

JAHRESBERICHT 2013 LICHTMONITORING ANDERMATT



**Ergebnisse, Erkenntnisse und Empfehlungen
nach einem Betriebsjahr**

Altdorf, 25.09.2014

IMPRESSUM

Auftraggeber:

Amt für Umweltschutz
Kanton Uri
Klausenstrasse 4
6460 Altdorf

Projektbearbeitung und Bericht:

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

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang
htw saar
Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbrücken

Projektleitung:

Roman Gisler
Techn. Sachbearbeiter
Amt für Umweltschutz

Titelfoto:

Silvesterrakete, Aufnahme am 01.01.2014, 1 Uhr, 30 s Belichtungszeit

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 3 -
1.1	Rückblick: Entwicklung Konzept Lichtmonitoring	- 3 -
1.1.1	Zusammenfassung Konzeptstudie	- 4 -
1.1.2	Zusammenfassung Vorprojekt.....	- 4 -
2	Realisierung	- 7 -
2.1	Standort	- 7 -
2.2	Aufbau Messschrank	- 7 -
2.3	Bildausschnitte	- 8 -
2.4	Mess- und Belichtungszeiten	- 9 -
2.5	Datenverarbeitung	- 9 -
3	Erfahrungen aus dem Betrieb.....	- 10 -
4	Ergebnisse.....	- 11 -
4.1	Datenauswahl.....	- 11 -
4.2	Exemplarische Beispiele.....	- 13 -
4.3	Integrale Auswertungen	- 16 -
4.4	Visuelle Mittelung	- 25 -
5	Erkenntnisse und Empfehlungen	- 29 -
6	Anhang	- 31 -
6.1	Eigenschaften der gewählten Ausschnitte.....	- 31 -
6.2	Bildergalerie mit Beispielen	- 32 -
6.3	Kumulative Häufigkeitsverteilungen, diverse Ausschnitte	- 36 -
6.4	Infoblatt Lichtverschmutzung inNET Monitoring AG.....	- 37 -

1 Einleitung

Übermässige künstliche Beleuchtungen haben einen negativen Einfluss auf nachtaktive Tiere und können auch für die Menschen negative gesundheitliche Auswirkungen haben. Die übermässigen Lichtemissionen werden oft als „Lichtverschmutzung“ bezeichnet. Nebst den negativen Effekten auf Mensch und Umwelt besteht beim Kunstlicht ein erhebliches Energiesparpotential. Schon im Jahr 2008 haben die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK) ein Merkblatt¹ mit Handlungsanleitungen herausgegeben, um unerwünschte Lichtemissionen zu minimieren. So unterliegt es in der Schweiz auch den Behörden, Massnahmen zur Minderung unnötiger Lichtemissionen zu erlassen.² Seit 2013 existiert die SIA-Norm 491 „Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum“³, welche Architekten und Planern hilft, Beleuchtungen massvoll und effizient einzusetzen.

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 Licht. Denn der Raum Andermatt mit dem Urserental ist eines der am wenigsten mit Licht verschmutzten Gebiete in der Schweiz. Mit den Bautätigkeiten und dem Betrieb rund um das Tourismusresort Andermatt werden in dieser Region die Lichtemissionen zunehmen. Um die Zunahme zu minimieren hat das AfU Uri schon in der Planungsphase des Resorts Auflagen erstellt, um unnötige Lichtemissionen zu vermeiden.

Um die Wirksamkeit solcher Massnahmen und den generellen Einfluss der Siedlungsentwicklung auf die Dunkelheit des Nachthimmels zu dokumentieren, wurde die Firma inNET Monitoring AG vom AfU Uri beauftragt, ein Monitoring der Lichtemissionen im Raum Andermatt durchzuführen. Seit Februar 2013 betreibt nun die Firma inNET Monitoring AG ein kontinuierliches Monitoring der Lichtemissionen von Andermatt. Im vorliegenden Bericht wird das Messkonzept zusammengefasst und die ersten Auswertungen, Resultate und Erfahrungen nach einem Betriebsjahr werden dokumentiert.

1.1 Rückblick: Entwicklung Konzept Lichtmonitoring

An dieser Stelle wird kurz zusammengefasst, wie sich der Aufbau des Lichtmonitorings von einem theoretischen Konzept über Versuchsaufnahmen (Vorprojekt) zur jetzigen Online-Messstation entwickelt hat.

¹ <http://www.umwelt-zentralschweiz.ch/> (-> Merkblätter -> Lichtverschmutzung)

² Empfehlung zur Vermeidung von Lichtemissionen, BUWAL, 2005

³ Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum,
http://www.sia.ch/uploads/media/sia_tec21_13_2013_Norm-SIA-491.pdf

1.1.1 Zusammenfassung Konzeptstudie

Im Jahr 2011 wurde eine theoretische Konzeptstudie erstellt, wie die Lichtemissionen langfristig beobachtet werden können.^{4,5} Die für Andermatt relevanten Ideen dieser Studie sind im folgenden Abschnitt zusammengefasst:

Eine relativ einfache und schnell realisierbare Möglichkeit für ein Lichtmonitoring besteht darin, hochwertige digitale Kameras anzuwenden. Grundgedanke ist dabei, dass ein oder mehrere Kamera-standorte auf Hügeln, Hängen oder Bergen um eine Stadt herum betrieben werden. Die Kameras mit Weitwinkelobjektiven werden in einem Schutzgehäuse fest montiert und auf das zu überwachende Objekt ausgerichtet. Ein externer Timer löst die Kameras z. B. jede Stunde einmal aus, Blende und Verschlusszeit sind fix und immer gleich eingestellt. Die Aufnahmen werden nachträglich mit einer Bildanalysesoftware ausgewertet. Des Weiteren wird vorgeschlagen bei einer mehrjährigen Betriebsdauer der Messstationen eine regelmässige Überprüfung des Kamerasensors auf Alterung und damit veränderter Empfindlichkeit vorzunehmen. Aufgrund der kurzen Produktzyklen gibt es keine wirklichen Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Digitalkameras. Die Kalibrierung kann im Labor durch Testaufnahmen einer Neutralgraukarte und eines Farbkeils unter normierten Beleuchtungsbedingungen erfolgen.

1.1.2 Zusammenfassung Vorprojekt

Im Rahmen eines Vorprojekts wurde die Praxistauglichkeit der Konzeptstudie im Herbst 2012 evaluiert. Ziel dieser Voruntersuchung war es, anhand der Auswertung einiger weniger Beispielbilder von Andermatt Antworten auf folgende Fragen zu erhalten:

- Wie sehen die Ergebnisse mit verschiedener Auswerte-Software aus?
- Welchen Einfluss hat die meteorologische Situation auf die Bilder?
- Welcher Standort oder welche Standorte sind am besten für Monitoring-Stationen geeignet?
- Welche Belichtungszeiten sind für die Aufnahmen geeignet?
- Welches Format ist für ein Monitoring sinnvoll (Rohformat der Kamera [.raw] oder komprimierte Aufnahmen [.jpg])?
- Reicht eine digitale Spiegelreflexkamera oder ist es sinnvoll die Aufnahmen mit einer Leuchtdichtekamera⁶ durchzuführen?
- Ist es möglich und sinnvoll, eine Beziehung zwischen Leuchtdichtekamerabildern und Spiegelreflexkamerabildern herzustellen?

⁴ Erfassung der Lichtverschmutzung, 2011, Löffler-Mang, Martin und Mang, Sebastian

⁵ Konzept: Monitoring Lichtverschmutzung, Detailkonzept für Versuchsstandorte in der Zentralschweiz, 2012, inNET Monitoring AG und HTW Saarbrücken

⁶ Leuchtdichtekameras sind aufwendig angepasste digitale Spiegelreflexkameras, mit welchen die Leuchtdichte zweidimensional gemessen werden kann. Die Leuchtdichte ist die Menge an sichtbarem Licht, welche einen Punkt auf einer Oberfläche in eine bestimmte Richtung verlässt. Die Leuchtdichte beschreibt den Helligkeitseindruck, der einem Beobachter vermittelt wird, und wird in Candela pro m² gemessen.

An drei Nächten im September 2012 (17.09.2012, 20.09.2012, 25.09.2012) wurden an zwei Standorten oberhalb Andermatt (Bäzberg und Oberalp) jeweils manuelle Belichtungsreihen (von 1/100 s bis 30 s) mit einer Spiegelreflexkamera auf einem Stativ erstellt (siehe Beispiel Abbildung 1). Zusätzlich wurden verschiedene Leuchtdichteaufnahmen gemacht (siehe Beispiel Abbildung 2).⁷

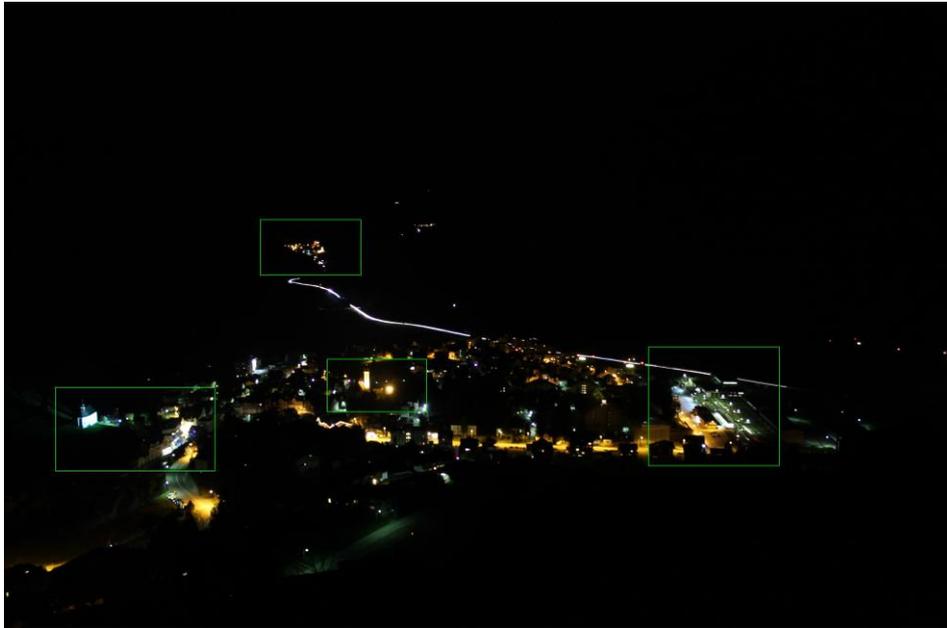


Abbildung 1: Aufnahme vom 17.09.2012 am Standort Oberalp, Belichtungszeit 10 s

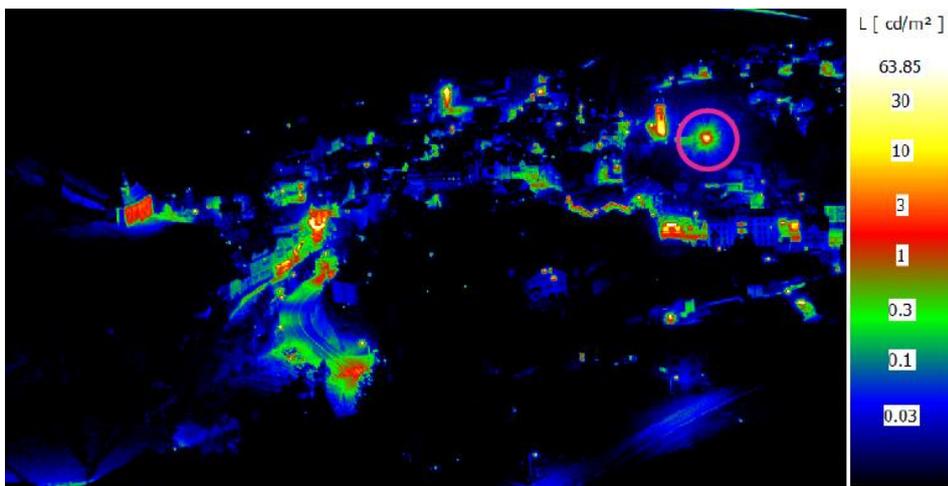


Abbildung 2: Aufnahme vom 25.09.2012 am Standort Oberalp mit Leuchtdichtekamera

⁷ Pilotprojekt: Monitoring Lichtverschmutzung, Auswertung der Nachtaufnahmen von Andermatt mittels Digital- und Leuchtdichtekamera, 2012, inNET Monitoring AG

