

Einfluss der Lichtverschmutzung auf die Himmelsbeobachtung

Vorwissenschaftliche Arbeit verfasst von

Nitai Music

Klasse: 8adgi

Betreuer: Mag. Norbert Steinkellner

März 2017

Bundesrealgymnasium Kepler
Keplerstraße 1, 8020 Graz

Abstract

Die vorliegende vorwissenschaftliche Arbeit befasst sich mit dem Thema Einfluss der Lichtverschmutzung auf die Himmelsbeobachtung. Lichtverschmutzung ist ein großes Themengebiet, das viele verschiedene Bereiche (biologische, ökonomische, etc.) beinhaltet. Die Problematik der Lichtverschmutzung gewinnt erst in den letzten Jahren stark an Bedeutung und wird deswegen noch nicht bewusst von allen wahrgenommen. Diese VWA befasst sich in erster Linie mit den astronomischen Aspekten. Dabei wird auf die visuellen Unterschiede zwischen verschiedenen Himmeln eingegangen und diese auch mit Bildmaterial erklärt. Darüber hinaus zeigt die VWA auch welche Himmelsobjekte aus einer Stadt am Nachthimmel beobachtet werden können und wie stark dort der Einfluss der Lichtverschmutzung für den Himmelsbeobachter ist. Der letzte Abschnitt meiner Arbeit stellt eine Umfrage da, die verschiedene Fragen zur Astronomie und Lichtverschmutzung beinhaltet, wie zum Beispiel, ob es einen Zusammenhang zwischen Wohnort (Land-Stadt) und Interesse an der Astronomie gibt. Meine These ist, dass Teilnehmer meiner Umfrage, die im Stadtzentrum leben bei starker Lichtverschmutzung weniger Interesse an der Astronomie haben als die, die am Land leben.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
1 Einleitung	5
2 Vom künstlichen Licht zur Lichtverschmutzung	8
2.1 Der natürliche Wechsel von Hell und Dunkel	8
2.2 Entwicklung der künstlichen Beleuchtung.....	10
2.3 Bestimmung des Lichtverschmutzungsgrades.....	12
2.3.1 Scheinbare und absolute Helligkeit (Magnitude).....	13
2.3.2 Bestimmen der Grenzhelligkeit	15
2.3.3 Bortle Skala	17
2.3.4 Sky Quality Meter	23
3 Himmelsbeobachtung aus der Stadt	24
3.1 Der Mond	24
3.2 Die Planeten	25
3.3 Sterne	26
3.4 Deep Sky Objekte	27
4 Lösungsansätze	29
4.1 Gesetzliche Lösungen.....	29
4.2 Technische Lösungen	29
4.3 Einsatz von Filtern beim Teleskop.....	30
4.4 Organisationen gegen Lichtverschmutzung.....	31
5 Vergleich von verschiedenen Himmel	32
5.1 Aufnahmen vom „Kleinen Bären“	32
5.2 Virtuelle Bilder vom Kleinen Bären zu verschiedenen Lichtverschmutzungsstufen	39
6 Fragebogen mit Auswertung und Interpretation zum Thema Lichtverschmutzung und Astronomie	42

6.1	Begriff Lichtverschmutzung	42
6.2	Besitz eines optischen Instruments	43
6.3	Beobachtung des Nachthimmels	44
6.4	Milchstraße in Natura	44
6.5	Wohnort der Befragten mit Selbsteinschätzung der Lichtverschmutzung.....	45
6.6	Interesse an der Astronomie.....	46
7	Fazit.....	49
8	Literaturverzeichnis	50
9	Abbildungsverzeichnis	52
10	Anhang.....	54

1 Einleitung

„Der Mensch ist ein lichtungriges Wesen“¹ – Der Mensch sucht einerseits physikalisch immer mehr nach Licht, möchte die Nacht zum Tag machen, und andererseits metaphorisch, möchte der Mensch überall Licht hinbringen, ständig nach Aufklärung verlangen. Licht ist für den Menschen fast nur positiv belegt. Wie kommt es dann dazu, dass es den Begriff Lichtverschmutzung überhaupt gibt? Was ist Lichtverschmutzung?²

Es gibt verschiedene Definitionen von Lichtverschmutzung. Die wichtigste ist: Lichtverschmutzung ist die (unnötige) Aufhellung des Nachthimmels durch künstliche Lichtquellen, die den biologischen Tag-Nacht-Wechsel stört und somit den natürlichen Rhythmus von Menschen und anderen Organismen stark beeinflusst. Lichtverschmutzung hat mittlerweile schon einen berechtigten Status als Umweltverschmutzung.³

Besonders bei Tieren hat man schon viele Veränderungen im Verhalten bzw. gesundheitliche Folgen durch die starke Aufhellung des Nachthimmels dokumentieren können. Zum Beispiel werden nachts fliegende Vögel, die durch helle Objekte angezogen werden, wie Leuchttürme und Hochhäuser, in die Irre geführt und fallen dadurch in riesigen Zahlen zum Opfer. Aber auch kleine Tiere wie Insekten werden von den Straßenlampen angezogen und werden von ihren natürlichen Routen abgelenkt. Dies betrifft darüber hinaus auch Organismen, die im Wasser leben, wie Fische und Meeresschildkröten, die auch im Wasser das Kunstlicht „zu spüren bekommen“.⁴

Der Einfluss von Lichtverschmutzung auf den Menschen wird erst seit den letzten Jahren ernsthaft wissenschaftlich untersucht. Die wissenschaftliche Forschung in diesem Bereich befindet sich erst am Anfang. Jedenfalls weiß man zurzeit schon, dass sich der Schlaf beim Menschen durch die Lichtverschmutzung stark verschlechtert. Die

¹ Posch, Thomas: PLUS LUCIS 1-2/2014, Lichtverschmutzung als Thema im Schulunterricht, <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/141/S20.pdf>, S.1 (abgerufen am 22.02.2017)

² vgl. Posch, Thomas: <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/141/S20.pdf>, S.1 (abgerufen am 22.02.2017)

³ vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtverschmutzung> (abgerufen am 18.11.2016)

⁴ vgl. (Hg.) Thomas Posch / Franz Hölker / Anja Freyhoff / Thomas Uhlmann, 2013: Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren – Perspektiven – Lösungen. Berlin: Wiley-VCH Verlag, S.83 und S. 112ff. und S.139

innere Uhr des Menschen wird durch künstliches Licht gestört, es kommt dabei zu einer veränderten Hormonausschüttung.

„Melatonin wird als Hormon der Dunkelheit bezeichnet, da es die Information ‚Dunkel‘ und damit den Zeitpunkt und die Länge der Nacht als ein hormonelles Signal an den Organismus vermittelt. Der Gesamt-Organismus schafft dann ein Milieu, welches qualitativ guten Schlaf ausreichender Länge ermöglicht.“⁵, sagt Dr. Dieter Kunz, Chefarzt der Abteilung für Schlafmedizin am Berliner St. Hedwig-Krankenhaus.

Der Begriff Lichtverschmutzung hat neben den biologischen Aspekten auch aus ökonomischer Sicht seine Berechtigung. Falsch eingesetzte Beleuchtungen mit veralteter Beleuchtungstechnik, die die ganze Nacht (meist unnötig) leuchten, verschwenden Unmengen an Energie. Dazu gehören unter anderem Leuchtreklamen und Werbeplakate.

Den am leichtesten beobachtbaren Einfluss der Lichtverschmutzung findet man aber in der Astronomie. Dort ist der Einfluss schon seit einigen Jahrzehnten bekannt. Schon im 20. Jahrhundert fällt den ersten Astronomen auf, dass „schwache Sterne“ (von der Erde aus betrachtet, haben Sterne verschiedene Helligkeiten) in Ballungsgebieten bzw. Städten immer schwieriger zu beobachten sind. Man wusste damals schon, dass das Verschwinden der „schwachen“ Sterne im direkten Zusammenhang mit der kontinuierlichen Steigung der künstlichen Stadtbeleuchtung im 20. Jahrhundert stand. Über den Städten entstehen sogenannte „Lichtglocken“, die den natürlichen Nachthimmel verschwinden lassen. Allein in Österreich sind heute am durchschnittlichen Nachthimmel nur mehr zehn Prozent der eigentlich mit freiem Auge sichtbaren Sterne zu erkennen.⁶

Sterne und andere Himmelsobjekte „ertrinken“ in der künstlichen Lichterflut der Stadt und zwingen Astronomen schon lange dazu immer weitere Orte fernab von Städten

⁵ Kunz, Dieter: Melatonin heute: weitreichende Bedeutung als Taktgeber und für die Schlafqualität, 2008, <http://www.krankenpflege-journal.com/schlaf/1520-dr-dieter-kunz-melatonin-heute-weitreichende-bedeutung-als-taktgeber-und-fuer-die-schlafqualitaet-.html> (abgerufen am 22.2.2017)

⁶ vgl. Posch, Thomas: <http://homepage.univie.ac.at/thomas.posch/endedernacht/endedernacht.html> (abgerufen am 15.2.2017)

aufzusuchen, um astronomische Beobachtungen durchführen zu können. Nicht ohne Grund wurden im 20. Jahrhundert die historischen Sternwarten wie Greenwich, Paris, Wien und viele andere entwertet und neue Orte für die neuen Observatorien fernab von Lichtverschmutzung ausgesucht. Neue Orte wie zum Beispiel Chile (Atacama-Wüste) oder Hawaii, weit weg von der westlichen „lichtrevolutionierten“ Welt. Aber auch diese neuen Orte brauchen heute gesetzliche Bestimmungen um gegen Lichtverschmutzung geschützt zu sein, weil auch in diesen neuen Ländern stetig die künstliche Beleuchtung steigt.⁷

Kurzgefasst, die heutige Forschung befasst sich mit unzähligen Aspekten der Lichtverschmutzung, angefangen von den biologischen über den astronomischen bis zu den ökonomischen, um nur einige zu nennen. Das Thema Lichtverschmutzung ist daher so umfangreich, dass kaum alle Aspekte in einer wissenschaftlichen Arbeit Platz finden.

Meine vorwissenschaftliche Arbeit wird sich, um das umfangreiche Thema einzugrenzen, besonders auf die astronomische Seite der Lichtverschmutzung konzentrieren, und möchte Antworten finden in Bezug auf den Einfluss der Lichtverschmutzung auf die Himmelsbeobachtung. Aber gleichzeitig soll die Arbeit auch zeigen, welche Objekte genau am Stadthimmel beobachtet werden können und wie groß die Unterschiede zu verschiedenen Himmeln sind. Im praktischen Teil werden verschiedene Himmeln sowohl visuell als auch fotografisch verglichen.

Der abschließende Punkt meiner Arbeit wird eine Umfrage sein, die unter anderem herausfinden soll, ob es einen Zusammenhang zwischen Interesse an der Astronomie und dem Wohnort, gibt. Meine These dabei ist, dass Teilnehmer meiner Umfrage, die im Stadtzentrum leben bei starker Lichtverschmutzung weniger Interesse an der Astronomie haben als die, die am Land leben und öfters mit dem Nachthimmel in Kontakt kommen.

⁷ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S. 36f.

2 Vom künstlichen Licht zur Lichtverschmutzung

Wie in der Einleitung erwähnt, kann man sich dem Thema Lichtverschmutzung aus vielen Richtungen nähern. Ich nähere mich aus der ursprünglichsten Sicht, der astronomischen.

Astronomen gehörten zu den ersten Menschen, die auf diese Problematik hingewiesen haben, dies sieht man auch dadurch, dass sämtliche Stadtsternwarten in den letzten 50 Jahren eingestellt wurden und in andere Gebiete verlegt worden sind.

Um zu verstehen, wieso Lichtverschmutzung ein Umweltproblem darstellt, muss man zuerst verstehen, wie wichtig eigentlich der natürliche Wechsel von Tag und Nacht für den Organismus ist. Später gehe ich auf die geschichtliche Entwicklung von künstlicher Beleuchtung ein, die letztlich zur heutigen Problematik der Lichtverschmutzung führte und werde darauffolgend verschiedene Möglichkeiten zeigen, mit denen man heute Lichtverschmutzung messen kann.

2.1 Der natürliche Wechsel von Hell und Dunkel

Der natürliche Wechsel von Tag und Nacht ist für den Menschen so wie für alle Organismen einer der grundlegendsten Rhythmen der Erde neben dem Mondphasenzyklus und dem Erdumlauf um die Sonne.

