

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	74 (1956)
<b>Heft:</b>	52
<b>Artikel:</b>	Die Ausbreitung des Industrie-Rauches in der untersten Atmosphäre
<b>Autor:</b>	Kaufmann, Paul
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-62763">https://doi.org/10.5169/seals-62763</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Die Ausbreitung des Industrie-Rauches in der untersten Atmosphäre

Von dipl. Naturw. ETH Paul Kaufmann, Kloten bei Zürich

DK 628.55

Mit der Verunreinigung der Luft durch Industrierauch müssen sich Vertreter mehrerer Fachgebiete befassen. Es sind das Bauingenieure, Ingenieur-Chemiker, Meteorologen, Mediziner und Hygieniker. Von technologischer Seite werden Faustregeln über die örtliche Konzentration des Rauches angegeben, welche den jeweiligen Zustand der untersten Atmosphäre nicht berücksichtigen und darum immer wieder versagen. An dieser Stelle sollen darum die mikro-meteorologischen Einflüsse bei der Ausbreitung des Industrierauchs näher betrachtet werden. Die Fluorschäden im Fricktal [1]\*), welche dazu Anlass gaben, kommen am Schluss kurz zur Sprache.

### 1. Der Industrierauch als Aerosol

Aus den Schloten der Fabriken verunreinigen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampf, N, CO,  $\text{SO}_2$ , Teerdämpfe, Flugasche, Russ und im Einzelfall noch weitere Substanzen die Luft. Häufiger als die gasförmigen Bestandteile werden die festen Komponenten messend verfolgt. Im atmosphärischen Staub oder Aerosol finden sich Kondensationskerne. Dies sind Partikel mit einem Durchmesser von  $10^{-7}$  cm (kleine Ionen) bis  $5 \cdot 10^{-3}$  cm (Salzsplitter). Sie werden mit dem Aitken-Zähler bestimmt und neuerdings dauernd registriert. Von hygienischer Bedeutung sind besonders die Staubteilchen mit einem Durchmesser zwischen  $5 \cdot 10^{-5}$  und  $5 \cdot 10^{-4}$  cm, da grösse Partikel auf dem Atemwege nicht bis zur Lunge gelangen, während kleinere meist gefahrlos resorbiert werden. Den Anteil in diesem Bereich misst man mit dem Konimeter (C. Zeiss). Feste und gasförmige oder tröpfchenförmige Bestandteile treten z. T. als örtlich wirksame bzw. resorbтив wirkende Gifte auf. Das Aerosol ist indessen drei Vorgängen ausgesetzt, welche die Konzentration der Verunreinigung herabsetzen: die Koagulation, die Sedimentation und die Diffusion.

Die Koagulation, d. h. die Zusammenballung von Partikeln, wird durch die Turbulenz der Strömung begünstigt. Sie scheint jedoch in der untersten Atmosphäre kaum von Bedeutung zu sein. Eine der wenigen Untersuchungen über diese Erscheinung ergab z. B. auf einem Luftweg von 1 km eine Zunahme des Partikeldurchmessers von  $2 \cdot 10^{-5}$  cm auf  $4 \cdot 10^{-5}$  cm [2]. Auch die Sedimentation spielt kaum eine Rolle. So sinken Teilchen vom Durchmesser  $2 \cdot 10^{-4}$  cm in der Stunde kaum  $\frac{1}{2}$  m, und Kohlenstaub vom Durchmesser  $10^{-3}$  cm hat erst eine Sinkgeschwindigkeit von 10 m/h [3]. Die grösseren, stärker sedimentierenden Beimengungen kommen im folgenden kaum in Betracht. So bleibt als Haupteffekt die Diffusion. Sie wirkt auf feste und gasförmige Verunreinigungen in gleicher Weise. Dabei verschwindet die molekulare gegenüber der turbulenten Diffusion, weil die turbulente Diffusion die selbe Ausbreitung in Minuten erreicht, wie die molekulare Diffusion erst nach Tagen. Die Diffusion in einer turbulenten Strömung weicht aber vom einfachsten (Fickschen) Typus der Diffusion ab, und

\*) Literaturverzeichnis am Schluss.

damit sind zwei Schwierigkeiten der Behandlung verbunden: Das Verhalten der Turbulenz ist nicht abgeklärt, und Diffusionsvorgänge können nur berechnet werden, wenn sie nicht stark vom Fickschen Typus abweichen. Die Ausbreitung des Industrierauchs erfolgt nun in einer inhomogenen atmosphärischen Grenzschicht, welche jene erschwerenden Verhältnisse aufweist.

### 2. Empirische Ergebnisse

Sicher kann aus visuellen Beobachtungen an den Rauchfahnen von Motthaufen und Schloten der Ausbreitungsvorgang einigermassen erfasst werden, doch ist es gewagt, solche Vorgänge ohne weiteres als Modellversuche für die grossräumigen Erscheinungen anzusehen. Die frühesten Messungen im Felde wurden von militärischer Seite angestellt und sind wohl in England am weitesten gediehen. Dann musste man sich der bedrohlichen Luftverunreinigung in manchen Industriegebieten annehmen, wobei zuerst die Rauch-Konzentration in Bodennähe (Biosphäre) gemessen wurde.

#### 2.1. Die räumliche Verteilung

Geländeaufnahmen sind aus Thüringen [4] und von Leicester (England) [5] bekannt. Einen generellen Ueberblick der Ergebnisse vermitteln die Tabelle 1 und Bild 1. Vorab zeigt sich, dass die Konzentrationsverteilung von der Windstärke und von der statischen Stabilität der thermischen Luftsichtung abhängt.