Aus dem Vorprojekt wurden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- Eine Auswertung von wenigen Bildern pro Nacht über einen längeren Zeitraum kann sinnvolle Daten zu den Lichtemissionen liefern.
- Der mittlere Grauwert (MG-Wert) scheint eine sinnvolle Grösse zu sein, um Tagaufnahmen und eventuell Aufnahmen bei Nebel auszuschliessen.
- Prinzipiell wünschenswert wären zwei Kamerastandorte (Bäzberg und Oberalp). Dadurch würde man unabhängiger von Störungen und hätte redundante Auswertungen zur Qualitätssicherung. Bei Beschränkung auf einen Standort wird Oberalp vorgeschlagen, da von diesem Standort aus eine differenziertere Übersicht möglich ist, ein höherer Lichtanteil in den Aufnahmen resultiert und der Standort zudem besser erreichbar ist.
- Für die Voruntersuchung kam eine Objektivbrennweite von 18 mm zum Einsatz. Für eine vollständige Erfassung von Andermatt wäre eine Brennweite von 15 mm noch besser geeignet.
- Als geeignete Belichtungszeit hatte sich in der Voruntersuchung 10 s erwiesen. Die Aufnahmen mit kürzerer Belichtungszeit hatten physikalisch bedingt immer weniger Lichtanteil, d. h. die Interpretation kam immer näher an das Rauschen des Nachthintergrundes. Möglicherweise könnte noch etwas länger belichtet werden, aber die Aufnahmen mit 30 s Belichtungszeit für die Voruntersuchung waren alle leider mehr oder weniger unscharf durch Verwackeln. Die Belichtungszeit von 10 s erscheint daher als guter Kompromiss zwischen Schärfe und Lichtinformation.
- Für den Start des Projekts Lichtmonitoring Andermatt erscheinen optische Aufnahmen mit einer Spiegelreflexkamera und automatische Auswertungen ausreichend. Zu einem späteren Zeitpunkt könnten evtl. Leuchtdichtebilder dazu genommen werden, vor allem, um durch Nahaufnahmen gezielte Massnahmen zur Reduzierung der Lichtverschmutzung zu bewerten.

2 Realisierung

2.1 Standort

Im Rahmen des Projekts wurde schlussendlich primär aus finanziellen Gründen nur eine Messstation gebaut. Es wurde der Standort Oberalp ausgewählt. Er zeichnet sich durch ein besseres Blickfeld über Andermatt und eine deutlich bessere Erreichbarkeit als der Standort Bözberg aus. Abbildung 3 zeigt die Lage des Standorts auf einer Karte sowie einer Abbildung von Google Earth (jeweils ausgezogener Kreis). Der gestrichelte Kreis steht für einen möglichen zweiten Standort auf dem Bözberg.



Abbildung 3: Gewählter Standort an der Oberalppasstrasse (ausgezogener Kreis) und zusätzlich evaluierter Standort Bözberg (gestrichelter Kreis)

2.2 Aufbau Messschrank

Der Messschrank ist mit einer Spiegelreflexkamera Canon EOS 1100D mit Weitwinkelobjektiv (14 mm), Lüftung und Heizung mit Thermostatregelung, Überspannungsschutz, Phönix-Modem und Industrie-PC ausgestattet. Abbildung 4 gibt einen Einblick in den Messschrank bei geöffnetem Fenster. Die Kamera wird mittels spezieller Software durch den Industrie-PC angesteuert.

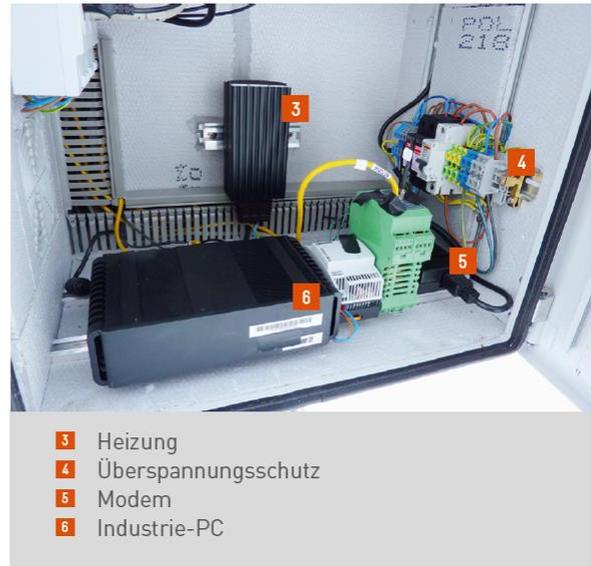


Abbildung 4: Ausstattung des Messschrank mit Kamera und Zubehör

2.3 Bildausschnitte

Der Bildausschnitt vom gewählten Standort aus mit dem 14mm-Weitwinkelobjektiv ist in Abbildung 5 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 genauen Koordinaten dieser Bildausschnitte sind im Anhang 6.1 aufgelistet.

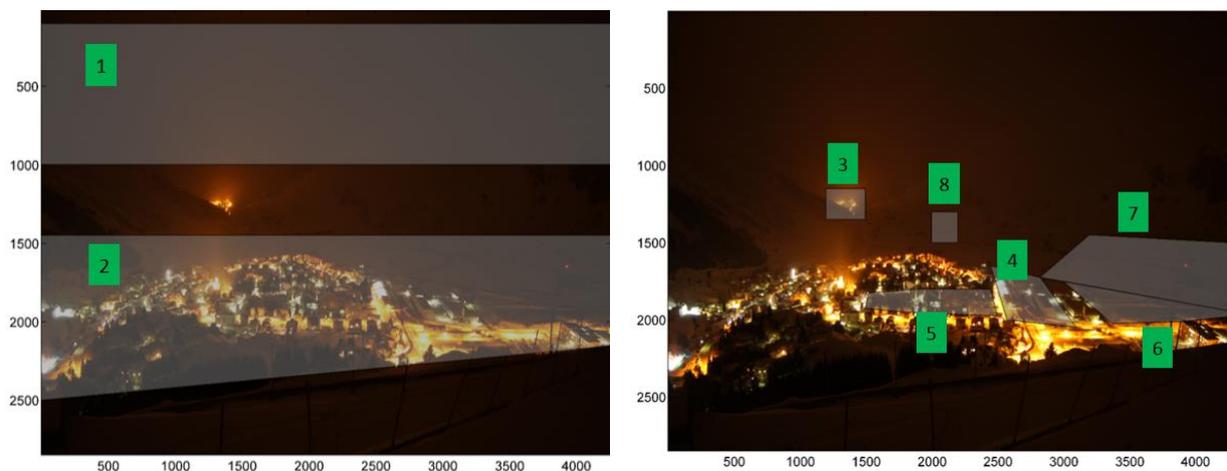


Abbildung 5: Erfasster Bildausschnitt vom Standort Oberalp mit den acht ausgewählten Ausschnitten (1 Himmel, 2 Andermatt, 3 Hospental, 4 Bahnhof, 5 Chedi, 6 Sportzentrum, 7 Villen-Podium, 8 Golfklubhaus).

2.4 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. Der Aufnahmezeitpunkt wurde gegenüber der Konzeptstudie um eine Stunde nach hinten verschoben, um beim ersten Aufnahmezeitpunkt die Nachtaufnahmen nicht durch die Dämmerung zu verfälschen.

Als Belichtungsreihe für die Nachtaufnahmen wurden die Einstellwerte aus der Voruntersuchung übernommen: 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.

2.5 Datenverarbeitung

Die Bilder werden zunächst auf dem PC als jpg- und als raw-Datei zwischengespeichert. Täglich in den frühen Morgenstunden werden die Aufnahmen mittels mobiles Netz an die inNET-Datenzentrale in Altdorf versandt. Ebenfalls findet ein regelmässiges Backup der Aufnahmen statt.

Wie erwähnt werden die Daten sowohl als jpg- als auch als raw-Datei gespeichert. Die Frage zum geeigneten Datenformat der Aufnahmen kann kontrovers diskutiert werden. raw-Dateien sind mit einem analogen Negativ vergleichbar, welches mehr Information beinhaltet als eine Vergrößerung auf Papier darstellen kann. Die raw-Dateien sind deutlich grösser als entsprechende jpg-Dateien. Leider sind raw-Dateien von verschiedenen Kameraherstellern nicht direkt kompatibel. Für die automatische Auswertung mit einer Software können die raw-Dateien nicht ohne weiteres verarbeitet werden, sondern müssen umgewandelt und interpretiert werden. Die jpg-Dateien haben etwas weniger Informationsdichte (vor allem in den ganz dunklen und ganz hellen Bereichen), was aber bei einer vergleichenden Zeitreihe nicht von Bedeutung ist. Wichtig ist, dass die einmal festgelegten Einstellungen von Brennweite, Blende, Belichtungszeit und Kameraempfindlichkeit beibehalten werden.

Für die Bildanalyse wird im Gegensatz zum Vorprojekt das Softwarepaket *Matlab* verwendet. Folgende Gründe sprechen für die Auswertung mit *Matlab*: a) für automatisierte Routinen geeignet, b) breite Erfahrung mit dem Tool bei inNET und c) Vergleiche mit *ImageJ* haben gezeigt, dass die Resultate identisch sind.

3 Erfahrungen aus dem Betrieb

Die Erfahrungen nach über 18 Monaten Betrieb sind überwiegend positiv und werden im Folgenden stichpunktartig zusammengefasst:

- Der Betrieb war von Anfang an stabil und unproblematisch.
- Während der gesamten Messzeit gab es keinen Kamera- und Datenausfall.
- Es ergab sich keine nennenswerte Fensterverschmutzung und eine Wartung war nur sporadisch nötig.
- Der Temperaturfühler war einmal ausgefallen und konnte ausgetauscht werden, es gab dadurch keine Beeinträchtigung der Bilder.
- Die SIM-Karte war einmal überlastet wegen ungeplanter zusätzlicher Datenübertragung, deshalb mussten die Bilder manuell vor Ort ausgelesen werden, wodurch es aber zu keinem Bilderverlust kam.
- Die Software *Matlab* hat sich zur Bildanalyse bewährt, die Auswertung läuft stabil und ohne Probleme.
- Alle Bilder sind scharf, es gab also keine nennenswerten Erschütterungen und der Bildausschnitt blieb unverändert.
- Insgesamt entstand eine Fülle von gut auswertbaren Bildern, quasi als Bonus entstand eine Reihe ästhetisch besonders schöner und spezieller Aufnahmen (siehe auch Kapitel 6).

