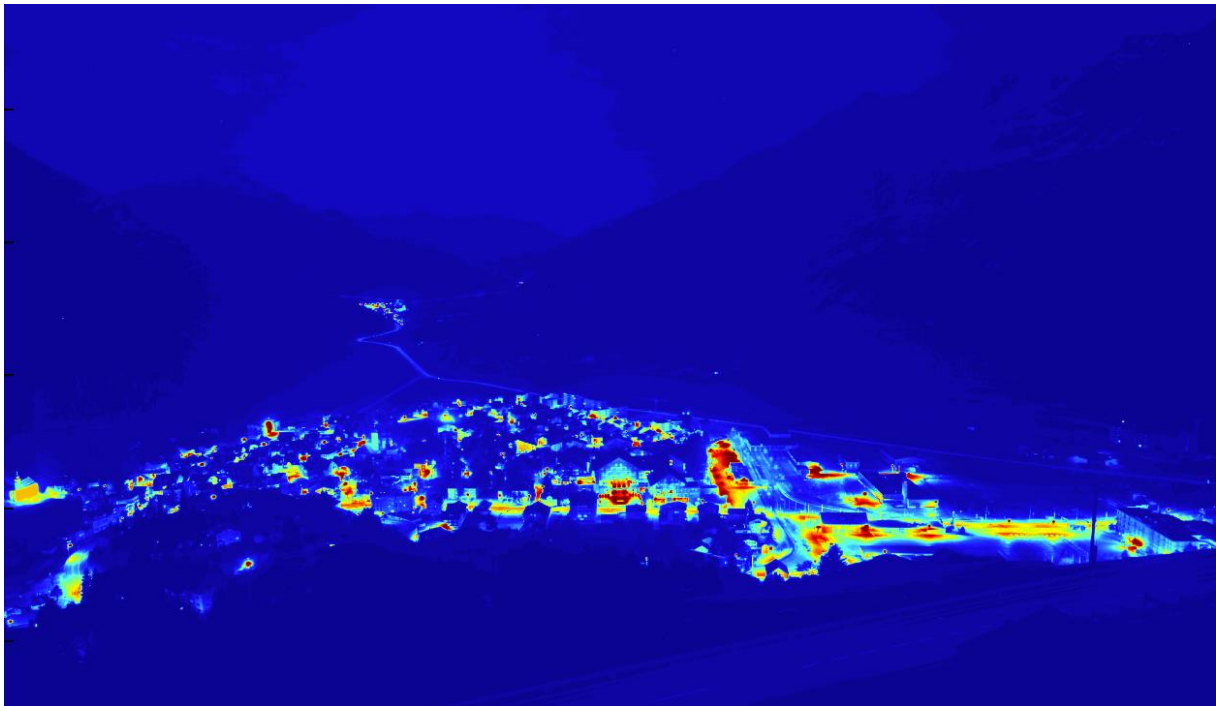


JAHRESBERICHT 2014 LICHTMONITORING ANDERMATT



Erste Trends nach zwei Betriebsjahren

Altdorf, 22.06.2015

IMPRESSUM

Auftraggeber:

Amt für Umweltschutz
Kanton Uri
Klausenstrasse 4
6460 Altdorf

Projektbearbeitung und Bericht:

Christian Ruckstuhl
Susanne Bieri
inNET Monitoring AG
Dätwylerstrasse 15
CH-6460 Altdorf

Projektleitung:

Roman Gisler
Techn. Sachbearbeiter
Amt für Umweltschutz

Titelfoto:

Falschfarbenbild der mittleren Grauwerte von Mai bis September 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 3 -
2	Standort und Bildausschnitte	- 4 -
2.1	Standort	- 4 -
2.2	Bildausschnitte	- 4 -
2.3	Mess- und Belichtungszeiten	- 5 -
3	Qualitätssicherung	- 6 -
3.1	Datenübertragung	- 6 -
3.2	Bildverschiebung	- 6 -
3.3	Kameradrift	- 7 -
4	Ergebnisse.....	- 8 -
4.1	Datenauswahl.....	- 8 -
4.2	Exemplarische Beispiele.....	- 9 -
4.3	Integrale Auswertungen	- 12 -
4.3.1	Sommerperioden.....	- 12 -
4.3.2	Winterperioden	- 14 -
4.3.3	RGB-Farben	- 16 -
4.3.4	Häufigkeitsverteilung.....	- 17 -
4.4	Visuelle Mittelung	- 22 -
4.4.1	Sommerperiode.....	- 22 -
4.4.2	Winterperiode	- 24 -
5	Fazit.....	- 25 -
6	Anhang	- 26 -
6.1	Bildergalerie mit Beispielen	- 26 -

1 Einleitung

Im Rahmen der Siedlungsentwicklung im Raum Andermatt legt das Amt für Umweltschutz des Kantons Uri (AfU Uri) grossen Wert auf massvollen und effizienten Einsatz von künstlicher Beleuchtung. Denn der Raum Andermatt mit dem Urserental ist eines der am wenigsten mit Licht verschmutzten Gebiete in der Schweiz. Um die Entwicklung der Lichtemissionen zu dokumentieren und allfällige Hotspots zu eruieren, betreibt die Firma inNET Monitoring AG seit Februar 2013 im Auftrag des AfU Uri eine Online-Messeinrichtung zur Erfassung der Lichtemissionen von Andermatt.

Der vorliegende Kurzbericht dokumentiert den Stand des Lichtmonitorings in Andermatt nach zwei Betriebsjahren bis Ende Winter 2014/2015. Hierbei werden der aktuelle Stand und die Veränderungen der beiden Sommer 2013 zu 2014 sowie der beiden Winter 2013/2014 zu 2014/2015 aufgezeigt. Detaillierte Informationen bezüglich Grundlagen der Lichtverschmutzung, Projektentstehung, Kamerastandort, Messtechnik und Datenauswertung sind im ausführlichen Bericht „Jahresbericht 2013 Lichtmonitoring Andermatt“ zu finden.¹

¹ Jahresbericht 2013 Lichtmonitoring Andermatt, Ergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen nach einem Betriebsjahr, inNET Monitoring AG, 2014

2 Standort und Bildausschnitte

2.1 Standort

Der Kamerastandort an der Oberalppasstrasse ist in Abbildung 1 mit einem roten Kreis markiert. Der Standort zeichnet sich mit einem guten Blickfeld über Andermatt und ganzjähriger guter Erreichbarkeit aus.

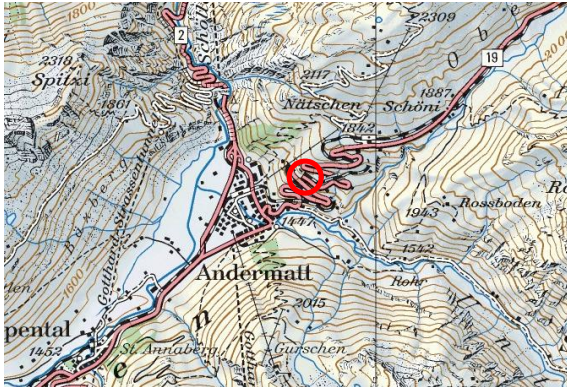


Abbildung 1: Kamerastandort an der Oberalppasstrasse (roter Kreis)

2.2 Bildausschnitte

Der Bildausschnitt vom gewählten Standort aus mit dem 14mm-Weitwinkelobjektiv ist in Abbildung 2 dargestellt. Er umfasst Andermatt vollständig (untere Bildhälfte) und zeigt ausserdem im Hintergrund Hospental (Ausschnitt 3), das eine Entfernung (Luftlinie) von ziemlich genau 3 km aufweist. Die acht markierten Bildausschnitte werden im Folgenden detailliert ausgewertet und in den kommenden Jahren auf Veränderungen der Lichtemissionen untersucht. Die Bildausschnitte können nachträglich jederzeit angepasst werden.