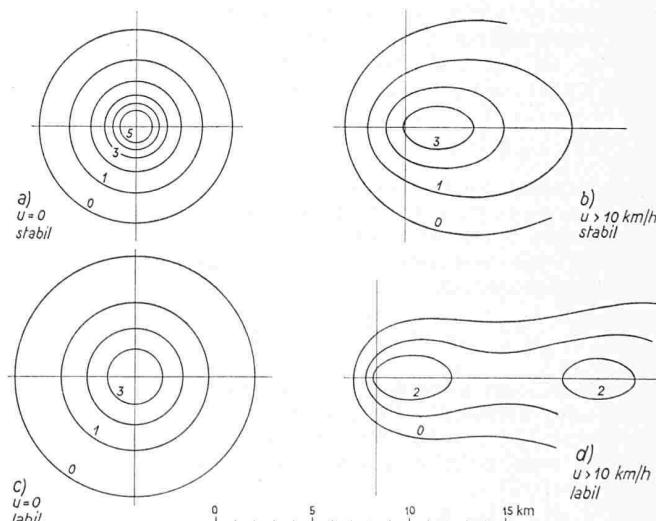


Bild 1. Empirische Verteilungen der Rauchkonzentration in Bodennähe bei verschiedener Windstärke ( $u$ ) und verschiedener statischer Stabilität

Tabelle 1. Horizontale Verteilung der Rauchkonzentration in Bodennähe

	Wind	still	3—10 Knoten	> 10 Knoten
Luftschichtung statisch stabil	1	o	400—800 m	1600—2000 m
	2	klein	klein-mässig	mässig
	3	zentralsymm.	gestreckt	stark gestreckt
	4	stark	stark-mässig	mässig-schwach
	5	a)		b)
Luftschichtung statisch labil	1	o	1000—4000 m	4—12 km
	2	mässig	mässig-stark	stark
	3	zentralsymm.	gestreckt	stark gestreckt *
	4	mässig-schwach	schwach	sehr schwach
	5	c)		d)

#### Bedeutung der Zahlen in Tabelle 1:

- 1 Abstand des Maximums der Konzentration von den Schloten (wind-abwärts)
- 2 Horizontale Ausdehnung der Rauchfahnen
- 3 Form der Verteilung (Symmetrie)
- 4 Relative Stärke der Konzentration in Bodennähe
- 5 Hinweis auf Bild 1;
- \* häufig zwei Maxima

## 22. Der Tagesgang

Das zeitliche Verhalten der Konzentration wurde in Trail (Brit. Columbia) eingehend an SO<sub>2</sub> untersucht. Uebereinstimmend mit andern Beobachtungsreihen, so von mehreren Städten in den USA [6] und — soweit die Angaben reichen — aus der Umgebung von Basel [7], ergibt sich bei ungestörter Wetterlage folgender Ablauf: Während der Nacht ist die Konzentration in Bodennähe gering. Zwischen 6.30 h und 8 h Lokalzeit entsteht das Hauptmaximum; um 14 h findet man das Hauptminimum und um 20 h ist noch ein schwächeres Nebenmaximum vorhanden. Bei Frontdurchgängen weicht der Ablauf erheblich von diesem Tagesgang ab. Vom Regen würde man erwarten, dass er die untersten Luftsichten austreibe. Dies trifft beim Einsetzen des Niederschlags einigermassen zu, aber dann steigt die Konzentration trotz des Regens wieder an, oft über den früheren Stand hinaus.

## 23. Der Einfluss des Reliefs

Für ein Tal wurde festgestellt [4], dass die durchschnittliche Konzentration von der Mitte gegen die Talfanken abnimmt. Der Geländeinfluss hängt aber von den meteorologischen Verhältnissen ab. So erwiesen sich bei windigem Wetter die Talfanken und angrenzenden Höhen als kernreicher. Die Enge eines Tales verhindert die seitliche Diffusion und wirkt sich damit allgemein ungünstig aus. Das Relief ist weiter an der Ausbildung der thermischen Luftsichtung beteiligt (Hangwinde usw.) und beeinflusst derart indirekt die Ausbreitung des Rauches. Darüber ist noch wenig bekannt.

## 3. Diffusionstheorie

### 31. Uebersicht

Das Verhalten der Rauchfahnen wurde wiederholt hergeleitet, zuerst wohl von Wilh. Schmidt und speziell für planetarische Bedürfnisse von O. G. Sutton [8] und C. H. Bosanquet [9]. A. C. Best [10] stellte einen Vergleich der Ergebnisse an. Wir skizzieren hier das Verfahren von Sutton. Ausgangspunkt ist eine freistehende und punktförmige Rauchquelle. Die bekannte Differential-Gleichung der Differenz mit den Bedingungen:  $\chi \rightarrow 0$  für  $t \rightarrow 0$  und  $\chi \rightarrow 0$  für  $t \rightarrow \infty$  ergibt für einen augenblicklichen Rauchstoss eine Zeitfunktion, welche integriert bei  $t \rightarrow \infty$  die Rauchverteilung bei einer stetig wirkenden Quelle beschreibt: Diese lautet:

$$\chi = \frac{Q_M}{4\pi K r}$$

Darin bedeuten  $Q_M$  die Quellstärke (g/s),  $\chi$  die örtliche Konzentration (g/cm<sup>3</sup>),  $r$  den Abstand von der Quelle und  $K$  die kinematische Zähigkeit (cm<sup>2</sup>/s). Bei einem Wind  $u$  in Richtung der  $x$ -Axe und fester Rauchquelle ergibt sich nach einer Koordinatentransformation

$$\chi = \frac{Q_M}{4\pi K x} \exp \left( -\frac{u(y^2 + z^2)}{4Kx} \right)$$

Bei Schloten kann der Einfluss des Bodens nicht mehr überwunden werden. Ein Spiegelungsverfahren ermöglicht hier die Lösung. Diese ist kaum mehr übersichtlich. Aus ihr folgen die zwei wichtigsten Angaben über die Rauchverteilung in Bodennähe:

$$(1) \quad \chi_{om} = \frac{2 Q_M}{e \pi u h^2} \cdot \frac{C_z}{C_y}$$

$$(2) \quad x_{om} = \left( \frac{h}{C_z} \right)^{\frac{1}{1-n/2}}$$

mit  $\chi_{om}$  = maximale Konzentration am Boden

$x_{om}$  = horizontaler Abstand der Stelle, an der  $\chi_{om}$  auftritt, vom Schlot

