Wie Lichtemissionen den Schweizer Wald seit 1992 erhellen

Felix Kienast Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Marc Weiss Stadtgrün Winterthur, Ökologie und Freiraumplanung (CH)

Wie Lichtemissionen den Schweizer Wald seit 1992 erhellen

Lichtemissionen erhellen den Nachthimmel immer mehr. Weltweit und in der Schweiz ist in den letzten 20 bis 30 Jahren eine starke Zunahme festzustellen. Dies ist sowohl aus biologisch-ökologischen und gesundheitlichen als auch aus kulturellen Gründen problematisch. Auf Bundes- und Kantonsebene gibt es verschiedene Gesetze und technische Normen, welche die Lichtemissionen regeln. Für die Erfolgskontrolle dieser Vorschriften ist es wichtig, die Nachthelligkeit über längere Zeiträume und grössere Gebiete zu beobachten. Dies geschieht in der Schweiz im Rahmen der Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES), die für die Jahre 1992 bis 2012 Zeitserien zur Nachthelligkeit zur Verfügung stellt. In der vorliegenden Arbeit wird anhand von Satellitenbildern untersucht, wie stark der Schweizer Wald durch Lichtemissionen der umliegenden Siedlungen und Infrastrukturen aufgehellt wird, welche Unterschiede zum Offenland (Wiesen, Felder und siedlungsferne Gebiete über der Waldgrenze) bestehen und wie sich die Fläche des nachtdunklen Waldes zwischen 1992 und 2012 entwickelt hat. Es zeigt sich, dass die Schweizer Wälder zunehmend durch umliegende Lichtquellen aufgehellt sind. Mit Ausnahme des Juras ist die Nachthelligkeit in Waldgebieten sogar höher als im Offenland, das in der vorliegenden Untersuchung flächenmässig durch die Gebiete über der Waldgrenze dominiert wird. Die Resultate können mit der relativen Siedlungsnähe des Waldes erklärt werden. Während es im Mittelland ab 2001 und im Jura ab 2010 keine nachtdunklen Waldflächen mehr gibt, findet man in den Alpen je nach Region noch zwischen 4% (westliche Zentralalpen) und 16% (Alpensüdflanke) völlig nachtdunkle Waldflächen, d.h. Waldflächen ohne menschlichen Lichteinfluss. Die letzten grossen, völlig nachtdunklen Flächen liegen aber nicht im Waldareal, sondern in den Gebieten über der Waldgrenze. Sie sollten gegen Aufhellung besonders geschützt werden, zum Beispiel mit grossflächigen Schutzgebieten («dark sky parks»).

Keywords: light pollution, DMSP-OLS, forest, forest area
doi: 10.3188/szf.2019.0018

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail felix.kienast@wsl.ch

Durch seit Jahrzehnten zunehmende Lichtemissionen wird die Dunkelheit in der Nacht weltweit auf immer kleinere Bereiche zurückgedrängt (Bennie et al 2014, Kyba et al 2017). Ausgedehnte nachtdunkle Gebiete sind vor allem in West- und Mitteleuropa selten geworden (Abbildung 1). Dies führt zu einer Beeinträchtigung der natürlichen Nachtlandschaft und zu einschneidenden Veränderungen der natürlichen Umgebung.

Jede künstliche Lichtquelle strahlt Licht ab, und zwar auf erwünschte Bereiche wie eine Strasse, aber auch auf unerwünschte Bereiche, zum Beispiel in die Atmosphäre oder auf Felder und Wälder. Das abgestrahlte Licht wird als Emission bezeichnet, das auftreffende Licht als Immission. Licht wird von einer Lichtquelle nicht nur vertikal abgestrahlt, sondern auch horizontal, und bei bestimmten Wetterbedingungen können sich Emissionen durch Rückstrahlung an der Erdatmosphäre diffus über grössere Gebiete verteilen und sogenannte Lichtdome bilden (Kocifaj & Lamphar 2014).

Bei satellitengestützten Lichtmessungen führt dieser physikalisch begründete Verteileffekt zu einer Vermischung zwischen Emission und Immission: Grundsätzlich dunkle, kein Licht emittierende Gebiete wie der Wald oder Wiesen und Felder werden angestrahlt und so für die Satellitensensoren zu «Emittenten». Diesen Effekt machen wir uns in der vorliegenden Arbeit zunutze, indem wir die vom Satelliten gemessenen «Emissionen» des grundsätzlich dunklen Waldes, der Wiesen, Felder usw. als Immissionen interpretieren. Die Methode hat einige Einschränkungen, die in der Diskussion detaillierter aufgegriffen werden.

