

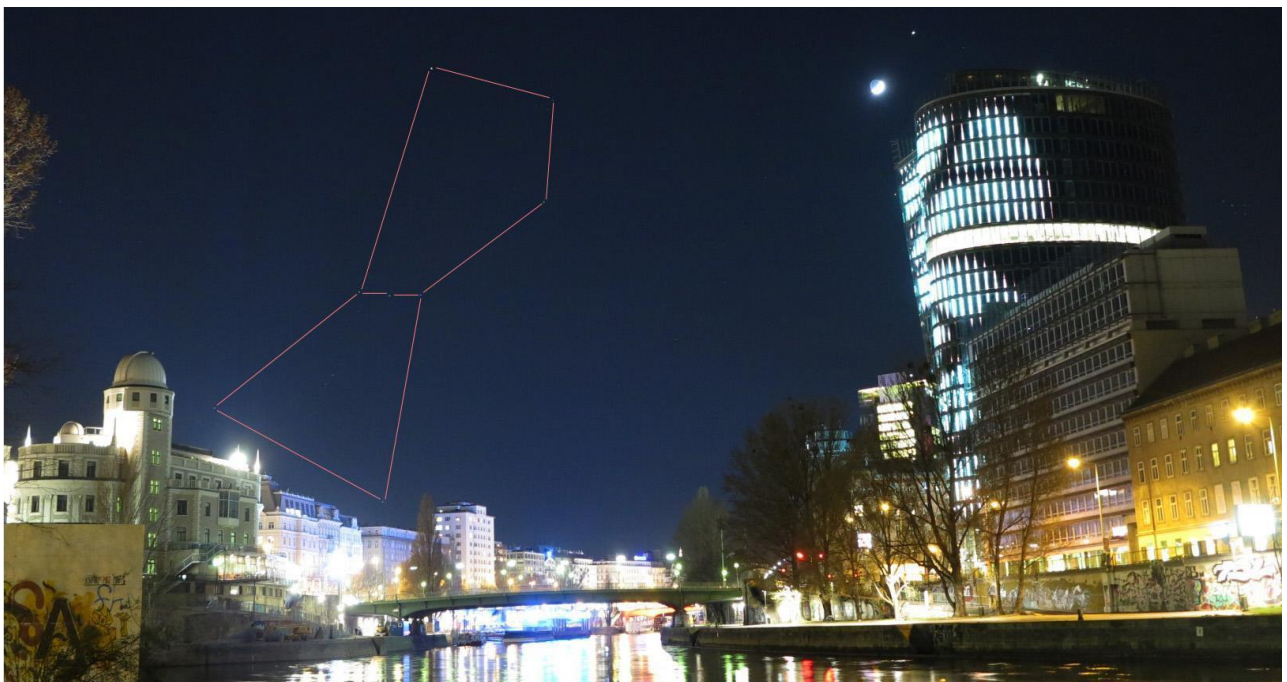
Licht über Wien III

Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2013

Felix Linhardt, Manuela Kopper, Markus Reithofer (Verein Kuffner-Sternwarte),
Günther Wuchterl (Verein Kuffner-Sternwarte und Thüringer Landessternwarte)



Titelbild: Das Sternbild Orion (die roten Linien symbolisieren die Position des Sternbilds) jeweils horizontnah über dem Wildnisgebiet Dürrenstein, Niederösterreich (links), und der Wiener Urania Sternwarte (unten): Der Sternenhimmel über der bekanntesten Sternwarte Österreichs ist nahezu vollständig verschwunden. Gut sichtbar sind nur mehr rechts oben der Mond (4 Tage nach Neumond) und der Planet Jupiter - beide zählen zu den hellsten natürlichen Objekten am Nachthimmel.



Inhalt

0.1 Kurzfassung.....	3
0.2 Einleitung	3
0.3 Motivation	3
1. Kontinuierliche Messung der Globalstrahlung über Wien	5
1.1 Globalstrahlung über Wien 2013 – Klare mondlose Nächte	5
2. Zusammenfassung und Ergebnisse	6
Ergebnis 1: Wie viel Licht kommt vom Wiener Nachthimmel?.....	6
Ergebnis 2: Jahreslauf und Ortsabhängigkeit des Wiener Nachtlichts.....	7
Ergebnis 3: Energieaufwand für die Lichtglocke und CO ₂ -Äquivalent	8
3. Messnetz.....	9
3.1 Standorte	9
3.2 Kalibration.....	10
4. Technischer Abschnitt.....	11
4.1 Zusammenfassung der Messwerte – Nächtliche Globalstrahlung, klar und mondlos.....	11
4.2 Leistung, Energie und CO ₂	11
4.3 Graphische Darstellung der Medianwerte.....	12
a) Zusammenfassungen	12
b) Einzelstationen - Vergleich 2012-2013.....	13
4.4 Histogramm-Darstellung der Messwerte	17
4.5 Darstellung der Messwerte der Globalstrahlung, über Zeit	21

0.1 Kurzfassung

“Verirrtes Licht” über Wien kostete 2013 typischerweise 24 Megawatt an elektrischer Leistung. Über das Jahr summiert sich das zu einem Aufwand von 89 Gigawattstunden an elektrischer Energie mit dem Äquivalent einer Emission von 48 Kilotonnen CO₂. Das wesentlich erweiterte Wiener Licht-Messnetz ergibt sehr ähnliche Ergebnisse wie im Vorjahr.

Vergleicht man den typischen Energieaufwand für die Lichtglocke im Jahr 2013 mit jenem aus 2012 anhand der Stationen, die seit zwei Jahren in Betrieb sind, ergibt sich ein Zuwachs von etwa 10%.

0.2 Einleitung

Die erneute Quantifizierung des Energieinhalts der Wiener Lichtglocke im zweiten Jahr des Wiener Licht-Messnetzes erlaubt vor allem erstmals die Diskussion von Trends und eine Abschätzung der Witterungsabhängigkeit. Das Wetter-Extremjahr 2013 bietet dafür eine ideale und vielleicht einzigartige Gelegenheit und zeigt welche Variationen in den Ergebnissen unter sehr unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen zu erwarten sind.

Im Jahr 2011 wurde von den Verfassern dieses Berichts ein exemplarischer Lichtkataster¹ erstellt, der die damalige Situation der Lichtimmissionen der Stadt Wien darstellt. Der erste Teil dieses Katasters war eine mit Messfahrzeugen durchgeführte Vermessung von 388,4 Kilometern des Wiener Straßennetzes, die für eine Identifizierung und Quantifizierung der lokalen Lichtemittenten verwendet wurde. Zweiter Teil der Messkampagne war die Installation von fix aufgestellten Messgeräten (Lightmetern), die eine dauerhafte Überwachung der Wiener Nachthimmelshelligkeit gewährleisten soll.

Die Ergebnisse dieser fixen Messstationen für das Jahr 2012 wurden im Teilbericht, *Licht über Wien II. Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2012*, dokumentiert.

In diesem dritten Teil werden nun die Ergebnisse für das Jahr 2013 vorgestellt und im Vergleich zum Vorjahr erstmals längerfristige Veränderungen diskutiert.

0.3 Motivation

Während in vielen Bereichen die effiziente Nutzung von Energie langsam in Richtung auf die thermodynamischen Grenzen zu steuert, werden bei Licht weiterhin enorme Verluste in Kauf genommen. Die mittlerweile berüchtigte Kugelleuchte mit Nutzgraden unter 50% wird dabei noch von Repräsentations- und Werbelicht “übertroffen” bei dem selbst einstelligen Prozentzahlen der Emission als Nutzlicht offenbar akzeptiert werden.

Frankreich hat das Sparpotential erkannt und landesweit mit Juli 2013 eine umfangreiche Regulierung von Geschäfts-, Büro-, Werbe- und Dekorationsbeleuchtung in Kraft gesetzt. Ziel ist

¹ Reithofer, Wuchterl, Chwatal, Posch, Linhardt, Kopper: *Licht über Wien – Energieaufwand und Quellen. Erstellung eines exemplarischen Lichtkatasters*. Hrsg. von Wiener Umwelthanwaltschaft, Wien 2012. (in der Folge „Lichtbericht 1“)

hier vorrangig die Energieeinsparung. Die ergriffenen Maßnahmen decken sich weitgehend mit jenen, die im ersten Teil dieser Serie¹ empfohlen wurden.

Während die öffentliche Beleuchtung verbessert wird, dominiert inzwischen das Ablicht privater Quellen niedriger Qualität die Lichtglocke Wiens. Dieser Anteil entzieht sich derzeit jeder Kontrolle und kann nur mit direkten Messungen der Nachthimmelshelligkeit erfasst werden. Mit einem kontinuierlichen Messnetz können Trends erkannt und die Wirksamkeit von Maßnahmen kontrolliert werden.

Die Immission von Licht ist für Großstädte eine ebenso charakteristische Größe wie jene von Lärm und Luftschadstoffen. Im Gegensatz zu den beiden letztgenannten hat Lichtimmission nicht nur rein umweltrelevante Folgen, sondern bewirkt eine unmittelbare Verschwendung von Energie.

Grundsätzlich gilt: Jedes Watt an Lichtleistung, das seinen Empfänger (z.B. Fahrbahn, Straßenverkehr, Betrachter im Falle von Fassadenbeleuchtungen) nicht erreicht oder ungenutzt verlässt, ist verschwendet. Sichtbar wird diese Energie außerhalb von Städten anhand des in der Atmosphäre gestreuten Ablichts. Ablicht ist jener Teil des Lichts, der unkontrolliert in die Umwelt entweicht. Das Ablicht nimmt hier die Stelle des Abfalls ein – also eines unerwünschten Nebeneffektes einer Nutzung. Wir unterscheiden es von jenem Teil des Auflichts, also des nach oben über die Horizontale entweichenden Lichts, der großteils senkrecht ins Weltall strahlt, auf Satellitenbildern sichtbar wird und ebenfalls Energie kostet. Die Summe des Ablichts einer Stadt bildet die so genannte „Lichtglocke“ (siehe Abbildung 1).

