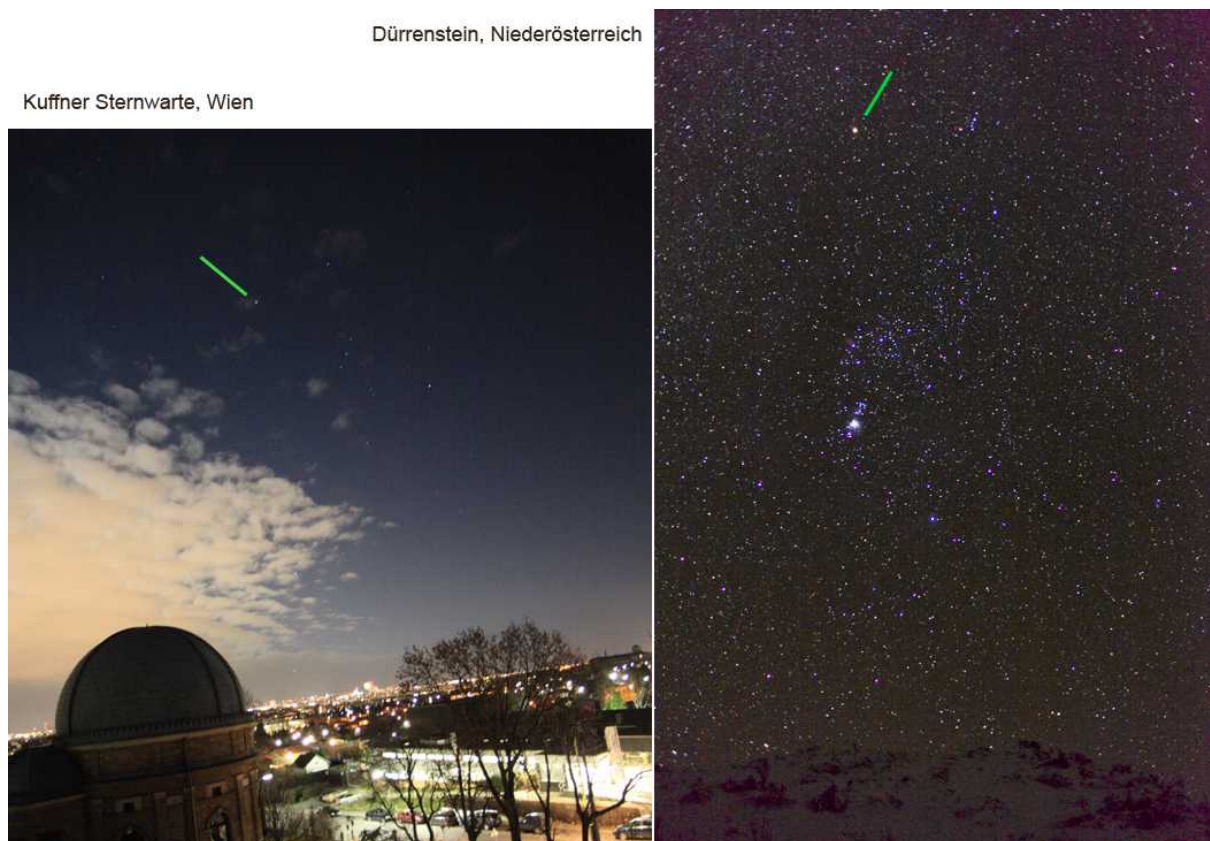


Licht über Wien II

Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2012

Felix Linhardt, Manuela Kopper, Markus Reithofer, Günther Wuchterl(*)
Verein Kuffner-Sternwarte

(*) Thüringer Landessternwarte, Tautenburg



Titelbild: Vergleich eines Blicks in Richtung des Sternbilds Orion von der Kuffner Sternwarte am Rande Wiens (links) und vom Wildnisgebiet Dürrenstein in Niederösterreich (rechts). Der grün markierte Punkt ist der hellste Stern in diesem Sternbild. Durch die Lichtverschmutzung über Wien sind die anderen Sterne kaum noch sichtbar.

Inhalt

Einleitung.....	3
Motivation.....	3
Globalstrahlung über Wien 2012 – Klare mondlose Nächte.....	5
Ergebnis 1: Wie viel Licht kommt von Wiener Nachthimmel?.....	6
Ergebnis 2: Jahreslauf und Ortsabhängigkeit des Wiener Nachtlights.....	7
Ergebnis 3: Energieaufwand für die Lichtglocke und CO ₂ -Äquivalent.....	7
Kalibration.....	8
Zusammenfassung der Messwerte –	
Nächtliche Globalstrahlung, klar und mondlos sowie Boden-Ablichtleistung.....	9
Leistung, Energie und CO ₂	10
Graphische Darstellung der Medianwerte.....	11
Zusammenfassungen.....	11
Einzelstationen.....	12
Histogramm-Darstellung der Messwerte.....	15
Nächtliche Globalstrahlung - Jahresübersichten 2012.....	15
Nächtliche Globalstrahlung, Monatsübersichten - Station Wien Zentrum 2012.....	18
Nächtliche Globalstrahlung, Monatsübersichten - Kuffner Sternwarte 2012.....	24
Nächtliche Globalstrahlung, Monatsübersichten - Höflein/Donau 2012.....	30
Nächtliche Globalstrahlung, Monatsübersichten - Großmugl 2012.....	36
Nächtliche Globalstrahlung, Monatsübersichten - Wien Liesing 2012.....	42
Darstellung der Messwerte der Globalstrahlung, über Zeit.....	43
Globalstrahlung, Jahresübersichten Wien 2012.....	43
Exemplarisch: Monatsübersichten der Kuffner Sternwarte 2012.....	43

Einleitung

Im Jahr 2011 wurde von den Verfassern dieses Zwischenberichts ein exemplarischer Lichtkataster¹ erstellt, der die damalige Situation der Lichtimmissionen der Stadt Wien darstellt. Der erste Teil dieses Katasters war eine mit mobilen Messfahrzeugen durchgeführte Vermessung einer Stichprobe von 388,4 km 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 sind Gegenstand dieses Berichts.

