

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrücken 1973.

UMWELTPROBLEME BEI NATURZUG-NASSKÜHLTÜRME GROSSER KERNKRAFTWERKE IN DER SCHWEIZ

H. TURNER

Abstract

Nearly all Swiss projects of nuclear plants which had been originally designed for direct river water cooling had to be converted to rotating water cooling by means of cooling towers. This paper discusses a) aspects of site selection for the projected power plants, b) the problems of noise control, water pollution and land protection, and c) investigations into the effect of cooling tower emissions on the local atmospheric environment: increase of annual precipitation, decrease of sunshine duration by plume shades, alteration of the radiation climate and of temperature and air humidity near the ground, formation of moist belts and ice deposits on mountain slopes downwind, interaction between water vapour plumes and SO₂ plumes, and finally the problem which arises when severe contamination of the cooling water occurs.

Direkte Flusswasser-Durchlaufkühlung für Atomkraftwerke ist in der Schweiz aus Gründen des Gewässerschutzes (BALDINGER *et al.*, 1968) nur noch durch Gewässer möglich, die mindestens der Güteklasse II angehören, und auch das nur, wenn nicht Gefahr besteht, dass sie durch die Aufwärmung in die nächstschlechtere Klasse absinken. Durchlaufkühlung durch Wasser aus den Schweizer Seen wird nicht ernstlich erwogen.

Aare und Rhein, an welchen Flüssen die nächsten Kernkraftwerke entstehen sollen, sind in den betreffenden Abschnitten bereits so stark verschmutzt (Güteklasse II–III), dass sich die Kraftwerkprojektanten nach anderen Kühlmöglichkeiten umsehen mussten. Die meisten der heutigen Projekte wurden auf Umlaufkühlung mit Hilfe von Kühltürmen umgestellt. Wegen der grossen Leistung in der Grössenordnung von 1000 MW_{elektr}, die heutige Kernkraftwerk-Projekte vorsehen, kommen nur nasse Kühltürme in Frage, die wegen der mitspielenden Verdunstungsprozesse und der damit gewonnen Verdunstungskälte pro Volumeneinheit wesentlich leistungsfähiger sind als die trockenen Kühltürme, in denen das Kühlwasser nicht in direkten Kontakt mit dem Luftstrom kommt. Trockene Kühltürme sind für Hochleistungskraftwerke auch noch nicht erprobt (Motorcolumbus AG, 1971; BØGH & MUSEL, 1972).

In der Schweiz ist das Bewilligungsverfahren für Kühltürme, insbesondere wenn sie Bestandteile von Atomanlagen sind, ausserordentlich kompliziert; es werden mindestens 5 Bundesgesetze tangiert, deren Anforderungen eingehalten werden müssen; ausserdem haben die Projekte kantonalen und kommunalen Bauvorschriften zu entsprechen. Bevor die verschiedenen Bewilligungsbehörden einen Kühlturm genehmigen können, benötigen sie Gutachten über die voraussichtlichen Auswirkungen auf die Umwelt. Einschlägige Erfahrungen liegen in der Schweiz nicht vor, denn es existiert hier kein einziger grosser Kühlturm, und aus dem Ausland waren wissenschaftlich fundierte Untersuchungen über derartige Umweltbeeinflussungen bisher nicht greifbar. Solche Untersuchungen könnten wegen der klimatischen Unterschiede auch kaum auf die Schweizer Kraftwerkstandorte übertragen werden.