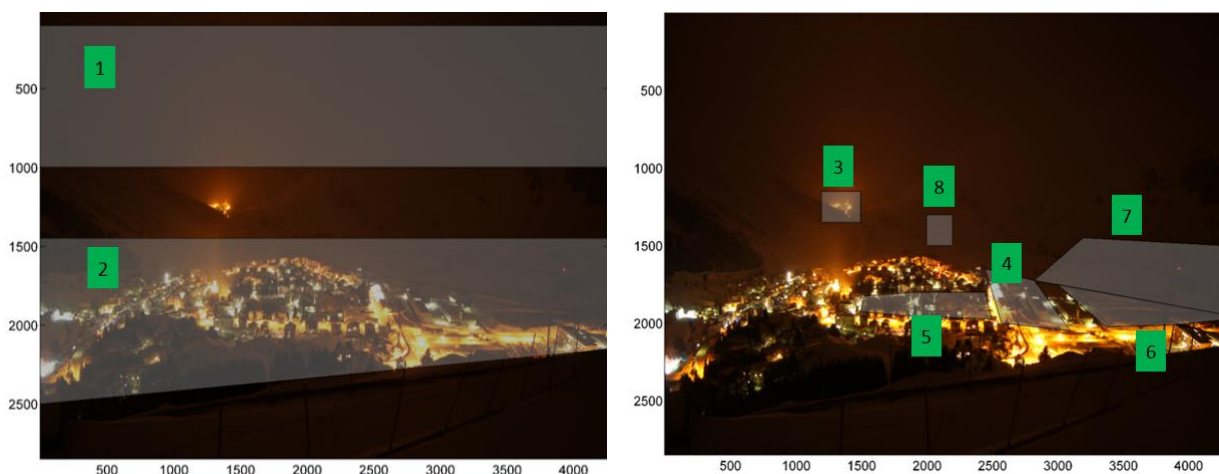


Abbildung 2: Erfasster Bildausschnitt vom Standort Oberalp mit den acht ausgewählten Ausschnitten (1 Himmel, 2 Andermatt, 3 Hospental, 4 Bahnhof, 5 Chedi, 6 Sportzentrum, 7 Villen&Podium, 8 Golfklubhaus).

2.3 Mess- und Belichtungszeiten

Die Messstation für das Monitoring-Projekt wurde am 22.02.2013 in Betrieb genommen. Seit diesem Datum werden täglich an vier Zeitpunkten Aufnahmen gemacht, drei in der Nacht um 23:00, 01:00 und 03:00 Uhr (Lokalzeit) und eine zusätzliche Aufnahme am Tag um 12:00 Uhr als Referenz.

Als Belichtungsreihe für die Nachtaufnahmen werden folgende Einstellwerte genommen: 1/100 s, 1/10 s, 1 s, 3.2 s, 10 s und 30 s. Die Tagaufnahme wird mit 1/1000 s belichtet. Die Kameraempfindlichkeit ist auf ISO 100 eingestellt.

3 Qualitätssicherung

3.1 Datenübertragung

Seit Messbeginn im Winter 2013 laufen die Messungen sehr zuverlässig. Bei der Datenübertragung waren Anpassungen notwendig, um die grosse Datenmenge zu bewältigen. Aufgrund der Tatsache, dass nebst der Online-Übertragung die Bilder auch lokal gespeichert werden, konnten aber Datenlücken vermieden werden.

3.2 Bildverschiebung

Bei qualitätssichernden Überprüfungen wurde festgestellt, dass im Februar 2014 im Zuge von Wartungsarbeiten eine leichte Verschiebung der Messeinrichtung verursacht wurde. Diese leichte horizontale Verschiebung ist in Abbildung 3 mit zwei überlagerten Bildern (01.01.2014 23 Uhr sowie 01.01.2015 23 Uhr) dargestellt. Mittels einer programmiertechnischen Verschiebung der Auswertebereiche konnte dieser Fehler eliminiert werden. Um die Wartungsarbeiten zu vereinfachen, wird empfohlen, ein kleines Podest unterhalb der Kamera zu installieren.



Abbildung 3: Darstellung von 2 überlagerten Bilder: Einerseits die Aufnahme vom 01.01.2014 um 23 Uhr sowie die Aufnahme vom 01.01.2015 um 23 Uhr, Belichtungszeit jeweils 30 s.

3.3 Kameradrift

Im ursprünglichen Messkonzept war vorgesehen, die Kamera mittels Farbkeil periodisch zu überprüfen und falls nötig zu kalibrieren. Diese Kalibration bedingt die Kamera zu deinstallieren und im Labor auszumessen. Da dies eine Datenlücke und eine diffizile Neuausrichtung der Kamera bedingt, wurden Überlegungen und Versuche durchgeführt, die Kamera anderweitig zu überprüfen. Die Idee war bei mindestens fünf kleinen klar definierten Lichtpunkten, wie zum Beispiel auf der Fassade der Kapelle oder auf dem Kirchturm, die Pixelwerte über die gesamte Messperiode auszuwerten. Dazu wurde die Hypothese aufgestellt, dass bei fünf unterschiedlichen und unabhängigen Punkten ein möglicher Drift der Kamera erkennbar sein müsste. Mehrere Gründe verunmöglichen aber eine solche Überprüfung durchzuführen: a) es gibt zu wenige eindeutige Lichtquellen, b) die Lichtquellen sind zu wenig stabil (teils positive, teils negative Drifts) und c) die Meteorologie beeinflusst die Messungen zu stark, um sehr kleinräumige und zusätzlich sehr geringe Änderungen zu detektieren.

Aufgrund dieser Tatsache wurde entschieden, im Herbst 2015 zwischen Sommer- und Winterauswerteperiode die Kamera zu deinstallieren und die Überprüfung wie ursprünglich vorgesehen mittels Farbkeil durchzuführen.

4 Ergebnisse

4.1 Datenauswahl

Die Daten- und Bildausschnittauswahl sowie die Filterung erfolgt analog wie im Jahresbericht 2013 beschrieben.

Zur Visualisierung ist in Abbildung 4 die Zeitreihe aller MG-Werte für den Bildausschnitt „Himmel“ bei 30 s Belichtungszeit dargestellt. Deutlich erkennbar sind periodische Maximas in dieser Zeitreihe, die eindeutig mit den Vollmondphasen des betrachteten Zeitraums zusammenhängen. Die grauen Balken zeigen die Bereiche, welche durch die Vollmondfilterung nicht in die Berechnungen einbezogen wurden. Während der Sommerperiode (jeweils vom 01.05. bis am 30.09.) beträgt die Zeitspanne ± 48 Stunden und während der Winterperiode (jeweils vom 15.12. bis am 28.02.) ± 96 Stunden.

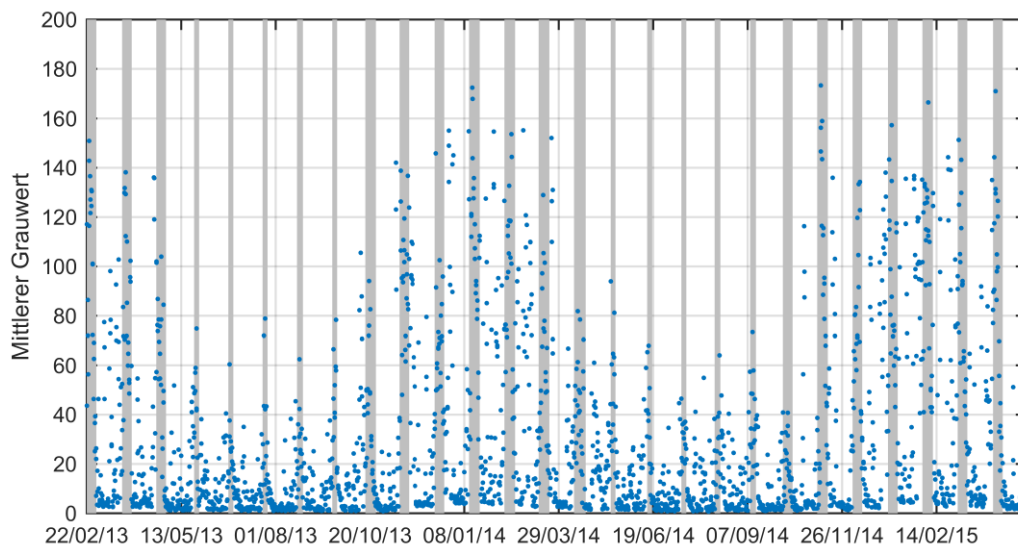


Abbildung 4: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Himmel", Belichtungszeit 30 s

In allen Bildbereichen sind die MG-Werte während des Winters deutlich höher als während des Sommers. Dies ist in Abbildung 5 exemplarisch für den Bildausschnitt „Andermatt“ dargestellt. Die erhöhten MG-Werte während der Winterperioden (blaue Markierung) sind durch Reflexionen im Schnee verursacht.

