

BERICHTE DER SNG ZUR KERNENERGIE RAPPORTS DE LA SHSN SUR L'ENERGIE NUCLEAIRE

P 30084

(EW)

Beiheft zum Bulletin 1978/1 der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
und der Schweizerischen Geisteswissenschaftlichen Gesellschaft
Supplément au Bulletin 1978/1 de la Société Helvétique des Sciences Naturelles
et de la Société Suisse des Sciences Humaines

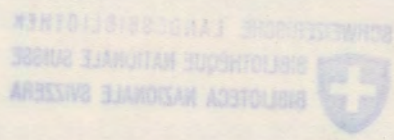
P 30084

BERICHTE DER SNG ZUR KERNENERGIE RAPPORTS DE LA SHSN SUR L'ENERGIE NUCLEAIRE

4

Inhalt

Zum Lesen	3
Introduction	7
1. Bericht	
«Strahlungsgefährdung durch Kernkraftwerke»	9
2. Bericht	
«Die chemischen Auswirkungen von Kernkraftwerken»	37



Herausgegeben von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
(Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften)
Publié par la Société Helvétique des Sciences Naturelles
(Académie Suisse des Sciences)

SCHWEIZERISCHE LANDESBIBLIOTHEK



BIBLIOTHÈQUE NATIONALE SUISSE
BIBLIOTECA NAZIONALE SVIZZERA

Herausgegeben von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
(Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften)
Publié par la Société Helvétique des Sciences Naturelles
(Académie Suisse des Sciences)

Seit die Kontroverse um Nutzen und Schaden von Kernkraftwerken entbrannt ist, geschieht es, dass Wissenschaftler in der Öffentlichkeit widersprüchliche Ansichten vertreten, wobei sie zugleich ihre wissenschaftliche Ausrüstung ins Spiel bringen. Damit wird das Bestreben um Sachlichkeit, das alle Wissenschaft auszeichnen sollte, kompromittiert. Angesichts dieser Situation, die dem Problembereich Atomkernenergie — neben anderen grossen Problemen — heute beizumessen ist, nahm der ehemalige Genfer Ausschuss der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft an dieser Lage Anstoss. Er ging von der Überzeugung aus, dass es möglich ist, wissenschaftlicher Ebene Genert und Befürworter von Kernkraft zusammenzuführen. Im Frühherbst 1973 fasste der Ausschuss daher den Entschluss, Arbeitsgruppen aus Fachleuten verschiedener Einstellung zu bilden, die Fragen wissenschaftliche Antworten zu suchen, deren alle Beteiligten zustimmen könnten. Dass diese Bestrebungen in einzelnen Punkten zu Ergebnissen führen könnten, es gebe vom rein wissenschaftlichen Standpunkt aus keine eindeutige Antwort, wurde ausdrücklich

Inhalt

Zum Geleit 5

Introduction 7

1. Bericht:

«Strahlengefährdung durch Kernkraftwerke» 9

2. Bericht:

«Die thermischen Auswirkungen von Kernkraftwerken» 27

Nach Abschluss der Arbeiten sollen alle Berichte in einer Gesamtpublikation, wenn möglich versehen mit Sachregister und Glossar, zusammengefasst werden. Die vorweg publizierten Berichte sind bis dahin als provisorisch anzusehen, eine Überarbeitung bleibt somit vorbehalten. Die Verantwortung für die einzelnen Berichte tragen ausschliesslich die sie untersuchenden Wissenschaftler. Die Berichte gelten nicht als offizielle Stellungnahme der SNG; sie tritt bloss als Herausgeberin auf.

Den Wissenschaftlern, die sich in den verschiedenen Arbeitsgruppen betätigten und sich weiterhin zur Verfügung stellen, gebührt für ihren Einsatz und ihre Verständigungsbereitschaft aufrichtiger Dank. Die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft übergibt ihre Berichte der Öffentlichkeit in der Hoffnung, sie möchten Beachtung finden und zur Versachlichung der Auseinandersetzung um die Kernkraftwerke in unserem Lande beitragen.

Prof. E. Niggli
Zentralpräsident der SNG

Seit die Kontroverse um Nutzen und Schaden von Kernkraftwerken entbrannt ist, geschieht es, dass Wissenschaftler in der Öffentlichkeit widersprüchliche Ansichten vertreten, wobei sie zugleich ihre wissenschaftliche Autorität ins Spiel bringen. Damit wird das Bestreben um Sachlichkeit, das alle Wissenschaft auszeichnen sollte, kompromittiert. Angesichts der grossen Bedeutung, die dem Problemkreis Atomkernenergie — neben anderen grossen Problemen — heute beizumessen ist, nahm der ehemalige Genfer Ausschuss der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft an dieser Lage Anstoss. Er ging von der Überzeugung aus, dass es möglich sei, auf wissenschaftlicher Ebene Gegner und Befürworter von Kernkraftwerken, wie auch Neutrale, in strittigen Punkten zu einem Konsens zusammenzuführen. Im Frühsommer 1975 fasste der Ausschuss daher den Entschluss, Arbeitsgruppen aus Fachleuten verschiedener Einstellung zu bilden mit dem Auftrag, zu bestimmten mit den Kernkraftwerken verbundenen Fragen wissenschaftliche Antworten zu suchen, denen alle Beteiligten zuzustimmen vermögen. Dass diese Bestrebungen in einzelnen Punkten zu dem Ergebnis führen könnten, es gebe vom rein wissenschaftlichen Gesichtspunkt aus zur Zeit keine gesicherte Antwort, wurde ausdrücklich in Kauf genommen.

Die Arbeiten, die ohne Verzug an die Hand genommen wurden, sind noch nicht abgeschlossen. Indessen liegen seit einiger Zeit Resultate vor, die nicht länger unveröffentlicht bleiben sollen. Der derzeitige Berner Ausschuss der SNG beschloss deshalb, die vorhandenen Berichte in Beiheften zum «Bulletin» der SNG und ihrer Schwesterorganisation, der Schweizerischen Geisteswissenschaftlichen Gesellschaft, laufend zu veröffentlichen. Er dankt der SGG für ihr bereitwilliges Einverständnis.

Nach Abschluss der Arbeiten sollen alle Berichte in einer Gesamtpublikation, wenn möglich versehen mit Sachregister und Glossar, zusammengefasst werden. Die vorweg publizierten Berichte sind bis dahin als provisorisch anzusehen, eine Überarbeitung bleibt somit vorbehalten. Die Verantwortung für die einzelnen Berichte tragen ausschliesslich die sie unterzeichnenden Wissenschaftler. Die Berichte gelten nicht als offizielle Stellungnahme der SNG: sie tritt bloss als Herausgeberin auf.

Den Wissenschaftlern, die sich an den verschiedenen Arbeitsgruppen beteiligten und sich weiterhin zur Verfügung stellen, gebührt für ihren Einsatz und ihre Verständigungsbereitschaft aufrichtiger Dank. Die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft übergibt ihre Berichte der Öffentlichkeit in der Hoffnung, sie möchten Beachtung finden und zur Versachlichung der Auseinandersetzung um die Kernkraftwerke in unserem Lande beitragen.

Prof. E. Niggli
Zentralpräsident der SNG

Dans cette édition provisoire, seuls les avant-propos et résumés ont été traduits en français. Il est prévu de publier une édition entièrement en français.

Prof. E. Niggli
Zentralpräsident der SNG

Introduction

Motif

Face au débat sur *l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire*, le public est décontenancé: à des prises de position de toutes les orientations se mêlent les informations les plus contradictoires; même les milieux scientifiques ne paraissent pas unanimes.

Or, le désaccord ne porte pas sur les faits scientifiques mais sur l'utilisation qu'on en fait et sur les prévisions qu'on en tire. De sorte que *le public assiste à un débat d'opinions plutôt qu'à des discussions scientifiques*.

La Société Helvétique des Sciences Naturelles (S.H.S.N.) est un organisme indépendant qui tient lieu, pour la Suisse, d'Académie des Sciences. Elle s'est donné pour but de *fournir au public non spécialisé une information sûre et objective*, exprimée en dehors de toute influence d'intérêt, sans aucune tendance d'ordre philosophique, social ou politique. Elle a eu la chance de pouvoir réunir des savants qui, en toute honnêteté scientifique, ont cherché à tenir cette gageure.

Dans le présent document, le groupe «énergie nucléaire» de la S.H.S.N. ne prend aucune position: il présente des faits scientifiques.

Par «faits scientifiques», nous entendons des affirmations basées sur des données établies scientifiquement. Cela signifie que nous présentons des faits clairement reconnus. Mais cela signifie aussi que, lorsqu'un problème ne peut encore être résolu de façon certaine à l'heure actuelle, l'information est fournie en faisant état de son incertitude ou des lacunes qu'elle contient.

Il est évident que de nombreuses considérations étrangères aux sciences exactes et naturelles entrent dans le débat nucléaire. Les aspects économiques (besoins en énergie, expansion, rentabilité, etc.), ou socio-politiques, ne sauraient être traités par la S.H.S.N.

Méthode et matière

L'information a été réunie par des groupes de travail de la S.H.S.N. qui en garantissent la valeur scientifique. Les sources de cette information sont indiquées dans les textes et dans les listes de références, à la fin de chaque chapitre.

Bien que les groupes n'aient à exprimer aucune opinion, ils ont été composés de manière à inclure des «opposants» et des «partisans» déclarés des centrales nucléaires. Les résultats sont publiés, pour chaque groupe, *avec l'accord de tous ses membres*.

Les questions traitées sont, dans la mesure du possible, celles que se pose «l'homme de la rue» assistant au débat nucléaire. Le domaine est cependant trop vaste pour être abordé dans tous ses détails. Aussi les groupes de travail de la S.H.S.N. sont-ils prêts à étudier toute question qui ne figure pas dans les chapitres publiés, et qui leur serait posée par écrit, à condition qu'elle touche uniquement aux sciences exactes et naturelles. Les questions doivent être adressées au Secrétariat général de la S.H.S.N., Groupe «énergie nucléaire», Case postale 2535, 3001 Berne.

Présentation

Les chapitres correspondent aux divers aspects du problème de l'énergie nucléaire (radiations, effets thermiques, déchets radioactifs, sécurité, etc.). Chaque chapitre est précédé d'un résumé.

Les données essentielles sont mises en évidence (en italique). Des rappels dans la marge permettent de les trouver facilement.

Ainsi, pour une orientation rapide, on aura recours au résumé. Une information plus complète est donnée dans le texte, et le lecteur désireux d'approfondir ses connaissances en trouvera les sources dans la liste bibliographique.

Publication

La S.H.S.N. publie, dans ce premier fascicule, deux chapitres:

- effets biologiques des radiations,
- effets thermiques sur l'environnement et le climat.

Sont en préparation les chapitres suivants:

- technologie des centrales nucléaires,
- émissions radioactives,
- combustibles nucléaires,
- déchets radioactifs,
- sécurité d'exploitation,
- emplacement des centrales nucléaires,
- sources d'énergie non nucléaire.

Le groupe «énergie nucléaire» de la S.H.S.N. espère contribuer ainsi à l'information claire et impartiale de la population de notre pays.

Genève, le 22 mars 1978

Le coordinateur du groupe
«énergie nucléaire»
Prof. G. de Haller

Strahlengefährdung durch Kernkraftwerke

Kurzfassung / Abstract	13
1. Die Strahlenbelastung und ihre Ursachen	17
2. Vergleich von natürlicher und künstlicher Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung	18
3. Die Wirkung ionisierender Strahlen auf Lebewesen	19
4. Strahlenbelastung und Krebsrisiko	20
5. Die Wirkung ionisierender Strahlen auf das Erbgut	22
6. Strahlenbelastung und Risiko von Erbschäden	22
7. Strahlenrisiko bei Störungen in Kernkraftwerken	24
8. Zur Risikoeinschätzung von Strahlenschäden	25
Literaturverzeichnis	26

Der Bericht wurde erarbeitet und gutgeheissen von

Prof. Dr. sc. nat. Richard Braun, Mikrobiologe, Bern
Prof. Dr. phil. Hedi Fritz-Niggli, Strahlenbiologin, Zürich
Prof. Dr. med. Werner Schmid, Humangenetiker, Zürich
Prof. Dr. phil. Pierre-A. Tschumi, Umweltbiologe, Bern
Dr. phil. Gerhart Wagner, Biologe, Bern
Prof. Dr. phil. Rudolf Weber, Entwicklungsbiologe, Bern

Vorwort

Bei den Diskussionen über die Frage der Strahlengefährdung der Bevölkerung, in der belebte Natur überhaupt, durch Kernkraftwerke wurde immer wieder auf die Notwendigkeit einer umfassenden Information der Öffentlichkeit hingewiesen. Deshalb hat die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft eine Arbeitsgruppe eingesetzt mit dem Auftrag, die wichtigsten Problembereiche verfügbaren Informationen zu sichten, und zwar sowohl für den Normalbetrieb von Kernkraftwerken wie auch für besondere Situationen.