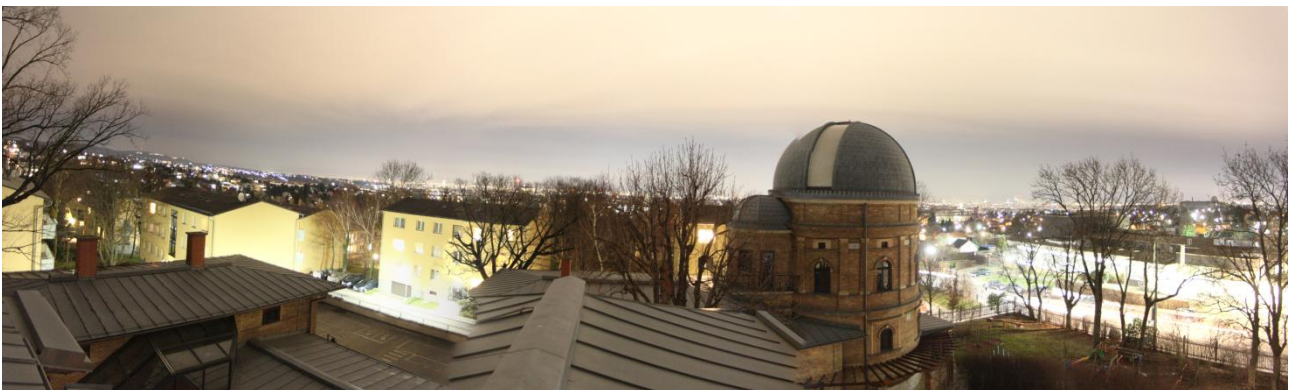


Abbildung 1: Blick in die Wiener Lichtglocke von der Kuffner-Sternwarte aus. Die Aufnahme entstand am 30. Dezember 2013 unter mondlosen Bedingungen. Am Rundgang der Kuffner Sternwarte wurden gleichzeitig 0,17 Lux gemessen. Das entspricht etwa 0,02 mW/m² und sehr hellen Wiener Vollmondbedingungen sowie dem geschätzt tausendfachen der natürlichen Werte unter gleichen Wetterbedingungen.

Neben den energierelevanten Kosten der Lichtimmission existieren zahlreiche umweltrelevante Effekte, deren Auswirkungen zum Teil noch nicht vollständig erforscht sind. Eine quantitative Erfassung dieser Immission stellt daher auch für das Verständnis der komplexen biologischen und gesundheitlichen Zusammenhänge wertvolles Grundlagenwissen dar.

1. Kontinuierliche Messung der Globalstrahlung über Wien

Um die in der Atmosphäre gestreute Lichtenergie (Lichtglocke) zu quantifizieren, wurden ausgehend vom Wiener Stadtzentrum bis weit über die Stadtgrenze hinaus mehrere Lightmeter auf topographisch günstig gelegenen Hausdächern montiert.

Mit diesen Lightmetern wurde mit einer Messfrequenz von 1 Hz bei allen Wetterlagen die aktuelle „Gesamthelligkeit“² des lokalen Himmels gemessen und für die Weiterverarbeitung gespeichert.

Die Ergebnisse dieser über hundert Millionen Einzelmessungen werden auf drei Arten dargestellt:

- 1) mittels der Mediane unterschiedlicher nächtlicher Stichproben: das sind jene aller (astronomisch) nächtlichen Werte, die von mondlosen Bedingungen, jene mondloser bzw. klarer mondloser Bedingungen sowie für frostfreie, klare mondlose Bedingungen. Letztere sind vor allem zur Kontrolle etwaiger Effekte von Schnee oder Eis auf den Sensoren sowie jenen von Schneelagen nützlich;
- 2) mit den jährlichen und monatlichen Verteilungen der Messwerte für diese Stichproben (Histogramme);
- 3) mittels der aus der Kombinationen von Messwerten mehrerer Stationen errechneten Leistung, die erforderlich ist, um die Lichtglocke über Wien aufrecht zu erhalten.

Die Ergebnisse sind im technischen Abschnitt vollständig dokumentiert. In Tabelle 3 findet sich eine Übersicht über die Jahres- und Monatsmediane der klaren mondlosen Nächte für alle Stationen.

1.1 Globalstrahlung über Wien 2013 – Klare mondlose Nächte

	Wien Zentrum	Alte Donau	Kuffner Sternwarte	Liesing	Klosterneuburg/Höflein	Großmugl
Medianwerte [mW/m ²]	0,31	0,32	0,12	0,17	0,014	0,022
Radialentfernungen [km]	0	4,65	6,73	10,4	18,2	35,7

Tabelle 1: Die zur Berechnung des Lichtglockenvolumens herangezogenen Werte: Globalstrahlung über Wien im Jahr 2013. Mediane der jede Sekunde durchgeführten Messungen unter klarem und mondlosem Himmel.

Aus mehr als 100 Millionen Einzelmessungen wurden jene ausgewählt, bei denen Mond und Wolken keine Beiträge liefern. Mond und Bewölkung aber auch unterschiedliche Licht-Nutzung führen oft zu wesentlich höheren Werten als diejenigen des Medians der hier zu Quantifizierung typischer Bedingungen angegeben ist. Etwa 10% der Messungen im Zentrum Wiens zeigen einen Nachthimmel, der so hell ist, als würden 5 Vollmonde senkrecht über der Stadt stehen.

Die hier angegebenen Median-Werte wären unter natürlichen Bedingungen typisch für das Ende der so genannten Blauen Stunde, etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang. Die Wiener Nacht bleibt daher meistens eine durchgehende künstliche “nautische” Dämmerung.

² physikalisch – umweltmesstechnisch handelt es sich um die Globalstrahlung in [W/m²].

2. Zusammenfassung und Ergebnisse

Ein zweites Jahr lang wurden die nächtlichen (und täglichen) Lichtverhältnisse über Wien mit einem Netz von Messstationen erfasst.

Ermittelt wurde die Globalstrahlung, also die Gesamtheit des von oben einfallenden Lichts.

Die Messungen erfolgten im Sekundentakt, wobei die Stichprobe für das Jahr 2013 für die Stationen Zentrum, Kuffner-Sternwarte und Liesing praktisch vollständig ist. In Höflein und Großmugl liegen etwa für die Hälfte des Jahres Messwerte vor während die Station alte Donau seit ihrer Inbetriebnahme etwa 2 Monate durchgehend lief (vergleiche die Monatsmediane im Anhang). Die Messwerte sind direkt am Sonnen- und Dämmerungslicht, das mit dem Netz und identischen Detektoren gemessen wurde, verankert und die nächtlichen Werte sind anhand des Mondlichtes unabhängig überprüft. Alle Stationen wurden im Jahre 2013 unabhängig von den Vorjahren neu kalibriert, um systematische Fehler wie etwa durch Verschmutzung oder Alterungseffekte zu minimieren.

Aus den mehr als 100 Millionen Einzelmessungen wurden folgende Datenprodukte erzeugt:

- 1) Tabellen der Jahres und Monatsmediane jeder Station für (a) alle Nachtstunden, also jene Stunden nach dem Ende der (astronomischen) Dämmerung, (b) mondlose, also astronomisch „dunkle“ Nachtstunden (c) mondlose, klare Nachtstunden. Mediane quantifizieren „typischen“ Bedingungen, die jeweils in der Hälfte der Zeit unterschritten bzw. überschritten werden und ermöglichen einen schnellen Vergleich von Veränderungen mit einer robusten für Extremereignisse unempfindlichen Maßzahl;
- 2) Verteilungen (Histogramme) der Messwerte – Sie erlauben es, unterschiedliche Typen von Lichtwetter zu erkennen und zeigen die Häufigkeit von verschiedenen Standard- und Extremsituationen;
- 3) Der daraus abgeleitete Energieaufwand für das Ablicht, das die städtische „Lichtglocke“ erzeugt.

Ergebnis 1: Wie viel Licht kommt vom Wiener Nachthimmel?

In mondlosen Nächten verursachte die künstliche Himmelsaufhellung im Jahr 2013 einen typischen (Median) Energiestrom von $1,1 \text{ mW/m}^2$ (Näherungen für Lux-Werte erhält man durch Division der hier angegebenen mW/m^2 -Werte durch 10) auf das Wiener Stadtzentrum. Auch ohne Mond ist es damit nachts im Wiener Zentrum mehrheitlich mindestens so hell wie in den hellsten Vollmondstunden des Jahres.

Die in Zusammenarbeit mit den Wiener Naturfreunden errichtete Station an der Alten Donau zeigt dort vergleichbare, teils sogar höhere Werte und liefert damit erstmals einen Hinweis auf ein zentrales Lichtplateau von mindestens 5 km um das Stadtzentrum.

Ohne Bewölkung wird im Zentrum der Median-Wert von $0,3 \text{ mW/m}^2$ wie im Vorjahr erreicht. Am Rande des Wienerwaldes (Kuffner-Sternwarte) nehmen die Werte auch 2013 auf rund ein Drittel davon ab.

Die Schönwetter-Mediane des Lichtes des Wiener Nachthimmels kann man am besten mit dem (fiktiven) Wert für den *Halbmond im Zenit* oder dem typischen Wiener Vollmondlicht vergleichen. Die Verteilungen der Messwerte sind sehr breit und streuen im Stadtzentrum um einen Faktor 100. Die Streuungen zeigen unterschiedliche Licht und Wettersituationen und haben nichts mit der messtechnischen Streuung der Messungen zu tun, die weit unter einem Prozent liegen. Bei bedecktem Himmel wird häufig das Fünffache des Vollmondes im Zenit erreicht.

Die typischen Lichtverhältnisse entsprechen jenen auf dem wahrgenommenen halben Weg zwischen dem Ende der Blauen Stunde (bürgerliche Dämmerung) und dem Beginn der

astronomischen Dämmerung. Als Faustregel sind es die Lichtverhältnisse, wie sie etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang herrschen, also am Ende einer wörtlich genommen Blauen Stunde.

Das Wiener Nachtlicht über der Stadt ist typischerweise *zehn Mal* heller als jenes beim natürlichen Ende der nautischen Dämmerung, und etwa *ein Zehntel* der bürgerlichen Dämmerung, die beispielsweise das Lesen von Zeitungen ermöglicht.

Im Zentrum Wiens ist die Nacht über den Dächern rund 200 Mal heller als ohne Lichtverschmutzung. In klaren mondlosen Nächten liegen die Werte noch beim 43-fachen der natürlichen Nachthimmelshelligkeit, gemessen im Wildnisgebiet Dürrenstein 2013.

Wien ist auch oberhalb aller Dächer und Lampen nachts in ein dauerhaftes Leuchten getaucht, das demjenigen unterhalb einer Kerze in 3 m Höhe entspricht (z.B. Höhe der Decke einer Altbauwohnung).

Ergebnis 2: Jahreslauf und Ortsabhängigkeit des Wiener Nachtlichts

Auf allen Stationen zeigt sich wie 2012 eine deutliche jahreszeitliche Veränderung des Nachtlichts und der Ablichtleistung.

Die Winter-Mediane der nächtlichen Globalstrahlung liegen tendenziell höher, mit den höchsten Werten zu Jahresanfang. Die starken Anstiege zum Jahresende 2012 scheinen im Jänner 2013 ein Maximum zu erreichen. Markant ist wieder die Abnahme im Frühling bis März und April, dann werden wieder vergleichbare, aber leicht erhöhte Werte wie im Vorjahr erreicht. Der Anstieg im Herbst (Oktober bis Dezember) wiederholt sich, fällt aber deutlich schwächer aus als 2012.

Bemerkenswert ist das Verhalten der Station Höflein, die dieses Jahr für die sechs Monate mit ausreichenden Daten deutlich niedrigere Mediane ergibt als im Vorjahr (ausgenommen im Juni). Der Jahresmedian für Höflein halbiert sich im Vergleich zu 2012 und vermindert den sehr wichtigen Beitrag zum "Lichtvolumen" der Wiener Lichtglocke bei Zentrumsabständen um die 20 km erheblich. Es ist derzeit unklar, welche Einflüsse für die drastische Änderung rund um diese Station in Frage kommen, da alle technischen Validierungen positiv verlaufen sind und Fehlmessungen ausgeschlossen sein sollten. Die Reduktion an der Station Höflein wird aber durch die Anstiege an den anderen Stationen überkompensiert und es ergibt sich trotzdem ein deutlicher Anstieg an Ablicht und Energiewerten für die Gesamt-Lichtglocke beim direkten Jahresvergleich identischer Netzkonfigurationen.