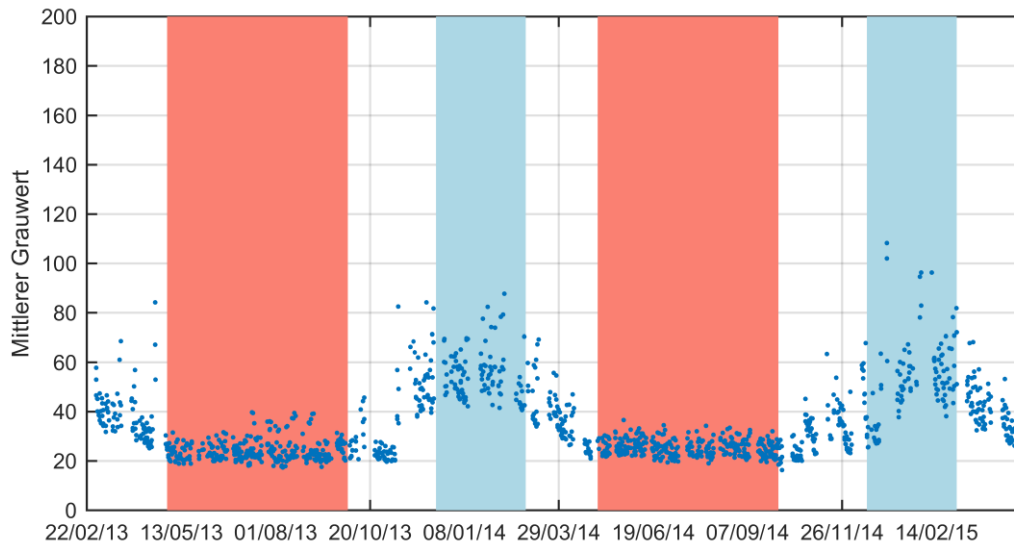


Abbildung 5: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Andermatt", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung. Rot markiert ist die Auswertungsperiode Sommer (01.05. bis 30.09.), blau die Auswertungsperiode Winter (15.12. bis 28.02.).

Aufgrund der nahezu konstanten MG-Werte in allen Bildausschnitten in der Zeit von Anfang Mai bis Ende September wird der Fokus der Auswertungen auf diese Periode gelegt. Da aber im Gebiet Andermatt insbesondere der Wintertourismus bedeutend ist, wird zusätzlich die Winterperiode 15.12. bis 28.02. analysiert. Die Winterperiode wird auf diese zweieinhalb Monate beschränkt, da davon ausgegangen werden kann, dass in den allermeisten Jahren während dieser Zeit eine geschlossene Schneedecke in Andermatt liegt und somit immer vergleichbare Verhältnisse vorherrschen.

4.2 Exemplarische Beispiele

Mithilfe der Fotoaufnahmen ist es nebst einer integralen Auswertung (siehe Kapitel 4.3) möglich, direkt grössere Veränderungen der Helligkeit zu belegen. Im Folgenden werden dafür drei exemplarische Beispiele aufgeführt.

Abbildung 6 zeigt die Zeitreihe der MG-Werte für den Bildausschnitt „Bahnhof“ für die Sommerperiode 2014 (Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung). Aus diesen Aufnahmen wird ersichtlich, wie unterschiedlich der Bahnhof beleuchtet wird.

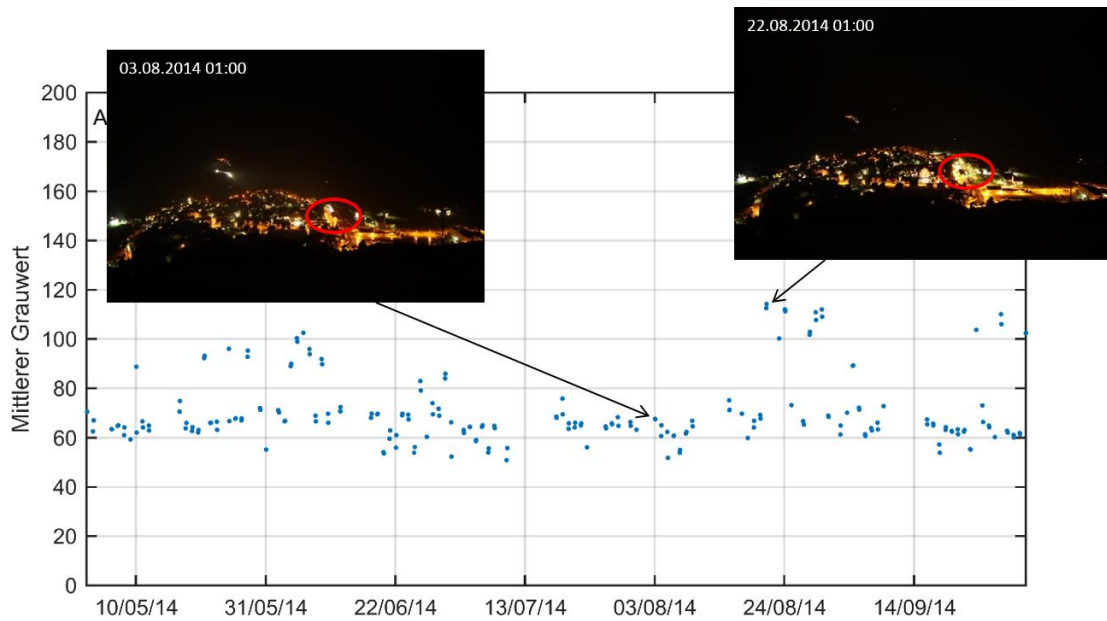


Abbildung 6: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Bahnhof", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, Aufnahmen nach Mitternacht (1 und 3 Uhr), Sommerperiode 2014.

Ein weiteres exemplarisches Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt. In dieser Zeitreihe sind die MG-Werte für den Bildausschnitt „Chedi“ geplottet. Während einer kurzen Periode im August 2014 wurde das Chedi deutlich stärker beleuchtet.

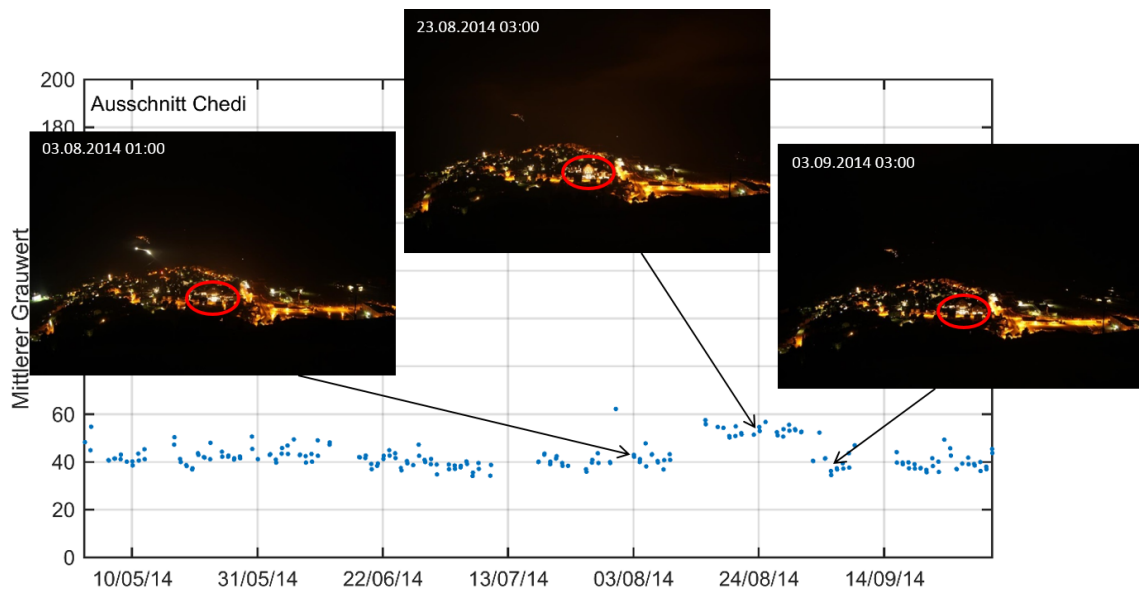


Abbildung 7: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Chedi", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, Aufnahmen nach Mitternacht (1 und 3 Uhr), Sommerperiode 2014.

