

This article was downloaded by:

On: 19 January 2011

Access details: *Access Details: Free Access*

Publisher *Taylor & Francis*

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



International Journal of Environmental Analytical Chemistry

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713640455>

Analytische Chemie und Luftqualitaet

Hanns Malissa^a

^a Institut für Analytische Chemie, Technische Hochschule Wien, Vienna, Austria

To cite this Article Malissa, Hanns(1974) 'Analytische Chemie und Luftqualitaet', International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 3: 4, 271 – 285

To link to this Article: DOI: 10.1080/03067317408071088

URL: <http://dx.doi.org/10.1080/03067317408071088>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Analytische Chemie und Luftqualitaet

HANNS MALISSA

*Institut für Analytische Chemie,
Technische Hochschule Wien, Vienna, Austria*

The necessity for system-orientated working procedures when analytical air-quality standards are to be determined is described. The possibility of the introduction of an integrated air module is discussed, and its application in a first model system of simulated and practical values is evaluated.

Nach kurzen allgemeinen Betrachtungen wird auf die Notwendigkeit einer systemorientierten Arbeitsweise bei der Frage der analytischen Luftqualitätsbetrachtungen hingewiesen. Auf eine Möglichkeit, einen integrierten Luftmodul zu schaffen, wird hingewiesen und diese für eine erste Modellbetrachtung an simulierten und praktischen Werten diskutiert.

1. EINLEITUNG

Die Umwelt, ihr Schutz und ihre Verbesserung sind sehr komplexe Begriffe, die vom wissenschaftlichen, analytischen Standpunkt vorerst einer system- und informationstheoretischen und anschließend einer analytisch-technologischen Betrachtung bedürfen, um dann emotionslos wirtschafts- und sozialpolitisch einer Lösung zugeführt zu werden.

Es gilt festzulegen, *welche* Umwelt *wovor* geschützt werden soll. "Umwelt" ist auch bei Ausklammerung philosophischer und psychologischer Aspekte außerordentlich komplex, und jedes Element, jedes Subsystem weist eine Menge Inter- und Intrabeziehungen auf, die ein sehr kompliziertes und komplexes Gesamtsystem schaffen. Es wird also unbedingt notwendig sein, um erfolgreich Umweltschutz betreiben zu können, systemtheoretisch und

informationstheoretisch mit allen Disziplinen der Naturwissenschaften, der Human- und der Veterinärmedizin, Botanik, Verfahrenstechnik usw., besonders aber mit der Analytischen Chemie und Informatik zusammenzuarbeiten, um ein gesamtökologisches System zu schaffen, welches *nicht nur* die *Erhaltung* der einzelnen Spezies gestattet, sondern auch deren optimalen Lebensbedingungen möglichst nahe kommt. Es kann auch soweit kommen, daß eine physikalische oder chemische Ausgangsgröße eines Subsystems das Eingangselement im System Umwelt—Mensch darstellt, welches, ohne dabei immer an Krieg denken zu müssen, schlimme Folgen haben kann. (Komplexe wirtschaftspolitische Zentralisations- und Dezentralisationserscheinungen, aber auch "einfache" chemisch physikalische Reizpsychosen, die zu Verbrechen führen oder Operationsverschiebungen bei bestimmten Wetterlagen, Demonstrationspsychose, usw.).

Von diesem Standpunkt aus sehen wir auch die Schwierigkeit, ja die Unmöglichkeit, eine *allgemein gültige Definition* für den Umweltschutz als solchen zu finden. Es gibt zuviele unterschiedliche Umwelten, um—außer in simplifizierenden Venn-Diagrammen—einer einfachen Darstellung zugänglich zu sein.

Einige Zusammenhänge zwischen Umweltschutz und Analytischer Chemie sind sehr deutlich im Endbericht der ersten Sitzungsperiode des der UNO angehörenden "International Co-ordinating Council of the Programme on Man and the Biosphere" enthalten und haben auch für uns volle Gültigkeit, wovon ohne Abwertung der anderen Punkte die Punkte 4 und 5 des Programmes besonders hervorgehoben sein sollen:

4) *to develop ways and means to measure quantitative and qualitative changes in the environment in order to establish scientific criteria to serve as a basis for rational management of natural resources including the protection of nature, and for establishment of standards of environmental quality;*

5) to help bring about greater global coherence of environmental research, by:

a) *establishing comparable, compatible and, where appropriate, standardized methods for the acquisition and processing of environmental data,*

b) promoting the exchange and transfer of knowledge on environmental problems.