Durch die künstliche Nachthelligkeit können die Lebensräume nachtaktiver Tiere beeinträchtigt

Abb 1 *Lichtemissionen in Europa für das Jahr 2016. Das Bild wurde von einem Suomi-NPP-VIIRS-Sensor aufgenommen, der seit 2011 Daten liefert.* Foto: NASA Earth Observatory, Bilder von Joshua Stevens (mit Suomi NPP VIIRS), Daten von Miguel Román (NASA's Goddard Space Flight Center)

werden, mit teilweise tödlichen Folgen. Zum Beispiel kann sie die Orientierung fliegender Tiere stören. Vögel können in einem Lichtdom gefangen bleiben und sich bis zur Erschöpfung endlos im Kreis drehen. Aber auch andere Tierarten werden durch das Kunstlicht beeinflusst, und der Aktionsradius lichtscheuer Tiere wie lichtsensibler Fledermausarten wird eingeschränkt (Longcore & Rich 2004). Für Menschen stellt der Verlust der Nachtlandschaft ebenfalls ein Problem dar. Die Sternenbeobachtung wird für Astronomen fast unmöglich, und die Tatsache, dass 60% der Europäerinnen und Europäer die Milchstrasse nicht oder nur eingeschränkt sehen können, stellt einen kulturellen Verlust dar (Falchi et al 2016). Zu viel Licht in der Nacht kann aber auch der menschlichen Gesundheit schaden: Die innere Uhr regelt verschiedene Körperfunktionen und ist eng mit dem tageszeitlichen Wechsel von hell und dunkel verknüpft. Das Hormon Melatonin etwa wird nur in Dunkelphasen produziert. Wird die Produktion beeinträchtigt, kann es zu Schlafstörungen oder Veränderungen im Immunsystem kommen (Chepesiuk 2009). Eine Studie schätzt die Kosten, die allein in den USA durch Lichtverschmutzung entstehen, auf sieben Milliarden US-Dollar jährlich (Gallaway et al 2010).

Angesichts der ökologischen, kulturellen und gesundheitlichen Tragweite der zunehmenden Nachthelligkeit wird in einigen Ländern versucht, die Lichtemissionen über Baunormen und Gesetze zu regulieren. Verbindliche Grenzwerte sind aber selten, und in Bezug auf ganze Landschaften oder Regionen existieren keine gesetzlichen Vorgaben. In der Schweiz bildet das Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01) die wichtigste Rechtsgrundlage. Licht wird physikalisch als (nicht ionisierende) elektromagnetische Strahlung definiert. Im USG wird Licht mitgemeint, wenn von Strahlen oder Strahlung gesprochen wird. Einzelne Kantone haben weitergehende Vorschriften zu Lichtemissionen erlassen, beispielsweise der Kanton Aargau im Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässern (EG Umweltrecht, EG UWR). Im Paragraf 27 «Lichtemissionen» heisst es: «Beleuchtungsanlagen, die Aussenbereiche erhellen oder Kulturgüter beleuchten, sind so einzurichten, dass sie ausserhalb ihres Bestimmungsbereichs keine störenden Immissionen verursachen». Zudem gibt es in der Schweiz verschiedene Normen für Aussenbeleuchtungen, zum Teil mit Grenzwerten zu den Lichtemissionen (SN EN12193:2008-03 Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung sowie SN EN 12464-2:2014-04 Licht und Beleuchtung – Teil 2 – Arbeitsplätze im Freien). Daneben ist die SIA-Norm 491 (SN 586 491:2013) eine gute Hilfe im Baubereich, nennt aber keine Grenzwerte.

Um die Bevölkerung zu sensibilisieren und den Erfolg der Regulierungen zu kontrollieren, muss die Nachthelligkeit über längere Zeiträume und grossräumig beobachtet werden. Dies geschieht in der Schweiz innerhalb der Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES), die 2009 den Indikator «Lichtemissionen» aufgenommen hat (Kienast et al 2015). Der Indikator basiert auf Auswertungen von Satellitenbildern und gibt an, wie viel Licht in der Nacht von der Erde ins All abgegeben wird.

Bis heute wurden die Lichtemissionen im Rahmen des Landschaftsbeobachtungsprogramms nur für ganze Regionen (Mittelland, Zentralalpen usw.) ermittelt, und es wurde nicht zwischen verschiedenen Nutzungen oder Habitaten wie Wald, Naturschutzflächen oder Felsflächen unterschieden. Es ist aber anzunehmen, dass sich Lichtemissionen je nach Lage zum Siedlungsgebiet unterschiedlich auf die verschiedenen Habitate auswirken.