Abbildung 8 zeigt den Verlauf des MG vom Bildausschnitt „Chedi“ über die ganze Messperiode. Hier wird ersichtlich, dass während der zweiten Winterperiode die Beleuchtung reduziert wurde.

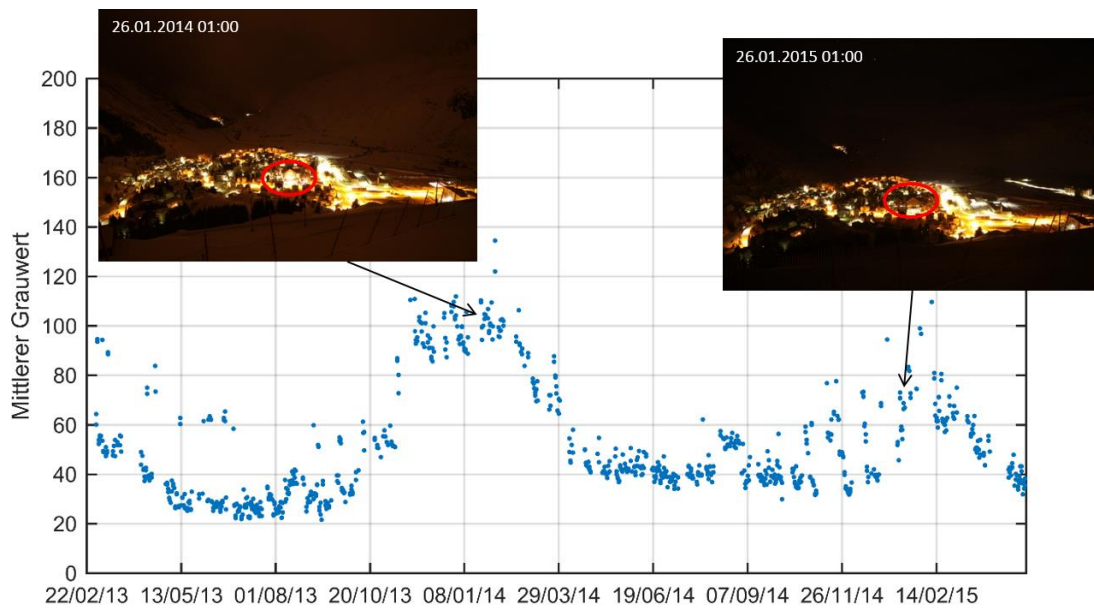


Abbildung 8: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Chedi" über die gesamte Messperiode, Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, Aufnahmen nach Mitternacht (1 und 3 Uhr).

Abbildung 9 zeigt als weiteres exemplarisches Beispiel die unterschiedliche Beleuchtung der Mariahilf-Kapelle im Sommer 2013 und Sommer 2014 um 23 Uhr. Gründe für die Anpassung der Beleuchtung sind den Autoren nicht bekannt. Diese Veränderung kommt dann auch deutlich in den Differenzbildern zum Vorschein (siehe Abbildung 15 und folgende).



Abbildung 9: Exemplarisches Beispiel der unterschiedlichen Beleuchtung der Mariahilf-Kapelle im Sommer 2013 und Sommer 2014 um 23 Uhr.

4.3 Integrale Auswertungen

4.3.1 Sommerperioden

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte von MG sowie die dazugehörigen Standardabweichungen (STD) für die vier verschiedenen Teilgebiete im Sommer 2013 und Sommer 2014 zusammengestellt. In den ersten beiden Zahlenspalten findet man die Daten für alle Nachtaufnahmen mit jeweils 30 s Belichtungszeit, zunächst die Mittelwerte für die MG-Werte und daneben die zugehörigen Standardabweichungen. In den Zahlenspalten 3 und 4 sind die entsprechenden Daten für die Aufnahmen um 23 Uhr und in den nachfolgenden Spalten 5 und 6 die Daten für die Aufnahmen um 1 Uhr und 3 Uhr gemeinsam zu finden.

Für alle vier Bildausschnitte ist die Standardabweichung als Streumass für die beiden Aufnahmen nach Mitternacht am geringsten, das gilt ebenso für die Mittelwerte der MG-Werte. Dies bedeutet, dass die Helligkeit in den Stunden nach Mitternacht am geringsten ist und recht konstante Werte aufweist.

Die Teilgebiete Bahnhof und Chedi weisen im Vergleich zum Sommer 2013 im Sommer 2014 deutlich höhere MG-Werte auf. Über alle drei Aufnahmezeitpunkte beträgt die Zunahme beim „Bahnhof“ +25.6 % und beim Teilgebiet „Chedi“ +39.4 %. Über den Bildausschnitt „Andermatt“ beträgt die Zunahme hingegen nur knappe 5 %, wobei berücksichtigt werden muss, dass in diesem Bildausschnitt der Ausserortsanteil mit sehr wenigen Lichtquellen relativ gross ist.

Tabelle 1: Mittelwerte von MG sowie dazugehörige Standardabweichungen STD für vier verschiedene Datensätze in den ausgewählten Teilgebieten im Sommer 2013 und Sommer 2014 jeweils vom 01.05. bis am 30.09., „ges“ bezieht sich auf alle drei Nachtaufnahmen, „23“ auf die entsprechenden Daten für die Aufnahmen um 23 Uhr und „1&3“ auf die Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr zusammen.

Ausschnitt	MG(ges)	STD(ges)	MG(23)	STD(23)	MG(1&3)	STD(1&3)
Andermatt						
2013	24.2	4.4	28.5	4.4	22.2	2.6
2014	25.4	3.4	28.6	2.5	23.8	2.5
Hospental						
2013	16.0	7.8	24.8	6.3	11.8	4.0
2014	15.2	7.5	22.5	6.8	11.5	4.4
Bahnhof						
2013	58.2	12.2	63.7	13.9	55.7	10.3
2014	73.1	15.3	77.9	15.9	70.6	14.4
Chedi						
2013	34.0	9.8	37.7	8.8	32.3	9.8
2014	47.4	8.4	56.9	4.1	42.6	5.4

In Abbildung 10 sind die Zeitreihen der Referenz-Datensätze Sommer 2013 und Sommer 2014 für die vier ausgewerteten Bildausschnitte zusammengestellt. Schön zu erkennen sind in den ersten zwei Teilbildern (a) und (b) die sehr konstanten Werte über die ganze Betrachtungsperiode.



Abbildung 10: Zeitreihen der MG-Werte für die Bildausschnitte „Andermatt“ (a), „Hospental“ (b), „Bahnhof“ (c) und „Chedi“ (d), Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, nur Aufnahmen nach Mitternacht (1 Uhr und 3 Uhr) jeweils vom 01.05. bis 30.09.

4.3.2 Winterperioden

In Tabelle 2 sind dieselben Auswertungen wie in Tabelle 1 für die Winterperioden 2013/2014 und 2014/2015 jeweils vom 15.12. bis am 28.02. dargestellt. Wie erwähnt ist hier im Vergleich zur Sommerperiode die Mondfilterung auf ± 96 Stunden erhöht worden. Aufgrund der Lichtreflexionen im Schnee sind die Mittelwerte im Winter je nach Bildausschnitt zirka 2.5-mal höher als im Sommer. Hier fällt auf, dass im Vergleich zur Sommerperiode das Teilgebiet „Chedi“ vom Winter 2013/2014 auf Winter 2014/2015 deutlich geringere MG-Werte aufweist. Dies wurde auch beim Beispiel in Kapitel 4.2 ersichtlich.

Tabelle 2: Mittelwerte von MG sowie dazugehörige Standardabweichungen STD für vier verschiedene Datensätze in den ausgewählten Teilgebieten im Winter 2013/2014 und im Winter 2014/2015 jeweils vom 15.12. bis am 28.02., „ges“ bezieht sich auf alle drei Nachtaufnahmen, „23“ auf die entsprechenden Daten für die Aufnahmen um 23 Uhr und „1&3“ auf die Aufnahmen um 1 Uhr und 3 Uhr zusammen.