Auch die frühen Hochkulturen schreiben dem natürlichen Wechsel zwischen Tag und Nacht etwas Göttliches zu. Zum Beispiel gehört in der griechischen Mythologie die Nacht als weibliche Gottheit „Nyx“ (*griechisch* Νύξ) zu den ältesten Gottheiten. Aber auch im Alten Testament werden Tag und Nacht als göttliche Schöpfungen dargestellt und gehören zu den ersten Schöpfungen des biblischen Gottes.⁸

Die wichtige Bedeutung des Wechsels von Hell und Dunkel ist aber auch naturwissenschaftlich nachweisbar. Alle Organismen haben sich schon lange evolutionsbedingt an den „zirkadianen“ Rhythmus angepasst, sprich an den 24-stündigen Tag- Nacht- Wechsel. Diese Anpassung kann man daran sehen, wenn man

⁸ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S. 15f.

verschiedene Beleuchtungsstärken der Natur mit dem Seh- bzw. Adaptionsvermögen von Tieren und Menschen vergleicht.⁹

Für die Beleuchtungsstärke verwendet man die physikalische Einheit Lux, abgeleitet vom lateinischen Wort für Licht.

Die Einheit Lux (lx) für die Beleuchtungsstärke gibt an, welcher Lichtstrom (Lumen, lm) auf eine Fläche (m²) fällt. Der Lichtstrom beschreibt die Lichtleistung einer Lampe. Eine Beleuchtungsstärke von einem Lux ergibt sich, wenn ein Lichtstrom von einem Lumen gleichmäßig eine Fläche von einem Quadratmeter beleuchtet. Gemessen wird die Beleuchtungsstärke mit einem Luxmeter.

$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

Das menschliche Auge hat die obere Grenze für die Wahrnehmung von Beleuchtungsstärken bei ca. 100.000 Lux. Im Schatten der Sonne kommt man kaum über 10.000 Lux, und in Gebäuden gibt man sich meistens mit 500-1000 Lux zufrieden. In einer Vollmondnacht kommt man kaum über 0,25 Lux und bei einer sternklaren Nacht ohne Mond (Neumond) ist man schon bei 0,001 Lux. Der Mensch kann sich aber auch bei Halbmond noch relativ gut in einer Landschaft bewegen und erkennt Hindernisse. Im Tierbereich gibt es auch Arten, die mit noch weniger Licht auskommen, wie zum Beispiel die Erdkröte, die nur 0,00001 Lux benötigt um sich visuell zu orientieren. Das ist weniger Licht als das gesamte Licht aller Sterne und der Milchstraße zusammen (0,001 Lux). Daraus folgend ist es erstaunlich zu sehen wie stark die Beleuchtungsstärke an einem Tag schwanken kann. Von einem Zehntausendstel bis zu über Hunderttausend Lux. Keine physikalische Größe verändert sich nur annähernd so stark im Tagesrhythmus wie die Beleuchtungsstärke. Und

⁹ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S. 16f.

trotzdem haben sich alle Organismen an den täglichen Rhythmus von Tag und Nacht gewöhnt.¹⁰

Aus der folgenden Liste kann man Beispiele von verschiedenen Beleuchtungsstärken herauslesen.

5 mW Laserpointer	427.000 lx
Beleuchtung in einem modernen Operationssaal	160.000 lx
Wolkenloser Sonnentag	100.000 lx
Bedeckter Sommertag	20.000 lx
Im Schatten im Sommer	10.000 lx
Bedeckter Wintertag	3.500 lx
Fußballstadion	1.400 lx
Beleuchtung TV-Studio	1.000 lx
Zimmerbeleuchtung	500 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Kerze aus ca. ein Meter Entfernung	1 lx
Vollmondnacht	0,25 lx
Sternklarer Nachthimmel (Neumond)	0,001 lx
Bewölkter Nachthimmel ohne Mond und Fremdlichter	0,00013 lx

Beispiele typischer Beleuchtungsstärken¹¹

2.2 Entwicklung der künstlichen Beleuchtung

Licht spielt beim Menschen schon seit Anbeginn seiner Zeit eine wichtige Rolle. Zu den frühesten Erhellungen der Nacht gehören Lagerfeuer. Auch Insekten wurden später von Naturvölkern zur Beleuchtung verwendet. Diese erhellten klarerweise nur einen kleinen Raum und haben daher keinen starken Einfluss auf die Himmelsaufhellung. Die gebräuchlichsten Quellen des künstlichen Lichts in der Antike bis ins 18. Jahrhundert waren neben Fackeln und Kerzen, Öl und Talglampen. Von einer allgemeinen öffentlichen Beleuchtung war man zu dieser Zeit noch weit weg. Erst im späten 17.

¹⁰ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S. 16f.

¹¹ Tabelle gekürzt aus der freien Enzyklopädie Wikipedia [https://de.wikipedia.org/wiki/Lux_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lux_(Einheit)) (22.2.2017)

Jahrhundert kommt der systematische Einsatz von stationären Öl- Talglampen in europäischen Städten zum Einsatz. In Paris 1667, in London 1668, in Wien seit 1688.¹²

Um ein Gefühl zu bekommen, wie hell die damalige Außenbeleuchtung war, weiß man, dass die Laternen bis ins 19. Jh. bei hellem Mondschein nicht verwendet wurden. Dies zeigt, dass die damalige Helligkeit der verwendeten Laternen in keiner Weise mit unserer heutigen Straßenbeleuchtung zu vergleichen ist.¹³

Die nächsten großen Schritte waren die Einführung der Gasbeleuchtung und letztlich dann die Einführung der elektrischen Beleuchtung kurz vor dem Beginn des 20. Jahrhunderts. Die Gasbeleuchtung löste die Öllampen ab, man schätzt, dass diese zehnmal heller leuchteten als die mit Öl davor. Mit Thomas Alva Edison beginnt der Wechsel zur elektrischen Beleuchtung, die sich dann nach und nach durchsetzt. In den 30er Jahren war diese Entwicklung nicht mehr aufzuhalten, es brach unter den Städten ein¹⁴ „regelrechter Wettbewerb um den Ehrentitel ‚Lichtstadt‘“¹⁵ aus.

Laut Thomas Posch waren folgende vier Faktoren für die rasante Erhellung der Nacht entscheidend:

- *„Steigende Lumen/Watt-Ausbeute (= Lichtausbeute)*
- *Stark fallende Kosten des künstlichen Lichts*
- *Stark steigende Anzahl von Laternen*
- *Mangel an gesetzlichen Bestimmungen gegen exzessiven Gebrauch künstlichen Lichts (...)*¹⁶

Durch die Summe dieser vier Faktoren kann man einigermaßen geschichtlich die immense Steigung der künstlichen Lichtproduktion verstehen. Laut dem italienischen

¹² vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S. 19f.

¹³ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S.22

¹⁴ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S.22f. und S.25

¹⁵ Schlör, Joachim: Nachts in der großen Stadt. Paris, Berlin, London 1840 - 1930, 1994, S.68

¹⁶ Posch, Thomas: Das Ende der Nacht, S. 27

Astronomen Pierantonio Cinzanos, der viele Arbeiten zum Thema Lichtverschmutzung verfasste, finden sich auch Prognosen über zukünftige Entwicklung von Lichtverschmutzung in bestimmten Regionen. Cinzano geht von einer immensen Wachstumsrate aus. Hier ist eine Grafik von Italien, die die Lichtverschmutzung in den Jahren 1971, 1998 mit einer Prognose für das Jahr 2025 zeigt.¹⁷

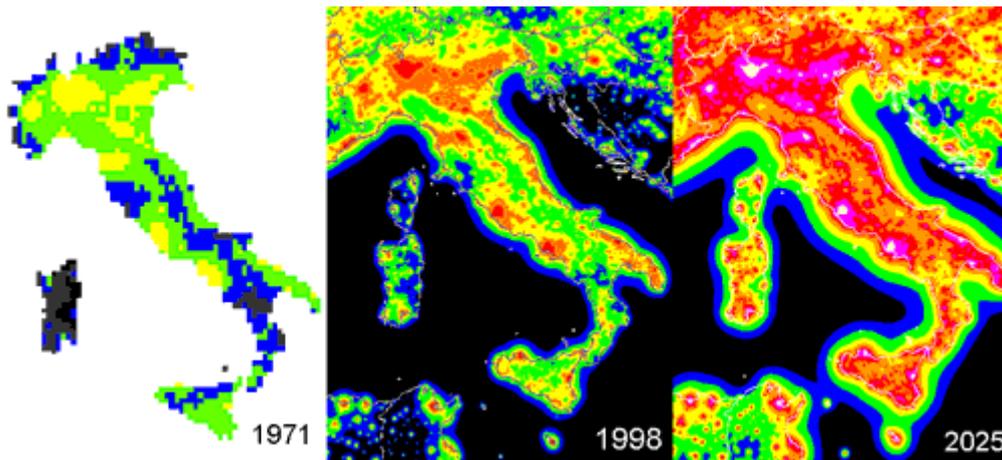


Abb. 1: Wachstum der Lichtverschmutzung in Italien, P. Cinzano, F. Falchi, C. D. Elvidge. Copyright 2001 ISTIL, http://www.lightpollution.it/cinzano/page94_clip_image002.jpg

2.3 Bestimmung des Lichtverschmutzungsgrades

Heutzutage gibt es schon einige Methoden wie man den Lichtverschmutzungsgrad eines Standortes messen kann. Einige Methoden sind sehr subjektiv, dafür aber einfach und schnell durchführbar, andere genauer, dafür kostspieliger. Aber vorher werden ein paar grundlegende Begriffe erklärt.

¹⁷ vgl. Cinzano, Pierantonio: Growth of light pollution in Italy, <http://www.lightpollution.it/cinzano/en/page94en.html> (abgerufen am 27.2.2017)

2.3.1 Scheinbare und absolute Helligkeit (Magnitude)

Für die Einteilung von verschiedenen Sternhelligkeiten geht man auf eine Skala vom griechischen Astronomen Hipparchos von Nicäa (ungefähr 190 -120 v. Chr.) zurück, der als erster Sterne anhand ihrer Helligkeit einteilte.

Hipparchos teilte die sichtbaren Sterne in sechs Größenklassen ein. Die hellsten Sterne am Himmel wurden der ersten Klasse (1^{mag}) zugeteilt, und die Sterne, die man gerade noch mit freiem Auge sehen konnte, der sechsten Klasse (6^{mag}).

Diese Einteilung der Größenklassen bzw. Magnitudo (lateinisch Größe) kurz *mag* hat man auch heute übernommen. Die heutige Skala wurde jedenfalls im 19. Jh. verfeinert und mathematisch exakter definiert. Ein Stern erster Größe ist dabei genau hundertmal so hell wie ein Stern sechster Größe. Diese Skala ist demzufolge logarithmisch. Heute werden die Sternhelligkeiten nicht mehr visuell, sondern fotometrisch ermittelt.

Mit der neuen Definition der Skala wurde sie auch in beiden Richtungen erweitert und zur feineren Unterscheidung durch weitere Dezimalzahlen ergänzt (z.B. $2,45^{\text{mag}}$ oder $-1,12^{\text{mag}}$). Größenklassen über der sechsten Größe (6^{mag}) konnten durch die Erfindung von optischen Instrumenten erreicht werden, die immer schwächere Objekte einordnen konnten.

Um andere Himmelsobjekte wie die Planeten oder unsere Sonne ($-26,7^{\text{mag}}$), die heller sind als die meisten Sterne auch in die Skala einzubauen, geht man dafür in den negativen Bereich. (z.B. $-1,46^{\text{mag}}$)

Verwirrend für den Laien ist, dass eine kleinere Zahl auf der Skala eine größere Helligkeit bezeichnet. Man wollte die historischen sechs Größenklasseneinteilungen nicht von Grund auf erneuern. Der Helligkeitsunterschied von einer Helligkeitsklasse zur nächsten beträgt das $\sqrt[5]{100} \approx 2,512$ -fache.

In der Astronomie spielt die relative und absolute Helligkeit eine wichtige Rolle:

Die **scheinbare Helligkeit** gibt an, wie hell ein Himmelsobjekt (Stern, Planet etc.) von der Erde aus gesehen ist, ohne irgendwelche Informationen wie Entfernung oder wahre Leuchtkraft des Sterns zu berücksichtigen. Sie wird mit der oben erwähnten

Skala (Magnitudo) angegeben. Zum Beispiel: Polarstern 1,97^{mag} oder Stern Wega 0,03^m
(statt^{mag} kann man auch nur^m angeben)

Die **absolute Helligkeit** hingegen, ist ein Maß für die wahre Leuchtkraft von Himmelsobjekten, in einer gedachten Distanz von zehn Parsec (1 Parsec entspricht ca. 3,26 Lichtjahre). Mit der absoluten Helligkeit kann die wahre Leuchtkraft der Sterne untereinander verglichen werden.