Ob durch Licht aufgehellte Wälder ökologisch weniger wertvoll sind, ist umstritten. Da Silva et al (2017) und Kempenaers et al (2010) zeigen gewisse Einflüsse auf nacht- und dämmerungsaktive (Wald-) Vögel, deren Rhythmus verändert wird. Angesichts der Tatsache, dass Wälder in der dicht besiedelten Schweiz als naturnahes Habitat gelten, ist es deshalb wichtig zu wissen, wie stark die Lichtverschmutzung auch diesen Habitattyp erfasst hat und ob es Unterschiede zu anderen Bodenbedeckungen oder Habitattypen gibt. In diesem Artikel sollen deshalb folgende Fragen geklärt werden:

- Wie stark waren die Schweizer Wälder zwischen 1992 und 2012 durch die Lichtemissionen aus den umliegenden Siedlungen aufgehellt?
- Welche Unterschiede bezüglich Nachthelligkeit ergeben sich zwischen dem Wald und den anderen Flächen ausserhalb des Siedlungsgebiets?

- Wie hat sich die Fläche des völlig nachtdunklen Waldes in der Schweiz zwischen 1992 und 2012 entwickelt?

Methoden

Die Erfassung der Nachthelligkeit von 1992 bis 2012 basiert auf Auswertungen von Satellitenbildern des Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), die mit dem Operational Linescan System (OLS) aufgenommen werden. Die Nachthelligkeit wird jeweils für ein Kalenderjahr und eine Zellengrösse von 30 × 30 Bogensekunden gemittelt. Für die Schweiz sind das Zellen von rund 920 × 600 m. Die spektrale Empfindlichkeit des DMSP-OLS liegt bei 500 bis 900 nm (Miller et al 2013), womit das für die nachtaktive Fauna problematische Spektrum, das schwerpunktmässig im kurzwelligen Bereich von 350 bis 550 nm liegt (Loncore et al 2018), vom Satelliten nur unzureichend erfasst wird. Die Daten werden seit 1992 fortlaufend aufgenommen und können vom National Geophysical Data Center (NGDC) bezogen werden. Letztes verfügbares Jahr ist momentan das Jahr 2013. Vor 2009 überlappen sich die Zeitreihen von jeweils zwei Satellitenplattformen. Ab 2010 fällt diese Überlappung weg. Deshalb sind die Daten ab 2010 mit einer gewissen Unsicherheit versehen.

Bevor die Daten vom NGDC abgegeben werden, werden sie wie folgt bearbeitet:

- Nur der mittlere Teil des 3000 km breiten Bandes, das der Sensor aufnimmt, wird verwendet, da hier die Lichtquellen kleiner erscheinen, die Helligkeit konsistenter ist und die Punkte besser lokalisiert werden können.
- Von der Sonne, vom Mond und von Blendeffekten und Polarlichtern hervorgerufene Aufhellungen werden ausgeschlossen.
- Beobachtungen mit Wolken werden erkannt und ausgeschlossen.

Bei unserer Weiterverarbeitung der Daten werden jeweils drei Jahre gemittelt (zeitliches moving window). Zudem wird über 3 × 3 Zellen ein räumlich geglätteter Mittelwert berechnet (räumliches moving window). Diese Glättungen sind nötig, um jährliche Spitzenwerte und Ungenauigkeiten der Georeferenzierung des Satelliten abzuschwächen. Sie bergen aber auch die Gefahr der ungewollten räumlichen «Verteilung» der Nachthelligkeit auf angrenzende dunkle Gebiete ohne Emissionen. Die Nachthelligkeit wird also räumlich etwas ausgeweitet. Im zeitlichen Verlauf bewirkt die Glättung, dass ein Anstieg beziehungsweise ein Rückgang der Nachthelligkeit erst mit etwas zeitlicher Verzögerung sichtbar wird.

Schliesslich werden die Messungen auf das Schweizer Koordinatensystem in Rasterzellen von 1 km² projiziert, und die Nachthelligkeit wird nach Elvidge et al (1999) in Strahlungsdichte (Radiance) umgerechnet (Einheit: W/[cm²×sr×µm]). Als völlige Nachtdunkelheit bezeichnen wir die natürliche Helligkeit einer mondlosen Nacht ohne anthropogenen Lichteinfluss. Als Grenzwert für völlige Nachtdunkelheit definieren wir eine Strahlungsdichte von <1 W/(cm²×sr×µm)×10^{-10}. In der vorliegenden Arbeit gehen wir davon aus, dass die vom Satelliten gemessenen «Emissionen» des grundsätzlich dunklen Waldes den Immissionen entsprechen, die von umliegenden Lichtquellen den Wald beleuchten. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass ein Teil der Lichtimmissionen von den Blättern der Bäume absorbiert und gestreut wird.

