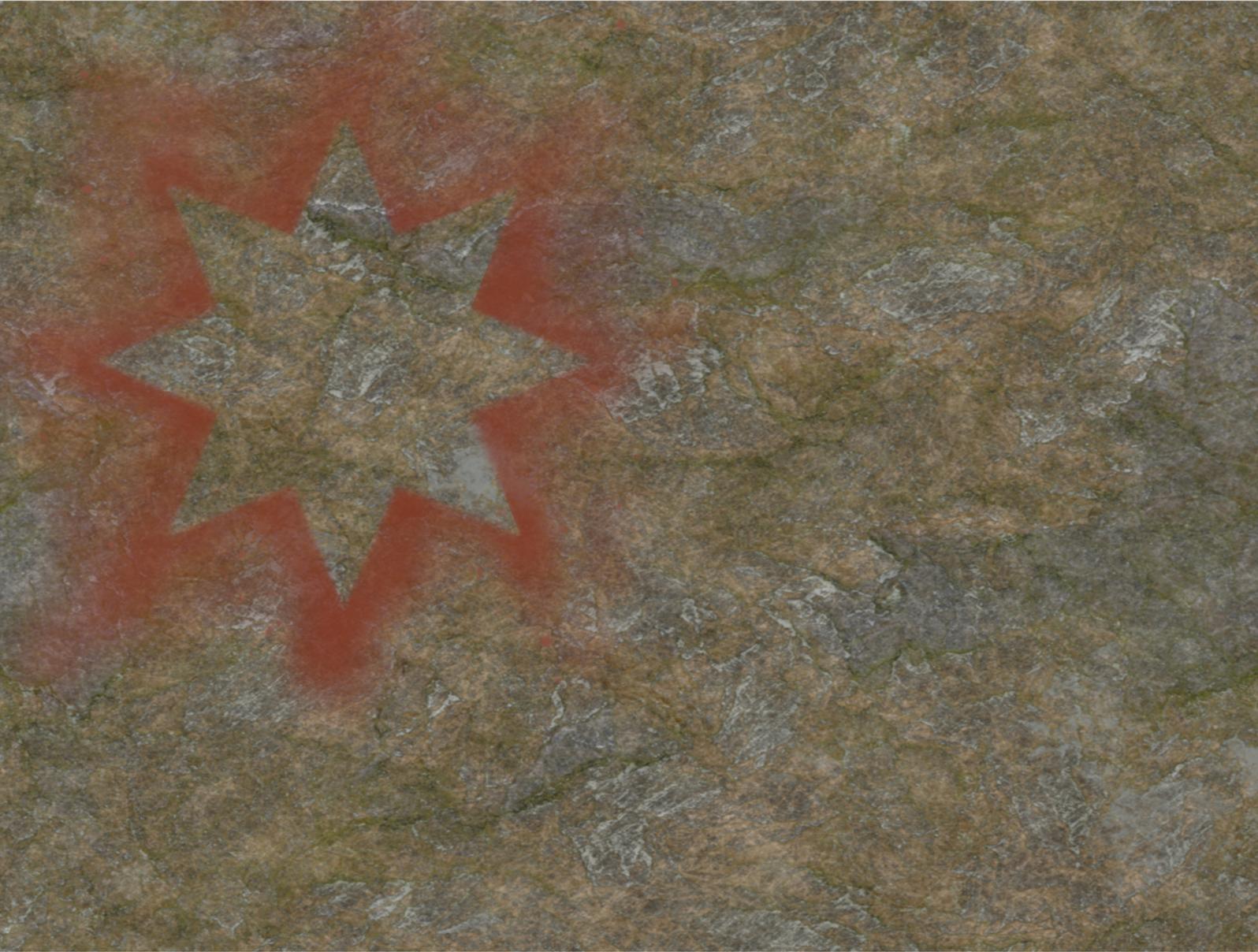


Ten to Chi

Computergestützte Sternen-Mustererkennung in der
Archäoastronomie



Bachelor-Arbeit
Florian Frühwirth (PNA)
flo.fruehwirth@stud.unibas.ch
2021

Betreuung:
Rita Gautschy
Claudia Gerling
Dorota Wojtczak

1	Theorie und Einleitung.....	2
1.1	Vorwort.....	2
1.1.1	Danksagung.....	2
1.2	Zusatzmaterial.....	2
1.3	IAU-Sternbilder.....	3
1.3.1	Geschichte und Entstehung.....	3
1.4	Archäoastronomie.....	5
1.4.1	Forschungsgeschichte.....	5
1.4.2	Öffentliche Wahrnehmung.....	6
1.5	Asterismen anderer Kulturen.....	9
1.5.1	二十八宿 - Die 28 Wohnsitze (China).....	9
1.5.2	Skyworld (australische Aborigines).....	10
1.5.3	Coyote's Crystals (Diné/Navajo).....	10
1.6	Asterismen in der Archäologie.....	12
1.6.1	Hypothesen.....	12
1.6.1.1	Salle des Taureaux, Lascaux.....	12
1.6.1.2	Göbekli Tepe.....	13
1.6.1.3	Himmelsscheibe von Nebra.....	13
1.6.1.4	Neo-Assyrische Sternenkarte.....	14
1.6.2	Anwendung des Programms auf bestehende und eigene Hypothesen.....	16
1.6.2.1	Salle des Taureaux, Lascaux.....	16
1.6.2.2	Göbekli Tepe.....	18
1.6.2.3	Himmelsscheibe von Nebra.....	20
1.6.2.4	Neo-Assyrische Sternenkarte.....	21
2	Praxis.....	23
2.1	Theoretische Überlegungen.....	23
2.2	Wahl der Programmiersprache.....	26
2.3	Benutzungsanleitung.....	27
2.4	Funktionsweise.....	34
2.5	Ausgewählte Code-Passagen.....	36
2.6	Fazit.....	40
2.6.1	Programmierung.....	40
2.6.2	Archäoastronomie.....	41
2.7	Lessons Learned.....	42
2.7.1	Verbesserungspotenzial.....	43
3	Glossar.....	44
4	Abbildungen.....	45
5	Quellenverzeichnis.....	46
5.1	Literatur.....	46
5.2	Internet-Quellen.....	47
5.3	Abbildungs-Quellen.....	48
6	Appendix.....	50
6.1	Appendix A.....	50
6.2	Appendix B.....	54
6.3	Appendix C.....	55

1 Theorie und Einleitung

1.1 Vorwort

Blicken wir nachts an den Himmel, erkennen wir ein Pantheon von Sternbildern und Asterismen. Einige von ihnen sind uns so vertraut, dass wir sie, selbst wenn wir ihren Namen vielleicht nicht kennen, nicht mehr *nicht* sehen können. Sie erscheinen uns in ihrer Form naturgegeben und universell. Tatsächlich sind sie aber weitgehend willkürlich, ein Produkt einer Entwicklung, die sich höchstens etwa 3000 Jahre in die Vergangenheit verfolgen lässt (siehe Kapitel 1.3.1). Weil wir aber mit »unserem« Sternenhimmel so vertraut sind, kann es uns schwerfallen, in den zufälligen Verteilungen von Punkten etwas anderes zu sehen als *Orion*, *Cassiopeia* oder *Ursa Major*. Ein Blick auf die »Himmelsgeschichten« anderer Kulturen und Gesellschaften kann helfen, den eigenen Horizont zu erweitern (siehe Kapitel 1.5).

Wie aber prähistorische Gesellschaften, die keine mündlichen oder schriftliche Überlieferungen hinterliessen, den Himmel sahen, ist weitaus schwieriger herauszufinden. Zwar existieren Hypothesen, die in prähistorischer, parietaler Kunst Abbildungen des Sternenhimmels erkennen wollen, diese sind jedoch unter Archäologen praktische alle höchst umstritten, wenn sie überhaupt anerkannt werden (siehe Kapitel 1.6). Das Hauptproblem liegt meist in einem hohen Mass von Subjektivität und Ethnozentrismus. Aus dem Wunsch, die Diskussion um »Prähistorische Sternbilder« objektiver und reproduzierbarer zu gestalten, entstand das Computer-Programm »Ten to Chi«¹, welches es dem Nutzer ermöglichen soll, eigene Punktmuster mit dem Sternenhimmel zu vergleichen und so vielleicht Abbildungen von »Sternbildern« in parietaler Kunst (oder anderem) zu finden.

Das Entwickeln und Schreiben dieser Anwendung war das Haupt-Ziel dieser Arbeit. Zusätzlich soll jedoch auch erkundet werden, wie solche »hausgemachten« Computer-Anwendungen in der Archäologie eingesetzt werden können und was die Chancen und Risiken sind (siehe Kapitel 2.6 und 2.7).

1.1.1 Danksagung

Für die Betreuung dieser Bachelor-Arbeit danke ich Claudia Gerling und Dorota Wojtczak. Besonderer Dank gilt ausserdem Rita Gautschy, für die Hilfe bei der Entwicklung des Programms und dass sie mir den HIP-Sternenkatalog hat zukommen lassen, auf dessen Daten das gesamte Programm basiert. Zu guter Letzt danke ich Christina Frühwirth, für die moralische Unterstützung während meiner Arbeit an diesem Projekt und dem Korrekturlesen der vorliegenden Arbeit.

1.2 Zusatzmaterial

Das Programm selbst, sowie Zusatzmaterial wie eine pdf-Version dieser Arbeit und Python-Dateien, können unter <https://tentochi.ch/> heruntergeladen werden. Die Erreichbarkeit dieser URL ist bis zum 06. März 2022 garantiert. Das GitHub-Repository kann alternativ auch unter https://github.com/SyrusDrake/Ten_to_Chi/releases gefunden werden.

Sollte dieser Arbeit ein USB-Speicher beiliegen, so entspricht das darauf abgelegte Programm der Version 1.0.0. Allfällige Updates können über die obigen Internet-Adressen bezogen werden.

¹ Japanisch "てんとち" oder 天と地: »Himmel und Erde«, »oben und unten«, »wie Tag und Nacht«.

men unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Herkunft zu einem »Himmelskanon« vereint wurden. Oder aber alle Sternbilder wurden innerhalb kurzer Zeit und durch eine kleine Personengruppe »kreiert«, so wie es später für die Sternbilder des Südhimmels geschehen sollte (siehe unten). Beide Ideen haben ihre Vertreter. (Frank 2014, 149ff)

Für erste Idee spricht die Tatsache, dass in Mesopotamien bereits im 1. Jahrtausend BC die Sternbilder des Zodiac sowie vier zusätzliche Sternbilder nachweisbar sind, welche auch heute noch verwendet werden, namentlich *Hydra* (Wasserschlange), *Corvus* (Rabe), *Aquila* (Adler) und *Piscis Austrinus* (Südlicher Fisch). Sie fanden ihren Weg nach Griechenland um die Mitte des 1. Jahrtausends BC. (Black, Green, et al. 1992, 190; Frank 2014, 150ff)

Ob die Geschichte der uns heute bekannten Sternbilder noch weiter zurückreicht, ist denkbar, aber schwer nachzuweisen. In zahlreichen Kulturen wird der Asterismus, der bei uns als »Grosser Wagen« (Teil von *Ursa Major*) bekannt ist, als eigenes Sternbild angesehen und als Wagen, Löffel, Ruder, Pflug oder Ähnliches benannt. Es ist somit zumindest bemerkenswert, dass ausgerechnet dieser schon fast universale Asterismus von den Griechen zu einem grösseren Sternbild gezählt wurde und als Bär benannt wird. Dieser Umstand verleitet einige Experten dazu, in eben diesem *Ursa Major* ein sehr altes Sternbild zu sehen, welches von prähistorischen Menschen erdacht und überliefert wurde, die es eher mit einem Bären als mit einem Pflug oder Wagen assoziiert hätten. (Frank 2014, 159)

Deutlich weniger spekulativ ist die Geschichte der IAU-Sternbilder des Südhimmels. Als europäische Entdecker in der Frühen Neuzeit den Äquator überquerten und auf die Südhalbkugel vorstießen, fanden sie am Himmel neue, ihnen unbekannte Sterne vor, die anfänglich in 12 neue Sternbilder zusammengefasst wurden. Diese entsprechend grossen Sternbilder stellten sich aber in den kommenden Jahrhunderten oft als zu »sperrig« heraus, wurden geteilt und ergänzt, bis den 48 »alten« Sternbildern insgesamt 40 neue gegenüberstanden³. (Frank 2014, 148)

³ Den auf der Südhalbkugel wohnhaften Menschen waren diese Sterne natürlich keineswegs »neu«. Genau wie bestehende Namen für Landmarken oder einheimische Besitzansprüche wurden diese lokalen Asterismen von den Europäern aber weitgehend ignoriert.

1.4 Archäoastronomie

Die wahrscheinlich einfachste mögliche Definition von Archäoastronomie ist: »Die Erforschung, wie vergangene Kulturen astronomische Phänomene wahrgenommen und verstanden haben« (frei nach Ruggles 2014, v, aus dem Englischen). Besonders im englischen Sprachraum, wo sich Archäologie und Ethnografie historisch sehr viel näher stehen, wird die Archäoastronomie in der Regel mit der »Ethnoastronomie« zur »*cultural astronomy*« zusammengefasst. (Ruggles 2014, v)

Dabei ist es wichtig, festzuhalten, dass sich diese »kulturelle Astronomie« nicht wirklich mit »Astronomie« im engeren Sinne beschäftigt. Diese ist in unserem modernen Verständnis eine eigenständige, naturwissenschaftliche Disziplin und steht in keiner Verbindung zur, zum Beispiel, Astrologie. Diese strikte Trennung von Wissenschaft und Esoterik ist jedoch ein ausgesprochen modernes Phänomen. Ist also in obiger Definition von »Wahrnehmung« die Rede, so meint dies nicht nur die exakte, mathematische Beschreibung des Himmels, auch wenn dies Teil davon sein kann, sondern auch jegliche weitere, kulturelle Interpretation, wie z.B. Schöpfungsmythen. All dies gehört somit zum Forschungsfeld der Archäoastronomie.

1.4.1 Forschungsgeschichte

Aufgrund der Quellenlage ist die Forschungsgeschichte der Archäoastronomie weitgehend die Geschichte der Archäoastronomie *in der anglofonen Welt*. Warum sich Wahrnehmung und Geschichte dieser Disziplin im englisch- und deutschsprachigen Raum so drastisch unterscheiden⁴, damit eine solche Qualifizierung notwendig ist, dies muss jedoch zu einem anderen Zeitpunkt untersucht werden. Eine solche »Meta-Geschichte« ginge über den Umfang dieser Arbeit hinaus. Autor Alun Salt datiert den Beginn der Archäoastronomie als Disziplin mit bewusst provokanter Genauigkeit auf



Abbildung 2: IBM 7090 Data Processing System, wie es von Hawkins für seine Berechnungen verwendet wurde.

den 26. Oktober 1963, dem Publikationsdatum von »*Stonehenge Decoded*« in *Nature* (Hawkins 1963; Salt 2014, 214). Dieser Artikel stellt nicht unbedingt den Beginn archäoastronomischer Spekulationen um Stonehenge dar. Autor Gerald S. Hawkins selbst erwähnt entsprechende Überlegungen durch Sir Norman Lockyer, die bereits auf das Jahr 1901 zurückgehen. Bemerkenswert ist Hawkins Arbeit jedoch durch seine Verwendung eines IBM 7090 Computers, dessen Rechenleistung ihm grosszügigerweise für etwa eine Minute zur Verfügung gestellt wurde⁵. Durch die Verwendung des neuartigen Computers war es Hawkins möglich, etwa zwei Dutzend Korrelationen zwischen diversen Peilungen innerhalb des Steinkreises und verschiedenen Auf- und Untergangspositionen von Sonne und Mond festzustellen. (Hawkins 1963, 308)

⁴ Der Unterschied wird schon bei einem kurzen Blick auf Wikipedia deutlich, der deutsche Artikel zum Thema weist nur etwa 8% des Umfangs des Englischen auf.

⁵ Der Computer, auf dem diese Zeilen entstehen, weist eine Prozessorleistung von etwa 316 Milliarden FLOPs (Floating Point Operations) pro Sekunde auf, verglichen zu den 100'000 des IBM 7090. Die ein-minütige Prozessorarbeit von damals liesse sich heute also in etwa 3.16×10^{-7} s (316 Nanosekunden) durchführen.

Die Verbindung von antiken Mysterien, dem eigenen archäologischen Erbe und neuer Spitzentechnologie traf in den 1960er-Jahren offenbar einen Nerv der Zeit. 1965 veröffentlichte Hawkins, zusammen mit John B. White, das Buch »*Stonehenge Decoded*« (Hawkins & White 1965), welches sich zu einem Bestseller entwickeln sollte. (Salt 2014, 215)

Die Reaktion aus der archäologischen Gesellschaft war weitaus weniger positiv. Im Artikel »*Moonshine⁶ on Stonehenge*« kritisiert Autor Richard Atkinson die Arbeit Hawkins scharf (Atkinson 1966). Die objektive Kritik Atkinsons konzentriert sich dabei primär auf Messungenauigkeiten, subjektive Interpretationen und fehlende archäologische Expertise Hawkins. Besonders die ersten beiden Punkte sind berechtigt, da sie natürlich Hawkins gesamte Hypothese aushöhlen. Der Leser kommt jedoch nicht umhin zu vermuten, dass Atkinsons Missfallen auch teilweise subjektiver Natur ist. Hawkins war Professor für Astronomie, nicht Archäologe, und wagte sich mit Stonehenge trotzdem in eine der »Hochburgen« der Archäologie, ohne dazu entsprechende Experten zu konsultieren. Ausserdem verwendete er neuartige, schon fast exotische Technologie, was Atkinson mit Argwohn kommentiert. (Atkinson 1966, 213)

Am schwersten wog jedoch vielleicht, dass Hawkins Behauptung, prähistorische Menschen wären dazu imstande gewesen, ein komplexes Kalender-Monument zu planen und zu bauen, im Gegensatz zu Atkinsons eigener Weltanschauung stand. Dieser hatte die Erbauer von Stonehenge in einer BBC-Dokumentation als »howling barbarians«, also als »johlende Barbaren« bezeichnet (Salt 2014, 216). Diese Art des Ethnozentrismus, der prähistorischen Menschen die mentale Fähigkeit abstreitet, sich überhaupt mit Astronomie zu befassen, ist eine Barriere, die sich der Akzeptanz von Archäoastronomie teilweise bis heute in den Weg stellt.