Hier ist ausgesprochen, was früher oder später bei jeder ensthafte n Betätigung auf dem Gebiete des Umweltschutzes zutagetritt, nämlich *Messen* und *Kontrollieren*, d.h. also *Analysieren*. Dies ist zumindest so wichtig wie die Gesetzgebung und die Technologien, die zum Abstellen der Unzukömmlichkeiten führen sollen. Daher ist es nicht nur berechtigt, sondern sogar notwendig, die Rolle der Analytischen Chemie in ihrem ganzen Umfang bei

Umweltschutzaufgaben aufzuzeigen. Es gibt keine Umwelthygiene, keine Umwelttherapie und keine Umweltprophylaxe ohne Analytische Chemie. Die Analytische Chemie kann ohne Umweltschutz sehr wohl bestehen, aber der Umweltschutz ohne Analytische Chemie nicht, denn nur sie kann die Unsicherheiten im Urteil eliminieren. Vor diesem Hintergrund muß man auch die Bestrebungen und Arbeiten der Analytischen Chemiker betrachten.

Es ist ein unmögliches Beginnen, all die Punkte aufzuzählen, wo die Analytische Chemie mit welchen Mitteln eingreift und es würden zuviele Gemeinplätze dargestellt werden. Man kann bereits Bücher schreiben über GC und Umweltschutz oder TLC und Umweltschutz usw. Daher soll hier auch nur auf einige Punkte und auf mögliche Fehlentwicklungen, die dem heutigen Stand der Wissenschaft nicht gerecht sind, hingewiesen werden.

Da sich Österreich immer mehr einem, mit Ballungsgebieten versehenen Industriestaat nähert, müssen wir aus vergleichbaren Unterlagen Rückschlüsse ziehen, um daraus die entsprechenden Handlungsweisen abzuleiten und Doppelarbeiten zu vermeiden. Da wir nicht immer von vorne beginnen sollen und Probleme gelöst werden müssen, die von anderer Seite schon gelöst sind. Diese Gefahr ist bei den unkoordinierten Einzeluntersuchungen ungeheuer groß. Es gibt wenig Probleme, die die Analytische Chemie nicht lösen kann, aber es werden zuviele *falsch angefaßt* und wertvolles Gut vertan. Dieses *falsche Tun* kann auf verschiedenen Faktoren beruhen (1) wegen unangemessener Systeme und Modelle (2) wegen unangemessener analytischer Meß- und Auswerteverfahren, (3) wegen unwahrscheinlicher Ereignisse und (4) wegen unbekannter Probleme.

Zu (1), (3) und (4) wäre zu sagen, daß diese Gebiete der interdisziplinären, ökologischen Systemtheorie gehören und hier—obwohl äußerst wichtig—nicht abgehandelt werden können, sondern einem qualifizierten Gremium überlassen werden müssen. Zum (2) Punkt sind wir aber jetzt schon sehr stark aufgerufen zu antworten und zu handeln.

Wenn etwas geschützt werden soll, so muß die Natur und die Zusammensetzung des zu schützenden Systemelementes bekannt und definiert sein, denn nur so treffen wir die Forderung der z.B. durch die UNO vertretenen Menschheit, indem wir *meßbare* Kriterien schaffen.

2. ANALYTISCHE CHEMIE UND DAS LEBENSELEMENT "LUFT"

Seit Cavendish 1783 ist die Grundzusammensetzung der Luft—der man vorübergehend die "Formel" $N_{79}-O_{21}$ zuordnete—bekannt und 1937 hat u.a. der Österreicher Paneth die Zusammensetzung "unserer" Luft d.h. die die Erde bis zu einer Höhe von etwa 10 km umgebenden, meist einer guten Bewegung unterworfenen Atmosphäre, erarbeitet. Betrachtet man diese

B

Grundzusammensetzung—die sich selbstverständlich schon aufgrund der unterschiedlichen Gasdichten mit der Höhe wesentlich verschieben kann—so sieht man (Bild 1) daraus schon die enorme analytische Aufgabe, mit der wir konfrontiert sind. Drei Bestandteile stellen die fast konstant bleibende Matrix (99,96%) dar und normalerweise *sollte* die Summe der Spurenbestandteile 400 ppm nicht übersteigen. Diese 400 ppm werden von etwa 15 ständig

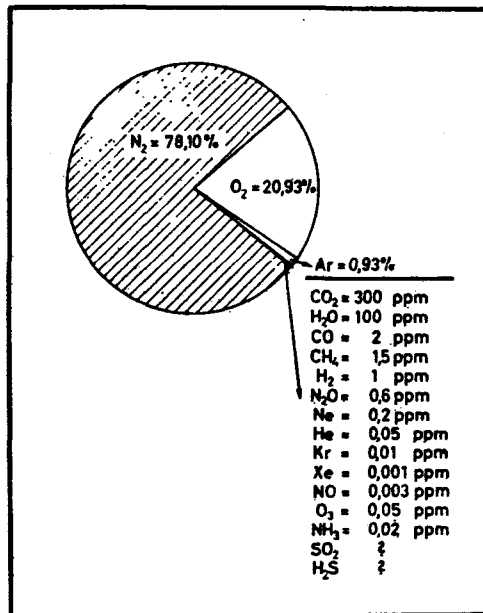


ABBILDUNG 1 Zusammensetzung für reine Luft.

vorkommenden Begleitern aufgebaut, wovon CO_2 den Hauptbestandteil darstellt. Diese Tatsache zeigt, daß *Luftanalyse* im Sinne des Umweltschutzes *immer Spurenanalyse* bedeutet und dementsprechende Handlungsweisen verlangt.