Für die Auswertungen wurden im GIS die Karten der Nachthelligkeit mit den Karten folgender Landnutzungseinheiten (Masken) aus der Arealstatistik 2004/09 überlagert:

- Wald (Kat. 50-57, NOAS 04, 72 Kat.)
- Offenland (alle Bodenbedeckungen inklusive Gebiete über der Waldgrenze minus Siedlungsgebiet; Kat. 1, NOAS 04, 4 Kat.), das Wiesen, Felder und siedlungsferne Gebiete über der Waldgrenze umfasst, wobei Letztere flächenmässig dominieren.
- alle Bodenbedeckungen

Sämtliche Daten wurden sowohl für die ganze Schweiz als auch für die sechs biogeografischen Regionen Jura, Mittelland, Alpennordflanke, westliche und östliche Zentralalpen und Alpensüdflanke ausgewertet. Für detaillierte Karten der biogeografischen Regionen siehe Gonseth et al (2001).

Für die Darstellung in Abbildungen 3 und 5 wurde auf drei Perioden à drei Jahre im Abstand von jeweils neun Jahren fokussiert, d.h. auf die Perioden 1992–1994, 2001–2003 und 2010–2012.

Resultate

Alle Bodenbedeckungen

Auffälligste Ergebnisse der LABES-Analysen für die ganze Schweiz und alle Bodenbedeckungen (Abbildung 2) sind die seit 1992 kontinuierlich zunehmende Nachthelligkeit in den Grossregionen Mittelland, Jura und Alpen (schweizweit von 32 auf 77 W/(cm²×sr×µm)×10^{-10}; nicht dargestellt) und der Rückgang der völlig nachtdunklen Flächen in vielen Gebieten der Schweiz. Seit Mitte der 1990er-Jahre gibt es im Mittelland keinen Quadratkilometer mehr mit völliger Nachtdunkelheit, ab Ende der 2000er-Jahre auch nicht mehr im Jura (Abbildung 2). Die Gesamtfläche mit völliger Nachtdunkelheit nahm zwischen 1992 und 2000 deutlich ab, danach verlangsamte sich diese Entwicklung. Im Gegensatz dazu erhöhte sich die Helligkeit der bereits lichterhellten Gebiete über den ganzen Zeitraum (ohne Abbildung).

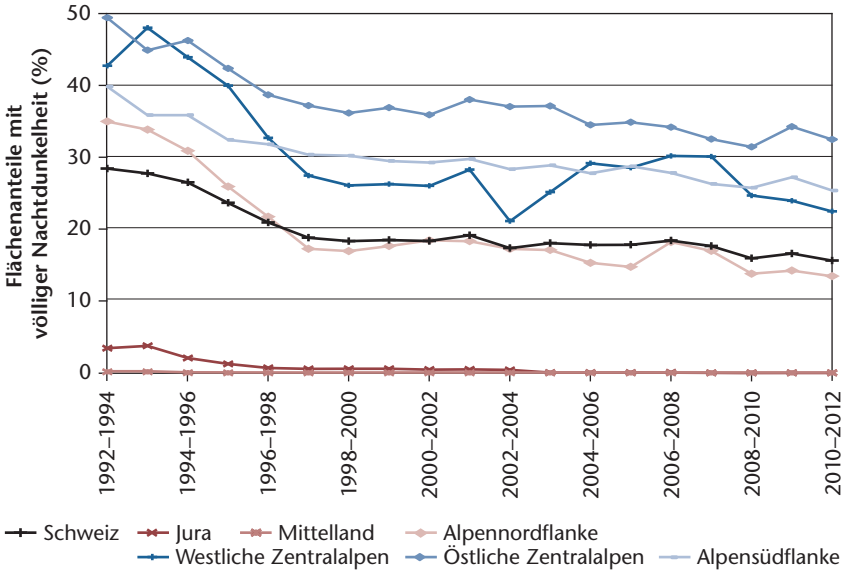

Abb 2 *Entwicklung des Flächenanteils mit völliger Nachtdunkelheit in der Schweiz und in den sechs biogeografischen Regionen. Als völlige Nachtdunkelheit bezeichnen wir eine Strahlungsdichte <1 W/(cm²×sr×µm)×10⁻¹⁰.* Quelle: Kienast et al (2013)