Von scheinbare auf absolute Helligkeit:

Grundidee: Für die absolute Helligkeit setzt man alle Sterne in einer bestimmten Entfernung von zehn Parsec, um diese dann vergleichen zu können.

Um die absolute (wirkliche) Helligkeit eines Sterns zu bestimmen, benötigt man die scheinbare Helligkeit und die Distanz (Entfernung zur Erde).

Mit der folgenden Formel kann man die absolute Helligkeit berechnen.

$$M = m - 5 * \log r + 5$$

M= absolute Helligkeit, m= scheinbare Helligkeit, r= Distanz zur Erde (in Parsec)

Rechenbeispiel anhand von drei Sternen:

Angabe:¹⁸

Sirius: scheinbare Helligkeit: -1,46mag, Entfernung: ca. 8,6 Lichtjahre

Rigel: scheinbare Helligkeit: +0,12mag, Entfernung: ca. 770 Lichtjahre

Sonne: scheinbare Helligkeit: -26,74mag, Entfernung: 149,6 Mio. km (mittlere Entfernung)

¹⁸ Werte stammen aus der Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Rigel>,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Sirius>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonne>, (abgerufen am 27.02.17)

1 Lichtjahr (Lj) = ca. 0,3067 Parsec (pc)

Umrechnen und Einsetzen der Werte in die Formel:

Sirius:	Rigel:	Sonne:
$8,6\text{Lj} \approx 2,64\text{pc}$	$770\text{Lj} \approx 236\text{pc}$	$149,6 \text{ Mio. km} \approx 4,85 * 10^{-6}\text{pc}$
$M = -1,46 - 5 * \log 2,64 + 5$	$M = 0,12 - 5 * \log 236 + 5$	$M = -26,74 - 5 * \log 4,85 * 10^{-6} + 5$
$M \approx 1,43\text{mag}$	$M \approx -6,74\text{mag}$	$M \approx 4,83\text{mag}$

Wenn man die berechneten absoluten Helligkeiten, die die Leuchtkraft der Sterne aus zehn Parsec (ca. 32 Lichtjahre) angibt, von Sonne ($4,83^{\text{mag}}$) und den Sternen Sirius ($1,43^{\text{mag}}$) und Rigel ($-6,74^{\text{mag}}$) vergleicht, sieht man sofort, dass der Stern Rigel eine vielfach höhere wahre Leuchtkraft hat, als die Sterne Sirius und Sonne.

2.3.2 Bestimmen der Grenzhelligkeit

Diese Methode kommt aus der Astronomie Szene und wird heute noch von fast allen Astronomen verwendet. Sie gibt einem einen guten Anhaltspunkt, wie gut ein Himmel ist. Die Grenzhelligkeit ist dabei die Helligkeit des noch gerade so zu sehenden Sternes am Himmel. Das heißt praktisch, dass man sich einen Stern aussucht den man gerade noch mit bloßem Auge sieht. An dieser Definition sieht man gleich, dass diese Methode sehr subjektiv und vom jeweiligen Beobachter stark abhängig ist. Die Sehschärfe, so wie die Dunkeladaption der Augen können das Ergebnis stark verfälschen.

Drei Faktoren spielen bei der Grenzbestimmung eine wichtige Rolle:

- **Klimatische Bedingungen** (Wetter, Durchsicht, Dunst etc.)
- **Lichtverschmutzung abhängig vom Standort** (Land, Stadt, Meer, Gebirge etc.)
- **Beobachter** (Sehschärfe, Dunkeladaption etc.)

Alle drei Faktoren können dabei das Ergebnis verändern und sollten bei jeder Beobachtung berücksichtigt werden.

Am Land weit außerhalb von Städten beträgt die durchschnittliche Grenzgröße bei einem natürlich dunklen Himmel in Europa bei 6^{mag}. Das entspricht in etwa 2000-3000 Sternen (ca. 3000 Sterne werden als das visuelle Maximum auf einer Halbkugel angesehen). In Wüsten und Gebirgsregionen kommt man zum Teil auch auf 6,5^{mag}. Lichtverschmutzung und Luftverschmutzung senken die Grenzgröße erheblich.¹⁹

Am Beispiel Graz: (Werte stammen aus eigenen Beobachtungen)

Am südlichen Stadtrand beträgt die Grenzgröße zwischen 3,5-4,5^{mag}.

Im Zentrum der Stadt gibt es viele Plätze wo man Schwierigkeiten hat Sterne über 3,5^{mag} zu erkennen. Das sind weniger als 400 Sterne.

Für die visuelle Bestimmung der Grenzgröße gibt es zwei Methoden:

- **Ausfindig machen von schwachen Sternen**

Hierfür benötigt man eine Sternkarte, mit der man ein Sternbild aussucht, am besten eines, welches man das ganze Jahr sieht (zirkumpolar), wie zum Beispiel den Kleinen Bären und geht von den hellen Sternen bis zu den gerade noch sichtbaren Sternen vor. Die gerade noch sichtbaren Sterne geben die erreichte Grenzhelligkeit an.

- **Zählen der Sterne in einem Sternfeld**

Hier verwendet man einen anderen Ansatz. Man sucht sich ein Sternfeld aus und zählt dort die Sterne, die man mit bloßem Auge noch erkennen kann ab. Später kann man dann mittels der Anzahl der Sterne und eines Sternkartenprogramms ermitteln, welche Grenzgröße erreicht wurde.

Die Grenzhelligkeit kann auch durch ein Teleskop oder fotografisch bestimmt werden. Hier geht man nach demselben Schema wie oben erwähnt vor, nur, dass man hier durch verschiedene optische Instrumente höhere Grenzhelligkeiten bzw. Grenzgrößen erreichen kann. (z.B. 14^{mag})

¹⁹ vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Grenzgr%C3%B6%C3%9Fe> (abgerufen am 27.2.2017)

Theoretisch erreichbare Grenzgrößen anhand verschiedener Instrumente:²⁰

- Menschliches Auge: ca. 6^{mag} (bei Kindern auch 7^{mag}, da die Austrittspupille noch größer ist)
- Fernglas mit 30mm Durchmesser: 9^{mag} (ca. 200.000 Sterne)
- 75mm Teleskop: 11^{mag}
- Achtzöller (Standard Teleskop unter Amateurastronomen) 200mm: 13^{mag}
- Großteleskope: über 20^{mag}
- Hubble-Weltraumteleskop fotografisch: über 30^{mag}

2.3.3 Bortle Skala

Um den Lichtverschmutzungsgrad eines Standortes zu bestimmen hat der amerikanische Astronom John E. Bortle, 2001 die Bortle Skala veröffentlicht, die den Grad der Lichtverschmutzung in neun Klassen einteilt, wichtig dabei ist, dass man diese Skala ohne technische Hilfsmittel anwenden kann.

Einteilung der Bortle Skala mit Himmelsbeschreibung:

Um ein Gefühl zu bekommen, wie stark die Lichtverschmutzung ist, habe ich mit der freien Software Stellarium, Bilder vom Sternbild Orion erstellt, die die jeweilige Lichtverschmutzungsstufe zeigt.

²⁰ Werte stammen aus: Karkoschka, Erich: Atlas für Himmelbeobachter, 2013, S.12 und https://de.wikipedia.org/wiki/Scheinbare_Helligkeit (abgerufen 27.2.2017)

Klasse 1: „extrem dunkel (Wüste) – Grenzgröße 8,0 bis 7,6 mag“

Galaxien und Nebel (z.B. Orionnebel, unter den drei markanten Sternen im Sternbild Orion), sind problemlos mit bloßem Auge erkennbar. Gegenstände und Menschen sind vor dunklem Hintergrund nicht zu erkennen. Solche Himmel sind in Europa nicht mehr vorzufinden. Die Milchstraße ist deutlich erkennbar (links im Bild).



Abb. 2: Sternbild Orion, Klasse 1 (Abb. 2-10 erstellt vom Autor mit Stellarium)

Klasse 2: „sehr dunkel (Gebirge) – Grenzgröße 7,5 bis 7,1 mag“

Galaxien und Nebel mit bloßem Auge leicht erkennbar. Gegenstände sind vor dunklem Hintergrund schemenhaft zu erkennen. So ein Himmel ist in Europa sehr schwer zu finden.

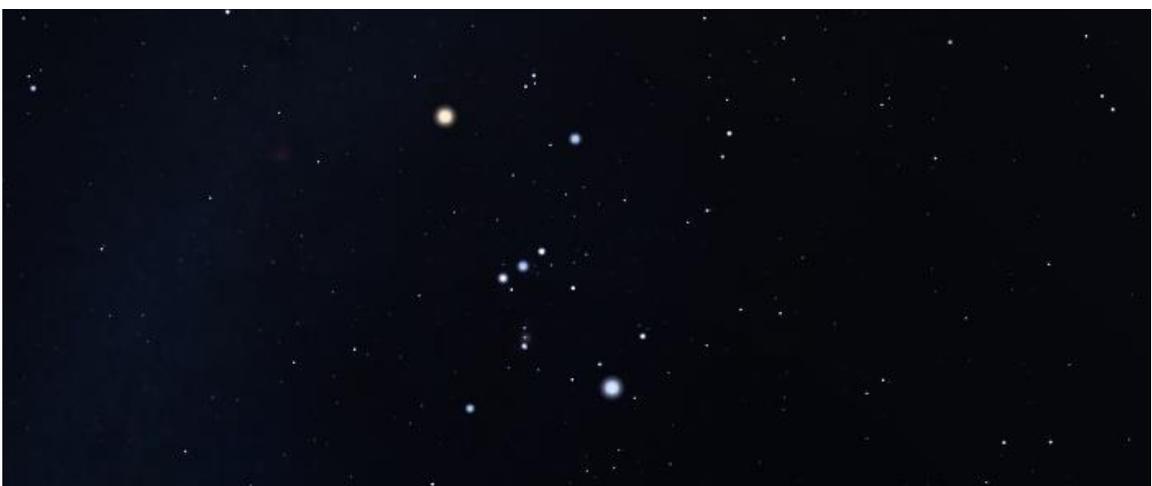


Abb. 3: Sternbild Orion, Klasse 2

Klasse 3: „Land – Grenzgröße 7,0 bis 6,6 mag“

Die meisten Galaxien und Nebel nur noch indirekt erkennbar. Unter **indirektem Sehen** versteht man eine Beobachtungstechnik, mit der man lichtschwache Objekte (Nebel, Galaxien etc.) besser erkennen kann. Dabei blickt man nicht direkt auf das Himmelsobjekt, sondern seitlich daran vorbei.



Abb. 4: Sternbild Orion, Klasse 3

Klasse 4: „Übergang Land/Vorstadt – Grenzgröße 6,5 bis 6,1 mag“

Die meisten Galaxien indirekt kaum mehr zu sehen. In Horizontnähe deutliche Lichtverschmutzung. Gegenstände sehr deutlich erkennbar.



Abb. 5: Sternbild Orion, Klasse 4

Klasse 5: „Vorstadt – Grenzgröße 6,0 bis 5,6 mag“

Milchstraße ist kaum erkennbar. Dunkle Sterne verschwinden langsam.

Lichtverschmutzung am ganzen Himmel sichtbar. Gegenstände auch ohne Licht bestens erkennbar.



Abb. 6: Sternbild Orion, Klasse 5

Klasse 6: „helle Vorstadt – Grenzgröße 5,5 bis 5,1 mag“

Milchstraße nur im Zenit sichtbar. Orionnebel indirekt gerade noch zu sehen. Wolken hell angeleuchtet.

