



→

→

Künstliche Lichtemissionen im Jurapark Aargau

Bachelorarbeit

(überarbeitete Version vom 01. Oktober 2019)



Yumi Bieri

01.12.2018

Umweltnaturwissenschaften

ETH Zürich, D-USYS



KANTON AARGAU



Betreuung:

Monika Niederhuber, ETH Zürich

Lea Reusser, Jurapark Aargau

Ursula Philipps, Kanton Aargau

Zusammenfassung

Künstliche Lichtemissionen haben in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen und bisher ist noch kein Ende dieses Trends ersichtlich. Mit den Jahren ist in der Bevölkerung, der Politik und der Wissenschaft das Bewusstsein gewachsen, dass auch Licht eine Art der Umweltverschmutzung bedeuten kann. Der Kanton Aargau und der Jurapark Aargau entwickeln momentan Strategien zum Themenbereich «Lichtemissionen» und sind an einer grundlegenden Einschätzung der Situation im Gebiet des Jurapark Aargau interessiert.

In der vorliegenden Arbeit wurde in einem ersten Schritt eine Literaturrecherche zum Thema künstliche Lichtemissionen durchgeführt, um das vorhandene Wissen zusammenzufassen. Die Auswertung der bereits existierenden Forschungsergebnisse ergab, dass künstliches Licht grosse Auswirkungen auf den Menschen und seine Umwelt hat. Prognostiziert wird, dass die künstlichen Lichtemissionen wegen ihrer steten Zunahme sogar zu einem Forschungsfokus im 21. Jahrhundert werden könnten. Auch in der Politik wird die Wichtigkeit des Themas vermehrt wahrgenommen. Die gesetzlichen Grundlagen sind gegeben, Licht fällt im Umweltschutzgesetz unter Emissionen, die vermieden werden sollten, falls sie schädlich oder lästig sind. Es existieren jedoch bisher noch keine Richt- oder Grenzwerte, sondern nur Empfehlungen für die Installation von Beleuchtungen.

Die bei der Recherche im Internet gefundenen Fotos und Lichtemissionskartierungen erlauben eine erste grobe Einschätzung der Situation. Europa ist im Vergleich zu natürlicher Dunkelheit bereits stark erleuchtet, weist jedoch innerhalb seiner Regionen grosse Unterschiede auf. Auch innerhalb der Schweiz sind grosse Unterschiede erkennbar, von stark erhellt im Mittelland zu noch relativ dunkel in den Alpengebieten. Das Gebiet des Jurapark Aargau ist als mittelmässig belastet eingestuft.

Um die erste Einschätzung zu überprüfen und einen persönlichen Eindruck der Situation im Jurapark Aargau zu gewinnen, habe ich das Parkgebiet in der Nacht besucht und Fotografien von bedeutsamen Lichtquellen erstellt. Eine zweite Begehung konnte mit einem Besuch in der Sternwarte Cheisacher kombiniert werden. Die Besuche vor Ort ergaben den Eindruck, dass das Gebiet des Jurapark Aargau noch relativ dunkel ist, verglichen mit seiner Umgebung, z.B. dem im Süden angrenzenden Mittelland. Auffallen ist mir, dass der Jurapark Aargau stark von seiner hügeligen Topografie profitiert, da das Licht der Gemeinden, die sich oft in den Tälern befinden, sehr schnell verdeckt wurde und nur einzelne Lichtquellen erkennbar waren. Bewusst wurde mir auch die grossräumige Dimension des Phänomens, da die Lichtglocken der grösseren Städte Zürich und Basel klar am Horizont erkennbar waren.

In einem weiteren Schritt wurde das Thema mit einer räumlichen Datenanalyse untersucht. Anhand von Satellitendaten war es möglich, eine Kartierung der künstlichen Lichtemissionen zu erarbeiten. Die Analyse des Ist-Zustandes führte zu der Erkenntnis, dass das Gebiet des Jurapark Aargau noch relativ dunkel ist im Vergleich zu seiner Umgebung. Die Hinzunahme von Kartierungen aus den Jahren 1992 bis 2012 erlaubte die Entwicklung der Lichtemissionen zu untersuchen. Die künstlichen Lichtemissionen haben seit den 1990er-Jahren im Untersuchungsgebiet (Grossraum Bern-Basel-Zürich) stark zugenommen, innerhalb des Parkgebietes gab es hingegen wenig Veränderungen.

Durch die Kombination der Lichtemissionsdaten mit weiteren Geodaten konnten Zusammenhänge zwischen den künstlichen Lichtemissionen und der menschlichen Infrastruktur, dem Relief und dem Wald aufgezeigt werden. Diese Zusammenhänge erlaubten einfache Kriterien für die Bestimmung von dunklen Gebieten abzuleiten.

Anhand der ermittelten Dunkelheitskriterien konnte ein Vorschlag für Dunkelflächen und -korridore im Parkgebiet ausgearbeitet werden. Vergleiche mit Datensätzen zu Konzepten des Jurapark Aargau und des Kantons Aargau (kantonale Wildtierachsen und -korridore sowie Pilotprojekt zur Ökologischen Infrastruktur im Jurapark Aargau) und Tierarten (Fledermäuse, Amphibien und Vögel) erlaubten erste Einschätzungen bezüglich der Ökologie, vorwiegend zu Charakteristiken von Lebensräumen und zu räumlichen Übereinstimmungen oder Abweichungen mit den ausgeschiedenen Dunkelflächen und Dunkelkorridoren. Die ersten räumlichen Untersuchungen lassen darauf schliessen, dass der Jurapark Aargau momentan noch dunkle Lebensräume für sensible Arten bieten kann, die jedoch durch die Zunahme der Lichtemissionen zunehmend unter Druck geraten werden.

Das Fazit lautete, dass im Jurapark Aargau momentan noch kein dringender Handlungsbedarf besteht, da das Parkgebiet noch relativ dunkel ist. In Anbetracht des zunehmenden Beleuchtungstrends und der durch die Forschung bewiesenen negativen Auswirkungen ist es für den Jurapark Aargau jedoch empfehlenswert, so früh wie möglich ein Vorgehenskonzept zu erarbeiten und präventiv verschiedene Handlungsmöglichkeiten zu erwägen und zu realisieren.

Da künstliche Lichtemissionen ein komplexes Thema sind, das alle drei Komponenten der Nachhaltigkeit betrifft (Wirtschaft, Ökologie, Soziales), gibt es keinen klaren Lösungsweg, sondern benötigt verschiedenste kreative Herangehensweisen. Erfolgsversprechend sind Zusammenarbeiten von allen betroffenen Akteuren aus der Politik, der Praxis und der Wissenschaft, aber auch die Initiative der Bevölkerung. Durch die Zunahme der Lichtemissionen wird das Thema in Zukunft an Bedeutung gewinnen und eine Schlüsselherausforderung wird sein, die Vorteile des Lichts weiterhin nutzen zu können, jedoch gleichzeitig die Nachteile zu minimieren.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
Abkürzungsverzeichnis.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
1. Einleitung.....	8
2. Recherche zum Status Quo der Lichtemissionen.....	11
2.1 Literaturrecherche.....	11
2.2 Internetrecherche.....	14
2.2.1 Astronauten-Fotografie.....	14
2.2.2 The New World Atlas of Artificial Sky Brightness.....	15
2.2.3 Light Pollution Map.....	16
3. Datengrundlage.....	18
3.1 Lichtemissionsdaten.....	18
3.1.1 LABES-Daten.....	18
3.1.2 VIIRS-Daten.....	19
3.1.3 Gegenüberstellung von VIIRS- und LABES-Daten.....	19
3.2 Weitere Geodaten.....	20
4. Methodik.....	21
4.1 Eigene Begehung mit Fotoaufnahmen.....	21
4.1.1 Wasserflue.....	21
4.1.2 Aussichtsturm Cheisacher.....	22
4.2 Besuch der Sternwarte Cheisacher.....	22
4.3 Methodische Ansätze für die räumliche Datenanalyse.....	22
4.3.1 Aufbereitung der Lichtemissionsdaten.....	22
4.3.2 Ableitung von Dunkelheitskriterien.....	24
4.3.3 Ausweisung von Dunkelflächen und Dunkelkorridoren.....	24
4.3.4 Vorgehen bei ersten ökologischen Einschätzungen.....	25
5. Ergebnisse und Interpretation.....	26
5.1 Fotoaufnahmen.....	26
5.1.1 Impressionen von der Wasserflue.....	26
5.1.2 Impressionen vom Aussichtsturm Cheisacher.....	27
5.2 Kurzbericht Sternwarte Cheisacher.....	29

5.3	Räumliche Analyse der künstlichen Lichtemissionen.....	29
5.3.1	Kartierung der künstlichen Lichtemissionen	29
5.3.2	Ableitung von Dunkelheitskriterien	34
5.3.3	Dunkelflächen und Dunkelkorridore	37
5.3.4	Erste ökologische Einschätzungen.....	40
5.4	Beantwortung der Fragestellungen.....	48
6.	Diskussion.....	50
7.	Fazit	52
8.	Literaturverzeichnis.....	54
9.	Anhang.....	57
	Eigenständigkeitserklärung	60
	Danksagung	61

Abkürzungsverzeichnis

AGIS	Aargauisches Geografisches Informationssystem
ALAN	Artificial Light at Night
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BGF	Fischereigesetz
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU)
BVUALG	Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer, Kt. AG
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DNB	Day/Night Band
EKZ	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
EOG	Earth Observation Group
Esri	Environmental Systems Research Institute
HSR	Hochschule für Technik Rapperswil
IDA	International Dark-Sky Association
ISS	International Space Station
JSG	Jagdgesetz
LABES	Landesbeobachtung Schweiz
LED	Light-emitting diodes
LoNNe	Loss of the Night Network
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCDC	National Climatic Data Center
NCEI	National Centers for Environmental Information (früher NGDC)
NESDIS	National Environmental Satellite, Data and Information Service
NGDC	National Geophysical Data Center
NHG	Natur- und Heimatschutzgesetz
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NODC	National Oceanographic Data Center
OLS	Operational Linescan System
REN	Résau Ecologique National
SQC	Sky Quality Camera
SQM	Sky Quality Meter
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie
USG	Umweltschutzgesetz
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jurapark Aargau (© Netzwerk Schweizer Pärke, 2018)	9
Abbildung 2: Jurapark Aargau (© Netzwerk Schweizer Pärke, 2018) und Untersuchungsgebiet	10
Abbildung 3: Astronautenfoto ISS-041-E-66447 (NASA)	14
Abbildung 4: 3D Globe Version des New World Atlas of Artificial Sky Brightness (CIRES).....	15
Abbildung 5: Light pollution map (Jurij Stare)	16
Abbildung 6: Jurapark Aargau (© Netzwerk Schweizer Pärke, 2018) mit den Fotostandorten.....	21
Abbildung 7: Flussdiagramm zum Vorgehen bei der Ableitung von Dunkelheitskriterien	24
Abbildung 8: Ausweisung von Dunkelflächen und Verbindungslinien für Dunkelkorridore	25
Abbildung 9: Fotos von der Wasserflue aus	27
Abbildung 10: Fotos vom Aussichtsturm Cheisacher aus	28
Abbildung 11: Kartierung der künstlichen Lichtemissionen im Untersuchungsgebiet (VIIRS, EOG)	30
Abbildung 12: Entwicklung der Lichtemissionen im Untersuchungsgebiet (LABES, WSL).....	31
Abbildung 13: Entwicklung der Lichtemissionen im Untersuchungsgebiet (VIIRS, EOG)	32
Abbildung 14: Differenz zwischen den Lichtemissionen von 2016 und 2014 (VIIRS, EOG)	33
Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Relief (© swisstopo) und Lichtemissionen in der Schweiz (VIIRS, EOG).....	34
Abbildung 16: Zusammenhang zwischen Relief (© swisstopo) und Lichtemissionen im Untersuchungsgebiet (VIIRS, EOG)	35
Abbildung 17: Künstliche Lichtemissionen (VIIRS, EOG) mit Gebäuden und Gemeindegrenzen (© swisstopo)	35
Abbildung 18: Künstliche Lichtemissionen (VIIRS, EOG) mit Verkehrsinfrastruktur (Kanton Aargau)..	36
Abbildung 19: Künstliche Lichtemissionen (VIIRS, EOG) und Waldflächen (Kanton Aargau)	37
Abbildung 20: Dunkelflächen und -korridore mit dem Relief (© swisstopo) und den Waldflächen (Kanton Aargau).....	39
Abbildung 21: Dunkelflächen und -korridore mit Lichtemissionsdaten (VIIRS, EOG) und problematischen Übergangstellen.....	39
Abbildung 22: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Wildtierachsen (Kanton Aargau)	41
Abbildung 23: Vergleich der Wildtierachsen und -korridore (Kanton Aargau) im Kanton Aargau mit den künstlichen Lichtemissionen (VIIRS, EOG).....	41
Abbildung 24: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Daten der Gilde A des Pilotprojektes der Ökologischen Infrastruktur (Kanton Aargau)	43
Abbildung 25: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Quartieren aller Fledermausarten im Jurapark Aargau (Kanton Aargau)	44
Abbildung 26: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Quartieren der Arten der Fledermausförderung im Jurapark Aargau (Kanton Aargau).....	44
Abbildung 27: Flugrouten der Grossen Hufeisennase im Wegenstettertal (Jurapark Aargau, 2016) im Vergleich mit den künstlichen Lichtemissionen (VIIRS, EOG) sowie den Dunkelflächen und -korridoren.....	45
Abbildung 28: Vergleich von Gewässern, Auen (Kanton Aargau) und Amphibienlaichgebieten von nationaler Bedeutung (© BAFU) mit Lichtemissionsdaten (VIIRS, EOG)	46
Abbildung 29: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den ornithologisch wertvollen Gebieten inklusive der Bachläufe (Kanton Aargau)	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Legende zum New World Atlas of Artificial Sky Brightness (CIRES)	15
Tabelle 2: Gegenüberstellung der verwendeten Lichtemissionsdaten.....	19
Tabelle 3: Darstellungsarten der Lichtemissionsdaten	23
Anhang:	
Tabelle I: LABES-Datengrundlagen	57
Tabelle II: VIIRS-Datengrundlagen.....	57
Tabelle III: Für diese Arbeit erstellte VIIRS-Datensätze.....	58
Tabelle IV: Weitere Geodatengrundlagen.....	58
Tabelle V: Im Rahmen der Arbeit erstellte Datensätze	59

1. Einleitung

Seitdem die Menschheit die Glühbirne erfunden und die Versorgung mit Elektrizität sichergestellt hat, nehmen künstliche Lichtquellen kontinuierlich zu. Das künstliche Licht eröffnete viele neue Möglichkeiten und schien zu Beginn nur Vorteile mit sich zu bringen. So ermöglichte künstliches Licht der Menschheit unter anderem eine Verlängerung der Aktivitätszeit und dadurch eine Produktivitätssteigerung. Des Weiteren wurden Beleuchtungen installiert, um Sicherheit und Orientierung auch in der Nacht zu gewährleisten. Im Verlauf der Zeit wurde Licht jedoch auch vermehrt für über die Notwendigkeit hinausgehende Zwecke eingesetzt, zum Beispiel für Werbung, für die Schaffung angenehmer Atmosphären oder die Gestaltung von Objekten. Diese vielfältigen Einsatzmöglichkeiten führten zu einer stetigen Zunahme der künstlichen Lichtquellen. In der letzten Zeit erreichten die künstlichen Lichtemissionen ein Ausmass, das zunehmend negative Auswirkungen nach sich zog. Es wird vermehrt wahrgenommen, dass auch Licht eine Art der Umweltverschmutzung bedeuten kann, die es zu vermeiden gilt.

Diese neue Art der Umweltverschmutzung weckte zunehmend das Interesse der Öffentlichkeit. So wurde bereits im Jahr 1988 die internationale Organisation «International Dark-Sky Association» (IDA) gegründet, um die Lichtverschmutzung zu reduzieren (International Dark-Sky Association, 2018). In vielen Ländern gibt es heute eine Sektion dieser Organisation. Dark-Sky Switzerland wurde 1996 gegründet. Ziel von Dark-Sky Switzerland ist es, die Öffentlichkeit über das Thema zu informieren und zu sensibilisieren (Dark-Sky Switzerland, 2018).

Auch in der Politik stieg das Interesse am Thema. Immer mehr Politiker unterstützen die Meinung, dass unerwünschte Lichtemissionen zu vermeiden sind. Die gesetzlichen Grundlagen dafür sind gegeben, denn in mehreren Gesetzen, unter anderem im Umweltschutzgesetz (USG) steht, dass schädliche oder lästige Einwirkungen vermieden werden sollten. Aufbauend auf diesen Gesetzen gilt es nun, die vollziehenden Behörden zu sensibilisieren und beim Vollzug zu unterstützen.

Des Weiteren sind viele Auswirkungen des künstlichen Lichts noch gar nicht bekannt oder genauer untersucht, da die Forschung in dieser Richtung erst vor kurzer Zeit begonnen hat. Die Wichtigkeit des Themas wurde jedoch erkannt und wird von einigen Wissenschaftlern als eines der wichtigsten Forschungsgebiete des 21. Jahrhunderts bezeichnet.

Komplexe Probleme, wie zum Beispiel die Belastung der Umwelt durch Licht, sind nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung, Politik und Praxis zu lösen. In diesem Zusammenhang sollen in der vorliegenden Bachelorarbeit Grundlagen für eine erste Einschätzung für Politik und Praxis erarbeitet werden.

Ein grosses Interesse am Thema "Künstliche Lichtemissionen" hat der Jurapark Aargau, einer der 15 Regionalen Naturpärke von nationaler Bedeutung der Schweiz. Das Ziel der Regionalen Naturpärke ist die Erhaltung und Aufwertung der Natur- und Kulturwerte, sowie die Förderung einer nachhaltigen Regionalentwicklung im jeweiligen Parkgebiet. Der Jurapark Aargau befasst sich unter anderem spezifisch mit Landschafts- und Siedlungsentwicklung, worunter die Thematik der Lichtemissionen fällt. In diesem Bereich hat sich der Jurapark Aargau zum Ziel gesetzt, eine Strategie zum zukünftigen Umgang mit künstlichen Lichtemissionen im Parkgebiet zu erarbeiten. Dafür fehlte bisher eine grundlegende Bestandaufnahme der Situation. Auch der Kanton Aargau ist an einer ersten Einschätzung interessiert, denn eines seiner Ziele ist, unnötige Lichtemissionen zu vermeiden. Um dies zu erreichen wurde eine kantonale «Arbeitsgruppe Licht» gegründet und eine «Checkliste» für kommunale Bewilligungsbehörden ist in Ausarbeitung.

Als wichtigstes Ziel dieser Bachelorarbeit ist vonseiten Jurapark Aargau und Kanton Aargau eine Kartierung der künstlichen Lichtemissionen im Gebiet des Jurapark Aargau definiert worden. Eine Kartierung ermöglicht die Situation und Entwicklung der Lichtemissionen im Jurapark Aargau zu analysieren. Weiter soll herausgefunden werden, mit welchen Faktoren die Lichtemissionen zusammenhängen. Als weiteres Ziel wurde die Ausscheidung von dunklen Gebieten und Korridoren innerhalb des Parkgebiets definiert, inklusive Untersuchung, ob diese mit einfachen Kriterien ermittelt werden können. Diesbezüglich ist es empfehlenswert, in der Literatur zu recherchieren, ob bereits Erfahrungen mit Dunkelkorridoren bestehen. Von Interesse für den Jurapark Aargau sind auch erste ökologische Einschätzungen. Dabei soll der Fokus auf die Zielarten (in der Artenförderung des Jurapark Aargau berücksichtigt) gelegt werden, bei denen bewiesen wurde, dass diese durch künstliches Licht beeinflusst werden.

Basierend auf den gegebenen Zielen vonseiten des Jurapark Aargau und des Kantons Aargau wurden für die Bachelorarbeit folgende Fragestellungen entwickelt:

- 1) Wie ist die derzeitige Situation und Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen im Jurapark Aargau?
- 2) Gibt es Zusammenhänge der Lichtemissionen mit anderen Faktoren und lassen sich daraus einfache Kriterien für Dunkelheit ableiten?
- 3) Können dunkle Gebiete und Korridore im Offenland ausgeschieden werden?
- 4) Ist es möglich, Aussagen zu den ökologischen Auswirkungen der Lichtemissionen zu treffen?

Die entwickelten Fragestellungen wurden mit Fokus auf das Gebiet des Jurapark Aargau untersucht (siehe Abbildung 1). Der Regionale Naturpark liegt im Kanton Aargau zwischen Aarau, Rheinfelden und Baden. Zum Park gehören 27 Aargauer und eine Solothurner Gemeinde mit einer Gesamtfläche von 241 km² und rund 40'000 Einwohnern (Jurapark Aargau, 2018).

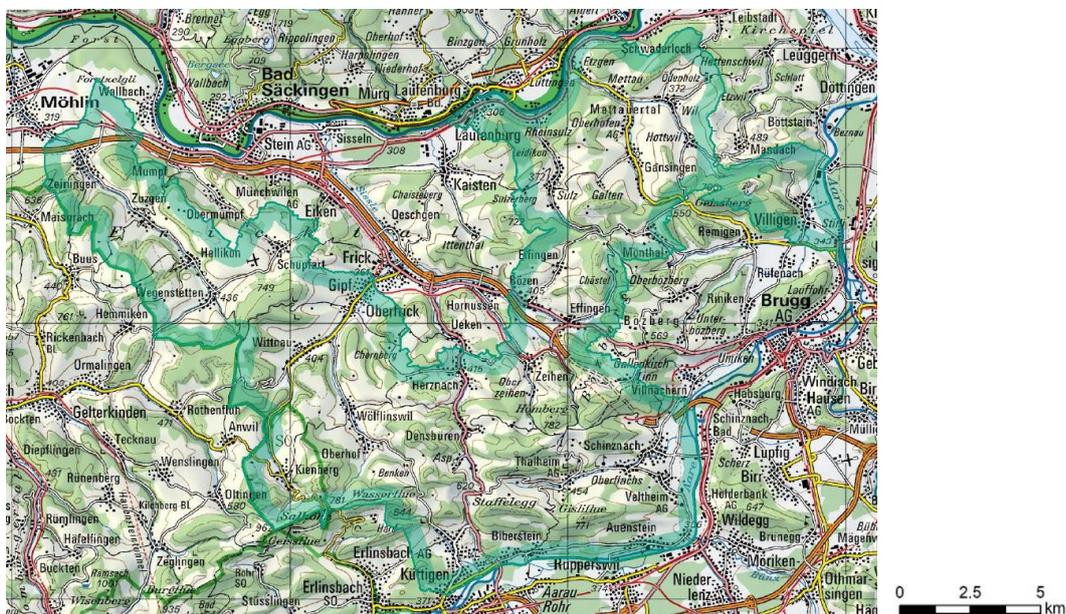


Abbildung 1: Jurapark Aargau (© Netzwerk Schweizer Pärke, 2018)

Da künstliche Lichtemissionen ein grossräumiges Phänomen darstellen und speziell interessante Ergebnisse in Hinsicht auf Städte wie Aarau, Zürich, Basel oder Bern zu erwarten sind, wurde für diese Arbeit ein Untersuchungsgebiet mit einer Grösse von circa 100 x 130 km festgelegt. Dieser Perimeter erstreckte sich von Bern bis Schaffhausen und umfasste somit den gesamten Kanton Aargau, Teile der umliegenden Kantone sowie Teile von Süddeutschland und Frankreich (siehe Abbildung 2).

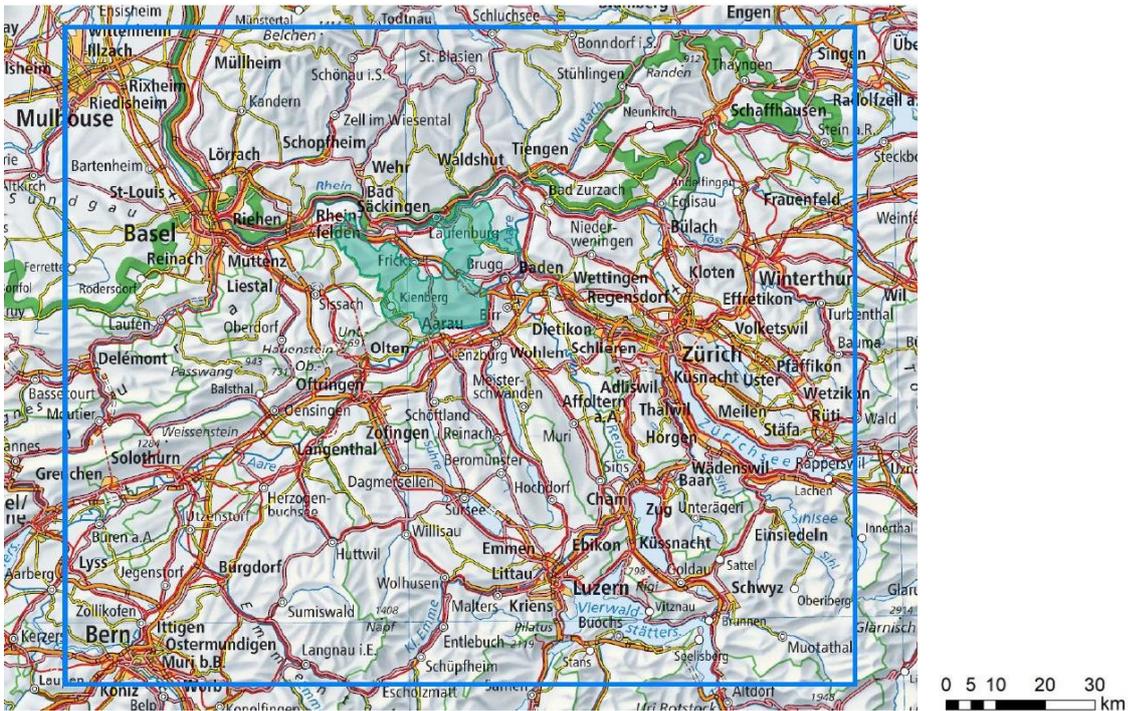


Abbildung 2: Jurapark Aargau in Türkis (© Netzwerk Schweizer Pärke, 2018) und Untersuchungsgebiet in Blau

Um die Fragestellungen zu beantworten, wurden verschiedene methodische Ansätze verwendet. Die vorliegende Arbeit dokumentiert die unterschiedlichen Herangehensweisen und die daraus resultierenden Ergebnisse.

Die Arbeit gliedert sich wie folgt:

- In einem ersten Schritt wurde eine Literaturrecherche zum Thema künstliche Lichtemissionen durchgeführt, um den Status Quo zu erfassen. Ausgewertet wurden sowohl die klassische Literatur aus Wissenschaft und Politik als auch interessante Informationsquellen im Internet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 2 zusammengefasst.
- Für die Kartierung und das Ableiten von Zusammenhängen wurde eine räumliche Datenanalyse durchgeführt. Die dabei zur Verfügung stehenden Daten zu den Lichtemissionen und geografischen Gegebenheiten werden in Kapitel 3 beschrieben.
- Die verschiedenen angewandten Methoden werden in Kapitel 4 vorgestellt. Dazu gehört einerseits die Begehung des Gebietes mit Fotoaufnahmen und ein Besuch bei der Sternwarte Cheisacher, um eigene Eindrücke zu sammeln, und andererseits das Vorgehen bei der räumlichen Datenanalyse.
- Die Ergebnisse der verschiedenen Herangehensweisen werden in Kapitel 5 präsentiert und interpretiert. Im ersten Teil werden die subjektiven Eindrücke beschrieben und im zweiten Teil die Resultate aus der Datenanalyse vorgestellt. Am Schluss dieses Kapitels wird zusammengefasst, bis zu welchem Grad die Fragestellungen beantwortet werden konnten.
- In Kapitel 6 wird diskutiert und reflektiert, ob die verwendeten Methoden geeignet waren und in welchen Bereichen Verbesserungspotential besteht.
- Das abschliessende Fazit in Kapitel 7 fasst die neuen Erkenntnisse zusammen und zeigt Handlungsmöglichkeiten für den Jurapark Aargau auf.

2. Recherche zum Status Quo der Lichtemissionen

Zu Beginn der Arbeit wurde recherchiert, welche Informationen zum Thema künstliche Lichtemissionen bereits bekannt sind. In diesem Kapitel wird zuerst der Stand des Wissens in der Politik und der Wissenschaft beschrieben, danach werden ausgewählte Informationsquellen aus dem Internet vorgestellt.

2.1 Literaturrecherche

Im Jahr 2005 hat das damalige Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) eine Publikation mit «Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen» herausgegeben (BUWAL, 2005). Acht Jahre später hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) im Rahmen des Projektes zur Überwachung der Landschaftsqualität «Landesbeobachtung Schweiz» (LABES) einen Indikator aufgenommen, der die Veränderungen der Lichtemissionen im Aussenraum erfasst (BAFU und WSL, 2013). Die Auswertung dieses Indikators ergab, dass die durchschnittliche Helligkeit der Nacht von 1994 bis 2012 stark zugenommen hat (BAFU und WSL, 2017).

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der künstlichen Lichtemissionen wurde der Bundesrat im Jahr 2009 durch das Postulat Moser beauftragt, die Auswirkungen der Lichtemissionen und mögliche Massnahmen zu untersuchen. Der im Jahr 2012 durch das BAFU veröffentlichte Bericht «Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen» beschreibt die Ergebnisse dieser Untersuchung und zeigt den damaligen Wissensstand auf. Um unerwünschtes Licht zu vermeiden, seien Massnahmen in drei Bereichen nötig: Auf der regulatorischen Ebene (Gesetze und Regulierungen), im Bereich der Forschung und bei der Vollzugsunterstützung / Sensibilisierung zuständiger Behörden (BAFU, 2012a).