Mit den insgesamt 6 Stationen beginnt sich nun die räumliche Struktur der Lichtglocke Wiens deutlicher abzuzeichnen. Neben dem schon erwähnten zentralen "Lichtplateau", das die Stationen "Zentrum" und "Alte Donau" andeuten, wird die radiale Abnahme nun durch mehrere Stationen in unterschiedliche Richtungen erfasst. Versucht man die Abnahme der Glocke anhand der bekannten Stationen zu extrapolieren, um den Abstand zu bestimmen bei dem der "Wiener Beitrag" zur Gesamthimmelshelligkeit vergleichbar mit dem natürlichen wird, kommt man auf etwa 45 km, also deutlich außerhalb des 35 km Abstandes, in dem sich alle Stationen befinden.

Die relativ hohen Werte der Station Liesing gegen Ende 2012 konnten 2013 bestätigt werden. Nach Süden ist die Wiener Nacht bei 10 km im Jahresmedian rund ein Viertel heller als bei 7 km Zentrumsabstand in Richtung Wienerwald (Kuffner-Sternwarte).

Ergebnis 3: Energieaufwand für die Lichtglocke und CO₂-Äquivalent

Das Messnetz ermöglicht die quantitative Definition von Form und Ausdehnung der Wiener Lichtglocke. Da die Messungen sekundlich und über das ganze Jahr erfolgen, werden alle Ablichtsituationen anhand des auf den Boden zurück reflektierten Lichts erfasst und der damit verbundene Energiestrom ermittelt. Anhand des bekannten Energieaufwandes für die Teilnachtschaltung der öffentlichen Beleuchtung kann daraus die mit der Lichtglocke verbundene Leistung errechnet werden.

Der vom Messnetz erfasste Wert ist der vom Himmel zurück zum Boden gestrahlte Anteil des nach oben abgegebenen Lichts. Dieser Teil ist ein in der Regel unerwünschter Nebeneffekt der Lichtnutzung weshalb wir ihn als Ablicht bezeichnen. Mit Hilfe des ausgebauten Netzes kann er in seiner räumlichen Struktur wesentlich detaillierter erfasst werden als im Vorjahr.

Aus dieser Bodenablichtleistung ergibt sich die Stromleistung für Licht anhand der bekannten Reduktion der Teilnachtschaltung der Wiener öffentlichen Beleuchtung. Wir verwenden hier die gleiche Methode wie im ersten Teil dieser Studienserie (*Lichtbericht 1*).

Um einen direkten Vergleich der Lichtleistungen mit den ersten beiden Studien zu ermöglichen, verwenden wir hier den Schönwetter-Mittelwert für die Ablicht- zu Lichtleistung-Umrechnung aus 2011, also den Faktor Strom für Licht, $f=128,6$.

Aus dem Integral der Energiestromdichte auf den Boden über den gesamten Lichtkegel bis zu einem Zentrum-Abstand von 36 km (Großmugl) resultiert eine Bodenablichtleistung Wiens von 0,18 MW. Mit dem Umrechnungsfaktor resultiert ein Wert von 23 MW für die Außenlichtleistung für Wien.

Legt man die Konfiguration des Netzes mit dem Ausbauzustand des Vorjahres zugrunde, um einen direkten Vergleich zu erhalten, erhält man 0,262 MW (Bodenablichtleistung) bzw. 34 MW (Stromleistung f. Lichtproduktion) für die Konfiguration Wien-Kuffner-Sternwarte-Großmugl und 0,171 MW bzw. 22 MW für die Konfiguration Zentrum-Höflein-Großmugl.

Die sechs Messstationen erlauben auch die rechnerische Anpassung eines exponentiellen Modells ($0,27 \exp(-0,09 r[\text{km}])$ [mW/m²] $R^2=0,69$). Demnach wären bis zu einer Distanz von 42 km Beiträge zur Wiener Lichtglocke zu erwarten, die größer als 0,01 mW/m² sind und damit Hintergrundwerte des Lichtes vom klaren mondlosen Himmel deutlich übersteigen. Die Messstation im Wildnisgebiet Dürrenstein (naturnaher Nachthimmel) registrierte von Jänner bis Juli 2013 einen Median von 0,007 mW/m² für den klaren mondlosen Himmel. Die Gesamtleistung der auf Vollständigkeit extrapolierten Lichtglocke Wiens ergibt Werte von 0,20 MW für das Boden-Ablicht bzw. 25,3 MW für die Anschlussleistung für Außenlicht.

Das erweiterte Messnetz ergibt auch die Möglichkeit, den Umrechnungsfaktor mit mehreren Stationen und für verschiedene Subnetze (regional) neu und zu verschiedenen Terminen zu bestimmen. Es ergeben sich je nach Termin und Sub-Netzkonfiguration Faktoren von 56 bis 267 und Stromleistungen für Licht von 28 bis 55 MW. Es handelt sich dabei jeweils um Schönwetter-Situationen. Das liegt auch gut innerhalb der Bandbreiten jener Lichtleistung, die für unterschiedliche Wetterlagen im *Lichtbericht 1* (S. 15) ermittelt wurde.

Der Bodenablichtfaktor kann für Nächte, in denen zumindest zwei Stationen gleichzeitig laufen, bestimmt werden. Lässt man beliebige Wetterlagen zu, um etwaige Effekte auf die Bestimmung des Umrechnungsfaktors von der Boden-Ablichtleistung auf die Anschlussleistung für Licht zu, erhält man für dessen Median 137 und für jenen der elektrischen Anschlussleistung für Außenlicht 35 MW. Dazu wurden Bestimmungen für 346 Situationen/Tage durchgeführt.

Zusammengefasst ergibt der Jahresvergleich 2012-2013:

- 1) Mit den Netzkomponenten aus dem Vorjahr einen leichten Anstieg:
 - von 25 (2012) auf 28 MW Lichtglocke;
 - von 91 auf 102 GWh elektrische Leistung;
 - von 50 auf 55 kt CO₂-Äquivalent³;
- 2) Mit dem vollständigen Netz aus 6 Stationen ergeben sich für 2013:
 - 24 MW an typischer elektrischer Leistung für Außenlicht,
 - 89 GWh an jährlichen Aufwand elektrischer Energie, sowie
 - 48 kt CO₂-Äquivalent.

3. Messnetz

3.1 Standorte

Zur Erfassung der Globalstrahlung sind in Wien und darüber hinaus sechs Messstationen in Betrieb, die im Sekundentakt Messwerte aufzeichnen.

Zu den vier Stationen, die in *Lichtbericht 1, Kapitel II.2 und II.4* beschrieben sind, wurde im Dezember 2012 die Station Wien Liesing in Betrieb genommen. Im Oktober 2013 wurde das Messnetz schließlich um die Station Alte Donau ergänzt.

Ausgestattet sind diese mit Lightmetern vom Typ Mk2.3, bzw. Mk2.3L, der Firma k2wLights.

Station	geogr. Breite	geogr. Länge	Seehöhe [m]
Großmugl	48° 29' 17,50" N	16° 13' 22,80" O	217
Klosterneuburg/Höflein	48° 21' 05,12" N	16° 15' 49,58" O	180
Kuffner Sternwarte	48° 12' 46,13" N	16° 17' 28,75" O	280
Wien Zentrum	48° 12' 33,35" N	16° 22' 54,32" O	209
Wien Liesing	48° 08' 16,70" N	16° 17' 08,97" O	220
Alte Donau	48° 13' 58,00" N	16° 26' 00,80" O	160

Tabelle 2: Licht-Messnetz Wien und Umgebung: Geographische Positionen der stationären Messgeräte. Die Abstände von der Station Wien Zentrum ergeben sich zu 4,7 km (Alte Donau); 6,7 km (Kuffner-Sternwarte); 10,4 km (Liesing); 18,2 km (Höflein) und 35,7 km für Großmugl.

³ Unter der Annahme eines CO₂-Äquivalentes von 0,561 kg/kWh. Das ist der Wert für den Strommix 2009, aus der ersten Tabelle, S. 3. *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011*, <http://www.umweltbundesamt.de>, Umweltbundesamt Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>, www.fuer-mensch-und-umwelt.de



Abbildung 2: Das Wiener Licht-Messnetz des Vereins Kuffner-Sternwarte: Lightmeter-Stationen in Wien und Umgebung. Mit den neuen Stationen Liesing und Alte Donau existiert nun auch ein "Licht-Querschnitt" direkt durch das Zentrum Wiens. Positionsdaten in Tabelle 2.

Mit dem Ausbau des Netzes und der sich langsam genauer abzeichnenden Struktur der Lichtglocke Wiens wurde deutlich, dass weit größere Beiträge als erwartet bei Abständen von rund 20 km zu finden sind. Dort sollte das Netz zur vollständigeren Erfassung der Energieverluste durch Ablicht dichter werden. Nicht-verschwindende Beiträge jenseits der Station in Großmugl (ca. 35 km) belegen die Notwendigkeit von neuen Stationen bei 50 km Abstand vom Zentrum.

3.2 Kalibration

Die Geräte werden aus den Daten durch den Vergleich eines astronomischen Klarhimmelsmodells mit der tatsächlich gemessenen Sonneneinstrahlung kalibriert.

Das Verfahren wurde bereits im *Lichtbericht 1, Kapitel II.4*, genauer beschrieben.

4. Technischer Abschnitt

4.1 Zusammenfassung der Messwerte – Nächtliche Globalstrahlung, klar und mondlos

Medianwerte [mW/m ²]	Wien Zentrum	Alte Donau	Kuffner Sternwarte	Liesing	Kloster- neuburg/ Höflein	Großmugl
Jahr 2013	0,3060	0,3160	0,1225	0,1672	0,0144	0,0221
Jänner	4,4807	-	1,0155	2,6481	-	-
Februar	1,3956	-	0,8883	-	-	-
März	0,3158	-	0,1575	0,1988	-	-
April	0,2665	-	0,1608	0,1230	-	-
Mai	0,2108	-	0,0923	0,6164	0,0122	-
Juni	0,2476	-	0,0781	0,6056	0,0333	-
Juli	0,2242	-	0,0861	0,1562	-	-
August	0,2618	-	0,0938	0,1653	0,0488	0,0190
September	0,2707	-	0,0888	0,1498	-	0,0174
Oktober	0,3174	0,2694	0,1143	0,1678	0,0122	0,0166
November	0,3363	0,3113	0,1312	1,0852	0,0173	0,0417
Dezember	0,3564	0,3690	0,1612	0,9169	0,0396	0,0522

Tabelle 3: Monatliche Medianwerte der Globalstrahlung für klare, mondlose Nächte und die daraus errechnete Bodenablichtleistung.

