

Der Säuregrad (pH-Wert) des Niederschlages im Stadtgebiet von Leipzig als Indikator der lufthygienischen Situation nach Messungen in den Jahren 1971 und 1972

Von
Gerhard Schmidt

Mit 1 Abbildung und 5 Tabellen
(Eingegangen am 5. November 1973)

Inhalt

1. Allgemeine Problematik und Meßmethodik	281
2. Witterungscharakter der Meßperiode	283
3. Der pH-Wert als Indikator der lufthygienischen Situation	285
4. pH-Verteilung im Stadtgebiet bei ausgewählten Wetterlagen	289

1. Allgemeine Problematik und Meßmethodik

Die ständig steigende Verunreinigung der Atmosphäre durch Abgase und Stäube verschiedener Art, von denen viele toxisch wirken, ist zu einem weltweiten Problem geworden. Vielfach fehlt es heute noch an einer realen Einschätzung von Umfang und Ausmaß der damit in Zusammenhang stehenden Schäden, die durch die um sich greifende Verstädterung und Industrialisierung noch ständig anwachsen werden. So schwanken die in der Tagespresse vertretenen Meinungen im allgemeinen zwischen einer leichtfertigen Bagatellisierung der Fakten und einer künstlich hochgespielten, ebenso unsachlichen Panikmache. Der Hauptgrund dafür sind ohne Zweifel die immer noch recht unzureichenden Angaben über die wirklich auftretenden Konzentrationen der Immissionen und ihre Auswirkungen. Vorhandene Langzeitwerte sagen nichts über die zwar selten auftretenden, dann aber katastrophal wirkenden möglichen Höchstbelastungen aus. Daher sind Detailuntersuchungen derartiger kritischer Wetterlagen besonders wichtig. Die konsequente Überwachung der Luftverunreinigungen über einen längeren Zeitraum ist heute dringendes gesellschaftliches Erfordernis. Nur so ist es möglich, Einblicke in die jahreszeitlichen Schwankungen der Immissionen und ihre Abhängigkeit von bestimmten Wetterlagen und den damit in Zusammenhang stehenden Aufbau der Atmosphäre in den unteren Schichten zu erhalten. Auch lokale Selbstverstärkungseffekte und advective Beeinflussungen können so erfaßt werden.

Zur Klärung solcher Probleme soll die vorliegende Untersuchung mit beitragen. Es ist seit langem bekannt, daß der Säuregrad des Niederschlags, der durch den pH-Wert ausgewiesen wird, infolge der ständig steigenden Industrialisierung und Urbanisierung über den Territorien der großen Industrieländer beachtlich abgesunken ist (nach saueren Werten hin). Während in früheren Zeiten Regenwasser infolge der natürlichen Destillation, die es innerhalb seines atmosphärischen Kreislaufs durchmacht, als besonders rein angesehen wurde und meist mit destilliertem Wasser (pH = 7,0) gleichgesetzt werden konnte, ist dies selbst über den Weltmeeren oder ländlichen Gegenden, den sogenannten Reinluftgebieten, heute nicht mehr der Fall, da auch hier Luftver-

unreinigungen im Zuge der allgemeinen Zirkulation durch advektiven Luftmassentransport hingelangen. Besonders alarmierend erscheinen in diesem Zusammenhang die Isarithmen-Karten über die Verteilung des pH-Wertes des Niederschlages über Europa, die S. Oden (1971) für die Jahre 1956, 1959, 1961 und 1966 veröffentlicht hat. Diese ergeben für das Gebiet der DDR in diesem Zeitraum einen Abstieg des pH-Wertes zu saueren Werten hin von 6,0 bis 5,5 (1956) auf 5,5 bis 4,0 (1966) im langzeitigen Mittel.

Diese in der Tat recht bedrohlich erscheinenden Werte einmal für das Stadtgebiet von Leipzig zu überprüfen, ist eine der Zielstellungen dieser Arbeit. Vor allem sollte der jährliche Gang des pH-Wertes erfaßt und darüber hinaus seine Verteilung im Stadtgebiet bei ausgewählten Wetterlagen studiert werden. Das Niederschlagswasser wurde in Plasteschalen von etwa 1000 cm² Grundfläche aufgefangen und anschließend elektrometrisch mit dem pH-Meßgerät nach Schwabe gemessen. Die Untersuchungen konnten annähernd lückenlos über den Zeitraum eines Jahres von Dezember 1971 bis November 1972 durchgeführt werden. Die Meßschale wurde auf dem Flachdach des Geographischen Instituts der AdW in etwa 35 m über dem Straßenniveau aufgestellt. Somit sind die Wirkungen der Kfz-Abgase in den Wässern kaum enthalten, während die Einflüsse des Hausbrandes entscheidend eingehen, da die Messungen etwa in Schornsteinhöhe durchgeführt werden, wenngleich in einem Umkreis von etwa 300 m von der Station kein Emittent anzutreffen ist. Das Geographische Institut befindet sich am südwestlichen Rande der Innenstadt, so daß die Meßwerte für diese als repräsentativ angesehen werden können.

