

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 57 (1966)

Heft: 6

Artikel: Massnahmen zur Vermeidung schädlicher Einflüsse auf die Umgebung beim Betrieb von thermischen Kraftwerken

Autor: Schäff, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916581>

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: 20.02.2026

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

Stosskennlinien bei sehr unterschiedlicher Frontdauer der Stosswellen ist nach den bis heute bekannten Gesetzen nicht möglich.

5. Zusammenfassung

Es wird eine Schaltung angegeben, mit der die Frontdauer von Stosswellen von einigen Nanosekunden bis zu einigen Mirkosekunden verändert werden können. Die mit dieser Schaltung an Stab-, Stab-Platte-, Stab-Kugel- und Kugelfunkenstrecken durchgeföhrten Versuche haben gezeigt, dass bei inhomogenen Elektrodenanordnungen die Frontdauer der Stoßspannung einen wesentlichen Einfluss auf das Ansprechverhalten hat. Eine Umrechnung der Stosskennlinien von Wellen mit sehr unterschiedlicher Frontdauer ist mit den bis heute bekannten Gesetzen nicht möglich.

Literatur

- [1] *W. Zaengl*: Das Messen hoher, rasch veränderlicher Stoßspannungen. Diss. TH München 1964.
- [2] *A. R. Jones*: Evaluation of the Integration Method for Analysis of Nonstandard Surge Voltages. Trans. AIEE Power Apparatus and Systems 73(1954)13, S. 984...990.
- [3] *L. V. Bewley*: Traveling Waves on Transmission Systems. Second Edition. New York/London, Wiley, 1951.
- [4] *D. Kind*: Die Aufbaufläche bei Stossbeanspruchung technischer Elektrodenanordnungen in Luft. Diss. TH München 1957.
- [5a] *A. S. Singermann*: Konstruktion von Stosskennlinien der Isolation. Elektritscheswo - (1948)6, S. 30...35.
- [5b] *L. I. Sirotnitski*: Hochspannungstechnik. Bd. I/Teil 1: Gasentladungen. Berlin VEB Verlag Technik, 1955. S. 136.

Adresse des Autors:

Johannes Wiesinger, Diplom-Ingenieur, Forschungsassistent am Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Hochschule München, Arcisstrasse 21, D-8 München 2 (Deutschland).

Massnahmen zur Vermeidung schädlicher Einflüsse auf die Umgebung beim Betrieb von thermischen Kraftwerken

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 29. Oktober 1965 in Lausanne,
von K. Schäff, Essen

621.311.22

Beim Bau thermischer Kraftwerke treten in neuerer Zeit zwei Entwicklungstendenzen immer mehr in den Vordergrund, und zwar:

1. Die Entwicklung zu immer grösseren Einheitsleistungen der Maschinen und Kessel;
2. Die Durchführung von Massnahmen zur Vermeidung schädlicher Einflüsse auf die Umgebung.

Die Verdoppelung der Leistung in etwa 10 Jahren verlangt laufend einen starken Ausbau der Kraftwerke mit steigenden Leistungsgrössen und darüber hinaus auch einen Zusammenschluss kleinerer Versorgungsgebiete, um die notwendig werdenden grossen Kraftwerke noch netzgünstig und versorgungssicher unterbringen zu können. Dabei wird in zunehmendem Masse die Standortfrage eine wichtige Rolle spielen.

Die Einwirkung eines thermischen Kraftwerkes auf seine Umgebung tritt in mehrfacher Hinsicht in Erscheinung:

- a) durch Geräusche,
- b) durch Abwässer,
- c) durch Strahlung (soweit es sich um Kernkraftwerke handelt),
- d) durch Luftverunreinigungen.

Alle diese Einflüsse nehmen natürlich mit der Grösse der Kraftwerke zu, und insofern werden sie in Zukunft auch immer stärker hervortreten. Dies wird umso deutlicher, wenn man die Entwicklung über einen längeren Zeitraum betrachtet und auch die Vergangenheit mit in die Betrachtung einbezieht, und zwar bezogen auf Länder ohne ausreichende Wasserkräfte, welche die Zuhilfenahme von thermischer Kraftwerkleistung bereits früher in Anspruch nehmen mussten, als in der Schweiz.

Die elektrische Energie ist so sehr zu einem selbstverständlichen und auch unentbehrlichen Helfer im Leben geworden, dass man sie aus der Wohnung, aus dem Betrieb, insgesamt aus der gewerblichen Wirtschaft, nicht mehr wegdenken kann. Wohl wäre es aber – diese theoretische Überlegung sei einmal gestattet – denkbar, dass jeder einzelne sich seinen Bedarf an elektrischer Energie selbst erzeugt. (Es gibt genügend kleine und auch grössere Motoren, wie

z. B. Benzimotoren oder Dieselmotoren, um dies durchzuführen.) Dann hätte auch jeder einzelne elektrische Energieverbraucher letzten Endes in seiner Wohnung oder in seinem Betrieb die genannten Beeinflussungen durch Lärm, Abwässer und Rauchgase in Kauf zu nehmen.

Die Entwicklung hat nun gezeigt, dass der Einzelne sich gern der angenehmen Seite der elektrischen Energie, nämlich seiner Nutzanwendung, bedient, dass er aber von den negativen Auswirkungen einer elektrischen Energieerzeugung befreit sein, und diese Energieerzeugung möglichst weit weg von seinem Standort wissen möchte, ganz abgesehen davon, dass es auch wirtschaftlich vorteilhafter ist, die elektrische Energieerzeugung in Kraftwerken zusammenzufassen.

Die elektrische Energie mit seiner Eigenschaft, in metallischen Leitungen verhältnismässig billig transportiert werden zu können, steht dann ohne alle diese Nebenwirkungen der Luft- und Wasserverunreinigungen am Verbrauchsort zur Verfügung.

Diese Entwicklung aus der Vergangenheit braucht man jetzt nur folgerichtig fortzusetzen, und man kann dann immer grössere Gebiete von aussen her mit elektrischer Energie versorgen, um sie von allen Fragen der Luft- und Wasser- sowie Lärmbeeinflussung zu befreien. Dies ist die beste Art der Verminderung schädlicher Einflüsse. Die erforderliche Versorgungssicherheit kann technisch gewährleistet werden. Das gilt insbesondere für Erholungsgebiete, aber ebenso für kleinere oder grössere Städte, und gilt schliesslich auch für ganze Länder, wenn man die zukünftige Entwicklung einer europäischen Gesamtwirtschaft, an deren Anfang wir jetzt stehen, mit einbezieht. Diese Entwicklung ist dann gar nicht so abwegig, wenn man auf der Grundlage vorhandener Wasserkraftanlagen aufbauen kann. Es ist eine Frage sekundärer Bedeutung, von der Zufuhr der Primärenergie oder Sekundärenergie «Strom»-abhängig zu sein.

Will man einen solchen Weg einer möglichst grossen elektrischen Energiebezugsmenge von aussen her nicht gehen, so entsteht aus Gründen der Luft- und Wasserreinhaltung — wie schon erwähnt — das Problem des zweckmässigsten Stand-

ortes im Lande. Ergibt sich aus der Vergrösserung der Einheitsleistungen die Zusammenfassung zu grösseren Versorgungsgebieten, so ergänzt die Frage der Luftreinhaltung diese Entwicklung durch das Hinzutreten der Standortfrage, die, wenn regional nicht lösbar, dann ebenfalls zu überregionalen Zusammenfassungen führen kann und eine gewisse Raumplanung voraussetzt.

In diesem Zusammenhang muss die Frage der Versorgung der grossen Städte noch kurz betrachtet werden. Bezieht man einmal die Städte in das Landschaftsbild ein, so hat man es mit einer stark zerklüfteten Landschaft zu tun. Die Höhenzüge – Häuser genannt – geben oben, insbesondere im Winter, die Rauchgase aus der Heizung ab, und es bildet sich oberhalb dieser Höhenzüge eine von Rauchgasen stark durchsetzte Luftsicht, die sich auch in die Schluchten – Strassen genannt – ausdehnt. In den Schluchten unten bewegen wir uns, teils zu Fuss, teils mit einem Blechgehäuse umgeben, in dem wir ein kleines Kraftwerk mit herumführen – das ganze Auto genannt. Die Abgase dieser Kleinkraftwerke entlassen wir dabei ganz unten, möglichst dicht über dem Boden, und schaffen uns dadurch ein uns selbst stark belastendes Klima.

Man sollte nun nicht als Folge der Errichtung von Kraftwerken in Großstädten oder in der Nähe solcher Großstädte eine dritte mit Rauchgasen belastete Schicht darüber ausbreiten, sondern man sollte den Standort neuer Kraftwerke genügend weit von solchen Konzentrationen der Luftverunreinigungen absetzen, besonders in einem Lande, dem standortgebundene Lagerstätten von Erz und Kohle keine zusätzlichen Probleme auferlegen.

Die Großstadt wird bei ihrer zunehmenden Grösse und dem zunehmenden Verkehr mit den sich hieraus ergebenden Problemen der Luftreinhaltung noch erhebliche Sorgen zu überwinden haben, als dass man sie noch zusätzlich belasten sollte. War in der Vergangenheit die Entwicklung der elektrischen Energieversorgung gerade von den Städten ausgegangen wegen der hier zuerst vorhanden gewesenen günstigen Versorgungsdichte, so bahnt sich heute unter dem Gesichtspunkt der Luftreinhaltung eine neue Entwicklung, die Absetzung der Energieerzeugungsanlagen von den Städten in Gebiete mit geringer Vorbelastung, an.

Der Wunsch jedes einzelnen elektrischen Energieverbrauchers, von den Nachteilen der el. Energieerzeugung bewahrt zu bleiben, und die Notwendigkeit, belastete Gebiete von zusätzlichen Einwirkungen möglichst freizuhalten, hat aber auf der anderen Seite zur Folge, dass es dann Standorte geben muss, deren Nachbarn das Hinzukommen eines Kraftwerkes mit seiner Beeinflussung der Umgebung dulden. Hieraus ergibt sich die sog. Duldungspflicht, wenn die Beeinflussung in zumutbaren Grenzen bleibt. Diese Duldungspflicht ist in den Gesetzen der einzelnen Länder unterschiedlich verankert, z. B. in Deutschland [1; 2]¹⁾ direkt als Duldungspflicht des Betroffenen, in der Schweiz [3] als Auflage für den Verursacher, sich übermässiger Einwirkungen auf den Nachbarn zu enthalten. Diese Duldung stellt die Grundlage dar für die Verwirklichung der Standortfrage bei thermischen Kraftwerken in der Elektrizitätsversorgung.

Zu dieser zumutbaren Duldung kommt noch hinzu, dass man auch in der Art der Bodennutzung eine gegenseitige Rücksichtnahme durchführen kann, die sich aus der Ge-

meinschaft des Zusammenlebens auf begrenztem Raum ergibt. Es braucht ja nicht gerade in der näheren Umgebung von industriellen Anlagen, z. B. von Kraftwerken, die gegenüber Rauchgasen empfindlichste Pflanze angebaut zu werden. Es ist bekannt, dass die Pflanzen sehr unterschiedliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Einflüssen durch SO₂ aufweisen [4]. Man kann sich in der Auswahl der land- und forstwirtschaftlichen Produkte, die man anbauen will, durchaus solchen industriellen Gegebenheiten anpassen, ohne dabei im wirtschaftlichen Erfolg der Bodennutzung eine Einbusse zu erleiden. Greift man ein Beispiel heraus, so sind die Nadelhölzer (Konifere) gegen SO₂ empfindlich. Sollte sich also in der näheren Umgebung eines Kraftwerkes bzw. in einem meteorologisch besonders gefährdeten Bereich ein Nadelwald befinden, so ist es weder in der Nutzung, noch im Landschaftsbild ein Nachteil, wenn dieses Nadelwaldstück durch einen Laubwald im Laufe der Zeit ersetzt wird.

Laubbäume sind nämlich verhältnismässig widerstandsfähig gegenüber SO₂ innerhalb des für eine SO₂-Belastung praktisch in Frage kommenden Bereiches. Dazu kommt noch, dass der Laubbaum im Winter sein Laub verliert, also in der Hauptbelastungszeit eines Kraftwerkes völlig unempfindlich wird, und im Frühjahr bzw. Frühsommer, wenn für das frische Laub der empfindlichste Zeitabschnitt gegenüber SO₂ sich einstellt, kann das Kraftwerk in seiner Belastung zurückgefahren werden, und zwar einmal, weil die Netzelastung zurückgeht und dann auch, weil der Anfall an Wasserkraftenergie durch die Schneeschmelze entsprechend ansteigt. Hier ergänzen sich der Ablauf des elektrischen Energiebedarfes und des Naturgeschehens recht günstig. Für andere landwirtschaftliche Produkte gelten gleiche Überlegungen.

