



**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

Zürich

No.10

Die Rolle der Meteorologie
in der Planung der Industrie- und Siedlungszonen

von

R.Schneider, lic.math.phys., Direktor der
Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt

A.Junod, Dr.ès sc., Chef des Dienstes für Luftrein-
haltung,

W.Kuhn, dipl.phys., Prof. ETHZ, Beauftragter für
Fragen der Wärmelast von Gewässern.

Angew. Meteorologie 551.51:614.7:71

Februar 1971

Deutsche Uebersetzung: Dr. H.Winter u. W.Kuhn

Zusammenfassung: In der Einleitung wird ein Ueberblick über die Anwendungen der Meteorologie, speziell der Klimatologie, auf Umwelts- und Planungsfragen gegeben. Der zweite Teil befasst sich mit der meteorologischen Seite der Luftreinhaltung, der dritte mit der Erwärmung von Gewässern durch die Kühlung von Atomkraftwerken und mit dem Wärmeaustausch Gewässer-Atmosphäre.

Résumé: L'article est divisé en trois sections. La première ("introduction") est un aperçu des applications de la météorologie est, en particulier, de la climatologie aux divers problèmes de l'environnement. La seconde traite des aspects météorologiques de la lutte contre la pollution de l'air, la troisième de la "pollution thermique" des eaux due à l'immission d'eau chaude provenant des systèmes de réfrigération de grandes centrales nucléaires et du rôle de l'atmosphère dans le bilan thermique des eaux.

Summary: The introduction outlines the applications of meteorology and, more specifically, of climatology to environmental protection and planning. The second part goes into the meteorological aspects of air pollution and its prevention while the third part refers to "thermal pollution" of natural waters by cooling of nuclear plants and heat exchange between water and atmosphere.

Die Rolle der Meteorologie in der Planung der Industrie- und Siedlungszonen.

Einleitung

Jedermann weiss, dass die Atmosphäre für den Menschen lebensnotwendig ist und dass ohne die Luft und das Wasser, das sie enthält, das Leben auf der Erde unmöglich wäre.

Noch bis in die letzten Jahre befassten sich die Forscher, die Ingenieure und Wirtschaftsfachmänner vor allem damit, die Bodenschätze zu bewirtschaften und auszubeuten (Fassung und Kanalisierung der Gewässer, Bau von Minen, etc.) Was sich in der Atmosphäre zutrug, berührte höchstens als das "gerade herrschende Wetter".

Was die direkte oder indirekte Einwirkung auf das Lebewesen in dem der Mensch lebt, angeht, so interessierte das niemand, ebenso wenig wie umgekehrt die Einwirkung dieses Elementes auf ihn selber. Heute haben sich diese Dinge geändert. Die rasche Zunahme der Bevölkerung auf der Erde zwingt den Menschen, die Produktion der Konsumgüter durch den Bau von grossen Industriekomplexen und Stätten der Energiegewinnung zu steigern und zu rationalisieren. Diese Einrichtungen können aber nicht mehr dort erstellt werden, wo es der Zufall will. Einerseits ist zum mindesten teilweise die Wirtschaftlichkeit vom Lokalklima abhängig, andererseits beeinflussen die Abfälle, welche an die Luft und das Wasser abgegeben werden, diese Elemente und verändern sie. Deshalb ist die Meteorologie, als Wissenschaft, die sich mit den Erscheinungen der Atmosphäre befasst, aufgerufen, eine immer bedeutendere Rolle im weiten und wichtigen Problem der Wechselbeziehungen von Mensch und Umwelt zu spielen.

In den letzten Jahren hat sich der Kreis der Benutzer von klimatologischen Daten stark erweitert; in der Schweiz vor allem im Transport-

wesen, in den Ingenieurwissenschaften und in zahlreichen Gebieten der Wirtschaft. Es ist an sich erfreulich, zu sehen, wie die meteorologischen Daten, die über Jahre und Jahrzehnte gesammelt wurden, wie auch die Ergebnisse spezieller Studien nun eine immer grössere Anwendung und Wertschätzung in der Praxis finden. Nennen wir nur den Einfluss der Strahlung auf jede Art von Bauten und die Wichtigkeit, die ihm die Architekten zumessen. Diese praktische Wertschätzung zeigt sich auch in der Tatsache, dass man von der Meteorologischen Zentralanstalt nicht nur Einzelauskünfte, sondern mehr und mehr auch umfangreiche Expertisen verlangt. Das ist besonders deutlich auf dem Gebiete der Bestrebungen zum Schutze der Reinheit der Luft wie auch des Gewässerschutzes, wo unsere Spezialisten den für die industriellen Anlagen verantwortlichen Ingenieuren und Behörden Ratschläge zu geben haben.

