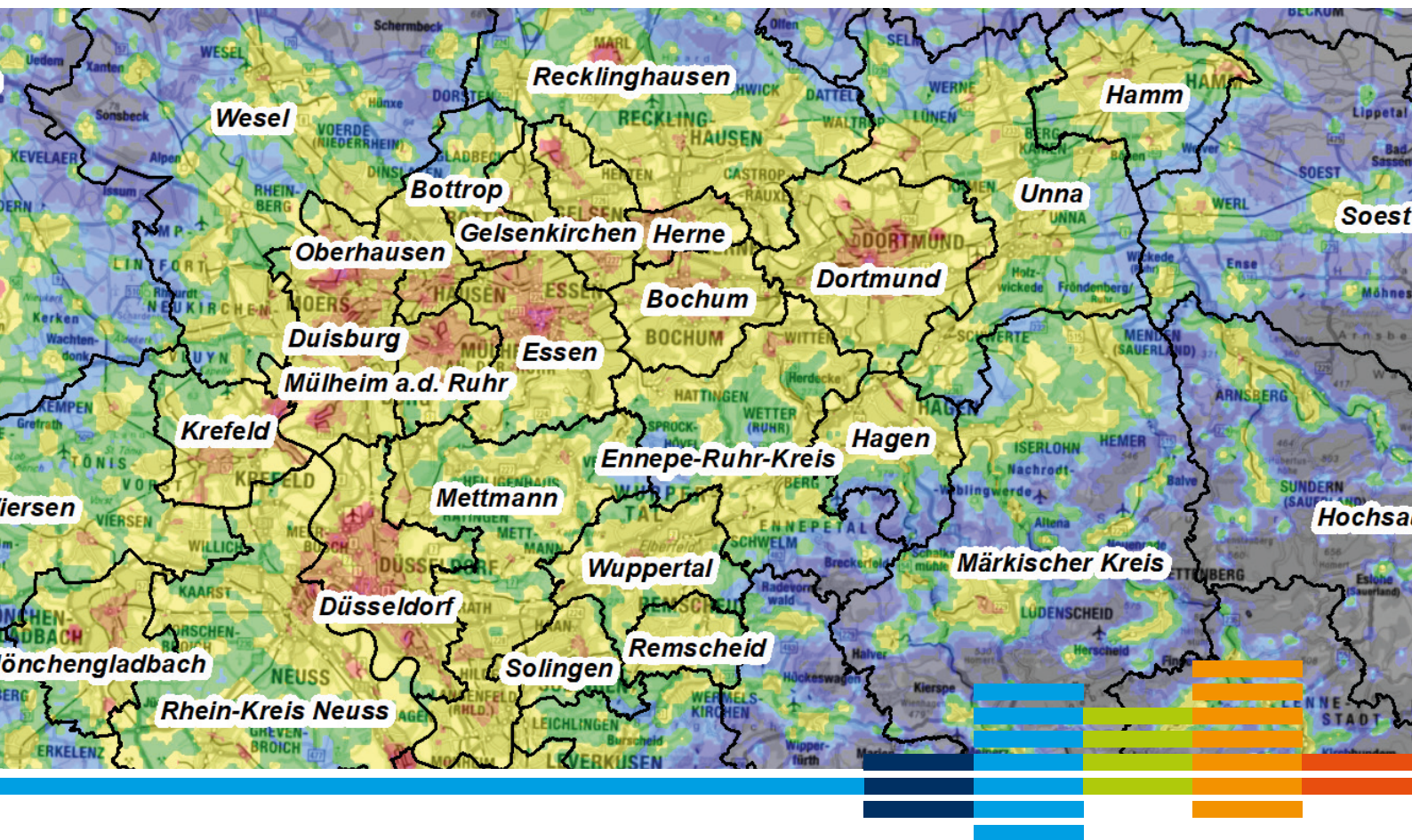




Lichtverschmutzung in Nordrhein-Westfalen

- Eine erste Bestandsaufnahme -

LANUV-Fachbericht 113

Lichtverschmutzung in Nordrhein-Westfalen

- Eine erste Bestandsaufnahme -

LANUV-Fachbericht 113

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2021

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 Telefax 02361 305-3215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
Bearbeitung	Rainer Kindel, Hayrullah Akyüz, Dieter Breuer (alle LANUV)
Titelbild	©Jurij Stare, www.lightpollutionmap.info
Stand	August 2021
ISSN	1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachbericht
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Inhalt

1	„Lichtverschmutzung“ – Einordnung und aktueller Themen-Überblick.....	5
2	Möglichkeiten zur Bestimmung der Lichtverschmutzung, Satellitenfernerkundung	8
3	Zur Situation der Lichtverschmutzung in Nordrhein-Westfalen.....	16
4	Bewertung und Perspektiven	27
5	Literaturverzeichnis.....	29
6	Abbildungsverzeichnis	33

The Light Pollution World Atlas is the most powerful tool to raise awareness about the impact of this type of pollution around the world. The new version is a major breakthrough in enabling people, governments, local authorities, researchers and industry to face this global challenge. After fifteen years, the second atlas shows a significant increase of artificial sky brightness over time and continents. We are facing the degradation of a legacy with strong cultural, scientific, environmental, aesthetic and healthy repercussions. Now is the time to act.

Whereas air, noise, or water pollution have been high priority policy issues for decades, light pollution remains scientifically, culturally, and institutionally in the dark. The possibility of change is in our hands and this second atlas shows us the urgent need to act accordingly.

In: Fabio Falchi, The World Atlas of Light Pollution, 2016

Der Weltatlas der Lichtverschmutzung ist das mächtigste Instrument, um das Bewusstsein für die Auswirkungen dieser Art von Umweltverschmutzung auf der ganzen Welt zu schärfen. Die neue Version ist ein wichtiger Durchbruch, um es Menschen, Regierungen, lokalen Behörden, Forschern und der Industrie zu ermöglichen, sich dieser globalen Herausforderung zu stellen. Nach fünfzehn Jahren zeigt der zweite Atlas eine deutliche Zunahme der künstlichen Himmelselligkeit über Zeit und Kontinente. Wir stehen vor der Zerstörung eines Erbes mit starken kulturellen, wissenschaftlichen, ökologischen, ästhetischen und gesundheitlichen Auswirkungen. Jetzt ist es an der Zeit zu handeln.

Während Luft-, Lärm- oder Wasserverschmutzung seit Jahrzehnten hohe Priorität in der Politik haben, bleibt die Lichtverschmutzung wissenschaftlich, kulturell und institutionell im Dunkeln. Die Möglichkeit der Veränderung liegt in unseren Händen und dieser zweite Atlas zeigt uns die dringende Notwendigkeit, entsprechend zu handeln.

In: Fabio Falchi, Der Weltatlas der Lichtverschmutzung, 2016

1 „Lichtverschmutzung“ – Einordnung und aktueller Themen-Überblick

Künstliches Licht kann als eine der größten technischen Errungenschaften der Menschheit angesehen werden. Ein Leben ohne künstliche Beleuchtung in der Nacht ist in unserer Gesellschaft kaum mehr vorstellbar. In unserer Außenwelt hilft sie bei der Orientierung, dient der öffentlichen Sicherheit [1] und erhöht die Attraktivität von Orten und einzelnen Objekten während der nächtlichen Dunkelheit. Seit Jahren erfolgt hierbei die verstärkte Nutzung von LED-Beleuchtung, die durch Energieeffizienz zum Klimaschutz beitragen soll.

Die allgegenwärtige Verbreitung der Außenbeleuchtung und ihr mitunter unkritischer Einsatz hat aber zunehmend auch die negativen Auswirkungen des vielen Lichts auf Mensch und Umwelt in das Interesse gerückt, insbesondere unter dem Begriff der „Lichtverschmutzung“ [2] [3]. Licht kann zunächst den Menschen durch die Aufhellung des Wohnbereichs sowie durch Blendwirkung belästigen. Dabei können zeitlich wechselndes sowie intensiv farbiges Licht besonders störend wirken. Verkehrsteilnehmer können durch intensive Lichtquellen gefährlich geblendet werden. Insekten werden durch künstliche Lichtquellen angelockt, Vögel werden in der Orientierung gestört, Fledermäuse können ihre Quartiere in Gebäuden nicht mehr nutzen. Hinzu kommt das Phänomen der Himmelsaufhellung, das die ungestörte Sichtbarkeit des sterneichen natürlichen Nachthimmels spürbar einschränken kann.

Licht zählt zu den Emissionen und Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [4]. Anlagenbezogene Maßstäbe zur Beurteilung ob eine konkrete Lichtwirkung für den Menschen noch zumutbar oder schon als schädliche Umwelteinwirkung anzusehen ist, bestehen seit 1993 in der fortgeschriebenen „Licht-Richtlinie“ [5] [6], die Immissionsrichtwerte für die maximal zulässige Raumaufhellung und Blendung festlegt und z.B. bei der Beschwerdebearbeitung durch die zuständigen Behörden herangezogen wird [7]. Diese beinhaltet auch Hinweise zum Schutz von Insekten und Vögeln vor schädlichen Lichteinwirkungen. Dagegen bestehen bereits seit längerem darüberhinausgehende fachliche Empfehlungen der Internationalen Beleuchtungskommission [8] und der deutschen Lichttechnischen Gesellschaft [9]. Eine übergreifende wissenschaftliche Behandlung zur Thematik der Lichtverschmutzung erfolgte deutschlandweit erstmals bis 2014 im Rahmen eines mehrjährigen Leibniz-Verbundprojekts [10].

Die Problematik der Lichtverschmutzung wird außerhalb der fortlaufenden wissenschaftlichen Bearbeitung seit geraumer Zeit zunehmend auch immer wieder in der nationalen und internationalen Presse thematisiert [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17]. Ein zentraler Antrieb für das Aufmerksam machen auf das Thema und die angestrebte Verminderung von Lichtverschmutzung stammt aus dem astronomischen Bereich, wo sich die nächtliche künstliche Himmelsaufhellung durch die umfangreiche und intensive Beleuchtung besonders störend bemerkbar macht [18] [19]. Während es auch bei Bewölkung in den Großstädten kaum mehr natürlich dunkel wird („Skyglow“) [20], stört das Licht bei freiem Himmel aufgrund des verringerten Kontrastes die natürliche Wahrnehmbarkeit der Sterne, sodass dann nur noch die hellsten Himmelsobjekte zu sehen sind. Dies gilt besonders auch für die Sterneparks, u.a. in NRW im Nationalpark Eifel, wo noch Lichtglocken über den entfernten Großstädten weitreichende störende Auswirkungen haben [21].

Insbesondere seit der Entdeckung der melanopsinhaltigen Fotorezeptoren in der menschlichen Netzhaut (ipRGCs) vor erst rund 20 Jahren hat die nicht-visuelle Lichtforschung an Bedeutung gewonnen und Fragen im Hinblick auf die gesundheitliche Bedeutung für den Menschen im Zusammenhang mit der Beeinflussung des natürlichen circadianen Rhythmus aufgeworfen. Diese werden weiterhin erforscht. Nach bisherigem Erkenntnistand bieten die Immissionsrichtwerte der „Licht-Richtlinie“ auch einen Schutz vor nicht-visuellen Lichtwirkungen [22] [23] [24].

In jüngerer Zeit ist eine starke Motivation zur Verminderung von Lichtverschmutzung aus dem Bereich des Artenschutzes ausgegangen. Schon seit langem ist bekannt, dass künstliches Licht auf verschiedene Insektenspezies eine anziehende oder anderweitig negativ beeinflussende Wirkung hat. Vor dem Hintergrund des wahrgenommenen Insektensterbens, zu dem auch ein ursächlicher Beitrag durch die künstliche Beleuchtung gesehen wird, hat das Bundesumweltministerium 2019 das „Aktionsprogramm Insektenschutz“ gestartet [25] [26] [27]. Bundesrat und Bundestag haben daraufhin Mitte 2021 Änderungen des Bundesnaturschutzgesetzes beschlossen [28]. Die Vorschriften für Naturschutzgebiete und Nationalparke (§§ 23, 24 BNatSchG) wurden um Vorgaben zu Lichtimmissionen ergänzt. Auch außerhalb von Schutzgebieten sollen Tiere und Pflanzen künftig besser vor Lichtimmissionen geschützt werden. Künftig werden Grenzwerte für Lichtimmissionen, technische und konstruktive Anforderungen für die Beleuchtung baulicher Anlagen, von öffentlichen Straßen und Wegen sowie von lichtemittierenden Werbeanlagen gelten (§ 41a BNatSchG). Die Einzelheiten müssen noch durch Rechtsverordnung festgelegt werden (§ 54 Abs. 4 d BNatSchG). Das Bundesamt für Naturschutz hat in 2019 einen Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen veröffentlicht. [29] Von der Organisation UNEP/EUROBATS stammt der Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Beleuchtungsprojekten ebenfalls aus 2019. [30]

Bezüglich den Anforderungen an die Verwendung künstlichen Lichts bei der Außenbeleuchtung kommt eine Reihe von öffentlich-rechtlichen Vorschriften in Betracht (BImSchG, BNatSchG, Baugesetzbuch i. V. mit örtlicher Bauleitplanung, Fernstraßengesetz, landesrechtliche Vorschriften wie Landesbauordnungen) neben Abwehransprüchen des §§ 1004 Abs. 1, 906 Bürgerliches Gesetzbuch. Hierbei erfasst nur das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) über den Begriff der „schädlichen Umwelteinwirkungen“ sämtliche o. g. Auswirkungen. Die rechtliche Situation, die bestehenden Rechtsunsicherheiten und weitergehende Regulierungsansätze werden in verschiedenen aktuellen Abhandlungen behandelt [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40]. Das LANUV hatte 2018 im Auftrag des MULNV ein Fachgespräch im Expertenkreis für eine aktuelle übergreifende Bestandsaufnahme der unterschiedlichen Belange und dem Aufzeigen möglicher Handlungsoptionen durchgeführt [41]. Aufgrund bislang fehlender rechtlich verbindlicher Vorgaben hatte das LANUV ebenfalls in 2018 eine Handlungsempfehlung zur Vermeidung und Verminderung störender Lichtimmissionen als Broschüre veröffentlicht, die auch im Bauresort verwendet wird [42].