Allwöchentlich wurden unabhängig vom gefallenem Niederschlag die Schalen gespült, damit bei längeren niederschlagfreien Perioden die Werte nicht dadurch verfälscht wurden, daß sich in der Zwischenzeit in den Schalen durch Anflug und Einwehung sauer reagierender Staub angesammelt hatte. Einengend auf die Kontinuität der Messungen wirkte sich der Umstand aus, daß die Meßelektrode zum einwandfreien Funktionieren, d. h. zu ihrer vollständigen Benetzung, eine Mindestwassermenge von 20 ml benötigt. Dadurch konnten schwache Niederschläge von weniger als 1 mm wegen der zu geringen anfallenden Wassermenge nicht getestet werden. Im Beobachtungsjahr gingen dadurch etwa ein Drittel an Niederschlagsfällen verloren. Eine weitere Ungenauigkeit kam dadurch zustande, daß sonnabends und sonntags das Niederschlagswasser nicht abgefüllt werden konnte und somit bei der Entnahme an Montagen bisweilen die Niederschläge mehrerer Regenfälle im Gefäß waren. Die pH-Messung selbst verzögerte sich zweimal infolge Reparatur des Meßgerätes um einige Wochen. Doch ergaben in beiden Fällen die Werte recht gute Übereinstimmung mit den sonstigen Werten – sogar die regionalen Gradienten waren vorhanden –, so daß es unwahrscheinlich ist, daß in der Zwischenzeit eine chemische Veränderung der Lösung eingetreten ist.

Zur Erweiterung des Meßbereichs hatten sich freundlicherweise einige Kollegen bereit erklärt, an ihren über das ganze Stadtgebiet verteilten Wohnsitzen Niederschlagsammelschalen aufzustellen und Wasserproben zu entnehmen. Auf diese Weise konnten 10 zusätzliche Meßpunkte im Stadtgebiet von Leipzig geschaffen werden, von denen 2 im Norden, einer im Westen, 4 im Süden und 3 im Südosten der Stadt lagen. Schließlich konnten Vergleichswerte aus dem etwa 30 km entfernten Merseburg beigeleitet werden. Die Entnahmen erfolgten nach der gleichen Vorschrift wie im Geographischen Institut, und es wurde auch streng auf eine sorgfältige Reinigung der zum Transport der Proben verwendeten Glasflaschen geachtet. Diese peripheren Meßwerte konnten jedoch nicht mit gleicher Regelmäßigkeit wie die der zentralen Meßstelle am Institut gesammelt werden, wofür verschiedenste Gründe verantwortlich zu machen sind. Es ist daher nicht möglich, für jede einzelne Station ein lückenloses Bild des pH-

Wert-Verlaufs über die gesamte Meßperiode zu entwerfen. Der unbestrittene Wert dieser Messungen dürfte vielmehr darin liegen, daß Kriterien für die Verteilung des pH-Wertes über Leipzig bei einzelnen ausgewählten Wetterlagen gefunden wurden. Es ließen sich gewisse Längsprofile des pH-Wertes nach verschiedenen Himmelsrichtungen hin verfolgen.

Ehe jedoch die Messungen im einzelnen diskutiert werden, soll ein kurzer Abriss der Witterungssituation in den einzelnen Beobachtungsmontaten vorangestellt werden.

2. Witterungscharakter der Meßperiode

Wenn auch das Jahr 1972 in seinem Witterungsverhalten nicht wesentlich vom Normal abwich, so zeigte es doch einige Besonderheiten. Diese betrafen vor allem den milden und sehr schneearmen Winter. Obwohl im ganzen das zyklonale Wettergeschehen vorherrschte, so fiel doch die große Häufigkeit von Lagen mit antizyklonalem Witterungscharakter in allen Monaten, besonders aber von Juni bis August und im Oktober auf. Damit in Zusammenhang steht eine unternormale Niederschlags-spende, die besonders in den Monaten Januar und Februar hervortritt, in denen nur 5 % bzw. 16 % des langjährigen Mittels an Niederschlag fallen. So fehlt die winterliche Feuchtespeicherung im Boden, und die geschlossene Schneedecke beschränkt sich in Leipzig auf nur 10 Tage. Hinsichtlich der Temperaturwerte ist das Jahr annähernd normal, wengleich Abweichungen des Monatsmittels bis zu 2 grad gegenüber dem langjährigen Mittelwert vorkommen (Tab. 1).