Solche und ähnliche Gesichtspunkte gehören ganz allgemein zur Standortwahl und können dabei Berücksichtigung finden. Man erkennt hieraus, wie wichtig eben die Standortfrage ist, und sie wurde deshalb an den Anfang der Be trachtungen gestellt, weil sie in der Tat die wichtigste Entscheidung darstellt, die zur Vermeidung schädlicher Einflüsse in der Umgebung thermischer Kraftwerke getroffen werden kann. Ein diesbezüglich gewählter falscher Standort kann auch durch noch so weitgehende Massnahmen am Kraftwerk selbst nicht wieder wettgemacht werden, während umgekehrt bei richtigem Standort in gering vorbelasteten Gebieten die im Kraftwerk noch zu treffenden Vorrangungen zu einem für die Umgebung völlig unschädlichen Betrieb führen.

Damit sind wir bei den Massnahmen angelangt, die im Kraftwerk selbst getroffen werden müssen, um schädliche Auswirkungen nach aussen zu vermeiden.

Fig. 1 zeigt das grundsätzliche Schaltschema eines Dampfkraftwerkes im Hinblick auf seine Aussenbilanz. Dies gilt sowohl für Kohle- und Öl kraftwerke als auch für Atomkraftwerke, nur dass bei letzteren anstelle von Rauchgas und Schlackenwasser strahlungsgefährdete Abluft und Abwasser treten. Der Dampf-Wasser-Kreislauf ist vereinfacht dargestellt (Kessel-Turbine-Kondensation-Speisewasservorwärzung-Kessel) ohne die inneren Einzelschaltungen.

Nach aussen treten nun in Erscheinung:

a) Geräusche von allen Anlageteilen, soweit sie sich bewegen bzw. rotieren, oder vom umlaufenden Dampf und Wasser,

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

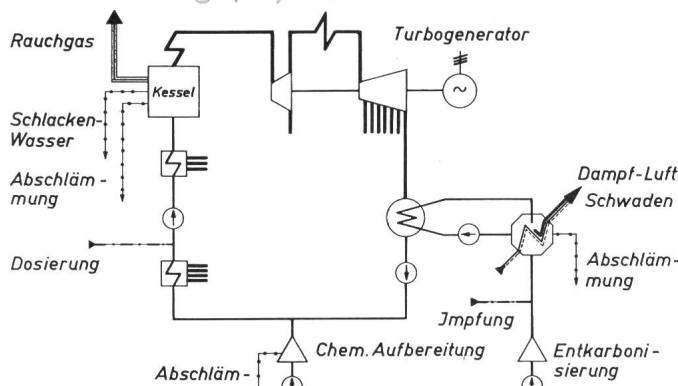


Fig. 1 Dampfkraftwerk Äussere Bilanz mit Rückkühlung

insbesondere dann, wenn hoher Druck auf niedrigere Druckstufen reduziert wird.

b) Abwasser aller Art durch Abschlammung vom Kessel, Speisewasseraufbereitung und etwaigem Kühlturn sowie Schlakenwasser. Bei Frischwasserkühlung wird das erwärmte Kühlwasser dem benachbarten Fluss zugeleitet, und bei Rückkühl-anlagen kommt stattdessen der Kühlturnschwaden hinzu.

c) *Strahlung* beim Atomkraftwerk, und zwar der Atommeiler als Ganzes und dann an all den Abgabestellen von Wasser und Abluft, soweit sie mit dem strahlenden Teil innerhalb des Kraftwerkes in Berührung kommen können.

d) Rauchgase mit Staub beladen und Beimengungen gasförmiger Verbrennungsprodukte.

In der Folge seien diese vier Gruppen in ihrer Wirkung nach aussen betrachtet.

a) Geräusche

Das menschliche Ohr kann Geräusche über einen Schwingungsbereich von 20...16 000 Hz wahrnehmen. Sehr viele Schallschwingungen, die in einem Kraftwerk erzeugt werden, liegen nun gerade in diesem Bereich, und zwar mit sehr unterschiedlicher Lautstärke. Das menschliche Ohr empfindet nun die gleiche Lautstärke umso stärker, je höher die Schwingungszahl ist, bei der sie auftritt. Medizinische Untersuchungen haben ergeben, dass man die Lautstärke bei jeder Schwingungszahl in ganz bestimmter Weise begrenzen muss, wenn sie für die Bedienungsmannschaften für den 8-Stunden-Tag tragbar bleiben soll.

Jedes Anlageteil eines Kraftwerkes hat nun ein anderes Schallspektrum [5; 6]. Fig. 2 zeigt ein solches Schallspektrum von einem Turbogenerator, und zwar als Oktavband-Spektrum. Hierbei wird immer die mittlere Lautstärke über eine Oktave in dB im Abstand von 1 m von der Maschine aufgetragen. Zum Vergleich ist auch das Terzband-Spektrum des gleichen Geräusches angedeutet, woraus hervorgeht, dass die Lautstärke sehr selektiv auftritt. International hat man sich zur einheitlichen Beurteilung auf das Oktavband-Spektrum geeinigt und ist jetzt im Rahmen der Iso-Normen [7] dabei, für die zulässige Lautstärke eine Begrenzung festzulegen, ähnlich wie sie durch die gestrichelte Kurve angedeutet ist.

Dieses Maschinen-Schallspektrum kann durch entsprechende konstruktive Massnahmen beeinflusst werden, und es ist im Grunde genommen Sache der Herstellerfirmen, für ein niedriges Geräuschniveau zu sorgen. Man sollte deshalb bei der Bestellung aller rotierenden Maschinen eines Kraftwerkes nicht versäumen, über die Lautstärke bestimmte Vorschriften zu machen, denn man soll die Ursache der Schallerzeugung beseitigen und nicht durch eine nachträg-

liche Isolierung den nach aussen dringenden Schall dämmen. Dies gilt besonders für Getriebe, Ventilatoren und Pumpen.

Eine andere Art von Geräuschen sind diejenigen, die bei der Reduzierung von hochgespannten Medien (Dampf und Wasser) entstehen. Parallel zu jeder Maschine sind Reduzierstationen geschaltet, die bei plötzlicher Lastabsenkung ansprechen und den Frischdampf bzw. Zwischendampf vom Kessel unmittelbar zum Kondensator abführen, um den Kessel vor einem entsprechenden Druckanstieg zu bewahren. Dabei wird dann die gesamte Energie des Dampfes von etwa 200 kg/cm^2 bis auf Vakuum, die sonst 100 oder 150 MW erzeugt hat, beim Reduzievorgang vernichtet. Dass dies nicht ohne Geräusche vor sich geht, ist offensichtlich.

Die Reduzierung muss, wenn nur tragbare Geräusche entstehen dürfen, in mehreren Stufen und in gelenkter Form vor sich gehen, und außerdem ist dann noch eine ausreichende äussere Isolierung gegen Schall anzubringen. Das Geräusch des ausströmenden Dampfes zeigt Fig. 3, und man erkennt, dass die hohen Tonlagen besonders stark auftreten.

Solange es sich um eine Reduzierstation handelt, deren beide Enden in Rohrleitungen eingebunden sind, ist die Aufgabe noch einfacher zu lösen, wenn jedoch ein Sicherheitsventil ins Freie abbläst – und auch hier muss man im ungünstigsten Falle mit der vollen Kesselleistung von beispielsweise 150 MW rechnen –, dann ergibt sich die ganze Schwierigkeit der zu lösenden Frage. Fig. 4 zeigt die Ausführung eines Schalldämpfers hinter einem Kesselsicherheitsventil. Hierbei sollte man bei der Bestellung nicht nach der billigsten Konkurrenz entscheiden, sondern nur nach der besten technischen Ausführung, über deren Wirksamkeit man sich vorher an Hand ausgeführter Anlagen überzeugt hat.

Werden alle diese Massnahmen durchgeführt, die auf eine für die Bedienung innerhalb der Gebäude erträgliche Lautstärke abgestellt sind, so wird sich diese Lautstärke ausserhalb der Gebäude, wie dies früher manchmal vorgekommen ist, praktisch nicht mehr auswirken.

b) Abwässer

Bei den heute zur Anwendung kommenden Drücken in der Größenordnung von 150...250 kg/cm² und Frischdampftemperaturen von 520...560 °C ist eine einwandfreie Zusammensetzung des Dampf- und Wasserkreislaufes eine

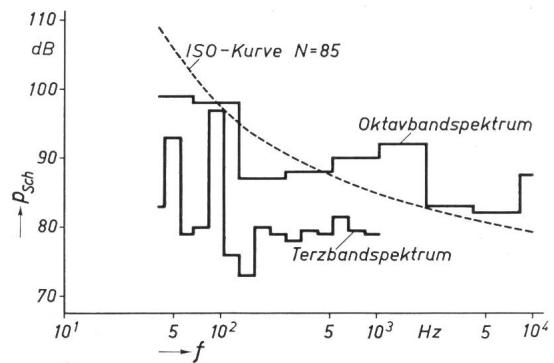


Fig. 2
Geräuschspektrum neben dem Aussenlager der Turbine

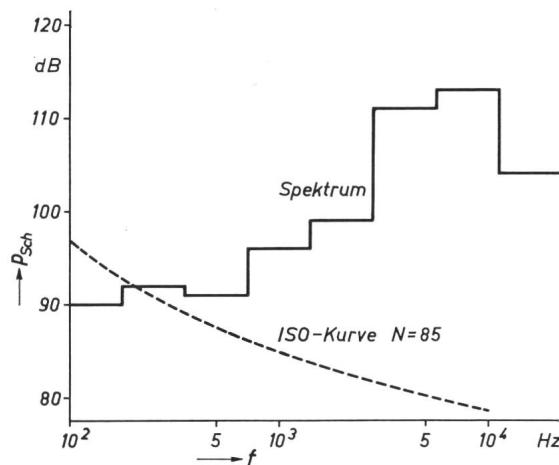


Fig. 3
Oktavbandspektrum von ausströmendem Dampf
Bezeichnungen siehe Fig. 2

unbedingte Voraussetzung. Der Kreislauf wird dabei zwar weitgehend geschlossen gehalten, trotzdem lassen sich Wasser- und Dampfverluste nicht ganz vermeiden. Es muss auch von dem Kreislaufwasser zeitweise etwas abgeschlämmt werden, um die Restsalze und Oxydationsprodukte mit dem Eisen aus dem Kreislauf zu entfernen, wie Fig. 1 zeigt. Das Kesselwasser erhält zur Unschädlichmachung der Restsalze geringe Zusätze von Alkalien, wie Na_3PO_4 (Trinatriumphosphat) N_2H_4 (Hydrazin) oder NH_3 (Ammoniak), um einen p_H -Wert von etwa 9,0 oberhalb des Neutralisationspunktes zu erhalten.

Die durch die Verluste und Abschlämungen erforderlich werdende Zusatzwassermenge wird aus normalem Fluss- oder Leitungswasser aufbereitet, und zwar meist über eine Vollentsalzungsanlage. Hierbei werden die enthaltenen Verunreinigungen und Salze in sog. Ionen-Austauschern ausgeschieden, die Ca-Mg- und Na-Ionen einerseits und die $\text{SO}_4\text{-CO}_3\text{-Cl}$ -Ionen anderseits lagern sich im Material der Kationen- bzw. Anionenfilter an, und es bleibt fast reines Wasser übrig mit nur geringem Restsalzgehalt.

Aber nun müssen die Ionen-Austauscher wieder rege-neriert werden, und dies geschieht mit Säuren und Laugen (meist Salzsäure und Natronlauge), wobei sich dann entsprechende Salz- und Schlammengen ergeben. Dabei muss mit einem gewissen Überschuss an Säuren bzw. Laugen durchgespült werden, damit die Ionen-Austauscher wieder voll reaktionsfähig werden. Die bei der Regeneration entstehenden Salz- und Schlammengen, zusammen mit den Überschüssen an Säuren und Laugen, müssen nun vom Kraftwerk nach aussen abgegeben werden, ebenso wie die oben angegebenen Abschlämengen aus dem Kesselkreislauf. Alle diese Wässer werden einem sog. Neutralisationsbecken zugeleitet und dort durch Zusatz von Kalkmilch neutralisiert, soweit sich Säuren und Laugen nicht schon selbst gegenseitig neutralisiert haben. Der Ablauf aus den Neutralisationsbecken in den nächstgelegenen Fluss oder in die Kanalisation muss natürlich auf seine Unschädlichkeit hin überwacht werden.

Eine zweite Verunreinigungsquelle entsteht aus den Wässern, die für die Schlacken- und Flugaschebeseitigung benötigt werden. Da es sich hierbei um eine rein mechanische Verschmutzung handelt, werden die sich daraus er-

gebenden Wässer über Absitzbecken geleitet, wie sie von Kläranlagen her bekannt sind, und die ein sauberes Wasser ergeben.