Der Umgang mit künstlichem Licht wird in der Schweiz durch mehrere Gesetze geregelt. Dazu gehört unter anderem das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG), das vorschreibt, dass schädliche oder lästige Einwirkungen vermieden werden sollten. Emissionen sollen mit Massnahmen an der Quelle und im Rahmen des Vorsorgeprinzips so weit wie möglich und frühzeitig begrenzt werden (Bund, 1983). Weitere Vorgaben finden sich im Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG), im Jagdgesetz (JSG) und im Fischereigesetz (BGF). Es existieren jedoch keine Erlasse, die diese Gesetze konkretisieren (BAFU, 2012a). Bisher gibt es noch keine Richt- oder Grenzwerte zur Beurteilung, ob eine Emission schädlich oder lästig und deshalb zu vermeiden ist. Es ist jedoch bekannt, wie sich unerwünschte Lichtemissionen vermeiden lassen und es existieren Empfehlungen für die Installation von Beleuchtungsanlagen. Im Jahr 2013 wurde die SIA-Norm 491 «Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum» veröffentlicht, die sich an Private, aber auch an Behörden richtet. Bei jeder Lichtquelle sollen folgende fünf Punkte einer Checkliste untersucht werden:

1. Notwendigkeit
2. Ausrichtung
3. Lichtlenkung
4. Helligkeit
5. Lichtsteuerung

Auch in der «Vollzugshilfe Lichtemissionen» des BAFU wird ein Sieben-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen aufgezeigt. Beurteilt werden sollen die Notwendigkeit, das Zeitmanagement und die Steuerung, die Intensität und die Helligkeit, das Lichtspektrum und die Lichtfarbe, die Auswahl und Platzierung der Leuchten, die Ausrichtung sowie die Abschirmung (BAFU, 2017b).

Forschung ist nötig, um die Auswirkungen der Lichtemissionen detaillierter (z.B. in Hinblick auf einzelne Tierarten) zu bestimmen, technische Neuerungen wie LEDs (Light-Emitting Diodes) zu berücksichtigen und um Lösungen zu suchen (BAFU, 2012a). In der Wissenschaft wird von «Light pollution» oder «Artificial Light at Night» (ALAN) gesprochen. Davies und Smyth nennen zehn Gründe, weshalb die Forschung über künstliches Licht ein Fokus der Forschung über globale Veränderungen im 21. Jahrhundert sein sollte (Davies & Smyth, 2017). Der zunehmende Bedarf an Untersuchungen der Thematik spiegelt sich in einer stetigen Zunahme der Publikationen seit Beginn des 21. Jahrhunderts wider.

Eindeutig bewiesen ist, dass die künstlichen Lichtemissionen in den letzten Jahren weltweit zugenommen haben. Falchi et al. (2016) berechneten anhand von Satellitenbildern einen Weltatlas der künstlichen Himmelhelligkeit in der Nacht. Sie kamen zu den Ergebnissen, dass 83% der Weltbevölkerung unter einem durch Licht verschmutzten Himmel lebt und die Milchstrasse für mehr als einen Drittel der Weltbevölkerung nicht mehr sichtbar ist. Flächenmässig seien 23% der Erdoberfläche zwischen 75° Nord und 60° Süd von Lichtverschmutzung betroffen (Falchi et al., 2016). Kyba et al. (2017) konnten ebenfalls zeigen, dass die künstlich erhellte Fläche zwischen 2012 und 2016 um 2.2% pro Jahr zunahm. Eine Unsicherheit bei der Quantifizierung der Zunahme der Lichtemissionen entsteht durch die «blue blindness». Diese tritt bei VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) Sensoren auf, die kurze Wellenlängen nicht registrieren können. Dies führt dazu, dass der Einfluss der LEDs als Emissionsquelle nicht richtig erfasst werden kann, da diese in einem Wellenlängenbereich unter 500 nm abstrahlen (Kyba et al., 2017).

Die Wissenschaft ist sich einig, dass die Veränderung der Beleuchtungstechnologie (von herkömmlichen Glühbirnen zu LEDs) eine Lösungschance zum Problem der Lichtverschmutzung bietet, aber gleichzeitig auch eine Gefährdung mit sich bringt: LEDs haben eine viel höhere Energieeffizienz als herkömmliche Lampen und können gezielter gesteuert werden, was eine grosse Energie- und Geldeinsparung ermöglichen würde. Sie könnten jedoch auch dazu führen, dass anzahlmässig mehr Lichtquellen installiert werden und es zu einem sogenannten «Rebound Effect» kommt. Bereits bewiesen wurde, dass LEDs zu einer erhöhten Himmelhelligkeit («skyglow») führen, da kürzere Wellen stärker gestreut werden. Noch untersucht wird, was die Veränderung der Wellenlänge für biologische Prozesse bedeutet (Kyba, 2018).

Bereits lange Zeit wurde vermutet, dass künstliches Licht grosse ökologische Auswirkungen hat. Im Jahr 2004 haben Longcore und Rich in einem Review beschrieben, was unter ökologischer Lichtverschmutzung zu verstehen ist. Sie deklarierten neben der künstlichen Erhellung auch unerwartete Veränderungen des Lichts, die sich nicht nach dem natürlichen Rhythmus von Tag und Nacht richten, als problematisch. Sie zeigten auf, dass künstliches Licht verschiedenste Auswirkungen auf Tiere haben kann, z.B. auf die Orientierung, die Kommunikation, die Futtersuche aber auch auf die Fortpflanzung (Longcore & Rich, 2004).

Viele dieser Auswirkungen konnten unterdessen bewiesen werden. Die Liste der betroffenen Tierarten wird immer länger und umfasst mittlerweile Vögel, Fledermäuse, Amphibien, Meeresschildkröten, Beuteltiere, Nagetiere, Süs- und Salzwasserrische, Motten, Käfer, Spinnen, Asseln, Ameisen, aber auch Krustentiere wie Krebse, Korallen und auch terrestrische Pflanzen. Zusätzlich ist bewiesen, dass die Auswirkungen des Lichts noch vielfältiger sind, als angenommen wurde. Beeinflusst werden beispielsweise die Habitatswahl, Räuber-Beute Beziehungen, der circadiane Rhythmus (Tagesrhythmus) bis hin zu der Phänologie der Pflanzen und ganzen Ökosystemdienstleistungen. Es ist wahrscheinlich, dass künstliches Licht zu grossen Populationsverlusten führen wird (Davies & Smyth, 2017).

Die umfassende Aufzählung betroffener Tierarten, lässt sich dadurch erklären, dass es viele nachtaktive Tierarten gibt. 30% aller Wirbeltiere und mehr als 60% aller Wirbellosen haben sich an das Leben in der Nacht angepasst (Hölker et al., 2010). Zusätzlich dazu sind künstliche Lichtemissionen im Zeitrahmen der Evolution betrachtet ein erst sehr kürzlich auftretender und rapid zunehmender Stressfaktor. Dies erschwert vielen Tierarten sich anzupassen (Davies & Smyth, 2017). Zusammenfassend sind die Auswirkungen auf einzelne Tierarten und deren direkte Ökosystemfunktionen relativ einfach zu untersuchen. Es konnte beispielsweise gezeigt werden, dass künstliches Licht eine Gefährdung der Bestäubung (Knop et al., 2017) und der Verteilung von Pflanzensamen durch Fledermäuse darstellt (Lewanzik & Voigt, 2014). Sehr viel schwieriger ist es hingegen, ganze Ökosystemprozesse zu untersuchen und Auswirkungen vorherzusagen.

Immer mehr untersucht werden Auswirkungen des künstlichen Lichts auch auf den Menschen. Bisher fokussierte sich die Forschung in diesem Bereich auf künstliche Beleuchtung im Innenraum. Bereits belegt wurde, dass vor allem kurzwelliges Blaulicht von LEDs zu einer Unterdrückung des Schlafhormons Melatonin und einer Störung des circadianen Rhythmus führt (Cajochen et al., 2011) und (Chang et al., 2015). Es wurde gezeigt, dass Künstlichem-Licht-ausgesetzt-Sein mit verschiedenen gesundheitlichen Problemen in Verbindung gebracht werden kann. Dazu gehören unter anderem Schlafstörungen, Depressionen, Dickleibigkeit, aber auch Krebs (Davies & Smyth, 2017). Neben den körperlichen Auswirkungen kann künstliches Licht auch dazu führen, dass die nächtliche Landschaft nicht mehr in ihrer natürlichen Art erlebt werden kann. Dies führt zu einer Naturentfremdung, die von Miller (2005) als «Extinction of Experience» beschrieben wurde.

Da die Auswirkungen des künstlichen Lichts sehr vielfältig sind, schliessen sich immer mehr Forschende zu interdisziplinären Forschungsverbänden zusammen. Ein Beispiel dafür ist das europäische Netzwerk [Loss of the Night Network](#) (LoNNe) oder der Forschungsverbund [Verlust der Nacht](#) in Deutschland. Weil auch in der Bevölkerung das Bewusstsein gewachsen ist und die Forschenden nicht nur auf Satellitendaten angewiesen sein möchten, gibt es auch bereits einige Citizen Science Projekte, bei denen die Bevölkerung mithilft, Daten zu sammeln. Ein Beispiel dafür ist [Loss of the Night](#), bei dem mit einer Smartphone-Applikation berichtet werden kann, wie viele Sterne von einem Punkt aus sichtbar sind. Für das Smartphone gibt es des Weiteren auch schon unzählige Apps, mit denen sich die Lichtstärke messen lässt.

Die künstlichen Lichtemissionen unterscheiden sich von anderen Arten der Umweltverschmutzung dadurch, dass sich das Problem auf einen Schlag lösen liesse, indem alle Lichter ausgeschaltet würden. Dabei würden auch keine verzögerten Auswirkungen auftreten, wie zum Beispiel der weitere Anstieg der Temperatur beim Klimawandel, auch wenn keine Treibhausgase mehr emittiert werden würden (Davies & Smyth, 2017). Trotzdem sollte die Angelegenheit jedoch auf eine andere Art und Weise und so schnell als möglich angegangen werden, da einige der Konsequenzen nicht mehr rückgängig zu machen sein werden, z.B. der Artenverlust (Falchi et al., 2016). Ein Beschluss zur Ausschaltung aller Lichter ist unwahrscheinlich, weil das künstliche Licht auch sehr viele Vorteile für die Gesellschaft mit sich bringt. Gaston et al. (2015) nennen als wichtigsten Gewinn mehr Zeit für Arbeit und soziale Aktivitäten. Zusätzlich existiert die starke Überzeugung, dass künstliches Licht die Sicherheit erhöhe, indem Kriminalität und Strassenunfällen vorgebeugt wird. Dafür gibt es jedoch bisher keine wissenschaftlichen Beweise. In einer Studie in England wurden die Auswirkungen von vier Strassenbeleuchtungs-Anpassungsstrategien (ausschalten, zeitweise beleuchten, dimmen und weisses Licht/LEDs) untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass keine dieser Strategien zu erhöhter Kriminalität oder mehr Unfällen führte. Die Autoren kommen daher zum Schluss, dass lokale Autoritäten, falls sie die Risiken sorgfältig bedenken, die Strassenbeleuchtung ohne Einbusse der Sicherheit reduzieren

können. Dadurch könnten Energie und Geld gespart und die Kohlenstoff-Emissionen reduziert werden (Steinbach et al., 2015).

Die Schlüsselherausforderung in der Zukunft wird sein, die Vorteile (Möglichkeit für Aktivitäten in der Nacht und Sicherheit) des künstlichen Lichts zu maximieren, aber gleichzeitig die Kosten (finanziell, ökologisch, gesundheitlich) zu begrenzen (Gaston, K. J. et al., 2015). Dazu gehört, Licht nur dort einzusetzen, wo dies wirklich nötig ist und unerwünschte Abstrahlungen zu vermeiden. Konkrete Massnahmen sind bekannt, müssen jedoch noch umgesetzt werden. Dafür ist eine engere Zusammenarbeit zwischen Forschung, Politik und Praxis nötig (Gaston, K. J. et al., 2015).

2.2 Internetrecherche

Zusätzlich zu der Literaturrecherche wurde im Internet nach ergänzenden Informationen gesucht. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Informationen präsentiert.

2.2.1 Astronauten-Fotografie

Die National Aeronautics and Space Administration (NASA) bietet auf ihrer Homepage Fotos an, die von Astronauten der International Space Station (ISS) aufgenommen wurden (NASA, 2018). Die Fotos sind in einem [Katalog](#) zusammengefasst, damit man schneller das gewünschte Bild findet (Carto, 2018). Die Bilder sind nicht flächendeckend und wurden oft nur einmalig zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommen.

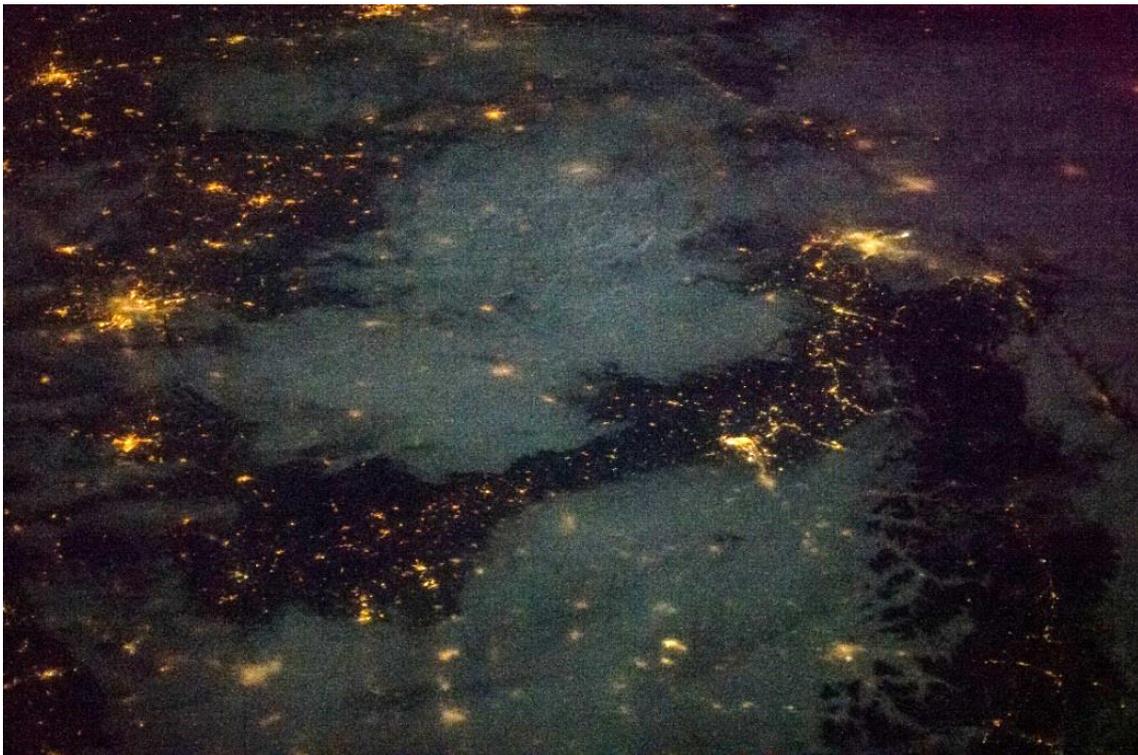


Abbildung 3: Astronautenfoto ISS-041-E-66447 (NASA), 04.10.2014, 20:54 GMT (aufgehell)

Abbildung 3 zeigt ein von Astronauten der ISS am 04.10.2014 aufgenommenes Foto, in dessen Mitte der Jurapark Aargau liegt. Das Bild wurde mit Microsoft Word aufgehellt, um den Kontrast zu erhöhen. Gut erkennbar sind die hellen Städte, rechts in der unteren Hälfte Aarau und in der oberen Hälfte Zürich, am linken mittleren Bildrand Basel. Trotz der schwachen Wolken ist erkennbar, dass der Jurapark Aargau, der sich zwischen diesen drei Städten befindet, relativ dunkel ist.

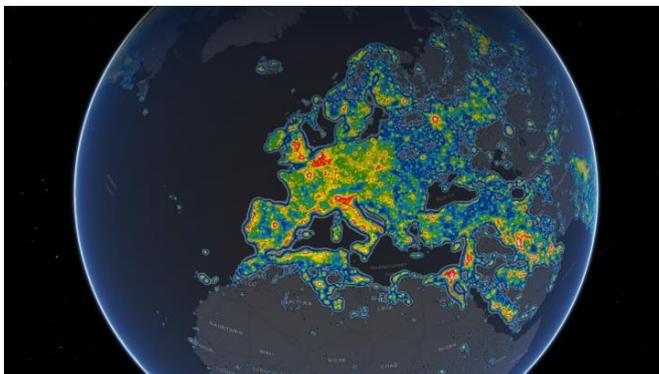
2.2.2 The New World Atlas of Artificial Sky Brightness

Das Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES) bietet auf seiner Homepage eine zoombare Karte der künstlichen Himmeshelligkeit an (CIRES, 2018). Die Karte basiert auf den Daten von Fabio Falchis New World Atlas of Artificial Sky Brightness aus dem Jahr 2010. Für eine erste Einschätzung der Situation wurde die realitätsnahe [3D Globe Version](#) konsultiert. Die Legende zu der nachfolgenden Abbildung 4 wird in Tabelle 1 dargestellt.

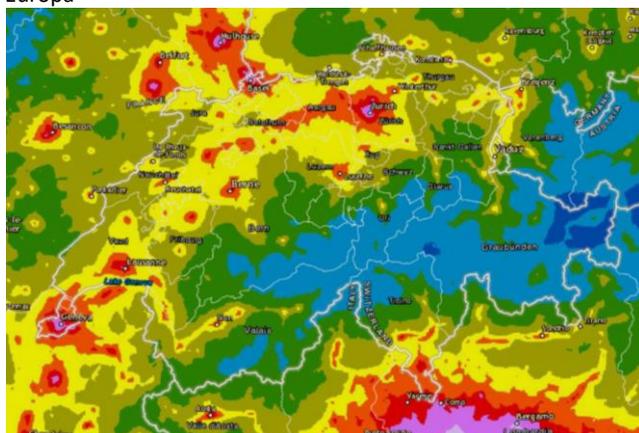
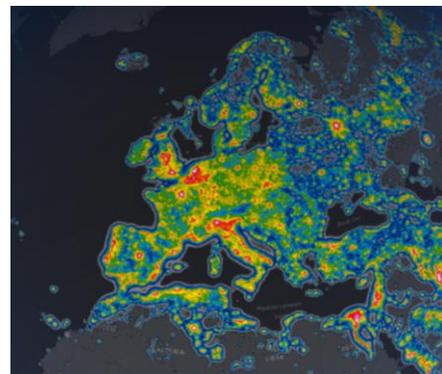
Tabelle 1: Legende zum New World Atlas of Artificial Sky Brightness (CIRES)

Ratio to natural brightness	Artificial brightness ($\mu\text{cd}/\text{m}^2$)	Approximate total brightness (mcd/m^2)	Color
<0.01	<1.74	<0.176	Black
0.01–0.02	1.74–3.48	0.176–0.177	Dark gray
>0.02–0.04	>3.48–6.96	>0.177–0.181	Gray
>0.04–0.08	>6.96–13.9	>0.181–0.188	Dark blue
>0.08–0.16	>13.9–27.8	>0.188–0.202	Blue
>0.16–0.32	>27.8–55.7	>0.202–0.230	Light blue
>0.32–0.64	>55.7–111	>0.230–0.285	Dark green
>0.64–1.28	>111–223	>0.285–0.397	Green
>1.28–2.56	>223–445	>0.397–0.619	Yellow
>2.56–5.12	>445–890	>0.619–1.065	Orange
>5.12–10.2	>890–1780	1.07–1.96	Red
>10.2–20.5	>1780–3560	>1.96–3.74	Magenta
>20.5–41	>3560–7130	>3.74–7.30	Pink
>41	>7130	>7.30	White

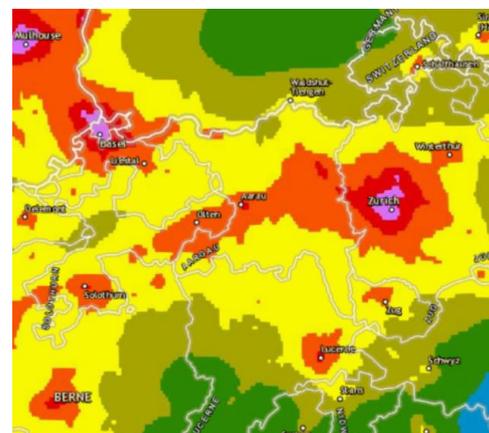
In Abbildung 4 wird die Situation der künstlichen Lichtemissionen, in verschiedenen Massstäben dargestellt. Es ist ersichtlich, dass Europa generell sehr hell erleuchtet ist, beispielweise im Vergleich mit Afrika. Die Schweiz ist ähnlich hell erleuchtet wie andere Länder Mitteleuropas, auffallend hell sind jedoch die Niederlande und das Gebiet rund um Mailand.



Europa



Schweiz



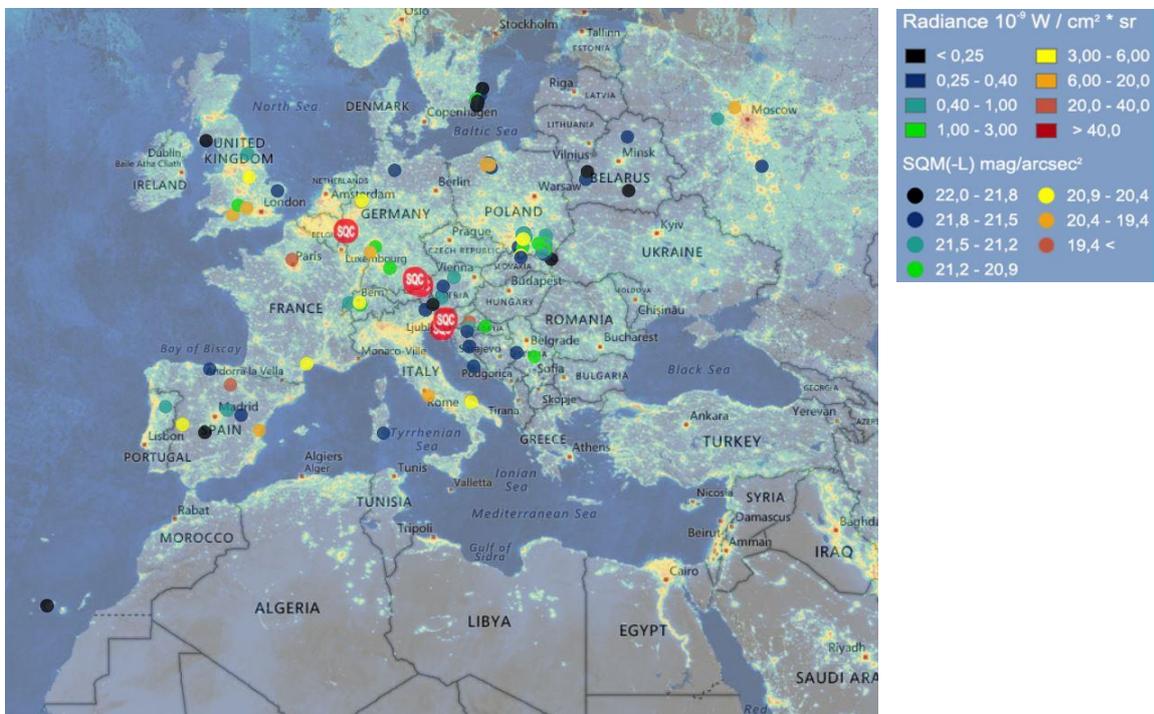
Untersuchungsgebiet

Abbildung 4: 3D Globe Version des New World Atlas of Artificial Sky Brightness (CIRES)

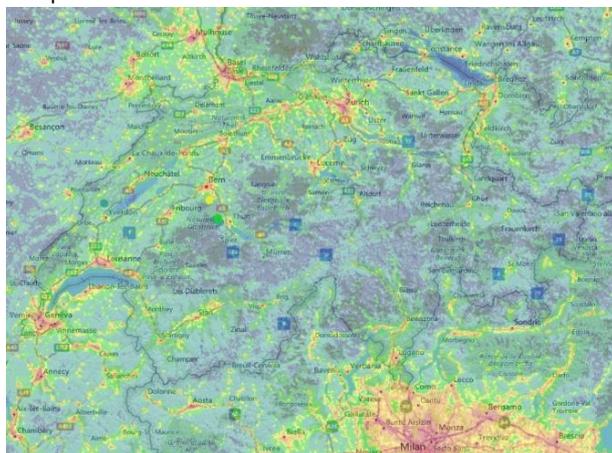
Bei der genaueren Betrachtung eines kleineren Gebietes in Abbildung 4 fällt auf, dass es auch innerhalb der Länder grosse Unterschiede gibt. In der Schweiz schneidet vor allem der Alpenraum gut ab, das Mittelland und der Jura hingegen mittelmässig bis schlecht. Innerhalb des Untersuchungsgebietes ist erkennbar, dass sich der Jurapark Aargau in einem gelb klassifizierten Gebiet befindet. Dies bedeutet eine mittelmässige Belastung mit zwischen 1.2 bis 2.5-mal mehr Lichtemissionen als die natürliche Helligkeit. Das Mittelland hingegen ist stärker belastet, die Städte erreichen sogar die zweithöchste Stufe mit einer zwischen 20.5 und 41-fach erhöhten Belastung.

2.2.3 Light Pollution Map

Die [Light Pollution Map](#) wurde von Jurij Stare (2018) entwickelt. Sein Ziel war es, VIIRS-, DMSP- und World Atlas-Daten nutzerfreundlich als Karte online darzustellen. Die VIIRS- und DMSP-Daten sind von der NOAA (siehe Kapitel 3.1) und die World Atlas-Daten von Falchi et al. (2016). Zusätzlich können auch Sky Quality Meter-Messungen (SQM) und Bilder von Sky Quality Cameras (SQC) von verschiedenen Standorten eingeblendet werden.



Europa



Schweiz



Untersuchungsgebiet

Abbildung 5: Light pollution map (Jurij Stare)

Abbildung 5 zeigt die Situation anhand der aktuellsten verfügbaren VIIRS-Daten und SQM-Messungen aus dem Jahr 2018. Die Ergebnisse sind fast gleich wie diejenigen des World Atlas (siehe Abbildung 4), jedoch mit einer etwas höheren Auflösung. Der Jurapark Aargau befindet sich in einem dunkel- bis hellgrünen Gebiet, dies entspricht laut der Legende einer mittleren Belastung mit einer Radianz zwischen 0.4 und $3 \cdot 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$. Die Städte Zürich und Basel erreichen sogar die höchste Stufe der Belastung. Bei der Betrachtung des Untersuchungsgebietes ist gut zu erkennen, dass die Lichtemissionen sehr gestreut auftreten. Es scheint auch einen Zusammenhang zwischen den Lichtemissionen und der Topografie zu geben, denn am hellsten ist es in den Ebenen und in den Tälern.

3. Datengrundlage

Nachfolgend werden die für die Analyse des Ist-Zustandes und der Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen verwendeten Daten beschrieben und verglichen. Anschliessend werden die Geodaten erläutert, die für die Analyse beigezogen wurden.

3.1 Lichtemissionsdaten

Die National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ist eine Dienststelle des U.S. Department of Commerce (amerikanische Wirtschaftsbehörde). Ihr Ziel ist es, Daten für die Wissenschaft und den privaten Gebrauch zur Verfügung zu stellen (NOAA, 2018). Dieser Behörde unterstehen verschiedene Büros, unter anderem der National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS). Das Ziel des NESDIS ist die Gewährleistung eines sicheren und aktuellen Zugangs zu Umweltdaten und Satelliteninformationen (NESDIS, 2018).

Da die Umfrage nach Umweltdaten (gemessene Umweltgrössen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, etc.) in den letzten Jahren stark angestiegen ist, wurden die drei Datenzentren der NOAA namens National Geophysical Data Center (NGDC), National Climatic Data Center (NCDC) und National Oceanographic Data Center (NODC) im Jahr 2015 zu den National Centers for Environmental Information (NCEI) zusammengeschlossen. Dieses Zentrum speichert nun Datenbanken mit sehr vielfältigen Daten und macht diese für Privatindustrie, Regierungen, Wissenschaft und die Öffentlichkeit zugänglich (NCEI, 2018). Die Earth Observation Group (EOG), eine Unterabteilung des NCEI, beschäftigt sich mit der Beobachtung der Erde vom Weltraum aus. Die EOG bietet verschiedene Datensätze an, die auf der Homepage unter [Data Download](#) gratis beziehbar sind (EOG, 2018a). Für die vorliegende Arbeit wurden zwei unterschiedliche Datensätze der NOAA verwendet, die im Folgenden genauer vorgestellt werden.

3.1.1 LABES-Daten

Um die Entwicklung der Lichtemissionen zu untersuchen, wurden Daten von 1992 bis 2012 des Projekts Landesbeobachtung Schweiz (LABES) von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) verwendet. Neben der WSL ist auch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) an LABES beteiligt. Dieses Monitoringprogramm erfasst seit 2007 den Zustand der Schweizer Landschaft anhand verschiedener Indikatoren. Der Indikator «Lichtemissionen» (Nr. 14) zeigt die Belastung der Landschaft durch künstliche Lichtemissionen seit 1992 (BAFU und WSL, 2013).