Im Jahre 1971 hat das Eidgenössische Verkehrs- und Energiewirtschaftsdeparte-

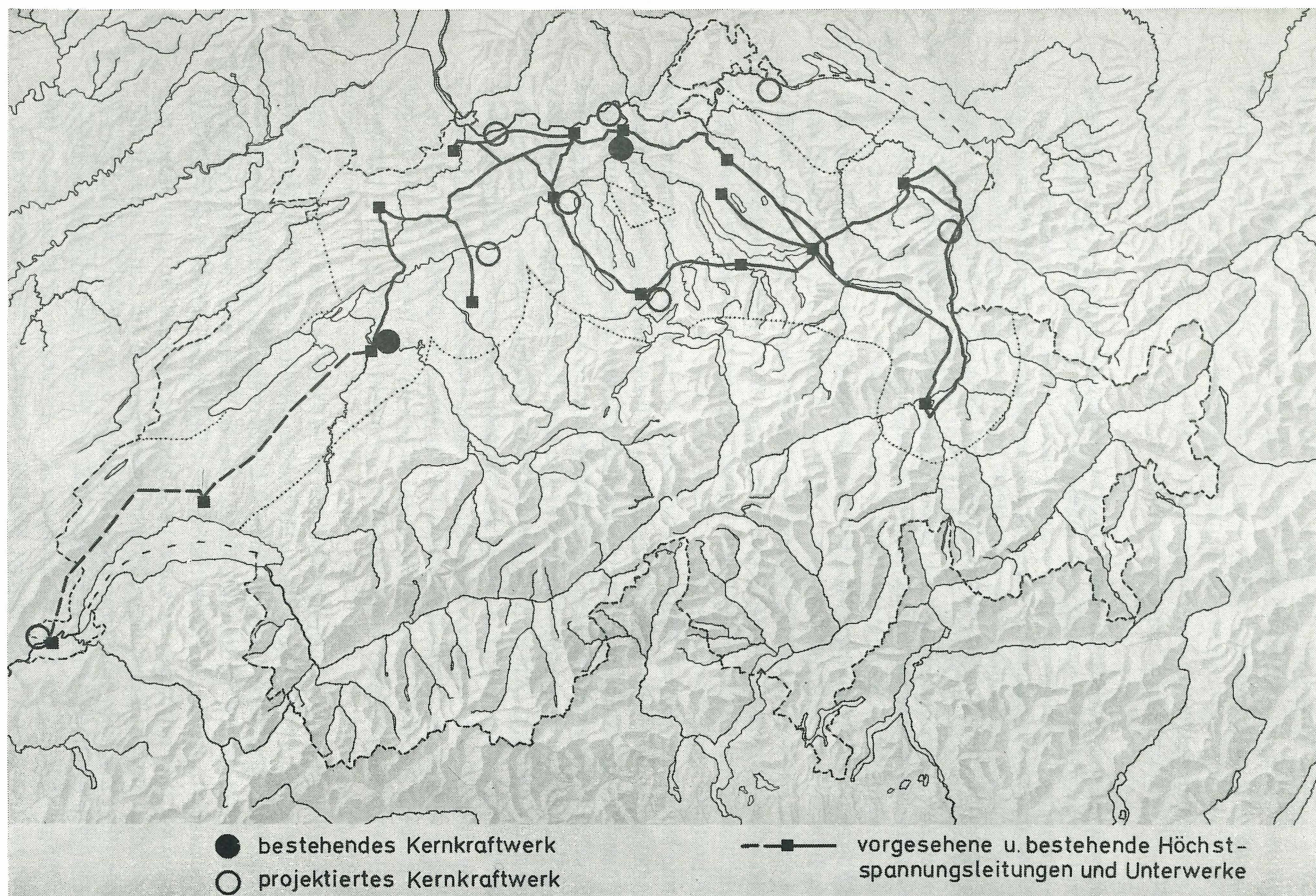


Abb. 1: Topographische Uebersicht mit den Standorten bestehender und projektiertes Kernkraftwerke (KKW) sowie mit den Höchstspannungsleitungen (220/380 kV) und Unterwerken, an welche KKW von 1000 KW elektrischer Leistung angeschlossen werden können. Punktirt umgrenzt ist das Gebiet optimaler Standorte für KKW in bezug auf minimale Transportdistanzen (≤ 15 km) für die elektrische Energie (Ber.Eidg.Komm.f.elekt.Anlagen, 1972).

ment eine Kommission ernannt, die für jedes einzelne Kernkraftwerkprojekt die voraussichtlichen Auswirkungen der Kühltürme auf die Umwelt zu prüfen und zu untersuchen hat. Diese Eidg. Kühlturmkommission ist zusammengesetzt aus Umweltsachverständigen verschiedener Arbeitsrichtungen, ferner aus Vertretern derjenigen Behörden, die Kühlturmbauten zu bewilligen haben, sowie – lediglich mit beratender Stimme – aus Vertretern der Kraftwerkprojektanten.

Welche Gesichtspunkte sind für die Standortwahl massgebend?

Derzeit wird im amtlichen Auftrag eingehend studiert, welche Standorte für künftige Kernkraftwerke optimal seien (Eidg. Kommission für elektrische Anlagen). Verschiedenste, zum Teil allerdings einander widersprechende Kriterien, werden als massgebend erachtet, darunter folgende: 1) Anschlussmöglichkeit an ein bestehendes Höchstspannungsleitungsnetz, Länge der Anschlussleitungen ≤ 15 km; 2) Ausreichend Kühlwasser zur Verfügung; 3) Schutz wertvoller Landschaften; 4) günstige Geländegestaltung für minimale Umweltbeeinflussung; 5) Vermeidung dichtbesiedelter Gebiete; 6) relative Sicherheit im Falle von Kriegshandlungen; 7) relative Sicherheit vor Naturkatastrophen (Erdbeben, Ueberschwemmungen, Flutwellen bei Damnbrüchen).