Motivation

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 Lichtenergie, 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 merkbaren Nebeneffektes einer Nutzung. Wir unterscheiden es von jenem Teil des Auflichts, also des nach oben, über die Horizontale entweichenden Lichts, der direkt, großenteils senkrecht ins Weltall geht, auf Satellitenbildern sichtbar wird und ebenfalls Energie kostet. Die Summe des Ablichts einer Stadt bildet die sogenannte „Lichtglocke“, siehe Abbildung 1.

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“)



Abbildung 1: Lichtglocke Wiens, Anblick von Großmugl/NÖ (ca. 35 km von der Messstation Wien-Zentrum), die Lichtquellen selbst sind durch Hügelketten verdeckt.

Neben dem energierelevanten Niederschlag 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 (keine Abschattungs- oder Störlichteffekte in unmittelbarer Nachbarschaft) 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) Mediane unterschiedlicher nächtlicher Stichproben (alle nächtlichen Werte, mondlose Bedingungen, und klare mondlose Bedingungen),
- 2) jährliche und monatliche Verteilungen für diese Stichproben (Histogramme),
- 3) aus den Messwerten errechnete Leistung, die erforderlich ist, um die Lichtglocke über Wien aufrecht zu erhalten.

Die Ergebnisse sind im technischen Abschnitt vollständig dokumentiert. In Tabelle 1 findet sich eine Übersicht über die Jahresmediane für klare mondlose Nächte für alle Stationen.

Globalstrahlung über Wien 2012 – Klare mondlose Nächte

Station	Abstand vom Zentrum km	Globalstrahlung mWatt / m ²
Wien Zentrum	0	0,253
Kuffner Sternwarte	6,7	0,0899
Liesing	10,4	1,95
Höflein	18,2	0,0384
Grossmugl	35,7	0,0172

Tabelle 1: Globalstrahlung über Wien im Jahre 2012. Mediane der sekundlichen Messungen unter klarem mondlosem Himmel. Aus insgesamt mehr als 100 Millionen Einzelmessungen wurden jene ausgewählt bei denen Mond und Wolken keine Beiträge liefern. Sowohl Mond als auch Bewölkung führen zu wesentlich höheren Werten als hier für die Medianbildung zugelassen wurden. So zeigen etwa 10% der Messungen im Zentrum Wiens die mehr als fünffache Helligkeit des fiktiven Vollmondes im Zenit ohne dass unser Begleiter am Himmel ist. Die hier angegebenen Werte wären unter natürlichen Bedingungen typisch für das Ende der blauen Stunde, etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang. Die Wiener Nacht bleibt derzeit eine nautische Dämmerung.

² Physikalisch – Umweltmesstechnisch handelt es sich um die Globalstrahlung ausgedrückt in [W/m²].

2. Zusammenfassung und Ergebnisse

Erstmals 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. Tagsüber wird sie standardmäßig bei Wetter und Klimafragen sowie zur Bestimmung der an einem bestimmten Ort verfügbaren Sonnenenergie genutzt.

Die Messungen erfolgten im Sekundentakt und die Stichprobe ist für das Jahr 2012 vollständig. Die Messwerte sind direkt am mit dem Netz und identischen Detektoren gemessenen Sonnenlicht verankert und die nächtlichen Werte sind anhand des Mondlichtes unabhängig überprüft.

Die mehr als 100 Millionen Einzelmessungen sind auf drei Arten dargestellt:

- 1) Tabellen der Jahres und Monatsmediane jeder Station für (a) alle Nachtstunden, (b) klare, wolkenlose Nachtstunden (c) klare mondlose Nachtstunden – dies quantifiziert die „typischen“ Bedingungen, die jeweils in der Hälfte der Zeit unterschritten bzw. überschritten werden und wird in Zukunft einen schnellen Vergleich von Veränderungen ermöglichen;
- 2) Verteilungen (Histogramme) der Messwerte – Sie erlauben etwa unterschiedliche Typen von Lichtwetter zu erkennen und zeigen die Häufigkeit von Extremsituationen;
- 3) Der daraus abgeleitete Energieaufwand für das Ablicht, das die städtische „Lichtglocke“ erzeugt.

Ergebnis 1: Wie viel Licht kommt von Wiener Nachthimmel?

In mondlosen Nächten verursachte die künstliche Himmelsaufhellung im Jahre 2012 einen Energiestrom von $0,6 \text{ mW/m}^2$ auf das Wiener Stadtzentrum.

Ohne Bewölkung halbiert sich der Wert auf $0,3$. Am Rande zum Wienerwald (Kuffner-Sternwarte) nehmen die Werte auf rund ein Drittel 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. Bei bedecktem Himmel wird häufig das Fünffache des Vollmondes im Zenit erreicht.

Seit langem ist bekannt, dass es für einen Großteil Europas nicht mehr Nacht wird. Das wird hier anhand einer vollständigen Stichprobe für Wien bestätigt. Darüber hinaus wird gezeigt, dass auch das Ende der *nautischen* Dämmerung bei $0,05 \text{ mW/m}^2$ im Jahre 2012 in Wien *nirgends* und *nie* erreicht wird (naturnahe nächtliche Verhältnisse lägen bei $0,006 \text{ mW/m}^2$), auch nicht bei Ausnahme-Wetterlagen.

Die typischen Lichtverhältnisse entsprechen jenen auf dem wahrgenommen 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 *zehnmal* mehr als jenes beim natürlichem Ende der nautischen Dämmerung und etwa *ein Zehntel* von dem der bürgerlichen Dämmerung, die ja Zeitung lesen ohne Kunstlicht ermöglicht.

Ergebnis 2: Jahreslauf und Ortsabhängigkeit des Wiener Nachtlichts

Auf allen Stationen zeigt sich eine deutliche jahreszeitliche Veränderung des Nachtlichts und der Ablichtleistung. Die Dezember-Mediane der nächtlichen Globalstrahlung sind bis zu viermal höher als die April-Werte. Markant ist eine Abnahme im Frühling und ein Anstieg im Herbst, der vom Oktober bis zum Maximum im Dezember immer steiler wird.