4.2 Leistung, Energie und CO₂

Die Bodenablichtleistung (Gesamtleistung des von der Lichtglocke auf Wien zurück gestreuten Lichts) lässt sich über ein geometrisches Modell aus den Medianen der Messwerte der Einzelstationen (siehe Tabelle 3) berechnen. Über einen Faktor zur Bestimmung der für Beleuchtung aufgewandten Stromleistung aus der Bodenablichtleistung (Lichtbericht 1, Kap. IV.1.), und der Annahme, dass nächtliche Beleuchtungen im Jahresmittel 10 Stunden pro Tag eingeschaltet bleiben, lässt sich die gesamte Energiemenge und daraus (siehe Fußnote 3) die äquivalente CO₂-Menge bestimmen.

Bodenablichtleistung [MW]	Stromleistung für Licht [MW]	Energiemenge [GWh]	Äquivalente CO ₂ -Menge [t]
0,1886	24,25	88,57	48 184

Tabelle 4: Aus der Bodenablichtleistung wird die für das (Auf-)Licht verwendete elektrische Leistung berechnet, Mit der Annahme, dass die Beleuchtung durchschnittlich 10 Stunden pro Tag eingeschaltet ist, ergibt sich die aufgewendete Energiemenge. Die Umrechnung in die äquivalente CO₂-Menge ergibt sich mit dem Koeffizienten aus der in Fußnote 3 zitierten Quelle.

4.3 Graphische Darstellung der Medianwerte

a) Zusammenfassungen

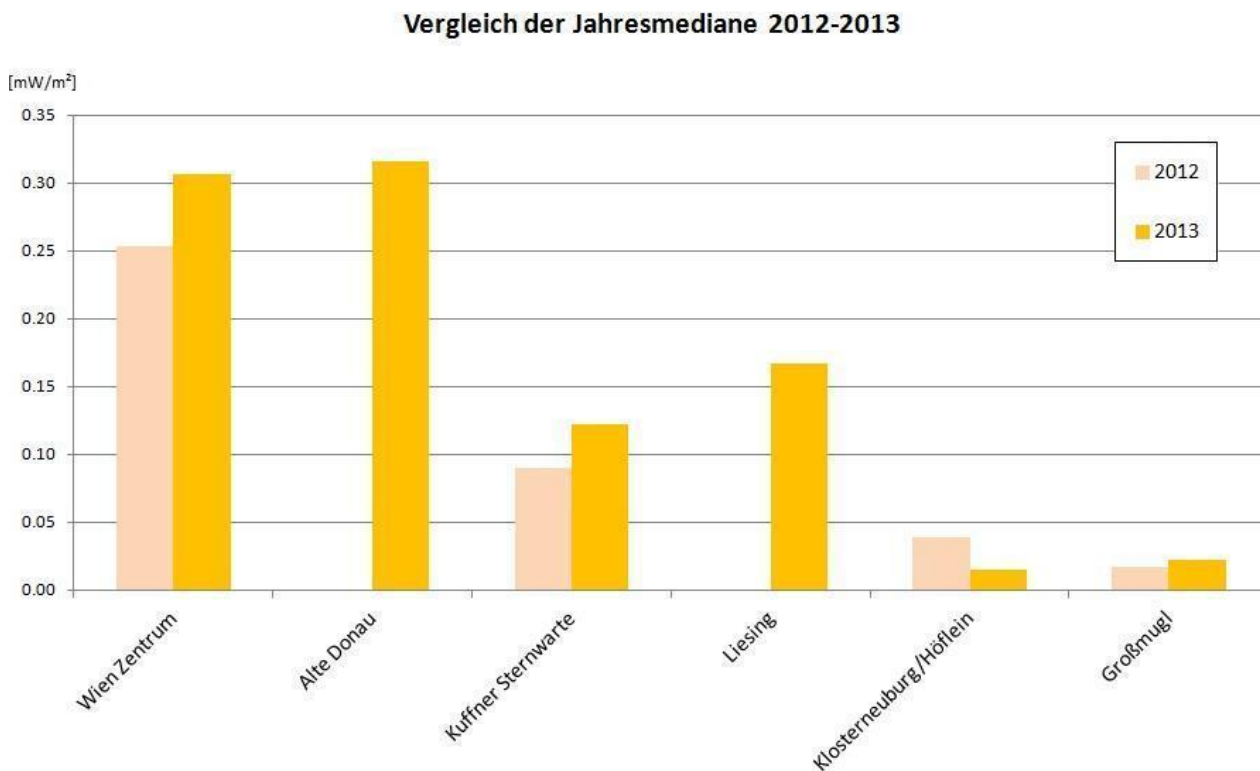


Abbildung 3: Jahres-Medianwerte der nächtlichen Globalstrahlung aus Tabelle 1. Zu erkennen sind - mit Ausnahme von Station Klosterneuburg/Höflein - die im Vergleich zu 2012 erhöhten Messwerte.

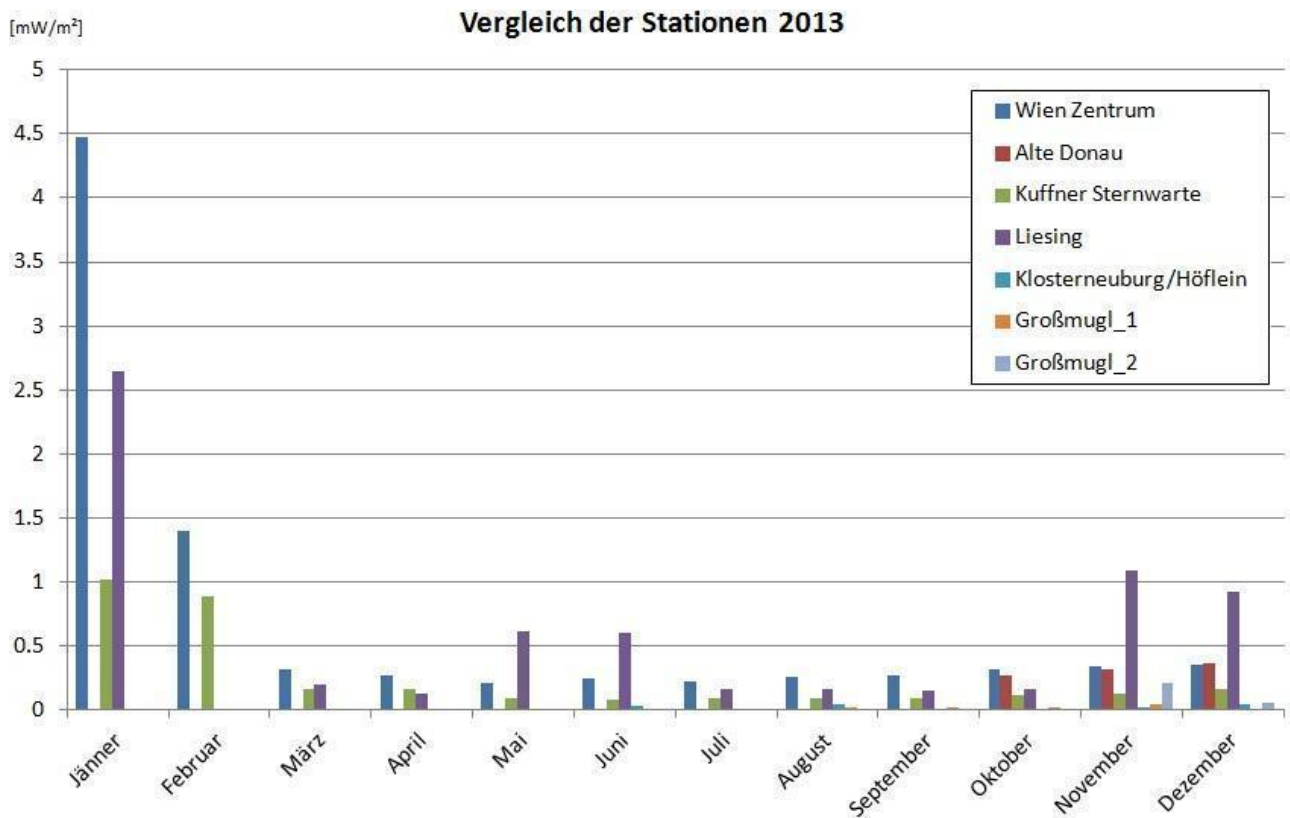


Abbildung 4: Visualisierung aller Monats-Medianwerte der nächtlichen Globalstrahlung aus Tabelle 3. Diese Graphik dient vor allem der Vergleichbarkeit. Detaillierte Verläufe für die Einzelstationen im folgenden Abschnitt.

b) Einzelstationen - Vergleich 2012-2013

Die Medianwerte des Jahres 2013 der folgenden Graphiken sind auch in Abbildung 4 mit einer gemeinsamen Ordinate zusammengefasst.

Die zugehörigen Zahlenwerte finden sich in Tabelle 3.

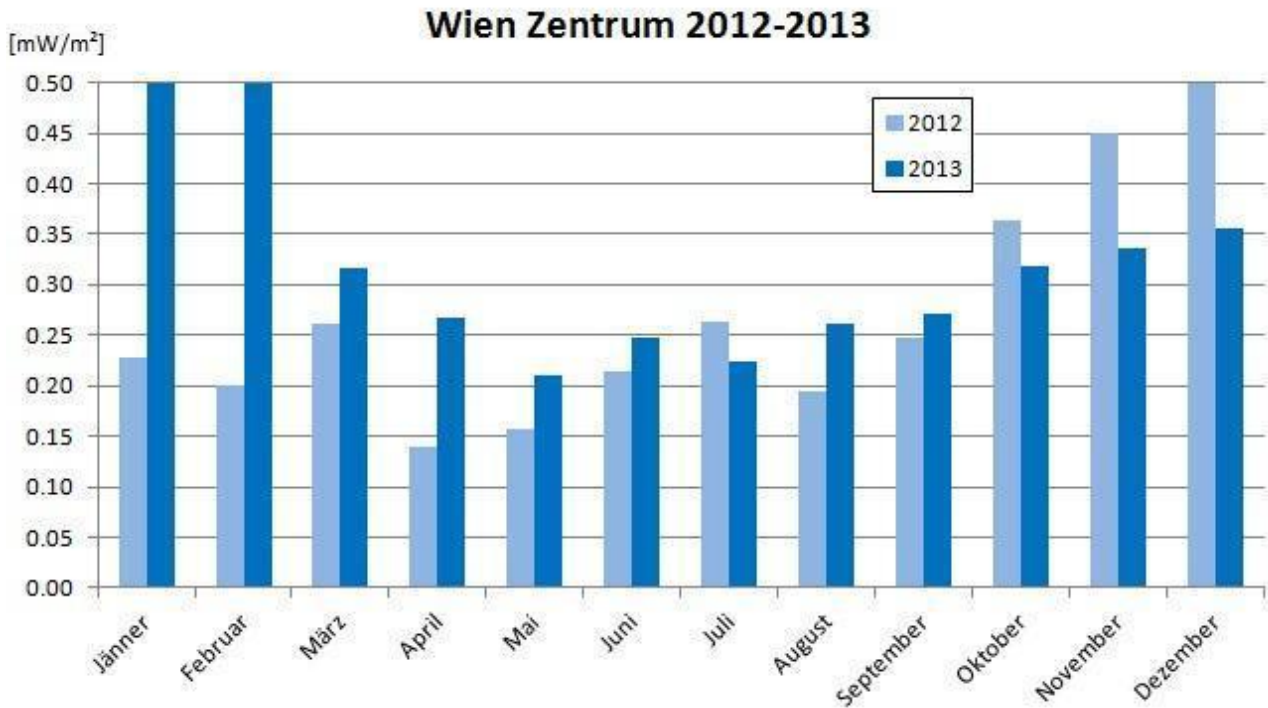


Abbildung 5: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Wien Zentrum.