$u$  = mittlere Windgeschwindigkeit

$h$  = Schlothöhe

$C_z$  = Zahl für den vertikalen Austausch (Mittelwerte: 0,12 in Bodennähe und 0,07 in 100 m über Boden)

$C_y$  = Zahl für den seitlichen Austausch (Mittelwerte: 0,21 in Bodennähe und 0,07 in 100 m über Boden).

Ab etwa 25 m über Boden wird isotrope Turbulenz angenommen. Dann gilt

$$(3) \quad C^2 = \frac{4K}{u}$$

$n$  = Konstante, welche sich aus dem Windprofil

$$u = u_1 \cdot \left( \frac{z}{z_1} \right)^{\frac{n}{2-n}}$$

zu  $1/2$  bei stabiler, zu  $1/5$  bei labiler Schichtung ergibt.

Die Verteilung von  $\chi_{om}$  geht aus einer zentrale symmetrischen, nach aussen exponentiell abfallenden Anordnung hervor, welche in der Richtung des Windes versetzt und windabwärts stark gezerrt ist. Nach den Gleichungen (1) und (2) erhält man bei Strahlungswetter, schwachem Wind und einer Rauchabgabe von 1 g/s für  $\chi_{om}$  und  $x_{om}$  die Werte der Tabelle 2.

Tabelle 2. Zahlenwerte für  $\chi_{om}$  in mg/m<sup>3</sup> und  $x_{om}$  in km

Schlothöhe m	nachts		mittags	
	$\chi_{om}$	$x_{om}$	$\chi_{om}$	$x_{om}$
25	0,15	1,1	0,05	0,310
50	0,05	3,5	0,013	0,700

Bisher wurde angenommen, der Rauch habe die gleiche Temperatur wie die umgebende Luft. Aufgeheizte Abgase, wobei mit  $Q_M$  (g/s) Rauch zugleich die Wärme  $Q_W$  (cal/s) — bezogen auf die Temperatur der umgebenden Luft — austströmt, steigen gegen eine Gleichgewichtslage auf. Die Überhöhung  $\delta h$  leitet Sutton aus einer Steiggeschwindigkeit

$$(4) \quad w = \left( \frac{7 Q_W g}{3 \pi c_p \rho T C} \right)^{1/3} \cdot z^{-0,29}$$

her und fügt in Gleichung (1) einen Korrekturfaktor

$$(5) \quad \chi_{om} \approx \frac{2 Q_M}{e \pi u h^2} \cdot \frac{C_z}{C_y} \cdot \left( 1 - \frac{2 a Q_W}{h u^3} \right)$$

ein, wobei die Konstante  $a$  aus

$$(6) \quad \delta h = a \cdot Q_W \cdot u^{-3}$$

empirisch bestimmt werden muss. Bei Bosanquet ist die Überhöhung proportional zu  $u^{-2}$  und außerdem von der thermischen Luftsichtung abhängig.

### 32. Bemerkungen zur Lösung von Sutton

Bei der Ableitung der Gleichungen für die Rauchverteilung musste stark vereinfachend vorgegangen werden. So wurde die gewöhnliche Diffusionsgleichung mit konstantem  $K$  zugrunde gelegt und die Windgeschwindigkeit als von  $z$  unabhängig behandelt. Sutton will mit diesem Übergang zu Mittelwerten für Orte, an denen man die lokalen Werte nicht kennt, den Weg zu einer Lösung öffnen. Die entsprechende Differential-Gleichung mit  $K = K(x, y, z, t)$ , wie sie die Behandlung der atmosphärischen Grund- oder Grenzschicht erfordert, ist noch nicht lösbar. Schon das Geschwindigkeitsprofil  $u(z)$  lässt sich nicht bestimmen. Es hängt in den untersten Schichten von der Bodenrauhigkeit und gleichzeitig vom Wert  $\partial T / \partial z$  ab, darüber nur von der thermischen Schichtung. Die vollständige Beziehung lässt sich aber noch nicht genauer angeben. Es war darum angezeigt, nur den Haupteffekt der vertikalen Windscherung zu berücksichtigen, den mit dem Impulstransport verbundenen Massentransport. Die resultierende Näherungslösung enthält deshalb den Profilparameter  $n$  und eine mittlere Geschwindigkeit. Sie ist brauchbar bei thermischen Schichten, die nicht stark von indifferenten Gleichgewicht abweichen und bei gleichmässigen Windprofilen. Auf die qualitative Extrapolation bei Verhältnissen, welche von diesen Bedingungen abweichen, kommen wir im Abschnitt 5 zurück.

Die vertikale Windscherung hat auch eine Verzerrung der Rauchfahne zur Folge. Dieser zweite Effekt wurde übergeben, dürfte aber bei Tallagen von Bedeutung sein. Weiter scheint die langwellige Strahlung einen gewissen Einfluss auf das Verhalten der Rauchfahne zu haben. Schliesslich tritt die Frage auf, wie weit punktförmige Rauchquellen bei der Behandlung praktischer Probleme zulässig seien. Dies hängt sowohl von der Grösse des Quellgebietes wie auch vom speziell interessierenden Bereich ab. Hat das Erstgenannte den

Radius  $r$ , und liegt der Bereich im Abstand  $a$  vom Quellgebiet, so sollte  $r < a/\sqrt{2}$  sein, andernfalls müsste ein flächenhaftes Quellgebiet behandelt werden [11]. Das ist noch kaum versucht worden.