In den folgenden Texten umreissen zwei Experten unseres Institutes, Herr A. Junod für die Fragen der Reinhaltung der Luft und Herr W. Kuhn für die Probleme des Gewässerschutzes, die Rolle der Meteorologie.

Meteorologie und Schutz der Luft vor Verunreinigung in den Industrie- und Siedlungszonen.

Die Schweiz hat den Vorzug, unter diejenigen europäischen Länder gezählt zu werden, deren Luft noch am wenigsten verschmutzt ist. Immerhin müssen wir, wenn wir diese bevorzugte Stellung behalten wollen, unverzüglich alle Massnahmen treffen, um mindestens die gegenwärtige Qualität der Luft zu erhalten. Vielerorts zwingen uns der Bevölkerungszuwachs und die Industrialisierung bereits zu Massnahmen, welche eine Verbesserung der Luftreinheit bezwecken.

Das Studium und der Schutz der Luft vor Verunreinigungen beschlagen eine ganze Anzahl von Wissenschaften. Damit treten dann gewisse Schwierigkeiten der gegenseitigen Verständigung auf zwischen den Spezialisten, die aus ganz anderen Disziplinen stammen. Unter den angerufenen Wissenschaften spielt die Meteorologie eine wichtige Rolle, nicht nur hinsichtlich der Theorie sondern auch der Praxis, wo sie verschiedene Wege erkennen lässt, die Luftverschmutzung zu

bekämpfen. Bevor wir auf die spezifischen Mittel im Kampf gegen die Luftverunreinigung eintreten wollen, müssen wir einige Vorgänge kennen lernen, die bei der Verschmutzung der Atmosphäre eine Rolle spielen. Enthält die Atmosphäre gewisse Fremdstoffe (gasförmige oder feste), werden sie von den Luftbewegungen erfasst und erfahren eine Verfrachtung und gleichzeitig eine Verdünnung entsprechend dem mittleren Wind. Sie erfahren aber auch eine turbulente Ausbreitung, die von den Schwankungen des Windes und der thermischen Stabilität der betreffenden Luftschicht abhängig ist. Das Ergebnis dieser verschiedenen Vorgänge ist eine mit wachsendem Abstand von der Quelle zunehmende Verdünnung der Beimengungen. Bei Annahme vereinfachter Bedingungen, etwa konstanter Mittelwerte des Windes, unveränderter Turbulenz und thermischer Stabilität, erlaubt die Theorie mit guter Annäherung die Verteilung der Konzentration einer Beimengung in der Umgebung einer Verschmutzungsquelle anzugeben. Nur sind unglücklicherweise diese idealen Bedingungen in der Natur praktisch nie und nirgends verwirklicht. Man findet im Gegenteil eine recht erhebliche Veränderlichkeit, welche die Verdünnung der Beimengungen bedingen und zwar sowohl in der Zeit als auch im Raume.

So kann die Konzentration einer Beimengung in Bodennähe und bei einer konstanten Quelle von einem Moment auf den andern um einen Faktor 1000 ändern (bei einer plötzlichen Winddrehung z.B.).

Die Berechnung der mittleren Konzentration wird in dem Masse komplizierter als man längere Zeitabschnitte in Betracht zieht.

Die Anforderungen, die man dabei an die Genauigkeit und die Menge der meteorologischen Daten stellt, sind sehr hoch, sie übersteigen bei weitem diejenigen, die man üblicherweise in der Synoptik und Klimatologie stellt.

Die vielfältigen Schwierigkeiten, die mit der genauen Berechnung der Konzentration der Beimengungen verbunden sind, haben die Praktiker veranlasst, für die Vorhersage geeignete halb-empirische Modelle zu entwickeln, bei denen nur einige leicht messbare Eigenschaften eingeführt werden, wie die mittlere Windstärke, die Einstrahlung, der mittlere vertikale Temperaturgradient der betreffenden Luftschicht.