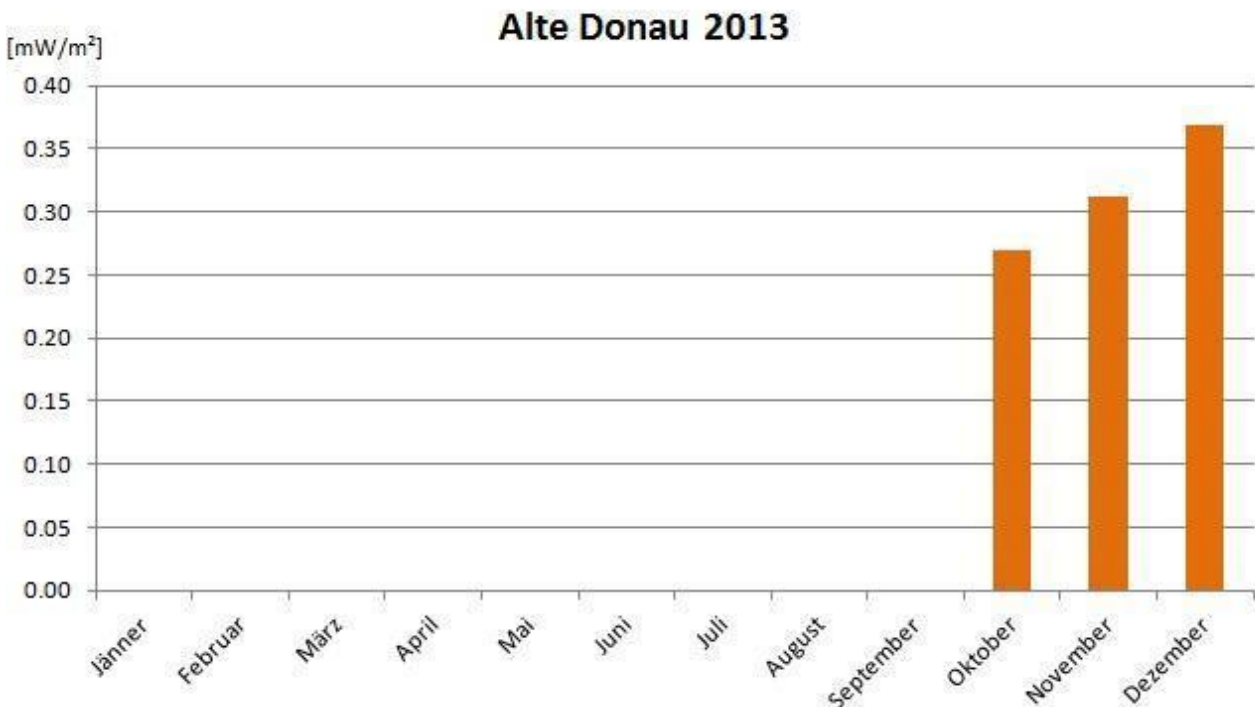


Abbildung 6: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Alte Donau.

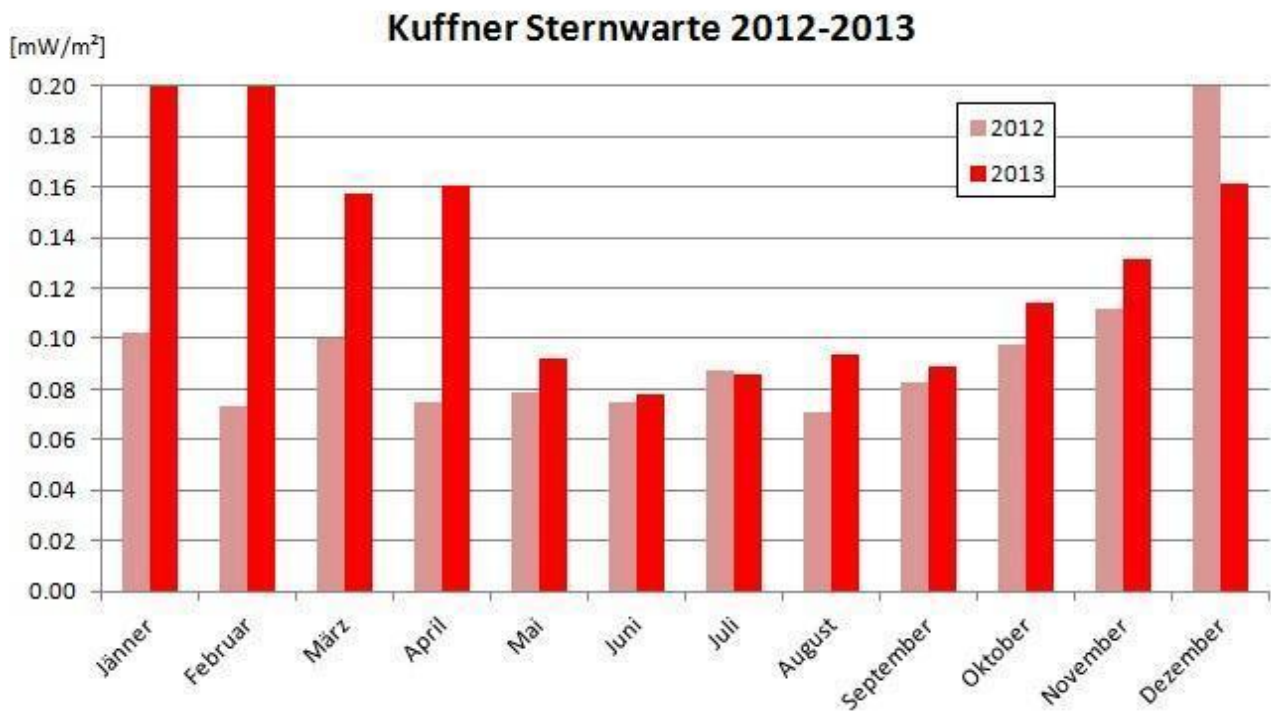


Abbildung 7: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Kuffner Sternwarte.

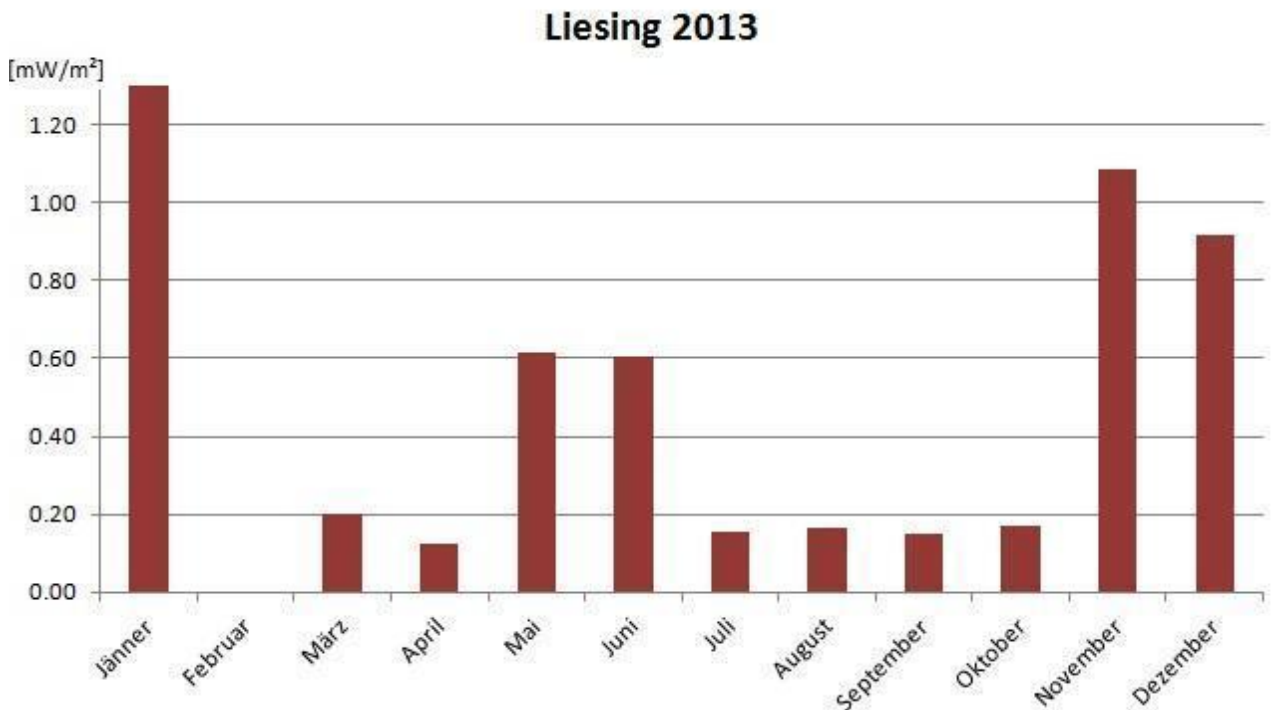


Abbildung 8: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Liesing.

