

Beiträge des für Instituts Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.
zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft
c/o Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10, D - 12165 Berlin

<http://www.met.fu-berlin.de/wetter/wetterkarte>

80/00
SO 14/00

ISSN 0938-5312
26.10.2000

Die Konzentration der Kondensationskerne in Berlin-Dahlem

von Jürgen Pelz

Parallel zu den am 1. Januar 1964 begonnenen Messungen der Schwebstaubkonzentration wurden ab 1. April 1979 im Aerosol-Labor des Instituts für Meteorologie Zählungen der Kondensationskerne durchgeführt. Auswertbar waren diese Messungen aber erst ab 17. April. Da auch in den Folgemonaten gelegentlich Ausfälle der Meßapparatur zu verzeichnen waren, wurde hier im wesentlichen nur der Zeitraum von 1980 bis 1987 bearbeitet. Im September 1988 mußten die Messungen wegen eines Geräteschadens und aus Personalmangel eingestellt werden. Leider fehlt der komplette Jahrgang 1982, der bei der Schließung des Aerosol-Labors im Mai 1997 einschließlich der Registrierstreifen verloren ging, so daß insgesamt nur sieben (fast) vollständige Jahre zur Verfügung stehen. Bisher ist nur die Meßserie vom 1. Mai 1979 bis 30. April 1980 von RAJEWSKI bearbeitet und publiziert worden [3], so daß es sich im Folgenden (bis auf das erste Quartal 1980) um unveröffentlichtes Material handelt.

Zur Funktionsweise des Meßgerätes, ein fotoelektrischer Kondensationskernzähler, wird auf die sehr ausführliche Arbeit von RAU und SCHMIDT [4] hingewiesen. Die Messungen erfolgten im Abstand von 5 Minuten an der Gartenseite des Aerosol-Labors in der Podbielskiallee 60 in ca. 6 m Höhe. Da es nicht möglich war, die Meßimpulse auf den Zentralrechner des Aerosol-Labors zu schalten, mußten die Registrierstreifen manuell ausgewertet werden. Dabei wurden täglich 24 Stundenmittelwerte graphisch ermittelt und anschließend manuell auf Datenträger übertragen. Die Maßeinheit ist ein Hundertstel Kernzahl/cm³. Das heißt, die angegebenen Zahlenwerte müssen mit 100 multipliziert werden um den wirklichen Meßwert zu erhalten. Da diese Auswertungen nur neben den üblichen Arbeiten durchgeführt werden konnten, verteilten sie sich - einschließlich der notwendigen Datenprüfungen - über mehrere Jahre, so daß der Datensatz, mit reichlicher Verspätung, erst jetzt bearbeitet werden konnte. Autor und Mitarbeiter hoffen auf Verständnis.

In allen Monaten sind die Kernzahlen linkssteil verteilt. Werte über 50000 pro cm^3 sind aber selten, so daß die Abweichungen von der Normalverteilung gering sind. In den Abbildungen 1a und 1b sind die Häufigkeitsverteilungen für die Monate Januar und August dargestellt. Die beiden Jahre sind jeweils zufällig gewählt worden. In beiden Fällen liegt das Häufigkeitsmaximum (Dichtemittel) innerhalb der 95%-Vertrauensgrenzen des arithmetischen Mittelwertes (Januar 232/227, August 246/239, das Dichtemittel jeweils an zweiter Stelle). Man darf daher sehr hohe Werte als Ausreißer betrachten und die gestutzte Verteilung als annähernd normalverteilt.