4 Ergebnisse

4.1 Datenauswahl

In Abbildung 5 wurde der von der Messkamera erfasste Bildausschnitt bereits gezeigt. Zusätzlich zum gesamten Ausschnitt sind dem Foto acht als interessant eingestufte Bildbereiche grafisch überlagert: 1. Himmel, 2. Andermatt, 3. Hospental, 4. Bahnhof, 5. Chedi, 6. Sportzentrum, 7. Villen-Podium und 8. Golfklubhaus. Für diese neun Ausschnitte (Gesamtbild plus acht Teilbereiche) wurden in allen Nachtaufnahmen mittlere Grauwerte (MG-Werte) sowie die RGB-Werte bestimmt.

Für eine weitergehende Interpretation werden im Folgenden exemplarisch die vier Teilbereiche Andermatt, Hospental, Bahnhof und Chedi betrachtet. Der Fokus der Auswertungen wird auf die Belichtungszeiten 10 s und 30 s gelegt. Das ursprünglich ebenfalls vorgesehene Gesamtbild wird aufgrund der insgesamt sehr geringen MG-Werte selbst bei 30 s Belichtungszeit von einer weiteren Auswertung ausgenommen. Die Auswertung des Teilbereiches „Chedi“ ist insbesondere interessant, weil dieser Teilbereich sicherlich eine Veränderung mit der Zeit vorweisen wird. Das Jahr 2013 kann in diesem Teilbereich als „dunkle“ Referenz genommen werden und die Veränderung mit der Zeit kann zusätzlich helfen den Einfluss auf Andermatt als Gesamtes aufzuzeigen. Dasselbe gilt auch für weitere, hier nicht im Detail ausgewertete Teilbereiche, welche ebenfalls mit der Zeit grösseren Veränderungen unterworfen sind (Beispiel Golfklubhaus oder Villen-Podium). Insgesamt wurden für alle neun Ausschnitte die MG- sowie RGB-Werte bestimmt und diese werden in die Jahresberichte integriert, sobald sich Veränderungen abzeichnen.

Vor der eigentlichen Ergebnis-Diskussion wird die Qualität des Datensatzes noch durch geeignete Filterung erhöht. Zur Visualisierung ist in Abbildung 6 die Zeitreihe aller MG-Werte für den Bildausschnitt „Himmel“ bei 30 s Belichtungszeit dargestellt. Deutlich erkennbar sind 13 Maxima in dieser Zeitreihe, die eindeutig mit den Vollmondphasen des betrachteten Zeitraums zusammenhängen. Um diese Störungen massgeblich zu reduzieren, werden die Aufnahmen der Vollmondnächte sowie zusätzliche ± 48 Stunden während der Sommerperiode (01.05.2013 bis 30.09.2013) von der Auswertung ausgenommen. Während der Winterperiode (15.12.2013 bis 28.02.2014) beträgt die Filterung der Vollmondnächte aufgrund von Reflexionseffekten ± 96 Stunden.

Zusätzlich kann auch lokaler dichter Nebel einen Einfluss auf die Aufnahmen haben. Versuche mit automatisierter Nebelerkennung haben gezeigt, dass solche Routinen zu stark mit Fehlern behaftet sind. Folglich wurden sämtliche ausgewerteten Aufnahmen vorgängig manuell begutachtet und Aufnahmen mit Nebel einfluss aussortiert.

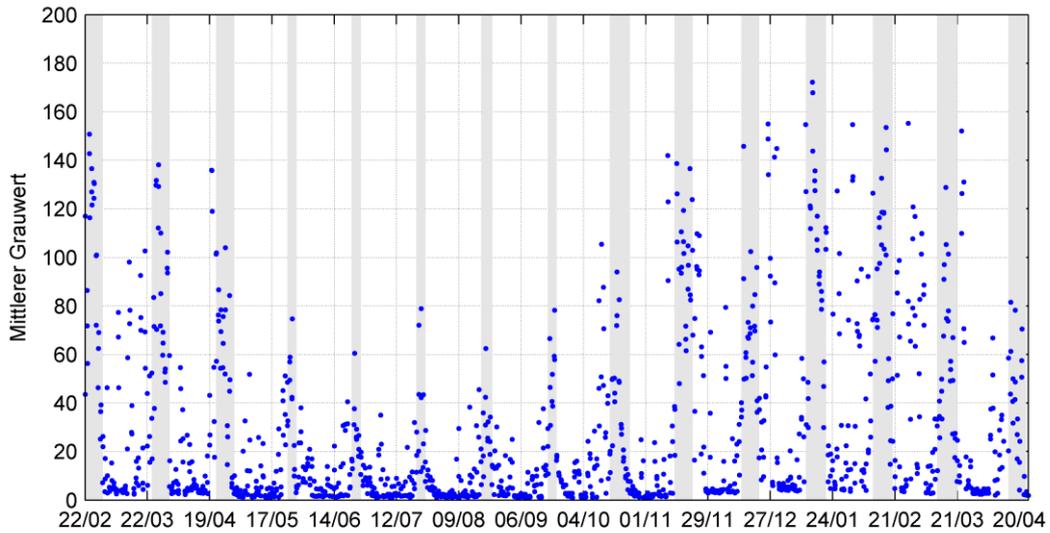


Abbildung 6: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Himmel", Belichtungszeit 30 s

In allen Bildbereichen sind die MG-Werte am Anfang der Zeitreihen deutlich erhöht und fallen langsam bis Ende April ab, sind dann nahezu konstant und steigen schliesslich ab Mitte November wieder fast sprunghaft an. Dies ist in Abbildung 7 beispielhaft in der Zeitreihe der MG-Werte für den Bildausschnitt „Andermatt“ ersichtlich, wobei in dieser Zeitreihe bereits die Mond- und Nebelfilterung vorgenommen wurde. Die erhöhten MG-Werte sind durch Schnee am Boden entstanden, was durch die Referenz-Aufnahmen am Tag klar belegt ist.

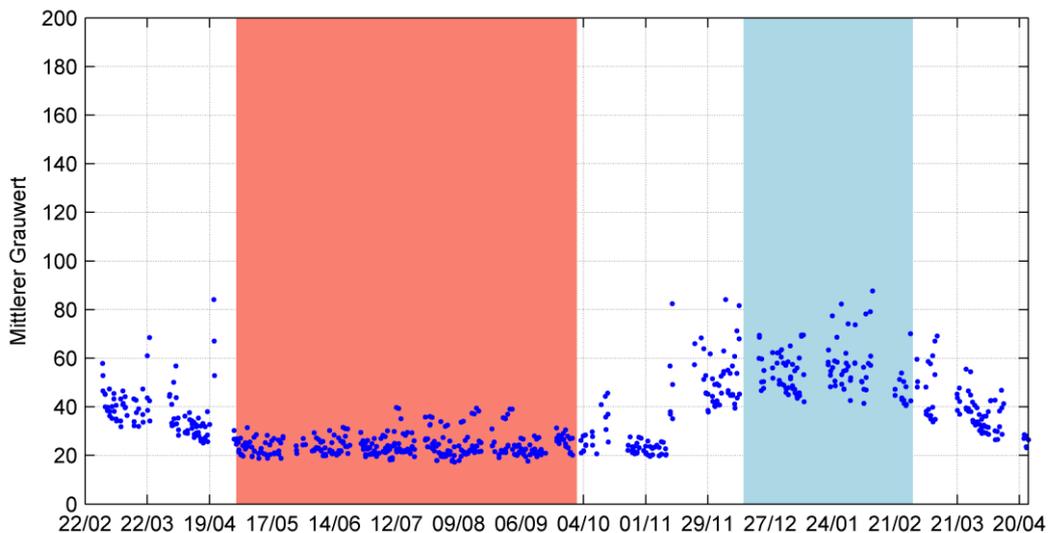


Abbildung 7: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Andermatt", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung. Rot markiert ist die Auswertungsperiode Sommer (01.05.2013 bis 30.09.2013), blau die Auswertungsperiode Winter (15.12.2013 bis 28.02.2014).

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 15.12.2013 bis 28.02.2014 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. In Abbildung 7 sind beide Auswertungsperioden (Sommer rot, Winter blau) gekennzeichnet.

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 8 zeigt die Zeitreihe der MG-Werte für den Bildausschnitt „Sportzentrum“ (Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung). Die roten Punkte markieren die Aufnahmen um 23 Uhr, die blauen Punkte beziehen sich auf die Aufnahmen um 1 Uhr und 3 Uhr. Auffallend sind die an einigen Tagen während des Sommers auftretenden relativ hohen MG-Werte, die gut doppelt so hoch sind wie die übrigen. Diese treten fast ausschliesslich um 23 Uhr auf. Eine Kontrolle mit den dazugehörigen Bildern zeigt, dass diese helle Beleuchtung mit den Aufführungsdaten des Freilichtspiels „Tyyfelsbrigg“ bei der Kaserne Andermatt übereinstimmt.⁸ Folglich hat diese zusätzliche Beleuchtung einen grossen Einfluss auf die Helligkeit im Ausschnitt „Sportzentrum“.

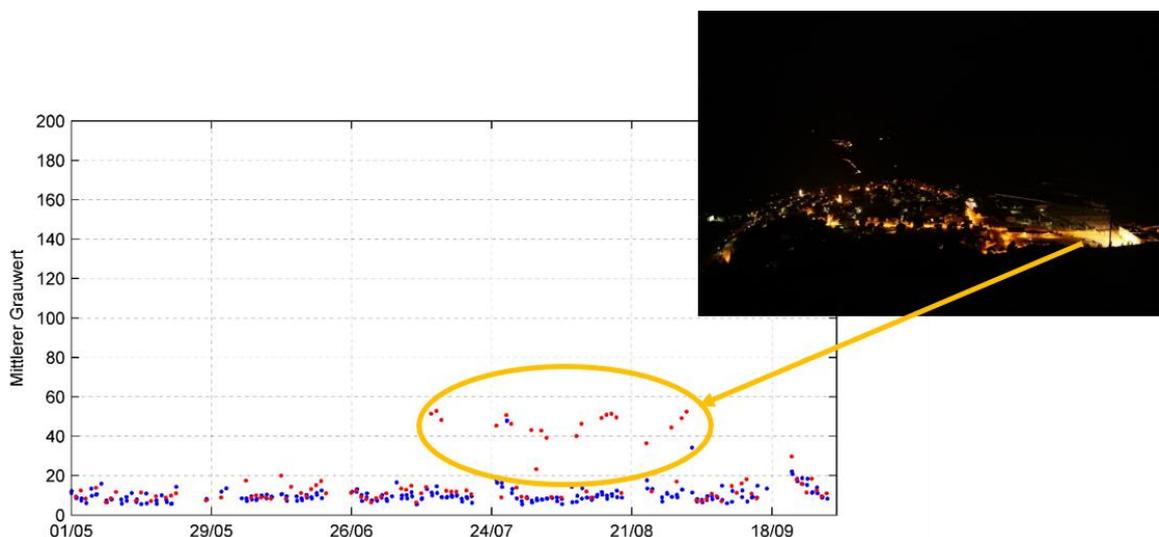


Abbildung 8: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Sportzentrum", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung. Rot markiert sind die Aufnahmen um 23 Uhr. Dazu ist bildlich ein Aufnahmezeitpunkt (13.07.2013, 23 Uhr) dargestellt.

⁸ http://www.gotthardkultur.ch/pdf/programmheft_web.pdf [Stand: 29.07.2014]

Ein weiteres exemplarisches Beispiel ist in Abbildung 9 ersichtlich, in welcher die Zeitreihe der MG-Werte für den Bildausschnitt „Bahnhof“ dargestellt ist. Wie schon im Kapitel 4.1 beschrieben, entstanden die generell erhöhten MG-Werte während der Wintermonate durch Schnee am Boden. Nichtsdestotrotz sind auch in den Wintermonaten zum Teil niedrigere MG-Werte ersichtlich. Wird ein Vergleich an zwei Tagen im Dezember 2013 getätigt, so zeigt sich die unterschiedliche ausgewertete Helligkeit im Bahnhofsbereich durch verschiedene Beleuchtungssituationen klar auch in den zwei Fotoaufnahmen.