Eine topographische Uebersicht (Abb. 1) über die Standorte projektierter Kernkraftwerke zeigt, dass fast alle ins relativ dicht besiedelte Alpenvorland zu liegen kommen, in Landschaften also, die jetzt schon stark technisch geprägt sind und die nach Verdoppelung des Energiebedarfes ein beträchtliches Energiemanko aufweisen werden. Die meisten Voralpen- und Alpengebiete dagegen werden auch nach Vierfachung des Energiebedarfes noch Energieüberschussgebiete sein, wenigstens soweit es die Totalleistung und nicht die Basisleistung betrifft (Eidg. Kommission f.

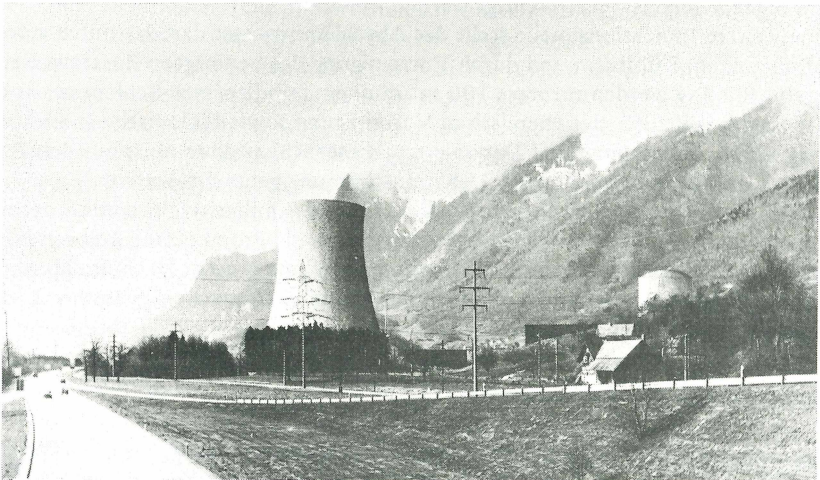


Abb. 2: Der projektierte, 150 m hohe Kühlturm des Kernkraftwerkes Rüthi im St. Galler Rheintal aus 1 km Entfernung gesehen. Blick nach SW gegen die Hänge der Alpsteinketten (Photomontage Nordostschweiz. Kraftwerke AG).

elektr. Anlagen, 1972). Abgelegene Bergtäler mit ausgesprochen dünner Besiedlung und grossem Erholungswert kommen als Kraftwerkstandorte nicht in Frage. Eine gewisse Ausnahme hinsichtlich wichtiger Prinzipien für die Standortwahl macht das inneralpine Projekt Rüthi im St. Galler Rheintal (Abb. 2), in der Nachbarschaft österreichischer Fremdenverkehrsorte und der steilen, immissionsempfindlichen Bergflanken des Alpstein.

Typische Kenndaten von Kühltürmen Schweizer Kernkraftwerkprojekte

| | | |
|----------------------|----------|------------------------|
| Höhe | | 150 m |
| Durchmesser | Basis | 120 m |
| | Austritt | 80 m |
| Wasserdurchsatz | | 35 m ³ /sec |
| Wasserverdunstung | | 600 Liter/sec |
| Wasserauswurf | bis zu | 35 Liter/sec |
| Abwärme | | 2000 MW |
| elektrische Leistung | | 1000 MW |

Lärm-, Gewässer- und Landschaftsschutz

Das aus dem Kondensator der Reaktorturbine kommende erwärmte Kühlwasser wird im Kühlturm auf eine Höhe von beispielsweise 15 m gepumpt und dort im ganzen Kühlturmquerschnitt mit Hilfe von Düsen und Aufpralltellern versprüht. Die herunterfallenden Wassertropfen kühlen sich in der aufwärtsströmenden Luft ab und sammeln sich im Wasserbecken am Fusse des Turmes. Sie verursachen dabei **Schallimmissionen** in der Grössenordnung von 60–70 dB-A. Der Projektant hat für schalldämpfende Massnahmen zu sorgen, wenn nahegelegene Wohngebiete in ihrem Ruhebedürfnis beeinträchtigt werden könnten.

Eine weitere Immissionsquelle stellt das **Abschlammwasser** dar, das durch ständige Verdunstung im Kühlturm und durch Vorreinigung des benötigten Zusatzwassers entsteht. Pro Tag werden mehrere 100 m³ dünnen, feindispersen Schlammes anfallen, die auch Hilfstoffe der chemischen Vorreinigung sowie biologische Inhibitoren enthalten. Die Beseitigung und Deponierung dieser Rückstände muss mit den Forderungen des Gewässerschutzes in Uebereinstimmung gebracht werden.

Die modernen grossen Kühltürme stellen schwer assimilierbare **Fremdkörper in der Landschaft** dar. In Industrielandschaften haben die Projektanten keine grosse Opposition von Seite des Natur- und Landschaftsschutzes zu befürchten, hingegen dürfte es das erwachte Umweltgewissen heute unmöglich machen, Kühltürme in Erholungslandschaften zu plazieren.