Das Kühlwasser wird bei Frischwasserkühlung in den Kraftwerken nicht verunreinigt. Es wird lediglich um etwa 8...10 °C erwärmt. Solange dem Kraftwerk nur eine Teilmenge des Flusses zugeleitet wird, spielt diese Erwärmung keine Rolle für das biologische Leben im Flusswasser; das erwärmte Wasser kann dem Fluss ohne Schaden zugeführt werden. Es gibt jedoch Fälle, in denen bei Niedrigwasser-führung das gesamte Flusswasser durch die Kondensatoren der Maschinen fliesst, und hierbei darf, wenn die Niedrig-wasserführung im Sommer auftritt, die Austrittstemperatur den Betrag von 30 °C nicht überschreiten, um das biologische Leben nicht zu beeinträchtigen und damit auch den Fischen die Lebensmöglichkeit zu erhalten. Dabei ist es zweckmässig, das erwärmte Kühlwasser über eine Überfallstufe dem Fluss wieder zuzuführen, damit der Sauerstoffgehalt im Wasser hochgehalten wird.

Aus solchen Verhältnissen können sich Grenzen für die Flusswasserkühlung ergeben. Die Lippe im Norden des Ruhrgebietes fliesst bereits bei Niedrigwasser mehrmals mit ihrem ganzen Wasser durch Kraftwerke, so dass weitere Leistungen dann nur noch unter Zuhilfenahme von Kühl-türmen errichtet werden können. Wie man sieht, führt auch diese Problemstellung wieder zur Standortfrage, da bei der Verdoppelung der Leistung alle 10 Jahre jedes Land immer mehr an die Leistungsgrenze seiner Flüsse kommt, insbesondere wenn sich auch die Kraftwerkeinheiten immer mehr vergrössern. Dies gilt umso mehr für die Atomkraftwerke, da diese wegen ihrer niedrigeren Druckstufen, mit denen sie arbeiten, einen grösseren Kühlwasserbedarf haben als Kohle- oder Öl-kraftwerke.

Bei der Errichtung von Kühltürmen kommt deren Was-serhaushalt zu dem des Kraftwerkes noch hinzu. Das Kühl-turmwasser wird entkarbonisiert, und zur Deckung der Verdunstungsverluste werden während des Betriebes jeweils

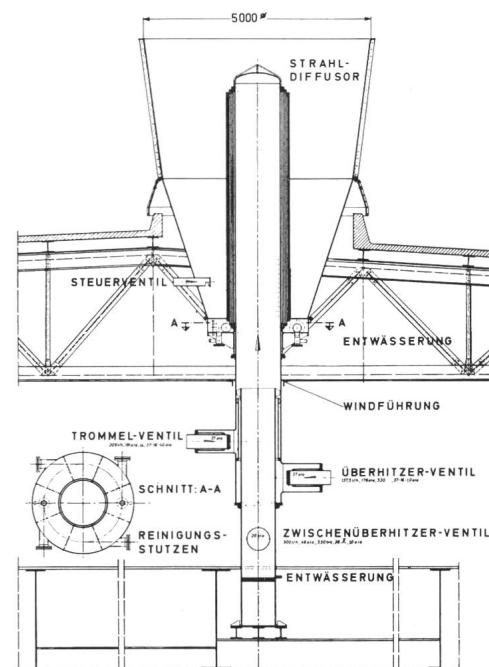


Fig. 4
Schalldämpfer-Zusammenstellung

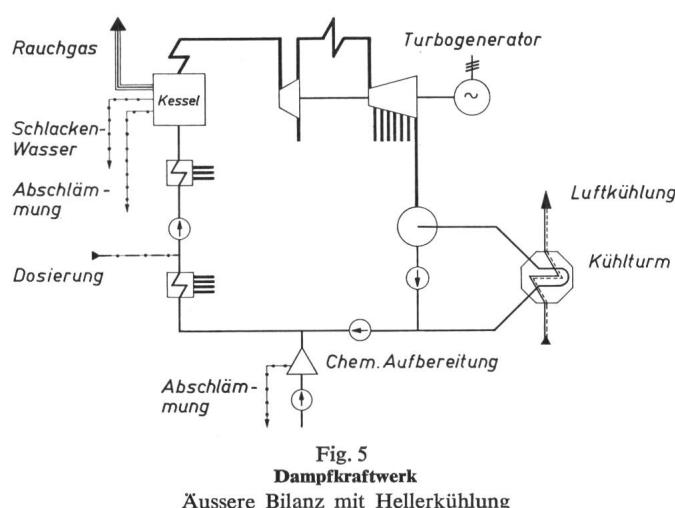
laufend entkarbonisierte Wassermengen zugeführt. Bei diesem Vorgang wird das Kühlwasser immer mehr eingedickt, und es wird noch zusätzlich geimpft mit Rücksicht auf eine etwaige Korrosionsgefahr oder Holzeinbauten, die zur Verteilung des Wassers innerhalb der Kühltürme vorhanden sind. Man muss deshalb eine entsprechende Kühlwassermenge wieder abschlämmen, und diese Abwassermengen werden dann dem Schlackenwasser oder dem bereits erwähnten Neutralisationsbecken zugeführt.

Geringe Abweichungen vom Neutralisationspunkt $p_H = 7$ können ohne Bedenken zugelassen werden, da ja praktisch alle natürlichen Wässer auch leichte Abweichungen vom Neutralisationspunkt aufweisen. Man erkennt dies schon am Pflanzenwuchs eines Geländes und spricht z. B. von sauren Wiesen und dergleichen.

Das im Kühlurm verdunstete Wasser verlässt den Kühlurm als Wasserdampfschwaden, der infolge des Auftriebes aufsteigend sich normalerweise bald in der Umgebungsluft verflüchtigt. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen – hohe Luftfeuchtigkeit und drückende Wetterlage – gelangen jedoch diese Wasserdampfschwaden auch auf den Erdboden; im Winter führt dies zu Vereisungen. Man sollte deshalb solche Kühlürme nicht in unmittelbarer Nähe von Strassen oder Siedlungen errichten.

Reicht auch das Wasser für die Zusatzwassermenge des Kühlurms nicht aus, so kann der Kühlurmkreislauf auch unmittelbar in den Hauptkreislauf mit einbezogen werden nach Vorschlägen von Heller, und man kommt zu einer Schaltung nach Fig. 5 [8]. Hierbei bleibt auch das Kühlwasser im geschlossenen Kreislauf, der Kondensator der Maschine wird als Mischkondensator ausgebildet, und die durch den Kühlurm aufsteigende Luft sorgt für die Kühlung. Es entsteht kein Dampfschwaden mehr, und es fallen auch im Kühlurm keine Wasserabschlämmungen mehr an. Diese Schaltung kommt auch dann in Frage, wenn das Zusatzwasser zu einem etwaigen Kühlurm sehr hohe Kosten verursachen würde, z. B. wenn das Kraftwerk auf einen wasserarmen Höhenrücken errichtet wird, wie dies im Kraftwerk Ibbenbüren nördlich des Teutoburger Waldes für eine 150-MW-Gruppe zur Zeit zur Ausführung kommt.

Wie man sieht, ergibt sich zwar aus der Frage der Wasserwirtschaft eines Kraftwerkes eine Reihe von Möglichkeiten der Beeinflussung der Umgebung, jedoch alle diese Probleme sind seit langem bekannt und praktisch ein-



wandfrei zu beherrschen, so dass von dieser Seite her keine schädlichen Auswirkungen auf die Umgebung des Kraftwerkes zu befürchten sind, wenn die oben angegebenen Gesichtspunkte bei Planung, Bau und Betrieb berücksichtigt werden.

c) Strahlung

Alle diese Wasserprobleme treten auch bei einem Atomkraftwerk auf, mit Ausnahme der Schlackenabwässe und unter Fortfall der Rauchgasseite. Dafür kommt die Frage der Strahlungsgefährdung hinzu. Im Atomkraftwerk ist meist ein Primärkreislauf vorhanden, der die Aufgabe hat, die Wärme aus dem Atommeiler (Kern) auf den Dampf-Wasser-Kreislauf des eigentlichen Kreisprozesses zu übertragen. Der Atommeiler einschließlich des Primärkreislaufes wird dann mit genügend strahlenhemmenden Schutzmaßnahmen aus Stahl und Beton umgeben, so dass hieraus eine Strahlungsgefährdung der Umgebung praktisch nicht entsteht.

Wird, wie es bei anderen Schaltungen, z. B. beim Siedewasserreaktor, möglich ist, der Primärkreislauf sogleich als Gesamtkreislauf ausgebildet, so müssen die Strahlenschutzmaßnahmen auch diese Anlageteile mit erfassen.

Das Innere des geschützten Teiles eines Atomkraftwerkes muss aber auch belüftet werden. Die Luft wird bei der Ansaugung von aussen weitgehendst gefiltert, da gerade die Staubteilchen die Strahlungsträger sind. Diese Luft durchströmt dann, soweit erforderlich, das Innere des Atommeilers und wird dann nochmals über Filter und einen Schornstein – also auch die Atomkraftwerke haben einen Schornstein – an die Umgebungsluft abgegeben.

Auch Abwässe, die mit strahlungsgefährdeten Anlageteilen zusammenkommen, werden in sog. Dekontaminierungsanlagen besonders gefiltert, um sie ungefährdet in das Flusswasser oder in die Kanalisation abgeben zu können.

Es würde hier zu weit führen, auf alle die Sicherungsmaßnahmen einzugehen, die innerhalb des strahlungsgefährdeten Teils eines Atomkraftwerkes getroffen werden. Es liegt ein umfangreiches Vorschriftenwerk für Bau und Überwachung der Strahlungsgefährdung vor, um das Bedienungspersonal und auch die durchstreichende Luft und das Abwasser vor unzulässiger Strahlung zu schützen. Die gesamten Strahlungsverhältnisse werden im Innern, in der abgegebenen Abluft sowie in den Abwässern laufend überwacht, so dass im normalen Betrieb, wie die bereits zahlreich im Betrieb befindlichen Atomkraftwerke ergeben, keine Gefährdung der Umgebung entsteht.

Aber auch die Atomkraftwerke sind technische Anlagen mit all ihren Eigenschaften, und so muss man auch annehmen, dass sie bei einer 20- bis 30jährigen Lebensdauer nicht ohne Störung bleiben werden, so sehr wir auch wünschen, dass es nicht der Fall sein möge. Wenn aber einmal eine Störung in dem Strahlungsbereich sich ergeben sollte, gleichgültig, ob die Wärmeentwicklung zu gross, das Kühlmedium ganz oder teilweise ausfällt, der Primärkreislauf leck wird oder die Uranstäbe undicht werden usw., so sind die Folgen sehr weitreichend, wenn es nach aussen hin zur Abgabe von strahlenden Teilchen kommt. Man merkt nichts, fühlt, hört und sieht nichts von dem, was den Schornstein verlässt, und doch können gefährliche Situationen entstehen. Man sollte diesen, wenn auch sehr seltenen Störungsfall bei der Planung nicht ausser acht lassen. Menschen, Tiere und Pflanzen sind dann durch Strahlungen

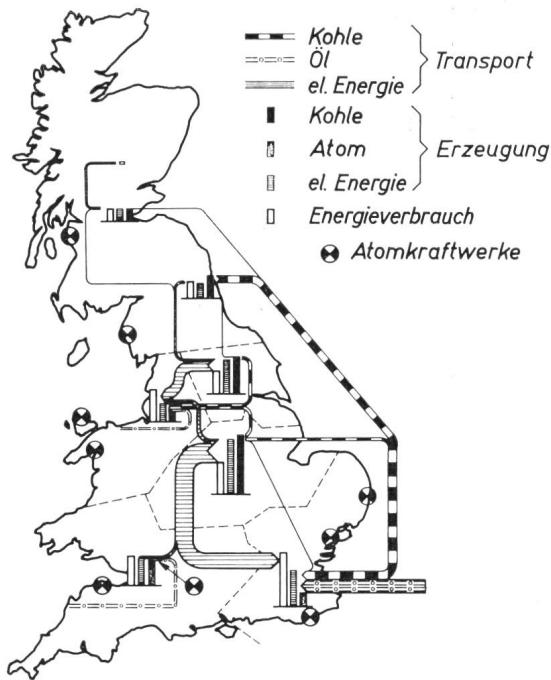


Fig. 6

Energie-Bilanz für die elektrische Energieversorgung Grossbritanniens 1970

gefährdet, wobei noch die Lebewesen die Eigenschaft entwickeln, die strahlenden Substanzen in bestimmten Bereichen zu akkumulieren und sie so erst recht an diesen Stellen gefährlich werden lassen.

Bei einer Störung in Windscale, in der Nähe von Calder Hall, hat man die Milch von Kühen, die das verunreinigte Gras gefressen hatten, kurzerhand in das Meer geschüttet, um die nötige Verdünnung zu erreichen.