Tabelle 1. Witterungsklimatische Monatswerte der Meßperiode Dez. 1971/Nov. 1972

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Monat	Monatsmittel der Lufttemperatur	Abweichung vom langjährigen Mittelwert	Monatl. Niederschlag in mm	% des langjährigen Normalwerts	Tage mit Niederschlag über 0,1 mm	Tage mit Niederschlag über 1 mm	Tage mit Niederschlag über 10 mm	Tage mit Schneefall	Tage mit einer Schneedecke	Nebeltage	Gewittertage	Sturmtage	Sonnenscheindauer in Std.
Dez. 71	4,3	+3,7	42	114	17	12		5	1	7		1	18
Jan. 72	-2,8	-2,3	2	5	5			5	7	3			58
Febr.	1,9	+2,1	5	16	6	1			2	15			40
März	5,6	+2,2	40	114	7	5	1	3		6		2	129
April	8,1	+0,5	44	107	16	12		3		2	2	1	105
Mai	10,2	-0,7	56	119	17	12	1			1	4		160
Juni	15,5	-0,3	57	95	12	8	2				8		197
Juli	18,7	+0,7	60	80	10	5	3			1	3		193
Aug.	16,4	-0,8	57	93	13	5	2			1	5		187
Sept.	11,4	-2,2	37	82	13	8	1			12	1		130
Okt.	6,6	-2,1	42	93	9	5	2			10			125
Nov. 72	4,8	+1,1	24	65	12	6	1			6		1	61

Tabelle 1 (Fortsetzung)

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
SD in % der astronom. möglichen SD	Tage mit Inversionen unter 700 m NN	Tage mit Inversionen über 700 m NN	Tage mit mittl. Windgeschwindigkeit 0–10 km/h	Tage mit mittl. Windgeschwindigkeit 10–30 km/h	Tage mit mittl. Windgeschwindigkeit über 30 km/h	Tage mit maritimen Luftmassen	Tage mit kontinentalen Luftmassen	Tage mit störungsfreiem Schönwetter	Tage mit leicht gestörtem Wettergeschehen	Tage mit Schlechtwetter	mittlere pH-Verteilung Innenstadt v. Leipzig	mittlere pH-Verteilung ges. Stadtgebiet
7	8	18	11	19	1	25	6	7	22	2	4,2–6,1	—
22	13	14	9	21	1	9	22	8	23		4,2–7,3	—
14	18	10	14	15		10	19	13	16		5,4–5,6	6,8–7,4
35	13	7	12	14	5	17	14	13	16	2	5,9–6,4	5,5–6,5
25	5	10	7	20	3	30		10	15	5	5,9–7,0	5,6–7,1
33	9	4	11	17	3	23	8	10	16	5	5,6–6,7	5,6–7,2
40	5	9	15	14	1	25	5	17	9	4	6,3–7,0	6,0–7,5
39	10	6	10	20	1	22	9	18	10	3	6,5	6,3–7,0
42	8	13	9	22		29	2	18	9	4	5,8–6,7	6,1–7,0
34	4	7	13	17		19	11	14	15	1	5,4–7,1	6,6–7,6
38	12	13	10	21		17	14	16	12	3	4,7–6,1	5,8–7,5
23	5	8	4	20	6	29	1	3	26	2	6,1–6,5	6,9

Im Dezember fließt fast ununterbrochen milde Meeresluft nach Europa. Die Temperaturen liegen 3,7 grad über dem langjährigen Normalwert. Es kommt nur selten zu Schneefall (an 5 Tagen) und einer länger anhaltenden Schneedecke. Die reichlichen Niederschläge fielen gedrängt an wenigen Tagen, so daß längere niederschlagsfreie Perioden auftraten, die meist durch kräftige mehrschichtige Inversionen gekennzeichnet waren. Hier kam es zur Anreicherung von Immissionsprodukten, zumal das Windfeld jeweils nur schwach entwickelt war. So bringen in diesem Monat die ersten Niederschläge nach derartigen niederschlagsfreien Phasen immer besonders niedrige pH-Werte (am 6. und 30. 12.).