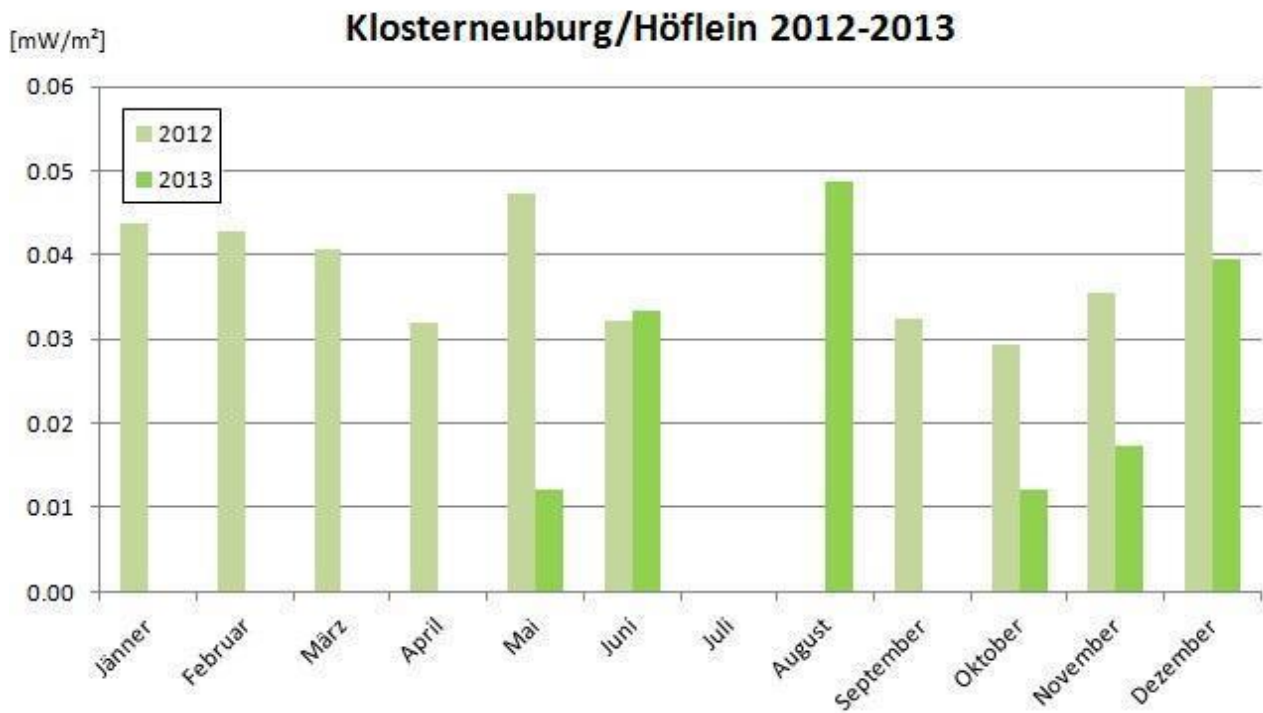


Abbildung 9: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Klosterneuburg/Höflein.

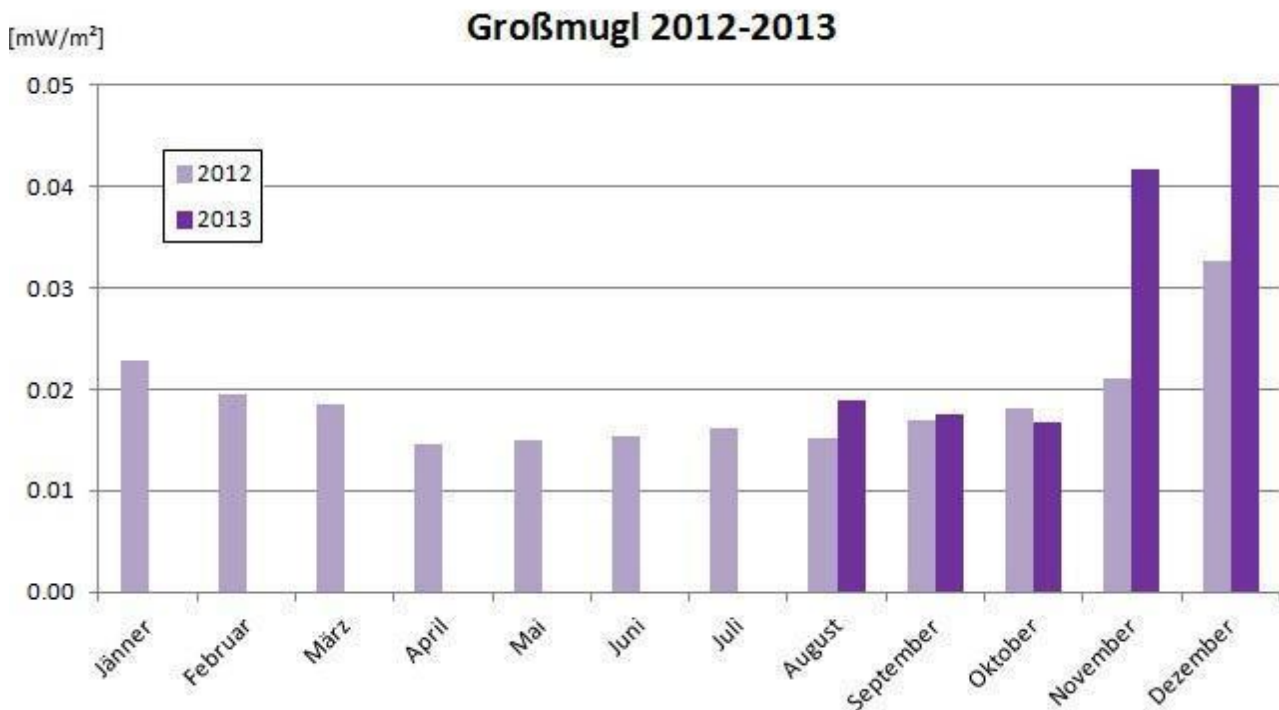


Abbildung 10: Monats-Mediane der Globalstrahlung für klare, mondlose Nächte der Station Großmugl.

4.4 Histogramm-Darstellung der Messwerte

Jede Säule in den folgenden Histogrammen repräsentiert die Anzahl der Messwerte im jeweiligen Intervall der Globalstrahlung (Helligkeit) auf der x-Achse des Diagramms.

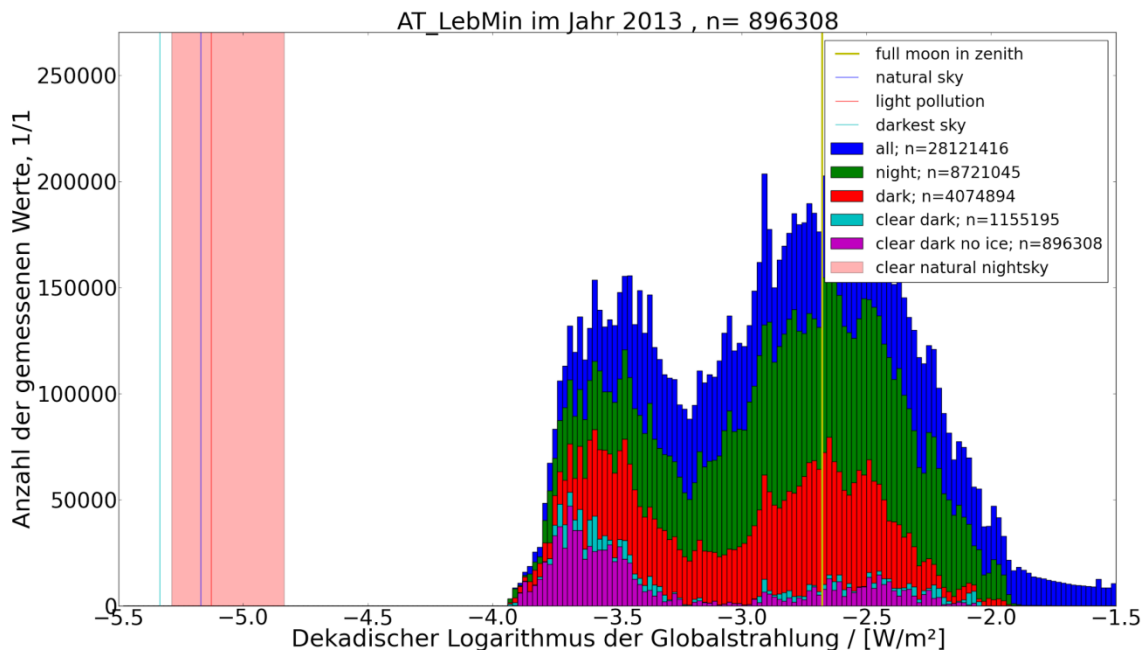
Die x-Achse ist im dekadischen Logarithmus der Globalstrahlung (W/m^2) skaliert und beschriftet.

Legende:

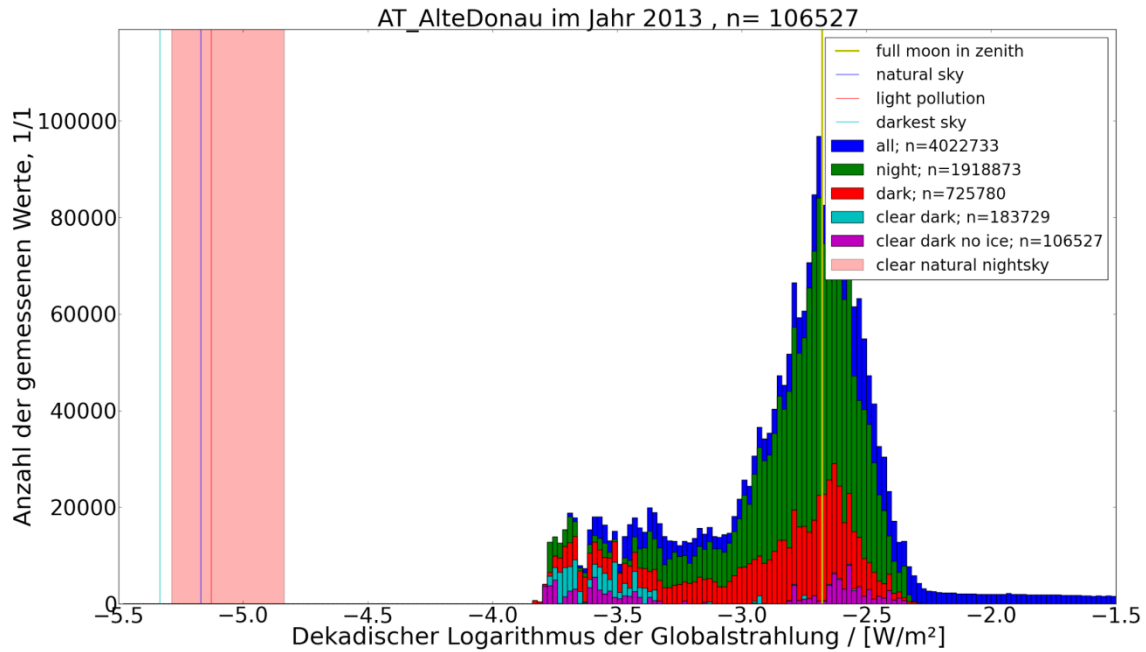
- **Full moon in zenith:**
Helligkeit des Vollmondes im Zenit über dem Beobachtungsort
- **natural sky:**
natürliche Helligkeit des Nachthimmels ohne künstliches Störlicht und ohne Wolkenbedeckung
- **light pollution:**
Grenze, ab der von Lichtverschmutzung gesprochen wird
- **darkest sky:**
geringstmögliche Himmeshelligkeit
- **all:**
Verteilung aller Daten (Tag & Nacht)
- **night:**
Verteilung aller Daten (nur Nacht)
- **dark:**
Verteilung der der Daten bei mondlosen Nächten
- **clear dark:**
Verteilung der Daten bei klaren, mondlosen Nächten
- **clear dark no ice:**
Verteilung der Daten bei klaren, mondlosen Nächten und einer Sensor-Temperatur über 2°C (sicher kein Schnee/Eis auf dem Sensor)