Luftreinhaltung

Das grösste Problem stellte die Beurteilung der **meteorologischen Auswirkungen** dar. Wenn wesentliche Verschlechterungen des Bioklimas zu befürchten wären, könnten die heutigen Projekte nasser Kühltürme nicht aufrechterhalten werden. Mit qualitativen Angaben ("gewisse Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit" etc.)

wäre nicht geholfen gewesen, es musste die quantitative Aenderung der atmosphärischen Bedingungen untersucht werden, um die Bewilligungsbehörden zufriedenzustellen zu können.

Wenn man bedenkt, dass ein einziger Kühlturm ebensoviel Wasser verdunstet (örtlich konzentriert), wie im Jahresdurchschnitt ein See mit einer Fläche von rund 26 km^2 , und wenn man weiter in Betracht zieht, dass die Wärmeabgabe eines Kühlturmes der jährlichen Strahlungsbilanz eines 28 km^2 grossen Waldstückes entspricht, ist man a priori geneigt anzunehmen, dass Kühltürme das Klima ihrer Umgebung recht massiv in Richtung einer Ozeanisierung beeinflussen könnten.

Um diese Probleme sorgfältig zu studieren wurde im Rahmen der Eidg. Kühlturmkommission eine meteorologische Arbeitsgruppe (Leitung Dr. A. JUNOD), mit einem wissenschaftlichen Beirat aus Hochschullehrern, eingesetzt. Dieses Studium erstreckte sich auf die theoretischen Grundlagen der Ausbreitung von Feuchtlufschwaden, auf umfangreiche Messungen der vertikalen Gradienten meteorologischer Parameter an den Kraftwerkstandorten und auf Fühlungen insbesondere mit deutschen und englischen Experten.

Für die Untersuchungen der meteorologischen Auswirkungen wurden verschiedene numerische Modelle mit Computer-Programmen angewendet. Eingaben bildeten die Kühlturmmissionen und -kenndaten (entsprechend den Angaben der Hersteller) sowie der Zustand der Atmosphäre aufgrund der umfangreichen Messkampagne. Für grobe Abschätzungen der Schwadenausbreitung wurde zunächst das Ausbreitungsmodell von PASQUILL (1961) und GIFFORD (1961) für trockene Rauchfahnen verwendet und mit einfachen Modellen für Feuchtlufschwaden von BAKER (1967) und SPURR (1967) kombiniert, unter Einbeziehung der atmosphärischen Turbulenz. Für kritischere Fälle wurde ferner das aufwendigere wolkenphysikalische Modell von WEINSTEIN (1970) als Grundlage für das eigene Modell SAUNA benützt, das gestattet, die Diffusion des Schwaden-Enthalpieüberschusses in der Atmosphäre und meteorologische Begleiterscheinungen quantitativ und dreidimensional zu erfassen. (Die entsprechenden Unterlagen werden auf Wunsch vom Dienst für Luftreinhaltung, CH-1530 Payerne, abgegeben.)

Die angewendeten Methoden haben den Vorteil, rasch über wesentliche von Kühltürmen ausgehende Veränderungen der meteorologischen Vorgänge und Zustände in näherer und weiterer Umgebung zu informieren. Sie haben, wie jede modellmässige Betrachtung, den Nachteil, dass sie das Geschehen nicht vollständig beschreiben. So wird zum Beispiel die Wechselwirkung zwischen dem Dampfschwaden und dem Wärme- und Wasserhaushalt der umgebenden Pflanzendecken und Bodenoberflächen nicht behandelt.

In diesem Zusammenhang sei auf amerikanische Untersuchungen hingewiesen, aus denen hervorgeht, dass nach Strahlungsnächten durch konvektive Vorgänge über sonnenbestrahlten Oberflächen noch in 15–35 km Entfernung Rauchfahnen mit signifikanter maximaler Konzentration für 30–45 Minuten, in bestimmten Fällen sogar für 2–4 Stunden, an den Boden gedrückt werden können (CARPENTER *et al.*, 1970; D.B. Turner, 1970).

Phänomene wie Strahlungshaushalt von Pflanze und Boden, Bodentemperatur, Pflanzenbenetzung, tagesperiodisches Gebirgswindsystem u.a., mussten in den bisherigen Untersuchungen durch zusätzliche Rechnungen und Abschätzungen berücksichtigt werden. Die passiven dynamischen Einflüsse der Topographie wurden für Standorte, an denen das Gebirgsrelief eine Rolle spielt, durch Modellunter-

suchungen im Windkanal erfasst.

Im grossen und ganzen wurde durch die Modellrechnung festgestellt, dass sich eine deutlich spürbare meteorologische Beeinflussung auf die nächste Umgebung des Kühlturmes (Umkreis \approx 5 km) beschränkt und dass sie für ökologische Fragestellungen auch hier nur gering ist. Das ist deswegen so, weil die Dampfahne infolge ihrer hohen thermodynamischen Auftriebskraft rasch in grosse Höhen aufsteigt (mindestens auf 450 m auch bei stärksten Bodeninversionen, in der Regel auf etwa 800 m), sodass die meisten niederen, gefährlichen Inversionen durchstossen werden.

