wahrscheinlichkeit einen dieser Wegpatches. Wegkreuzungen, welche zugleich manuelle Zählstellen sind, werden von diesem Vorgehen wiederum nicht betroffen, sondern weisen die durch die Zählungen ermittelten Wahrscheinlichkeiten auf. Nach 18 Uhr gilt wiederum die Einschränkung, dass Besucher den Sihlwald verlassen müssen, falls sie an eine Kreuzung gelangen, welche zu einem Ausgang führt.

6.3. Fortbewegung der Agenten

6.3.4. Methode M4: Ungleiche Wahrscheinlichkeit

Bei der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeiten wurden für jede Kreuzung, welche nicht einer manuellen Zählstelle entspricht, individuell Wahrscheinlichkeiten für die Wahl der Wege gesetzt. Als Grundlage dazu dienten die manuellen Zählstellen, welche oft Aufschluss darüber liefern, ob zwischen zwei Zählstellen Personen hinzugekommen oder weggegangen sind. Zudem konnte auf eine Karte zurückgegriffen werden, wo Parkranger die Besucherfrequenzen von Wegen aufgrund ihrer Erfahrungen, in drei Stufen eingeteilt, geschätzt haben. Um die Wahrscheinlichkeiten noch besser setzen zu können, wurden für gewisse Kreuzungen die Wahrscheinlichkeiten anhand von Testsimulationendurchgängen iterativ angepasst. Wie bereits für die Methoden M1 bis M3 müssen die Besucher nach 18 Uhr den Sihlwald verlassen, falls sie auf eine entsprechende Kreuzung stossen.

6.3.5. Methode M5: Routen mit kürzestem Weg eingeschränkt

Beim Ansatz, Besucherströme anhand von Routen abzubilden, wird im Vornherein bestimmt, welche Routen welche Besucher nehmen können. Im Gegensatz zu den bisher aufgeführten Methoden, wo sich die Besucher grundsätzlich frei auf dem Wegnetz und geleitet durch die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten, an den Kreuzungen bewegen konnten, sind den Besuchern durch Routen die Wege vorgegeben.

Für die Besucher jedes Eingangs wurden Routen festgelegt. Da die Parkeintritte je nach Eingang stark variieren, wurden für die Eingänge unterschiedlich viele Routen festgelegt. Dabei wurden für Eingänge mit bis zu 10 Parkeinritten eine Route, für solche mit bis zu 100 Einritten zwei Routen und für solche darüber drei Routen erstellt. In Tabelle 6.6 ist ersichtlich, für welchen Eingang wie viele Routen erstellt wurden.

Eingänge mit 1 Route (< 10 Parkeintritte)	Eingänge mit 2 Routen (< 100 Parkeintritte)	Eingänge mit 3 Routen (> 100 Parkeintritte)
1003, 1007, 1009, 1012, 1013, 1017, 1018	1001, 1002, 1004, 1005, 1008, 1010, 1011, 1014, 1016	1006, 1015

Tabelle 6.6.: Eingänge, gegliedert nach Anzahl Routen

6.3. Fortbewegung der Agenten

Die Festlegung der Routen wurden für jeden Eingang in einem Zufallsverfahren ausgeführt. Für jeden Eingang wurde zu allen anderen Ein- respektive Ausgängen die kürzesten Wege in einem geographischen Informationssystem berechnet. Aus diesen kürzesten Wegen wurde zufällig die gewünschte Anzahl Routen je nach Eingang ausgewählt. Umgesetzt wurden die Routen in NetLogo, indem Besuchern an den Kreuzungen, getrennt nach deren Eingangsherkunft, Richtungsanweisungen gegeben werden. Bei Eingängen mit mehr als einer Route, wird jede Route mit gleicher Wahrscheinlichkeit von den Besuchern gewählt.

6.3.6. Methode M6: Routen mit kürzestem Weg

Bei der Methode der Routen mit kürzestem Weg steht es den Besuchern frei, von ihrem Eingang aus auf kürzestem Weg zu einem beliebig anderen Ein- respektive Ausgang zu gehen. Ähnlich wie bei der im Unterabschnitt 6.3.5 beschriebenen Methode werden die Besucher auf den Kreuzungen aufgrund ihrer Eingangsherkunft unterschiedliche Richtungsanweisungen erhalten. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch darin, dass nun alle kürzesten Wege gegangen werden können und dass die Routen nicht mehr mit gleicher Wahrscheinlichkeit gewählt werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Route gewählt wird, hängt davon ab, wie viele Besucher an deren Endpunkt den Park betreten. An Eingängen, wo viele Personen den Park betreten, sollen demnach auch wiederum viele Personen ihn verlassen.

6.3.7. Methode M7: Routen

Als letzte Methode wurde jene der Routen umgesetzt. Dabei wurden für die Besucher jedes Einganges spezifische Routen bestimmt. Die Routen basieren nicht mehr auf kürzesten Wegen, sondern auf Routen, welche aufgrund der Information von manuellen und automatischen Zählstellen sowie Hinweisen von einem Experten des Besuchermonitorings erstellt wurden. Optimiert wurden die Routenführungen, indem Testsimulationsdurchgänge durchgeführt und entsprechend Anpassungen vorgenommen wurden. Für die

6.4. Simulationsablauf

Eingänge wurde jeweils die gleiche Anzahl Routen wie in der Methode im Unterabschnitt 6.3.5 verwendet, welche in der Tabelle 6.6 dargestellt sind.

6.4. Simulationsablauf

Der Ablauf der Simulation ist in den Grundzügen gleich wie jener für den Langenberg West, beschrieben im Abschnitt 5.4. Geändert hat sich jedoch die Anzahl Ticks, welche pro Simulationsdurchgang ausgeführt werden sollen. Für jede der sieben Methoden wurden 100 Simulationsdurchgänge mit je 10'000 Ticks durchgeführt. Die manuellen Zählstellen, welche im Langenberg West nicht existieren, werden in der Simulation zeitgleich mit den Kreuzungen abgewickelt, da die manuellen Zählstellen auf Kreuzungen liegen. Des Weiteren wird beim Schritt, wo geprüft wird, ob neue Besucher den Sihlwald betreten sollen, das Personenaufkommen der 18 Ein- respektive Ausgänge überprüft.

Kapitel 7.

Resultate

In diesem Kapitel werden die erhaltenen Resultate genauer thematisiert. Dabei wird in einem ersten Teil auf den Langenberg West und einem zweiten Teil auf den Sihlwald eingegangen.

7.1. Langenberg West

Die Resultate für den Langenberg West, bei welchem Simulationsgänge mit zwei verschiedenen Methoden getätigt wurden, werden anhand der Zählstellen und der Aufenthaltszeit der Parkbesucher betrachtet.

7.1.1. Zählstellen und Kalibration

Für die beiden Zählstellen im Langenberg West, welche sich an dessen Ein- respektive Ausgängen befinden, wurden in den Simulationsgängen die Zeiten registriert, zu denen die Besucher den Parkteil verlassen. Die Tabellen 7.1 und 7.2 zeigen für die Zählstelle 401 beziehungsweise 402 die Parkaustritte nach Stunden aggregiert für die Rohdaten sowie die Simulationsgänge mit den unterschiedlichen Methoden. Die Werte der Parkaustritte für die Methoden sind auf ganze Zahlen gerundete Mittelwerte der jeweils 100 durchgeführten Simulationsgänge. Die Spalten der Differenzen geben jeweils die Abweichung zwischen dem modellierten Wert einer Methode und den Rohdaten an. Je grösser die Differenz ausfällt, desto ungünstiger modelliert eine Methode das Besucheraufkommen

7.1. Langenberg West

zu dieser Uhrzeit an dieser Zählstelle.

Bei der Betrachtung der Tabelle 7.1 fällt auf, dass über den gesamten Tag hinaus bei beiden Simulationsansätzen im Verhältnis zu den unkalibrierten Rohdaten zu wenig Besucher den Langenberg West über die Zählstelle 401 verlassen. Bei der Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit sind es nochmals deutlich weniger Personen, welche die Zählstelle passieren als bei der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit. Trotz der allgemein stark reduzierten Frequentierung dieses Ausganges gibt es Tageszeiten, an denen eine höhere Benutzung festgestellt werden kann. Ab 17 Uhr werden bei beiden Methoden gleiche oder höhere Werte gegenüber den Rohdaten erfasst. Dieser Umstand könnte ein Indiz dafür sein, dass sich die Besucher in den Simulationen gegenüber der Realität zu lange in Parkgebiet aufhalten.

Zählstelle 401					
Tageszeit	Rohdaten	Gleiche Wahrscheinlichkeit	Betrag der Differenz	Ungleiche Wahrscheinlichkeit	Betrag der Differenz
7 bis 8	0	0	0	0	0
8 bis 9	2	1	1	2	0
9 bis 10	5	3	2	4	1
10 bis 11	20	12	8	17	3
11 bis 12	43	26	17	35	8
12 bis 13	60	31	29	40	20
13 bis 14	54	36	18	47	7
14 bis 15	73	47	26	61	12
15 bis 16	84	51	33	67	17
16 bis 17	67	47	20	58	9
17 bis 18	34	34	0	43	9
18 bis 19	12	18	6	22	10
19 bis 20	3	7	4	8	5
20 bis 21	0	1	1	1	1
21 bis 22	0	0	0	0	0
Summe	457	316	165	406	102

Tabelle 7.1.: Austritte bei der Zählstelle 401, für die Rohdaten und Simulationsmethoden auf ganze Personen gerundet und aggregiert nach Stunden

7.1. Langenberg West

Die Differenzen der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit sind für die meisten Stunden sowie in der Gesamtsumme kleiner als die Differenzen der Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit. Somit kann gesagt werden, dass die Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit die Rohdaten für die Zählstelle 401 besser abbildet als jene der gleichen Wahrscheinlichkeit.

Im Gegensatz zur Zählstelle 401 wird die Zählstelle 402, dargestellt in der Tabelle 7.2, bei den Simulationen intensiver genutzt als es die Rohdaten suggerieren würden. Die Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit weist eine leicht höhere Tagesfrequentierung auf, während die Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit ein stark erhöhtes Besucher-
aufkommen gegenüber den Rohdaten ausweist. In den frühen Nachmittagsstunden überschreiten die Werte der Simulationen jene der Rohdaten am wenigsten oder liegen sogar darunter.

Zählstelle 402					
Tageszeit	Rohdaten	Gleiche Wahrscheinlichkeit	Betrag der Differenz	Ungleiche Wahrscheinlichkeit	Betrag der Differenz
7 bis 8	3	1	2	1	2
8 bis 9	2	3	1	2	0
9 bis 10	4	6	2	5	1
10 bis 11	16	24	8	21	5
11 bis 12	26	47	21	39	13
12 bis 13	48	53	5	45	3
13 bis 14	45	65	20	53	8
14 bis 15	63	84	21	69	6
15 bis 16	85	84	1	71	14
16 bis 17	64	73	9	60	4
17 bis 18	45	52	7	42	3
18 bis 19	13	26	13	21	8
19 bis 20	4	10	6	8	4
20 bis 21	0	1	1	1	1
21 bis 22	0	0	0	0	0
Summe	418	528	117	438	72

Tabelle 7.2.: Austritte bei der Zählstelle 402, für die Rohdaten und Simulationsmethoden auf ganze Personen gerundet und aggregiert nach Stunden

7.1. Langenberg West

Wie bereits bei der Zählstelle 401 weist die Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit meist kleinere Differenzen für die Stunden gegenüber den Rohdaten für die Zählstelle 402 aus als jene der gleichen Wahrscheinlichkeit. Zudem ist die Summe der Differenz ebenfalls kleiner, womit die Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit auch diese Zählstelle besser approximiert. Für den Langenberg West ist dementsprechend die Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeiten diejenige Methode, welche die Realität besser wiedergibt.

Für das Besucheraufkommen an den beiden Eingängen wurden für die Simulationen Daten verwendet, welche direkt von den Zählstellen stammen und nicht kalibriert wurden. Die Rohdaten für die Anzahl Übertretungen, welche in den Tabellen 7.1 und 7.2 als Vergleich zu den Modellierungsergebnissen beigezogen werden, sind ebenfalls nicht kalibrierte, direkt von der Zählstelle stammende Werte.

Um etwas über die Plausibilität der Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen 401 und 402 erfahren zu können, sollen die für die Simulationen verwendeten Besucheraufkommen sowie die Rohdaten zum Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Kalibrierungsfaktoren multipliziert werden. Dadurch wird für jede Methode wie eine zweite Simulation erstellt, bei welcher alle Kalibrierungsfaktoren berücksichtigt worden sind. Diese kann anschliessend mit der ausschliesslich auf unkalibrierten Rohdaten basierenden Simulation verglichen werden.