Die aus diesen Modellen gewonnenen mathematischen Formeln sind relativ einfach und erlauben die zahlenmässige Darstellung der Konzentrationen in einer Vielzahl von Fällen: für momentane oder kontinuierliche Ausstösse, für punktförmige Quellen, für flächenhafte oder solche längs einer Linie, seien sie am Boden oder in der Höhe.

Wenn die Rauchfahne einer höher gelegenen Rauchquelle den Boden berührt und zurückgeworfen wird, so erreicht die Konzentration in einer gewissen horizontalen Distanz von der Quelle ein Maximum. Man begnügt sich oft damit, eben dieses Maximum zu bestimmen und in Funktion der verschiedenen meteorologischen Situationen darzustellen und die höchsten dieser Maxima, sagen wir diejenigen, die etwa 10 % der Fälle ausmachen, mit der noch zumutbaren Konzentration der betreffenden Verunreinigung zu vergleichen.

Ausser diesen Mechanismen der Verdünnung unterliegen die Verunreinigungen den Einwirkungen der Schwerkraft (sie sedimentieren); sie werden durch die Wassertröpfchen der sich bildenden Wolken erfasst, die sie bei Regen auswaschen und auf den Boden bringen. Schliesslich reagieren einige dieser Stoffe mit den Elementen der Atmosphäre, sei es mit dem Wasserdampf oder gar mit anderen Beimengungen. Das letztere geschieht vor allem unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung. Diese verschiedenen Prozesse machen eine Vorhersage der Immissionen noch schwieriger. Ist die Zeit des Transports der Beimengung in der Atmosphäre kurz, so erhält man nur die Sedimentation der grösseren Partikel, d.h. derjenigen von einigen Hundertstelmmillimetern Durchmesser.

Die bisher gemachten Betrachtungen beruhen auf einer sehr vereinfachenden Hypothese: das Gelände über welchem sich die Beimengungen ausbreiten, soll eben und unbebaut sein. Sobald wir topographische Hindernisse und Bauten in Betracht zu ziehen haben, kompliziert sich die Vorhersage der Immissionen erheblich. Es gibt überhaupt keine befriedigende Theorie, die alle diese Fälle in ihrer Gesamtheit behandeln könnte.

Man ist gezwungen, das Problem in zwei Teile aufzuspalten: vorerst einmal in das Studium der mittleren Strömungen nach den Methoden der

Aerodynamik. Dann erst kann man die Veränderungen in der Turbulenz in Betracht ziehen, speziell die Zone des Nachlaufwirbels in der Nähe der Hindernisse. Die typische und ungünstige Einwirkung eines Hindernisses besteht darin, die Strömung gegen den Boden zu drücken. Diese Bewegung ist mit einer vermehrten Böigkeit verbunden, wodurch hinter den Hindernissen erhöhte Immissionen verursacht werden. Sehr oft sind die Auswirkungen der Hindernisse so gross, dass die rein meteorologischen Elemente oder Einflüsse zweitrangig werden. Das ist der Fall bei Rauchfahnen aus den kurzen Kaminen der Wohnhäuser bei mässigen bis starken Winden. Dieses letzte Beispiel macht auf eine dritte Gruppe von Faktoren aufmerksam, welche die Beziehung Emission- Immission verändern, nämlich auf die besondere Art der Quelle und die Bedingungen der Emission. Ausgenommen in sehr speziellen Fällen kann man feststellen, dass die maximalen Immissionen, die man zu befürchten hat, umso schwächer sind und umso weiter weg von der Quelle auftreten, je höher diese gelegen ist. (Effekt der Ueberhöhung des Kamins).

Andererseits gilt auch die Regel: je grösser die Geschwindigkeit des Ausstosses und je höher die Temperatur der Abgase ist, umso geringer sind die Immissionen. Sollen verschiedene Verschmutzungsquellen in eine bestimmte Gegend eingeführt werden, so ist es möglich, das günstigste Zusammenwirken zu bestimmen, indem man Kaminhöhen und -Standorte so auswählt, dass die Immissionen an den empfindlichsten Punkten der Umgebung gering gehalten werden.