### 33. Die Oak Ridge-Formel

Der Gleichung 5 sei eine gebräuchliche Faustregel gegenübergestellt, die sogenannte Oak Ridge-Formel; sie lautet:

$$(7) \quad x'_{om} = \frac{9 \cdot 10^6 Q'_M}{h (14v d + H)}$$

Es bedeuten:

- $x'_{om}$  = maximale Konzentration in Bodennähe ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- $Q'_M$  = Rauchabgabe (pounds/s)
- $h$  = Schlotheöhe (ft)
- $d$  = Durchmesser des Schlosses (ft)
- $v$  = Ausflussgeschwindigkeit (ft/s)
- $H$  = Wärmeausstoss (B. Th. U.), bezogen auf die Temperatur der Umgebung

Die vorangehenden Betrachtungen zeigen, dass die Herleitung der Rauchverteilung grossen Schwierigkeiten begegnet. Es ist darum notwendig, Erfahrungsmaterial zu sammeln. Wenn daraus — wie in diesem Falle — empirische Faustregeln gebildet werden, ist das verfänglich und kaum zweckmässig. Die Formel 7 täuscht vor, der Diffusionsvorgang sei unabhängig von den atmosphärischen Verhältnissen, da sie keine diesbezüglichen Parameter enthält. In Wirklichkeit stellt sie irgend ein durchschnittliches Verhalten dar. Bei andern klimatischen Verhältnissen müssten die Konstanten geändert werden, und im Einzelfalle wird die Formel versagen. Trotz der grösseren Mühe muss daher zur (übrigens praktisch geprüften) Gleichung 5 von Sutton geraten werden.

### 4. Schadenverhütung

Die Schäden des Industrierauches werden häufig erst spät entdeckt. Ein Misstrauen ist darum berechtigt, weil diejenigen Auswirkungen den grössten Schaden anrichten, welche noch nicht erkannt und noch nicht nachgewiesen sind. Aus Gleichung (5) ergeben sich die Massnahmen, welche zur Schadenverhütung in Frage kommen. Es sind dies: 1. Verhinderung des Uebertritts von Gift- und schädlichen Stoffen in die Atmosphäre ( $Q_M$ ), 2. Bau hoher Schlotte ( $h$ ), 3. Aufheizung der Abgase ( $Q_W$ ) und 4. Anpassung der Betriebszeit an die atmosphärischen Verhältnisse ( $u, C_z$ ).

### 41. Reinigung der Abgase

Es liegt vor allem an den Technologen, jene Verfahren auszuschalten und zu ersetzen, welche die Umgebung schädigen können. Dies läuft oft wider die kommerziellen Interessen. Mindestens aber müssen wirksame Vorkehrungen zur Reinigung der Abgase getroffen werden. Dazu ein Beispiel aus jüngster Zeit: Ein Grossbetrieb sträubte sich dagegen, Entstaubungsanlagen einzubauen und liess verlauten, es handle sich schliesslich um eine willkommene Düngung der Umgebung. Dagegen häuften sich die Klagen, dass bei einsetzendem Regen die Regenmäntel von den Tropfen geäzt und nach deren Eintrocknen durchlöchert würden. Daraufhin konnte der Betrieb veranlasst werden, Filteranlagen einzubauen. Seither ist bekannt geworden, dass nun täglich 20 t eines wertvollen Nebenproduktes anfallen. Bei diesem Falle ist bezeichnend, dass die mutmassliche gesundheitliche Schädigung überhaupt nicht zur Sprache kam.

### 42. Hohe Schlove

Diese sind in jedem Falle günstig. Das ergibt sich einerseits aus dem Geschwindigkeitsprofil  $u(z)$ , anderseits aus der stärkeren räumlichen Verteilung, was schon in den Gleichungen (1) und (2) zum Ausdruck kommt. Enthält der Rauch sedimentierende Partikel, so gilt näherungsweise für den Bruchteil  $p$ , welcher aus der Rauchfahne während der Zeiteinheit auf die Streckeneinheit windabwärts ausfällt, die Gleichung

$$p \simeq A/h \text{ mit } A = \text{konst.}$$

Auch hier tritt eine Maximumstelle auf, und  $x_{om}$  wächst ebenfalls mit  $h$ .

### 43. Hoher Wärmeinhalt der austretenden Gase

Hiermit strebt man eine möglichst steile Bahn beim Austritt aus dem Schlot an. In einiger Entfernung ist die Wirkung dieselbe wie bei einer Schloterhöhung um  $\delta h$ . Der Gleichung (5) ist zu entnehmen, dass diese Massnahme hauptsächlich bei niederen Schloten und geringen Windgeschwindigkeiten erfolgreich ist. Bei starken Temperaturinversionen nimmt die Wirksamkeit rasch ab.

### 44. Anpassung der Betriebszeit an die atmosphärischen Verhältnisse

Aus Trail (Brit. Columbia) ist bekannt, dass dort die  $\text{SO}_2$ -Konzentration registriert und beim Ueberschreiten eines Grenzwertes von den Behörden Betriebsunterbrüche angeordnet werden. Solche Regelungen lassen sich höchstens nach Katastrophen einführen. Die schlimmsten derartigen Unglücksfälle ereigneten sich alle bei winterlichen Hochdrucklagen längerer Dauer. Mittelfristvorhersagen wären hier nützlich; man hält sie aber allgemein noch für zu wenig verlässlich. Jedenfalls müsste der starke Einfluss des Windes und der thermischen Schichtung mehr berücksichtigt werden.