Man hat aus dieser Überlegung heraus in Grossbritannien die Standorte für Atomkraftwerke mit Bedacht ausgewählt, wie Fig. 6 zeigt. Diese Skizze ist an sich entstanden aus einer Energiebilanz der Elektrizitätswirtschaft [9], zeigt aber auch zugleich die Standorte der Atomkraftwerke, die wegen des höheren Kühlwasserbedarfes alle in Meeresnähe und dann aus Strahlungsgründen in dünnbesiedelten Gebieten angeordnet sind. Man nimmt den Transport der elektrischen Energie aus den an sich mit Grundlast fahrenden Atomkraftwerken zu den Verbrauchsschwerpunkten eben in Kauf.

d) Rauchgase

Die Verunreinigung der Luft durch Rauchgase hat in den letzten Jahrzehnten deshalb so an Bedeutung gewonnen, weil in einigen Ballungsgebieten der Industrie ernsthafte Probleme der Schädigung von Mensch, Tier und Pflanzen aufgetreten sind und weil die Auffüllung des Rauchgasgehaltes der Luft durch die Industrie, die Hausheizungen und durch den zunehmenden Verkehr von unten her sehr stark zugenommen hat und dadurch, besonders in den Großstädten, schwierige Verhältnisse entstanden sind. Es ist deshalb notwendig geworden, gesetzliche Regelungen über die zulässigen Belastungen durch Rauchgase (Staub und SO_2) zu erlassen, und dabei konnte es nicht ausbleiben, dass bei den Diskussionen über diese Gesetzgebungen in der Öffentlichkeit auch manchmal der Boden der reinen Sachlichkeit verlassen wurde. Als Ingenieur sollte man sich bemühen, immer die Sachlichkeit in den Vordergrund zu stellen.

Bei der Verbrennung von Kohle und Öl entstehen Gase, und diese Gase muss man der Umgebungsluft überlassen. Jedes Gas ist nun für Mensch, Tier oder Pflanzen schädlich, wenn seine Konzentration ein bestimmtes Mass überschreitet. Auch Sauerstoff wäre in zu hoher Konzentration sehr gefährlich. Die erste Aufgabe ist also, die Rauchgase – gleichgültig, welche Zusammensetzung sie haben – mit Hilfe der Umgebungsluft so zu verdünnen, dass sie in Bodennähe nicht mehr schädlich werden können. Auch wenn man die Rauchgase von einigen Stoffen, z. B. Staub oder SO_2 völlig reinigen könnte, bleibt die Verdünnungsaufgabe für die übrigen Bestandteile der Rauchgase bestehen. Erst in zweiter Linie kommt die genannte Aufgabe der Reinigung der Rauchgase von bestimmten Stoffen, die man als besonders unangenehm und schädlich erkannt hat. Wenn nun aber schon durch entsprechende Massnahmen ein bestimmter Verdünnungsgrad erreicht wird, so erhebt sich die weitere Frage, ob dieser Verdünnungsgrad nicht dann für alle Gase ausreicht und die Abscheidung einzelner Gase dann nicht mehr erforderlich wird.

Fig. 7 zeigt die Zusammensetzung der Rauchgase aus einer Steinkohlenfeuerung. Man erkennt den hohen Stickstoffanteil, dann folgen CO_2 , Wasserdampf, Sauerstoff und schliesslich SO_2 und Staub. Auf der einen Seite ist die Zusammensetzung in Gewichtsprozent, auf der anderen in Volumenprozent dargestellt. Während Stickstoff, CO_2 und Wasserdampf hohe Prozentsätze aufweisen, trifft dies für die Stoffe Staub und SO_2 nicht zu, d. h. diese Stoffe sind schon in den Rauchgasen in starker Verdünnung vorhanden, so dass ihre Abscheidung eben aus diesem Grunde zu einem Problem wird.

Die Zusammensetzung der Rauchgase bei Ölfeuerung unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der Darstellung der Fig. 7. Je nach Anteil der verschiedenen Kohlenwasserstoffe im Öl wird das Verhältnis CO_2 zu Wasserdampf sich verschieben, und je nach Schwefelgehalt im Öl kann auch der Gehalt an SO_2 grösser oder kleiner sein, als hier dargestellt. Lediglich auf folgenden Unterschied ist noch hinzuweisen:

Der SO_2 -Gehalt ist errechnet unter der Annahme, dass der gesamte Schwefel sich als SO_2 im Rauchgas wiederfin-

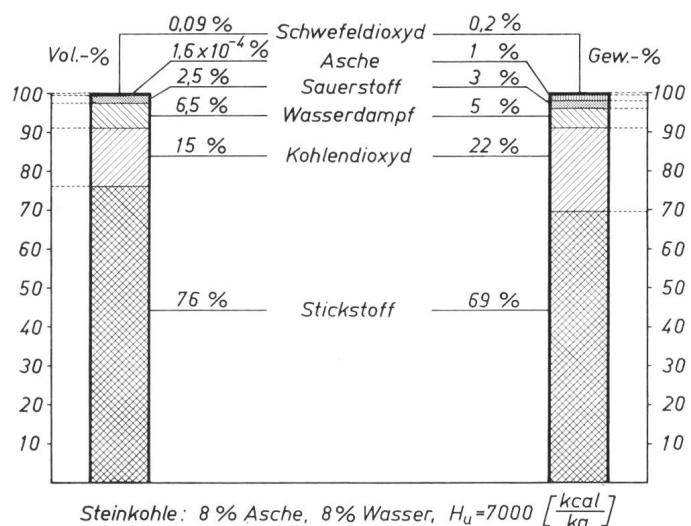


Fig. 7
Rauchgas-Zusammensetzung eines Steinkohlekessels

det. Bekanntlich oxydert ein geringer Anteil auch zu SO_3 [10], und dieses SO_3 ist besonders schädlich. Der SO_3 -Anteil ist nun bei der Ölfeuerung grösser als bei der Kohlefeuerung. Man kann den SO_3 -Anteil beim Öl in den Rauchgasen aber senken, wenn man den Luftüberschuss senkt bis möglichst nahe an das stöchiometrische Verhältnis. Dies hat aber umgekehrt zur Folge, dass bei Belastungsschwankungen teilweise unvollkommene Verbrennung entsteht, wodurch dann auch in den Rauchgasen bei Ölfeuerung Staub in Form von Russ vorhanden ist. Der Staubgehalt der Rauchgase bei der Ölfeuerung ohne Staubabscheider bewegt sich dann in der Größenordnung des Staubgehaltes bei Kohlenfeuerung nach dem Elektrofilter.

Sieht man von diesen nicht sehr ins Gewicht fallenden Unterschieden ab und befasst sich nur mit den grundsätzlichen Zusammenhängen, so sei die Rauchgaszusammensetzung, wie sie bei einer Steinkohlenfeuerung entsteht, den weiteren Ausführungen zu Grunde gelegt, weil hierbei auch gleichzeitig die Frage der Entstaubung mit erfasst wird.

Zur Verdünnung der Rauchgase in der Umgebungsluft gibt es nun technisch nur ein einziges wirksames Mittel, das ist der Schornstein, d. h. die Rauchgase möglichst in grosser Höhe erst der Umgebungsluft zu überlassen, so dass der Weg bei der Durchwirbelung mit der Luft bis zum Erdboden herunter möglichst gross wird.

Alle Versuche, bei niedrigen Schornsteinen mit Hilfe zusätzlicher Ventilatoren eine ausreichende Lösung zu erzielen – sog. schornsteinlose Kraftwerke waren eine zeitlang architektonisch bevorzugt – haben zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt. Derartige Anlagen müssen nach und nach zusätzlich mit hohen Schornsteinen ausgerüstet werden, wofür in Nordrhein-Westfalen ein entsprechendes Verbesserungsprogramm zur Zeit durchgeführt wird.

Unterstützt wird die Verdünnung der Rauchgase nach dem Austritt aus dem Schornstein noch durch den Auftrieb der Rauchgase. Dadurch steigen die Rauchgase noch über

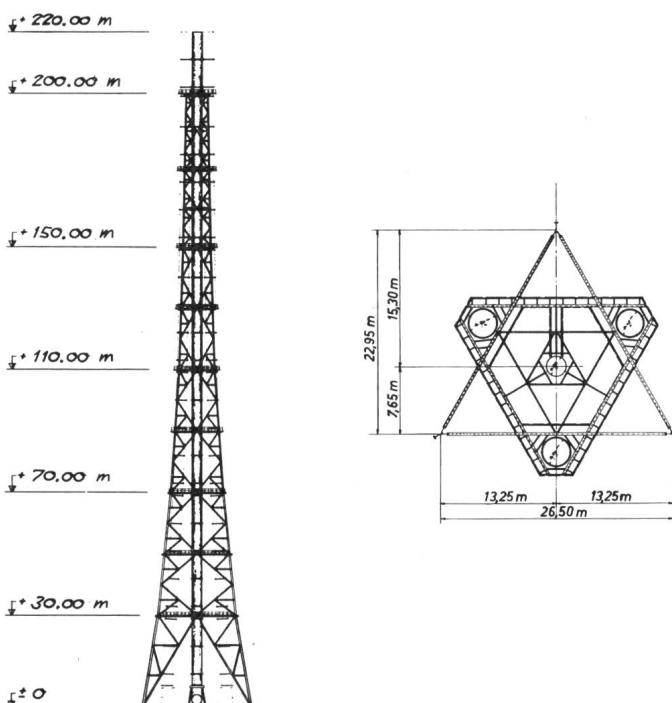


Fig. 8
N. W. K. Kraftwerk Stade
Schornstein 220 m hoch

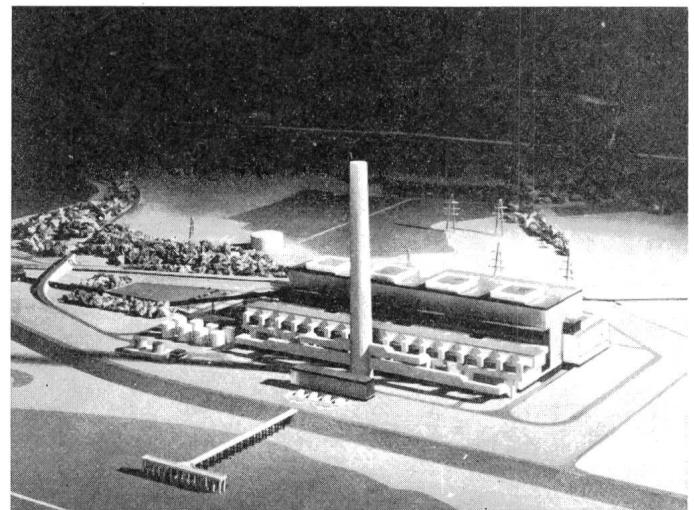


Fig. 9
Modell eines 2400-MW-Kraftwerkes
Longannet, Schottland

die Schornsteinmündung weiter hoch, und man spricht theoretisch von einer Schornsteinüberhöhung. Dieser Auftrieb bzw. die sich daraus ergebende Schornsteinüberhöhung hat drei Ursachen:

1. Die Rauchgastemperatur, die über derjenigen der Umgebungsluft liegt;
2. Die Austrittsgeschwindigkeit der Rauchgase aus dem Schornstein;
3. Die Grösse des Massenflusses der Rauchgase, der den Schornstein verlässt.

Alle drei Einflussgrössen sollte man möglichst wirksam gestalten. Bei der Erhöhung der Rauchgastemperaturen am Kesselende kommt man jedoch in Gegensatz zum Streben nach höchstem Wirkungsgrad. Als Faustformel kann man sagen, dass etwa 10 °C niedrigere Rauchgastemperatur 0,5 % Wirkungsgradverbesserung bedeuten, die aber auf der anderen Seite einen etwa 10 m höheren Schornstein erforderlich machen, um gleiche Immissionsverhältnisse zu erreichen. Man muss hier zu einem Kompromiss bereit sein, und je nach den vorliegenden Verhältnissen das eine oder andere vorziehen. Die heute üblichen Rauchgastemperaturen liegen bei 120...130 °C bei Steinkohlenfeuerung und bei etwa 140...150 °C bei Ölfeuerung, bedingt durch die sog. Taupunkterscheinungen am Kesselende, welche bei Ölfeuerung wegen der anderen SO_2 - bzw. SO_3 -Verhältnisse schon bei höheren Temperaturen sich zeigen.

Bei der Austrittsgeschwindigkeit der Rauchgase aus dem Schornstein geht man von früher 10...12 m/s, heute auf etwa 18...20 m/s über, vereinzelt auch schon darüber. Man wird abwarten müssen, ob diese hohen Rauchgasgeschwindigkeiten einen Verschleiss der Schornsteinauskleidung mit sich bringen oder nicht, andernfalls müsste man auf auswechselbare Düsenstücke am oberen Ende des Schornsteins übergehen.