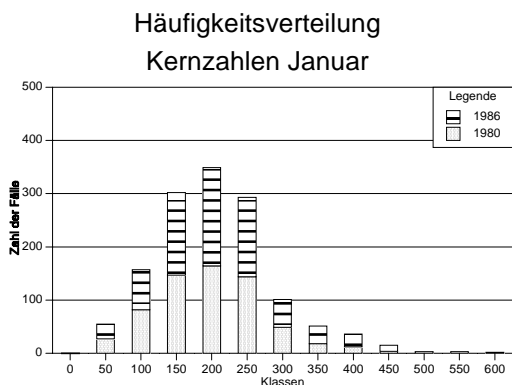


Abbildung 1a. Klassenbreite 50, die Untergrenze ist angegeben

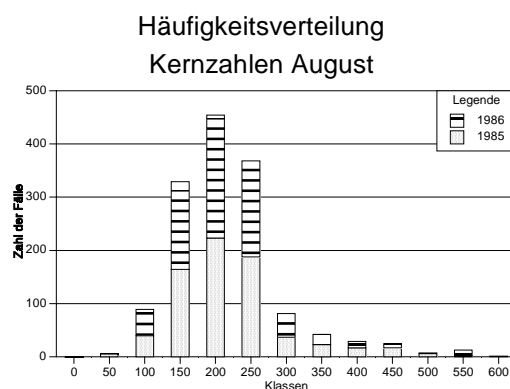


Abbildung 1b Klassen wie Abb. 1a

Frühere Kernzählungen des Max-Planck-Instituts für Aëronomie in Süddeutschland ergaben einen Anstieg der Kernzahlen zwischen 1964 und 1970 um etwa 25%. Als wahrscheinliche Ursache wurde die großräumige Erhöhung der allgemeinen Luftverunreinigungen angenommen [5]. Die Staubmessungen in Berlin ergaben in diesen Jahren eine Erhöhung der Jahresmittelwerte von ca. $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

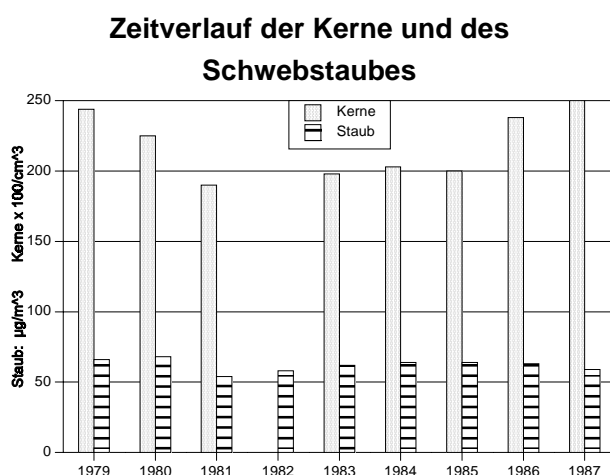


Abbildung 2
Zeitliche Änderung der Schwebstaubkonzentration und der Konzentration der Kondensationskerne in Berlin-Dahlem

Der vermutete Zusammenhang ist plausibel, läßt sich aber mit den Berliner Kernmessungen nicht bestätigen wie Abbildung 2 zeigt. Die Nullhypothese, die Jahresmittelwerte des Schwebstaubes weichen nur zufällig vom Gesamtmittelwert ($63 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ab, läßt sich bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit nicht ablehnen. Der Rückgang der Kondensationskerne in den ersten drei Jahren von 24400 pro cm^3 auf 19000 pro cm^3 ist aber signifikant (Trendtest über 32 Monatsmittelwerte. Das Jahr 1979 ist nur mit 8 Monaten beteiligt). Das gleiche gilt für den Anstieg von 1985 bis 1987.

Auch hier wird ein signifikanter Trend der 36 Monatsmittel festgestellt und zwar mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1% (Trendtest nach COX und STUART). Da weder der Standort des Meßgerätes noch der Betriebsmodus geändert wurde und in der Umgebung keine baulichen Maßnahmen oder ähnliches durchgeführt wurden, können instrumentelle Effekte und lokale Einflüsse wohl ausgeschlossen werden. Es ließ sich bisher keine Ursache für das Langzeitverhalten der Kernzahlen finden.

RAJEWSKI vermutete für den Zeitraum von Mai 1979 bis April 1980 einen Jahresgang der Kondensationskerne mit einer Doppelwelle. Dabei fielen die Maxima in die Monate Mai und Oktober und die Minima in die Monate März und Juli. Tatsächlich weichen diese ersten 12 Monatsmittel unserer Meßreihe hochsignifikant von einer Gleichverteilung ab. Eine Neuauswertung dieses Zeitraumes brachte dasselbe Resultat. RAJEWSKI schreibt aber selbst, daß dieses Ergebnis im Widerspruch zu anderen Meßreihen steht.