Die Grundsätze des Schutzes vor Verunreinigungen der Luft stützen sich also auf drei Gruppen von Faktoren:

- a) meteorologische Variable
- b) topographische Hindernisse und Bauten
- c) Anordnung und Lage der Quellen und Art der Emission

Die unter a) und b) genannten Faktoren würden, für sich allein genommen, ermöglichen, das Verdünnungsvermögen der Atmosphäre in einer gegebenen Gegend zu bestimmen, d.h. eine Art Rangordnung der Regionen nach diesen Grössen aufzustellen. Dann kann aber der Einfluss der unter c) genannten Bedingungen eine ursprünglich durch a) und b) erfolgte Klassierung wieder in Frage stellen.

Dazu ein Beispiel: Grosse Vertiefungen im Gelände wie etwa die Alpentäler, führen oft zur Bildung eines Kaltluftsees, enthalten also eine stabile und ruhende Luftschicht, wo sich der Austausch der Beimengungen nur sehr langsam vollzieht. Die Obergrenze dieser Schicht wirkt wie ein abschliessender Schirm für die Ausbreitung der Beimengungen, und zwar so, dass einerseits die Bedingungen für tiefliegende Quellen, deren Ausstoss (Rauchfahne) eingeschlossen und wenig verdünnt bleibt, sehr ungünstig werden, während andererseits die höher gelegenen Quellen begünstigt werden, indem sich von dort Immissionen ausbreiten ohne in den Kaltluftsee einzudringen.

Dieses Beispiel, dem leicht andere beizufügen wären, zeigt, dass jeder Versuch, die verschiedenen Regionen der Schweiz nach ihrem Vermögen der atmosphärischen Verdünnung zu klassieren, von provisorischen Angaben über die Bestimmung dieser Region begleitet sein muss (die man dann immer noch, je nach dem Ausgang des Versuchs modifizieren kann). Man kann in erster Annäherung annehmen, dass die Industriezonen eine grössere Anzahl höherer Emissionsquellen (hohe Kamine) aufweisen als landwirtschaftliche und Wohnzonen. Dann sind die industriellen Quellen öfters dünner gesät, die Kamine weiter voneinander entfernt als die städtischen Emissionsquellen, die eher als Quellen an der Erdoberfläche zu betrachten sind. Bemerken wir hier, dass die Zusammenfassung der Hausheizung in Quartierheizungen (mit Hochkamin) gestatten würde, den Nachteil, den die vielen niedrigen Kamine mit ihren oft bedenklichen Emissionsverhältnissen darstellen, zu vermindern.

Die hier skizzierten, im Einklang mit Forderungen des Umweltschutzes stehenden Bestrebungen zur Verbesserung der Luftverhältnisse in unserem Lande, machen in keiner Weise andere vordringliche Massnahmen überflüssig, wie etwa die Reduktion der Emission auf ein Minimum, soweit sie der gegenwärtige Stand der Technik erlaubt und soweit sie ökonomisch vertretbar ist. Endlich beinhaltet die Bestimmung einer Region zum Wohn- oder Industriegebiet nicht nur die Art und die Zahl der zu erwartenden Immissionsquellen, sondern auch Kriterien für die zu-

lässigen Qualitäten der umgebenden Luft.

Zusammenfassend darf man sagen, dass die Bemühungen, die Grundsätze des Schutzes der Luft gegen Verunreinigung in die Planung und Bewirtschaftung der Regionen und des gesamten nationalen Territoriums einzugliedern, nicht nur wünschbar sondern auch vertretbar sind, und das trotz der vielgestaltigen Bodenformen und des recht komplexen Verdünnungsklimas. Eine Voraussetzung des Erfolges liegt aber in der gleichzeitigen Berücksichtigung der Luftreinhaltebedingungen und der übrigen Charakteristiken einer Region.

Meteorologie und Gewässerschutz

Man kann sich fragen, was ein meteorologisches Institut mit Gewässerschutz zu tun haben soll. Die Rechtfertigung liegt in der Tatsache, dass feste und flüssige Fremdstoffe nicht die einzigen Beimischungen sind, die nachteilig auf die Güte des Wassers einwirken. Vielmehr müssen auch künstliche Veränderungen der Wassertemperatur in Betracht gezogen werden. Da aber die Atmosphäre den wichtigsten Partner im Wärmehaushalt der Gewässer darstellt, wird es verständlich, dass in gewissen Fällen Meteorologen mit Gewässerschutzfachleuten zusammenarbeiten müssen.