Im Auswertungsprotokoll für Indikator 14 ist beschrieben, wie dessen Daten berechnet wurden. Als Ausgangslage dienten Satellitenbilder des Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), die mit dem Operational Linescan System (OLS) aufgenommen wurden. Die Bilder wurden vom damaligen NGDC bearbeitet, unter anderem wurde Sonnen- und Mondlicht herausgerechnet und Beobachtungen mit Wolken ausgeschlossen. Um Schwankungen (der Messungen oder durch vorübergehende Ereignisse) auszugleichen, hat das NGDC Helligkeitsmittelwerte für jedes Jahr berechnet. Diese Jahresmittelwerte sind von 1992 bis 2013 erhältlich. Gewisse Unsicherheiten entstanden dadurch, dass zwischen 2009 und 2010 der messende Satellit ausgewechselt wurde.

Um weitere Schwankungen abzuschwächen, hat die WSL die Daten weiterbearbeitet. Sie mittelte die Daten jeweils zeitlich über drei Jahre und räumlich über 3 x 3 Zellen. Die Daten wurden in das Schweizerische Landeskoordinatensystem projiziert und in ein Raster mit der Zellgrösse 1 x 1 km umgerechnet (Kienast F., 2014). Eine Übersicht über die einzelnen LABES-Datensätze befindet sich im Anhang (siehe Tabelle I).

3.1.2 VIIRS-Daten

Um die aktuelle Situation der Lichtemissionen sowie Zusammenhänge mit Infrastruktur, Relief und Wald zu ergründen, wurden Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Daten vom Day/Night Band (DNB) der EOG verwendet. Die EOG bietet seit 2012 verschiedene Versionen der Daten an, unter anderem eine Komposition, bei der die Wolken und das Streulicht herausgerechnet wurden. Die Daten werden als monatliche Datensätze angeboten, umfassen die ganze Erdoberfläche und sind in sechs Kacheln aufgeteilt. Europa befindet sich in Kachel 2 (75N/060W). Die Kacheln sind trotzdem noch relativ gross und müssen aufbereitet werden.

Freundlicherweise hat Dr. James Hale (Institut Ecology and Evolution der Universität Bern) für die vorliegende Arbeit Daten von seiner Studie zu Lichtemissionen im Naturpark Gantrisch im Jahr 2017 zur Verfügung gestellt. Für die Studie hat er VIIRS-Daten von 2014 bis Mitte 2017 auf das Gebiet der Schweiz zugeschnitten und in das schweizerische Landeskoordinatensystem CH1903 LV03 projiziert. Zusätzlich wurden die Daten in eine Zellgrösse von 500 x 500 m umgerechnet, da die Rasterzellen der ursprünglichen Daten nicht alle die gleiche Grösse hatten. Eine Übersicht über die einzelnen VIIRS-Datensätze befindet sich im Anhang (siehe Tabelle II).

3.1.3 Gegenüberstellung von VIIRS- und LABES-Daten

Die verwendeten VIIRS- und LABES-Datensätze unterscheiden sich in einigen Punkten wie Tabelle 2 zeigt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der verwendeten Lichtemissionsdaten

Eigenschaft	LABES	VIIRS
Zeitraum	1992 bis 2012	2014 bis Mitte 2017
Periodizität	jährlich, gemittelt über drei Jahre	monatlich
Schwankungen	minim	stark
Auflösung	1x1 km	500x500 m
Wellenlänge	400-1100 nm	ab 500 nm

Die LABES-Daten decken die Jahre von 1992 bis 2012 ab, die aktuelleren VIIRS-Daten erstrecken sich von Jahresbeginn 2014 bis Mitte 2017. Dass sich die Daten zeitlich nicht überschneiden, erschwert einen Vergleich. Zusätzlich zum Zeitraum unterscheiden sich die Daten auch in ihrer Periodizität, die LABES-Daten sind Jahresmittelwerte, die VIIRS-Daten hingegen monatliche Messungen. Weil die LABES-Daten gemittelt wurden, weisen sie höchstens kleinere Schwankungen auf. Bei den VIIRS-Daten hingegen gibt es extreme Ausreisser-Werte und grosse Unterschiede zwischen einzelnen Monaten.

Eine weitere Eigenschaft, in der sich die Datensätze unterscheiden, ist die Auflösung. Die LABES-Daten besitzen Rasterzellen mit einer Grösse von 1 x 1 km, die VIIRS-Daten hingegen Zellen von 500 x 500 m. Daher sind die LABES-Daten für eine grossräumige Analyse geeignet, die VIIRS-Daten eher für eine regionale Betrachtung.

Der wichtigste Unterschied sind die verschiedenen Wellenlängenbereiche, die von den Sensoren registriert werden. Der Sensor des OLS, von dem die LABES-Daten stammen, ist sensitiv zu Strahlen mit einer Wellenlänge zwischen 400 und 1100 nm (EOG, 2018b). Der VIIRS-Satellit hingegen kann nur Wellenlängen ab 500 nm erkennen. Dies führt dazu, dass dieser Satellit kein blaues Licht (ca. 400 – 500 nm) registrieren kann, was auch als «blue blindness» bezeichnet wird (Falchi et al., 2016). LEDs emittieren vor allem im kurzwelligen Bereich um 400 nm, deren Licht wird deshalb bei den LABES-Daten erfasst, bei den VIIRS-Daten hingegen nicht.

3.2 Weitere Geodaten

Für die Analysen, die über die Untersuchung der gemessenen Lichtemissionen hinausgingen, wurden weitere Geodaten verwendet. Eine Übersicht über die einzelnen Datensätze befindet sich im Anhang (siehe Tabelle IV).

Folgende Geodaten verschiedener Institutionen waren erhältlich und konnten in die Analysen einbezogen werden:

- Das BAFU bietet auf seiner Internetseite kostenlose Geodaten zum Download an (BAFU, 2018). Für diese Arbeit wurde der Datensatz mit den Perimetern aller Regionalen Naturpärke der Schweiz verwendet.
- Im Rahmen des Projektes geodata4edu stellt die Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) Daten von verschiedenen Anbietern für Forschungszwecke bereit (HSR, 2019). Für diese Arbeit wurden via geodata4edu Daten des BAFUs (Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung), des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo (Landesgebiet, Kantonsgebiet, Hoheitsgebiet, Gebäude und Relief) und des Kantons Aargau (Kantons- und Nationalstrassennetz, Bahnlinien, Waldflächen, Fledermausquartiere, Bachkataster, Auengebiete und ornithologisch wertvolle Gebiete) bezogen und verwendet.
- Von der GIS-Stelle des Kantons Aargau wurde ein Datensatz zur Beleuchtung der Kantonsstrassen zur Verfügung gestellt.
- Das Geodatenportal des Kantons Aargau (AGIS) stellt auf Anfrage Daten bereit (Kanton Aargau, 2018). Für diese Arbeit wurden die Datensätze «Wildtierkorridore» und «Überregionale Ausbreitungsachse für Wildtierkorridore» bezogen.
- Vom Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer (BVUALG) des Kantons Aargau wurde zudem ein Datensatz des Pilotprojektes der Ökologischen Infrastruktur im Jurapark Aargau zur Verfügung gestellt.

4. Methodik

Neben der Literatur- und Internetrecherche wurden verschiedene Ansätze gewählt, um die Situation der künstlichen Lichtemissionen im Jurapark Aargau zu untersuchen. Einerseits wurden eigene Eindrücke mit Fotoaufnahmen vor Ort und einem Besuch der Sternwarte gesammelt, und andererseits wurde eine räumliche Analyse anhand von digitalen Geodaten durchgeführt. Das Vorgehen bei den verschiedenen Ansätzen wird in diesem Kapitel beschrieben.

4.1 Eigene Begehung mit Fotoaufnahmen

Um die Situation der künstlichen Lichtemissionen im Park nicht ausschliesslich anhand von Satellitendaten zu untersuchen, wurden persönliche Eindrücke gesammelt. Dafür wurde das Parkgebiet in der Nacht begangen. Als Fotostandorte wurden zwei Aussichtspunkte in verschiedenen Regionen des Jurapark Aargau ausgewählt, einerseits die Wasserflue auf der ersten Jurakette am südlichen Rand des Parks und andererseits der Aussichtsturm Cheisacher im Nordosten (siehe Abbildung 6).

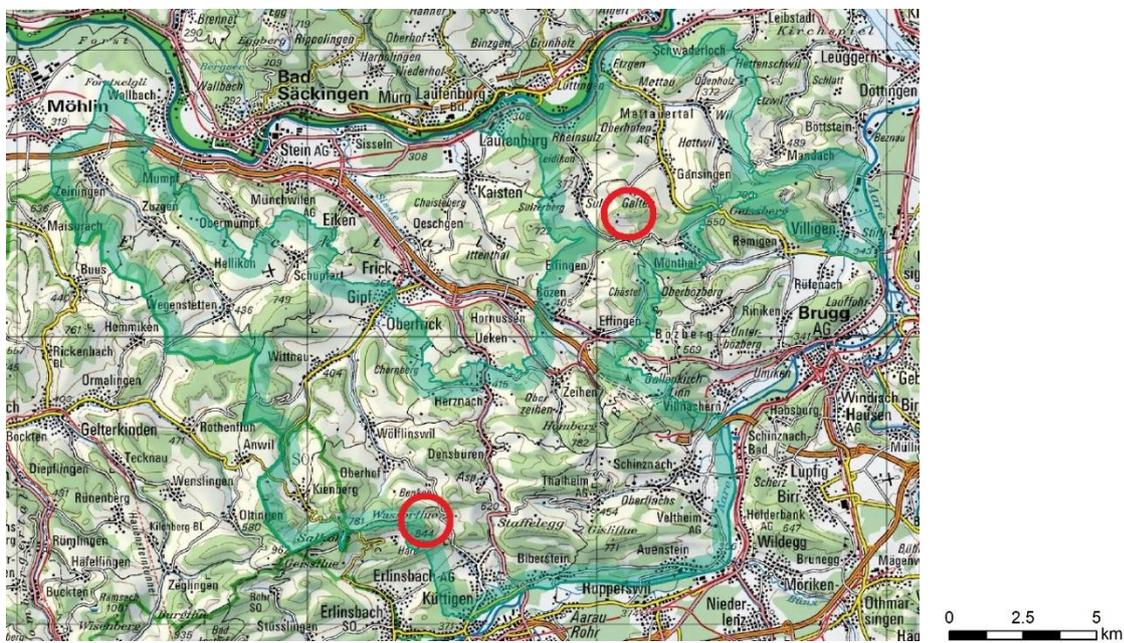


Abbildung 6: Jurapark Aargau (© Netzwerk Schweizer Pärke, 2018) mit den Fotostandorten

4.1.1 Wasserflue

Die Wasserflue ist ein Aussichtspunkt (2'644'204 E, 1'253'410 N) auf der ersten Jurakette in der Nähe von Aarau, die von der Salhöhe aus erreichbar ist. Die Begehung fand am 24.04.2018 statt. Für die Nachtaufnahmen wurde eine Kamera mit einem lichtsensitiven Objektiv für normale Winkel und einem weniger lichtsensitiven Weitwinkelobjektiv verwendet. Damit die einzelnen Lichtpunkte gut unterscheidbar sind, wurde ein tiefer ISO-Wert (50) eingestellt, jedoch mit einer langen Belichtungsdauer (20-30 Sekunden). Während den Aufnahmen durfte die Kamera möglichst nicht erschüttert werden, deshalb kamen ein Stativ und ein Fernauslöser zum Einsatz. Etwas problematisch war der starke Wind, der manchmal die Aufnahmen verwackelt hat. Die Fotos wurden als RAW-Dateien gespeichert und in Lightroom (Adobe) bearbeitet. Es war möglich, die Fotos so zu bearbeiten, dass die Konturen des Geländes sichtbar (d.h. heller) wurden und gleichzeitig die Lichtquellen erkenntlich blieben. Dadurch wurde erkennbar, woher die Lichtemissionen stammen und wie diese mit der Topografie der Landschaft zusammenhängen.

4.1.2 Aussichtsturm Cheisacher

Der Aussichtsturm Cheisacher liegt auf der Anhöhe Cheisacher im Nordosten des Jurapark Aargau (2'650'991, 1'264'388) und gehört zu der Gemeinde Gansingen. Die Begehung fand am 04.05.2018 statt. Zum Fotografieren wurde eine andere Kamera als auf der Wasserflue verwendet, da die Kameras von zwei verschiedenen Personen zur Verfügung gestellt worden waren. Die Fotos der Cheisacher-Begehung wurden als JPEG gespeichert und konnten daher nicht in Lightroom bearbeitet werden. Damit die Konturen des Parks jedoch trotzdem etwas erkennbar wurden, sind sie in Microsoft Word aufgehellt worden.

4.2 Besuch der Sternwarte Cheisacher

Am 04.05.2018, vor dem Fotografieren vom Aussichtsturm Cheisacher aus, durfte ich am Monatstreff des Vereins der Sternwarte Cheisacher teilnehmen. Die Vereinsmitglieder haben mich sehr freundlich in ihrem Vereinslokal empfangen und mir als Erstes Tipps zum Fotografieren in der Nacht gegeben. An diesem Abend war es leider zu bedeckt, um mit dem Teleskop den Himmel zu beobachten, jedoch wurde mir das Teleskop mit Stolz gezeigt. Um etwas über die Situation und Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen im Gebiet des Jurapark Aargau zu erfahren, hatte ich mir einige Fragen überlegt, z.B. ob es in der letzten Zeit schwieriger geworden sei, den Himmel zu beobachten und ob begrüsst würde, die Lichtemissionen zu begrenzen. Am Gespräch haben sich mehrere der Vereinsmitglieder beteiligt und auch manchmal verschiedene Meinungen ausgedrückt. Während dem Gespräch habe ich nachgefragt, wenn etwas unklar war und die Fragen spontan erweitert, da auch Aspekte angesprochen wurden, die mir noch unbekannt waren.

4.3 Methodische Ansätze für die räumliche Datenanalyse

Alle Aufbereitungen und Auswertungen der in Kapitel 3 beschriebenen Daten wurden mit ArcGIS 10.5.1 (Esri, 2017) durchgeführt. Entwickelt wurde ArcGIS vom Environmental Systems Research Institute (Esri) für die Bearbeitung und Untersuchung von Daten mit einem räumlichen Bezug.

4.3.1 Aufbereitung der Lichtemissionsdaten

Die Lichtemissionsdaten lagen als Rasterdaten vor. Dies bedeutet, dass ein Datensatz aus vielen Zellen mit Koordinaten besteht, die jeweils einen Wert beinhalten. Die LABES-Daten mussten nicht weiterbearbeitet werden, da sie bereits von der WSL räumlich und zeitlich gemittelt worden waren (siehe Kapitel 3.1.1). Die Werte lagen bei allen Datensätzen zwischen 0 (keine Lichtemissionen) und 500 (hellste Lichtemissionen).

Die VIIRS-Datensätze hingegen hatten sehr unterschiedliche Maximalwerte (zwischen 220 und 4370). Die Datensätze wurden dadurch sehr unterschiedlich dargestellt und konnten nicht untereinander verglichen werden. Die VIIRS-Daten wurden als erstes mit dem Werkzeug «Extract by Mask» auf den Untersuchungsperimeter zugeschnitten, um den Rechenaufwand zu minimieren. Das Zuschneiden auf ein kleineres Gebiet reduzierte gleichzeitig auch die Unterschiede der Maximalwerte drastisch, da einige der Ausreisserwerte offensichtlich ausserhalb des Untersuchungsgebietes lagen, diese lagen nur noch zwischen 80 und 260. Der Datensatz vom Juli 2017 (43_rade9.tif_proj.tif) wies immer noch einen Maximalwert von 1989 auf und wurde deshalb nicht in die weiteren Analysen miteinbezogen. Um generell grosse monatliche Schwankungen auszugleichen, wurden die Daten im Rahmen dieser Arbeit in einem weiteren Schritt für jedes Jahr gemittelt (für 2014 bis 2016 wurden alle 12 Monatsdatensätze verwendet, für 2017 nur von Januar bis September ohne Juli), siehe Tabelle III im Anhang. Der Jahresdurchschnitt von 2017 (mean_2017) wurde nicht weiterverwendet, da er nicht ein vollständiges Jahr repräsentiert.

Um die Situation und die Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen zu untersuchen, wurden die LABES- und VIIRS-Satellitendaten visuell untersucht. Das ArcGIS-Programm ArcMap weist bei Rasterdaten jedem Pixelwert eine Farbe zu, bei den Lichtemissionen eignete sich ein Farbverlauf von dunkel zu hell. Da es anzahlmässig viel mehr Pixel mit schwachen Lichtemissionen als solche mit starken Emissionen gab, war es nötig, die Darstellung anzupassen. Mit dem Tool «Image Analysis» konnte die sogenannte «Stretch function», auf Deutsch «Streckungsfunktion», geändert werden, die bestimmt, auf welche Weise den Pixelwerten eine Farbe zugewiesen wird. Die verwendeten Darstellungsarten werden im Folgenden kurz beschrieben (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Darstellungsarten der Lichtemissionsdaten

Darstellungsart	Beschreibung	Verwendung / Vorteil
Minimum Maximum	Einbezug aller Werte, lineare Farbzuzuweisung zwischen Minimal- und Maximalwert	gemittelte Daten ohne Ausreisser, keine Verzerrung der Werte
Histogram equalization	Einbezug aller Werte, Farbzuzuweisung nach Ausgleichung der Verteilung zwischen Minimal- und Maximalwert (Histogram)	gemittelte Daten ohne Ausreisser, erhöhter Kontrast bei ähnlichen Werten
Standard deviation	Elimination von Werten ausserhalb gewählter Anzahl Standardabweichungen, lineare Farbzuzuweisung zwischen dem verbleibenden Minimal- und Maximalwert	Rohdaten mit Ausreisser (z.B. Extremereignisse oder Messfehler), keine Verfälschung der glaubwürdigen Werte
Percent clip	Elimination von Werten ausserhalb gewählter prozentualer Abweichung, lineare Farbzuzuweisung zwischen dem verbleibenden Minimal- und Maximalwert	Rohdaten mit Ausreisser (z.B. Extremereignisse oder Messfehler), keine Verfälschung der glaubwürdigen Werte

Mit der Darstellungsart «Minimum Maximum» wird dem kleinsten Wert die eine Farbe und dem grössten Wert die andere Farbe zugeteilt. Die Werte dazwischen erhalten ihre Farbe durch eine lineare Funktion. Diese Darstellungsart wurde ausschliesslich bei den LABES-Daten verwendet, da diese bereits bearbeitet waren und keine Ausreisser enthielten. Die Darstellungsart «Histogram equalization» hingegen belässt die Minimal- und Maximalwerte, gleicht jedoch das Histogramm dazwischen aus, was den Kontrast bei vielen ähnlichen Werten erhöht. Mit den Darstellungsarten «Standard deviation» und «Percent clip», die Werte ausserhalb der gewählten Anzahl Standardabweichungen beziehungsweise Anzahl Prozenten eliminieren, konnten Ausreisser nach oben und unten vermieden werden. Den Werten zwischen den verbleibenden Minimal- und Maximalwerten wird wiederum durch eine lineare Funktion eine Farbe zugewiesen. Diese beiden ähnlichen Darstellungsarten wurden bei den VIIRS-Daten angewendet, da diese nach dem Zuschneiden auf das Untersuchungsgebiet immer noch Ausreisser enthielten, ausgewählt wurde jeweils die Darstellung mit dem besseren Kontrast. Da die Farbskala nicht durch Ausreisser verfälscht wurde, ermöglichten diese Darstellungsarten den Vergleich zwischen den monatlichen VIIRS-Datensätzen. Die verschiedenen Darstellungsarten waren sehr geeignet, um die unterschiedlichen Daten geeignet darzustellen. Die ursprünglichen Datenwerte wurden durch die beschriebenen Streckungsfunktionen nicht verändert. Wichtig ist jedoch zu berücksichtigen, dass weder die neu zugeteilten noch die ursprünglichen Farben absolute Werte darstellen, sondern relativ zu einander stehen.

Da bei den VIIRS-Daten die Veränderungen zwischen den Jahren klein und somit visuell nicht sichtbar waren, wurden jeweils die Differenzen zwischen den Jahresmittelwerten (2014, 2015 und 2016) berechnet (siehe Tabelle III im Anhang). Die Ergebnisse dieser Subtraktionen konnten wiederum auf Karten dargestellt werden, wobei graue Flächen keine Änderung, weisse Flächen eine Zu- und schwarze Flächen eine Abnahme der Lichtemissionen darstellen.

4.3.2 Ableitung von Dunkelheitskriterien

Um Zusammenhänge der Lichtemissionsdaten mit anderen Faktoren (Relief, menschliche Infrastruktur und Wald) im Jurapark Aargau zu untersuchen, wurden die Lichtemissionsdaten mit weiteren Geodaten transparent überlagert (siehe Abbildung 7).

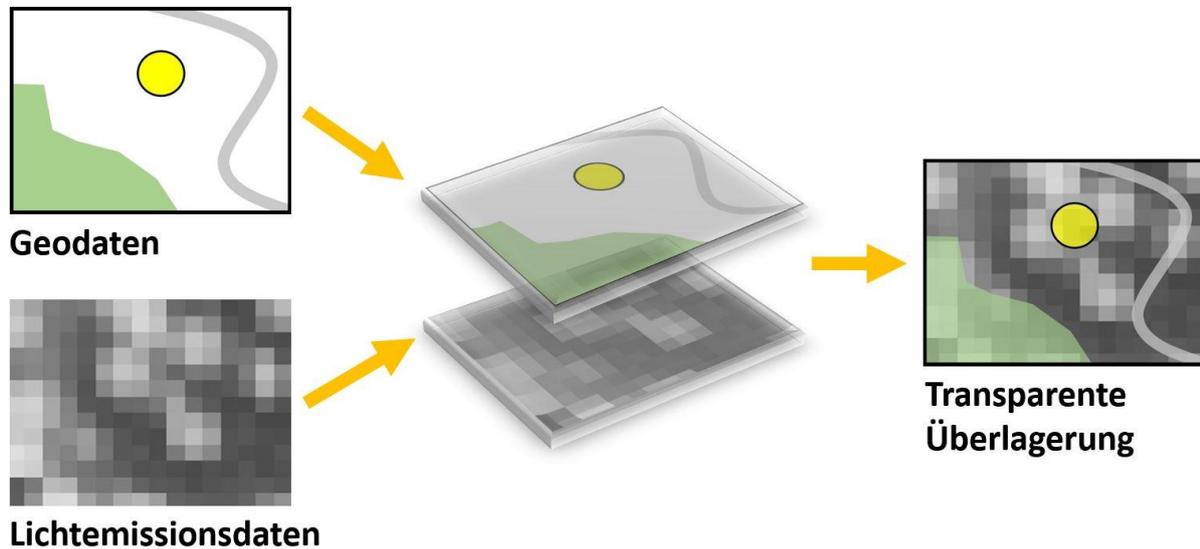


Abbildung 7: Flussdiagramm zum Vorgehen bei der Ableitung von Dunkelheitskriterien

Als Erstes fand ein Vergleich mit dem Relief der ganzen Schweiz statt, wobei exemplarisch ein monatlicher VIIRS-Datensatz (Januar 2016) verwendet wurde, da die Jahresdurchschnitte nur das Untersuchungsgebiet umfassen. Zur Visualisierung wurde die Methode «Standard deviation» verwendet.

Für die Überlagerung mit Infrastruktur- und Wald-Geodaten innerhalb des Untersuchungsgebietes wurde der Mittelwert der VIIRS-Daten von 2016 verwendet, da dieses Jahr der aktuellste vollständige Datensatz war. Für die Darstellung wurde die Funktion «Histogram equalization» verwendet, da die Lichtemissionen innerhalb des Parks sehr ähnlich waren und wenig Kontrast boten. Diese Funktion stellte alle Pixel heller dar, damit ein Unterschied ersichtlich wurde.

Aus den Zusammenhängen konnten einfache Kriterien («durch das Relief abgeschirmt», «infrastrukturfern» und «waldnah») ermittelt werden, um dunkle Gebiete zu bestimmen (siehe Kapitel 5.3.2).

4.3.3 Ausweisung von Dunkelflächen und Dunkelkorridoren

Anhand des Jahresdurchschnitts der VIIRS-Daten von 2016 (mean_2016, siehe Tabelle III im Anhang) und der weiteren Geodaten (siehe Tabelle IV im Anhang) wurden als nächstes Dunkelflächen und Dunkelkorridore ausgewiesen. Waldgebiete (grün in Abbildung 8) wurden nicht miteinbezogen, da diese generell dunkel sind und der Fokus auf das Offenland gelegt wurde. Pro Region wurde visuell abgeschätzt, wo die dunkelsten Gebiete bezüglich der Lichtemissionsdaten (dunkle Rasterzellen in Abbildung 8) lagen und wo die Dunkelheitskriterien «infrastrukturfern» und «waldnah» bestmöglich erfüllt wurden. Da Dunkelheit und Reliefabschirmung korrelieren, wurde durch den Abgleich mit den Lichtemissionsdaten das Kriterium «durch das Relief abgeschirmt» erfüllt. Einige Strassen, die in dunklen Rasterzellen lagen, wurden akzeptiert, da dort von geringem Verkehrsfluss ausgegangen werden konnte.

Um einen Vorschlag für Dunkelflächen und -korridore zu erarbeiten, wurde eine neue Esri File Geodatabase erstellt. In dieser wurde eine neue Feature Class angelegt, in der sogenannte «Dunkelflächen» manuell als Polygone ausgewiesen wurden (blau schraffiert in Abbildung 8). Diese Dunkelflächen waren jeweils die dunkelsten Flächen einer Region des Jurapark Aargau, z.B. des Wegenstettertals und nicht an absolute Werte gebunden.

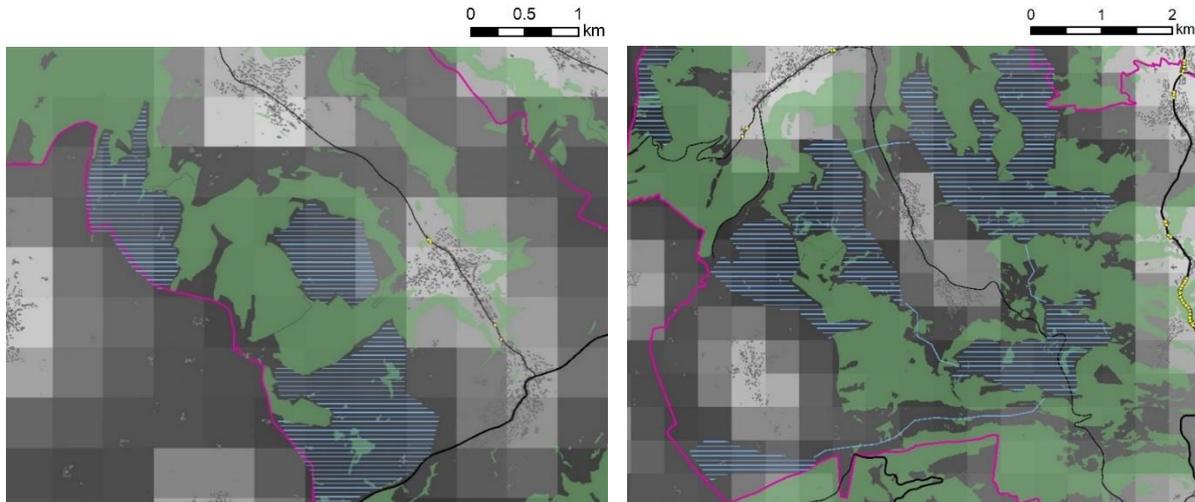


Abbildung 8: Ausweisung von Dunkelflächen (linke Abbildung, schraffierte Flächen) und Verbindungslinien für Dunkelkorridore (rechte Abbildung, Linien zwischen den schraffierten Flächen)

Als nächstes wurde eine zweite Feature Class mit Polylinien angelegt. Ziel dieser Linien war, die Dunkelflächen, basierend auf einer visuellen Interpretation der Daten, zu verbinden. Dabei wurde darauf geachtet, einen möglichst kurzen Weg durch dunkles Gebiet zu legen, wie auch die Kriterien bezüglich der Geodaten so gut als möglich zu erfüllen. Meistens war es möglich einen Weg durch das Offenland zu finden, es wurden jedoch auch kurze Wege durch den Wald gelegt, wenn es sonst viel heller war oder grosse Umwege nötig gewesen wären. Diese Linien wurden danach mit dem Werkzeug «Buffer» in Verbindungswege mit einer Breite von 200 Metern, in sogenannte «Dunkelkorridore», umgewandelt und in einer Feature Class gespeichert. Eine Übersicht über die im Rahmen dieser Arbeit neu erstellten Datensätze befindet sich im Anhang (siehe Tabelle V).

4.3.4 Vorgehen bei ersten ökologischen Einschätzungen

Um Aussagen zu der ökologischen Situation zu treffen, wurden der Jahresdurchschnitt der VIIRS-Daten von 2016 (mean_2016) und die ausgewiesenen Dunkelflächen und -korridore mit verschiedenen Geodaten (Wildtierachsen, Ökologische Infrastruktur, Fledermäuse, Amphibien und Vögel) überlagert und visuell interpretiert.