	Eintritte	Austritte	Austritte Gleiche Wahrscheinlichkeit	Summierte Differenz	Austritte Ungleiche Wahrscheinlichkeit	Summierte Differenz
Zählstelle 401						
Ohne Kalibration	435	457	316	165	406	102
Mit Kalibration	659	553	461	150	593	80
Zählstelle 402						
Ohne Kalibration	409	418	528	117	438	72
Mit Kalibration	560	574	758	190	626	98
Zählstellen 401 & 402						
Ohne Kalibration	844	875	844	282	844	174
Mit Kalibration	1219	1127	1219	340	1219	178

Tabelle 7.3.: Vergleich des Besucheraufkommens mit und ohne Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen im Langenberg West

Die Tabelle 7.3 zeigt in den ersten beiden Spalten die Ein- und Austritte von Besuchern auf Basis der Rohdaten für die einzelnen Zählstellen sowie für beide zusammen.

7.1. Langenberg West

Für die Zählstellen sind die Werte jeweils ohne und mit der Berücksichtigung der Kalibrierungsfaktoren aufgelistet. Ohne Kalibrierungsfaktoren weisen die beiden Zählstellen zusammen mehr Aus- als Eintritte auf, mit ihrer Berücksichtigung sind es mehr Ein- als Austritte.

In den weiteren Spalten sind die Austritte sowie die summierte Differenz für die Methoden der gleichen und ungleichen Wahrscheinlichkeit abgebildet. Bei der Zählstelle 401 sind die summierten Differenzen für beide Methoden mit Berücksichtigung der Kalibration tiefer als ohne Berücksichtigung. Bei der Zählstelle 402 verhält es sich gerade umgekehrt. Da aufgrund der Kalibrierungsfaktoren proportional mehr Besucher den Langenberg betreten als ihn zusätzlich verlassen, wird die Zählstelle 401, welche bei den Modellierungen zu wenig Austritte aufweist, begünstigt, während die Zählstelle 402, welche bereits zu viele Austritte ohne Kalibration aufweist, zusätzlich belastet.

7.1.2. Aufenthaltszeit

Die durch die Simulationsläufe ermittelte durchschnittliche Aufenthaltszeit der Besucher im Langenberg West kann in zwei Teile untergeteilt werden. Einen Teil der Aufenthaltszeit verwenden die Besucher, um die Wege zu begehen. Die restliche Zeit verbringen sie mit Aufhalten an Infrastrukturpunkten. In der Tabelle 7.4 sind die simulierten Zeiten für den gesamten Parkbesuch, alle Infrastrukturpunkte zusammen und einzeln für die Methoden der gleichen sowie ungleichen Wahrscheinlichkeit aufgeführt.

Die Aufenthaltszeit für den Besuch des Langenberg West beläuft sich für beide Methoden auf rund 35 Minuten, wobei etwa 15 Minuten davon auf Infrastrukturbesuche fallen. Besucher, welche den Parkteil über die Zählstelle 401 betreten haben, halten sich im Vergleich zu jenen, welche über die Zählstelle 402 hineingekommen sind, bei beiden Methoden wesentlich länger im Park auf. Ein Grossteil dieses Unterschiedes ist auf eine ausgedehntere Nutzung der Infrastrukturpunkte zurückzuführen. Bei der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit ist der Unterschied etwas geringer.

Über die Nutzung der einzelnen Attraktionen kann gesagt werden, dass die Infrastrukturpunkte eher frequentiert werden, je näher sie zu einem Eingang sind. Je mehr Kreuzungen zwischen dem Eingang und der Attraktion liegen, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Besucher zu dieser Attraktion gelangt und diese auch besucht.

7.1. Langenberg West

Die Mongolische Jurte sowie das Elchquiz liegen näher beim Eingang 402 und werden entsprechend mehr von den Besuchern dieses Eingangs genutzt, die anderen Infrastrukturlpunkte liegen näher beim Eingang 401.

Aufenthalte	Gleiche Wahrscheinlichkeit			Ungleiche Wahrscheinlichkeit		
	Alle Besucher	Besucher aus 401	Besucher aus 402	Alle Besucher	Besucher aus 401	Besucher aus 402
Parkbesuch	35,5 min	42,8 min	27,8 min	34,1 min	39,8 min	28,1 min
Infrastruktur	14,4 min	19,1 min	9,5 min	15,2 min	19,1 min	11,1 min
Feuerstelle, -höhle, Aussicht	3,5 min	4,8 min	2,3 min	3,6 min	4,6 min	2,5 min
Knochenwald, Feuerstelle	2,4 min	3,2 min	1,5 min	2,4 min	3,1 min	1,7 min
Fuchsscheune	2,1 min	2,6 min	1,5 min	2,6 min	3,1 min	2,2 min
Elchhaus	4,3 min	6,6 min	1,8 min	4,6 min	6,6 min	2,5 min
Mongolische Jurte	1,5 min	1,4 min	1,7 min	1,4 min	1,2 min	1,6 min
Elchquiz	0,6 min	0,6 min	0,7 min	0,5 min	0,5 min	0,5 min

Tabelle 7.4.: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in Minuten im Langenberg West für die verschiedenen Methoden der gleichen sowie der ungleichen Wahrscheinlichkeit

Von weiterem Interesse für die Aufenthaltszeit der Besucher im Langenberg West ist die deskriptive Statistik. In der Abbildung 7.1 sind statistische Kennwerte und Histogramme für beide Fortbewegungsmethoden ersichtlich. Es werden dabei alle Besucher berücksichtigt und nicht nach Zählstellen beim Eintritt unterschieden.

Neben dem Mittelwert, welcher bereits in Tabelle 7.4 ersichtlich war, geben der Median sowie die Perzentile mehr Auskunft darüber, wie unterschiedlich lange sich die Besucher im Langenberg West aufhalten. Ein Viertel der Parkbesucher hält sich bei beiden Methoden bis um die 20 Minuten im Park auf, die Hälfte etwas unter einer halben Stunde und drei Viertel halten sich bis etwa 50 Minuten im Park auf. Der Median sowie das

7.1. Langenberg West

75 % Perzentil fallen bei der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit etwas niedriger aus. Indes ist die Spannweite sowie das Maximum ebenfalls geringer. Das Maximum liegt mit 95,9 Minuten über 25 Minuten unter jenem der gleichen Wahrscheinlichkeit. Dies hat auch eine Auswirkung auf die Standardabweichung, welche mit 19,9 Minuten etwas geringer ausfällt als jene der gleichen Wahrscheinlichkeit.

Die Histogramme bilden jeweils die Aufenthaltszeiten aller Besucher über die 100 ausgeführten Simulationsdurchgänge ab. Es fällt auf, dass sich bei beiden Methoden ein grosser Höhepunkte in der Aufenthaltszeit der Besucher bei etwa 20 Minuten sowie ein kleinerer Höhepunkt um 60 Minuten herausgebildet hat.

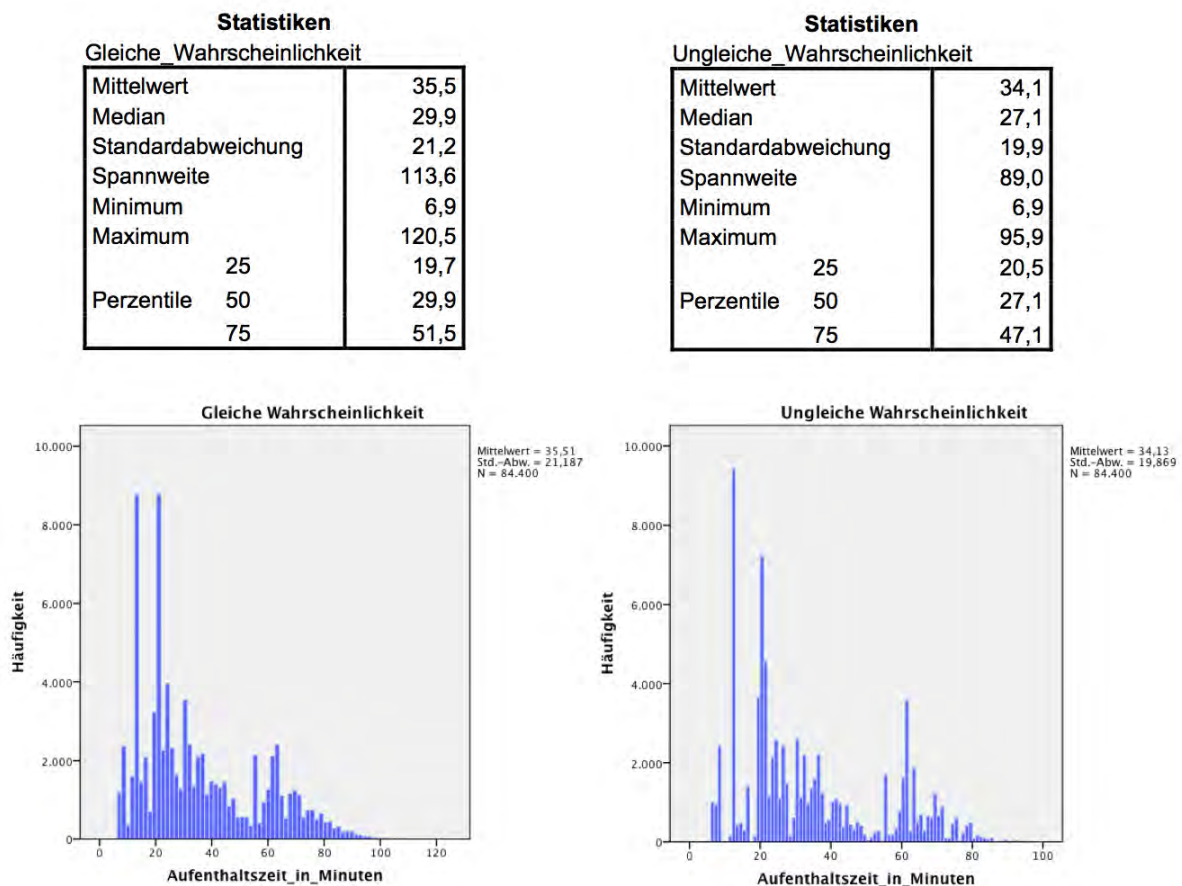


Abbildung 7.1.: Deskriptive Statistiken und Histogramme für die Simulationsergebnisse der Methoden der gleichen Wahrscheinlichkeit (links) sowie der ungleichen Wahrscheinlichkeit (rechts)

7.2. Sihlwald

In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die Ergebnisse der sieben Methoden, mit welchen Simulationsgänge für den Sihlwald durchgeführt wurden, anhand der Zählstellen sowie der Aufenthaltszeit betrachtet.

7.2.1. Zählstellen und Kalibration

Bei der agentenbasierten Modellierung der Besucherströme im Sihlwald wurden 9 manuelle und 4 automatische Zählstellen implementiert. Um sich einen ersten Überblick über die angefallene Datenmenge machen zu können, bietet sich an, die Anzahl Über tretungen der Zählstellen während eines gesamten simulierten Tages zu betrachten. Um genauere Aussagen bezüglich der Güte der Methoden für die einzelnen Zählstellen machen zu können, sollen diese dann stundenweise analysiert werden.

Tagessummen

Die Tagessummen der Zählstellen geben die Anzahl Besucher wieder, welche während eines Tages die Zählstelle passiert haben. Zu welcher Uhrzeit eine Person an dieser Zählstelle vorbeigekommen ist, ist dabei irrelevant. In der Tabelle 7.5 ist für jede manuelle Zählstelle ersichtlich, bei welcher Methode wie viele Personen durchschnittlich in einem Simulationsgang die Zählstelle passiert haben. Die Anzahl Personen sind auf ganze Zahlen gerundet. In der letzten Zeile sind die Rohdaten als Vergleichswerte aufgelistet. Auf den gelben Zeilen steht jeweils der Rang, den eine Methode in der Approximation des Rohdatenwertes aufweist. Der erste Rang bedeutet die beste, der siebte Rang die schlechteste Annäherung. Der Rang sagt somit etwas über die Güte einer Methode gegenüber den anderen Methoden aus.

Die Methoden können für die Zählstellen zum Teil sehr unterschiedliche Resultate liefern. Für die manuelle Zählstelle 109 weisen alle Methoden verhältnismässig ähnliche Frequentierungen auf, während bei der Zählstelle 102 die Modellierungsergebnisse recht unterschiedlich ausfallen. Ferner ist zu erwähnen, dass die Rohdaten den Zeitraum von 9 bis 17 Uhr abdecken. Besucherströme vor und nach dieser Zeit sind in den Rohdaten

7.2. Sihlwald

nicht enthalten.