Außer NRW haben auch andere Bundesländer Maßnahmen im Hinblick auf eine Verringerung von Lichtverschmutzung ergriffen, u.a. Hessen [43] und Bayern [44]. National wurden inzwischen erhebliche Erfolge bei der weitgehend reduzierten nächtlichen Befeuerung von Windenergieanlagen erreicht. Auch für den Bereich der Beleuchtung im Straßenraum, der rechtlich nicht unter das BImSchG fällt, wird aktuell bei der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen im Arbeitskreis „Lichtimmissionen“ an der Thematik gearbeitet. International bestehen ebenfalls z.T. schon seit Jahren verschiedene entsprechende Aktivitäten [45] [46]

[47] [48]. Auch EU-seitig werden Gesundheitsaspekte künstlichen Lichts und hier die Verringerung von Lichtverschmutzung z.T. adressiert, so bzgl. der Kriterien für die umweltorientierte öffentliche Beschaffung von Straßenbeleuchtungen und Lichtsignalanlagen [49]. Grundsätzlich geht eine Verringerung von Lichtverschmutzung einher mit dem Bestreben nach Energie-/CO₂-/Kosten-Einsparung und Klimaschutz. Teilweise wird aber z.B. die Wirksamkeit effizienterer Leuchtmittel durch Rebound-Effekte vermindert [50].

Durch moderne Techniken der Fernerkundung sind seit den 1990er-Jahren zunehmend systematische übergreifende Lichtmessungen per Satellit aus größerer Höhe über der Erde möglich geworden und haben zunehmend zu Visualisierungen des von der Erde emittierten künstlichen Lichts in Kartenform geführt, die für unterschiedliche Zwecke nutzbar sind. Teilweise stehen diese Darstellungen im Kontext mit der Visualisierung des globalen Entwicklungsstandes der Länder. Seit einiger Zeit werden diese nun auch zur übergreifenden Bewertung von Lichtverschmutzung herangezogen [51].

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen hat das LANUV den aktuellen Stand der Daten zur Lichtverschmutzung in NRW im Hinblick auf Umweltbelange ausgewertet.

2 Möglichkeiten zur Bestimmung der Lichtverschmutzung, Satellitenfernerkundung

Zur Bestimmung des Ausmaßes von Himmelsaufhellung gibt es unterschiedliche Methoden. Traditionell erfolgt die Beschreibung in der Astronomie visuell über die Angabe von Größenklassen der gerade noch mit den Augen erkennbarer Sterne (Magnituden, mag) [52]. Diese Methode gilt allerdings als subjektiv und relativ ungenau. Außer von der Bewölkungsfreiheit hängt die konkrete Sichtbarkeit auch von der Klarheit der Atmosphäre ab, d.h. von Luftfeuchte, Aerosolen, Staub und Abgasen in der Luft. Neuere Methoden arbeiten messtechnisch, entweder bodengebunden (per Sky Quality Meter (SQM), TESS-Fotometer o.a. Leuchtdichtemess-technik) oder mittels Fernerkundung (per Satellit o.a. Flugobjekt). Hierbei sind die Betrachtungen vom Erdboden mit denjenigen aus der Fernerkundung nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. International wird auch an Modellierungen zur Beschreibung der Lichtverschmutzung, etwa anhand einer „City Emission Function (CEF)“ für den anthropogenen „Sky Glow“ über Städten, gearbeitet [53].

Entsprechend den verschiedenen Verfahren wird die Himmelsaufhellung in unterschiedlichen Maßeinheiten und Kriterien angegeben, welche jedoch untereinander in Bezug gesetzt werden können (vgl. hierzu z.B. Abbildung in Darkskiesawareness [54]) Dies betrifft die relative Himmels-Leuchtdichte gegenüber dem natürlich dunklen Nachthimmel ($174 \mu\text{cd}/\text{qm}$ oder $21,7 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$), die absolute Leuchtdichte des Nachthimmels (in mcd/qm) oder die verbreitete Angabe der Hintergrundhelligkeit in $\text{mag}/\text{arcsec}^2$. Z.B. hat der ideal dunkle Himmel $21,7 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$, bei Vollmond wird der Himmel auf ca. $17 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ aufgehellt. Die Bortle-Skala ist eine weitere verwendete Klassifizierung der Sternensichtbarkeit nach neun Klassen (1-9). Die Milchstraße ist nur bei sehr geringer Lichtverschmutzung wahrnehmbar.

Bodengebundene Messungen ermöglichen eine direkte und genaue Beurteilung der Lichtverschmutzungssituation vor Ort, sind aber typischerweise nur für lokale Betrachtungen geeignet [55]. Dem gegenüber bietet die Fernerkundung aus der Luft zunehmend neue Möglichkeiten der übergreifenden und vergleichenden Immissionserfassung und -auswertung des künstlichen Lichts auch für größere räumliche Gebiete und ganze Länder.

Bereits seit den 1970er-Jahren wurden vom amerikanischen Militär die DMSP (Defense Meteorological Satellite Program)-Satelliten eingesetzt, um nächtliche Lichtquellen, z.B. Explosionen, nachweisen zu können. Die Empfänger waren aber ursprünglich nicht kalibrierbar und für Lichtverschmutzungs-Messungen zu empfindlich. Seit 1992 liegen die DMSP-Aufnahmen in digitaler Form vor. Sie erfassen das nach oben gerichtete Licht, das direkte oder z.B. an Straßen diffus reflektierte Anteile haben kann, mit einem räumlichen Auflösungsvermögen von ca. 1,7 km. Wesentlich besseres Datenmaterial liefert seit 2012 das Messgerät VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) an Bord des NASA-Satelliten Suomi NPP (National Polar-Orbiting Partnership) zur Erderkundung. Der spezielle Empfangsbereich DNB (Day/Night-band) ist besonders empfindlich und liefert kalibrierte Nachtaufnahmen im sichtbaren und nah-infraroten Spektralbereich (500 - 900nm). Das räumliche Auflösungsvermögen ist mit ca. 750 m doppelt so hoch gegenüber DMSP und die Daten haben eine höhere Dynamik. Die unmittelbare Messgröße ist hier die radiometrische Strahlungsstärke ($\text{nW}/\text{cm}^2 \text{ sr}$), die zunächst nur eine relative Intensitäts-/Helligkeitsangabe aus der Satellitensicht beinhaltet, aber

grundsätzlich in lichttechnische (photometrische) Größen und darüber hinaus nur über Lichtausbreitungsmodelle in ein Maß für die Lichtverschmutzung aus Bodensicht umgerechnet werden kann.

Noch höhere Auflösung resultieren aus Aufnahmen von Astronauten der ISS mit Digitalkameras oder aus Befliegungen, wie sie exemplarisch in Berlin gemacht wurden [56]. Damit wird es möglich, die Beleuchtung in einzelnen Straßen zu beurteilen, etwa die Leuchtdichte der Straße oder die direkte Abstrahlung einzelner Leuchten von oben. Diese Daten liegen aber bislang nicht flächendeckend, sondern nur exemplarisch vor, ebenso wie solche von neueren chinesischen Erdbeobachtungssatelliten (z.B. Luojia-01). Eine Liste der aktuell wichtigsten Satelliten-Datensätze für nächtliches Licht enthält eine Tabelle in MIN ZHAO et al. [57] Weitere Informationen zu den neueren Entwicklungen finden sich z.B. bei Levin [58].

Die Aufhellung des Himmelshintergrunds wird durch die Streuung des von Beleuchtungen nach oben und seitlich abgestrahlten Lichts in der Erdatmosphäre erzeugt. Es wurden aufwändige Modelle entwickelt zur Beschreibung der Lichtstreuung in der Atmosphäre, mit denen die Himmelsaufhellung berechnet werden kann. Dies führten die italienischen Astronomen P. Cinzano und F. Falchi et al erstmals mit den DMSP-Satellitendaten von 1997 durch, welche kalibriert und für die ganze Erde vorlagen. Das Ergebnis wurde als erster „Weltatlas der Lichtverschmutzung“ veröffentlicht [59] [60]. Eine veranschaulichende Karte für Europa (bereits aus dem neuen Weltatlas 2016) zeigt Abb. 1. Es wurden auch Karten erstellt, die die Hintergrundhelligkeit in Größenklassen pro Quadratbogensekunde, die Grenzhelligkeit oder die durchschnittliche Anzahl der sichtbaren Sterne angeben. Auffällig ist, dass durch die Streuung in der Atmosphäre viel ausgedehntere Gebiete von der Lichtverschmutzung betroffen sind als in den Satellitenbildern, welche nur das direkt nach oben gelenkte Licht erfassen. Für Mitteleuropa hat die Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde e.V. diese Karten auch in Form eines Google-Earth-Layers öffentlich zugänglich gemacht.

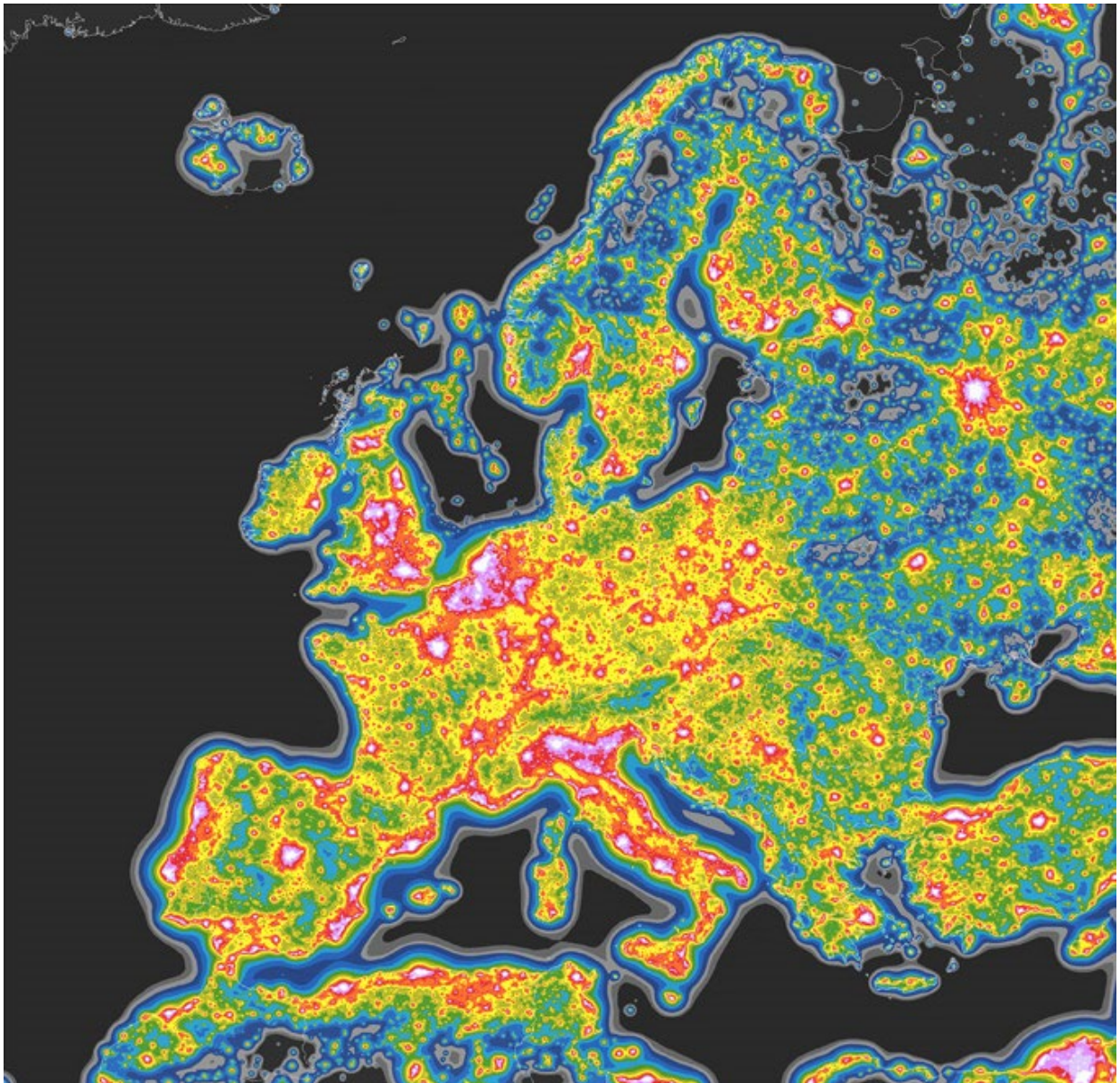


Abbildung 1: Künstliche Nachthimmelhelligkeit für Europa gemäß dem aktuellen Weltatlas der künstlichen Nachthimmelhelligkeit 2016 © Falchi et al [65]

Aus aufbereiteten DMSP-Aufnahmen verschiedener Jahre zwischen 1992 und 2010 ist nach dem Vorbild einer britischen Organisation eine vergleichende Darstellung veröffentlicht worden (vgl. Abb. 2), die auf eine über die Jahre zugenommene Lichtverschmutzung in Mitteleuropa weist. Eine anderweitige Einzeldarstellung einer aufgenommenen Lichtkarte für Mitteleuropa seitens der NASA zeigt Abb. 3 (Blue Marble, „Collage aus vielen Satellitenfotos mit einer ähnliche Perspektive wie ein bekanntes Erdfoto aus dem Apollo-Programm 1972“) [61].