5. Ergebnisse und Interpretation

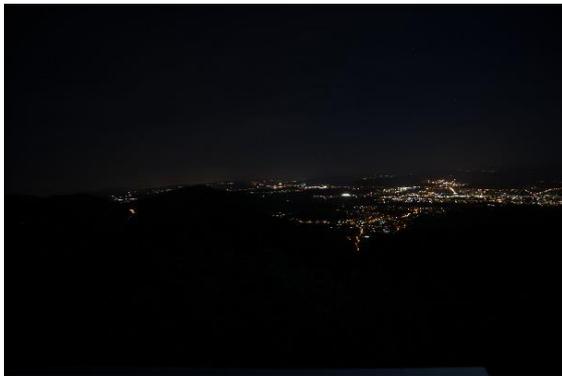
In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen angewandten Methoden präsentiert. Zu Beginn werden die Eindrücke vom Besuch des Parkgebietes mit Fotoaufnahmen und einem Kurzbericht zum Besuch der Sternwarte dokumentiert. Danach werden die Resultate der räumlichen Analyse der Geodaten vorgestellt.

5.1 Fotoaufnahmen

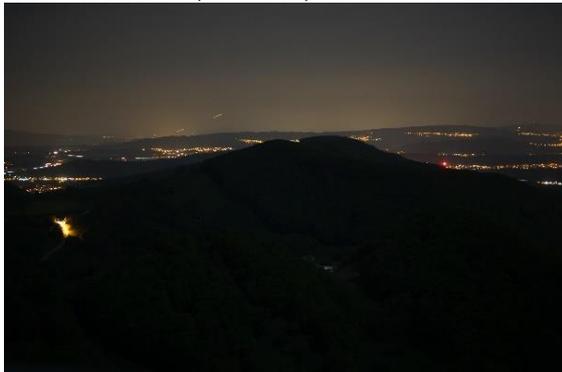
Um eigene Eindrücke der Situation der künstlichen Lichtemissionen zu gewinnen, wurde das Parkgebiet zweimal in der Nacht besucht und Fotoaufnahmen von zwei Aussichtspunkten aus gemacht (siehe Kapitel 4.1).

5.1.1 Impressionen von der Wasserflue

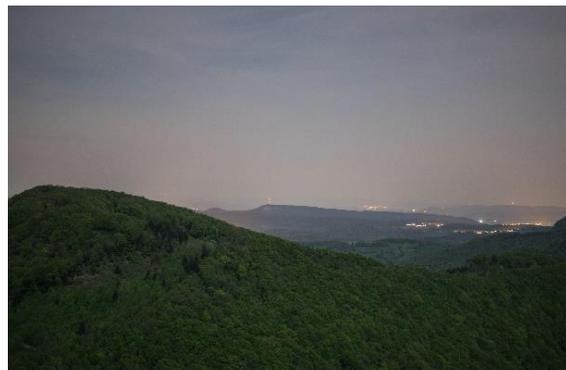
In Abbildung 9 ist ersichtlich, wie sich die Situation der künstlichen Lichtemissionen im südlichen Teil des Jurapark Aargau am 24.04.2018 zwischen 22 und 23 Uhr präsentierte. Auf der linken Seite ist jeweils das Originalfoto und auf der rechten Seite das in Adobe Lightroom aufbereitete Foto zu sehen.



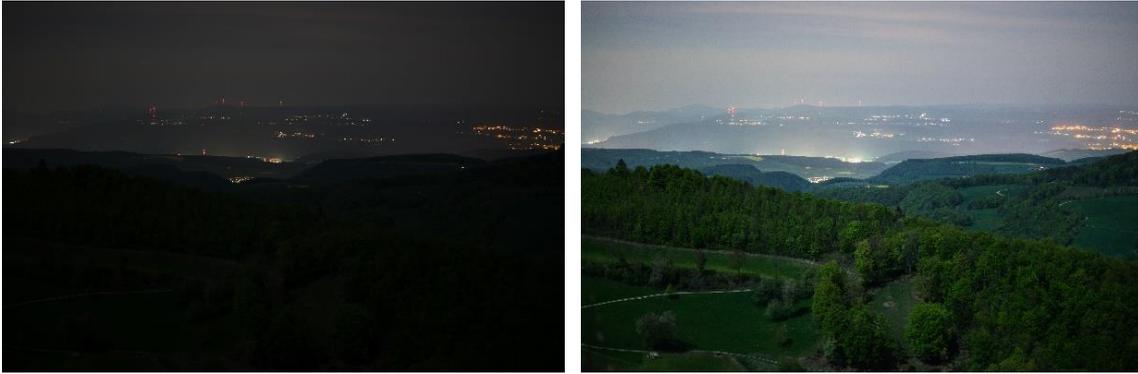
Blick nach Südosten, auf Aarau, die Gisliflue und das Schenkenbergertal (Weitwinkelobjektiv)



Blick nach Westen, über die Gisliflue nach Zürich



Blick nach Nordosten, über den Park



Blick nach Norden, Richtung Herznach und Frick

Abbildung 9: Fotos von der Wasserflue aus, 24.04.2018, unbearbeitet (links) und aufbereitet (rechts)

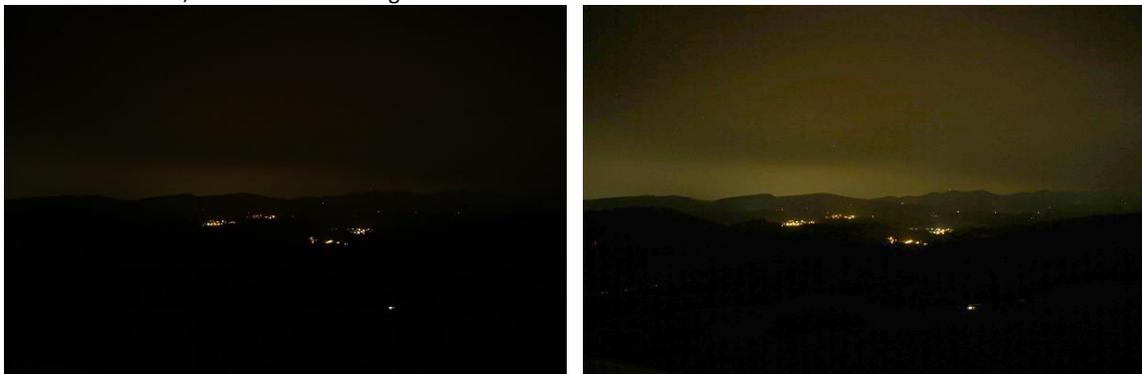
Der Eindruck, den ich von Auge wahrnahm, war etwas heller als das Originalfoto. Es war ein starker Unterschied zwischen dem Mittelland und dem Parkgebiet erkennbar. Das Mittelland, vor allem Aarau, war stark erleuchtet. Aufgrund leichten Dunstes war die Sichtdistanz etwas eingeschränkt. Trotzdem waren entfernte Städte, zum Beispiel Zürich und Basel (beim Zurückgehen), als heller Schein am Horizont erkennbar. Das Parkgebiet hingegen erschien dunkel mit vereinzelt Lichtquellen, z.B. einzelne Häuser oder vorbeifahrende Autos.

5.1.2 Impressionen vom Aussichtsturm Cheisacher

In Abbildung 10 ist zu sehen, wie die Situation bezüglich der künstlichen Lichtemissionen im nordöstlichen Teil des Jurapark Aargau am 04.05.2018 zwischen 21:30 und 22:30 Uhr aussah. Auf der linken Seite ist jeweils das Originalfoto und auf der rechten Seite eine aufgehellte Version zu sehen.



Blick nach Westen, über Sulz in Richtung Basel



Blick nach Südwesten, über den Park in Richtung Herznach



Blick nach Südosten, Richtung Brugg und Zürich



Blick nach Nordosten, Richtung Gansingen



Blick nach Norden, über Sulz und Laufenburg



Abbildung 10: Fotos vom Aussichtsturm Cheisacher aus, 04.05.2018, unbearbeitet (links) aufgehellt (rechts)

Der Eindruck, den ich vom Aussichtsturm Cheisacher aus erhielt, war sehr ähnlich wie der erste von der Wasserflue aus (siehe Abbildung 9). Das Parkgebiet war mehrheitlich dunkel mit vereinzelt Lichtquellen. Entfernte Städte wie Basel und Zürich waren als heller Lichtschein am Horizont erkennbar. Interessant war der Unterschied zwischen verschiedenen Blickrichtungen: In Richtung Süden war es sehr hügelig und nur vereinzelt Lichtquellen erkennbar, in Richtung Norden hingegen, wo das Gelände flach abfällt, waren viele Dörfer direkt sichtbar. Auffallend hell waren die Strassenlampen in den Dörfern, zum Beispiel in Gansingen oder entlang der Strasse von Sulz nach Laufenburg und ein einzelnes Objekt in Sulz, eventuell eine Sportanlagenbeleuchtung.

Der Jurapark Aargau scheint in erster Linie stark davon zu profitieren, dass er nicht so dicht besiedelt ist wie das Mittelland, da dies bereits die Anzahl der Lichtquellen deutlich reduziert. Des Weiteren wurde auch seine Topografie als wichtiger Faktor erkennbar, denn das Licht der Dörfer, die sich meistens in den Tälern befinden, wurde sehr schnell verdeckt. Waldgebiete erschienen generell sehr dunkel. Es wurde jedoch ersichtlich, dass Lichtemissionen ein grossräumiges Phänomen sind, da das Gebiet des Jurapark Aargau durch gestreute Lichtemissionen umgebender Siedlungen, aber auch entfernter Städte, beeinflusst wird.

5.2 Kurzbericht Sternwarte Cheisacher

Bei meinem Besuch der Sternwarte Cheisacher am 04.05.2018 war es leider zu bedeckt, um mit dem Teleskop den Himmel zu beobachten. Trotzdem haben mich die Vereinsmitglieder sehr freundlich empfangen und mir gerne einige Fragen bezüglich der Situation und Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen im Gebiet des Jurapark Aargau beantwortet.

Auf die Frage, ob es in den letzten Jahren schwieriger geworden sei, den Himmel zu beobachten, gab es keine eindeutige Antwort. Beim Beobachten wie auch beim Fotografieren komme es vor allem auf das Wetter an, idealerweise sollte es möglichst trocken sein, damit das Licht nicht gestreut wird. Pro Jahr seien deshalb nur etwa 5-10 Nächte ideal, um den Himmel zu fotografieren. Ein wichtiger Faktor sei auch die Luftverschmutzung, die das Fotografieren erschwere und in den letzten Jahren zugenommen habe. Luftverschmutzung habe natürliche Ursprünge (Pollen und Saharastaub), aber auch künstliche (Feinstaub). Deshalb sei es kurz nach einem Regenfall am besten zum Fotografieren, da dann diese sogenannten Aerosole ausgewaschen seien. Ein weiterer Faktor sei auch, dass die Kameras immer besser werden und diese zunehmenden Nachteile ausgleichen. Es gäbe aber grosse Standortunterschiede, in den Dörfern oder Städten sei das Fotografieren viel schwieriger geworden. Die Sternwarte profitiere aber sehr von ihrem Standort, denn sie sei so gebaut worden, dass sie möglichst nahe an Baden, aber gleichzeitig in grösstmöglicher Dunkelheit steht.

Generell fänden die Mitglieder des Vereins dunklere Nächte ein anzustrebendes Ziel. Sie meinten, dass vor allem bei der Strassenbeleuchtung noch viel herauszuholen wäre. Eine Möglichkeit wäre, die Strassenlampen ab einer gewissen Uhrzeit abzuschalten oder zu dimmen. Da das menschliche Auge logarithmisch funktioniere, werde eine um 50% gedimmte Lampe immer noch als gleich hell wahrgenommen. Damit liessen sich viele unnötige Lichtemissionen vermeiden und man könnte sogar noch Strom und Geld sparen. Oft werde aber mit dem Argument der Sicherheit dagegengehalten. Gegen diese Argumentation spricht jedoch, dass die meisten Einbrüche in der Dämmerung geschehen und Sicherheit im Strassenverkehr auch in Ländern mit weniger Strom möglich sei (China, Indien, Osteuropa), es benötige einfach etwas mehr Aufmerksamkeit vonseiten der Verkehrsteilnehmenden.

5.3 Räumliche Analyse der künstlichen Lichtemissionen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der räumlichen Analyse der Lichtemissions- und weiteren Geodaten vorgestellt. Zuerst wurden anhand der Lichtemissionsdaten die Situation und die Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen untersucht. In einem weiteren Schritt wurden die Lichtemissionsdaten mit Geodaten überlagert, um Dunkelheitskriterien abzuleiten. Diese Kriterien ermöglichten dann, einen Vorschlag für Dunkelflächen und -korridore auszuarbeiten. Schlussendlich wurden erste Einschätzungen bezüglich der ökologischen Situation getroffen.

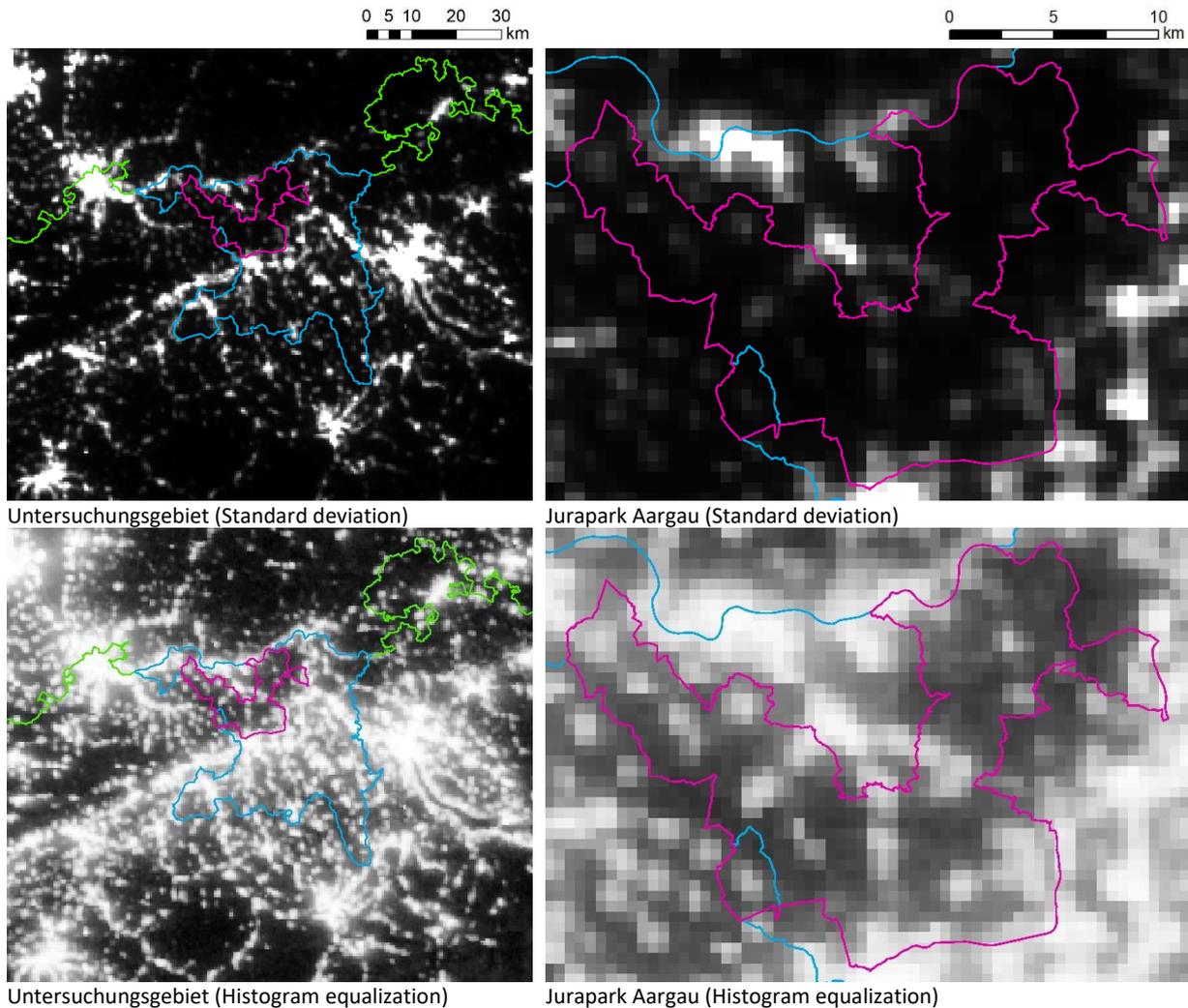
5.3.1 Kartierung der künstlichen Lichtemissionen

Um die Situation und die Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen zu untersuchen, wurden die verfügbaren Lichtemissionsdaten (siehe Kapitel 3.1) im Untersuchungsgebiet dargestellt und über die Zeit verglichen.

5.3.1.1 Situation der künstlichen Lichtemissionen

Für die Analyse des Ist-Zustandes der künstlichen Lichtemissionen wurden VIIRS-Daten verwendet, da diese eine höhere Auflösung haben als die LABES-Daten und aktueller sind. Für die Analysen wurden die berechneten Jahresmittelwerte verwendet, meistens der Jahresmittelwert von 2016, da dieser der aktuellste vollständige Datensatz war.

Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben, gibt es verschiedene Möglichkeiten Rasterdaten darzustellen. Abbildung 11 zeigt den VIIRS Jahresdurchschnitt von 2016 (mean_2016) in verschiedenen Darstellungsweisen, ergänzt mit den Umrissen des Jurapark Aargau (violett), des Kantons Aargau (blau) und der Landesgrenze der Schweiz (grün).



Untersuchungsgebiet (Histogram equalization)

Jurapark Aargau (Histogram equalization)

Abbildung 11: Kartierung der künstlichen Lichtemissionen (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, EOG) mit den Umrissen des Jurapark Aargau in Pink (© BAFU), des Kantons Aargau in Blau und der Landesgrenze der Schweiz in Grün (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))

Die Resultate in Abbildung 11 zeigen, dass es mit den für diese Arbeit zur Verfügung stehenden Daten möglich ist, die künstlichen Lichtemissionen zu kartieren. Es zeigt sich jedoch, dass die Darstellungsart eine wichtige Rolle spielt. Mit der Methode «Standard deviation» sind grosse Teile des Untersuchungsgebietes dunkel, nur die Städte sind als helle Zentren erkennbar. Das Gebiet des Jurapark Aargau scheint fast vollständig dunkel zu sein. Wenn hingegen die Methode «Histogram equalization» verwendet wird, zeigt sich ein anderes Bild. Das Mittelland ist fast vollständig erleuchtet und auch innerhalb des Jurapark Aargau sind Unterschiede erkennbar.

Allein aufgrund der Daten ist nicht entscheidbar, welche Darstellung der Wirklichkeit am nächsten kommt. Je nach Fragestellung wurden für die folgenden Analysen verschiedene Darstellungsarten verwendet.

5.3.1.2 Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen

Für die Untersuchung eines längerfristigen Trends eigneten sich die LABES-Daten, da sie von 1992 bis 2012 verfügbar waren. Die Auflösung dieser Daten von 1 x 1 km war ausreichend, da die Entwicklung grossräumig, im Untersuchungsgebiet zwischen Bern und Schaffhausen, untersucht wurde.

In Abbildung 12 wird die Situation der Lichtemissionen zu vier verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Die vier Bilder beschreiben jeweils den Mittelwert der drei darunter angegebenen Jahre, da die LABES-Daten über drei Jahre gemittelt wurden. Die Lichtemissionsdaten wurden mit den Umrissen des Jurapark Aargau (pink) und des Kantons Aargau (blau) ergänzt.

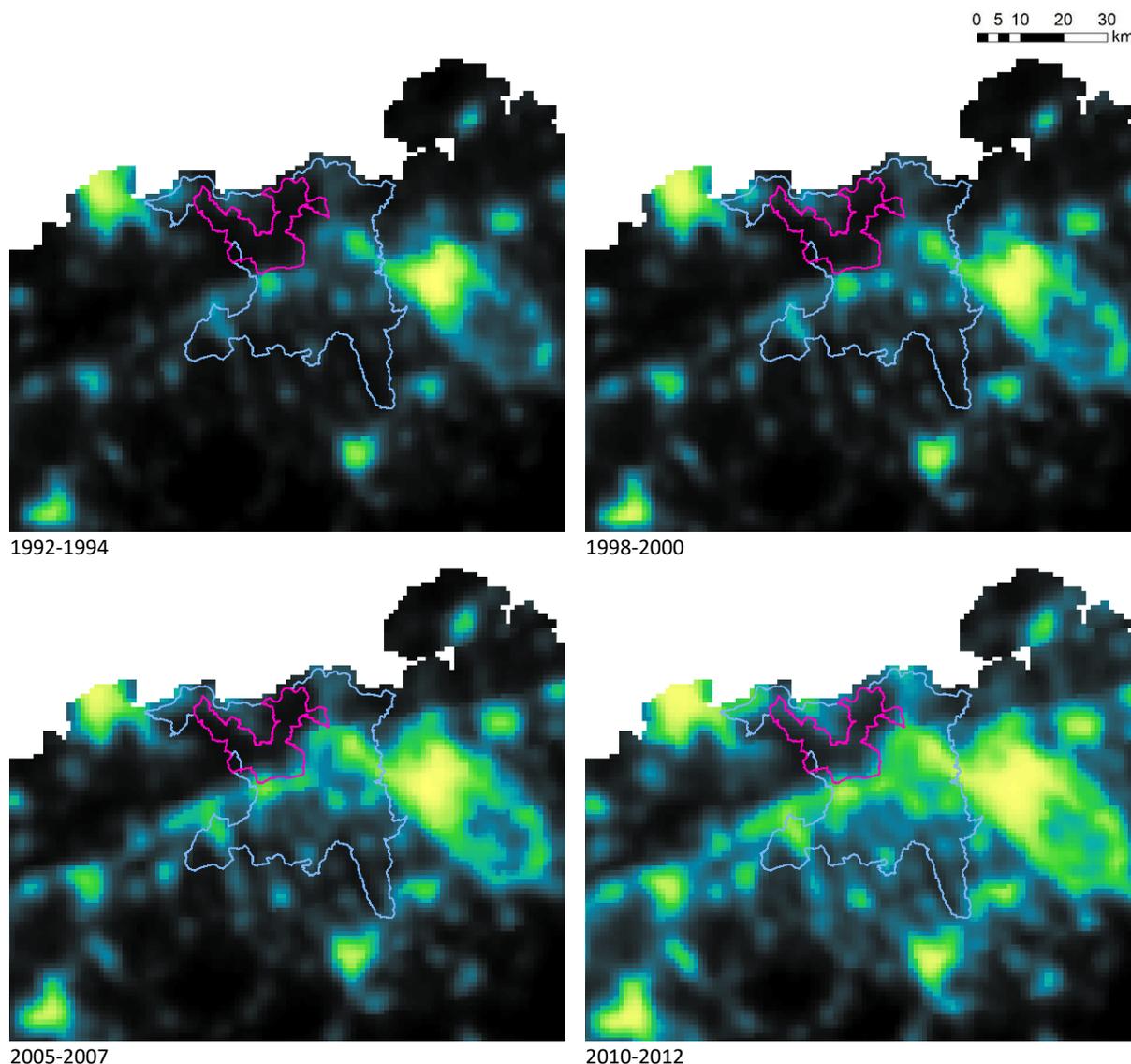


Abbildung 12: Entwicklung der Lichtemissionen im Untersuchungsgebiet (LABES, Minimum Maximum; WSL)
 Pink: Jurapark Aargau (© BAFU); Blau: Kanton Aargau (© swisstopo, JA100120)

Es ist ersichtlich, dass die künstlichen Lichtemissionen von 1992 bis 2012 stark zugenommen haben. Gut erkennbar ist, wie sich die Helligkeit von den Städten ausgehend ausgebreitet hat. Sehr stark zugenommen haben die Lichtemissionen im Grossraum Zürich, etwas weniger rund um Bern und Luzern. Die Situation rund um Basel hat sich nicht gross verändert. Fast neu hinzugekommen sind kleinere Städte wie Solothurn, Olten und Schaffhausen.

Es besteht ein grosser Unterschied zwischen dem Mittelland und dem Juragebiet. Im Mittelland haben die Lichtemissionen sehr stark zugenommen, im Jura hingegen nur leicht. Der Jurapark Aargau (pink), der im Juragebiet liegt, ist bei allen vier Mittelwerten dunkler als seine Umgebung. Dieser Unterschied hat von 1992 bis 2012 noch stark zugenommen. In den letzten Jahren ist jedoch auch der Jurapark Aargau entlang seiner Grenzen heller geworden. Vor allem das Mittelland am südöstlichen Rand des Jurapark Aargau, rund um Aarau, Baden und Brugg, hat sich bis 2012 sehr stark erhellt. Aber auch am nördlichen Rand des Parks, vor allem im Fricktal, haben die Lichtemissionen in den letzten 20 Jahren zugenommen.

Anhand der aktuelleren VIIRS-Daten wurde untersucht, ob auch ein kurzfristiger Trend erkennbar ist. In Abbildung 13 wird die Situation der künstlichen Lichtemissionen von 2014 bis 2017 anhand der pro Jahr gemittelten VIIRS-Daten dargestellt.

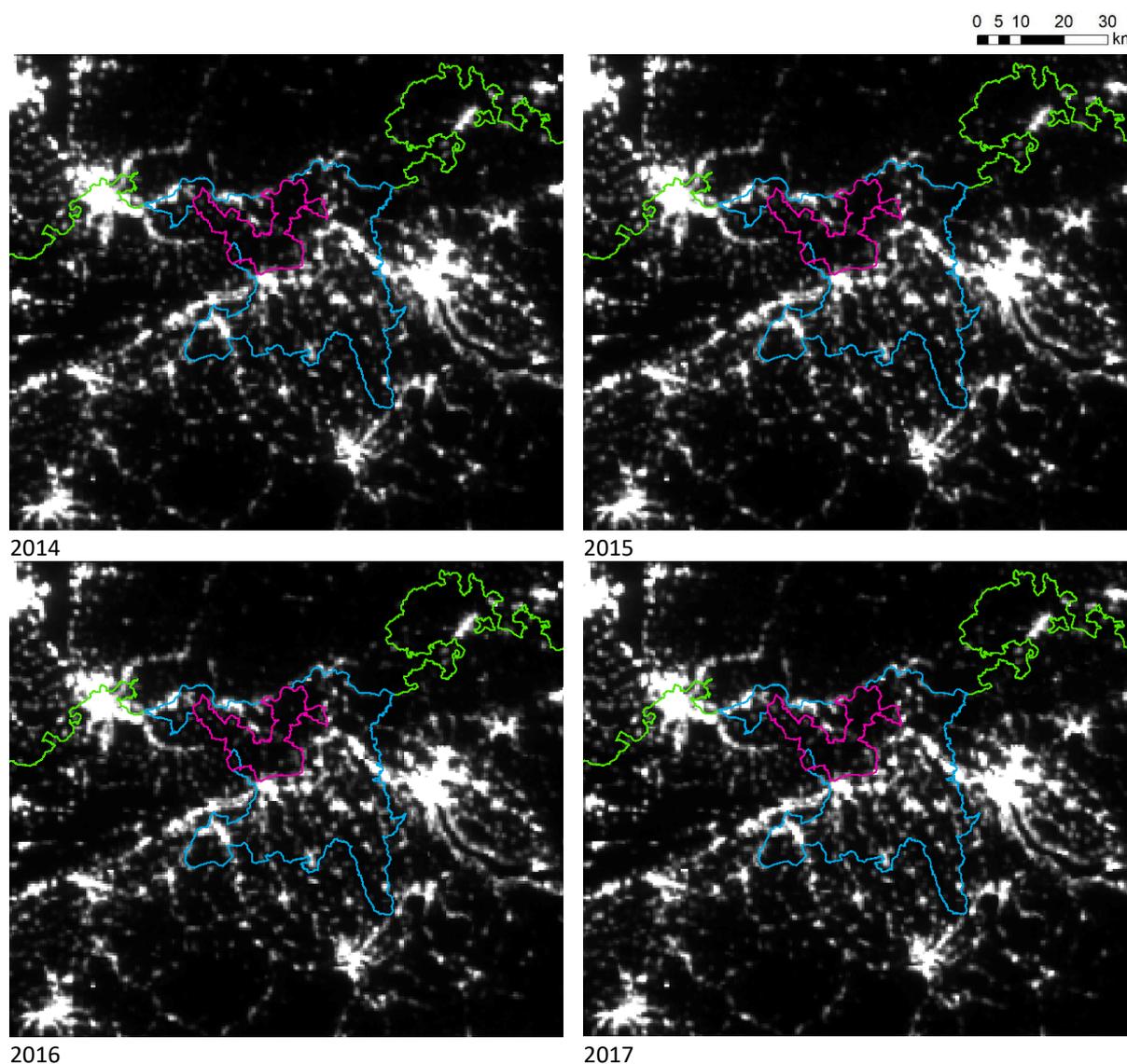


Abbildung 13: Entwicklung der Lichtemissionen im Untersuchungsgebiet (VIIRS Jahresdurchschnitt, Standard deviation; EOG) Pink: Jurapark Aargau (© BAFU); Blau: Kanton Aargau, Grün: Landesgrenze (© swisstopo, JA100120)

Es ist ersichtlich, dass sich die Situation der künstlichen Lichtemissionen von 2014 bis 2017 nur minimal verändert hat. Da die Auflösung der VIIRS-Daten etwas höher ist als diejenige der LABES-Daten (siehe Abbildung 12), ist es jedoch möglich, unterschiedliche Lichtquellen genauer zu lokalisieren. Es fällt auf, dass es neben den grossen Städten Zürich, Basel und Bern noch viele kleinere Städte oder Gemeinden gibt, die durch ihre Lichtemissionen identifizierbar sind.