Die Ablichtleistung, also jene Energie die benötigt wird um das Licht, das in die Lichtglocken entweicht, zu erzeugen, steigt von rund 20 MW im April auf 80 MW im Dezember.

Interessant ist auch die Abnahme der typischen Lichtmenge zum Stadtrand hin und über die Stadtgrenzen hinaus: startet man von den Halbmondbedingungen im Stadtzentrum mit $0,3 \text{ mW/m}^2$ verringert sich unter typischen, klaren, mondlosen Bedingungen das künstliche Himmelslicht bis zur Station Kuffner-Sternwarte (6,4 km Entfernung) etwa auf ein Drittel. In Höflein bei ca. 20 km Abstand ergeben sich immerhin noch $1/5$ der Lichtwerte aus dem Stadtzentrum bis in Großmugl (35 km) typischerweise 5% der Innenstadt-Lichtmenge messbar sind.

Die Dezember-Werte der Station Liesing (2 bzw. $0,7 \text{ mW/m}^2$) weisen darauf hin, dass die Wiener Lichtglocke nach Süden wesentlich langsamer abfällt als nach Norden und Westen wo die Stationen, die zur Ermittlung des Energiegehaltes der Glocke herangezogen wurden, liegen. Das bestätigt den gewählten Zugang mit diesen Stationen eine robuste Untergrenze für die Ablichtleistung und damit dem Stromverbrauch, der mit diesem nach oben abgegebenem Licht verbunden ist, zu ermitteln.

Die Liesinger Werte im Dezember sind dreimal so hoch wie jene auf der Kuffner-Sternwarte, obwohl die Station Liesing mit ca. 10 km Abstand vom Zentrum wesentlich weiter Richtung Rand der Lichtglocke liegt als die Kuffner-Sternwarte (6,7 km).

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 zurückgeworfenen Lichts erfasst und der damit verbundene Energiestrom ermittelt. Anhand des bekannten Energieaufwandes für die Halbschaltung der öffentlichen Beleuchtung kann daraus die mit der Lichtglocke verbundene Leistung errechnet werden.

Im Jahre 2012 ergibt sich ein Median für die Lichtleistung von 25 MW und damit ein Aufwand von 91 GWh elektrischer Energie pro Jahr für das Ablicht. Unter der Annahme eines CO₂-Äquivalentes von $0,561 \text{ kg/kWh}$ ³ entspricht das einer jährlichen Emission von über 50 000 Tonnen CO₂. Je nach Strommix kann dieser Wert leicht um einem Faktor zwei variieren.

³ Hier 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

3. Messnetz

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

Zu den vier Stationen, die in Lichtbericht 1, Kapitel II.2 und II.4 beschrieben sind, wurde im Dezember 2012 die bisher letzte Station, in Wien Liesing, in Betrieb genommen.

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' 17,5" N	16° 13' 22,8" O	217
Höflein/Donau	48° 21' 5,12" 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° 8' 16,70" N	16° 17' 8,97" O	220

Tabelle 2: Licht-Messnetz Wien und Umgebung: Geographische Positionen der stationären Messgeräte

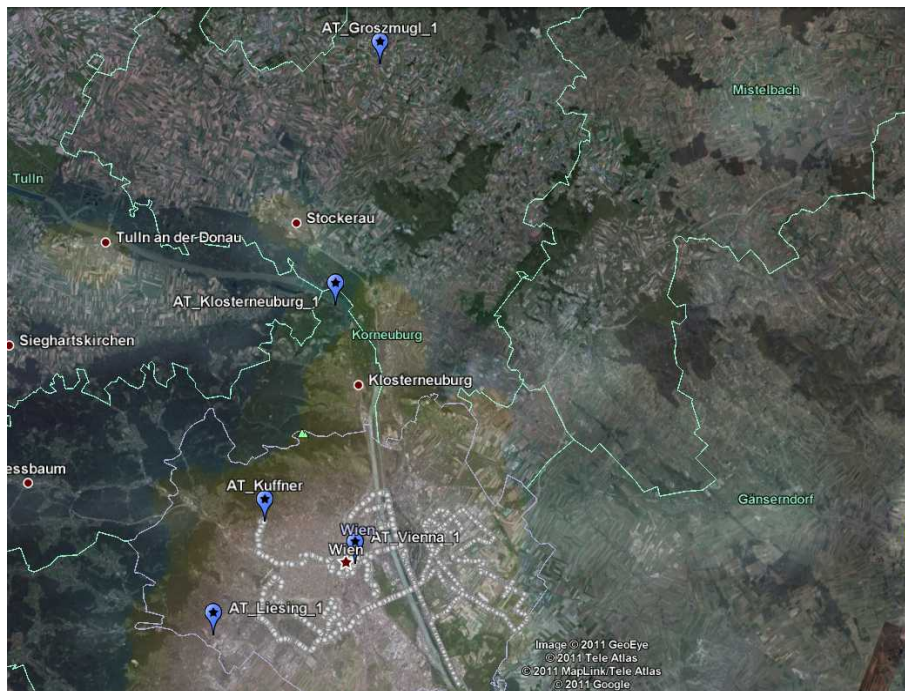


Abbildung 2: Visualisierung von Tabelle 2, Messstationen in Wien und Umgebung. Die Farbkodierung zeigt die Asymmetrie der Lichtquellen.

Kalibration

Die Geräte werden aus den Daten heraus durch den Vergleich eines astronomischen klar-Himmels-Modells mit der tatsächlich gemessenen Sonneneinstrahlung kalibriert.

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

4. Technischer Abschnitt

Bei der zahlenmäßigen Aufbereitung der Messdaten in diesem Abschnitt ist die Station Wien Liesing nicht enthalten, da dort erst wenige Dezemberwochen hindurch gemessen wurde.