Ausschnitt	MG(ges)	STD(ges)	MG(23)	STD(23)	MG(1&3)	STD(1&3)
Andermatt						
2013/2014	55.0	9.8	62.1	10.2	51.5	7.5
2014/2015	52.5	16.8	60.0	16.8	48.6	15.6
Hospental						
2013/2014	26.0	11.4	35.1	12.7	21.5	7.4
2014/2015	24.2	14.5	31.3	14.6	20.6	13.2
Bahnhof						
2013/2014	155.8	26.5	157.9	27.2	154.8	26.3
2014/2015	157.8	26.8	159.0	25.1	157.1	27.8
Chedi						
2013/2014	102.1	9.6	108.1	9.4	99.2	8.3
2014/2015	72.7	22.7	89.3	20.1	64.2	19.0

Abbildung 11 zeigt die Zeitreihen der Winterperioden. Insgesamt wurden im Vergleich zur Sommerperiode höhere Helligkeitsschwankungen detektiert. Beim Ausschnitt „Bahnhof“ sind wiederum die deutlichen Unterschiede zwischen einzelnen Tagen sichtbar (siehe auch Abbildung 7).

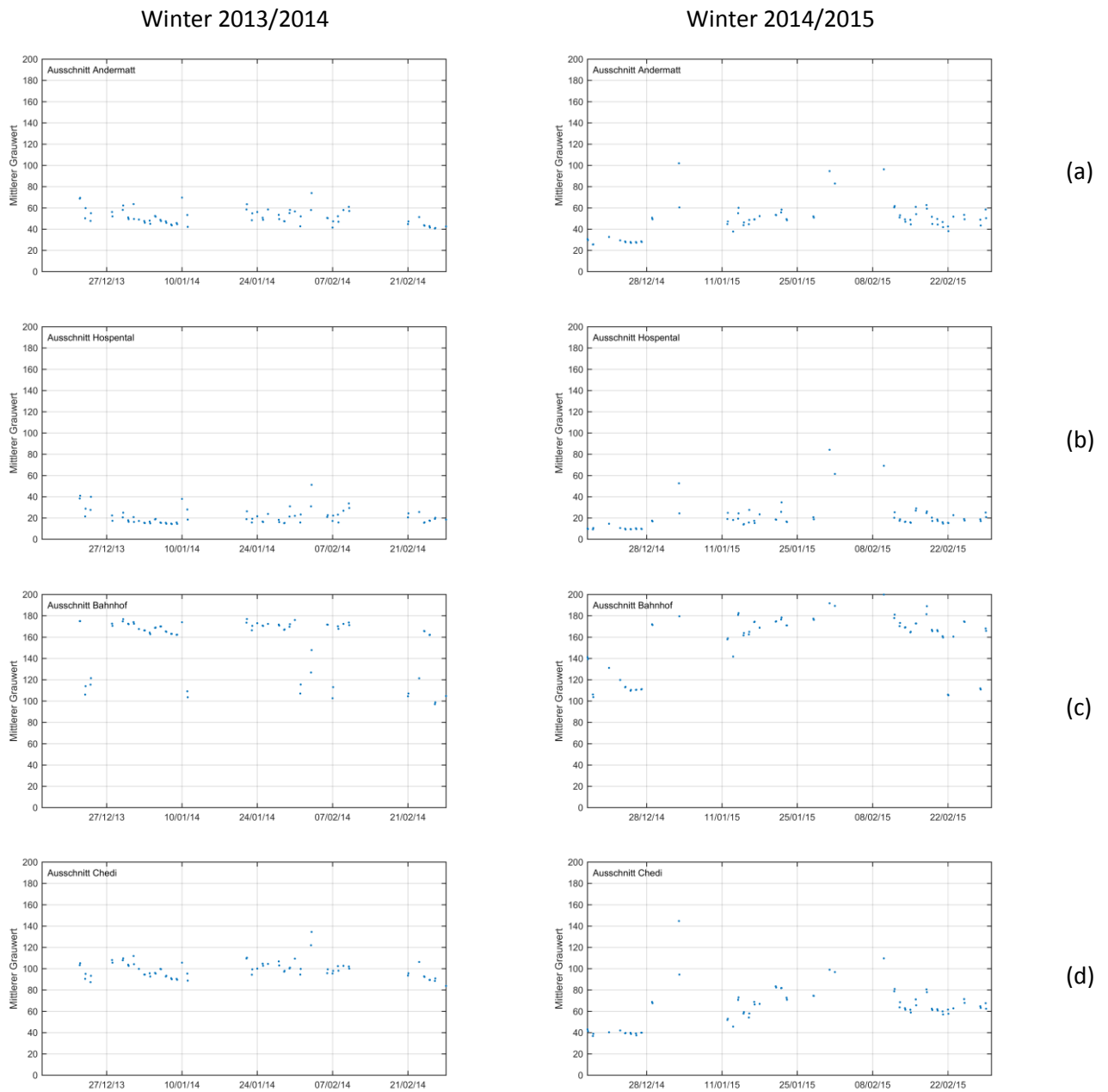


Abbildung 11: Zeitreihen der MG-Werte für die Bildausschnitte „Andermatt“ (a), „Hospental“ (b), „Bahnhof“ (c) und „Chedi“ (d), Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, nur Aufnahmen nach Mitternacht (1 Uhr und 3 Uhr) jeweils vom 15.12. bis 28.02.

4.3.3 RGB-Farben

Bei der Analyse nach dem mittleren Grauwert wurden alle Farbanteile gleichmässig berücksichtigt. Um dennoch Informationen über die RGB-Farben zu erlangen, sind in Tabelle 3 die RGB-Werte für die Datensätze nach Mitternacht in den vier Bildausschnitten zusammengestellt. Deutlich erkennbar ist der hohe Rotanteil in allen Bildausschnitten, was auf den hohen Einsatz von Leuchtmitteln auf dem Glühlampenprinzip hindeutet. Diese Leuchtmittel haben ihre maximale Abstrahlung normalerweise im roten bis infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die gelb hinterlegten Felder zeigen die Veränderung vom Sommer 2013 zum Sommer 2014. Interessant ist, dass in allen Bildausschnitten der Blauanteil deutlich zugenommen hat. Um zu beurteilen ob diese Änderungen tatsächlich auf den vermehrten Einsatz von LED-Lampen zurückzuführen sind, ist die betrachtete Zeitperiode noch zu kurz.

Tabelle 3: Mittelwerte der RGB-Werte für die Datensätze von 1 Uhr und 3 Uhr in den ausgewählten Teilgebieten im Sommer 2013 und Sommer 2014 jeweils vom 01.05. bis am 30.09., Mond- und Nebelfilterung

Ausschnitt	R	G	B
Andermatt			
2013	37.6	22.5	6.4
2014	38.7	24.4	8.3
Veränderung	2.9 %	8.4 %	29.7 %
Hospental			
2013	19.3	11.2	5.0
2014	17.7	11.0	5.7
Veränderung	-8.3 %	-1.8 %	14.0 %
Bahnhof			
2013	89.2	56.1	21.7
2014	104.6	73.1	34.2
Veränderung	17.3 %	30.3 %	57.6 %
Chedi			
2013	53.1	31.6	12.3
2014	64.2	42.0	21.6
Veränderung	20.9 %	32.9 %	75.6 %

4.3.4 Häufigkeitsverteilung

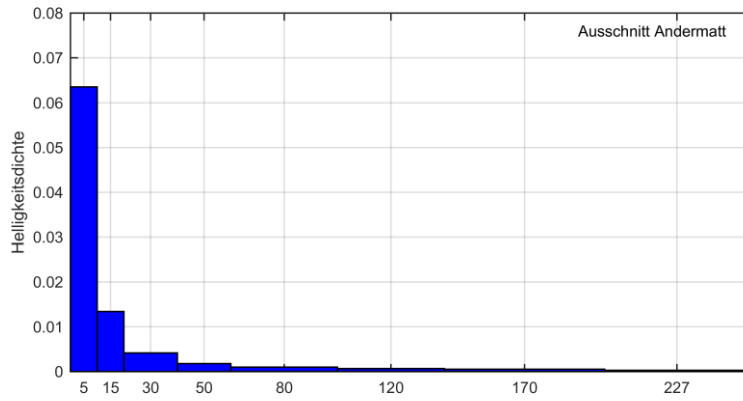
Abschliessend werden noch Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit in den Bildausschnitten diskutiert. Dafür wurde in den ausgewählten Bildausschnitten die jeweilige Anzahl der Pixel in Helligkeitsklassen entsprechend den MG-Werten erfasst. In Tabelle 4 sind die gewählten acht Helligkeitsklassen mit ihren Grenzen, Klassenmitten und Klassenbreiten zusammengestellt. Der Wertebereich von 0 bis 255 wurde nicht linear unterteilt, sondern in engere Klassen bei geringeren Helligkeiten und in breitere Klassen bei grossen Helligkeiten. Diese Einteilung wurde gewählt, um eine ausreichende Auflösung bei den eher geringen Helligkeiten der vorliegenden Aufnahmen zu erhalten. Die genaue Methodik der Häufigkeitsverteilungsberechnung ist im Jahresbericht 2013 beschrieben.²