Bezüglich des Jurapark Aargau ist das Resultat dasselbe wie bei den LABES-Daten. Das Gebiet des Jurapark Aargau ist noch relativ dunkel verglichen mit seiner Umgebung. Innerhalb des Parkgebietes sind nur wenige schwache Lichtquellen erkennbar. Auffallend dunkel ist der Schwarzwald im Süden von Deutschland, der nördlich an den Kanton Aargau anschliesst. Erst weiter im Westen, in der Oberrheinischen Tiefebene rund um Basel und Mulhouse, hat es wieder helle Lichtquellen. Auch in der Schweiz hat es grössere Gebiete, die noch sehr dunkel sind, wie z.B. das Napfgebiet in der Mitte am südlichen Bildrand.

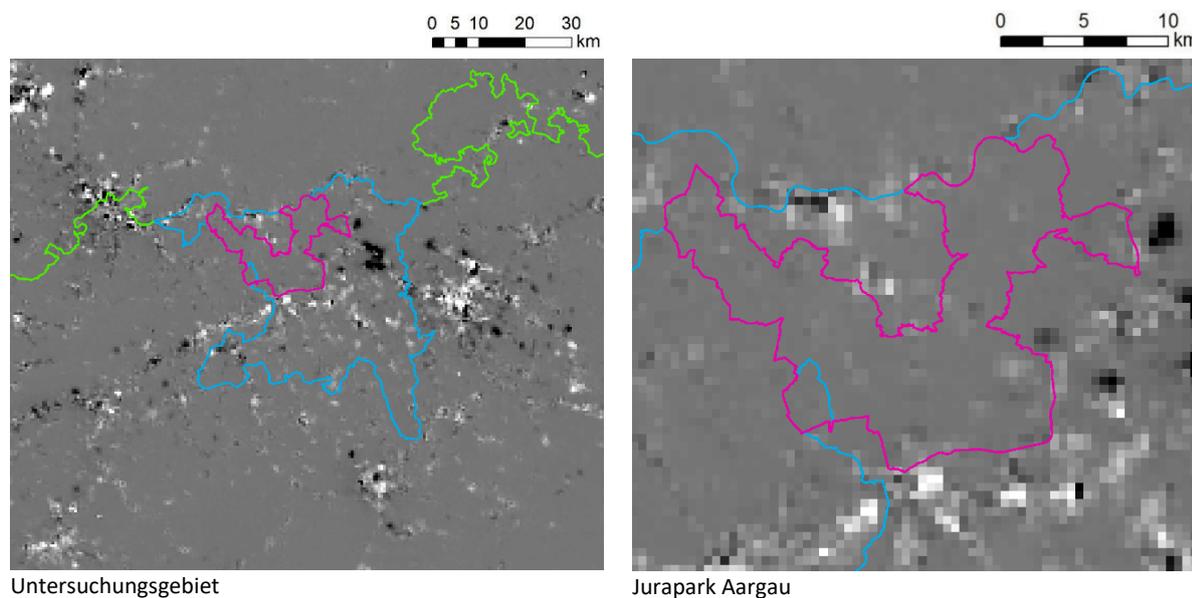


Abbildung 14: Differenz zwischen den Lichtemissionen von 2016 und 2014 (VIIRS Jahresdurchschnitte, Percent Clip; EOG) Pink: Jurapark Aargau (© BAFU); Blau: Kanton Aargau, Grün: Landesgrenze (© swisstopo, JA100120)

Da anhand der vier VIIRS-Jahresmittelwerte in Abbildung 13 rein visuell kein Unterschied erkennbar war, wurde die Differenz zwischen den Jahren 2014, 2015 und 2016 berechnet. Abbildung 14 zeigt das Resultat der Differenzberechnung zwischen den VIIRS-Jahresdurchschnitten von 2016 und 2014. Helle Punkte bedeuten eine Zunahme der Emissionen und dunkle eine Abnahme. Bei der Betrachtung des Untersuchungsgebietes fällt auf, dass in den Städten (z.B. in Zürich) die Emissionen tendenziell zunehmen, es scheint jedoch auch Stadtteile zu geben, in denen es dunkler geworden ist. Auf dem Land scheint sich die Situation nicht gross zu verändern. Auffallend ist ein grosser dunkler Fleck zwischen dem Jurapark Aargau und Zürich im Raum Baden-Wettingen. Innerhalb des Gebietes des Jurapark Aargau scheint die Situation relativ konstant zu bleiben bis auf die Parkgrenzen, an denen es etwas heller wird. Dies ist im Süden rund um Aarau und im Norden bei Stein, Sisseln und Frick der Fall.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die künstlichen Lichtemissionen in den letzten 20 Jahren stark zugenommen haben (siehe Abbildung 12). Es wurde jedoch auch ersichtlich, dass die Zunahme ein schleichendes Phänomen ist, das in einer kurzen Zeitspanne fast nicht zu erkennen ist (siehe Abbildung 13). Bei den VIIRS-Daten ist jedoch wichtig zu bedenken, dass sie wegen der sogenannten «blue blindness» (siehe Kapitel 3.1.3) das Licht von LEDs im blauwelligen Bereich nicht beinhalten. Der Umstieg auf diese neue Beleuchtungstechnologie kann deshalb mit den vorhandenen Satellitendaten im Moment noch nicht richtig erfasst werden. Es ist möglich, dass in den Jahren 2014 bis 2017 mehrheitlich LED-Lichtquellen hinzugekommen sind, und somit die gesamthaften künstlichen Lichtemissionen zugenommen haben. Bei der spezifischen Betrachtung des Gebietes des Jurapark Aargau wurde ersichtlich, dass dieses sowohl im LABES- wie auch im VIIRS-Datensatz generell relativ dunkel ist, verglichen mit der Umgebung im Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Die Situation scheint sich innerhalb des Parkgebietes wenig zu verändern, ausserhalb des Parks gab es sowohl Zu- wie auch Abnahmen (siehe Abbildung 14).

5.3.2 Ableitung von Dunkelheitskriterien

Aus den Erkenntnissen der beiden Begehungen des Parkgebietes wurden erste Annahmen getroffen, welche Faktoren für die räumliche Verteilung der künstlichen Lichtemissionen entscheidend sein könnten. Ein Zusammenhang mit den Lichtemissionen wurde zwischen dem Relief, der menschlichen Infrastruktur und den Waldgebieten erwartet und untersucht.

5.3.2.1 Zusammenhänge mit den Lichtemissionen

Ein Relief der Schweiz (swissALTI3D, swisstopo) wurde transparent mit Lichtemissionsdaten überlagert, um zu untersuchen, ob das Relief eine wichtige Rolle spielt. Abbildung 15 zeigt deutlich, dass die künstlichen Lichtemissionen grossräumig stark mit dem Relief zusammenhängen. Viele Lichtemissionen gibt es vor allem in flachem, dicht besiedeltem Gebiet wie dem Mittelland. Am wenigsten Lichtemissionen gibt es in den Alpen. Die Emissionswerte der hügeligen Juragebiete liegen dazwischen.

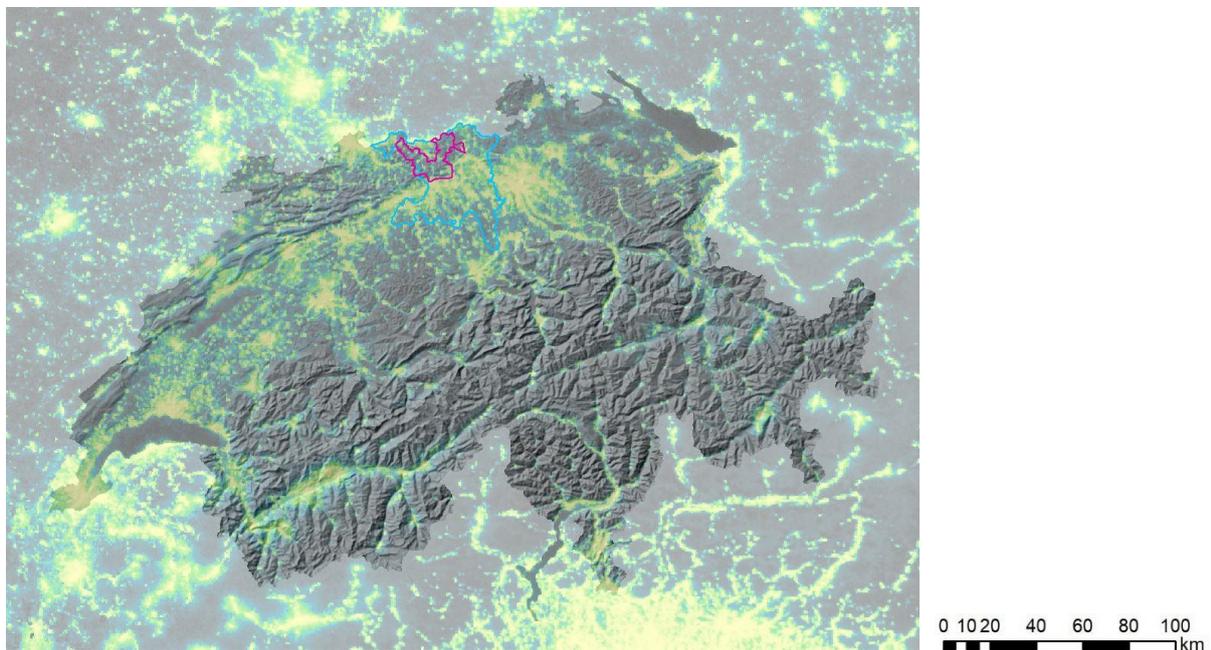


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Relief (© swisstopo, JA100120) und Lichtemissionen (VIIRS Januar 2016, Standard deviation; EOG); Pink: Jurapark Aargau (© BAFU); Blau: Kanton Aargau (© swisstopo JA100120)

Interessant ist auch die Situation im Ausland. Auffallend hell ist es südlich des Tessins in der Ebene rund um Mailand. Es scheint jedoch keinen grossen Unterschied zwischen den Nachbarländern und der Schweiz zu geben, da sich das Verteilungsmuster regelmässig fortsetzt. Diese Resultate decken sich mit den Erkenntnissen aus dem New World Atlas of Artificial Brightness und der Light Pollution Map (siehe Kapitel 2.2).

Auch bei der Betrachtung eines kleinräumigeren Gebietes in Abbildung 16 fällt ein Zusammenhang zwischen dem Relief und den Lichtemissionen auf. Im Untersuchungsgebiet ist das Mittelland um die Städte Bern, Zürich und Basel hell erleuchtet. Dunkler sind hügelige Gebiete, wie das Napfgebiet, die Voralpen und die Juraketten. Innerhalb des Jurapark Aargau ist es wiederum relativ dunkel. Am hellsten ist es an seinem südlichen Rand bis zu der ersten Jurakette und in den Tälern.

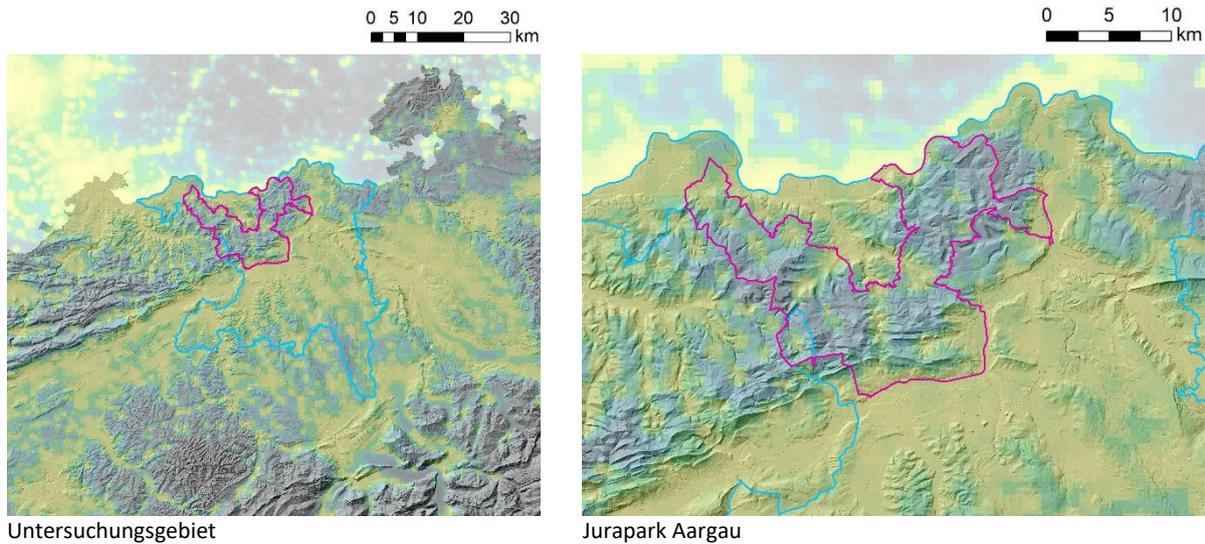


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen Relief (© swisstopo, JA100120) und Lichtemissionen (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG); Pink: Jurapark Aargau (© BAFU); Blau: Kanton Aargau (© swisstopo, JA100120)

Bezüglich der menschlichen Infrastruktur wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen den Gebäuden der Siedlungen sowie den Verkehrsachsen mit den Lichtemissionsdaten gibt.

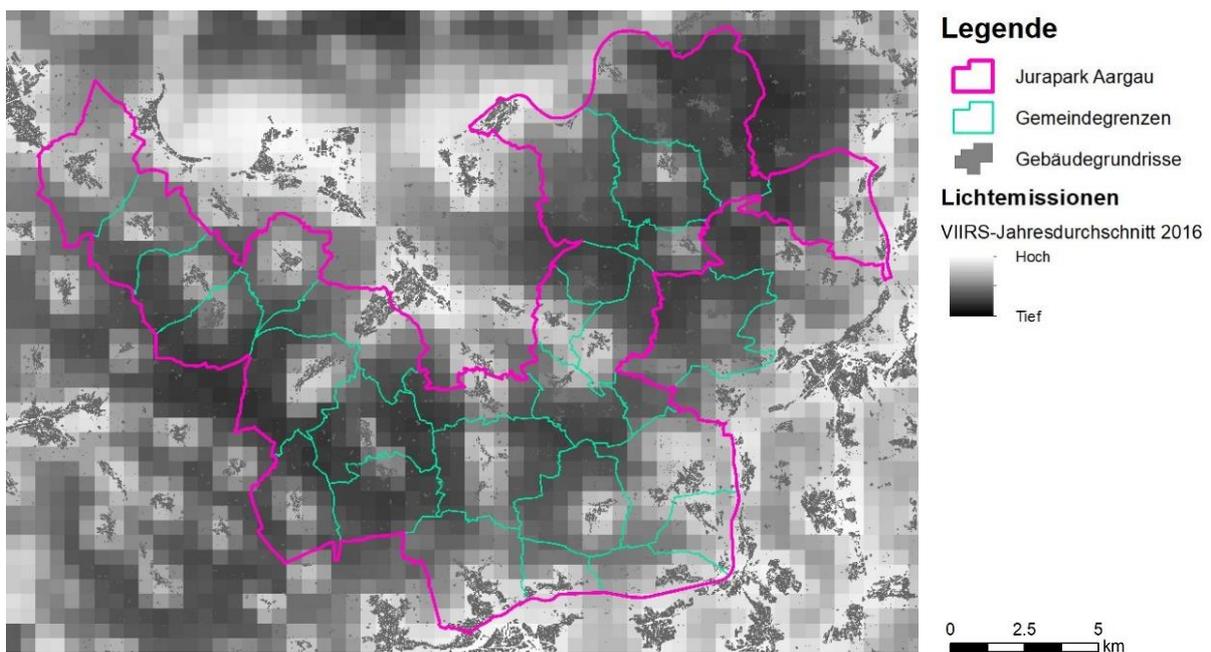


Abbildung 17: Künstliche Lichtemissionen (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) mit Gebäuden und Gemeindegrenzen (© swisstopo, JA100120) im Jurapark Aargau (© BAFU)

Abbildung 17 zeigt den Vergleich zwischen den Lichtemissionen und den Gebäuden der Gemeinden. Es ist ein starker Zusammenhang zwischen den Siedlungen und den Lichtemissionen erkennbar. Es scheint jedoch Unterschiede zwischen den Gemeinden zu geben. Vor allem im Nordosten des Parks gibt es Gemeinden, die noch sehr dunkel sind und sogar dunkle Siedlungsränder aufweisen.

Als nächstes wurden die künstlichen Lichtemissionen mit den Kantonstrassen und deren Beleuchtung überlagert, das Resultat ist in Abbildung 18 dargestellt. Es ist erkennbar, dass auch die Strassen mit der Helligkeit korrelieren. Beispielsweise ist es entlang der Staffeleggstrasse, der Hauptachse in Nord-Süd-Richtung zwischen Aarau und Frick, relativ hell. Auch entlang der Autobahn (breit, hellgrau) im Fricktal ist es hell. Dabei ist zu beachten, dass es dunkler ist, wenn die Autobahn im Tunnel verläuft (z.B. Bözberg-Tunnel). Auch die Beleuchtung der Kantonstrassen ist interessant, denn die Strassenlampen korrelieren mehrheitlich mit der Helligkeit. Im Nord-Osten des Parks gibt es jedoch einige Strassenlampen an dunkleren Stellen.

Auch die Eisenbahnlinien sind ein wichtiger Teil der Infrastruktur. Durch den Jurapark Aargau verläuft nur eine Linie der SBB entlang der Autobahn im Fricktal. Aufgrund der Datenlage war es jedoch nicht möglich zu erkennen, ob die Eisenbahn einen zusätzlichen Effekt zu den Strassen hat.

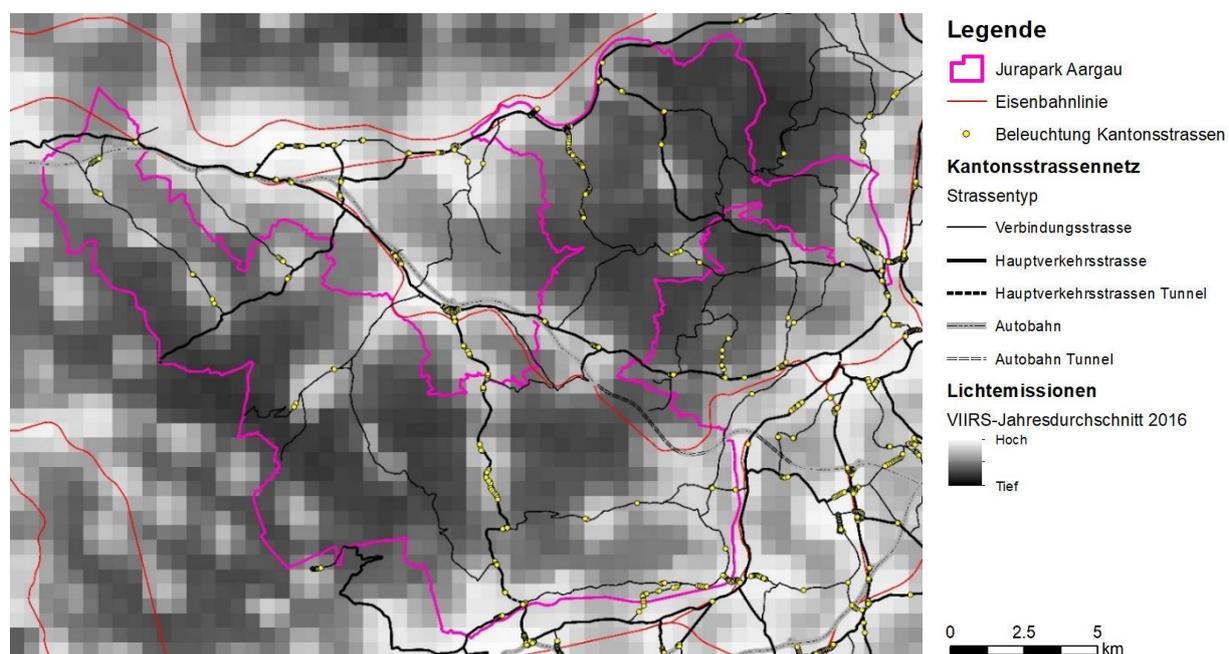


Abbildung 18: Künstliche Lichtemissionen (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) mit Verkehrsinfrastruktur (Kanton Aargau) im Jurapark Aargau (© BAFU)

Vermutet wurde des Weiteren eine Korrelation mit natürlichen Gegebenheiten. Naheliegend war ein Zusammenhang mit den Waldgebieten. Zur Gemeinde Kienberg (im Südwesten des Parks) lagen für diese Arbeit keine Daten zu den Waldflächen vor, da sie im Kanton Solothurn liegt. Abbildung 19 zeigt das Resultat der Überlagerung der Lichtemissionsdaten mit den Waldflächen. Es ist klar erkenntlich, dass es in den Waldflächen generell dunkler ist als im Offenland. Auffallend ist ein Unterschied zum Gebiet ausserhalb des Parks im Kanton Aargau, denn dort sind sowohl Offen- als auch Waldflächen generell heller.

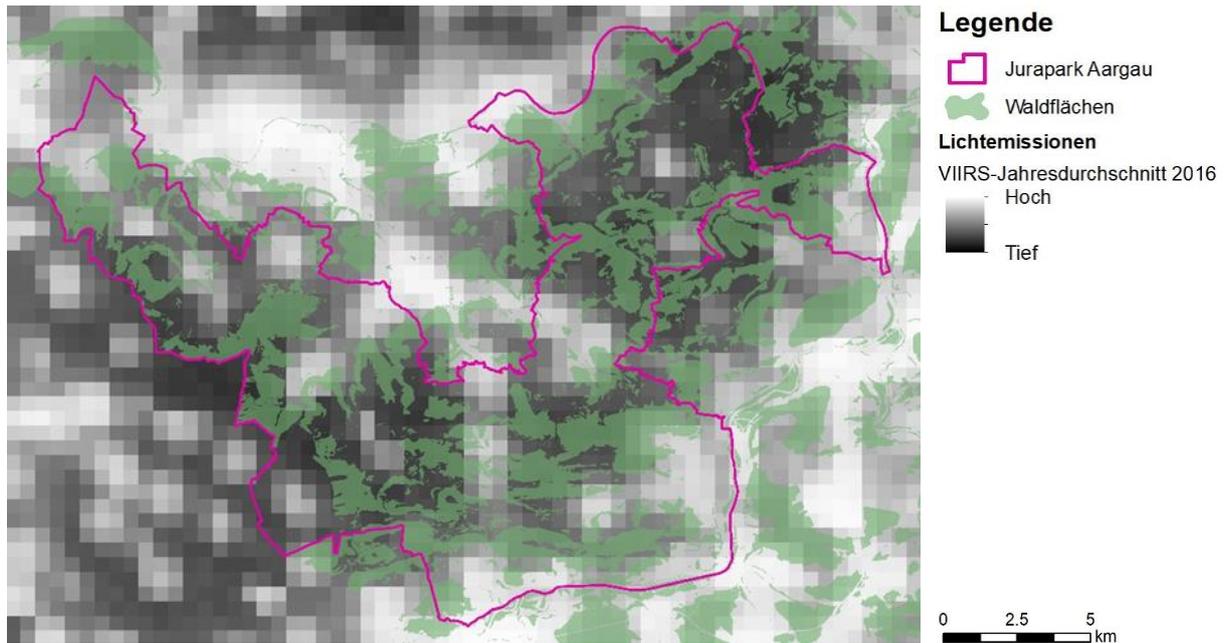


Abbildung 19: Künstliche Lichtemissionen (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) und Waldflächen (Kanton Aargau) im Jurapark Aargau (© BAFU)

5.3.2.2 Dunkelheitskriterien

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die räumliche Verteilung der künstlichen Lichtemissionen mit den untersuchten Faktoren in Zusammenhang steht.

In den Abbildung 15 und Abbildung 16 wurde ersichtlich, dass es desto dunkler ist, je hügeliger ein Gebiet ist. Am dunkelsten ist es jeweils oben auf den Hügelzügen. Dies kann so interpretiert werden, dass diese Stellen durch das Relief von künstlichen Lichtquellen, die sich oft in den Tälern befinden, abgeschirmt werden. Aus der Korrelation mit den Gebäuden in Abbildung 17 und mit den Verkehrswegen in Abbildung 18 leitet sich die Distanz zu menschlichen Infrastrukturen als weiteres Kriterium ab. Die Überlagerung der Lichtemissionen mit den Waldflächen in Abbildung 19 zeigt, dass Waldflächen generell dunkler sind als das Offenland und die Dunkelheit mit der Entfernung zu einem Waldgebiet abnimmt. Die Nähe zum Wald kann deshalb als drittes Kriterium dienen.

Für die Vorhersage des Vorkommens dunkler Gebiete im Offenland des Jurapark Aargau konnten folgende Kriterien ermittelt werden:

- 1) abgeschirmt durch das Relief
- 2) möglichst grosse Distanz zu Infrastrukturen (Siedlungen und Verkehrswege)
- 3) möglichst nahe am Wald

5.3.3 Dunkelflächen und Dunkelkorridore

In einem ersten Schritt wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um zu untersuchen, ob bereits Erfahrungen zum Thema Dunkelkorridore bestehen. Die Recherche hat ergeben, dass diese momentan noch kein wichtiges Thema sind, denn es scheint noch wenig Berichte oder Forschungsprojekte in diesem Bereich zu geben.

In der Wissenschaft existieren vereinzelt Aussagen zu Dunkelkorridoren, meist als Nebenergebnisse von Forschungsprojekten. Longcore et al. kritisierten im Jahr 2004, dass künstliches Licht von vielen Ökologen bis anhin vernachlässigt wurde. So müsse im Naturschutz bei der Ausscheidung von Reservaten und Korridoren vermehrt die Situation des künstlichen Lichts miteinbezogen werden (Longcore & Rich, 2004). Davies & Smith machten im Jahr 2017 darauf aufmerksam, dass künstliches Licht eher zufällig und stark verstreut zunimmt. Dies erschwere es vorherzusagen, wo Organismen geeignete dunkle Lebensräume finden werden und wo es sinnvoll ist, Dunkelkorridore auszuscheiden (Davies & Smyth, 2017).

In Hinsicht auf Tierarten wird bisher nur bei den Fledermäusen davon gesprochen, dass diese Dunkelkorridore benötigen, um von ihren Quartieren ins Jagdgebiet zu gelangen. Im Konzept Artenförderung Fledermäuse 2013-2020 der Schweizerischen Koordinationsstelle für Fledermausschutz wird beschrieben, dass eine Anbindung des Jagdlebensraumes an die Quartiere mit «strukturierten Dunkelkorridoren» bei einigen Fledermausarten zwingend nötig ist. Flugkorridore sollten möglichst strukturreich und dunkel sein, damit sie Orientierung und Schutz bieten können (Schweizerische Koordinationsstelle für Fledermausschutz, 2012). Es wird vermutet, dass neben den Flugkorridoren auch die Beleuchtungssituation am Eingang zu den Quartieren eine wichtige Rolle spielt. Rydell et al. (2017) konnten zeigen, dass der Verlust von vielen Fledermauskolonien in Kirchen mit der Installation von Beleuchtungsanlagen zur Steigerung der Ästhetik in Verbindung gebracht werden kann. Eine teilweise Beleuchtung (z.B. nur von einer Seite) konnte von den Fledermäusen toleriert werden, wurde jedoch das ganze Gebäude beleuchtet, sind die Fledermäuse oft verschwunden.

Zukünftig werden Dunkelkorridore höchst wahrscheinlich auch mit anderen Arten in Zusammenhang gebracht werden. Im Naturpark Gantrisch beispielsweise wurde eine Studienarbeit über «Ökologische Dunkelkorridore» verfasst und Dr. James Hale (Universität Bern) hat im Rahmen seines Forschungsprojektes «Ecological Light Pollution in the Gantrisch Naturpark» Dunkelkorridore für verschiedene Arten identifiziert (SCNAT, 2018). Dieser Forschungsbericht wird in Kürze veröffentlicht.

Die Ausscheidung von Dunkelkorridor-Flugrouten erschien für diese Arbeit naheliegend, da in der Literatur bis jetzt fast ausschliesslich bei den Fledermäusen von Dunkelkorridoren gesprochen wird und diese eine wichtige Artengruppe für den Jurapark Aargau sind. Um die bekannten Flugrouten der Fledermauskolonien im Wegenstettetal zu untersuchen, war die Auflösung der VIIRS-Daten (500 x 500 m) jedoch zu grob. Deshalb wurde entschieden, auf einem grossräumigeren Massstab dunkle Gebiete und Verbindungskorridore auszuscheiden, die auch anderen lichtsensitiven mobilen Tierarten dienlich sein könnten. Da keine Best-Practice-Beispiele oder Empfehlungen zu Dunkelkorridoren zu finden waren, wurde eine eigene Vorgehensweise erarbeitet, die in Kapitel 4.3.3 beschrieben ist.

In den Abbildung 20 und Abbildung 21 werden die ausgeschiedenen Dunkelflächen und Dunkelkorridore präsentiert, zuerst im Vergleich mit dem Relief und darauffolgend hinterlegt mit Lichtemissionsdaten. Es ist ersichtlich, dass in allen Regionen des Jurapark Aargau Dunkelflächen ausgeschieden werden konnten. Auch war es möglich, einen Vorschlag für Dunkelflächen auszuarbeiten, die mit Dunkelkorridoren im ganzen Parkgebiet zusammenhängend verbunden sind.

Bei der Betrachtung von Abbildung 20 wird ein spannender Zusammenhang mit dem Relief ersichtlich: die Dunkelflächen liegen oftmals in höher gelegenen Gebieten und auch die Dunkelkorridore folgen oftmals den Kuppen oder Talflanken. Es ist selten, dass die Dunkelkorridore ein Tal durchqueren. Falls dies der Fall ist, verläuft der Korridor jeweils senkrecht zum Talgrund.