Somit ließe sich die Frage *was* eigentlich geschützt bzw. verbessert werden soll einigermaßen beantworten, wenn es für die "reine" Luft bzw. für eine Standardluft bereits eine verblindliche internationale Konvention gäbe. An Vorschlägen dazu wird vielerseits gearbeitet.

Jede Änderung der (chemischen) Zusammensetzung muß erfaßt *und* in Rechnung gestellt werden, gleichgültig, ob sie von "natürlichen" Fremd-

stoffen z.B. Pollenstaub, vulkanischen Gasen, durch Luftbewegung aufgewirbelte Staub- und Sandteilchen oder durch "künstliche" durch die menschliche Tätigkeit verursachte Fremdstoffe, hervorgerufen wurde. Von den Millionen und Abermillionen Tonnen Schadstoffen werden z.B. in den USA zur Zeit 42 ständig überwacht und für etwa 60 Verbindungen gibt es bereits mehr oder minder verbindliche MIK, MEK bzw. über 400 MAK-Werte. Die Erarbeitung weltweit anerkannter Grenzwerte für Schadstoffe ist vorwiegend eine analytische Tätigkeit ersten Ranges, denn damit wird ein *erstes Kriterium* zur Überwachung geschaffen. In den USA gibt es bereits für Los Angeles durch Gesetz folgende Werte, bei deren Überschreitung Alarm gegeben wird (siehe Tabelle I).

TABELLE I

Verbindung	Warnstufen		
	I. Stufe	II. Stufe	III. Stufe
CO	100 ppm	200 ppm	300 ppm
SO ₂	3 ppm	5 ppm	10 ppm
NO _x	3 ppm	5 ppm	10 ppm
O ₃	0,5 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm

Für NRW gibt es 2 Alarmstufen:

- 1) wenn der SO₂-Gehalt der Luft $2,5 \text{ mg/m}^3 = \text{etwa } 1 \text{ ppm}$ und
- 2) wenn der SO₂-Gehalt der Luft $5 \text{ mg/m}^3 = \text{etwa } 2 \text{ ppm}$ übersteigt.

In Österreich gibt es derzeit keine gesetzlichen Alarmgrenzwerte. Daher sind örtliche Vereinbarungen zwischen Behörde und Emittent umso mehr zu beachten. Vorbildlich sind in diesem Zusammenhang die ÖSW-Linz, die sich freiwillig verpflichtet haben, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, wenn z.B. der SO₂-Gehalt der Luft 4 mg/m^3 also etwa 2 ppm durch mehr als 15 Minuten überschreitet.

Betrachten wir Bild 2, den Gesamtausstoß der 5 häufigsten Luftschadstoffe und die dazugehörige Aufschlüsselung auf die Hauptemittenten, so erhalten wir sofort eine Vorstellung *wovor* geschützt werden soll.

In Zukunft werden aber derartige, nur die einzelnen Komponenten für sich betrachtenden Gesetzesbestimmungen oder freiwillige Vereinbarungen *nicht zielführend sein*, da sie die *synergetischen* Wechselbeziehungen mit den wichtigen anderen, gleichzeitig vorhandenen Komponenten nicht berücksichtigen. Es wird also ein vordringliches Anliegen sein, dafür die entsprechenden *Modelle* sowie Kennwerte und simultan mehrere Komponenten analysierende Automaten zu schaffen.

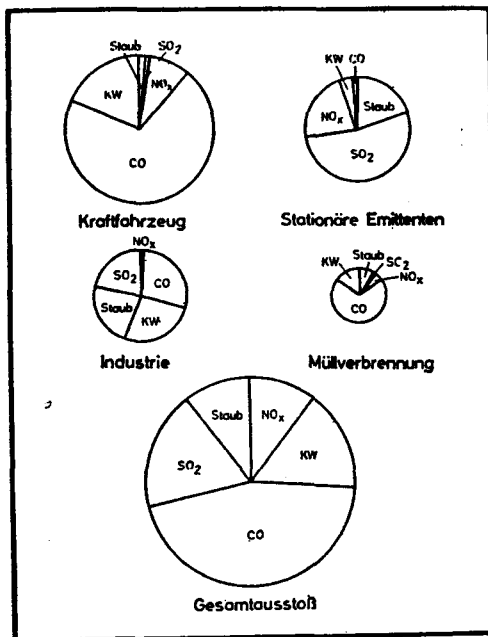


ABBILDUNG 2 Mengenverteilung der häufigsten Schadstoffe.