Methode	101	102	103	104	105	106	107	108	109
M1: Gleiche Wahrscheinlichkeit	118	93	67	99	221	211	202	144	131
Rang	5	3	3	2	6	4	7	5	3
M2: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Viererkreuzungen	118	93	68	100	228	210	203	147	133
Rang	5	3	2	1	5	5	6	6	4
M3: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Kreuzungen	123	99	65	107	231	221	216	130	141
Rang	4	5	4	4	4	3	5	3	5
M4: Ungleiche Wahrscheinlichkeit	168	56	94	133	324	285	425	104	144
Rang	2	1	1	6	1	1	2	2	5
M5: Routen mit kürzestem Weg eingeschränkt	303	246	147	60	116	348	314	45	165
Rang	7	7	7	7	7	6	4	7	7
M6: Routen mit kürzestem Weg	155	139	48	81	233	384	423	138	125
Rang	1	6	6	5	3	7	1	4	2
M7: Routen	136	29	59	104	373	306	407	100	107
Rang	3	2	5	3	2	2	3	1	1
Rohdaten	157	51	82	100	316	268	417	97	111

Tabelle 7.5.: Mit Rängen bewertetes Besucheraufkommen der manuellen Zählstellen während eines ganzen Tages für die unterschiedlichen Methoden

Methode	201	202	203	204
M1: Gleiche Wahrscheinlichkeit	59	112	149	114
Rang	6	7	6	7
M2: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Viererkreuzungen	60	102	154	115
Rang	5	6	5	6
M3: Ungleiche Wahrscheinlichkeit Kreuzungen	64	101	160	120
Rang	4	5	4	5
M4: Ungleiche Wahrscheinlichkeit	119	41	227	240
Rang	1	1	2	1
M5: Routen mit kürzestem Weg eingeschränkt	210	87	54	224
Rang	7	4	7	2
M6: Routen mit kürzestem Weg	83	19	189	303
Rang	2	2	3	4
M7: Routen	69	15	238	203
Rang	3	3	1	3
Rohdaten	133	44	296	245

Tabelle 7.6.: Mit Rängen bewertetes Besucheraufkommen der automatischen Zählstellen während eines ganzen Tages für die unterschiedlichen Methoden

7.2. Sihlwald

In der Tabelle 7.6 sind die auf ganze Zahlen gerundeten, simulierten Durchschnittswerte der verschiedenen Methoden für die automatischen Zählstellen sowie deren Rohdaten dargestellt. Bei den Rohdaten handelt es sich um ganztägige Messungen, welche noch nicht mit einem Kalibrierungsfaktor multipliziert worden sind. Die Simulationenwerte der Methoden für die automatischen Zählstellen variieren bei allen Zählstellen stark. Bei der Zählstelle 203 liegen alle simulierten Werte unter jenem des Rohdatenwertes. Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass die manuelle Zählstelle 106 den Bereich der automatischen Zählstelle 203 ebenfalls abdeckt und die Werte dieser Zählstelle als Grundlage für das Besucheraufkommen genommen wurden und nicht jene mit der Nummer 203.

Um zu evaluieren, welche Methode die Tagessummen der Rohdaten am besten abbildet, können die Ränge zusammengezählt werden. Jene Methode mit der geringsten Rangsumme wird sich als geeignetste Methode herausstellen. In der Tabelle 7.7 sind die Rangsummen für die manuellen und die automatischen Zählstellen sowie das Total aufgelistet. Die Methode M4 der ungleichen Wahrscheinlichkeit schneidet bei den automatischen und manuellen Zählstellen sowie insgesamt am besten ab. Die Methode M7 der Routen folgt mit geringem Abstand als zweitbeste Methode sowie insgesamt bei den automatischen und manuellen Zählstellen.

Die Methode M6 der Routen mit kürzesten Wegen erweist sich als drittbeste Methode. Sie hat jedoch schon ein wesentlich höheres Rangsummentotal, was insbesondere auf die Rangsummen der manuellen Zählstellen zurückzuführen ist. Die Methoden M1 bis M3 erweisen sich als weniger geeignete Methoden. Je öfters eine Priorisierung des Geradeausgehens in einer dieser Methoden vorkommt, desto besser schneidet die Methode ab. Die Methode M5 landet im Vergleich zu den anderen Methoden auf dem letzten Platz, insbesondere weil sie sehr hohe Rangsummen bei den manuellen Zählstellen aufweist.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Rangsumme der manuellen Zählstellen	38	37	37	21	59	35	22
Rangsumme der automatischen Zählstellen	26	22	18	5	20	11	10
Rangsummen Total	64	59	55	26	79	46	32

Tabelle 7.7.: Rangsummen für die manuellen und automatischen Zählstellen sowie das Total der Rangsummen für jede Methode

7.2. Sihlwald

Stundensummen

Stundensummen geben detaillierteren Aufschluss darüber, wie gut eine Methode einen Tagesgang einer Zählstelle modellieren kann. In der Tabelle 7.1 ist als Beispiel für alle Zählstellen der Tagesgang für die manuelle Zählstelle 101 abgebildet. Da es sich um eine manuelle Zählstelle handelt, sind Rohdaten nur von 9 bis 17 Uhr vorhanden. Beim Betrachten der Frequentierungshäufigkeiten fällt auf, dass bei den Methoden M5 bis M7, bei welchen es sich um Methoden mit Routen handelt, die Zählstelle eher früher passiert wird, als bei den Methoden M1 bis M4 mit Wahrscheinlichkeiten.

Tageszeit	Rohdaten	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
7 bis 8	–	0	0	0	0	0	0	0
8 bis 9	–	0	0	0	0	1	1	1
9 bis 10	8	1	1	2	3	9	6	5
10 bis 11	18	4	4	4	8	20	10	10
11 bis 12	37	8	8	9	17	42	22	21
12 bis 13	22	15	15	16	25	49	26	25
13 bis 14	22	16	16	17	23	44	22	20
14 bis 15	22	16	16	17	24	45	22	20
15 bis 16	12	17	16	17	23	44	22	19
16 bis 17	16	15	15	16	18	29	15	11
17 bis 18	–	12	12	13	13	14	7	3
18 bis 19	–	8	8	8	8	5	3	1
19 bis 20	–	4	4	3	3	1	0	0
20 bis 21	–	1	1	1	1	0	0	0
21 bis 22	–	1	0	0	0	0	0	0
Summe	157	118	118	123	168	303	155	136

Tabelle 7.8.: Übertritte bei der manuellen Zählstelle 101, auf ganze Zahlen gerundet und aggregiert nach Stunden für die Rohdaten und Methoden

Um Beurteilen zu können, wie gut eine Methode im Vergleich zu den anderen Methoden die Rohdaten approximiert, sollen nach dem gleichen Vorgehen wie bei den Tagessummen Ränge verteilt werden. Jede Methode soll für jede Zählstelle pro Stunde mit einem Rang bewertet werden. Diese Ränge können anschliessend für jede Methode pro Zählstelle summiert werden. Der Vorteil bei Rangsummen liegt darin, dass Ausreisser bei

7.2. Sihlwald

modellierten Werten weniger ins Gewicht fallen.

Des Weiteren sollen die Beträge der Differenz zwischen modelliertem und realem Wert für jede Stunde betrachtet werden. Mit der Summe dieser Differenzen kann eine Aussage über die Güte einer Methode für eine Zählstelle gemacht werden, bei welcher kein Vergleich mit anderen Methoden im Vornherein notwendig ist. Für den Vergleich zweier oder mehrerer Zählstellen ist der Betrag der Differenz der Zählstellenbesucher jedoch nicht geeignet. Ist der Betrag der Differenz der Besucher bei einer Methode für zwei Zählstellen ähnlich, die Frequentierung jedoch unterschiedlich gross, so wird die höher frequentierte Zählstelle besser und die geringer übertretene Zählstelle schlechter von der Methode abgebildet, obwohl die Differenzen zwischen realen und modellierten Werten ähnlich sind. Um einen solchen Vergleich zu ermöglichen, soll der prozentuale Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten einer Zählstelle gemessen werden.

Die Tabellen 7.9 und 7.10 geben die aufsummierten Ränge für die manuellen und automatischen Zählstellen in den gelben, die summierte Differenz der Besucher in den hellblauen sowie den prozentualen Anteil der summierten Differenz der Besucher an den Rohdaten in den dunkelblauen Zeilen wieder. Für die manuellen Zählstellen wurde aufgrund der Rohdatenlage der Zeitraum von 8 bis 17 Uhr und für die automatischen Zählstellen der Zeit zwischen 7 und 21 Uhr berücksichtigt.

Beim Betrachten der einzelnen Zählstellen in den Tabellen fällt auf, dass mit einigen Ausnahmen der Wert der Differenz der Besucher bei einer Zählstelle für eine Methode umso geringer ausfällt, je tiefer der Wert der aufsummierten Ränge ist. Abweichungen davon, wie beispielsweise bei der automatischen Zählstelle 204 für die Methode M3, können Hinweise auf Ausreisser sein. Beispielsweise hat die Methode M3 weniger aufsummierte Ränge als die Methoden M6 und M7, hat jedoch eine wesentlich grössere Differenz der Besucher als diese Methoden.

Vergleicht man in den dunkelblauen Linien die Werte der prozentualen Anteile der summierten Differenzen der Besucher an den Rohdaten, so ergibt sich ein geteiltes Bild. Einerseits gibt es Methoden, welche ähnliche Werte für alle Zählstellen, mit der Ausnahme der Zählstelle 202, liefern. Die Zählstelle 202 schneidet bei allen Methoden auffallend schlecht ab. Eine Ursache dafür könnte daran liegen, dass es die am wenigsten frequentierte Zählstelle ist, womit einzelne Übertretungen an Einfluss gewinnen. Zudem sind die Übertretungen in den Rohdaten unregelmässig auf wenige Stunden verteilt.

7.2. Sihlwald

Zählstelle 101	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Aufsummierte Ränge	37	36	31	29	43	23	29
Differenz Besucher	75	74	69	54	126	41	47
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	47,8	47,1	43,9	34,4	80,3	26,1	29,9
Zählstelle 102							
Aufsummierte Ränge	25	23	33	16	52	44	22
Differenz Besucher	36	34	40	12	158	75	22
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	70,6	66,7	78,4	23,5	309,8	147,1	43,1
Zählstelle 103							
Aufsummierte Ränge	19	18	14	27	43	38	20
Differenz Besucher	30	30	28	35	70	39	30
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	36,6	36,6	34,1	42,7	85,4	47,6	36,6
Zählstelle 104							
Aufsummierte Ränge	26	25	22	29	36	28	30
Differenz Besucher	31	31	30	35	49	35	34
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	31,0	21,0	30,0	35,0	49,0	35,0	34,0
Zählstelle 105							
Aufsummierte Ränge	32	32	28	24	55	24	21
Differenz Besucher	132	130	128	73	212	120	60
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	41,8	41,1	40,5	23,1	67,1	38,0	19,0
Zählstelle 106							
Aufsummierte Ränge	38	35	32	26	30	36	25
Differenz Besucher	113	115	109	81	97	115	86
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	42,2	42,9	40,7	30,2	36,2	42,9	32,1
Zählstelle 107							
Aufsummierte Ränge	48	50	41	19	33	22	21
Differenz Besucher	233	234	220	52	121	65	58
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	55,9	56,1	52,8	12,5	29,0	15,6	13,9
Zählstelle 108							
Aufsummierte Ränge	30	33	27	23	40	32	24
Differenz Besucher	51	53	51	30	69	44	32
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	52,6	54,6	52,6	30,9	71,1	45,4	33,0
Zählstelle 109							
Aufsummierte Ränge	19	17	26	22	38	25	42
Differenz Besucher	26	24	29	27	40	27	35
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	23,4	21,6	26,1	24,3	36,0	24,3	31,5

Tabelle 7.9.: Aufsummierte Ränge, summierte Differenz der Besucher und prozentualer Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten pro Methode und manueller Zählstelle

7.2. Sihlwald

Zählstelle 201	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Aufsummierte Ränge	47	43	37	31	54	44	44
Differenz Besucher	77	75	71	35	97	59	67
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	57,9	56,4	53,4	26,3	72,9	43,4	50,4
Zählstelle 202							
Aufsummierte Ränge	62	48	48	31	41	35	32
Differenz Besucher	82	71	70	39	56	37	35
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	186,4	161,4	159,1	88,6	127,3	84,1	79,5
Zählstelle 203							
Aufsummierte Ränge	44	42	36	37	61	42	36
Differenz Besucher	173	169	164	148	248	149	145
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	58,4	57,1	55,4	50,0	83,8	50,3	49,0
Zählstelle 204							
Aufsummierte Ränge	55	54	42	41	37	43	45
Differenz Besucher	155	154	145	107	95	110	111
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	62,5	62,1	58,5	43,1	38,3	44,4	44,8

Tabelle 7.10.: Aufsummierte Ränge, summierte Differenz der Besucher und prozentualer Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten pro Methode und automatischer Zählstelle

Neben der automatischen Zählstelle 202 weist die manuelle Zählstelle 102 teilweise sehr hohe Prozentwerte auf, insbesondere für die Methoden M5 und M6 mit kürzesten Routen. Dieser Sachverhalt kommt zustande, weil viele kürzeste Wege über diese Zählstelle führen und folglich zu einer stark erhöhten Frequentierung dieser Zählstelle führen.

Eine grobe räumliche Tendenz in den Werten kann zudem ausgeschlossen werden. Bei keiner der Methoden kann, unter der Berücksichtigung der Lage der Zählstelle im Sihlwald, eine wesentliche Zu- oder Abnahme der prozentualen Anteile der Differenz der Besucher an den Rohdaten festgestellt werden.