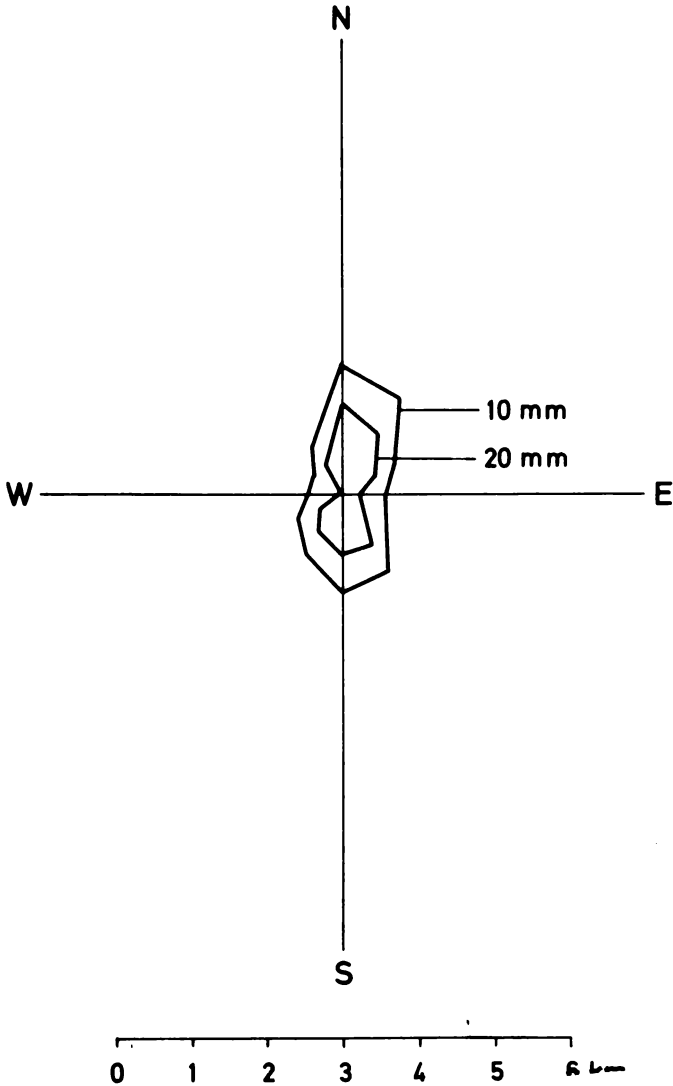


Abb. 3: Zunahme der jährlichen Niederschlagsmenge (mm) durch die Kühlturmmissionen (Meteorol.Arb.gr., Gutachten Rüthi, 1972).

Diese hohe Auftriebskraft kommt zustande nicht nur durch die relativ hohe fühlbare Eigenwärme (bis gegen 40° C) des Dampfschwadens, sondern auch durch die bei der Kondensation der aufsteigenden Feuchtluft freiwerdende latente Wärme (ähnlich wie in den Warmluftschloten der hohen Kumuluswolken).

Unter der Voraussetzung, dass der Kühlturm mit wirksamen Tropfenfängern ausgerüstet ist, so dass die vom Luftstrom mitgerissene Tropfenmenge 0,01% des Umlaufwassers nicht überschreitet und die ausgeworfenen Tröpfchen einen Durchmesser von höchstens 200 μ haben, wird die **jährliche Niederschlagsmenge** ausserhalb einer Zone von 2 km um weniger als 10 mm erhöht (Abb. 3). Diese Niederschlags-erhöhung kommt im wesentlichen zustande durch Verlängerung natürlicher Niederschlagsperioden, dagegen ist in der Ebene und am Talboden nicht mit zusätzlichen Niederschlagsperioden zu rechnen.

Grosse Beachtung wird der Veränderung des **Licht- und Strahlungsklimas** im Schatten der Dampffahne geschenkt, denn sowohl in der Wohnhygiene (GRANDJEAN & JOSHI, 1972) als auch in der Pflanzenphysiologie und -ökologie (SAUBERER & HÄRTEL, 1959) gehört der Licht- und Strahlungsfaktor zu den entscheidenden Grössen. In unserem Klimagebiet ist unter natürlichen Bedingungen Lichtmangel am häufigsten für die Begrenzung der pflanzlichen Photosynthese verantwortlich (TURNER & TRANQUILLINI, 1961); jede zusätzliche Beschattung vermindert die pflanzliche Produktion.