Inhalt

Vorwort / Avant-propos	13
Kurzfassung / Résumé	13
1. Die Strahlenbelastung und ihre Ursachen	17
2. Vergleich von natürlicher und künstlicher Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung	18
3. Die Wirkung ionisierender Strahlen auf Lebewesen	19
4. Strahlenbelastung und Krebsrisiko	20
5. Die Wirkung ionisierender Strahlen auf das Erbgut	22
6. Strahlenbelastung und Risiko von Erbschäden	22
7. Strahlenrisiko bei Störungen in Kernkraftwerken	24
8. Zur Risikoschätzung von Strahlenschäden	25
Literaturverzeichnis	26

Kurzfassung

Natürliche und künstliche Strahlenbelastung und ihre Ursachen

Radioaktive Stoffe waren seit jeher ein Bestandteil der natürlichen Umwelt; sie sind neben der kosmischen Strahlung Ursache der natürlichen Strahlenbelastung, der alle Organismen ausgesetzt sind. Für den Schweizer betragen sie — gemessen als sogenannte Knochenmarksdosis — im Mittel 1,4 mSv/Jahr, wobei je nach Untergrund oder Höhenlage Abweichungen von 0,5 bis 2,5 mSv/Jahr auftreten können.

natürliche
Strahlen-
belastung

© 1985 publiee, stockeusement mise à jour et distribuée.

Vorwort

Bei den Diskussionen über die Frage der Strahlengefährdung der Bevölkerung, ja der belebten Natur überhaupt, durch Kernkraftwerke wurde immer wieder auf die Notwendigkeit einer umfassenden Information der Öffentlichkeit hingewiesen. Deshalb hat die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft eine Arbeitsgruppe eingesetzt mit dem Auftrag, die zu diesem Problemkreis verfügbaren Informationen zu sichten, und zwar sowohl für den Normalbetrieb von Kernkraftwerken wie auch für besondere Situationen.

Gestützt auf einen umfassenden Bericht von Frau Prof. H. Fritz-Niggli und auf die uns freundlicherweise überlassene Stellungnahme einer von der Schweizerischen Akademie der medizinischen Wissenschaften ernannten Kommission zum Studium der Strahlengefährdung durch Kernkraftwerke, hat die Arbeitsgruppe der SNG den Versuch unternommen, einige wichtige Fragen zum Thema «Strahlengefährdung durch Kernkraftwerke» unvoreingenommen und nach dem neuesten Stand unseres Wissens zuhanden der Öffentlichkeit zu beantworten.

Avant-propos

Lors des discussions relatives aux dangers d'irradiation que peuvent représenter les centrales nucléaires pour la population, voire pour la nature en général, on a toujours insisté sur la nécessité de renseigner entièrement le public sur ces problèmes. A cet effet la SHSN a constitué un groupe de travail chargé de recueillir et d'examiner toutes les informations disponibles dans ce domaine, tant sur l'exploitation normale des centrales nucléaires que sur les situations particulières qui pourraient se présenter.

Le groupe de travail s'est appuyé sur un rapport très complet de Madame le professeur H. Fritz-Niggli et sur la prise de position¹⁾ de l'Académie suisse des sciences médicales relative aux dangers d'irradiation par les centrales nucléaires. Il a tenté de répondre à l'intention du public, sans parti pris et en s'inspirant des connaissances les plus récentes, à quelques questions concernant ce sujet.

Kurzfassung

Natürliche und künstliche Strahlenbelastung und ihre Ursachen

Radioaktive Stoffe waren seit jeher ein Bestandteil der natürlichen Umwelt; sie sind neben der kosmischen Strahlung Ursache der *natürlichen Strahlenbelastung*, der alle Organismen ausgesetzt sind. Für den Schweizer beträgt sie — gemessen als sogenannte Knochenmarkdosis — im Mittel 143 millirem/Jahr, wobei je nach Untergrund oder Höhenlage Abweichun-

natürliche
Strahlen-
belastung

¹⁾ Non publiée, aimablement mise à notre disposition.

künstliche
Strahlen-
belastung

Strahlen-
belastung
durch
Kernkraftwerke

gen möglich sind. Dazu kommt noch eine vom Menschen verursachte *künstliche Strahlenbelastung*, die, wiederum als Knochenmarkdosis ausgedrückt, durchschnittlich 126 millirem/Jahr erreicht, wovon 99% auf medizinische Anwendungen von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen und weniger als 1% auf den Betrieb von Kernkraftwerken entfallen. Für den nächsten Umkreis von *normal funktionierenden Kernkraftwerken* wurden in der Schweiz Belastungen von 1 bis ca. 5 millirem/Jahr errechnet.

Die Wirkung ionisierender Strahlen auf den Menschen (oder Säugetiere)

somatische
Strahlenschäden

genetische
Strahlenschäden

Ganzkörperbestrahlungen von über 600 rem (= 600 000 millirem) wirken meist tödlich. Geringere Strahlendosen verursachen einerseits körperliche oder *somatische Schäden*, die auf das bestrahlte Individuum beschränkt bleiben und sich in der Beeinträchtigung der Teilungsfähigkeit und dem Absterben von Zellen sowie in der Auslösung einer unkontrollierten Zellvermehrung (Krebs, Leukämie) äussern können. Andererseits werden *genetische Schäden*, sogenannte Mutationen, ausgelöst, die bei Nachkommen Entwicklungsstörungen, Tod oder Erbleiden zur Folge haben können. Kurzfristig verabreichte Strahlendosen schädigen stärker als dieselbe über längere Zeit verteilte Gesamtdosis, da die Zellen offenbar die Fähigkeit besitzen, sich von Strahlenschädigungen teilweise zu erholen. Auch kleinste Strahlendosen können körperliche und genetische Schäden erzeugen.

Strahlenbelastung und Krebsrisiko

Risiko für
spontane und
strahlen-
induzierte Krebs-
erkrankungen

Aufgrund hauptsächlich von Beobachtungen an Atombombenopfern in Japan und an kurzzeitig mit hohen Strahlendosen behandelten Patienten sind unter Berücksichtigung der weniger wirksamen Langzeitbestrahlung bei einer jährlichen Dosis von 1000 millirem unter einer Million Bestrahlter etwa 40 zusätzliche Krebstodesfälle zu erwarten. Eine *Dauerbelastung von 1 millirem/Jahr würde unter der Schweizer Bevölkerung von 6,4 Mio Menschen jährlich 0,26 zusätzliche Todesfälle durch Krebs und Leukämie verursachen*. In der Schweiz sterben im Jahr etwa 13 000 Menschen an diesen Krankheiten.

Die Wirkung ionisierender Strahlen auf das Erbgut

Mutationen

ionisierende
Strahlen und
Mutationsrate

Das Erbgut aller Organismen erfährt *spontane erbliche Änderungen (Mutationen)*. Für den Menschen ist in einer Million Keimzellen etwa mit 30 000 neuen Mutationen zu rechnen. Mutationen sind meist ungünstig für das Lebewesen, d. h., sie verursachen Krankheiten, Missbildungen oder sogar Tod. Die häufigeren rezessiven Mutationen können sich erst auswirken, wenn sie von beiden Eltern übertragen werden. *Ionisierende Strahlen* erhöhen die *Mutationsrate*, wobei sich die natürlichen Mutationen von den strahleninduzierten nicht unterscheiden lassen.

Strahlenbelastung und Risiko für Erbschäden

Die zur Verdoppelung der natürlichen Mutationsrate erforderliche Langzeitbestrahlung mit kleinen Dosen wird auf 100 rem (= 100 000 millirem) geschätzt. Durch eine zusätzliche Bestrahlung von 1 mrem würden somit unter 1 Mio Samenzellen 0,3 Neumutationen induziert, oder es würden, wenn eine Bevölkerungsgruppe während 30 Jahren (= 1 Generation) einer zusätzlichen Bestrahlung von 1 mrem/Jahr ausgesetzt wird, ihre Mutationsrate um 1/3 000 bzw. die Häufigkeit der Geburten mit Neumutationen von 6 000 auf 6 001,8/100 000 Geburten erhöht. Die *Häufigkeit sichtbarer Erbschäden* würde in der ersten Generation von rund 6 000 auf 6 000,036—6 000,09/100 000 Geburten ansteigen.

ionisierende
Strahlen und
Erbschäden

Strahlenrisiko bei Störungen in Kernkraftwerken

Bei einer aufgrund der eingebauten Sicherheitseinrichtungen als sehr unwahrscheinlich erachteten *schwersten Störung einer Kernspaltungsanlage* könnten *ionisierende Strahlen* sowie *radioaktive Spaltprodukte* in die Umgebung gelangen und in der Bevölkerung je nach Strahlendosis unter Umständen *Todesfälle, akute Strahlenschäden, Entwicklungsstörungen sowie Spätschäden*, wie Leukämie, Krebs und Erbkranken verursachen. Insbesondere kann es zu einer *Verseuchung des Bodens, der Gewässer* und zu einer *Anreicherung gewisser radioaktiver Elemente in den Organismen kommen*. — Über die Frage der *Sicherheit von Kernkraftwerken* wird eine andere Arbeitsgruppe der SNG noch berichten.

Freisetzung von
Radioaktivität
aus Kernkraft-
werken

ihre
Auswirkungen
auf Lebewesen

Résumé

Danger de radiations émises par des centrales nucléaires

Action du rayonnement naturel et artificiel et ses origines

Les substances radioactives ont de tout temps été considérées comme faisant partie de l'environnement naturel. Comme le rayonnement cosmique elles sont à l'origine de la *radiation naturelle* à laquelle toute matière est exposée. Mesurée en taux d'irradiation de la moelle osseuse, elle s'élève en Suisse à une moyenne de 143 millirem par an et par personne. Des variations sont possibles suivant la nature du sol et l'altitude. A cela s'ajoute l'action de l'*irradiation artificielle* provoquée par l'homme, qui à son tour, exprimée en taux d'irradiation de la moelle osseuse, atteint en moyenne 126 millirem par an, dont 99% sont à mettre au compte de l'application médicale de substances radioactives et de rayons ionisants; moins de 1% est à attribuer à l'exploitation de centrales nucléaires. Des doses allant de 1 à quelque 5 millirem par an ont été calculés dans les alentours immédiats *des centrales nucléaires fonctionnant normalement*.

radiation
naturelle

irradiation
artificielle

irradiation
provenant de
centrales
nucléaires

Effets des rayons ionisants sur l'homme (ou les mammifères)

lésions
somatiques par
irradiation

perturbations
génétiques
par irradiation

Une irradiation globale du corps dépassant 600 rem (600 000 millirem) est en général mortelle. Des doses d'exposition moins fortes provoquent des *lésions corporelles* qui toutefois restent limitées aux seuls individus ayant été soumis à l'irradiation. Elles peuvent se manifester par une atteinte à la faculté des cellules de se diviser, favoriser la mort des cellules et déclencher une prolifération incontrôlée des cellules (cancer, leucémie). En outre, des *perturbations génétiques* (mutations) peuvent être déclenchées, qui engendrent dans la descendance des perturbations du développement, des maladies héréditaires, voire la mort. Des doses absorbées en une seule fois ou dans un temps limité sont plus nocives que celles accumulées pendant une période plus longue, étant donné que les cellules possèdent probablement la faculté de se remettre partiellement des dommages dus à l'irradiation. Même les doses les plus faibles peuvent avoir des conséquences sur le plan somatique et génétique.

Les risques dus à l'action cancérogène de l'irradiation

risque de
cancers
spontanés et
de cancers
provoqués
par l'irradiation

À la suite d'observations faites notamment sur les victimes de la bombe atomique au Japon et sur des malades soumis pendant peu de temps à de fortes doses, on estime les cas supplémentaires de cancers mortels à 40 pour un million d'êtres contaminés, pour une dose annuelle de 1 000 millirem, ceci en tenant compte de l'effet réduit produit par une exposition de longue durée. *Une dose de 1 millirem par année, absorbée pendant une période continue par une population de l'ordre de 6,4 millions de personnes (celle de la Suisse) provoquerait annuellement 0,26 cas de décès supplémentaires dus au cancer et à la leucémie.* Or, ce sont quelque 13 000 personnes qui meurent chaque année en Suisse à la suite de ces maladies.

Effets de l'irradiation ionisante sur le patrimoine génétique

mutations

rayons
ionisants et
fréquence de
mutations

Le patrimoine génétique de tous les organismes subit des modifications héréditaires spontanées, appelées *mutations*. Pour l'homme on estime à 30 000 le nombre de nouvelles mutations parmi un million de cellules germinales. Dans la plupart des cas, les mutations ont des effets défavorables pour l'organisme car elles sont à l'origine de maladies, de malformations ou même de la mort. Les mutations récessives qui sont les plus fréquentes, ne se manifestent que lorsqu'elles sont transmises par les deux conjoints. Les *rayons ionisants* augmentent la *fréquence des mutations*; les mutations naturelles ne peuvent cependant être distinguées de celles provoquées par l'irradiation.