Um weitere Aussagen über die Zählstellen und Methoden zu ermöglichen, können die manuellen und automatischen Zählstellen jeweils zusammengefasst sowie das Gesamttotal ermittelt und betrachtet werden. Vergleicht man die prozentualen Anteile der Differenz der Besucher an den Rohdaten der automatischen und manuellen Zählstellen in der Tabelle 7.11, so werden die automatischen Zählstellen bei allen Methoden im Durchschnitt schlechter approximiert. Vergleicht man die Reihenfolge der Werte der aufsummierten

7.2. Sihlwald

Ränge mit jener der Differenz der Besucher, so ergibt sich grundsätzlich eine ähnliche Abfolge. Nur die Methode M6 weist für die Höhe ihrer aufsummierten Ränge geringe Differenzen der Besucher aus. Bei den manuellen Zählstellen weist sie einen höheren Wert bei den aufsummierten Rängen und einen tieferen Wert bei der Differenz der Besucher als die Methoden M2 und M3 auf. Bei den automatischen Zählstellen und im Total ist der gleiche Sachverhalt nur noch mit der Methode M3 feststellbar.

Beim Total weist die Methode M4 der ungleichen Wahrscheinlichkeit die geringste Anzahl Ränge sowie Differenz der Besucher auf. Sie bildet somit die Realität am besten ab. Ebenfalls gut und mit wenig Rückstand schneidet die Methode M7 der Routen ab. Obwohl die Methode M6 einen höheren Wert für die aufsummierten Ränge aufweist als die Methode M3, kann aufgrund der massiv geringeren Differenz der Besucher gesagt werden, dass sie die bessere Methode ist. Die Methoden M1 und M2 folgen mit etwas Abstand, wobei die Resultate dieser Methoden einigermaßen nahe beieinander liegen. Die Methode M5 der Routen mit kürzesten Wegen eingeschränkt ist mit einigem Rückstand diejenige Methode, welche die Realität am wenigsten zutreffend abbildet. Zudem weist sie eine fast doppelt so grosse Differenz der Besucher wie die am besten abschneidende Methode M4 aus.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Manuelle Zählstellen							
Aufsummierte Ränge	274	269	254	215	370	272	234
Differenz Besucher	727	725	704	399	942	561	404
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	45,5	45,3	44,0	25,0	58,9	35,1	25,3
Automatische Zählstellen							
Aufsummierte Ränge	209	187	163	140	193	164	158
Differenz Besucher	487	469	450	329	496	355	358
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	67,5	65,0	62,4	45,6	68,8	49,2	49,7
Total							
Aufsummierte Ränge	483	456	417	355	563	436	392
Differenz Besucher	1214	1194	1154	728	1438	916	762
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in %	52,3	51,5	49,7	31,4	62,0	39,5	32,8

Tabelle 7.11.: Aufsummierte Ränge, summierte Differenz der Besucher und prozentualer Anteil der Differenz der Besucher an den Rohdaten für die manuellen und automatischen Zählstellen sowie das Total für jede Methode

7.2. Sihlwald

Um etwas über die Plausibilität der Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen im Sihlwald erfahren zu können, sollen die Simulationsergebnisse der verschiedenen Methoden mit den kalibrierten Rohdaten verglichen werden. In der Tabelle 7.12 sind die prozentualen Anteile der Differenz der Besucher an den Rohdaten mit und ohne Kalibrierungsfaktor ersichtlich. Ist der Kalibrierungsfaktor grösser als 1, profitieren Methoden mit übermässigem Besucheraufkommen, während bei Kalibrierungsfaktoren unter 1 Methoden mit geringem Besucheraufkommen einen Vorteil erzielen.

Bei der Zählstelle 201 wirkt sich bis auf die Methode M5 die Multiplikation mit dem Korrekturfaktor negativ aus. Daher ist der Kalibrierungsfaktor von 1,1072 für die Zählstelle 201 aufgrund der Simulationsergebnisse zu hoch angesetzt.

Bei der Zählstelle 202 bewirkt der Einbezug des Kalibrierungsfaktors, dass Methoden mit besseren Ergebnissen eine Verschlechterung und Methoden mit schlechteren Ergebnissen eine Verbesserung erfahren. Somit kann aufgrund der Simulationsergebnisse nicht eindeutig gesagt werden, ob der Kalibrierungsfaktor zu gering oder zu hoch ist.

Zählstelle 201	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % ohne Kalibrierungsfaktoren	57,9	56,4	53,4	26,3	72,9	43,4	50,4
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % mit Kalibrierungsfaktoren	62,0	60,6	57,0	29,3	60,6	47,8	54,7
Zählstelle 202							
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % ohne Kalibrierungsfaktoren	186,4	161,4	159,1	88,6	127,3	84,1	79,5
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % mit Kalibrierungsfaktoren	178,1	154,0	153,4	88,7	122,7	84,6	80,3
Zählstelle 203							
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % mit Kalibrierungsfaktoren	58,4	57,1	55,4	50,0	83,8	50,3	49,0
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % ohne Kalibrierungsfaktoren	56,2	55,8	54,0	49,0	82,8	49,3	47,9
Zählstelle 204							
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % ohne Kalibrierungsfaktoren	62,5	62,1	58,5	43,1	38,3	44,4	44,8
Anteil Differenz Besucher an Rohdaten in % mit Kalibrierungsfaktoren	60,7	60,2	55,8	42,3	35,4	64,2	39,1

Tabelle 7.12.: Vergleich des Besucheraufkommens mit und ohne Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen im Sihlwald

7.2. Sihlwald

Für die automatische Zählstelle 203 weisen alle Methoden dank der Berücksichtigung des Kalibrierungsfaktors bessere Ergebnisse aus. Somit bekräftigen die Simulationsergebnisse einen Kalibrierungsfaktor, welcher mit 0,9419 kleiner als 1 ist.

Der Kalibrierungsfaktor der Zählstelle 204 wirkt sich bis auf die Methode M6 positiv auf die Ergebnisse der jeweiligen Methode aus. Mit einem Wert von 0,8215 begünstigt er Simulationsergebnisse, welche unter dem unkalibrierten Rohdatenwert zu liegen gekommen sind. Abgesehen von der Methode M6 unterstützen die Simulationsergebnisse einen kleineren Kalibrierungswert als 1.

7.2.2. Aufenthaltszeit

Die durchschnittliche Aufenthaltszeit eines Besuchers besteht einerseits aus der Zeit, welche er an Infrastrukturpunkten verbringt und andererseits aus der Zeit, welche er für das Bewegen auf dem Wegnetz braucht. In der Tabelle 7.13 sind für die unterschiedlichen Methoden die durchschnittlich benötigte Zeit für den Parkbesuch sowie für die Infrastruktur insgesamt und für die einzelnen Kategorien ersichtlich.

Die Methoden M5 bis M7, welche alle auf Routen basieren, weisen eine eindeutig kürzere durchschnittliche Aufenthaltszeit auf als die auf Wahrscheinlichkeiten basierenden Methoden. Trotz der insgesamt kürzeren Aufenthaltszeit verbringen die Besucher bei den Methoden mit Routen länger Zeit bei Infrastrukturpunkten als jene bei den Methoden M1 bis M3.

Aufenthalte	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Parkbesuch	122,9 min	123,2 min	123,1 min	122,8 min	114,8 min	108,1 min	97,2 min
Infrastruktur	7,6 min	7,7 min	7,6 min	9,2 min	8,8 min	10,9 min	8,8 min
Aussichtspunkte	3,9 min	3,9 min	3,9 min	4,7 min	4,0 min	5,3 min	4,1 min
Feuerstellen	3,4 min	3,5 min	3,5 min	4,1 min	4,7 min	5,3 min	4,3 min
Gastronomie	0,3 min	0,3 min	0,2 min	0,4 min	0,1 min	0,3 min	0,4 min

Tabelle 7.13.: Durchschnittliche Aufenthaltszeiten in Minuten im Sihlwald für die unterschiedlichen Methoden

7.2. Sihlwald

Die durchschnittlich verbrachte Zeit bei Infrastrukturpunkten ist im Verhältnis zur gesamthaft verbrachten Zeit im Park für alle Methoden sehr gering. Bei den Aussichtspunkten und den Feuerstellen verbringen die Besucher durchschnittlich einige Minuten, bei der Gastronomie im Schnitt fast keine Zeit.

Die deskriptive Statistik sowie die Histogramme in Abbildung 7.2 geben weiteren Aufschluss über die simulierten Aufenthaltszeiten von Besuchern im Sihlwald.

Beim Vergleich der Mittelwerte mit den Medianen ist zu erkennen, dass die Mediane der Methoden M1 bis M4, welche auf Wahrscheinlichkeiten basieren, wesentlich tiefer sind als deren Mittelwerte. Dieser Umstand könnte darauf hindeuten, dass bei diesen Methoden sich verhältnismässig wenige Besucher überproportional lange im Sihlwald aufhalten.

Die Werte der Maxima in der deskriptiven Statistik sind für die Methoden M1 bis M4 massiv höher als jene für die routenbasierten Methoden M5 bis M7, womit die vorhergehende Aussage unterstützt wird. Bei den Methoden M1 bis M3 hält sich die Person, welche den Park am längsten besucht, über 13 Stunden im Sihlwald auf, während es bei der Methode M5 nur etwas über 4 Stunden sind. Aus den Histogrammen ist zu entnehmen, dass sich bei allen Methoden jedoch äusserst wenige Besucher länger als 420 Minuten, respektive 7 Stunden im Sihlwald aufhalten.

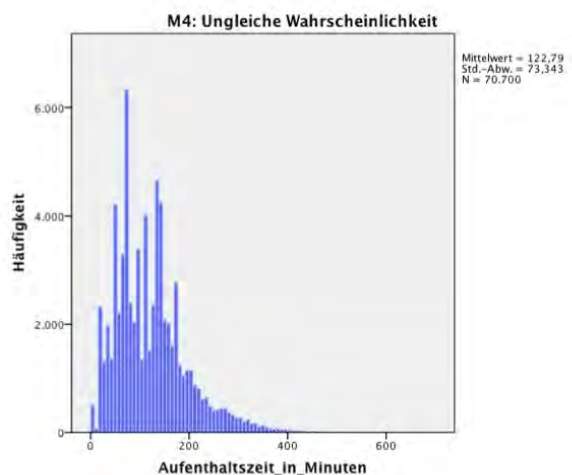
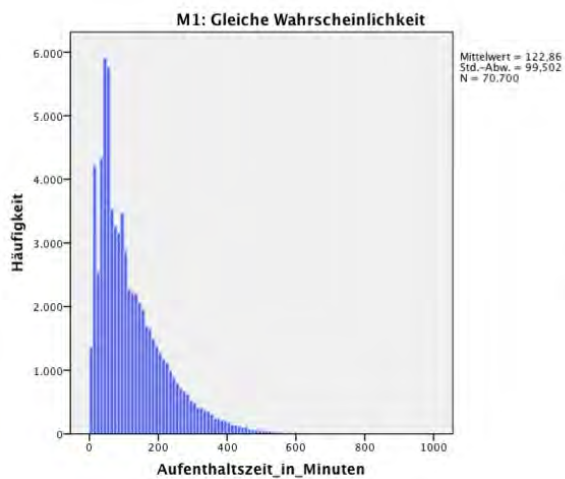
Des Weiteren ist ein klarer Unterschied in der Verteilung der Aufenthaltszeiten zwischen den wahrscheinlichkeits- und den routenbasierten Methoden in den Histogrammen erkennbar. Die Balken der wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden stellen jeweils eine tendentiell rechtsschiefe Kurve dar, während die Balken der routenbasierten Methoden mehr Ähnlichkeit mit einer normalverteilten Kurve aufweisen. Zudem schränken die Routen die Aufenthaltszeit so ein, dass nur gewisse Aufenthaltszeiten möglich sind. Dies erzeugt ein Muster mit der Abfolge von sehr kleinen und sehr grossen Balken.

Die Standardabweichung ist für die wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden M1 bis M4 wesentlich höher als bei den routenbasierten Methoden M5 bis M7. Folglich variieren die Aufenthaltszeiten der Besucher stärker bei den wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden. Die minimalen Aufenthaltszeiten von Besuchern ist für alle Methoden ähnlich lange. Die erreichten 3,2 Minuten minimaler Aufenthaltszeit bei den Methoden M1 bis M4 ist sehr wahrscheinlich die kürzest mögliche Zeit, sich auf dem Wegnetz im als Sihlwald definierten Perimeter aufzuhalten.