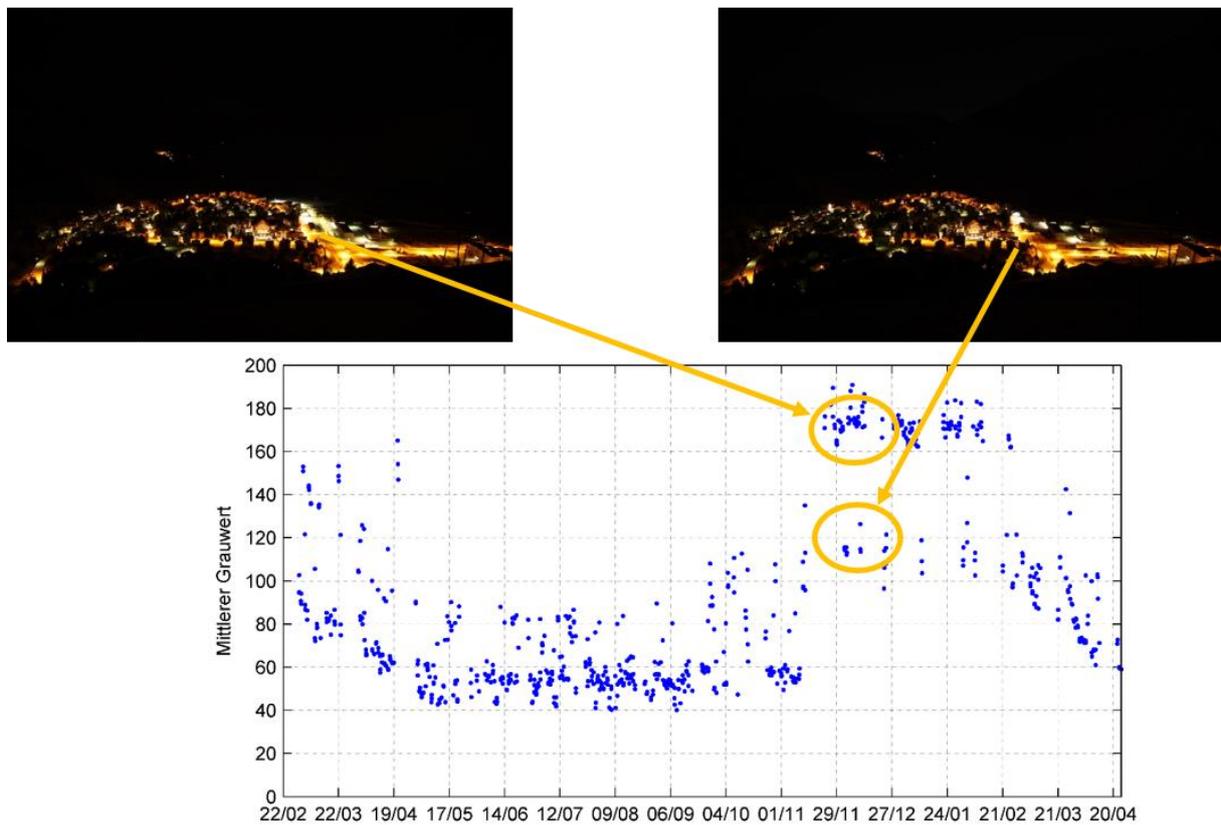


Abbildung 9: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Bahnhof", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung. Dazu sind bildlich zwei Aufnahmezeitpunkte (links: 09.12.2013, 1 Uhr; rechts: 11.12.2013, 1 Uhr) dargestellt.

Den grossen Einfluss einer Lichtquelle zeigt auch folgendes exemplarisches Beispiel gut (Abbildung 10). Im Verlauf der MG-Werte des Bildausschnittes „Chedi“ sind Anfang Februar 2013 zwei unterschiedliche Levels der Helligkeit erkennbar. Werden zwei Fotoaufnahmen mit diesen zwei unterschiedlichen Helligkeitslevels miteinander verglichen, so zeigt sich klar der Einfluss der (wahrscheinlichen) Bautätigkeit beim Chedi.

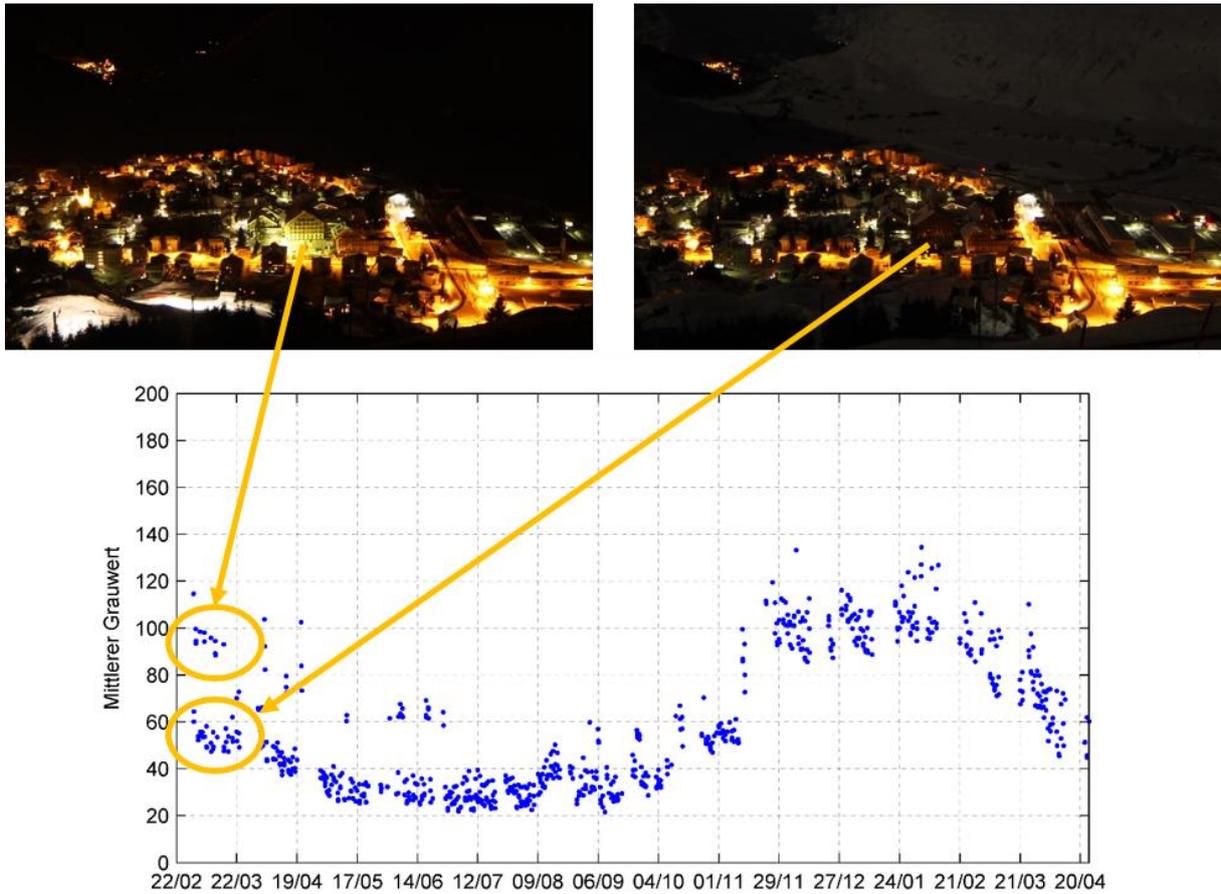


Abbildung 10: Zeitreihe der MG-Werte für Bildausschnitt "Chedi", Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung. Dazu sind bildlich zwei Aufnahmezeitpunkte (links: 01.03.2013, 23 Uhr; rechts: 01.03.2013, 1 Uhr) dargestellt.

4.3 Integrale Auswertungen

Betrachtet man die Zeitreihe der MG-Werte für „Andermatt“ in Abbildung 7 für die ausgewählte Sommerperiode im Detail, ist erkennbar, dass die Messpunkte zwei parallele Linien bilden. Die Vermutung war, dass es sich um einen etwas höheren Helligkeitspegel vor Mitternacht im Vergleich zu den beiden Aufnahmen nach Mitternacht handelt. Diese Hypothese konnte durch Berechnung der Mittelwerte und dazugehöriger Standardabweichung für verschiedene Datensätze bestätigt werden, und zwar sowohl für „Andermatt“ als auch für „Hospental“, „Bahnhof“ und „Chedi“.

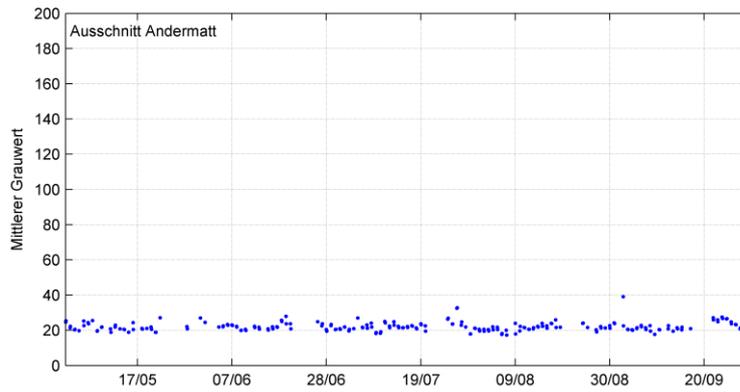
In Tabelle 1 sind die entsprechenden Zahlenwerte zusammengestellt. In den ersten beiden Spalten findet man die Daten für alle drei Nachtaufnahmen mit jeweils 30 s Belichtungszeit, zunächst die Mittelwerte für die MG-Werte und daneben die zugehörigen Standardabweichungen. In den Spalten 3 und 4 sind die 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 aufgelisteten Zahlenwerte können daher als Bezugswerte des Jahres 2013 betrachtet werden und stellen die Referenz für alle weiteren Auswertungen in der Zukunft dar.