Risques de déficiences génétiques provoquées par l'irradiation

On estime à 100 rem (100 000 millirem) l'exposition au rayonnement nécessaire, sur une longue période et à faible dose, pour doubler la fréquence des mutations naturelles. Une exposition supplémentaire de

1 millirem déclencherait ainsi 0,3 nouvelles mutations parmi un million de cellules reproductrices. Si un groupe de population subissait pendant 30 ans (= une génération) une exposition supplémentaire de 1 millirem par an, son taux de mutation s'en trouverait accru de 1/3 000, ce qui revient à dire que la fréquence des naissances avec des mutations nouvelles augmenterait en moyenne de 6 000 à 6 001,8 pour 100 000 naissances. La probabilité de *déficiences génétiques apparentes* passerait, dans la première génération, de 6 000 à 6 000,036—6 000,09 pour 100 000 naissances.

rayons
ionisants et
déficiences
génétiques

Risque d'irradiation en cas d'incident dans une centrale nucléaire

Dans le cas d'un *accident très grave dans l'exploitation d'une centrale* — cas très improbable à cause des systèmes de sécurité existants — des *rayons ainsi que des produits de fission radioactifs* pourraient atteindre les alentours et provoquer, le cas échéant, *des décès, des syndromes aigus ou des perturbations du développement ainsi que des lésions héréditaires ou des lésions tardives*, telles que la leucémie ou le cancer. Ces conséquences nocives dépendent de la dose absorbée par la population. Il pourrait en résulter également une *contamination du sol et de l'eau* ainsi qu'une *concentration accrue de certains éléments radioactifs dans les organismes*. — La sécurité des centrales nucléaires sera traitée dans le rapport d'un autre groupe.

émissions
radioactives
provenant de
centrales
nucléaires

conséquence
pour les
organismes

* * *

1. Die Strahlenbelastung und ihre Ursachen

Von *Strahlenbelastung* spricht man, wenn Organismen der Wirkung *ionisierender Strahlen* ausgesetzt sind. Ionisierende, energiereiche Strahlen haben die Fähigkeit, direkt oder indirekt Ionisationen auszulösen, d. h. elektrisch neutrale in geladene Teilchen überzuführen. Sie lassen sich unterteilen in elektromagnetische Wellenstrahlung, wie Röntgenstrahlen und Gammastrahlen, sowie Korpuskularstrahlen, wie Kerne von Helium (Alphastrahlen), Neutronen, Protonen, Elektronen (Betastrahlen), Pionen etc. *Radioaktive Stoffe* (Radionuklide) besitzen instabile Kerne, die sich spontan umwandeln oder *zerfallen* und dabei ionisierende Strahlung abgeben (Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen).

Strahlen-
belastung
ionisierende
Strahlen

radioaktiver
Zerfall

Ionisierende Strahlen sind seit jeher Bestandteile unseres Lebensraumes, d. h., der Mensch und alle anderen Lebewesen sind dauernd der Einwirkung von Strahlen ausgesetzt, die natürlichen Quellen entstammen.

Die *natürliche Strahlenbelastung* setzt sich zusammen aus:

— der Strahlung natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe in der Umgebung, nämlich im Untergrund (Gesteine), in Gebäuden und in

Ursachen
der natürlichen
Strahlen-
belastung

der Luft, auch terrestrische Strahlung genannt, die, je nach Wohnort und Lebensweise, sehr verschieden sein kann;

- der kosmischen Strahlung, die dem Weltraum entstammt und mit steigender Höhe über Meer zunimmt;
- der körpereigenen Strahlung, die von eingebauten natürlichen radioaktiven Stoffen, insbesondere Kalium-40, ferner von Polonium-210 und Kohlenstoff-14 sowie in kleinen Mengen von Tritium, Radium-226 und -228, Uranium-238 etc. herrührt.

Ausserdem gibt es eine durch unsere Zivilisation bedingte *künstliche Strahlenbelastung*, die verursacht wird durch:

- medizinische Anwendung von ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen für Diagnose und Therapie;
- radioaktive Spaltprodukte von Kernwaffenexplosionen;
- Gebrauchsgegenstände, z. B. Uhren mit Leuchtziffern, Fernsehgeräte;
- technische Anwendungen von ionisierenden Strahlen inkl. radioaktiver Stoffe in Industrie und Kernkraftwerken.

Es gibt keine prinzipiellen Unterschiede zwischen der Wirkungsweise oder der Gefährlichkeit der natürlichen und der künstlichen Strahlenbelastung. Es handelt sich in beiden Fällen um die gleichen Strahlenarten und teilweise (z.B. Tritium, Kohlenstoff-14) sogar um die gleichen Radionuklide.

2. Vergleich von natürlicher und künstlicher Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung

Seit zwanzig Jahren verfolgt die Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUER) laufend durch Messungen an verschiedenen Orten des Landes das Ausmass der natürlichen und künstlichen Strahlenbelastung. Die ionisierende Strahlung gilt daher heute als der am besten bekannte Umweltfaktor.

Tabelle 1 enthält die neuesten Werte für die durchschnittliche Strahlenbelastung des Schweizers, ausgedrückt als Dosisleistung für ein bestimmtes Gewebe, das rote Knochenmark. Diese für die Ganzkörperbelastung repräsentativen und daher am ehesten vergleichbaren Werte zeigen, dass die Strahlenbelastung etwa zu gleichen Teilen durch natürliche und künstliche Quellen verursacht wird. Über 90% der künstlichen Strahlenbelastung entfallen auf medizinische Anwendungen, während die *Strahlenbelastung in der näheren Umgebung von Kernkraftwerken im Normalbetrieb* weniger als 1% der künstlichen Strahlenbelastung erreicht.

Tabelle 1: Natürliche und künstliche Strahlenbelastung des Schweizers nach G. G. Poretti u. a. (vgl. Literaturverzeichnis [LV] Nrn. 1 und 2).

Herkunft	Mittlere Knochenmarkdosis ¹⁾ in millirem ²⁾ /Jahr	Herkunft	Mittlere Knochenmarkdosis ¹⁾ in millirem ²⁾ /Jahr
Natürliche Strahlenbelastung: (LV 1)		Künstliche Strahlenbelastung: (LV 2)	
terrestrische Strahlung	65	Medizin	121
kosmische Strahlung	36	Kernwaffenversuche	3
körpereigene Strahlung	42	Leuchtziffern, Fernsehapparate	1
Total	143	Industrie, Kernkraftwerke ³⁾	1
		Total	126

¹⁾ Die Knochenmarkdosis entspricht der Strahlenbelastung des roten Knochenmarks und ist ein repräsentatives Mass für die Ganzkörperbelastung durch ionisierende Strahlen.

²⁾ In rem oder Bruchteilen davon (millirem = Tausendstelrem) wird die aufgenommene Strahlendosis, multipliziert mit einem biologischen Qualitätsfaktor, angegeben.

³⁾ Bezieht sich nur auf kleine Bevölkerungsgruppen.

Die Messungen der KUER haben ferner ergeben, dass seit dem internationalen Abkommen über den Verzicht auf die Durchführung von Kernwaffenversuchen über der Erde im Jahre 1963 die durch radioaktive Spaltprodukte verursachte Strahlenbelastung abgenommen hat.

3. Die Wirkung ionisierender Strahlen auf Lebewesen

Alle Lebewesen bestehen aus mikroskopisch kleinen Bau- und Funktionseinheiten, den *Zellen*. Diese enthalten einen Kern, in welchem die Erbinformation in riesigen Desoxyribonukleinsäure (DNS)-Molekülen gespeichert ist, sowie einen Zelleib, in welchem eine Vielzahl von enzymatisch gesteuerten Lebensprozessen abläuft. Durch ionisierende Strahlung können lebenswichtige Moleküle (DNS, Enzyme) und Strukturen verändert oder gar zerstört und dadurch die Lebensleistung von Zellen mehr oder weniger stark betroffen werden. Junge, noch teilungsfähige Zellen sind meistens empfindlicher gegenüber Strahlenschädigungen als alte Zellen, die sich nicht mehr teilen können.

Zellen

Man spricht von *somatischen* (körperlichen) oder von *genetischen Strahlenschäden*. Somatische Schäden bleiben auf das bestrahlte Individuum beschränkt, während genetische Schäden in den Keimzellen auf Nachkommen übertragen werden und sich im Laufe der Generationen weiter vermehren können.

Je nach Menge (Dosis) und Art der Strahlung, ihrer zeitlichen Verteilung, der Grösse des bestrahlten Körpervolumens, der Art der bestrahlten Organe und Gewebe (Zellen) sowie des Alters des bestrahlten Menschen sind verschiedene Wirkungen zu beobachten. Dabei handelt es sich durchwegs um Erscheinungen, die auch aus anderen Gründen auftreten können. Hohe akute Ganzkörperdosen von über 200 rem (200 000 millirem) lösen ein charakteristisches schweres Krankheitsbild aus, das sogenannte *akute Strahlensyndrom*, das zum Tod des bestrahlten Individuums führen kann.

Für unsere Betrachtung wesentlich ist nun die Erfahrung, dass sich Organismen, Organe und Zellen von der Strahlenwirkung erholen können und dass die gleiche Gesamtdosis, verteilt über eine lange Zeit, weniger schädigt, als wenn sie in kurzer Zeit verabreicht wird. Zur Beurteilung der Strahlengefährdung von Lebewesen durch Kernkraftwerke ist es wichtig, die Wirkung langdauernder Bestrahlung mit extrem kleinen Dosen zu kennen.

Auch kleinste Strahlendosen sind imstande, somatische und genetische Schädigungen zu erzeugen. Somatische Schäden treten in Erscheinung als Entwicklungsstörungen und *bösartige Gewebewucherungen* (*Krebs, Leukämie*). Da sich Entwicklungsstörungen bei kleinen Dosen nur dann einstellen, wenn besonders empfindliche Stadien der Keimentwicklung kurzfristig bestrahlt werden, dürfen sie für unsere Betrachtungen vernachlässigt werden. Zu prüfen ist jedoch die Möglichkeit, ob eine langdauernde Bestrahlung als Ursache von bösartigen Gewebewucherungen, die oft erst nach Jahren oder Jahrzehnten der Strahleneinwirkung auftreten, in Frage kommt.

4. Strahlenbelastung und Krebsrisiko

Um das durch eine gewisse Erhöhung der Strahlenbelastung der Gesamtbevölkerung hervorgerufene Risiko für bösartige Gewebeerkrankungen abzuschätzen, müsste man die Folgen einer lebenslangen geringen Bestrahlung kennen. Darüber gibt es aber keine direkten Informationen. Man kann jedoch aus der über 30jährigen Beobachtung der Krebshäufigkeit bei den Überlebenden der Atombombenexplosionen von Hiroshima und Nagasaki sowie bei den mit hohen Strahlendosen behandelten Patienten gewisse Schlüsse ziehen. Bei diesen beiden kurzzeitig stark bestrahlten Personengruppen wurde erhöhte Häufigkeit bösartiger Gewebeerkrankungen festgestellt.

Durch lineare Extrapolation auf die kleine Dosis wurde errechnet, dass eine kurzzeitige Ganzkörperbestrahlung mit 1 000 millirem jährlich etwa 120 zusätzliche Krebs-Todesfälle pro Million Bestrahlter zur Folge hätte (LV 3, 4¹). Dies entspricht etwa der Wahrscheinlichkeit, durch regelmässiges Rauchen von drei Zigaretten pro Woche an Lungenkrebs zu erkranken (LV 5).

Da aber eine über eine lange Zeit verteilte *Strahlendosis* weniger wirksam ist als bei kurzzeitiger Verabreichung, sind zur Beurteilung des *Krebsrisikos* durch Langzeitbestrahlung mit kleinen Dosen andere Werte heranzuziehen. Durch Versuche an Säugetieren und Zellkulturen konnte gezeigt werden, dass bei dünn ionisierenden Strahlen das Krebsrisiko desto kleiner ist, je länger der Zeitraum ist, über den die Bestrahlung erfolgt, und zwar beträgt dieses etwa $\frac{1}{3}$ des Wertes der Kurzzeitbestrahlung (vgl. Tabelle 2).

Strahlendosis
und Krebsrisiko

Tabelle 2: *Geschätzte* Beziehung zwischen Risiko und Dosis für *zusätzliche* Krebstodesfälle beim Menschen nach Bestrahlung mit kleinen Dosen (nach LV 6).

Dosis- Risiko- Beziehung	Zusätzliche Krebstodesfälle pro 1 000 millirem pro 1 Million Menschen	
	Kurzzeitbestrahlung	Langzeitbestrahlung
linear (1)	120 $\pm$ 60	$\leq$ 40 $\pm$ 20
nicht linear (2)	$\leq$ 30	$\leq$ 10

Unter der pessimistischen Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung (Zeile 1 in Tabelle 2) errechnet man für die Schweizer Bevölkerung von 6,4 Millionen Menschen bei einer der natürlichen Strahlenbelastung entsprechenden (zusätzlichen) ständigen Ganzkörperexposition mit 143 millirem pro Jahr ca. 37 und bei einer für *Kernkraftwerke im Normalbetrieb* berechneten, ständigen maximalen Strahlenbelastung von 1 bis etwa 5 millirem pro Jahr ca. 0,26—1,30 *zusätzliche Krebstodesfälle*, dies unter der unrealistischen Voraussetzung, dass die ganze Bevölkerung der Schweiz der maximalen Strahlenbelastung im engen Umkreis eines Kernkraftwerkes ausgesetzt ist²⁾. Geht man von der wahrscheinlicheren Annahme einer nicht-linearen Dosis-Wirkungsbeziehung aus (Zeile 2 in Tabelle 2), so kommt man zu einem bedeutend kleineren Risiko.