Die gleichzeitige, exakte analytische Erfassung von 10 bis 15 der, die Biosphäre belastenden Schadstoffe ist Grundvoraussetzung zur emotionslosen sachlichen Beseitigung ihrer Ursachen. Zusätzlich sind die relevanten notwendigsten Bedingungen zu registrieren und einer gemeinsamen Auswertung zuzuführen. Dies ist sehr kostenintensiv und es ist daher zu überlegen als erste Stufe 2–3 relevante Schadstoffe (ev. SO₂, CO und Kohlenwasserstoffe), die sich bereits gut automatisch simultan bestimmen lassen, als Leitkomponenten und Modellhilfe anhand eines Meßnetzes zu messen und mit den meteorologischen Bedingungen zu korrelieren.

3. SYSTEMTHEORETISCHE GESICHTSPUNKTE ZUR LUFTQUALITÄT

3.1. Einleitung

Für den im Umweltschutz tätigen Analytiker gilt als oberste Maxime, alles daranzusetzen, um systemorientierte analytische Prozeduren (SAP) zu

schaffen. Ein derartiges Vorgehen verlangt aber wiederum systemtheoretische Überlegungen und Modelle. Er muß also die vier wichtigsten diesbezüglichen Schritte, nämlich

- Problemstellung
- Abgrenzung
- Modellerstellung und
- Simulation

einhalten. Was im einzelnen darunter zu verstehen ist, ist in der einschlägigen Literatur niedergelegt.

Ein Beispiel soll dies veranschaulichen:

Betrachtet man im Modell (Bild 3) die Standardluft als Eingangsgröße einer black box, aus der im Output die "gestörte" Standardluft als "Gebrauchsluft" austritt, so sieht man sofort, daß—auch wenn z.B. nur Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Wind, SO_2 , CO , KW und Staub betrachtet

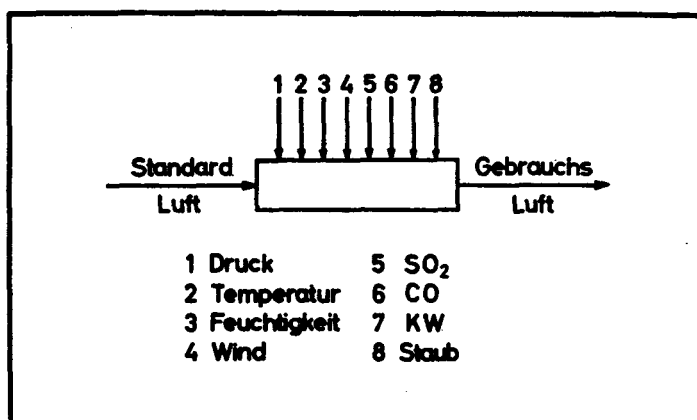


ABBILDUNG 3 Systemtheorie für den Luftmodul.

werden—eine Input/Output—Analyse praktisch nicht zielführend sein kann, denn wir haben demnach 8 zusätzliche Eingänge zu je zwei Zuständen d.h. an möglichen zusätzlichen Eingangszuständen erhalten wir $n = 2^8 = 256$ und an möglichen Funktionen $f = 2^{256} = 1,2 \cdot 10^{77}$. Mit anderen Worten müssen wir nach der Trial-and-Error-Methode vorgehen und das Problem in mehrere kleine black boxes zerlegen. Diese erste Rückkopplung zwischen Modell und Abgrenzung zwingt schon dazu, daß das Modell Standardluft → Gebrauchsluft zerlegt werden muß. Dabei ist noch gar nicht gesagt, daß die Simulation, d.h. die Errechnung der Maßzahlen nach diesem Modell nicht

zu weiteren Rückkopplungen und Veränderungen in Abgrenzung und Modellerstellung führen wird. Eine weitere Rückkopplung auf die Abgrenzung ergibt sich schon aus der Tatsache, daß wir noch über keine befriedigende Aerosolbestimmungsmethode verfügen, d.h. Aerosole müssen vorderhand außer Betrachtung bleiben.

Setzen wir z.B. die relevanten Angaben in der DIN-Vorschrift 2104 als ein Maß für die Standardluft, so läßt sich aufgrund analytischer Daten, durch eine "pewichtete" Quotientenbildung mit den gemessenen Komponenten ein Modul bilden und wir erhalten so einen, für automatische Datenverarbeitungsmaschinen gut verwendbaren Operator, den *Luftmodul*.

3.2. Der Luftmodul

Der Luftmodul ist, für die ersten Diskussionsstufen desselben Modells, der Quotient aus den Bestandteilen der Standardluft durch die Bestandteile der Gebrauchsluft und sollte im Idealfall 1 sein.

Nun setzt sich die Luft aus verschiedenen Komponenten zusammen, die für verschiedene Systemelemente (Mensch, Pflanze etc.) unterschiedliche Bedeutung haben und daher unterschiedlich gewichtet werden müssen.