Seit 2012 werden hauptsächlich die VIIRS-Satellitendaten mit ihrer besseren Qualität für Auswertungen verwendet. Eine ansprechende jahresbezogene Visualisierung der aufbereiteten VIIRS-Daten zwischen 2012 und 2019 ist auf der Webseite des slowenischen GIS-Spezialisten Jurij Stare [62] frei verfügbar und wird für vorliegende weitere Auswertungen herangezogen. Für Auswertungen im Hinblick auf die zeitliche Entwicklung der gemessenen lokalen Strahlungsstärken besteht eine weitere Applikation [63]; ein Beispiel hieraus zeigt Abb. 4.

Auf der Grundlage der VIIRS-Satellitendaten ist in 2016 ein neuer Weltatlas zur Lichtverschmutzung veröffentlicht [64] [65] [66] worden der eine aktuelle Quantifizierung des Ausmaßes der Lichtverschmutzung auf globaler Ebene dokumentiert. Dieser soll eine Datengrundlage für weitere Wissenschaftsfelder wie Ökologie, Astronomie u.a.m. bereitstellen. Er wurde mit Hilfe einer speziellen Software zur Ausbreitung der Lichtverschmutzung unter Verwendung der neuen hochauflösenden Satellitendaten und neuer präziser Messungen der Himmelshelligkeit berechnet. Entsprechend diesem Weltatlas sollen mehr als 80 % der Welt und mehr als 99 % der europäischen Bevölkerung unter lichtverschmutztem Himmel leben. Die Milchstraße soll vor mehr als einem Drittel der Menschheit verborgen sein, darunter für 60 % der Europäer. Darüber hinaus sollen 88 % der Landfläche Europas lichtverschmutzte Nächte erfahren. In einem Vergleich der G20-Länder bezüglich der am meisten von Lichtverschmutzung betroffenen Bevölkerung wird Deutschland im Weltatlas (vgl. Abb. 5) als am relativ wenigsten betroffen dargestellt. Bezogen auf die Fläche hingegen gehört Deutschland hiernach (vgl. Abb. 6) hingegen zu den am meisten von Lichtverschmutzung betroffenen G20-Ländern. Dies bedeutet nach Falchi, dass in Deutschland nur ein sehr geringer Anteil der Bevölkerung von höchster Lichtverschmutzung betroffen ist (ca. 2 % mit $>3000 \mu\text{cd}/\text{m}^2$), aber der größte Teil der Landesfläche von geringerer aber immer noch hoher Lichtverschmutzung betroffen ist.

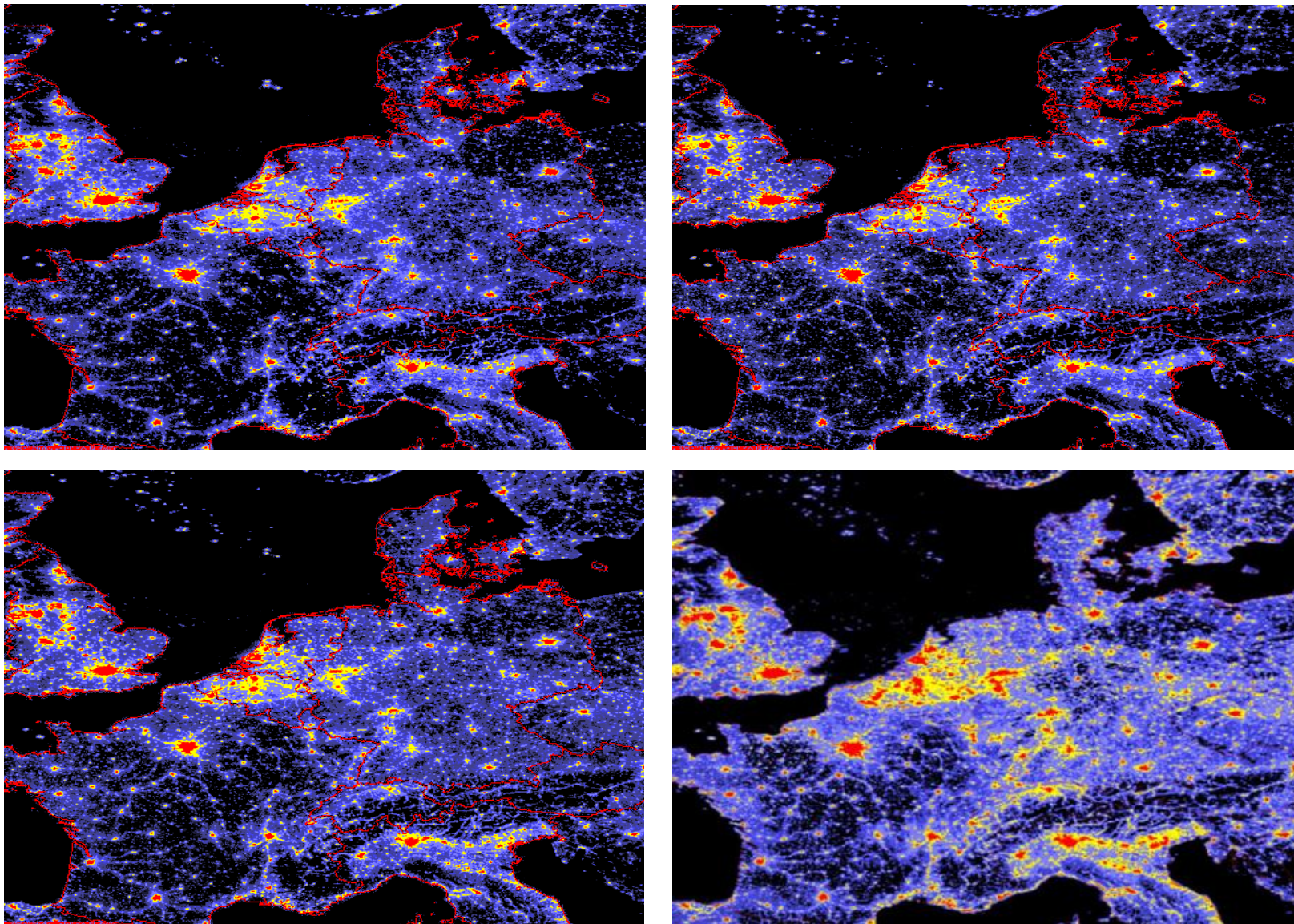


Abbildung 2: Nächtliche DMSP-Satellitenaufnahmen Zentraleuropas im zeitlichen Vergleich von 1992 – 2010 (links oben 1992, rechts oben 1997, links unten 2000, rechts unten 2010) © A. Hänel, www.lichtverschmutzung.de [51]

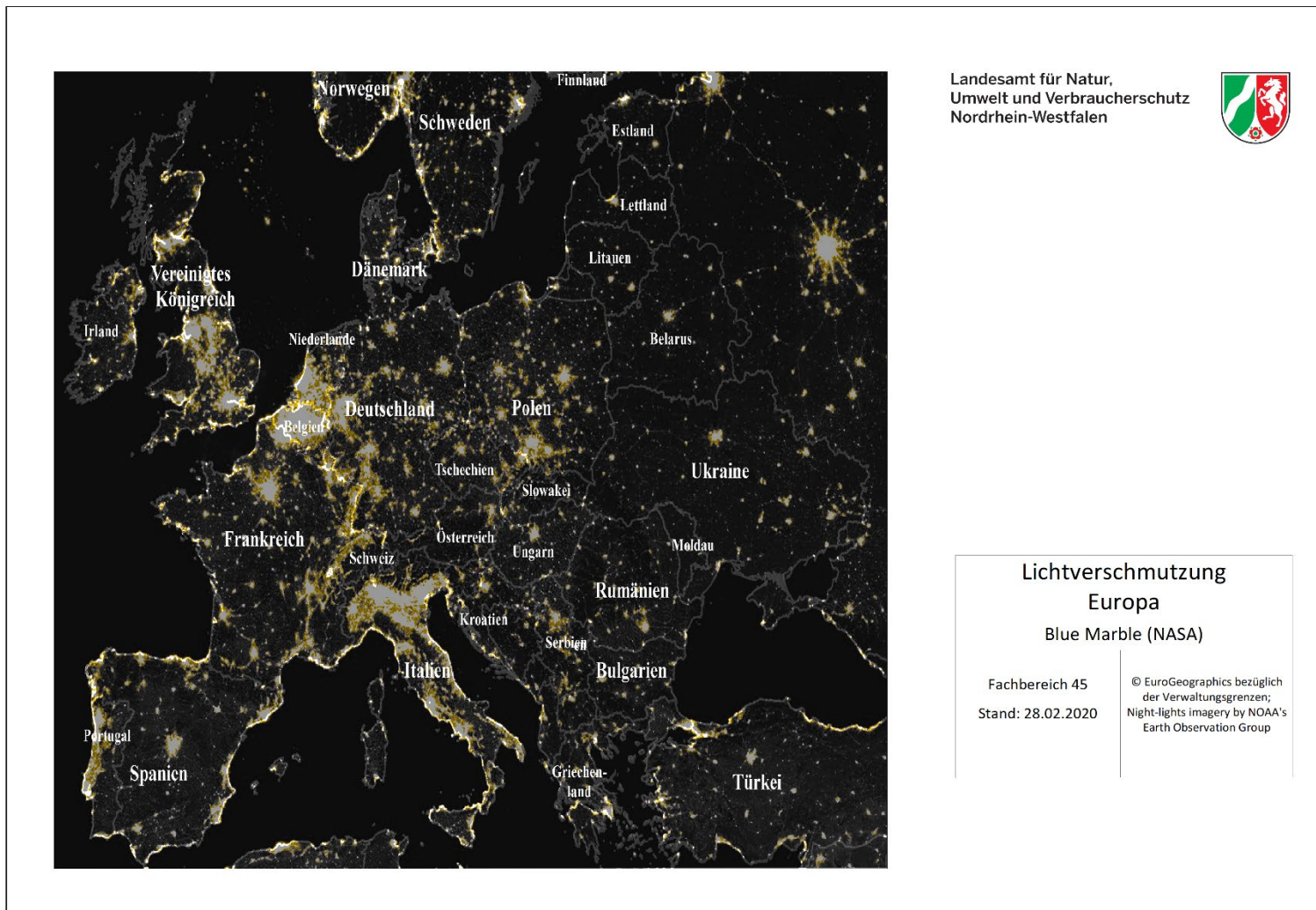


Abbildung 3: Lichtkarte für Europa Blue Marble (NASA)