### 45. Öffentliche Kontrolle

In dem Masse wie Misstände auftreten, wird eine dauernde öffentliche Kontrolle der Luftverunreinigung durch Industrie- rauch notwendig. Vor allem aber liegt es an den Behörden, bei der Regionalplanung die Schädlichkeit der Industriebetriebe und deren Reichweite eingehend zu studieren. Schon die heutige Situation verlangt dies. So weist Basel etwa die fünffache Kernzahl eines Landwirtschaftsgebietes auf [7]. Dabei ist an den bereits grossen und weiter steigenden Anteil der städtischen Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung zu denken. Die Standortfrage stellt sich auch in dieser Hinsicht.

### 5. Wetterhafte Einflüsse

Der Rauch liegt über dem eigentlich gefährdeten Gebiet durchschnittlich in den unteren 120 bis 180 m über Boden, bei den ungünstigsten Verhältnissen in einer Schicht von nur 30 bis 60 m und günstigstenfalls in den unteren 300 bis 360 m. Weiter weg diffundiert er in die ganze atmosphärische Grundschicht (1000 bis 2000 m über Boden). Entscheidend für den Vorgang ist die Wetterlage. Darum werden Faustregeln nach der Art von Gleichung (7) im Einzelfalle versagen. Um die witterhaften Einflüsse abschätzen zu können, muss man bei typischen Wetterlagen den meteorologischen Zustand der untersten Luftsichten an Ort bestimmen. Dabei kommen auch die lokalen Faktoren zur Geltung. Ferner bedarf man der Häufigkeitsangaben für die typischen Wetterlagen. Wie dann die zugehörigen typischen Konzentrationsverteilungen aussehen, kann in den wesentlichen Punkten aus den Gleichungen (1) und (2) bzw. (5) und (6) entnommen werden. Dies soll später weiter erläutert werden. Mindestens stichprobenweise Messungen der Konzentration bei vergleichbaren Objekten werden jeweils notwendig sein.

### 51. Die atmosphärische Grenzschicht

Stationäre Geschwindigkeits- und gleichzeitige Temperaturprofile haben bei der atmosphärischen Grenzschicht eine relativ geringe Bedeutung, da zu viele Faktoren im Spiele sind (Strahlung, Kondensation, horizontale und vertikale Inhomogenität). Wie schon erwähnt, können solche derzeit auch noch nicht angegeben werden. Die Suttonschen Gleichungen enthalten denn auch nur eine mittlere Geschwindigkeit ( $u$ ); daneben aber treten mit der Turbulenz zusammenhängende Werte  $C_z, C_y$  [vgl. Gl. (3)] und  $n$  auf, welche vorerst empirisch bestimmt werden müssen. Für eine qualitative Beurteilung der Turbulenz reicht allerdings schon das Richardson'sche Kriterium aus. Es hat hier eine ähnliche Bedeutung wie die Reynoldssche Zahl für homogene Medien, bedarf aber noch einer weiteren Abklärung. Im Parameterbereich ( $\partial u / \partial z, \partial \Theta / \partial z$ ) scheiden sich die Strömungen längs der Grenze

$$(8) \quad \frac{\partial \Theta}{\partial z} = 0,15 \frac{[\Theta]}{g} \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad (\Theta = \text{potentielle Temperatur})$$

in ein laminares und ein turbulentes Gebiet. Ist  $\partial \Theta / \partial z$  grösser als die rechte Seite in Gleichung (8), so wird man eine laminaire, andernfalls eine turbulente Strömung vorfinden. Die kri-

tische Richardsonsche Zahl 0,15 entspricht den Untersuchungen von Deacon. Damit wird eine Abschätzung von  $K$  bzw.  $C$  bei gegebenem Vertikalverlauf von  $u$  und  $T$  möglich, und auch in Fällen, für welche die Gleichungen (1) und (2), bzw. (5) nicht mehr zuständig sind, lassen sich qualitative Aussagen machen.

## 52. Der Tagesgang bei Strahlungswetter

Als Beispiel mag der im Abschnitt 22 angeführte Ablauf betrachtet werden. Bei geringer Luftfeuchte lässt sich der Temperaturgang formal gut annähernd mit Gleichung (9) bestimmen:

$$(9) \quad T(z,t) = \bar{T}_0 - \beta z + B \exp(-\gamma z) \cos(\omega t - \gamma z + \alpha)$$

Darin bedeuten:

$$-\beta = \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$$

$B$  = Tagesamplitude in Bodennähe,

$$\gamma = \sqrt{\frac{\omega}{2k}} \quad \omega = 2\pi/T \alpha g$$

$k$  = fiktiver Austauschkoeffizient, welcher nicht mit  $K$  übereinstimmt,

$\alpha$  = Phasenwinkel.

Aus der Gleichung

$$\frac{\partial T}{\partial z} =$$

$$-\beta - B\gamma \exp(-\gamma z) [\cos(\omega t - \gamma z + \alpha) - \sin(\omega t - \gamma z + \alpha)]$$

folgt, dass die extremsten Temperaturgefälle unmittelbar über dem Boden auftreten. Sie betragen

$$(10) \quad \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{\text{extr.}} = -\beta \pm B\gamma$$

und fallen zeitlich mit den Maxima und Minima der Temperatur zusammen. Weiter ergibt sich für die Temperaturinversion am Morgen eine obere Grenze