Tabelle 4: Klasseneinteilung für Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit (MG-Werte)

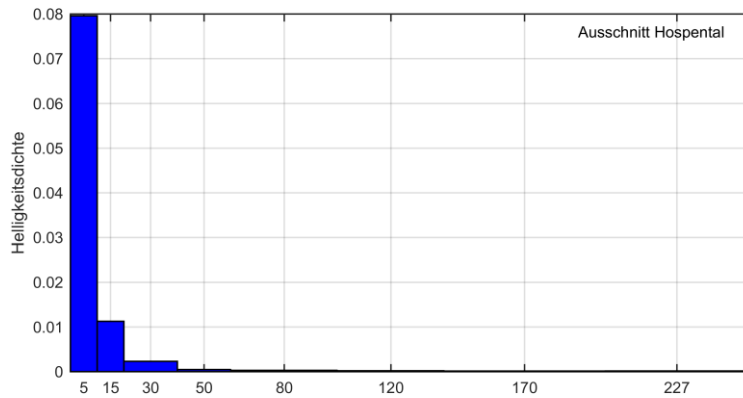
Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8
Grenzen	0-10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-140	140-200	200-255
Mitte	5	15	30	50	80	120	170	227
Breite	10	10	20	20	40	40	60	55

Abbildung 12 zeigt die Helligkeitsdichte in den vier verschiedenen Bildausschnitten für den Sommer 2014.

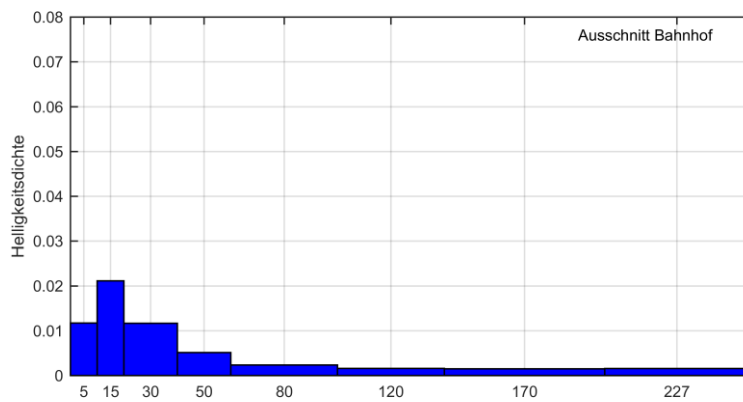
² Jahresbericht 2013 Lichtmonitoring Andermatt, Ergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen nach einem Betriebsjahr, inNET Monitoring AG, 2014



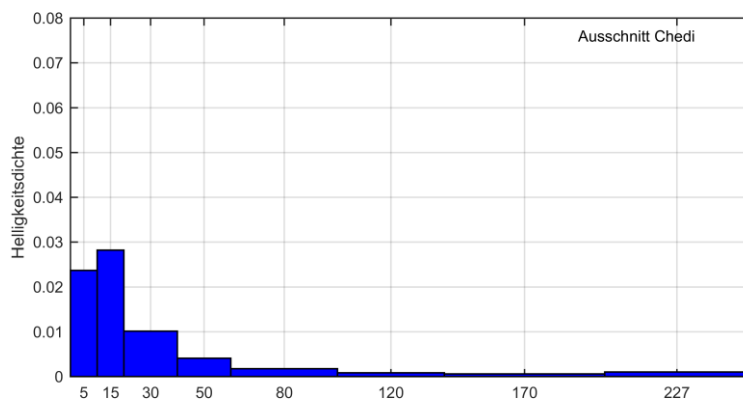
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 12: Normierte Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit, (a) „Andermatt“, (b) „Hospental“, (c) „Bahnhof“ und (d) „Chedi“, Aufnahmen vom 01.05.2014 bis 30.09.2014, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr

Für den direkten Vergleich der einzelnen Bildausschnitte eignen sich noch besser die kumulierten Häufigkeitsverteilungen, die in Abbildung 13 dargestellt sind. Es handelt sich hierbei um die aufsummierten Flächen der in Abbildung 12 gezeigten Dichten (Balken), und zwar jeweils aufgetragen über der Klassenobergrenze. Der Wertebereich dieser Summenverteilung erstreckt sich von 0 bis 100 Prozent, weil die pro Helligkeitsklasse erfassten und aufsummierten Pixel nur noch mit der Gesamtpixelzahl normiert werden.

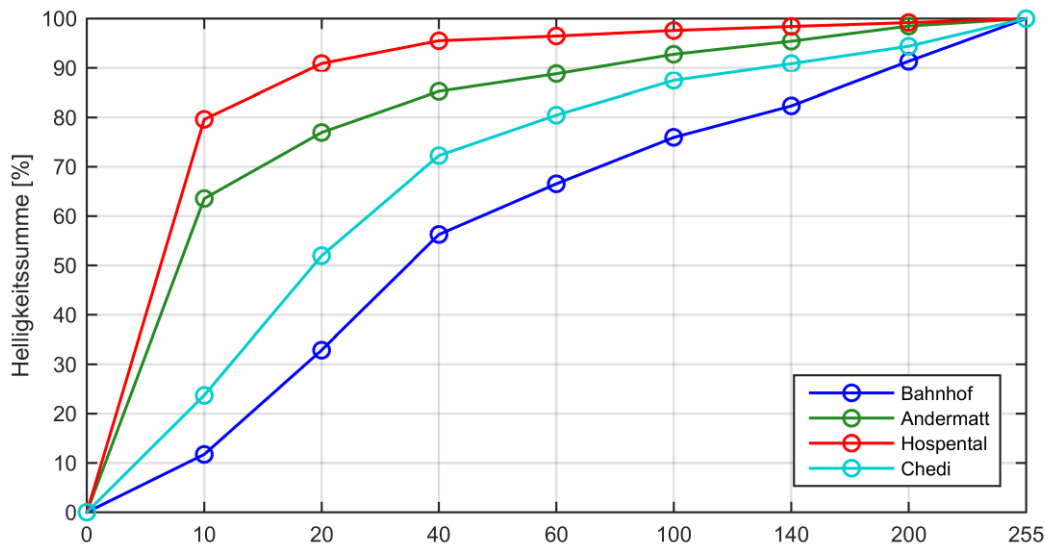


Abbildung 13: Kumulative Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit für „Andermatt“, „Hospental“, „Bahnhof“ und „Chedi“.
 Datengrundlage: 01.05.2014 bis 30.09.2014, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr

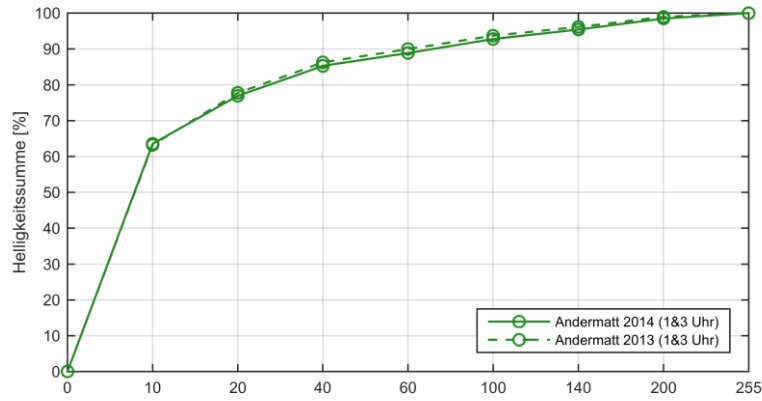
Schliesslich kann als weitere Masszahl aus kumulativen Verteilungen der 50%-Wert abgelesen werden. Dieser Wert macht eine Aussage über den Helligkeitswert eines Bildausschnitts, wobei jeweils 50 % der Pixel darunter und 50 % darüber liegen. Die Zahlenwerte für die vier Bildausschnitte finden sich in Tabelle 5.

Hier kann zusätzlich eine Information über die Verteilungsbreite abgelesen werden, typischerweise durch die 10%- und 90%-Werte (siehe ebenfalls Tabelle 5, Spalte „Spanne 90-10“). Es handelt sich dabei um eine komprimierte bzw. auf eine Masszahl reduzierte Information zu den jeweiligen Helligkeitsverteilungen, die bereits oben diskutiert wurden. Auch hier zeigt sich kaum eine Veränderung in den Teilgebieten „Andermatt“ und „Hospental“. In den Gebieten „Chedi“ und „Bahnhof“ zeigt sich insbesondere eine höhere Verteilungsbreite, resultierend aufgrund eines höheren 90%-Wertes.

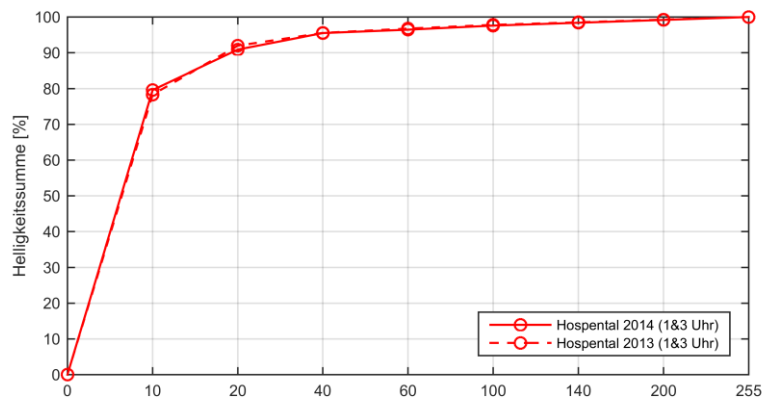
Tabelle 5: Median (50 %) und Verteilungsbreite (10 %, 90 % und Spanne 90-10) der kumulativen Helligkeitsverteilungen für die Ausschnitte „Andermatt“, „Hospental“, „Bahnhof“ und „Chedi“ (Datengrundlage: Sommer 2013 und Sommer 2014 jeweils vom 01.05. bis am 30.09., mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr).

Ausschnitt	50 %	10 %	90 %	Spanne 90-10
Andermatt				
2013	8	1	60	59
2014	8	1	70	69
Hospental				
2013	6	1	19	18
2014	6	1	19	18
Bahnhof				
2013	27	6	160	154
2014	34	8	189	181
Chedi				
2013	18	4	78	74
2014	19	4	129	125

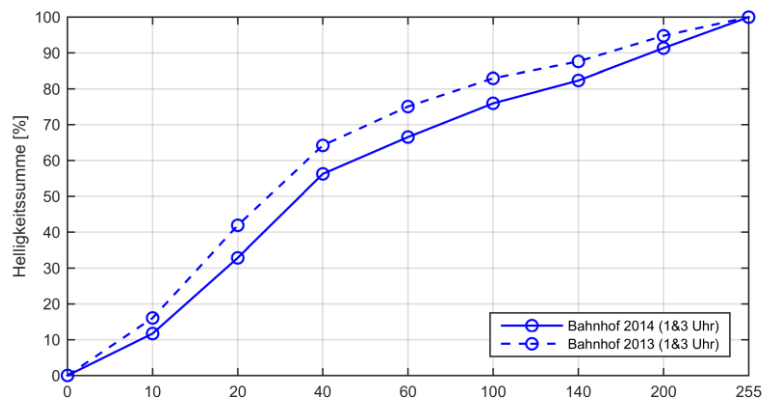
Zum Abschluss der Häufigkeitsbetrachtung sind in Abbildung 14 die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit für die vier Teilgebiete dargestellt, und zwar aufgeschlüsselt für die Sommerperiode 2013 und für Sommerperiode 2014, jeweils für die Bilder von 1 und 3 Uhr gemittelt. Eine Rechtsverschiebung der Kurve bedeutet eine Zunahme der Helligkeit.



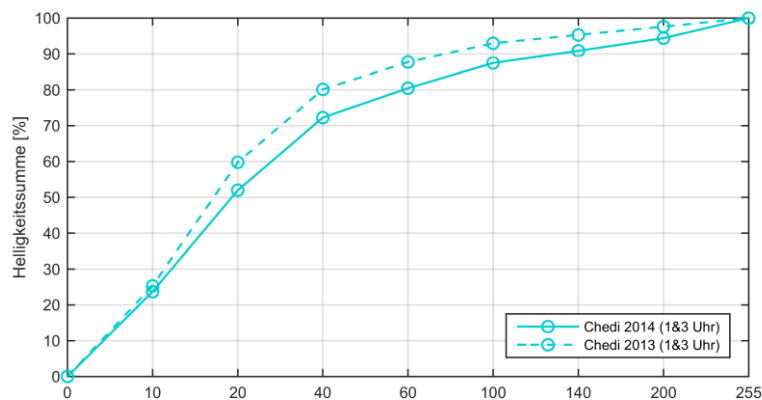
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 14: Kumulative Häufigkeitsverteilungen für die vier Bildausschnitte, unterteilt in die Sommerperiode 2013 und Sommerperiode 2014 jeweils vom 01.05. bis am 30.09., Aufnahmezeitpunkte 1 Uhr und 3 Uhr, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s.

4.4 Visuelle Mittelung

4.4.1 Sommerperiode

Mithilfe der Falschfarbenbilder können zeitliche Veränderungen visuell dokumentiert werden, indem die einzelnen Nachtaufnahmen über die Referenzperioden gemittelt werden. Für diese Bilder wurde jeweils der Mittelwert jedes einzelnen Bildpixels über die entsprechende Periode berechnet und danach als Differenz zur Vorjahresperiode berechnet. Die gemittelten Aufnahmen sind aus denselben Daten berechnet worden wie jeweils für die vorhergehenden Auswertungen, das heisst nach der Mond- und der Nebelfilterung. Aufgrund der Mittelung über viele Einzelbilder stellen diese Aufnahmen robuste Informationen dar, welche praktisch nicht von einzelnen kurzzeitigen Ereignissen, wie beispielsweise Durchfahrten von Autos oder ausserordentlichen Pistenbeleuchtungen beeinflusst sind. Gelbe und rote Pixel stehen für Regionen, in welchen es in der Sommerperiode 2014 heller ist als während der Sommerperiode 2013. Blaue Punkte stellen hingegen eine Verdunkelung in der Sommerperiode 2014 im Vergleich zur Sommerperiode 2013 dar.

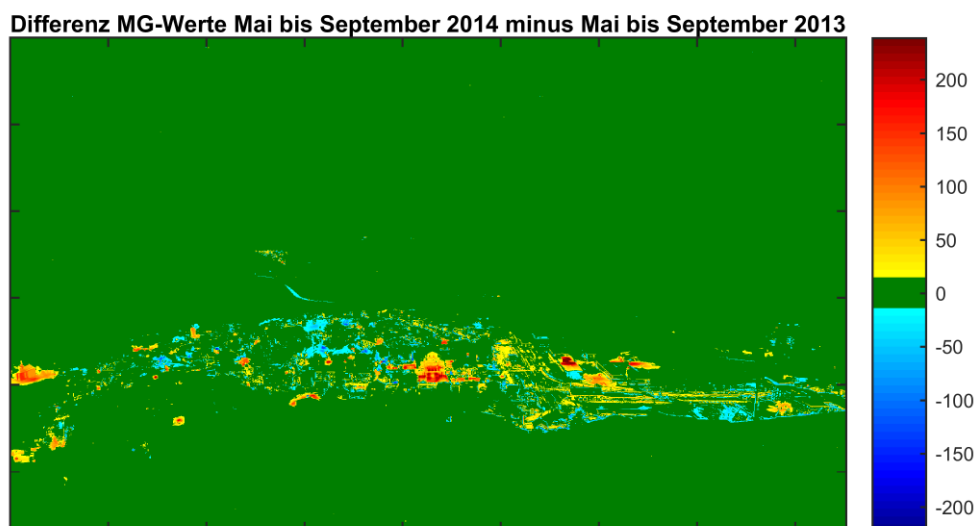


Abbildung 15: Differenz der MG-Werte der Sommerperiode 2014 minus Sommerperiode 2013 (Datengrundlage: mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, alle Aufnahmezeitpunkte). Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Sommerperiode 2014, blaue Farben höhere Werte in der Sommerperiode 2013.