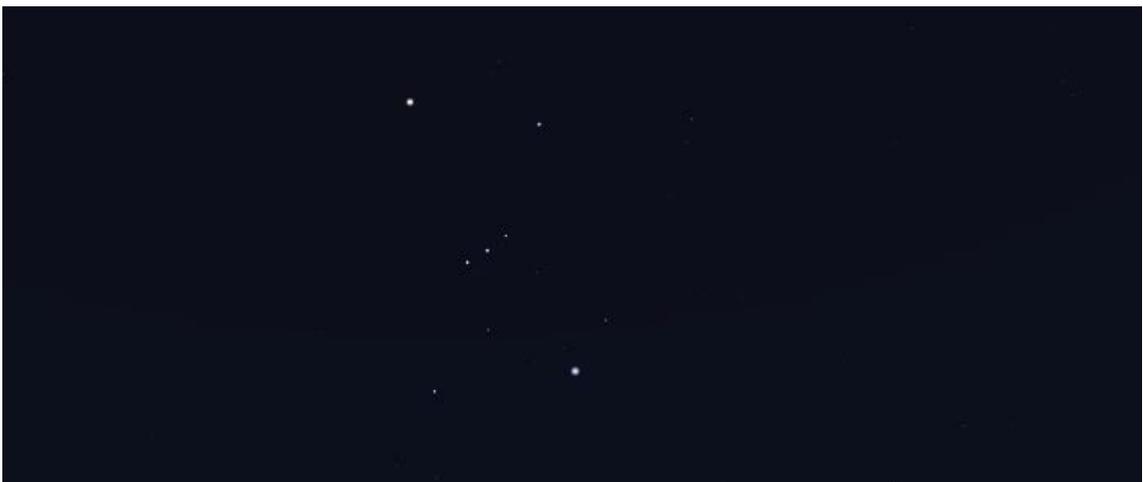


Abb. 7: Sternbild Orion, Klasse 6

Klasse 7: „Übergang Vorstadt / Stadt – Grenzgröße 5,0 bis 4,6 mag“

Gesamter Nachthimmel bekommt eine unnatürlich grauweiße Farbe (Lichtglocke).
Milchstraße unsichtbar. Nebeln sind sehr schwer erkennbar.



Abb. 8: Sternbild Orion, Klasse 7

Klasse 8: „Stadt – Grenzgröße 4,5 bis 4,1 mag“

Der Himmel leuchtet schon leicht orange. Es sind nicht mehr alle Sternbilder
erkennbar. Zeitungsschlagzeilen mühelos lesbar.



Abb. 9: Sternbild Orion, Klasse 8

Klasse 9: „Innenstadt – Grenzgröße 4,0 mag und heller“²¹

Gesamter Nachthimmel hell erleuchtet. Viele Sterne in den Sternbildern verschwunden. M45(Plejaden, offener Sternhaufen) ist einer der letzten erkennbaren Messier-Objekte.



Abb. 10: Sternbild Orion, Klasse 9

²¹ Skala aus Wikipedia der freien Enzyklopädie <https://de.wikipedia.org/wiki/Bortle-Skala> (abgerufen am 22.02.2017)

2.3.4 Sky Quality Meter

Alle Methoden und Skalen, die oben erwähnt wurden, haben den Nachteil, dass sie sehr subjektiv sind und eigentlich nur für den Beobachter selbst, einen Sinn machen.

Abhilfe schafft hier der sogenannte Sky Quality Meter, kurz SQM, der 2005 von der kanadischen Firma Unihedron auf den Markt gebracht wurde. Dieses Gerät misst die Himmeshelligkeit über einen bestimmten Kegel.

Der größte Vorteil beim SQM ist, dass man nicht von einem subjektiven Beobachter abhängig ist. Somit lassen sich problemlos verschiedene Himmelmessungen von verschiedenen Leuten vergleichen.

Ein Nachteil beim SQM ist, dass verschiedene natürliche Lichtquellen wie der Mond, Milchstraße aber auch meteorologische Faktoren wie Bewölkung, Dunst, Feuchtigkeit etc. vom Sensor des SQM nicht beachtet werden können. Ein triftiger Grund für viele Hobbyastronomen, doch lieber visuell die Grenzgröße zu bestimmen.



Abb. 11: Sky Quality Meter,

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/SkyQualityMeterQM-LFlou.jpg>

3 Himmelsbeobachtung aus der Stadt

Wenn man sich der Problematik der Lichtverschmutzung bewusst ist, kommt meistens sofort die Frage, was kann man trotz der starken Aufhellung des Himmels in der Stadt eigentlich beobachten. Welchen Einfluss hat die Lichtverschmutzung auf meine Beobachtung? Eine Frage, die jedem Hobbyastronomen einmal in den Sinn fällt. Es ist ein Irrglaube, dass man visuell Galaxien und Nebeln in all ihren Farben sehen kann, wie man dies von vielen Bildern aus Astronomie-Büchern kennt. Hier hat man mit langzeitbelichteten Aufnahmen zu tun, die nichts mehr mit der echten praktischen visuellen Beobachtung gemeinsam haben.

In folgendem Kapitel möchte ich einen Überblick über die verschiedenen Himmelsobjekte schaffen, die aus einer Stadt beobachtbar sind und auch den Einfluss der Lichtverschmutzung mitberücksichtigen.

3.1 Der Mond

Der Mond ist für viele Menschen die erste Begegnung mit der Astronomie. Nicht ohne Grund, einerseits lässt sich das mit der beachtlichen Größe von ca. einem halben Grad (in der Astronomie wird die scheinbare Größe dazu verwendet, die Winkelausdehnung eines Objektes aus der Sicht eines Beobachters zu beschreiben), andererseits auch durch die scheinbare Helligkeit von -12.73^{mag} (neben der Sonne das zweithellste Himmelsobjekt am Himmel) begründen. Der Mond lässt sich ohne Probleme von der Stadt aus beobachten und wird kaum merkbar von der Lichtverschmutzung gestört.



Abb. 12: Mond durch ein Teleskop bei 35-facher Vergrößerung (Bild vom Autor)

3.2 Die Planeten

Bei der Beobachtung von Planeten aus einer Stadt wird man wenig Probleme hinsichtlich der Lichtverschmutzung haben.

Von den acht Planeten in unserem Sonnensystem haben jedenfalls in der Amateurszene vier Planeten mehr Bedeutung bei der Beobachtung, als die anderen. Das wären Venus, Mars, Jupiter und Saturn.

Der Merkur ist generell wegen seiner Sonnennähe von der Erde aus schwer beobachtbar. Merkur ist entweder am Abend- oder am Morgenhimmel zu sehen und hat eine maximale scheinbare Helligkeit von $-1,9^{\text{mag}}$.²²

Die Venus, auch Morgenstern oder Abendstern genannt, sticht von allen Planeten mit ihrer besonderen Helligkeit von max. $-4,6^{\text{mag}}$ heraus, was sie somit nicht mit Sternen verwechselbar macht.

Der Mars ist durch seinen leichten rötlichen Schimmer zu erkennen. Nicht so hell wie die Venus, max. $-2,91^{\text{mag}}$, aber, da sich der Mars außerhalb der Erdbahn befindet, kann man ihn zu bestimmten Zeiten (Opposition) die ganze Nacht lang beobachten, was bei Venus und Merkur nicht möglich ist.

Der Jupiter ist ein Paradeobjekt für eine Beobachtung aus einer Stadt. Jupiter mit einer max. Helligkeit von $-2,94^{\text{mag}}$ zeigt bei gutem Seeing (Luftunruhe) viele Details wie zum Beispiel seine Wolkenbänder, aber auch seinen großen roten Fleck (GRF od. GDS). Auch die vier hellsten Monde Jupiters können schon in einem Fernglas beobachtet werden.

Der Saturn zählt zu den beliebtesten Planeten der Hobbyastronomen, in erster Linie wegen seines Ringes. Saturn mit einer max. scheinbaren Helligkeit von $-0,2^{\text{mag}}$, ist der äußerste Planet, der noch problemlos mit bloßem Auge erkennbar ist.

²² vgl. Helligkeitswerte von Planeten:

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Planeten_des_Sonnensystems (abgerufen am 22.2.2017)

Der Uranus (max. $5,5^{\text{mag}}$) und **der Neptun** (max. $7,8^{\text{mag}}$), die beiden äußeren Gasplaneten sind nicht mehr mit dem bloßen Auge wahrnehmbar, aber dafür im Teleskop beobachtbar.

3.3 Sterne

Während bei Planeten kaum Einfluss, seitens der Lichtverschmutzung erkennbar ist, ist die Sternbeobachtung direkt von dieser betroffen. Wie am Beginn der Arbeit erwähnt, ist es fast schon unmöglich, in großen Städten Sterne über 5^{mag} zu finden.

Von der Erde aus gesehen gibt es:

ca. 15 Sterne unter 1^{mag} (der hellste Stern ist Sirius im Sternbild Großer Hund mit $1,46^{\text{mag}}$)

ca. 50 Sterne unter 2^{mag} (darunter auch der Polarstern mit ca. $1,99^{\text{mag}}$)

ca. 170 Sterne unter 3^{mag} (Sterne um 3^{mag} sind wichtig um die Sternbilder erkennen zu können)

ca. 500 Sterne unter 4^{mag} (Sterne um 4^{mag} sind wichtig um die meisten Sternbilder vollständig erkennen zu können)

ca. 6000 Sterne unter 6^{mag} (jeweils ca. 3000 Sterne sind bei sehr dunklem Himmel auf einer Halbkugel mit dem Auge sichtbar)

Als Faustregel gilt: Eine Größenklasse zur nächsten ist um ca. 2,5-fache heller bzw. dunkler. Sterne der ersten Größenklasse leuchten dementsprechend 100-mal heller als die, der sechsten Klasse. $2,5 \times 2,5 \times 2,5 \times 2,5 \times 2,5 = \text{ca. } 100$

Doppelsterne

Wenn zwei Sterne dichter beisammen, als das Auflösungsvermögen des freien Auges stehen, so sieht man mit dem freien Auge nur einen Stern. Man spricht in diesem Fall von Doppelsternen. Es gibt auch Dreifach-, Vierfachsterne etc...

Veränderliche Sterne

Veränderliche Sterne ändern ihre Helligkeiten in bestimmten Zyklen (manche auch unregelmäßig) und können durchaus in lichtverschmutzten Gebieten für einige Zeit sichtbar werden und dann wieder verschwinden.

3.4 Deep Sky Objekte

Kein Gebiet ist so stark von der Lichtverschmutzung betroffen wie die Deep Sky Objekte. Hier liegt auch der Hauptgrund, wieso die meisten historischen Stadtsternwarten fernab von Städten übersiedelt sind.

„Deep Sky“ heißt wörtlich „tiefer Himmel“, mit dem Begriff fasst man alle Himmelsobjekte zusammen, die außerhalb des Sonnensystems liegen, aber keine einzelnen Sterne sind. Zu den Deep Sky Objekten gehören unter anderem Nebel, Sternhaufen und Galaxien.

In der Hobbyastronomie liegt auch hier der spannendste Bereich der Himmelsbeobachtung, weil man hier die Grenzen unseres eigenen Sonnensystems verlässt und in unbekannte Welten stößt. Nicht umsonst hat man im 18. Jh. schon begonnen, diese Objekte außerhalb unseres Sonnensystems zu katalogisieren. So ist es zum Beispiel zum Messier-Katalog gekommen, der 110 Objekte enthält. Ein weiterer Katalog ist der berühmte New General Catalogue, kurz NGC, der fast 8000 Objekte beinhaltet. Manche dieser Objekte sind schon mit bloßem Auge erkennbar, wie zum Beispiel die Plejaden, andere sind wiederum nicht einmal leicht im Teleskop erkennbar und können erst fotografisch sichtbar gemacht werden.

Wie oben erwähnt, ist kein Bereich wie dieser von der Lichtverschmutzung betroffen. Das kann man gut am Beispiel der Andromeda Galaxie (M31 = Messier-Objekt 31) sehen.

Theoretisch kann man bei einem guten Himmel, abgelegen von Kunstlicht, die Galaxie Andromeda problemlos mit bloßem Auge erkennen. Aber eine kleine Aufhellung des Himmels macht diese unsichtbar. Man kann höchstens im Teleskop einen nebligen

Galaxiekern ausfindig machen. Ganz ähnlich sieht es auch mit anderen Objekten (Nebeln, Galaxien etc.) aus.

Ein Himmelsbeobachter der Stadt muss meistens in dieser Sache einen Kompromiss eingehen, wie viel Detail und wie viele Objekte er sehen möchte, da die Lichtverschmutzung viele schwache Objekte unsichtbar macht. Hier hilft nicht einmal das beste Teleskop, sondern eben nur ein dunkler Himmel.

4 Lösungsansätze

Es gibt zwei Lösungsansätze, um die Lichtverschmutzung einzudämmen. Auf der einen Seite sind es die, die auf der gesetzlichen Grundlage aufbauen, auf der anderen Seite sind es die, die auf technischer Ebene durchführbar sind.