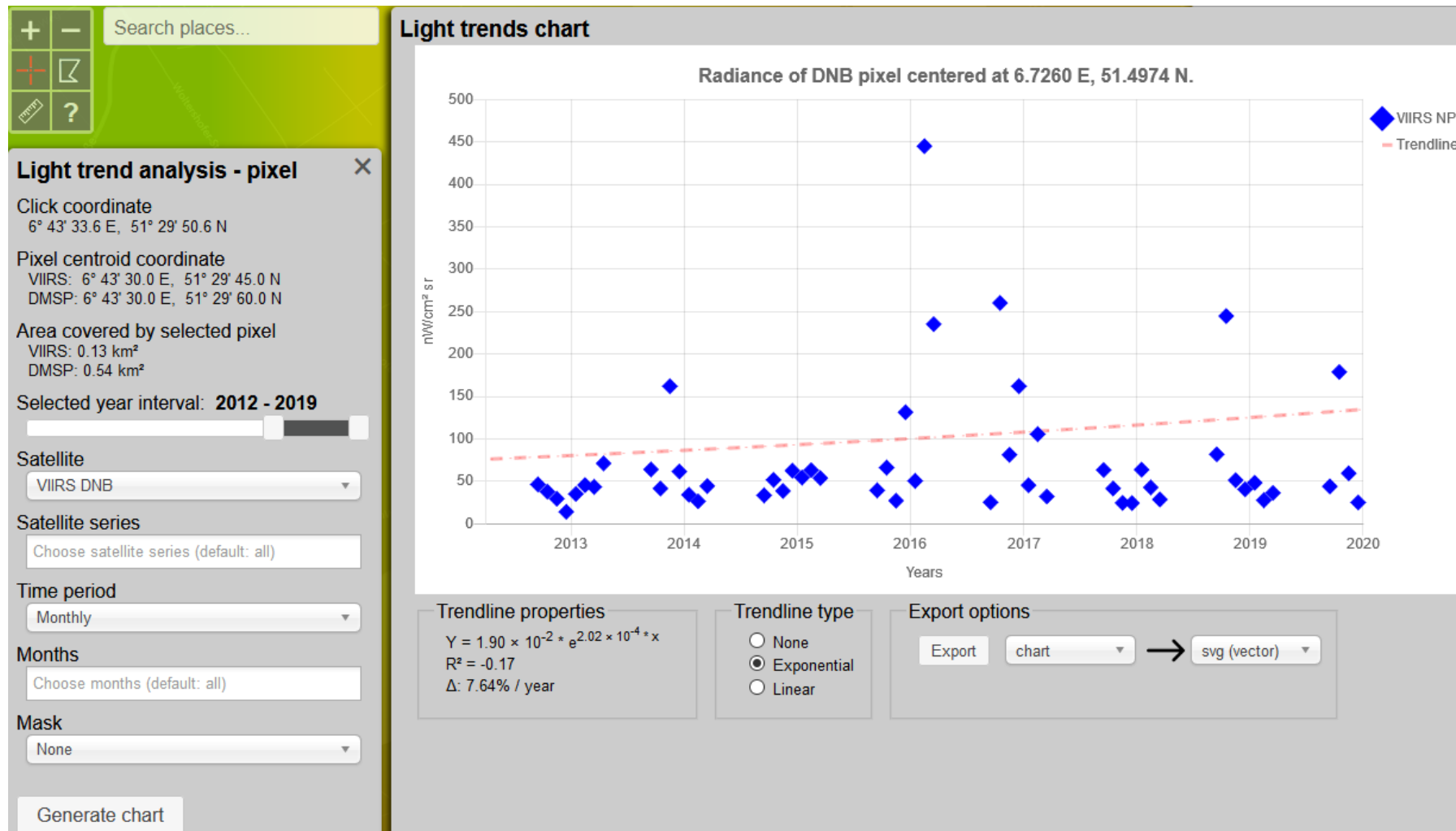


Abbildung 4: Beispiel zur Trendanalyse der Licht-Strahlungsmessung für einen ausgewählten Sensor-Pixel anhand der Webapplikation Lighttrends [63]

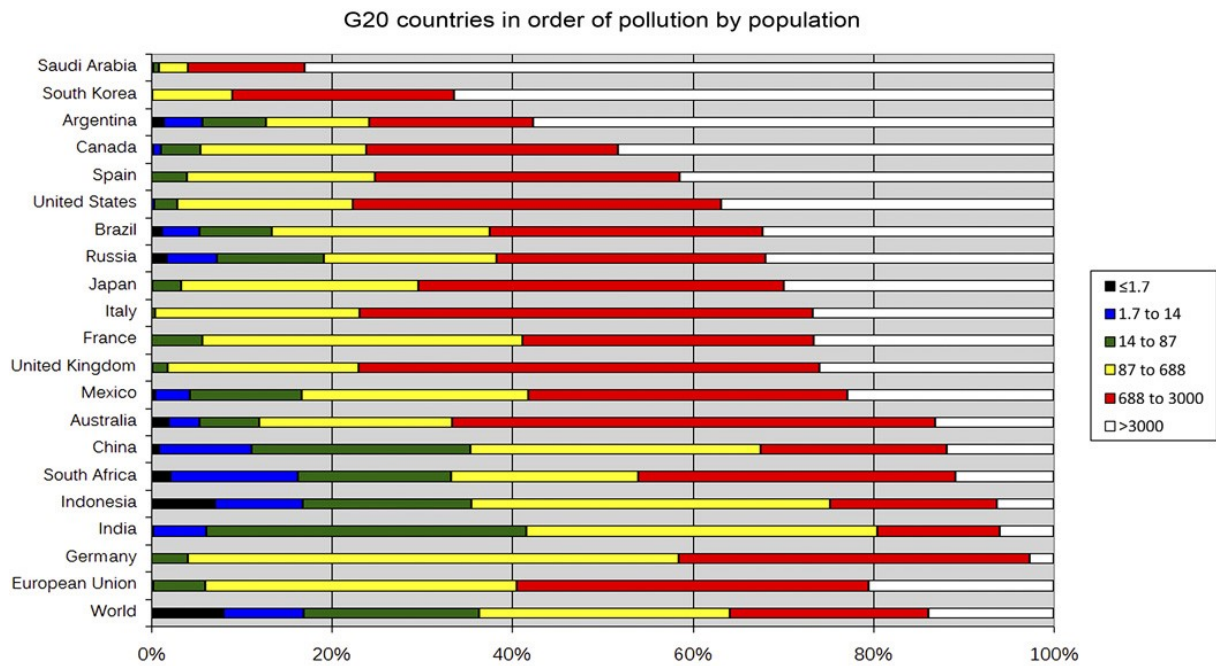


Abbildung 5: G20-Länder. Prozentuale Anteile der Bevölkerung nach dem Niveau der Lichtverschmutzung; Auflistung nach dem Bevölkerungsanteil mit dem am höchsten durch Lichtverschmutzung exponierten Niveau (Angaben in $\mu\text{cd}/\text{qm}$) © F. Falchi et al [65]

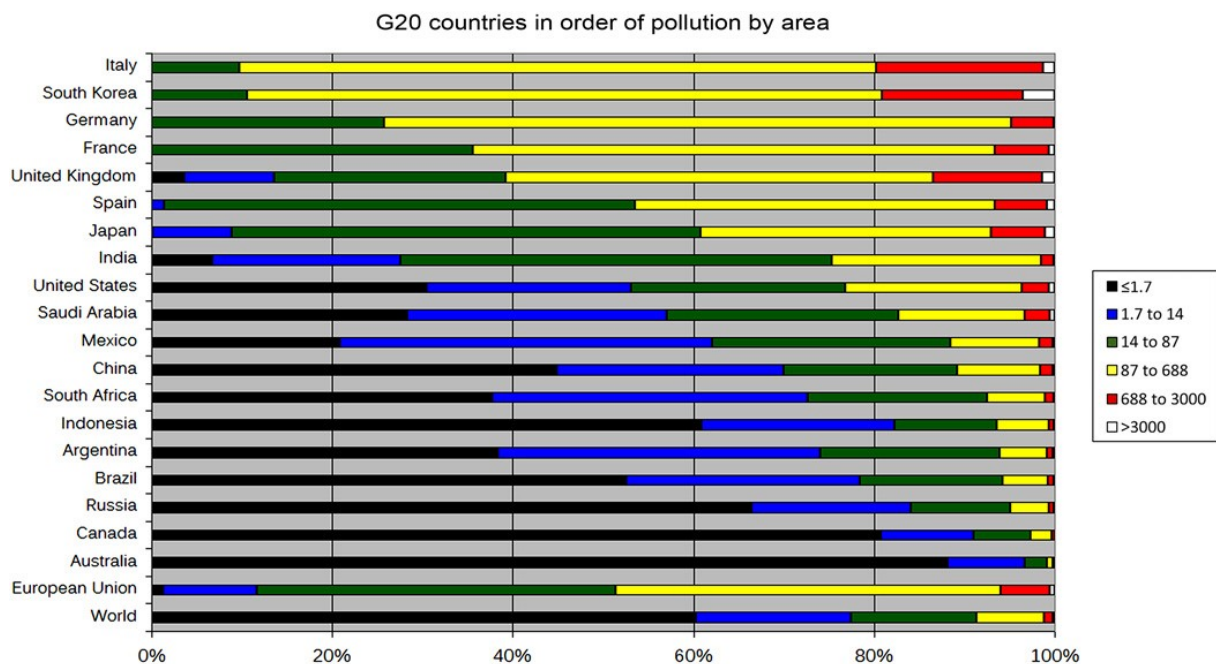


Abbildung 6: G20-Länder. Prozentuale Anteile der Landesfläche nach dem Niveau der Lichtverschmutzung; Auflistung nach den flächenmäßig am meisten lichtverschmutzten Ländern (Summe weiß, rot, gelb; Angaben in $\mu\text{cd}/\text{qm}$) © F. Falchi et al [65]

3 Zur Situation der Lichtverschmutzung in Nordrhein-Westfalen

Die im vorangegangenen Kapitel dargestellten Kartengrundlagen enthalten bereits erste, zunächst mehr qualitative Helligkeitseindrücke und –informationen auch für Regionen innerhalb Deutschlands wie auch für das Land NRW. Diese spiegeln nach dem ersten Eindruck die Siedlungs- und Nutzungsstrukturen im Land grob wieder, sind aber im Hinblick auf konkretere Aussagen zur Betroffenheit bezüglich der Lichtverschmutzung in NRW nur unzureichend.

Ausgehend von den im vorigen Kapitel skizzierten Erkenntnissen und weiteren durchgeführten Recherchen [67] zeigen sich (für NRW) quantitative Daten aktuell von den VIIRS-Satelliten aus den Jahren 2012-2019 sowie aus dem Weltatlas 2015 als grundsätzlich flächendeckend nutzbar. Die orts- und zeitaufgelösten Rohdaten des Satelliten sind grundsätzlich frei verfügbar, allerdings nicht unmittelbar und einfach verwertbar [68]. Die beste bekannte Visualisierung ist aktuell, wie im vorigen Kapitel bereits dargelegt, die online einsehbare Applikation „Light-pollutionmap“, die verwertbare Daten für eine ortsbezogene quantitative Auswertung liefert und Grundlage für die weiteren Ausführungen darstellt. Es gibt noch andere Visualisierungen zur Lichtverschmutzung, z.B. als Google Earth-Layer, die aber für eine weitergehende Auswertung keinen zusätzlichen Vorteil bieten.

Vorliegend wurden im Kern aus der Datengrundlage der Lightpollutionmap-Applikation die aufbereiteten VIIRS-Satellitendaten des aktuell letzten verfügbaren Jahrgangs (2019) und aus dem Weltatlas 2015 mit Hilfe von ArcGIS Lichtverschmutzungskarten speziell für NRW abgeleitet und bezüglich der Landes- und Kreisgrenzen NRW differenziert dargestellt. Hierdurch ist bereits ein weitergehender Überblick auf die Situation in den einzelnen Kreisen und kreisfreien Städten möglich. Im Weiteren wurden die VIIRS-Satellitendaten für die Kreise und kreisfreien Städte in NRW manuell quantitativ ausgewertet und die Ergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

Die folgende Abb. 7 zeigt zunächst eine extrahierte Lichtkarte der NASA (Blue Marble), die einen detaillierteren Überblick der aus der Satellitensicht gemessenen Strahlungsintensitäten (Helligkeiten) für das Land NRW darstellt. Diese Datenquelle ist nicht kalibriert und dient insoweit hauptsächlich der Veranschaulichung. Die Karte deutet aber bereits auf ein hohes Maß an nach oben gerichteten Lichtemissionen im Großteil des Landes, plausiblerweise besonders im Ballungsraum Rhein-Ruhr und den Großstädten des Landes. Besonders dunkle Gegenden sind nur in wenigen Bereichen zu erkennen.

Abb. 8 und Abb. 9 beinhalten die für NRW erstellten raumbezogenen Karten im Hinblick auf die Lichtverschmutzung in den jeweiligen Grenzen der kreisfreien Städte und der Kreise. Abb. 8 gibt die Darstellung entsprechend dem Weltatlas 2015 wieder; sie bezieht sich auf die jeweilige Zenith-Himmelshelligkeit in der Einheit mag/arc^2 und in der ampelfarbigem Farbklassifizierung entsprechend derjenigen im Weltatlas. Abb. 9 stellt eine Falschfarben-Visualisierung der VIIRS-Satellitendaten 2019 dar; die Angaben erfolgen hier als Strahlungsstärke in der Einheit $\text{nW}/\text{cm}^2 \text{ sr}$.

Die beiden Karten zeigen auf den ersten Blick eine ähnliche Licht(verschmutzungs-)verteilung in NRW. Wie bereits in Abb. 7 eingeschätzt ergeben sich hiernach offenbar die höchsten – räumlich mittleren – Belastungen in den Großstädten des Ballungsraums Rhein-Ruhr (Köln, Ruhrgebiet u.a.), die am wenigsten betroffenen Regionen liegen im Osten und Süden des

Landes NRW. Nach genauerer Betrachtung dieser beiden Karten zeigt die VIIRS-Daten-Darstellung der Abb. 9 eine klarere Lokalisierung von relativ hellen Emittenten-Bereichen innerhalb der einzelnen Kreisgebiete, die entsprechend Abb. 8 eine über diese begrenzteren Bereiche deutlich hinausgehende Lichtverschmutzung verursachen. Besonders in den räumlich ausgedehnten Landkreisen heben sich offenbar die stärksten Lichtemittenten deutlich heraus. Man erkennt aber trotz der Verbesserungen gegenüber früheren (DMSP-) Satellitenaufnahmen deren Auflösungsgrenzen, die bei VIIRS mit ca. 750 m pro Pixel angegeben werden.