7.2. Sihlwald

Statistiken

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Mittelwert	122,9	123,2	123,1	122,8	114,8	108,1	97,2
Median	93,6	95,6	98,6	112,4	114,2	97,6	99,6
Standardabweichung	99,5	98,0	95,0	73,3	45,6	44,6	43,5
Spannweite	818,4	774,0	821,2	601,0	251,8	295,2	284,2
Minimum	3,2	3,2	3,2	3,2	6,0	4,2	7,0
Maximum	821,6	777,2	824,4	604,2	257,8	299,4	291,2
Perzentile 25	48,6	49,4	49,0	71,4	76,6	78,8	64,4
Perzentile 50	93,6	95,6	98,6	112,4	114,2	97,6	99,6
Perzentile 75	171,4	171,0	171,6	158,0	142,8	138,2	131,0



7.2. Sihlwald

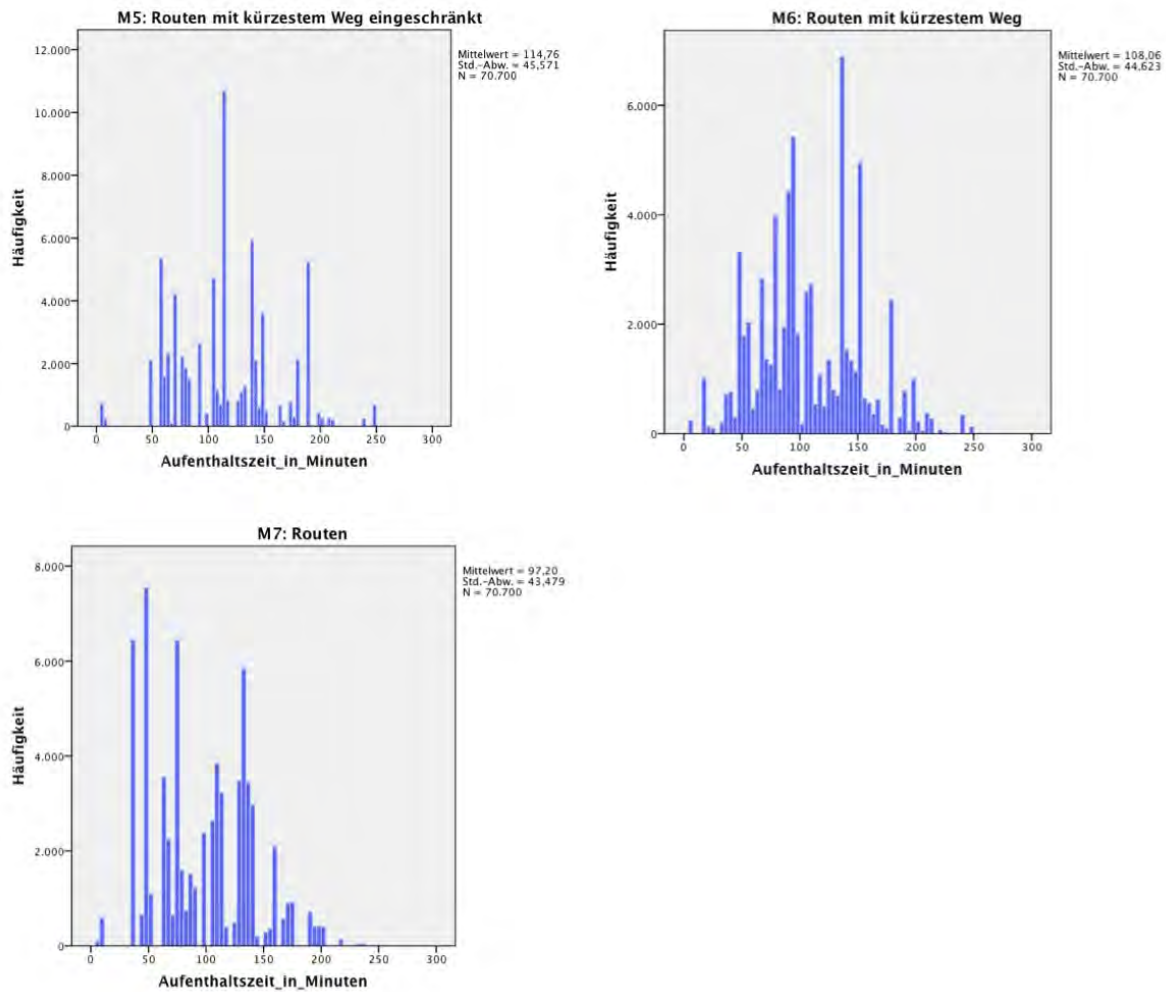


Abbildung 7.2.: Deskriptive Statistiken und Histogramme für die Simulationsergebnisse der verschiedenen Methoden für den Sihlwald

Für den Parkteil des Sihlwaldes ist bei der gleichen Besucherbefragung, welche bereits für die Charaktereigenschaften der Besucher verwendet wurde, nach der Dauer des Aufenthaltes gefragt worden. In der Abbildung 7.3 werden vier Kategorien aus der Besucherbefragung mit den Simulationsergebnissen der verschiedenen Methoden verglichen. Bei Aufenthalten, welche weniger als eine Stunde dauern, ist der Anteil bei allen Methoden grösser als bei der Befragung. Insbesondere die Methoden M1 bis M3 weisen einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Personen mit Aufenthalt unter einer Stunde auf. Folglich weisen diese Methoden bei den anderen Kategorien zu geringe Werte aus.

7.2. Sihlwald

Bei den Aufenthalten zwischen einer und zwei Stunden sind die Unterschiede gross, bei der Kategorie über zwei Stunden ist der Unterschied wieder geringer. Die Methode M4 erweist sich gegenüber den anderen wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden als bessere Approximation der Umfragewerte. Die routenbasierten Methoden M5 bis M7 erzielen gute Annäherungen der Umfragewerte bei der Aufenthaltsdauer zwischen einer und zwei Stunden. Bei Aufenthalten, welche kürzer als eine Stunde sind, weisen sie ebenfalls zu hohe Werte aus, auch wenn die Differenz nicht so gross ausfällt wie bei den Methoden M1 bis M3. Ab zwei Stunden Aufenthaltszeit weisen die routenbasierten Methoden M5 bis M7 auch gegenüber den anderen Methoden klar zu wenig Aufenthalte auf.

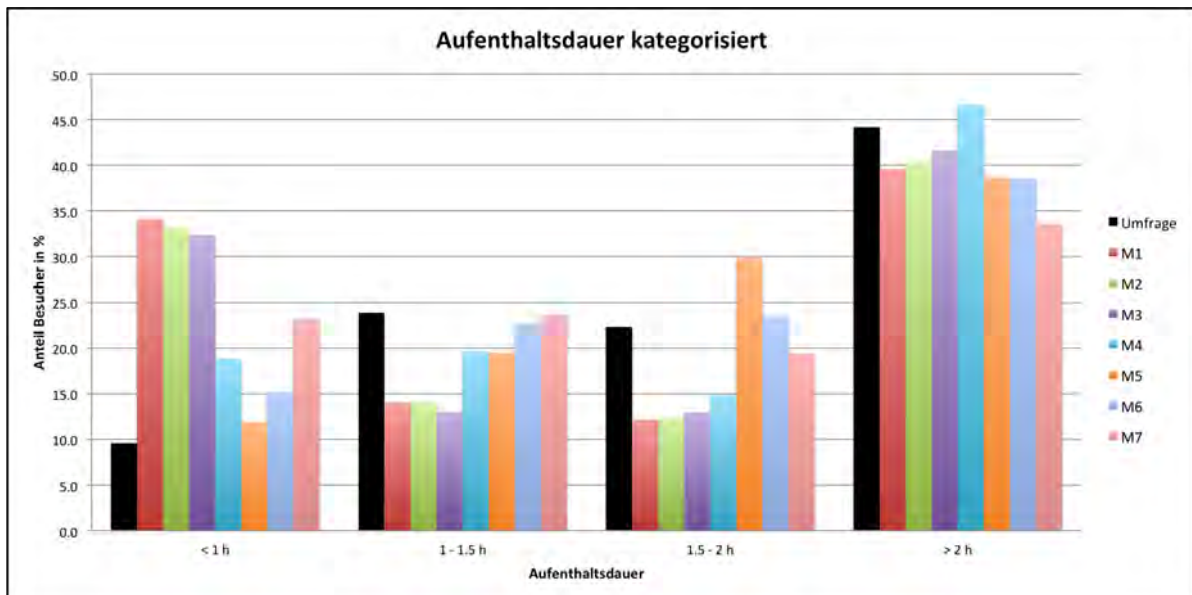


Abbildung 7.3.: Vergleich von kategorisierten Aufenthaltszeiten der Methoden und Umfrageergebnissen

7.2.3. Optimierte Platzierung von Zählstellen

Bei der agentenbasierten Modellierung, für den Sihlwald mit sieben unterschiedlichen Fortbewegungsmethoden umgesetzt, ist die Frequentierung aller Wege und Kreuzungen

7.2. Sihlwald

jeweils bekannt. Um dieses Wissen in die räumlich optimierte Platzierung von Zählstellen einfließen zu lassen, muss jedoch bekannt sein, welche Besucherströme prioritär gemessen werden sollen und welche Mittel zur Verfügung stehen. Des Weiteren hängt es davon ab, ob manuelle oder automatische Zählstellen gebraucht werden sollen.

Würde der Fokus des Besuchermonitorings auf den gesamten Parkteil des Sihlwaldes gelegt, könnte dieser je nach Budget in grössere oder kleinere Zonen eingeteilt werden, um dann aufgrund der Frequentierungen in den Simulationsgängen ein geeignetes Wegstück für eine automatische Zählstelle oder eine geeignete Kreuzung für eine manuelle Zählstelle in diesen Zonen zu finden.

Wenn für das Besuchermonitoring die Kernzone von Hauptinteresse wäre, könnten aufgrund der Ergebnisse der agentenbasierten Modellierung an den meistfrequentierten Eingängen und Kreuzungen Zählstellen platziert werden. Um zu verhindern, dass die manuellen Zählstellen an den Kreuzungen zu nahe beieinander liegen, könnte beispielsweise untersagt werden, dass die Zählstellen sich ein Wegsegment teilen dürfen.

Hätte das Besuchermonitoring unbeschränkte Mittel zur Verfügung, wäre die räumlich optimale Konstellation an Zählstellen für den Sihlwald, wenn sich an jeder Kreuzung eine manuelle Zählstelle befinden würde. Müssten die Zählstellen trotzdem reduziert werden, könnte so vorgegangen werden, dass die angrenzenden Kreuzungen einer gelöschten Zählstelle ihre Funktionen als manuelle Zählstellen behalten. Dadurch würde der Informationsverlust gering gehalten. Die Frequentierungen aller Wege und Kreuzungen könnten immer noch erhoben werden, bloss wüsste man nicht mehr, welche Wegwahl die Besucher an den betroffenen Kreuzungen treffen würden. Beim Reduzieren der Zählstellen könnte Rücksicht darauf genommen werden, dass Kreuzungen, welche bei den agentenbasierten Modellierungen hohe Frequentierungen aufgewiesen haben, nicht als Zählstelle wegfallen. Mit diesem Vorgehen könnte der Informationsverlust nochmals eingedämmt werden. Bei einer allfälligen weiteren Reduktion der Zählstellen könnte dieses Prinzip beibehalten werden.

Statt an jeder Kreuzung eine manuelle Zählstelle zu platzieren, könnte auch für jedes Wegsegment eine automatische Zählstelle, welche richtungsgetrennt Personen erfassen kann, eingesetzt werden. Es könnten wohl damit die Wegfrequentierungen erfasst werden, doch liefern sie keine Informationen darüber, welche Wegpräferenzen die Besucher an den Kreuzungen aufweisen.

Kapitel 8.

Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse sowie deren methodischer Hintergrund kritisch betrachtet. Dabei werden die im Abschnitt 3.4 gestellten Forschungsfragen wieder aufgegriffen und hinsichtlich der erzielten Resultate diskutiert.

8.1. Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration

Die erste Forschungsfrage bezieht sich darauf, welchen Beitrag eine agentenbasierte Modellierung der Besucherströme im Wildnispark Zürich zur Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration leisten kann. Da sich die automatischen Zählstellen des Langenberg West und des Sihlwaldes in ihrer Fähigkeit unterscheiden, die Zählstellen im Langenberg West können richtungsgetreunt Besucherströme erfassen, sowie sich die Topologie der Wegnetze unterscheidet, der Langenberg West ist ein abgeschlossenes Netzwerk, während der Sihlwald offen ist, sollen die Ergebnisse für den Langenberg West und den Sihlwald in den folgenden Unterabschnitten separat diskutiert werden.

8.1.1. Langenberg West

Methodik und Resultate

Beim Vergleich der simulierten Besucherströme im Langenberg West mit und ohne Berücksichtigung der Kalibrierungsfaktoren ist keine wesentliche Verbesserung der Simulationsergebnisse festgestellt worden. Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass mit

8.1. Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration

den Kalibrierungsfaktoren der Unterschied zwischen gemessenen Personen, welche den Langenberg West betreten und jenen, welche ihn verlassen, grösser geworden ist. Die Kalibrierungsfaktoren korrigieren den Umstand, dass im Verhältnis zu den Austritten zu wenige Personen den Parkteil betreten haben, doch scheinen die Kalibrierungsfaktoren für die Eintritte zu hoch oder die Kalibrierungsfaktoren für die Austritte zu tief zu sein.