Obwohl sie, folgt man dieser Geschichte, in England ihren Anfang nahm, so konnte die Disziplin der Archäoastronomie erst durch den Kontakt mit amerikanischer Archäologie ihr volles Potenzial entfalten. Das Problem, mit welchem sich viele Archäoastronomen und Archäoastronominen Ende des 20. Jahrhunderts konfrontiert sahen, war ihr akademischer Hintergrund. Die meisten von ihnen waren Astronomen und lieferten, in den Augen der Archäologie, Antworten auf Fragen, die niemand gestellt hatte. Die Archäoastronomie musste sich, generell gesprochen, der Frage stellen, welche Rolle der Himmel und seine Phänomene im Weltbild der Menschen der Vergangenheit spielten, anstatt lediglich Monumente zu vermessen und Ausrichtungen zu postulieren, wo vielleicht keine Absicht der Erbauer dahinterstand. Dieser Schulterschluss mit Anthropologie und Ethnografie gelang Anfang der 1990er-Jahre, besonders durch Austausch mit amerikanischen Kollegen, für die Archäologie und Anthropologie schon immer enger verflochten waren. (Salt 2014, 220–222)

Seit der Jahrtausendwende hat sich das Feld der Archäo- und Ethnoastronomie dankenswerterweise über die Anglo-Amerikanische Welt hinaus ausgeweitet und umfasst heute alle bewohnten Kontinente. Ähnlich umfangreich erweist sich inzwischen auch das Feld der involvierten Disziplinen, das über »nur« Archäologie und Astronomie hinausgeht und inzwischen auch Forschende aus Kunstgeschichte, Ethnografie, Statistik, etc. umfasst. (Salt 2014, 224)

1.4.2 Öffentliche Wahrnehmung

Der schwere Stand, der die Archäoastronomie gegenüber der restlichen Archäologie hatte und hat, lässt sich wohl teilweise auch darauf zurückführen, dass wissenschaftliche Archäoastronomie und astronomisch angehauchte Pseudo-Archäologie oft erschreckend nahe zusammenliegen und Letztere gewissermassen auf Erstere »abfärbt«. Selbst seriösen Untersuchungen hängt leicht der Beigeschmack des Esoterischen an.

⁶ Der Begriff »Moonshine« (Mondschein) deutet hier nicht (nur) das archäoastronomische Thema an, sondern steht im Englischen umgangssprachlich auch für »Unsinn«, womit die Meinung des Autors bereits im Titel vorweggenommen wird.

Wie schon bei der Entwicklung der Archäoastronomie im Allgemeinen, stellt auch hier Stonehenge gewissermassen ein »Prototyp« dieses Phänomens dar. Im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert beanspruchen selbst ernannte »Druiden« die Anlage als »Heiligtum« für sich. Über die Jahrzehnte mauserten sich die Sommerrituale dieser »Druiden« zu grossen, öffentlichen Anlässen, die bisweilen Zehntausende Besucher anlockten (Krupp 2014, 267). In den 70er- und 80er-Jahren des 20. Jahrhundert weiteten sich die Ferien zu den Sommerritualen zum sog. »Stonehenge Free Festival« aus, einem mehrwöchigen Musikfestival, populär besonders unter Mitgliedern der breiteren »Gegenkultur« (»Hippies«)



Abbildung 3: Besucher des »Stonehenge Free Festival« im Sommer 1984. Heute ist das Betreten der Anlage für das Publikum nur noch selten erlaubt.

(Hawkes 2004). Besonders unter diesem Publikum fand Gerald Hawkins' Buch »Stonehenge Decoded« grossen Anklang, da es eine ähnliche, wenn auch wissenschaftlich fundiertere Idee vertrat, dass die »Alten« über eine nicht genauer definiert Form »alten Wissens« verfügten (Wikipedia »Gerald Hawkins«). Ob Hawkins' Popularität unter »Hippies« (zusätzlich) das Missfallen der akademischen Fachwelt befeuerte oder ob gerade seine Position als »Aussen-seiter« ihn umgekehrt in gegenkulturellen Kreisen sympathisch erscheinen liessen, sei dahingestellt. Auf jeden Fall dürfte dieser Schulterschluss, obgleich er von einer Seite womöglich so nicht gewollt war, dem Ansehen der jungen Archäoastronomie kaum geholfen haben.

Weitaus grösseren Image-Schaden richteten in den Folgejahren (und Jahrzehnten) Autoren wie Erich von Däniken oder Zecharia Sitchin an. Der gebürtige Schweizer von Däniken veröffentlichte sein erstes Buch mit dem Titel »Erinnerungen an die Zukunft« im Jahre 1969. Seine »Mythologie« konzentriert sich nicht unbedingt auf Archäoastronomie, zieht angebliches oder tatsächliches astronomisches Wissen alter Kulturen aber gelegentlich als Beweis dafür heran, dass diese Kulturen in Kontakt mit Ausserirdischen gestanden haben müssen. Dieses »unmögliche« Wissen kann entweder für Beobachter ohne Teleskope tatsächlich unerreichbar sein oder wird Gesellschaften einfach a priori abgesprochen, wenn von Däniken diese für zu »primitiv« hält (siehe z.B s. 152 und 158 in (Däniken 1969)).

Zecharia Sitchin konstruiert ähnliche Mythengefüge, z.B. in seinem Buch »The 12th Planet«, in welchem er den Sumerern detailliertes Wissen über die Entstehung, Vergangenheit, und Aufbau des Sonnensystems andichtet, welches selbst über das Wissen heutiger Astronomen hinausgeht (Sitchin 2007, Kapitel 7). Ein weiterer Auswuchs dieser pseudowissenschaftlichen Anstrengungen stellt die US-amerikanische TV-Serie »Ancient Aliens« dar, welche inzwischen 17 Staffeln umfasst («Ancient Aliens», The History Channel).

Der öffentliche »Hype« um altes astronomisches Wissen erreichte einen Höhe(Tief-?)punkt in der Zeit vor dem 21. Dezember 2012. An diesem Tag endete tatsächlich der 12. »b'ak'tu«, einer von vielen Zyklen des Maya-Kalenders. Für dieses Datum wurden von New-Age-Kreisen allerlei Krisen und Erleuchtungen prophezeit. Die Popularität dieser Verschwörungsmärchen basierte in Teilen auch in der Appropriation von astronomischen, archäologischen und archäoastronomischen Konzepten, Schlagworten und Ideen. (Krupp 2014, 277)

Eine ausführliche Diskussion aller archäoastronomischer Behauptungen aus diesem Milieu

ginge zu weit und gehört auch nicht zum Umfang dieser Arbeit⁷. Stattdessen soll eine Übersicht geboten werden, wie seriöse archäoastronomische Ideen und Untersuchungen pseudowissenschaftlich appropriiert und »missbraucht« werden und dadurch das gesamte Feld der Archäoastronomie in ein schlechtes Licht gerückt wird (siehe auch Krupp 2014, 283). Wissenschaftliche Arbeit und Kooperation ist schwierig, wenn sich Kollegen und Sponsoren stets fragen, ob eine seriöse Forschungsarbeit oder das nächste Drehbuch für »*Ancient Aliens*« geschrieben wird.

⁷ Eine umfangreiche Auflistung und Widerlegung der populärsten Thesen bietet z.B. das Video »Ancient Aliens Debunked« auf YouTube: <https://youtu.be/j9w-i5oZqaQ>

1.5 Asterismen anderer Kulturen

Wie in Kapitel 1.3 erwähnt, haben sich die IAU-Sternbilder, mit ihrem teils griechischen, teils westeuropäischen Ursprung heute fast global durchgesetzt, obwohl sie eigentlich willkürlich gewählt sind. Weder ihre Form noch ihre Benennung oder Assoziation sind objektiv. Somit überrascht es nicht, dass viele Kulturen in den Sternen völlig andere Bilder und Geschichten sehen. In einigen Fällen werden in ähnlichen oder beinahe identischen Sternengruppen ähnliche Themen gesehen, in anderen Fällen unterscheidet sich der Himmelskanon grundlegend.

Im Folgenden werden einige Beispiele gezeigt. Diese Liste versteht sich keinesfalls als umfassende Übersicht, dazu reichen weder Platz noch Kenntnisse des Autors aus. Stattdessen soll die Auswahl verdeutlichen, dass Sternbilder, Asterismen oder andere Himmelsbilder keineswegs universell und immer Ausdruck der Lebensweise, Umwelt und kulturellen Vorstellungen jener Menschen sind, die sie kreieren.

1.5.1 二十八宿 - Die 28 Wohnsitze (China)

Mit seinen 283 (!) Sternbildern stellt der traditionelle, chinesische Himmelskanon wohl einer der umfangreichsten, heute noch bekannten dar. Einige Elemente chinesischer Sternzeichen finden sich bereits auf den sogenannten »Orakelknochen« und können somit bis mindestens in das 16. Jahrhundert BC zurückverfolgt werden. Die heute noch bekannten chinesischen Sternbilder wurden in ihrer Gesamtheit erstmals durch den Astronomen Chen Zhou etabliert, in der Zeit der Drei Reiche (3. Jahrhundert CE). Seine Einteilung des Himmels basiert im Wesentlichen auf einem etwa 500 Jahre älteren Werk von Sima Qian. Im Zentrum des Himmels steht dabei der Zentrale Palast. Er umfasst zirkumpolare Sternbilder, die niemals untergehen. Der restliche sichtbare Himmel ist in vier weitere Paläste geteilt, entsprechend der vier Jahreszeit. Jeder dieser vier Paläste umfasst 7 »Häuser«, für ein Total von 28, eines für jeden Tag eines Mond-Monates. Diese 28 Häuser bilden ein Koordinatensystem für die Orientierung am Himmel. (Xiaochun 2014, 2053)

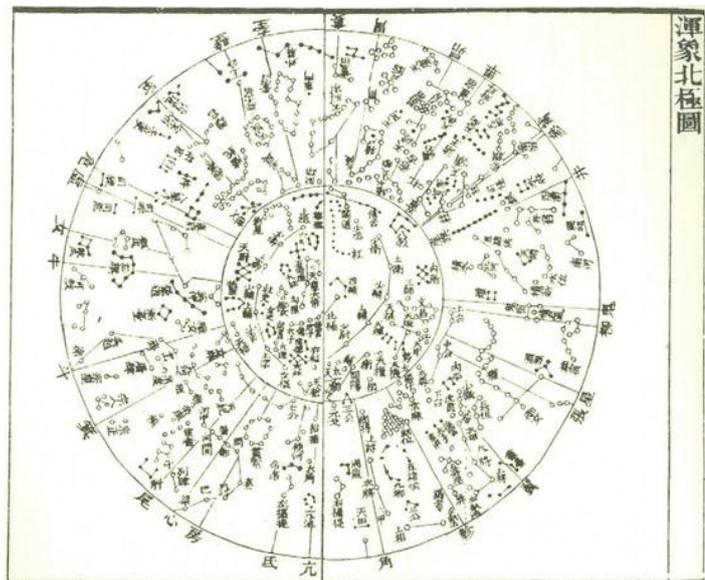


Abbildung 4: Chinesische Sternkarte aus *Xin Yixiang fa yao* (新儀象法要), 1092 CE

Im Gegensatz zu den modernen/griechischen Sternbildern, die Gestalten aus Mythen und Legenden zeigen, sahen die Chinesen im Himmel ein Abbild ihrer Welt auf Erden. Dies spiegelt sich in der Benennung von Sternbildern wieder, z.B. »Feldlager«, »Streitwagen des Kaisers«, »Ochse«, »Erster Minister«, oder »Juwelenmarkt«. (Meller 2010, 62)

1.5.2 Skyworld (australische Aborigines)

Im Gegensatz zum chinesischen Sternenhimmel, in dem seine Betrachter ein Abbild ihrer irdischen Welt sahen, betrachten die Ureinwohner Australiens (Aborigines) »ihren« Himmel als erreichbaren Teil der Welt, bevölkert von Ahnen, Geistern, aber auch Tieren und Pflanzen der physischen Gefilde (»Skyworld«). (Clarke 2014, 2224ff)

In den Sternen fanden die Aborigines sowohl Tiere und Gegenstände ihres täglichen Lebens (»Baidam«, der Hai; »Unwala«, die Krabbe; »Bo«, das Muschelhorn) wie auch mythische Gestalten der Traumzeit (»Dogai«, »Dideal«, »Usal«) (Haynes 2000, 58). Erwähnenswert ist dabei, dass der Aufbau dieser australischen Asterismen anderen Regeln folgt, als die uns vertrauten Sternbilder. Viele der relevanten Konstellationen basieren auf vergleichsweise leucht-

schwachen Sternen, während auffallende, leuchtstarke Sterne keinen Asterismen zugeordnet werden. Auch werden die Sternbilder nicht aus einzelnen, mit Linien verbundenen Punkten gebildet, ihre Verhältnisse sind eher konzeptuell als strikt figürlich, d.h. die Himmelsphänomene selbst sind Akteure in eigenen, komplexen Geschichten, anstatt diese lediglich abzubilden (Haynes 2000, 58–59).

Im Vergleich zu westlichen Sternbildern vielleicht am aussergewöhnlichsten, ist die »dunkle«



Abbildung 5: Dunkelwolken bilden im Kontrast zur Milchstrasse das »Stern«bild Emu

Konstellation Emu, welche überhaupt gar keine (sichtbaren) Sterne beinhaltet, sondern durch dunkle Staubwolken im Band der Milchstrasse gebildet wird (siehe Abbildung 5) (Norris & Hamacher 2014, 2216). Für die australischen Ureinwohner übernehmen die Sterne am Himmel über ihnen mehrere Funktionen. Einerseits lässt sich an ihnen der Fortlauf des Jahres ablesen. Diese kalendarische Verwendung ist auch für Jäger-und-Sammler-Gesellschaften von Belang und regelt zum Beispiel Land-Management, zeigt die Verfügbarkeit verschiedener Nahrungsquellen an (Norris & Hamacher 2014, 2216), synchronisiert Treffen zu kulturellen und ökonomischen Zwecken (Haynes 2000, 64), oder zeigt an, wann verschiedene Rituale abzuhalten sind (Clarke 2014, 2226). Andererseits codieren die Sterne und ihre Beziehungen zueinander auch ein komplexes Mythengefüge, welches Identität stiftet und moralische Leitlinien bietet (Haynes 2000, 60).

1.5.3 Coyote's Crystals (Diné/Navajo)

In der Mythologie der *Diné*⁸, heute beheimatet im Südwesten der USA, schufen »Holy People« (mythische Ahnen) Sonne und Mond aus Türkis und Muschelschalen und gaben ihnen Kristalle, um zu leuchten. Die übrigen Kristalle platzierten sie sorgfältig am Himmel, damit ihre Konstellationen den Menschen Regel für ein gutes Leben vermitteln würden. Coyote, einer der Holy People, ungeduldig mit dem langsamen Fortschreiten, griff die Ledertasche mit den verbliebenen Kristallen, verstreute sie über den gesamten Himmel, und formte damit die Milchstrasse und die restlichen Sterne. Sternbilder wie »Náhookos bokhóh« ((Herd-)Feuer), N«áhookos ba'áadii« (die Umkreisende Frau), »Náhookos bika'ii« (der Umkreisende Mann) oder

⁸Der Name »Navajo« stammt aus dem Spanischen und ist selbst ein Lehnwort. Die Eigenbezeichnung »Diné« heisst übersetzt »das Volk«.

»Atsé'ets'ózi« (der Erste Dünne) sorgen am Himmel für Ordnung unter den Sternen und sind wichtige Teile des Diné-Kalenders. Andere Sternbilder, wie »Gah Heet'e'ii« (die Hasenspuren) oder »Asté'etsoh« (der Erste Grosse) leiten das Handeln der Menschen und helfen ihnen in Zeiten der Not. (Chamberlain 2014, 631–632)

Die Diné sind besonders für Ethno- und Archäoastronomen von besonderem Interesse, da sie ihre Sternbilder regelmässig in verschiedenen Kunstobjekten abbildeten und abbilden. Durch die Verwendung dieser Objekte in Ritualen werden auch die abgebildeten Sterne Teile ebendieser Rituale. (Chamberlain 2014, 633–636)



Abbildung 6: Diese »Star Ceiling« zeigt, im Gegensatz zu den anderen Objekten, zufällige Sternmuster, wie sie von Coyote kreiert wurden.



Abbildung 7: Punktmuster in Form von Sternbildern an einem Felsüberhang, genaues Alter unbestimmt



Abbildung 8: Modernes Diné-Sandbild mit absichtlich abstrahierten Sternbildern



Abbildung 9: Moderne Rassel mit Punkt-Muster in Form der Konstellation Cassiopeia

1.6 Asterismen in der Archäologie

Obwohl ethnografische Vergleiche nahelegen, dass Sterne, ihre Bewegungen und Bilder auch bei nicht-agrikulturellen Gesellschaften eine Rolle spielen (siehe Kapitel 1.5.2 und 1.5.3), so sind dem Autor aus prähistorisch-archäologischem Kontext keine Beispiele von Abbildungen von Sternen oder Sternbildern bekannt.⁹ Ob dieser scheinbare Mangel an astronomischen »Aufzeichnungen« ein tatsächliches Desinteresse prähistorischer Menschen am Thema widerspiegelt, auf fehlende Erhaltung entsprechender Quellen zurückzuführen ist, oder ob diese von Archäologen bisher einfach »übersehen« wurden, muss an dieser Stelle ungeklärt bleiben.

1.6.1 Hypothesen

1.6.1.1 Salle des Taureaux, Lascaux

Archäoastronomischen Hypothesen für das Paläolithikum sind selten und fast alle ausgesprochen umstritten. Ein bekanntes Beispiel ist die Interpretation des Auerochsen im »Salle des Taureaux« von Lascaux als Abbild des Sternenhimmels. Die Hypothese scheint ursprünglich auf Michael Rappenglück und ein Konferenz-Paper aus dem Jahr 1997 zurückzugehen (Rappenglück 1997) und obwohl sie unter Archäologen bisher kaum bis keine Akzeptanz fand, hat sie sich seither unwiderruflich in das öffentliche Bewusstsein eingebrannt. Selbst die International Astronomical Union zitiert Rappenglück auf ihrer offiziellen Webseite zum Thema Sternbilder («The Constellations», International Astronomical Union) und eine Google-Suche mit den Stichworten »pleiades Lascaux« liefert unter anderem Resultate von der BBC, der Zeitung »The Guardian«, »Business Insider«, »Universe Today«, CBC und anderen, obwohl die Hypothese praktisch ausschliesslich von Rappenglück vertreten wird.