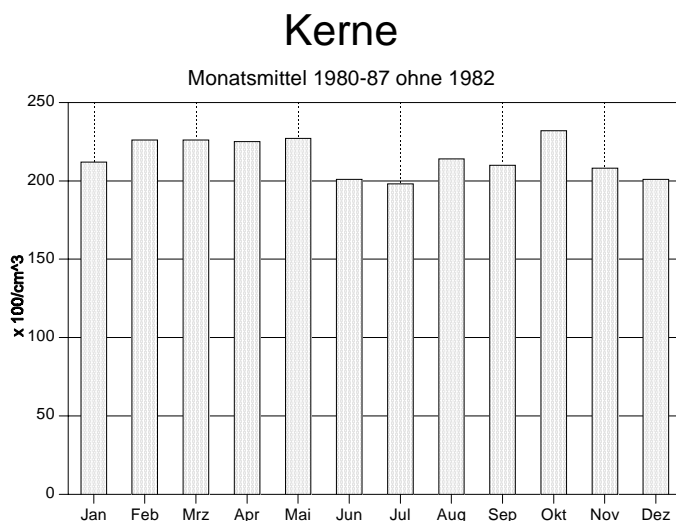


Abbildung 3
Jahresgang der Kondensationskerne

Abbildung 3 zeigt, daß auch für den Gesamtzeitraum im Oktober ein Maximum und im Juli ein Minimum zu finden ist. Beide Werte liegen deutlich außerhalb der Vertrauensgrenze (95%) des Jahresmittelwertes. Eine Prüfung auf Gleichverteilung ergab aber keine signifikanten Abweichungen (bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

Die von SCHMIDT [5] vertretene Auffassung, daß in besiedelten Gebieten die Kernzahlen im Sommer ein Minimum und im Winter ein Maximum haben müßten,

wird nicht bestätigt. Er begründet seine Meinung sehr vernünftig mit der Häufung austauscharmer Wetterlagen und den verstärkten Anteil anthropogenen Aerosols durch den Betrieb von Heizungsanlagen im Winter. Ein solcher Heizperiodeneffekt ist aber bei den Berliner Kernzählungen nicht erkennbar, obwohl er zu erwarten wäre.

RAJEWSKI hat für seinen 12-Monatszeitraum einen Tagesgang gefunden, der das Minimum in der zweiten Nachthälfte hat und das Maximum gegen 8 Uhr (MEZ). Daneben deutet sich ein schwach ausgeprägtes sekundäres Maximum zwischen 19 Uhr und 20 Uhr an und ein ebenfalls nur schwach erkennbares sekundäres Minimum zwischen 14 Uhr und 17 Uhr. Bemerkenswert ist der schnelle Anstieg der Kernzahlen in den Morgenstunden zwischen 4 Uhr und 8 Uhr.

Zu einem sehr ähnlichen Ergebnis kommt man bei der Auswertung des gesamten Zeitraums 1980 - 87 (ohne 1982). Der aus allen Werten dieser Jahre berechnete Tagesgang entspricht selbst in Einzelheiten dem von RAJEWSKI gefundenen für die Monate Mai 1979 bis April 1980. Eine überraschende Feststellung muß man machen, wenn man die Tagesgänge für jeden Monat gesondert ermittelt. Das Minimum findet sich **immer** -also in jedem Monat- um 4 Uhr. In Abbildung 4 sind die Tagesgänge der Jahreszeiten dargestellt. Auf eine Darstellung der einzelnen Monate wurde aus Platzgründen verzichtet