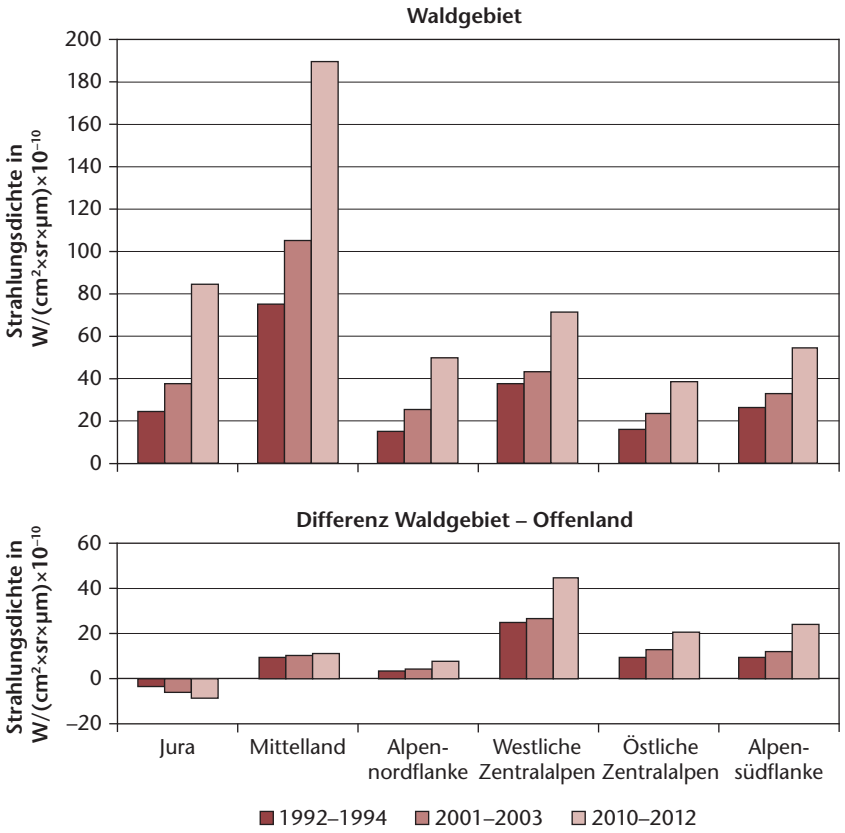

Abb 3 *Durchschnittliche Nachthelligkeit im Waldgebiet (oben) und Differenz der durchschnittlichen Nachthelligkeit zwischen dem Waldgebiet und dem Offenland (alle Bodenbedeckungen inkl. Gebiete über der Waldgrenze ohne Siedlungsgebiet) in den drei Zeitperioden 1992–1994, 2001–2003 und 2010–2012. Untere Grafik: Werte über null = Offenland dunkler als Wald, Werte unter null = Wald dunkler als Offenland.*

Waldareal

Wie wirkt sich nun der beobachtete Anstieg der Lichtemissionen auf den Wald aus? Deutlich unterscheidbar sind die drei Grossregionen Mittelland, Jura und Alpen (Abbildung 3). Am dunkelsten ist der Wald in den östlichen Zentralalpen, am hellsten im Mittelland. In der zeitlichen Dimension ist klar erkennbar, dass die Nachthelligkeit im Wald in sämtlichen Regionen grösser geworden ist. Den höchsten Anstieg stellt man im Jura und im Mittelland zwischen den Perioden 2001–2003 und 2010–2012 fest, die geringsten in den östlichen Zentralalpen und an der Alpensüdflanke.

Vergleicht man das Waldareal mit dem Offenland zeigt sich, dass die Wälder mit Ausnahme des Juras heller sind als das Offenland (Abbildung 3). Insbesondere in den Alpen sind die Gebiete ausserhalb des Waldes dunkler als die Waldgebiete. Am deutlichsten zeigt sich das in den westlichen Zentralalpen. In den Alpen sind die Gebiete über der Waldgrenze, die mit Gletschern, alpinen Rasen oder Fels bedeckt sind, weit abgelegen. Der Wald hingegen ist ausgeprägt siedlungsnah, was erklärt, weshalb er stärker durch Nachthelligkeit betroffen ist als das Offenland. Abbildung 4 stützt diese Interpretation. Aus ihr geht hervor, dass in den Alpen der Anteil an Waldpunkten, die maximal 1 km von den Siedlungsrändern entfernt sind, wesentlich höher ist als der Anteil an Offenlandpunkten in derselben Distanz. Noch grösser ist in den Alpen der Unterschied zwischen Wald und Offenland bei der Distanzklasse >2 km. Im Mittelland hingegen ist kein wesentlicher Unterschied in der Siedlungsnähe von Wald und Offenland festzustellen. Im Jura schliesslich befinden sich mehr Offenlandpunkte innerhalb 1 km zum Siedlungsrand als Waldpunkte, was erklärt, warum im Jura der Wald nachtdunkler ist als das Offenland.

Der Anteil der Waldfläche mit völliger Nachtdunkelheit ist zwischen 1992 und 2012 in allen Regionen stark zurückgegangen (Abbildung 5). Im Mittelland gibt es ab der Periode 2001–2003 und im Jura ab der Periode 2010–2012 keine völlig nachtdunklen Wälder mehr. An der Alpennordflanke und in den westlichen Zentralalpen sind in der Periode 2010–2012 nur noch rund 5% der Waldfläche völlig nachtdunkel. Auf der Alpensüdflanke und in den östlichen Zentralalpen sind es noch rund 15%. Die Unterschiede gegenüber dem Offenland sind gross. So verzeichnet man zum Beispiel im Offenland der östlichen Zentralalpen und an der Alpensüdflanke in der Periode 2010–2012 über 40% völlig nachtdunkle Flächen, während es im Wald in den gleichen Regionen nur noch rund 15% sind.