Der Einbezug der Kalibrierungsfaktoren wirkt sich für die simulierten Werte der Zählstelle 401 positiv, jedoch für die Zählstelle 402 negativ aus. Bei der Zählstelle 402 weisen beide Methoden eine zu hohe Zahl an Austritten auf. Dieser Umstand suggeriert, dass der Kalibrierungsfaktor für die Austritte bei der Zählstelle 402 erhöht werden müsste. Damit würde auch verhindert, dass in den Langenberg West unter Berücksichtigung der Kalibrierungsfaktoren mehr Personen in den Parkteil hinein als hinausgehen würden. Alternativ könnten auch die Kalibrierungsfaktoren für die Eingänge gesenkt werden. Dies hätte jedoch auch Auswirkungen auf die Austritte über die Zählstelle 401. Da eine der Methoden mehr und eine weniger Austritte verzeichnet, scheint dieses Vorgehen weniger schlüssig.

Entscheidend für die Verlässlichkeit der oben gemachten Aussagen ist, durch welche Faktoren die Austritte bei einer Zählstelle in den Modellierungen beeinflusst worden sind. Einerseits sind das Besucheraufkommen und andererseits die gegangenen Wege von Relevanz. Da beide Modellierungsmethoden mit dem gleichen Besucheraufkommen ausgestattet sind, ist einzig die Wahl der Wege ausschlaggebend. Bei der Methode der gleichen Wahrscheinlichkeit hängen die Austritte ausschliesslich von der Topologie des Wegernetzes ab. Dieser Umstand begünstigt das Verlassen des Langenberg West über die Zählstelle 402 stark. Bei der Methode der ungleichen Wahrscheinlichkeit wurde diesem Effekt durch das Setzen von ungleichen Wahrscheinlichkeiten entgegengewirkt. Ob sich die Besucher in der Realität gemäss den ungleichen Wahrscheinlichkeiten verhalten, sei dahingestellt. Die Ergebnisse deuten jedoch stark darauf hin, dass sich die Besucher nicht zufällig auf dem Wegnetz bewegen. Würde nur dieser Methode die Aufmerksamkeit geschenkt, müssten die Kalibrierungsfaktoren entweder für die Austritte erhöht oder die Eintritte für beide Zählstellen gesenkt werden.

Hinsichtlich der absoluten Anzahl der Besucher, also ob alle Kalibrierungsfaktoren für die Ein- und Austritte erhöht oder gesenkt werden müssen, kann aufgrund der agentenbasierten Modellierung keine Aussage gemacht werden.

8.1. Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration

Verbesserungsvorschläge

Für den Langenberg West wurden die Methoden der gleichen und ungleichen Wahrscheinlichkeit für die Fortbewegung der Besucher verwendet. Diese liefern zum Teil sehr unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Besucherströme. Um ein umfassenderes Bild über die Besucherströme zu erhalten, könnten weitere Methoden implementiert und diese zur Plausibilitätsprüfung der Kalibrierungsfaktoren beigezogen werden.

Beim Vergleich der Simulationsergebnisse mit und ohne Kalibrierungsfaktoren wurden bei der Berücksichtigung der Kalibrierungsfaktoren alle Korrekturfaktoren mit einbezogen. Anstatt nur die Kalibrierungsfaktoren für die Eintritte beider Zählstellen zu berücksichtigen, könnten nur bei einer Zählstelle deren Eintritte mit dem Korrekturfaktor versehen werden. So würde besser ersichtlich, wie sich der Kalibrierungsfaktor für die Eintritte bei einer Zählstelle auf die Austritte beider Zählstellen auswirken würde.

8.1.2. Sihlwald

Methodik und Resultate

Bei der Überprüfung der Plausibilität der Kalibrierungsfaktoren für die automatischen Zählstellen im Sihlwald existiert eine andere Ausgangslage. Die automatischen Zählstellen registrieren die Besucher nicht richtungsgetreunt und befinden sich nicht an Eingängen eines in sich geschlossenen Wegnetzes. Daher haben die Kalibrierungsfaktoren nur einen Einfluss auf die zum Vergleich beizuziehenden Rohdaten und nicht direkt auf das Besucheraufkommen im Sihlwald selbst. Verglichen miteinander wurden die kalibrierten und unkalibrierten Rohdaten mit den Methoden anhand des prozentualen Anteils der Differenz der Besucher. Je höher dieser Anteil für eine Zählstelle bei allen Methoden ist, desto weniger verlässliche Aussagen können hinsichtlich der Plausibilität des Kalibrierungsfaktors gemacht werden.

Der Kalibrierungsfaktor von 1,1072 für die Zählstelle 201 wirkt sich bei sechs von sieben Methoden negativ auf die Modellierungsergebnisse aus. Einzig für die Methode M5, welche als die am wenigsten geeignete Methode evaluiert wurde, wirkt sich die Korrektur positiv aus. Daher kann gesagt werden, dass aufgrund der agentenbasierten Modellierung der Kalibrierungsfaktor für die Zählstelle 201 als zu hoch angesehen wird.

Bei der Zählstelle 202 verbessert der Kalibrierungsfaktor von 1,0363 insbesondere die

8.1. Plausibilitätsprüfung der Zählstellenkalibration

schlecht abschneidenden Methoden und verschlechtert die besser abschneidenden Methoden minim. Daher scheint die Höhe des Kalibrierungsfaktors aufgrund der Simulationsergebnisse nicht abwegig zu sein. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Zählstelle die am wenigsten frequentierte überhaupt ist und daher bereits kleine Abweichungen grössere Auswirkungen haben können. Ferner werden die Rohdaten von den Methoden von allen Zählstellen am schlechtesten approximiert. Daher ist die Aussagekraft hinsichtlich der Plausibilität des Kalibrierungsfaktors merklich reduziert.

Alle Methoden weisen für die Zählstelle 203 unter Einbezug des Kalibrierungsfaktors ein besseres Ergebnis aus. Der Kalibrierungsfaktor mit einem Wert von 0,9419 ist somit aus Sicht der agentenbasierten Modellierung sehr plausibel. Möglicherweise würde ein noch kleinerer Faktor die Ergebnisse nochmals verbessern.

Für die Zählstelle 204 wirkt sich der Kalibrierungsfaktor von 0,8215 bis auf die Methode M6 positiv auf die Ergebnisse aus. Da bei der Methode M6 die Zählstelle 204 überproportional stark frequentiert wird, wirkt sich ein Korrekturfaktor so deutlich unter 1 stark negativ aus. Abgesehen davon scheint der Kalibrierungsfaktor unter Berücksichtigung der agentenbasierten Modellierung plausibel und könnte allenfalls noch geringer sein.

Verbesserungsvorschläge

Eine weitere Möglichkeit für die Plausibilitätsprüfung der automatischen Zählstellen im Sihlwald wäre der Vergleich des bestehenden Kalibrierungsfaktors mit einem für die Methoden optimalen Faktor. Dieser könnte ermittelt werden, indem für jede der sieben Methoden der zu ihr passende Kalibrierungsfaktor berechnet würde. Anschliessend müssten die ermittelten Faktoren, gewichtet nach dem Abschneiden ihrer Methode bei den Rangsummen, miteinander verrechnet werden. Die Gewichtung nach Rangsummen sollte vorgenommen werden, um besser abschneidenden Methoden ein höheres Gewicht zu verleihen.

Ein anderer Weg bestünde darin, die Methode M4 der ungleichen Wahrscheinlichkeit oder die Methode M7 der Routen systematisch weiter zu optimieren, so dass ein Simulationsmodell entstehen würde, welches die Rohdaten am besten approximieren könnte. Die Ergebnisse dieses Modells könnten dann wie die bereits existierenden Methoden zur Plausibilitätsprüfung der Kalibration beigezogen werden, jedoch unter dem Wissen dass die Methode die Realität am besten abbildet.

8.2. Ermittlung der Aufenthaltszeit von Besuchern

Methodik und Resultate

Die zweite Forschungsfrage befasst sich mit dem Nutzen der mittels agentenbasierter Modellierung festgestellten durchschnittlichen Aufenthaltszeit der Parkbesucher.

Als naheliegendster Nutzen der ermittelten durchschnittlichen Aufenthaltszeit kann der Informationsgewinn an sich gesehen werden. Für den Westteil des Langenbergs sind bisher keine Aufenthaltszeiten bekannt. Für den Sihlwald ist aufgrund einer Umfrage eine in Kategorien eingeteilte Aufenthaltszeit der Besucher bekannt, welche jedoch nicht explizit Aufschluss über die durchschnittliche Aufenthaltsdauer eines Besuchers gibt.

Zudem kann die durchschnittliche Aufenthaltszeit von Besuchern als Vergleichsmass zwischen den verschiedenen Modellierungsansätzen herangezogen werden. Für den Sihlwald existieren sieben unterschiedliche Methoden zur Umsetzung der Fortbewegung der Besucher mit jeweils einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit. Dass die routenbasierten Methoden M5 bis M7 kürzere Aufenthaltszeiten als die wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden M1 bis M4 aufweisen, scheint logisch. Bei den routenbasierten Methoden können die Besucher nur auf einer vordefinierten Auswahl an Routen gehen, womit ihre Bewegungsfreiheit eingeschränkt ist und sie den Sihlwald dadurch auch schneller wieder verlassen. Bei den wahrscheinlichkeitsbasierten Methoden könnte sich ein Besucher theoretisch unbeschränkt lange im Sihlwald aufhalten.

Dank der ermittelten durchschnittlichen Aufenthaltszeit der Besucher für den Langenberg West sowie den Sihlwald ist zudem bekannt, welchen Anteil der gesamten Aufenthaltszeit die Besucher aufwenden, um Infrastruktureinrichtungen zu nutzen. Im Langenberg West ist dieser Anteil wesentlich höher als beim Sihlwald. Da der gesamte Langenberg explizit als Erlebniswelt, unter anderem mit der Beobachtung einheimischer Tiere, ausgerichtet ist und somit auf kleiner Fläche sehr viele Infrastruktureinrichtungen aufweist, scheint dieses Ergebnis realistisch zu sein.

Die modellierten durchschnittlichen Aufenthaltszeiten sind alle mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die verwendeten Aufenthaltszeiten an den jeweiligen Infrastrukturpunkten wurden geschätzt und sind nicht empirisch erhoben worden.

Ferner wurden für alle Eingänge im jeweiligen Parkteil angenommen, dass die Besuchercharaktere, welche ausschlaggebend für den Besuch von Infrastrukturpunkten sind, überall mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten. Insbesondere im Sihlwald könnte dies

8.2. Ermittlung der Aufenthaltszeit von Besuchern

nicht der Fall sein. Seitens der Parkmitarbeitenden wird vermutet, dass gewisse abgelegene Eingänge beispielsweise überwiegend von Personen mit Hunden genutzt werden und somit nur einseitig diese Art von Besuchercharakter vorkommt.

Die eventuell grösste Unsicherheit steckt in der Art und Weise der Modellierung der Fortbewegung der Besucher. Obwohl die unterschiedlichen Methoden bei beiden Parkteilen jeweils mit den Rohdaten verglichen und für den Sihlwald zudem gegenseitig gewertet wurden, kann nicht garantiert werden, dass sich die Besucher in der Realität im Wildnispark Zürich auch tatsächlich so verhalten. Ein Hinweis dafür sind die Aufenthaltszeiten der Methoden M4 und M7 für den Sihlwald, welche die Rohdaten der Zählstellen am besten und zweitbesten approximieren. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit der Methode M4 ist 25,6 Minuten länger als jene der Methode M7. Vermutlich liegt der Grund, weshalb beide Methoden gut abschneiden darin, dass bei den manuellen Zählstellen nur bis 17 Uhr Messwerte vorliegen und die Zeit danach nur ungenügend mit den automatischen Zählstellen abgedeckt ist.

Verbesserungsvorschläge

Wie bereits in den Verbesserungsvorschlägen für die Plausibilitätsprüfung der Kalibrierungsfaktoren erwähnt, könnte die Methode M4 der ungleichen Wahrscheinlichkeit oder die Methode M7 der Routen systematisch optimiert werden, so dass sie ein bestmögliches Simulationsmodell liefern. Daraus könnten auch neue Erkenntnisse hinsichtlich der Aufenthaltszeit von Besuchern gewonnen werden.

Die Modelloptimierung kann jedoch zur Minderung der Unsicherheit hinsichtlich der Aufenthaltszeit der Besucher an Infrastrukturpunkten keinen Beitrag leisten. Eine Möglichkeit wäre, Besucher an den Eingängen mit einem Positionsbestimmungsgerät auszustatten und deren Bewegungen im Park mitzuverfolgen. Es müsste jedoch eine genügend grosse Anzahl Besucher damit ausgerüstet werden, um anhand der gesammelten Daten statistisch verlässliche Aussagen machen zu können. Für den Langenberg West mit nur zwei Ein- respektive Ausgängen könnte dieses Vorgehen durchführbar sein, jedoch einen grösseren Aufwand erfordern. Für den Sihlwald mit 18 modellierten Ein- respektive Ausgängen scheint dieses Vorgehen eher impraktikabel.