Tagesgang Kerne

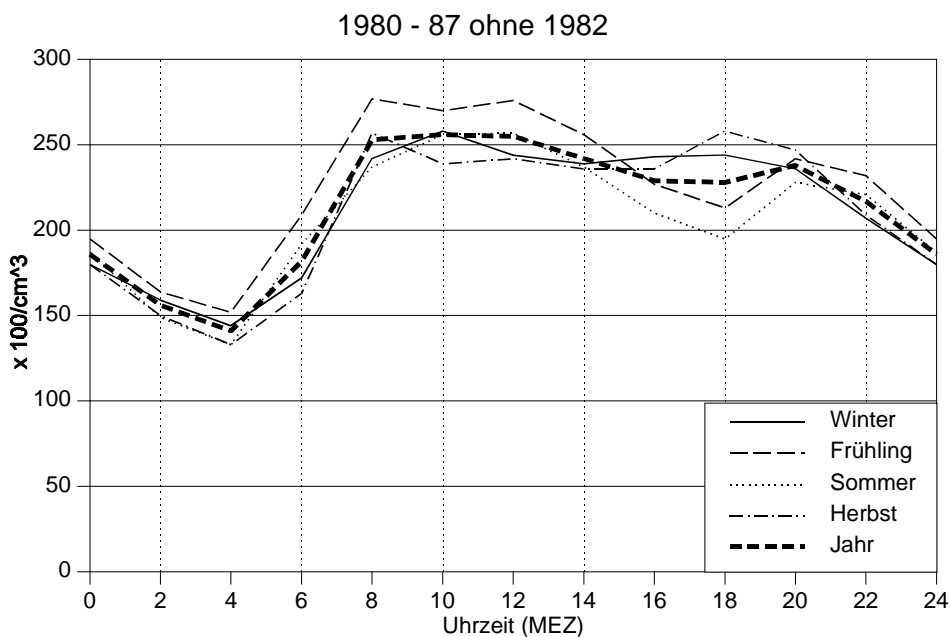


Abbildung 4
Tagesgang der Kernzahlen

D
Das morgentliche Minimum liegt nicht nur im 7-Jahresmittel in allen Monaten um 4 Uhr sondern auch in jedem einzelnen Jahr. Abbildung 5 zeigt stellvertretend für alle Monate diesen Sachverhalt.

Nicht ganz so gut ist die zeitliche Übereinstimmung der einzelnen Monatsmaxima. Sie finden sich im Frühjahr und im Herbst um 8 Uhr, im Winter um 10 Uhr und im Sommer in der Zeit zwischen 10 Uhr und 12 Uhr.

Minimum des Tagesganges Kernzahlen im August

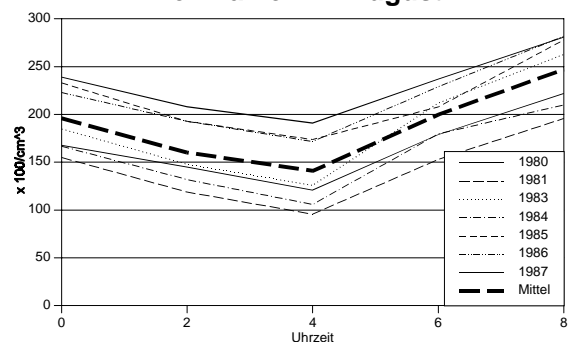


Abbildung 5
Minimum der Kernzahlkonzentration im August

Auch in den Nachmittagsstunden existieren Unterschiede der Jahreszeiten. Das im Jahresmittel nur schwach ausgeprägte sekundäre Minimum um 18 Uhr ist im Frühling und Sommer sehr gut erkennbar. An der gleichen Stelle liegt im Herbst ein sekundäres Maximum und im Winter finden sich gar keine Besonderheiten. Abgesehen von diesen kleinen Unterschieden kann man annehmen, daß die Tagesgänge in allen Monaten annähernd gleich sind.

Damit stehen die Kondensationskerne in ihrem zeitlichen Verhalten im Gegensatz zur Schwebstaubkonzentration. Etwa bis 1990 existierte ein gut ausgeprägtes morgentliches Maximum des Schwebstaubes in Berlin, das im Winter etwa 2 Stunden und im Sommer 3 Stunden nach Sonnenaufgang eintrat, in den einzelnen Monaten also zu verschiedenen Uhrzeiten (Abbildung 6). Das Minimum lag am Nachmittag etwa 2 - 3 Stunden vor Sonnenuntergang [1, 2]. Der Schwebstaub hatte einen gut erkennbaren sonnenstandsabhängigen Tagesgang, bei den Kernzahlen ist der Tagesgang unabhängig von der Sonnenhöhe.

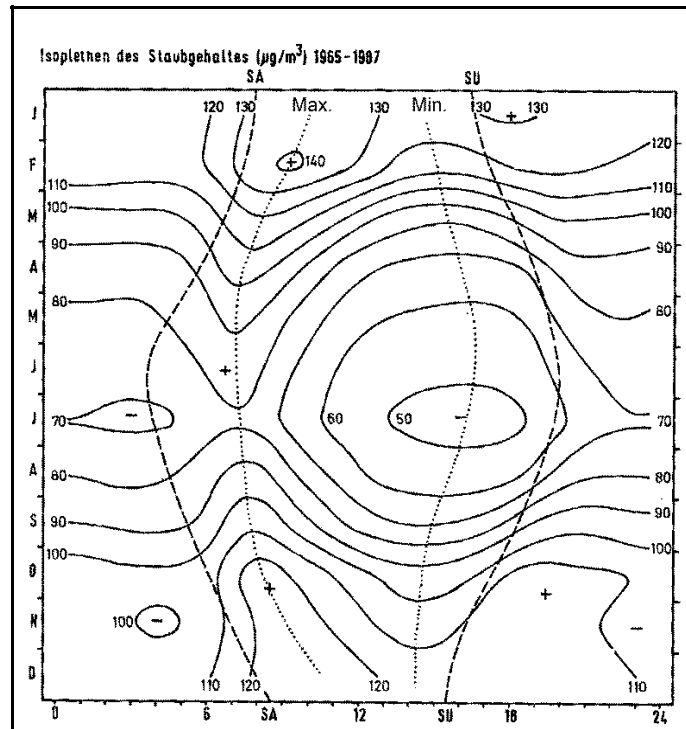


Abbildung 6
Isoplethen des Schwebstaubes in Berlin-Dahlem (aus [2])
SA, SU = Sonnenauf- bzw. untergang