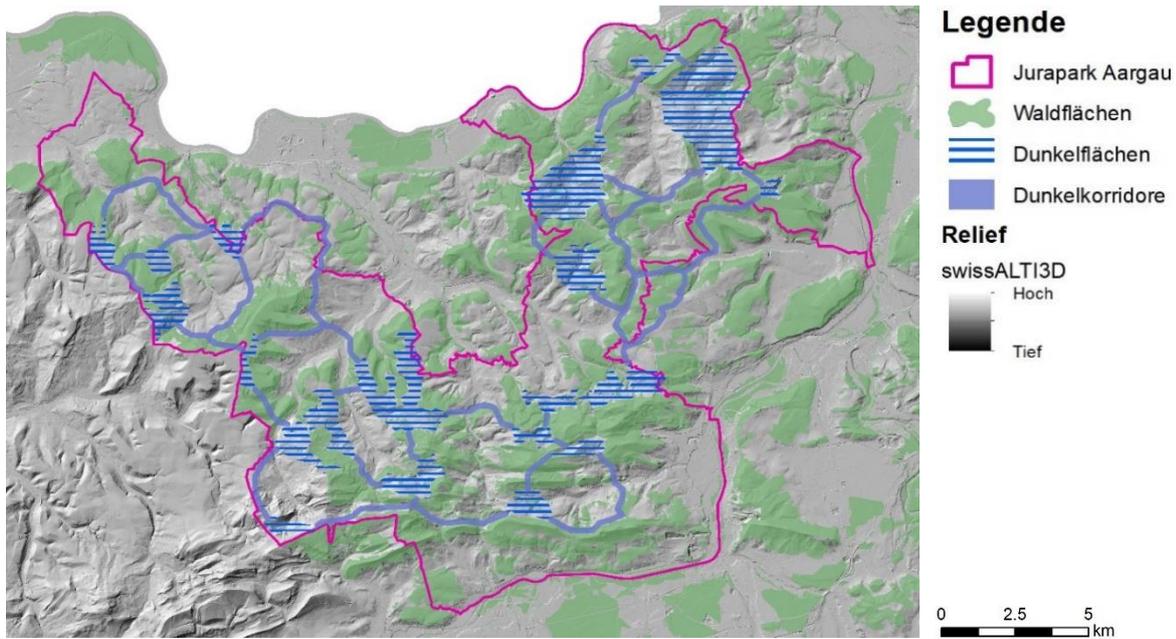


Abbildung 20: Dunkelflächen und -korridore mit dem Relief (© swisstopo, JA100120) und den Waldflächen (Kanton Aargau) im Jurapark Aargau (© BAFU)

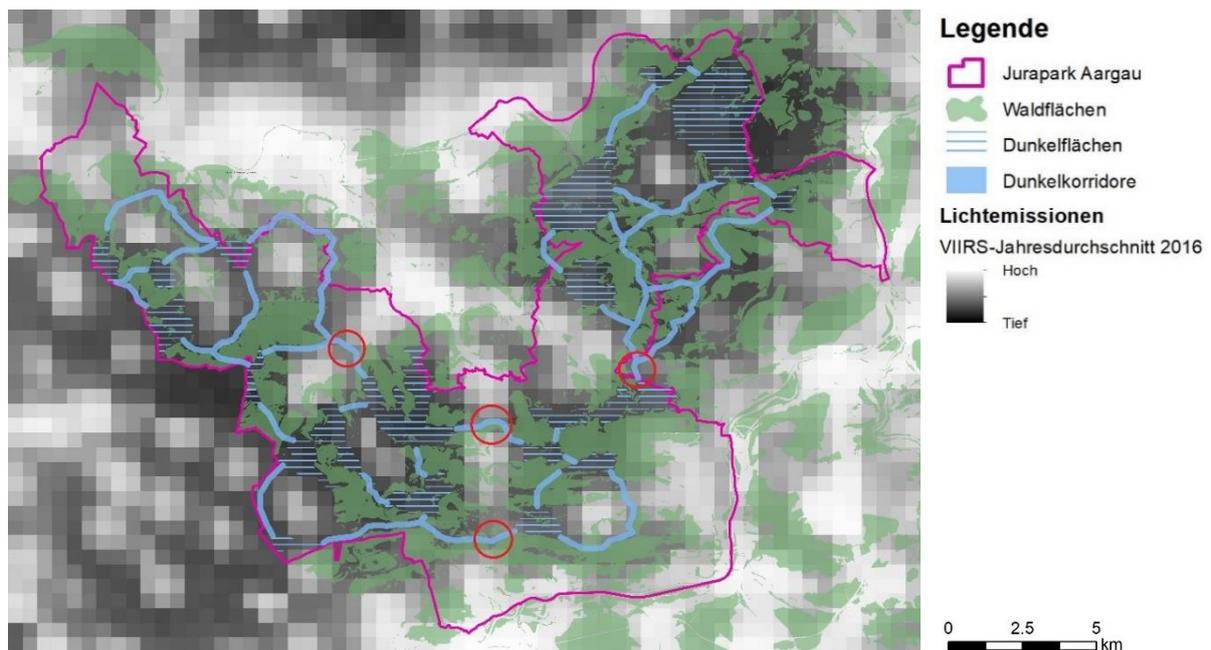


Abbildung 21: Dunkelflächen und -korridore mit Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogramm equalization; EOG) im Jurapark Aargau (© BAFU) und problematische Übergangstellen (rote Kreise)

Die ausgewiesenen Dunkelflächen und -korridore werden in Abbildung 21 im Vergleich mit den Lichtemissionsdaten dargestellt. Es fällt auf, dass die bereits in Abbildung 20 angesprochenen Taldurchquerungen problematische Übergangsstellen sind, zum Beispiel über den Bözberg, zweimal über die Staffeleggstrasse und den Bruggbach (rote Kreise in Abbildung 21). Diese Korridore sind jedoch nötig, um die Dunkelflächen zusammenhängend zu verbinden.

Die Dunkelheit an diesen problematischen Stellen zu erhalten oder zu fördern, wäre sicherlich sinnvoll, um die Verbindungsachsen zwischen den dunklen Gebieten zu gewährleisten.

5.3.4 Erste ökologische Einschätzungen

Nach der Ausweisung der Dunkelflächen und -korridore, aufgrund der aus den Lichtemissionsdaten abgeleiteten Kriterien, war es spannend zu untersuchen, ob und wie diese mit bestehenden Daten zur ökologischen Situation übereinstimmen.

Zuerst wurden die Dunkelflächen und -korridore mit den kantonalen Wildtierachsen verglichen. Als zweites wurde die Übereinstimmung mit Daten der Ökologischen Infrastruktur untersucht. Zuletzt wurden verfügbare Daten von einigen Zielarten der Artenförderung des Jurapark Aargau, für die eine Beeinflussung durch Licht bewiesen wurde, bezüglich der Lichtemissionen begutachtet.

5.3.4.1 Wildtierachsen

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts hat der Bau von menschlichen Infrastrukturen stark zugenommen. Wachsende Siedlungsgebiete verdrängen Lebensräume und Verkehrsverbindungen stellen für einige Wildtierarten unüberwindbare Barrieren dar. Gleichzeitig wurde die Landwirtschaft im Kulturland intensiviert, was zu einer sinkenden Lebensraumqualität führte. Diese beiden Prozesse führen zu erschwerten Bedingungen für viele Wildtierarten, da die verbleibenden geeigneten Lebensräume zunehmend kleiner und voneinander isoliert werden. Dadurch werden Arten in mehrere Teilpopulationen gespalten, die zusammen eine Metapopulation bilden. Um das Überleben der Metapopulation zu gewährleisten, ist die Vernetzung der Teilpopulationen untereinander nötig (Kanton Aargau, 2010). Denn die einzelnen Teilpopulationen sind oft relativ klein und dadurch anfällig auf Störungen, z.B. eine Krankheit oder erschwerte Umweltbedingungen. Falls eine Teilpopulation ausstirbt, muss die Wiederbesiedlung aus einer anderen Teilpopulation möglich sein. Es wurde erkannt, dass die Wildtiere dafür ein eigenes Verbindungsnetz, ein sogenanntes «grünes Wegnetz» benötigen (Kanton Aargau, 2016).

In der Schweiz wurden deshalb im Rahmen des REN (Réseau Ecologique National) bereits in den Jahren 1997 bis 1999 landesweite überregionale Wildtierkorridore ermittelt, um die Regionen der Schweiz, aber auch das Ausland, miteinander zu verbinden (Kanton Aargau, 2010). Diese waren zu Beginn unverbindlich, bis sie im Jahr 2001 durch das Bundesgericht den nationalen Biotopen gleichgestellt wurden (Kanton Aargau, 2016). Die Wildtierachsen sind heute ein wichtiger Bestandteil für die Schaffung der Ökologischen Infrastruktur, eines von zehn Zielen der Biodiversitätsstrategie Schweiz des Bundes (BAFU, 2012b). Im Kanton Aargau sind die überregionalen Ausbreitungsachsen und die Wildtierkorridore im Richtplan verankert, mit dem Auftrag an die Behörden die Achsen und Korridore aufzuwerten und dadurch die Lebensraumvernetzung wieder grossräumig herzustellen (Kanton Aargau, 2016).

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, wie sich der Verlauf der Wildtierachsen bezüglich der künstlichen Lichtemissionen verhält. Dafür wurden die Wildtierachsen mit dem Mittelwert der VIIRS-Lichtemissionen von 2016 und den ausgeschiedenen Dunkelflächen und -korridoren verglichen.

In Abbildung 22 ist ersichtlich, dass auch die Wildtierachsen relativ gut den dunklen Regionen folgen, da Wildnis und Dunkelheit korrelieren. Die Wildtierachsen verlaufen jedoch oft zwischen den ausgeschiedenen Dunkelflächen hindurch. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Wildtierachsen durch den Wald verlaufen, die Dunkelflächen hingegen im Offenland liegen. Die Wildtierachsen liegen automatisch eher in den dunklen Gebieten, da sie zwei der drei Dunkelheitskriterien erfüllen, nämlich "waldnah" und "infrastrukturfern".

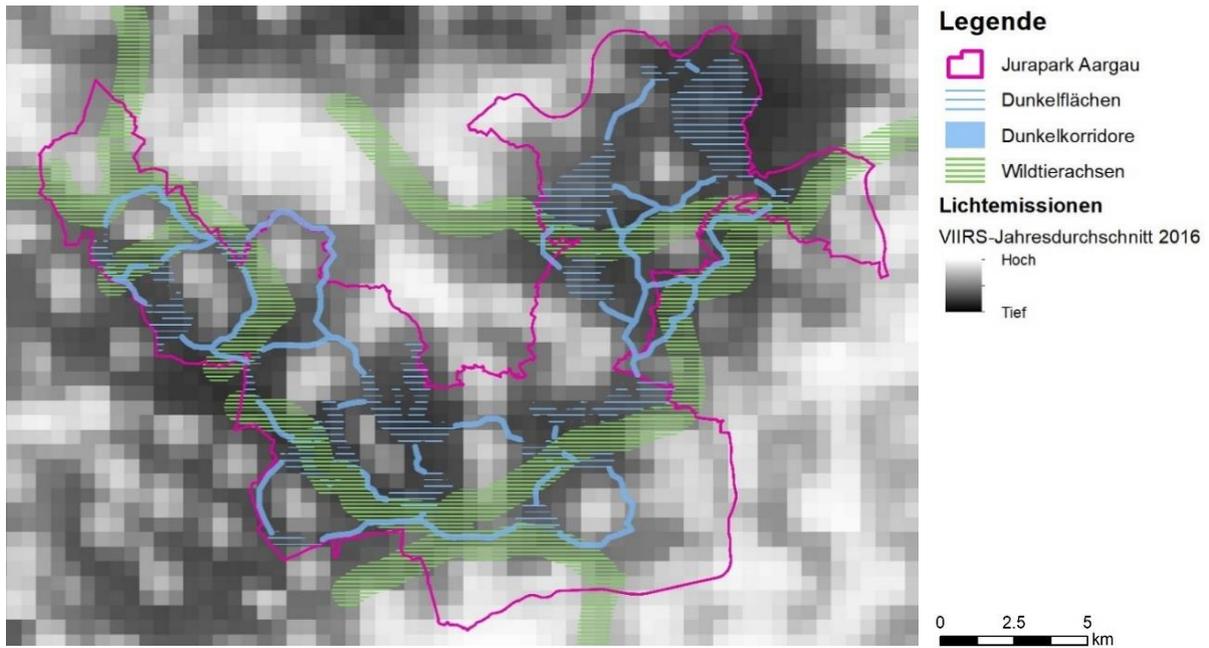


Abbildung 22: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Wildtierachsen (Kanton Aargau); Grundlage: Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) und Jurapark Aargau (© BAFU)

In einem weiteren Schritt wurden die Wildtierachsen in einem grösseren Gebiet, das den ganzen Kanton Aargau umfasst, untersucht (siehe Abbildung 23).

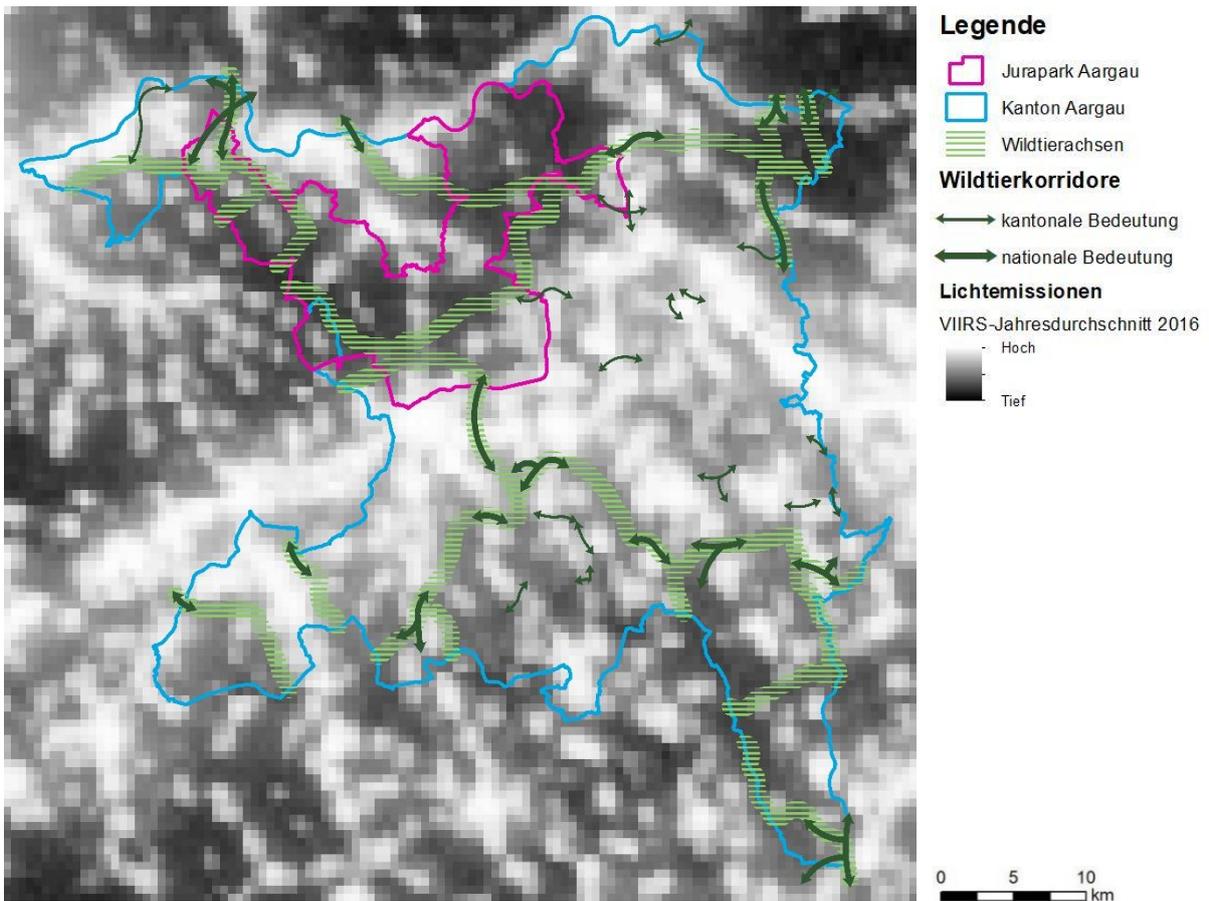


Abbildung 23: Vergleich der Wildtierachsen und -korridore (Kanton Aargau) im Kanton Aargau mit den künstlichen Lichtemissionen (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG); Pink: Jurapark Aargau (© BAFU); Blau: Kanton Aargau (© swisstopo, JA100120)

Auch die Achsen ausserhalb des Jurapark Aargau verlaufen in den regional dunkleren Gebieten. Bei der Betrachtung des ganzen Kantonsgebietes fällt auf, dass grosse Gebiete des Kantons stärker erhellt sind als das Parkgebiet. Daher sind eher die Wildtierachsen ausserhalb des Parks durch künstliche Lichtemissionen gefährdet. Die Wildtierkorridore (grüne Pfeile in Abbildung 23) sind wichtige Durchgänge für Wildtiere. Diese liegen relativ oft an hellen Stellen.

Es ist ein erfreuliches Resultat, dass die Wildtierachsen im Jurapark Aargau in den dunklen Gebieten liegen, da dies der natürlichen Situation für Wildtiere am nächsten kommt. Es ist jedoch zu bedenken, dass nicht alle Wildtiere Dunkelheit benötigen, sondern auch andere Ansprüche erfüllt sein müssen, z.B. Struktureichtum. Ein guter Ansatzpunkt, um die Situation für die Wildtiere zu verbessern, wäre unnötige Lichtemissionen in den Wildtierkorridoren, vor allem ausserhalb des Parks, zu reduzieren.

5.3.4.2 Ökologische Infrastruktur

Im Rahmen des internationalen Abkommens «Agenda 2030» hat der Bundesrat die Strategie Nachhaltige Entwicklung 2016-2019 erarbeitet. Auf dieser Strategie aufbauend, wurde der «Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz» entwickelt. Ein wichtiges Ziel dieser Strategie ist bis 2027 ein flächendeckendes Netz von Schutz- und Vernetzungsgebieten, die sogenannte «Ökologische Infrastruktur», aufzubauen (BAFU, 2017a). Um erste Erfahrungen zu sammeln, hat der Bund in den Parks von nationaler Bedeutung Pilotprojekte durchführen lassen. Das «Pilotprojekt Ökologische Infrastruktur im Jurapark Aargau» wurde vom Kanton Aargau in Zusammenarbeit mit dem Jurapark Aargau ausgearbeitet. Bei den in dieser Arbeit verwendeten Daten handelt es sich erst um provisorische Vorrangräume und Vernetzungsachsen (Stand Nov. 2017) aus dem Pilotprojekt, die noch überarbeitet werden.

Für die Ökologische Infrastruktur wird ein Ansatz mit ökologischen Gilden verwendet, weil sich Organismen in ihren Ansprüchen bezüglich des Lebensraums und der Mobilität stark unterscheiden. In einer Gilde werden ähnliche Organismen zusammengeschlossen, die jeweils von einigen typischen Arten repräsentiert wird, sogenannten Schirm- oder Zielarten. Im Jurapark Aargau wurden sechs ökologische Gilden gebildet (Kanton Aargau und Jurapark Aargau, 2017).

Bezüglich der Lichtemissionen wurde die Situation der hochmobilen Arten (Gilde A) im Jurapark Aargau untersucht, da es in dieser Arbeit vor allem darum ging, Korridore für mobile Tierarten auszuscheiden. Zu den Zielarten dieser Gilde gehören das Hermelin, das Mauswiesel sowie zwei Fledermausarten, die grosse Hufeisennase und das grosse Mausohr. Für diese Gilde wurden prioritäre Flächen, sogenannte Vorrangräume, ausgeschieden. Diese Vorrangräume erfüllen die Ansprüche an den Lebensraum der Arten einer Gilde am besten. Für die Gilde A eignen sich Gebiete mit einer erhöhten Strukturvielfalt (Hecken, Gehölze, Waldränder, ...), da sie dadurch für einen Grossteil der Arten der Gilde A durchlässig sein sollten. Da die Arten der Gilde A sehr mobil sind, wurden zusätzlich Vernetzungsachsen ausgeschieden, um die Vorrangräume zu verbinden. Die Lage der Vernetzungsachsen orientiert sich an den Gewässern, ist jedoch räumlich noch nicht fixiert. Das Ziel der Ökologischen Infrastruktur ist, die Vorrangräume und Vernetzungsachsen bezüglich der ökologischen Anforderungen aufzuwerten. Ein weiteres Ziel ist, die Vorrangräume durch die Vernetzungsachsen an die bestehenden Wildtierkorridore anzuknüpfen.

Abbildung 24 zeigt den Vergleich zwischen den ausgewiesenen Dunkelflächen und -korridoren und den Vorrangräumen und Vernetzungsachsen der Gilde A. Es fällt auf, dass die Vorrangräume (orange schraffiert) in dunklen, aber auch in hellen Gebieten liegen. Die Vernetzungsachsen (orange Linien) folgen teilweise den Dunkelflächen oder den Dunkelkorridoren. An einigen Stellen, z.B. im Wegenstettertal, liegt jedoch die Vernetzungsachse mitten im Tal, wo es am hellsten ist.

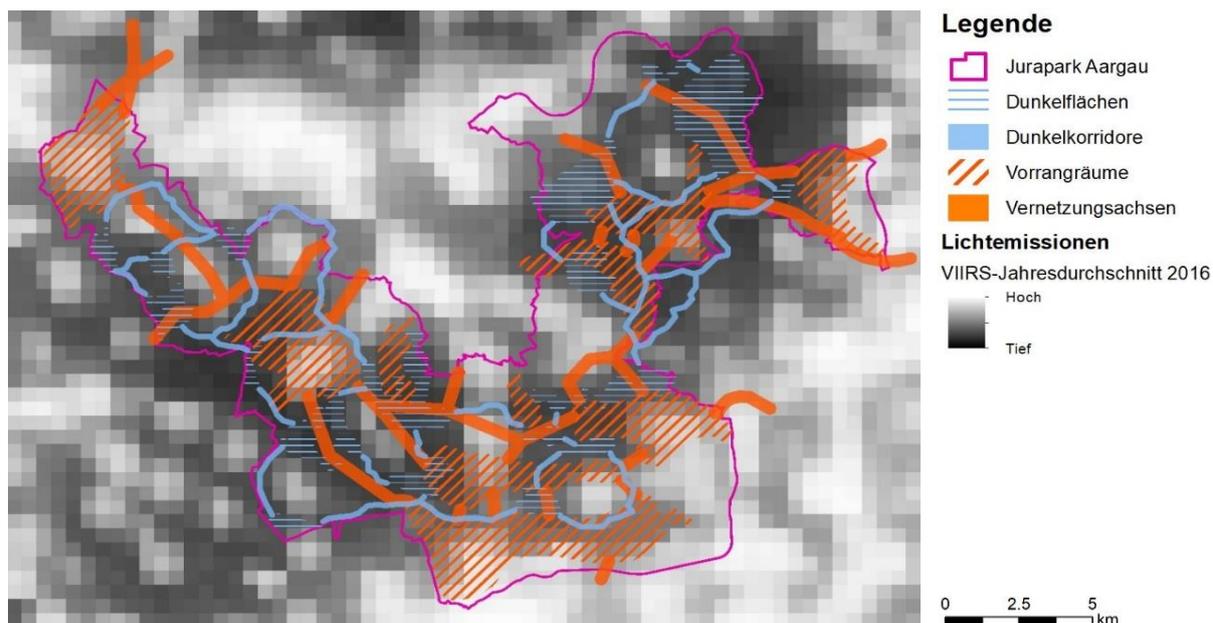


Abbildung 24: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Daten der Gilde A des Pilotprojektes der Ökologischen Infrastruktur (Kanton Aargau); Grundlage: Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) und Jurapark Aargau (© BAFU)

Mit dem Ziel der Ökologischen Infrastruktur für die Gilde A, welche Habitate und Korridore für hochmobile Arten festlegen soll, kann erklärt werden, dass nur eine teilweise Übereinstimmung mit dunklen Gebieten vorhanden ist. Hochmobile Arten, wie einige Fledermäuse oder das Wiesel, sind nicht zwingend auf Dunkelheit angewiesen, sondern eher auf Struktureichtum. Für einige Arten ist jedoch Dunkelheit genauso wichtig und künstliche Lichtemissionen können für sie ein reales Hindernis darstellen. Es wäre sinnvoll, die Situation der Lichtemissionen bei der Umsetzung der Vernetzungsachsen miteinzubeziehen, da die Lage der Achsen noch eine gewisse Flexibilität erlaubt. Eine Möglichkeit wäre ihren Verlauf in dunklere Gebiete zu verlegen oder störende Lichtquellen entlang der geplanten Achsen zu bestimmen und, falls möglich, zu vermeiden.

5.3.4.3 Zielarten Jurapark Aargau

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zu den Untersuchungen bezüglich der Situation spezifischer Zielarten der Artenförderung des Jurapark Aargau vorgestellt. Untersucht wurden die Situationen von bekannten Fledermausquartieren und Fledermausflugrouten, Gewässern, Amphibienlaichgebieten und ornithologisch wertvollen Gebieten.

Fledermäuse

Es ist bekannt, dass einige Fledermausarten sehr sensibel auf Licht reagieren (siehe Kapitel 2.1). Um abzuschätzen wie sich die Situation im Jurapark Aargau verhält, wurde der Datensatz der Fledermausquartiere des Kantons Aargau mit den Lichtemissionen sowie den Dunkelflächen und Dunkelkorridoren verglichen. Der Datensatz enthält Fledermausquartiere, die bei der Kontrolle der Dachstöcke von Kirchen, Kapellen, Schul- und Gemeindehäusern, Höhlen und Stollen im Kanton Aargau erhoben wurden und dient als Grundlage für den Artenschutz. Im Datensatz enthalten sind Quartiere, die zwischen 1981 und 2013 erhoben wurden. Es ist nicht gesichert, dass alle Quartiere noch existieren, da nur die grossen und die Quartiere der seltenen Arten regelmässig kontrolliert werden. Der Datensatz vermittelt jedoch ein ungefähres Bild der Lage der Quartiere.

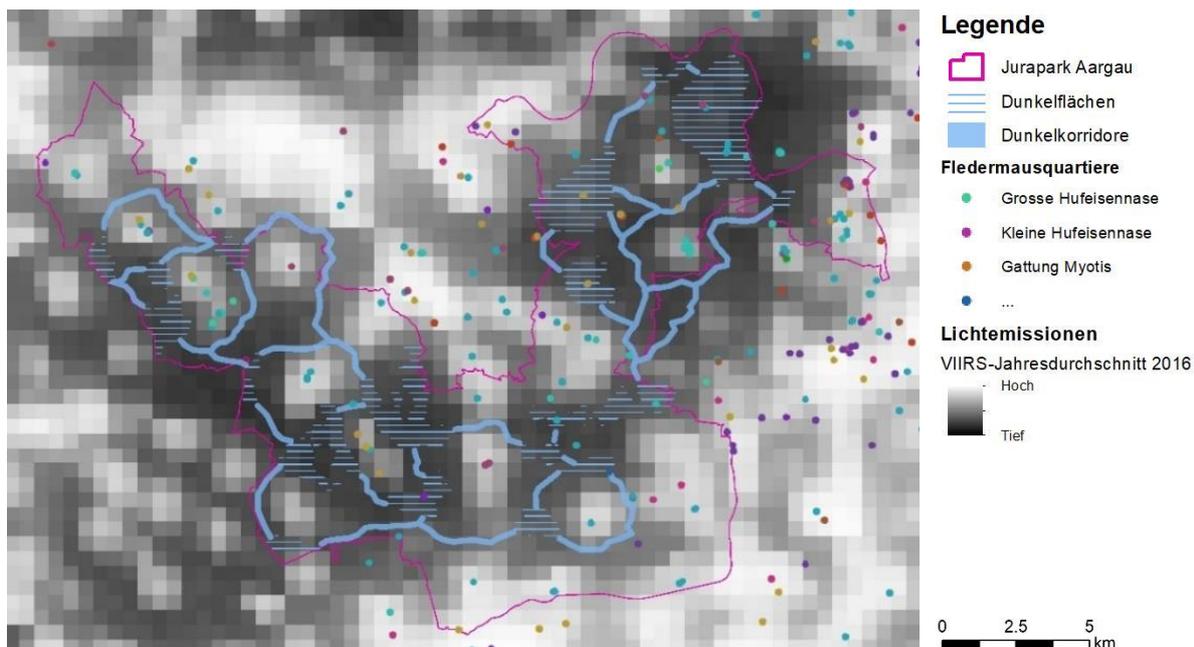


Abbildung 25: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Quartieren aller Fledermausarten; Grundlage: Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) und Jurapark Aargau (© BAFU)

Abbildung 25 zeigt die Lage der bekannten Quartiere aller im Jurapark Aargau vorkommenden Fledermausarten, die mit unterschiedlichen Farben dargestellt werden. Es ist ersichtlich, dass die Quartiere vieler Arten in hellen Gebieten liegen. Quartiere innerhalb der Dunkelflächen gibt es fast nur im Nordosten des Parks.