$$(11) \quad z \leq \frac{1}{\gamma} \ln \frac{B\gamma}{\beta}$$

Bei feuchter Luft und Nebel- bzw. Hochnebelbildung weicht der Temperaturverlauf von Gleichung (9) ab; es entsteht eine Unstetigkeit an der Nebelobergrenze und darüber ein starker Temperaturanstieg mit der Höhe. Für den Tagesgang der Konzentration  $x_{om}$  entnimmt man daraus folgendes: Am Abend beginnt sich die Temperaturinversion zu bilden, und der Wind flaut in Bodennähe rasch ab. Im Laufe der Nacht steigt der durch Gl. (8) charakterisierte Zustand vom Boden in immer höhere Schichten an, während darunter eine schwache laminare Strömung oder Windstille eintritt. Liegt die Rauchfahne in diesem laminaren Bereich, so wächst die Konzentration in einer dünnen Schicht auf der Höhe  $h + \delta h$  stetig an. Da insbesondere  $C_z$  verschwindet, wird am Boden  $x_{om}$  zu dieser Zeit nach den Gleichungen (1) und (2) klein. Mit der ersten Einstrahlung setzt die Konvektion ein und dringt bald bis zur angereicherten Schicht vor. Zur Konvektion gehören grosse Austauschwerte — sie übertreffen weitaus diejenigen, welche nur aus der Bodenrauhigkeit hervorgehen — und es ist  $C_z > C_y$ . Dabei entlädt sich nach Gleichung (1) die Rauchschicht sozusagen nach unten. Dieser Vorgang verläuft oft abrupt [12]. Die Konvektion wächst dann vertikal weiter an, die Temperaturtumrinversion muss nach Gleichung (11) schliesslich verschwinden und der Wind greift wieder durch, oder es setzen Lokalwinde ein. Jetzt kann man schon aus der Kontinuitätsbedingung für den Rauch die Abnahme von  $x$  erkennen. Das nachmittägliche Minimum fällt zusammen mit der stärksten Entfaltung der Konvektion. Im weiteren Temperaturgang nach Gleichung (9) entspricht schliesslich das Nebenmaximum beim Einnachten einem Übergangsstadium: Der Zustand von Gleichung (8) ist dann bis über die Rauchfahne hinaus in Ausbildung begriffen. Solange aber können noch turbulente Schwankungen auftreten, wobei der bereits oben etwas angereicherte Rauch bis zum Boden kommt.

Oben wurden im wesentlichen die Beziehungen (1) und (8) zur qualitativen Beurteilung der Luftverunreinigung benutzt.

Der selbe Weg würde beim Benützen von Wind- und Temperaturmessungen zu quantitativen Resultaten führen. Zuvor wurde eine sommerliche Hochdrucklage behandelt. Von andern Wetterlagen sei nur angefügt, dass Warmluftadvektion eine geringe vertikale Ausbreitung der Rauchfahne zulässt und bei schwachen Winden zu relativ hohen Werten von  $x_{om}$  führt. Kaltluftadvektion ist von beträchtlicher Konvektion begleitet und wirkt sich auf die Diffusion günstig aus.

## 6. Zu den Fluor-Schäden im Fricktal

In den Jahren 1953 bis 1955 traten im unteren Fricktal schwere Schäden an Pflanzen und Tieren auf, die von den Werken der Aluminium AG. in Badisch Rheinfelden herührten. Dieser schwerste Fall in der Schweiz erinnert an ein Paracelsus-Wort: «... dass kein Ding an sich Gift ist und nur allein die Dosis macht, dass ein Ding Gift ist», und man denkt dabei an die Bedeutung des Fluors im Knochenbau oder an den relativ hohen Fluorgehalt einzelner Laubhölzer. So weist Birkenlaub bis 0,1% Fluor auf [13]. Es fällt auf, dass die heute übliche Aluminiumverhüttung (Elektrolyse einer Alkalifluoridschmelze) weitgehend mit dem von Moissan angegebenen Verfahren zur Reindarstellung von Fluor übereinstimmt. Dieser Umstand hätte im vorliegende Falle die Technologen veranlassen sollen, die Möglichkeiten einer wirk samen Schadenverhütung vor Inbetriebnahme des Werkes zu studieren und zweckentsprechende Massnahmen zu treffen.

Als reaktionsfähigstes Element wird das Fluor nicht elementar in der Atmosphäre verbleiben, sondern Fluoride, Fluorwasserstoff oder Fluorwasserstoffsäuren bilden. Für die Ausbreitung ist dann entscheidend, ob die schädlichen Aerosolbestandteile stark sedimentieren. Sind die Suspensionen nur der Diffusion unterworfen, so gelten die Gleichungen (1), (2) bzw. (5), mag es sich um flüchtige, staubförmige oder tropfenförmige Verunreinigungen handeln. Die Sedimentation (s. Abschnitt 42) hat übrigens einiges mit der Diffusion gemeinsam.

## 61. Schadengebiet

Über die örtlichen Verhältnisse orientiert Bild 2. Dort ist auch die Oberflächengestaltung angedeutet. Das Rheintal weist in diesem Abschnitt zwei Verengungen auf, die von Stein-Säckingen und jene von Kaiseragst-Herten. Dazwischen biegt der Rhein nordwärts aus und schafft einen breiten Talgrund, der gegen ESE (Zeiningen-Wallbach) wellig ansteigt (gestricheltes Gebiet). Die Talflanke erhebt sich im Norden von durchschnittlich 280 m ü. M. bis 400 bis 450 m ü. M. Das Gehänge im Süden ist steiler und reicht an einer Stelle bis 635 m ü. M.