Krebsrisiko
für
Kernkraftwerke

- ¹⁾ Der Hinweis auf Literatur geschieht wie folgt: LV bedeutet Literaturverzeichnis, nachfolgende Ziffern verweisen auf die unter den entsprechenden Nummern im Literaturverzeichnis aufgeführten Werke.
- ²⁾ Bisherige Dosimeter-Messungen an den Kernkraftwerken Mühleberg und Beznau haben gezeigt, dass die zusätzliche Strahlendosis unterhalb der Nachweisgrenze von 10 millirem/Jahr liegt. Modellrechnungen aufgrund der Abgaberraten von radioaktiver Strahlung haben zu Richtwerten der Strahlenbelastung in der näheren Umgebung von Beznau von weniger als 1 millirem/Jahr und für Mühleberg von höchstens einigen millirem/Jahr geführt (LV 10).

Im Vergleich dazu betrug die Zahl der Todesfälle infolge *spontaner Krebserkrankung in der Schweiz* mit 6,4 Millionen Einwohnern im Jahr 1973 insgesamt 13 217 Fälle. Daraus kann man schliessen, dass das Risiko für eine induzierte Krebserkrankung bei einer für Kernkraftwerke im Normalbetrieb ermittelten maximalen Strahlenbelastung oder selbst bei einer Verdoppelung der natürlichen Strahlenbelastung, gemessen am Risiko, einer spontanen Krebserkrankung zu erliegen, ausserordentlich gering ist.

5. Die Wirkung ionisierender Strahlen auf das Erbgut

Aus der Vererbungslehre ist bekannt, dass Änderungen in den Erbeigenschaften auf Veränderungen oder *Mutationen* des im Zellkern enthaltenen Erbgutes beruhen, und zwar unterscheidet man:

- Genmutationen, d. h. Veränderungen im Bau oder der Anordnung von Bausteinen (Nukleotiden) der informationstragenden Desoxyribonukleinsäuremoleküle = DNS);
- Chromosomenmutationen, d. h. meist mikroskopisch nachweisbare Änderungen im Bau der Chromosomen, in welchen die informationstragenden DNS-Abschnitte oder Gene in regelmässiger Folge angeordnet sind;
- Genommutationen, d. h. Änderungen der Zahl der Chromosomen im Zellkern.

Genmutationen sind bedeutend häufiger als Chromosomen- oder Genommutationen.

Mutationen entstehen natürlicherweise (*spontan*); ihre *Häufigkeit* kann jedoch *durch ionisierende Strahlen erhöht* werden. Indessen besteht kein Unterschied zwischen spontanen und strahleninduzierten Mutationen. Mutationen können in der Erbsubstanz von Körper- und von Keimzellen auftreten, jedoch können nur Mutationen in den Keimzellen auf Kinder und Kindeskinde übertragen werden. Die meisten Mutationen sind *rezessiv*, d. h., sie werden bei Nachkommen nur dann sichtbar, wenn sie vom Vater und der Mutter auf ein Kind übertragen werden. Bei den selteneren *dominanten* Mutationen genügt die Übertragung von einem der beiden Eltern. Meistens haben Mutationen für ihren Träger schwerwiegende Folgen; manche führen zum Tode auf frühen Entwicklungsstufen, während andere Missbildungen oder Krankheiten hervorrufen.

6. Strahlenbelastung und Risiko von Erbschäden

Spontane Mutationen an bestimmten Genen ereignen sich in Keimzellen mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von 1:100 000 bis 1:1 000 000. Infolge dieser geringen Häufigkeit der Spontanmutationen ist es selbst bei Untersuchungen an grossen Bevölkerungsgruppen äusserst schwierig, eine

Zunahme der Mutationshäufigkeit für ein bestimmtes Erbmerkmal eindeutig nachzuweisen.

Da jedoch die Zahl der Gene bei einem Organismus gross ist (viele Tausend), so ist die spontane Mutationshäufigkeit für die Gesamtheit der Gene relativ gross.

Aufgrund von Ergebnissen aus Tierversuchen mit Langzeitbestrahlung kann nun das Risiko für strahleninduzierte Erbschäden beim Menschen wie folgt veranschlagt werden:

Häufigkeit von strahleninduzierten Mutationen und von sichtbaren Erbschäden

Tabelle 3: *Schätzung des Risikos von induzierten Mutationen und sichtbaren Erbschäden beim Menschen nach Langzeitbestrahlung mit kleinen Dosen, gestützt auf Versuche an Mäusen, teilweise nach LV 7 und LV 8.*

Mutationen				Zu erwartende Erbschäden ¹⁾			
pro 1 Million Samenzellen		Schweiz: pro 100 000 Geburten ¹⁾		pro 1 Million befruchtete Eizellen		Schweiz: pro 100 000 Geburten	
spontan	bestrahlt mit 1000 millirem	spontan	KKW-Strahlen 1 millirem	spontan	bestrahlt mit 1000 millirem	spontan	KKW-Strahlen 1 millirem
30 000	300 ²⁾	6 000	0,06	60 000	12—30 ³⁾	6 000	0,0012— ³⁾ 0,003

¹⁾ Annahmen: Beide Eltern bestrahlt und gleiche Empfindlichkeit von männlichen und weiblichen Keimzellen.

²⁾ Verdoppelungsdosis 100 000 millirem.

³⁾ Sichtbare Erbschäden bei Nachkommen der ersten Generation.

Natürlicherweise entstehen in einer Million Samenzellen etwa 30 000 neue Mutationen (Gen- und Chromosomen-Mutationen). Nach umfangreichen Experimenten an Säugetieren (Mäusen) kann berechnet werden, dass bei einer Langzeitbestrahlung 100 rem erforderlich sind, um die gleiche Zahl Mutationen zu erzeugen, wie sie spontan entstehen (sogenannte Verdoppelungsdosis). Demnach würde eine Langzeitbestrahlung mit 1 rem (1 000 mrem) 300 zusätzliche Mutationen pro Million bestrahlter Keimzellen induzieren (100 rem = 30 000 Mutationen, 1 rem = 300 Mutationen).

Übertragen auf unsere Bevölkerung unter der Annahme gleicher Mutationshäufigkeiten von männlichen und weiblichen Keimzellen (je 3%) würde man auf 100 000 Geburten 6 000 spontane Mutationen erwarten. Bei der Verdoppelungsdosis von 100 000 millirem hätte die dauernde Strahlenbelastung durch ein Kernkraftwerk im Normalbetrieb von 1 millirem/Jahr oder 30 millirem/Generation (= 30 Jahre) 0,06 bzw. 1,8 zusätzliche Mutationen zur Folge.

Risiko von Mutationen durch Kernkraftwerke

Unter der Annahme derselben Strahlenempfindlichkeit von männlichen und weiblichen Keimzellen wären bei einer dauernden Strahlenbelastung von 1 000 millirem/Jahr auf eine Million bestrahlter Menschen 600 zusätzliche Mutationen zu verzeichnen, wovon 12—30 bei Nachkommen der ersten Generation als Erbschäden in Erscheinung träten. Die einem *normal funktionierenden Kernkraftwerk* entsprechende Strahlenbelastung von 1 millirem/Jahr würde demnach unter 100 000 Geburten die *Zahl der spontanen Erbschäden* von 6 000 auf 6 000,0012—6 000,003 bzw. für eine solche von 30 millirem/Generation auf 6 000,036—6 000,09 erhöhen, vorausgesetzt, dass die ganze Schweizer Bevölkerung in der *unmittelbaren Umgebung eines Kernkraftwerkes* wohnen würde.

Solche Rechnungen sind jedoch rein akademisch, da die ihnen zugrunde gelegten Zahlen roh gerundet sind und nebst einer natürlichen Streubreite eine Unsicherheit von mindestens 10% aufweisen. Die theoretisch errechnete Zunahme wäre somit in keiner Weise fassbar. Das bedeutet, dass das Risiko für die Entstehung zusätzlicher sichtbarer Erbschäden infolge einer Strahlenbelastung durch Kernkraftwerke im Normalbetrieb als vernachlässigbar klein betrachtet werden darf.

7. Strahlenrisiko bei Störungen in Kernkraftwerken

Bei Kernkraftwerken können, wie bei allen technischen Anlagen, Defekte und Pannen auftreten, und auch schwere *Störfälle* am nuklearen Teil können nicht völlig ausgeschlossen werden. Es sind aber bei allen bisher vorgekommenen Zwischenfällen in Kernanlagen auf der ganzen Welt (z. B. Versuchsreaktor Lucens am 21. Januar 1968) noch nie bei unbeteiligten Dritten Strahlenschäden festgestellt worden. Deshalb ist man für die Abschätzung des Risikos auf theoretische Überlegungen und Untersuchungen angewiesen.

Für den äusserst unwahrscheinlichen Fall, dass alle Sicherheitsvorrichtungen in einem Kernkraftwerk gleichzeitig versagen und *radioaktive Stoffe in grosser Menge freigesetzt werden* sollten, könnte dies folgende Auswirkungen auf die in der nächsten Umgebung ansässige Bevölkerung haben:

- äussere Bestrahlung durch Gamma- (und Beta-)Strahlung der freigesetzten Spaltproduktwolke mit Sofortschäden (akutes Strahlensyndrom) einschliesslich Todesfällen bei sehr hohen Dosen und Spätschäden (Leukämie) bei kleineren Dosen.
- Inhalation von radioaktivem Jod, hauptsächlich Jod-131 (Halbwertszeit 8 Tage), sowie Jodablagerung mit späterer Inkorporation via Gras — Kuh — Milch. Dadurch können Schilddrüsenerkrankungen und später eventuell Schilddrüsenkrebs entstehen.

- Verseuchung des Bodens, besonders durch Caesium-137 (Halbwertszeit 30 Jahre).
- Verseuchung von Lebewesen, wobei bestimmte radioaktive Isotope in Organismen angereichert werden können.

Eine umfassende, realistische, auf heutige und zukünftige Kernkraftwerke anwendbare Risikountersuchung ist 1975 unter Auswertung aller bisherigen Betriebserfahrungen als Report WASH-1400 NUREG 75/014 durch die USAEC veröffentlicht worden und wird meist als «Rasmussen-Bericht» bezeichnet (LV 9). Am Beispiel zweier neuer KKW der am weitesten verbreiteten Typen (Druck- und Siedewasserreaktor) wurden Auswirkungen und Wahrscheinlichkeiten hypothetischer Störfälle analysiert und für unterschiedlichste Standortbedingungen untersucht.

Der «Rasmussen-Bericht», der nicht unwidersprochen geblieben, jedoch von namhaften Experten der amerikanischen Physikalischen Gesellschaft nicht in Frage gestellt worden ist, bezeichnet bei dem Grade von eingebauten Sicherheitseinrichtungen, wie sie in allen Ländern vorgeschrieben sind, eine *Reaktorkatastrophe* als äusserst unwahrscheinlich. Das Risiko für eine solche Katastrophe liegt in der gleichen Grössenordnung wie dasjenige für äusserst seltene Naturkatastrophen, wie etwa für den Einschlag eines grossen Meteoriten in eine unserer Grossstädte, der 1 000 Todesopfer fordert. Über die Frage der Sicherheit von Kernkraftwerken wird eine andere Arbeitsgruppe der SNG berichten.

Strahlenrisiko
bei Katastrophen

8. Zur Risikoschätzung von Strahlenschäden

Von den verschiedenartigen Umweltbelastungen ist diejenige durch ionisierende Strahlen am besten bekannt, und zwar sowohl in bezug auf die Art als auch das Ausmass der Strahlenschädigung. Da Langzeitversuche mit kleinen Strahlendosen am Menschen nicht möglich sind, müssen zur Risikoschätzung u. a. Ergebnisse von Tierversuchen herangezogen werden. Auch wenn diese Untersuchungen noch keineswegs abgeschlossen sind, so wurden bisher mit verschiedenen Methoden recht übereinstimmende Ergebnisse erzielt, so dass die unseren Schätzungen zugrunde liegenden Werte als zuverlässig betrachtet werden können. Zudem stellen unsere Schätzungen stets die pessimistische Variante dar.

Da Art und Umfang von Störungen oder Unfällen bei Kernkraftwerken nicht voraussehbar sind, ist es ausgeschlossen, Prognosen über das Ausmass von Strahlenschäden zu machen; es können höchstens die möglichen Strahlenschäden aufgezeigt werden.