Zusammenfassung der Messwerte – Nächtliche Globalstrahlung, klar und mondlos

Medianwerte [mW/m²]	Wien Zentr.	Kuffner Stw.	Höflein	Großmugl	Bodenablicht- leistung [MW]
Volljahr	0,253	0,090	0,038	0,017	0,1942
Jänner	0,228	0,102	0,044	0,023	0,2156
Februar	0,201	0,073	0,043	0,019	0,1797
März	0,261	0,100	0,041	0,018	0,2088
April	0,140	0,075	0,032	0,015	0,1486
Mai	0,157	0,079	0,047	0,015	0,1710
Juni	0,214	0,074	0,032	0,015	0,1643
Juli	0,262	0,087	---	0,016	0,1893
August	0,195	0,071	---	0,015	0,1570
September	0,247	0,082	0,032	0,017	0,1806
Oktober	0,364	0,097	0,029	0,018	0,2148
November	0,451	0,112	0,036	0,021	0,2558
Dezember	0,819	0,361	0,133	0,033	0,6468

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

Leistung, Energie und CO₂

	Bodenablicht- leistung [MW]	Stromleistung f. Licht [MW]	Energiemenge [GWh]	Äquivalente CO₂-Menge [t]
Volljahr	0,1942	24,98	91,23	51179
Jänner	0,2156	27,72	8,32	4665
Februar	0,1797	23,11	6,93	3889
März	0,2088	26,85	8,06	4520
April	0,1486	19,11	5,73	3217
Mai	0,1710	22,00	6,60	3702
Juni	0,1643	21,13	6,34	3555
Juli	0,1893	24,34	7,30	4096
August	0,1570	20,19	6,06	3398
September	0,1806	23,22	6,97	3908
Oktober	0,2148	27,62	8,29	4648
November	0,2558	32,90	9,87	5537
Dezember	0,6468	83,17	24,95	13998

Tabelle 4: Aus der Bodenablichtleistung wird die für das Ablicht verwendete elektrische Leistung berechnet. Mit der Annahme, dass die Beleuchtung durchschnittlich 10 Stunden pro Tag eingeschaltet ist, ergibt sich die aufgewandte Energiemenge. Die Umrechnung in die äquivalente CO₂-Menge ergibt sich mit dem Koeffizienten aus der auf Seite 7 zitierten Quelle.