Im Sommer sind die sichtbaren Dampffahnen in der Mehrzahl kürzer als 300 m

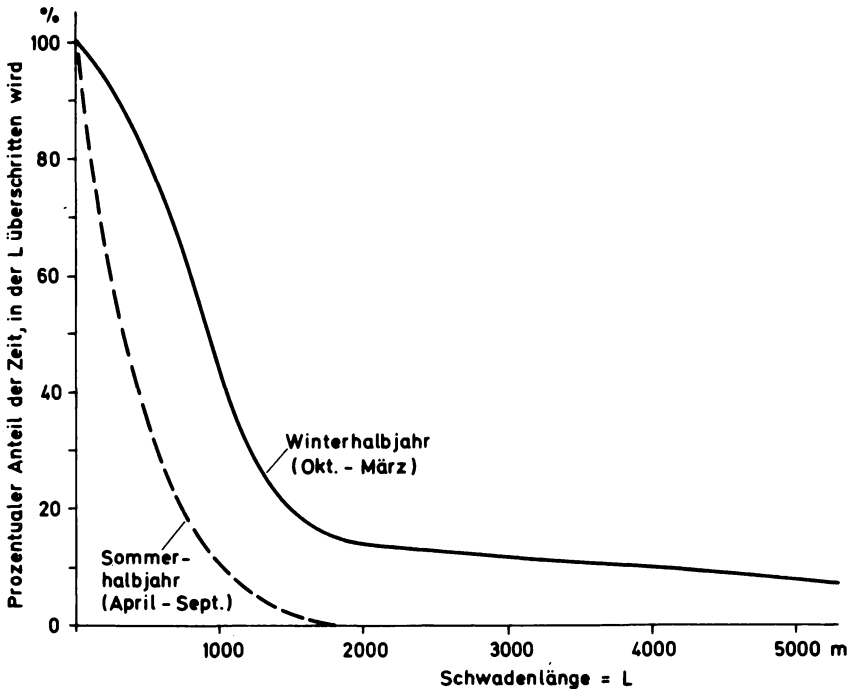


Abb. 4: Häufigkeit sichtbarer Schwadenlängen im Sommer- und im Winterhalbjahr (Meteorol. Arb.gr., Gutachten Rüthi, 1972).

und nur in 1/6 der Fälle länger als 800 m (maximal etwa 2000 m). Im Winterhalbjahr dagegen sind kurze Dampffahnen < 200 m eher selten und 500-1000 m lange Dampffahnen am häufigsten; die längsten Dampffahnen erreichen in dieser Jahreszeit mehr als 5 km (Abb. 4).

Eine Begrenzung der Beschattungsdauer durch die Dampffahne ist unerlässlich,

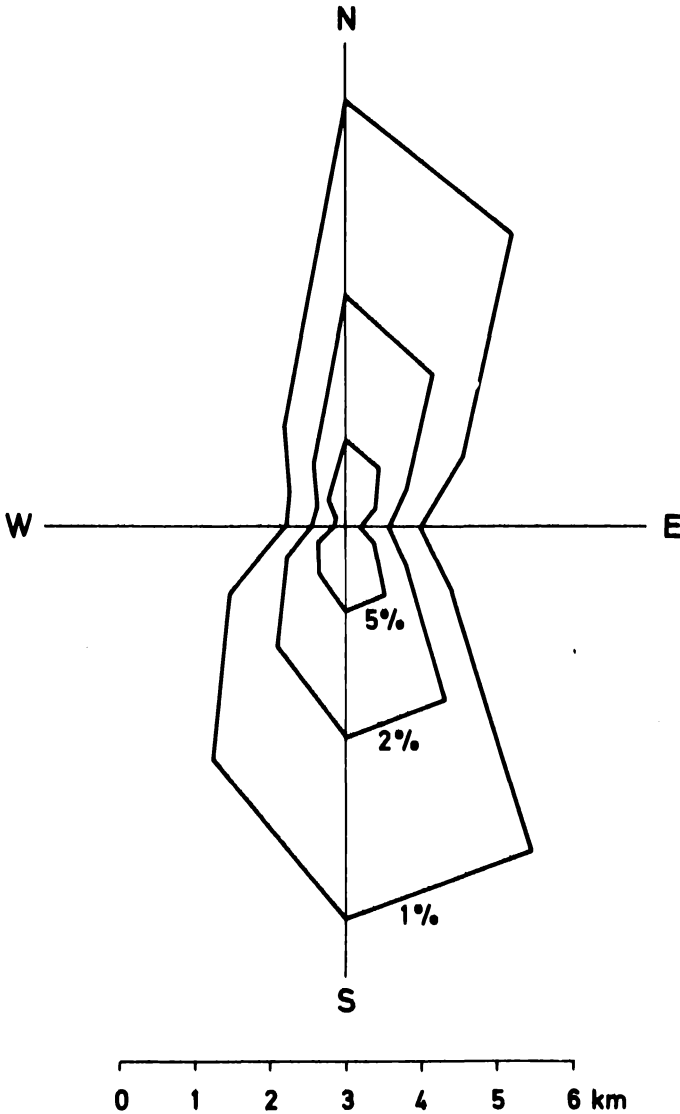


Abb. 5: Prozentuale Verringerung der effektiven Sonnenscheindauer durch die sichtbare Dampffahne pro Winterhalbjahr unter vereinfachenden Annahmen (vertikale Schwadenprojektion statt Projektion in Richtung der Sonnenstrahlen; Beschattung durch Dampffahne gleichgesetzt völliger Abschirmung der direkten Sonnenstrahlung)(Meteorolog.Arbeitsgr., Gutachten Rüthi, 1972).

