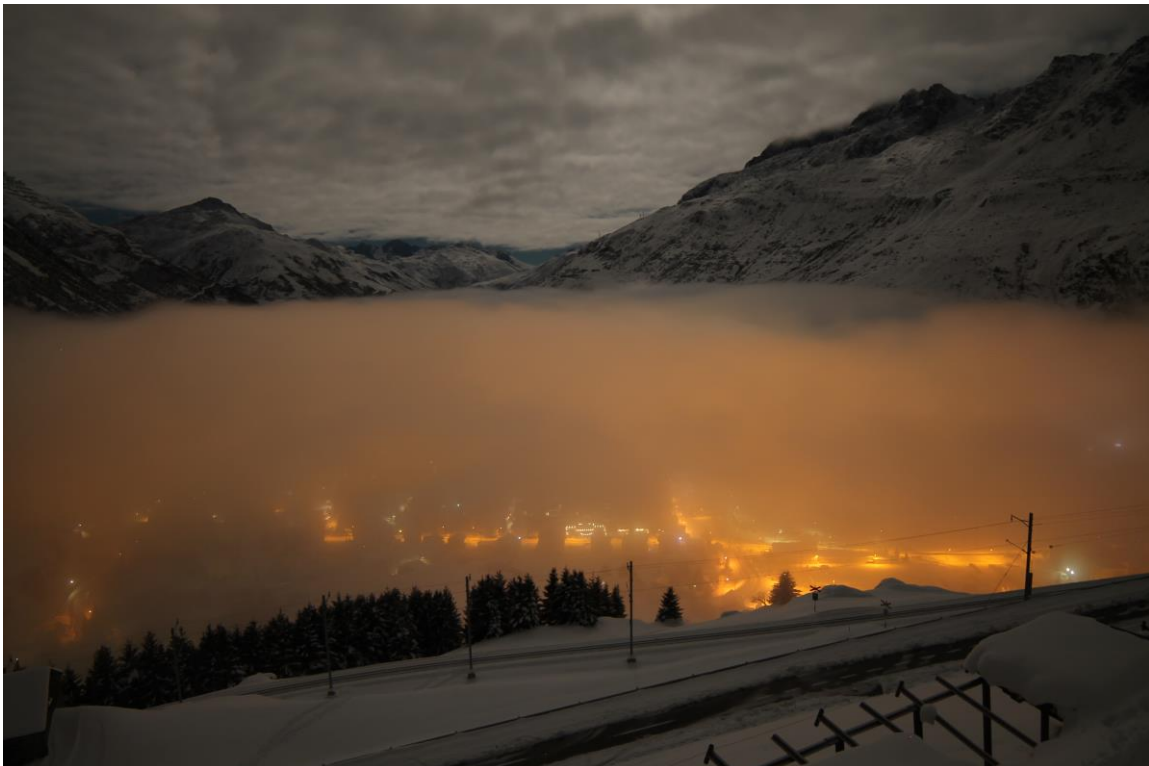


## JAHRESBERICHT 2017 LICHTMONITORING ANDERMATT



### Weiterführung nach vier Betriebsjahren

Altdorf, 14.12.2017

## **IMPRESSUM**

### **Auftraggeber:**

Amt für Umweltschutz  
Kanton Uri  
Klausenstrasse 4  
6460 Altdorf

### **Projektbearbeitung und Bericht:**

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

### **Projektleitung:**

Roman Gisler  
Techn. Sachbearbeiter  
Amt für Umweltschutz

### **Titelfoto:**

Automatisch erstellte Nachtaufnahme von Andermatt am 14. November 2016 um 3 Uhr.

# 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	Kameradrift.....	- 6 -
3.3	Bildverschiebung .....	- 6 -
4	Ergebnisse.....	- 7 -
4.1	Datenauswahl.....	- 7 -
4.2	Exemplarische Beispiele .....	- 8 -
4.3	Integrale Auswertungen.....	- 11 -
4.3.1	Sommerperioden.....	- 11 -
4.3.2	Winterperioden .....	- 15 -
4.3.3	RGB-Farben.....	- 18 -
4.3.4	Häufigkeitsverteilung .....	- 19 -
4.4	Visuelle Mittelung .....	- 27 -
4.4.1	Sommerperiode.....	- 27 -
5	Fazit .....	- 29 -
6	Anhang.....	- 30 -
6.1	Bildergalerie mit Beispielen.....	- 30 -
6.2	Ergebnisse Untersuchung Drift Bildsensorik .....	- 33 -
6.2.1	Erstmaliger Belichtungstest 2013.....	- 33 -
6.2.2	Zweiter Belichtungstest 2015.....	- 33 -
6.2.3	Ergebnisse Vergleich Belichtungstests 2013 und 2015 .....	- 35 -

# 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. Für den Einsatz gegen die Lichtverschmutzung zeichnete die Umweltorganisation «Dark-Sky» das AfU Uri im Jahr 2016 sogar mit dem «Ritter der Nacht» aus.<sup>1</sup>

Der vorliegende Bericht dokumentiert den Stand des Lichtmonitorings in Andermatt nach vier Betriebsjahren bis Ende Winter 2016/2017. Hierbei werden der aktuelle Stand und die Veränderungen in den vier bisherigen Sommerperioden zwischen 2013 und 2016 sowie den vier Winterperioden zwischen 2013 und 2017 aufgezeigt. Detaillierte Informationen bezüglich Grundlagen der Lichtverschmutzung, Projektentstehung, Kamerastandort, Messtechnik und Datenauswertung sind im ausführlichen Bericht «Jahresbericht 2013 Lichtmonitoring Andermatt» zu finden.<sup>2</sup> Erste detaillierte Interpretationen der Messungen sind im Bericht «Jahresbericht 2014 Lichtmonitoring Andermatt» dokumentiert.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> <http://www.darksky.ch/dss/de/2016/11/ritter-der-nacht-2016/>

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

<sup>3</sup> Jahresbericht 2014 Lichtmonitoring Andermatt, Erste Trends nach zwei Betriebsjahren, inNET Monitoring AG, 2015

## 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.

Zum ersten Mal wird in diesem Bericht der Bildausschnitt «Villen & Podium» über die ganze Messperiode ausgewertet. In diesem Bereich hat in der letzten Zeit vermehrte Bautätigkeit stattgefunden und neue Immobilien kommen zu stehen, welche für die Lichtverhältnisse von Relevanz sein können.

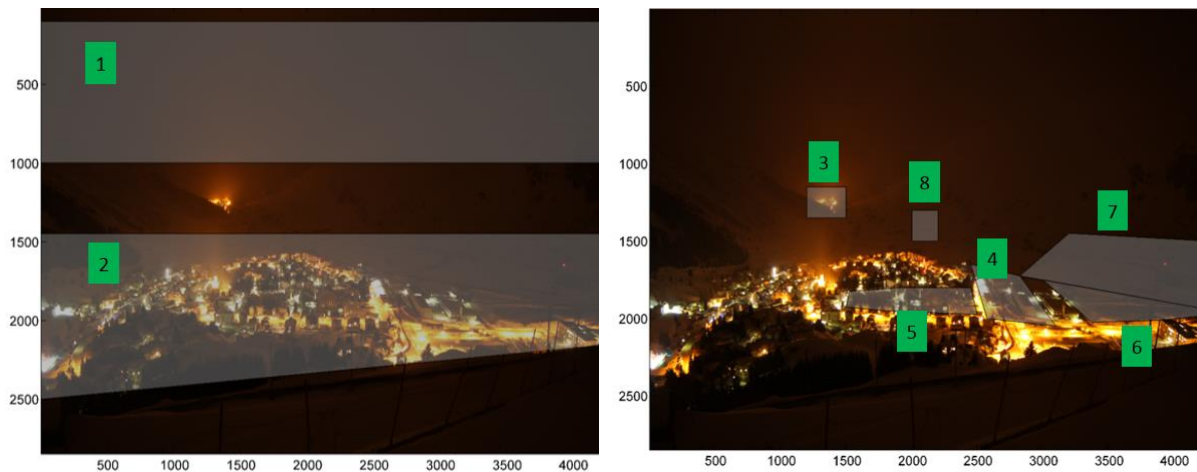


Abbildung 2: Erfasster Bildausschnitt vom Standort Oberalp mit den acht ausgewählten Ausschnitten (1 Himmel, 2 Andermatt, 3 Hospental, 4 Bahnhof, 5 Chedi, 6 Sportzentrum, 7 Villen & Podium, 8 Golfklubhaus).

### 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 und auf Grund der täglichen Kontrolle des Datenbestands sind Datenlücken nahezu ausgeschlossen.

### 3.2 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.

Es wurde versucht bei mindestens fünf kleinen und 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 wird. 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, im Herbst 2015 zwischen Sommer- und Winterauswerteperiode die Kamera deinstalliert und die Überprüfung wie vorgesehen mittels Farbkeil durchgeführt. Diese Überprüfung hat gezeigt, dass die Bildgebende-Sensorik weiterhin sehr stabil ist und kein für die Messung relevanter Drift auftritt. Die detaillierten Resultate der Kameraüberprüfung sind im Anhang 6.2 zu finden.

### 3.3 Bildverschiebung

Bei qualitätssichernden Überprüfungen wird sichergestellt ob sich der Bildausschnitt auf Grund von Vibrationen oder Manipulationen ungewollt verschoben hat. Eine solche Verschiebung wurde 2014 festgestellt und in der Auswertungssoftware korrigiert.

Eine weitere geringe Bildverschiebung über die z-Achse (Drehung) wurde mit der Überprüfung des Kameradrifts (siehe Kapitel 3.2) verursacht. Auf die Ergebnisse der numerischen, integralen Auswertungen (Kapitel 4.3) der Bildausschnitte hat diese Verschiebung keinen relevanten Einfluss. Für die visuelle Mittelung (Differenz-Bilder, Kapitel 4.4) wurde die Verschiebung über die z-Achse korrigiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Datenauswahl

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

Zur Visualisierung ist in Abbildung 3 die Zeitreihe aller MG-Werte für den Bildausschnitt «Andermatt» bei 30 s Belichtungszeit dargestellt. Deutlich erkennbar sind periodische Maxima 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  $\pm 48$  Stunden und während der Winterperiode (jeweils vom 15.12. bis am 28.02.)  $\pm 96$  Stunden.

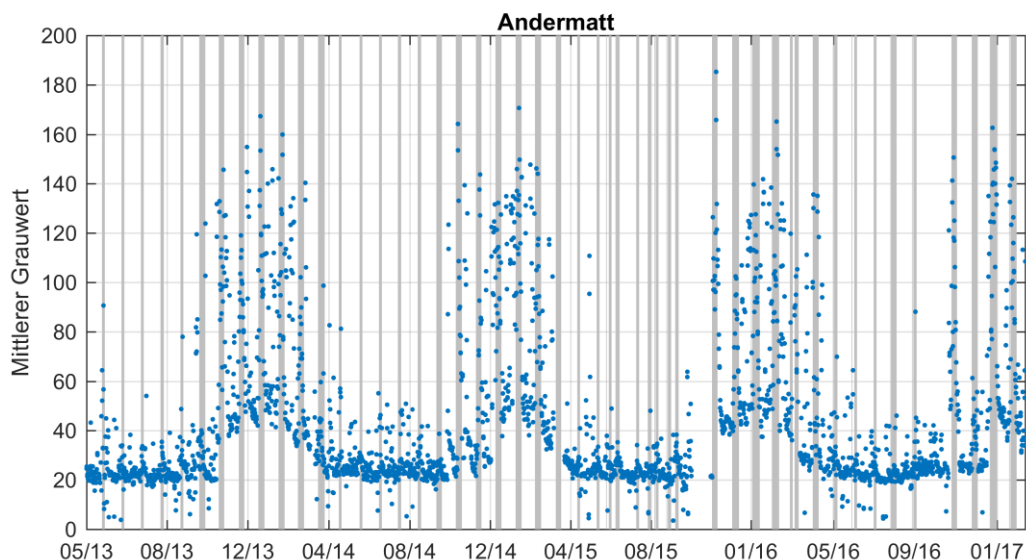


Abbildung 3: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt «Himmel», Belichtungszeit 30 s

In allen Bildbereichen sind die MG-Werte während des Winters deutlich höher als während des Sommers. Dies ist in Abbildung 4 exemplarisch für den Bildausschnitt «Andermatt» dargestellt. Die erhöhten MG-Werte während der Winterperioden (blaue Markierung) sind durch Reflexionen im Schnee verursacht.