Die von RAJEWSKI ermittelte Abhängigkeit der Kernzahlen von der Windrichtung ergab die höchsten Konzentrationen bei südlichen Richtungen (28000 Kerne/cm^3) und die geringsten Werte bei westlichen Winden (20000 Kerne/cm^3). Er bearbeitete dabei 40° breite Klassen der Windrichtung. Der südliche Sektor (Windrichtung $160 - 200^\circ$) liegt heute mit $28400 \text{ Kernen/cm}^3$ deutlich über dem Gesamtmittel, das Maximum befindet sich aber im Winkelbereich 50° bis 90° (29800 Kerne/cm^3). Das Minimum liegt für den Gesamtzeitraum, wie bei RAJEWSKI (20000 Kerne/cm^3), bei westlichen Windrichtungen (19800 Kerne/cm^3).

Sehr deutlich markiert sich die dichte Bebauung der Stadfläche. Im Richtungsbereich von etwa 220° bis ca. 300° befindet sich der Grunewald (ab etwa 1.5 km Entfernung), die Havel mit ihren Seen oder nur locker bebauten Gelände. In den übrigen Winkelbereichen herrscht die Blockbebauung vor. Die Kernzahlkonzentrationen dieser beiden Winkelbereiche unterscheiden sich beträchtlich, nämlich 21900 Kerne/cm^3 für den westlichen Winkelbereich und 29100 Kerne/cm^3 für das Segment mit der überwiegenden Blockbebauung.

SCHMIDT kam bei seinen Kernzahlmessungen im Bodenseegebiet zwischen 1965 und 1970 zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Kernzahlen in Weißenau (heute zu Ravensburg gehörend) lagen um mehr als das Doppelte über den gleichzeitigen Messungen an der Bergstation auf dem Hohen in weitgehend unbesiedeltem Gebiet [5]. Trotz des fehlenden Jahresganges (Heizung !) muß die anthropogene Beeinflussung der Kernzahlkonzentrationen als erwiesen gelten.

RAJEWSKI fand für seinen 12-Monatszeitraum auch eine Abhängigkeit der Kernzahlkonzentration vom Tagesmittel der Windgeschwindigkeit. Er gibt zwar keine Zahlen an, aber aus seiner Graphik kann man ablesen, daß für Windgeschwindigkeiten unter 2.5 kn die höchsten Konzentrationen auftreten (etwa 25000 Kerne/cm³). Bei Geschwindigkeiten über 10 kn können etwa 22000 Kerne/cm³ aus der Abbildung geschätzt werden. Nach der jetzigen Auswertung ist die Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit aber viel schärfer ausgeprägt. Aus programmtechnischen Gründen konnte wegen des fehlenden Jahres 1982 nur der Zeitraum 1983 - 87 bearbeitet werden. Im Durchschnitt dieser 5 Jahre lag die Kernzahlkonzentration bei geringer Windgeschwindigkeit (< 1.3 m/s oder < 2.5 kn) bei 24800 Kerne/cm³, in der Klasse über 5 m/s (> 10 kn) aber nur bei 18500 Kerne/cm³.

RAJEWSKI entdeckte in den Kernzahlen auch einen Wochengang mit einer deutlichen Abnahme der Kernkonzentration von Freitag zu Sonnabend und einem Minimum am Sonntag. In diesem Fall wurde nur das Jahr 1987 mit der höchsten durchschnittlichen Kernzahlkonzentration (25000 Kerne/cm³) Modulo 7 sortiert. Das Ergebnis ist praktisch das gleiche wie für die Zeit Mai 1979 bis April 1980 (siehe Abbildungen 7a und 7b).