4.1 Gesetzliche Lösungen

Eine Möglichkeit, um die immer steigende Lichtverschmutzung einzudämmen liegt in der gesetzlichen Lösung. Leider fehlt es in den meisten Ländern diesbezüglich noch an gesetzlichen Bestimmungen. Maßgebliche Normen geben zwar zum Beispiel untere Grenzwerte für die zu erzielende Straßenbeleuchtung an, aber keine oberen Grenzwerte. Nur einige Staaten (Spanien, Chile, Slowenien, Tschechien, Frankreich...) erließen bis jetzt eigene gesetzliche Regelungen zur Eindämmung von Lichtverschmutzung. Jedenfalls planen heute immer mehr Länder gesetzliche Regelungen, die den übermäßigen Lichtverbrauch unter Kontrolle bringen sollen.²³

4.2 Technische Lösungen

Neben den gesetzlichen Lösungen gibt es auch eine Vielzahl an technischen Lösungen, die eine bessere, effizientere Nutzung des Lichtes bieten. Wichtig dabei zu erwähnen ist, dass die Lichttechnik mittlerweile unglaublich weit fortgeschritten ist, und es daher keine Ausrede ist, zu glauben, man besäße keine bessere Technik.

Laut René L. Kobler kann man diese technischen Lösungen in einem 5-Punkte Leitfaden zusammenfassen:

„5-Punkte Leitfaden zur Eindämmung der Lichtverschmutzung

- 1. Notwendigkeit (Grundlegendes Aenderungsverhalten)*
- 2. Abschirmung (räumlicher Aspekt)*
- 3. Richtung (planerischer Aspekt)*

²³ vgl. Posch, Thomas: Das Ende der Nacht S. 31

4. *Beleuchtungsstärke und Art (Anspruchshaltung)*

5. *Zeitliche Begrenzung (Zeitplanung)*²⁴

Diese fünf Punkte sind grundsätzlich selbsterklärend und müssen nicht genauer erklärt werden.

4.3 Einsatz von Filtern beim Teleskop

Für bestimmte Objekte wie Gasnebel, die nur in bestimmten Wellenbereiche Licht abgeben, kann man sich auch Filter zunutze machen.

Für die Beobachtung aus einer Stadt mit einem Teleskop, kann mit einem Filter das künstliche Licht der Stadt ausgeblendet werden und nur das Licht bestimmter Himmelsobjekte, die in bestimmten Wellenlängenbereichen leuchten, beobachtet werden. Diese Filter werden okularseitig am Teleskop angebracht.

Es gibt einige verschiedene Arten von Filtern, ich gehe auf die zwei wichtigsten ein.

Breitbandfilter lassen breite Bereiche des Lichts durch und filtern nur störende Bereiche wie zum Beispiel Straßenlampen etc. Mit solchen Filtern können mehr Objekte als mit einem Schmalbandfilter beobachtet werden, da der Bereich der gefiltert wird, kleiner ist.

Schmalbandfilter hingegen blockieren fast alle Wellenlängen und lassen nur einen kleinen bestimmten Bereich durch. Zum Beispiel, das Licht bestimmter Gasnebel.

Der UHC-Filter (Ultra High Contrast Filter) ist ein Schmalbandfilter, der nur einen kleinen Teil der Wellenlängen des Lichts durchlässt. Er eignet sich daher besonders für Gasnebel.

Der O-III-Filter ist ein Filter, der für planetarische Nebel und Supernovaüberreste geeignet ist. Im Gegensatz zum UHC- Filter erscheinen O-III -Objekte kontrastreicher,

²⁴ Kobler, René L.: Die Lichtverschmutzung in der Schweiz, Mögliche Auswirkungen und praktische Lösungsansätze, 2002, S.27

http://www.starpointing.com/downloads/rlkobler_dipl.pdf (abgerufen am 20.2.2017)

da der passierte Wellenlängenbereich beim O-III -Filter noch enger ist. Somit lassen sich sehr gute Ergebnisse von Deep Sky Objekten aus der Stadt machen.

4.4 Organisationen gegen Lichtverschmutzung

Durch die immer weiter steigende Problematik der Lichtverschmutzung haben sich schon einige Organisationen bzw. Initiativen gegen Lichtverschmutzung gebildet. Die größte von diesen ist die International Dark-Sky Assoziation, kurz IDA, die 1988 gegründet wurde und mittlerweile schon ca. 5000 Mitglieder in 70 Ländern hat. Sie versucht mit ihren Projekten in erster Linie auf die Problematik der Lichtverschmutzung aufmerksam zu machen und arbeitet an vielen Projekten, um die Lichtverschmutzung in Großstädten sinnvoll zu lösen.

5 Vergleich von verschiedenen Himmel

5.1 Aufnahmen vom „Kleinen Bären“

Um verschiedene Himmel zu vergleichen, habe ich sechs verschiedene Orte aufgesucht und dort visuell die Grenzhelligkeit am Kleinen Bären bestimmt. Alle Beobachtungen habe ich auch fotografisch dokumentiert.

Das Sternbild des Kleinen Bären eignet sich hervorragend für Grenzhelligkeitsbestimmungen, weil fast alle Sternhelligkeiten vorhanden sind. Im nächsten Unterkapitel werden die wichtigsten sieben Sterne des Kleinen Bären mit ihren scheinbaren Helligkeiten angegeben.

Alle Bilder zeigen den Kleinen Bären und wurden von mir mit denselben Einstellungen aufgenommen. Dabei habe ich alle Bilder mit meinem Smartphone erstellt. Bei 400 ISO, und acht Sekunden Belichtungszeit (mit Stativ).

Beschreibung meiner Methode zur Bestimmung der visuellen Grenzgröße:

Visuell habe ich die Grenzhelligkeit, durch ausfindig machen von schwachen Sternen am Kleinen Bären bestimmt. Zuerst suche ich immer die drei hellsten Sterne (Polaris und die zwei Kastensterne Kochab und Pherkad), und weiß, wenn ich diese Sterne klar und deutlich sehe, dass die Grenzhelligkeit sicher schon über 3^{mag} liegt. Danach schau ich ob man Sterne der vierten Größenklasse erkennen kann und suche dann dort einen Stern aus, den ich gerade noch so mit freiem Auge sehen kann. Mit Hilfe einer Grenzgrößenkarte vom Kleinen Bären kann ich dann die genaue Grenzhelligkeit des Himmels bestimmen.

Graz Stadtgrenze (Volksschule Puntigam, Schulhof) ca. 3,5-4,5^{mag} (visuell bestimmt)

Beobachtungszeit: 14.02.2017, 21:00, vor Mondaufgang, Beginn der astronomischen Dämmerung: 19:03 Uhr (Die Sonne befindet sich ab diesem Zeitpunkt schon 18 Grad unter dem Horizont.)

Visuelle Beobachtung: **Polaris (Polarstern)**, **Kochab** und **Pherkad** sind deutlich zu erkennen. Während die anderen Sterne vierter Größenklasse (>4,5^{mag}) höchstens erahnt werden können. Der Himmel hat eine deutliche Aufhellung in Richtung Stadtzentrum.

Fotografisch: 5^{mag} Sterne können schon ganz schwach erkannt werden.



Abb. 13: Aufnahme vom Kleinen Bären am 14.02.2017 aus Puntigam

Graz (Parkplatz Minoritensaal) ca. 3,5-4^{mag}

Beobachtungszeit: 25.02.2017, 19:46, ein Tag vor Neumond, sehr klare Luft, Beginn der astronomischen Dämmerung: 19:19 Uhr

Visuelle Beobachtung: Sterne vierter Größenklasse können indirekt noch erkannt werden.

Fotografisch: 4,5^{mag} Sterne deutlich erkennbar. (Neumond)



Abb. 14: Aufnahme vom Kleinen Bären am 25.02.2017 aus dem Zentrum

Thalersee ca. 5,0^{mag}

Beobachtungszeit: 25.02.2017, 20:20, Neumond, sehr klare Luft, Beginn der astronomischen Dämmerung: 19:19 Uhr

Visuelle Beobachtung: Alle sieben Hauptsterne des Kleinen Bären deutlich direkt sichtbar. Himmel im Vergleich zum Stadthimmel deutlich dunkler.

Fotografisch: Teilweise schon Sterne über 5,5^{mag} erkennbar.



Abb. 15: Aufnahme vom Kleinen Bären am 25.02.2017 aus Thal

Seiersberg ca. 4,5^{mag}

Beobachtungszeit: 14.02.2017, 21:20, kurz vor Mondaufgang, Beginn der astronomischen Dämmerung: 19:03 Uhr

Visuelle Beobachtung: Sechs Hauptsterne des Kleinen Bären erkennbar. Während der siebte Stern mit 5^{mag} höchstens indirekt erahnt werden können.

Fotografisch: 5^{mag} Sterne leicht erkennbar.

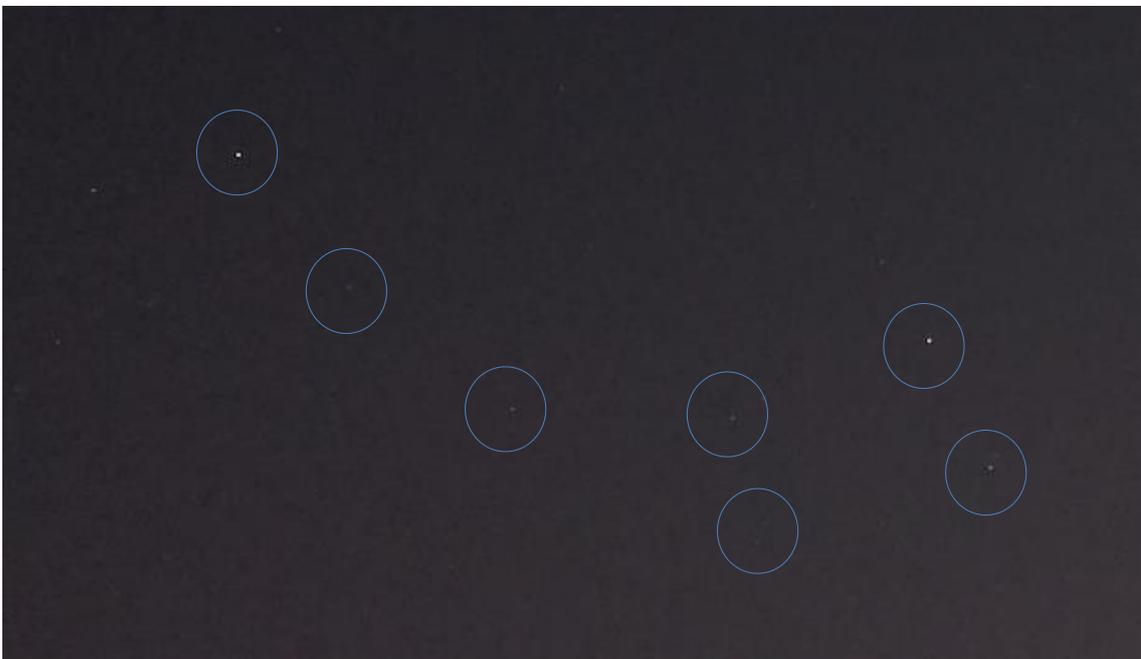


Abb. 16: Aufnahme vom Kleinen Bären am 14.02.2017 aus Seiersberg

Mantscha (süd-westlich von Graz) 5^{mag}

Beobachtungszeit: 14.02.2017, 21:30, kurz vor Mondaufgang, Beginn der astronomischen Dämmerung: 19:03 Uhr

Visuelle Beobachtung: Der Kleine Bär ist mit allen Hauptsternen deutlich erkennbar. Der Kleine Wagen sticht am dunklen Himmel deutlich heraus.

Fotografisch: Auch Sterne über der fünften Größenklasse gut sichtbar.