Literaturverzeichnis

- (1) Poretti, G. G.: Natürlich bedingte Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung. Schweiz. Medizinische Wochenschrift, 108, 235—243 (1978).
- (2) Poretti, G. G., Jonesco-Farca, F. und Lanz, W.: Die Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung infolge röntgendiagnostischer Untersuchungen. Schweiz. Medizinische Wochenschrift 106 (1976), S. 1682—1687. (Vollständiger Bericht bei der Schweiz. Vereinigung für Atomenergie, Bern 1975).
- (3) BEIR Report: «The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation», National Academy of Sciences/National Research Council, Washington, D. C., November 1972.
- (4) Mays, C. W., Lloyd, R. D. und Marshall, J. H.: Malignancy Risk to Humans from Total Body Gamma-ray Irradiation. Proceedings of the Third International Congress of IRPA, Amsterdam 1975.
- (5) Royal Commission on Environmental Pollution, sixth Report: Nuclear Power and the Environment, London 1976.
- (6) Jacobi, W.: Die Grenzen der Strahlenbelastung. In: Allgemeine Strahlenbelastung des modernen Menschen. Informationstagung der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie in Zusammenarbeit mit dem Fachverband für Strahlenschutz e. V., Zürich-Oerlikon 1973.
- (7) Ionizing Radiation: Levels and Effects. A Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. Vol. II, Effects, New York 1972.
- (8) Fritz-Niggli, H.: Strahlengefährdung und Strahlenschutz. Ein Leitfaden für die Praxis. Bern 1975.
- (9) WASH-1400/NUREG-75/014: «Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risks in U. S. Commercial Nuclear Power Plants». Main Report and Appendix VI (Calculation of Reactor Accident Consequences). U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C., October 1975.
- (10) Stumm, W. u. a.: SNG-Bericht über die Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken beim normalen Betrieb, im Druck.

Die thermischen Auswirkungen von Kernkraftwerken

1. Einleitung	37
2. Abgrenzung des Problembereichs	39
2.1 Direkte thermische Auswirkungen der Energieproduktion	40
2.2 Indirekte Auswirkungen der Energieproduktion	40
3. Wärmeabfuhr: Möglichkeiten und Einwirkungen auf die Umwelt	42
3.1 Flusswasserkühlung	42
3.2 Der Nasskühlturm	43
3.3 Der Trockenkühlturm	46
3.4 Abwärmenutzung	49
4. Beurteilung der Auswirkungen auf das Klima	50
4.1 Bekannte Klimadaten	50
4.2 Modelle über die Auswirkungen der Abwärme	50
4.2.1 Mathematische Modelle	51
4.2.2 Physikalische Modelle	51
4.2.3 Statistische Auswertung bestehender Beobachtungen	52
4.2.4 Einschränkungen und Folgerungen	52
5. Mögliche klimatische Auswirkungen im Raum Basel	52
5.1 Ausgangslage	53
5.2 Einfluss auf Bewässerung	56
5.3 Einfluss auf Luftströmungen	56

Der Bericht wurde erarbeitet und gutgeheissen von

PD Dr. sc. nat. Theo Ginsburg, Physiker, Zürich

Dr. sc. nat. Dieter Imboden, Physiker, Zürich

Dr. sc. nat. André Junod, Physiker, Payerne

Prof. Dr. phil. Bruno Messerli, Geograph/Klimatologe, Bern

PD Dr. phil. Walter Schüepp, Meteorologe, Basel

Dr. phil. Matthias Winiger, Geograph/Klimatologe, Bern

Inhalt

Vorwort / Avant-propos	31
Kurzfassung / Résumé	33
1. Einleitung	37
2. Abgrenzung des Problemkreises	39
2. 1. Direkte thermische Auswirkungen der Energieproduktion	40
2. 2. Indirekte Auswirkungen der Energieproduktion	40
3. Wärmeabfuhr: Möglichkeiten und Einwirkungen auf die Umwelt	42
3. 1. Flusswasserkühlung	42
3. 2. Der Nasskühlturm	45
3. 3. Der Trockenkühlturm	46
3. 4. Abwärmenutzung	49
4. Ermittlung der Auswirkungen auf das Klima	50
4. 1. Erforderliche Klimadaten	50
4. 2. Modelle über die Auswirkungen der Abwärme	50
4. 2. 1. Mathematische Modelle	51
4. 2. 2. Physikalische Modelle	51
4. 2. 3. Statistische Auswertung bestehender Beobachtungen	52
4. 2. 4. Einschränkungen und Folgerungen	52
5. Mögliche klimatische Auswirkungen im Raum Basel	52
5. 1. Ausgangslage	53
5. 2. Einflüsse auf Bewölkung	56
5. 3. Einflüsse auf Luftströmungen	56
6. Zusammenfassung und Empfehlungen	57
6. 1. Zusammenfassung	57
6. 2. Empfehlungen	58
Literaturverzeichnis	59

Vorwort

Der vorliegende Bericht befasst sich vor allem mit den *Auswirkungen des Energie- und Abwärmeproblems* auf Atmosphäre und Hydrosphäre (gültig für alle thermischen Kraftwerke). Die gemachten Aussagen sind immer auch in der Zusammenschau mit den anderen Berichten zu gewichten.

Auswirkungen
des Energie- und
Abwärmeproblems

Die *Auswirkungen auf das Wasser* sind frühzeitig erkannt und gesetzlich geregelt worden und konnten dadurch innerhalb vernünftiger Grenzen gehalten werden.

auf das Wasser

Schwerwiegende *klimatische Auswirkungen* als unmittelbare Folge der Erwärmung der Atmosphäre sind bei den bestehenden thermischen Kraftwerken bis heute kaum nachgewiesen worden. Es werden in den Berichten der Eidg. Kühlturmkommission für die gegenwärtig geplanten oder sich im Bau befindlichen Kernkraftwerke (KKW) ebenfalls keine solchen Auswirkungen erwartet (LV 6, 11, 12)¹⁾.

auf das Klima

Wir stehen aber vor der Realisierung einer bisher kaum gekannten Konzentration von KKW im Raum Oberrhein/Hochrhein, bei der Auswirkungen auf das Lokalklima nicht auszuschliessen sind. Dazu können diese Anlagen zahlreiche Sekundärfolgen nach sich ziehen, die bei der Bewilligung der KKW zu berücksichtigen sind.

In diesem Bericht wird der Problemkreis der *CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre* durch Verbrennung fossiler Brennstoffe nicht behandelt. Diese Anreicherung, die indirekt ebenfalls zu klimatischen Veränderungen — unter Umständen zu grösseren als bei der direkten Wärmeableitung in die Atmosphäre — führen kann, muss in der Diskussion der Frage «KKW — KW mit fossilem Brennstoff» mitentscheidend sein.

CO₂-Anreicherung

Noch weitgehend ungeklärt ist, welche Bedeutung eine allfällige *Klimabeeinflussung* (lokal oder global) für das *Ökosystem*, für den Menschen hat.

Klimaänderung
und Ökosystem

Die Festlegung von Grenzwerten wäre wünschbar, ist aber in vielen Fällen wissenschaftlich ausserordentlich schwierig und muss daher in der Praxis meist durch politische Entscheide herbeigeführt werden.

Schliesslich muss dem Bericht vorausgeschickt werden, dass es *im heutigen Zeitpunkt nicht möglich ist, zu allen Fragen eine verbindliche Antwort zu geben*. In diesem Sinne ist der Bericht niemals abgeschlossen, sondern versucht, Schwerpunkte und Ansätze zu zeigen, wie der Problemkreis abgegrenzt und bearbeitet werden könnte.

Stand der
Kenntnisse

¹⁾ Der Hinweis auf Literatur geschieht wie folgt: LV bedeutet Literaturverzeichnis, nachfolgende Ziffern verweisen auf die unter den entsprechenden Nummern im Literaturverzeichnis aufgeführten Werke.

Avant-propos

Effets
énergétiques et
thermiques

Le présent rapport traite avant tout des *effets énergétiques et thermiques* sur l'atmosphère et l'hydrosphère (ce problème se pose pour toutes les centrales thermiques). Les propos énoncés doivent être appréciés en tenant aussi compte des considérations des autres rapports.

Effets
sur l'eau

Les *répercussions sur l'eau* ont été reconnues assez tôt et réglées par la loi. C'est pourquoi elles ne dépassent pas des limites raisonnables.

Effets
sur le climat

Pour les centrales thermiques existantes il n'a guère été possible jusqu'à présent de prouver que l'échauffement de l'atmosphère provoque directement des *effets climatiques* préjudiciables. Les rapports de la Commission fédérale concernant les tours de refroidissement des centrales en état de projet et des centrales en construction ne font également état d'aucun effet de ce genre (LV 6, 11, 12)¹⁾.

Toutefois, nous nous trouvons actuellement en face d'une rare concentration de centrales nucléaires dans la région Oberrhein/Hochrhein; des répercussions sur le climat local ne peuvent en conséquence être exclues. De surcroît, ces installations peuvent entraîner de nombreuses conséquences secondaires qui sont à considérer lors de la délivrance d'autorisations à construire.

Accumulation
de CO₂

Ce rapport ne traite pas les problèmes relatifs à l'*accumulation de CO₂ dans l'atmosphère* à la suite de l'utilisation de combustibles fossiles. Lors du débat relatif aux centrales nucléaires d'une part et aux centrales thermiques à combustible fossile d'autre part, il faut tenir compte de cette accumulation, parce qu'elle peut provoquer des altérations climatiques pouvant, dans certaines conditions, dépasser celles dues à l'évacuation directe de chaleur dans l'atmosphère.

Effets
écologiques

On sait actuellement peu de choses sur l'importance d'une éventuelle *altération climatique* (locale ou globale) tant pour l'écologie que pour la population.

La détermination de limites serait souhaitable; cependant, dans beaucoup de cas, il est très difficile d'y parvenir par des moyens scientifiques, si bien qu'elle relève pratiquement de décisions politiques.

Etat de nos
connaissances

Enfin il convient de préciser *qu'il n'est pas possible dans les conditions actuelles, de fournir une réponse rigoureuse à toutes les questions*; ce rapport n'est donc pas exhaustif. Il se propose de souligner les points essentiel et de cerner l'ensemble des problèmes.

¹⁾ Voir la bibliographie: LV signifie «Literaturverzeichnis»; les chiffres renvoient au numéro correspondant de la liste.

Kurzfassung

Aus prinzipiellen physikalischen Gründen werden in thermischen Kraftwerken rund $\frac{2}{3}$ der produzierten Energie als Wärme frei, die entweder in ein Gewässer oder in die Atmosphäre abgegeben wird, sofern nicht eine Weiterverwendung möglich ist.

Grundsätzliches zur Energieproduktion

Die Abgabe von Abwärme wirkt sich direkt auf das Ökosystem aus.

Direkte und indirekte Auswirkungen der Energieproduktion

Die vergrösserte Energieproduktion kann sich aber auch indirekt auf das Ökosystem auswirken, indem neue Industrie-, Siedlungs- und Verkehrskonzentrationen entstehen, die ihrerseits wiederum die Umwelt belasten.

Die Substituierung fossiler Brennstoffe durch spaltbares Material könnte allenfalls den bedenklichen CO₂-Ausstoss in die Atmosphäre reduzieren.

Die Flusswasserkühlung eines KKW — die technisch einfachste Lösung des Abwärmeproblems — führt in erster Linie zu einer Aufwärmung des Flusswassers. Dadurch werden die biologischen Prozesse im Kühlmedium gesteigert und der Eutrophierungsvorgang betroffener Seen wird beschleunigt.

Kühlprozesse
Flusskühlung

Dank der heute festgelegten maximal zulässigen Erwärmung eines Gewässers um 3° C durch Kühlprozesse — wobei eine bestimmte Güteklasse des Wassers berücksichtigt werden muss — konnten bei bestehenden KKW, die diese Kühlmethode anwenden, ökologische Veränderungen weitgehend vermieden werden. Allerdings sind auch keine weiteren KKW mit Flusswasserkühlung mehr zugelassen.

Alle gegenwärtig in der Schweiz geplanten Kühltürme gehören in diese Kategorie. Dabei wird bei dieser Methode die Überschussenergie (bei einer Leistung von 1 000 MWe sind dies rund 2 000 MWth) weitgehend zur Verdunstung von Wasser eingesetzt. Dadurch werden Wärme und Feuchtigkeit (in unserem Beispiel rund 700 Liter Wasser pro Sekunde) an die Atmosphäre abgegeben.

Nasskühltürme

Bei Trockenkühltürmen wird nur Wärme, dagegen keine Feuchtigkeit an die Atmosphäre abgegeben. Verschiedene Probleme, die bei Nasskühltürmen auftreten könnten, fallen deshalb dahin. Dagegen müssten die Bauwerke wesentlich grössere Dimensionen aufweisen und kämen auch im Betrieb viel teurer zu stehen.

Trockenkühltürme

Die Weiterverwendung der Abwärme (Städtefernheizung, Wärmepumpen, Landwirtschaft, Fischzucht) ist anzustreben, auch wenn sie aus folgenden Gründen nicht eine umfassende Lösung des Problems bringt: zu geringe Abnahmekapazität, Schwankungen des Wärmebedarfs, sowie die Errich-

Abwärmee-nutzung

tung der notwendigen technischen Infrastruktur (inbegriffen die rechtlichen Voraussetzungen zur Sicherstellung der Wärmeabnahme) sind gegenwärtig die Haupthindernisse einer ins Gewicht fallenden Nutzung.

Klimatische
Auswirkungen
von KKW

Die klimatischen Auswirkungen (Erhöhung der Lufttemperatur, Nebelbildung, Niederschlagszunahme, Reduktion der Sonnenscheindauer, Veränderungen des lokalen Windsystems) einzelner Kühltürme sind nach ausländischen Erfahrungen und meteorologischen Gutachten als teilweise kaum nachweisbar und damit als verantwortbar bezeichnet worden.

Über die kumulativen Auswirkungen mehrerer Kühltürme auf das Klima liegen dagegen erst wenige Erfahrungen vor.