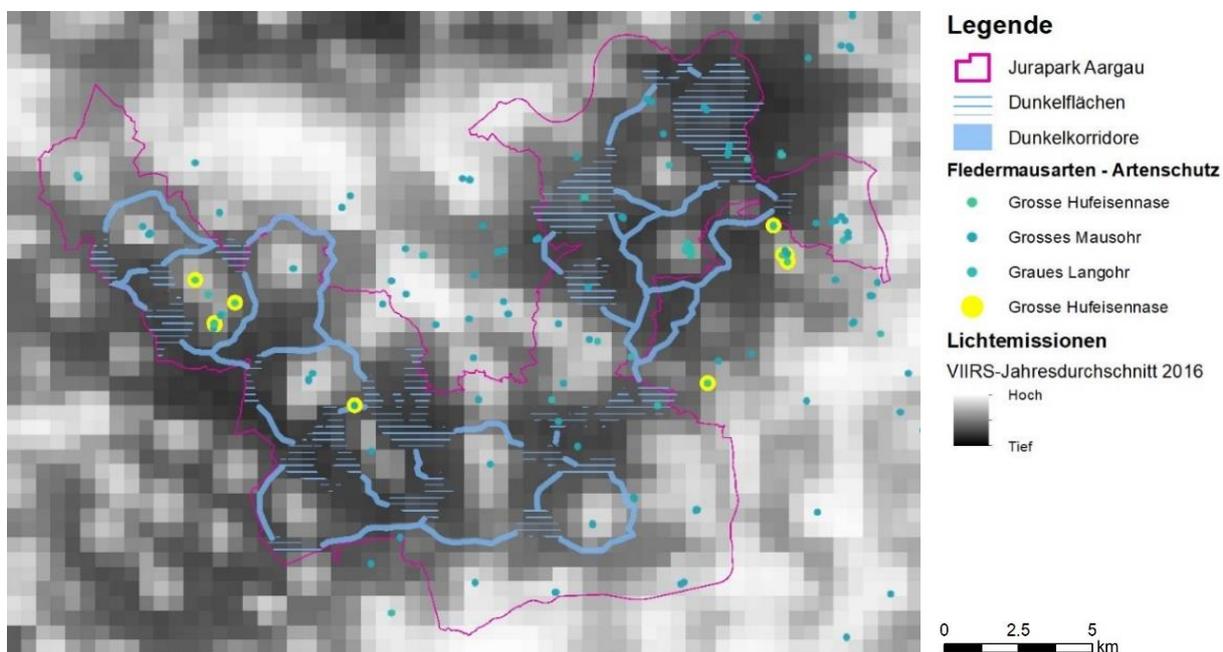


Abbildung 26: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den Quartieren der Arten der Fledermausförderung im Jurapark Aargau (Kanton Aargau); Grundlage: Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) und Jurapark Aargau (© BAFU)

Der Jurapark Aargau bietet mit seinen unterschiedlichen Lebensräumen Habitate für viele Fledermausarten. Für drei in der Schweiz gefährdete Arten (Grosse Hufeisennase, Grosses Mausohr und Graues Langohr) bietet das Wegenstettertal mit seinen strukturreichen Lebensräumen ein Refugium. Ziel des Projektes «Fledermausförderung im Wegenstettertal» ist, die Lebensräume für diese drei Arten zu erhalten und falls möglich aufzuwerten (Jurapark Aargau, 2016).

In Abbildung 26 werden nur die Quartiere der Arten der Fledermausförderung des Jurapark Aargau (Grosse Hufeisennase, Grosses Mausohr und Graues Langohr) dargestellt. Auch deren Quartiere liegen nur teilweise in dunklen Stellen. Die Quartiere der Grossen Hufeisennase (gelb markiert), der seltensten Art, liegen sogar alle ausserhalb der Dunkelflächen. Sie befinden sich jedoch teilweise in oder sehr nahe an einem Dunkelkorridor.

Neben der Lage der Fledermausquartiere sind auch die Flugrouten in die Jagdgebiete zu untersuchen. Es ist bekannt, dass einige Fledermausarten strukturreiche dunkle Flugkorridore benötigen, um von ihren Quartieren in die Jagdgebiete zu gelangen (Andres Beck, 2017). Im Rahmen des Projekts «Fledermausförderung im Wegenstettertal» wurden die Flugrouten der Grossen Hufeisennase ermittelt (Jurapark Aargau, 2016). Abbildung 27 zeigt den Vergleich dieser Flugrouten mit den Lichtemissionsdaten und den ausgeschiedenen Dunkelflächen und -korridoren.

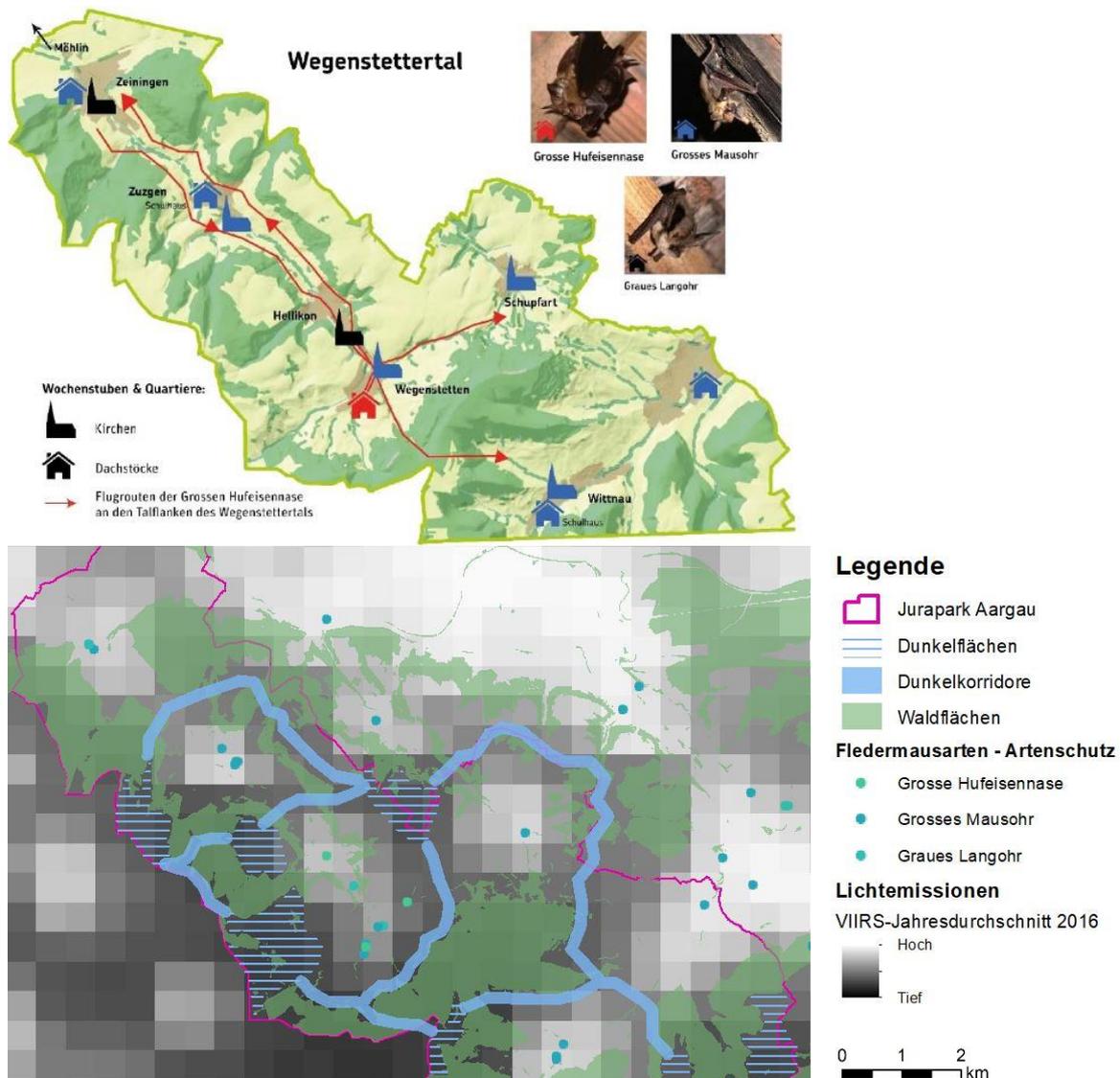


Abbildung 27: Flugrouten der Grossen Hufeisennase im Wegenstettertal (Jurapark Aargau, 2016) im Vergleich mit den künstlichen Lichtemissionen (VIIRS 2016, EOG) sowie den Dunkelflächen und -korridoren

Es ist ersichtlich, dass die bekannten Flugrouten nicht den Dunkelkorridoren folgen, sondern entlang der Talflanken in eher hellen Gebieten verlaufen. Für die Fledermäuse ist Dunkelheit nicht der einzige Faktor, sondern auch der Strukturreichtum und die Kosten eines Fluges, die mit der Distanz zunehmen. Die Auflösung der VIIRS-Daten erlaubt jedoch keine genauere Einschätzung der Situation der Flugkorridore bezüglich einzelner störender Lichtquellen.

Auch das Bestimmen der Flugrouten ist nicht so einfach und beruhte bisher auf der Einschätzung von Experten. Es laufen mehrere Projekte zur Entwicklung von Methoden, um die Flugrouten vorhersagen zu können. Anhand von Habitatnutzungs-Messungen (mit Bat-Loggern) und der Eignung der Landschaft können Flugrouten mit dem kleinsten Aufwand ermittelt werden. Dadurch entsteht ein Präferenzmodell, das vorhersagt, wo die Fledermäuse am liebsten durchfliegen. In einem weiteren Schritt können störende Lichtquellen an präferierten Stellen ermittelt werden. Dafür nötig sind Informationen zu den künstlichen Lichtemissionen, wofür sich Astronautenfotos der ISS und Lampeninventare eignen. Unbedingt nötig ist auch eine genauere Kartierung der Lichtemissionen.

Amphibien

Zu den Zielarten, die im Jurapark Aargau gefördert werden, gehören auch Amphibien, zum Beispiel die Geburtshelferkröte. Amphibien gehören zu den Tieren, die sehr sensibel auf Licht reagieren, alle ökologischen Auswirkungen sind jedoch noch unklar. In dieser Arbeit wurde untersucht, wie sich der Lebensraum der Amphibien bezüglich der Lichtemissionen verhält. Die Lichtemissionen von 2016 wurden mit den Gewässern und Auengebieten, sowie bekannten Amphibienlaichgebieten, überlagert.

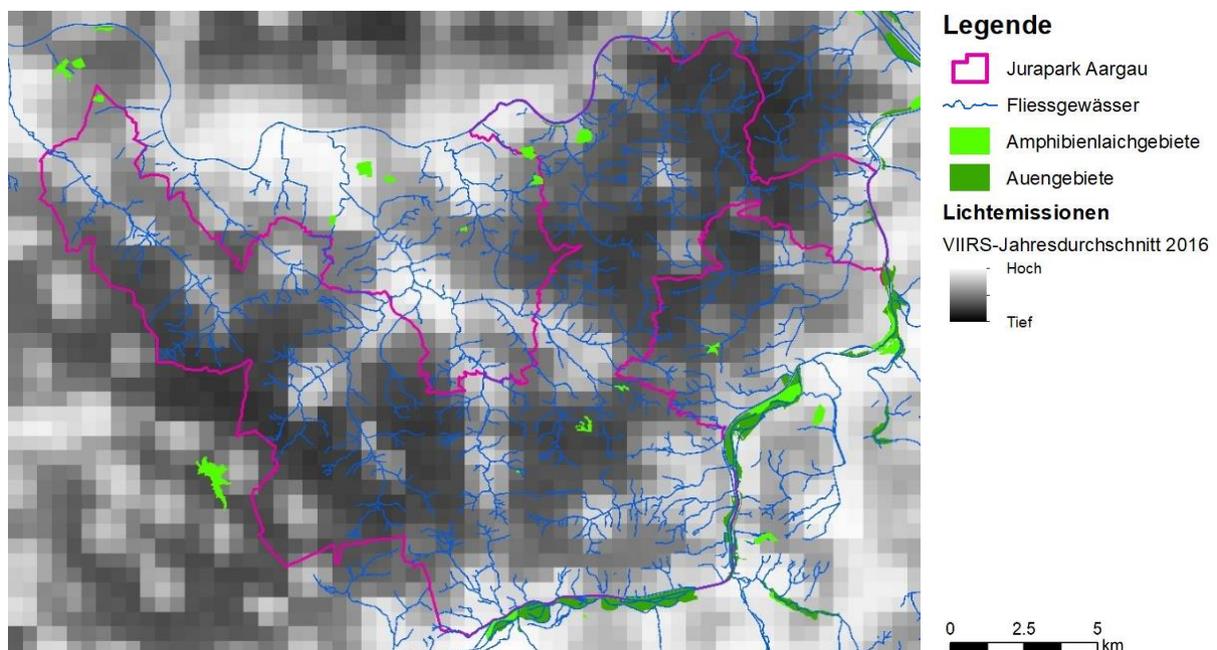


Abbildung 28: Vergleich von Gewässern, Auen (Kanton Aargau) und Amphibienlaichgebieten von nationaler Bedeutung (© BAFU) mit Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogram equalization; EOG) im Jurapark Aargau (© BAFU)

Abbildung 28 zeigt die Situation der aquatischen Lebensräume bezüglich der Lichtemissionen. Die Quellen der Bäche sind meistens in dunklen Gebieten. Danach fliessen die Gewässer in die helleren Gebiete, da die Täler generell heller sind (siehe Abbildung 16). Die Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung befinden sich teilweise an den Oberläufen der Bäche in den dunkleren Gebieten, aber auch an den Unterläufen in den helleren Gebieten. Die Auengebiete liegen am Rand des Mittellands und daher vorwiegend in helleren Gebieten.

Diese erste Einschätzung zeigt, dass die aquatischen Lebensräume Aufmerksamkeit benötigen, obwohl die Auswirkungen des künstlichen Lichts auf die Amphibien noch nicht vollständig erforscht sind. Denn neben Amphibien gibt es viele weitere ans Wasser gebundene Tierarten, für die es schwieriger ist als für mobile terrestrische Arten, dem Licht auszuweichen.

Vögel

Der Jurapark Aargau bietet auch vielen Vogelarten einen Lebensraum, zum Beispiel dem Gartenrotschwanz. Die Auswirkungen des künstlichen Lichts auf Vögel sind bekannt und reichen von Störungen der Orientierung bis hin zu Verschiebungen der jahreszeitlichen Aktivitäten.

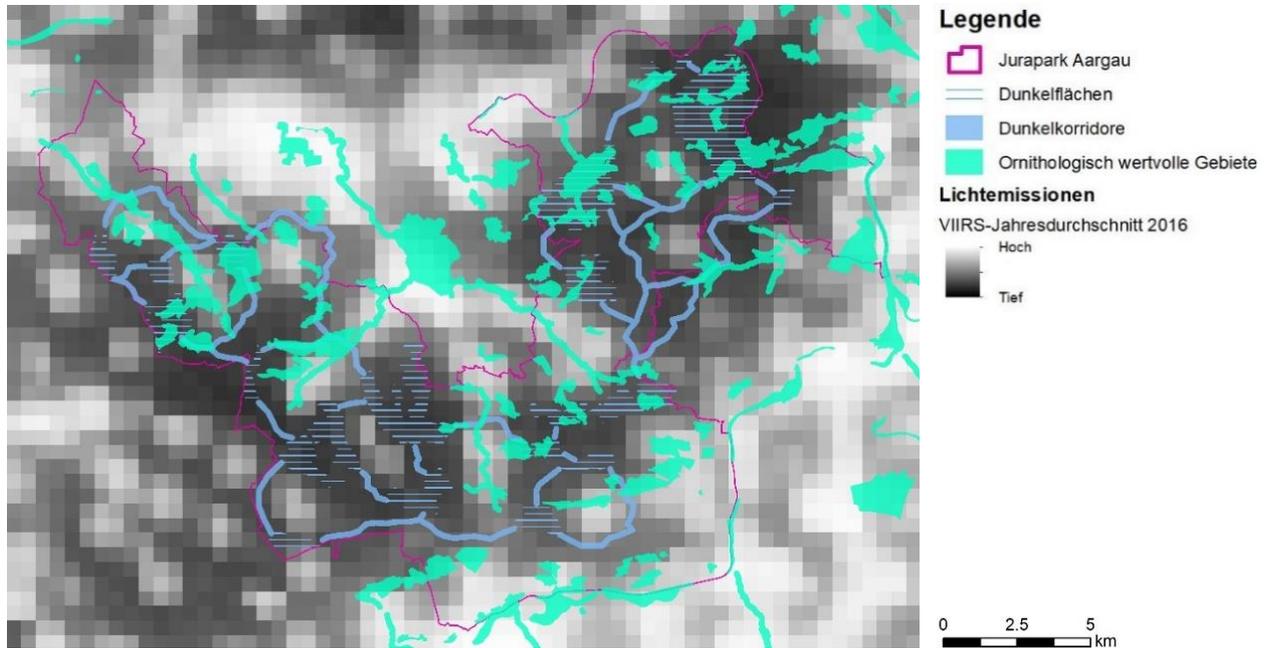


Abbildung 29: Vergleich der Dunkelflächen und -korridore mit den ornithologisch wertvollen Gebieten inklusive der Bachläufe (Kanton Aargau); Grundlage: Lichtemissionsdaten (VIIRS Jahresdurchschnitt 2016, Histogramm equalization; EOG) und Jurapark Aargau (© BAFU)

Als erste Einschätzung wurde die Lage von geeigneten Lebensräumen für Vögel untersucht. Dafür wurden die ornithologisch wertvollen Gebiete, inklusive den Bachläufen, mit den Lichtemissionen und den ausgeschiedenen Dunkelflächen und -korridoren verglichen. In Abbildung 29 ist die Lage der ornithologisch wertvollen Gebiete ersichtlich. Der Vergleich mit den Lichtemissionen ist nicht eindeutig. Einige der Gebiete, vor allem im Nordosten des Parks, liegen innerhalb der Dunkelflächen, andere hingegen liegen mitten in hellen Gebieten. Die erste Einschätzung zeigt, dass es sinnvoll wäre, Massnahmen zu erarbeiten, um in einigen dieser ornithologisch wertvollen Gebiete die Lichtemissionen zu vermindern.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Datenlage erste grobe ökologische Einschätzungen bezüglich der räumlichen Situation der Lichtemissionen in den verschiedenen Lebensräumen erlaubt. Weitere Untersuchungen sind nötig, um die ökologischen Auswirkungen zu bestimmen. Notwendig sind eine genauere Kartierung der Lichtemissionen und Studien mit spezifischen Tierarten. Die Resultate der ökologischen Einschätzungen zeigen, dass in einigen Lebensräumen momentan noch Dunkelheit herrscht. Es ist jedoch zu erwarten, dass diese Dunkelheit durch die Zunahme der Lichtemissionen (siehe Abbildung 12) unter Druck geraten wird. Deshalb ist es sehr wichtig, die künstlichen Lichtemissionen bereits in die Planung von ökologischen Konzepten einzubeziehen und eine Strategie zum Schutz der noch dunklen Lebensräume zu erarbeiten.

5.4 Beantwortung der Fragestellungen

Zusammenfassend wird untersucht, ob die für diese Arbeit formulierten Fragestellungen durch die Ergebnisse beantwortet werden konnten. Die Fragestellungen lauteten wie folgt:

- 1) Wie ist die derzeitige Situation und Entwicklung der künstlichen Lichtemissionen im Jurapark Aargau?
- 2) Gibt es Zusammenhänge der Lichtemissionen mit anderen Faktoren und lassen sich daraus einfache Kriterien für Dunkelheit ableiten?
- 3) Können dunkle Gebiete und Korridore im Offenland ausgeschieden werden?
- 4) Ist es möglich, Aussagen zu den ökologischen Auswirkungen der Lichtemissionen zu treffen?

Die erste Fragestellung bezüglich der Situation der Lichtemissionen konnte mit den angewandten Methoden beantwortet werden. Bereits die grobe Analyse der verfügbaren Internetquellen (New World Atlas of Artificial Sky Brightness und Light pollution map) zeigen, dass Europa generell stark erleuchtet ist (siehe Abbildung 4). Es gibt jedoch innerhalb der Länder grosse regionale Unterschiede, beispielsweise ist das Mittelland in der Schweiz viel stärker erleuchtet als das Alpengebiet (siehe Abbildung 5). Das Gebiet des Jurapark Aargau ist dunkler als seine unmittelbare Umgebung, wird jedoch im World Atlas im Vergleich zu natürlicher Dunkelheit trotzdem bereits als mittelmässig belastet eingestuft (siehe Abbildung 4). Auf einem Foto, das von Astronauten aufgenommen wurde, erscheint das Parkgebiet relativ dunkel. Es ist jedoch ersichtlich, dass es in der Nähe grosse Städte (Aarau, Zürich und Basel) als Lichtquellen gibt (siehe Abbildung 3).

Die Begehung des Parkgebietes bestätigte diesen Eindruck, das hügelige Gebiet des Jurapark Aargau erschien dunkel verglichen mit dem Mittelland. Innerhalb des Parks waren nur vereinzelte Lichtquellen von Siedlungen (Gebäude und Strassenlampen) und Strassen (Strassenlampen und fahrende Autos) erkennbar, der Horizont jedoch war in Blickrichtung der nahen Städte erhellt (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Zu den gleichen Resultaten führte auch die räumliche Analyse der zur Verfügung stehenden Satellitendaten. Es war möglich, die künstlichen Lichtemissionen zu kartieren (siehe Abbildung 11). Das Gebiet des Jurapark Aargau ist im LABES- wie auch im VIIRS-Datensatz relativ dunkel, verglichen mit der Umgebung im Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Anhand der Analyse der LABES-Daten konnte gezeigt werden, dass die künstlichen Lichtemissionen über 20 Jahre stark zugenommen haben (siehe Abbildung 12). Dass die Veränderungen jedoch eher langsam geschehen, wurde bei der Analyse der VIIRS-Daten ersichtlich (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14).

Die zweite Fragestellung hinsichtlich Zusammenhängen mit anderen Faktoren führte zu der Erkenntnis, dass das Relief eine wichtige Rolle spielt. Es gibt Unterschiede zwischen den Naturräumen in der Schweiz, mit abnehmenden Lichtemissionen vom Mittelland hin zu den Alpen (siehe Abbildung 15). Generell scheint es in flachen Gebieten mehr Lichtemissionen zu geben als in hügeligen (siehe Abbildung 16). Weiter wurde erkannt, dass eine starke Korrelation zwischen den Lichtemissionen und den Siedlungsgebieten besteht (siehe Abbildung 17). Etwas weniger stark war der Zusammenhang mit Verkehrsinfrastrukturen, wie den Strassen und Eisenbahnlinien (siehe Abbildung 18). Zusätzlich wurde die Distanz zum Wald als weiterer wichtiger Faktor erkennbar (siehe Abbildung 19).

Aus den Zusammenhängen konnten drei einfache Kriterien für Dunkelheit abgeleitet werden:

- 1) abgeschirmt durch das Relief
- 2) möglichst grosse Distanz zu Infrastrukturen (Siedlungen und Verkehrswege)
- 3) möglichst nahe am Wald

Betreffend der dritten Fragestellung zeigte sich im Laufe der Untersuchung, dass es möglich ist, dunkle Gebiete und Korridore im Parkgebiet auszuscheiden. Anhand der Resultate der zweiten Fragestellung, der Dunkelheitskriterien, konnten dunkle Gebiete und Verbindungen, sogenannte «Dunkelflächen und -korridore», abgeleitet werden (siehe Abbildung 8). Es war möglich, in allen Gebieten des Parks Dunkelflächen auszuscheiden und diese durch Dunkelkorridore zusammenhängend zu verbinden (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Es wurde jedoch ersichtlich, dass dieses Netz einige problematische Stellen hat, z.B. Übergänge über wichtige Verkehrsachsen (siehe Abbildung 21).

Auch bezüglich der vierten Fragestellung konnten einige grundlegende Erkenntnisse gewonnen werden. Es zeigte sich, dass die Wildtierachsen innerhalb des Parkgebietes relativ gut entlang der dunklen Gebiete verlaufen (siehe Abbildung 22). Einige Wildtierachsen und -korridore, die ausserhalb des Parks liegen, scheinen stärker durch Helligkeit gefährdet zu sein (siehe Abbildung 23). Bei den Daten der Ökologischen Infrastruktur gab es nur eine teilweise Übereinstimmung mit der Dunkelheit (siehe Abbildung 24).

In einem weiteren Schritt wurden Lebensräume von verschiedenen Tierarten bezüglich der Lichtemissionen untersucht. Bei den Fledermäusen lagen viele der bekannten Quartiere in hellen Gebieten und nicht in den ausgeschiedenen Dunkelflächen (siehe Abbildung 25). Bei den seltenen Arten, hier erwähnt sei die Grosse Hufeisennase, liegen sogar alle Quartiere ausserhalb der Dunkelflächen (siehe Abbildung 26). Auch die Flugkorridore zum Erreichen der Jagdgebiete scheinen in den helleren Gebieten zu liegen (siehe Abbildung 27). Bei den Amphibien stellte sich heraus, dass die Bäche von der Quelle an abwärts in immer hellere Gebiete fliessen (siehe Abbildung 28). Die Laichgebiete von Amphibien liegen oft in hellen Gebieten. Bei den Vögeln war das Resultat ähnlich, die ornithologisch wertvollen Gebiete liegen tendenziell in den helleren Gebieten (siehe Abbildung 29).

Zusammenfassend befindet sich der Jurapark Aargau momentan noch in einer begünstigten Situation, was die künstlichen Lichtemissionen betrifft. Der Park ist dunkler als seine Umgebung, was unter anderem dadurch erklärbar ist, dass er weniger dicht besiedelt ist als das Mittelland. Dies reduziert bereits die Anzahl Lichtquellen deutlich. Des Weiteren profitiert er auch stark von seiner hügeligen Topografie, denn dadurch wird das Licht der Dörfer, die sich meistens in den Tälern befinden, sehr schnell verdeckt. Da Lichtemissionen ein grossräumiges Phänomen sind, wird das Gebiet des Jurapark Aargau jedoch trotzdem beeinflusst, durch gestreute Lichtemissionen umgebender Siedlungen und Städte.

6. Diskussion

Das Thema «Künstliche Lichtemissionen» ist sehr vielfältig und komplex und bot deshalb Möglichkeiten für verschiedenste Herangehensweisen. In diesem Kapitel werden die gewählten Ansätze hinterfragt und vorhandenes Verbesserungspotential aufgezeigt.

Verbesserungspotential im Bereich der Begehungen und den Fotoaufnahmen in der Nacht liegt einerseits in der Anzahl der Besuche im Parkgebiet, wie auch bei der Ausrüstung. Es wäre sinnvoll, die Begehungen der Aussichtspunkte mehrmals zu wiederholen, um den Einfluss weiterer Faktoren, z.B. der Witterung, erfassen zu können. Auch die Anzahl von Aussichtspunkten könnte erhöht werden, um weitere Teile des Parkgebietes abzudecken, z.B. das Wegenstettertal. Bei der Ausrüstung wäre es vorteilhafter gewesen, auch bei der Begehung des Cheisacher-Aussichtsturms die lichtsensitivere Kamera zu verwenden, deren Bilder auch bearbeitbar sind. Beim Besuch in der Sternwarte Cheisacher war es leider bedeckt, so dass mit den Anwesenden zwar eine sehr interessante Diskussion geführt, nicht aber das Teleskop in Betrieb genommen werden konnte.

Methodisch war es gut, vorangehend zu der Satellitendatenanalyse eigene Eindrücke zu sammeln, da dadurch ein Gefühl für die Bedeutung der Daten entwickelt werden konnte. Dieses war hilfreich, um zu erkennen welche Darstellungsarten der Realität am nächsten kommen, wie auch bei der Interpretation der Satellitenbilddaten.

Bei der Untersuchung der Lichtemissionen anhand der Satellitendaten wurde ersichtlich, dass die geometrische Auflösung relativ grob ist (LABES: 1 km und VIIRS: 500 m). Da jedoch als Ziel der vorliegenden Arbeit eine erste Einschätzung der Situation und Entwicklung definiert wurde, genügte diese Auflösung. Auch für die Untersuchung grossräumiger Trends waren die Daten geeignet. Um jedoch detailliertere Aussagen treffen zu können, wäre eine höhere Auflösung vorausgesetzt. Diese steht jedoch im Moment mit Satellitenbilddaten nicht zur Verfügung.

Im Vergleich der Lichtemissionsdaten brachten die VIIRS-Daten gegenüber den LABES-Daten den Vorteil einer höheren Auflösung mit sich, etwas kritisch ist jedoch deren sogenannte «blue blindness» (siehe Kapitel 3.1.3). Diese erschwert einen Vergleich zwischen den beiden Arten von Satellitendaten zu den künstlichen Lichtemissionen. Noch gravierender ist, dass dadurch der Umstieg von konventionellen Leuchten auf LEDs nicht erfasst werden kann. Es könnte sein, dass von 2014 bis 2017 neue LED-Leuchten installiert wurden, jedoch keine Helligkeitszunahme ersichtlich wird, wie es in Abbildung 13 der Fall ist.

Aus diesen Gründen arbeiten Experten daran, neue Methoden für eine bessere Kartierung der Lichtemissionen zu entwickeln, z.B. mit der Kalibrierung von Astronautenfotos oder mit Messungen vor Ort, z.B. mit Drohnen. Dass diese Ansätze sehr erfolgsversprechend sind, zeigen erste kalibrierte Bilder von Städten, z.B. Paris, auf denen einzelne Lichtquellen unterscheidbar sind.

Neben der räumlichen Auflösung der Satellitendaten war auch deren zeitliche Verfügbarkeit eingeschränkt. Die LABES-Daten waren von 1992 bis 2012 erhältlich, die VIIRS-Daten hingegen erst ab 2014 bis Mitte 2017. Dass sich diese zeitlich nicht überlagerten war nicht ideal, da dadurch kein direkter Vergleich möglich war. Aus diesem Grund ist es sehr erfreulich, dass von der WSL 2018/19 eine Neuauflage der LABES-Daten angesagt ist.