Als erste Stufe zur Erarbeitung eines echten LM., der sich auf das *jeweils analysierte Volumen Luft bezieht* und nichts zu tun hat mit Verteilungs- bzw. Ausbreitungsmodellen, wie sie z.B. von der EPA in den USA bearbeitet werden, ist die Abgrenzung und vorläufige Quantifizierung der zum Luftmodul führenden Einzelmoduli notwendig. In vorerst empirischer Vorgangsweise, die auch Bodenunebenheiten bei der aktuellen Messung und Auswertung berücksichtigt, werden die Ansätze anhand aktueller Meßdaten zu erstellen sein. Aber auch das amerikanische Modell zur Berechnung der Luftqualität ist ebenfalls rein empirisch erstellt worden und setzt überdies voraus, daß die Schadstoffe inert sind und bleiben. Eine Voraussetzung, die bestimmt nicht zutrifft.

Das Modell "Luftmodul" wird also nach der 2. Abgrenzung zerlegt in:

- | | | |
|------------------------------|---------------------|------|
| 1) chemische Zusammensetzung | = chemischer Modul | = CM |
| 2) Feuchtigkeit | = Feuchtmodul | = FM |
| 3) Druck | = Druckmodul | = DM |
| 4) Temperatur | = Temperaturmodul | = TM |
| 5) Festteilchen | = Festteilchenmodul | = SM |

Jeder dieser Moduli ist der Quotient zwischen deren jeweiligen relevanten Soll- und Istzuständen und sollte im Idealfall 1 betragen, so daß auch das Produkt der 6 vorläufigen Moduli im Idealfall 1 beträgt.

$$LM. = CM. \times FM. \times DM. \times TM. \times SM.$$

Mit diesem Vorgehen soll der synergetische Faktor mehrerer Komponenten berücksichtigt werden.

Erst wenn der so erhaltene Luftmodul mit einer Meßstellenmatrix korreliert wird, haben wir ein systemgerechtes Informations-schema erarbeitet.

3.2.1. Der "chemische" Modul

Ausgehend von der Übereinkunft, daß jede 400 ppm übersteigende Fremdstoffkonzentration die Standardluft "verschlechtert," wird anstelle der Summe aller Luftbestandteile nur die Summe der Spurenbestandteile zur Quotientenbildung herangezogen. Wichtig ist allerdings, daß die Schädigung der einzelnen Fremdstoffe *taxiert* wird. Dies geht am einfachsten anhand der MIK_D -Werte und zwar ist (für die 1. Arbeitsstufe) folgende Gruppenteilung vorgesehen (Tabelle II).

TABELLE II

MIK_D ("erlaubt") ppm	f_{x_i}	Multiplikationsfaktor
bis 0,01	10	Gilt z.B. für Diäthylamin,
bis 0,3	5	Dinitrobenzol, Phenole,
bis 1,0	3	ClF_3 , SO_2 , NO_x , Cl_2 ,
bis 10	2	Benzol, CO, Cyclohexan,
bis 100	1,5	HC1, Diäthyläther

Die Heranziehung des jeweiligen MIK -Dauerwertes erscheint schon deshalb gerechtfertigt, weil er nach dem derzeitigen Stand nicht nur für 8 Stunden, sondern für den dauernden Aufenthalt vorgesehen ist, auf alle Personengruppen anzuwenden ist, sowie Geruchsbelastungen und zum Teil Pflanzenschädigungen mit in Betracht zieht.

Damit wird der Toxizität der einzelnen Schadstoffe Rechnung getragen. Das heißt, über dem spezifischen Pegel liegende Konzentration (ppm) wird entsprechend vervielfacht.

Zum Beispiel beträgt für eine Meßstelle in Wien der vorsichtig geschätzte Pegel $0,120 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 = 0,04 \text{ ppm}$. In der Heizperiode Oktober 1971 bis April 1972 war der Durchschnitt $0,230 \text{ mg SO}_2$; die Überhöhung betrug also $0,110 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 = 0,04 \text{ ppm}$. Dieser Wert $\times 5$ (siehe oben) = $0,20 \text{ ppm}$.

$$CM = \frac{400}{400 + [(SO_2\text{-Überhöhung}) \cdot f]} = \frac{400,00}{400,20} = 00,9995.$$