Zur Erzielung eines möglichst grossen Massenflusses der Rauchgase sollte man mehrere Blöcke eines Kraftwerkes in der Rauchgasabführung zusammenfassen. Dies kann geschehen, indem man mehrere Einzelschornsteine zusammenführt, wie dies Fig. 8 für das Kraftwerk Stade an der Elbe zeigt oder auch, wie dies in Grossbritannien geschieht, durch Zusammenfassung in einem einzigen Schornstein für ein ganzes Kraftwerk. Dieser eine Schornstein kann auch mehrere Röhren innerhalb der Aussenmauerung enthalten.

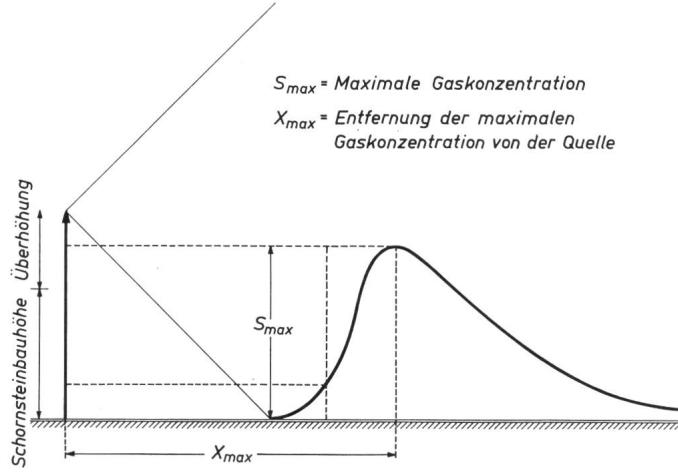


Fig. 10
Gaskonzentration am Erdboden im Lee einer Quelle bei vollständiger Reflexion

Diese Lösung setzt natürlich voraus, dass von Anfang an der Endausbau des Kraftwerkes bekannt ist, was nur bei einer grossräumigen Planung durchgeführt werden kann.

Fig. 9 zeigt ein 2400-MW-Kraftwerk in Schottland, bei welchem die Rauchgase hinter dem Kesselhaus gereinigt und zusammengeführt werden, eine Lösung, wie sie auch bei den übrigen 2000-MW-Kraftwerken in England zur Ausführung kommt.

Werden alle diese Massnahmen angewandt, so ergibt sich eine ganz bestimmte Einwirkung der Rauchgase auf die Umgebung. Die theoretischen Zusammenhänge sind sehr verwickelt, da neben den Verhältnissen am Schornsteinaustritt die meteorologischen Zusammenhänge, wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit, stabile oder labile Wetterlage und dergleichen, hinzukommen [3; 11]. Legt man die Theorie von *Sutton* und deren Weiterentwicklung durch *Wippermann-Klug* [12] zu Grunde, so ergibt sich die in Fig. 10 dargestellte Betrachtungsweise.

Ausgehend von der Schornsteinhöhe zuzüglich der Schornsteinüberhöhung durch den Auftrieb der Rauchgase breiten sich die Rauchgase durch Diffusion und Verwirbelung kegelförmig aus, bis sie zum Erdboden gelangen. Hier werden die Gase reflektiert, so dass sich eine Rauchgasanreicherung ergibt, die zu einem Maximum führt. Dieses Maximum ist nun abhängig von der Windgeschwindigkeit, und es wird den Berechnungen diejenige Windgeschwindigkeit zu Grunde gelegt, die das höchste Maximum aller möglichen Maximas liefert. Dies ist eine erste Sicherheit, die in die Betrachtungen eingebaut wird, da dieses ungünstige Maximum im Jahr ja nur zeitweise und vorübergehend auftritt. Man nimmt nun weiterhin sicherheitshalber an, dass dieses Optimum an Konzentration nun nicht nur in der festgestellten Entfernung X_{max} auftritt, sondern dass es für das gesamte Gebiet um den Schornstein herum gilt. Dies ist eine zweite Sicherheit. Addiert man nun S_{max} zur vorhandenen Vorbelastung der Luft an schädlichen Stoffen, so erhält man die für die Einwirkung auf die Umwelt entstehende Gesamtkonzentration, die dann verglichen werden muss mit der Grenzkonzentration, die zur Vermeidung von Schäden nicht überschritten werden darf.

Diese Überlegungen gelten sowohl für die Rauchgase insgesamt, als auch für ihre einzelnen Bestandteile. Der Stickstoff in den Rauchgasen ist auch in der Luft mit einem

ähnlichen Prozentsatz schon enthalten, so dass bei der Mischung nur geringe Konzentrationsverschiebungen sich ergeben, die unschädlich sind, wie auch der Stickstoff selbst sich den Lebewesen und Pflanzen gegenüber indifferent verhält. Desgleichen ist auch der Wasserdampf in Form von Feuchtigkeit in unserer Umgebungsluft zeitweise auch als Nebel oder Regen vorhanden, so dass der Wasserdampf- Bestandteil der Rauchgase auch keine nachteiligen Folgen mit sich bringt. Es verbleiben somit der Einfluss von CO_2 , SO_2 und Staub, die der Reihe nach untersucht werden sollen, und zwar bezogen auf Pflanzen, da Mensch und Tier unempfindlicher sind, die Pflanzen also das Kriterium für einen Schadensbeginn darstellen.

Errechnet man unter bestimmten Annahmen – 116 m hoher Schornstein, 2 m/s Windgeschwindigkeit und bestimmte Rauchgasauswurfmengen – die Gaskonzentration, abhängig von der Entfernung vom Schornstein, so ergibt sich für CO_2 bzw. SO_2 eine Konzentration am Erdboden, wie sie in Fig. 11 dargestellt ist. Auf der Abszisse ist die Entfernung vom Schornstein in km im logarithmischen Maßstab aufgetragen und auf der Ordinate in zwei getrennten Maßstäben die Konzentration für CO_2 und SO_2 . Das Maximum der Konzentration liegt im vorliegenden Falle bei etwa 10 km Entfernung. Dies gilt für ebenes Gelände; bei hügeligem Gelände sind besondere Untersuchungen nötig.

Es ist bekannt, dass eine Erhöhung des CO_2 -Gehaltes der Luft wachstumsfördernd wirkt [13]. In Fig. 11 ist oberhalb der CO_2 -Kurve die normale Konzentration des CO_2 in der Luft aufgetragen und auch die Erhöhung durch das Rauchgas- CO_2 eingezeichnet. Darüber ist der günstigste CO_2 -Bereich mit 0,15...0,3 Vol.-% eingetragen. Erst wenn der CO_2 -Anteil in der Luft einen noch höheren Wert von 0,5...0,8 Vol.-% erreicht, wirkt auch CO_2 schädlich. Wir befinden uns also bei der durch die Rauchgase eintretenden Erhöhung des CO_2 -Gehaltes im aufsteigenden Ast der wachstumsfördernden Kurve.

Die Wachstumsförderung eines höheren CO_2 -Gehaltes durch Rauchgase wurde auch durch praktische Versuche festgestellt. In einem Gewächshaus wurden unter sonst gleichen Bedingungen drei Abteilungen mit gleichen Pflanzen besetzt. Die erste Abteilung blieb unbegast, die zweite Ab-

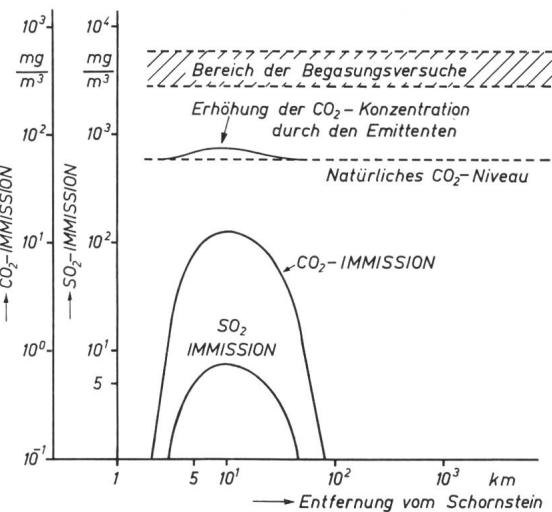


Fig. 11
Immissionsprofil einer 116 m hohen Quelle
Windrichtung Osten; Windstärke 2 m/s



Fig. 12
Einfluss einer CO_2 -Begasung bei Mimosen

teilung wurde mit CO_2 aus Kohlensäureflaschen begast und die dritte Abteilung mit Rauchgasen beaufschlagt, nachdem diese Rauchgase zur Bindung des SO_2 (bis auf einen geringen Restgehalt) über ein Eisenfilter geleitet waren.

Fig. 12 zeigt den Einfluss der CO_2 -Begasung in diesen drei Vergleichsfällen bei Mimosen, und zwar links unbegast, in der Mitte mit Flaschen- CO_2 und rechts mit Rauchgasen begast. Die Begasung erfolgte tagsüber, da zur Umsetzung von CO_2 die Photosynthese, d. h. der Einfall von Licht, notwendig ist. Die Begasung erfolgte so, dass eine Konzentration von 0,15...0,30 Vol.-% in der Gewächshausluft vorhanden war.

Fig. 13 zeigt die Seitentrieb-Entwicklung bei Gurken. Man erkennt zunächst die bessere Wirkung im Wachstum durch Rauchgas- CO_2 , später holt die Flaschen- CO_2 -Begasung wieder auf mit dem Endergebnis, dass die beiden mit CO_2 begasten Abteilungen in der Entwicklung etwa gleich zogen, aber beide weit überlegene Ergebnisse erzielten gegenüber der unbegasten Abteilung.

In gleicher Weise zeigt Fig. 14 den Ernteertrag der Gurkenzucht, einmal nach Gewicht (Ordinate) und zum anderen durch die angeschriebene Stückzahl. Die Begasung

durch CO_2 in ihrem optimalen Bereich bringt einen 3- bis 4fachen Ertrag, so dass auch Begasungen unterhalb des optimalen Bereiches noch einen sichtbaren Erfolg bringen.

Demgegenüber ist der Einfluss von SO_2 schädlich. Fig. 15 zeigt die Entwicklung von Stachelbeersträuchern, und zwar rechts unbegast, in der Mitte und links mit SO_2 begast, ebenfalls intermittierend, wobei der durchschnittliche SO_2 -Gehalt der Luft während der Begasung sich bei 0,7 mg/m³ (Mitte) bzw. bei 1,0 mg/m³ (links) bewegte [14].

Für das Schadensbild sind jedoch nicht diese mittleren Begasungswerte massgebend, sondern, wie Fig. 16 (Seitentriebentwicklung) zeigt, die im Maximalfall aufgetretenen Halbstunden-Mittelwerte, die sich auf 14,6 mg/m³ bzw. 6,7 mg/m³, also den 10- bis 14fachen Betrag, beliefen. Diese hohen Konzentrationswerte sind unbedingt stark schädlich, und die Pflanze kann sich auch in den Zwischenzeiten mit geringerer Begasung nicht mehr davon erholen.

Es ist das Kennzeichen vieler SO_2 -Versuche, dass sie bei verhältnismässig hoher SO_2 -Konzentration durchgeführt wurden, um in einer angemessenen Zeit zu einem Schadensergebnis zu kommen. Man hat das eigentliche Grenzgebiet, in welchem der Schaden wirklich seine ersten Anfänge

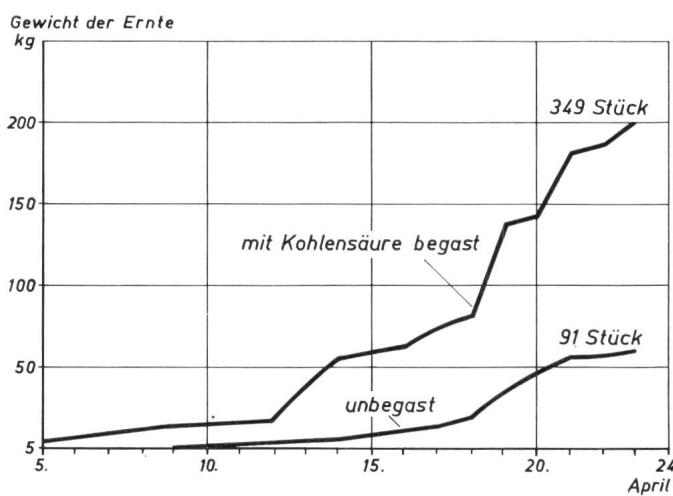


Fig. 14
Stand der Gurkenernte im Gewächshaus

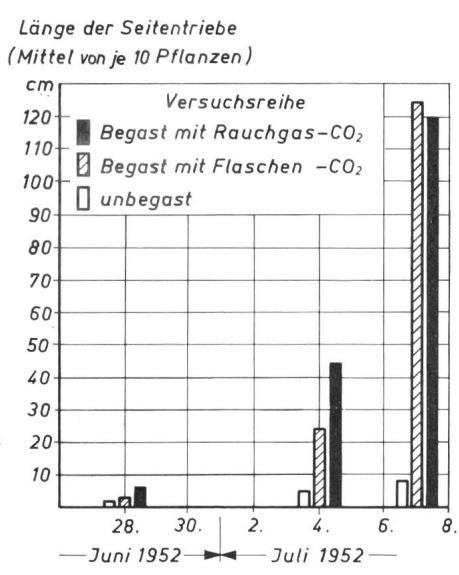


Fig. 13
Förderung der Seitentriebentwicklung bei Gurken

nimmt, noch nicht genügend untersucht, und so ist es natürlich, wenn die Behörden bei der Festlegung der für die Praxis einzuhaltenden Grenzwerte diese sehr niedrig ansetzen. Die Vorschriften sind deshalb in den verschiedenen Ländern unterschiedlich und bewegen sich im Bereich von 0,15...1,5 ppm für den Halbstunden-Mittelwert, wenn man die amerikanischen, schweizerischen, deutschen und russischen Werte vergleicht. Dieser weite Bereich zeigt bereits die Unsicherheit in der Beurteilung der ersten Schadengrenze.