Nächtliche Globalstrahlung - Jahresübersichten 2013

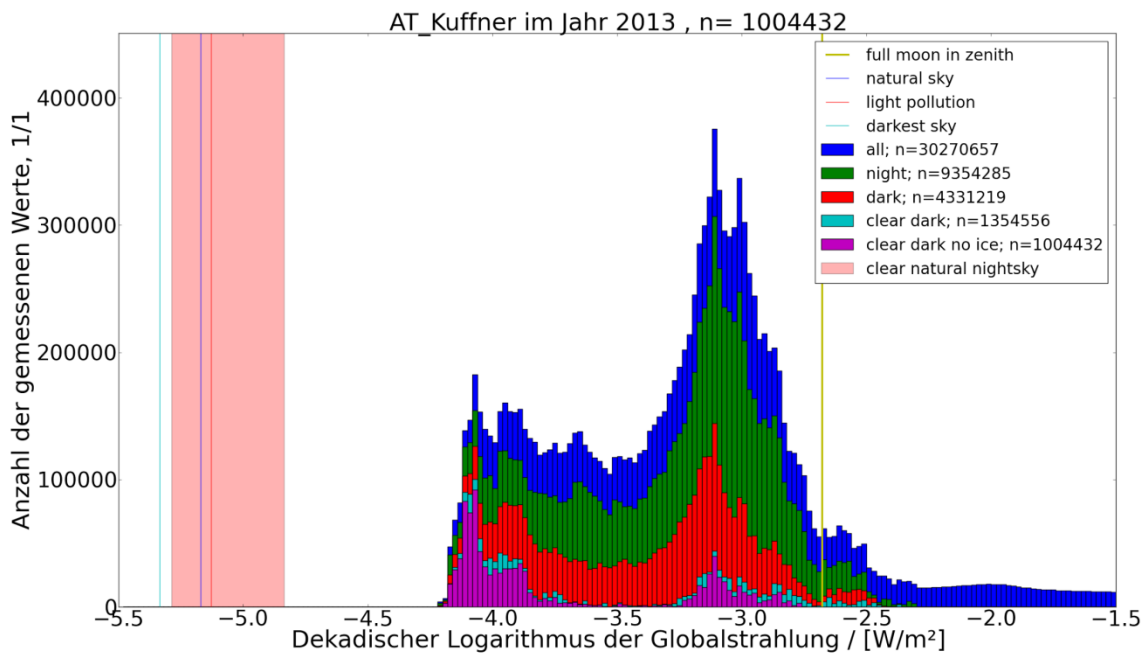
1. Station Wien Zentrum



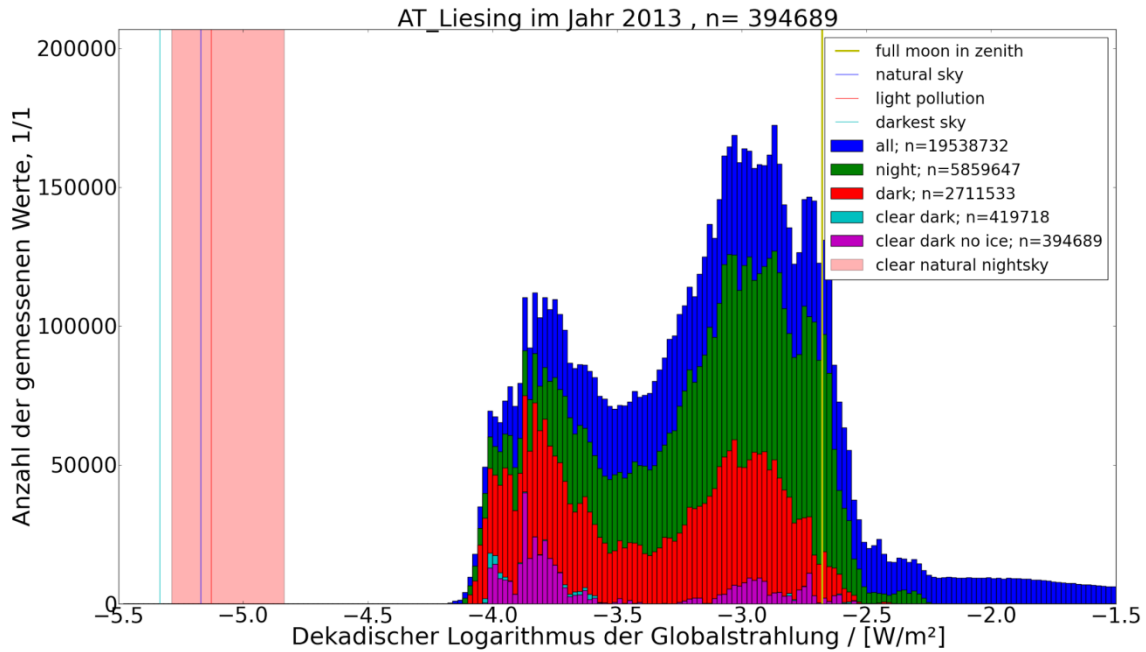
2. Station Alte Donau



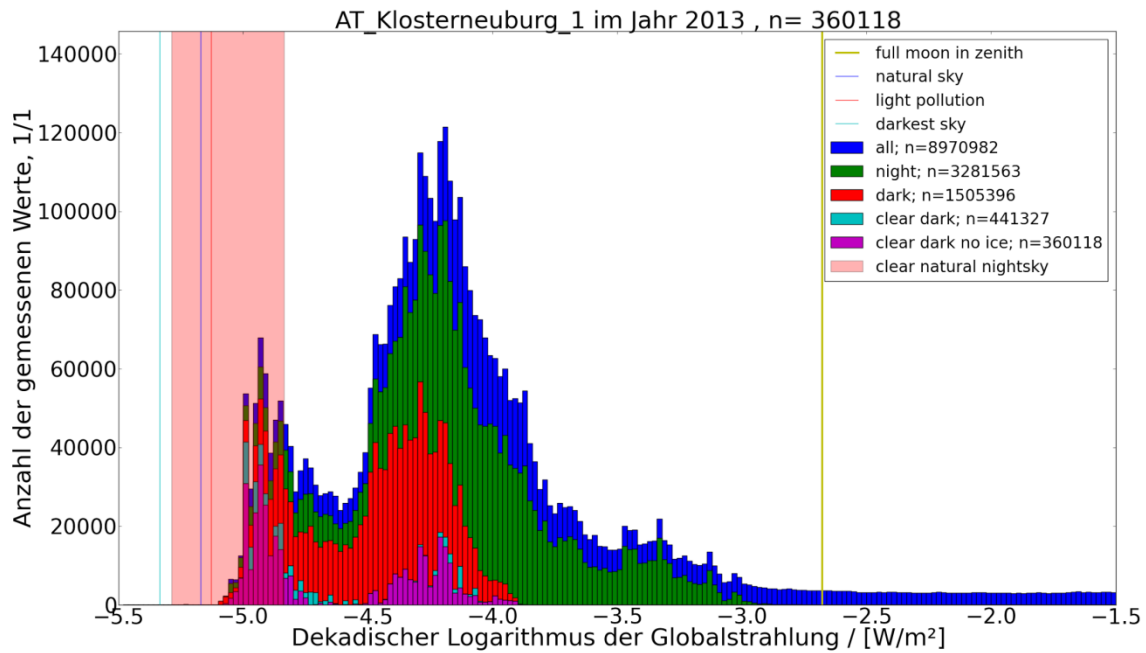
3. Station Kuffner Sternwarte



4. Station Wien Liesing

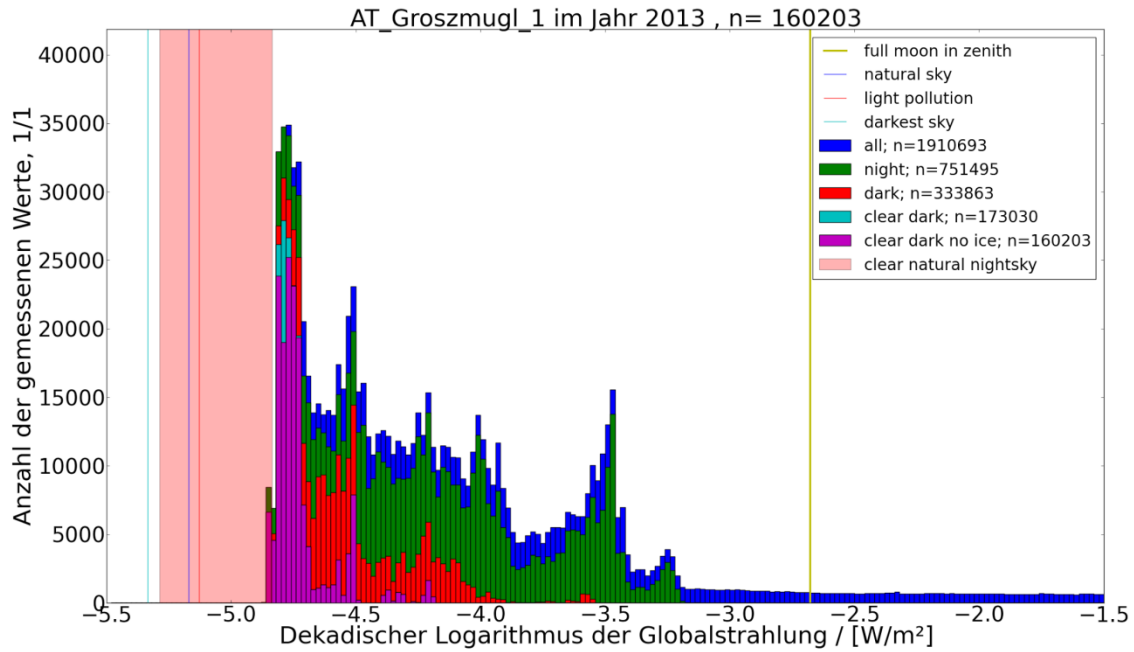


5. Station Klosterneuburg/Höflein

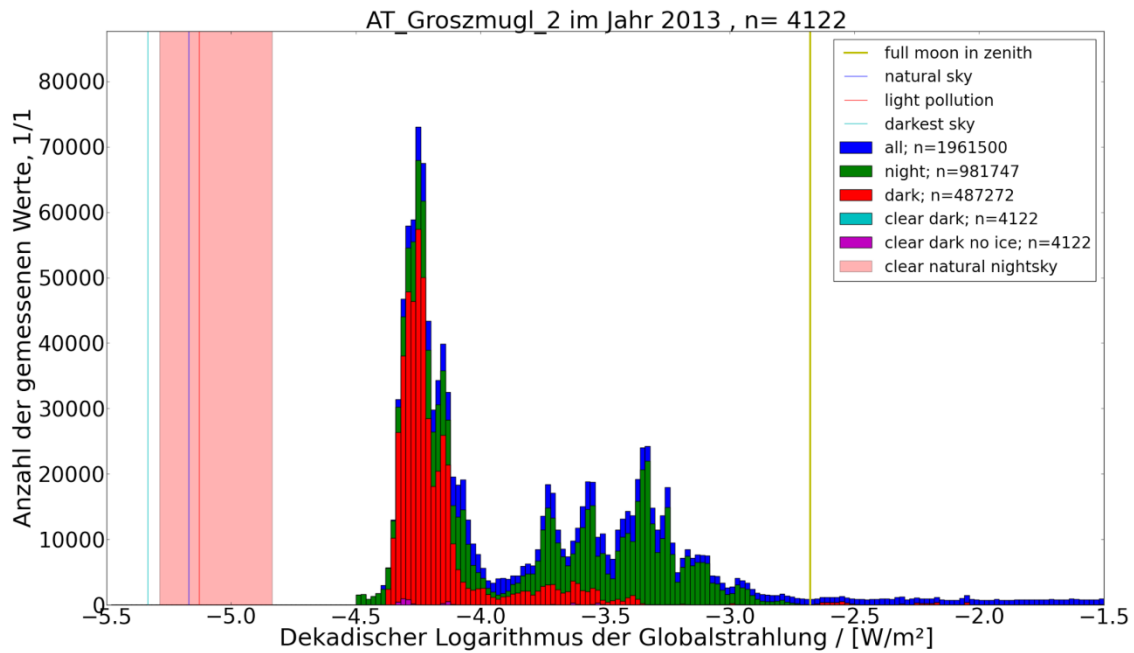


6. Station Großmugl

vor dem Sensortausch (November 2013):



nach dem Sensortausch (November 2013):



4.5 Darstellung der Messwerte der Globalstrahlung, über Zeit

Globalstrahlung, Jahresübersichten aller Stationen 2013

Die gesamten Jahresübersichten befinden sich auf einem diesem Bericht beigelegten Datenträger.