Rappenglücks Hypothese, wie er sie in seinem Artikel von 1997 darlegt, stützt sich primär auf die Identifikation eines Punktmuster über dem Auerochsen als Abbild der Plejaden (siehe Salle des Taureaux, Lascaux). Zwar besteht dieses Muster lediglich aus sechs »Sternen«, was mit dem »Sieben-Gestirn« – wie die Plejaden auch genannt werden – scheinbar im Widerspruch steht. Jedoch muss festgestellt werden, dass nur sechs der Plejaden-Sterne eine Helligkeit unter 5 aufweisen und damit deutlich sichtbar sind (Frommert & Kronberg 2005). Ausserdem weist Rappenglück selbst darauf hin, dass verschiedene Kulturen in den Plejaden verschiedene Anzahlen von Sternen sehen (Rappenglück 1997, 218). Für sich alleine genommen ist diese Gruppe von sechs Punkten aber eben nur eine Gruppe von sechs Punkten. Rappenglück sieht seine Hypothese bestärkt durch den Umstand, dass die Plejaden von Lascaux, wie ihr himmlisches Vorbild, auch mit einem Stier assoziiert sind. Tatsächlich gehört der Sternhaufen zum modernen Sternbild »Taurus«. Diese Benennung geht auf summerisch/akkadische Tradition zurück, in der das Sternbild als »GAL.AN.NA« bzw. »alû« bekannt war, was mit »Himmelsstier« übersetzt wird (Black, Green, et al. 1992, 190; von Soden 1965, 39). Der Ba-

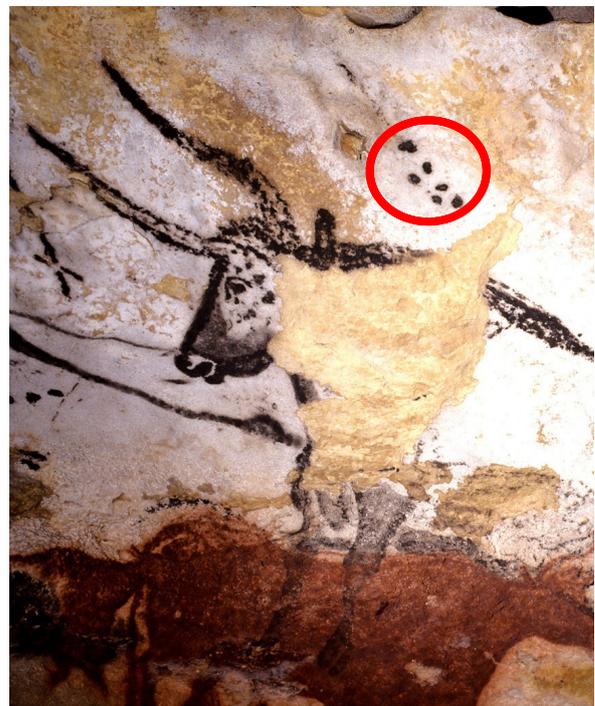


Abbildung 10: Auerochse im »Salle des Taureaux« von Lascaux, markiert die hypothetischen »Plejaden«

⁹ Zumindest nicht aus englisch- oder deutschsprachigen Publikationen

bylonische Zodiac, inklusive dem »Himmelsstier«, lässt sich aber erst seit dem 1. Jahrtausend BC in dieser Form nachweisen (Black, Green, et al. 1992, 190). Somit ist *Taurus* tatsächlich eines der ältesten Sternbilder, welches praktisch unverändert bis in den Katalog der IAU überlebt hat. Aus dieser Altertümlichkeit jedoch eine direkte Linie zu einer hypothetischen, noch älteren astronomischen Tradition ~15'000 Jahre und 3'500 km entfernt abzuleiten, scheint zumindest gewagt. Wie bereits in Kapitel 1.5 illustriert, sind die Bilder, die Menschen in den Sternen sehen völlig subjektiv. Es gibt keinen Grund, warum die Sterne um Aldebaran als Stier gesehen werden müssen. In Anbetracht des erwähnten grossen zeitlichen und räumlichen Abstandes – und damit der Unwahrscheinlichkeit einer direkten Abstammung – wäre es somit ein erstaunlicher Zufall, dass sowohl die Menschen des Eiszeitlichen Westeuropa wie auch des Bronzezeitlichen Mesopotamien in Aldebaran und seinen Begleitern unabhängig voneinander einen Stier sahen. Weiter legt Rappenglück eine vermutete Korrelation zwischen den Plejaden und den Äquinoktien vor rund 17'000 Jahren dar, und offeriert damit eine Rechtfertigung, warum gerade dieser Himmelsabschnitt in Lascaux abgebildet sein soll. Eine eingehende Diskussion dieser Argumentation liegt jedoch ausserhalb des Scopes dieser Arbeit und muss an anderer Stelle erfolgen. Für den Moment soll der Auerochse von Lascaux nur als Beispiel für die Anwendung des Programms dienen. Die Diskussion der Resultate folgt in Kapitel 1.6.2.

1.6.1.2 Göbekli Tepe

Das zweite Beispiel stammt aus der Feder von Martin Sweatman und Dimitrios Tsikritsis. Das Paper (Sweatman & Tsikritsis 2017) sorgte, gelinde gesprochen, für kontroverse Reaktionen (siehe z.B. Notroff, Dietrich, et al. 2017). Sweatman's Hypothese, die er in einem späteren Paper (Sweatman & Coombs 2019) noch ausbaute, besagt im Grundsatz, dass eine Vielzahl paläolithischer und neolithischer Kunstwerke als »Kalendermarker« gelesen werden können. Die in Chauvet, Lascaux, Göbekli Tepe, Çatalhöyük, etc. abgebildeten »Sternbilder« markieren die Position der Sonne zu den Äquinoktien und Sonnenwenden, und erlauben damit eine genaue Datierung historisch wichtiger Ereignisse, namentlich der Einschläge von Kometenfragmenten kurz vor Entstehung der jeweiligen Monumente. Die Probleme mit dieser Hypothese sind zahlreich. Die Idee, dass zum Ende der Jüngeren Dryas auf der Nordhalbkugel ein Impakt oder Airburst eines Kometenfragments stattfand, ist umstritten, aber wohl trotzdem noch der solideste Pfeiler der Hypothese¹⁰. Weiter stellt sich auch die Frage, warum die Urheber der jeweiligen »Aufzeichnungen« überhaupt ein Interesse daran gehabt haben sollten, das Datum eines Ereignisses festzuhalten, dessen Auswirkungen sie zweifellos nach gewisser Zeit gespürt hätten, das sie aber selbst nicht kausal mit einem astronomischen Ereignis hätten in Verbindung bringen könnten¹¹. Weder die Jüngeren-Dryas-Hypothese noch die darauf aufbauenden »Kalender«-Hypothese von Sweatman sollen hier weiter diskutiert werden. Dies ist bereits zur Genüge geschehen und ebenfalls ausserhalb des Scopes. Stattdessen soll das Augenmerk auf Sweatmans Identifikation von Sternbildern auf den Relief-Pfeilern von Göbekli Tepe liegen, da dieses Beispiel gut das Problem mit solchen subjektiven Identifikationen aufzeigt und hoffentlich auch, wie mein Programm solche Probleme zu lösen vermag.

1.6.1.3 Himmelscheibe von Nebra

Vermutlich eine der berühmtesten prähistorischen Himmelsdarstellung und, nach heutigem Kenntnisstand auch die früheste konkrete Darstellung des tatsächlich beobachteten Nachthimmels (Meller 2010, 59). Die Bronzescheibe misst 32 cm im Durchmesser (Meller 2010, 45) und ist mit zahlreichen Gold-Einlagen versehen, die augenscheinlich den Nachthimmel darstellen, mit Sichel- und Vollmond (oder Sonne?), Sternen, einer auffälligen Sternengruppe, einem »Himmelschiff« und Horizontbögen. Das Objekt hat eine bewegte Geschichte hinter sich,

¹⁰Siehe (van Hoesel, Hoek, et al. 2014) oder auch den Wikipedia-Artikel zu »Younger Dryas Impact Hypothesis« für eine Übersicht.

¹¹ Die vermutete Einschlagstelle des Jüngeren-Dryas-Ereignis liegt in Grönland.



Abbildung 11: Fünf Phasen der Himmelskarte von Nebrā

sowohl vor seiner Niederlegung als auch nach seinem Fund. Nach der Anfertigung im 18. Jahrhundert BC (Meller 2010, 62) zeigte die Scheibe lediglich 32 Sterne, eine Mondsichel sowie den Vollmond/die Sonne. Im Zuge von vier Umarbeitungsphasen (siehe Abbildung 11) wurden dann Sterne versetzt und entfernt, die Horizontbögen und das Himmelsschiff wurden angebracht, die Scheibe wurde gelocht und schliesslich wurde einer der Horizontbögen entfernt, bevor die Scheibe auf dem Mittelberg nahe der heutigen Stadt Nebrā (Sachsen-Anhalt) vergraben wurde. (Meller 2010 Abb. 16)

Im Juli 1999 (Meller 2010, 34) wurden die Scheibe sowie ein dazugehöriger Hort weiterer Stücke durch Raubgräber gefunden. Es folgte eine mehrere Jahre dauernde Odyssee, an deren Ende die Scheibe 2002, zusammen mit einigen weiteren Stücken, im Hilton Hotel in Basel durch die Polizei beschlagnahmt werden konnte. (Meller 2010, 24–31)

Von den 32 Sternen, die ursprünglich auf der Scheibe angebracht wurden, wird generell nur eine Gruppe von sieben Sternen als Teil einer tatsächlichen Konstellation, der Plejaden, gedeutet. Die restlichen Sterne wurden vermutlich gleichmässig auf der Scheibe verteilt, könnten jedoch möglicherweise eine Zeitdauer von 32 Tagen oder 32 Jahren symbolisieren (Meller 2010, 60). Die These, dass 25 der Sterne keinem realen Vorbild folgen, können wir prüfen.

1.6.1.4 Neo-Assyrische Sternenkarte

Die mesopotamische¹² Abstammung moderner, westlicher Sternbilder wurde bereits in Kapitel 1.6.1.1 kurz angesprochen. Betrachtet man eine Auswahl mesopotamischer Konstellationen, so fällt auf, dass einige der Namen praktisch 1:1 den modernen IAU-Bezeichnungen entsprechen.

Transliteration	Übersetzung	Moderne Entsprechung
Mul.Mul	The Stars	Plejaden
^{mul} GALENA	The Bull of Heaven	Taurus
^{mul} SIPA.ZI.AN.NA	The True Shepherd of Anu	Orion
^{mul} SU.GI	The Old Man	Perseus
^{mul} GAM	The Crook	Auriga
^{mul} MAS.TAB.BAGAL.GAL	The Great Twins	Gemini
^{mul} AL.LUL	The Crab	Cancer
^{mul} UR.GU.LA	The Lion	Leo
^{mul} AB.SIN	The Furrow	Virgo
^{mul} Zi-ba-ni-tu	The Scales	Libra
^{mul} GIR.TAB	The Scorpion	Scorpio
^{mul} Pa-bil-sag	The God Pabilsag	Sagittarius

¹² Die Bezeichnung »mesopotamisch« wird im Folgenden als Überbegriff für zahlreiche verwandte, aber nicht identische Kulturen und Sprachen verwendet. Eine eingehende Diskussion der Unterschiede zwischen assyrischer, sumerischer und akkadischer Sprache ginge an dieser Stelle zu weit.

^{mul} SUHUR.MAS	The Goat-Fish	Capricorn
^{mul} GU-LA	The Great One	Aquarius
^{mul} KUN mes	The Tails	Pisces
^{mul} SIM.MAH	The Swallow	SW Pisces
^{mul} A-nu-ni-tu	The Goddess Anunitu	-
^{mul} HUN-GA	The Hired Man	Aries

Tabelle 1: 18 Mesopotamische Konstellationen mit ihren modernen Entsprechungen ((nach Campion 2000, 532 und; Hunger & Steele 2018)

Solche Übersetzungen täuschen jedoch eine Eindeutigkeit vor, die so nicht unbedingt existiert. Zum Beispiel bezeichnet »GALENA«/ »GAL.AN.NA«/»*alû*« wohl tatsächlich einen Stier. Zwar ist das akkadische Wort für einen Stier »*lû*« (von Soden 1965, 560), aber Abbildungen von »*alû*« zeigen tatsächlich eine gehörnte Kreatur, die unmissverständlich als Stier interpretiert werden kann (Black, Green, et al. 1992 Abb. 159). Andererseits bezeichnet »UR.GU.LA« oder »*urgulû*« in der »Alltagssprache« einen Hund (von Soden 1974, 1429) und nicht einen Löwen (»*lābu*« (von Soden 1965, 526)). Die Zuordnung von mesopotamischen Konstellationen muss also erst anhand astronomischer Eigenschaften (z.B. Aufgangszeitpunkt an einem bestimmten Tag) erfolgen, erst dann können die Namen übersetzt werden.

Eine andere Möglichkeit wäre die Identifikation tatsächlicher Darstellungen von Konstellation auf mesopotamischen Aufzeichnungen und die anschließende Korrelation mit ihren jeweiligen Namen. Solche Darstellungen sind leider nicht besonders zahlreich. Eine bemerkenswerte Ausnahme stellt das Tablet K.8538 aus der Bibliothek Assurbanipals dar, heute in der Sammlung des British Museum (Abbildung 12). Die runde Tontafel, etwa 14 cm im Durchmesser, stellt den Sternhimmel dar, wie er im Januar 650 BC von der Stadt Ninive (heute Irak) aus gesehen werden konnte. Ein rechteckiges Muster in einem der Sektoren wurde als Abbildung des Sternbildes »*Gemini*« (Zwillinge) interpretiert («Tablet K.8538», The British Museum). An



Abbildung 12: Tablet K.8538

dieser Interpretation ist nichts auszusetzen. Aber dieses Stück eignet sich trotzdem als gutes Beispiel, wie Darstellungen mesopotamischer Konstellationen möglicherweise mithilfe des hier vorgestellten Programms identifiziert werden können.

1.6.2 Anwendung des Programms auf bestehende und eigene Hypothesen

In diesem Kapitel wird anhand der zuvor diskutierten Fälle beispielhaft gezeigt, wie »Ten to Chi« angewendet werden kann und wie die Resultate zu interpretieren sind. Für eine genauere Erklärung der Funktionsweise siehe Kapitel 2.3.

1.6.2.1 Salle des Taureaux, Lascaux

Auf dem Bild des Aurochs von Lascaux, der dem Sternbild Taurus und den Plejaden entsprechen soll, wurden vier Sterne-Marker gesetzt (vergl. Seite 28). Die »Plejaden« oben rechts wurden nicht mit einzelnen markiert, da eine so enge Gruppe von Markern im »Rauschen« der anschließenden Analyse untergehen würde und das Risiko von »false negatives« erhöht. Ob diese Verteilung von Markern sinnvoll ist, mag diskutabel sein. Darin liegt jedoch eine Stärke von Ten to Chi: Abweichende Meinungen und Interpretationen können schnell und mit wenig Aufwand überprüft und verglichen werden, indem ein neues Muster erstellt wird. Für die Sternenkarte (vergl. Seite 30) wurde ein Alter von 18'000 Jahren (Geneste 2015) und eine geografische Breite von 45°N gewählt. Die erlaubte Abweichung wurde auf dem Standard-Wert von 3.9 und 0.4 belassen. Die gesamte Ausgabe-Datei kann im Appendix A oder im digitalen Begleitmaterial eingesehen werden. Als Beispiel soll lediglich das einzelne Resultat, welches in beiden Kategorien auftaucht:

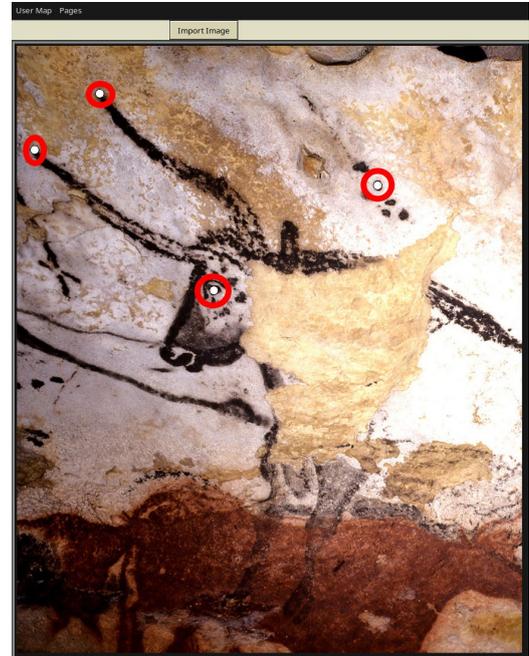


Abbildung 13: Beispiel-Muster basierend auf dem Aurochs in Lascaux

```
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08872395734893046, 'Diff_a': 0.01855104829985521, 'Marker 1': '43109', 'Marker 2': '33347', 'Marker 3': '37229', 'Marker 4': '52943' }
```

Dieses Resultat bedeutet, dass die Sterne HIP 43109, HIP 33347, HIP 37229 und HIP 52943 zusammen ungefähr das erstellte Muster widerspiegeln. Dieses Resultat kann nun in einer beliebigen Astronomie-Software visualisiert werden (siehe Abbildung 14). In diesem Fall liegt keiner dieser Treffer im Sternbild *Taurus*. Vor 18'000 Jahren hätte der Himmel natürlich etwas anders ausgesehen als in Abbildung 14. Eine genauere Simulation des Himmels unter den korrekten Parametern würde sich aber nur bei einem vermuteten *positiven* Treffer lohnen.



Abbildung 14: Die vier Treffer aus Beispiel 1 (Grafik aus der Anwendung »Stellarium Web«)

1.6.2.2 Göbekli Tepe

Für das Beispiel Göbekli Tepe wurde das Relief des Skorpions gewählt, welches von Sweatman mit dem gleichnamigen Sternbild assoziiert wird. Die Punkte wurden wie folgt gesetzt:

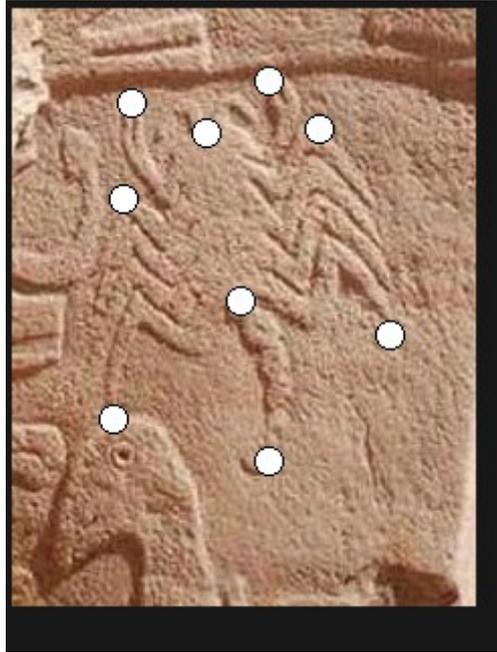


Abbildung 15: Beispiel-Muster basierend auf dem Skorpion-Relief in Göbekli Tepe

Für die Sternenkarte wurden ein Alter von 11'000 Jahren (Schmidt 2016) und eine geografische Breite von 37°N gewählt. Da dieses Muster sehr viel komplexer ist, wurde nur ein Treffer ausgegeben (siehe Appendix B):

```
{'Matches': 7, 'Diff_d': 11.229654955504675, 'Diff_a': 2.135235929409724, 'Marker 1': '51069', 'Marker 2': '38170', 'Marker 8': '49641', 'Marker 6': '59803', 'Marker 7': '43234', 'Marker 9': '58948', 'Marker 4': '53954', 'Marker 5': '53954', 'Marker 3': '62896'}
```

Am Himmel markiert:



Abbildung 16: Die acht Treffer aus Beispiel 2 (Grafik aus der Anwendung »Stellarium Web«)

Auch hier liegt keiner der Treffer im Sternbild *Scorpio* und die Sterne verteilen sich auf ein äusserst grosses Gebiet des Nachthimmels.

Diese Resultate soll nicht als eindeutige Gegenbeweis der jeweiligen Hypothese angesehen werden. Es ist lediglich ein Beispiel, wie das Programm zur Überprüfung solcher und ähnlicher Hypothesen angewendet werden kann. In beiden Fällen zeigt sich einerseits, dass die Vorbilder keineswegs objektiv als Sternbilder interpretiert werden können, da die Marker relativ willkürlich gesetzt werden können. Andererseits kommen, infolgedessen, auch zahlreiche andere Interpretationen infrage, *selbst wenn* die jeweiligen Abbildungen tatsächlich Sternen-Konstellationen zeigen. Die Zuweisungen sind also keineswegs so eindeutig, wie z.B. Sweatman behauptet (Sweatman & Tsikritsis 2017, 245).

1.6.2.3 Himmelscheibe von Nebra

Die Position der Marker für die Himmelscheibe ist relativ offensichtlich, da in diesem Fall ein tatsächliches Punktmuster vorliegt:

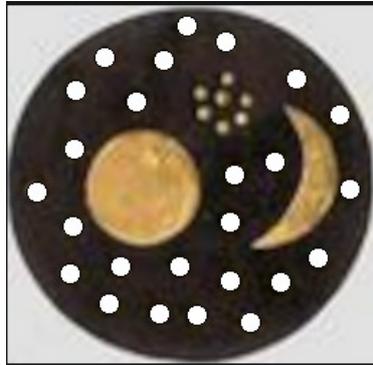


Abbildung 17: Beispiel-Muster basierend auf der Himmelscheibe von Nebra, Phase 1

Die Plejaden wurden hier bewusst ausgeklammert, aus ähnlichen Gründen, die bereits weiter oben, in Kapitel 1.6.1.1 erläutert wurden.

Für die Sternenkarte wurde ein Alter von 3000 Jahren gewählt (Meller 2010, 62). Auch 4000 Jahre wäre hier möglich gewesen, eine Differenz von nur 1000 Jahren beeinflusst das Resultat kaum. Die geografische Breite wurde auf 51°N gesetzt, der Position der heutigen Stadt Nebra, in deren Nähe die Himmelscheibe gefunden wurde.

Eine Suche mit einer Unschärfe von 3.9 und 0.4 ergab keine Treffer. Die Annahme, dass die 25 Sternen, die nicht die Plejaden darstellen, mehr oder weniger zufällig verteilt wurden, scheint also zuzutreffen.

1.6.2.4 Neo-Assyrische Sternenkarte

Für die Analyse der Sternenkarte aus Ninive wurde ebenfalls ein Alter von 3000 Jahren gewählt (Meller 2010, 62) und eine geografische Breite von 36°N. Die Punkte wurden wie folgt gesetzt:



Abbildung 18: Beispiel-Muster basierend auf Tablet K.8538

Die Suche ergibt vier Resultate (siehe Appendix C), mit dem folgenden besten Treffer:

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 4.7203341335373645, 'Diff_a': 1.2869851481468118, 'Marker 1': '91971', 'Marker 2': '88886', 'Marker 5': '92791', 'Marker 7': '100453', 'Marker 3': '97365', 'Marker 8': '102453', 'Marker 6': '105138', 'Marker 4': '102532'}
```

Am Himmel markiert:



Abbildung 19: Acht Treffer aus Beispiel 4, Resultat 1 (Grafik aus der Anwendung »Stellarium Web«)

Keines der vier Resultate liegt in der Nähe von »*Gemini*«. Wie bereits erwähnt, ist an dieser Interpretation trotzdem nichts auszusetzen, auch wenn sie an dieser Stelle nicht genau nachvollzogen werden kann, da die vom British Museum erwähnte Originalquelle etwas schwierig aufzufinden ist. Es ist ausserdem anzunehmen, dass eine realitätsgetreue Darstellung, unter genauer Einhaltung der relativen Abstände und Winkel, für Tablet K.8538 keine Rolle spielte und das entsprechende Sternbild hier eher oberflächlich, z.B. als Navigationshilfe am Himmel dargestellt wurde.

2 Praxis

2.1 Theoretische Überlegungen

Die Schwierigkeit, ein gezeichnetes Sternbild am Himmel korrekt wieder zu finden, lässt sich am besten durch den umgekehrten Prozess veranschaulichen. Nehmen wir an, wir müssten ein Sternbild naturgetreu auf eine fixe Oberfläche, z.B. eine Mauer kopieren. Als Erstes stellt sich die Frage, wie wir es orientieren. Je näher wir uns am Äquator befinden, umso stärker scheinen sich Sternbilder im Verlauf der Nacht zu drehen. Ein Sternbild, welches im Osten »aufrecht« aufgeht, wird, vom Äquator aus gesehen, im Westen »kopfüber« untergehen. Sternbilder haben also, ausser an den Polen, keine fixe Orientierung. Was sie haben, ist eine fixe Grösse. Ihre Winkelausdehnung ist für jeden Beobachter dieselbe (die Grössen der 88 IAU-Sternbilder reicht von 1303 deg^2 (*Hydra*) bis 68 deg^2 (*Crux*) («Largest Constellations», Constellation Guide)), da alle Beobachter zu den Sternen praktisch denselben Abstand haben. Dies gilt jedoch nicht für Beobachter zu einer Mauer. Je näher, desto grösser die Winkelausdehnung unserer Kopie. Ein Beobachter mit der Nase gegen die Mauer gedrückt, wird eine Winkelausdehnung von rund 180° wahrnehmen.

Wenn wir also das Muster, welches wir auf die Mauer gemalt haben, am Himmel suchen möchten, wissen wir nicht, wie gross die »Vorlage« ist. Diese Einschränkung unterscheidet unser Problem grundlegend von der Astronavigation. Auf den ersten Blick wurde das Problem der Muster-Erkennung am Sternenhimmel z.B. bereits 1993 im Artikel »An Application of Point Pattern Matching in Astronautics« (Weber, Knipping, et al. 1994) angegangen, in welchem die Technik zur Lagebestimmung von Raumfahrzeugen eingesetzt werden sollte. Der darin besprochene Ansatz ist robust und algorithmisch schnell, setzt jedoch voraus, dass die Winkelausdehnung des Musters im Sichtfeld der Kamera bekannt ist (Weber, Knipping, et al. 1994, 323) und eignet sich daher nicht für unsere Anwendung.

Das Problem kann jedoch gelöst werden, wenn wir Längen nicht als absolut betrachten, sondern als relativ zueinander.

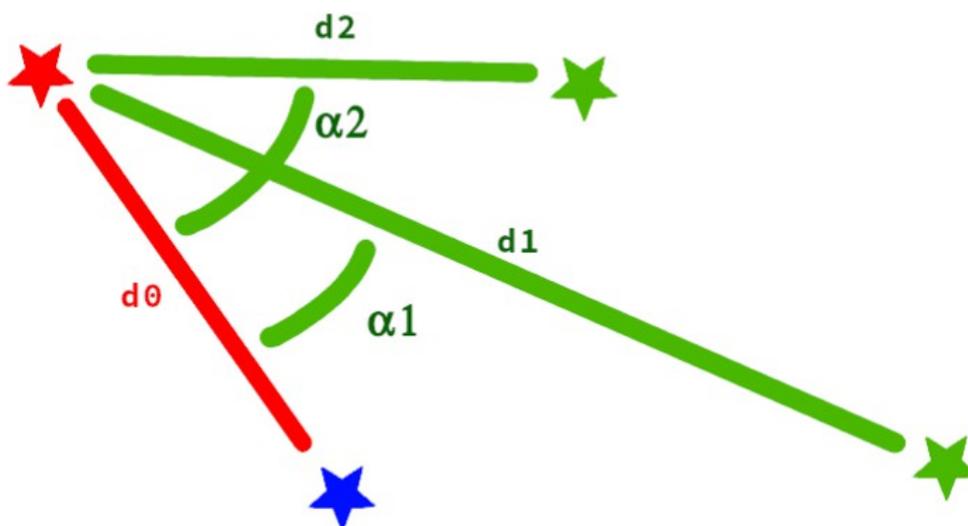


Abbildung 20: Vereinfachte Beispiel-Darstellung

In Abbildung 20 wird das Prinzip dargestellt. Wir beginnen mit der Wahl zweier Punkte »Master« und »Normalizer« (rot und blau). Der Abstand zwischen ihnen sei d_0 . Für d_0 bis d_2 berechnen wir nun r_0 bis r_2 wie folgt:

$$r_x = \frac{d_x}{d_0}$$

Somit spielt es keine Rolle mehr, wie lang d_0 für individuelle Beobachter tatsächlich ist, denn r_0 ist immer 1 und alle r sind dimensionslos und werden im Verhältnis zu d_0 ausgedrückt¹³.

Dasselbe Verfahren wird nun für jeden in Betracht gezogenen Stern am Himmel wiederholt. Der Abstand zwischen zwei Punkten am Himmel berechnet sich wie folgt:

$$d = \cos^{-1} \left[\sin(\delta_1) \sin(\delta_2) + \cos(\delta_1) \cos(\delta_2) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \right]$$

Wobei α für die Rektaszension steht, δ für die Deklination. Die Formel liefert ein Resultat in Grad (Winkelabstand), da der Himmel eine nicht-euklidische, gekrümmte Fläche ist, das Nutzer-Muster dagegen ist flach und euklidisch. Dies spielt jedoch nach der obigen Umrechnung keine Rolle mehr da, wie erwähnt, alle r dimensionslos sind. Hat r_1 im Beispiel also eine Länge von 1.3, dann müsste ein Stern vom gewählten »Master«-Stern ebenfalls einen Abstand von 1.3 (+/- Fehlertoleranz) haben. Alle möglichen Punkte, die damit infrage kommen, bilden einen Kreis. Um eine eindeutige Lösung zu erhalten, muss ein ähnliches Verfahren auch auf die Winkel zwischen d_0 und d_x angewendet werden. Dazu wird erst die Peilung zwischen »Master« und allen anderen Sternen berechnet, welches nach folgenden Formeln geschieht («Calculating the Bearing between two geospatial coordinates», towards data science):

$$x = \cos(\delta_2) \sin(\alpha_2 - \alpha_1)$$

$$y = \cos(\delta_1) \sin(\delta_2) - \sin(\delta_1) \cos(\delta_2) \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

$$\theta = \arctan(x, y)$$

Der Winkel zwischen zwei d ist somit die Differenz zwischen der Peilung von »Master« zu »Normalizer« und »Master« zu Ziel. Jedem »Ziel« sind nun somit zwei Werte, Abstand und Richtung, zugewiesen, was eine eindeutige Identifikation erlaubt. Von einem »Master«-Stern

¹³ Mathematisch gesehen wird r_0 zum Einheitsvektor.

aus gesehen, muss also im Abstand d und in Richtung α ein Stern existieren, um als Treffer zu gelten. Kann für jeden gewählten Punkt auf der Vorlage ein Stern in korrekter Entfernung und Richtung gefunden werden, gilt das Muster als am Sternenhimmel »gefunden«.

Diese Methode ist unabhängig von der Grösse der Vorlage und von der Orientierung des Musters am Himmel.

2.2 Wahl der Programmiersprache

»Ten to Chi« ist in Python geschrieben. Der primäre Grund dafür ist, dass der Autor mit dieser Sprache bereits vertraut war. Einige Eigenschaften von Python machen es aber auch aus objektiver Sicht für einfache Programm-Entwicklung durch »Laien« interessant (siehe auch »History of Python«, GeeksforGeeks). Beim Design von Python spielte besonders einfache Les- und Schreibbarkeit eine Rolle, d.h. der Syntax von Python ist viel näher an natürlicher Sprache, als dies z.B. bei Java der Fall ist. Damit lässt sich die Sprache nicht nur einfacher erlernen, Programme lassen sich in der Regel auch schneller und effizienter schreiben, Ideen müssen nicht erst in eine unintuitive Form »übersetzt« werden. Sollten die bereits in den Standard-Bibliotheken vorhandenen Funktionen für ein Projekt nicht genügen, lässt sich Python mit der Installation und/oder dem Import von sog. Modulen leicht erweitern. Gerade für Data-Science stehen mit Modulen wie »numpy« umfangreiche Bibliotheken zur Verfügung¹⁴. Zuletzt ist auch die Popularität von Python ein grosses Plus. Online und in Büchern stehen unzählige Tutorials für jede erdenkliche Anwendung der Sprache zur Verfügung. Bei Fehlern und Problemen reicht meist eine kurze Google-Suche aus, um eine vergleichbare Fragestellung in einem Forum und eine entsprechende Lösung zu finden.

Python weist jedoch auch einige Einschränkungen und Idiosynkrasien auf. So scheinen Python 3 und Python 2 zwar Versionen derselben Sprache zu sein, tatsächlich sind sie aber nicht kompatibel. Ältere Anleitungen lassen sich deswegen nicht oder nur sehr begrenzt umsetzen. Weiter ist das Erstellen von grafischen Benutzeroberflächen (GUIs) ist keine primäre Anwendung von Python. Viele Python-Programme laufen lediglich aus der Befehlszeile und erhalten ihre Funktionsparameter z.B. aus externen Dateien. Das native Modul »tkinter« erlaubt zwar das Erstellen von GUIs, aber bereits die Implementation z.B. von mehrseitigen GUIs, ist nicht nativ unterstützt und daher relativ umständlich. Soll ein Programm nur intern, von »Eingeweihten« verwendet werden, ist die Beschränkung auf die Befehlszeile akzeptabel, da hier aber der Anspruch bestand, das Programm zu veröffentlichen, war ein GUI notwendig. Eine weitere Komplikation entsteht bei Verwendung des Moduls »shelve«, verantwortlich für das Speichern von Daten. Welche Datenbank-Struktur dafür verwendet wird, hängt jedoch von der Umgebung ab, in welcher das Programm läuft («shelve - Restrictions», Python 3.9.5 documentation Python 3.9.5 documentation). Dies kann zu uneinheitlicher Datei-Struktur führen, was gerade beim erneuten Import der Daten in ein Programm zu Schwierigkeiten führt.

¹⁴ Dieses Modul wird zwar in der finalen Version dieses Programms nicht verwendet, war aber Teil der ersten Prototypen.

2.3 Benutzungsanleitung

Das Programm startet in der unten gezeigten Ansicht (Details können sich je nach Betriebssystem unterscheiden).

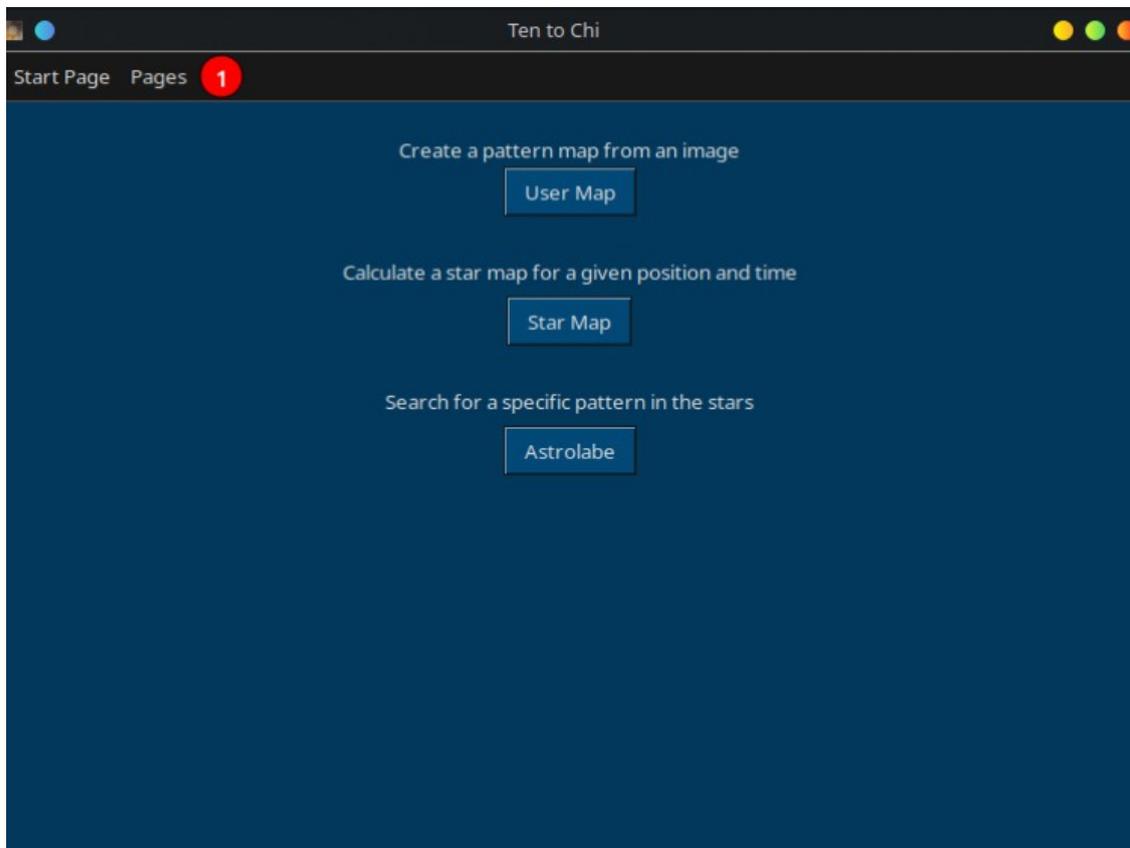


Abbildung 21: Start-Ansicht

Die drei Schaltflächen navigieren zu den drei Arbeitsbereichen des Programms (siehe unten). Von jedem dieser Bereiche aus kann auch über den Menüeintrag »Pages« ① navigiert werden.

Der erste Menü-Eintrag öffnet folgende Ansicht:



Abbildung 22: »User Map«-Ansicht

In diesem Bereich wird die »User Map« erstellt, also jenes Muster, welches in einem späteren Schritt mit dem Sternenhimmel abgeglichen werden soll. Die Vorlage in Form gängiger Grafik-Formate¹⁵ wird über die Schaltfläche »Import Image« ① hinzugefügt. Diese öffnet einen File-Explorer, der je nach verwendetem Betriebssystem unterschiedlich aussieht. Nach Import einer Abbildung sieht die Arbeitsfläche etwa wie folgt aus:

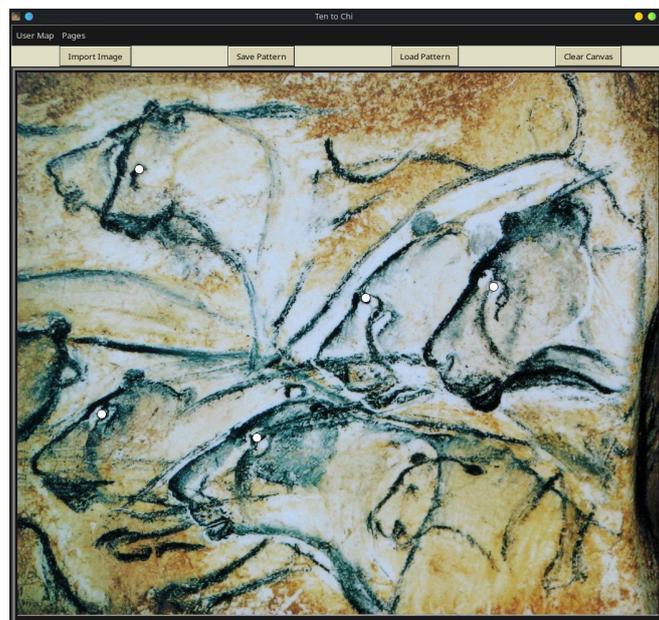


Abbildung 23: Arbeitsfläche mit Beispiel-Bild

¹⁵ Die Auswahl von Formaten ist im Code auf die Formate *.jpg/*.jpeg und *.png limitiert. Jedoch sollten auch andere Formate unterstützt sein, die ggf. in einer zukünftigen Version »freigeschalten« werden, bisher aber nicht getestet wurden.

Die importierte Grafik wird zwar automatisch in ihrer Grösse reduziert, es kann jedoch ggf. trotzdem notwendig sein, das Fenster manuell zu vergrössern, um das gesamte Bild sichtbar zu machen.

Mit der linken Maustaste können nun »Marker« hinzugefügt werden. Diese Marker bilden zusammen das Muster, welches später mit dem Sternenhimmel verglichen wird. Gesetzte Marker erscheinen als kleine, weisse Kreise auf der Arbeitsfläche (vergl. Abbildung 23). Marker können mit der rechten Maustaste wieder entfernt werden. Alternativ entfernt die Schaltfläche »Clear Canvas« ④ (Abbildung 22) alle Marker (nicht jedoch die Hintergrundgrafik). Ein fertiges Muster, inklusive der dazugehörigen Abbildung, kann mit der Schaltfläche »Save Pattern« ② gespeichert werden. Ein bereits erzeugtes File kann mit »Load Pattern« ③ erneut angezeigt werden.

Bei der Erstellung eines Musters sollte beachtet werden, dass »false positives« umso unwahrscheinlicher werden, je komplexer und »eindeutiger« das Muster ist. Ein durch drei Marker definiertes Dreieck, zum Beispiel, würde vermutlich Dutzende vermeidliche »Treffer« liefern, da sich am Sternenhimmel unzählige Dreiecke mit ähnlichen Verhältnissen von Winkeln und Seitenlängen finden.

Umgekehrt kann ein Muster auch zu komplex sein, da für jeden Marker auch ein Stern gefunden werden muss. So würde zum Beispiel eine Nachzeichnung des Orion auch mit nur anhand der sieben prominentesten Sterne gefunden werden, eine Einzeichnung des »Schwertes« wäre lediglich eine zusätzliche Fehlerquelle, die Chancen eines Treffers würden aber kaum merklich erhöht.

Der nächste Schritt ist das Erstellen einer Sternenkarte unter dem Menü-Punkt »Star Map«.

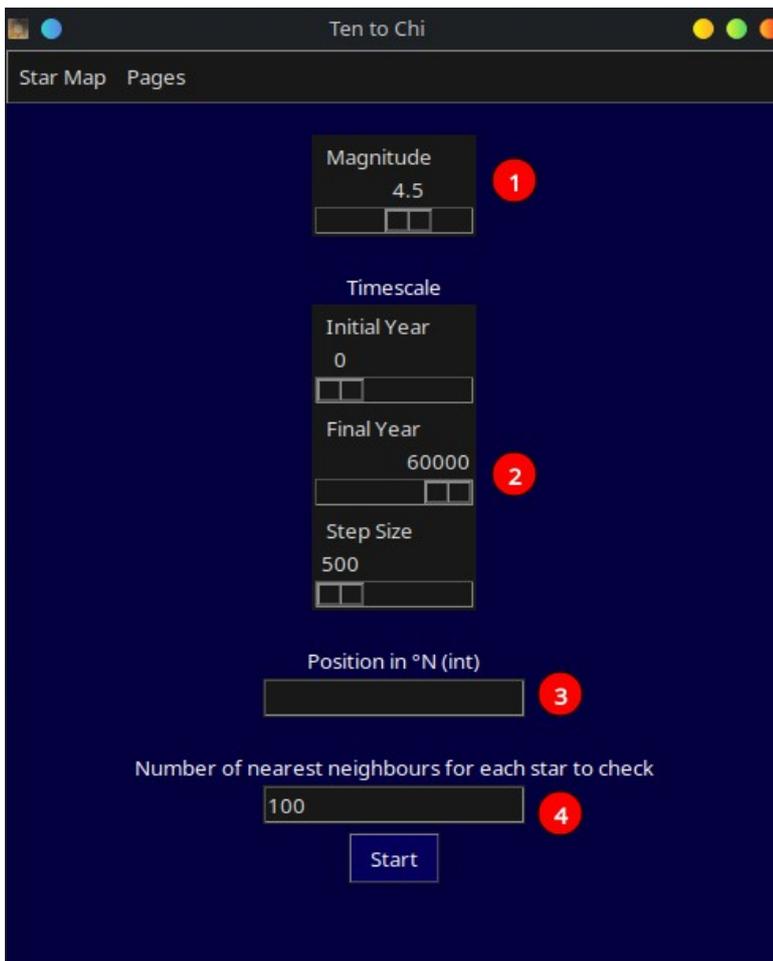


Abbildung 24: »Star Map«-Ansicht

In dieser Ansicht wird die »Sternenkarte« erstellt, mit welcher das zuvor kreierte Muster verglichen werden soll. Dies ist nötig, da der Sternenhimmel, der im Verlauf eines Jahres sichtbar ist, nicht für jede geografische Breite identisch ist (vergl. Fussnote 2, Seite 3). Des Weiteren verändern sich über lange Zeiträume auch die relativen Positionen der Sterne zueinander (siehe Kapitel 2.4, Punkt 2).

Mit dem Schiebe-Regler ① kann die minimale scheinbare Magnitude, also die geringste scheinbare Helligkeit, der in Betracht gezogenen Sterne angepasst werden. Die Skala ist umgekehrt logarithmisch, d.h. hellere Sterne haben einen *kleineren* Wert! Der hellste heute sichtbare Stern (neben der Sonne) ist der Sirius (*α Canis Majoris*) mit einer scheinbaren Helligkeit von $m = -1.46$. Eine minimale Helligkeit von $m = 4.5$ umfasst ~ 1000 Sterne (am gesamten Sternenhimmel). Das menschliche Auge vermag, unter perfekten Bedingungen, Sterne

bis zu einer Helligkeit von $m = 6.5$ wahrzunehmen, dies ist daher auch der minimale einstellbare Wert. Der maximale Wert beträgt $m = 1.0$, eine Helligkeit, die nur etwa 15 Sterne erreichen («The 50 Brightest Stars», esa hipparcos).

Wie hell ein Stern sein muss, um als »Hauptstern« einer Konstellation angesehen zu werden¹⁶, ist nicht genau definierbar. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass Sterne, die selbst am dunklen, paläolithischen Nachthimmel kaum sichtbar gewesen wären, als zu einem Sternbild gehörig gesehen wurden. Bei Tests des Programms hat sich jedoch eine Minimal-Helligkeit von $m = 4.5$ als guter Kompromiss erwiesen. Es stehen genug Sterne für repräsentative Resultate zur Verfügung, die resultierende Dateien-Grösse bleibt aber auch vernünftig.

Das nächste Set von Reglern ② definiert den Zeitraum, für den Sternenkarten erstellt werden sollen. Die ersten beiden Regler bestimmen den Start- und Endzeitpunkt in Jahren vor heute, der Dritte die Schrittgrösse dazwischen. Für eine Einstellung von 2000; 6000; 2000 würden also drei separate Karten erstellt, für die Jahre 2000 BP, 4000 BP, und 6000 BP. Um nur eine Karte für ein Datum zu erstellen, kann das gewünschte Datum mit dem oberen Regler festgelegt werden. Wird der zweite Regler dann ganz nach links geschoben, setzt sich die Schrittgrösse automatisch auf 0, womit nur eine Karte erstellt wird (siehe Abbildung 25).

¹⁶ Genau genommen gehören alle Sterne zu einem »flächigen« Sternbild, vergl. Kapitel 1.3

Im Feld ③ wird die geografische Breite des hypothetischen Beobachters festgelegt. Es sind lediglich ganze Zahlen und nördliche Breiten¹⁷ erlaubt. Für die Stadt Basel würde also z.B. ein Wert von 47 oder 48 eingetragen (je nach Rundung).

Im Feld ④ wird definiert, wie viele Nachbarn jedes Sterns in die Berechnungen mit einfließen (siehe Kapitel 2.4 für eine genauere Erklärung dieses Wertes). Dieser Wert ist theoretisch frei wählbar. Natürlich muss er grösser sein, als die Anzahl der im vorherigen Schritt gesetzten Marker. Auch ein Wert $> n_{\text{Sterne}} - 1$ ist nicht sinnvoll. Wird unter ① also z.B. ein Wert von 4.5 festgelegt, werden rund 1'000 Sterne berücksichtigt. Jeder Stern kann also maximal $1'000 - 1 = 999$ Nachbarn haben. Ein so grosser Wert ist jedoch so wie so nicht zu empfehlen. Der vorgegebene Wert von 100 hat sich als praktikabel erwiesen. Er umfasst in der Regel einen ausreichend grossen Abschnitt um jeden Stern, der als Teil eines Sternbildes gesehen werden könnte, ist jedoch auch nicht so gross, dass eine Berechnung nicht mehr möglich ist. Es ist dringend davon abzuraten, diesen Wert deutlich zu erhöhen. Bereits ein Wert von 100 kann im nächsten Schritt mehr als 12 GB Arbeitsspeicher belegen, was selbst den verbauten Arbeitsspeicher in modernen Laptops übersteigt.

Mit Klick auf »Start« wird die Berechnung der Sternenkarten gestartet. Die Dauer dieser Berechnungen hängt stark von den verfügbaren System-Ressourcen ab. Auf dem Test-System betrug die Rechenzeit pro Karte etwa (!) 20 Sekunden. Besonders auf mobilen Systemen kann dieser Wert höher ausfallen. Die Grösse der resultierenden Dateien ist abhängig von den eingestellten Werten, kann insgesamt mehrere 100 MB betragen.

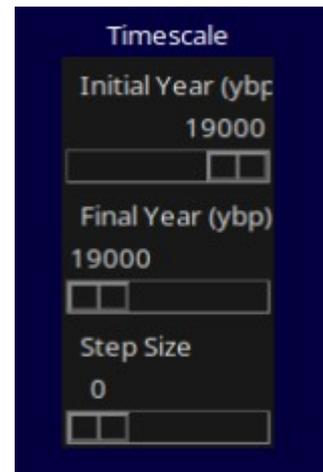


Abbildung 25: Beispielseinstellung für eine einzige Karte um 19'000 BP

¹⁷ Der zugrunde liegende Sternenkatalog umfasst alle Sterne, also auch jene am Südhimmel. Jedoch unterscheidet sich die Formel für die Berechnung der Sichtbarkeit am Südhimmel. In einer zukünftigen Version wird diese Einschränkung möglicherweise entfernt.

Als Nächstes können die eingegebenen Muster mit den Sternenkarten verglichen werden. Das auf Seite 28 erstellte Muster kann unter ① ausgewählt werden, eine Sternenkarte (Seite 30) unter ②. Die beiden Werte bei ③ beschreiben die erlaubten Abweichungen zwischen gesuchten und gefundenen Werten (von Länge bzw. Winkel). Je kleiner sie sind, desto genauer müssen Benutzer-Muster und Sternen-Konstellationen übereinstimmen. Je kleiner die Werte, desto grösser das Risiko für »false negatives«, also dass eigentliche Treffer nicht erkannt werden. Je grösser die Werte, desto grösser hingegen das Risiko für »false positives«, also für Treffer, die eigentlich gar keine sind.

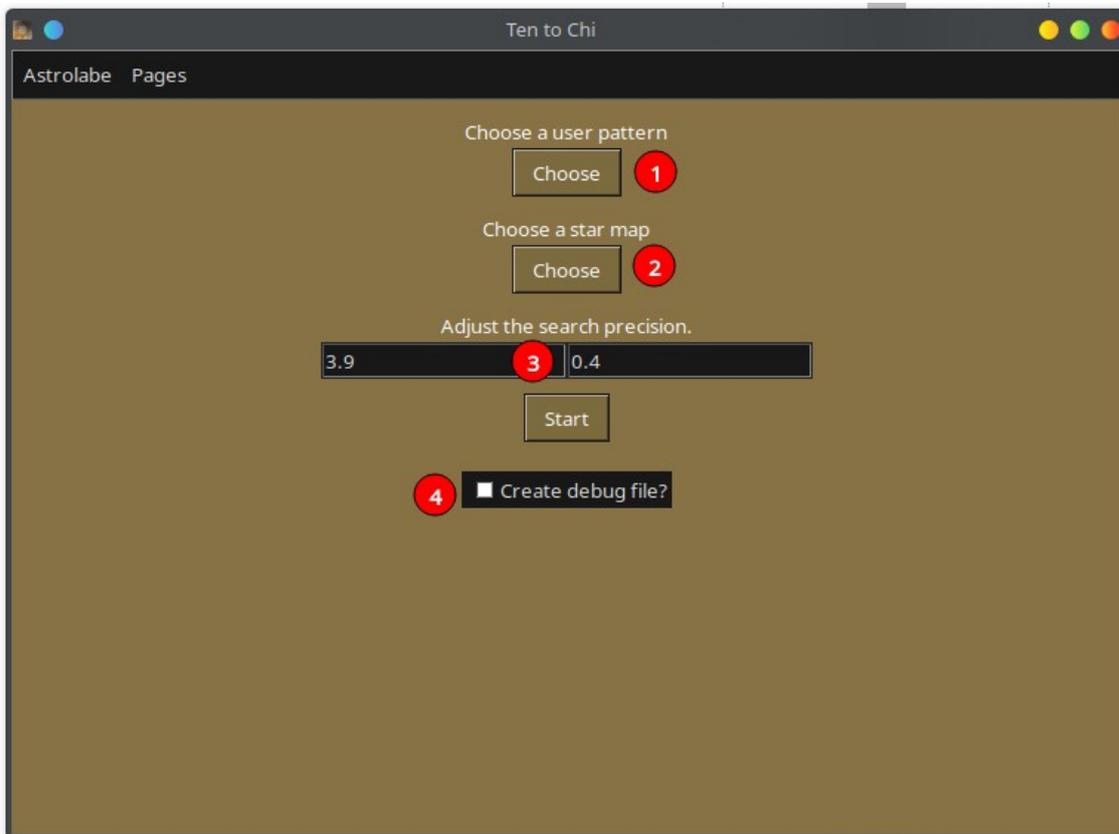


Abbildung 26: »Astrolabe«-Ansicht

Die Standard-Werte, die bereits angezeigt werden, wurden nach »trial and error« ermittelt. Abbildungen moderner Sternbilder wurden also Grundlagen für Punktmuster genutzt. Die Toleranz-Werte wurden dann immer weiter erhöht, bis das gesuchte Sternbild auch tatsächlich gefunden wurde. Sie stellen also die kleinsten möglichen Abweichungen dar, mit denen tatsächlich existierende Muster noch gefunden werden können. Eine Verkleinerung der Werte durch den Benutzer oder die Benutzerin ist also nicht zu empfehlen, eine Vergrößerung dagegen schon. Das Vorgehen dabei hängt davon ab, wie viel Aufwand und Zeit der Benutzer/die Benutzerin zu investieren bereit ist. So könnten z.B. die Werte so lange erhöht werden, bis ein Treffer gemeldet wird, woraufhin entschieden werden kann, ob das gefundene Muster noch ausreichende Ähnlichkeit mit dem anfänglichen Muster aufweist.

Die Schaltfläche ④ aktiviert ein Debug-file, in welchem Daten ausgegeben werden, die helfen können, unerwartete Resultate zu analysieren. Dies sollte im Normalbetrieb nicht nötig sein.

Die folgende Berechnung ist relativ Ressourcen-Intensiv. Ihre Dauer hängt von den in den vorherigen Schritten eingestellten Parametern ab. Wird eine Sternenkarte erstellt, die mehr als 1000 Sterne enthält, ist die folgende Berechnung möglicherweise für gängige Laptops und ältere PCs nicht mehr zu bewältigen. Für praktisch jede nützliche Anzahl an Sternen kann der

Prozess mehrere Minuten dauern, je langsamer der Computer-Prozessor¹⁸, desto länger. Der kritischere Flaschenhals ist der Arbeitsspeicher. Zu grosse Sternenkarten und zu wenig Arbeitsspeicher können zu einem Programm-Absturz führen.

Das Resultat wird einer txt-Datei ausgegeben, im selben Verzeichnis, in welchem das Programm läuft. Der Datei-Name folgt dabei dem Muster yyyy-mm-dd_n, wobei n ein laufender Zähler ist, der erhöht wird, wenn eine Datei mit demselben Namen bereits existiert. Die Datei kann (sollte) nach dem Erstellen vom Nutzer umbenannt und ggf. in ein anderes Arbeitsverzeichnis verschoben werden. Die in der Datei ausgegebenen Resultate sind nach folgendem Muster aufgebaut:

```
{ 'Matches':      6,      'Diff_d':      4.686752467482657,      'Diff_a':  
1.0975758435955, 'Marker 1': '28199', 'Marker 2': '33856', 'Mar-  
ker 7': '23685', 'Marker 3': '31592', 'Marker 4': '24305', 'Mar-  
ker 8': '25247', 'Marker 5': '24436', 'Marker 6': '25281' }
```

Jedes durch {} markierte Element stellt hierbei ein »Sternbild« dar, dessen relative Abmessungen und Winkel mit dem User-Muster mehr oder weniger genau übereinstimmen. »Diff_d« ist die summierte Abweichung von den relativen Längen im Muster, »Diff_a« analog dazu die Abweichung der relativen Winkel. Die Werte sind in Kapitel 2.4 detaillierter erklärt. Generell gilt, je kleiner diese Werte, desto besser die Übereinstimmung. Danach folgen die individuellen Übereinstimmungen zwischen gesetzten Markern und Sternen. Im obigen Beispiel korrespondiert Marker 1 mit dem Stern HIP 28199 (γ *Columbae*), Marker 2 mit HIP 33856 (σ *Canis Majoris*) usw.

Unter jeder der drei Überschriften werden jeweils die 30 besten Treffer angezeigt (idealerweise sollte die Anzahl der Treffer weit unter diesem Wert liegen). Unter »Sorted by distance-deviation« werden die Treffer nach »Diff_d«, also nach ihren Längen-Abweichungen sortiert. Die Sortierung unter »Sorted by angle-deviation« erfolgt analog dazu nach »Diff_a«, also nach der Winkel-Abweichung. »In both« ist die Schnittmenge dieser beiden Gruppen. Im besten Fall wird hier eine kleine Anzahl potenzieller Kandidaten angezeigt.

Siehe Appendix für die Beispiel-Ausgaben aus Kapitel 1.6.2.

¹⁸ Die relevante Grösse scheint die maximale Taktrate der individuellen Kerne zu sein, nicht die gesamte Leistung des CPU. Die Nutzung mehrerer Kerne wäre zwar besonders für diese Anwendung wünschenswert, stellt aber (in Python) eine nicht-triviale Aufgabe dar, die über den Umfang dieses Projekts und die Kenntnisse des Autors hinausgeht.

2.4 Funktionsweise

Die grundlegende Funktionsweise wurde bereits in Kapitel 2.1 besprochen. Dieses Verfahren wird per Code automatisiert und hundert- oder tausendfach durchgeführt und folgt dabei grob dem folgenden Ablauf:

1. Der/die Nutzer:in erstellt ein Muster anhand einer Vorlage (siehe Seite 28). Diese Daten werden mit dem Modul »pickle« gespeichert, als dictionary, der einerseits die Koordinaten¹⁹ und IDs der Marker, andererseits das Vorlagen-Bild enthält²⁰. Letzteres wird für die späteren Berechnungen nicht benötigt, kann so aber erneut geladen werden, wenn das Muster bearbeitet werden soll.
2. Die Sternendaten werden eingelesen. Die Daten stammen aus dem »Hipparcos Main Catalog« (European Space Agency 1997) und wurden durch das Hipparcos-Weltraumteleskop zwischen 1989 und 1993 gesammelt. Neben zahlreichen weiteren Daten, die für diese Verwendung nicht weiter von Interesse sind, enthält der Katalog auch sehr präzise Positionsdaten für über 120'000 Sterne, inklusive ihrer scheinbaren Eigenbewegung («The Mission - Hipparcos», Cosmos.ESA). Dies erlaubt, ihre Positionsänderung über einen bestimmten Zeitraum zu berechnen, indem einfach ihre jährliche Eigenbewegung mit der Anzahl Jahre multipliziert wird. Lediglich die benötigten Daten werden dann in ein neues dictionary-Objekt eingefügt. Jeder Stern wird also durch ein dictionary-Objekt dargestellt, welches als Werte die HIP-Nummer, die Magnitude, die heutigen Koordinaten, die Eigenbewegung, sowie die ehemaligen Koordinaten zum gewählten Zeitpunkt enthält. Jedes dieser Objekte wird dann in eine list geschrieben, *wenn* der Stern vom gewählten Ort aus sichtbar ist und heller als die minimale eingestellte Magnitude ist.
3. Für jeden Stern werden zu jedem anderen Stern Winkelabstand und Peilung berechnet, diese dann »normalisiert« (siehe Kapitel 2.1). Diesen Daten werden jeweils wieder in einem dictionary-Objekt gespeichert. Die ersten Schlüssel sind HIP-Nummern, die zugehörigen Daten wiederum dictionaries mit den Ziel-Sternen als Schlüssel und der Entfernung als Daten. Sinngemäss also etwa wie folgt:

```
{33018: {36850: 1.0, 37826: 1.3, 37740: 1.5}, 36850:  
{33018: 1.0, 37826: 1.7, 37740: 1.9}...}
```

Für jeden Stern werden nicht die Abstände und Winkel zu *allen* anderen Sternen gespeichert, sondern nur zu einer Anzahl nächster Nachbarn, die vom User festgelegt wird. Dies reduziert den Rechenaufwand in Schritt 5. Das resultierende »Datenprodukt« ist eine Instanz einer Python-Klasse, die die Sternen-, Abstands-, und Winkellisten enthält, sowie, über Vererbung ihrer parent-Klasse, auch die vom Nutzer festgelegten Parameter (siehe Seite 30). Das gesamte Objekt wird ebenfalls über das Modul »pickle« gespeichert.

4. Ein ähnliches Verfahren wird für die vom Nutzer gesetzten Marker wiederholt. Es werden ebenfalls Abstände und Winkel berechnet, jedoch in einem euklidischen Raum und entsprechend simpleren Formeln.

¹⁹ Das Koordinatensystem von Python-GUIs (und von Computer-GUIs im Allgemeinen) ist »linkshändig«, die y-Werte erhöhen sich also nach unten.

²⁰ Dies wäre ein typischer Use-Case für das »shelve«-Modul, welches es erlaubt, mehrere Objekte zusammen mit einem Schlüsselwort zu speichern. Aufgrund der Konsistenz-Probleme von »shelve« (siehe Kapitel 2.2) muss hier aber »pickle« verwendet werden.

- Nun werden alle möglichen Paare verglichen. Für jedes Triplet von Master-Normalizer-Target wird die Differenz zu einem Triplet in der Marker-Liste berechnet. Wenn die Summe dieser Differenzen innerhalb eines definierten Limits liegt (siehe Abbildung 26, Punkt 3), wird die Kombination als »Match« gewertet. Beispiel: Der User hat vier Punkte gesetzt, deren r-Werte wie folgt lauten:

Marker 1 - Marker 2: 1.0
 Marker 1 - Marker 3: 1.67
 Marker 1 - Marker 4: 1.84

Wir vergleichen diese Werte mit dem Beispiel aus Punkt 3:

```

{33018: {36850: 1.0, 37826: 1.3, 37740: 1.5}, 36850:
{33018: 1.0, 37826: 1.7, 37740: 1.9}...}
  
```

Also:

1.0 - 1.0	0	1.0 - 1.0	0
1.67 - 1.3	-0.37	1.67 - 1.7	-0.03
1.84 - 1.5	0.34	1.84 - 1.9	0.06
0.71		0.09	

In diesem Beispiel wäre also die zweite Gruppe eine sehr viel bessere Übereinstimmung. Die 30 Treffer mit den kleinsten Abweichungen (und die unterhalb der Limite liegen) werden zur Resultatsliste hinzugefügt.

- Dieses Verfahren wird für die Peilungen wiederholt (genau genommen geschieht beides im selben Programm-Loop, so lässt sich der Vorgang aber besser erläutern).
- Zusätzlich wird in die Ausgabeliste eine dritte Kategorie eingefügt, welche all jene Gruppen enthält, die sowohl in den Top-30 der Abstände als auch der Peilungen auftauchen. Es ist nicht ungewöhnlich, dass viele der Top-Resultate der einen Kategorie in der anderen gar nicht auftauchen. In solchen Fällen kann von »false positives« ausgegangen werden. Taucht eine Gruppe jedoch in beiden Kategorien auf, wenn auch vielleicht nicht in den obersten Rängen, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass ein tatsächlicher Treffer vorliegt.
- Das Resultat wird als txt-Datei gespeichert, die nach dem heutigen Datum benannt wird. Existiert bereits eine Datei gleichen Namens, wird zusätzliche ein inkrementeller Zähler angefügt.

2.5 Ausgewählte Code-Passagen

Im Folgenden sollen einige spezifische Code-Passagen gezeigt und kurz erläutert werden. Die Ausschnitte werden als Screenshots aus der IDE präsentiert, da dabei die automatische Einfärbung erhalten bleibt, was das Lesen erleichtert. Als Referenz sind die Zeilennummern (per Version 1.0.0) und das Modul angegeben.

```
49     marker_distances = {}
50     x1 = self.markers[list(self.markers.keys())[0]]['x']
51     y1 = self.markers[list(self.markers.keys())[0]]['y']
52     for point in self.markers: # Goes through all markers except the first
53         x2 = self.markers[point]['x']
54         y2 = self.markers[point]['y']
55         ID = point
56         dis = m.sqrt((x2 - x1)**2 + (y2 - y1)**2) # calculates the distances
57         if dis == 0:
58             pass
59         else:
60             marker_distances[ID] = dis
```

Passage 1: Astrolabe.py, 49-60

Passage 1 zeigt die Berechnung der Abstände zwischen den Markern. Punkt 1 mit Koordinaten x_1/y_1 ist fix, danach wird durch den Rest der in `self.markers` enthaltenen Punkte iteriert und für jede Iteration der Abstand berechnet (Satz des Pythagoras). Sollte der Abstand 0 sein, wird der Wert übersprungen. Dies ist nötig, da in `self.markers` auch x_1/y_1 enthalten ist. Alle anderen Abstände werden für spätere Verwendung zu einem dictionary hinzugefügt, mit der ID des Zielpunktes als key.

```

77         # Calculates bearings like they would be calculated on a map
78         bearings = {}
79         x1 = self.markers['1']['x']
80         y1 = self.markers['1']['y']
81
82         for i in range(2, len(self.markers) + 1):
83             x2 = self.markers[str(i)]['x']
84             y2 = self.markers[str(i)]['y']
85             ang = 180 - m.degrees(m.atan2(x2 - x1, y2 - y1))
86             bearings[str(i)] = ang
87
88         temp_dict = {}
89         b1 = bearings[list(self.normd_markers)[0]] # uses nearest neighbour as
90         temp_dict[list(self.normd_markers)[0]] = 0.0
91         del bearings[list(self.normd_markers)[0]] # removes "normalizer" from b
92
93         # Calculates angles between markers based on their bearings
94         for i in bearings:
95             b2 = bearings[i]
96             ang = b1 - b2
97             if ang > 180:
98                 ang = ang - 360
99             elif ang < -180:
100                 ang += 360
101             temp_dict[i] = ang

```

Passage 2: Astrolabe.py, 77-101

Passage 2 berechnet die Winkel zwischen den Markern. Dabei wird zuerst eine »Peilung« berechnet, als die Richtung der Strecke M1-M2 in Grad, wenn die y-Achse 0° entspräche (also wie auf einer Landkarte). Die erste berechnete Strecke wird dann selbst auf 0° gesetzt und alle anderen Strecken davon subtrahiert. Damit ergibt sich ein Winkel zwischen dieser ersten Strecke und allen anderen. Der resultierende Winkel wird anschliessend noch so modifiziert, dass Winkel bis 180° im Uhrzeigersinn positiv sind, gegen den Uhrzeigersinn dagegen negativ.

```

135 ~     for a in self.normd_star:
136 ~         for n in self.normd_star[a]:
137 ~             mid = f'{a}-{n}'
138 ~             self.matches[mid] = {}
139 ~             self.matches[mid]['Matches'] = 0
140 ~             self.matches[mid]['Diff_d'] = 0
141 ~             self.matches[mid]['Diff_a'] = 0
142 ~             for t in self.normd_star[a][n]:
143 ~                 compd_star = self.normd_star[a][n][t]
144 ~                 compa_star = self.norma_star[a][n][t]
145 ~                 for i in list(self.normd_markers.keys())[1:]:
146 ~                     compd_markers = self.normd_markers[i]
147 ~                     compa_markers = self.norma_markers[i]
148 ~                     diff_d = compd_star - compd_markers
149 ~                     diff_a = compa_star - compa_markers
150 ~
151 ~                 # A "match" is only recorded if the deviations of RELATIVE angles and distances fall within certain limits
152 ~                 if abs(diff_d) < self.dist_dev and abs(diff_a) < self.ang_dev:
153 ~                     if self.matches[mid]['Matches'] == 0:
154 ~                         if self.debug_bool is True:
155 ~                             self.debug.write(f'Master: {a}, Normalizer: {n}, Target: {t}, Difference distance: {diff_d}, Difference angle: {diff_a}, Marker: {i}\r\n')
156 ~                         self.matches[mid]['Matches'] += 1
157 ~                         self.matches[mid]['Diff_d'] += abs(diff_d)
158 ~                         self.matches[mid]['Diff_a'] += abs(diff_a)
159 ~                         self.matches[mid]['Marker 1'] = a
160 ~                         self.matches[mid][f'Marker {list(self.normd_markers.keys())[0]}'] = n
161 ~                         self.matches[mid][f'Marker {i}'] = t
162 ~                     elif f'Marker {i}' not in list(self.matches[mid].keys()):
163 ~                         if self.debug_bool is True:
164 ~                             self.debug.write(f'Master: {a}, Normalizer: {n}, Target: {t}, Difference distance: {diff_d}, Difference angle: {diff_a}, Marker: {i}\r\n')
165 ~                         self.matches[mid]['Matches'] += 1
166 ~                         self.matches[mid]['Diff_d'] += abs(diff_d)
167 ~                         self.matches[mid]['Diff_a'] += abs(diff_a)
168 ~                         self.matches[mid][f'Marker {i}'] = t

```

Passage 3: Astrolabe.py, 135-168

In Passage 3 bildet gewissermassen den »Kern« der Anwendung. Hier werden Abstände und Winkel von User-Muster und Sternen verglichen. Dabei wird iteriert durch:

- jeden Stern (a in self.normd_star): Alle Berechnungen werden für jeden Stern wiederholt.
 - jeden möglichen Nachbarn (n in self.normd_star[a]): Jeder Nachbar wird einmal zum »Normalizer«.
 - jedes verbliebene Ziel (t in self.normd_star[a][n]): Für jeden verbliebenen Nachbarn werden relative Abstände und Winkel anhand von a-n berechnet.

Wenn die Werte innerhalb der festgelegten Limite liegen, wird ein Treffer aufgezeichnet.

```

158     ra1 = active_entry['ra']
159     dec1 = active_entry['de']
160     ra2 = target_entry['ra']
161     dec2 = target_entry['de']
162
163     ra1 = m.radians(ra1)
164     dec1 = m.radians(dec1)
165
166     ra2 = m.radians(ra2)
167     dec2 = m.radians(dec2)
168
169     ang = m.degrees(m.acos((m.sin(dec1) * m.sin(dec2)) + (m.cos(dec1) * m.cos(dec2) * m.cos(ra1 - ra2))))
170     return ang

```

Passage 5: Atlas, 158-170

Die Funktion in Passage 5 berechnet den Winkelabstand zwischen zwei Punkten am Himmel anhand ihrer Koordinaten. Diese Berechnung ist komplexer als jene in Passage 2, da das Koordinatensystem gekrümmt ist.