Zur Ermittlung der thermischen Auswirkungen von KKW auf das Klima sind folgende Grundlagen die wesentliche Voraussetzung:

1. Die geeignete Kenntnis des Klimas eines Standortes und der zugehörigen Region. Dazu müssen in der Regel Sondermessnetze (inkl. vertikaler Sondagen) errichtet werden.
2. Erarbeitung von hinreichend vollständigen und genauen Methoden zur Vorhersage der in Frage kommenden Effekte. In der Regel müssen hierzu Modelle an den gegenwärtigen Klimaverhältnissen getestet werden, bevor mit ihrer Hilfe eine Prognose erstellt werden kann. Lokale Modelle für punktuelle Emissionen existieren bereits. Modelle, die die Auswirkungen mehrerer Kühltürme unter Einfluss der regionalen Topographie und Windsysteme sowie anthropogener Einflüsse (Siedlungen, Industrie) zu erfassen vermögen, sind in Ausarbeitung begriffen (Studie CLIMOD).

Mögliche
klimatische
Auswirkungen
im Raum Basel

Nach allfälliger Realisierung der in Erwägung gezogenen KKW-Projekte sollen in der Region Oberrhein/Hochrhein (Wyhl—Basel—Waldshut) bis 35 000 MW anthropogener Wärmeleistung an die Atmosphäre abgegeben werden (zum Vergleich: die anthropogene Wärmeabgabe betrug 1970 in der gleichen Region rund 3 000 MW). Zu bestimmten Jahreszeiten kann diese Energiemenge lokal die natürliche Strahlungsbilanz übertreffen oder zumindest in einer vergleichbaren Grössenordnung liegen. Im Regionalbereich sind deshalb klimatische Auswirkungen zu gewärtigen.

Ziel der gegenwärtig laufenden Studie CLIMOD ist es, Art und Grösse solcher möglicher klimatischer Auswirkungen im regionalen Massstab zu untersuchen.

Empfehlungen

1. Die Energieplanung hat neben ökonomischen ebenso sehr ökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen.
2. Eine sinnvolle Nutzung der anfallenden Abwärme ist anzustreben.
3. Es sollte eine gesamtschweizerische Studie über bereits belastete und potentiell gefährdete Räume erstellt werden. Sie wäre eine der Vor-

aussetzungen zur Optimierung der Standortwahl allfälliger weiterer KKW, ebenso wie zur Minimalisierung möglicher Klimaeffekte.

4. Die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf das Ökosystem sind zu untersuchen. Es sollen Richtwerte über die Belastbarkeit der Atmosphäre ausgearbeitet werden.

Résumé

Sur la base de principes physiques, environ $\frac{2}{3}$ de l'énergie produite dans les centrales thermiques est libérée sous forme de chaleur. Si elle ne peut être utilisée, elle est soit conduite dans un cours d'eau, soit libérée dans l'atmosphère.

Principes de la production d'énergie

La libération de la chaleur perdue exerce une influence directe sur le milieu écologique.

Effets directs et indirects de la production d'énergie

L'accroissement de la production énergétique peut également influencer indirectement le système écologique en favorisant la concentration de nouvelles industries et de nouvelles agglomérations et en augmentant le trafic. Ces facteurs dégradent à leur tour l'environnement.

Le remplacement de combustibles fossiles par la matière fissile pourrait à la rigueur réduire les émanations inquiétantes de CO₂ dans l'atmosphère.

Le système de refroidissement dans une centrale nucléaire par l'utilisation directe d'un cours d'eau constitue la solution technique la plus simple mais provoque en premier lieu un réchauffement du cours d'eau. Les processus biologiques s'y trouvent favorisés et activent l'eutrophisation des lacs concernés.

Procédés de refroidissement par l'utilisation directe d'un cours d'eau

La norme légale de 3° d'échauffement maximal de l'eau utilisée pour le refroidissement — en tenant compte d'une qualité d'eau déterminée — a permis d'éviter dans une large mesure des modifications écologiques au voisinage des centrales nucléaires utilisant cette méthode de refroidissement. Toutefois aucune nouvelle centrale nucléaire utilisant le refroidissement direct d'un cours d'eau n'est plus admise.

Toutes les tours de refroidissement actuellement prévues en Suisse relèvent de cette catégorie. Par cette méthode, le surplus d'énergie est utilisé dans une large mesure à l'évaporation d'eau (à une puissance électrique de 1 000 MW correspond une puissance thermique de 2 000 MW). En conséquence, de la chaleur et de l'humidité sont libérées dans l'atmosphère (dans notre exemple environ 700 litres d'eau par seconde).

Tours de refroidissement de type humide

Ce type de tour ne libère que de la chaleur et point d'humidité. Ainsi divers problèmes qui pourraient surgir avec des tours de refroidissement du type humide sont éliminés. En revanche, de telles tours auraient des dimensions sensiblement plus grandes et leur coût d'exploitation serait beaucoup plus élevé.

Tours de refroidissement de type sec

L'utilisation de la chaleur résiduelle (chauffage des localités à distance, pompes thermiques, agriculture, pisciculture) est à promouvoir même si, pour les motifs suivants, le problème ne s'en trouve pas totalement résolu: En effet, la capacité d'utilisation est restreinte, les besoins en chaleur varient, l'infrastructure technique d'une part et les bases juridiques assurant cette utilisation de chaleur d'autre part sont encore à élaborer.

Les expériences à l'étranger et les expertises météorologiques démontrent que les répercussions climatiques (réchauffement de l'air, formation de nuages, augmentation des précipitations, réduction de la durée d'insolation, altération du régime local des vents) provoquées par des tours de refroidissement isolées ne peuvent guère être prouvées. Elles sont donc considérées comme tolérables.

On ne possède, par contre, que peu d'expérience sur les répercussions climatiques cumulatives dues à plusieurs tours de refroidissement.

Voici les éléments déterminant les influences des centrales nucléaires sur le climat.

1. La connaissance adéquate du climat, de l'emplacement et de la région.
A cet effet, on recourra en général à l'établissement de réseaux de mesures appropriés y compris les sondages verticaux.
2. Le développement de méthodes suffisamment complètes et exactes pour prévoir les effets entrant en considération.

Pour ce faire, on testera au préalable les modèles en fonction des conditions climatiques présentes. Il existe déjà des emplacements définis pour des émissions isolées et les modèles élaborés dans l'étude CLIMOD englobent les influences de plusieurs tours de refroidissement en tenant compte de la topographie et du régime régional des vents ainsi que des influences d'origine humaine (agglomérations, industries).

Si dans la région Oberrhein/Hochrhein (Wyhl—Bâle—Waldshut) les projets envisagés de constructions de centrales nucléaires sont exécutés, une puissance thermique d'origine humaine allant jusqu'à 35 000 MW sera libérée dans l'atmosphère. (Par comparaison: L'émission d'énergie thermique d'origine humaine était pour la même région en 1970 d'à peu près 3 000 MW. Cette quantité d'énergie peut selon les saisons dépasser localement le bilan du rayonnement naturel ou, pour le moins, atteindre le même ordre de grandeur. Au niveau de la région il faut donc s'attendre à des modifications du climat: Le but de l'étude CLIMOD en cours est précisément d'analyser la nature et l'importance de telles répercussions climatiques à l'échelon régional.

1. La planification énergétique doit tenir compte non seulement des aspects économiques, mais encore des aspects écologiques.
2. L'utilisation rationnelle de la chaleur résiduelle est à promouvoir.
3. Il convient de procéder à une étude à l'échelon national sur les régions déjà exposées et celles qui pourraient l'être encore. Cette étude con-

stitue l'un des éléments permettant de choisir judicieusement les emplacements des futures centrales nucléaires et de limiter au strict minimum les effets climatiques.

4. De même, les répercussions des variations climatiques sur le système écologique et les normes pour la capacité d'absorption de l'atmosphère doivent être étudiées.

* * *

1. Einleitung

Die weltweite Bevölkerungsentwicklung, verbunden mit tiefgreifenden wirtschaftlichen und sozialen Umstrukturierungen, konfrontierte die Menschheit mit zahlreichen schwierig lösbaren Problemen, zu denen etwa die Versorgung mit Nahrung, Wasser und Energie zu zählen sind. Die heute primär diskutierten Lösungsmöglichkeiten setzen energieaufwendige Technologien voraus, die mit einer weiter anwachsenden Emission von Wärme, CO₂ und weiteren Luftverunreinigungen verbunden sein werden, was letztlich die Lebensgrundlagen der Menschheit in Frage stellen könnte.

Folgen der
Energieerzeugung
als globales
Problem

Klimatologische Studien konzentrierten sich bis vor kurzem auf die Beschreibung gegenwärtiger Klimaverhältnisse und deren Einfluss auf die menschlichen Aktivitäten. Inzwischen haben sich die Interessenbereiche teilweise verschoben: das Studium von Klimaschwankungen und deren Vorhersage, insbesondere aber die *Beeinflussung des Klimas durch den Menschen* selber stehen im Vordergrund vieler Forschungsarbeiten.

Beeinflussung des
Klimas durch
den Menschen

Ein *Klimasystem* wird charakterisiert und bestimmt durch Zustand und Wechselwirkungen von Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre und Biomasse. Aus zahlreichen Befunden können wir auf kürzer (Jahrzehnte) und länger (bis geologische Zeiten) andauernde *Schwankungen* vergangener Klimate schließen. Es ist durchaus vernünftig anzunehmen, dass solche Schwankungen, deren Ursachen in der Natur selber zu suchen sind, auch künftig auftreten werden. Dabei ist zu beachten, dass die allgemeinen Veränderungstendenzen des globalen Klimas sich ergeben aus kurzzeitigen (z. B. einjährigen) Schwankungen und regionalen Differenzen, wobei diese sowohl in gleicher, wie in entgegengesetzter Richtung wie der langfristige globale Trend laufen können.

Klima-
schwankungen

Jede raum-zeitliche Klimaveränderung sollte nicht nur durch die entsprechende Änderung einzelner Parameter — Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer — charakterisiert werden, sondern es muss ebenso sehr versucht werden, die komplexen meteorologischen Phänomene — Bewöl-

kungssysteme, Zugstrassen von Hoch- und Tiefdruckgebieten, Ausdehnung der Polareiskappen und Gletscher, Windsysteme etc. — zu erfassen.

gegenwärtig ein
Klimaoptimum

Das *gegenwärtige*, die letzten Jahrzehnte umfassende *Klima* dürfen wir ganz allgemein, speziell aber im Hinblick auf die Nahrungsmittelproduktion als *optimal* bezeichnen. Trotzdem besteht kein Grund zur Annahme, dass diese Gunstphase unbeschränkt andauern wird, auch dann nicht, wenn wir die Einflüsse menschlicher Aktivitäten ausschliessen könnten. Es ist deshalb eine der schwierigsten Aufgaben der Menschheit, sich für eine Phase ungünstigerer Klimaverhältnisse vorzusehen, besonders aber dahin zu wirken, dass die Umweltbedingungen nicht künstlich im negativen Sinn beeinflusst werden.

Energieverbrauch
als Energie-
umwandlung

Die Frage der Veränderung des herrschenden Klimas durch menschliche Einwirkungen ist eng verknüpft mit der Erzeugung und dem Verbrauch von Energie. Da Energie im physikalischen Sinn weder erzeugt noch vernichtet werden kann, ist der sog. «*Energieverbrauch*» eine *Umwandlung höherwertiger Energie* (elektrisch oder chemisch) in eine Form geringerer Wertigkeit (Wärme). Dieser Prozess, dessen Resultat für den Menschen letztlich als Fabrikationsprodukt, als Transportmöglichkeit (Auto, Zug) oder als Heizung nutzbar ist, bezeichnet man als «*Degradation der Energie*».

Die Hauptabnehmer degradiertener Energie — hier der Wärme — sind die Hydrosphäre und die Atmosphäre. Von der Erde nicht mehr speicherbare Wärmeüberschüsse werden letztlich über die Atmosphäre in den Weltraum abgestrahlt. Da bei der Energiegewinnung aus Wasserkraft die dem Verbrauch zugeführte Energie einem natürlichen Kreislauf mit relativ kurzer Periode entzogen wird, resultiert insgesamt keine zusätzliche Erwärmung der Umwelt. Hingegen ist mit einer Zunahme der globalen Energieflüsse zu rechnen, wenn die in chemischer (Erdöl) oder physikalischer (Uran) Form gespeicherte Energie durch den Degradationsprozess dem Ökosystem zugeführt wird.

Abwärme aus
thermischen
Kraftwerken

Neben dem Endprodukt des eigentlichen Energieverbrauchs (degradierte Energie) empfängt die Umwelt *von thermischen Kraftwerken grosse Mengen von Abwärme*, da als Folge der Grundgesetze der Thermodynamik die Umwandlung von Wärme in elektrische Energie nur unvollständig (bei den heutigen KKW zu rund 30%) möglich ist. Die Restwärme gelangt bereits beim Kraftwerk entweder ins Wasser (Fluss) oder in die Atmosphäre (Kühlturm), falls sie nicht wenigstens teilweise als Fernwärme genutzt wird.