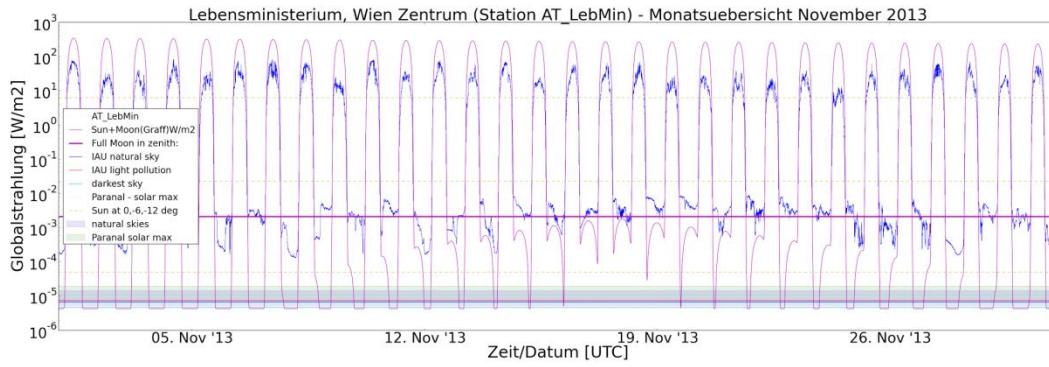
Exemplarisch: November 2013

Beispielhaft ist hier der Monat November für die jeweiligen Stationen angeführt.

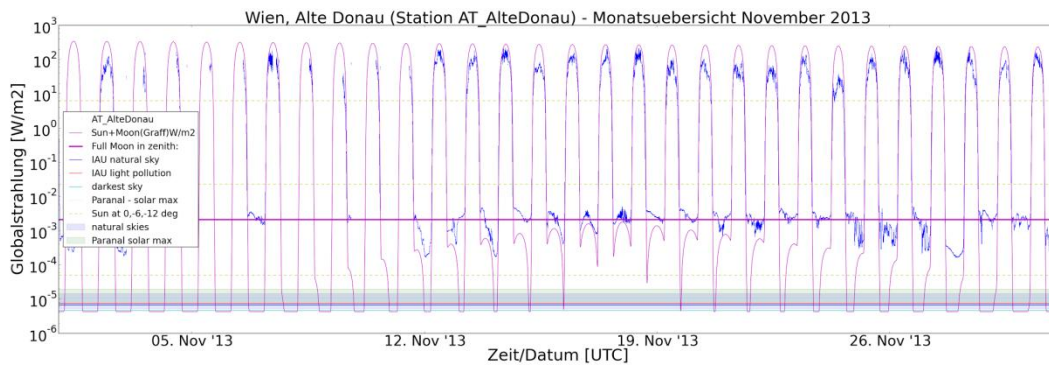
Legende:

- **AT_Kuffner:**
Messwerte in [W/m²]
- **Sun+Moon (Graff) W/m²:**
Astronomisches klar-Himmels-Modell mit Sonnen- und Mond-Helligkeiten (Mondphasenfunktion nach Kasimir Graff)
- **Full moon in zenith:**
Helligkeit des Vollmondes im Zenit über dem Beobachtungsort
- **IAU natural sky:**
natürliche Helligkeit des Nachthimmels ohne künstliches Störlicht und ohne Wolkenbedeckung, nach dem empfohlenen Wert der International Astronomical Union
- **IAU light pollution:**
Grenze, ab der von Lichtverschmutzung gesprochen wird, gemäß dem empfohlenen Grenzwert der International Astronomical Union
- **darkest sky:**
geringstmögliche Himmelshelligkeit
- **Paranal – solar max:**
Helligkeitswerte die am Cerro Paranal (Chile) bei Solarmaximum erreicht werden
- **Sun at 0,-6,-12 deg:**
Helligkeitswerte des Dämmerungshimmels, wenn die Sonne am Horizont, bzw. 6° oder 12° darunter, steht
- **natural skies:**
Bereich natürlicher Himmelshelligkeiten, ohne künstliches Störlicht oder Wolkenbedeckung

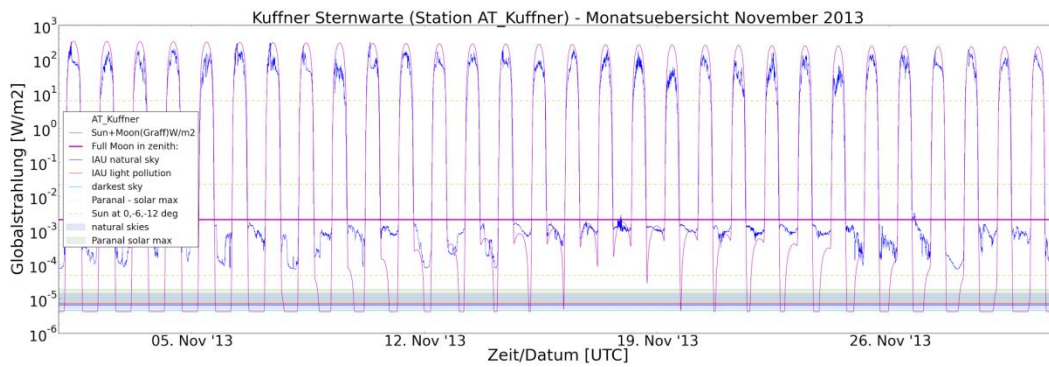
1. Station Wien Zentrum



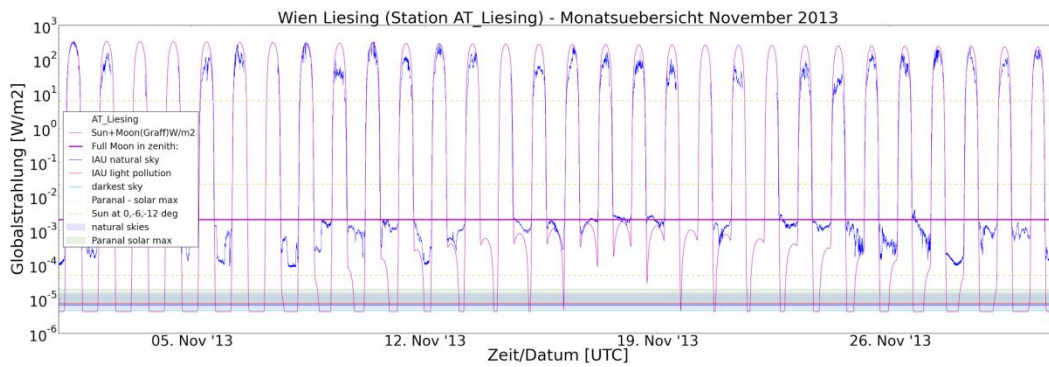
2. Station Alte Donau



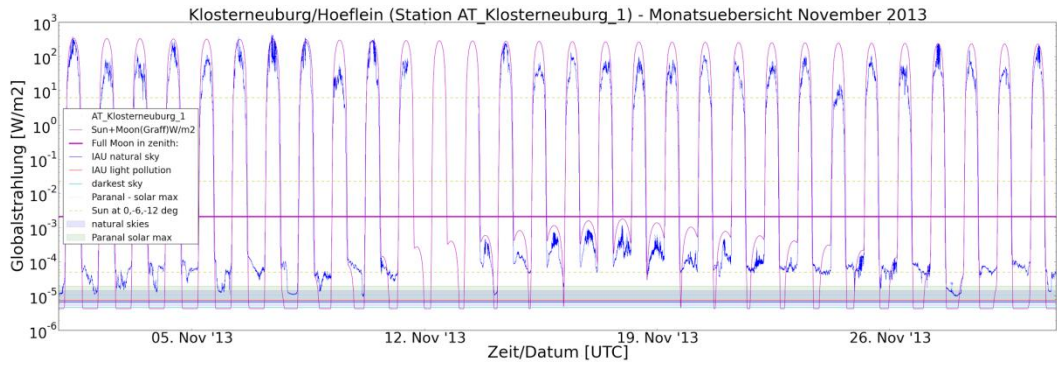
3. Station Kuffner Sternwarte



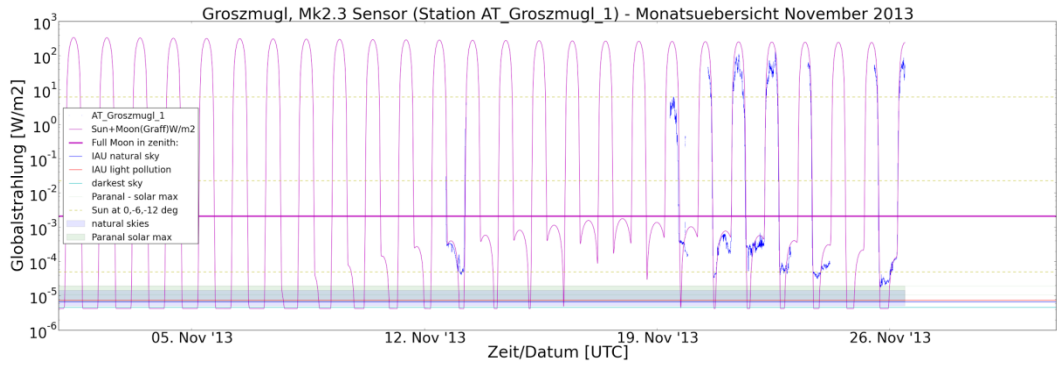
4. Station Wien Liesing



5. Station Klosterneuburg/Höflein



6. Station Großmugl vor dem Sensortausch:



nach dem Sensortausch:

