

# Agentenbasierte Simulation zur Versorgung der Bevölkerung im prähistorischen Hallstatt – Ausgewählte Arbeitsabläufe und deren Zusammenhang

Johannes Tanzler<sup>1</sup>, Philipp Pichler<sup>2</sup>, Klaus Fankhauser<sup>1</sup>, Dominik Brunmeir<sup>1</sup>, Kerstin Kowarik<sup>3</sup>, Hans Reschreiter<sup>3</sup>, Anke Bacher<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute for Analysis and Scientific Computing, Vienna University of Technology, Austria

<sup>2</sup>dwh GmbH Vienna, Austria

<sup>3</sup>Natural History Museum Vienna, Austria

<sup>4</sup>University of Vienna, Austria

*johannes.tanzler@tuwien.ac.at*

Dieses Projekt ist Teil einer Kooperation des Naturhistorischen Museum Wien mit der Technischen Universität Wien. Es wird mit Hilfe der agentenbasierten Simulation versucht einen Zusammenhang zwischen einzelnen Arbeitsabläufen des prähistorischen Salzabbaus Hallstatts, sowie manche Arbeitsabläufe selbst zu simulieren. Im Speziellen wird der Fokus auf die Nahrungsmittelproduktion und deren Zeitaufwand gelegt. Dieser Zeitaufwand setzt sich zusammen aus dem für die landwirtschaftlichen Tätigkeiten und den Wegzeiten um zu den Feldern und wieder zurück zu gelangen. Dafür wird ein A\* Algorithmus verwendet. Weiter wird die Beschaffung von Leuchtspänen berücksichtigt, welche in der Salzmine als Beleuchtung dienen. Diese Simulation liefert eine Zeitdauer welche eventuell im Bergwerk gearbeitet werden kann und nicht in der Landwirtschaft aufgewendet werden muss.

## 1 Einleitung

Hallstatt ist bekannt für seine prähistorische Salzmine, welche für Archäologen von großem Interesse ist. Das besondere Interesse rührt daher, dass durch die konservierende Wirkung des Salzes und einem Einsturz des Bergwerks, viele gut erhaltene Gegenstände in dem Bergwerk ausgegraben werden können. Im Zuge dieser Ausgrabungen wurden Gegenstände gefunden, deren Handhabung nicht gänzlich klar ist. Um diese besser zu verstehen, werden neben den klassischen Methoden der Archäologie, in einer Kooperation des Naturhistorischen Museums Wien mit der Technischen Universität Wien, auch die Möglichkeiten der Computersimulation genutzt. Ein Beispiel dafür ist der Bronzepickel, welcher einen ungewöhnlichen Winkel zwischen Spitze und Schaft aufweist [1].

Diese Arbeit behandelt allerdings nicht die Handhabung einzelner Gegenstände, sondern stellt einen ersten Schritt zur Simulation des Zusammenhangs der einzelnen Arbeitsabläufe dar. Im speziellen wird die Nahrungsmittelproduktion und, in Ansätzen, der

Bergwerksbetrieb mit Hilfe agentenbasierter Simulation[2] simuliert. Die Vorarbeit für dieses Projekt leistete eine Arbeit, welche sich mit der Versorgung der damaligen Hallstätter Bevölkerung mit Nahrungsmitteln beschäftigt [3]. Ein Ergebnis dieser Arbeit ist eine mögliche Bevölkerungsgröße mit 72 Personen, welche auch im Folgenden verwendet wird. Gerade die Frage der Bevölkerungsgröße ist von großem Interesse, da sie in direktem Zusammenhang mit der Menge des produzierten Salzes steht. Mit dieser Arbeit wird versucht herauszufinden, wie viel Zeit die damalige Hallstätter Bevölkerung im Bergwerk verbringen konnte und nicht mit der Landwirtschaft oder Holzbeschaffung für die Beleuchtung des Bergwerks beschäftigt war. Für die Beantwortung dieser Fragen wird als Programmierumgebung Anylogic[4] verwendet.

## 2 Modellbeschreibung

Die Grundlage jeder landwirtschaftlichen Produktion stellen die dafür verwendbaren Flächen dar.

### 2.1 Flächen

Da dieses Projekt Fragestellungen bezüglich des prähistorischen Hallstatt behandelt, liegt es auf der Hand, dass keine Karten vorliegen, welche die Flächennutzung der damaligen Zeit widerspiegeln. Aus diesem Grund wird eine Karte aus der Kaiserzeit verwendet, welche aus steuerlichen Gründen erstellt wurde. Diese Karte wird als Shapefile [5] eingebunden und dient der Lokalisierung der einzelnen Flächen, der Bestimmung der Feldnutzung, sowie deren Schwerpunkte und Größen. Die Schwerpunkte dienen als Startpunkt zur Bewirtschaftung der jeweiligen Flächen sowie als Standort des Speichers im Falle einer Zwischenspeicherung am Feld. Die im Folgenden relevanten Flächennutzungsarten sind Acker, Garten und Grünland. Die Fläche des Ackers beträgt rund 13 Hektar wobei der Acker zur Hälfte mit Gerste und zur anderen Hälfte mit Hirse bestellt wird. Der Garten hat eine Gesamtfläche von rund 16 Hektar und wird ausschließlich mit Ackerbohnen bestellt. Das Grünland hat insgesamt über 650 Hektar, wobei hier angenommen wird, dass 100 davon als Heu eingebracht werden müssen.

Anylogic bietet derzeit nicht die Möglichkeit, auf einfache Art und Weise mit dreidimensionalen Shapefiles zu arbeiten, weshalb die Höhendaten mit einem Esri Ascii grid eingebunden werden.

### 2.2 Berechnung der Wege

Auf Grund des mitunter sehr steilen Geländes in Hallstatt ist es wichtig, einen guten Algorithmus für die Berechnung der Wege zu verwenden. Der hierfür ausgewählte Algorithmus ist ein A\* Algorithmus. Da die Karte aus über 300 einzelnen Feldern besteht und für die meisten davon Wege berechnet werden müssen, wird die Rechenzeit ein zu berücksichtigender Punkt. Um sie möglichst gering zu halten, wird ein Raster von 25 Metern für die Berechnung verwendet.

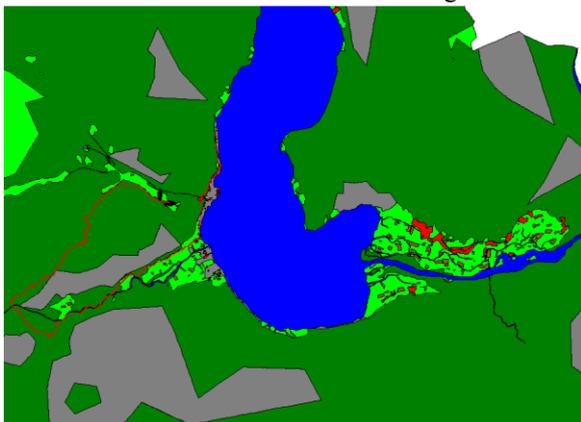


Abbildung 1. Darstellung eines Weges

In Abbildung 1. sieht man einen Weg als Polygon eingezeichnet. Wie man sieht, wird nicht der direkte Weg vom Startpunkt zum Ziel gewählt, sondern ein großer Umweg in Kauf genommen, was dem großen Gefälle geschuldet ist. Besser kann man die Steilheit des Geländes durch die eingefärbte Höhenkarte erkennen.

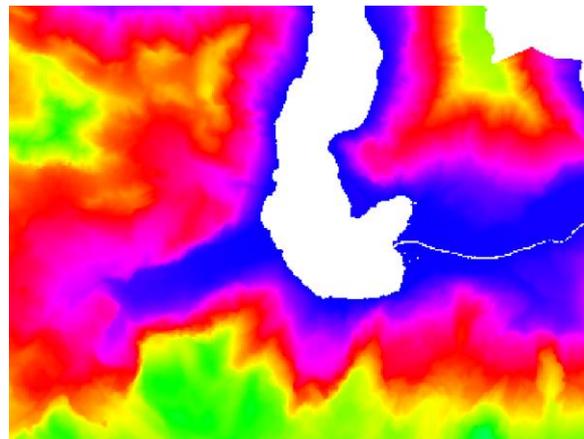


Abbildung 2. Höhenkarte

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Agenten entlang des berechneten Weges fortbewegen, ist vom gewählten Weg und dessen Steigungen abhängig.

### 2.3 Bevölkerung

Die Geburten- und Sterberaten sind mit leichten Abänderungen dem Programm zu „Mining with Agents“ [6] entnommen. Aus diesen wird eine Bevölkerungsstruktur berechnet. Wie schon oben erwähnt, wird von einer Bevölkerungsgröße von 72 Personen ausgegangen. Nach oben erwähntem Projekt kann nämlich diese Menge an Menschen vom umliegenden Land mit Nahrungsmitteln versorgt werden. Von diesen 72 Personen befinden sich allerdings nicht alle in einem arbeitsfähigen Alter, welches im Bereich von 6 bis 75 Jahren angenommen wird. Die in nachfolgender Tabelle dargestellte Bevölkerung wird für alle weiteren Berechnungen verwendet und weist 13 Personen auf, welche sich nicht im arbeitsfähigen Alter befinden.

[0;6)	[6;15)	[15;30)	[30;45)	[45;75)	[75; Inf)
13 Pers.	20 Pers.	21 Pers.	11 Pers.	7 Pers.	0 Pers.

Tabelle 1. Bevölkerungsstruktur

## 2.4 Arbeitsabläufe

Der am genauesten modellierte Ablauf ist die Wegberechnung, welche schon oben beschrieben wurde. Des Weiteren werden auch das Bestellen und Abernten der Felder, und die Holzbeschaffung für die Beleuchtung im Bergwerk betrachtet. Die Dauer der Aussaat für die verschiedenen Arten an Feldern wird gleich, mit 10 Stunden pro Hektar, angenommen. Für die Ernte wird die Zeitspanne, welche notwendig ist, um einen Hektar zu ernten, ebenfalls für alle Feldtypen gleich, mit 20 Stunden, angegeben. Der Transport der Ernte zur Siedlung wird mit Säcken zu 20 kg bewältigt. Hier werden 2 Szenarien unterschieden, einerseits das sofortige Einlagern in der Siedlung und andererseits das Aufbewahren der Ware am Feld, um sie nach der Ernte in die Speicher der Siedlung zu transportieren. Was den Salzabbau betrifft, wird angenommen, dass ein Arbeiter durchschnittlich 0.01 kg Salz pro Minute abbauen kann und zur Beleuchtung für den Abbau 10 kg Salz 1 kg Holz benötigt. Die Beschaffung des Holzes wird in 2 Teile gegliedert: einerseits in das Fällen des Baumes, das Zerkleinern in 20 kg Stücke sowie deren Transport, andererseits in das Herstellen der Späne. Das Herstellen der Späne dauert 1 Minute für 1kg Späne. Das Zerkleinern nimmt 1 Minute für 10 kg in Anspruch.

## 2.5 Auswahl der durzuführenden Arbeiten

Die Abfolge der Arbeitsabläufe, speziell die der landwirtschaftlichen Produktion, hängt stark von der Jahreszeit ab. Die Werte beschreiben den optimalen Tag für die jeweilige Tätigkeit in Tagen von Jahresbeginn an.

	Hirse	Gerste	Bohnen	Gras
<b>Saat/ Mähen</b>	110	90	100	180
<b>Ernte</b>	270	240	250	185

**Tabelle 2.** Aktionszeitpunkte

In weiterer Folge bilden diese Werte die Grundlage für die Reihung der Arbeitsabläufe. Allerdings muss auch die Salzproduktion dabei berücksichtigt werden. Deshalb werden zwei Szenarien berücksichtigt:

### Szenario 1. Priorität Salzproduktion

In diesem Fall wird der Salzproduktion der Vorzug gegenüber der Landwirtschaft gegeben. Es wird davon ausgegangen, dass immer eine gewisse Anzahl an Arbeitern im Bergwerk verbleibt und somit weniger

Arbeiter für die landwirtschaftliche Produktion zur Verfügung stehen.

### Szenario 2. Priorität Landwirtschaft

Dieses Szenario sieht vor, dass das Hauptaugenmerk auf der landwirtschaftlichen Produktion liegt. Es verbleiben keine Arbeiter im Bergwerk und die landwirtschaftlichen Tätigkeiten können schnellstmöglich erledigt werden. Speziell im Falle der Ernte scheint dies sehr wichtig, damit so wenig Nahrungsmittel wie möglich schon am Feld verderben.