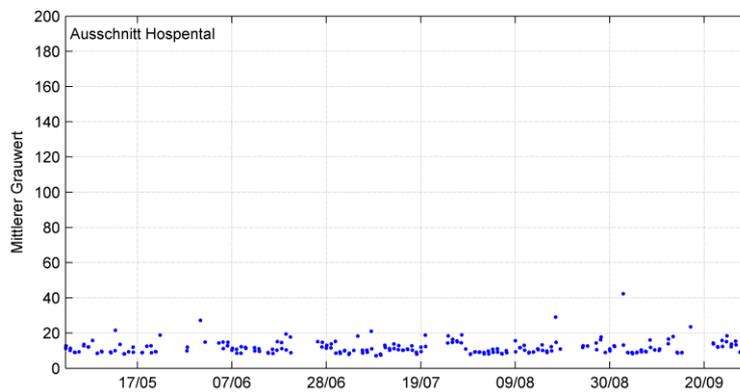
Tabelle 1: Mittelwerte von MG sowie dazugehörige Standardabweichungen STD für vier verschiedene Datensätze in den ausgewählten Teilgebieten im Sommer 2013 (01.05.2013 bis 30.09.2013). „ges“ bezieht sich auf alle drei Nachtaufnahmen, „23“ auf die entsprechenden Daten für die Aufnahmen um 23 Uhr und „1&3“ 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	24.2	4.4	28.5	4.4	22.1	2.6
Hospental	16.0	7.8	24.8	6.3	11.8	4.0
Bahnhof	58.2	12.2	63.7	13.9	55.7	10.4
Chedi	34.0	9.8	37.7	8.8	32.3	9.8

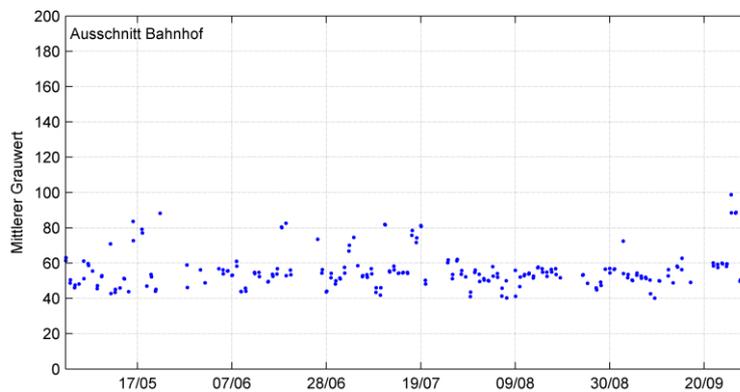
Der Vollständigkeit halber sind in Abbildung 11 die Zeitreihen der Referenz-Datensätze 2013 für die vier ausgewerteten Bildausschnitte zusammengestellt. Schön zu erkennen sind in den ersten zwei Teilbildern die sehr konstanten Werte in den fünf Monaten vom 01.05.2013 bis zum 30.09.2013, die für die Berechnung der Werte in Tabelle 1, Spalten „MG(1&3)“ und „STD(1&3)“ zugrunde gelegt wurden. Es fällt beim vertieften Betrachten aber auch auf, dass beim „Bahnhof“ im September 2013 die Streuung erhöht ist und dass beim „Chedi“ im August 2013 die MG-Werte erhöht sind. Die einzelnen hohen Werte in Abbildung 11 (c) und (d) sind auf spezielle Vorkommnisse zurückzuführen (siehe auch Kapitel 4.2).



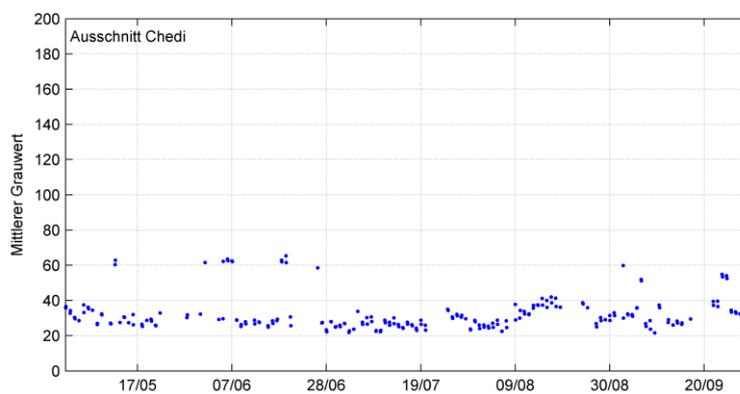
(a)



(b)



(c)



(d)

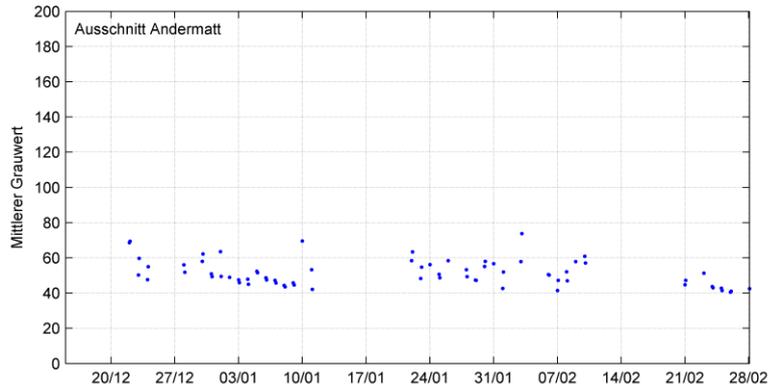
Abbildung 11: Zeitreihen der MG-Werte für die Bildausschnitte „Andermatt“ (a), „Hospental“ (b), „Bahnhof“ (c) und „Chedi“ (d), Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung, nur Aufnahmen nach Mitternacht (1 Uhr und 3 Uhr) vom 01.05.2013 bis 30.09.2013.

In Tabelle 2 sind dieselben Auswertungen wie in Tabelle 1 für die Winterperiode (15.12.2013 bis 28.02.2014) 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 zirka 2.5-mal höher als im Sommer.

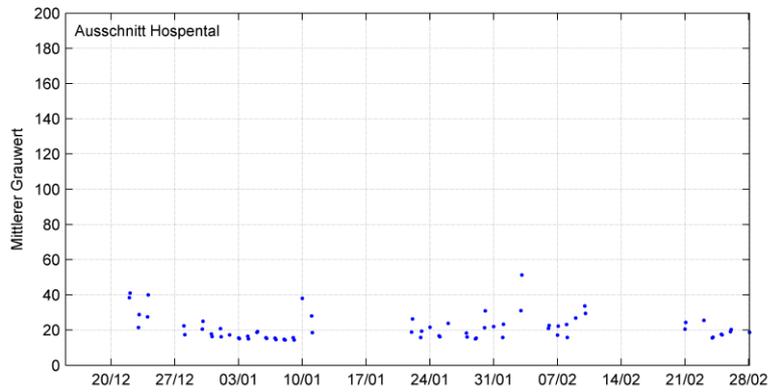
Tabelle 2: Mittelwerte von MG sowie dazugehörige Standardabweichungen STD für vier verschiedene Datensätze in den ausgewählten Teilgebieten im Winter 2013/2014 (15.12.2013 bis 28.02.2014). „ges“ bezieht sich auf alle drei Nachtaufnahmen, „23“ auf die entsprechenden Daten für die Aufnahmen um 23 Uhr und „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	54.9	9.8	62.0	10.2	51.4	7.5
Hospental	26.0	11.4	35.1	12.7	21.5	7.4
Bahnhof	155.8	26.6	157.8	27.3	154.8	26.4
Chedi	102.2	9.6	108.1	9.4	99.2	8.2

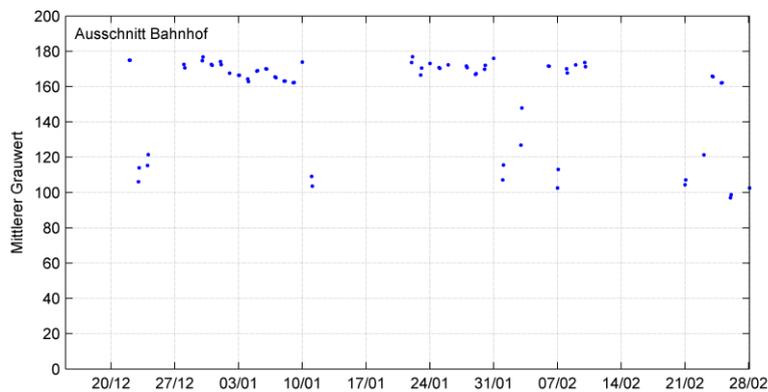
Abbildung 12 zeigt die Zeitreihen der Winterperiode (15.12.2013 bis 28.02.2014). Insgesamt wurden im Vergleich zur Sommerperiode höhere Helligkeitsschwankungen detektiert. Beim Ausschnitt „Bahnhof“ sind wiederum die deutlichen Unterschiede zwischen einzelnen Tagen sichtbar, siehe auch Abbildung 9.



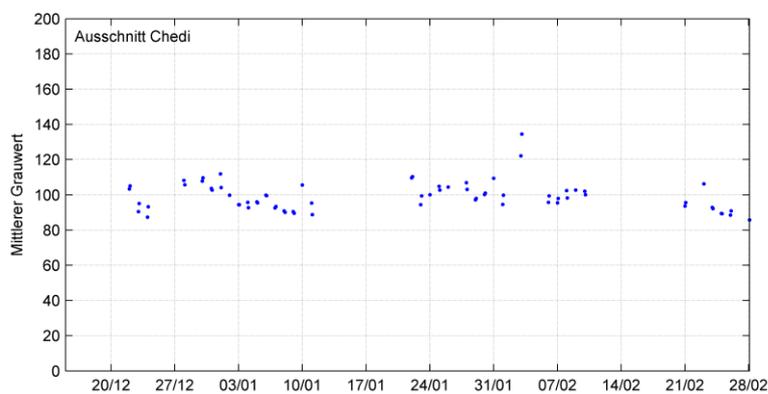
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 12: Zeitreihen der MG-Werte für die Bildausschnitte „Andermatt“ (a), „Hospental“ (b), „Bahnhof“ (c) und „Chedi“ (d), Belichtungszeit 30 s, Mond- und Nebelfilterung (Mondfilterung auf ± 96 h erhöht), nur Aufnahmen nach Mitternacht (1 Uhr und 3 Uhr) für die Winterperiode vom 15.12.2013 bis 28.02.2014.

Es sei angemerkt, dass bei den MG-Werten alle Farbanteile gleichmässig berücksichtigt werden. Ein MG-Wert entsteht als arithmetischer Mittelwert aus den RGB-Werten, $MG = (R+G+B)/3$. Möchte man die menschliche Augenempfindlichkeit als wesentlich berücksichtigen, dann stellt der gewichtete Wert MG_{gew} die bessere Wahl dar. Dieser Wert wird gewichtet aus den RGB-Werten berechnet:

$$MG_{gew} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.144 \cdot B$$

Da Licht in der Nacht aber nicht nur auf Menschen einwirkt, wird bei den vorliegenden Auswertungen zunächst nur der MG-Wert betrachtet. Um dennoch eine Farbinformation als Referenz für zukünftige Auswertungen bereitzustellen, 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. Für die kommenden Jahre wird es im Zusammenhang mit sich eventuell verändernden Leuchtmitteln interessant sein, die Veränderung der RGB-Werte zu beobachten.

Tabelle 3: Mittelwerte der RGB-Werte für die Datensätze von 1 Uhr und 3 Uhr in den ausgewählten Teilgebieten im Sommer 2013 (01.05.2013 bis 30.09.2013), Mond- und Nebelfilterung

Ausschnitt	R	G	B
Andermatt	37.5	22.5	6.4
Hospental	19.3	11.2	5.0
Bahnhof	89.2	56.1	21.7
Chedi	53.1	31.6	12.3

Auf die Bildung von Kennzahlen in den Belichtungsreihen durch Bezug der MG- und RGB-Werte auf die unterschiedlichen Belichtungszeiten wird hier verzichtet. Diese Idee war ursprünglich vorgeschlagen worden, um evtl. weitere Informationen aus den Belichtungsreihen ableiten zu können oder aber auch um möglicherweise Kennzahlen unabhängig von der verwendeten Belichtungszeit bilden zu können. Aus den bisher vorliegenden Daten lassen sich momentan solche Erkenntnisse noch nicht gewinnen. Es besteht eher der Eindruck, dass man damit Aussagen über spezielle Eigenheiten des Kamerachips machen kann. Trotzdem werden die Aufnahmen mit den sechs verschiedenen Belichtungszeiten so beibehalten.

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.