Nimmt man einmal an, der sichere Schadensbereich beginnt bei 2...3 ppm Konzentration, dann würde uns technisch gerade der Bereich von 0,3...3 ppm SO_2 -Konzentration interessieren, ob hier bereits mit einer merkbaren Beeinflussung gerechnet werden muss, und wie weit man bei Einhaltung der Vorschriften vom Schadensbeginn noch entfernt ist. Nur an wenigen Stellen wird in diesem Bereich geforscht, wobei es sich naturgemäß um sehr zeitraubende Versuche handelt, so dass man so rasch nicht zu einem Ergebnis kommen kann.

Vorerst kann man nur die nach der sicheren Seite hin festgelegten Grenzwerte zur Anwendung bringen, und man sollte in der Folgezeit möglichst viele Beobachtungen anstellen, um die angenommene Theorie und etwaige Beeinflusungen der Umwelt zu überprüfen.

Im Kraftwerk Kellermann wurden erste Versuche in dieser Richtung vorgenommen, indem man die Erhöhung der SO_2 -Konzentration durch die Rauchgase eines Schornsteins messtechnisch feststellte und sie mit dem Rechnungsergebnis verglich. Fig. 17 zeigt das Messergebnis (untere Kurve) im Vergleich zu dem nach der Theorie Wippermann-Klug sich ergebenden Maximum (obere Kurve).

Da nun die Messungen näher am Schornstein durchgeführt wurden, als der Entfernung X_{max} des theoretischen Maximums entspricht, so müssen die Messergebnisse niedrigere Werte anzeigen, was auch der Fall ist. Man erkennt also auch hieraus, wie bereits in der Theorie Sicherheiten eingebaut sind. Der einzige Messwert, bei welchem die Erhöhung dem Wippermann-Klugschen Wert entsprach, ist nicht ganz gesichert, da hierbei ein Inversionseinfluss gegeben gewesen sein kann, bei dem die Emission von SO_2 aus niedrigeren Quellen eine grössere Rolle gespielt haben könnte.



Fig. 15
Einfluss einer SO_2 -Begasung bei Stachelbeersträuchern

Der dritte Bestandteil der Rauchgase ist der Staub. Bei diesem Staub handelt es sich um einen grossen Bereich der Korngrössen, wie Fig. 18 zeigt [15]. Der Hauptanteil der Korngrössen liegt im Bereich von 100 bis 1 μm , der Kornbereich reicht aber auch weiter in das Gebiet unterhalb von 1 μm hinein. In der Feuerung werden bei der raschen Erhitzung der Aschebestandteile beim Einbringen in den Feuerraum mit etwa 1500 °C Temperatur sehr feine SiO_2 -Stäube gebildet, die sich auch in den Rauchgasen wiederfinden.

Aus diesem grossen Bereich der Korngrössen des Staubes ergeben sich nun sehr unterschiedliche Eigenschaften der einzelnen Staubbereiche. Während die groben Körner oberhalb etwa 10 μm im grossen und ganzen noch den Fallgesetzen gehorchen, so dass man die Stockeschen Gesetze anwenden kann bei ihrem Verhalten in der Atmosphäre, so zeigen die Korngrössen unterhalb von 3 μm mehr und mehr das Verhalten von Gasen, bei denen die einzelnen Teilchen sog. Brownsche Bewegungen durchführen. Aus dieser Staubzusammensetzung ergeben sich nun auch die Massnahmen für die Staubabscheidung, wie auch weiterhin für die Immissionsverhältnisse in der Umgebung der Schornsteine [16].

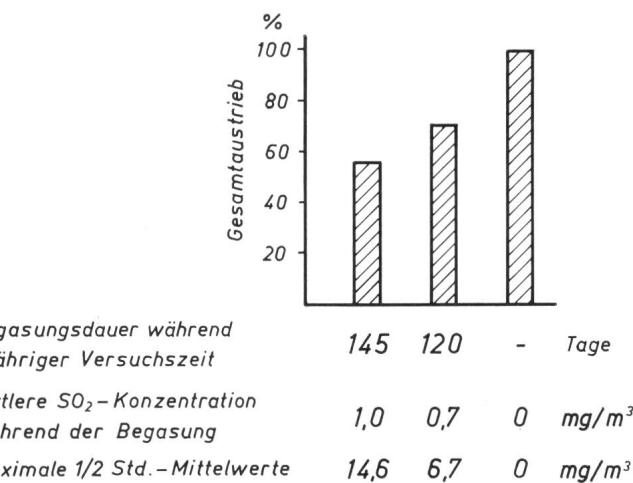


Fig. 16
Veränderung im Austrieb bei Stachelbeersträuchern nach einer SO_2 -Begasung

Die mechanischen Staubabscheider sind nur für Stäube geeignet, die den Fallgesetzen gehorchen, wobei die Abscheidekraft bei kleiner werdenden Korngrössen sehr rasch abnimmt. Will man den gesamten Kornbereich in der Abscheidung erfassen, dann kommen nur Elektrofilter in Frage, und diese haben sich auch ganz allgemein bei den Kraftwerken eingeführt. Aber auch hier muss darauf hingewiesen werden, dass man bei der Auslegung und der Vergabe der Elektrofilter nicht nach dem billigsten Angebot entscheiden sollte, sondern nur nach der besten technischen Auslegung. Diese verlangt Rauchgasgeschwindigkeiten von etwa 1,0...1,3 m/s und nicht darüber, verlangt bestimmte Wanderungsgeschwindigkeiten des Staubes im aufgeladenen Feld von ca. 8 cm/s, Verweilzeiten innerhalb des Filters von ca. 10 s und dazu entsprechende Filterabscheideflächen. Das Elektrofilter sollte auch in verschiedene Zonen unterteilt sein mit getrennter Stromeinspeisung und Spannungsreglung und dergleichen mehr. Nach den deutschen Vorschriften soll ein Reingasgehalt von etwa 120 mg/m^3 angestrebt werden, eine Zahl, die sich mit Kohlen von 6...10 % Aschegehalt, wie sie für Kraftwerke in der Schweiz in Frage kommen, jederzeit einhalten lässt.

Für die Immission kommen nun die beiden genannten Gesetzmässigkeiten, einmal das Stockesche Gesetz und dann

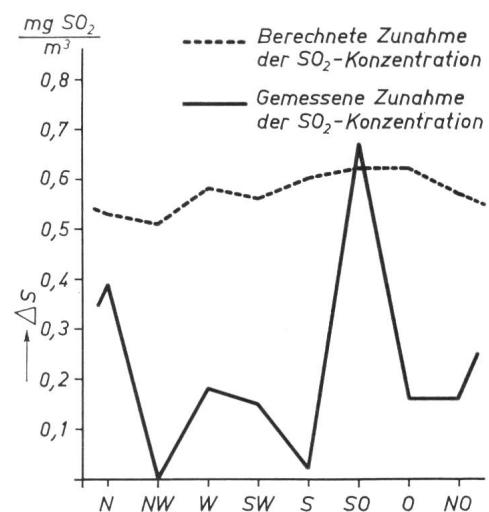


Fig. 17
Zunahme der SO_2 -Konzentration nach Inbetriebnahme eines 150-MW-Blockes

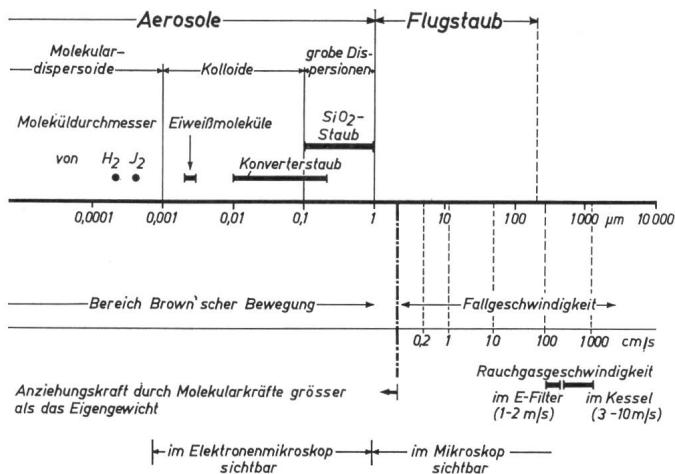


Fig. 18
Skala der Teilchengröße

das Gasgesetz von *Sutton-Wippermann-Klug*, in Frage. Berechnet man für bestimmte Verhältnisse, Schornsteinhöhe 116 m, Staubkennlinie

$$\begin{aligned} x &= 0,1 / 3,7 / 36 \mu\text{m} \\ D &= 10 / 50 / 90 \% \end{aligned}$$

für Windverhältnisse nach Fig. 19 sowie eine angenommene Unterteilung des Staubes oberhalb 3 μm dem Stockschenschen Gesetz unterworfen und unterhalb 3 μm den Gasgesetzen gehorrend, so ergibt sich für den groben Staub Fig. 20 mit Linien gleichen Staubniederschlages. Man erkennt einen ringförmigen Wall um den Schornstein, der je nach den Windverhältnissen einige Maximas aufweist.

In gleicher Weise lässt sich auch für den feinkörnigen Anteil unter 3 μm eine Staubverteilung berechnen, deren Maximas weiter draussen - im vorliegenden Fall bei etwa 10 km Entfernung vom Schornstein - liegen. Die Kurven für den feineren Staub sind der Übersichtlichkeit wegen hier weggelassen. Legt man durch ein Staubmaximum einen Querschnitt hindurch, so erhält man Fig. 21. In einer Ent-

fernung von 100...500 m vom Schornstein ist das Hauptniederschlagsgebiet des groben Staubes und in einer Entfernung von ca. 10 km, wie bereits erwähnt, dasjenige des feinen Staubes. Selbstverständlich ist die Trennung der beiden Staubbereiche bei 3 μm ziemlich willkürlich, und es werden die Staubkörner um 3 μm sich anders verhalten, als die beiden Gesetze angeben, so dass auch das Tal zwischen beiden Maximas mit Staub beaufschlagt wird.

Frage man sich nun nach der Einwirkung des Staubes auf die Umgebung, so ergibt sich insgesamt geschen, dass er harmlos ist. Die chemische Zusammensetzung des Staubes entspricht in etwa der unseres Erdbodens, und man kann auf dem Gelände, welches mit Flugstaub aufgefüllt wurde, in gleicher Weise landwirtschaftliche Produkte anbauen, wie auf dem gewachsenen Boden. Entsprechende Versuche wurden bereits an mehreren Stellen mit Erfolg durchgeführt [17].

Der Staub, der sich auf den Pflanzen ablagert, wird vom Regen wieder abgewaschen. Soweit das Vieh mit dem Gras auch Staub als Nahrung aufnimmt, ist dies für den Gesundheitszustand ohne jede Bedeutung.

Die Bergwerksgesellschaft Hibernia führte in enger Zusammenarbeit mit der Tierärztlichen Fakultät der Technischen Hochschule Hannover in der Zeit zwischen 1951 bis 1954 eingehende Fütterungsversuche mit Steinkohlenflugasche bei Milchkühen durch [18]. Bei den Versuchskühen handelt es sich um 9 Tiere der schwarz-bunten Niederungsrasse, die alle aus der flugaschefreien Gegend um Oldenburg stammten. Die Tiere waren zu Beginn des dreijährigen Versuches vollkommen gesund.