Ein weiteres Vorgehen, um mehr über die Aufenthaltszeit an Infrastrukturpunkten zu erfahren, ist das Simulieren der Tagesgänge mit unterschiedlichen Aufenthaltszeiten an Infrastrukturpunkten. So könnte beispielsweise im Langenberg West die Aufenthaltszeit

8.3. Räumliche Optimierung von Zählstellen

bei der Fuchsscheune auf 15 Minuten und beim Elchquiz auf 8 Minuten erhöht und anschliessend die Auswirkungen aufgrund dieser Änderungen analysiert werden.

Für die Simulationen im Langenberg West und im Sihlwald ist für alle Besucher einfachheitshalber eine Gehgeschwindigkeit von 1 m/s verwendet worden. Eine Variation dieser Geschwindigkeit oder eine Einteilung der Besucher in Klassen von Gehgeschwindigkeiten in zusätzlich durchgeführten Simulationsgängen könnte mehr Aufschluss über die reale Aufenthaltszeit liefern.

8.3. Räumliche Optimierung von Zählstellen

Methodik und Resultate

Die dritte Forschungsfrage widmet sich dem Thema der Zählstellenoptimierung. Sie geht darauf ein, welche Hinweise die agentenbasierte Modellierung zur Konstellation an Zählstellen für ein räumlich explizit optimales Messnetzwerk geben kann. Je nachdem, welche Besucherströme von prioritärem Interesse für das Besuchermonitoring sind und wie viele Mittel zur Verfügung stehen, ergibt sich eine andere Ausgangslage für ein räumlich explizit optimales Messnetzwerk. Entsprechend kann die agentenbasierte Modellierung zur optimierten Platzierung der Zählstellen einen kleineren oder grösseren Beitrag leisten.

Im Wesentlichen kann die agentenbasierte Modellierung unterstützend zur Optimierung des Messnetzwerkes beitragen, indem sie modellierte Frequentierungshäufigkeiten von Wegsegmenten und Kreuzungen zur Verfügung stellen kann, aufgrund von denen Optimierungsentscheidungen getroffen werden können. Auf die methodische Vorgehensweise, wie die Zählstellen optimiert werden, hat sie jedoch keinen Einfluss. Je nach Bedarf können die Frequentierungshäufigkeiten auf Karten dargestellt oder als Datensatz für einen Optimierungsalgorithmus bereitgestellt werden.

Verbesserungsvorschläge

Um den effektiven Beitrag, welche die agentenbasierte Modellierung zur räumlichen Optimierung der Konstellation der Zählstellen leisten kann, zu überprüfen, könnte eine Optimierung mit und ohne Berücksichtigung der von der Modellierung ermittelten Frequentierungshäufigkeiten vorgenommen werden.

Kapitel 9.

Schlussfolgerung

Im Folgenden soll erläutert werden, was mit dieser Masterarbeit erreicht und welche wesentlichen Erkenntnisse gewonnen wurden. Im Ausblick werden denkbare zukünftige Entwicklungen in diesem Forschungsbereich skizziert.

9.1. Zusammenfassung

Der Wildnispark Zürich hat grosse Anstrengungen unternommen, um die Besucherströme auf seinem Parkgebiet zu monitoren. Trotz diesen Bemühungen ist das Wissen über die Besucherströme teilweise lückenhaft. Mit der Simulationstechnik der agentenbasierten Modellierung wurden in dieser Arbeit die Besucherströme, unter Einbezug der bisherigen Erkenntnisse aus dem Besuchermonitoring, für den Langenberg West und den Sihlwald abgebildet. Aus den agentenbasierten Modellierungen sind anschliessend neue Informationen abgeleitet worden, mit welchen die der Arbeit zugrunde liegenden Forschungsfragen diskutiert werden konnten.

Aufgrund der Gegebenheit, dass der Parkteil des Langenberg West ein kleinräumiges, abgeschlossenes Wegnetz aufweist und bei seinen beiden Eingängen automatische Zählstellen besitzt, welche Passanten richtungsgetrennt erfassen können, ist er geeignet als Perimeter für eine agentenbasierte Modellierung. Es wurden zwei agentenbasierte Modellierungen mit unterschiedlichen Fortbewegungsansätzen implementiert. Anhand der Simulationsergebnisse wurden die Kalibrierungsfaktoren pro Richtung und Zählstelle auf deren Plausibilität geprüft sowie die durchschnittliche Aufenthaltszeit der Besucher analysiert. Ein wichtiger Bestandteil der Auswertung der Simulationsergebnisse war der

9.2. Erkenntnisse

Vergleich der Resultate zwischen den zwei unterschiedlichen Fortbewegungsansätzen. Für den Parkteil des Sihlwaldes, welcher grossräumig ist und ein offenes Wegnetz besitzt, wurden sieben agentenbasierte Modellierungen mit unterschiedlichen Fortbewegungsansätzen implementiert. Im Gegensatz zum Langenberg West sind die Eingänge des Sihlwaldes nicht mit automatischen Zählstellen abgedeckt, er hat jedoch manuelle Zählstellen, welche teilweise Aufschluss über das Besucheraufkommen an den Eingängen geben können. Neben der Plausibilitätsprüfung der Kalibrierungsfaktoren der automatischen Zählstellen und der Analyse der durchschnittlichen Aufenthaltszeit der Besucher anhand der Simulationsergebnisse, wurde der Frage nachgegangen, welche Hinweise die agentenbasierte Modellierung zur räumlichen Optimierung von Zählstellen liefern kann. Als Prozess der Auswertung der Simulationsergebnisse wurden wie bei jenem vom Langenberg West, die Resultate der unterschiedlichen Fortbewegungsansätze miteinander verglichen und evaluiert. Die sieben verschiedenen implementierten Fortbewegungsansätze können grob in zwei Kategorien unterteilt werden, nämlich in wahrscheinlichkeitsbasierte und routenbasierte Ansätze. Bei den vier wahrscheinlichkeitsbasierten Ansätzen können sich die Agenten frei auf dem Wegnetz bewegen, geleitet durch Wahrscheinlichkeiten an den Kreuzungen. Je nach Ansatz variieren die Wahrscheinlichkeiten an den Kreuzungen. Bei den drei routenbasierten Ansätzen haben die Agenten eine vordefinierte Auswahl an Routen, die sie gehen können. Im Gegensatz zum wahrscheinlichkeitsbasierten Ansatz ist der routenbasierte Ansatz sehr deterministisch.

9.2. Erkenntnisse

Mit dieser Arbeit konnte im grundlegenden gezeigt werden, dass im Falle des Wildnisparks Zürich mit der Anwendung einer agentenbasierten Modellierung zur Abbildung der Besucherströme auf der Basis von bisherigen Erkenntnissen, neue Informationen abgeleitet werden können.

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurden für den Langenberg West und den Sihlwald agentenbasierte Modellierungen mit unterschiedlichen Fortbewegungsansätzen implementiert. Die Resultate für den Sihlwald haben gezeigt, dass sowohl mit wahrscheinlichkeitsbasierten sowie streng deterministischen, routenbasierten Fortbewegungsansätzen ähnlich gute Approximationen der realen Besucherströme erzeugt werden können.

9.2. Erkenntnisse

Ferner konnte gezeigt werden, dass die agentenbasierte Modellierung in begrenztem Rahmen zur Plausibilitätsprüfung der Kalibrierungsfaktoren von automatischen Zählstellen beitragen kann. Eine Leistung der agentenbasierten Modellierung ist, dass sie Indizien liefern kann, ob ein Kalibrierungsfaktor grösser oder kleiner als eins sein sollte. Unter der Voraussetzung, dass eine grössere Unsicherheit hingenommen wird, kann die agentenbasierte Modellierung genauere Aussagen zur Höhe eines Kalibrierungsfaktors liefern. Beim Langenberg West mit einem kleinen Wegnetz und nur zwei Ausgängen stellt die Topologie ein Unsicherheitsfaktor dar, da sie einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl des Ausganges hatte. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass bei allen Modellierungen eine gewisse Diskrepanz zwischen realen und modellierten Besucherströmen existiert.

Die Analyse der durchschnittlichen Aufenthaltszeit im Langenberg West hat bei beiden Fortbewegungsansätzen eine Aufenthaltszeit von ungefähr 35 Minuten ergeben, wovon etwa eine Viertelstunde an Infrastrukturpunkten verbracht wird. Die verbrachte Zeit an Infrastrukturpunkten nimmt somit einen wichtigen Anteil an der Gesamtaufenthaltszeit ein. Bei beiden Ansätzen gibt es eine markante Häufung von Besuchern, welche sich um die 20 Minuten im Parkteil aufhalten und eine kleinere Ansammlung um die 60 Minuten. Für den Sihlwald sind die modellierten Aufenthaltszeiten an den Infrastrukturpunkten von geringerer Bedeutung. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit der Besucher hängt hingegen stark von den implementierten Fortbewegungsansätzen ab. Routenbasierte Ansätze weisen mit 97 bis 115 Minuten durchschnittlicher Aufenthaltszeit klar kleinere Werte auf als wahrscheinlichkeitsbasierte Ansätze mit Werten um die 123 Minuten. Die wahrscheinlichkeitsbasierten Ansätze weisen gegenüber den routenbasierten Ansätzen überproportional viele Besucher mit kurzen und langen Aufenthaltszeiten auf, während Werte dazwischen untervertreten sind.

Weiter konnte gezeigt werden, dass die Resultate aus den agentenbasierten Modellierungen zur räumlichen Optimierung von Zählstellen beigezogen werden können. Der Hauptbeitrag der agentenbasierten Modellierung liegt darin, dass sie Frequentierungshäufigkeiten von Wegsegmenten und Kreuzungen zur Verfügung stellen kann, auf denen dann Optimierungsentscheidungen getroffen werden können.

9.3. Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Besucherströme im Sihlwald für die agentenbasierte Modellierung mit unterschiedlichen Methoden modelliert. Es wurde jedoch nicht explizit darauf abgezielt, eine bestmögliche Abbildung der Realität mit der agentenbasierten Modellierung zu erreichen. In einer zukünftigen Forschungsarbeit könnte diese Thematik in den Mittelpunkt gerückt werden.

Die Daten, welche durch die agentenbasierten Modellierungen akquiriert wurden, bergen mehr Informationen als zur Bearbeitung der Forschungsfragen notwendig war. Von jedem einzelnen Besucher ist bekannt, wann er sich wo aufhält. So könnte die agentenbasierte Modellierung Hinweise liefern, wann sich wie viele Personen beispielsweise in der Kernzone des Sihlwaldes aufgehalten haben. Ferner könnten Informationen über die Frequenzhäufigkeiten von Wegsegmenten und Kreuzungen nicht nur zur räumlichen Optimierung von Zählstellen beigezogen werden, sondern auch im Falle einer Erweiterung oder einer Reduktion des Wegnetzes.

Interessant wäre zudem zu sehen, welche Ergebnisse mit einer agentenbasierten Modellierung der Besucherströme im Sihlwald erzielt werden könnten, wenn eine breitere Datengrundlage vorläge und insbesondere wenn manuelle Zählungen öfters oder erweitert durchgeführt worden wären.

Wie bereits in der Diskussion angesprochen, könnten im Rahmen einer grösser angelegten Feldstudie Besucher mit Positionsbestimmungsgeräten ausgerüstet werden, um mithilfe dieser neuen Datengrundlage eine agentenbasierte Modellierung aufzubauen.

Ferner könnten in weiteren Studien Algorithmen entwickelt werden, welche sich mit der räumlichen Optimierung der Konstellation an Zählstellen für ein räumlich explizit Messnetzwerk abgeben.

Falls ein anderer Naturpark oder Nationalpark ähnliche Voraussetzungen im Besuchermonitoring wie der Wildnispark Zürich aufweisen würde, wäre es spannend, die für den Wildnispark entwickelten agentenbasierten Modellierungen darauf anzuwenden, um zu sehen, wie sich diese bewähren würden. Von den im Sihlwald verwendeten Methoden könnten bis auf die Methoden der ungleichen Wahrscheinlichkeit und der Routen alle direkt bei einem anderen Park angewendet werden. Die Methoden der ungleichen Wahrscheinlichkeit und der Routen, welche sich das Vorwissen über die Besucherströme im Sihlwald zunutze machen, müssten spezifisch auf den neuen Park angepasst werden.