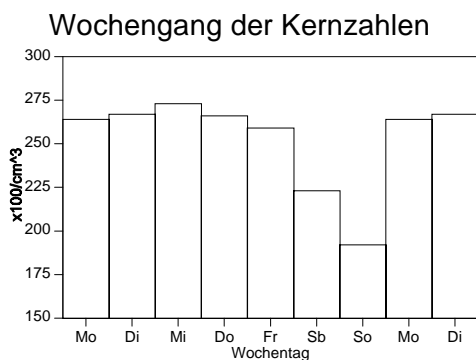


Abbildung 7a
Wochengang der Kernzahlen im Jahr 1987

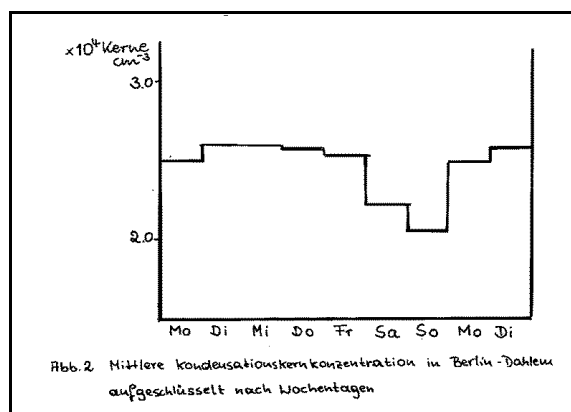


Abbildung 7b
Reproduktion des Wochenganges von RAJEWSKI [3]

Dieses Ergebnis dürfte wohl auch den letzten Zweifel an der Beeinflussung der Kernzahlkonzentration durch den Menschen beseitigen.

Im Tabellenanhang folgen die Mittelwerte der Kernzahlen.

Mittelwerte der Kernzahlen in Berlin-Dahlem 1980 -1987 ohne 1982
(Einheit: x 100/cm³)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
1980	224	234	218	277	271	216	200	206	250	229	189	183	225
1981	245	200	230	189	190	170	151	159	206	195	182	160	190
1983	153	229	177	214	196	196	186	208	194	191	222	210	198
1984	203	212	242	210	207	158	229	179	155	268	187	184	202
1985	167	183	188	165	162	156	195	247	210	246	231	247	200
1986	241	326	283	234	268	229	201	245	202	223	200	204	238
1987	254	192	244	282	287	280	221	257	252	273	246	217	250
Mittel	212	225	226	224	226	201	198	214	210	232	208	201	215

Maxima der Kernzahlen in Berlin-Dahlem 1980 -1987 ohne 1982
(Einheit: x 100/cm³)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
1980	485	575	530	800	850	640	550	650	580	550	370	500	590
1981	800	490	650	800	730	660	700	540	580	540	840	550	657
1983	380	670	540	740	505	650	570	680	550	560	670	480	583
1984	680	575	625	600	625	480	850	525	475	560	580	450	585
1985	340	465	555	575	560	530	590	725	720	690	575	570	575
1986	630	680	700	680	870	715	605	605	515	530	520	585	636
1987	560	480	600	990	740	900	950	930	620	600	820	900	758
Mittel	554	562	600	741	697	654	688	665	577	576	625	576	

Minima der Kernzahlen in Berlin-Dahlem 1980 -1987 ohne 1982
(Einheit: x 100/cm³)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
1980	60	55	40	40	60	40	30	40	50	40	25	25	42
1981	40	20	45	15	30	20	30	30	50	40	25	20	30
1983	20	30	30	50	35	55	40	60	15	35	45	45	38
1984	45	50	65	75	40	35	40	40	25	110	40	40	50
1985	40	35	40	40	40	25	70	80	20	35	50	55	44
1986	35	105	100	70	115	60	50	105	50	40	45	60	70
1987	30	50	15	50	90	130	20	130	70	75	110	30	67
Mittel	39	49	48	49	59	52	40	69	40	54	49	39	

Schrifttum

1. Pelz, J. Das morgentliche Maximum des Schwebstaubes in Berlin Dahlem
Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 10/93 (1993)
2. Pelz, J. Der atmosphärische Schwebstaubgehalt und die Luft- und
Kenne, D. Niederschlagsradioaktivität in Berlin-Dahlem im Jahr 1988
Krbek, F.v. Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 10/89 (1989)
3. Rajewski, A. Über die Kondensationskernkonzentration in Berlin-Dahlem
Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 22/81 (1981)
4. Rau, W. Ein fotoelektrischer Kondensationskernzähler zur Registrierung
Schmidt, M. des Kondensationskernspektrums
Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A. S. 407 - 438
Springer-Verlag (1970)
5. Schmidt, M. Verlauf der Kondensationskernkonzentration an zwei
süddeutschen Stationen
Meteorol. Rdsch. Heft 5, S. 151 - 153 (1974)