Das Schadengebiet wird wie folgt umschrieben [14, 15]: Pflanzenschäden wurden bis zu einem Umkreis von mindestens 4 km Radius festgestellt, bei Zeiningen bis 6 km. Die stärksten Verwüstungen finden sich östlich des Aluminium-Werkes in einem Abstand von 200 bis 1200 m. Merkwürdige Vegetationsstörungen treten überdies am Kleinen Sonnenberg (SW Zeiningen) auf, und am Chriesiberg (E Zuzgen), in 8,5 Kilometer Entfernung, sind die Baumschäden beträchtlich. Von den Viehverlusten, total 276 Stück, fallen auf Möhlin 233, Rheinfelden 23, Zeiningen 11, Zuzgen 7 und Magden 2 Stück. Weitere Fälle sind noch nicht anerkannt, vor allem solche in Wallbach.

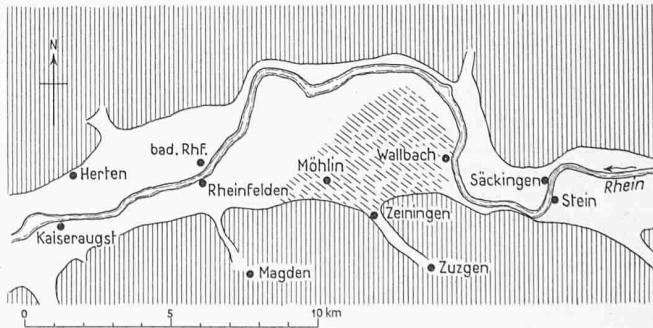


Bild 2. Oberflächengestaltung der Umgebung von Rheinfelden: Talflanken und gegen ESE in diluviales Hügelland übergehender Talgrund (schräg gestrichelt)

## 62. Schadenerscheinungen

Im einzelnen treten folgende Erscheinungen auf: Gelb-grüne bis blau-graue Rauchschwaden sind oft weit vom Werk entfernt noch von Auge feststellbar. Bei trockener Witterung wird dann auf dem Gras ein Niederschlag feinsten Staubes gefunden. Setzt Regen ein, so läuft an den Baumstämmen eine bläuliche Lauge herunter. Von den Blattspitzen ausgehend, dann den Rändern folgend treten Aezungen auf, und dies führt zu einem starken Blattverlust. Die Baumrinde wird als «verkohlt» beschrieben. Die anfälligsten Nadelhölzer sind Föhre und Fichte. Buche, Linde und Eiche zeigen unter den Laubhölzern die grössten Schäden. Im Anbau wiesen alle Getreidearten, dann besonders Rotklee, ferner die Kartoffeln und verschiedene Gräser Fluorschäden auf. Der Ertrag soll teilweise um 50 % zurückgeblieben sein.

Der Futtervergiftung fallen in der Folge hauptsächlich die Kühe zum Opfer. Zum Krankheitsbild gehören: Abmagern, Milchertragsrückgang, sperriger Gang (Gelenkschmerzen), häufige Knochenbrüche beim Abliegen, schliesslich Zahnzerfall. In Knochen und Zähnen fand man bei dieser sog. Fluorese einen sechs- bis zehnfachen Fluorgehalt. Der selben Vergiftung erliegen unter dem Wild die Rehe und Hasen. Man nimmt an, dass der Mensch kaum gefährdet ist, da Früchte und Fleisch keinen wesentlichen Uebergehalt an Fluor aufweisen.

## 63. Verlauf des Schadenfalls

Die Aluminium AG. in Badisch Rheinfelden konnte während des Zweiten Weltkrieges trotz Kriegseinwirkungen ihre Produktion weiterführen. Sie baute unmittelbar nördlich des alten Werkes eine neue Verhüttungsanlage, welche etwa 1952 in Betrieb genommen wurde und zu einer Produktionssteigerung auf 160 % führte. Das alte Werk enthielt wenigstens mangelhafte Filteranlagen, beim Neubau sollen sie ganz fehlen. Im Jahre 1952 wurde ein abnormales Bienensterben festgestellt; 1953 traten die Pflanzenschäden in Erscheinung. Im September 1954 nahm sich erstmals der Aargauische Grosse Rat der Sache an. Erst 1955 entdeckte man die Fluorese bei den Kühen. Im Herbst 1955 bahnte dann das Politische Departement in Bern Verhandlungen an. Die anerkannten Schäden wurden von der Aluminium AG. in Badisch Rheinfelden beglichen, doch fehlt bis heute eine Regelung für die Zukunft.

## 64. Schadenursachen

Bei unseren Erkundigungen begegneten wir der sehr verbreiteten Auffassung, dass hier nur die Zunahme der von den Schlote abgegebenen Giftstoffe ( $Q_M$  Abschnitt 33) ins Gewicht falle. Sie trifft wohl weitgehend zu, immerhin bleibt der Einfluss der Witterung noch abzuklären, wobei neben der Diffusion auch die Sedimentation zu beachten wäre (grosse Aerosole). Ausserdem muss noch auf eine weitere Wirkung hingewiesen werden. Bei stabiler thermischer Schichtung und schwachem Wind bildet sich eine flache, angereicherte Rauchfahne aus. Sie bestreicht in der Höhe  $h + \delta h$  das hügelige Gelände. Ihre Konzentration  $\chi$  erreicht dort mindestens das Dreifache von  $\chi_0$  [2]. An der Vegetation wird dann das Aerosol abgestreift. Diese Art der Ablagerung wurde schon untersucht, allerdings in ganz anderem Zusammenhang.