Diskussion

Die vorliegenden Analysen bestechen durch die lange Zeitreihe, die – mit Ausnahme der letzten Jahre – recht gut geeicht ist und bei denen sich jeweils zwei Satellitengenerationen zeitlich überlappen. Für die Periode 2010–2012 gilt dies leider nicht, weil ein Satellitenwechsel stattgefunden hat ohne Überlappung der Datenreihen, sodass statistische

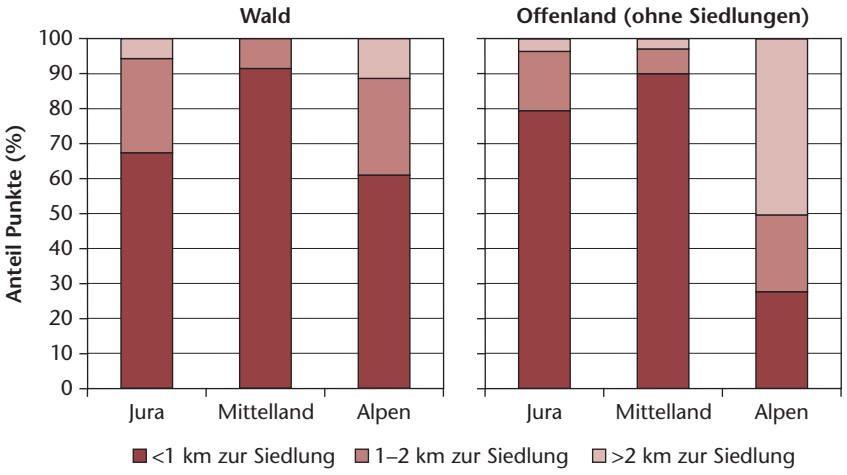

Abb 4 *Anteil der Wald- und Offenlandpunkte nach Distanz zur Siedlung. Berechnungsgrundlage: Arealstatistik 2004/09.*

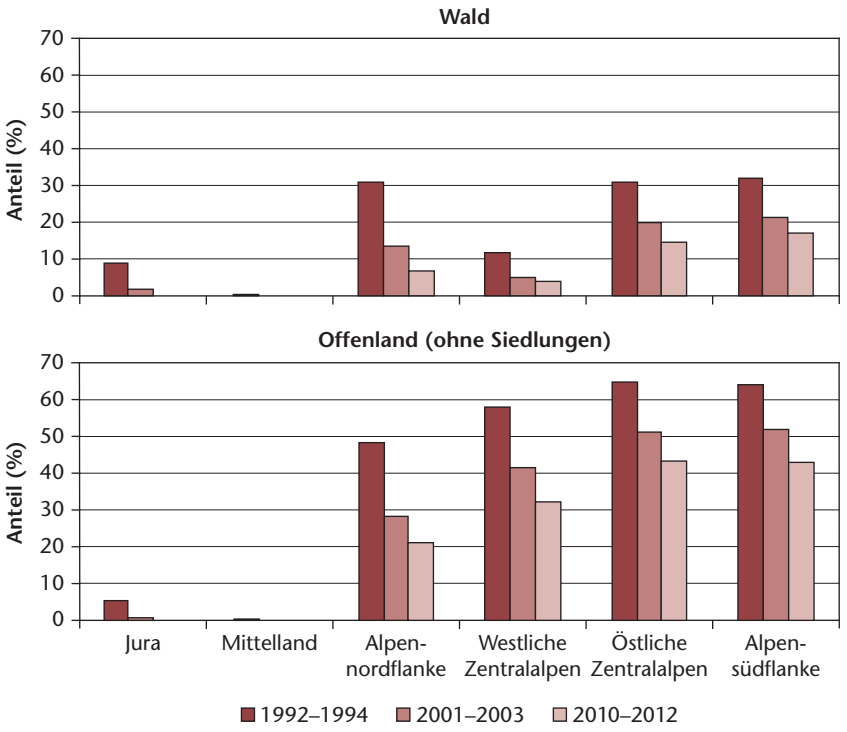

Abb 5 *Anteil der Flächen mit völliger Nachtdunkelheit im Waldgebiet und im Offenland in den drei Zeitperioden 1992–1994, 2001–2003 und 2010–2012.*

Ausreisser schlechter erkannt werden können. Deshalb ist der sehr starke Anstieg der Nachthelligkeit in den letzten verfügbaren Jahren mit Vorsicht zu interpretieren und müsste mit anderen Satellitenplattformen plausibilisiert werden, zum Beispiel mit den VIIRS-DNB-Daten. Letztere werden vermutlich für Zeitreihen nach 2012 gebraucht werden.