Graphische Darstellung der Medianwerte

Zusammenfassungen

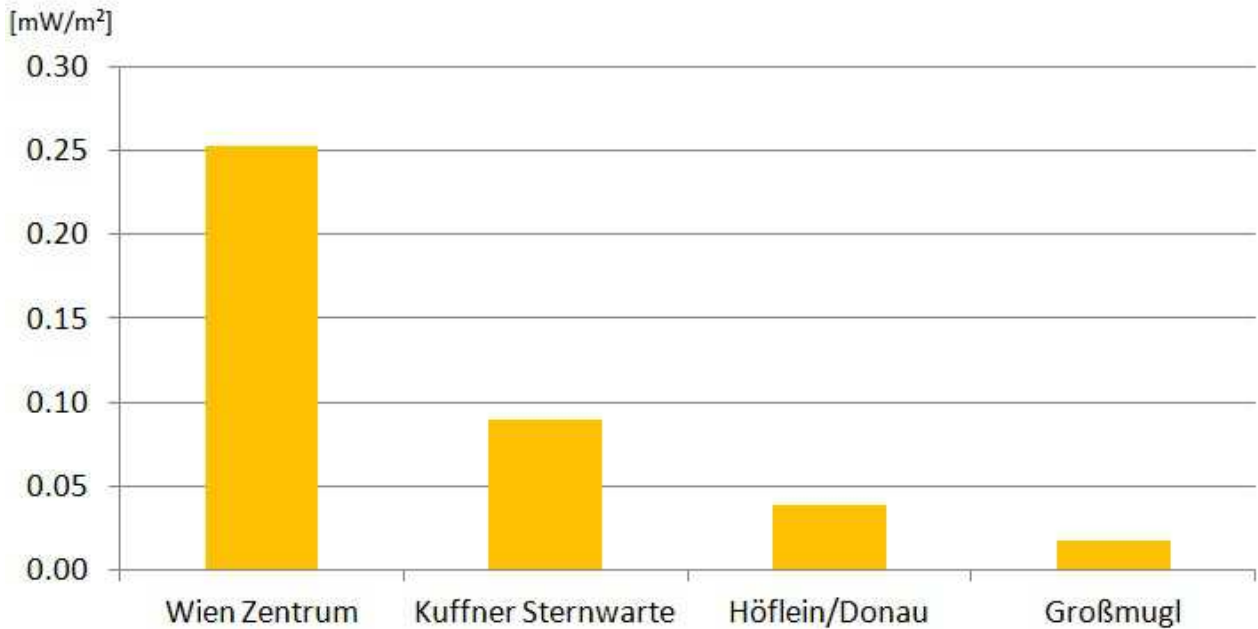


Abbildung 3: Jahres-Medianwerte der nächtlichen Globalstrahlung aus Tabelle 3

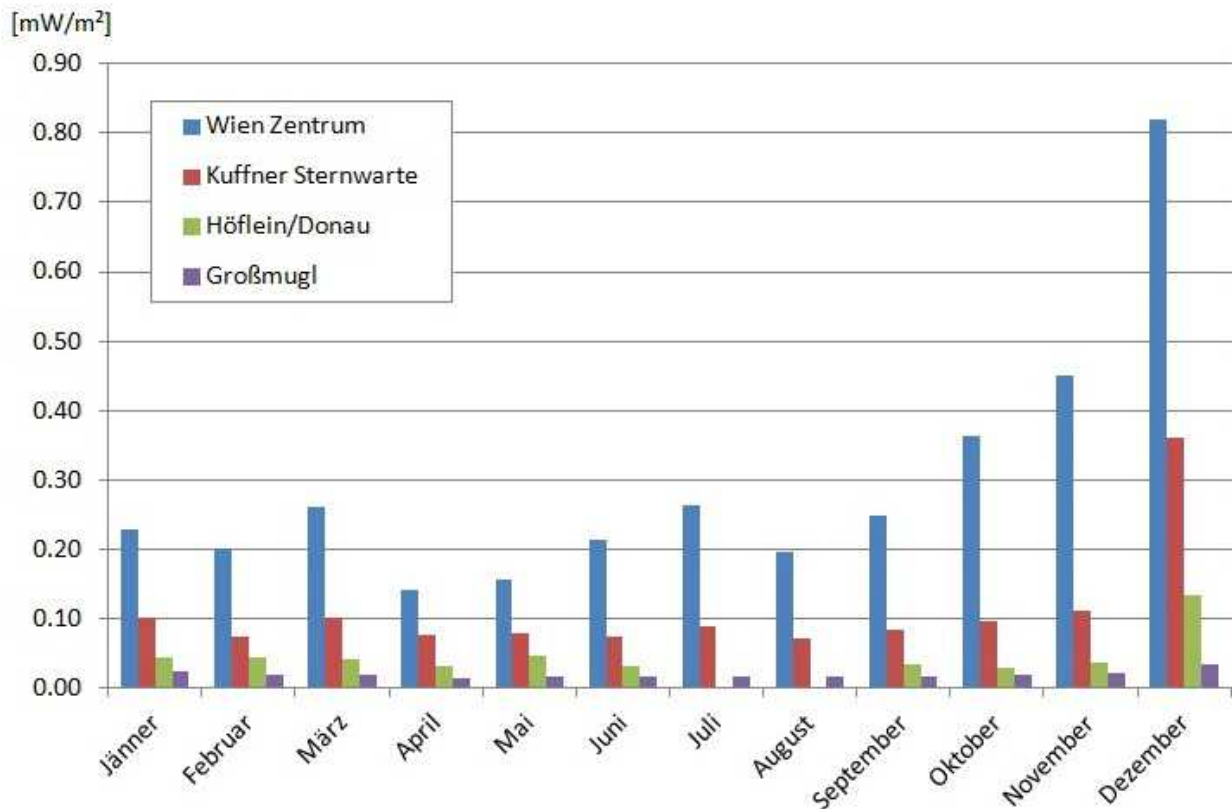


Abbildung 4: Visualisierung aller Monats-Medianwerte der nächtlichen Globalstrahlung aus Tabelle 3. Diese Graphik dient vor allem der Vergleichbarkeit. Detaillierte Verläufe für die Einzelstationen im folgenden Abschnitt.

Einzelstationen

Die folgenden Graphiken sind, um den Vergleich zu erleichtern, auch noch einmal mit einer gemeinsamen Ordinate in Abbildung 4 zusammengefasst.

Die zugehörigen Zahlenwerte finden sich in Tabelle 3.



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

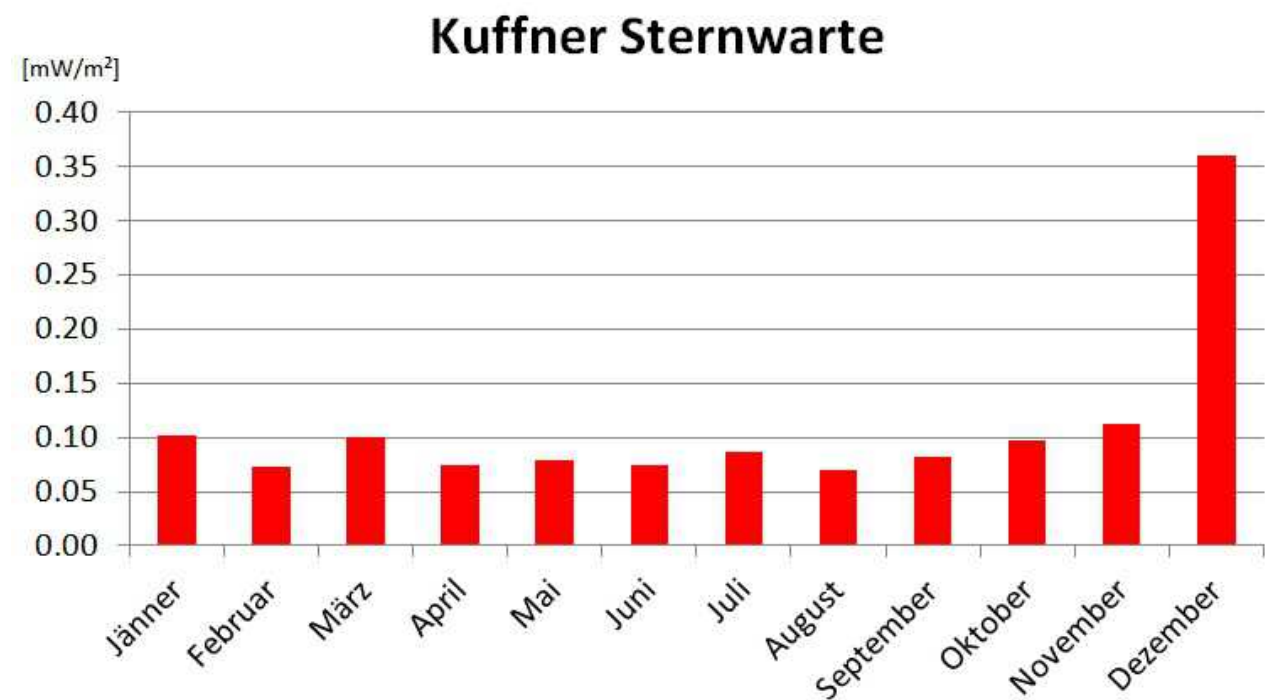


Abbildung 6: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Kuffner Sternwarte.