## 3 Resultate

Im Folgenden werden die zwei oben genannten Szenarien verglichen. Für jede dieser beiden Szenarien wird auch die Möglichkeit eines Feldspeichers in Betracht gezogen. Die Resultate beschreiben die Zeit, welche im Bergwerk verbracht werden konnte und nicht für die Landwirtschaft aufgewendet werden musste. Als Länge eines Arbeitstages werden 8 Stunden angenommen, wobei kein Urlaub oder sonstiger freier Tag berücksichtigt wird.

### 3.1 Priorität Landwirtschaft

In diesem Fall ergibt sich, mit den oben genannten Parametern und ohne Feldspeicherung, eine im Salzberg verbrachte Zeit von rund 116°576 Stunden. Dies bedeutet durchschnittlich für jeden einzelnen Bewohner im arbeitsfähigen Alter eine Arbeitszeit im Bergwerk von rund 1°976 Stunden. Im Falle der Speicherung am Feld beträgt die Stundenzahl im Bergwerk lediglich 71°172.

### 3.2 Priorität Salzproduktion

Hier wird von einem ständigen Verbleib im Bergwerk von 10 Arbeitern tagsüber ausgegangen. Ohne Feldspeicher ergeben sich hier 111°086 Stunden im Bergwerk, was überraschenderweise weniger ist als ohne ständige Präsenz im Berg. Wenn auch hier ein Feldspeicher verwendet wird, verringert sich die verbrachte Zeit im Bergwerk auf 71°047 Stunden.

Diese Ergebnisse sind überraschend und verlangen nach einer genaueren Validierung des Programms.

## 4 Conclusio und Ausblick

Wie schon im letzten Absatz angedeutet sollten diese Ergebnisse nicht als Tatsache angesehen werden. Diese Projektarbeit ist noch nicht abgeschlossen und wird weiter ausgebaut, weshalb auch noch keine genaue Validierung vorgenommen wurde. Die hier

vorgestellte Modellierung muss weiter verfeinert und Parameter müssen besser bestimmt werden. Eine mögliche Erweiterung könnte die Speicher betreffen, welche nicht mehr direkt auf den jeweiligen Feldern positioniert sein könnten, sondern an logistisch gut gewählten Standorten aufgestellt werden. Weiters könnte ein Vergleich zwischen verschiedenen Standorten der Siedlung gezogen werden. Es ist auch denkbar, dass es mehrere Siedlungen gegeben hat und ein Teil der Bevölkerung im Tal gelebt hat.

## 5 References

- [1] B. Heinzl, E. Auer, B. Slowacki, K. Kowarik, H. Reschreiter, F. Breitenecker. *Mathematical modelling for experimental archaeology: case studies for mechanical tools in hallstatt salt mines*. In: The 24th European Modeling and Simulation Symposium. 2012.
- [2] F. Breitenecker, M. Bicher, and G. Wurzer, *Agent-based modeling and simulation in archaeology, chapter: Agent-Based Simulation in Archaeology: A Characterization*. [S.l.]: Springer, 2013.
- [3] J. Tanzler, P. Pichler, K. Kowarik, H. Reschreiter, G. Wurzer, A. Bacher, F. Breitenecker. *Modelling agricultural constraints for population size in prehistoric Hallstatt*. ERK - International Electrotechnical and Computer Science Conference. 2013.
- [4] I. Grigoryev: *AnyLogic 6 in three days: a quick course in simulation modeling*. AnyLogic North America, Hampton, NJ, 2012.
- [5] ESRI Shapefile Technical Description, An ESRI White Paper-July 1998.
- [6] K. Kowarik, H. Reschreiter, G. Wurzer, R. Totschnig, A. Rausch: *Mining with Agents - Agent-based Modeling of the Bronze Age Salt Mine of Hallstatt*, Talk: Archäologie und Computer, Wien; 11-03-2008 - 11-05-2008; in: "Workshop 13 - Archäologie und Computer 2008", CD der Stadt Wien, Stadtarchäologie, Wien (2009), ISBN: 978-3-85161-016-1; 1 - 19.