Auswirkungen
der
Wärmeabgabe

Die *Auswirkungen der Wärmeabgabe* an die Umwelt sind im Prinzip unabhängig von ihrem Ursprung. Da jedoch thermische Kraftwerke beträchtliche Wärmemengen räumlich konzentriert an die Umwelt

abgeben, ist ein sorgfältiges Studium möglicher lokaler Effekte — oder regionaler im Fall mehrerer ähnlicher Installationen — unumgänglich, auch wenn global betrachtet, die direkte künstliche Erwärmung der Atmosphäre im Vergleich zur Sonneneinstrahlung noch unbedeutend ist (kleiner als 10^{-4} , wobei ein kritischer Grenzwert noch nicht bekannt ist). Das Problem *hoher räumlicher Wärmedichte* ist in der Schweiz in der Region Basel-Hochrhein von Bedeutung, wo neben den verschiedenen geplanten KKW auch die thermischen Effekte der städtischen und industriellen Agglomeration berücksichtigt werden müssen.

hohe räumliche
Wärmedichte

Eine gewisse Vorstellung der *möglichen Auswirkungen künstlicher Erwärmung* kann aus verschiedenen Studien über Klimamodifikationen im Bereich von Grossstädten gewonnen werden. So ist das Phänomen der urbanen Wärmeinsel seit langem bekannt, ebenso die Tendenz der lokalen Veränderung von Windsystemen und die Zunahme der Gewittertätigkeit. Allerdings sind diese Erscheinungen ebensosehr eine Folge der veränderten Oberflächenbeschaffenheit und der Luftverschmutzung (CO_2 , Aerosol), die den Energiehaushalt im Agglomerationsbereich nachhaltig beeinflussen. Globale Veränderungen des Klimas allein als Folge direkter Wärmeabgabe konnten bis heute nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Auswirkungen
künstlicher
Erwärmung

Dessen ungeachtet muss das Problem mit grösster Sorgfalt studiert werden, da bei den geplanten Ballungen thermischer Kraftwerke beispielsweise im Raum Ober- und Hochrhein Wärme- und Feuchtigkeitsmengen in kleinräumig bisher nicht bekanntem Ausmass direkt der Atmosphäre zugeführt werden sollen. Die Grössenordnung der zu erwartenden lokalen und regionalen Beeinflussung des Klimas muss vorgängig der allfälligen Realisierung dieser Projekte bestimmt werden.

Vorerst noch weitgehend spekulativen Charakter haben Aussagen über die Folgen von allfälligen *Klimaveränderungen* für die lokalen und globalen Ökosysteme, auf die landwirtschaftlichen Erträge, auf das Wohlbefinden der Menschen. Erst die Beantwortung dieser Fragen wird letzten Endes den Entscheid über die Verantwortbarkeit des weiteren Anstieges der Energieproduktion aus klimatologischer Sicht ermöglichen.

Aussagen über
Folgen von
Klimaveränderungen
für Ökosysteme

2. Abgrenzung des Problemkreises

Der Problemkreis «Thermische Auswirkungen auf die Umwelt» ist in grundsätzlicher Betrachtung kaum verschieden von anderen Eingriffen in das Ökosystem, denn jede Veränderung innerhalb eines (momentan) stabilen Systems löst zahlreiche Folgewirkungen aus, Regelkreise treten in Funktion, und es wird letztlich ein neuer Gleichgewichtszustand angestrebt. Die Frage, wie der ursprüngliche Eingriff zu beurteilen ist, hängt davon ab, wie weit entfernt der neue Gleichgewichtszustand des Ökosystems vom ursprünglichen entfernt ist.

Bezogen auf den konkreten Fall der primären Einflussgrösse «Wärme» sind Auswirkungen auf Mensch, Fauna, Vegetation, Boden, Wasser, Klima etc. zu erwarten. Ziel einer entsprechenden Untersuchung müsste also die Beantwortung der Fragen nach Qualität, Quantität, räumlicher und zeitlicher Erstreckung der Beeinflussung, ebenso aber die Abklärung möglicher Folge- und Rückkoppelungseffekte zwischen den einzelnen Ästen des Problembaumes sein. Ferner sind neben den direkten, die meist schwieriger abgrenzbaren indirekten Auswirkungen zu bestimmen. In Fig. 1 sind diese Zusammenhänge stark vereinfacht und ohne Gewichtung ihrer Tragweite dargestellt.

2. 1. Direkte thermische Auswirkungen der Energieproduktion

Wie bereits einleitend erwähnt, verbieten es die *Grundgesetze der Thermodynamik*, thermische Energie vollständig in Elektrizität umzuwandeln. So werden in einem KKW von beispielsweise 3 000 MW Gesamtleistung nur rund 1 000 MWe in elektrische Energie umgewandelt. Die restlichen 2 000 MWth fallen als Abwärme an und müssen auf geeignete Weise weggeschafft werden, sei dies durch Wasserkühlung oder mittels Kühltürmen, evtl. durch eine teilweise Nutzung (vgl. 3. 3.).

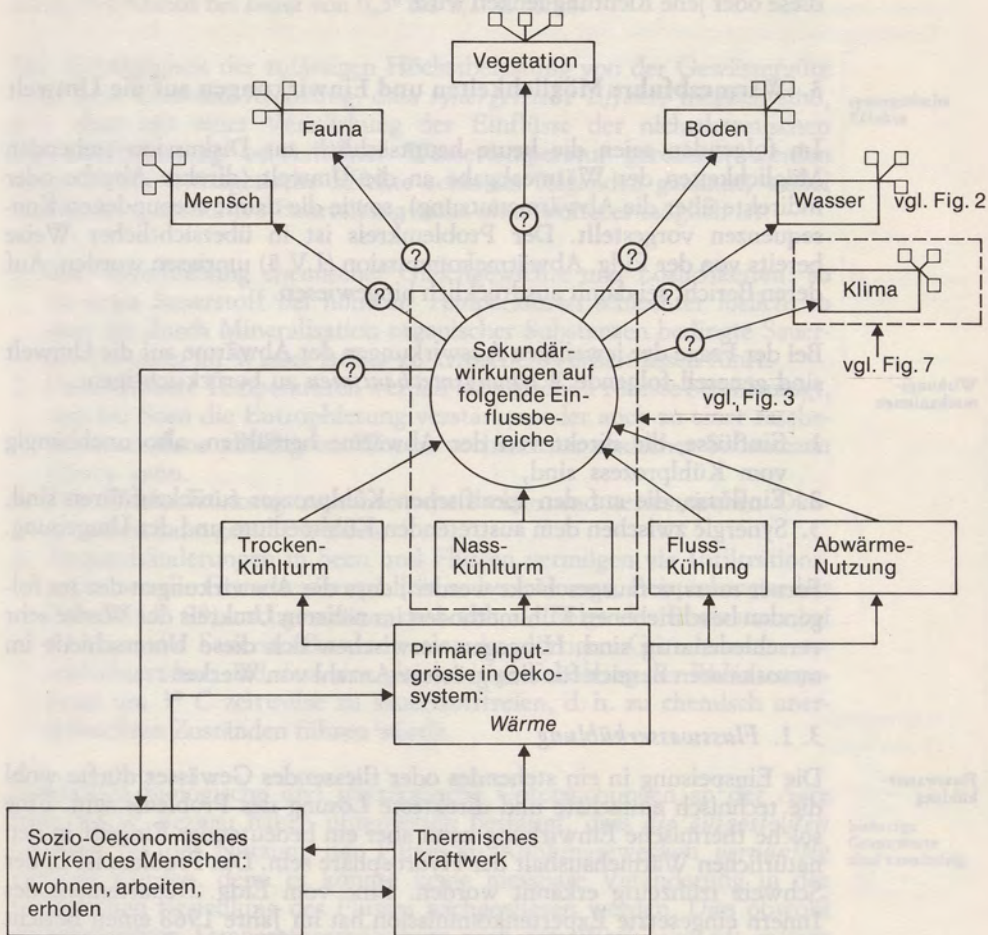
Bis zum Jahre 1971 war bei allen Planungen von neuen KKW Flusswasserkühlung vorgesehen. Ein als Folge des Wärme-Lastplans von Rhein und Aare ausgesprochenes Verbot weiterer flussgekühlter KKW im schweizerischen Einzugsgebiet dieser beiden Flüsse hat seither die Frage der Auswirkungen von Nasskühltürmen in den Vordergrund gerückt. Darauf soll in den folgenden Kapiteln näher eingetreten werden.

2. 2. Indirekte Auswirkungen der Energieproduktion

Die *indirekten Auswirkungen* der Energieproduktion und -nutzung seien hier nur stichwortartig gestreift, obwohl das Ökosystem von ihnen ebenso sehr betroffen werden kann, wie von den direkten Auswirkungen. So dürfte ein grosses Angebot an Energie, allenfalls auch an Überschusswärme (z. B. für Fernheizzwecke, Kap. 3. 3. 4.) in der Umgebung gut erschlossener Industrieagglomerationen und Siedlungen zur Folge haben, dass weitere energieintensive Industrien angezogen werden, die ihrerseits wieder Abwärme produzieren. Die ebenfalls resultierende Arbeitsplatzbeschaffung wird die Agglomerationsbildung verstärken. Je grösser die Ballung von Energiequellen ist, desto stärker dürften diese *Sekundäreffekte* zur Geltung kommen.

Es werden vor allem planerische Massnahmen zu treffen sein, um diese Prozesse einigermassen unter Kontrolle halten zu können. Denn trotz vieler positiver Aspekte der Energiegewinnung durch KKW (ev. Reduktion von CO₂-Ausstoss, Substitution anderer Energieträger, Arbeitsplatzbeschaffung etc.) kann die Gesamtbilanz für das Ökosystem durch diese

Fig. 1: Durch den Bau von thermischen Kraftwerken möglicherweise betroffene Einflussbereiche



Abhängig vom Standort des thermischen Kraftwerkes im Ökosystem stellen sich bezüglich der Auswirkungen auf die verschiedenen Einflussbereiche folgende offene Fragen:

1. Wie gross sind die Einflüsse? (Quantität)
2. Wie beeinflussen sie die Umwelt? (Qualität)
3. Welcher Umkreis wird belastet? (Raumfaktor)
4. Wie lange wirken die Einflüsse? (Zeitfaktor)
5. Welches sind die Folge- und Rückkopplungseffekte?

sekundären Auswirkungen negativ ausfallen. In diesem Sinne wird es letztlich ein politischer Entscheid sein, der unter möglichst umfassender Kenntnis der Kausalkette möglicher Konsequenzen, die Entwicklung in diese oder jene Richtung lenken wird.

3. Wärmeabfuhr: Möglichkeiten und Einwirkungen auf die Umwelt

Im folgenden seien die heute hauptsächlich zur Diskussion stehenden Möglichkeiten der Wärmeabgabe an die Umwelt (direkte Abgabe oder indirekte über die Abwärmenutzung), sowie die damit verbundenen Konsequenzen vorgestellt. Der Problemkreis ist in übersichtlicher Weise bereits von der Eidg. Abwärmekommission (LV 5) umrissen worden. Auf deren Bericht sei damit ausdrücklich hingewiesen.

Bei der Frage der jeweiligen Auswirkungen der Abwärme auf die Umwelt sind generell folgende *Wirkungsmechanismen* zu berücksichtigen:

1. Einflüsse, die direkt von der Abwärme herrühren, also unabhängig vom Kühlprozess sind,
2. Einflüsse, die auf den spezifischen Kühlprozess zurückzuführen sind,
3. Synergie zwischen dem austretenden Kühlmedium und der Umgebung.

Ferner muss vorausgeschickt werden, dass die Auswirkungen der im folgenden beschriebenen Kühlmethoden im näheren Umkreis der Werke sehr verschiedenartig sind. Hingegen verwischen sich diese Unterschiede im mesoskalaren Bereich für eine grössere Anzahl von Werken.

3. 1. Flusswasserkühlung

Die Einspeisung in ein stehendes oder fliessendes Gewässer dürfte wohl die technisch einfachste und direkteste Lösung des Problems sein. Eine solche thermische Einwirkung kann aber ein bedeutender Eingriff in den natürlichen Wärmehaushalt der Hydrosphäre sein. Das Problem ist in der Schweiz frühzeitig erkannt worden. Eine vom Eidg. Departement des Innern eingesetzte Expertenkommission hat im Jahre 1968 einen Bericht über die «Gewässerschutztechnischen Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und -rückgabe bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken» (LV 6) fertiggestellt. Danach fallen *Seen und Grundwasser* für die Kühlung von KKW der heute üblichen Leistung *ausser Betracht*. Dieser Bericht führte zudem zu einem Verbot weiterer mit Durchlaufkühlung betriebener Kraftwerke im Einzugsgebiet des Rheins. Dies ist eine Folge der langsamen Abklingzeit der zusätzlichen Erwärmung. Weiter setzt die *maximal zulässige Erwärmung des Flusswassers von 30°C* eine bestimmte Güteklasse des Wassers voraus. Diese ist beispielsweise im Raum Basel nicht mehr gewährleistet, so dass die

Wirkungs-
mechanismen

Flusswasser-
kühlung

Seen und
Grundwasser

thermische
Belastbarkeit
der Flüsse

theoretisch vorhandene Kühlkapazität des Rheins nicht voll ausgenutzt werden kann. Zur Illustration sei erwähnt, dass ein KKW von 1 000 MW elektrischer Leistung im Einzugsgebiet unterhalb der Seen zu einer Erwärmung des Rheins bei Basel von 0,3° bis 1,1° C führt.