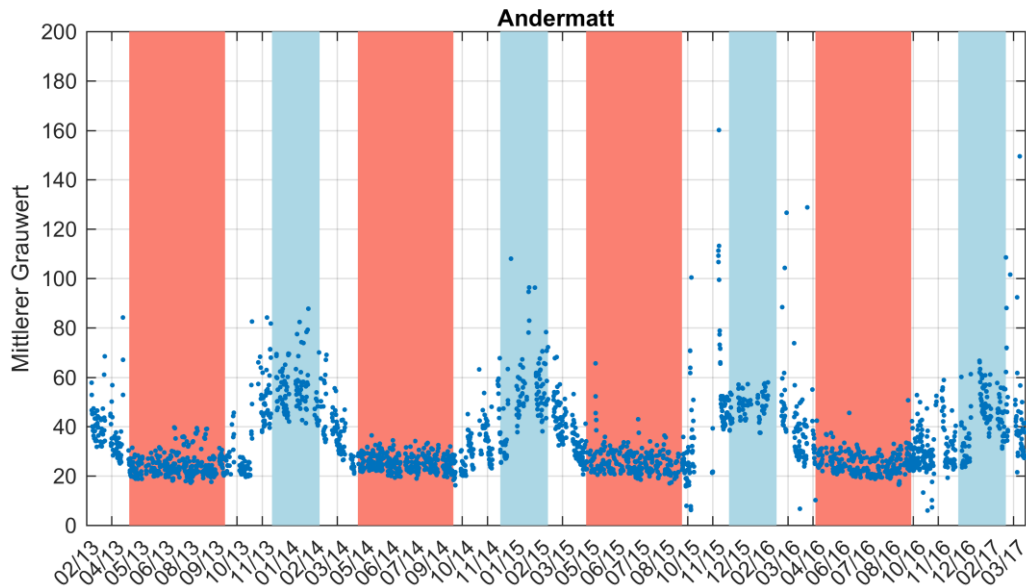


Abbildung 4: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt «Andermatt», Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung. Rot markiert sind die Auswertungsperioden Sommer (jeweils 01.05. bis 30.09.), blau die Auswertungsperioden Winter (jeweils 15.12. bis 28.02.).

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 5 zeigt die Zeitreihe der MG-Werte für den Bildausschnitt «Andermatt» für die Sommerperiode 2016 (Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung). Aus diesen Aufnahmen wird ersichtlich, dass zusätzliche Beleuchtung im Bereich der Kaserne und die Baustellenbeleuchtung im Bildausschnitt «Villen & Podium» zu Ausreissern des MG-Werts führt.

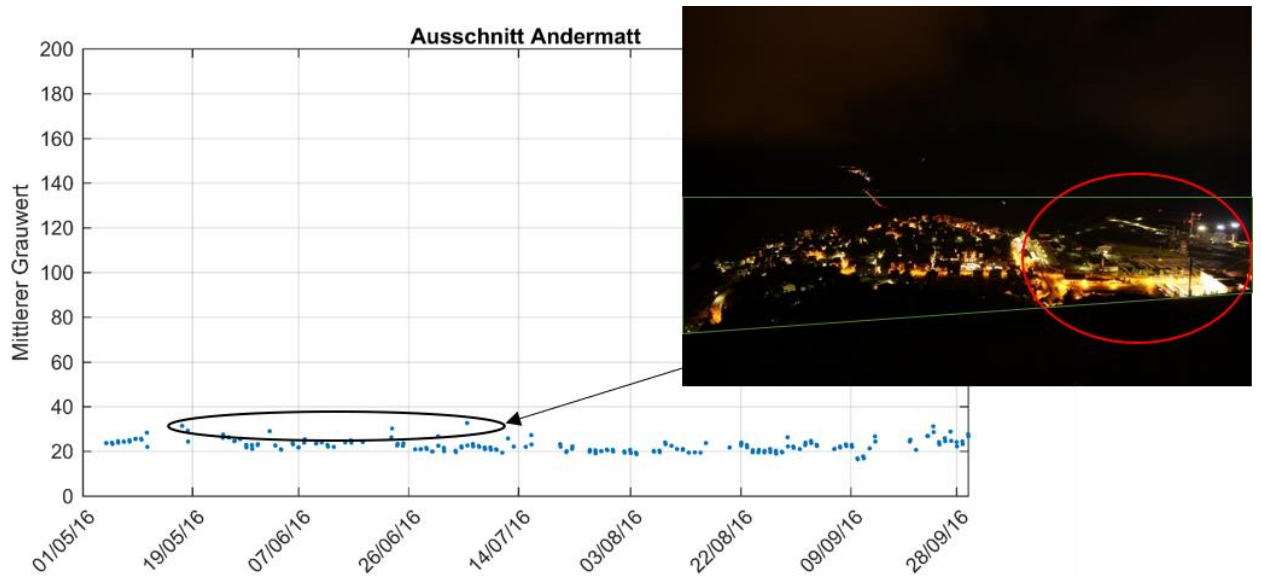


Abbildung 5: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt «Andermatt», Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, Aufnahmen nach Mitternacht (1 und 3 Uhr), Sommerperiode 2016. Exemplarisches Bild vom 06.07.2016 (1 Uhr).

Ein weiteres exemplarisches Beispiel ist in Abbildung 6 dargestellt. In dieser Zeitreihe sind die MG-Werte für den Bildausschnitt «Bahnhof» geplottet. Über die ganze Sommerperiode ist ersichtlich, dass der Bahnhof sehr unterschiedlich und mit klaren Ausreißern beleuchtet wird.

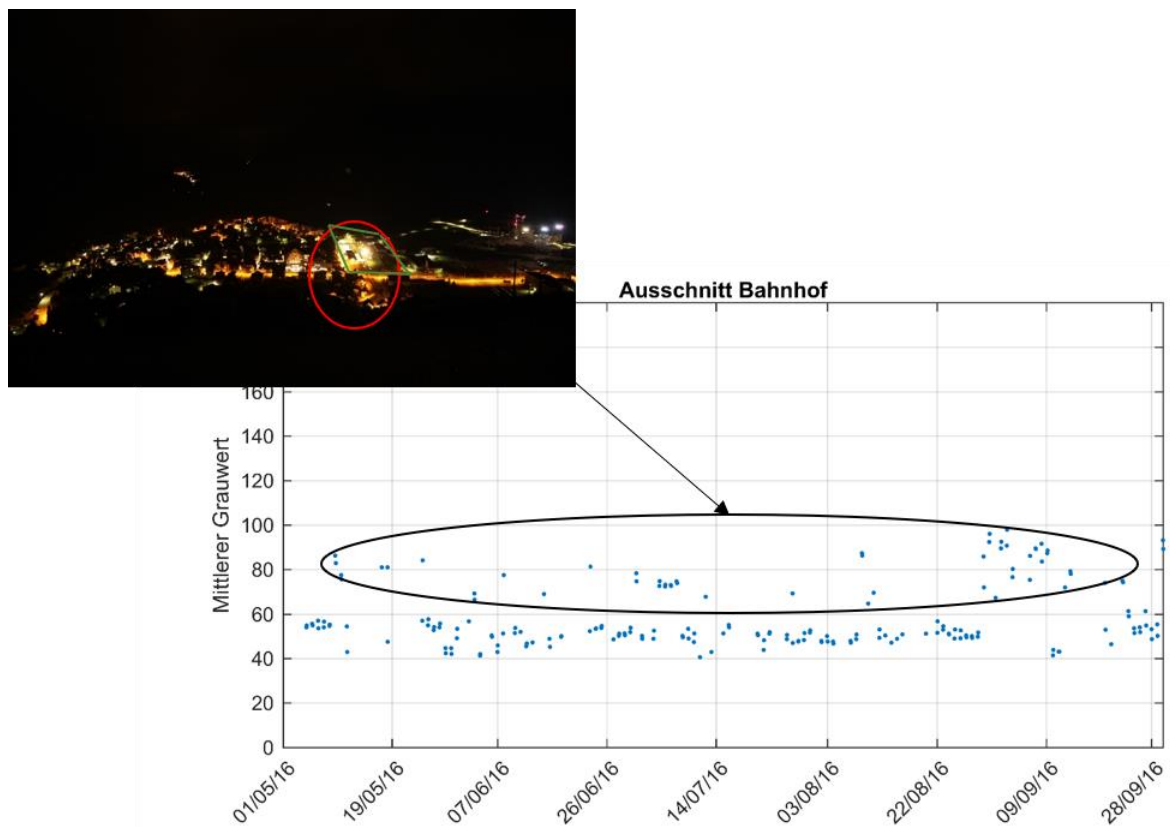


Abbildung 6: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt «Bahnhof», Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, Aufnahmen nach Mitternacht (1 und 3 Uhr), Sommerperiode 2016.

Abbildung 7 zeigt den Verlauf des MG vom Bildausschnitt «Villen & Podium» über die ganze Messperiode. Hier wird die langsame Zunahme der Helligkeit auf Grund der Bautätigkeit in diesem Bildausschnitt ersichtlich. Abbildung 8 visualisiert dann auch die Veränderung mit zwei Aufnahmen dieses Bildausschnittes 2013 und 2017.

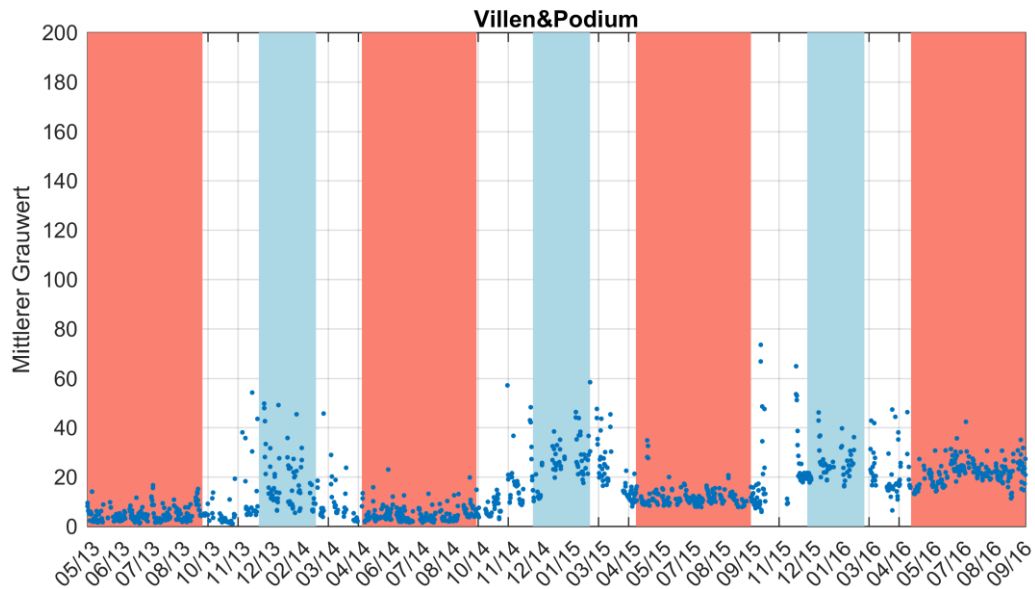


Abbildung 7: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt «Villen & Podium» über die gesamte Messperiode, Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, Aufnahmen nach Mitternacht (1 und 3 Uhr).

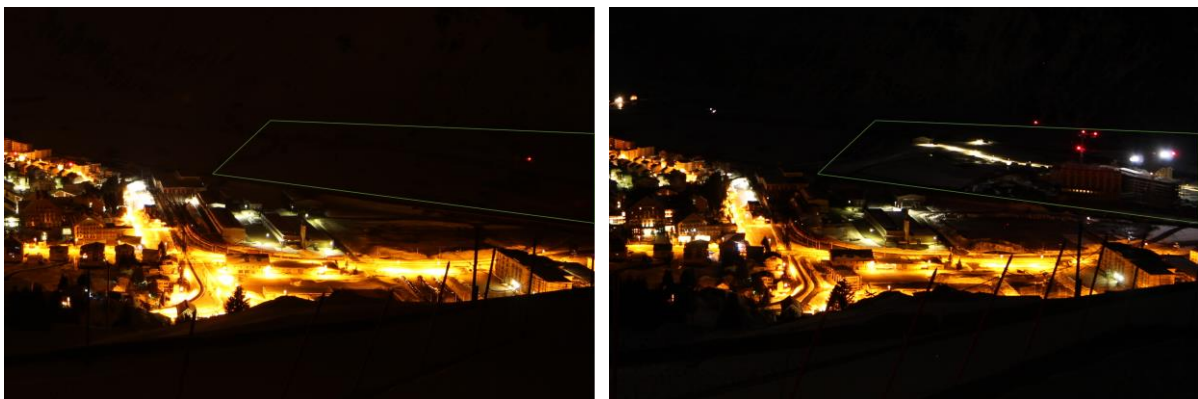


Abbildung 8: Die Gegend um den Bildausschnitt Nr. 7 «Villen & Podium» am 20.03.2013 links und am 20.03.2017 rechts (3 Uhr).

## 4.3 Integrale Auswertungen

### 4.3.1 Sommerperioden

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte von MG sowie die dazugehörigen Standardabweichungen (STD) für die fünf verschiedenen Teilgebiete in den Sommerperioden 2013 bis 2016 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 «MG(23)» und «STD(23)» sind die entsprechenden Daten für die Aufnahmen um 23 Uhr und in den nachfolgenden Spalten «MG(1&3)» und «STD(1&3)» die Daten für die Aufnahmen um 1 Uhr und 3 Uhr gemeinsam zu finden.

Für alle fünf 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.

Es kann festgestellt werden, dass der beobachtete starke Anstieg der MG-Werte für die Ausschnitte «Bahnhof» und «Chedi» im Sommer 2014 verglichen zum Sommer 2013 (zwischen +25% und +34%) eine einmalige Zunahme in dieser Deutlichkeit war. Trotzdem kann festgehalten werden, dass die Helligkeit mit Ausnahme für den Ausschnitt «Hospental» überall zugenommen hat.

Tabelle 1: Mittelwerte von MG sowie dazugehörige Standardabweichungen (STD) für verschiedene Datensätze in den ausgewählten Teilgebieten in den Sommerperioden 2013 bis 2016, Gesamt („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)
<b>Andermatt</b>						
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
2015	25.4	5.2	29.7	4.8	23.3	3.9
2016	24.9	4.6	29.4	4.1	22.8	3.1
<b>Hospental</b>						
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
2015	15.4	7.3	22.5	5.4	11.8	5.2
2016	13.8	6.4	21.0	5.1	10.6	3.6
<b>Bahnhof</b>						
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
2015	66.0	14.1	72.3	15.6	62.9	12.2
2016	61.3	15.5	65.7	15.3	59.3	15.2
<b>Chedi</b>						
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
2015	42.0	10.3	54.5	5.3	35.6	5.2
2016	44.4	7.7	54.7	2.9	39.8	3.6
<b>Villen &amp; Podium</b>						
2013	5.7	4.1	7.8	4.7	4.7	3.4
2014	4.9	2.8	5.1	2.2	4.8	3.1
2015	12.6	4.25	14.0	4.7	11.9	3.8
2016	23.4	5.7	26.8	5.9	21.8	4.9

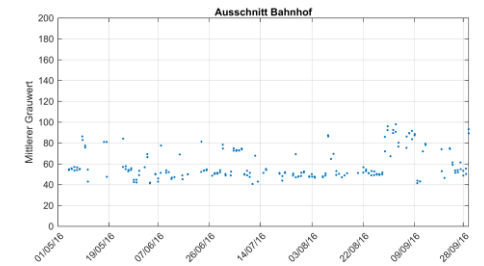
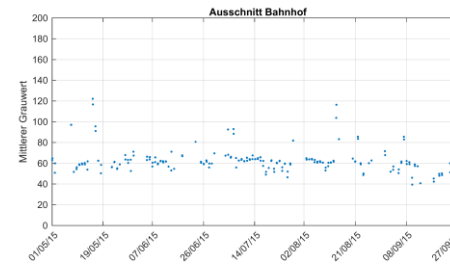
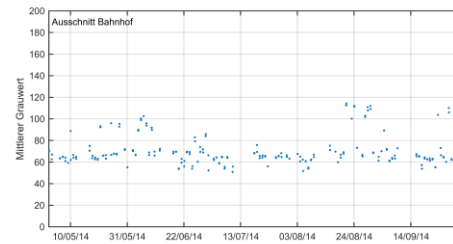
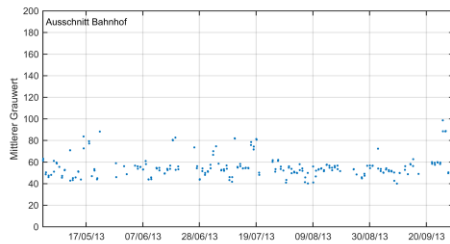
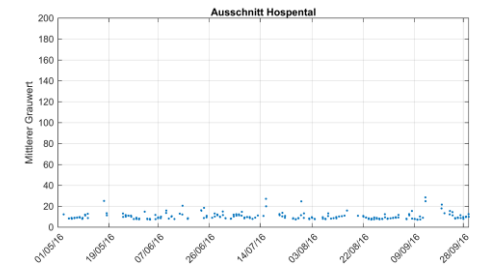
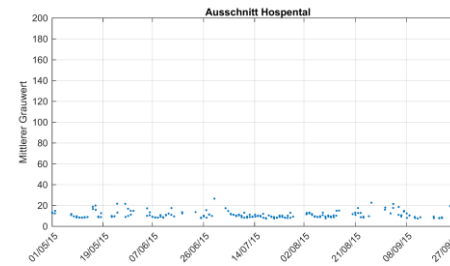
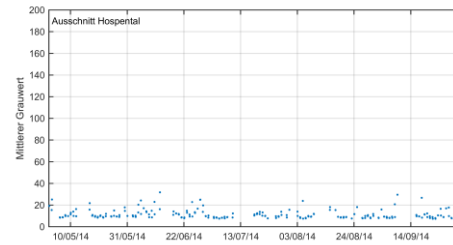
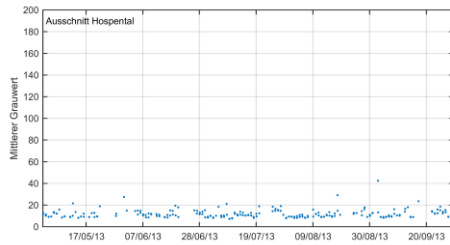
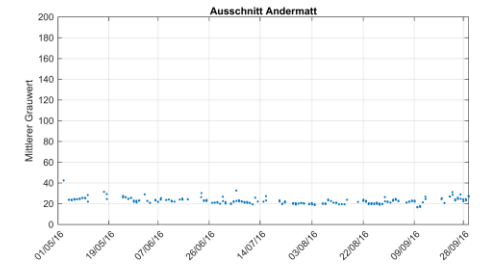
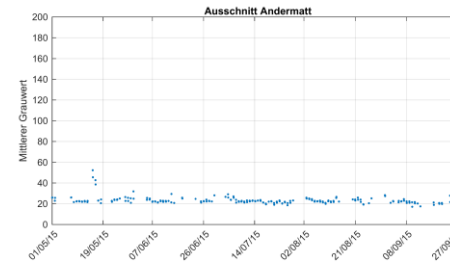
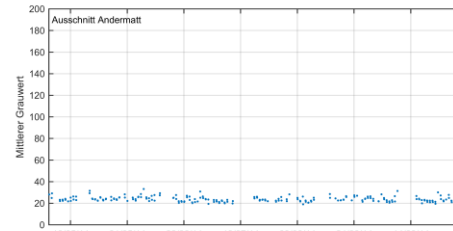
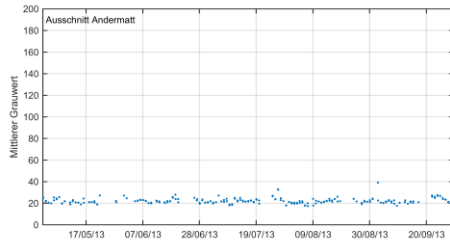
In Abbildung 9 sind die Zeitreihen der Sommerperioden 2013 bis 2016 für die fünf ausgewerteten Bildausschnitte zusammengestellt. Schön zu erkennen sind in den ersten zwei Teilbildern (a) Ausschnitt «Andermatt» und (b) Ausschnitt «Hospental» die sehr konstanten Werte über die ganze Betrachtungsperiode.

Sommer 2013

Sommer 2014

Sommer 2015

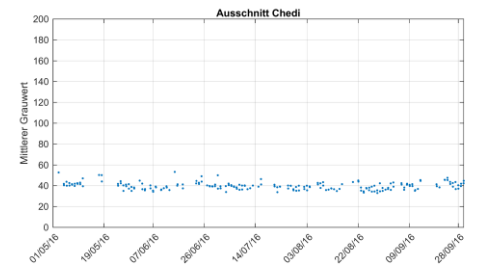
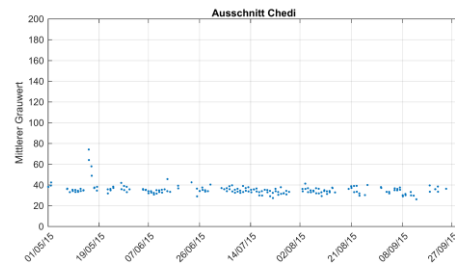
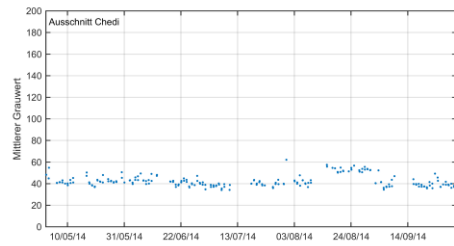
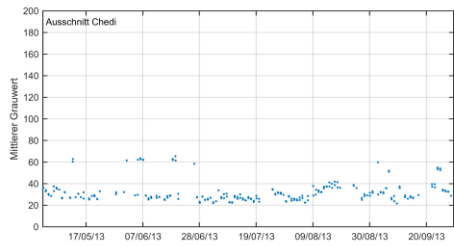
Sommer 2016



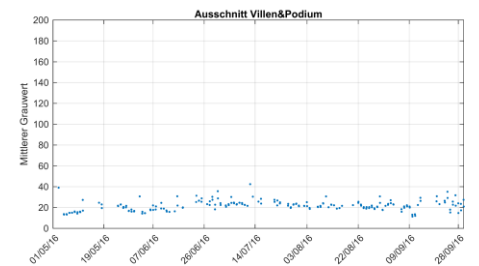
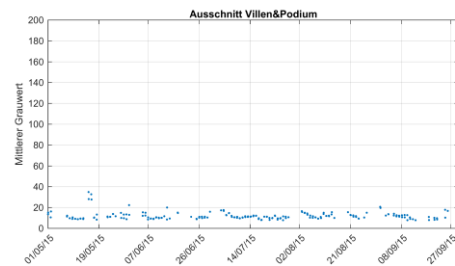
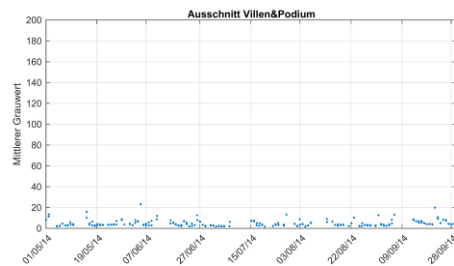
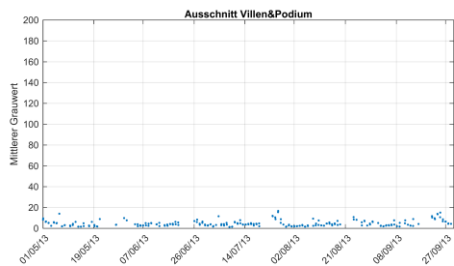
(a)

(b)

(c)



(d)



(e)

Abbildung 9: Zeitreihen der MG-Werte für die Bildausschnitte «Andermatt» (a), «Hospental» (b), «Bahnhof» (c), «Chedi» (d) und «Villen & Podium» (e), Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, nur Aufnahmen nach Mitternacht (1 Uhr und 3 Uhr) in den Sommerperioden.

### 4.3.2 Winterperioden

In Tabelle 2 sind dieselben Auswertungen wie in Tabelle 1 für die Winterperioden 2013/2014 bis 2016/2017 jeweils vom 15.12. bis am 28.02. dargestellt. Wie bereits erwähnt wurde hier im Vergleich zur Sommerperiode die Mondfilterung auf  $\pm 96$  Stunden ausgedehnt. Aufgrund der schneebedingten Lichtreflexionen sind die Mittelwerte im Winter je nach Bildausschnitt bis zu 10-mal höher als im Sommer. Hier fällt auf, dass die Helligkeitswerte im Winter 2016/2017 auf Grund des späteren Wintereintruchs gesunken sind. In zukünftigen Berichten soll diesen variablen Winterperioden Rechnung getragen werden und Start- und End-Daten der Winterperioden auf Grund einer perennierenden Schneedecke bestimmt werden.

Tabelle 2: Mittelwerte von MG sowie dazugehörige Standardabweichungen STD in den Winterperioden 2013/2014 bis 2016/2017 (jeweils 15.12. bis 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)
<b>Andermatt</b>						
2013/2014	55	9.8	62.1	10.2	51.5	7.5
2014/2015	52.5	16.8	60	16.8	48.6	15.6
2015/2016	48.1	5.3	51.9	4.3	46.9	5.1
2016/2017	42.6	11.4	48.7	10.9	39.6	10.5
<b>Hospental</b>						
2013/2014	26	11.4	35.1	12.7	21.5	7.4
2014/2015	24.2	14.5	31.3	14.6	20.6	13.2
2015/2016	17.9	4.4	23.6	2.7	16.0	3.0
2016/2017	16.4	7.2	22.9	7.8	13.3	4.2
<b>Bahnhof</b>						
2013/2014	155.8	26.5	157.9	27.2	154.8	26.3
2014/2015	157.8	26.8	159	25.1	157.1	27.8
2015/2016	148.0	13.7	149.3	14.5	147.5	13.6
2016/2017	119.8	29.2	127.5	27.0	116.0	29.6
<b>Chedi</b>						
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
2015/2016	82.8	11.6	92.8	7.1	79.5	10.9
2016/2017	70.7	20.8	89.3	16.6	61.7	16.1
<b>Villen &amp; Podium</b>						
2013/2014	19.3	12.7	22.2	15.1	17.9	11.1
2014/2015	29.9	16.6	34.3	17.5	27.6	15.7
2015/2016	25.6	6.0	27.3	4.0	25.0	6.5
2016/2017	27.1	10.2	31.0	10.4	25.3	9.6



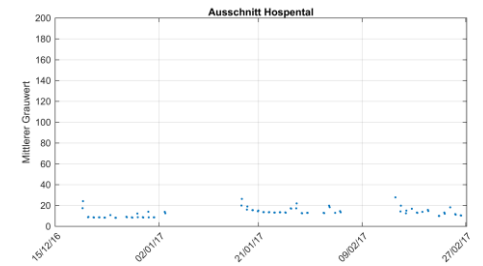
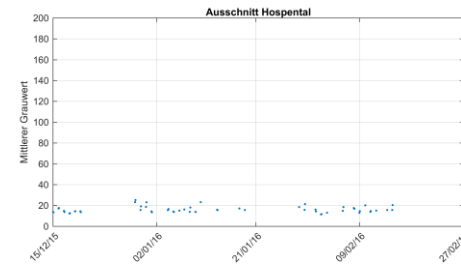
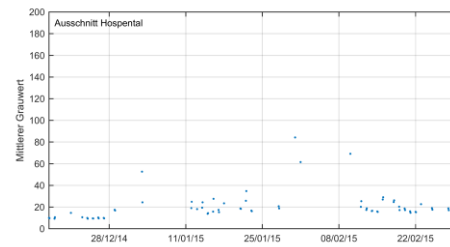
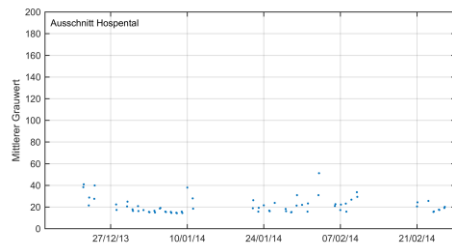
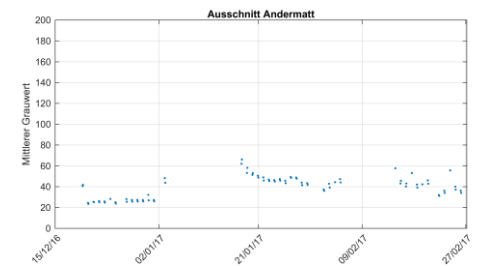
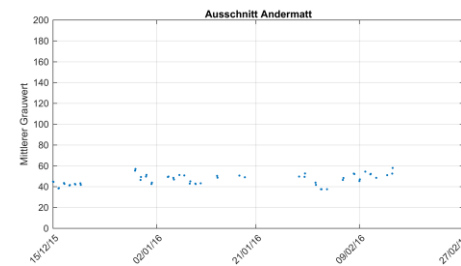
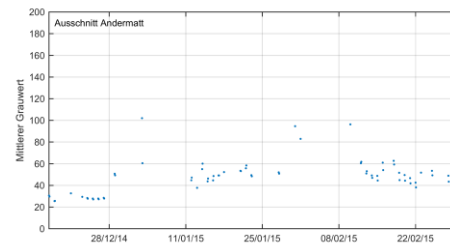
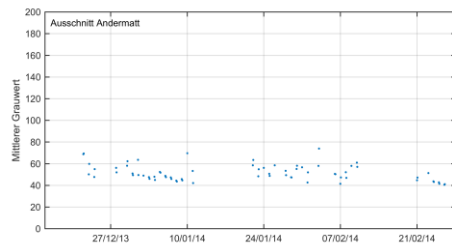
Abbildung 10 zeigt die Zeitreihen der Winterperioden. Insgesamt wurden im Vergleich zur Sommerperiode höhere Helligkeitsschwankungen detektiert. Beim Ausschnitt (c) «Bahnhof» sind wiederum die deutlichen Unterschiede zwischen einzelnen Tagen sichtbar (siehe auch Abbildung 6). Beim Ausschnitt «Chedi» (d) sind im Winter 2016/2017 zwei parallel verlaufende Punktreihen zu erkennen. Wo bei den meisten anderen Ausschnitten die Helligkeiten um 1 und 3 Uhr sehr nahe beieinanderliegen, war dies im Ausschnitt «Chedi» im letzten Winter nicht mehr der Fall. Zwischen den zwei Aufnahmezeitpunkten nimmt die die Helligkeit erkennbar ab. Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen exemplarisch zwei Aufnahmen vom gleichen Tag um 1 und 3 Uhr.

Winter 2013/2014

Winter 2014/2015

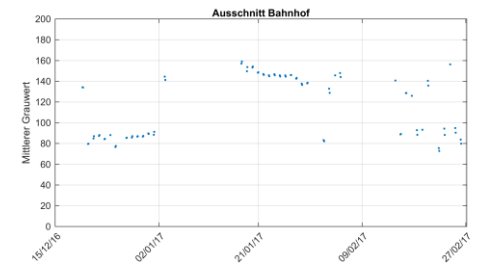
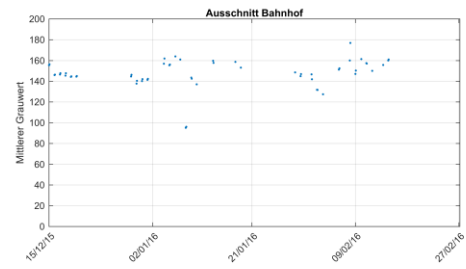
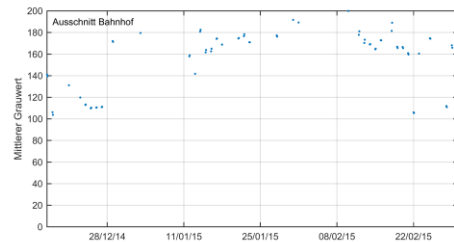
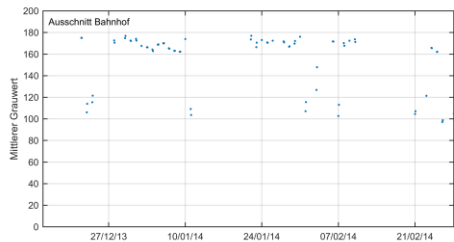
Winter 2015/2016

Winter 2016/2017

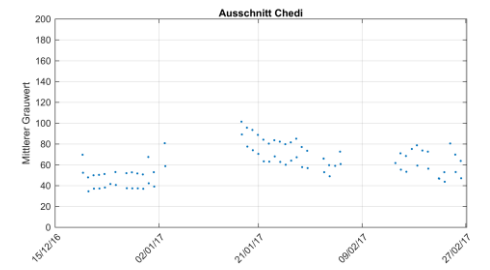
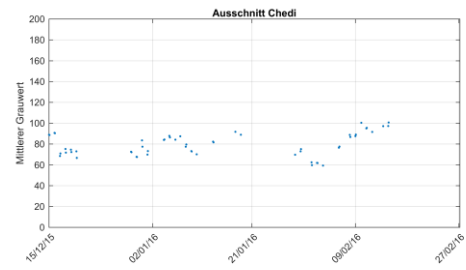
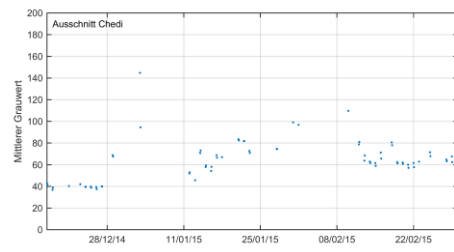
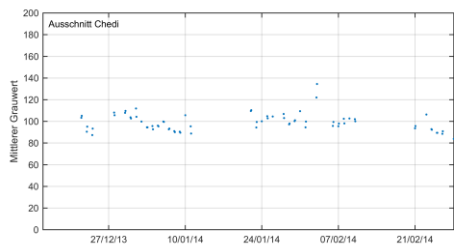


(a)

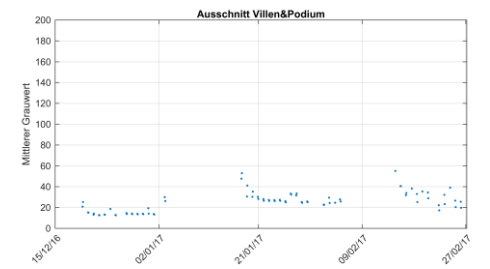
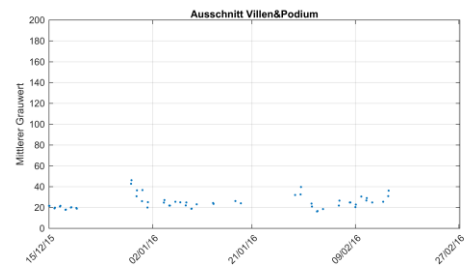
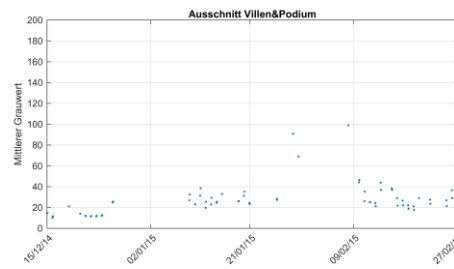
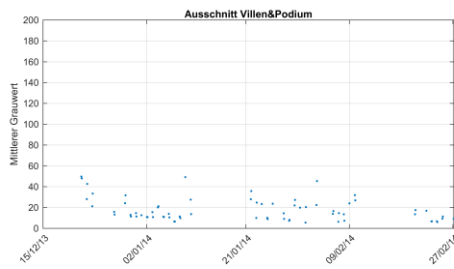
(b)



(c)



(d)



(e)

Abbildung 10: Zeitreihen der MG-Werte für die Bildausschnitte «Andermatt» (a), «Hospental» (b), «Bahnhof» (c), «Chedi» (d) und «Villen & Podium» (e), 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.

Der bereits im vorgängigen Bericht festgestellte Trend mit der Zunahme des Blauanteiles hat sich 2015 und 2016 tendenziell fortgesetzt. Dies könnte auf die zunehmende Verwendung von LED-Lampen zurückgeführt werden. Für ein solch abschliessendes Urteil bedarf es aber noch weiteren Erhebungen über die verwendeten Leuchtmittel über die Zeit und insbesondere längere Zeitreihen.

Tabelle 3: Mittelwerte der RGB-Werte für die Datensätze von 1 Uhr und 3 Uhr in den ausgewählten Teilgebieten der Sommerperioden 2013 bis 2016 jeweils vom 01.05. bis am 30.09., Mond- und Nebelfilterung angewendet. Die mit «normiert» ausgezeichneten RGB-Werte wurden mit den mittleren MG-Werten über vier Jahre (Tabelle 1) normiert.

Ausschnitt	R	G	B	R	G	B
				normiert	normiert	normiert
<b>Andermatt</b>						
2013	37.6	22.5	6.4	39.0	23.3	6.6
2014	38.7	24.4	8.3	37.4	23.6	8.0
2015	37.8	23.7	8	37.4	23.4	7.9
2016	35.2	23.3	9.7	35.5	23.5	9.8
<b>Hospental</b>						
2013	19.3	11.2	5	18.7	10.8	4.8
2014	17.7	11	5.7	17.6	10.9	5.7
2015	16.9	10.6	5.9	16.4	10.3	5.7
2016	15.7	10.2	5.8	16.9	11.0	6.3
<b>Bahnhof</b>						
2013	89.2	56.1	21.7	99.5	62.6	24.2
2014	104.6	73.1	34.2	92.0	64.3	30.1
2015	94.9	64.9	29	93.7	64.1	28.6
2016	89.1	62	25.7	93.3	65.0	26.9
<b>Chedi</b>						
2013	53.1	31.6	12.3	61.8	36.8	14.3
2014	64.2	42	21.6	56.6	37.0	19.1
2015	54.9	34.4	17	57.9	36.3	17.9
2016	59.9	38.8	20.5	56.6	36.6	19.4
<b>Villen &amp; Podium</b>						
2013	8.3	4.3	1.3	19.1	9.9	3.0
2014	7.9	4.7	1.7	17.8	10.6	3.8
2015	17	12.3	6	15.4	11.2	5.4
2016	27.5	21.8	15.9	13.6	10.8	7.9

#### 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.<sup>4</sup>

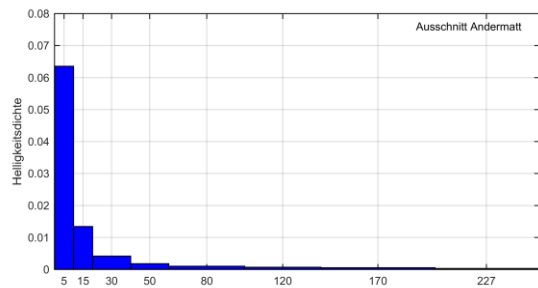
Tabelle 4: Klasseneinteilung für Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit (MG-Werte)

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

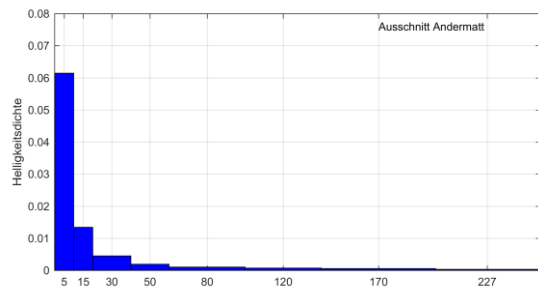
Abbildung 11 zeigt die Helligkeitsdichte in den fünf verschiedenen Bildausschnitten für die Sommerperioden 2014 bis 2016.

<sup>4</sup> Jahresbericht 2013 Lichtmonitoring Andermatt, Ergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen nach einem Betriebsjahr, inNET Monitoring AG, 2014

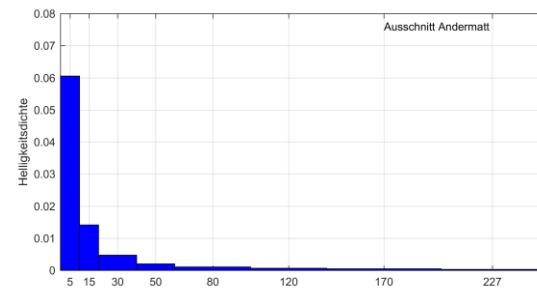
Sommerperiode 2014



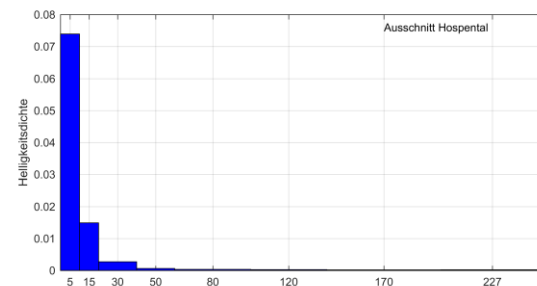
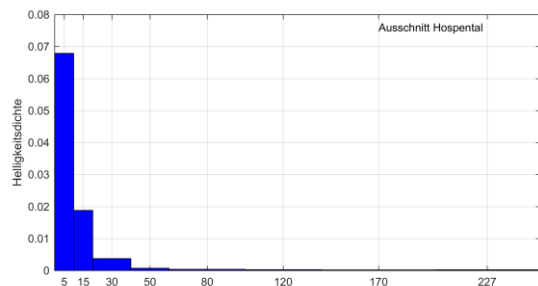
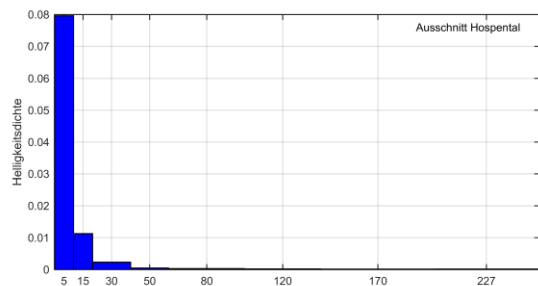
Sommerperiode 2015



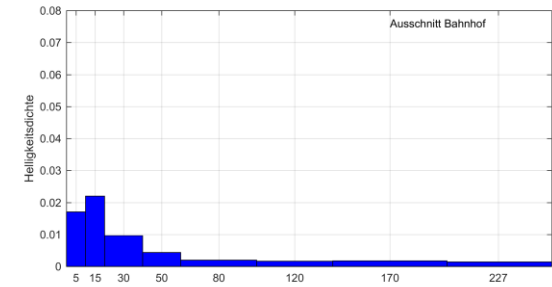
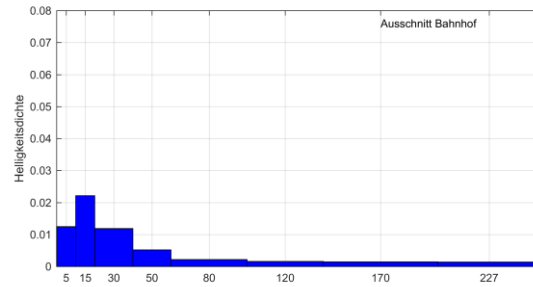
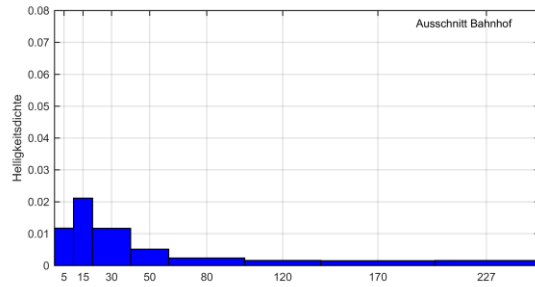
Sommerperiode 2016



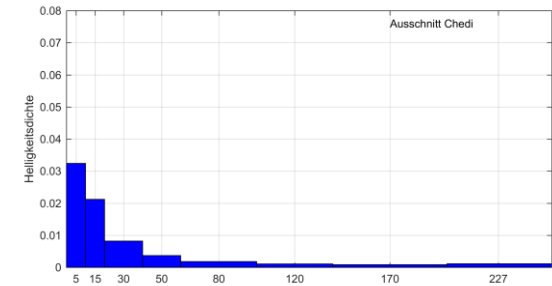
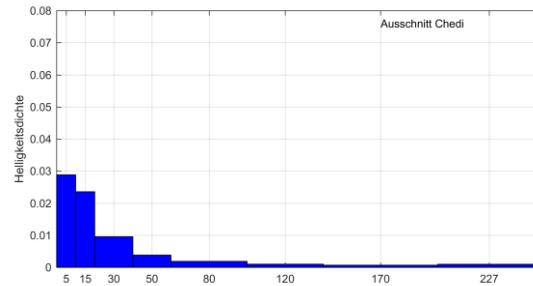
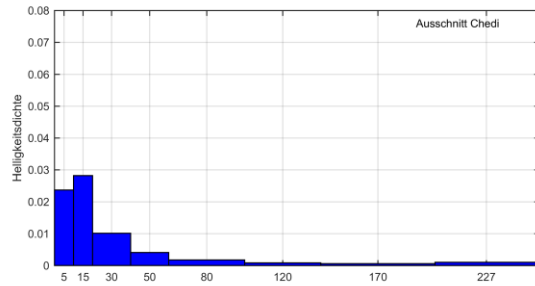
(a)



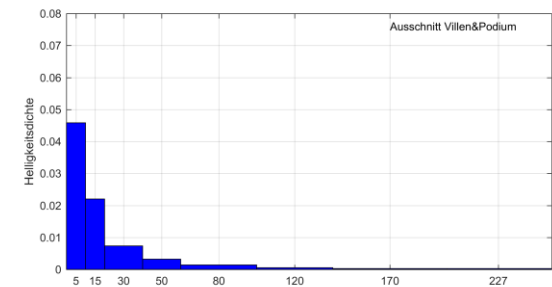
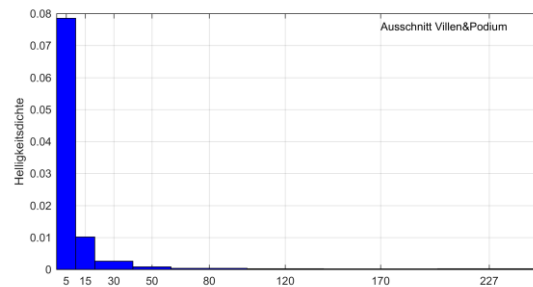
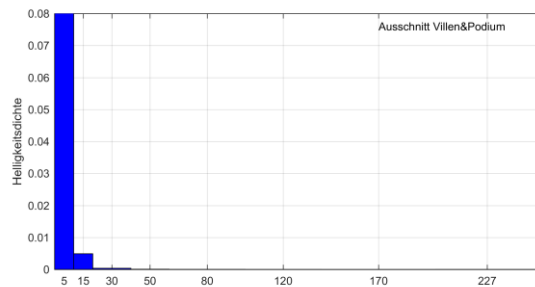
(b)



(c)



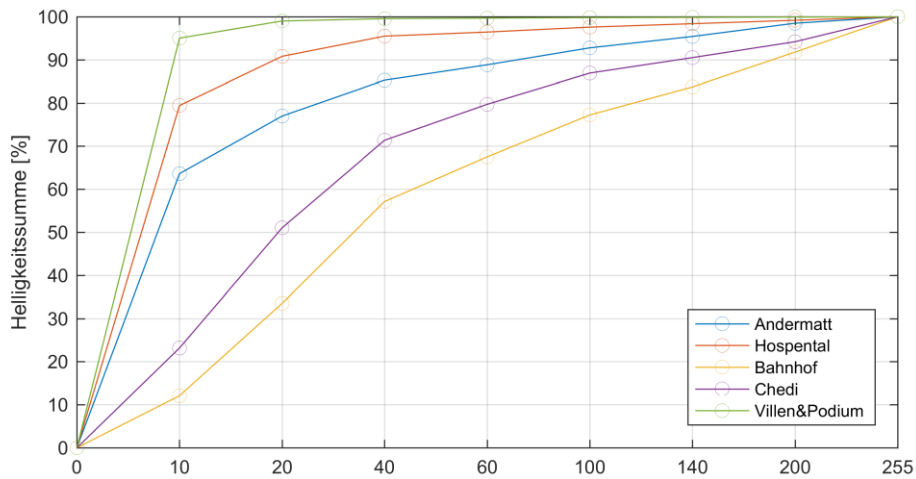
(d)



(e)

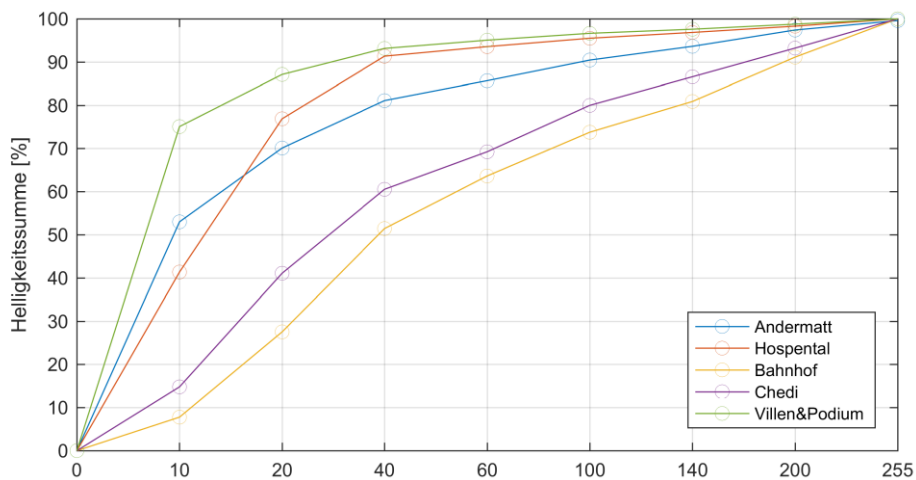
Abbildung 11: Normierte Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit, (a) «Andermatt», (b) «Hospental», (c) «Bahnhof», (d) «Chedi» und (e) «Villen & Podium», Aufnahmen der Sommerperioden 2014 bis 2016, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr

Für den direkten Vergleich der einzelnen Bildausschnitte eignen sich noch besser die kumulierten Häufigkeitsverteilungen, diese sind in Abbildung 12 dargestellt. Es handelt sich hierbei um die aufsummierten Flächen der in Abbildung 11 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.



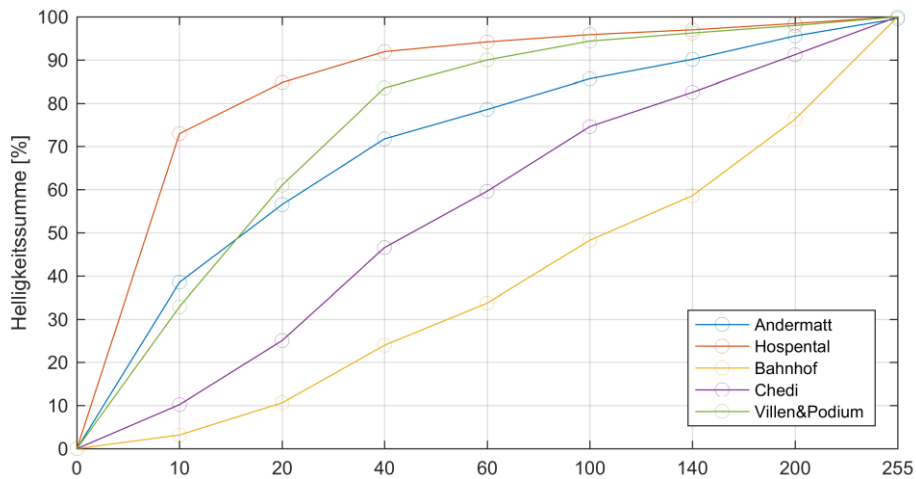
2014

(a)



2015

(b)



2016

(c)

**Abbildung 12: Kumulative Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit für «Andermatt», «Hospental», «Bahnhof», «Chedi» und «Villen & Podium». Datengrundlage: (a) Sommerperiode 2014, (b) Sommerperiode 2015, (c) Sommerperiode 2016 jeweils 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 fünf Bildausschnitte finden sich in Tabelle 5.

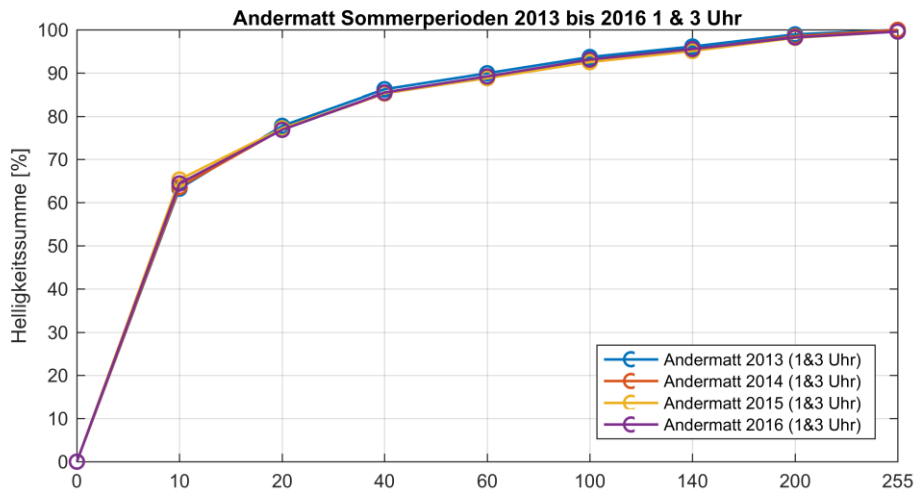
Hier kann zusätzlich eine Information über die Verteilungsbreite abgelesen werden, typischerweise durch die 10%- und 90%-Werte (siehe ebenfalls Tabelle 5, Spalte „Spanne 90-10“). Es handelt sich dabei um eine komprimierte bzw. auf eine Masszahl reduzierte Information zu den jeweiligen Helligkeitsverteilungen, 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.



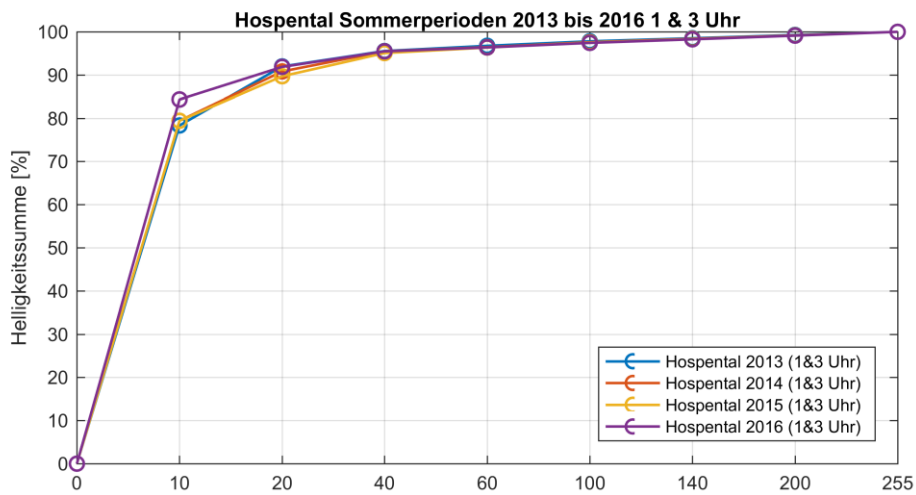
Tabelle 5: Median (50 %) und Verteilungsbreite (10 %, 90 % und Spanne 90-10) der kumulativen Helligkeitsverteilungen für die Ausschnitte «Andermatt», «Hospental», «Bahnhof», «Chedi» und «Villen & Podium» (Datengrundlage: Sommerperioden 2013 bis 2016, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr).

Ausschnitt	50 %	10 %	90 %	Spanne 90-10
<b>Andermatt</b>				
2013	8	1	60	59
2014	8	1	70	69
2015	10	3	90	89
2016	8	3	100	99
<b>Hospental</b>				
2013	6	1	19	18
2014	6	1	19	18
2015	10	3	38	35
2016	12	4	40	36
<b>Bahnhof</b>				
2013	27	6	160	154
2014	34	8	189	181
2015	38	8	190	182
2016	39	10	188	172
<b>Chedi</b>				
2013	18	4	78	74
2014	19	4	129	125
2015	24	5	170	165
2016	25	6	170	164
<b>Villen &amp; Podium</b>				
2014	5	1	189	188
2015	15	3	80	77
2016	7	2	30	28

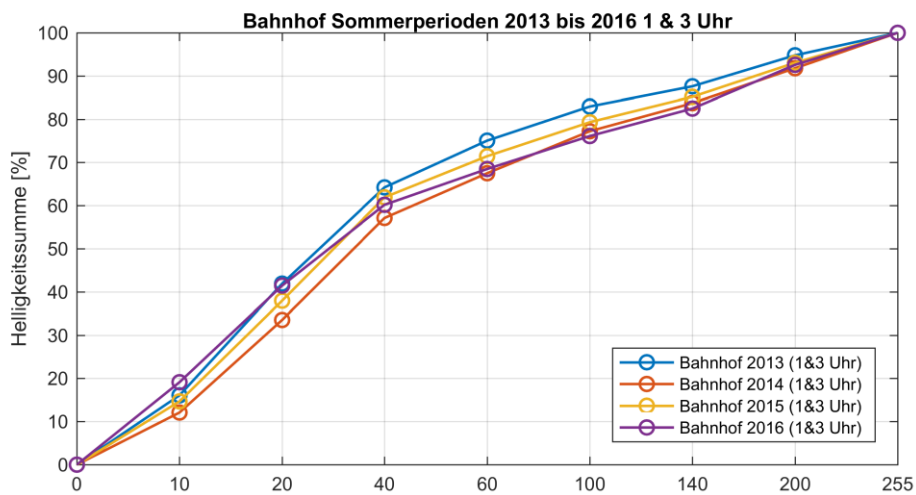
Zum Abschluss der Häufigkeitsbetrachtung sind in Abbildung 13 die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit für die fünf Teilgebiete dargestellt, und zwar aufgeschlüsselt für die Sommerperioden 2013 bis 2016, jeweils für die Bilder von 1 und 3 Uhr gemittelt. Eine Rechtsverschiebung der Kurve bedeutet eine Zunahme der Helligkeit.



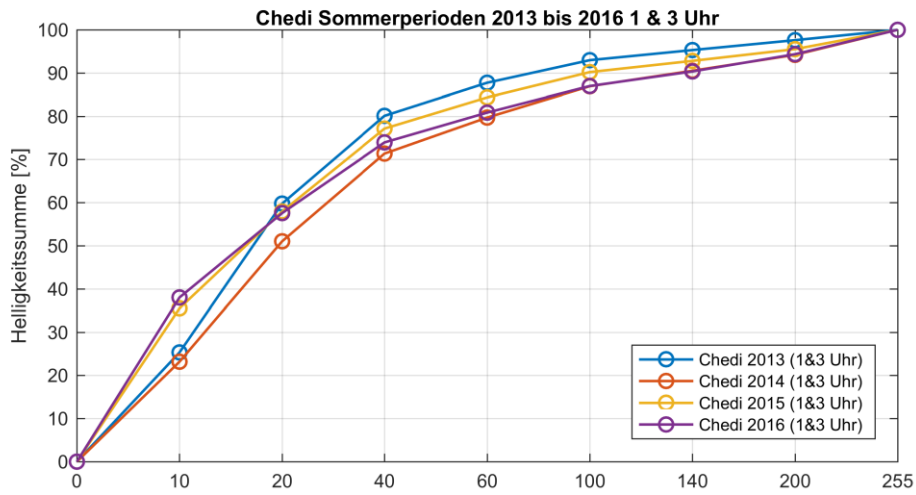
(a)



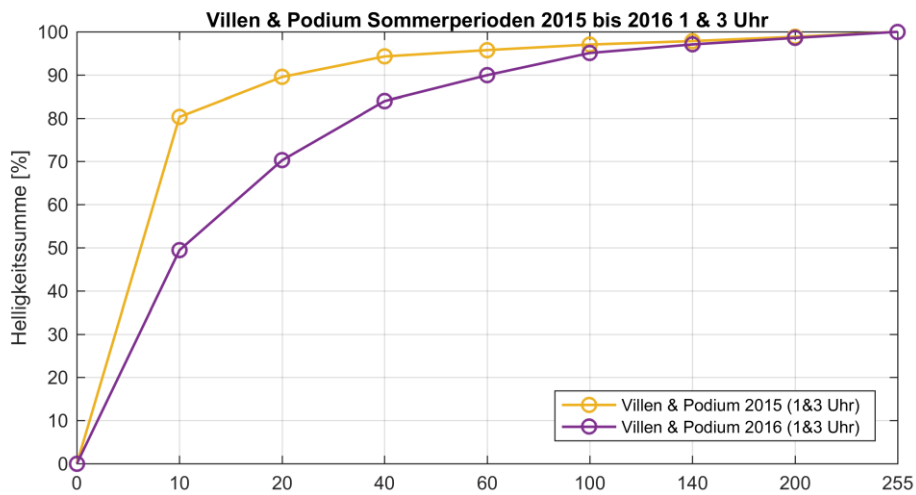
(b)



(c)



(d)



(e)

Abbildung 13: Kumulative Häufigkeitsverteilungen für die fünf Bildausschnitte, für die Sommerperioden 2013 bis 2016, 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 unter Berücksichtigung der Mond- und der Nebelfilterung berechnet worden. 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 2016 heller ist als während der Sommerperiode 2013. Blaue Punkte stellen hingegen eine Verdunkelung in der Sommerperiode 2016 im Vergleich zur Sommerperiode 2013 dar.

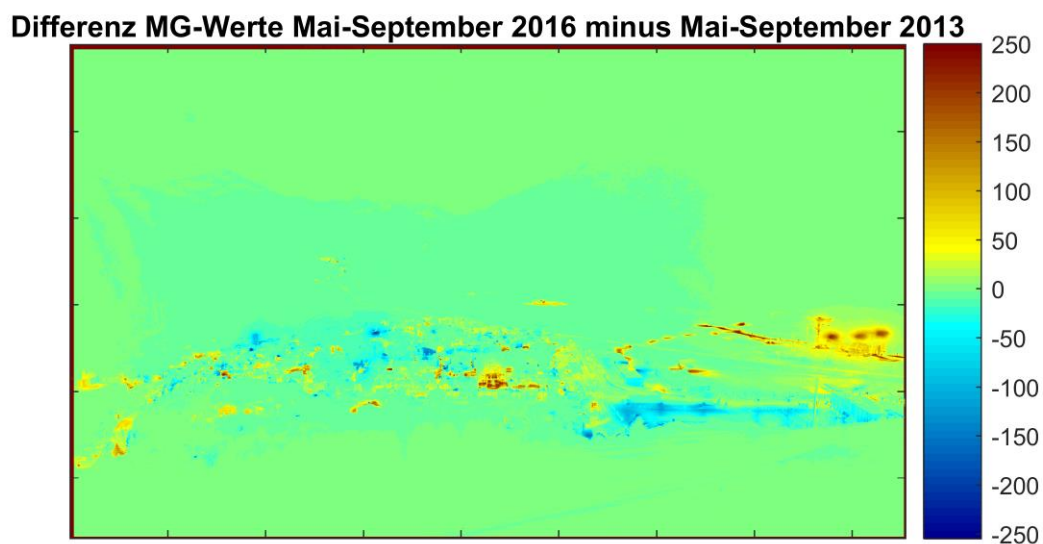


Abbildung 14: Differenz der MG-Werte der Sommerperiode 2016 minus Sommerperiode 2013 (Datengrundlage: mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, alle Aufnahmezeitpunkte). Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Sommerperiode 2016, blaue Farben höhere Werte in der Sommerperiode 2013.

### Differenz 23 Uhr MG-Werte Mai-September 2016 minus Mai-September 2013

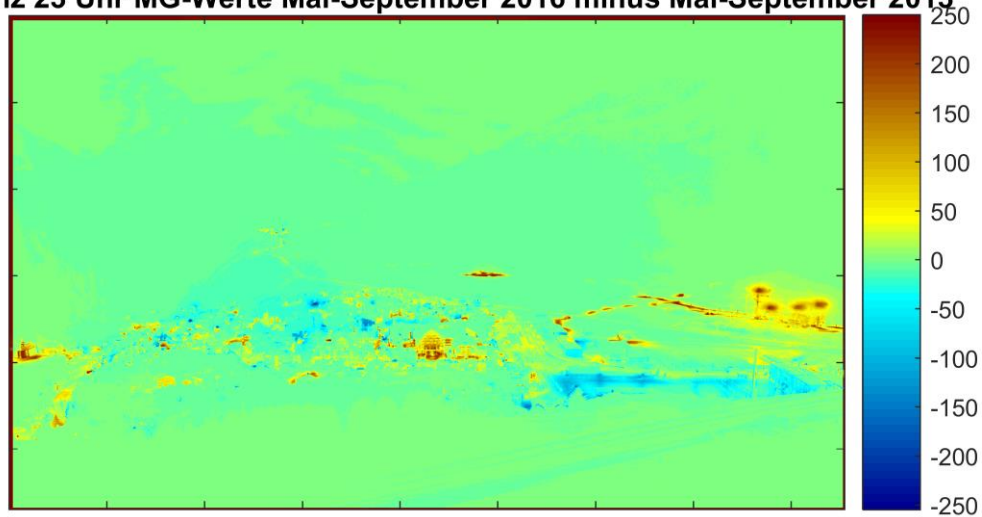


Abbildung 15: Differenz der MG-Werte um 23 Uhr der Sommerperiode 2016 minus Sommerperiode 2013 (Datengrundlage: mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, nur 23 Uhr). Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Sommerperiode 2016, blaue Farben höhere Werte in der Sommerperiode 2013.

### Differenz 1&3 Uhr MG-Werte Mai-September 2016 minus Mai-September 2013

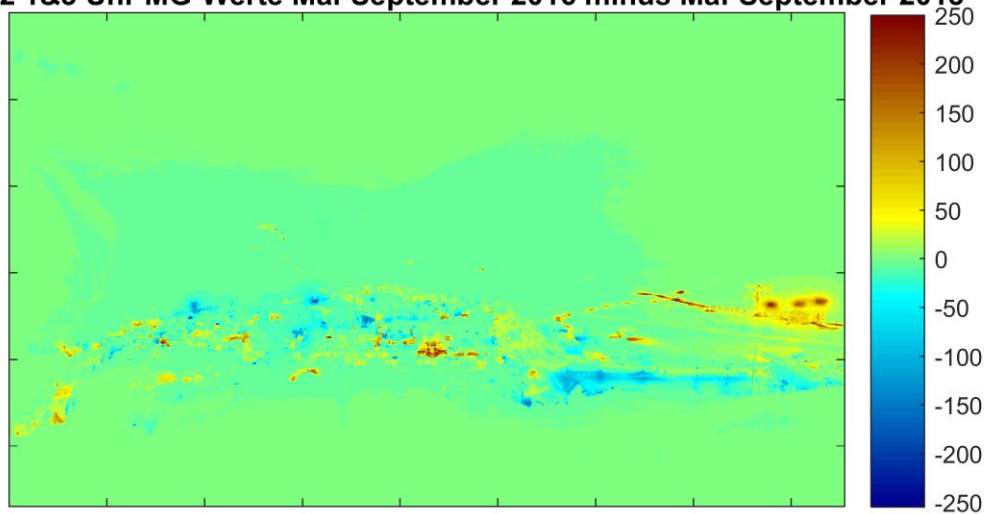


Abbildung 16: Differenz der MG-Werte um 1 und 3 Uhr der Sommerperiode 2016 minus Sommerperiode 2013 (Datengrundlage: mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, ohne 23 Uhr). Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte in der Sommerperiode 2014, blaue Farben höhere Werte in der Sommerperiode 2013.

## 5 Fazit

Die nun über vier Winter- und drei Sommerperioden vorliegenden Daten erlauben es erste Trendabschätzungen zu machen.

- Der Helligkeitsverlauf über Zeit des neu betrachteten Bildausschnitts «Villen & Podium» validiert die optische Messmethode erneut. Die Helligkeit im entsprechend Bildausschnitt nimmt auf Grund der Bautätigkeit und den zum Stehen kommenden beleuchteten Immobilien und Strassenbeleuchtung nachweislich zu.
- Über den ganzen Bereich «Andermatt» betrachtet, ist die Helligkeit seit Messbeginn gleich geblieben. Gleichzeitig nimmt die Helligkeit von «Hospental» leicht ab.
- Von den zwei hellsten Bildausschnitten nimmt die Helligkeit im Ausschnitt «Chedi» weiter zu, während dem die Helligkeit im Bildausschnitt «Bahnhof» nach den sehr hellen Sommerperioden 2014 und 2015 wieder etwas abnimmt. Das aktuelle Beleuchtungsregime vom Gebiet «Bahnhof» ist stark von Nachtarbeiten auf dem Bahnhofareal geprägt.
- Ausreisser in der Helligkeit machen ersichtlich, wieviel mit einer angepassten Beleuchtung erreicht werden könnte.
- Der Trend mit Zunahme des Blauanteils setzt sich in vielen Ausschnitten fort. Die Vermutung, dass dieser Umstand auf den vermehrten Einsatz von LED in der Beleuchtungstechnik zurückzuführen werden kann, kann aber nicht abschliessend belegt werden.
- Die visuelle Mittelung zeigt eine Abnahme der Helligkeit im Bereich der «Kaserne».
- Eine Ergänzung der optischen Helligkeitsdaten durch Leistungsdaten der Strassenbeleuchtung und Stromkonsumation über den lokalen Stromversorger liessen weitere Schlüssel bezüglich Kontribution von öffentlicher und privater Beleuchtung zu.
- Der späte Schneefall in der Winterperiode 2016/2017 wirkt sich mit niedrigeren Helligkeitswerten in dieser Periode aus.

## 6 Anhang

### 6.1 Bildergalerie mit Beispielen



Abbildung 17: Wetterleuchten Richtung Furka; Aufnahme vom 22.07.2015, 1 Uhr, Belichtungszeit 10 s



Abbildung 18: Festzelt in Andermatt; Aufnahme vom 20.08.2015, 12 Uhr, Belichtungszeit 1/1000 s



Abbildung 19: Aufnahme vom 23.11.2015, 23 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 20: Vollmondnacht im ersten Novemberschnee, Aufnahme vom 14.11.2016, 23 Uhr, Belichtungszeit 30 s





Abbildung 21: Aufnahme vom 22.01.2017, 1 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 22: Aufnahme vom 22.01.2017, 3 Uhr, Belichtungszeit 30 s

## 6.2 Ergebnisse Untersuchung Drift Bildsensorik

Bei einer längeren Betriebsdauer der Messstation von mehr als drei Jahren ist eine Überprüfung des Kamerasensors auf Alterung und damit veränderter Empfindlichkeit angezeigt. Es gibt keine wirklichen Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Digitalkameras, da der Lebenszyklus für solche elektronischen Gebrauchsgegenstände zu kurz ist.

Der Aufbau für solch eine Testreihe ist am einfachsten über einen klassischen Repröstander zu machen. So ein Ständer bietet eine gute Ausleuchtung der Grau- und Farbkarten so wie die Möglichkeit in kurzer Zeit die Kamera zu testen.



Abbildung 23: Der für die Testreihe verwendeter Repröstander sorgt für die optimale Beleuchtung des Farbkeils.

### 6.2.1 Erstmaliger Belichtungstest 2013

Mit dem Start des Projekts und nach Anschaffung (01.02.2013) der Kamera wurde ein Belichtungstest gemacht. Für diesen Test wurde eine Neutralgraukarte und einen Farbkeil bei gleichmässiger Ausleuchtung und einer von Hand mit einem Belichtungsmesser gemessenen Zeit-Blende Kombination fotografiert. Die gewonnenen Werte wurden dem Kameragehäuse zugeordnet abgelegt. Die Farbwerte der Bilder des Farbkeils wurden an bestimmten Stellen ausgewertet und die erhaltenen RGB-Werte ebenfalls dem Gehäuse zugeordnet.

### 6.2.2 Zweiter Belichtungstest 2015

Nach zwei Einsatzjahren wurde die Kamera während des Messunterbruchs zwischen der Sommer- und Winterperiode nochmals ausgemessen. Die erlangten Farbwerte wurde mit jenen der erstmaligen Tests verglichen (siehe Kapitel 6.2.3). Dieser Vergleich hat gezeigt, dass es zu keinen relevanten Verschiebungen der Farbwerte gekommen ist und eine «Alterung» der Kamera-Sensorik vorerst nicht berücksichtigt werden muss.

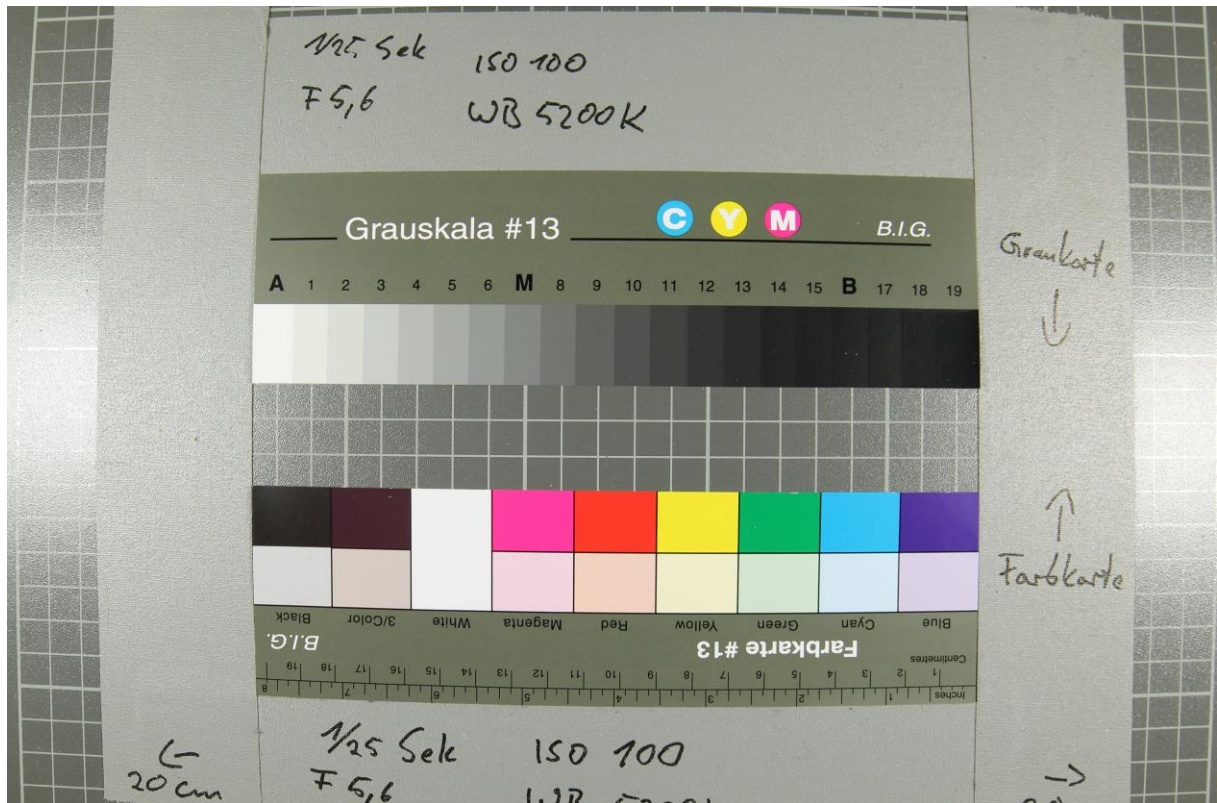
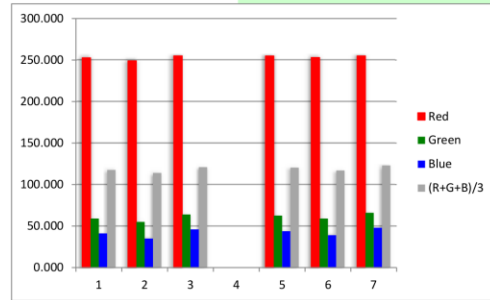


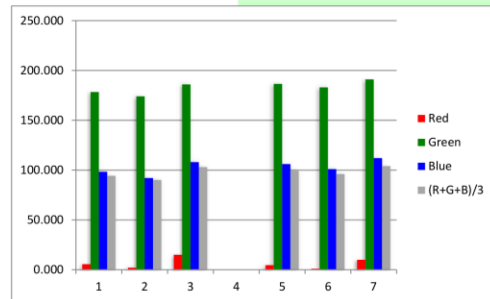
Abbildung 24: Aufnahme des Farbkeils bei der zweiten Messung (10.11.2015)

### 6.2.3 Ergebnisse Vergleich Belichtungstests 2013 und 2015

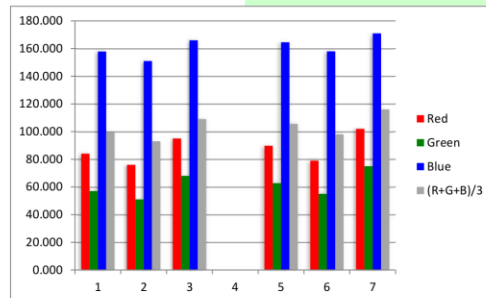
Farbkeilfarbe	RGB	Messung 10.11.15				Messung 1.2.13		
		Grösse	Mittlere	Minimale	Maximale	Mittlere	Minimale	Maximale
			Helligkeit im Messfeld	Helligkeit im Messfeld	Helligkeit im Messfeld			
<b>Rot</b>	1 Red	3536	252.690	249	255	254.924	253	255
	2 Green	3536	59.047	55	64	62.597	59	66
	3 Blue	3536	41.129	35	46	43.812	39	48
	4 (R+G+B)/3	3536	117.634	114	121	120.382	117	123



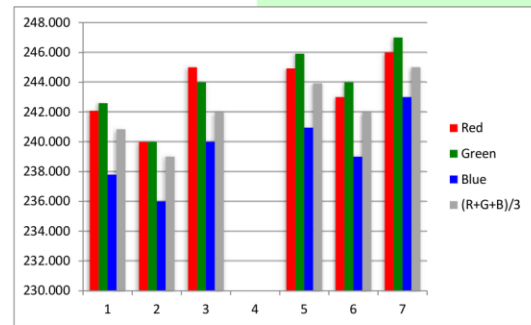
<b>Grün</b>	6 Red	3536	5.521	2	15	4.586	1	10
	7 Green	3536	178.359	174	186	186.504	183	191
	8 Blue	3536	98.249	92	108	106.061	101	112
	9 (R+G+B)/3	3536	94.201	90	103	99.095	96	104



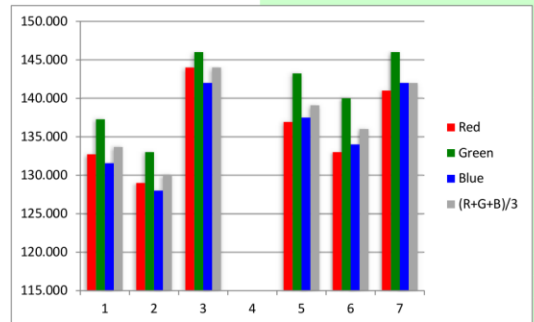
<b>Blau</b>	11 Red	3536	84.065	76	95	89.765	79	102
	12 Green	3536	57.048	51	68	62.725	55	75
	13 Blue	3536	157.862	151	166	164.553	158	171
	14 (R+G+B)/3	3536	99.679	93	109	105.585	98	116



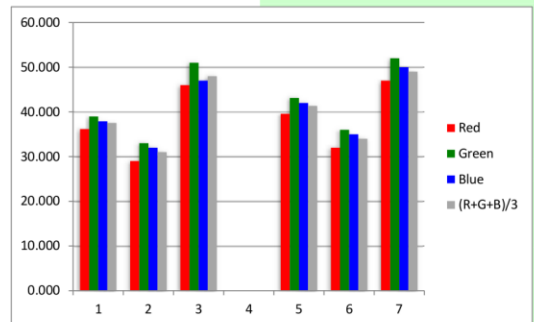
A	16 Red	3536	242.078	240	245	244.924	243	246
	17 Green	3536	242.591	240	244	245.911	244	247
	18 Blue	3536	237.795	236	240	240.948	239	243
	19 (R+G+B)/3	3536	240.837	239	242	243.924	242	245



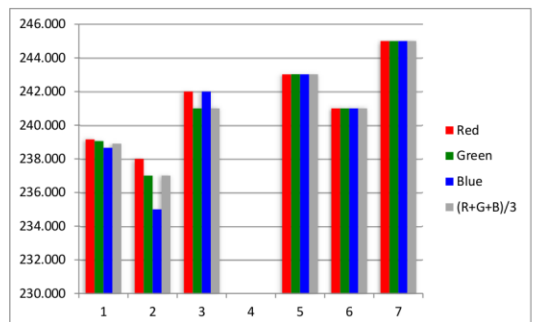
M	21 Red	3536	132.719	129	144	136.922	133	141
	22 Green	3536	137.272	133	146	143.234	140	146
	23 Blue	3536	131.559	128	142	137.488	134	142
	24 (R+G+B)/3	3536	133.665	130	144	139.085	136	142



B	26 Red	3536	36.158	29	46	39.576	32	47
	27 Green	3536	38.973	33	51	43.121	36	52
	28 Blue	3536	37.901	32	47	41.996	35	50
	29 (R+G+B)/3	3536	37.538	31	48	41.338	34	49



White	31 Red	3536	239.157	238	242	243.020	241	245
	32 Green	3536	239.054	237	241	243.029	241	245
	33 Blue	3536	238.656	235	242	243.024	241	245
	34 (R+G+B)/3	3536	238.902	237	241	243.024	241	245



Black	36 Red	3536	44.672	39	105	79.445	62	97
	37 Green	3536	39.276	34	101	80.027	63	98
	38 Blue	3536	36.539	31	98	76.115	58	94
	39 (R+G+B)/3	3536	40.280	35	101	78.456	61	96