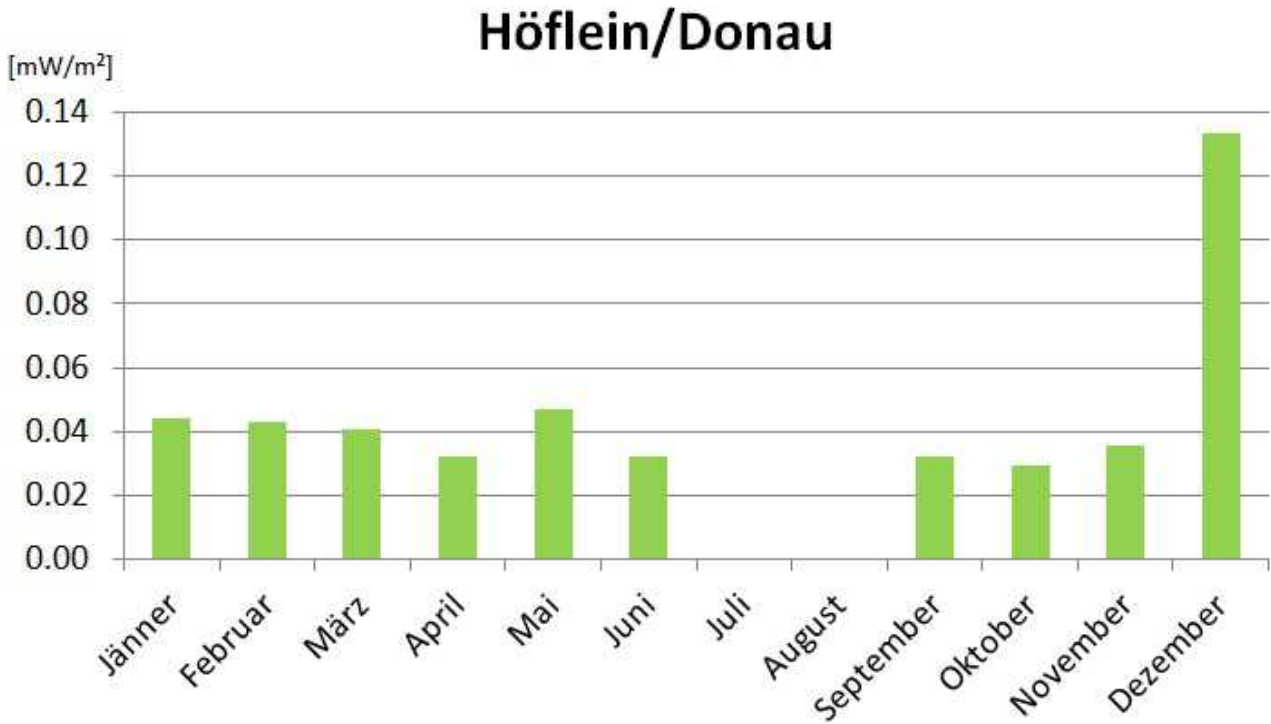


Abbildung 7: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Höflein/Donau.

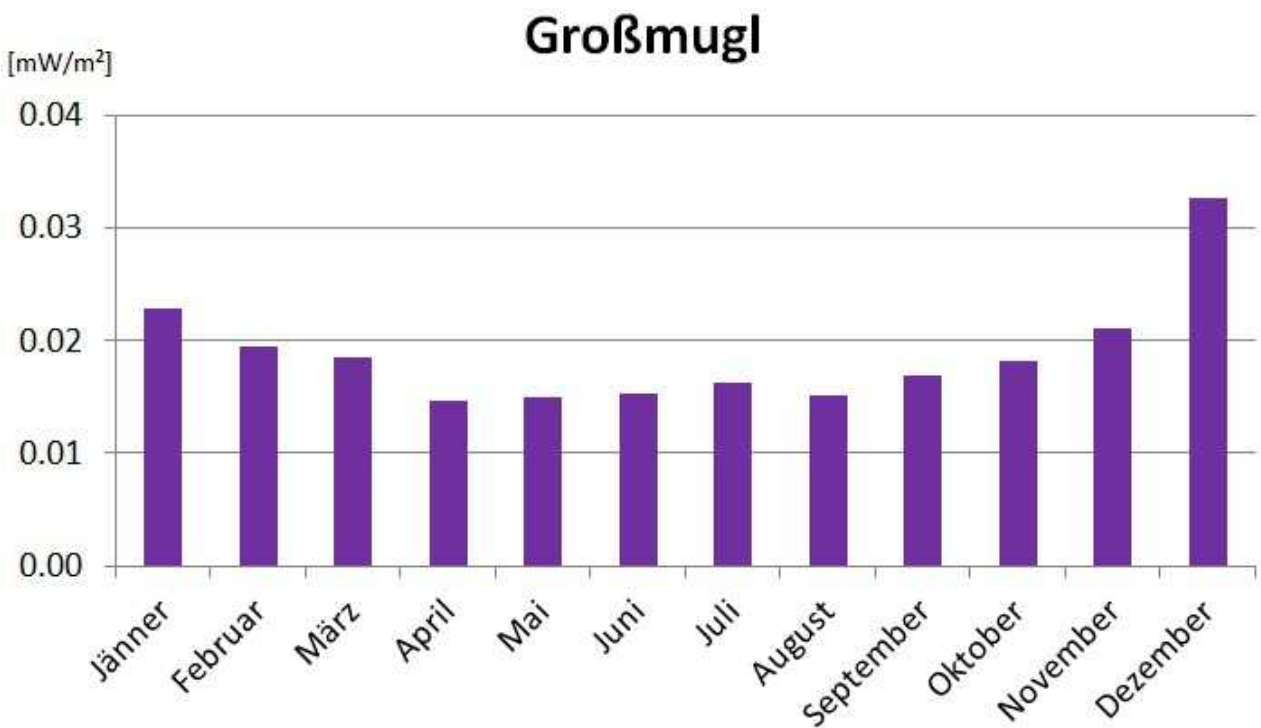


Abbildung 8: Monats-Mediane der Globalstrahlung für die klaren, mondlosen Nächte der Station Großmugl.

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.