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

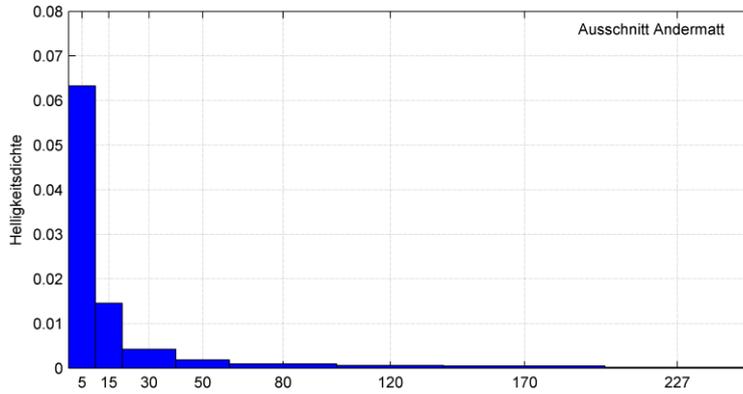
Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8
Grenzen	0-10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-140	140-200	200-255
Mitte	5	15	30	50	80	120	170	227
Breite	10	10	20	20	40	40	60	55

Aus den jeweils erfassten Pixelanzahlen in den Helligkeitsklassen wurden im nächsten Schritt normierte Häufigkeitsverteilungen berechnet. Dafür wurden in den vier ausgewählten Bildausschnitten auch die Summen aller Pixel einer Klasse bestimmt. Die Pixelanzahlen in den Helligkeitsklassen wurden schliesslich normiert mit der Gesamtpixelzahl des entsprechenden Bildausschnittes und mit der Klassenbreite. Damit stehen normierte Häufigkeitsverteilungen als Funktion der MG-Werte (Helligkeit) zur Verfügung, die direkt verglichen werden können. Diese sind in Abbildung 13 (a) bis (d) für die vier ausgewerteten Bildausschnitte dargestellt, und zwar als mittlere Verteilungen für die gesamte Sommerperiode.

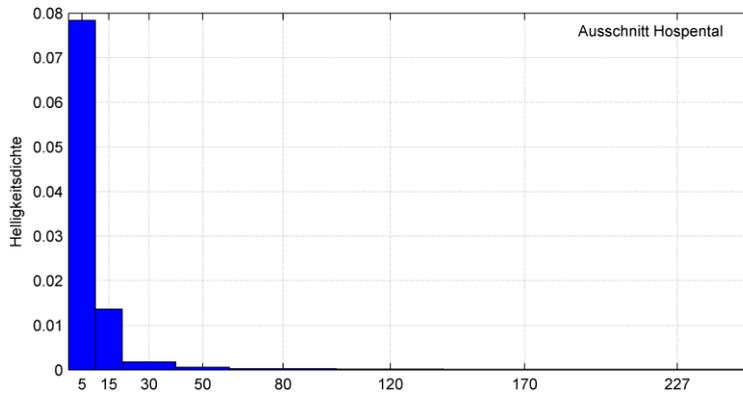
Es fällt zunächst auf, dass in den Teilbildern (a) und (b) die Häufigkeit in der untersten Helligkeitsklasse am grössten ist, während in den Teilbildern (c) und (d) das Maximum in der zweiten Helligkeitsklasse liegt. Dies drückt vor allem aus, dass in den gewählten Bildausschnitten für „Andermatt“ und „Hospental“ der Anteil der dunklen Pixel höher liegt als in den Bildausschnitten für „Bahnhof“ und „Chedi“.

Im Teilbild (b) sind Pixel fast ausschliesslich in den ersten drei Helligkeitsklassen zu finden. Das hängt mit der relativ grossen Entfernung von „Hospental“ und der dadurch geringeren scheinbaren Helligkeit sowie der reduzierten Auflösung für diesen recht kleinen Bildausschnitt zusammen. In den Teilbildern (a), (c) und (d) finden sich auch einige Pixel bis in die höchsten Helligkeitsklassen; vor allem am „Bahnhof“ ist dies deutlich zu sehen. Diese Tatsache bestätigt den „Bahnhof“ als einen markant hellen Bereich und spiegelt auch den visuellen Eindruck beim Betrachten der Beispielaufnahmen wider.

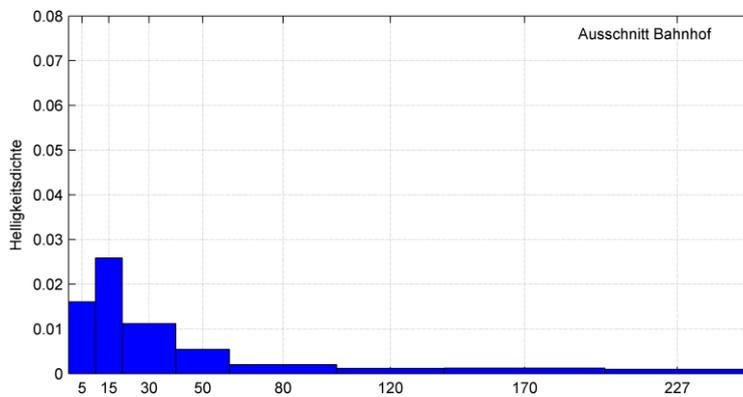
Insgesamt untermauern die dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit, dass der verfügbare Dynamikbereich der Kamera noch nicht vollständig ausgeschöpft wird und für neue Standorte die Kameraempfindlichkeit eventuell noch etwas höher eingestellt werden könnte. Andererseits ist man mit der gewählten Empfindlichkeit in der Lage, auch noch die hellsten Pixel praktisch vollständig mit ihrer Helligkeit zu erfassen. Lägen signifikante Anzahlen in der grössten Helligkeitsklasse, würde dies bedeuten, dass es nennenswert nicht mehr differenzierbare Pixel im Sättigungsbereich des Kamerasensors gäbe.



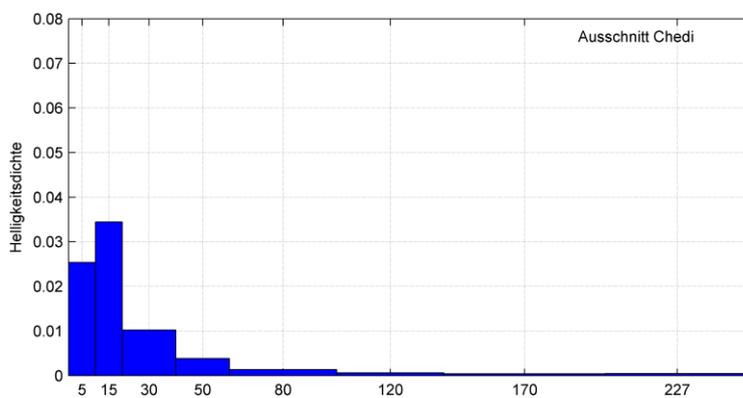
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 13: Normierte Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit, (a) „Andermatt“, (b) „Hospental“, (c) „Bahnhof“ und (d) „Chedi“, Aufnahmen vom 01.05.2013 bis 30.09.2013, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr

Für den direkten Vergleich eignen sich noch besser die kumulierten Häufigkeitsverteilungen, die in Abbildung 14 dargestellt sind. Es handelt sich hierbei um die aufsummierten Flächen der in Abbildung 13 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.

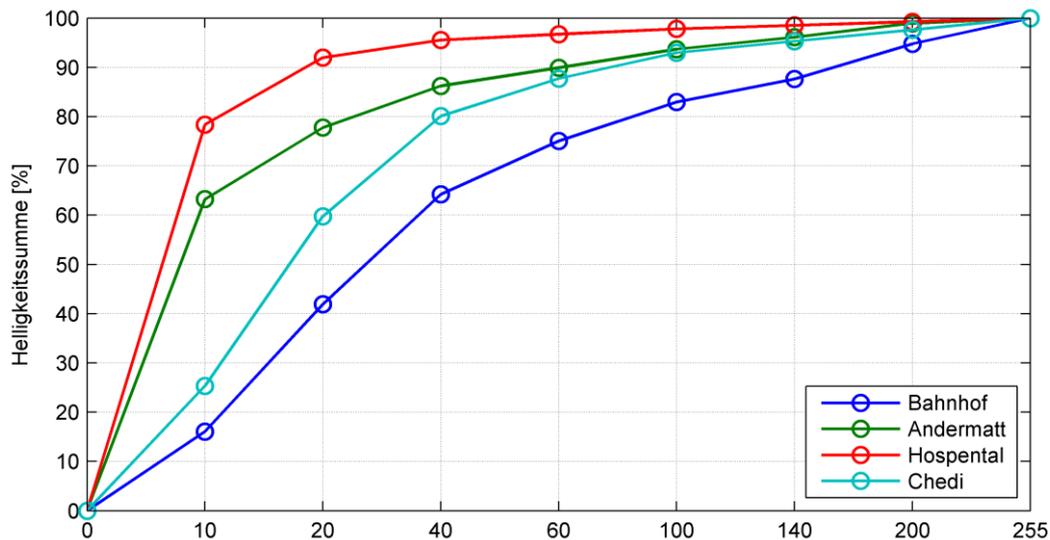


Abbildung 14: Kumulative Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit für „Andermatt“, „Hospental“, „Bahnhof“ und „Chedi“. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr

Abbildung 14 zeigt die Häufigkeitssummen der Helligkeit für die vier gewählten Bildausschnitte. Im direkten Vergleich sieht man noch deutlicher die Ähnlichkeiten zwischen den beiden Ortschafts-Bildausschnitten und auch deren Unterschiede aufgrund der Entfernung von knapp drei Kilometern zwischen „Hospental“ und „Andermatt“. Die scheinbar geringere Helligkeit von „Hospental“ äussert sich dadurch, dass die rote Kurve für die grösseren Helligkeitsklassen links von der grünen Kurve liegt und damit der Beitrag der grösseren Klassen sehr gering ist.

Ausserdem erkennt man gut die Ähnlichkeit zwischen den beiden Detailausschnitten „Bahnhof“ und „Chedi“ sowie deren Unterschied zu den Ortschafts-Bildausschnitten. Die hellblaue und die dunkelblaue Kurve beginnen mit einer Linkskrümmung im Ursprung bis zur zweiten Klasse, bevor sie in eine Rechtskrümmung übergehen. Linkskrümmung bedeutet in der kumulativen Verteilung eine Zunahme der Dichte von Klasse zu Klasse, Rechtskrümmung entsprechend eine Abnahme. Die Erläuterung dazu ist bereits bei der Diskussion von Abbildung 13 angeführt worden. Auch wird die bezüglich Lichtemissionen herausragende Bedeutung des Bahnhofs in dieser Darstellung besonders deutlich. Die dunkelblaue Kurve liegt über den gesamten Helligkeitsbereich rechts von den anderen Kurven, was den grössten Anteil an hohen Helligkeiten bedeutet.

Schliesslich kann als weitere Masszahl aus kumulativen Verteilungen der 50%-Wert abgelesen werden. Dieser Wert macht eine Aussage über den Helligkeitswert eines Pixels, wobei jeweils 50 % der Pixel darunter und 50 % darüber liegen. Die Zahlenwerte für die vier Bildausschnitte finden sich in Tabelle 5. Es handelt sich dabei um eine zahlenmässig andere Art von Mittelwert (Medianwert) als beim Mittelwert der MG-Werte in Tabelle 1 (arithmetischer Mittelwert); prinzipiell können aber ähnliche Aussagen daraus abgeleitet werden. Der Medianwert einer Anzahlverteilung reagiert grundsätzlich weniger stark auf einzelne Ausreisser an den Rändern der Verteilung.

Hier kann zusätzlich sehr einfach 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. Die Werte in Tabelle 5 können ergänzend zu den Werten in Tabelle 1 als Referenz-Basis für die zukünftigen Auswertungen betrachtet werden.