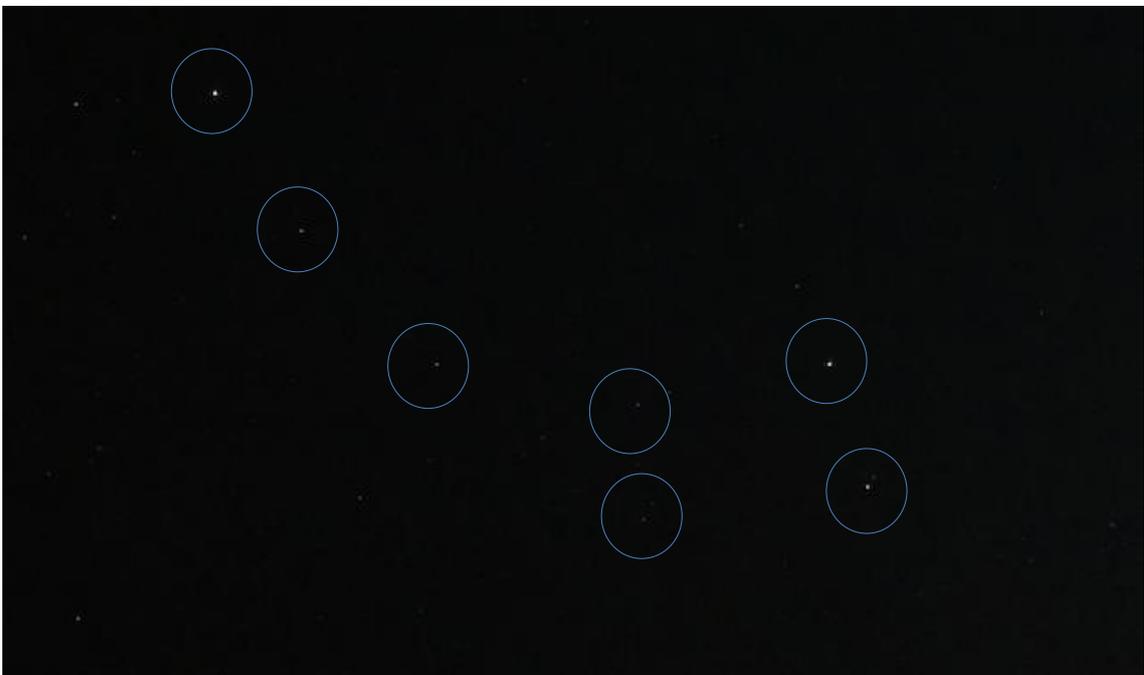


Abb. 17: Aufnahme vom Kleinen Bären am 14.02.2017 aus Mantscha

Kroatien Zagreb (8km vom Zentrum entfernt) 3^{mag}

Beobachtungzeit: 16.02.2017, 22:00, Beginn der astronomischen Dämmerung: 19:06
Uhr

Visuelle Beobachtung: Nur die hellsten drei Sterne sind gut sichtbar.

Lichtverschmutzung sehr stark ausgeprägt. Himmelsfarbe grau/orange.

Fotografisch: 4^{mag} Sterne können gut erkannt werden.



Abb. 18: Aufnahme vom Kleinen Bären am 16.02.2017 aus Zagreb

5.2 Virtuelle Bilder vom Kleinen Bären zu verschiedenen Lichtverschmutzungsstufen

Mit Hilfe der freien Planetarium Software Stellarium habe ich auch weitere Bilder vom „Kleinen Bären“ gemacht, die theoretisch verschiedene Lichtverschmutzungsstufen zeigen sollen.

Die wichtigsten sieben Sterne des Kleinen Bären mit ihrer scheinbaren Helligkeit:

(von links nach rechts):

Polaris $1,95^m$ / $4,35^m$ / $4,20^m$ / $4,25^m$ / $4,95^m$ / Kochab $2,05^m$ / Pherkad $3,00^m$

Landhimmel

Man kann alle sieben Hauptsterne des Kleinen Bären deutlich sehen.

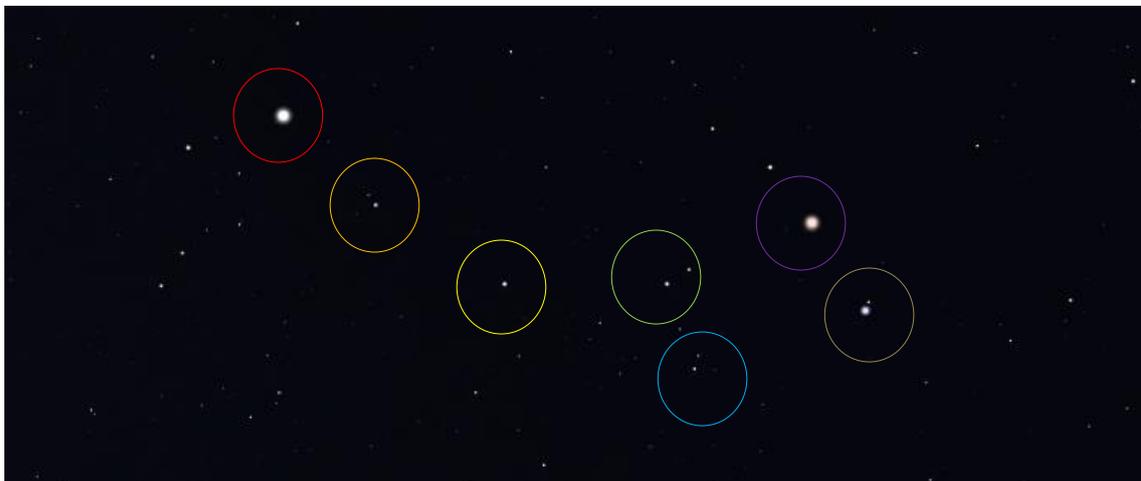


Abb. 19: Landhimmel, Kleiner Bär (Stellarium)

Vorstadt

Der untere Wagenstern kann nur mehr indirekt wahrgenommen werden.

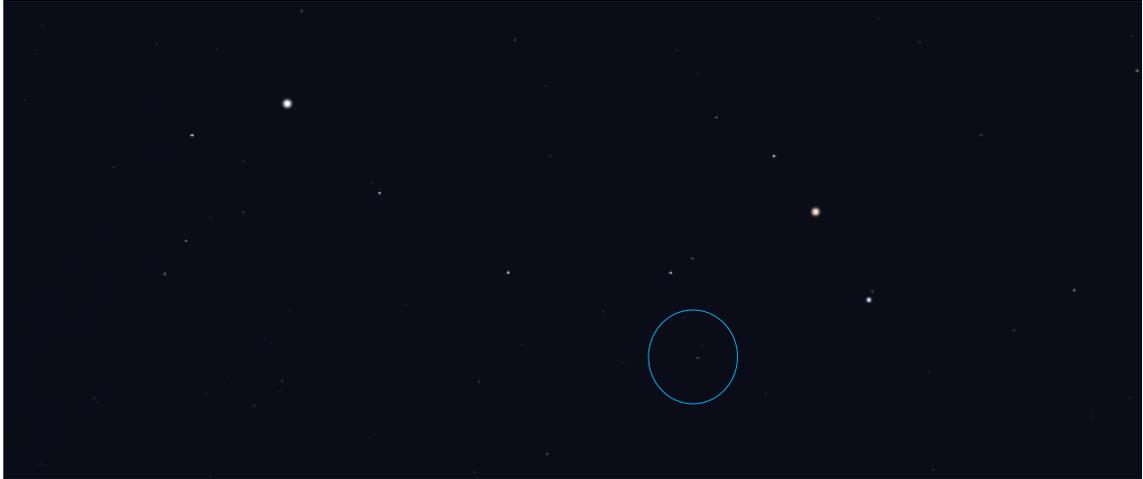


Abb. 20: Vorstadt, Kleiner Bär (Stellarium)

Stadt

Nur noch die hellsten drei Sterne sind direkt beobachtbar. Die unteren vier Sterne können höchstens erahnt werden.

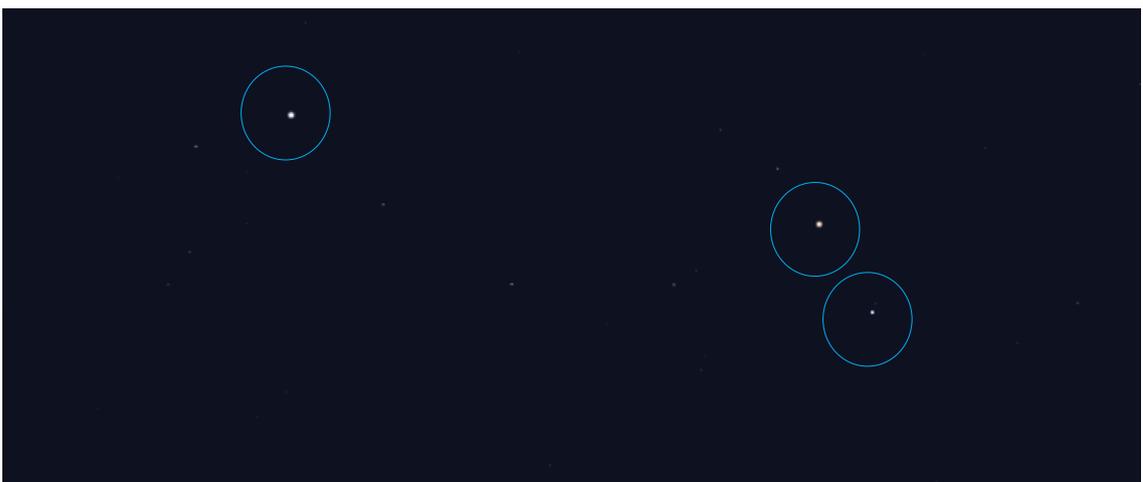


Abb. 21: Stadt, Kleiner Bär (Stellarium)

Innenstadt

Nur noch Polaris und Kochab deutlich sichtbar. Pherkad verliert stark an Helligkeit.



Abb. 22: Innenstadt, Kleiner Bär (Stellarium)

6 Fragebogen mit Auswertung und Interpretation zum Thema Lichtverschmutzung und Astronomie

Ein Schwerpunkt meiner VWA liegt in der Umfrage zum Thema Lichtverschmutzung und Astronomie. Meine Kernfrage, die ich mit Hilfe des Fragebogens beantwortet haben möchte ist, ob Menschen die am Land aufgewachsen sind bzw. leben ein höheres Interesse an Astronomie haben, als Menschen in der Stadt? Aber auch andere Fragen, ob sie astronomisch aktiv sind bzw. ob sie von der Lichtverschmutzung gehört haben, sollen beantwortet werden.

Dazu habe ich acht Fragen gestellt, die ich hier einzeln genauer darstellen, auswerten und auch gleich interpretieren möchte.

Bei meiner Umfrage haben 26 Personen im Alter von 17-18 Jahren mitgemacht.

6.1 Begriff Lichtverschmutzung

Der Begriff ist auf den ersten Blick nicht für jeden verständlich. Natürlich kommt man gedanklich schnell zu den verwandten Begriffen wie Wasserverschmutzung oder Luftverschmutzung. Deswegen meine erste Frage beim Fragebogen: Haben Sie schon vom Begriff Lichtverschmutzung gehört? Wenn ja, in welchem Zusammenhang (biologisch, astronomisch etc.)?

Fast **2/3** der Befragten kannten den Begriff, während ein bisschen mehr als **1/3** den Begriff nie gehört hat. Fast alle die den Begriff kannten, ordneten diesen dem astronomischen Gebiet zu.

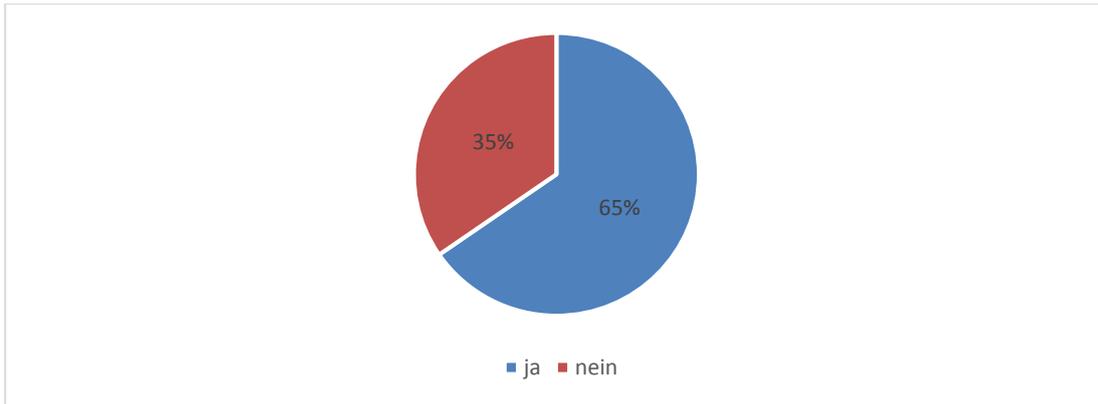


Abb. 23: Begriff Lichtverschmutzung

Lichtverschmutzung hat noch lange nicht denselben Status als Umweltverschmutzung wie Wasserverschmutzung oder Luftverschmutzung, aber dies hat auch seine Gründe. Während Wasserverschmutzung und Luftverschmutzung jedem schon geläufig ist, scheint die Problematik der Lichtverschmutzung noch nicht überall angekommen zu sein bzw. ist vielen noch unbekannt.

6.2 Besitz eines optischen Instruments

Bei meiner Umfrage war mir auch wichtig herauszufinden, wie sehr sich meine Mitschüler und Mitschülerinnen selber in ihrer Freizeit mit der Himmelsbeobachtung bzw. mit der Astronomie beschäftigen.