Hoher Druck über Nordosteuropa bestimmt das Wetter im Januar. Kalte Festlandsluft kann aus östlichen Richtungen einströmen. Die Bildung von tiefen und mittelhohen Inversionen begünstigt die Anreicherung von Immissionen. Die wenigen Niederschläge fallen daher besonders sauer aus. Erst Ende des Monats kommt es durch Schneefälle zu einer nachhaltigeren Reinigung der Atmosphäre.

Auch für den Februar ist hoher Luftdruck und antizyklonales Wettergeschehen typisch. Die Festlandsluft übertrifft die ozeanische Luftmassenzufuhr. Der Monat ist im ganzen zu warm. Nur unbedeutende Niederschläge fallen, und das Vorhandensein einer Schneedecke beschränkt sich auf wenige Tage. Über die Hälfte der Tage ist durch tiefe Inversionen ausgezeichnet, gleichzeitig dominieren schwachwindige Lagen, so daß sich in der stagnierenden Luft die Immissionen anreichern können, was sich in relativ niedrigen pH-Werten ausdrückt.

Der Monat März ist ebenfalls zu warm und sehr sonnenscheinreich. Das Druckfeld wird von einem Hoch über Osteuropa beherrscht, so daß milde kontinentale Luft von Südosten eindringen kann. Die pH-Werte liegen im Durchschnitt um 6, was erkennen läßt, daß das Heizen stark eingeschränkt werden kann.

In den Monaten April und Mai herrscht rege Zyklonentätigkeit. Kühles, nasses und sonnenscheinarmes Wetter mit vielen Kaltfrontdurchgängen ist bestimmend. Inversionen sind äußerst selten. Die häufigen Schauer bewirken eine ständige Reinigung der Atmosphäre, so daß die pH-Werte in diesen Monaten deutlich ansteigen. Obwohl im Juni das Wetter über Mitteleuropa von tiefem Druck über dem Atlantik bestimmt wird, sind ungestörte Wetterlagen doch recht häufig. Wiederholt treten Gewitter auf. Die kräftigen Labilitätsschauer bewirken eine optimale Reinigung der Atmosphäre, so daß die pH-Werte im Mittel recht hoch (6,3 bis 7,0) liegen. Im Monat Juli setzt sich bei anhaltender Warmluftzufuhr sommerliches Wetter durch. Die Niederschläge liegen unter dem langjährigen Durchschnitt. Gleiches gilt für den August, der hinsichtlich der Temperaturwerte etwas unternormal ist. Hochdrucklagen sind verbreitet. Trotzdem bleibt die Ventilation bei allgemein nur geringer Inversionsbildung ausreichend. Einige kräftige Schauer bringen wiederholt eine Reinigung der Atmosphäre, so daß die pH-Werte zumeist über 6,0 liegen.

Im Monat September bestimmt hoher Luftdruck über dem Nordatlantik und Nord-europa die Großwittersituation. Der Monat ist im ganzen zu kalt und zu trocken. Schönes oder nur leicht gestörtes Wetter herrschen vor. An 12 Tagen kommt es zur Ausbildung von Frühnebeln. Die Winde sind vorwiegend schwach und meridional gerichtet. Auch der Oktober ist im ganzen zu kalt, obwohl antizyklonale Wetterlagen überwiegen. Erst in der letzten Dekade setzt sich Schlechtwetter durch. Reichliche Inversionsbildung und gleichzeitig ungenügende Ventilation führen zur Anreicherung von Immissionen in den unteren Schichten, so daß der pH-Wert des Niederschlages in diesem Monat unter 5,0 absinkt. Gleichzeitig macht sich auch der Beginn der winterlichen Heizperiode bemerkbar.

Die kräftige zonale Strömung während des Novembers bedingt eine lebhaftige Störungstätigkeit. Die Auswaschung der Verunreinigungen aus der unteren Atmosphäre vollzieht sich in relativ kurzen Abständen, so daß der pH-Wert im Mittel gegenüber dem Vormonat höher liegt. Auffällig ist auch die Armut an tiefen und mittleren Inversionen in diesem Monat.

3. Der pH-Wert als Indikator der lufthygienischen Situation

Die allgemeine Kennzeichnung des Wettergeschehens während der Meßperiode läßt bereits deutlich erkennen, daß das Niveau des pH-Werts des Niederschlages sehr stark von der Struktur der Wetterlagen abhängig ist. Stagnierende Luftmassen, unzureichender vertikaler Austausch infolge von Inversionsbildung und Vorherrschen meridionaler Strömungssysteme führen zur Anreicherung von Immissionen in den unteren Schichten. Diese werden dann von den Niederschlägen mehr oder minder ausgewaschen und bedingen deren Säuregrad. Jedoch war es auf Grund des vorliegenden Materials nicht möglich, eine advective Komponente von der lokalen zu trennen. Denn nicht nur die örtlichen Emittenten tragen zur Säuerung des Niederschlages bei, die Wolkenluft wird bereits beim Überströmen westeuropäischer Industriegebiete durch Immissionen beeinflusst.