Der kritischste Punkt der Methode ist aber sicher die Frage, ob die Nachthelligkeit des Waldes eher über- oder unterschätzt wird. Zur Überschätzung trägt die relativ grobe räumliche Auflösung der Daten (1 km²) beziehungsweise ihre Glättung in einem 3×3-Zellen-Fenster bei. Durch diese Vergröberung der Auflösung werden die Daten zwar verlässlicher, und Ausreisser werden eliminiert, aber die Glättung führt zu einer «Verteilung» der Emissionsquellen in eigentlich emissionslose Habitate wie zum Beispiel den Wald. Dies gilt insbesondere in den engen Alpentälern. Zur Unterschätzung dagegen trägt bei unserer Methode die Absorption durch die Blätter und die Atmosphäre bei: Das vom Siedlungsraum abgestrahlte Licht trifft direkt oder durch die Aerosole und Wassermoleküle in der Atmosphäre gestreut auf dem Blätterdach auf. Der wahrscheinlich grössere Teil dieses Lichts wird absorbiert. Das Restlicht wird durch die strukturreichen Bäume (Blätter, Äste, Rinden) gerichtet oder diffus in alle Richtungen abgelenkt, so zurück in die Atmosphäre, aber auch auf den Waldboden, wo es nachtaktive Tiere beeinflusst. Das Restlicht, das die Sensoren der Satelliten erreicht, wird zusätzlich durch die Atmosphäre reduziert. Damit ist die gemessene Nachthelligkeit des Waldes zu tief. Werden Über- und Unterschätzung gegeneinander abgewogen, überwiegt mit hoher Wahrscheinlichkeit die Unterschätzung.

Schlussfolgerungen

Die Datenreihe, die wir auswerten konnten, zeigt, dass die Nachthelligkeit in den Waldgebieten der Schweiz zwischen 1992 und 2012 stark zugenommen hat und dass die Waldgebiete – mit Ausnahme des Juras – heller sind als das Offenland (ohne Siedlungen). Dies hat mit der relativen Siedlungsnähe des Waldes zu tun und der Tatsache, dass die letzten grossen völlig nachtdunklen Flächen in den Hochgebirgsgebieten über der Waldgrenze liegen. Diesen Gebieten muss besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, damit sie nicht durch Erschliessungen für den Tourismus und andere Infrastrukturen ebenfalls aufgehellt werden. Für den Schutz der letzten völlig nachtdunklen Flächen würde sich im Rahmen einer nationalen Lichtstrategie zum Beispiel die Ausscheidung von sogenannten «Dark Sky Parks» anbieten.

Auf der ganzen Fläche gilt das Gebot der Reduktion unnötiger Beleuchtungen. Um die Lichtemissionen einzuschränken, fordern wir einen konsequenten Vollzug der gesetzlichen Grundlagen und Normen. Dazu ist auch Prävention im Baubereich und Aufklärungsarbeit nötig. Zudem ist zu hoffen, dass die vom Bundesamt für Umwelt in Aussicht gestellte Vollzugshilfe mithilft, die Lichtemissionen einzuschränken. ■

Eingereicht: 5. März 2018, akzeptiert (mit Review): 9. August 2018

Literatur

BENNIE J, DAVIES TW, DUFFY JP, INGER R, GASTON KJ (2014) Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. Sci Rep 4: 3789.

CHEPESIUK R (2009) Missing the dark health effects of light pollution. Environ Health Perspect 117: A20–A27.

DA SILVA A, DE JONG M, VAN GRUNSVEN RHA, VISSER ME, KEMPENAERS B ET AL (2017) Experimental illumination of a forest: no effects of lights of different colours on the onset of the dawn chorus in songbirds. R Soc Open Sci 4: 160638.

ELVIDGE CD, BAUGH KE, DIETZ JB, BLAND T, SUTTON PC ET AL (1999) Radiance calibration of DMSP-OLS low-light imaging data of human settlements. Remote Sens Environ 68: 77–88.

FALCHI F, CINZANO P, DURISCOE D, KYBA CCM, ELVIDGE CD ET AL (2016) The new world atlas of artificial night sky brightness. Sci Advances 2: e1600377.

GALLAWAY T, OLSEN RN, MITCHELL DM (2010) The economics of global light pollution. Ecol Econ 69: 658–665.

GONSETH Y, WOHLGMUTH T, SANSONNENS B, BUTTLER A (2001) Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Umwelt-Materialien 137. 49 p.

KEMPENAERS B, BORGSTROEM P, LOES, SCHLICHT E, VALCU M (2010) Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. Curr Biol 20: 1735–1739.