Differenz MG-Werte 23 Uhr Mai bis September 2014 minus Mai bis September 2013

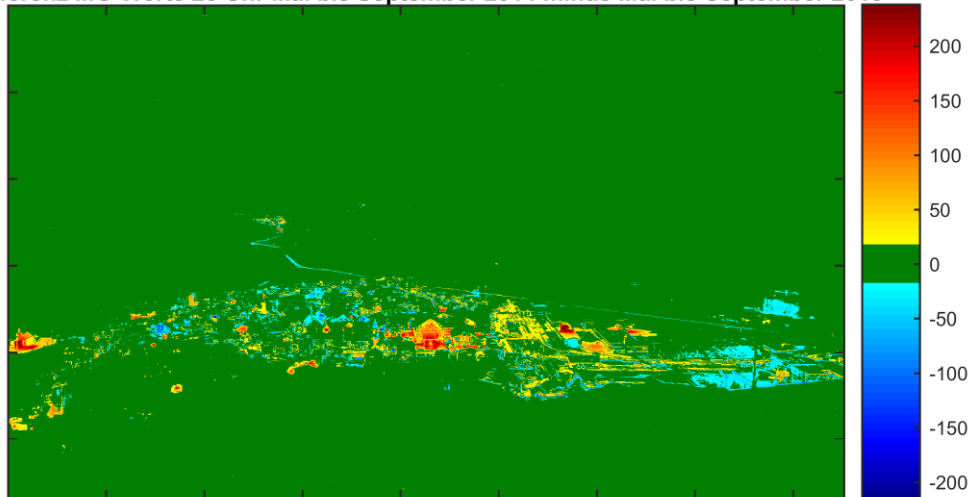


Abbildung 16: Differenz der MG-Werte um 23 Uhr der Sommerperiode 2014 minus Sommerperiode 2013 (Datengrundlage: mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, nur 23 Uhr). Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Sommerperiode 2014, blaue Farben höhere Werte in der Sommerperiode 2013.

Differenz MG-Werte 1&3 Uhr Mai bis September 2014 minus Mai bis September 2013

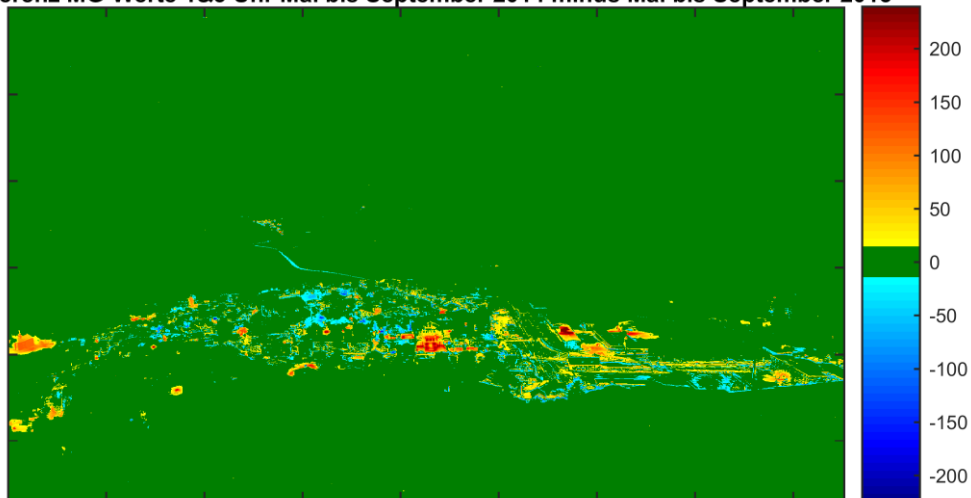


Abbildung 17: Differenz der MG-Werte um 1 und 3 Uhr der Sommerperiode 2014 minus Sommerperiode 2013 (Datengrundlage: mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, ohne 23 Uhr). Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Sommerperiode 2014, blaue Farben höhere Werte in der Sommerperiode 2013.

4.4.2 Winterperiode

Dasselbe wurde auch für die Differenz der MG-Werte der zwei Winterperioden 2014/2015 minus 2013/2014 (jeweils vom 15.12. bis am 28.02) berechnet (Abbildung 18). Gelbe und rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Winterperiode 2014/2015, blaue Farben höhere Werte in der Winterperiode 2013/2014. Hier wird nun wieder deutlich die Abnahme der Helligkeit beim „Chedi“ ersichtlich. Weiter tritt aber deutlich die Zunahme der MG-Werte im Teilgebiet „Villen&Podium“, insbesondere entlang der neu beleuchteten Zufahrtsstrasse hervor.

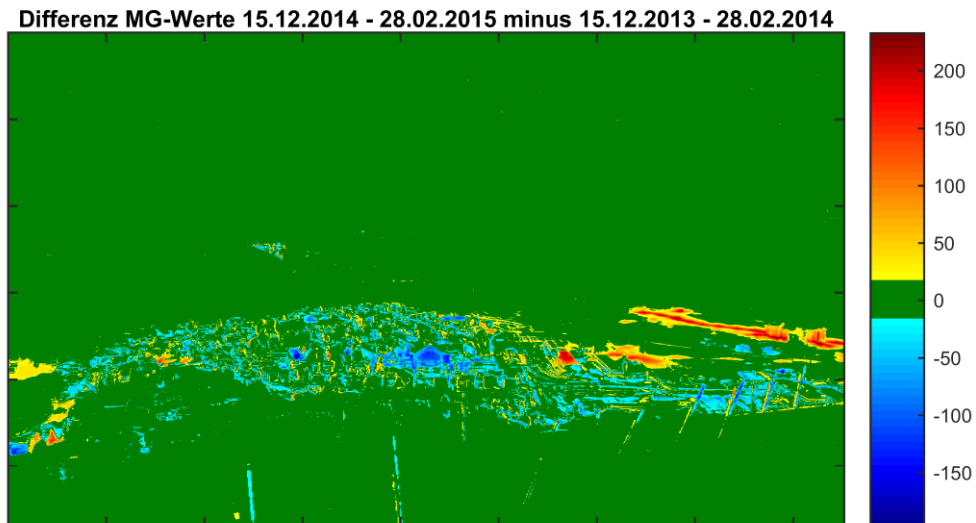


Abbildung 18: Differenz der MG-Werte der Winterperiode 2014/2015 minus Winterperiode 2013/2014 (Datengrundlage: Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s). Gelbe und rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Winterperiode 2014/2015, blaue Farben höhere Werte in der Winterperiode 2013/2014.

5 Fazit

Die nun über zwei Winter- und zwei Sommerperioden vorliegenden Daten erlauben es, erste Abschätzungen betreffend Veränderungen der Helligkeit vorzunehmen. Es gilt aber zu beachten, dass die Messperiode noch zu kurz ist, um effektive Trends zu detektieren.

- Die Vergleiche der beiden Perioden zeigen, dass die Methodik der Fotoaufnahmen bei unterschiedlichen Belichtungszeiten ein taugliches Instrument darstellt, um die Veränderungen der Helligkeit in einer Ortschaft oder sogar Region zu dokumentieren.
- Während der Sommerperiode gab es die grössten Veränderungen im Bereich „Chedi“, wo eine Zunahme der Helligkeit von der ersten zur zweiten Periode beobachtet wird.
- Über den ganzen Bereich „Andermatt“ betrachtet treten bisher keine wesentlichen Änderungen der Helligkeit auf.
- Einzelne Bereiche wie „Chedi“ zeigen vom Winter 2013/2014 zum Winter 2014/2015 einen Rückgang der Helligkeit. Dieser Rückgang hängt vermutlich damit zusammen, dass während des ersten Winters noch die Baubeleuchtung in Betrieb war.
- Besonders deutlich kommt die Zunahme der Helligkeit im Bereich „Villen&Podium“ aufgrund der Inbetriebnahme der Strassenbeleuchtung zum Vorschein.
- In gewissen Gebieten wird eine deutliche Zunahme des Blauanteils im Licht beobachtet. Dies könnte auf den vermehrten Einsatz von LED in der Beleuchtungstechnik zurückzuführen sein.

6 Anhang

6.1 Bildergalerie mit Beispielen



Abbildung 19: Nebelschwaden über Andermatt; Aufnahme vom 11.12.2014, 3 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 20: Nebelmeer; Aufnahme vom 07.02.2015, 3 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 21: Beleuchtung während „Andermatt live“; Aufnahme vom 19.03.2015, 23 Uhr, Belichtungszeit 30 s