Weiterhin läßt sich sehr häufig beobachten, daß ein Niederschlag, der nach einer längeren Trockenperiode fällt, im allgemeinen wesentlich saurer ist, als wenn es täglich regnet. Hier läßt sich deutlich ein Selbstverstärkungseffekt nachweisen.

Ferner sind Schauerniederschläge anders zu bewerten als Aufgleitregen. Bei ersteren ist infolge der hohen Turbulenz der sie begleitenden Kaltluftmassen von vornherein eine stärkere Durchmischung der vorhandenen Immissionen gewährleistet, so daß der Auswaschungseffekt geringer ist und somit das Regenwasser neutraler erscheint.

Zweifellos spielt auch die Höhe, aus welcher der Niederschlag fällt, eine maßgebliche Rolle, denn bei hochgelegenen Kondensationsniveau müssen die Tropfen eine wesentlich längere Strecke durchfallen, und auf diese Weise wird ein weit umfangreicheres Luftvolumen „gereinigt“. Darüber jedoch exakte aerologische Daten zu erhalten, ist im Einzelfall schwierig, und so mußte diese Fragestellung ausgeklammert bleiben.

Ebenso konnte zur Problematik, ob Schnee oder flüssiges Niederschlagswasser einen höheren Reinigungseffekt bewirken, nichts beigetragen werden, da der Winter 1971/72 ausgesprochen schneearm war und nicht genügend Vergleichsmaterial beigebracht werden konnte. Auffälligerweise ließ ein Schneefall Ende Januar 1972 den um 5,5 liegenden pH-Wert auf 7,0 emporschnellen. Man sollte diese Veränderung aber wohl nicht allein dem Schneefall zuschreiben, da anschließend in breitem Strom von Nordosten arktische Polarluft zuströmte, die u. U. von Natur aus sehr rein war. Wie bereits erwähnt wurde, ist die advektive Komponente bei der Beurteilung der Immissionswirkung sehr entscheidend, doch nicht leicht zu erfassen. Beispielsweise ist die herrschende Höhenströmung wichtiger als der gerade vorhandene Bodenwind, der durch diverse orographische Effekte verfälscht sein kann.

Die Messungen verteilen sich über den gesamten Zeitraum vom 6. 12. 1971 bis zum 23. 11. 1972 (Tab. 2), sind jedoch von der Häufigkeit der Niederschläge abhängig. So liegen aus den anormal trockenen Monaten Januar und Februar 1972 insgesamt nur 9 Messungen vor. Auch der Umstand daß sehr geringfügige Niederschläge nicht berücksichtigt werden konnten, worauf schon hingewiesen wurde, machte sich störend bemerkbar. Ferner war während der Urlaubszeit die Kontinuität der Messungen an den Außenstellen nicht gewahrt. Schließlich traten gegen Ende der Meßperiode wegen mehrfachen Ausfalls des pH-Meters größere Lücken in Erscheinung.

Tabelle 2. Anzahl der Messungen in den einzelnen Monaten

Monat	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Σ
Geograph. Institut (Zentralstation)	10	5	2	6	12	11	9	3	4	7	3	3	75
Zusätzliche Meßstellen	—	—	2	9	55	68	44	20	22	17	6	3	246

Insgesamt konnten am Geographischen Institut (zentrale Meßstelle) 75 Niederschlagsereignisse erfaßt werden. Dazu kamen weitere 246 Messungen von über das Stadtgebiet verteilten Meßstellen.

Beschränken wir uns zunächst auf die am Geographischen Institut gewonnenen Meßwerte des pH (Abb. 1). Die dargestellte Punktfolge läßt deutlich einen Jahresgang erkennen. Die Monate Dezember bis März und Oktober weisen die niedrigsten pH-Werte auf, während in der warmen Jahreszeit von April bis September die pH-Werte größtenteils über 6,0 liegen. Die hohen Novemberwerte, die sich ausschließlich auf eine Sturmperiode beziehen, können nicht als repräsentativ angesehen werden, zumal nur 3 Messungen vorliegen.