Der Versuch selbst wurde so durchgeführt, dass man die 9 Kühe in 3 Gruppen zu je 3 Tieren unterteilte. Bei der ersten Gruppe wurde streng darauf geachtet, dass über die Nahrungsaufnahme keine Flugasche inkorporiert wurde. Die zweite Gruppe erhielt täglich zusätzlich zum normalen Futter 0,3 kg, die dritte Gruppe 1,8 kg Flugasche. Eine viermonatige flugaschefreie Nachperiode schloss sich diesen

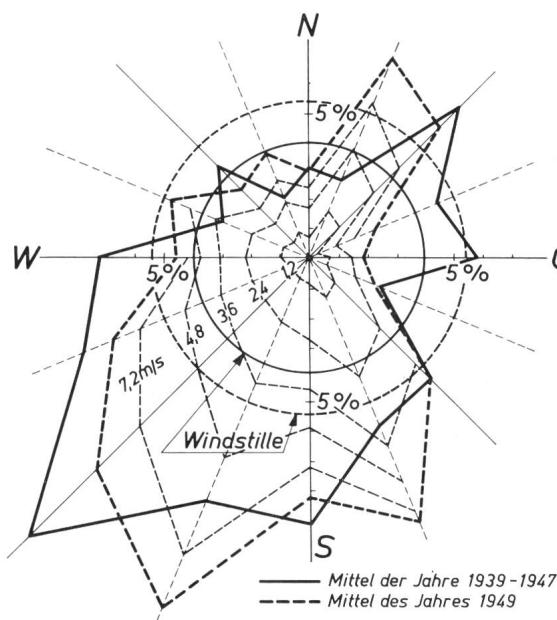


Fig. 19
Windverteilung nach Richtung und Stärke

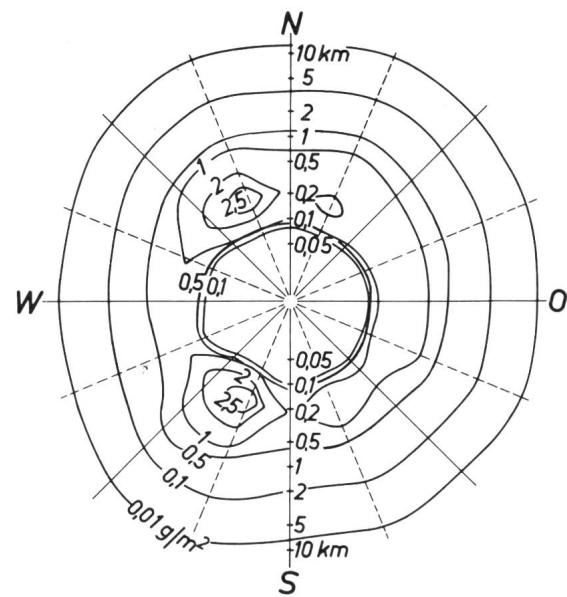


Fig. 20
Staubniederschlag in der Umgebung eines Schornsteines

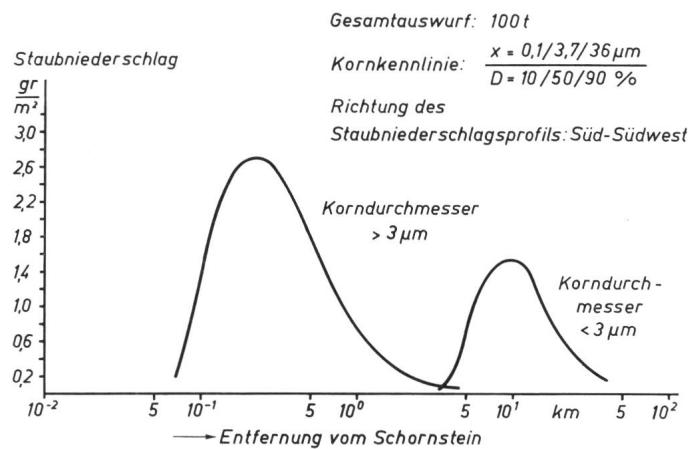


Fig. 21
Staubniederschlagsprofil aus einer 116 m hohen Quelle

Versuchen an, um festzustellen, ob sich irgendwelche Nachwirkungen zeigen würden.

Das Verhalten der Tiere wurde während der Versuchsdauer unter besonderer Berücksichtigung ihrer Gesundheit, ihrer Fruchtbarkeit, ihres Körpergewichts und ihrer Milchleistung laufend tierärztlich überwacht. Milch, Blut, Harn und Kot sind während des Versuchsablaufes mehrmals chemisch untersucht worden.

Nach Beendigung der Versuche erfolgte die Schlachtung der Tiere, der sich eine eingehende pathologisch-anatomische Untersuchung anschloss. Sie erstreckte sich auf die Organe der Bauchhöhle, der Harn- und Beckenorgane, den Kopf, die Halsorgane, die Organe der Brusthöhle, das Skelett und die Klauen.

Als Ergebnis des Fütterungsversuches konnte folgendes festgestellt werden:

Die mit der Nahrung aufgenommene Steinkohlen-Flugasche übte selbst in Mengen, die an der Grenze der Aufnahmefähigkeit lagen, keinen schädigenden Einfluss auf die Milchkuh aus. Gewichtsverhalten und Milchleistung blieben über den Versuchszeitraum normal. Das allgemeine gesundheitliche Verhalten der Tiere war während des Versuches auffallend gut. Mit der Verfütterung von Flugasche zusammenhängende Verdauungsstörungen konnten nicht festgestellt werden. Allerdings zeigte sich, dass der Kot der Tiere um so mehr Flugaschebestandteile enthielt, je mehr Flugasche verfüttert wurde. Die Flugasche ging in fast der gleichen Zusammensetzung mit dem Kot ab, in der sie aufgenommen wurde.

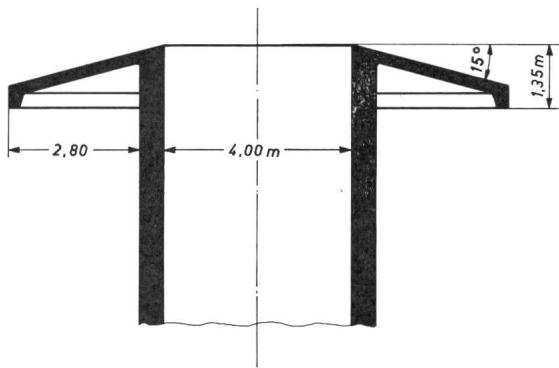


Fig. 22
Abströmteller bei Schornsteinen

Es ergaben sich Anzeichen dafür, dass die Fruchtbarkeit durch die Verfütterung von Steinkohlenflugasche gefördert werden kann.

Dieses günstige Versuchsergebnis wird damit erklärt, wie die chemische Analyse der Steinkohlenflugasche zeigt, dass ihre Mineralsubstanzen die gleichen sind, wie sie auch der Ackerboden enthält. Substanzen, die von vornherein als schädigend betrachtet werden müssen, sind in der Steinkohlenflugasche nicht vorhanden.

Die Wirkung des Staues von Rauchgasen auf den Menschen ist gesundheitlich ebenfalls belanglos. Es handelt sich hier nicht um die Staubeinwirkungen, die bei der Arbeit unter Tage am Arbeitsplatz entstehen und zur Silikose oder zu ähnlichen Erkrankungen führen. Der Staub ist den Menschen lästig, aber man kann ihn wieder abwaschen vom Körper, von der Wäsche, von anderen Gegenständen, oder man kann ihn absaugen.

Fasst man die Einwirkungen der Rauchgase auf die Umgebung zusammen, so haben wir es mit den indifferenten

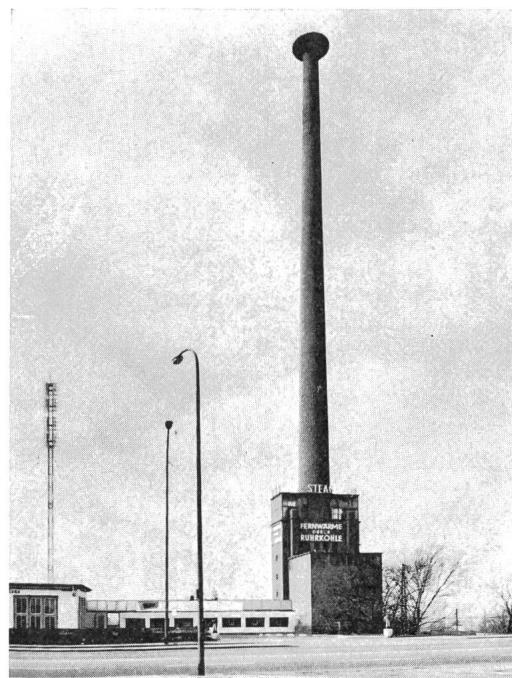


Fig. 23
Heizwerk in Essen

Bestandteile Stickstoff und Wasserdampf, mit dem wachstumsfördernden CO_2 , dem schädlichen SO_2 und dem zwar lästigen, aber unschädlichen Staub zu tun. Alle Anstrengungen müssen also auf das SO_2 gerichtet sein, und hierbei muss die Verdünnungsaufgabe in der Luft durch hohe Schornsteine und hohe Schornsteinüberhöhung richtig gelöst werden. Man muss sich im Kraftwerkbau mit zunehmender Kraftwerkgrösse auch an zunehmend hohe Schornsteine gewöhnen.

Wenn man aber die Verdünnung im Hinblick auf SO_2 richtig löst und unter der Schadensschwelle bleibt, dann bleibt die wachstumsfördernde Wirkung von CO_2 noch bestehen, und der Staub wird so weit verteilt, dass auch seine Lästigkeit nicht mehr ins Gewicht fällt.

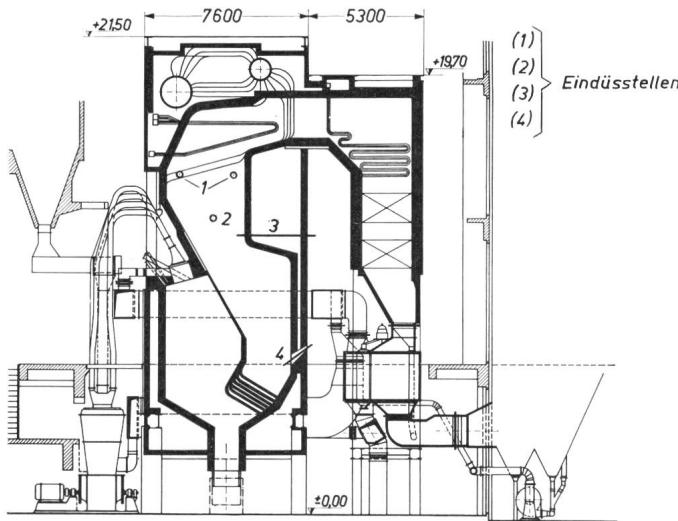


Fig. 24
Kraftwerk Kellermann
Kessel für 80 kg/cm² mit Schmelzfeuerung

Es seien noch einige Massnahmen genannt, die unterstützend durchgeführt werden können, um den Verdünnungs- und Ausbreitungsvorgang zu verbessern:

Wird am oberen Ende des Schornsteins ein sog. Abströmteller angeordnet (Fig. 22), so wird ein besseres Abströmen der Rauchfahne vom Schornstein erreicht und der Sog nach unten im Lee des Schornsteins vermieden. Das architektonische Bild ist durchaus befriedigend, wie Fig. 23, ein Fernheizwerk im Essener Stadtgebiet, zeigt. Da in das Genehmigungsverfahren nur die Schornsteinhöhe eingeht und nicht die Form des oberen Schornsteinendes, so wird dies behördlich nicht bewertet, es bleibt eine freiwillige Leistung.

Aus den Figuren über die SO₂- und Staubverteilung in der Umgebung von Schornsteinen ergab sich, dass an bestimmten Stellen Maximas auftreten. Die Entfernung dieser Maximas (X_{max}) vom Schornstein ist abhängig von der Schornsteinhöhe. Wird ein Kraftwerk mit mehreren Schornsteinen ausgerüstet, so ist es zweckmäßig, die Schornsteine nicht alle gleich hoch, sondern mit unterschiedlicher Höhe auszuführen, damit die Maximas nicht zusammenfallen. Diese Massnahme lässt sich rechnersich erfassen und wird von den Behörden gewertet. Die Architekten betrachten diese Massnahmen nicht freudigen Herzens, sie ist aber technisch besser.

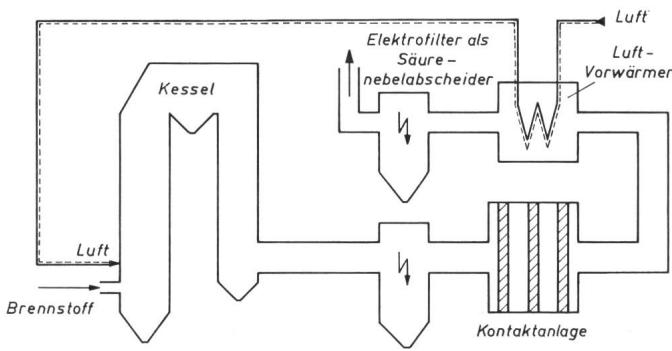


Fig. 25
Verfahrensschema einer Rauchgasentschwefelung

Schliesslich bringt die versetzte Anordnung mehrerer Schornsteine eine, wenn auch nur geringfügige Verbesserung. Zum mindesten sollte man nicht eine Reihe von Schornsteinen fluchtend mit der Hauptwindrichtung aufstellen. Solche kleinen Beiträge bringen ebenfalls eine zusätzliche Ausbreitung und damit eine Verdünnung der Rauchgase.