Ein grosser Vorteil ist, dass die VIIRS-Daten für alle frei verfügbar sind. Auch deren monatliche Periodizität bringt, abgesehen von einigen Extremwerten, grosses Potential mit sich, da auch weitere Faktoren, wie z.B. jahreszeitliche Unterschiede untersucht werden können.

In dieser Arbeit wurde nicht mit quantitativen Werten gearbeitet. Dies war nicht nötig, da bei der Analyse der Situation und der Entwicklung der Lichtemissionen, anhand der LABES-Daten, bereits die visualisierte Darstellung ein klares Bild sprach (siehe Abbildung 12). Auch bei den Untersuchungen der VIIRS-Daten wurde nicht mit quantitativen Werten gearbeitet, da die Datensätze untereinander grosse Schwankungen aufwiesen. Für eine erste Einschätzung der Situation und der Ermittlung von Zusammenhängen war die relative Helligkeit ausreichend. In einem weiteren Schritt wäre es jedoch wissenschaftlich notwendig, Analysen mit quantitativen Werten durchzuführen. Auch quantitative Messungen des Lichts vor Ort wären ein interessanter Ansatzpunkt.

Bei der Interpretation der Kartierungen muss beachtet werden, dass die Darstellungsart eine wichtige Rolle spielt. Die gleichen Daten können verschiedene Eindrücke vermitteln (siehe Abbildung 11). Die Darstellungsarten «Standard deviation» und «Percent clip» kommen der Wirklichkeit meiner Einschätzung nach am nächsten, weshalb diese so oft wie möglich eingesetzt wurden. Die Darstellungsart «Histogram equalization» stellt die Werte übertrieben hell dar, diese Darstellung wurde jedoch trotzdem vereinzelt eingesetzt, da manchmal bei den anderen Darstellungsarten innerhalb des generell noch sehr dunklen Parkgebietes gar keine Unterschiede erkennbar waren.

Rückblickend muss festgehalten werden, dass bei dem Vergleich der Lichtemissionen mit den Beleuchtungen der Kantonsstrassen nicht miteinbezogen wurde, wie hell die einzelnen Strassenlampen leuchten und ob sie eventuell verschiedene Beleuchtungszeiten besitzen. Diese Informationen standen für diese Arbeit nicht zur Verfügung. Generell wäre es wünschenswert, mehr Daten zu den Beleuchtungen zu haben, z.B. auch die kommunalen Lampeninventare. Was zusätzlich zu der öffentlichen Beleuchtung immer schwierig zu erfassen bleiben wird, sind privat installierte Beleuchtungen.

Bei den ausgewiesenen Dunkelflächen und -korridoren kann kritisiert werden, dass sie subjektiv ausgeschieden wurden. Dies war im Rahmen dieser Arbeit ausreichend, um zu zeigen, dass im ganzen Park noch dunkle Gebiete existieren, die mit dunklen Korridoren verbunden werden können. In einem nächsten Schritt müsste eine Methode ausgearbeitet werden, mit welcher dunkle Gebiete anhand von objektiven Kriterien ausgeschieden werden können, z.B. ein Helligkeitsmodell.

Zusätzlich dazu, dass ökologische Einschätzungen schwierig zu treffen sind, ist zu berücksichtigen, dass die künstliche Erhellung von Lebensräumen nicht der einzige wichtige Faktor in der Ökologie ist. Künstliches Licht ist nicht für alle Arten gleich problematisch und einige werden sich auch besser daran anpassen oder ausweichen können als andere. Um die wirklichen ökologischen Auswirkungen des künstlichen Lichts auf die Lebewesen, inklusive dem Menschen zu bestimmen, sind deshalb noch detailliertere Studien und Experimente nötig. Notwendig und unerlässlich wird eine genauere Kartierung der Lichtemissionen sein. Auch untersucht werden müssen Effekte verschiedener Beleuchtungstechnologien, da Lebewesen unterschiedlich auf verschiedene Farbspektren reagieren.

Zusammenfassend erwies sich der gewählte Ansatz, mit einer Kombination aus eigenen Eindrücken und Datenanalysen, als geeignet, um die Fragestellungen zu beantworten. Die vorliegende Arbeit stellt eine erste Einschätzung der Situation der künstlichen Lichtemissionen im Jurapark Aargau dar und kann als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen. Zusätzlich zu den erwähnten Verbesserungsmöglichkeiten tritt das Thema erst langsam in den Fokus der Öffentlichkeit, der Politik und der Forschung. Viele Fragen sind deshalb noch offen oder wurden noch gar nicht gestellt.

7. Fazit

Künstliche Lichtemissionen sind eine sehr spannende Form der Umweltverschmutzung, da diese einerseits eigentlich bekannt ist und es andererseits einfach wäre, sie zu vermeiden. Die einfachste Lösung, die jedoch nicht realistisch ist, wäre das Licht auszuschalten. Im Gegensatz zu anderen Umweltproblemen würde dabei keine Verschmutzung zurückbleiben. Trotzdem sollte mit der Reduktion der Lichtemissionen nicht mehr zu lange gewartet werden, da künstliches Licht neben positiven auch negative - und teils unwiderrufliche - Konsequenzen mit sich bringen kann, z.B. Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder das Aussterben von Tierarten.

Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist es sehr sinnvoll, sofort mit der Begrenzung von unerwünschten Lichtemissionen zu beginnen, obwohl noch nicht alle Auswirkungen des künstlichen Lichts bekannt sind. Es ist erfreulich, dass dieser Grundsatz in der Politik und Praxis immer stärker zum Tragen kommt. Der Bund, aber auch viele Kantone, haben bereits Handlungsempfehlungen herausgegeben oder sind aktuell an deren Erarbeitung. Es gibt auch Gemeinden, die bereits ihr Beleuchtungskonzept analysiert und angepasst haben. Da Lichtemissionen ein grossräumiges Phänomen darstellen, sind Zusammenarbeiten von verschiedenen Akteuren in der Politik, der Praxis und der Forschung, aber auch die Sensibilisierung der Bevölkerung erfolgsversprechend.

Weiter ist künstliches Licht spannend, weil es gleichzeitig mit den Gefahren enorme Vorteile mit sich bringt. In Zukunft wird es deshalb darum gehen, Licht sinnvoll einzusetzen. Dazu gehört, Licht nur dort und nur so hell als nötig einzusetzen und zu überprüfen, dass kein unnötiges Licht abgestrahlt wird. Angepasste Beleuchtungskonzepte werden deshalb in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Diese bestehen aus statischen Elementen z.B. der Position, Ausrichtung oder Helligkeit der Lichtquellen aber auch einer dynamischen Komponente, der sogenannten «intelligenten» Lichtsteuerung. Es soll erreicht werden, dass ein Licht nur brennt, wenn es benötigt wird. Dabei werden neue Beleuchtungstechnologien eine grosse Rolle spielen. Denn im Gegensatz zu herkömmlichen Lampen, bei denen das Licht je nach Bedarf ein- oder ausgeschaltet wird, z.B. mit Bewegungsmeldern oder Zeitschaltuhren, ermöglichen die neuen Technologien wie beispielsweise LEDs, das Licht auf ein Minimum zu dimmen und nur falls benötigt hochzufahren.

In der Schweiz gibt es bereits einige Erfahrungen zu bedarfsgesteuerten Beleuchtungen. So nimmt z.B. die Stadt St. Gallen bezüglich der öffentlichen Beleuchtung eine Vorreiterrolle ein. Sie setzt seit 2009 auf LEDs und hat im Jahr 2010 ein Beleuchtungskonzept erarbeitet, um Licht besser und gezielter einzusetzen. Im Rahmen eines Pilotprojektes betreibt die Stadt seit 2014 ein dynamisches Beleuchtungssystem: entlang der Demutstrasse wird die Beleuchtung je nach Verkehrsaufkommen reguliert, was eine Energieeinsparung erlaubt (Christoph Renn, 2018). Eine Studie der WSL in Zusammenarbeit mit den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ) zeigte, dass dynamische Beleuchtungskonzepte auch ökologisch sinnvoll sind. Sie untersuchten die Auswirkungen auf Nachtinsekten und Fledermäuse entlang zweier Teststrecken in Urdorf und Regensdorf. Es konnte bewiesen werden, dass Dimmen auf bis zu 40% möglich ist, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Dadurch können unerwünschte Lichtemissionen in die Umwelt vermieden und Dunkelkorridore für nachtaktive Insekten und Fledermäuse gefördert werden (Inside, 2018).

Für den Jurapark Aargau lässt sich festhalten, dass momentan noch kein dringender Handlungsbedarf besteht, da bei der Datenanalyse ersichtlich wurde, dass das Parkgebiet noch relativ dunkel ist im Vergleich mit seiner Umgebung. In Anbetracht des zunehmenden Trends der künstlichen Lichtemissionen wird das Thema jedoch in Zukunft an Bedeutung gewinnen und es ist deshalb vorteilhaft, so früh als möglich ein Vorgehenskonzept zu erarbeiten und möglichst viele Massnahmen zu kombinieren.

Aufgrund der Resultate der vorliegenden Arbeit wären folgende Handlungsmöglichkeiten für den Jurapark Aargau zu erwägen:

- Problematische Stellen der in dieser Arbeit ausgewiesenen Dunkelkorridore begutachten und bei Bedarf schützen
- Situation der Zielarten genauer untersuchen und deren Lebensräume schützen
- Genauere Kartierungsmethode der Lichtemissionen erarbeiten
- Objektive, automatisierte Methode für die Ausscheidung von dunklen Gebieten erarbeiten

Es gibt auch viele generelle Handlungsmöglichkeiten, die für den Jurapark Aargau ebenfalls zu empfehlen sind:

- Sensibilisierung der Gemeinden mit Aufzeigen der Möglichkeiten für ein angepasstes Beleuchtungskonzept und die daraus resultierenden Einsparmöglichkeiten
- Zusammenarbeit und Wissensaustausch mit dem Kanton Aargau, dem Naturama, anderen Regionalen Naturparks und weiteren Partnern wie Dark-Sky Switzerland oder BirdLife Aargau
- Zusammenarbeit mit der Forschung, z.B. Pilotstudien in Gemeinden mit neuen Beleuchtungskonzepten oder Untersuchung der ökologischen Auswirkungen auf Zielarten der Artenförderung
- Sensibilisierung der Bevölkerung durch Flyer und Informationsveranstaltungen, damit von privaten Grundstücken weniger unnötiges Licht emittiert wird
- Lancierung eines Citizen Science Projektes zur Stärkung des Bewusstseins und Generierung von Daten
- Erarbeitung eines «Dunkelheitslabels» für Regionen, Gemeinden oder Privatpersonen

Die Aufzählung der Handlungsmöglichkeiten ist weder allumfassend noch abschliessend, zeigt jedoch verschiedene Richtungen auf und verdeutlicht die Komplexität des Themas. Künstliches Licht hat neben der ökologischen auch immer eine wirtschaftliche und eine soziale Komponente.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass, wer Dunkelheit im Aussenraum fördert, weder Sicherheit noch Lebensqualität verringert, sondern vorausschauend im Sinne von Flora und Fauna sowie dem menschlichen Wohlbefinden handelt. Um mehr Dunkelheit zu erreichen, ist Bereitschaft nötig, bekannte Massnahmen umzusetzen. Der erbrachte Aufwand wird im besten Fall sogar mit wirtschaftlichen Vorteilen, wie Energie- und Kosteneinsparungen, belohnt.

Zurückkehrend auf den Jurapark Aargau lässt sich festhalten, dass ihm Faktoren wie das Relief und die geringe Bevölkerungsdichte entgegenkommen, was ihn – wie auch vor 20 Jahren – als eine Art Dunkel-Oase innerhalb der sonst stark erhellten Nordwestschweiz erscheinen lässt. Für den Park besteht Handlungsspielraum, aber auch eine gewisse Verantwortung, die Dunkelheit im Parkgebiet zu erhalten beziehungsweise zu fördern. Dem Jurapark Aargau bietet sich die Chance, eine Vorreiterrolle für die Schweiz einzunehmen und ein Best-Practice Beispiel für den Umgang mit künstlichen Lichtemissionen zu werden.

8. Literaturverzeichnis

- Andres Beck. (2017). *Fledermausschutz im Kanton Aargau Jahresbericht 2017*. Kanton Aargau und BAFU. 6 S.
- BAFU (Hrsg.). (2012a). *Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285*. Bern. 22 S.
- BAFU. (2012b). *Strategie Biodiversität Schweiz*.
- BAFU (Hrsg.). (2017a). *Aktionsplan des Bundesrates. Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz*. Bern. 50 S.
- BAFU (Hrsg.). (2017b). *Vollzugshilfe Lichtemissionen*. Entwurf zur Konsultation. Bern. 130 S.
- BAFU. (2018). *Verfügbare Geodaten des BAFU*. Zugriff am 15.05.2018. Verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/daten/geodaten.html>
- BAFU und WSL (Hrsg.). (2013). *Neue Ansätze zur Erfassung der Landschaftsqualität. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES)* (Umwelt-Wissen Nr. 1325). Bern und Birmensdorf. 77 S.
- BAFU und WSL (Hrsg.). (2017). *Wandel der Landschaft. Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES)* (Umwelt-Zustand Nr. 1641). Bern und Birmensdorf. 74 S.
- Bund. (1983). Bundesgesetz über den Umweltschutz. USG.
- BUWAL (Hrsg.). (2005). *Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen* (Vollzug Umwelt). Bern. 39 S.
- Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Späti, J., Bues, M., Pross, A. et al. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 110 (5), 1432–1438. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00165.2011>
- Carto. (2018). *Dark skies catalog: Cities*. Zugriff am 16.05.2018. Verfügbar unter https://pmisson.carto.com/viz/281a7eb6-fa7a-11e4-8522-0e853d047bba/public_map
- Chang, A.-M., Aeschbach, D., Duffy, J. F. & Czeisler, C. A. (2015). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (4), 1232–1237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>
- Christoph Renn (2018, 7. März). LICHT: Das Beleuchtungskonzept der Stadt St.Gallen: Ein leuchtendes Herz in Weiss. *Tagblatt*. Verfügbar unter <https://www.tagblatt.ch/ostschweiz/stgallen-gossaurorschach/licht-das-beleuchtungskonzept-der-stadt-stgallen-ein-leuchtendes-herz-in-weiss-ld.1013558>
- CIRES. (2018). *The New World Atlas of Artificial Sky Brightness*. Zugriff am 21.05.2018. Verfügbar unter <https://cires.colorado.edu/Artificial-light>
- Dark-Sky Switzerland. (2018). *Zweck*. Zugriff am 16.07.2018. Verfügbar unter <http://www.darksky.ch/dss/de/ziele/zweck/>
- Davies, T. W. & Smyth, T. (2017). Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Global change biology*, 24 (3), 872–882. <https://doi.org/10.1111/gcb.13927>
- EOG. (2018a). *DMSP & VIIRS Data Download*. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/download.html>
- EOG. (2018b). *Operational Linescan System*. Zugriff am 22.07.2018. Verfügbar unter <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/sensors/ols.html>
- Esri. (2017). ArcGIS. ArcMap (Version 10.5.1) [Computer software]: Esri.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K. et al. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, 2 (6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>

- Gaston, K. J., Gaston, S., Bennie, J. & Hopkins, J. (2015). Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Environmental Reviews*, 23 (1), 14–23. <https://doi.org/10.1139/er-2014-0041>
- Hölker, F., Moss, T., Griefahn, B., Kloas, W., Voigt, C. C., Henckel, D. et al. (2010). The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. *Ecology and Society*, 15 (4). <https://doi.org/10.5751/ES-03685-150413>
- HSR. (2019). *geodata4edu*. Verfügbar unter <https://www.geodata4edu.ch/>
- Inside. (2018). *Dimmbare LED Strassenleuchten: Gute Aussichten für Nachtinsekten und Fledermäuse?* (KBNL, Hrsg.). 40 S.
- International Dark-Sky Association. (2018). *Who we are*. Zugriff am 16.07.2018. Verfügbar unter <http://darksky.org/about/>
- Jurapark Aargau. (2016). *Fledermausförderung im Wegenstettertal*. 4 S.
- Jurapark Aargau. (2018). *Facts & Figures*. Zugriff am 15.06.2018. Verfügbar unter <https://www.jurapark-aargau.ch/facts-figures.html>
- Jurij Stare. (2018). *lightpollutionmap*. Zugriff am 21.05.2018. Verfügbar unter <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=4&lat=5795365&lon=1250686&layers=B0TF7FFFFFFF>
- Kanton Aargau (Hrsg.). (2010). *Grundlagenbericht Wildtierkorridore* (Umwelt Aargau Sondernummer 31). 98 S.
- Kanton Aargau (Hrsg.). (2016). *Es braucht funktionsfähige Wildtierkorridore* (Umwelt Aargau Nr. 70). 4 S.
- Kanton Aargau. (2018). *Geodaten*. Zugriff am 15.05.2018. Verfügbar unter https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/geodaten_agis/geodaten.jsp
- Kanton Aargau und Jurapark Aargau (Hrsg.). (2017). *Ökologische Infrastruktur im Jurapark Aargau. Bericht vom 30. Nov. 17 zuhanden des BAFU zur Etappe 2 des Pilotprojekts*. Interner Fachbericht. 77 S.
- Kienast F. (2014). *Auswertungsprotokoll für Indikator 14 (Aufdatierung Feb. 2015). Lichtemissionen* (WSL, Hrsg.). Birmensdorf. 11 S.
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M. & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548 (7666), 206–209. <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- Kyba, C. C. M. (2018). Is light pollution getting better or worse? *Nature Astronomy*, 2 (4), 267–269. <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0402-7>
- Kyba, C. C. M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F. et al. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science advances*, 3 (11), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Lewanzik, D. & Voigt, C. C. (2014). Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of Applied Ecology*, 51 (2), 388–394. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12206>
- Longcore, T. & Rich, C. (2004). Ecological Light Pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2 (4), 191. <https://doi.org/10.2307/3868314>
- Miller, J. R. (2005). Biodiversity conservation and the extinction of experience. *Trends in ecology & evolution*, 20 (8), 430–434. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.013>
- NASA. (2018). *Gateway to Astronaut Photography of Earth*. Zugriff am 16.05.2018. Verfügbar unter <https://eol.jsc.nasa.gov/>
- NCEI. (2018). *About the National Centers for Environmental Information*. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <https://www.ncei.noaa.gov/about>
- NESDIS (NESDIS, Hrsg.). (2018). *About*. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <https://www.nesdis.noaa.gov/content/about>
- Netzwerk Schweizer Pärke. (2018). *Interaktive Karte*. Verfügbar unter <https://www.parks.swiss/de/karte.php>

- NOAA. (2018). *About our agency*. Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter <http://www.noaa.gov/about-our-agency>
- Schweizerische Koordinationsstelle für Fledermausschutz (Hrsg.). (2012). *Konzept Artenförderung Fledermäuse 2013-2020*. 106 S.
- SCNAT (Hrsg.). (2018). *Lichtemissionen im Naturpark Gantrisch: Ist- und Sollzustand*. Zugriff am 22.07.2018. Verfügbar unter https://naturwissenschaften.ch/organisations/biodiversity/publications/informations_biodiversity_switzerland/search_details?id=1475
- Steinbach, R., Perkins, C., Tompson, L., Johnson, S., Armstrong, B., Green, J. et al. (2015). The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. *Journal of epidemiology and community health*, 69 (11), 1118–1124. <https://doi.org/10.1136/jech-2015-206012>

9. Anhang

Tabelle I: LABES-Datengrundlagen

Name	Jahre	Datenformat	Beschreibung
p14_1992-1994	1992-1994	Raster dataset	Von der WSL für Indikator 14 der Landesbeobachtung Schweiz (LABES) aufbereitete Lichtemissionsdaten Quelle: NGDC
p14_1993-1995	1993-1995		
p14_1994-1996	1994-1996		
p14_1995-1997	1995-1997		
p14_1996-1998	1996-1998		
p14_1997-1999	1997-1999		
p14_1998-2000	1998-2000		
p14_1999-2001	1999-2001		
p14_2000-2002	2000-2002		
p14_2001-2003	2001-2003		
p14_2002-2004	2002-2004		
p14_2003-2005	2003-2005		
p14_2004-2006	2004-2006		
p14_2005-2007	2005-2007		
p14_2006-2008	2006-2008		
ch_2007-2009	2007-2009		
ch_2008-2010	2008-2010		
ch_2009-2011	2009-2011		
ch_2010-2012	2010-2012		

Tabelle II: VIIRS-Datengrundlagen

Name	Monat und Jahr	Datenformat	Beschreibung
1_rade9.tif_proj.tif	Januar 2014	Raster dataset	Von James Hale aufbereitete VIIRS-Lichtemissionsdaten Quelle: EOG
2_rade9.tif_proj.tif	Februar 2014		
3_rade9.tif_proj.tif	März 2014		
4_rade9.tif_proj.tif	April 2014		
5_rade9.tif_proj.tif	Mai 2014		
6_rade9.tif_proj.tif	Juni 2014		
7_rade9.tif_proj.tif	Juli 2014		
8_rade9.tif_proj.tif	August 2014		
9_rade9.tif_proj.tif	September 2014		
10_rade9.tif_proj.tif	Oktober 2014		
11_rade9.tif_proj.tif	November 2014		
12_rade9.tif_proj.tif	Dezember 2014		
13_rade9.tif_proj.tif	Januar 2015		
14_rade9.tif_proj.tif	Februar 2015		
15_rade9.tif_proj.tif	März 2015		
16_rade9.tif_proj.tif	April 2015		
17_rade9.tif_proj.tif	Mai 2015		
18_rade9.tif_proj.tif	Juni 2015		
19_rade9.tif_proj.tif	Juli 2015		
20_rade9.tif_proj.tif	August 2015		
21_rade9.tif_proj.tif	September 2015		
22_rade9.tif_proj.tif	Oktober 2015		
23_rade9.tif_proj.tif	November 2015		
24_rade9.tif_proj.tif	Dezember 2015		
25_rade9.tif_proj.tif	Januar 2016		
26_rade9.tif_proj.tif	Februar 2016		
27_rade9.tif_proj.tif	März 2016		
28_rade9.tif_proj.tif	April 2016		

29_rade9.tif_proj.tif	Mai 2016	Raster dataset	Von James Hale aufbereitete VIIRS-Lichtemissionsdaten Quelle: EOG
30_rade9.tif_proj.tif	Juni 2016		
31_rade9.tif_proj.tif	Juli 2016		
32_rade9.tif_proj.tif	August 2016		
33_rade9.tif_proj.tif	September 2016		
34_rade9.tif_proj.tif	Oktober 2016		
35_rade9.tif_proj.tif	November 2016		
36_rade9.tif_proj.tif	Dezember 2016		
37_rade9.tif_proj.tif	Januar 2017		
38_rade9.tif_proj.tif	Februar 2017		
39_rade9.tif_proj.tif	März 2017		
40_rade9.tif_proj.tif	April 2017		
41_rade9.tif_proj.tif	Mai 2017		
42_rade9.tif_proj.tif	Juni 2017		
43_rade9.tif_proj.tif	Juli 2017		
44_rade9.tif_proj.tif	August 2017		
45_rade9.tif_proj.tif	September 2017		

Tabelle III: Für diese Arbeit erstellte VIIRS-Datensätze

Name	Zeit	Datenformat	Beschreibung
mean_2014	Januar bis Dezember 2014	Raster dataset	Auf das Untersuchungsgebiet zugeschnittene und pro Jahr gemittelte VIIRS-Daten Erstellt von: Yumi Bieri
mean_2015	Januar bis Dezember 2015		
mean_2016	Januar bis Dezember 2016		
mean_2017	Januar bis September 2017 (ohne Juli)		
diff_15_14	zwischen 2015 und 2014	Raster dataset	Differenz der Jahresmittelwerte der VIIRS-Daten Erstellt von: Yumi Bieri
diff_16_14	zwischen 2016 und 2014		
diff_16_15	zwischen 2016 und 2015		

Tabelle IV: Weitere Geodatengrundlagen

Name	Datenformat	Beschreibung
Park_Perimeter20180101	Feature Class (Polygon)	Perimeter der Pärke Aus: Schweizerischer Nationalpark und Pärke von nationaler Bedeutung (2018) Quelle: Bundesamt für Umwelt (© BAFU)
aml	Feature Class (Polygon)	Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung Quelle: geodata4edu, Bundesamt für Umwelt (© BAFU)
TLM_LANDESGBIET	Feature Class (Polygon)	Landesgebiet der Schweiz Aus: swissboundaries3D (2017) Quelle: geodata4edu, Bundesamt für Landestopografie (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))
TLM_KANTONSGBIET	Feature Class (Polygon)	Kantonsgebiete der Schweiz Aus: swissboundaries3D (2017) Quelle: geodata4edu, Bundesamt für Landestopografie (© swisstopo, JA100120)

TLM_HOHEITSGEBIET	Feature Class (Polygon)	Administrative Einheiten und Grenzen der Schweiz Aus: swissboundaries3D (2017) Quelle: geodata4edu, Bundesamt für Landestopografie (© swisstopo, JA100120)
TLM_GEBAEUDE_ FOOTPRINT	Feature Class (Polygon)	Grundrisse der Gebäude Aus: swissTLM3D (2017) Quelle: geodata4edu, Bundesamt für Landestopografie (© swisstopo, JA100120)
swissALTI3D_RELIEF	Image Service	Relief der Schweiz aus dem digitalen Oberflächenmodell der Schweiz Aus: swissALTI3D (2017) Quelle: geodata4edu, Bundesamt für Landestopografie (© swisstopo, JA100120)
avk_ksnetz	Feature Class (Polylinie)	Netz der Kantons- und Nationalstrasse im Kanton Aargau (2017) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
avk_zugslinien	Feature Class (Polylinie)	Bahnlinien im Kanton Aargau (2016) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
aw_wa	Feature Class (Polygon)	Waldflächen im Kanton Aargau (2017) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
alg_fledermausquar	Feature Class (Point)	Fledermausquartiere als Grundlage für den Artenschutz im Kanton Aargau (2017) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
alg_ornithwginklbl	Feature Class (Polygon)	Ornithologisch wertvolle Gebiete inklusive Bachläufe im Kanton Aargau (2005) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
alg_baka	Feature Class (Polylinie)	Bachkataster des Kantons Aargau (2017) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
alg_auen5000	Feature Class (Polygon)	Auen Richtplan von 2011 (2017) Quelle: geodata4edu, Daten des Kantons Aargau
Beleuchtung_ Kantonsstrassen	Shapefile (Point)	Beleuchtung der Kantonsstrassen Quelle: Daten des Kantons Aargau
are_rptk11wkachse_ 20110920	Shapefile (Polygon)	Überregionale Ausbreitungsachsen für Wildtierkorridore (2011) Quelle: Daten des Kantons Aargau
are_rptk11wildkorr_ 20110920	Shapefile (Polygon)	Wildtierkorridore von nationalem und regionalem Interesse (2011) Quelle: Daten des Kantons Aargau
Öl Layer Gilde A	Map-Package	Daten des Pilotprojekts der Ökologischen Infrastruktur im Jurapark Aargau, Gilde A (2017) Quelle: Daten des Kantons Aargau

Tabelle V: Im Rahmen der Arbeit erstellte Datensätze

Name	Datenformat	Beschreibung
Untersuchungsgebiet	Feature Class (Polygon)	Untersuchungsgebiet rund um den Jurapark Aargau Erstellt von: Yumi Bieri
Dunkelflächen	Feature Class (Polygon)	Ausgeschiedene Dunkelflächen im Jurapark Aargau Erstellt von: Yumi Bieri
Dunkelkorridore	Feature Class (Polygon)	Ausgeschiedene Dunkelkorridore im Jurapark Aargau Erstellt von: Yumi Bieri

Eigenständigkeitserklärung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

KÜNSTLICHE LICHTEMISSIONEN IM JURAPARK AARGAU

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

BIERI

Vorname(n):

YUMI

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Oberbipp, 18.11.2018

Unterschrift(en)

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.

Danksagung

Ich danke allen, die mich bei meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Monika Niederhuber, für die fachliche Betreuung vonseiten der ETH sowie der Unterstützung bei der Überarbeitung für die Veröffentlichung.

Lea Reusser, für die Betreuung vonseiten des Jurapark Aargau und das Korrekturlesen bei der Überarbeitung für die Veröffentlichung.

Ursula Philipps, für die Betreuung vonseiten des Kantons Aargau.

Felix Kienast, für die LABES-Daten der WSL.

James Hale, für die zugeschnittenen VIIRS-Daten.

Gabriel Andreas, für die Erklärungen zu den geodata4edu-Daten.

Anja Trachsel, für Informationen zum Pilotprojekt der Ökologischen Infrastruktur.

Urs Richard, für die Daten des Pilotprojektes der Ökologischen Infrastruktur.

Christian Rechsteiner, für Informationen zum Pilotprojekt der Ökologischen Infrastruktur.

Roland Bodenmann und Lukas Schuler, für Informationen zu Dark-Sky Switzerland.

Nicole Dahinden, für den Austausch mit dem Naturpark Gantrisch.

Joe Schibli und der Vereinigung Sternwarte Cheisacher, für die Einladung zum Monatstreff.

Hugo Blikistorf, für den spannenden Artikel zum Thema Nachtfotografie.

Dominik Hummel, für die Mithilfe beim Fotografieren.

Samuel Sommer, für das Ausleihen seiner Kamera.

Peter Schläppi-Bieri und Marianne Bieri, für die wertvollen Tipps.

Lara Bieri, für das Korrekturlesen und die immerwährende Motivation.