Tabelle 5: Median (50 %) und Verteilungsbreite (10 %, 90 % und Spanne 90-10) der kumulativen Helligkeitsverteilungen für die Ausschnitte „Andermatt“, „Hospental“, „Bahnhof“ und „Chedi“ (Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s, Aufnahmen von 1 Uhr und 3 Uhr).

Ausschnitt	50 %	10 %	90 %	Spanne 90-10
Andermatt	8	1	60	59
Hospental	6	1	19	18
Bahnhof	27	6	160	154
Chedi	18	4	78	74

Zum Abschluss der Ergebnisdiskussion sind in Abbildung 15 die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Helligkeit für „Hospental“ und „Bahnhof“ dargestellt, und zwar aufgeschlüsselt für die Aufnahme um 23 Uhr einerseits und für die beiden Aufnahmen nach Mitternacht (1 Uhr und 3 Uhr) andererseits. Erwartungsgemäss liegen die Kurven für die Aufnahmen von 23 Uhr jeweils nach rechts zu grösseren Helligkeiten hin verschoben, wie bereits bei den MG-Werten gefunden. Die entsprechenden Darstellungen für alle vier Bildausschnitte befinden sich im Anhang des Berichts.

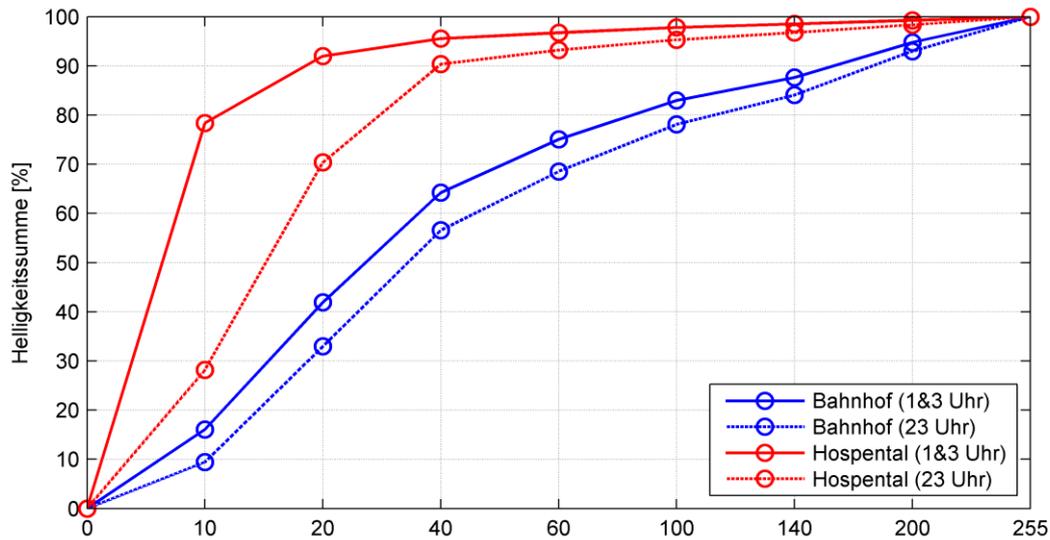


Abbildung 15: Kumulative Häufigkeitsverteilungen für die zwei Ausschnitte „Bahnhof“ und „Hospental“, unterteilt in die Aufnahmezeitpunkte 1 Uhr und 3 Uhr sowie 23 Uhr. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s.

4.4 Visuelle Mittelung

Eine weitere Möglichkeit, die zeitliche Veränderung visuell zu dokumentieren, besteht über die Mittelung der einzelnen Nachtaufnahmen über die Referenzperioden. In Abbildung 16 (als Graubild) und in Abbildung 17 (in Farbe) sind die gemittelten Aufnahmen der Sommerperiode 2013 dargestellt. Für diese Bilder wurde jeweils der Mittelwert jedes einzelnen Bildpixels über die entsprechende Periode berechnet. Die Skala reicht jeweils von 0 (dunkel) bis 255 (höchster Belichtungswert bzw. in Sättigung). Die gemittelten Aufnahmen sind aus denselben Daten berechnet worden wie jeweils für die vorhergehenden Auswertungen, das heisst nach der Mond- und der Nebelfilterung. In Abbildung 16 und in Abbildung 17 wurden jeweils alle drei nächtlichen Aufnahmezeitpunkte mit 30 s Belichtungszeit gemittelt. Diese Aufnahmen können in den folgenden Jahren als visualisierte Nullwerte verwendet werden. Aufgrund der Mittelung über viele Einzelbilder stellen diese Aufnahmen robuste Informationen dar, welche praktisch nicht von einzelnen kurzzeitigen Events, wie beispielsweise Durchfahrten von Autos oder ausserordentlichen Pistenbeleuchtungen beeinflusst sind. Als besonders helle Objekte erscheinen im Allgemeinen die Kirchen und Kapellen, das Bahnhofareal und gewisse Strassenbeleuchtungen. Bis anhin sind Gebiete, in welchen die Bauten des Tourismusresorts entstehen, relativ dunkel.

MG-Werte, Mai bis September 2013



Abbildung 16: Sommermittel der MG-Werte bildlich mit einer Schwarz-weiss-Skala dargestellt. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, alle Aufnahmezeitpunkte, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s.

MG-Werte, Mai bis September 2013

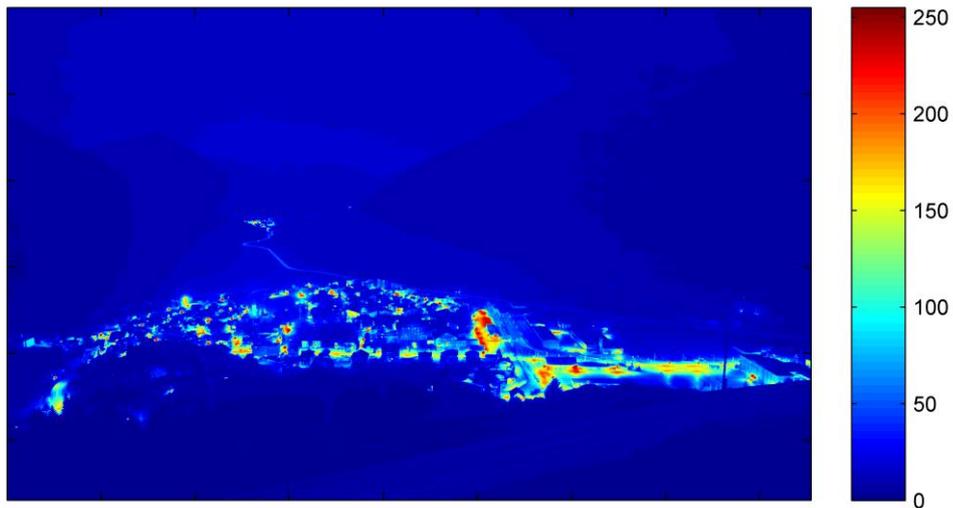


Abbildung 17: Dasselbe wie in Abbildung 16, allerdings mit einer detaillierteren Farbskala. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, alle Aufnahmezeitpunkte, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s.

Nebst der Mittelung über alle drei Aufnahmezeitpunkte sind in Abbildung 18 und in Abbildung 19 die Aufnahmen für 23 Uhr respektive 1 Uhr und 3 Uhr gemittelt dargestellt. Es wurden wiederum die Bilder mit 30 s Belichtungszeit nach der Mond- und Nebelfilterung ausgewertet. Aus der Differenz dieser beiden Bilder (Abbildung 20) lässt sich das nächtliche Eindunkeln visualisieren. Gelbe und rote Pixel stehen für Regionen, in welchen es um 1 Uhr und 3 Uhr dunkler ist als um 23 Uhr. Blaue Punkte stellen hingegen eine Aufhellung um 1 Uhr und 3 Uhr im Vergleich zu 23 Uhr dar. Besonders deutlich

kommen das Ausschalten der Beleuchtung der Maria-Hilf-Kapelle (linker Bildrand) und der Kirche Sankt Peter und Paul (Bildmitte) sowie die Abnahme des Strassenverkehrs (beispielsweise Linie Richtung Hospental) zum Vorschein. Das Differenzbild lässt auch Details zum Vorschein kommen, welche bei der Betrachtung der einzelnen Bilder gar nicht ersichtlich sind. So erscheint beispielsweise im Differenzbild im Bildausschnitt „Villen-Podium“ ein Kran in gelb (entspricht Verdunkelung), welcher jeweils nur in der ersten Nachthälfte beleuchtet wurde.

Die hier beschriebene Methodik, gemittelte Differenzbilder zu erstellen, bildet auch die Basis, langfristige zeitliche Veränderungen – beispielsweise von Jahr zu Jahr oder als längerfristiger Trend – zu visualisieren. Folglich wird diese Betrachtungsweise insbesondere in den kommenden Jahren von grossem Wert sein.



Abbildung 18: Sommermittel der MG-Werte um 23 Uhr bildlich mit einer Schwarz-weiss-Skala dargestellt. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, nur 23 Uhr, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s.

MG-Werte 1&3 Uhr, Mai bis September 2013



Abbildung 19: Sommermittel der MG-Werte um 1 Uhr und 3 Uhr bildlich mit einer Schwarz-weiss-Skala dargestellt. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, ohne 23 Uhr, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s.

Differenz MG-Werte 23 Uhr minus 1&3 Uhr, Mai bis September 2013

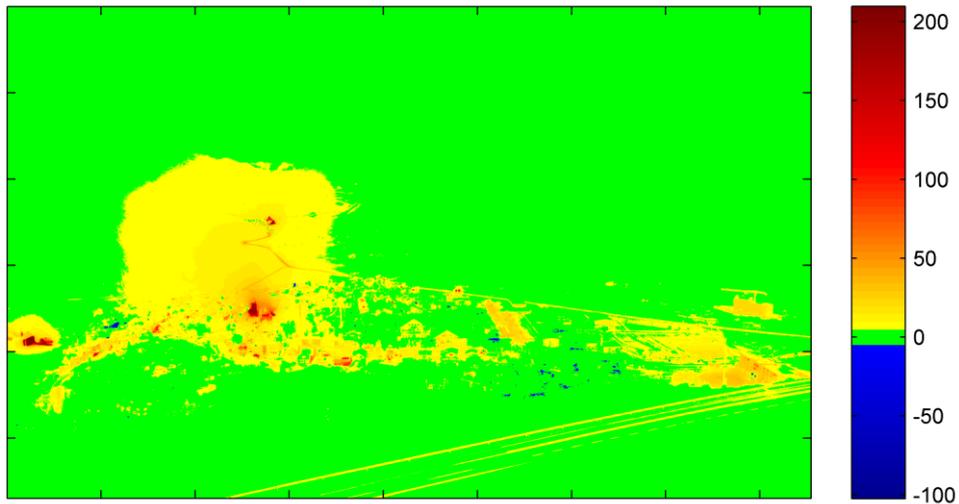


Abbildung 20: Differenz der MG-Werte von 23 Uhr minus 1 Uhr und 3 Uhr. Datengrundlage: 01.05.2013 bis 30.09.2013, mit Mond- und Nebelfilterung, Belichtungszeit 30 s. Gelbe bis rote Farben zeigen höhere MG-Werte im Bild von 23 Uhr, blaue Farben höhere Werte in den Bildern von 1 Uhr und 3 Uhr.

5 Erkenntnisse und Empfehlungen

1. Mit dem vorliegenden Bericht und den ausgewerteten Kennzahlen für den Zeitraum vom 01.05.2013 bis zum 30.09.2013 (Sommer) und vom 15.12.2013 bis zum 28.02.2014 (Winter) sind Referenzen für zukünftige Betrachtungen vorhanden. Herangezogen werden können sowohl die gefilterten und gemittelten MG-Werte (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2) als auch die Medianwerte aus den Helligkeitsverteilungen inklusive der Verteilungsbreite (siehe Tabelle 5).
2. Es wird empfohlen, für mögliche spätere Auswertungen die Belichtungszeitreihen in der Form wie bisher beizubehalten. Auch die Aufnahmezeitpunkte sind gut geeignet und sollten beibehalten werden.
3. Die gewonnenen Werte aus den Aufnahmen nach Mitternacht sind besonders gut geeignet als Mass für den momentanen Mindestlichtpegel, der kurzfristig wahrscheinlich nur bei einem Stromausfall unterschritten würde.
4. Die durchgeführte Filterung der Vollmondnächte sowie der Nebelnächte hat sich als effektiv erwiesen und soll weiterhin so angewendet werden. Die weiterführende Auswertung liefert robuste Ergebnisse.
5. Aufgrund starker Lichtreflexionen im Schnee müssen die Auswertungen während Sommer und Winter voneinander getrennt betrachtet werden. Die Winterperiode ist so festgelegt, dass auch in Zukunft in diesem Zeitraum mit einer geschlossenen Schneedecke gerechnet werden kann.
6. Die Auswertung des relativ kleinen Bildausschnitts „Hospental“ mit einer Distanz von etwa drei Kilometern zum Kamerastandort hat vergleichbar gute Ergebnisse geliefert wie die Auswertungen der anderen, grösseren und näheren Ausschnitte. Damit konnte gezeigt werden, dass auch für interessante Bereiche in einigen Kilometern Entfernung vom Kamerastandort noch ein sinnvolles Lichtmonitoring prinzipiell möglich ist, und zwar gleichzeitig mit dem Monitoring von grösseren Bereichen im Bildvordergrund.
7. Da Licht in der Nacht nicht nur auf die Menschen einwirkt, wurden bei den vorliegenden Mittelwert-Auswertungen vorrangig die MG-Werte betrachtet. Möchte man die menschliche Augenempfindlichkeit als wesentlich berücksichtigen, dann stellt der Wert MG_{gew} die bessere Wahl dar. Dieser Wert wird gewichtet aus den RGB-Werten berechnet und kann auch nachträglich jederzeit bestimmt werden.
8. Zusätzlich zu den MG-Werten wurden die RGB-Werte ausgewertet und sollten auch zukünftig ausgewertet und aufbewahrt werden, um langfristige Veränderungen in der Farbzusammensetzung des ausgestrahlten Lichts zu erkennen. So könnte z. B. der MG-Wert abnehmen und gleichzeitig ein Farbanteil zunehmen.
9. Um den Dynamikbereich des Kamerachips noch etwas besser auszunutzen, könnte zukünftig an neuen Messstellen die Kameraempfindlichkeit auf ISO 200 oder 400 erhöht werden. In ei-

nem laufenden Projekt selbst soll die Empfindlichkeit nicht verändert werden, sonst geht die Vergleichbarkeit mit den bereits gewonnenen Daten verloren.

6 Anhang

6.1 Eigenschaften der gewählten Ausschnitte

Tabelle 6: Definierte Ausschnitte

Name	Definiertes Patch
Hospental	[1200 1200 1500 1500],[1150 1350 1350 1150]
Bahnhof	[2450 2575 3100 2825],[1650 2000 2050 1725]
Chedi	[1525 1500 1800 2500 2450 1950],[1825 1925 1950 1975 1800 1800]
Sportzentrum	[3000 3375 3900 4250 4250],[1750 2025 2010 1980 1940]
Villen&Podium	[2825 4250 4250 3200],[1725 1940 1500 1450]
Golfklubhaus	[2000 2200 2200 2000],[1500 1500 1300 1300]
Andermatt	[0 0 4300 4300],[1450 2500 2150 1450]
Himmel	[0 0 4300 4300],[100 1000 1000 100]

6.2 Bildergalerie mit Beispielen



Abbildung 21: Vollmondphase; Aufnahme vom 26.02.2013, 3 Uhr, Belichtungszeit 30 s.



Abbildung 22: Nebel liegt über Andermatt; Aufnahme vom 13.03.2013, 3 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 23: Vollmondphase bei bedecktem Himmel; Aufnahme vom 25.02.2013, 23 Uhr, Belichtungszeit 10 s



Abbildung 24: Autoscheinwerfer; Aufnahme vom 09.09.2013, 23 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 25: Eiszapfen an der Messstation; Aufnahme vom 24.03.2014, 23 Uhr, Belichtungszeit 30 s



Abbildung 26: Tagaufnahme mit Nebelschwaden; Aufnahme vom 14.06.2013, 12 Uhr, Belichtungszeit 1/1000 s

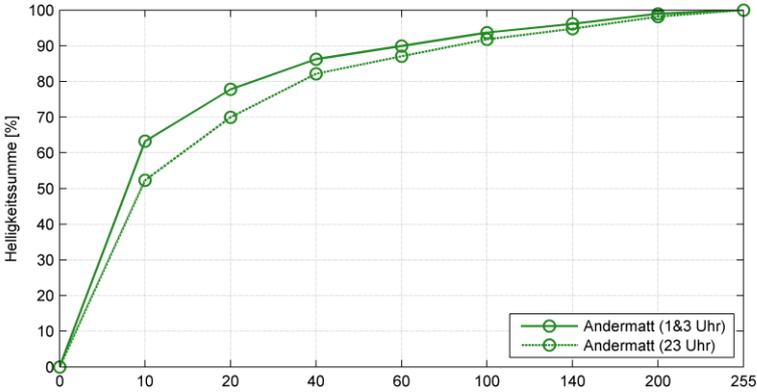


Abbildung 27: Vollmondphase bei Föhn; Aufnahme vom 23.06.2013, 3 Uhr, Belichtungszeit 30 s

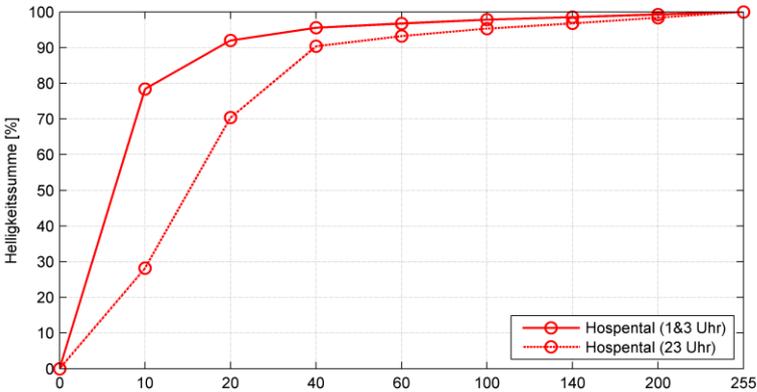


Abbildung 28: Autoscheinwerfer Oberalpstrasse; Aufnahme vom 31.07.2013, 23 Uhr, Belichtungszeit 30 s

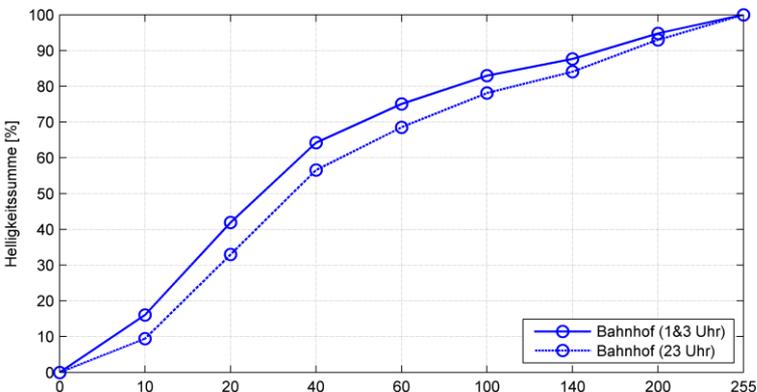
6.3 Kumulative Häufigkeitsverteilungen, diverse Ausschnitte



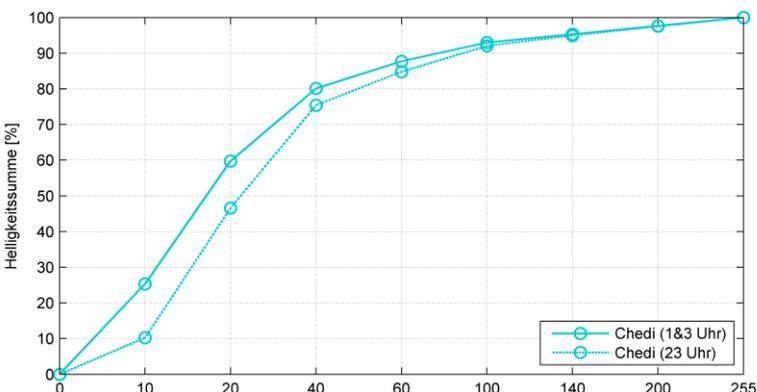
(a)



(b)



(c)



(d)

6.4 Infoblatt Lichtverschmutzung inNET Monitoring AG



> Lichtemissionen Andermatt

LANGZEITMONITORING DER LICHTVERSCHMUTZUNG

Die Lichtverschmutzung hat in den letzten 20 Jahren in der Schweiz um 70 % zugenommen. Die Folgen reichen von Auswirkungen auf Lebensräume nachtaktiver Tiere (Wasserund Zugvögel, Verschiebung und Verarmung der Artenzusammensetzung, Insektensterben) bis zu Auswirkungen auf Menschen (Schlaf-Wach-Rhythmus, Blendwirkung, astronomische Beobachtungen). Ausserdem sind unerwünschte Lichtemissionen Ursache für Energieverschwendung. Um diese Folgen zu beobachten und Gegenmassnahmen in die Wege zu leiten, hat die Firma inNET Monitoring AG die schweizweit erste online-Messstation zur Erfassung der Lichtemissionen in Betrieb genommen.

Nutzen eines Monitorings

- > Energieeffizienz verbessern
- > Erhebung der Grundlagen für Vollzug
- > Erfolgskontrolle der Vollzugsmassnahmen
- > Grundlagen für Öffentlichkeitsarbeit

Messstation



> Messstation mit Blick nach Andermatt

Leuchtdichtekamera



> Leuchtdichteaufnahme der Maria-Hilf-Kapelle in Andermatt

Dienstleistungen

- > Durchführung Lichtmonitoring
 - Langzeitmonitoring
 - Leuchtdichtemessungen für Vollzugsmassnahmen und -kontrollen
- > Massnahmenplanung für Kantone und Gemeinden
- > Konzepte für Vollzugsstellen

Aufbau Messstation



- 1 Thermostate für Lüftung und Heizung
- 2 Canon EOS 1100D mit Weitwinkelobjektiv



- 3 Heizung
- 4 Überspannungsschutz
- 5 Modem
- 6 Industrie-PC

> Kontakt

Christian Ruckstuhl, Projektleiter
Dätwylerstrasse 15, 6460 Altdorf
christian.ruckstuhl@innetag.ch
Tel: 041 500 50 43 / 079 722 72 41

Urs Aschwanden, Geschäftsleiter
Dätwylerstrasse 15, 6460 Altdorf
urs.aschwanden@innetag.ch
Tel: 041 500 50 41 / 079 765 08 87

Dank

- > Amt für Umweltschutz Uri
- > Prof. M. Löffler-Mang, HTW Saarbrücken
- > Prof. B. Jödicke, HTWG Konstanz
- > B. Schrader, Hochschule Luzern