Das heißt bezogen auf SO_2 hat sich im allgemeinen die "Wienerluft" in der letzten Heizperiode nicht wesentlich "verschlechtert," was natürlich nicht heißt, daß an einzelnen Tagen die Situation nicht sehr schlimm war. So z.B. betrug am Dienstag, den 9.3.1972 von 6^h-10^h der SO_2 -Gehalt der Luft $1,52 \text{ mg/m}^3 = 0,584 \text{ ppm}$. Die Überhöhung betrug $0,544 \text{ ppm}$ und multipliziert mit dem Faktor 5 ergibt $2,72 \text{ ppm}$, d.h. der Nenner für den CM lautet $402,72$ und der CM beträgt $0,993$. D.h. mit anderen Worten: die Standardluft hat sich noch immer nicht wesentlich verschlechtert und ist noch $99,3\%$ ig. Damit ist aber auch noch kein synergetischer Effekt erfaßt. Haben wir z.B. auch noch 20 ppm CO gemessen, wobei nach EPA nur 9 erlaubt sind, so ergibt sich eine Überhöhung von 11 ppm und unter Berücksichtigung des Multiplikators 2 aus Tabelle II ein additives Glied von 22 , wodurch nach Einbeziehung des SO_2 -Wertes für den letzten Fall

$$\text{nach CM} = \frac{400}{400 + (2,72 + 22)} = 0,94$$

der Luftmodul bereits auf $0,94$ oder 94% der Standardluftqualität absinkt. usw.

3.2.2. Feuchtigkeitsmodul

Die Feuchtigkeit der Luft hat insbesondere im Zusammenhang mit den reaktionsfähigen Schadstoffkomponenten, der Temperatur und der Energieeinstrahlung eine große Bedeutung. Jedenfalls mehr als bisher beachtet wurde, denn z.B. reagieren SO_x und NO_x bei relativ langsamer und kompliziert verlaufender Oxidation, die durch Schwermetallspuren katalysiert wird, mit der Luftfeuchtigkeit unter Säurebildung. Sind neben Stickoxiden auch noch KW und KW-Radikale vorhanden, so kommt es bei Sonnenlicht zur gefürchteten Smogbildung. Ein Vorgang, der nur durch simultane Multikomponentenanalyse überhaupt erfaßbar sein wird. Wir müssen also die jeweilige absolute Menge H_2O oder die relative Feuchte in das Reaktionsgeschehen einbeziehen. Als "Standardfeuchtigkeit" setzen wir z.B. 60% bei $18^\circ\text{C} = 9,2 \text{ mg H}_2\text{O/l}$ bei 18°C und 760 mm Hg -Säule ein und dividieren durch die gemessene Feuchtigkeit, um zum Feuchtigkeitsmodul zu gelangen. Damit kommen wir den tatsächlichen Verhältnissen nicht nur sehr nahe, sondern wir haben auch die Abschwächungs- (wenn der Quotient über 1 ist) bzw. Verstärkungsfaktoren (wenn < 1) berücksichtigt.

Kurz vor Regenbeginn z.B. haben wir bei 18°C und 730 mm Hg $14,1 \text{ mg H}_2\text{O/l}$ Luft. Der dazugehörige Modul ist $(9,2/14,1) = 0,66$ oder rund 66% des Sollwertes. Dieser Modul stimmt auch mit der Wirklichkeit überein, denn vor Gewittern *fühlen* wir uns meist nicht wohl und auch die Reaktions-

fähigkeit der Schadstoffe wird wahrscheinlich sehr groß sein. Faßt man beide ungünstige Moduli zusammen, so erhält man z.B.:

$$CM \times FM = 0,94 \times 0,66 = 0,62$$

Wir verzeichnen ein beachtliches Absinken der "Luftqualität", dies stimmt auch mit den beobachteten Verhältnissen überein. Geht lediglich die Feuchtigkeit auf das Normalmaß zurück, so wird $FM = 1$ und die Luftqualität bessert sich wieder schlagartig.

Bei einem weiteren, auf Grund von Messungen verfeinerten Modell muß dem Feuchtigkeitsmodul noch größere Bedeutung geschenkt werden, denn es ist das Medium, in dem z.B. allein für SO_2 drei bis fünf Gleichgewichtsreaktionen ablaufen. Für das erste Modell genügen, um Erfahrungen zu sammeln, die in Abb. 4 dargestellten Zusammenhänge zwischen Temperatur, absoluter und relativer Feuchtigkeit. Aus den Fluchtlinien lässt sich für Temperaturen zwischen $-10^\circ C$ und $30^\circ C$ der jeweilige absolute Wassergehalt abschätzen. Noch nicht einbezogen ist der Einfluß der Druckschwankungen auf den absoluten Wassergehalt der Luft, der aber bei diesen Betrachtungen keine wesentliche Rolle spielen wird.