Man hat vielfach vorgeschlagen, das schädliche SO₂ mittels einer Entschwefelungsanlage aus den Rauchgasen ganz zu beseitigen [19...21]. Hierzu noch einige Erläuterungen in grossen Zügen; das Entschwefelungsproblem wäre allein vortragsfüllend.

Es gibt grundsätzlich drei Gruppen von Entschwefelungsverfahren:

1. Das sog. *nasse Verfahren*, bei dem das SO₂ ausgewaschen wird oder durch andere feucht zu haltende Bindungsstoffe strömt. Hierbei wird das Rauchgas mehr oder minder stark abgekühlt. Im Battersea-Kraftwerk in London hat man eine SO₂-Waschanlage errichtet und das saure Waschwasser mit Kalkmilch neutralisiert. Die Entschwefelung war weitgehend gelun-

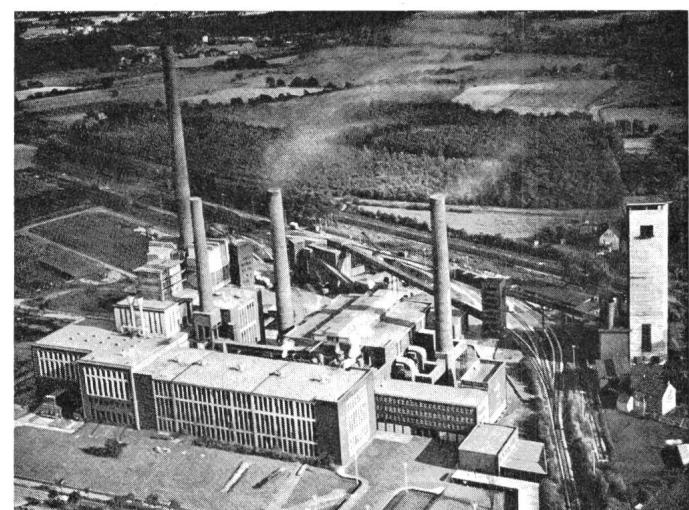


Fig. 26
Kraftwerk Kellermann in Lünen

gen, doch der Auftrieb der Rauchgase war durch die Abkühlung auf 40...60 °C verloren gegangen, so dass sich die Rauchgase auf die Umgebung senkten. Die Bevölkerung wurde durch die entschwefelten Rauchgase stärker belästigt, als durch die hochsteigenden SO₂-haltigen Rauchfahnen. Mit den nassen Verfahren lassen sich also nach heutiger Erkenntnis keine allseits befriedigende Ergebnisse erzielen.

2. Das *Einblase-Verfahren* (auch Additivverfahren genannt). Dem Rauchgasstrom wird an passender Stelle ein staubförmiger oder flüssiger oder nebelförmiger Stoff zugesetzt, der das SO₂ bindet und wodurch der entstehende neue Stoff entweder in unschädlicher Form im Rauchgas verbleibt oder staubförmig mit dem übrigen Staub im Elektrofilter abgeschieden wird.

Fig. 24 zeigt an einem Versuchskessel die verschiedenen Einblasestellen. Die bisherigen Versuche ergaben nur Entschwefelungsgrade von etwa 25 %, und die einzublasenden Stoffe und Mengen sind noch verhältnismässig kostspielig. Die Versuche werden fortgesetzt.

3. Das *Kontakt-Verfahren*. Das Rauchgas wird durch Schüttungen von Kontaktstoffen hindurchgeleitet, wobei das SO₂ entweder chemisch oder physikalisch gebunden oder auch zu SO₃ aufoxidiert wird. Fig. 25 zeigt den grundsätzlichen Verfahrensgang. Bindet der Kontaktstoff, der hinter dem Elektrofilter angeordnet ist, das SO₂, so werden die Rauchgase unmittelbar hinter der Kontaktanlage in den Schornstein entlassen. Eine solche Entschwefelungsanlage nach dem Reinluftverfahren unter Verwendung von Aktivkohle wird im Kraftwerk Kellermann zur Zeit errichtet.

Wird im Kontaktstoff das SO_2 zu SO_3 aufoxidiert, so muss wegen der dabei notwendigen höheren Prozesstemperatur der Luftvorwärmer dahinter angeordnet werden, natürlich wegen des sehr aggressiven SO_3 in säurebeständiger Bauweise, und dahinter folgt dann ein zweites Elektrofilter zur Abscheidung des SO_3 , das dann zu Schwefelsäure weiter zu verarbeiten ist.

Alle diese Kontaktverfahren bedingen wegen des nur mit 0,09 Vol. % enthaltenen SO_2 sehr mässige Durchströmgeschwindigkeiten durch den Kontaktstoff, so dass sie sehr voluminös und damit kapitalintensiv werden. Vor Beginn der Versuche lässt sich vorerst nichts Näheres darüber sagen.

Fig. 26 zeigt abschliessend das Kraftwerk Kellermann, wo die genannten Versuchsanlagen errichtet werden. Es sind auch die unterschiedlich hohen Schornsteine, die versetzt angeordnet sind, zu erkennen. Das Kraftwerk liegt am Nordostrand des Ruhrgebietes. Die Umgebung ist grün und ertragreich geblieben, trotz der dort vorhandenen Vorbelastung und des Rauchgasausstosses aus 4 Schornsteinen.

Zusammenfassung

Fasst man die Ausführungen zusammen, so ergibt sich, dass für jedes Gebiet, das man frei von Einwirkungen halten will, die elektrische Energiezufuhr von aussen die beste Lösung ist. Bei einer elektrischen Energieerzeugung innerhalb eines bestimmten Gebietes sollte man Standorte mit geringer Vorbelastung der Luft bevorzugen. Hält man die im Kraftwerkbau für die Lärminderung, Abwasserwirtschaft und Strahlungsgefahr vorgesehenen und bestehenden Vorschriften ein, so entsteht hieraus keine Belästigung für die Umgebung. Bei den Rauchgasen handelt es sich in erster Linie um eine Aufgabe der Verdünnung derselben in der Umgebungsluft. Dies geschieht durch hohe Schornsteine. Sie sind in ihrer Höhe auf Grund der SO_2 -Verhältnisse zu bestimmen. Werden dabei die nach der sicheren Seite hin festgelegten behördlichen Vorschriften berücksichtigt und die Rauchgase auf 150 mg/m³ Reststaubgehalt entstaubt, so ergeben sich auch für die Umgebung durchaus unbedenkliche Verhältnisse, und zwar ohne Schaden für Mensch, Tier und Pflanze. In Bezug auf Entschwefelungsverfahren für die Rauchgase stehen wir erst am Anfang sehr kostspieliger Versuche, so dass über ihr Ergebnis noch keine Aussagen gemacht werden können.

Literatur

- [1a] (Deutsches) Bürgerliches Gesetzbuch § 906.
- [1b] (Deutsche) Gewerbeordnung §§ 24a, 25 und 51.
- [2] (Deutsche) Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 8. 9. 1964.
- [3a] Schweizerisches Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel, Art. 6. (Noch nicht in Kraft.)
- [3b] Schweizerisches Bundesgesetz über die Arbeit in den Fabriken, Art. 9.
- [3c] Schweizerisches Zivilgesetzbuch, Art. 679 und 684.
- [4] R. Zahn: Wirkungen von Schwefeldioxyd auf die Vegetation. Ergebnisse aus Begasungsversuchen. Staub 21(1961)2, S. 56...60.
- [5] R. Köhler: Lärmekämpfung in Dampfkraftwerken. Elektr.-Wirtsch. 58(1959)21, S. 744...748.
- [6] R. Köhler: Bekämpfung des Betriebslärmes unter Berücksichtigung des Geräuschspektrums. Stahl und Eisen 79(1959)1, S. 37...41.
- [7] Noise Rating with Respect to Annoyance. International Organization for Standardization. ISO Technical Committee 43: Acoustics. Revision of 43 (Secretariat - 194) 314.
- [8] F. Kelp: Besonderheiten luftgekühlter Kraftwerke. Elektr.-Wirtsch. 63(1964)23, S. 824...831.
- [9] K. Schäff: Betrachtungen über die Elektrizitätswirtschaft Grossbritanniens und Schlussfolgerungen für die Bundesrepublik. Elektr.-Wirtsch. 64(1965)15, S. 417...422.
- [10] H. Stratmann: Schwefelbilanz-Untersuchungen bei Steinkohlen- und Braunkohlenfeuerungen. Mitteilungen der Vereinigung der Grosskesselbesitzer -(1958)52, S. 23...30.
- [11] K. W. Bühne: SO_2 -Pegelmessungen nach TAL in Gebieten mit geringer Vorbelastung. Technische Überwachung 6(1965)10, S. 347...350.
- [12] F. Wippermann: Diagramme zur Beurteilung der Eignung von Schornsteinhöhe für die Luftreinhaltung. Staub 23(1963)7, S. 335...343.
- [13] H. Brückner: Die Kohlensäure der Industrierauchgase als Wachstumsbeschleunigender Faktor für Gewächshauskulturen. Mitteilungen der Vereinigung der Grosskesselbesitzer -(1953)23, S. 401...405.
- [14] H. van Haut und H. Stratmann: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxyd auf die Vegetation. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 884. Köln und Opladen, Westdeutscher Verlag, 1960.
- [15] K. Schäff: Entwicklungen und Erfahrungen beim Bau von Dampfkraftwerken. VDI-Z. 98(1956)1, S. 1...8, 98(1956)2, S. 89...104.
- [16] K. Schäff: Der Staub und seine Probleme bei Kesselanlagen. Brennstoff, Wärme, Kraft 14(1962)3, S. 89...104.
- [17] E. G. Barber: Win Back the Acres. Ash and Agriculture. Central Electricity Generating Board, London, 1963.
- [18] M. Herrmann: Fütterungsversuch mit Steinkohlenflugasche bei Milchkühen. Dissertation der Tierärztlichen Fakultät der Technischen Hochschule Hannover, 1955.
- [19] Berichte über Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete der Entschwefelung von Rauchgasen. Mitteilungen der Vereinigung der Grosskesselbesitzer -(1963)83, S. 67...101.
- [20] F. Johswich: Bedeutung und praktische Möglichkeiten der Abgasentschwefelung. Brennstoff, Wärme, Kraft 14(1962)3, S. 105...115.
- [21] F. Johswich: Über den derzeitigen Stand der Abgasentschwefelung. Brennstoff, Wärme, Kraft 17(1965)5, S. 238...245.

Adresse des Autors:

Direktor Dr.-Ing. K. Schäff, Vorstandsmitglied der Steinkohlen-Elektrizität AG, Vorsitzender des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), Bismarckstrasse 54, D-43 Essen (Deutschland).

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des SC 32C am 11. und 12. Januar 1966 in Davos

Das SC 32C trat am 11. und 12. Januar 1966 in Davos zusammen (statt an der Réunion Générale 1965 in Tokio). Anwesend waren 19 Delegierte aus 8 Ländern. An Stelle des erkrankten Präsidenten D. Beswick (Grossbritannien) übernahm Prof. Dr. W. Druey (Schweiz) den Vorsitz.

Allgemein wurde es als Mangel empfunden, dass wichtige Dokumente nicht vor, sondern erst während der Tagung verteilt wurden. Dies und die reichlich befrachtete Traktandenliste führten dazu, dass nicht alle Geschäfte mit der wünschenswerten Gründlichkeit behandelt werden konnten; immerhin wurden alle Traktanden mindestens aufgegriffen und das weitere Vorgehen festgelegt.

Schmelzeinsätze 5 mm × 20 mm. Von Deutschland lag ein Entwurf für ein Datenblatt über träge Schmelzeinsätze mit grossem Schaltvermögen vor. Dem Entwurf wurde stillschweigend zu-

gestimmt, so dass er als Sekretariatsdokument herausgegeben werden kann. Auf die Bearbeitung von superträren Schmelzeinsätzen mit kleinem Schaltvermögen wird verzichtet.

Schmelzeinsätze 6,3 × 32 mm. Auf Grund der Diskussionen wurde das Sekretariat beauftragt, Datenblätter für flinke und träge Einsätze mit kleinem Schaltvermögen auszuarbeiten. Diese Datenblätter stützen sich hauptsächlich auf die von der Schweiz eingereichten Vorschläge. Bei den flinken Schmelzeinsätzen wurde beschlossen, die Prüfströme für die 100-Zyklenprüfung auf 1,05 I_n (statt 1,02 I_n) und für die 1-h-Prüfung auf 1,15 I_n (statt 1,10 I_n) zu erhöhen. Dies bedingte entsprechende Anpassungen bei den Maximalwerten der Schmelzezeiten. Eine ad hoc aufgestellte Arbeitsgruppe entwarf einen diesbezüglichen Vorschlag, dem dann oppositionslos zugestimmt wurde. Superträge Schmelzeinsätze werden auch hier nicht weiter bearbeitet.