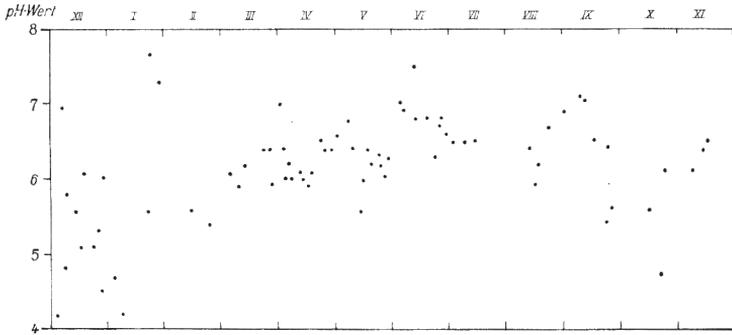


Abb. 1. pH-Werte des Niederschlags während der Monate Dezember 1971 bis November 1972 in Leipzig (Meßstelle: Geograph. Inst. d. AdW, 701 Leipzig, Dimitroffplatz 1)

Ursache für die winterlichen Tiefstwerte dürfte in erster Linie der Hausbrand sein. Die Braunkohle, die in Leipzig vorrangig zur Verwendung gelangt, ist bekanntlich sehr schwefelhaltig, so daß das emittierte SO_2 hauptsächlich den hohen Säuregrad der Niederschläge bedingt. Hingegen wirken sich kaum die Aschebestandteile, die den pH-Wert nach der alkalischen Seite hin beeinflussen müßten, aus. Zweifellos sind aber daneben auch Industrie-Immissionen aus dem Industriegebiet im Raum Leipzig-Halle mit verantwortlich zu machen. So sind bei südlichen Strömungen die Immissionen der Braunkohlenindustrie des Borna-Meuselwitzer Reviers sowie die Großkraftwerke und Hydrieranlagen der Kombinate Espenhain und Böhlen in Leipzig geruchsmäßig zu spüren, da außer SO_2 auch stark geruchsbelästigende Stoffe wie Äthylmerkaptan, Phenol und Schwefelwasserstoff (Hönsch 1968) in den Abgasen enthalten sind.

Tabelle 3. Die jahreszeitliche Verteilung des pH-Wertes des Niederschlags (Gruppen in % der einzelnen Jahreszeiten nach Werten der Abb. 1)

pH-Wert Gruppe	Dez.—Febr.	März—Mai	Juni—Aug.	Sept.—Nov.
$\geq 7,0$	12	—	12	15
6,0—6,9	13	79	82	54
5,0—5,9	44	21	6	23
$< 5,0$	31	—	—	8

In Tabelle 3 sind die Messungen des pH-Wertes des Niederschlags nochmals nach Intervallen zusammengefaßt, wodurch sich die Saisonverteilung noch deutlicher abzeichnet und sich bestimmte Schwellen- und Grenzwerte ablesen lassen.

Wenn auch der pH-Wert der Niederschläge nach vorliegenden Beobachtungen primär durch die Emittenten, die im näheren oder weiteren Umkreis der Meßstelle gelegen sind, gesteuert wird, ist trotzdem ein gewisser advektiver Einfluß nicht auszuschließen. Dazu wurde der Zusammenhang zwischen Höhe des pH-Wertes und der wirksamen Luftmasse getestet (Tab. 4). Auf die dabei eingehenden Unsicherheiten braucht nicht besonders hingewiesen zu werden. Bekanntlich sind bei frontengebundenem Wettergeschehen in der Regel mehrere Luftmassen im Spiel, so daß es nicht leicht ist, einzuschätzen, welchen der beteiligten Luftkörper der maßgebliche Einfluß bei der Formierung des pH-Wertes zuzuordnen ist.

Tabelle 4. Zusammenhang zwischen pH-Wert des Niederschlages und wirksamer Luftmasse im jahreszeitlichen Rhythmus (in ‰)

pH	Dez.—Febr.	März—Mai	Juni—Aug.	Sept.—Nov.
über 6,0	33 m P 33 c P 33 c Tp	18 m P _A 9 c P _T 5 c P _A 18 m T _P 27 m P 9 m T 14 m P _T	57 m P 6 c T 6 m P _T 25 m T _P 6 c T _P	11 m P _A 78 m P 11 c P
5,0—6,0	11 m P _A 44 m P 33 c P _T 11 m T _P	17 m P _A 17 c P _A 66 m P	100 m P	100 m P _A
unter 5,0	50 c P 25 m P _T 25 m T _P	—	—	100 m P

Die These, daß sich maritime Luftmassen in typischer Weise von kontinentalen unterscheiden, trifft für den pH-Wert der Niederschläge nicht zu. Die sauersten pH-Werte sind sogar bevorzugt mit Meeresluftmassen vergesellschaftet. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die vom Atlantik her einfließenden Luftmassen auf ihrem Wege nach Mitteleuropa die westeuropäischen Industriegebiete überströmen müssen und sich dabei mit Immissionen anreichern können. Ferner läßt Tabelle 4 erkennen, daß Luftmassen arktischen Ursprungs vorwiegend sehr hohe pH-Werte zeigen, wobei in den Monaten März bis Mai besonders auch die kontinentale arktische Polarluft vertreten ist.