```

238     # Calculates bearings between stars
239     for master in self.stars:
240         active_hip = f"{master['hip']}"
241         for t in self.distances[active_hip]:
242             target = next(item for item in self.stars if item["hip"] == int(t))
243             m_ra = m.radians(master['cal_ra'])
244             m_dec = m.radians(master['cal_de'])
245             t_ra = m.radians(target['cal_ra'])
246             t_dec = m.radians(target['cal_de'])
247             x = m.cos(t_dec) * m.sin(t_ra - m_ra)
248             y = m.cos(m_dec) * m.sin(t_dec) - m.sin(m_dec) * m.cos(t_dec) * m.cos(t_ra - m_ra)
249             ang = m.degrees(m.atan2(x, y))
250             self.angles[active_hip][t] = -ang
251
252     # Calculates angle between a star, its closest neighbour and every other star, based on their bearings
253     for i in self.angles:
254         self.norm_ang[i] = {}
255         for s in self.angles[i]:
256             self.norm_ang[i][s] = {}
257             secondary = self.angles[i][s]
258             for x in self.angles[i]:
259                 normalized = secondary - self.angles[i][x]
260                 if normalized > 180:
261                     normalized = normalized - 360
262                 elif normalized < -180:
263                     normalized += 360
264                 self.norm_ang[i][s][x] = normalized

```

Passage 4: Atlas, 238-264

Passage 4 berechnet die Peilungen zwischen den Sternen, ist also das nicht-Euklidische analog zu Passage 2.

2.6 Fazit

2.6.1 Programmierung

Im Film »Armageddon« (1998) droht die Erde von einem riesigen Asteroiden getroffen zu werden. Um die Katastrophe abzuwenden, soll ein Team von Ölbohrexpertern ins All fliegen, den Himmelskörper anbohren, eine Kernwaffe im Schachte versenken, und den Asteroiden in zwei Hälften sprengen, die die Erde verfehlen.

Einer Anekdote zufolge (IMDb »Armageddon Trivia«) soll Schauspieler Ben Affleck Regisseur Michael Bay gefragt haben, ob es in Realität nicht mehr Sinn machen würde, Astronauten beizubringen, wie man das Bohrequipment bedient, anstatt Bohrexpertern zu Astronauten auszubilden. Bay teilte diese Ansicht nicht.

Für jedes intersektionale Projekt wird sich früher oder später eine ähnliche Frage stellen. Sollen archäologische Fragestellungen und Konzepte Kollegen aus den Computerwissenschaften erklärt werden, oder können Archäologen lernen, Programme zu schreiben, um eigene Fragestellungen zu klären? Eine universelle Antwort ist nicht möglich und muss für jedes Projekt neu gefunden werden. Es kann aber festgestellt werden, dass die Eintrittsbarriere zum Programmieren heutzutage sehr tief liegt. Besonders für populäre Sprachen (Python, Java, div. C-Sprachen) stehen umfangreiche Ressourcen zum Selbststudium zur Verfügung, sei es in »klassischer« Form, als Lehrbücher für jeden Stand von Vorkenntnissen, oder als umfangreiche Tutorials online, in Form geschriebener Websites oder YouTube-Videos. Sprachen wie Python, bei denen die Anwenderfreundlichkeit ein zentrales Design-Ziel war, vereinfachen den Einstieg im Vergleich zu älteren, »technischeren« Sprachen. Der Umstand, dass der Autor zu Beginn dieses Projektes nur über sehr begrenzte Programmier- und Python-Kenntnisse verfügte, und sich die nötigen Fähigkeiten fortlaufend aneignete, bestätigt diese Behauptung.

Andererseits stösst dieser Ansatz auch unweigerlich an Grenzen. Wenn sich relevante Fähigkeiten aus dem Bereich der Computerwissenschaften nur mittels YouTube-Videos aneignen liessen, gäbe es keinen Grund, den entsprechenden Studiengang an Universitäten anzubieten. Komplexe Themen, wie z.B. Bilderkennung (vergl. Kapitel 2.7.1) liessen sich zwar möglicherweise im Selbststudium erarbeiten, ob sich ein solcher Mehraufwand jedoch rechtfertigen lässt, ist fraglich. Sind für ein geplantes Programm solch komplexe Funktionen erwünscht, kann es hilfreich und empfehlenswert sein, die Beratung oder Zusammenarbeit mit Kollegen aus der Computerwissenschaft zu suchen.

Generell ist aber die Anwendung selbst geschriebener Programme auch für Archäologen und Archäologinnen eine Idee, die definitiv in Betracht gezogen werden sollte. Besonders in Projekten, wo in grossen Datenmengen nach (Un-)Regelmässigkeiten gesucht werden soll und entsprechende Software-Lösungen nicht bereits existieren, kann das Schreiben einer eigenen Anwendung die Arbeit nicht nur erleichtern, sondern auch völlig neue Fragestellungen erlauben. Das Erstellen der Anwendung »in house« beschleunigt den Arbeitsprozess und verringert die Notwendigkeit von, möglicherweise missverständlicher, Kommunikation zwischen Usern und externen Programmierern. Für komplexere Anwendungen können in Eigenregie kleine »proof of concept« Programme geschrieben werden, die dann zusammen mit Experten verfeinert oder erweitert werden.

Auch wenn das Erlernen der hierfür nötigen Fähigkeiten, wie erwähnt, durchaus im Selbststudium möglich ist, so könnte es trotzdem von Nutzen sein, Studierenden entsprechende Programmier- und Computer-Wissenschafts-Kurse nahezu legen, die bereits regelmässig von unterschiedlichen Fakultäten angeboten werden.

2.6.2 Archäoastronomie

Die in Kapitel 1.5 aufgezählten Beispiele haben gezeigt, dass der Sternenhimmel keineswegs objektiv ist. Gesellschaften, Gruppen und Individuen sehen darin unterschiedliche Bilder und Geschichten, abhängig von zahlreichen Faktoren, wie Umwelt, Moralvorstellungen, philosophischen Fragen, etc. So darf bei der Interpretation möglicher Darstellungen von Sternen-Konstellationen auf archäologischen Befunden nicht davon ausgegangen werden, dass Abbildungen mit heutigen Sternbildern gleichen Namens korrelieren. Ein Stier ist möglicherweise einfach ein Stier und nicht *Taurus*.

Andererseits zeigen ebendiese Beispiele aber auch, wie ungemein wichtig der Sternenhimmel und seine Bilder für die Menschen sind, unabhängig von Lebensweise und Gesellschaftsform. Das Beispiel der Diné (Kapitel 1.5.3) legt nahe, dass Konstellationen auch Eingang in abbildende Kunst finden können. So wäre es sicher wertvoll, in verschiedenen Formen von Paläokunst nach astronomischen Abbildungen zu suchen. Kapitel 1.6.2 hat gezeigt, wie »Ten to Chi« auf archäoastronomische Fragestellungen angewendet werden und das grosse Problem der Subjektivität bei der Betrachtung hypothetischer Sternen-Darstellungen entschärft werden kann. Gleichzeitig zeigen die Beispiele aber auch Limitationen auf. Die Resultate aus den Beispielen 1 und 2 (Kapitel 1.6.2.1 und 1.6.2.2) entsprechen weitgehend den Erwartungen. Es gibt hier keine klar definierten Punkte, ein anderer Nutzer würde andere Resultate erhalten. Dies zu ermöglichen, war auch eines der Ziele des Computer-Programms, die freie Verfügbarkeit und einfache Bedienbarkeit erlaubt es allen Interessierten, bestehende Hypothesen zu prüfen oder eigene zu erstellen.. Die zahlreichen Treffer von Beispiel 1 deuten aber auch an, wie viele *andere* Konstellationen von Sternen theoretisch in Lascaux abgebildet sein *könnten*, was die Hypothese einer paläolithischen Darstellung von *Taurus* etwas entkräftet. Beispiel 3 (Kapitel 1.6.2.3) lieferte überhaupt keine Ergebnisse, was auch nicht unerwartet war. Dieses Beispiel illustriert aber die Gefahr möglicher »false negatives« durch das Setzen zu vieler Punkte. Beispiel 4 (Kapitel 1.6.2.4) hätte möglicherweise einen positiven Treffer liefern können. Die auf K.8538 dargestellte Konstellation wurde von Experten bereits als *Gemini* identifiziert (auch wenn die Erklärung dieser Interpretation durch den Autor nicht nachgeprüft werden konnte), das Sternbild tauchte aber in der Liste der Resultate nicht auf. Möglicherweise wurden die falschen Punkte auf der Tafel als »Sterne« identifiziert oder die Toleranzen zu gering. Das Beispiel verdeutlicht, dass ein negatives Resultat durch Ten to Chi keineswegs als unumstösslicher Beweis angesehen werden sollte. Es ist lediglich eines von vielen Werkzeugen und Ansätzen, mit denen archäoastronomische Fragestellungen angegangen werden können und ich hoffe, hiermit einen kleinen Beitrag für den Fortschritt der Archäoastronomie leisten zu können.

2.7 Lessons Learned

Programmieren ist ein stetig andauernder Lernprozess. Kein auch noch so professioneller Programmierer kennt alle Features Programmiersprache. Das führt unvermeidlich dazu, dass Code, der nach bestem Wissen geschrieben wurde, schon nach kurzer Zeit möglicherweise verbessert werden könnte. Anfänglich, wenn verschiedene Methoden, ein Ziel zu erreichen, ausprobiert werden, kann dies akzeptable und durchaus notwendig sein. Nach einer Weile jedoch würden selbst wünschenswerte Verbesserungen so grundlegende Umbauten am Code erfordern, dass es den Aufwand nicht wert ist. An einem Punkt muss akzeptiert werden, dass Code nicht perfekt ist und es auch nie sein kann.

Ein verwandtes Problem ist »feature creep«. Es wird immer Wege geben, wie ein Programm scheinbar noch schneller, komfortabler, beeindruckender, versatiler gemacht werden kann. Im »besten« Fall führt dies »nur« dazu, dass das Projekt nie fertig wird. Es kann immer noch irgendwie verbessert werden. Im schlimmsten Fall wird das Gegenteil erreicht: Eine Software wird für den Nutzer undurchsichtiger und ist nicht mehr intuitiv nutzbar. Die Kern-Funktionalität wird durch unnütze Features verdeckt. Um »feature creep« entgegenzuwirken, sollte möglichst früh der »use case« festgelegt werden, also, in welchem Umfeld und von welcher Nutzergruppe das Programm verwendet wird. Ein Kanban-Board oder Ähnliches kann dabei helfen, indem frühzeitig alle geplanten Features aufgelistet werden und der Umfang dann »eingefroren« wird.

Kein Code ist je »*self-documenting*« (ungefähr »selbsterklärend«). Passagen, die offensichtlich erscheinen, sind es meist für Dritte nicht. Auf den ersten Blick mag dies für kleinere Projekte irrelevant sein. Aber wenn Code für andere Personen nicht zu verstehen ist, dann ist er es auch für den Autor nach spätestens einigen Wochen nicht mehr. Auch kann nie vorhergesagt werden, wie ein Projekt wachsen wird. Die Involvierung Dritter kann plötzlich notwendig sein. Der Code sollte daher so detailliert wie möglich und so prägnant wie nötig dokumentiert werden. Die Verwendung standardisierter »*doc strings*« erlaubt das einfache Erstellen von technischen Dokumentationen mittels Sphinx. («Sphinx documentation»,) Dieses Projekt wurde gemäss den doc-string-Richtlinien von Google dokumentiert. («Example Google Style Python Docstrings», *napoleon 0.7 documentation*)

»One is none, two is one«. Wichtige Daten lediglich lokal und an einem Ort zu speichern, sollte generell vermieden werden. Gerade Code ist aber besonders gefährdet, da selbst kleine Änderungen unter Umständen ungewollte Folgen haben können und langwierige Reparaturen notwendig machen, nur um die bisherige Funktion wieder herzustellen. Ein Versionsverwaltungssystem wie Git/GitHub ermöglicht es nicht nur, vorherige Versionen wiederherzustellen, sondern speichert wichtige Daten auch online, was sie quasi »nebenbei« vor lokalem Datenverlust schützt. Die Verwendung von z.B. Git ist nicht ganz einfach, aber für jedes Programmierprojekt dringend zu empfehlen.

Besonders in Python ist das Erstellen eines GUI umständlich und kann einen grossen Teil der Entwicklungszeit in Anspruch nehmen (siehe Kapitel 2.2). Daher sollte früh im Entwicklungsprozess die Frage gestellt werden, ob ein GUI wirklich nötig ist.

2.7.1 Verbesserungspotenzial

Wie bereits erwähnt, liesse sich jedes Programmier-Projekt *ad infinitum* verbessern. Da aber auch jedes Projekt irgendwann fertiggestellt werden muss, muss Imperfektion bis zu einem gewissen Masse akzeptiert werden. Folgende Punkte könnten in diesem Projekt möglicherweise verbessert werden:

- Der abschliessende Vergleichsprozess ist extrem Ressourcen-Intensiv. Dies kann schwächere Systeme überfordern. Möglicherweise liessen sich nicht mehr gebrauchte Daten aus dem Arbeitsspeicher entladen.
- Das Programm verwendet im Moment nur einen Prozessor-Kern. Parallel-Processing würde die Berechnungen deutlich beschleunigen. Dies ist mit Python möglich, jedoch nicht einfach, da die Sprache nicht für Parallel-Processing optimiert ist.
- Sog. »hashes« können Daten-Inputs beliebiger Länge in deutlich kürzere und trotzdem eindeutige Zeichenketten umwandeln. Diese lassen sich deutlich schneller vergleichen als die komplexen Daten-Strukturen, die im Moment verwendet werden. Bei Hashes kann aber in der Regel nur geprüft werden, ob sie *identisch* sind. Wenn sich die ursprünglichen Daten auch nur minimal unterscheiden, so sind die Hashes doch komplett unterschiedlich. Trotzdem liessen sich die verwendeten Datenstrukturen möglicherweise vereinfachen, um die nötige Rechenleistung zu verringern.
- Treffer werden in der aktuellen Version in einer Text-Datei aufgelistet. Der Abgleich mit dem Sternenhimmel muss jedoch manuell vom Nutzer vorgenommen werden. Eine grafische Ausgabe wäre wünschenswert.
- Der momentane Vergleich von Nutzer-Eingabe und Sternen-Muster basiert auf einfachem Vergleichen von Zahlenwerten. Es ist denkbar, dass sich ein solcher Vergleich auch mittels »*image recognition*« anstellen liesse, also der computergestützten Erkennung und Interpretation von Bildern. Dies ist jedoch ein fortgeschrittenes Feld der Computerwissenschaften, dass zumindest Mithilfe aus, wenn nicht gar Auslagerung des gesamten Projektes an, entsprechende(n) Fakultäten notwendig machen würde (vergl. Kapitel 2.6).

3 Glossar

Asterismus: Auffällige Sternenkonstellation, die kein eigenes Sternbild darstellt (z.B. Grosser Wagen als Teil von *Ursa Major*)

cultural astronomy: Forschungsdisziplin, welche astronomische Traditionen, Weltanschauungen und Geschichten verschiedener Kulturen, zeitgenössisch und vergangen, erforscht.

Deklination: Koordinate auf der Kugeloberfläche des Himmels. Gibt die »Höhe« in Grad über dem Himmelsäquator an.

dictionary: Datenstruktur in Python. Sammlung von »key-value«-Paaren. Jeder »Wert« kann mit dem entsprechenden »Schlüssel« angesprochen werden.

false negatives: Fälschlicherweise werden keine Resultate gemeldet, obwohl diese vorhanden sind

false positives: Es werden Resultate gemeldet, wo eigentlich keine solchen existieren.

HIP-Nummer: Eindeutige Identifikationsnummer eines Sterns, der im Hipparcos-Sternenkatalog aufgeführt ist.

list: Datenstruktur in Python. Im Gegensatz zum dictionary werden die Elemente der Liste mittels ihres Index, also einer Nummer, angesprochen.

International Astronomical Union: Nicht-staatliche Organisation zur Förderung der Astronomie, ihre Definitionen (z.B. von Sternbildern oder Planeten) sind *de facto* offiziell und idr. international anerkannt.

Rektaszension: Koordinate auf der Kugeloberfläche des Himmels. Gibt den »horizontalen« Winkel zum Frühlingspunkt an.

4 Abbildungen

Abbildung 1: («Orion», International Astronomical Union).....	3
Abbildung 2: («IBM Archives: 7090 Data Processing System», IBM).....	5
Abbildung 3: (Wikipedia «Stonehenge Free Festival»)	7
Abbildung 4: (Xiaochun 2014, 2056)	9
Abbildung 5: (Norris 2018)	10
Abbildung 6: (Chamberlain 2014, 635)	11
Abbildung 7: (Chamberlain 2014, 635).....	11
Abbildung 8: (Chamberlain 2014, 634).....	11
Abbildung 9: (Chamberlain 2014, 634).....	11
Abbildung 10: («Fourth Bull», Lascaux Mediatheque)	12
Abbildung 11: («Die Phasen der Himmelsscheibe», Landesmuseum für Vorgeschichte)	14
Abbildung 12: («Tablet K.8538», The British Museum).....	15
Abbildung 13: («Fourth Bull», Lascaux Mediatheque)	16
Abbildung 14: durch den Autor	17
Abbildung 15: (Sweatman & Coombs 2019).....	18
Abbildung 16: durch den Autor	
Abbildung 17: («Die Phasen der Himmelsscheibe», Landesmuseum für Vorgeschichte)	20
Abbildung 18: («Tablet K.8538», The British Museum).....	21
Abbildung 19: durch den Autor	22
Abbildung 20: durch den Autor	23
Abbildung 21: durch den Autort.....	27
Abbildung 22: durch den Autor	28
Abbildung 23: durch den Autor	28
Abbildung 24: durch den Autor	30
Abbildung 25: durch den Autor	31
Abbildung 26: durch den Autor	32

5 Quellenverzeichnis

5.1 Literatur

- Atkinson, R. J. C. (1966) Moonshine on Stonehenge, *Antiquity* 40, 212–216.
- Black, J. A., Green, A., & Rickards, T. (1992) Gods, demons, and symbols of ancient Mesopotamia: an illustrated dictionary. Published by British Museum Press for the Trustees of the British Museum, London.
- Campion, N. (2000) Babylonian Astrology: Its origin and legacy in Europe, In: *Astronomy Across Cultures: The History of non-Western Astronomy*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ; Boston.
- Chamberlain, V. D. (2014) Diné (Navajo) Ethno- and Archaeoastronomy, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Clarke, P. A. (2014) Australian Aboriginal Astronomy and Cosmology, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Däniken, E. von (1969) Erinnerungen an die Zukunft. Ungelöste Rätsel der Vergangenheit (W. Roggersdorf, Hrsg.). Econ, Düsseldorf.
- Ehlers, A. (Hrsg.) (1999) Lexikon der Astronomie. Steiger, Augsburg.
- European Space Agency (Hrsg.) (1997) The Hipparcos and Tycho Catalogues [Verschiedene Materialien]. ESA Publ. Div., c/o ESTEC, Noordwijk.
- Frank, R. M. (2014) Origins of «Western» Constellations, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Geneste, J.-M. (2015) Lascaux (English Edition). Gallimard, Paris.
- Hawkins, G. S. (1963) Stonehenge Decoded, *Nature* 200, 306–308.
- Hawkins, G. S., & White, J. B. (1965) Stonehenge Decoded. Doubleday Books.
- Haynes, R. D. (2000) Astronomy and the Dreaming: The Astronomy of the Aboriginal Australians, In: *Astronomy Across Cultures: The History of non-Western Astronomy*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ; Boston.
- Hunger, H., & Steele, J. M. (2018) The Babylonian astronomical compendium MUL.APIN. Routledge, Abingdon, Oxon ; New York, NY.
- Krupp, E. C. (2014) Archaeoastronomical Concepts in Popular Cultures, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Meller, H. (2010) Nebra: Vom Logos zum Mythos – Biographie eines Himmelsbildes, In: *Der Griff nach den Sternen: wie Europas Eliten zu Macht und Reichtum kamen internationales Symposium in Halle (Saale) 16.-21. Februar 2005*. Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Landesmuseum für Vorgeschichte, Halle.
- Norris, R. P., & Hamacher, D. W. (2014) Australian Aboriginal Astronomy - An Overview, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Notroff, J., Dietrich, O., Dietrich, L., Tvetmarken, C. L., Kinzel, M., Schlindwein, J., ... Clare, L. (2017) More Than A Vulture: A Response To Sweatman And Tsikritsis, *Mediterranean Ar-*

chaeology and Archaeometry 17, 57–74.

- Rappenglück, M. (1997) The Pleiades in the “Salle des Taureaux”, grotte de Lascaux. Does a rock picture in the cave of Lascaux show the open star cluster of the Pleiades at the Magdalenien era (ca 15.300 BC?), In: *Astronomy and Culture*.
- Ruggles, C. L. N. (Hrsg.) (2014) *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Salt, A. (2014) Development of Archaeoastronomy in the English-Speaking World, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Schmidt, K. (2016) *Sie bauten die ersten Tempel: das rätselhafte Heiligtum am Göbekli Tepe*. Verlag C.H. Beck, München.
- Sitchin, Z. (2007) *The 12th Planet*. Harper, New York, New York.
- Sweatman, M. B., & Coombs, A. (2019) Decoding European Palaeolithic Art: Extremely Ancient knowledge of Precession of the Equinoxes, *Athens Journal of History* 5, 1–30.
- Sweatman, M. B., & Tsikritsis, D. (2017) Decoding Göbekli Tepe With Archaeoastronomy: What Does The Fox Say?, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 17, 233–250.
- The 50 Brightest Stars, (o. J.). Abgerufen am: 21. November 2021, aus: <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos/brightest>
- van Hoesel, A., Hoek, W. Z., Pennock, G. M., & Drury, M. R. (2014) The Younger Dryas impact hypothesis: a critical review, *Quaternary Science Reviews* 83, 95–114.
- von Soden, W. (1965) *Akkadisches Handwörterbuch A-L*.
- von Soden, W. (1974) *Akkadisches Handwörterbuch S-Z*.
- Weber, G., Knipping, L., & Alt, H. (1994) An Application of Point Pattern Matching in Astronautics, *Journal of Symbolic Computation* 17, 321–340.
- Xiaochun, S. (2014) Chinese Constellations and Star Maps, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.

5.2 Internet-Quellen

- Ancient Aliens, (o. J.). Abgerufen am: 20. November 2021, aus: <https://www.history.com/shows/ancient-aliens>
- Calculating the Bearing between two geospatial coordinates, (2020). Abgerufen am: 3. Mai 2021, aus: <https://towardsdatascience.com/calculating-the-bearing-between-two-geospatial-coordinates-66203f57e4b4>
- Die Phasen der Himmelscheibe, (o. J.). Abgerufen am: 29. November 2021, aus: <https://www.landmuseum-vorgeschichte.de/himmelscheibe-von-nebra/die-phasen-der-himmelscheibe.html>
- Example Google Style Python Docstrings, (o. J.). Abgerufen am: 2. Juni 2021, aus: https://sphinxcontrib-napoleon.readthedocs.io/en/latest/example_google.html
- Frommert, H., & Kronberg, C. (2005) The Pleiades M45: Stars and nebulae, . Abgerufen am: 21. November 2021, aus: https://www.messier.seds.org/more/m045_tab.html

- Hawkes, S. (2004 19. , Juni 2004) Revisiting Britain's biggest free festival, . Abgerufen von <http://news.bbc.co.uk/2/hi/entertainment/3662921.stm>
- History of Python, (2019). Abgerufen am: 4. Mai 2021, aus: <https://www.geeksforgeeks.org/history-of-python/>
- IMDb «Armageddon Trivia». Aus: <http://www.imdb.com/title/tt0120591/trivia>, Abgerufen am: 12. Juni 2021.
- Largest Constellations, (o. J.). Abgerufen am: 27. April 2021, aus: <https://www.constellation-guide.com/constellation-map/largest-constellations/>
- Orion, (o. J.). Abgerufen am: 15. Juli 2021, aus: <https://www.iau.org/public/images/detail/ori/>
- shelve - Restrictions, (o. J.). Abgerufen am: 4. Mai 2021, aus: <https://docs.python.org/3/library/shelve.html#restrictions>
- Sphinx documentation, (o. J.). Abgerufen am: 2. Juni 2021, aus: <https://www.sphinx-doc.org/en/master/>
- Supersonic Shock Wave Heats Gas Ring Around Supernova 1987A (SN1987A), (o. J.). Abgerufen am: 21. November 2021, aus: <http://hubblesite.org/contents/media/images/2004/09/1475-Image>
- Tablet K.8538, (o. J.). Abgerufen am: 28. November 2021, aus: https://www.britishmuseum.org/collection/object/W_K-8538
- The Constellations, (o. J.). Abgerufen am: 11. März 2021, aus: <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>
- The Mission - Hipparcos, (o. J.). Abgerufen am: 6. Mai 2021, aus: <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos/the-mission>
- Wikipedia «Gerald Hawkins». Aus: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gerald_Hawkins&oldid=999391736, Abgerufen am: 23. Februar 2021.

5.3 Abbildungs-Quellen

- Chamberlain, V. D. (2014) Diné (Navajo) Ethno- and Archaeoastronomy, In: *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. Springer Reference, New York.
- Die Phasen der Himmelscheibe, (o. J.). Abgerufen am: 29. November 2021, aus: <https://www.landesmuseum-vorgeschichte.de/himmelscheibe-von-nebra/die-phasen-der-himmelscheibe.html>
- Fourth Bull, (o. J.). Abgerufen am: 15. Juli 2021, aus: <https://archeologie.culture.fr/lascaux/en/mediatheque?media=/lascaux/en/media/fourth-bull>
- IBM Archives: 7090 Data Processing System, (2003) [TS200]. Abgerufen am: 14. April 2021, aus: http://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/mainframe/mainframe_PP7090.html
- Norris, R. P. (2018) The astronomy of the Aborigines, . Abgerufen am: 17. März 2021, aus: <https://www.skyatnightmagazine.com/news/the-astronomy-of-the-aborigines/>
- Sweatman, M. B., & Coombs, A. (2019) Decoding European Palaeolithic Art: Extremely Ancient

knowledge of Precession of the Equinoxes, Athens Journal of History 5, 1–30.

Tablet K.8538, (o. J.). Abgerufen am: 28. November 2021, aus: https://www.britishmuseum.org/collection/object/W_K-8538

Wikipedia «Stonehenge Free Festival». Aus: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stonehenge_Free_Festival&oldid=924471107, Abgerufen am: 8. April 2021.

6 Appendix

6.1 Appendix A

-----Sorted by distance-deviation-----