Dazu habe ich vier Fragen gestellt. Meine erste Frage in diesem Zusammenhang ist ob man einen Feldstecher bzw. ein Teleskop besitzt.

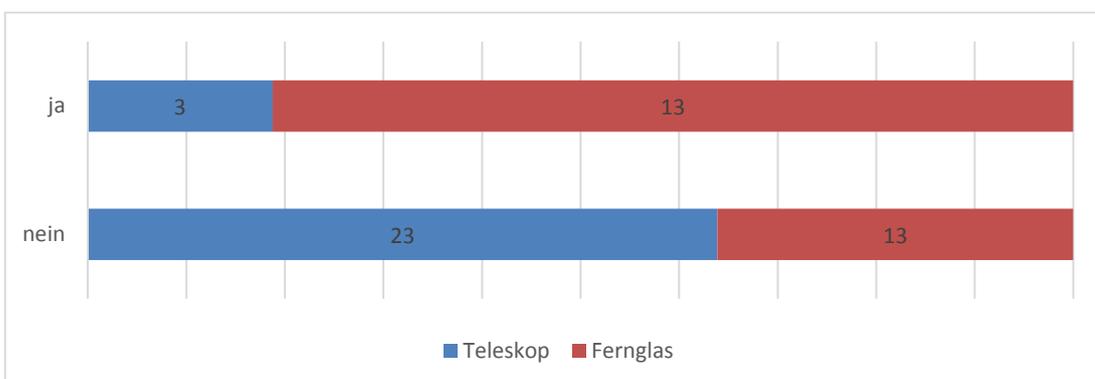


Abb. 24: Besitz eines Teleskops bzw. Feldstechers

3 von 26 Personen besitzen ein Teleskop. Die Hälfte der Befragten besitzt ein Fernglas.

6.3 Beobachtung des Nachthimmels

Meine zweite Frage ist, ob man den Nachthimmel beobachtet. (Mondphasen, Planeten, Sternschnuppen, Sternbilder etc.)

Hier komme ich zum interessanten Ergebnis: 4 Personen haben beim Fragebogen angegeben, dass sie den Nachthimmel beobachten.

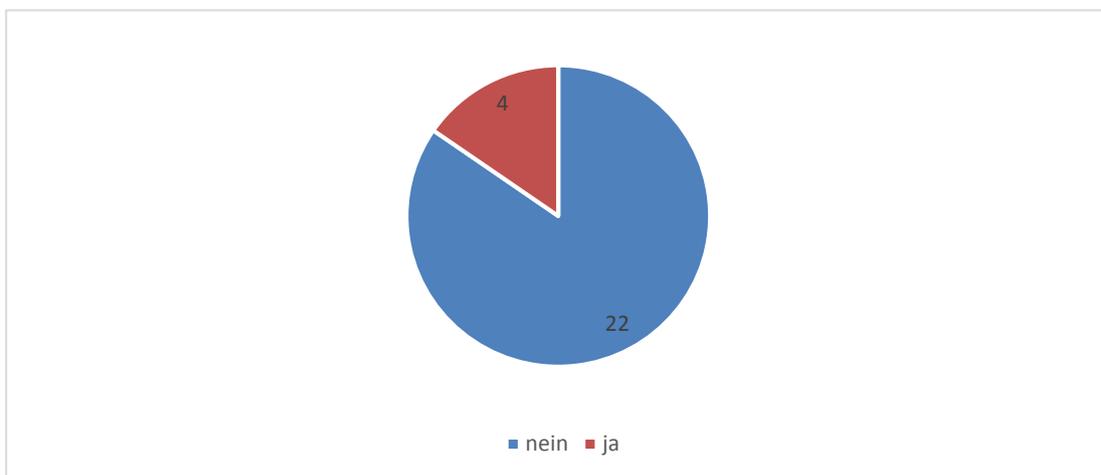


Abb. 25: Beobachtung des Nachthimmels

6.4 Milchstraße in Natura

Auf die Frage, ob man die Milchstraße schon einmal in Leben gesehen hat, ist meine Umfrage auf ein erstaunliches Ergebnis gekommen. 12 von 26 Personen haben die Milchstraße noch nie in Natura gesehen. Dazu muss noch einmal erwähnt werden, dass alle Befragten schon über 17 Jahre alt waren und alle genau wussten was mit Milchstraße gemeint war.

Auch größere Umfragen mit mehr Teilnehmer kommen bei dieser Frage auf ähnliche Ergebnisse: Eine Umfrage aus Deutschland von Emnid sagt aus, dass 44% der unter 30-jährigen die Milchstraße noch nie bewusst gesehen haben.²⁵

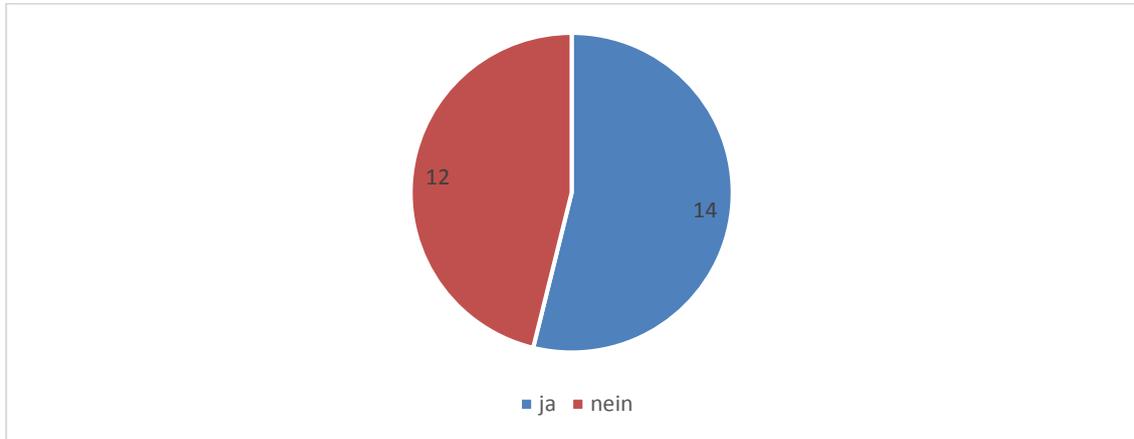


Abb. 26: Milchstraße in Natura gesehen

6.5 Wohnort der Befragten mit Selbsteinschätzung der Lichtverschmutzung

Ein weiterer Punkt bei meiner Umfrage ist die Selbsteinschätzung des Lichtverschmutzungsgrades am eigenen Wohnstandort.

Die Selbsteinschätzung ist selbstverständlich sehr subjektiv und kann daher nicht ganz ernst genommen werden, aber dennoch kann man aus dem unteren Diagramm interessante Sachen herauslesen. Zum Beispiel lebt fast die Hälfte meiner Befragten am Stadtrand.

²⁵ vgl. <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/seite2.php> (abgerufen am 28.2.2017)

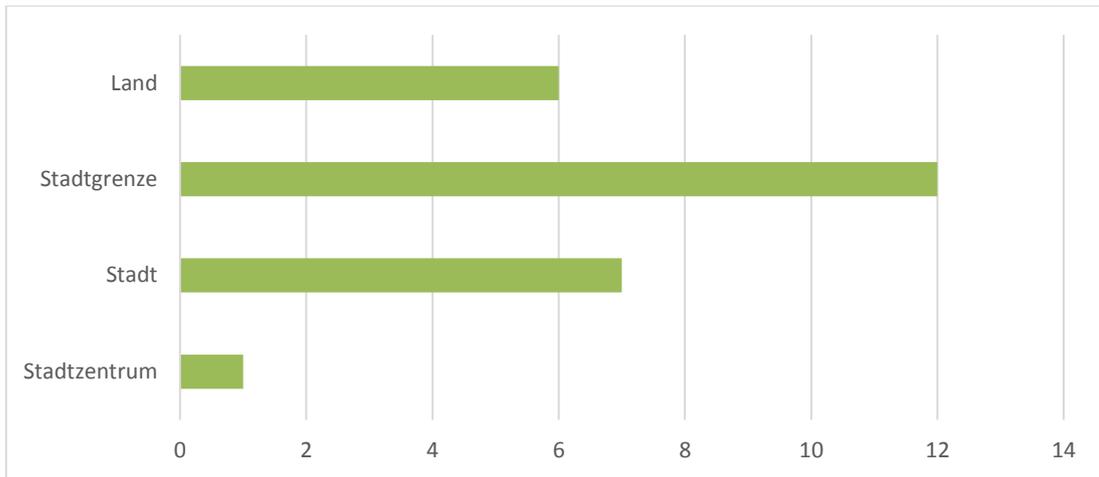


Abb. 27: Wohnort der Befragten

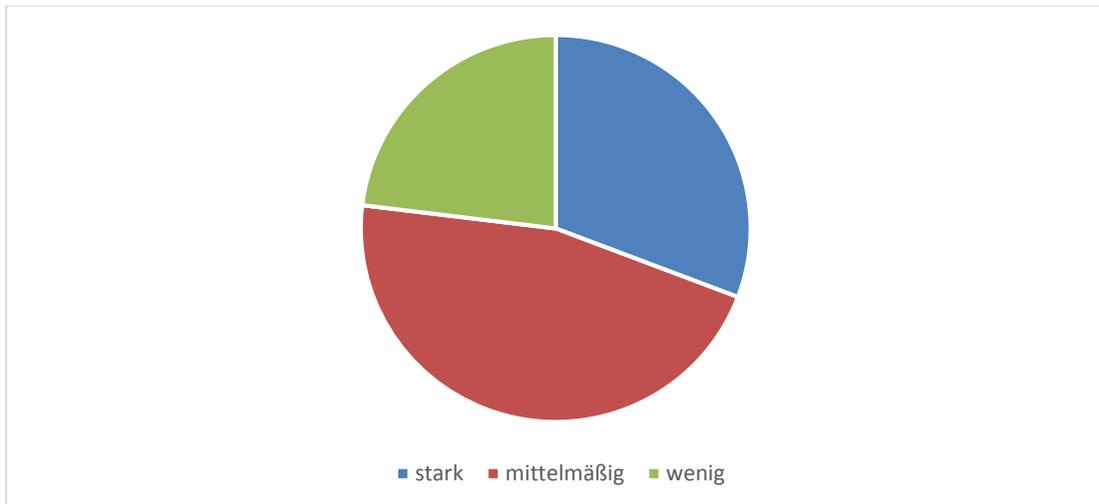


Abb. 28: Selbsteinschätzung der Lichtverschmutzung am eigenen Wohnort

6.6 Interesse an der Astronomie

Ob es einen Zusammenhang zwischen dem Wohnort (verschiedene Lichtverschmutzungsstufen) und dem Interesse an Astronomie gibt, stellt einer meiner Leitfragen da.

Für diese Frage habe ich, zuerst nach dem Interesse an Astronomie gefragt und danach diese mit dem davor angegebenen Wohnort zusammen geordnet und in ein Diagramm zusammengefasst.

17 von 26 Personen haben bei meiner Umfrage angegeben, dass sie kein Interesse bzw. nur wenig Interesse an Astronomie, währenddessen 5 Befragte nur teilweise, und 4 sich sehr für die Astronomie interessieren.

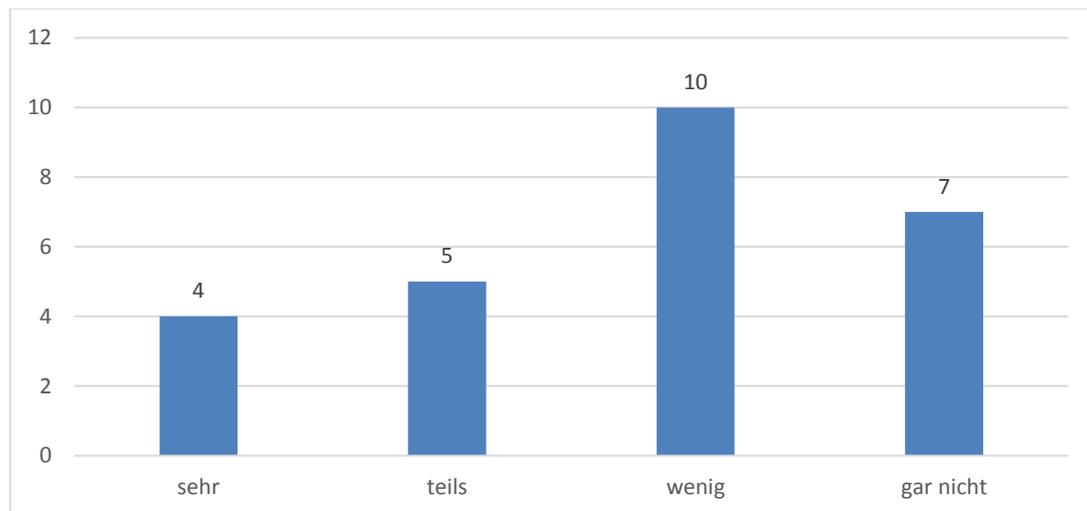


Abb. 27: Interesse an der Astronomie

Bevor ich die Umfrage gemacht habe, hatte ich die These, dass das Interesse an Astronomie abhängig vom Wohnort ist. Leider habe ich bei meiner Umfrage keine Bestätigung meiner These finden können. Wie man der unteren Grafik entnehmen kann, ist das Interesse an Astronomie prozentuell gleich groß für Personen die am Land sowie für Personen die in der Stadt leben. Dennoch überraschenderweise auffallend ist, dass über die Hälfte der Befragten kein bzw. nur wenig Interesse an Astronomie hat, obwohl die Astronomie eine der umfangreichsten und ältesten Wissenschaften ist.