Literaturverzeichnis

- Almeida, J. E., Z. Kokkinogenis, und R. J. Rossetti (2012), Netlogo implementation of an evacuation scenario, in *Information Systems and Technologies (CISTI), 2012, 7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, pp. 1–4, IEEE.
- Andersen, O., V. Gundersen, O. Strand, M. Panzacchi, M. Vorkinn, K. Fangel, und B. Van Moorter (2010), Wild reindeer interactions with recreationists: estimating spatiotemporal habitat use and potential conflict areas in two national parks in Norway.
- Arnberger, A., und B. Hinterberger (2003), Visitor monitoring methods for managing public use pressures in the Danube Floodplains National Park, Austria, *Journal for Nature Conservation*, 11(4), 260–267.
- Arnberger, A., R. Eder, und T. Reichhart (2010), Wege im Grünen – Modellierung von Wegepräferenzen von Besuchern/-innen Wiener Erholungsgebiete anhand eines diskreten Wahlmodells.
- Axtell, R. (2000), Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences, *Working Paper No. 17*.
- BAFU (2010), Bundesamt für Umwelt, <http://www.bafu.admin.ch/paerke/>, Zugriff: 20.8.2013.
- Batty, M. (2003), Agent-based pedestrian modelling, *Advanced spatial analysis: The CASA book of GIS*, pp. 81–106.
- Bohannon, R. W. (1997), Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20 - 79 years: reference values and determinants, *Age and ageing*, 26(1), 15–19.
- Bonabeau, E. (2002), Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(Suppl 3), 7280–7287.
- Camillen, F., S. Capri, C. Garofalo, M. Ignaccolo, G. Inturri, A. Pluchino, A. Rapisarda, und S. Tudisco (2009), Multi agent simulation of pedestrian behavior in closed spatial environments, in *Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference*, pp. 375–380, IEEE.

Literaturverzeichnis

- Castle, C. J., und A. T. Crooks (2006), Principles and concepts of agent-based modelling for developing geospatial simulations.
- Cessford, G., und A. Muhar (2003), Monitoring options for visitor numbers in national parks and natural areas, *Journal for Nature Conservation*, 11(4), 240–250.
- Cessford, G., und A. Thompson (2002), Managing tourism in the New Zealand protected area system, *Parks*, 12(1), 26–36.
- Cetin, N., A. Burri, und K. Nagel (2003), A large-scale agent-based traffic microsimulation based on queue model, in *In proceedings of Swiss Transport Research Conference (STRC), Monte Verita, CH*, Citeseer.
- Chen, X., und F. B. Zhan (2006), Agent-based modelling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies, *Journal of the Operational Research Society*, 59(1), 25–33.
- Cope, A., D. Doxford, und C. Probert (2000), Monitoring visitors to UK countryside resources: The approaches of land and recreation resource management organisations to visitor monitoring, *Land Use Policy*, 17(1), 59–66.
- Cottrell, S. P., J. Lengkeek, und R. v. Marwijk (2005), Typology of recreation experiences: application in a dutch forest service visitor monitoring survey, *Managing leisure*, 10(1), 54–72.
- Couclelis, H. (2002), Modeling frameworks, paradigms, and approaches, *Geographic information systems and environmental modeling*, pp. 36–50.
- Crooks, A. T. (2010), Constructing and implementing an agent-based model of residential segregation through vector gis, *International Journal of Geographical Information Science*, 24(5), 661–675.
- Crooks, A. T., und C. J. Castle (2012), The integration of agent-based modelling and geographical information for geospatial simulation, in *Agent-based models of geographical systems*, pp. 219–251, Springer.
- Crooks, A. T., und A. J. Heppenstall (2012), Introduction to agent-based modelling, in *Agent-based models of geographical systems*, pp. 85–105, Springer.
- Dijkstra, J., J. Jessurun, H. Timmermans, und B. de Vries (2011), A framework for processing agent-based pedestrian activity simulations in shopping environments, *Cybernetics and Systems*, 42(7), 526–545.
- Eco-Compteur (2013), Zählsysteme von Eco-Compteur, <http://www.eco-compteur.com/Produkte.html?wpid=10862>, Zugriff: 20.8.2013.

Literaturverzeichnis

- Getchell, A. (2008), Agent-based modeling, *Physics*, 22(6), 757–767.
- Hansmann, R., H. A. Mieg, und P. M. Frischknecht (2010), Qualifications for contributing to sustainable development: A survey of environmental sciences graduates, *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 19(4), 278–286.
- Hornback, K. E., und P. F. Eagles (1999), *Guidelines for public use measurement and reporting at parks and protected areas*, IUCN, Gland, Switzerland.
- Iten, S., und D. Siegrist (2006), Monitoring of Mountain Bikers in a Sensitive Bird Area around the Tanzboden, Switzerland, *Exploring the Nature of Management*, p. 367.
- Judd, K. L. (1985), The Law of Large Numbers with a Continuum of IID Random Variables, *Journal of Economic theory*, 35(1), 19–25.
- Kajala, L. (2007), *Visitor monitoring in nature areas: A manual based on experiences from the Nordic and Baltic countries*, Nordic Council of Ministers.
- Kleiber, O. (2001), Valuation of recreational benefits and visitor conflicts in an urban forest, in *Conference Proceedings of Fifth International Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE)*.
- Klügl, F., und G. Rindsfuser (2007), *Large-scale agent-based pedestrian simulation*, Springer.
- Knoblauch, R. L., M. T. Pietrucha, und M. Nitzburg (1996), Field studies of pedestrian walking speed and start-up time, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1538(1), 27–38.
- Longley, P. A., M. F. Goodchild, D. J. Maguire, und D. W. Rhind (2005), *Geographic information systems and science*, Wiley.
- Macal, C. M., und M. J. North (2005), Tutorial on agent-based modeling and simulation, in *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*, pp. 2–15, Winter Simulation Conference.
- Madireddy, M., D. Medeiros, und S. Kumara (2011), An agent based model for evacuation traffic management, in *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter*, pp. 222–233, IEEE.
- Monz, C., und Y.-F. Leung (2006), Meaningful measures: Developing indicators of visitor impact in the national park service inventory and monitoring program, in *George Wright Forum*, Vol. 23, pp. 17–27.

Literaturverzeichnis

- Muhar, A., A. Arnberger, und C. Brandenburg (2002), Methods for Visitor Monitoring in Recreational and Protected Areas: An Overview, *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas. Institute for Landscape Architecture and Landscape Management, Bodenkultur University Vienna, 2001*, 1–6.
- Najlis, R., M. A. Janssen, und D. Parker (2001), Software tools and communication issues, in *Meeting the Challenge of Complexity: Proceedings of a Special Workshop on Land-Use/Land-Cover Change*, p. 17–30.
- O’Connor, A., A. Zerger, und B. Itami (2005), Geo-temporal tracking and analysis of tourist movement, *Mathematics and Computers in Simulation*, 69(1), 135–150.
- Perrin, C. S., P. Gmür, M. Achermann, und P. Alfter (2006), Quantitative and Qualitative Monitoring of Public Attendance in Natural Preserves on the Southern Shore of Lake Neuchâtel (CH): A Necessary Tool to Manage Public Information and Prevent Infractions., *Exploring the Nature of Management*, p. 483.
- Railsback, S. F., S. L. Lytinen, und S. K. Jackson (2006), Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations, *Simulation*, 82(9), 609–623.
- Raney, B., N. Cetin, A. Völlmy, M. Vrtic, K. Axhausen, und K. Nagel (2003), An agent-based microsimulation model of Swiss travel: First results, *Networks and Spatial Economics*, 3(1), 23–41.
- Roth, I. (2008), Konzept Nachhaltigkeit Wildnisparks Zürich, <http://goo.gl/7ULpcE>, Zugriff: 20.8.2013.
- Rupf-Haller, R., M. Wernli, und F. Filli (2006), Visitor counting with acoustic slab sensors in the Swiss National Park, *Exploring the Nature of Management*, 72.
- Shi, J., A. Ren, und C. Chen (2009), Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions, *Automation in Construction*, 18(3), 338–347.
- Sklar, E. (2007), Netlogo, a multi-agent simulation environment, *Artificial Life*, 13(3), 303–311.
- Stahel, N. (2007), Agenten-basierte Modellierung der Raumnutzung in öffentlichen Parks: am Beispiel der Bäckeranlage in Zürich, Master’s thesis, Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Tisue, S., und U. Wilensky (2004), Netlogo: A simple environment for modeling complexity, in *International Conference on Complex Systems*, pp. 16–21.
- Twomey, P., und R. Cadman (2002), Agent-based modelling of customer behaviour in the telecoms and media markets, *info*, 4(1), 56–63.

Literaturverzeichnis

Watson, A. E., D. N. Cole, D. L. Turner, P. S. Reynolds, et al. (2000), *Wilderness recreation use estimation: a handbook of methods and systems*, 56, Rocky Mountain Research Station.

Wildnispark (2013), Wildnisparks Zürich, <http://www.wildnispark.ch/>, Zugriff: 20.8.2013.

Yang, H., K. Ozbay, und B. Bartin (2010), Investigating the performance of automatic counting sensors for pedestrian traffic data collection, in *Proc., 12th World Conference on Transport Research*.

Anhang A.

Anhang Sihlwald

Auf der nachfolgenden Seite ist das in NetLogo implementierte patchbasierte Wegnetz des Sihlwaldes abgebildet. Die Ein- respektive Ausgänge sind in blauer Schrift nummeriert, jene der Kreuzungen in hellgrün.

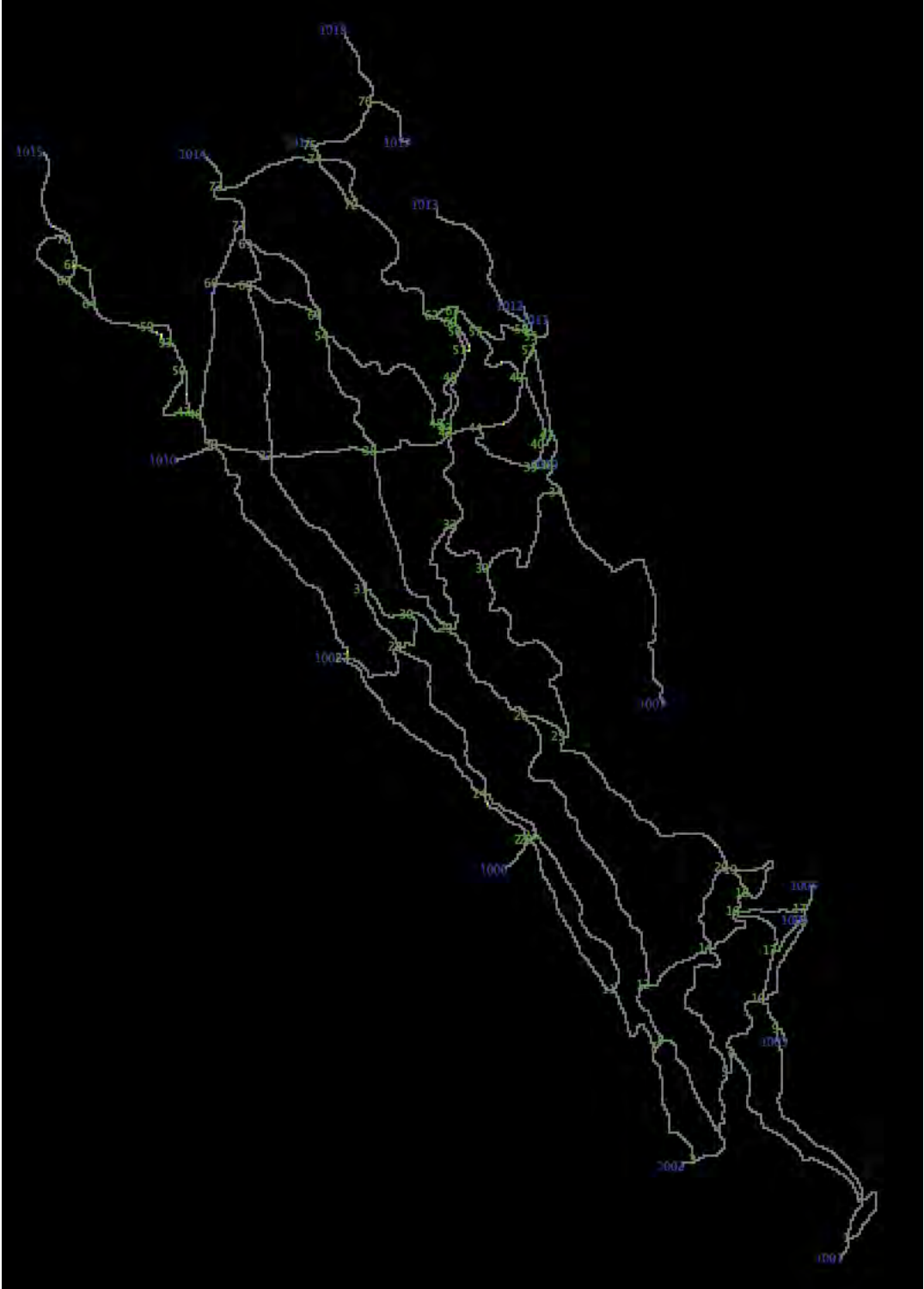


Abbildung A.1.: Nummern der Kreuzungen und Ein- respektive Ausgänge für das patchbasierte Wegnetz des Sihlwaldes

Persönliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Zürich, 30.9.2013

Martin Baumgartner