Um zu prüfen, inwieweit sich aus den vorhandenen Kartendaten noch detailliertere Informationen gewinnen lassen, wurde noch exemplarisch für die Kreise und kreisfreien Städte eine vergrößerte Darstellung für die Landeshauptstadt Düsseldorf generiert und georeferenziert, siehe Abb. 12 (links). In dieser Abbildung wurde der VIIRS-Darstellung auch eine verfügbare einzelne ISS-Aufnahme (nicht kalibriert) zum direkten Vergleich gegenübergestellt. Hierin kann man offenbar die lokal besonders starken Lichtemittenten-Bereiche erkennen. An dem Beispiel Düsseldorf handelt es sich offenbar u.a. um die Bereiche der Innenstadt und des Internationalen Flughafens.

Wie beschrieben wurden im Weiteren noch die Strahlungsdaten des VIIRS-Satelliten für die einzelnen kreisfreien Städte und Kreise in NRW quantitativ ausgewertet und die Ergebnisse in einer Tabelle zusammengefasst, siehe Tabelle 1. Dargestellt sind jeweils der Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Strahlungsstärke innerhalb der Kreisgrenzen, wie sie sich aus den Satellitendaten ergeben.

Entsprechend den Ergebnissen in der Tabelle 1 variieren die gemessenen Einzelwerte innerhalb von NRW insgesamt zwischen $0,3 \text{ nW/cm}^2 \text{ sr}$ (niedrigster Minimalwert) und $539,7 \text{ nW/cm}^2 \text{ sr}$ (höchster Maximalwert). Die Spannweite der Werte im Vergleich der einzelnen Kreise, Durchschnitt und Median für NRW sind zusätzlich in der Tabelle eingetragen. Abb. 11 bis Abb. 13 beinhalten zur Veranschaulichung Diagrammstellungen der Ergebnisse in alphabetischer Reihenfolge bei linearer Skalierung.