Eine Beschattungsdauer im Ausmass von 30 Minuten pro Tag bzw. eine Verminderung der Globalstrahlungs-Tagessummen von mehr als 5% während der Vegetationszeit müssen als untragbar erachtet werden. Derzeit rechnen wir mit maximal zulässigen Beschattungszeiten über Wohngebieten von 15 Minuten pro Tag (provisorischer Grenzrichtwert).

In Abb. 5 ist die Verminderung der Sonnenscheindauer in der Umgebung eines Kühlturmes (Beispiel Rütli) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die winterliche Sonnenscheindauer in einer Entfernung von 200–300 m um höchstens 5% reduziert wird; ab einer Distanz von 3 km beträgt die Reduktion weniger als 2%. Bis in etwa 1 km Entfernung von Kühlturm (in den beiden Hauptwindrichtungen) wird der erwähnte Beschattungs-Grenzrichtwert überschritten. Das bedeutet in der Praxis, dass es sich als notwendig erweisen wird, Kühltürme in entsprechender Distanz von Wohngebieten zu plazieren.

Die Globalstrahlung und die kurzwellige Strahlungsbilanz werden prozentual weniger geschwächt, da die Dampfschwaden für etwa 50% der kurzwelligen Einstrahlung durchlässig sind. Durch Strahlungsmessungen im Bereich bestehender Kühltürme wird diese Frage noch weiter studiert werden. Die langwellige Strahlungsbilanz erfährt wegen erhöhter Gegenstrahlung und verminderter Ausstrahlung des Bodens eine leichte Erhöhung von rund 2–3%.

Die **Temperaturen** der bodennahen Luftschicht und des Bodens werden unter Berücksichtigung der Veränderungen des Strahlungshaushaltes um wenige Zehntel °C im Sinne einer Dämpfung des Tages- und Jahresganges geändert.

In der Niederung und am Talboden erreicht die Zunahme der **Luftfeuchtigkeit** in Bodennähe selten 1% r.F. und dürfte im Mittel 0,1% nicht überschreiten und daher nicht messbar sein. Mit der Bildung von künstlichem **Nebel** durch den Kühlturmtrieb ist entgegen den Erwartungen nicht zu rechnen, höchstens mit einer geringen Verlängerung natürlicher Nebelperioden.

Oekologisch bedeutsam und in seltenen Fällen kritisch wird die Situation nur an Standorten, in deren Nähe sich hohe und steile Gebirgshänge befinden, vor allem dann, wenn die Hänge höher sind als die Aufstiegshöhen der Dampfschwaden. Eine solche Situation ist beim Standort Rütli gegeben. Bei Winden quer zum Tal in Richtung Alpstein, also z.B. bei Bisenlage, kann die Dampffahne an Inversionsobergrenzen relativ konzentriert in den Hangbereich geführt werden. Durch den "Ansaugeneffekt" der Hangaufwinde, die am Morgen unmittelbar nach Sonnenbestrahlung in Gang kommen, wird diese Tendenz verstärkt. Hangaufwinde können ja Talquerwinde sui generis zur Folge haben (GLEESON, 1951; URFER, 1970).

Wir finden dann in den betreffenden Hanglagen, die mit der Windrichtung wechseln, markante Feuchtigkeitserhöhungen. Es ist nicht auszuschliessen, dass sich bei solchen Wetterlagen an den Hängen Zonen mit längerdauernder Benetzung und Vernässung bilden, unter Umständen auch die gefährlichen Rauheiszonen, letzteres dann, wenn die beim Aufstieg wiederkondensierenden Tröpfchen unter den Gefrierpunkt unterkühlt werden und im Moment ihres Auftreffens auf ein Hindernis, z.B. auf Baumkronen, gefrieren. Es ist bekannt, dass solche Rauheiszonen auch natürlich auftreten können, besonders wenn es sich um unterkühlte Mittelmeer- und Tropikluft handelt. Es sind oft weniger die Eislasten an sich, die ganze Waldbestände zusammenbrechen lassen, als vielmehr die ungeheuren Schneelasten, die wegen der vom Rauheisansatz vergrösserten Blatt-, Nadel- und Zweigquerschnitte zur Ablagerung kommen können.