Eine wichtige Aufgabe dieser Art ergibt sich aus der Verwendung von Flusswasser als Kühlmedium durch die Kernkraftwerke. Dieses Wasser wird in den Kondensatoren der Kühlanlagen auf etwa 30°C erhitzt und dann den Flüssen wieder zurückgegeben, wo es sich mit dem übrigen Wasser mischt. Je nach dem prozentualen Anteil des zu diesem Zweck abgezweigten Wassers erhöht sich die Temperatur der betreffenden Wasserläufe mehr oder weniger. Kernkraftwerke sind zwar nicht die einzigen, aber bei weitem die grössten Produzenten von "thermischer Verunreinigung" der Gewässer. Als 1965 die Bedingungen für den Standort und Betrieb solcher Kraftwerke auf Bundesebene festgelegt werden sollten, wandte sich das Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement unter anderem an das Amt für Gewässerschutz. Auf dessen Vorschlag ernannte das Eidg. Departement des Innern eine Expertenkommission, die "Kommission Baldinger", deren Mitglieder verschiedenen an der Sache interessierten Aemtern und Instituten entstammten; in dieser Expertenkommission war auch die Meteorologische Zentralanstalt vertreten. Das Ergebnis ihrer Betrachtungen legte die "Kommission Baldinger" in einem Bericht *) nieder, der 1968 veröffentlicht wurde.

Dieser Bericht enthält Richtlinien bezüglich der höchstzulässigen Temperaturerhöhung und anderer Bedingungen, die beim Betrieb von Kühlanlagen an Wasserläufen und Seen eingehalten werden müssen.

*) Gewässerschutztechnische Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und-rückgabe bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken.

Anfänglich wurde dem Meteorologen folgende Frage vorgelegt: Wie lange dauert es, bis ein künstlich erwärmtes Gewässer im Freien seine natürliche Temperatur zurückgewinnt?

Es wäre schwierig, diese Frage zu beantworten; wir werden das Problem etwas anders formulieren müssen. Ohne näher auf die Theorie des Wärmeaustausches zwischen Gewässer und Atmosphäre einzutreten, wollen wir im folgenden doch einige physikalische Ueberlegungen anstellen.

Der Wärmehaushalt eines offenen Gewässers weist verschiedene Einnahmen und Ausgaben auf. Zu den Einnahmen gehört die Absorption kurzwelliger Strahlung von Sonne und Himmel (Streulicht) und langwelliger (infraroter) Strahlung, die von der Atmosphäre, genauer gesagt von gewissen chemischen Bestandteilen der Atmosphäre wie Wasserdampf und Kohlendioxyd, ausgeht. Ausgabenposten sind die Wärmeausstrahlung des Wassers selbst und die Verdunstung. Die Wärmeausstrahlung hängt nur von der Wassertemperatur ab. Verdunstung ist nicht immer im Spiel; es gibt Fälle, wo im Gegenteil atmosphärischer Wasserdampf an der Gewässer-oberfläche kondensiert, was für das Wasser einen leichten Wärmegewinn bedeutet. Der direkte turbulente Wärmeübergang zwischen Wasser und Luft kann in der einen oder anderen Richtung erfolgen, je nach dem Temperaturunterschied zwischen den beiden Medien.

Regen bewirkt in den meisten Fällen eine leichte Abkühlung; bedeutender ist die Abkühlung durch Schnee, der beim Auftreffen auf das Wasser schmilzt. Ungeachtet dieses Effektes spielen die Niederschläge im Wärmehaushalt des Wassers nur eine untergeordnete Rolle. Auch der Wärmeaustausch zwischen Fluss und Flussbett bzw. zwischen See und Seegrund ist von geringerer Bedeutung. Im Falle eines Flusses wäre noch die Wärme-produktion durch Reibung zu betrachten; diese Komponente kann leicht abgeschätzt werden, spielt jedoch zahlenmässig keine grosse Rolle. Im wesentlichen setzt sich also der Wärmefluss aus den drei Komponenten Strahlung, Verdunstung und turbulenter Wärmeübergang zusammen.

Diese drei Vorgänge wirken sich zunächst nur in einer dünnen Wasserschicht direkt an der Oberfläche aus; diese Schicht würde sich rasch erwärmen oder abkühlen, wenn keine Durchmischung mit den darunter

liegenden Wasserschichten stattfinden.