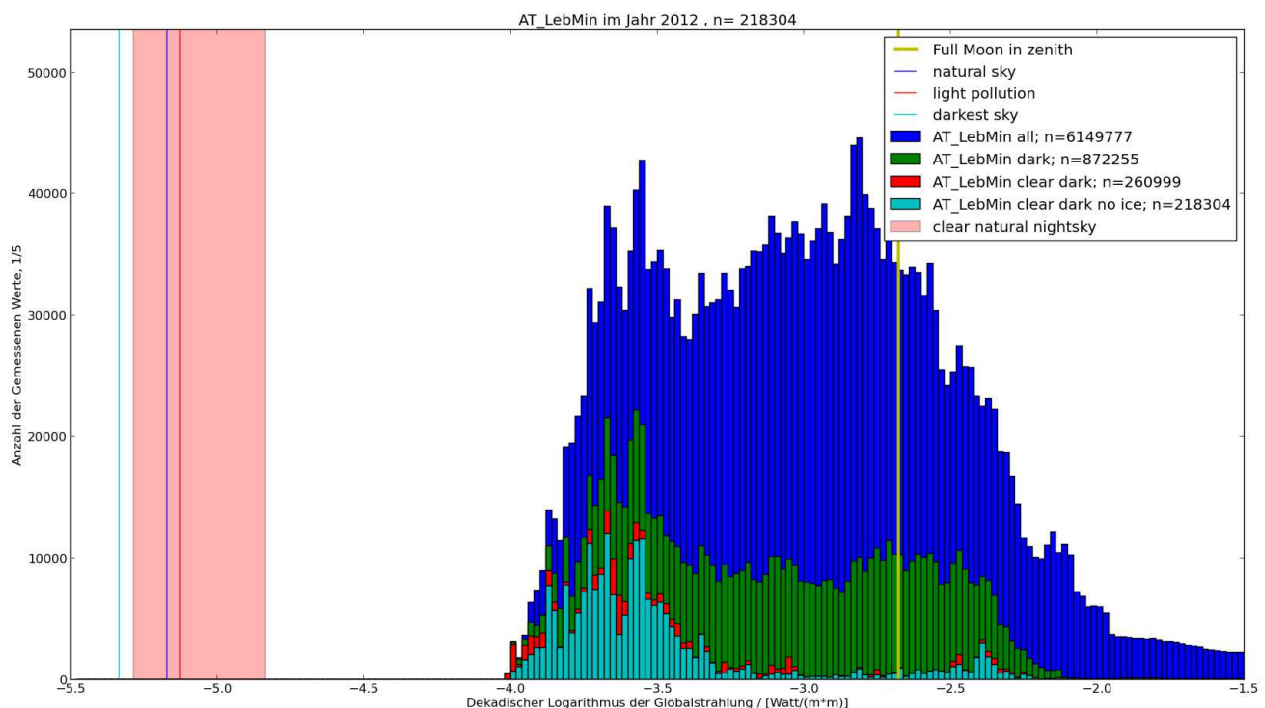
Die x-Achse ist im dekadischen Logarithmus der Globalstrahlung (die in W/m^2 angegeben wird) skaliert und beschriftet.

Legende:

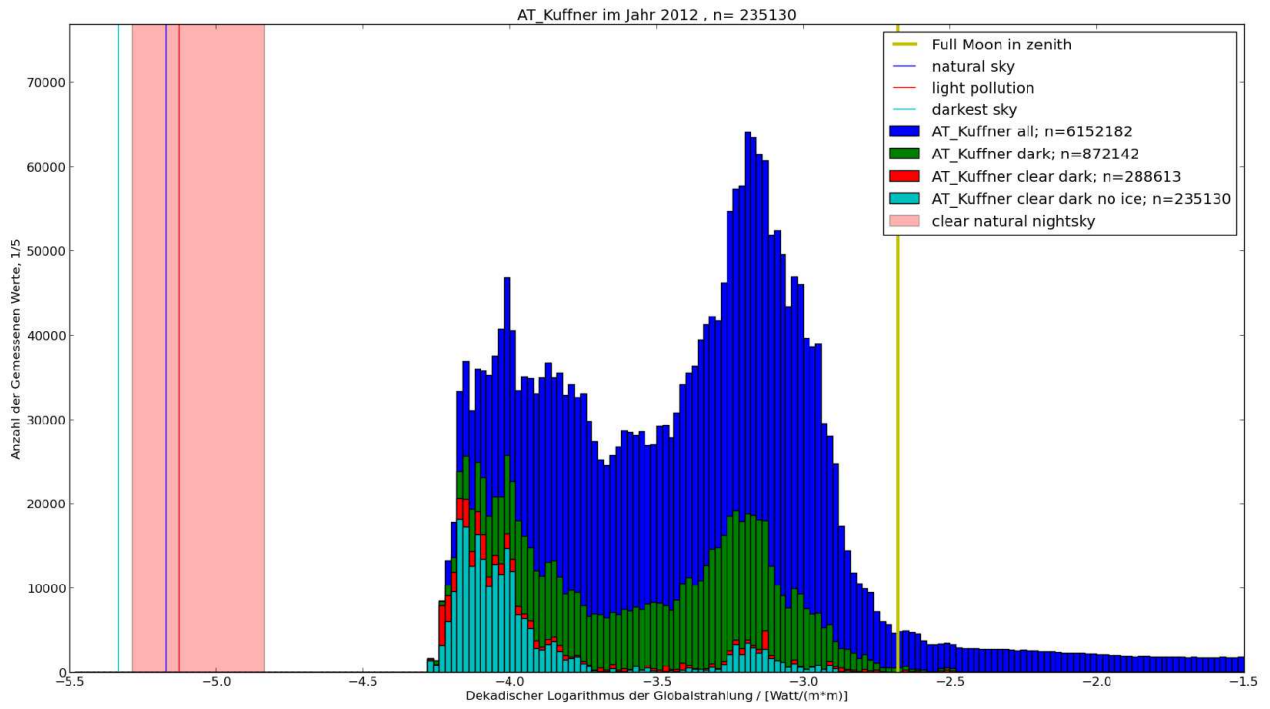
- **Full moon in zenith:**
Helligkeit des Vollmondes im Zenit über dem Beobachtungsort
- **natural sky:**
natürliche Helligkeit des Nachthimmels ohne künstliches Störlicht und ohne Wolkenbedeckung
- **light pollution:**
Grenze, ab der von Lichtverschmutzung gesprochen wird
- **darkest sky:**
geringstmögliche Himmelhelligkeit
- **all:**
Verteilung aller Daten (Nacht)
- **dark:**
Verteilung 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 2012