Schließlich wurden auch die wechselseitigen Beziehungen zwischen Typen von Störungslinien und den ihnen zugeordneten pH-Werten der Niederschläge in der jahreszeitlichen Verteilung (Tab. 5) geprüft. Dabei zeigte sich einerseits manches Erwartete. Beispielsweise erwiesen sich die Niederschläge an Kaltfronten im Durchschnitt als weniger sauer als an anderen Fronten. Dies hängt ursächlich mit der besseren Durchmischung der Kaltluftmassen infolge hoher Turbulenz zusammen. Möglicherweise können sich in den großtropfigen, kurzfristigen Schauerniederschlägen auch nicht so viel Immissionen lösen, so daß der wash-out geringer ist. Interessant ist, daß auch Kaltfronten hinsichtlich des pH-Wertes einen wenn auch nur wenig ausgeprägten jährlichen Gang aufweisen.

Tabelle 5. Jahreszeitliche Abhängigkeit des pH-Wertes des Niederschlages von Fronttypen

Fronttyp	Dez.—Febr.	März—Mai	Juni—Aug.	Sept.—Nov.
Kaltfronten	5,1—7,9	6,1—6,7	6,3—7,0	6,3—7,1
Warmfronten, Okklusionen	5,0—6,1	5,8—6,4	6,0—6,5	5,6—6,6
schwache Störungslinien	4,4—5,8	5,8—6,1	5,8—6,4	4,7—5,4
nicht front- gebundene Niederschläge	4,5—5,1	5,6—6,9	—	5,4—6,9

Daß das nicht frontgebundene Wettergeschehen die sauersten Niederschläge hervorbringt, erklärt sich weitgehend aus dem zugehörigen Witterungscharakter. Es handelt sich meist um stagnierende Luftmassen, die zur Ausbildung von Sperrschichten neigen. Kleintropfiger Niederschlag (Niesel) fällt dabei aus Hochnebel, der sich unter Inversionen gestaut hat. Derartige Wetterlagen sind besonders in der kalten Jahreszeit häufig. Weiterhin rechnen Lagen mit Kaltlufttropfen in der Höhe dazu, in denen ebenfalls in der unteren wärmeren Luft Ausbildung von Inversionen und damit Verhinderung einer ausreichenden Ventilation zu verzeichnen ist. Synoptische Ursachen sind also für die Gestaltung des pH-Wertes zumeist vorhanden. Trotzdem gibt es Einzelfälle, die die Regel nicht bestätigen, so daß man nur jahreszeitliche Richtwerte angeben kann, die innerhalb gewisser Grenzen schwanken. Ein reicheres Beobachtungsmaterial würde es ermöglichen, hierfür die zu erwartenden Wahrscheinlichkeiten zu berechnen.

4. pH-Verteilung im Stadtgebiet bei ausgewählten Wetterlagen

Abschließend seien einige Ergebnisse der Auswertung der zusätzlichen Messungen mitgeteilt. Sie ermöglichen Aussagen über die Verteilung des pH-Wertes des Niederschlages über das gesamte Stadtgebiet von Leipzig.

Einmal ist deutlich zu erkennen, daß in der Mehrzahl der Fälle – besonders in den Wintermonaten – die Innenstadt um 0,3 bis 1,5 pH-Wert-Einheiten unter den Außenbezirken liegt. Hier spiegelt sich der höhere Verunreinigungsgrad der Stadtluft eindrucksvoll wider. Zumeist beträgt dieser Unterschied nur 0,3 bis 0,4 pH-Wert-Skalenteile. So maß z. B. das Institut bei einer Märzwetterlage (26. 3.) 6,5, während die Außengebiete 6,9 zeigten, analog im August (17. 8.) im Institut pH = 6,4 gegenüber dem Stadtrand mit pH = 6,8. Größere Schwankungen ergaben sich im Februar (25. 2.) mit einem Gradienten von 5,4 (Institut) zu 6,8 (Stadtrand).

In den Monaten April, Mai und Juli gab es aber auch häufig Wetterlagen, bei denen im ganzen Stadtgebiet ziemlich einheitliche pH-Werte von etwa 6,6 bis 6,7 gemessen wurden. Meist handelte es sich um Kaltluftwetterlagen (Rückseitenwetter) mit lebhafter Schauertätigkeit.