Auf Grund des Sachverhaltes hätten die Technologen schon mit ihren Faustregeln [entsprechend Gleichung (7)] die Gefahr erkennen müssen, wenn sie auch die räumliche Auswirkung kaum hätten beurteilen können. Was sie aber nicht erfassen können, sind zwei weitere Faktoren: der Relief-Einfluss und die Jahreswitterung. Die Geländeform greift in die Windverteilung ein (durch Kanalisation und lokale Zirkulationen). Zudem beeinflusst sie die thermischen Verhältnisse. In Tallagen ist der Tagesgang der Temperatur verstärkt. Nachts und während des Winters erhält der Talgrund einen seitlichen Zufluss von Kaltluft. Damit sind ausgeprägte Temperaturinversionen verbunden, welche sich auf die Rauchausbreitung ungünstig auswirken. Die Witterung, d.h. die Abfolge des atmosphärischen Zustands während einer längeren Zeitspanne, ist mitbeteiligt am Verhalten der Rauchfahnen, wie auch an der summatischen Auswirkung. Die elementaren Zusammenhänge wurden in den Abschnitten 3 und 5 kurz gezeigt. Da ist die Vermutung naheliegend, dass die Witterung des letzten und des vorletzten Jahres den Schaden vergrössert habe. Beide Wirkungen müssten vorerst noch

untersucht werden. Soweit bestehen allerdings Gründe zur Annahme, dass auch bei günstigen Witterungs- und Reliefverhältnissen ähnliche Schäden aufgetreten wären.

## Literaturverzeichnis

- [1] Interpellation im Nationalrat, 18. Sept. 1956 (Reinmann, Aargau).
- [2] Hewson W. E.: Atmospheric Pollution, «Compendium of Meteorology», Boston 1951, p. 1139—1157.
- [3] Forster H.: Studium über Kondensationskerne. Diss. ETH, Zürich 1940.
- [4] Koch H. G.: Wetterheimatkunde von Thüringen. Jena 1953, p. 164—169.
- [5] Zusammenfassung in [2].
- [6] Hewson W. E.: The meteorological Control of atmospheric Pollution by heavy Industry, «Quart. J. Roy. met. Soc.» 71 (1945), p. 266—282.
- [7] Bider M.: Ergebnisse der Registrierungen der Zahl der Kondensationskerne in Basel und seiner nächsten Umgebung, «Geofisica pura e applicata» 31 (1955), p. 147—161.
- [8] Sutton O. G., «Quart. J. Roy. met. Soc.» 73 (1947), p. 420, und 75 (1949), p. 335.
- [9] Bosanquet C. H., Carey W. F. and Halton E. M., «Proc. Inst. Mech. Eng.» 162 (1950), p. 355.
- [10] Best A. C.: Maximum Concentration at Ground Level of Gas from a heated elevated Source, «Met. Magazine» 84 (1955), p. 297—300, und «Nature» 177 (1956), No. 4509.
- [11] Kellogg W.: Diffusion of Smoke in the Stratosphere, «Journal of Met.» 13 (1956), p. 241—250.
- [12] Kaufmann P.: Ueberraschende Nebel, «Flugwehr und -Technik» XI (1949), p. 106—109.
- [13] Riesenfeld E. H.: Lehrbuch der anorg. Chemie, Leipzig 1934, p. 115—119.
- [14] Mitteilung von Gemeindförster H. Waldmeier, Möhlin.
- [15] Redaktions-Beitrag in «Leben und Umwelt», 12 (1955), p. 69—71.

Adresse des Verfassers: P. Kaufmann, Speerstrasse 5, Kloten bei Zürich.

## Zum Blankettverfahren im Baugewerbe

DK 338.831

Die in der Einsendung des Vereins Schweiz. Central-heizungsindustrieller SBZ 1956, Nr. 42, S. 646 angeführten Ablehnungsgründe gegen das Blankettverfahren sind bekannt, treffen teilweise auch zu, sollen aber auch von der Seite der Bauherren, der Architekten und Ingenieure betrachtet werden. Hier ist folgendes festzustellen:

1. Es muss Sache der Bauherrschaft bleiben, das ihr genehme Verfahren der Offerteinholung zu wählen.
2. Es eignen sich nur solche Bauvorhaben für das Blankettverfahren, bei denen die Unterschiede der Ausführungsmöglichkeiten sich auf belanglose Abweichungen beschränken. Dies ist z.B. im Wohnhaus- und Siedlungsbau der Fall, sofern die Frage der Heizsysteme entschieden ist. Diese eignet sich aber nicht zur Abklärung durch Konkurrenzangebote. Gehen die Vorschläge schon im System auseinander, so wird die Beurteilung dem Nichtfachmann in der Regel unmöglich.
3. Die heutige allgemeine Ueberlastung aller technischen Büros und der chronische Mangel an tüchtigen technischen Kräften, der sich noch zuspitzen wird, lässt es als einen volkswirtschaftlichen und privatwirtschaftlichen Unsinn erscheinen, nutzlose Leerlaufarbeit von Dutzenden von Firmen durchführen zu lassen. Die sehr beträchtlichen Kosten solcher Leerlaufarbeit müssen in Form eines Unkostenzuschlages von den Bauherren getragen werden und tragen so zur Baukostenversteuerung bei.
4. Viele Objekte verlangen eine sehr frühzeitige Bearbeitung durch Fachleute. In diesem Vorstadium ist es nicht zweckmäßig, einen Projektwettbewerb durchzuführen. Ein solcher Wettbewerb zwingt den Bauherrn, sich vorzeitig auf einen Unternehmer festzulegen. Als dann ist ein echter Preiswettbewerb nicht mehr möglich. Natürlich gibt es mancherlei Zwischenstufen zwischen freiem Ideenwettbewerb, einschränkenden Pflichtenheften und Blankett. Einsichtige Architekten und Ingenieure werden solche dem reinen Blankettverfahren vorziehen, weil damit auch ihre persönliche Mit-Verantwortung gemildert wird.

5. Die in der Einsendung des VSCI angedeutete Garantiefrage kann wohl auf zwei Arten eindeutig abgeklärt werden:

- a) Die Unternehmer, die den Auftrag erhalten, werden verpflichtet, ihre Anlageteile nachzurechnen und die uneingeschränkte Garantie dafür zu übernehmen, wofür sie sich durch