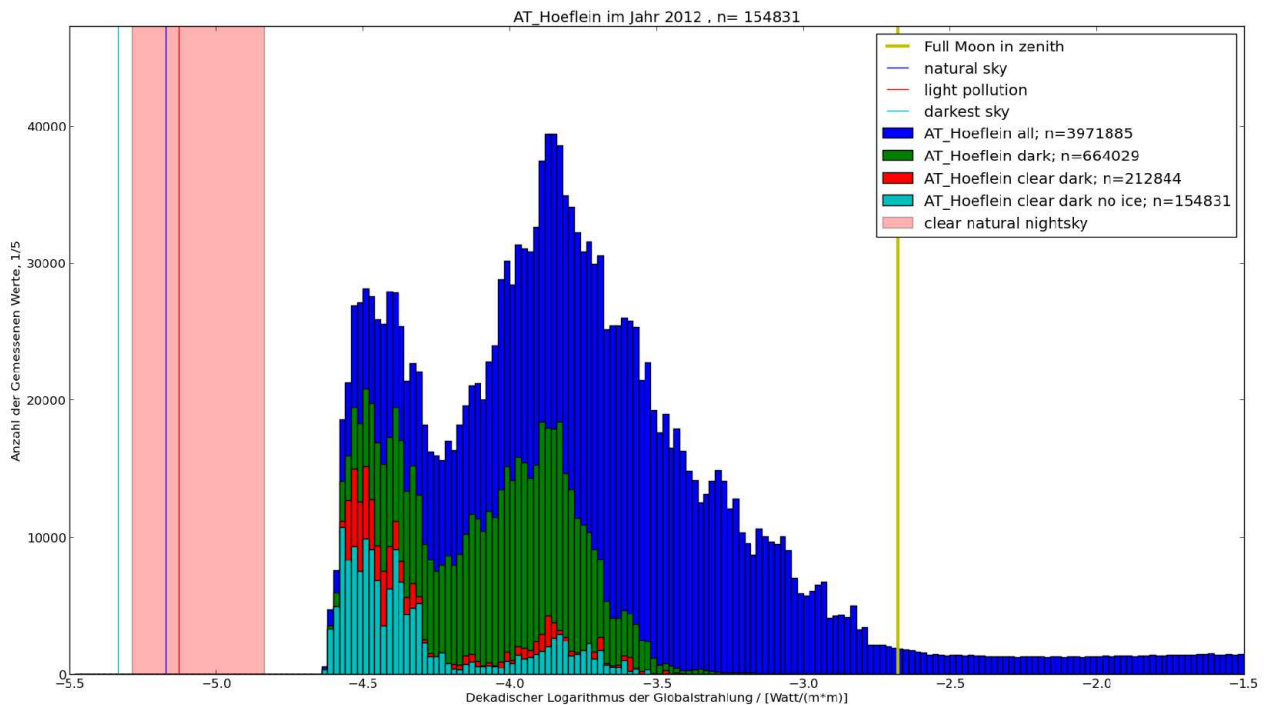
1. Station Wien Zentrum



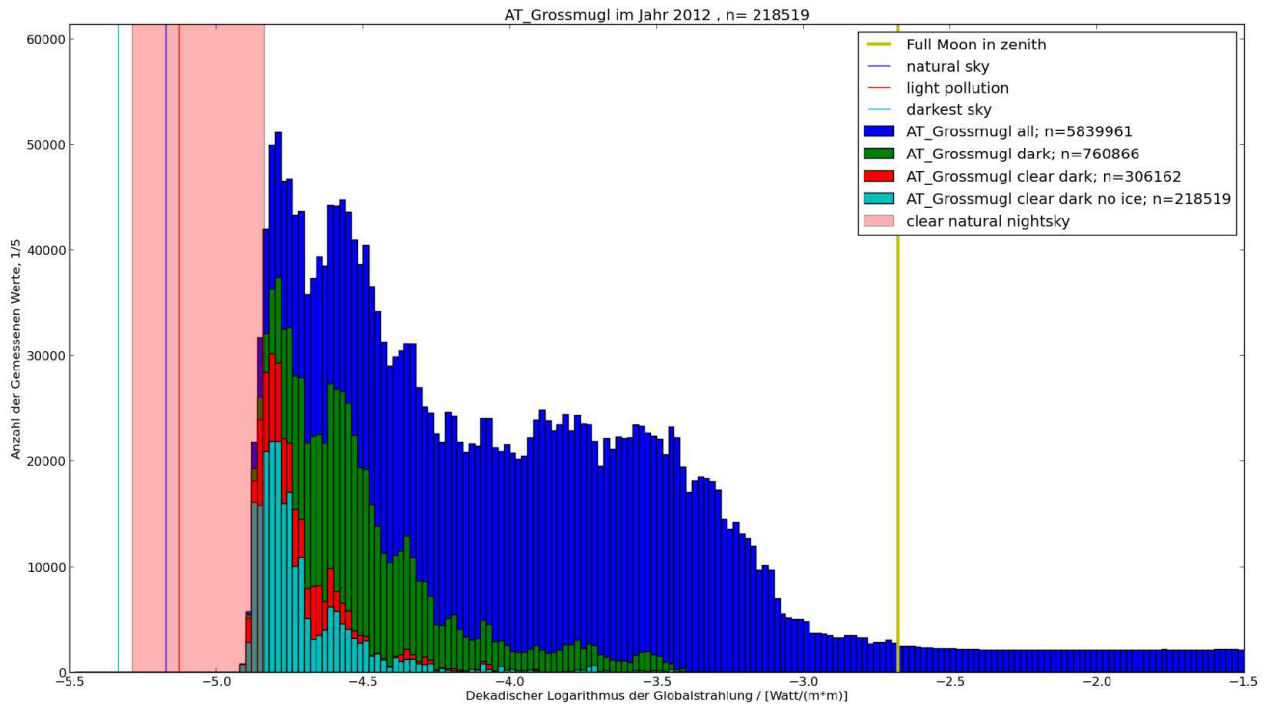
2. Station Kuffner Sternwarte



3. Station Höflein/Donau



4. Station Großmugl



5. Station Wien Liesing