In Seen erfolgt die Durchmischung durch die sogenannte Konvektion (Absinken kühlerer und Aufsteigen wärmerer Wasserteilchen); bei einem Fluss sorgt in der Regel die Turbulenz (Verwirbelung) für einen Ausgleich der Temperaturen über den ganzen Querschnitt. Das heisst nicht, dass Fäden wärmeren Wassers unterhalb einer Immissionsstelle nicht über eine gewisse Strecke hinweg weiterbestehen können; es sei auch zugegeben, dass oberhalb eines Stauwehres eine gewisse Temperaturschichtung eintreten kann. Solche Effekte komplizieren die Theorie des Wärmeaustausches beträchtlich; wir wollen sie deshalb hier ausklammern. Beschränken wir uns vorderhand auf einen turbulenten, völlig durchmischten Fluss.

Seine Temperatur wird in Abhängigkeit vom gesamten Wärmestrom ändern, wobei gleich zu sagen ist, dass die einzelnen Komponenten des Wärmestromes sich teilweise kompensieren, einzeln also grösser sind als der resultierende Wärmestrom. Falls der Wärmestrom von oben nach unten gerichtet ist, nimmt die Wassertemperatur zu; im umgekehrten Falle nimmt sie ab. Die Temperaturänderung pro Zeiteinheit ist proportional zum Wärmestrom und umgekehrt proportional zur Tiefe des Flusses.

Nun hängt der Wärmestrom aber von den atmosphärischen Bedingungen (Sonnenstand, Bewölkung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind) sowie von der Wassertemperatur ab.

Wären die atmosphärischen Bedingungen konstant, würde der Wärmeverlust des Wassers mit steigender Wassertemperatur zunehmen; dies ist leicht einzusehen: je wärmer das Wasser, desto mehr Wärme wird ausgestrahlt und desto stärker ist die Verdunstung; ähnliches gilt auch für den direkten Wärmeübergang Wasser-Luft.

Infolgedessen gibt es bei jedem Zustand der Atmosphäre eine gewisse Gleichgewichtstemperatur des Wassers, bei welcher der Wärmestrom gerade null wird.

Weicht die wirkliche Wassertemperatur von diesem Gleichgewichtswert ab, entsteht ein Wärmestrom, der eine allmähliche Annäherung der Wassertemperatur an den Gleichgewichtswert anstrebt. Bei konstanten meteorologischen Bedingungen würde die Angleichung in Funktion der Zeit einer

Exponentialkurve folgen. Man kann mithin eine Halbwertszeit definieren als diejenige Zeitspanne, innerhalb welcher eine Temperaturabweichung auf die Hälfte des Anfangswertes zurückgeht.

Aus Gründen, auf die wir hier nicht eintreten wollen, ist die Bestimmung der einzelnen Komponenten des Wärmestromes recht schwierig; eine genaue Berechnung des resultierenden Wärmestromes auf Grund gegebener atmosphärischer Bedingungen und einer vorgegebenen Wassertemperatur ist nahezu unmöglich. Die oben erwähnte Halbwertszeit lässt sich dagegen mit hinreichender Genauigkeit ermitteln.

Für einen Fluss von 1m Tiefe beträgt sie unter normalen atmosphärischen Bedingungen ungefähr zwei Tage; im Uebrigen ist sie proportional zur Wassertiefe.

Es zeigt sich nun, dass von einer gewissen Flusstiefe an die Temperatur des Wassers viel träger ist als etwa diejenige der Luft. Diese Tatsache ist ja allgemein bekannt: die Temperatur grosser Gewässer folgt im Laufe der Jahreszeiten derjenigen der Luft mit einer beträchtlichen Verspätung; die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur werden von der Wassertemperatur kaum mitgemacht. Die Aenderungen der Wassertemperatur sind von Stunde zu Stunde und von Tag zu Tag äusserst bescheiden, wogegen die oben definierte Gleichgewichtstemperatur ziemlich rasch auf den jeweiligen Sonnenstand und die jeweiligen Bevölkerungsverhältnisse reagiert.

Welches sind die Konsequenzen für unser Problem? betrachten wir ein Beispiel: die Aare besitze in Solothurn eine dem Gleichgewichtszustand entsprechende Temperatur. Wird jetzt die Temperatur künstlich um 2 Grad erhöht, so reduziert sich dieser Temperaturüberschuss während des Fliessens (eine mittlere Flusstiefe von 2m vorausgesetzt) im Laufe von 4 Tagen auf die Hälfte, also auf 1 Grad; in dieser Zeitspanne legt das Flusswasser einen Weg von rund 500km zurück. Daraus geht hervor, dass sich eine künstliche Temperaturerhöhung nicht innerhalb der Schweiz abbaut und dass sich die Wirkungen mehrerer Kraftwerke praktisch summieren.