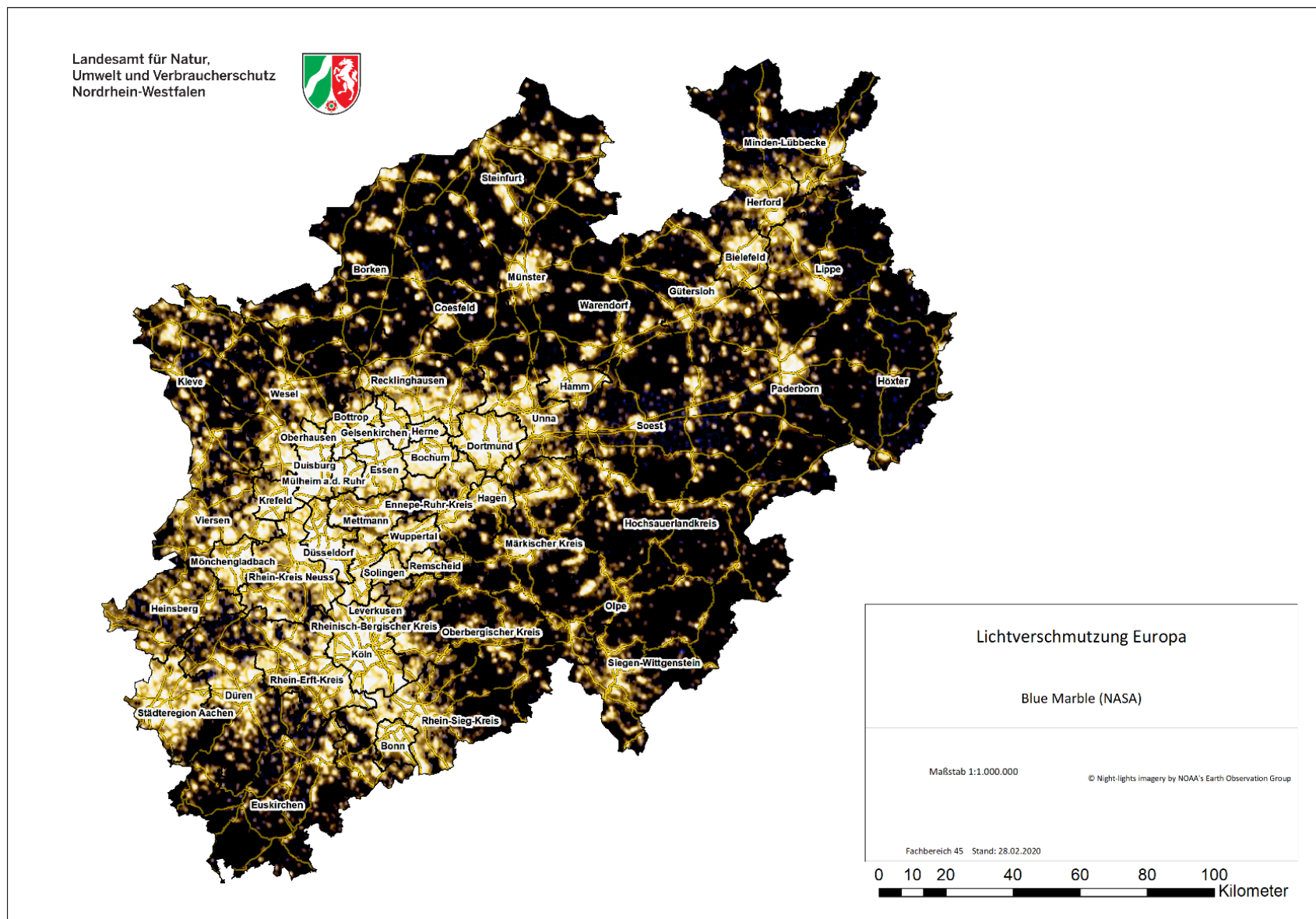


Abbildung 7: Lichtkarte Blue Marble (NASA) für NRW

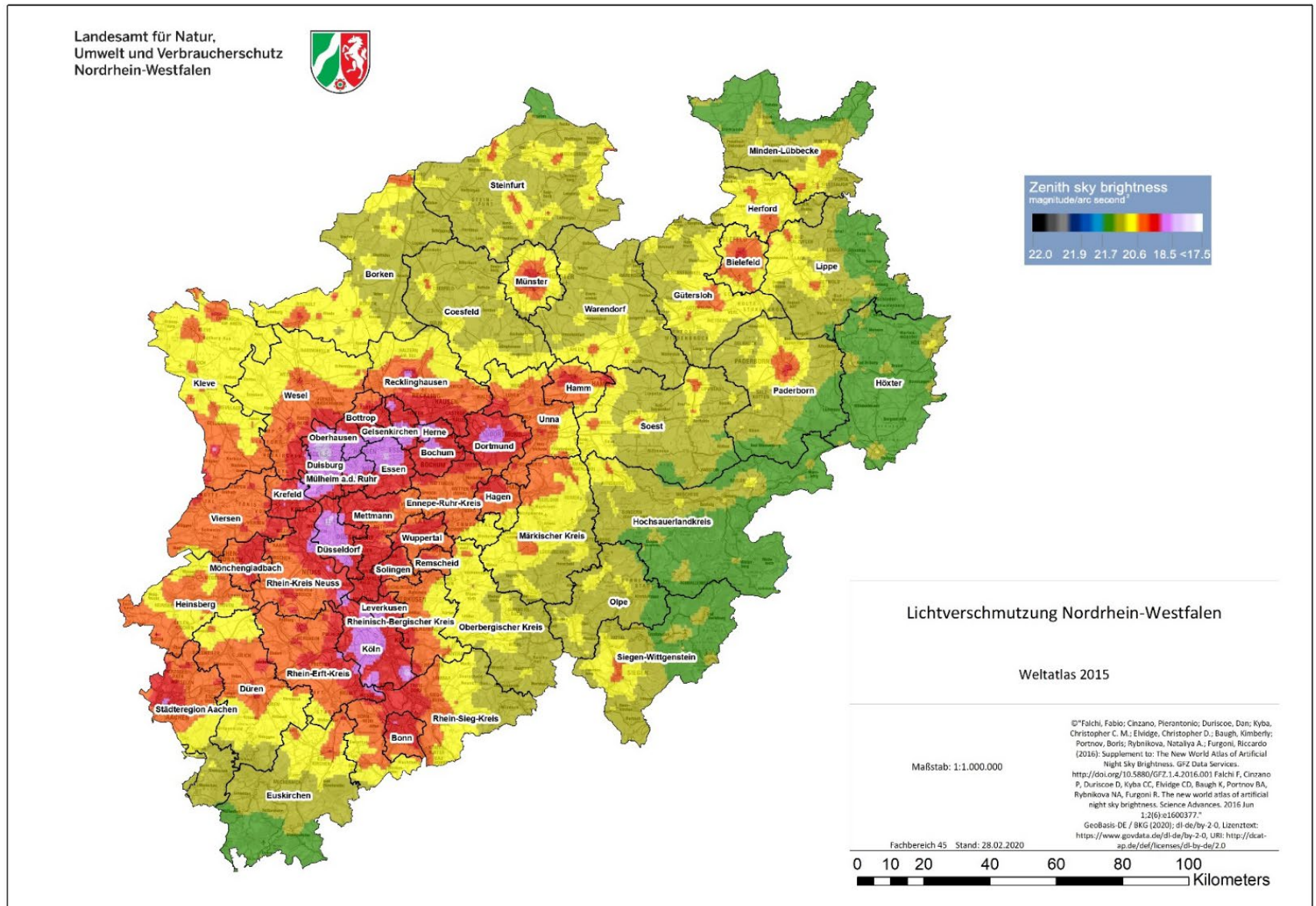


Abbildung 8: Lichtkarte für NRW World-Atlas 2015

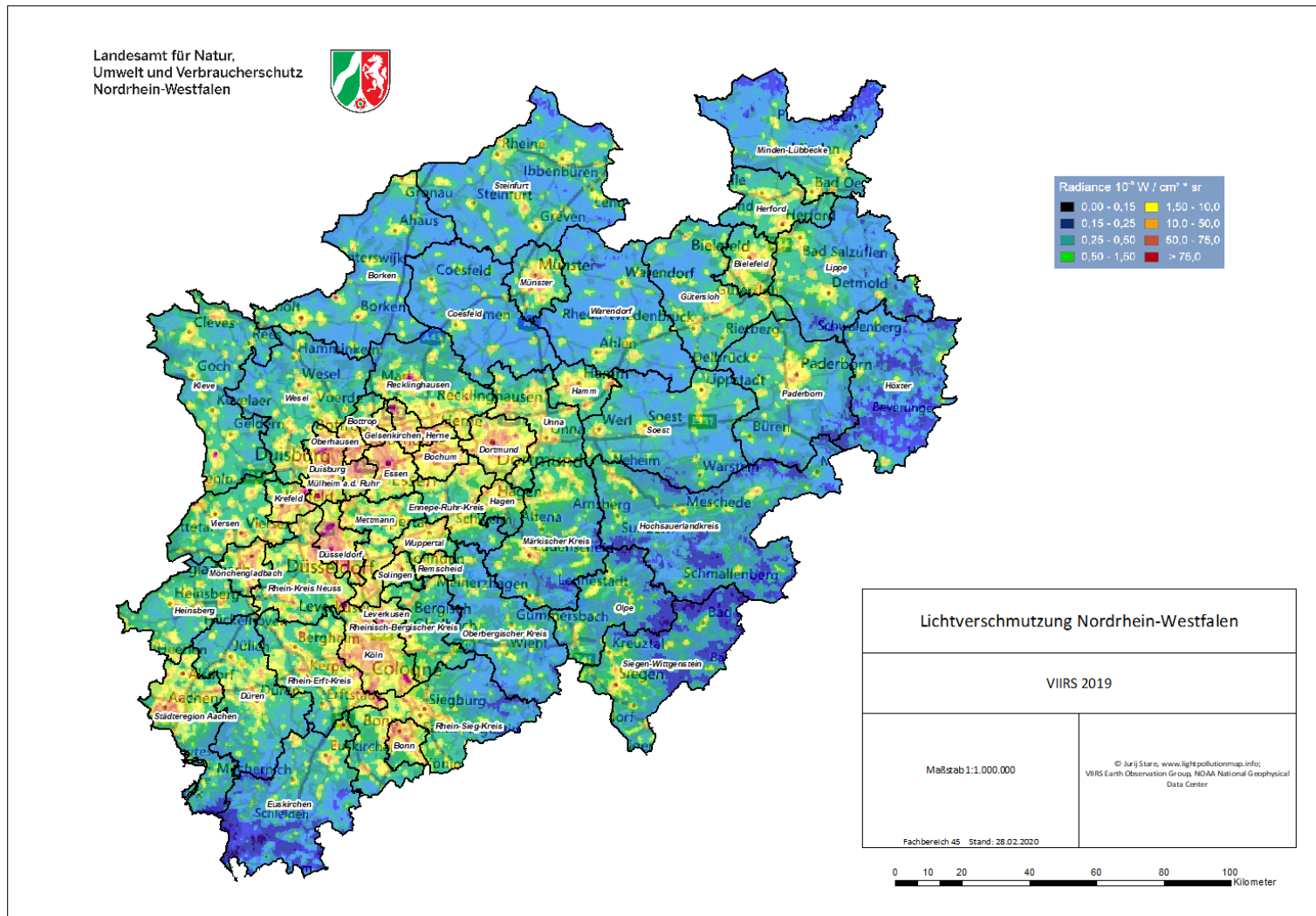


Abbildung 9: Lichtkarte für NRW VIIRS 2019

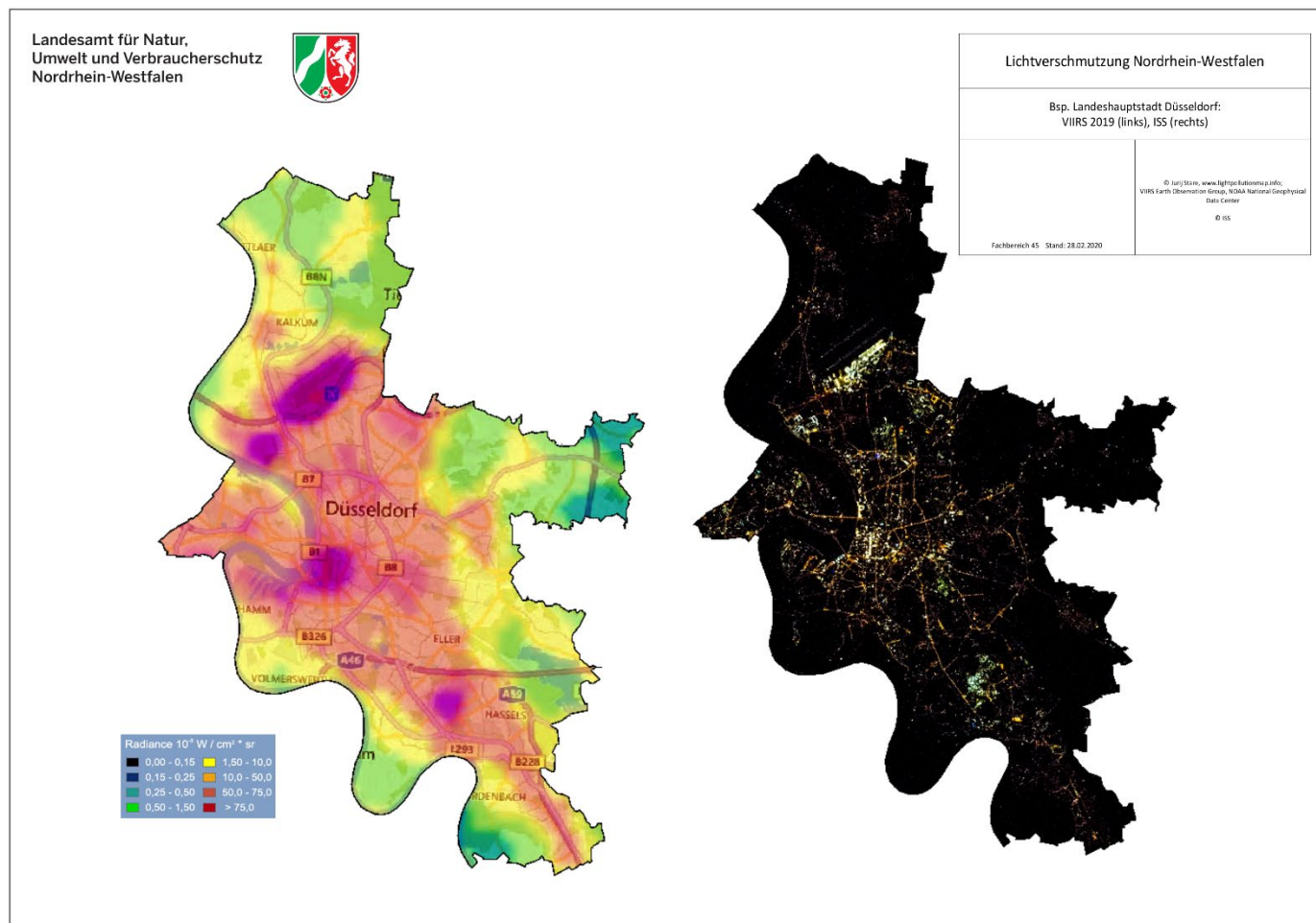


Abbildung 10: Detailaufnahme von der Internationalen Raumstation ISS am Beispiel der Landeshauptstadt Düsseldorf; (rechts, 2.2.2014 23:28:48 GMT); in direktem Vergleich mit einem Kartenauszug auf der Basis von VIIRS2019 (links)

Tabelle 1: Gemessene Lichtintensität für die Gebiete der 53 kreisfreien Städte und Kreise in Nordrhein-Westfalen aus den VIIRS-Satellitendaten 2019 (Messgröße Strahlungsstärke in nW/cm² sr; jeweils Mittelwert, Minimal- und Maximalwert)

	Min	Mw	Max
Städteregion Aachen	0,30	10,10	42,50
Kreisfreie Stadt Bielefeld	0,60	4,10	37,50
Kreisfreie Stadt Bochum	2,20	10,30	46,90
Kreisfreie Stadt Bonn	0,70	8,70	61,40
Kreis Borken	0,40	1,60	98,50
Kreisfreie Stadt Bottrop	0,70	6,70	150,30
Kreis Coesfeld	0,40	0,90	13,60
Kreisfreie Stadt Dortmund	1,60	10,90	331,60
Kreisfreie Stadt Duisburg	1,30	14,00	135,60
Kreis Düren	0,40	2,50	44,80
Kreisfreie Stadt Düsseldorf	1,40	16,30	155,40
Ennepe-Ruhr-Kreis	0,50	3,10	36,50
Kreisfreie Stadt Essen	1,50	11,90	69,00
Kreis Euskirchen	0,40	1,10	70,80
Kreisfreie Stadt Gelsenkirchen	1,80	15,00	539,70
Kreis Gütersloh	0,40	1,60	26,70
Kreisfreie Stadt Hagen	0,50	4,60	28,50
Kreisfreie Stadt Hamm	0,50	4,20	35,70
Kreis Heinsberg	0,60	2,10	32,00
Kreis Herford	0,50	2,10	22,30
Kreisfreie Stadt Herne	3,30	14,30	41,50
Hochsauerlandkreis	0,30	1,00	28,70
Kreis Höxter	0,30	0,60	12,90
Kreis Kleve	0,50	1,80	240,20
Kreisfreie Stadt Köln	1,20	13,30	226,40
Kreisfreie Stadt Krefeld	1,10	9,80	97,60
Kreisfreie Stadt Leverkusen	1,50	13,10	316,70
Kreis Lippe	0,30	1,00	19,10
Märkischer Kreis	0,40	1,70	31,90
Kreis Mettmann	0,80	4,90	26,80
Kreis Minden-Lübbecke	0,30	1,20	21,90
Kreisfreie Stadt Mönchengladbach	0,90	6,90	112,40

	Min	Mw	Max
Kreisfreie Stadt Mülheim (Ruhr)	1,90	12,80	51,90
Kreisfreie Stadt Münster	0,50	3,40	39,70
Oberbergischer Kreis	0,40	1,00	13,00
Kreisfreie Stadt Oberhausen	1,00	12,30	49,30
Kreis Olpe	0,30	1,00	11,60
Kreis Paderborn	0,30	1,20	22,70
Kreis Recklinghausen	0,50	3,50	94,60
Kreisfreie Stadt Remscheid	1,00	5,70	27,80
Rhein-Erft-Kreis	0,60	4,20	181,10
Rheinisch-Bergischer Kreis	0,50	2,10	31,50
Rhein-Kreis Neuss	1,00	4,30	61,10
Rhein-Sieg-Kreis	0,40	2,40	47,40
Kreis Siegen-Wittgenstein	0,30	1,10	27,10
Kreis Soest	0,30	1,20	27,70
Kreisfreie Stadt Solingen	0,80	5,40	24,50
Kreis Steinfurt	0,40	1,20	30,50
Kreis Unna	0,60	3,20	37,70
Kreis Viersen	0,60	2,90	90,00
Kreis Warendorf	0,40	1,10	16,40
Kreis Wesel	0,40	2,00	24,80
Kreisfreie Stadt Wuppertal	0,90	4,80	35,60
<i>Spannweite NRW</i>	0,3...3,3	0,6...16,3	
<i>Durchschnitt NRW</i>	0,80	5,20	77,40
<i>Median NRW</i>	0,50	3,40	37,40

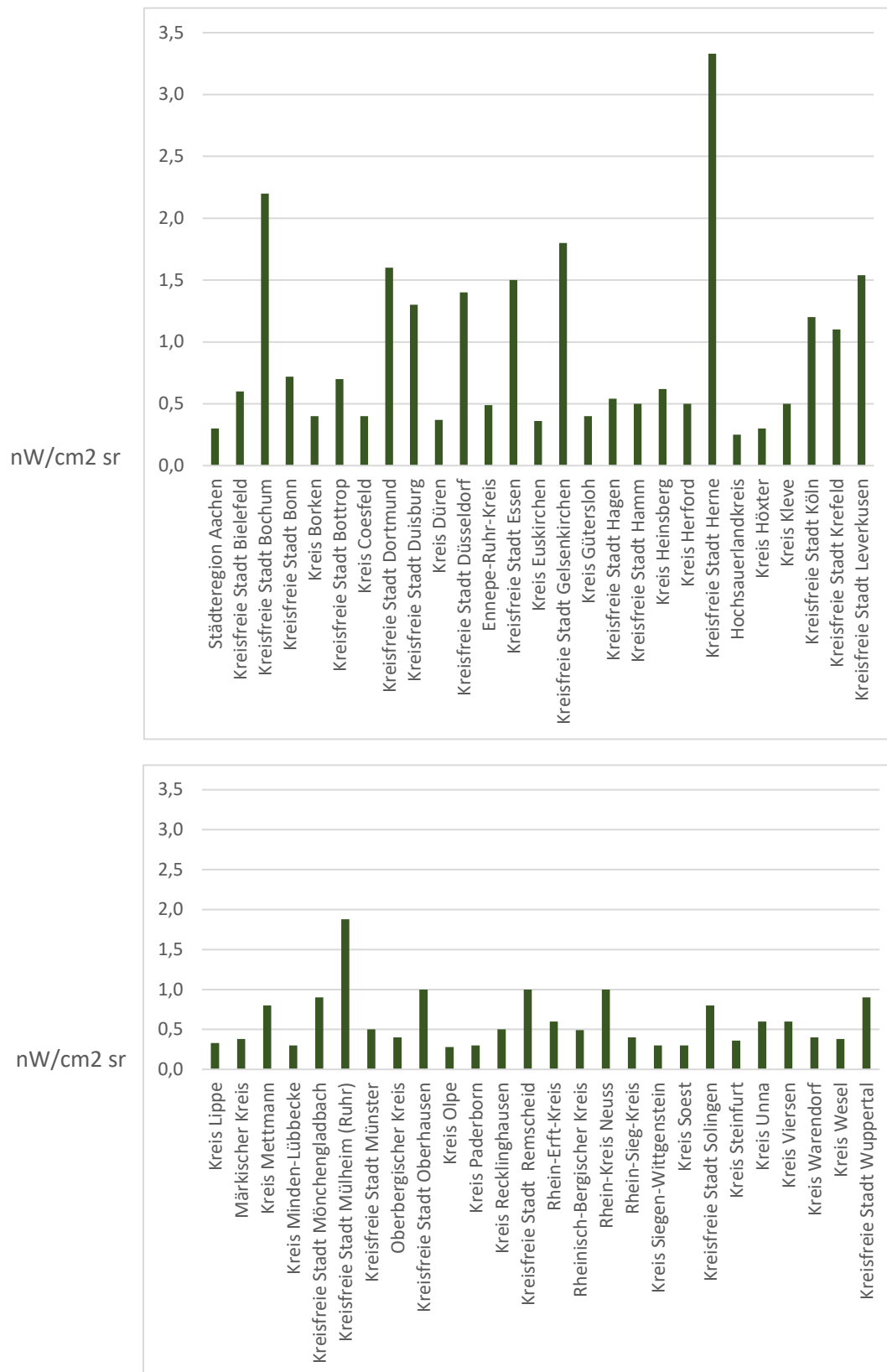


Abbildung 11: Diagrammdarstellung der Minimalwerte der Strahlungsintensität im Kreisgebiet („geringste Helligkeit“) aus Tabelle 1