```
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.01951412665926644, 'Diff_a': 0.22583710929535528, 'Marker 1': '73714', 'Marker 2': '73334', 'Marker 3': '76297', 'Marker 4': '80343'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.025138555356132963, 'Diff_a': 0.45001959130388514, 'Marker 1': '84012', 'Marker 2': '78918', 'Marker 3': '82729', 'Marker 4': '94141'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.02889898056826845, 'Diff_a': 0.4734219520758991, 'Marker 1': '27913', 'Marker 2': '28360', 'Marker 3': '23416', 'Marker 4': '18724'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.03395941199711916, 'Diff_a': 0.49955626249666807, 'Marker 1': '21421', 'Marker 2': '23875', 'Marker 3': '26727', 'Marker 4': '29696'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.04041837817578009, 'Diff_a': 0.5171372328643571, 'Marker 1': '102618', 'Marker 2': '114341', 'Marker 3': '114724', 'Marker 4': '104732'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.04558302020350791, 'Diff_a': 0.16467770525466818, 'Marker 1': '31216', 'Marker 2': '37826', 'Marker 3': '33018', 'Marker 4': '21421'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.05449801469037774, 'Diff_a': 0.5100305889878385, 'Marker 1': '101958', 'Marker 2': '113963', 'Marker 3': '113881', 'Marker 4': '95853'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.05695509251874453, 'Diff_a': 0.38134668460378407, 'Marker 1': '76952', 'Marker 2': '68520', 'Marker 3': '71957', 'Marker 4': '87108'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.05895387646243011, 'Diff_a': 0.43681999935526505, 'Marker 1': '63125', 'Marker 2': '80331', 'Marker 3': '72607', 'Marker 4': '44248'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.06604968366961195, 'Diff_a': 0.5486614642203449, 'Marker 1': '11484', 'Marker 2': '21402', 'Marker 3': '20635', 'Marker 4': '7513'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.06634350019993596, 'Diff_a': 0.2728227379674877, 'Marker 1': '116727', 'Marker 2': '111022', 'Marker 3': '116584', 'Marker 4': '19167'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.06678687692834062, 'Diff_a': 0.20837947646981547, 'Marker 1': '37819', 'Marker 2': '39863', 'Marker 3': '34769', 'Marker 4': '21393'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.06956986913291763, 'Diff_a': 0.4539138707714443, 'Marker 1': '49583', 'Marker 2': '56647', 'Marker 3': '58948', 'Marker 4': '54539'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.07005612567319375, 'Diff_a': 0.7425448669201558, 'Marker 1': '12387', 'Marker 2': '20205', 'Marker 3': '17702', 'Marker 4': '4463'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.0724148335151038, 'Diff_a': 0.497222129063978, 'Marker 1': '34693', 'Marker 2': '23040', 'Marker 3': '21476', 'Marker 4': '26311'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.07622682829464988, 'Diff_a': 0.4147196620545657, 'Marker 1': '29651', 'Marker 2': '22549', 'Marker 3': '21444', 'Marker 4': '26634'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.07684598907948303, 'Diff_a': 0.4845277187305328, 'Marker 1': '43109', 'Marker 2': '34045', 'Marker 3': '37229', 'Marker 4': '52943'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.0806488854174594, 'Diff_a': 0.2533913874017486, 'Marker 1': '94713', 'Marker 2': '97649', 'Marker 3': '102532', 'Marker 4': '110538'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.0841614455554161, 'Diff_a': 0.09423760762863864, 'Marker
```

```

1': '98032', 'Marker 2': '101847', 'Marker 3': '96468', 'Marker 4': '80112'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08461301374688213, 'Diff_a': 0.20806316284172155, 'Marker
1': '22783', 'Marker 2': '47193', 'Marker 3': '11767', 'Marker 4': '6686'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08530420633071145, 'Diff_a': 0.5455217486298949, 'Marker 1':
'45336', 'Marker 2': '34088', 'Marker 3': '31216', 'Marker 4': '40706'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08543063228198522, 'Diff_a': 0.7165560632952577, 'Marker 1':
'75097', 'Marker 2': '81126', 'Marker 3': '86414', 'Marker 4': '108917'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08577890202922345, 'Diff_a': 0.19482167108887438, 'Marker
1': '23040', 'Marker 2': '15549', 'Marker 3': '19038', 'Marker 4': '34693'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.0867433253960872, 'Diff_a': 0.4418643461290088, 'Marker 1':
'36188', 'Marker 2': '25813', 'Marker 3': '26241', 'Marker 4': '39757'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08777335305972933, 'Diff_a': 0.17504424244602035, 'Marker
1': '72220', 'Marker 2': '80763', 'Marker 3': '84012', 'Marker 4': '81693'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08872395734893046, 'Diff_a': 0.01855104829985521, 'Marker
1': '43109', 'Marker 2': '33347', 'Marker 3': '37229', 'Marker 4': '52943'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08874109835007515, 'Diff_a': 0.3088334654105864, 'Marker 1':
'12770', 'Marker 2': '24244', 'Marker 3': '23123', 'Marker 4': '9884'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08989761290218534, 'Diff_a': 0.21104021888763924, 'Marker
1': '112158', 'Marker 2': '99848', 'Marker 3': '98110', 'Marker 4': '106278'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08993383872925997, 'Diff_a': 0.4895432759563647, 'Marker 1':
'34444', 'Marker 2': '25859', 'Marker 3': '28328', 'Marker 4': '42884'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.09020996597115061, 'Diff_a': 0.42714493279597576, 'Marker
1': '1067', 'Marker 2': '109937', 'Marker 3': '107354', 'Marker 4': '113136'}
-----Sorted by angle-deviation-----
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.7355897702235542, 'Diff_a': 0.017338372330769403, 'Marker
1': '24608', 'Marker 2': '32246', 'Marker 4': '30060', 'Marker 3': '37629'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08872395734893046, 'Diff_a': 0.01855104829985521, 'Marker
1': '43109', 'Marker 2': '33347', 'Marker 3': '37229', 'Marker 4': '52943'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.39039153595321796, 'Diff_a': 0.020634323347735517, 'Marker
1': '57565', 'Marker 2': '47508', 'Marker 4': '61941', 'Marker 3': '49641'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.8658962720347503, 'Diff_a': 0.02477007138550391, 'Marker 1':
'18543', 'Marker 2': '21594', 'Marker 4': '18255', 'Marker 3': '23972'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.14747007626073216, 'Diff_a': 0.029851852853937544, 'Marker
1': '87108', 'Marker 2': '77516', 'Marker 4': '92041', 'Marker 3': '77853'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.9061618084512503, 'Diff_a': 0.03016083805873393, 'Marker 1':
'68933', 'Marker 2': '82729', 'Marker 3': '75177', 'Marker 4': '69427'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 1.3949729146735232, 'Diff_a': 0.03166443137507713, 'Marker 1':
'49637', 'Marker 2': '55642', 'Marker 4': '49669', 'Marker 3': '57565'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.3559137504825679, 'Diff_a': 0.036696492707214645, 'Marker
1': '53954', 'Marker 2': '46733', 'Marker 3': '44127', 'Marker 4': '41307'}
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.8524452222805101, 'Diff_a': 0.037728549372261, 'Marker 1':

```

'70692', 'Marker 2': '746', 'Marker 3': '11767', 'Marker 4': '44127']

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.9190393541427176, 'Diff_a': 0.04234950205203347, 'Marker 1': '17529', 'Marker 2': '21881', 'Marker 4': '23040', 'Marker 3': '27913'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.552616296817856, 'Diff_a': 0.04547165407849718, 'Marker 1': '46390', 'Marker 2': '34045', 'Marker 4': '51172', 'Marker 3': '37229'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 1.0771328782078586, 'Diff_a': 0.046582490947884025, 'Marker 1': '99848', 'Marker 2': '92043', 'Marker 4': '102098', 'Marker 3': '96757'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.4354854512773525, 'Diff_a': 0.04872958190772181, 'Marker 1': '20711', 'Marker 2': '26207', 'Marker 3': '25945', 'Marker 4': '23767'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.3875337668482619, 'Diff_a': 0.049130827715131886, 'Marker 1': '109427', 'Marker 2': '101076', 'Marker 3': '102532', 'Marker 4': '102485'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.4181892041620653, 'Diff_a': 0.04915943388806454, 'Marker 1': '76333', 'Marker 2': '73334', 'Marker 3': '77634', 'Marker 4': '86565'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.5687277239256806, 'Diff_a': 0.05202659990877123, 'Marker 1': '107348', 'Marker 2': '98036', 'Marker 4': '111497', 'Marker 3': '101847'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.20843898639412517, 'Diff_a': 0.052889064119419515, 'Marker 1': '107259', 'Marker 2': '11767', 'Marker 4': '91262', 'Marker 3': '70692'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.8283051937800996, 'Diff_a': 0.05352206448139896, 'Marker 1': '59199', 'Marker 2': '43409', 'Marker 4': '62896', 'Marker 3': '44816'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 1.5353373008823354, 'Diff_a': 0.055100142388084805, 'Marker 1': '19587', 'Marker 2': '16369', 'Marker 3': '18255', 'Marker 4': '17593'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.7919471526484313, 'Diff_a': 0.05586285848509931, 'Marker 1': '91117', 'Marker 2': '102485', 'Marker 4': '93747', 'Marker 3': '100027'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.7014999590780344, 'Diff_a': 0.05619754765027096, 'Marker 1': '55642', 'Marker 2': '43234', 'Marker 3': '49641', 'Marker 4': '59316'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.8386263528593202, 'Diff_a': 0.056888850173052674, 'Marker 1': '109857', 'Marker 2': '5372', 'Marker 3': '106032', 'Marker 4': '97165'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.7083765027699505, 'Diff_a': 0.05843872799138694, 'Marker 1': '33347', 'Marker 2': '27072', 'Marker 3': '26634', 'Marker 4': '40706'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.85079694320936, 'Diff_a': 0.058969518258827236, 'Marker 1': '39429', 'Marker 2': '43067', 'Marker 4': '30277', 'Marker 3': '39311'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.9446186605214126, 'Diff_a': 0.05924432809139546, 'Marker 1': '3786', 'Marker 2': '110395', 'Marker 4': '6537', 'Marker 3': '115033'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.4038587848052706, 'Diff_a': 0.060750117480054655, 'Marker 1': '68862', 'Marker 2': '87073', 'Marker 4': '69427', 'Marker 3': '84970'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 1.2509726927913172, 'Diff_a': 0.06089092802813667, 'Marker 1': '100345', 'Marker 2': '104459', 'Marker 3': '102618', 'Marker 4': '96229'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 1.094385548456811, 'Diff_a': 0.0609248412318415, 'Marker 1': '29651', 'Marker 2': '30343', 'Marker 3': '27989', 'Marker 4': '23972'}

{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.34349958077594556, 'Diff_a': 0.061075338611232155, 'Marker 1': '90139', 'Marker 2': '88601', 'Marker 4': '98337', 'Marker 3': '92175'}

```
{'Matches': 2, 'Diff_d': 3.9504487883652724, 'Diff_a': 0.06320200859352099, 'Marker 1':  
'2912', 'Marker 2': '3031', 'Marker 3': '3092', 'Marker 4': '10670'}
```

-----In both-----

```
{'Matches': 2, 'Diff_d': 0.08872395734893046, 'Diff_a': 0.01855104829985521, 'Marker  
1': '43109', 'Marker 2': '33347', 'Marker 3': '37229', 'Marker 4': '52943'}
```

6.2 Appendix B

-----Sorted by distance-deviation-----

```
{'Matches': 7, 'Diff_d': 11.229654955504675, 'Diff_a': 2.135235929409724, 'Marker 1':  
'51069', 'Marker 2': '38170', 'Marker 8': '49641', 'Marker 6': '59803', 'Marker 7':  
'43234', 'Marker 9': '58948', 'Marker 4': '53954', 'Marker 5': '53954', 'Marker 3':  
'62896'}
```

-----Sorted by angle-deviation-----

```
{'Matches': 7, 'Diff_d': 11.229654955504675, 'Diff_a': 2.135235929409724, 'Marker 1':  
'51069', 'Marker 2': '38170', 'Marker 8': '49641', 'Marker 6': '59803', 'Marker 7':  
'43234', 'Marker 9': '58948', 'Marker 4': '53954', 'Marker 5': '53954', 'Marker 3':  
'62896'}
```

-----In both-----

```
{'Matches': 7, 'Diff_d': 11.229654955504675, 'Diff_a': 2.135235929409724, 'Marker 1':  
'51069', 'Marker 2': '38170', 'Marker 8': '49641', 'Marker 6': '59803', 'Marker 7':  
'43234', 'Marker 9': '58948', 'Marker 4': '53954', 'Marker 5': '53954', 'Marker 3':  
'62896'}
```

6.3 Appendix C

-----Sorted by distance-deviation-----

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 4.7203341335373645, 'Diff_a': 1.2869851481468118, 'Marker 1':  
'91971', 'Marker 2': '88886', 'Marker 5': '92791', 'Marker 7': '100453', 'Marker 3':  
'97365', 'Marker 8': '102453', 'Marker 6': '105138', 'Marker 4': '102532'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 5.106777297619756, 'Diff_a': 1.3950335730934142, 'Marker 1':  
'20535', 'Marker 2': '32761', 'Marker 5': '23685', 'Marker 8': '24436', 'Marker 4':  
'28103', 'Marker 6': '22701', 'Marker 7': '21444', 'Marker 3': '32349'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 6.521072151855028, 'Diff_a': 1.1714023194212757, 'Marker 1':  
'21444', 'Marker 2': '20535', 'Marker 3': '24436', 'Marker 7': '25336', 'Marker 5':  
'26549', 'Marker 6': '27989', 'Marker 4': '29651', 'Marker 8': '30419'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 7.764642175995458, 'Diff_a': 1.3411117789020892, 'Marker 1':  
'72010', 'Marker 2': '69701', 'Marker 6': '70300', 'Marker 3': '67669', 'Marker 8':  
'67464', 'Marker 5': '65936', 'Marker 7': '68002', 'Marker 4': '65109'}
```

-----Sorted by angle-deviation-----

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 6.521072151855028, 'Diff_a': 1.1714023194212757, 'Marker 1':  
'21444', 'Marker 2': '20535', 'Marker 3': '24436', 'Marker 7': '25336', 'Marker 5':  
'26549', 'Marker 6': '27989', 'Marker 4': '29651', 'Marker 8': '30419'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 4.7203341335373645, 'Diff_a': 1.2869851481468118, 'Marker 1':  
'91971', 'Marker 2': '88886', 'Marker 5': '92791', 'Marker 7': '100453', 'Marker 3':  
'97365', 'Marker 8': '102453', 'Marker 6': '105138', 'Marker 4': '102532'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 7.764642175995458, 'Diff_a': 1.3411117789020892, 'Marker 1':  
'72010', 'Marker 2': '69701', 'Marker 6': '70300', 'Marker 3': '67669', 'Marker 8':  
'67464', 'Marker 5': '65936', 'Marker 7': '68002', 'Marker 4': '65109'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 5.106777297619756, 'Diff_a': 1.3950335730934142, 'Marker 1':  
'20535', 'Marker 2': '32761', 'Marker 5': '23685', 'Marker 8': '24436', 'Marker 4':  
'28103', 'Marker 6': '22701', 'Marker 7': '21444', 'Marker 3': '32349'}
```

-----In both-----

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 4.7203341335373645, 'Diff_a': 1.2869851481468118, 'Marker 1':  
'91971', 'Marker 2': '88886', 'Marker 5': '92791', 'Marker 7': '100453', 'Marker 3':  
'97365', 'Marker 8': '102453', 'Marker 6': '105138', 'Marker 4': '102532'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 5.106777297619756, 'Diff_a': 1.3950335730934142, 'Marker 1':  
'20535', 'Marker 2': '32761', 'Marker 5': '23685', 'Marker 8': '24436', 'Marker 4':  
'28103', 'Marker 6': '22701', 'Marker 7': '21444', 'Marker 3': '32349'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 6.521072151855028, 'Diff_a': 1.1714023194212757, 'Marker 1':  
'21444', 'Marker 2': '20535', 'Marker 3': '24436', 'Marker 7': '25336', 'Marker 5':  
'26549', 'Marker 6': '27989', 'Marker 4': '29651', 'Marker 8': '30419'}
```

```
{'Matches': 6, 'Diff_d': 7.764642175995458, 'Diff_a': 1.3411117789020892, 'Marker 1':  
'72010', 'Marker 2': '69701', 'Marker 6': '70300', 'Marker 3': '67669', 'Marker 8':  
'67464', 'Marker 5': '65936', 'Marker 7': '68002', 'Marker 4': '65109'}
```

Plagiatserklärung für PNA-Studierende

Die Unterrichtskommission PNA hat per 31.8.09 beschlossen, dass ab Herbstsemester 09 die vorliegende Erklärung bei Proseminar-, Seminar- Bachelor- und Masterarbeiten in Prähistorischer und Naturwissenschaftlicher Archäologie (PNA) dem zuständigen Dozierenden eingereicht werden muss.

Die Studierenden sind verpflichtet, sich mit den « Regeln zur Sicherung wissenschaftlicher Redlichkeit » (inkl. Informationsblatt « Was ist ein Plagiat ») der Phil.-Hist. Fakultät zu befassen und die Regeln einzuhalten (s. unter <http://philhist.unibas.ch/studium/plagiat/>).

In diesem Zusammenhang wird auf §21 der Rahmenordnung (Ordnung für Bachelor- und Masterstudiengänge) der Phil.-Nat. Fakultät verwiesen (<http://philnat.unibas.ch/dokumente/>).

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich vertraut bin mit den von der Phil.-Hist. Fakultät der Universität Basel herausgegebenen « Regeln zur Sicherung wissenschaftlicher Redlichkeit » und diese gewissenhaft befolgt habe.

Titel der Arbeit : Ten to Chi - Computergestützte Sternen-Mustererkennung in der Archäoastronomie

Datum : 19.07.2021

Name : Florian Frühwirth

Unterschrift : 