Eine Reihe weiterer möglicher Umweltbelastungen durch Kühltürme wird für jeden Standort studiert, darunter die **Wechselwirkung mit Abgasen** benachbarter Industriebetriebe. Bei schwefeldioxydhaltigen Abgasen kann in Wechselwirkung mit dem Feuchtluftschwaden Schwefelsäure gebildet werden. Das bekannte grossräumige Problem der sauren Niederschläge erfährt in solchen Fällen eine lokale Verschärfung.

Ein anderes besonderes Risiko des Kühlturbetriebes besteht darin, dass bei **katastrophalen Verschmutzungen des Vorfluters** durch Salze, Gifte, biologische Keime etc., diese Stoffe mit dem Tropfenauswurf in die Atmosphäre gelangen und unkontrollierbar weit verbreitet werden können. Projekte zur Lösung dieses Problems sind derzeit noch nicht ausgereift.

LITERATUR

- Arbeitsgruppe über die meteorologischen Auswirkungen der Kühltürme (1972): Ueber den heutigen Stand der Kenntnisse und die entwickelte Arbeitsmethode zur Abschätzung der meteorologischen Auswirkungen von Kühltürmen. Dienst für Luftreinhaltung der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Payerne, 15.3.1972.
- Arbeitsgruppe über die meteorologischen Auswirkungen der Kühltürme (1972): Meteorologisches Gutachten über den Kühlturm, Kernkraftwerk Rüthi. Dienst für Luftreinhaltung, Schweiz.Meteorolog. ZA, Payerne, 4.11.1972.
- AYNSLEY, E. (1970): Cooling tower effects, studies abroad. *Electr.World*, 173: 42–43.
- BAKER, K.G. (1967): Water cooling tower plumes. *Chem.Proc.Engineering*, Jan. 1967.
- BALDINGER, F., et al. (1968): Gewässerschutztechnische Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und -rückgabe bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken. Eidg. Departement des Innern, Bern, März 1968.
- BØGH, P. & MUSEL, R. (1972): Aufbau und Betriebsweise von Kühlturmanlagen. *Chem.Rdsch.* 25: 217–219.
- CARPENTER, S.B., et al. (1970): Principal plume dispersion models for TVA power plants. 63rd Ann.Mtg.Air Poll.Contr.Assoc., St.Louis, Mo., June 1970.
- Eidg. Kommission für elektrische Anlagen (1972): Bericht zur Frage optimaler Standorte für künftige Atomkraftwerke in bezug auf minimale Transportdistanzen für die elektrische Energie. Eidg.Departement für Verkehr und Energiewirtschaft, Bern, 29.9.1972.
- GIFFORD, F.A. (1961): Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. *Nuclear Safety*, 2: 47–51.
- GLEESON, T.A. (1951): On the theory of cross-valley winds arising from differential heating of the slopes. *J.Meteorol.*, 8: 398–405.
- GRANDJEAN, E. & JOSHI, S. (1972): Immissionen von Naturzugkühltürmen aus der Sicht der Umwelthygiene. Bericht Inst.f.Hygiene u.Arbeitsphysiologie ETH Zürich, 4.4.1972.
- Motorcolumbus AG (1971): Kühlung von Kernkraftwerken. Baden (CH-5401), Juli 1971.
- NIEMEYER, L.E., McCORMICK, R.A. & LUDWIG, J.H. (1971): Environmental aspects of power plants. Proc.Symp.Environmental Aspects of Nuclear Power Stations, Internat.Atomic Energy Agency, Vienna, 711–722.
- PASQUILL, F. (1961): The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorol.Mag.* 90: 33–49.
- SAUBERER, F. & HÄRTEL, O. (1959): Pflanze und Strahlung. Akad.Verlagsges. Geest & Portig, Leipzig.
- SPURR, G. (1967): Persistence of cooling tower plumes. C.E.G.B., Oct. 1967.
- TURNER, D.B. (1970): Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. *US Publ.Health Serv. Publ.* No. 99-AP-26.
- TURNER, H. & TRANQUILLINI, W. (1961): Die Strahlungsverhältnisse und ihr Einfluss auf die Photosynthese der Pflanzen. *Mitt.Forstl.Bundes-Versuchsanst.Maria-brunn*, 59: 69–103.
- URFER-HENNEBERGER, Ch. (1970): Neuere Beobachtungen über die Entwicklung des Schönwetterwindsystems in einem V-förmigen Alpental (Dischmatal bei Davos). *Arch.Met. Geoph.Biokl., Ser. B*, 18: 21–42.

WEINSTEIN, A.I. (1970): Numerical model of cumulus dynamics and microphysics. *J. Atmosph. Science*, 27: 246.

Anschrift des Verfassers:

Dr. HANS TURNER, Eidgen. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903
Birmensdorf/ZH.