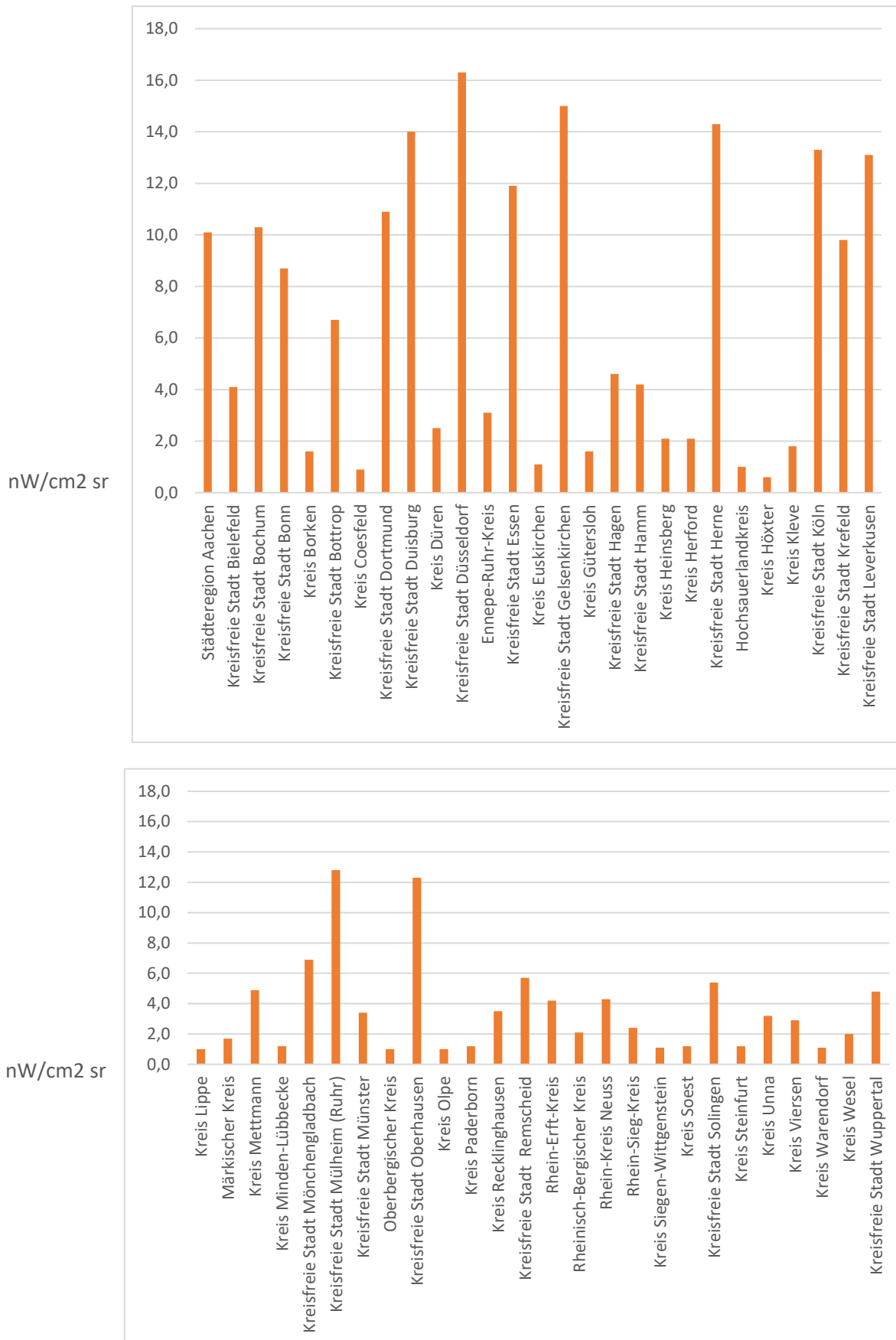


Abbildung 12: Diagrammdarstellung der Mittelwerte der Strahlungsintensität im Kreisgebiet („durchschnittliche Helligkeit“) aus Tabelle 1

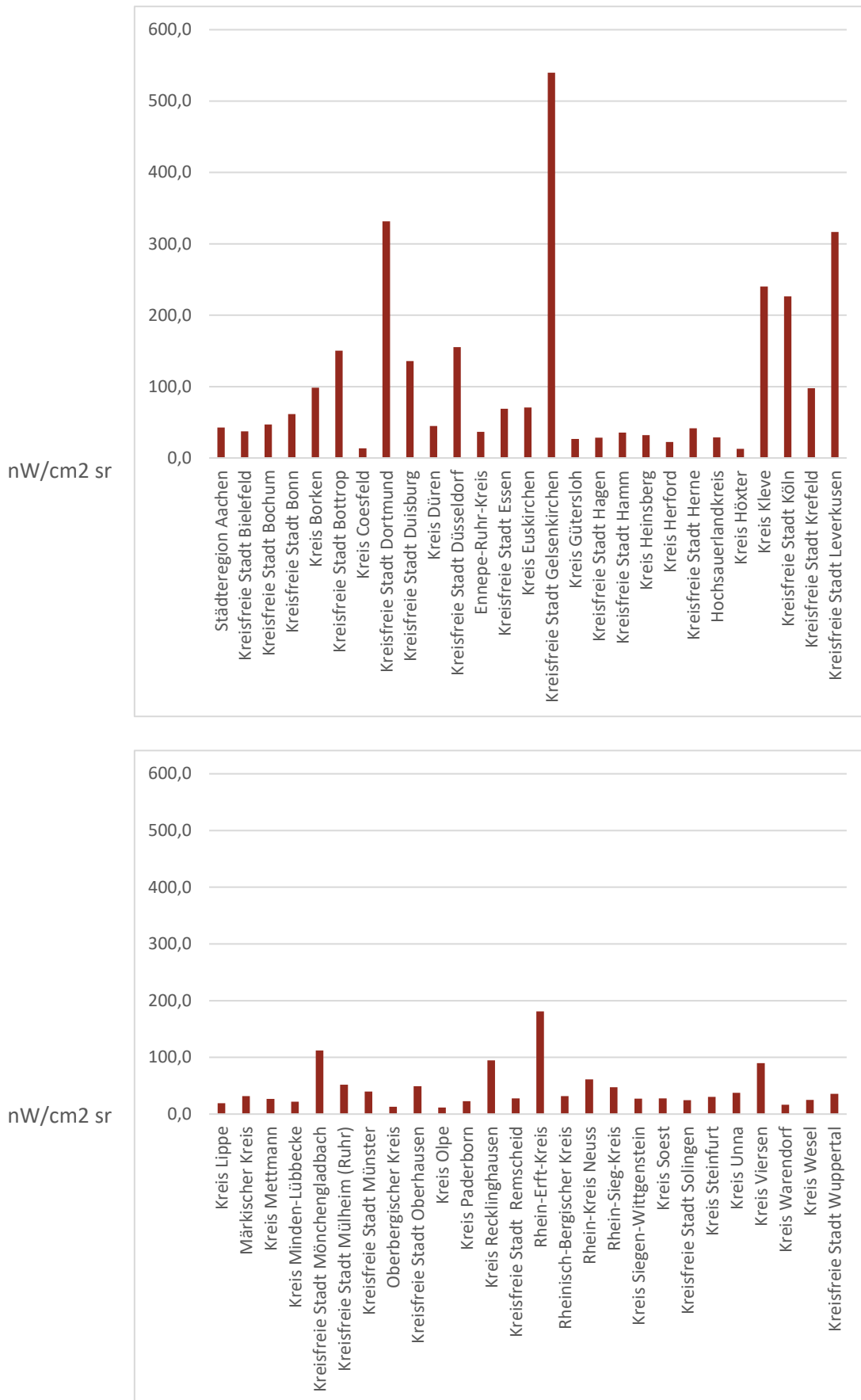


Abbildung 13: Diagrammdarstellung der Maximalwerte der Strahlungsintensität („größte Helligkeit“) aus Tabelle 1

4 Bewertung und Perspektiven

Entsprechend der vorliegenden Auswertung sind - auch für NRW - bereits auswertbare Informationen und Daten im Hinblick auf die übergreifende Lichtimmissions- und Lichtverschmutzungssituation im Land verfügbar. Wie zuvor ausgeführt sind die aus den Messungen des VIIRS-Satelliten abgeleiteten Daten die aktuell besten, die flächendeckend für NRW verfügbar sind. Diese Daten wurden daher der vorliegenden detaillierteren Auswertung zugrunde gelegt. Wie dargestellt ergibt sich aus diesen Daten – zusätzlich zu den Karten des „Weltatlas“ - ein bereits guter Überblick über die vom Boden nach oben gerichtete Lichtabstrahlung im räumlichen Bezug. Wie zuvor dargestellt, ist mit den hier lichtemittierenden Bereichen typischerweise eine räumlich erheblich weiterreichende Lichtverschmutzungswirkung verbunden, insbesondere im Hinblick auf die Himmelssichtbarkeit und im Besonderen außerhalb des Zenits hin zum Horizont.

Auch bei den VIIRS-Daten sind zunächst technische Einschränkungen bei der Bewertung zu berücksichtigen. Trotz der inzwischen vergleichsweise guten Auflösung ermöglichen die Aufnahmen derzeit nicht, innerhalb der abgebildeten Bereiche (Pixelgröße) einzelne Lichtquellen direkt zu bestimmen. In den Bildpixeln erfolgt eine Mittelung der Lichtintensität. Weiterhin umfasst das spektrale Auflösungsvermögen nicht das gesamte vom Menschen wahrnehmbare Lichtspektrum zwischen 380-780 nm, sondern den Wellenlängenbereich von 500-900 nm. Hierdurch werden blaue Emissionsanteile von Lichtabstrahlungen, z.B. von (kaltweißer) LED-Beleuchtung, nicht mit gemessen und bei der quantitativen Bewertung systematisch etwas unterschätzt. Dies spielt aber bei der vorliegenden Bewertung aus hiesiger Sicht keine ausschlaggebende Rolle, weil die meisten Lichtquellen ein kontinuierliches Emissionsspektrum aufweisen und selbst weitgehend monochromatische Lichtquellen wie verbreitete Natriumdampflampen miterfasst werden. Der UV-Bereich außerhalb des für den Menschen Sichtbaren, der z.T. für die Wahrnehmung von Tieren (Insekten, Vögel) eine wichtige Rolle spielt, ist in diesen Aufnahmen nicht berücksichtigt. Gängige Lichtquellen wie LED- oder Natriumdampflampen emittieren jedoch nicht (mehr) in diesem Frequenzbereich.

Neben den technischen Einschränkungen ist zu berücksichtigen, dass die Auswertungen statische Abbilder zu den Lichtabstrahlungen liefern. Einflüsse hinsichtlich der Lichtabstrahlung und Lichtverschmutzung ergeben sich auch daraus, dass nicht alle Lichtquellen in der Nacht gleichzeitig betrieben sein müssen und auch temporäre sowie saisonale Auswirkungen (z.B. durch Großveranstaltungen, lokale Events, Kirmes, Weihnachtsmärkte u.a.m.) bestehen. Auch zeitveränderliches Licht durch Wechsellicht oder Videowerbeanlagen oder durch ortsveränderliche Quellen wie von Fahrzeugbeleuchtung kann nur eingeschränkt wiedergegeben werden.

Trotz der angeführten Einschränkungen sind die im vorigen Kapitel dokumentierten Ergebnisse im Hinblick auf die Lichtverschmutzung in NRW aussagefähig. Im Ergebnis gibt es in NRW kaum noch Bereiche, an denen ein ungetrübter natürlicher Himmelsanblick, insbesondere über den gesamten Horizont betrachtet, möglich ist. Dies betrifft speziell auch fotografische Astroaufnahmen des Himmels mit erforderlichen längeren Belichtungszeiten. Besonders lichtintensiv und somit auch wesentliche Verursacher von Lichtimmissionen und Lichtverschmutzung sind in NRW, grundsätzlich nicht überraschend, die relativ dicht besiedelten Großstädte an Rhein und Ruhr, typischerweise die Innenstädte, aber auch z.B. die großen Indust-

rieanlagen oder auch im ländlichen Bereich große nicht abgeschirmte Treibhäuser. Diese Erkenntnisse stehen auch in Einklang mit verschiedenen anderweitigen Darlegungen und Veröffentlichungen [69] [70] [71].

Die Daten nach Tabelle 1 und Abb. 13 -15 sind für die einzelnen Städte und Kreise in alphabetischer Reihenfolge dargestellt. Hierin spiegeln sich erwartungsgemäß systematische Unterschiede zwischen den Städten und den Landkreisen wieder. Aus den Karten und Daten lassen sich lokal die Bereiche hoher Lichtabstrahlung „in den Himmel“ ausmachen. Sie können somit bereits dazu dienen, vor Ort systematisch Potenziale für die Verminderung unnötiger Lichtimmissionen bzw. Lichtverschmutzung durch die enorme Zahl an Lichtquellen (insbesondere auch durch „vertikale“ Emittenten wie z.B. großflächige Lichtwerbeanlagen, deren Lichtemissionen sich auf den Satellitenauswertungen nur indirekt zeigen) sowie evtl. Energieeinsparmöglichkeiten zu erkennen und zu erschließen, aber ebenso evtl. besonders dunkle Bereiche die sich für Himmelsbeobachtungen eignen. Auf diese Weise wurde bereits 2009 der Standort für den ersten deutschen IDA-Sternenpark Westhavelland ausgesucht. Bei der Darstellung auf Kreisebene sind die unterschiedlichen räumlichen Strukturen und Zentralitäten sowie auch o.g. Einschränkungen bezüglich der Bewertung zu berücksichtigen.

Wie zu Anfang dargelegt gibt es verschiedene Entwicklungen zur Vermeidung und Verminderung von unnötigen Lichtimmissionen und Lichtverschmutzung. Maßnahmen sind oftmals relativ einfach durchzuführen. Da wo Beleuchtung erforderlich ist, kann z.B. in Städten eine Licht(master)planung ein längerfristig guter Weg zur Optimierung einer „Nachtlandschaft“ sein. Die im Bericht in Bezug genommenen Karten und Informationen wie auch der vorliegende Bericht selbst können mit dazu beitragen das Bewusstsein hinsichtlich der Thematik weiter zu erhöhen.

Voraussichtlich wird die weitere technische Entwicklung künftig noch weiter räumlich und spektral aufgelöste Satellitenaufnahmen ermöglichen, die dann noch detailliertere Auswertungen zur Lichtverschmutzung, auch auf der Ebene der Gemeinden, ergeben können. Das LANUV verfolgt die Entwicklungen auch weiterhin.

5 Literaturverzeichnis

- [1] ZEIT. "Unsere Städte wurden eben von Männern geplant". 14. April 2020.
- [2] Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag. Aktueller Begriff Lichtverschmutzung. 2015.
- [3] Wikipedia. Lichtverschmutzung. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtverschmutzung>. 2021
- [4] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. 1974.
- [5] Gem. RdErl. des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz – V-5 8800.4.11 – und des Ministeriums für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr – VI.1–850. Lichtimmissionen, Messung, Beurteilung und Verminderung. 2014.
- [6] LAI. Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). Beschluss vom 13. September 2012.
- [7] Landesumweltamt NRW. Sachinformation zur Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Beleuchtungsanlagen. Essen 2002.
- [8] Internationale Beleuchtungskommission. Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. 2017. Bd. CIE 150.
- [9] Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. LiTG 12.3. 2011.
- [10] M. Held et al. Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. BfN-Skripten 336. Bundesamt für Naturschutz. 2013.
- [11] FAZ. Wir schaffen die Nacht ab! 17. Juli 2019.
- [12] ZEIT. Warum die Motte ins Licht fliegt. 2. August 2020.
- [13] WAZ. Lichtverschmutzung, Warum Forscher vor zu hellen Nächten in Deutschland warnen. 06. November 2018.
- [14] ZDF. Fulda: Kampf gegen Lichtverschmutzung. 19. September 2019.
- [15] Arte TV. Lichtverschmutzung, Warum zu viel Beleuchtung schaden kann. September 2020.
- [16] BBC. Only one in 50 people have nights free from light pollution. 17. April 2019.
- [17] The Guardian. Urgent new 'roadmap to recovery' could reverse insect apocalypse. 06. Januar 2020.
- [18] Artificial Light at Night. www.artificiallightatnight.org/; alandb.darksky.org/index.php. 2021
- [19] Theory, Modelling and Measurements Conference. <http://www.lptmm.org/>. 2021.
- [20] C. Kyba et al. Red is the new black: How the colour of urban skyglow varies with cloud cover. Monthly notices of the Royal Astronomical Society. 2012.

- [21] Wikipedia. Kategorie: Lichtschutzgebiet. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Lichtschutzgebiet>. 2021.
- [22] LANUV NRW. Schutz der Nacht, Optimierte künstliche Außenbeleuchtung in Nordrhein-Westfalen. Essen. 11. November 2018.
- [23] BfS. .Wirkungen des Lichts. <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/sichtbares-licht/wirkung/visuell-nichtvisuell/wirkung-visuell-nichtvisuell.html>. 2021.
- [24] DGUV. Nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen, Deutsche gesetzliche Unfallversicherung. DGUV Information 215-220. 2018.
- [25] Deutscher Bundestag. Aktionsprogramm Insektenschutz der Bundesregierung – Gemeinsam wirksam gegen das Insektensterben. Drucksache 19/13031.09. September 2019.
- [26] BMU. Aktionsprogramm Insektenschutz, Gemeinsam wirksam gegen das Insektensterben. Bundesministerium für Umwelt, Natur und nukleare Sicherheit. 2019.
- [27] ARD Tagesschau. Insektenschutz-Gesetzentwurf, Biotope statt Disko-Scheinwerfer. 05. August 2020.
- [28] Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. 2009, zuletzt geändert durch Art. 10 G v. 25.6.2021 I 2020.
- [29] S. Schroer et al. Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung, Bundesamt für Naturschutz. BfN-Skripten 543. 2019.
- [30] C.C. Voigt et al. Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Beleuchtungsprojekten. Publication UNEP / EUROBATS. Bd. Series No. 8. 2019.
- [31] Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag. Sachstand Lichtverschmutzung, Rechtliche Regelungen zur Beschränkung von Beleuchtung in Deutschland und ausgewählten europäischen Staaten. 2019.
- [32] C. Schröter-Schlaack. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze. 2020.
- [33] Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung Technikfolgenabschätzung (TA). Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze. Drucksache 19/22433. 09. November 2020.
- [34] B. Huggins. Bewertung von Lichtimmissionen. Zeitschrift für Immissionsschutzrecht und Emissionshandel. 2020.
- [35] B. Huggins, S. Schlacke. Schutz von Arten vor Glas und Licht: Rechtliche Anforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten. Schriftenreihe Natur und Recht. Springer 2019.
- [36] S. Schroer et al. Working with Inadequate Tools: Legislative Shortcomings in Protection against Ecological Effects of Artificial Light at Night, Review. Sustainability. 2020.

- [37] K. C. Borchers, T. Schomerus. Umweltverschmutzung durch Licht – die Ausweisung von Lichtschutzgebieten als Instrument zur Reduktion von Lichtimmissionen. 2015. Bde. NuR 37, 614–621.
- [38] VG München. Urteil v. 28.11.2018 – M 19 K 17.4863. 2018.
- [39] C. Röger. Lichtimmissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Eine Untersuchung der Gesetzgebungskompetenzen und der Betreiberpflichten am Beispiel flutlichtbeleuchteter Sportstätten. DR.Kovac. Hamburg 2014.
- [40] Schweizerisches Institut für Rechtsvergleichung (SIR), i.a. BUWAL. Gutachten über Lichtimmissionen - Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Niederlande, Österreich, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik und Vereinigtes Königreich. Bern 2015.
- [41] LANUV NRW. Dokumentation Fachgespräch am 21.11.2018 - Schutz der Nacht, Optimierte künstliche Außenbeleuchtung in Nordrhein-Westfalen. Essen 2019.
- [42] LANUV NRW. Künstliche Außenbeleuchtung, Tipps zur Vermeidung und Verminderung störender Lichtimmissionen. LANUV-Info 42. Recklinghausen. 2018.
- [43] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <https://umwelt.hessen.de/umwelt-natur/luft-laerm-licht/lichtimmissionen>. 2020.
- [44] BR. Lichtverschmutzung: Was seit August verboten ist. 07. Oktober 2019.
- [45] Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg. Leitfaden „Gutes Licht“ im Außenraum für das Großherzogtum Luxemburg. Luxemburg 2018.
- [46] Stadt Wien. <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/lichtverschmutzung.html>. 2020
- [47] Tiroler Landesumweltanwalt Innsbruck, Wiener Umwelthanwaltschaft. Die Helle Not, Künstliche Lichtquellen – ein unterschätztes Naturschutzproblem. 2003.
- [48] Bundesamt für Umwelt (BAFU). Vollzugshilfe Lichtemissionen (Entwurf zur Konsultation). Bern 2017.
- [49] S. Donatello et al. Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals. European Commission Joint Research Centre. Technical report and criteria proposal. 2019,
- [50] Umweltbundesamt. Rebound-Effekte, Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien. 2016.
- [51] A. Hänel. Lichtverschmutzung in Mitteleuropa. In: T. Posch et al. Das Ende der Nacht. Wiley 2013.
- [52] Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), National Science Foundation. Globe at Night. www.globeatnight.org. 2020.
- [53] M. Kcifaj et al. Night-sky radiometry can revolutionize the characterization of light-pollution sources globally. www.pnas.org. 2019.
- [54] Ph. D. C. Walker. Darkskiesawareness. <http://www.darkskiesawareness.org/contact.php>. 2020

- [55] E.E. Goronczy. Lichtverschmutzung in Metropolen: Analyse, Auswirkungen und Lösungsansätze. Wiesbaden: Springer Vieweg 2018.
- [56] H. Kuechly, C. Kyba, F. Hölker. Woher kommt das Licht? Räumliche Betrachtung der Lichtverschmutzung. In: M. Held, F. Hölker & B. Jessel. Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. BfN-Skripten 336:39-42. 2013.
- [57] Min Zhao et al. Applications of Satellite Remote Sensing of Nighttime Light Observations: Advances, Challenges, and Perspectives. Remote Sensing 2019. 21. August 2019.
- [58] N. Levin et al. Remote sensing of night lights-beyond DMSP. 2019.
- [59] P. Cinzano, F. Falchi, C. Elvidge. The first world atlas of the artificial night sky brightness. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Bd. 328, S. 689–707. 2001.
- [60] P. Cinzano, Thiene. The night sky in the World. 2000. <http://www.lightpollution.it/dmsp/index.html>. 2021
- [61] Wikipedia. Blue-marble. de.wikipedia.org/wiki/Blue_Marble; Urs Enke. <https://blue-marble.de/nightlights/2012>. 2021
- [62] J. Stare. Lightpollutionmap. www.lightpollutionmap.info. 2021.
- [63] J. Stare. Radiance light trends. <https://lighttrends.lightpollutionmap.info>. 2021.
- [64] F. Falchi. The World Atlas of Light Pollution. 2016.
- [65] F. Falchi et al. The new world atlas of artificial night sky brightness. Sci. Adv. 2016; 2:e1600370. 2016.
- [66] F. Falchi et al, The new world atlas of artificial night sky brightness, Starlight, Beyond Light Pollution. Canary Islands, 2016.
- [67] M. Herkt. Der Blick aus dem All – das Fernerkundungskompetenzzentrum stellt sich vor. 26. November 2019.
- [68] C. Seaman. Beginner’s Guide to VIIRS Imagery Data. Colorado State University. 2013.
- [69] F. Milbradt. Deutschlandkarte: Die dunkelsten Orte. ZEITmagazin Nr. 52/2016. 03. Januar 2017.
- [70] S. Garz. Bachelorarbeit FU Berlin, FB Geowissenschaften. Erste Untersuchungen der Nachtaufnahmen von Städten des neuen Satelliten Suomi NPP. 10. März 2014.
- [71] Focus. Atlas der Lichtverschmutzung: In diesen deutschen Städten sehen Sie die Sterne kaum noch. 2020.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Künstliche Nachthimmelhelligkeit für Europa gemäß dem aktuellen Weltatlas der künstlichen Nachthimmelhelligkeit 2016 © Falchi et al [65].....	10
Abbildung 2:	Nächtliche DMSP-Satellitenaufnahmen Zentraleuropas im zeitlichen Vergleich von 1992 – 2010 (links oben 1992, rechts oben 1997, links unten 2000, rechts unten 2010) © A. Hänel, www.lichtverschmutzung.de [51].....	
Abbildung 3:	Lichtkarte für Europa Blue Marble (NASA)	13
Abbildung 4:	Beispiel zur Trendanalyse der Licht-Strahlungsmessung für einen ausgewählten Sensor-Pixel anhand der Webapplikation Lighttrends [63].....	14
Abbildung 5:	G20-Länder. Prozentuale Anteile der Bevölkerung nach dem Niveau der Lichtverschmutzung; Auflistung nach dem Bevölkerungsanteil mit dem am höchsten durch Lichtverschmutzung exponierten Niveau (Angaben in $\mu\text{cd}/\text{qm}$) © F. Falchi et al [65]	15
Abbildung 6:	G20-Länder. Prozentuale Anteile der Landesfläche nach dem Niveau der Lichtverschmutzung; Auflistung nach den flächenmäßig am meisten lichtverschmutzten Ländern (Summe weiß, rot, gelb; Angaben in $\mu\text{cd}/\text{qm}$) © F. Falchi et al [65].....	15
Abbildung 7:	Lichtkarte Blue Marble (NASA) für NRW	18
Abbildung 8:	Lichtkarte für NRW World-Atlas 2015.....	19
Abbildung 9:	Lichtkarte für NRW VIIRS 2019.....	20
Abbildung 10:	Detailaufnahme von der Internationalen Raumstation ISS am Beispiel der Landeshauptstadt Düsseldorf; (rechts, 2.2.2014 23:28:48 GMT); in direktem Vergleich mit einem Kartenauszug auf der Basis von VIIRS2019 (links)	21
Abbildung 11:	Diagrammdarstellung der Minimalwerte der Strahlungsintensität im Kreisgebiet („geringste Helligkeit“) aus Tabelle 1	24
Abbildung 12:	Diagrammdarstellung der Mittelwerte der Strahlungsintensität im Kreisgebiet („durchschnittliche Helligkeit“) aus Tabelle 1.....	25
Abbildung 13:	Diagrammdarstellung der Maximalwerte der Strahlungsintensität („größte Helligkeit“) aus Tabelle 1	26

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de