Zugegeben: wir haben bei den obigen Ueberlegungen den Einfluss der Stauwehre ausser Betracht gelassen; der Aufstau wirkt sich im Prinzip

zugunsten einer rascheren Abkühlung aus. Andererseits ist klar, dass ein Stauwehr keine völlige Entkoppelung zwischen dem thermischen Verhalten des oberen und unteren Flussabschnittes herbeiführt.

So ergibt sich die Notwendigkeit, die thermische Kapazität eines Flusses unter die Benützer (angrenzende Kantone, eventuell auch Staaten) zu verteilen.

Die oben erwähnte Expertenkommission hat die Folgen einer Erwärmung des Wassers für den Sauerstoffgehalt, die tierischen und pflanzlichen Lebewesen und das mit den Gewässern u.U. kommunizierende Grundwasser untersucht; auf Grund dieser Studien gelangte sie zu folgenden Empfehlungen im Einklang mit dem Gesetz über den Gewässerschutz vom 16. März 1955:

- a) das Kühlwasser soll beim Verlassen der Kondensatoren eine Temperatur von höchstens 30°C besitzen.
- b) nach völliger Vermischung des Kühlwassers mit dem übrigen Wasser eines Flusses soll die Wassertemperatur 25° nicht übersteigen, und die Erwärmung gegenüber dem natürlichen Zustand soll nicht mehr als 3° betragen.
- c) die Temperatur des für Trinkwasseraufbereitung gebrauchten oder vorgesehenen Grundwassers darf durch Versickerung von warmem Wasser oder durch Infiltration von erwärmtem Flusswasser nicht über 15° gebracht werden.

In besonders günstigen Fällen kann eine leichte Erhöhung der unter a) und b) genannten Grenzwerte ins Auge gefasst werden.

Bisher haben wir nicht über Seen gesprochen. Der Wärmehaushalt eines Sees ist wegen der Temperaturschichtung noch komplizierter als der eines Flusses. Wir können hier nicht im Einzelnen auf diese Verhältnisse eingehen. Es sei nur festgehalten, dass Warmwasserimmissionen aus den Kühlanlagen von Atomkraftwerken höchstens in den grossen Schweizerseen in Frage kommen und in jedem einzelnen Falle eine gründliche Voruntersuchung bedingen.

Sobald die künstliche Wärmezufuhr in unseren Gewässern die Grenzen des Zulässigen erreicht, wird man entweder die Energieproduktion drosseln

oder andere Kühlverfahren anwenden müssen. Welche Möglichkeiten stehen uns da offen? Man denkt in erster Linie an Kühltürme, welche das kühlende Medium (Wasser) in einem geschlossenen Kreislauf verwenden. Beim Kühlturmverfahren würde die Temperatur unserer Gewässer nicht berührt, doch ist mit anderen Schwierigkeiten wie Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, ungünstigen Einflüssen auf das Lokalklima durch Nebelschwaden usw. zu rechnen.

Damit gelangen wir zu einem weiteren Gesichtspunkt, der in diesem Beitrag wenigstens angetönt werden soll.

Kann die Vernichtung überschüssiger Wärmeproduktion von Atomreaktoren das Klima beeinflussen? Diese Frage muss auch von Meteorologen, und zwar in erster Linie von Klimatologen untersucht werden.

Solche Einflüsse werden bei jedem Kühlsystem anders ausfallen. Es ist allerdings von vornherein äusserst unwahrscheinlich, dass sie sich über einem grossen Gebiet auswirken. Betroffen wird sicher nur die nähere Umgebung eines Kühlturmes oder die Uferzone eines erwärmten Flusses. Ausser einer leichten Erwärmung der Luft ist bei gewissen Wetterlagen auch örtliche Nebelbildung denkbar. Andererseits wollen wir nicht übersehen, dass die überschüssige Wärmeproduktion durch die Kernreaktoren nicht unter allen Umständen schädlich sein muss. Hoffentlich wird es in Zukunft möglich sein, mindestens einen Teil dieser Abwärme nutzbringend anzuwenden!