Ferner wurden Profile des pH-Wertes nach verschiedenen Richtungen vom Stadtzentrum aus regelmäßig geprüft. Während eine Beeinflussung vom nördlich von Leipzig gelegenen Bitterfelder Industriegebiet nicht nachweisbar war, war die Einwirkung durch die Kombinate Espenhain und Böhlen recht häufig festzustellen. Das nach Südosten gerichtete Profil, das 3 im Abstand von 3,5 und 15 km vom Stadtzentrum entfernt gelegene Meßstellen umfaßte, zeigt unter sogenannten „Normal“-Verhältnissen einer Westlage (5. 4.) z. B. folgende Werte: Geogr. Inst. pH = 5,9, $M_{3\text{km}}$: 6,5; $M_{5\text{km}}$: 6,7; $M_{15\text{km}}$: 7,1. Hingegen bei einer Wetterlage mit südwestlicher Strömung (10. 3.) liegt der äußerste Meßpunkt unmittelbar in der Anströmrichtung des Kombinats Espenhain, und der pH-Wert sinkt hier auf 5,5, während das Geogr. Inst. 5,9 und die M_3 und M_5 pH = 6,4 zeigten. In einer früheren Untersuchung über die Geruchsbelästigung durch die nordwestsächsische Braunkohlenindustrie (Schmidt 1956) hatte ich Beobachtungen über die Reichweite der Exhalationen in Bodennähe zusammengetragen und zeigen können, daß selbst mittlere Waldgebiete kaum etwas zur Filterung derartiger Immissionsfahnen beitragen, sondern glatt überströmt werden. Ein ähnliches Gefälle des pH-Gradienten von der Innenstadt nach außen konnte dem Südprofil entnommen werden, wobei hier modifizierend ein Bahngelände sowie ein Gaswerk als örtliche Emittenten den pH-Wert beeinflussen.

Die in einer vorangehenden Studie über die lufthygienische Situation von Leipzig während winterlicher Wetterlagen (Schmidt 1972) mehr thesenhaft formulierten Schlußfolgerungen konnten wiederum bestätigt werden.

- Zonale Zirkulation bringt die beste Ventilation, und demzufolge ist dann auch der Säuregrad der Niederschläge am geringsten.
- Ferner reagieren arktische Polarluftmassen sehr neutral.
- Die ortsbürtigen Immissionen wirken sich am stärksten bei stagnierenden Wetterentwicklungen mit Inversionsbildung aus.
- Der advektiv bedingte Anteil des pH-Wertes des Niederschlags ist vorläufig nicht exakt bestimmbar.

Insgesamt zeigt sich, daß derartige Messungen lohnende Ergebnisse bringen, und es erscheint dringend erforderlich, auf diesem Gebiet ein langjähriges Material zusammenzutragen und dabei bei derartigen Testuntersuchungen, wie sie hier für den Raum Leipzig versucht werden, ein dichteres Grundnetz zu verwenden. Die Betreuung eines solchen Meßnetzes kann wegen des damit verbundenen Aufwandes naturgemäß nur über eine begrenzte Zeit hin durchgeführt werden, wobei sich die Meßmethodik ohne Zweifel noch verbessern ließe.

Daneben ist aber eine laufende Kontrolle der atmosphärischen Situation an zentralen Meßstellen erforderlich.

S c h r i f t t u m

- Brosset, C.: Air-borne Acid. *Ambio* 2 (1973) 1–2.
- Goerke, W.: Immissionswirkungen auf die belebte Umwelt. In: *Belastete Landschaft – Gefährdete Umwelt*. München 1971.
- Hönsch, F.: *Der Industriekomplex Böhlen*. Diss. Potsdam 1968.
- Oden, S.: pH-Karten für Europa. Oslo 1971.
- Rönicke, G.: Langzeitwirkungen von Luftverunreinigungen. *Natur u. Landschaft* 44 (1969) 8.
- Schmidt, G.: Geruchsbelästigungen durch die Braunkohlengroßindustrie im Leipziger Bezirk in Abhängigkeit von der Wetterlage. *Wiss. Z. KMU Leipzig* 5 (1955/56) 613–618.
- Schmidt, G.: Vergleich der witterungsklimatischen Verhältnisse der beiden Winter 1969/70 und 1970/71 im Hinblick auf die lufthygienische Situation von Leipzig (1972, unveröff.).

Prof. Dr. Gerhard Schmidt
DDR - 7027 Leipzig
Kurt-Huber-Weg 12