KIENAST F, FRICK J, STEIGER U (2013) Neue Ansätze zur Erfassung der Landschaftsqualität. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Wissen 1325. 75 p.

KIENAST F, FRICK J, VAN STRIEN MJ, HUNZIKER M (2015) The Swiss Landscape Monitoring Program – a comprehensive indicator set to measure landscape change. Ecol Model 295: 136–150.

KOCIFAJ M, LAMPHAR HAS (2014) Quantitative analysis of night skyglow amplification under cloudy conditions. Mon Not R Astron Soc 443: 3665–3674.

KYBA CCM, KUESTER T, SANCHEZ DE MIGUEL A ET AL (2017) Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. Sci Advances 3: e1701528.

LONGCORE T, RICH C (2004) Ecological light pollution. Front Ecol Environ 2: 191–198.

MILLER SD, STRAKA W, MILLS SP, ELVIDGE CD, LEE TF ET AL (2013) Illuminating the capabilities of the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band. Remote Sens 5: 6717–6766.

Quellen

BUNDESAMT FÜR STATISTIK. Arealstatistik 2004/09. www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/erhebungen/area/geschichte/area-2004-09.html (21.9.2018).

Comment les émissions lumineuses éclairent la forêt suisse depuis 1992

Le ciel nocturne est de plus en plus éclairé par les émissions lumineuses. On constate dans le monde entier et en Suisse une forte progression des émissions lumineuses ces dernières 20 à 30 années. Ceci est problématique aussi bien pour des raisons bioécologiques et sanitaires que culturelles. Différentes lois et normes techniques, aux niveaux de la Confédération et des cantons, règlent les émissions lumineuses. Il est important d'observer la clarté nocturne sur de longues périodes et de larges régions afin de contrôler le succès de ces mesures. Ceci est réalisé dans le cadre de l'Observation du paysage suisse (OPS) qui met à disposition des séries de données sur les émissions lumineuses pour les années 1992 à 2012. Ce travail examine à l'aide d'images satellites à quel point la forêt suisse est éclairée par les émissions lumineuses nocturnes issues des zones habitées et des infrastructures environnantes, les différences existantes avec les zones ouvertes (prés, champs et zones éloignées des habitats au-delà de la forêt) et comment se sont développées les surfaces nocturnes sombres de la forêt entre 1992 et 2012. Il est démontré que les forêts suisses sont de plus en plus éclairées par les sources lumineuses environnantes. A l'exception du Jura, la clarté nocturne est même plus importante en forêt que dans les surfaces ouvertes, qui dans cette étude sont essentiellement composées de surfaces au-delà de la forêt. Les résultats peuvent être expliqués par la proximité de la forêt avec les zones habitées. Alors qu'il n'existe plus de surfaces forestières sombres la nuit depuis 2001 sur le Plateau et 2010 dans le Jura, il existe encore dans les Alpes selon la région, 4% (Alpes centrales occidentales) et 16% (versant sud des Alpes), de surfaces forestières sombres durant la nuit, c'est à dire des surfaces forestières sans influence lumineuse anthropogénique. Les dernières grandes surfaces totalement sombres durant la nuit ne se situent toutefois pas en forêt, mais au-delà de la forêt. Elles devraient être protégées contre les émissions lumineuses, par exemple avec des grandes réserves («dark sky parks»).

How light emissions have been lighting up the Swiss forest since 1992

Light emissions increasingly light up the night sky. Worldwide and in Switzerland, there has been a marked increase over the last 20 to 30 years. This is problematic for biological-ecological and health reasons as well as for cultural reasons. At federal and cantonal level, there are various laws and technical standards governing light emissions. In order to monitor the success of these regulations, it is important to observe night-time brightness over longer periods and within larger areas. In Switzerland, this is done within the framework of the Swiss Landscape Observatory (LABES), which provides time series for night-time observations for the years 1992 to 2012. The present work uses satellite images to investigate the extent to which the Swiss forests are lighted up by nocturnal emissions from surrounding residential areas and infrastructures. It also examines the differences between the forest and open land (meadows, fields and remote areas far away from settlements above the treeline) and how the forested area without any detectable artificial light developed between 1992 and 2012. It is shown that the Swiss forests are more and more lighted up by surrounding light sources. With the exception of the Jura, night-time brightness in forest areas is even higher than in open land, which in the present study is dominated by areas above the treeline. The results can be explained by the relative proximity of the forest to residential areas. On the Plateau the last patch of forest without any detectable artificial light during the night disappeared in 2001, and in the Jura mountains in 2010: in the Alps there are still between 4% (Western Central Alps) and 16% (Southern Alps) forest areas without any detectable artificial light during night time. The last large dark areas are, however, not found in the forested area, but in the areas above the treeline. They should be given adequate protection against illumination, for example with large protection areas ("dark sky parks").