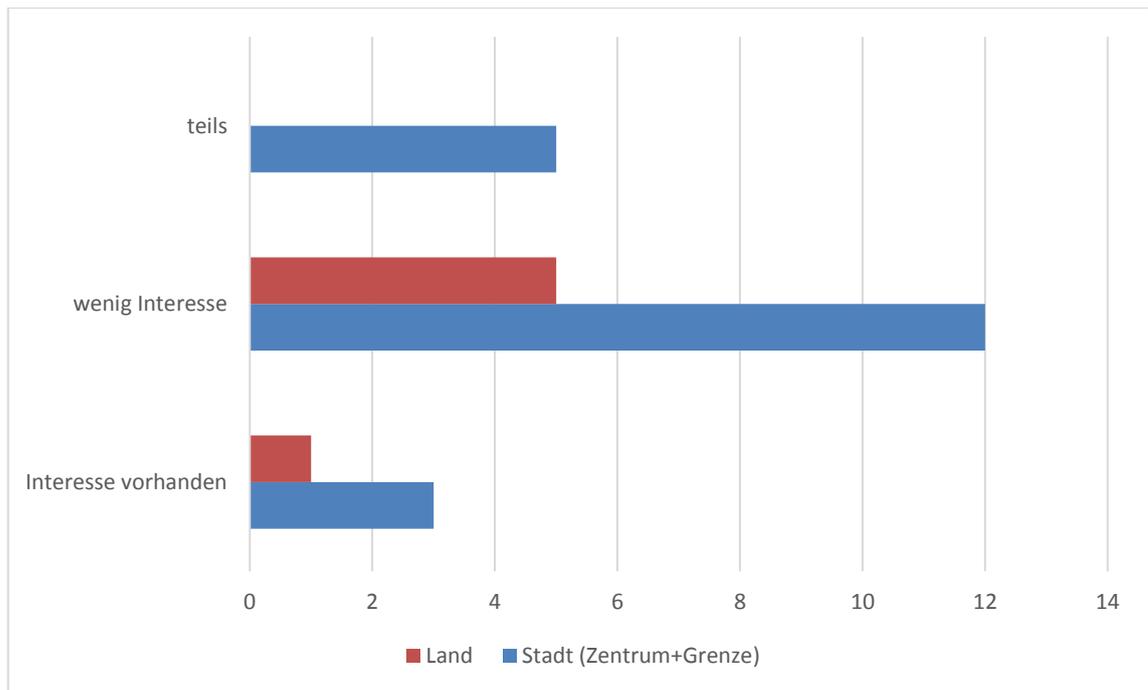


Abb. 28: Interesse an Astronomie in Abhängigkeit des Wohnortes

7 Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Lichtverschmutzung eine Form von Umweltverschmutzung ist, die in den nächsten Jahren durch die steigende künstliche Beleuchtung, neben Luft- und Wasserverschmutzung nicht außer Acht gelassen werden sollte. Im Gegensatz zu Luft- und Wasserverschmutzung lässt sich die Problematik der Lichtverschmutzung relativ leicht beheben, einerseits durch gesetzliche Regelungen, andererseits durch bessere und neuere Beleuchtungstechniken. Das allerwichtigste dabei ist, dass man mit Licht genauso sparsam umgehen sollte wie mit Wasser, das heißt genau, dass man nicht im Überfluss Straßen und Städte über die ganze Nacht hinweg beleuchten muss, wenn dort kein sinnvoller Gebrauch erkennbar ist.

Es mangelt nicht an Lösungen, diese sind gegeben, die Lichttechnik ist heutzutage sehr weit fortgeschritten. Es mangelt, wie ich durch meine Umfrage erfahren habe, eher am Bewusstsein dieser Problematik, dass übermäßiger „Lichtkonsum“ schwere gesundheitliche Folgen für Mensch und Umwelt hat und darüber hinaus den Stadtmenschen verhindert in das „älteste Museum der Welt“ dem „Sternenhimmel“ hineinzublicken.

Astronomen müssen bei der Himmelsbeobachtung aus der Stadt von lichtschwachen Objekten wie Galaxien und Nebeln Kompromisse eingehen. Ein Landhimmel ist in keiner Weise ersetzbar mit einem Stadthimmel. Durch meine Umfrage konnte ich keinen Zusammenhang zwischen Interesse an Astronomie und Wohnort finden. Aber dennoch, eine neue Erkenntnis gewinnen, die durchaus erschreckend ist, dass das Interesse an der Astronomie sehr gering ist.

Der Einfluss der Lichtverschmutzung auf die Himmelsbeobachtung ist immens und wird nach aktuellen Prognosen weiter steigen. Heute wird es für einen Jugendlichen in einer Großstadt fast schon unmöglich, einen guten Einblick in den Sternenhimmel zu bekommen. Deswegen ist es wichtig, dass man sich dieser Problematik bewusst wird, diese weiterverbreitet und darauf hinweist, dass es noch nicht zu spät ist, neue Wege im Zusammenhang der Lichtverschmutzung zu gehen.

8 Literaturverzeichnis

- Cinzano, Pierantonio: Growth of light pollution in Italy, <http://www.lightpollution.it/cinzano/en/page94en.html> [Zugriff: 27.02.2017]
- Karkoschka, Erich: Atlas für Himmelsbeobachter: Mit 250 Objekten auf 50 Sternkarten des ganzen Himmels, 5.Auflage, 2013, Kosmos
- Kobler, René L.: Die Lichtverschmutzung in der Schweiz, Mögliche Auswirkungen und praktische Lösungsansätze, 2002, http://www.starpointing.com/downloads/rlkobler_dipl.pdf [Zugriff: 20.02.2017]
- Kunz, Dieter: Melatonin heute: weitreichende Bedeutung als Taktgeber und für die Schlafqualität, 2008, <http://www.krankenpflege-journal.com/schlaf/1520-dr-dieter-kunz-melatonin-heute-weitreichende-bedeutung-als-taktgeber-und-fuer-die-schlafqualitaet-.html> [Zugriff: 20.02.2017]
- Hänel, Andreas: <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/seite2.php> [Zugriff: 27.02.2017]
- Posch Thomas / Hölker Franz / Freyhoff Anja / Uhlmann Thomas (Hg.): Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren – Perspektiven – Lösungen. , 2.Auflage, 2013, Berlin: Wiley-VCH Verlag
- Posch, Thomas: PLUS LUCIS 1-2/2014, Lichtverschmutzung als Thema im Schulunterricht, <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/141/S20.pdf>. [Zugriff: 22.02.2017]
- Posch, Thomas: <http://homepage.univie.ac.at/thomas.posch/endedernacht/endedernacht.html> [Zugriff: 15.02.2017]
- Schlör, Joachim: Nachts in der großen Stadt. Paris, Berlin, London 1840 - 1930, 1994, Artemis & Winkler Verlag
- Aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie: <https://de.wikipedia.org/wiki/Rigel>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sirius>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonne>, [Zugriff: 22.02.2017] <https://de.wikipedia.org/wiki/Grenzgr%C3%B6%C3%9Fe> [Zugriff: 22.02.2017] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bortle-Skala> [Zugriff: 22.02.2017]

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Planeten_des_Sonnensystems [Zugriff: 22.02.2017]

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtverschmutzung> [Zugriff: 18.11.2016]

[https://de.wikipedia.org/wiki/Lux_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lux_(Einheit)) [Zugriff: 22.02.2017]

https://de.wikipedia.org/wiki/Scheinbare_Helligkeit [Zugriff: 27.02.2017]

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Wachstum der Lichtverschmutzung in Italien, P. Cinzano, F. Falchi, C. D. Elvidge. Copyright 2001 ISTIL, http://www.lightpollution.it/cinzano/page94_clip_image002.jpg	12
Abb. 2: Sternbild Orion, Klasse 1 (Abb. 2-10 erstellt vom Autor mit Stellarium)	18
Abb. 3: Sternbild Orion, Klasse 2	18
Abb. 4: Sternbild Orion, Klasse 3	19
Abb. 5: Sternbild Orion, Klasse 4	19
Abb. 6: Sternbild Orion, Klasse 5	20
Abb. 7: Sternbild Orion, Klasse 6	20
Abb. 8: Sternbild Orion, Klasse 7	21
Abb. 9: Sternbild Orion, Klasse 8	21
Abb. 10: Sternbild Orion, Klasse 9	22
Abb. 11: Sky Quality Meter, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/SkyQualityMeterQM-LFlou.jpg	23
Abb. 12: Mond durch ein Teleskop bei 35-facher Vergrößerung (Bild vom Autor)	24
Abb. 13: Aufnahme vom Kleinen Bären am 14.02.2017 aus Puntigam	33
Abb. 14: Aufnahme vom Kleinen Bären am 25.02.2017 aus dem Zentrum	34
Abb. 15: Aufnahme vom Kleinen Bären am 25.02.2017 aus Thal	35
Abb. 16: Aufnahme vom Kleinen Bären am 14.02.2017 aus Seiersberg	36
Abb. 17: Aufnahme vom Kleinen Bären am 14.02.2017 aus Mantscha	37
Abb. 18: Aufnahme vom Kleinen Bären am 16.02.2017 aus Zagreb	38
Abb. 19: Landhimmel, Kleiner Bär (Stellarium)	39
Abb. 20: Vorstadt, Kleiner Bär (Stellarium)	40
Abb. 21: Stadt, Kleiner Bär (Stellarium)	40
Abb. 22: Innenstadt, Kleiner Bär (Stellarium)	41
Abb. 23: Begriff Lichtverschmutzung	43
Abb. 24: Besitz eines Teleskops bzw. Feldstechers	43
Abb. 25: Beobachtung des Nachthimmels	44
Abb. 26: Milchstraße in Natura gesehen	45

Abb. 27: Interesse an der Astronomie.....	47
Abb. 28: Interesse an Astronomie in Abhängigkeit des Wohnortes	48

10 Anhang

Fragebogen: Thema Astronomie und Lichtverschmutzung

Haben Sie schon vom Begriff Lichtverschmutzung gehört? Wenn ja, in welchem Zusammenhang (biologisch, astronomisch etc....)?

- Ja, _____
- Nein

Wohnort: (möglichst genaue Selbsteinschätzung der Lichtverschmutzung am Wohnort) von sehr stark (Stadtzentrum) bis sehr wenig (Land)

- Stadtzentrum
- Stadt
- Stadtgrenze
- Land
- Sonstiges: _____

Besitz eines Teleskops:

- Ja
- Nein

bzw. eines Feldstechers:

- Ja
- Nein

Wie stark schätzen Sie ist ihr Wohnort von der Lichtverschmutzung betroffen?

- 5 sehr stark (gesamter Nachthimmel hell erleuchtet, Sterne kaum sichtbar)
- 4 stark (Wolken hell angeleuchtet. Sternbilder schwer erkennbar)
- 3 mittelmäßig (Wolken über Siedlungen deutlich aufgehellt)
- 2 wenig (alle Sternbilder sichtbar, Milchstraße wird sichtbar)
- 1 kaum (Milchstraße ist deutlich erkennbar)

Haben Sie in ihrem Leben schon einmal die Milchstraße gesehen? Wenn ja, wo?

- Ja, _____
- Nein

Welche Sternbilder kennen Sie bzw. erkennen Sie?

- _____

Beobachten Sie den Nachthimmel? (Mondphasen, Planeten, Sternschnuppen etc.)

wenn ja, was genau?

- Ja, _____
- Nein

Interessieren Sie sich für die Astronomie?

- ja sehr (Hobby)
- sehr
- teils
- wenig
- gar nicht