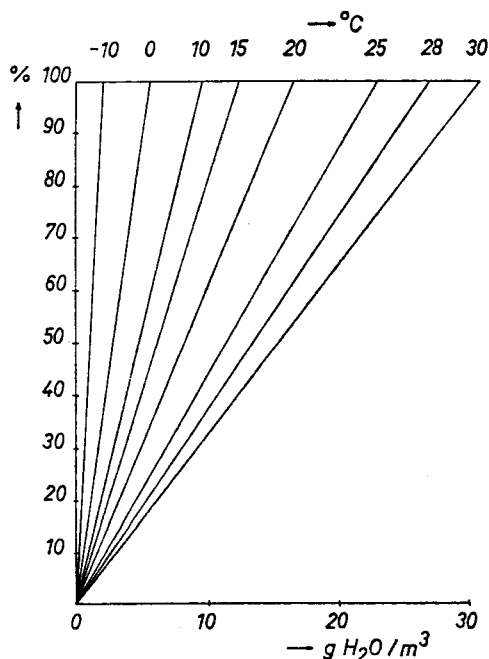


ABBILDUNG 4 Zusammenhang zwischen Temperatur und absoluter und relativer Luftfeuchtigkeit.

3.2.3. Festkörper bzw. Staubmodul

Da die in der Luft befindlichen Festkörper, deren Korngrößenspektrum bekanntlich sehr groß ist, nicht nur als Kondensationskerne, sondern auch als Katalysatoren und als direkt reagierende Schadstoffe auftreten können, ist deren Berücksichtigung ebenfalls von großer Bedeutung. Leider wissen wir gerade über Staub—seine Zusammensetzung und seinen Mikraufbau—noch relativ wenig. Gerade hier ergibt sich ein breites analytisches Wirkungsfeld, da wir trachten müssen, so rasch wie möglich von reinen Summenanalysen wegzukommen, um die spezifischen Komponenten zu erfassen. Hier werden die modernen Methoden der physikalischen Analyse, z.B. die Elektronenstrahlmikroanalyse von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Für den Staubmodul gilt für das 1. Modell als Standardrichtwert für indifferenten Staub eine erlaubte Luftbelastung von $0,15 \text{ mg/m}^3$. Selbstverständlich ist auch der aus der Beziehung von Ist- und Sollwert gefundene Quotient mit Faktoren die Toxizität und gegebenenfalls auch der Radioaktivität (fall-out) Rechnung zu tragen und zu berücksichtigen. Hinsichtlich des Toxizitätsfaktors gelten ähnliche Überlegungen wie bei den gasförmigen Schadstoffen.

Der Staubmodul lautet also:

$$SM = \frac{0,15}{0,15 + x f_x + y f_y + \dots}$$

Sicherlich wird man gerade hier noch weitere Überlegungen anstellen müssen, denn in staubfreien Gegenden beträgt z.B. der Festkörperanteil oft nicht mehr als $0,10 \text{ mg/m}^3$ Luft.

3.2.4. Der Temperaturmodul

Die Temperatur hat, wie die Feuchtigkeit, im Zusammenhang mit der Reaktionsfähigkeit und—geschwindigkeit ebenfalls große Bedeutung; aber auch auf das menschliche Wohlbefinden. Bekanntlich führt im allgemeinen eine Temperaturerhöhung um 10° zur Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit. Dies gilt wohl nicht für jeden Temperaturbereich und für jede Kombination in gleichem Maße, aber wir dürfen nicht vergessen, daß wir Temperaturunterschiede bis 60°C haben können. Als Maßgröße für den Temperaturmodul dient zur Vereinfachung der Rechenoperationen die, dem menschlichen Wohlbefinden entsprechende absolute Temperatur d.h. also für $18^\circ\text{C} = 291^\circ\text{K}$, dividiert durch die herrschende absolute Temperatur

$$TM = \frac{291}{291 \pm X^\circ\text{C}}$$

3.2.5. Der Druckmodul

Üblicherweise bewegt sich der in mm angegebene Luftdruck zwischen 720 und 770, d.h. der Modul kann zwischen 1,06 und 0,98 schwanken, wenn wir als Standarddruck 760 mm bei Normalbedingungen annehmen. Vom Modellstandpunkt aus wird also der Druckmodul keinen wesentlichen Einfluß auf den Gesamtmodul ausüben.

$$DM = \frac{760}{760 \pm \Delta \text{Millimeter Hg}}$$

3.2.6. Aerosolmodul

Das Kapitel "Aerosole in der Luft" ist ein äußerst schwieriges und es wird noch viel Arbeit geleistet werden müssen, um zu sicheren Anhaltspunkten über deren Bedeutung in der Luftqualität zu kommen. Im Augenblick kann auch dafür noch kein Modul angegeben werden.

4. THEORETISCHES BEISPIEL ZUM LUFTMODUL

Es gibt oft ganz wesentliche Anomalien, so z.B. Mitte Dezember 1971, wo innerhalb von sieben Stunden die Temperatur um 12°C stieg und die relative Feuchtigkeit von 88% auf 29% zurückging. Es werden also die meteorologischen Verhältnisse mit den chemischen Verhältnissen der Luft zu korrelieren sein und zwar in kürzester Zeit, da ansonsten der Warndienst illusorisch ist, d.h. man wird auf Stunden- oder noch besser auf Halbstundenmittelwerte zurückgreifen müssen. Gerade für eine solche Korrelation kann in der 1. Diskussionsstufe der Luftmodul eine signifikante Kenngröße abgeben. Die heutigen apparativen Hilfsmittel gestatten bereits—mit Ausnahme der Staubmessung—in kürzester Zeit die einzelnen Moduli zu errechnen.

Als ein theoretisches Beispiel folgendes:

Kurz vor Gewitter wurden folgende Meßwerte registriert:

$$T = 20^{\circ}\text{C} = 293^{\circ}\text{K}$$

$$P = 745 \text{ mm Hg}$$

$$F = 14 \text{ mg H}_2\text{O/l} = 95\% \text{ Feuchtigkeit}$$

$$S = 0,25 \text{ mg/m}^3 \text{ keine toxischen Bestandteile (erlaubt } 0,15 \text{ mg/m}^3)$$

An gasförmigen Schadstoffen wurden die in Tabelle III angeführten Gase gemessen:

TABELLE III

Gase in ppm				
	gemessen	“erlaubt”	Differenz	Modulglied
SO ₂	1	0,2	0,8	4,0
CO	10	9,0	1,0	2,0
KW	0,3	0,06	0,24	1,2
Σ				7,2

$$\text{Chemischer Modul} : \frac{400}{407,2} = 0,97$$

$$\text{Staubmodul} : \frac{0,15}{0,25} = 0,60$$

$$\text{Feuchtigkeitsmodul} : \frac{9,2}{14} = 0,66$$

$$\text{Druckmodul} : \frac{760}{745} = 1,02$$

$$\text{Temperaturmodul} : \frac{291}{293} = 0,99$$

$$\text{Luftmodul} : 0,97 \times 0,60 \times 0,66 \times 1,02 \times 0,99 = 0,40$$

oder 40% der Standardqualität

Hier tragen der Staub und die hohe Luftfeuchtigkeit zur schlechteren Luftqualität am meisten bei: Hätten wir normale Luftfeuchtigkeit, so wäre eine Verbesserung auf 0,6 und wenn der Staubgehalt auch auf den erlaubten Wert sinkt, sogar 0,98 und wir haben fast “Standardqualität”.

Derartige Moduli werden bei der integrierten Luftqualitätsprüfung eine große Rolle spielen. Alle bisherigen mathematischen Modelle gehen von einer mehr oder minder verzerrten räumlichen Gauß'schen Normalverteilung aus, ohne das Gelände zu berücksichtigen und oft wird auch die Windgeschwindigkeit als konstant angenommen. Die vorerst einfachere Lösung wird sein an möglichst vielen Stellen (Meßnetz), simultan möglichst viele Komponenten zu bestimmen und anhand der objektiven Moduli eine auch den subjektiven Gegebenheiten Rechnung tragende Korrelation zu finden. Aber ohne Meßdaten wird jedes Modell wertlos sein. Es ist daher notwendig, an vielen simulierten und soweit wie möglich echten (gemessenen) Moduli dieses Modell zu studieren und nach Notwendigkeit zu variieren.

5. PRAKTISCHES BEISPIEL ZUM LUFTMODUL

Wie Tabelle IV zeigt, wurden am 16.3.1973, einem niederschlagsfreien Tag mit bedecktem Himmel in der Zeit von 7³⁵ bis 15¹⁷ Halbstundenmittelwerte aufgenommen. Die Meßstelle befand sich in Wien VI., Getreidemarkt 9.

TABELLE IV

Nr.	Meßzeit	Halbstundenmittelwerte						rel. Feuchte LM %
		SO ₂ ppm	"NO ₂ " ppm	CO ppm	b mm Hg	t °C		
1	7 ³⁵ -8 ⁰⁵	0,100	0,0714	15,9	755	3	82	0,70
2	8 ⁰⁸ -8 ³⁸	0,093	0,0669	15,9	755	4	83	0,71
3	8 ⁴³ -9 ¹³	0,073	0,0523	15,1	755	3,5	83	0,71
4	9 ¹⁷ -9 ⁴⁷	0,081	0,0756	14,3	755	3,5	83	0,72
5	13 ⁰⁵ -13 ³⁵	0,048	0,0565	11,1	755	6	62	0,98
6	13 ³⁹ -14 ⁰⁹	0,050	0,0820	10,3	754,5	7	58	1,03
7	14 ¹³ -14 ⁴³	0,049	0,101	11,9	754,5	7,5	57	1,02
8	14 ⁴⁷ -15 ¹⁷	0,048	0,096	15,1	754	8	54	1,07

Für diese Meßergebnisse ergibt sich der in der letzten Spalte angeführte Luftmodul, der deutlich zeigt, wie sich die Luftqualität im Laufe des Tages "verbessert" hat. Selbstverständlich bezieht sich diese Aussage nur auf die vorläufig sechs simultan an einer Meßstelle erfaßbaren Komponenten, zeigt aber einen Weg, wie eventuell die "Luftqualität" objektiviert werden kann.