Die Abhängigkeit der zulässigen Höchstbelastung von der Gewässergüte trägt dem Umstand Rechnung, dass *synergetische Effekte* möglich sind, d. h. dass mit einer Verstärkung der Einflüsse der nichtthermischen Gewässerbelastung bei erhöhter Wassertemperatur gerechnet werden muss. Einige synergetische Effekte seien im folgenden genannt, wobei häufig die quantitative Beurteilung nicht ohne weiteres möglich ist:

synergetische
Effekte

1. Die Verschiebung chemischer Gleichgewichte und Löslichkeiten: so ist etwa Sauerstoff bei höheren Temperaturen schlechter löslich, so dass die durch Mineralisation organischer Substanzen bedingte Sauerstoffzehrung im Wasser früher zu kritischen Verhältnissen führt.
2. Durch höhere Temperaturen werden biologische Prozesse beschleunigt, was bei Seen die Eutrophierung verstärken oder auch zu einer raschen Aufnahme allfällig im Wasser vorhandener toxischer Substanzen führen kann.
3. Die Wechselwirkung zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen kann gestört werden.
4. Zustandsänderungen in Seen und Flüssen vermögen via Infiltrationsprozessen die Grundwasserqualität zu beeinflussen. Beispielsweise hat Trüeb (LV 28) nachgewiesen, dass sich als Folge des Rheinstaus bei Rheinau die Sauerstoffkonzentration im dortigen Grundwasser verschlechtert hat, und dass eine gleichzeitige Erhöhung der Rheintemperatur um 3° C zeitweise zu sauerstofffreien, d. h. zu chemisch unerwünschten Zuständen führen würde.

Sorgfältige biologische und physikalische Untersuchungen an der Aare beim KKW Beznau haben unterdessen bestätigt, dass *die aufgestellten Grenzen* bei der Nutzung der Flüsse zu Kühlungszwecken *vernünftig gezogen* wurden, denn es konnte keine messbare Veränderung in der biologischen Besiedlung des Flusses nachgewiesen werden. Dies obwohl die gemessenen Temperaturerhöhungen nach dem Werk lokal oft grösser als die theoretisch berechneten Werte (z. T. grösser als 3° C) waren, die Durchmischung also über längere Flussstrecken unvollständig ist.

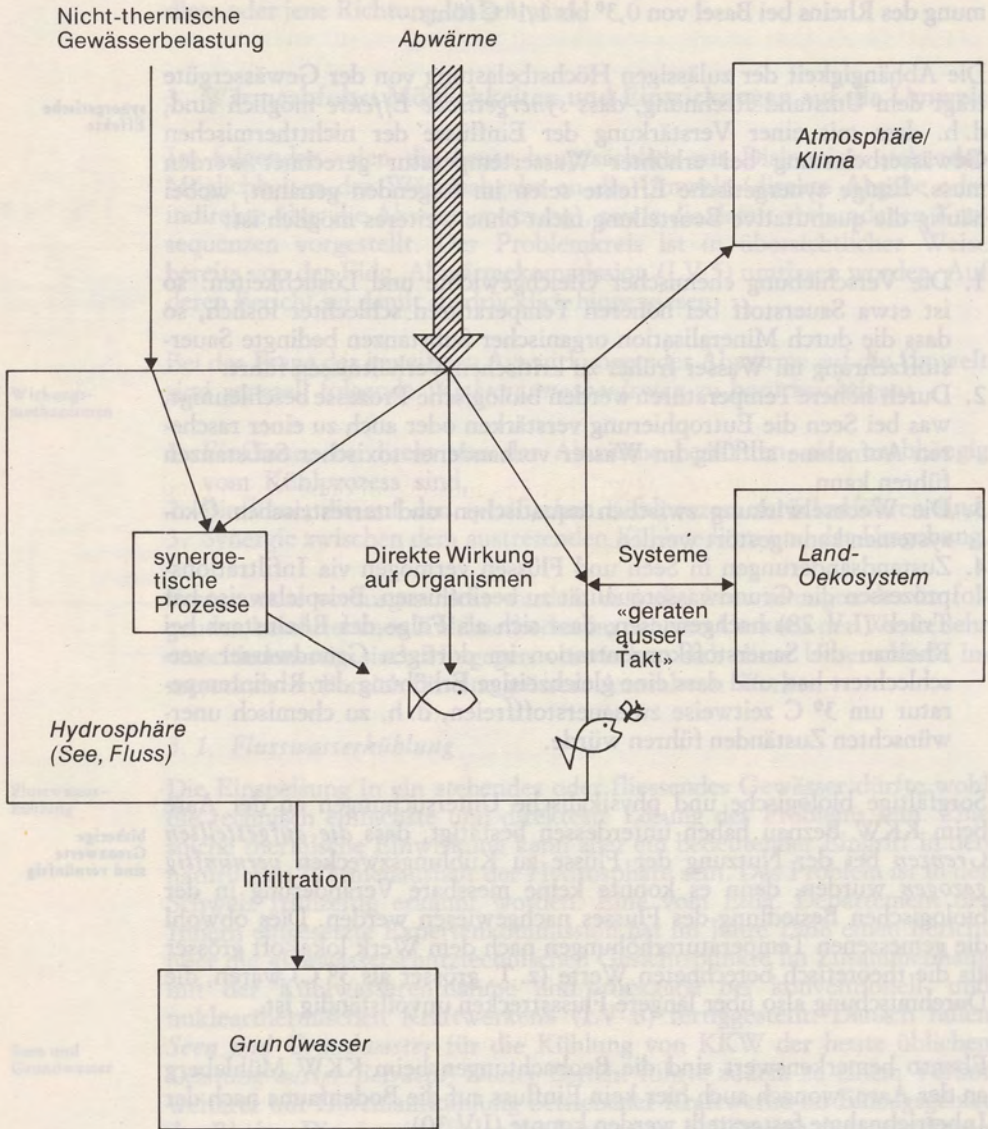
bisherige
Grenzwerte
sind vernünftig

Ebenso bemerkenswert sind die Beobachtungen beim KKW Mühleberg an der Aare, wonach auch hier kein Einfluss auf die Bodenfauna nach der Inbetriebnahme festgestellt werden konnte (LV 30).

Klimatische Auswirkungen müssen in Betracht gezogen werden, da vom Fluss- und Seewasser Wärme und Feuchtigkeit an die Luft abgegeben

klimatische
Auswirkungen

Fig. 2: Die Wirkung künstlicher Erwärmung von Seen und Flüssen



werden. Bei der grossen thermischen Trägheit der Flüsse würde pro 100 km Länge z. B. der Rhein erst 10 bis 15% der eingespeisten Wärme wieder an die Luft abgeben. Weht die Luftströmung, wie das häufig beobachtet wird, gerade in Flussrichtung, so konzentrieren sich die Wärme- und Feuchteabgabe auf ein relativ kleines Luftvolumen. Zur Nebelbildung direkt an der Wasseroberfläche kommt es nach Kuhn (LV 16) erst bei Lufttemperaturen unterhalb von $+5^{\circ}\text{C}$ und fast gesättigter Umgebungsluft. Eine Verdichtung des Dunstes oder die Bildung von Hochnebelbänken längs des Flusses sind aber auch bei höheren Lufttemperaturen möglich.

3. 2. Der Nasskühlturm (Fig. 3 und 4)

Das Prinzip des *Nasskühlturms* besteht darin, dass die anfallende Energie zur Verdunstung von Wasser eingesetzt wird. Das erwärmte Kühlwasser wird in den unteren Teil eines 100—150 m hohen Turmes eingeführt, wo es durch eine Verteilplatte ausströmt und einem nach oben führenden Luftstrom ausgesetzt wird. Dabei kühlt es sich um rund 10—20° C ab. Rund 2% des Kühlwassers verdunstet und wird in Form von Wasserdampf an die Atmosphäre abgegeben. Bei einem 1000 MWe-KKW, dessen Abwärme rund 2000 MWth beträgt, müssen auf diese Weise rund 700 Liter Wasser pro Sekunde verdampft werden. Dem Fluss wird nur eine kleine Menge Restwasser (in unserem Beispiel 350 Liter pro Sekunde) im Zusammenhang mit der Abschlämmung zugeführt (1%).

Nasskühlturm:
Kühlprinzip

Für die Kühlung aller geplanten KW — sowohl in der Schweiz als auch in der unmittelbaren Grenznähe — sind Nasskühltürme vorgesehen. Über deren Auswirkungen und Probleme ist die Diskussion im Gange, einige Punkte seien hier herausgegriffen.

Die *direkten klimatischen Auswirkungen* der Kühltürme betreffen die Lufttemperatur, Nebelbildung, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Lokalwinde. Aufgrund der Erfahrungen aus dem Nahbereich bestehender Kühltürme ist der klimatische Einfluss ausgesprochen *wetterlagen-abhängig*. Als auffälligstes Phänomen tritt der Kühlturmschwaden in Erscheinung, der je nach Jahreszeit und Wetterlage eine Länge von 500 m bis 4—5 km aufweist. In seinem Bereich dürften die Jahresniederschläge um ca. 5—10 mm zunehmen, die Luftfeuchtigkeit um etwa 1/2% ansteigen. Je nachdem, ob die Topographie den Schwaden in bevorzugte Richtungen drängt, ist eine Bewölkungszunahme (Nebel), verbunden mit einer verminderten Sonneneinstrahlung nachweisbar, wenn auch nur lokal ins Gewicht fallend (Beobachtungen zum Kühlturm des KW Niederaussem [LV 26]).

direkte
klimatische
Auswirkungen

Einflüsse sind
abhängig von der
Wetterlage

Für Kaiseraugst und Leibstadt haben Berechnungen zu vergleichbaren Resultaten geführt (LV 11, 12).

In Fig. 3 sind auf der rechten Seite die Einzelauswirkungen des Kühlturms möglichst vollständig aufgeführt, wobei keine Aussage über deren absolutes Gewicht der Darstellung entnommen werden kann.

indirekte
Auswirkungen:
Schmutzstoffe

Neben den oben erwähnten unmittelbaren klimatischen Effekten der weggeführten Wärme und Feuchtigkeit, haben *Schmutzstoffe*, die mit dem Kühlwasser oder mit der Kuhlluft in den Kühlturm eintreten oder als Korrosionsschutz etc. eingeführt werden, folgende zu berücksichtigende Auswirkungen:

1. Entweder treten sie beim Verdunsten der Kühltropfchen als Aerosol auf und sinken gravimetrisch irgendwo im Lee des Kühlturms ab, oder
2. sie werden mit dem Restwasser in den Fluss zurückgeführt.

Ein Auswurf der Verschmutzungen an mitgerissenen Wassertröpfchen dürfte vernachlässigbar gering sein, da die Installation von Tröpfchenabscheidern vorgeschrieben ist. Hingegen sind synergetische Reaktionen zwischen verschiedenen Schadstoffen und unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung zu berücksichtigen.

kumulierte
Auswirkungen

Auf der linken Seite von Fig. 3 sind die *kumulierten Auswirkungen* eines Kühlturmes mit weiteren Kühltürmen (KW-Ballung) und mit in der Nähe befindlichen Agglomerationen der Städte dargestellt. Zu diesem Problemkreis liegen sehr wenig fundierte Erfahrungen vor, aber umso bedeutungsvoller ist die Abgrenzung des Problemkreises und der möglichen Auswirkungen im Blick auf die sich abzeichnenden Verflechtungen im NW-schweizerischen Raum. Nur als Beispiel einer längeren Wirkungskette sei in diesem Zusammenhang die Bildung von Schwefelsäure über die Kette $\text{SO}_2\text{—SO}_3\text{—H}_2\text{SO}_4$ aufgeführt, welche in Gebieten von hohem Aerosol- und SO_2 -Gehalt auftreten und zu nachweisbaren Schädigungen der Land- und Forstwirtschaft durch schwefligen Niederschlag führen kann. Gleichzeitig muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Energieversorgung durch KKW anstelle von KW mit fossiler Feuerung den SO_2 -Ausstoss in die Atmosphäre verringern und damit das Problem wiederum etwas entschärfen würde.

3. 3. Der Trockenkühlturm

Trockenkühlturm

Kühlprinzip

Der *Trockenkühlturm* vermeidet die Probleme, die sich im Zusammenhang mit der zusätzlichen Feuchtigkeit der Luft ergeben, indem das erwärmte Kühlwasser durch grosse Wärmeaustauschersysteme seine *Wärme direkt an die Luft* im Kühlturm abgibt. Diese trockenen Kühlturmsysteme haben jedoch den Nachteil, dass sie sowohl im Bau wie im Betrieb sehr teuer sind. Gegenüber dem Nasskühlturm liegen die Kosten für Amortisation und Betrieb um rund 150% höher.

Bei künstlich ventilierten Kühltürmen muss mit hoher Lärmemission gerechnet werden. Für Naturzug-Trockenkühltürme der Leistungsklasse

Fig. 3: Auswirkungen von Kühltürmen

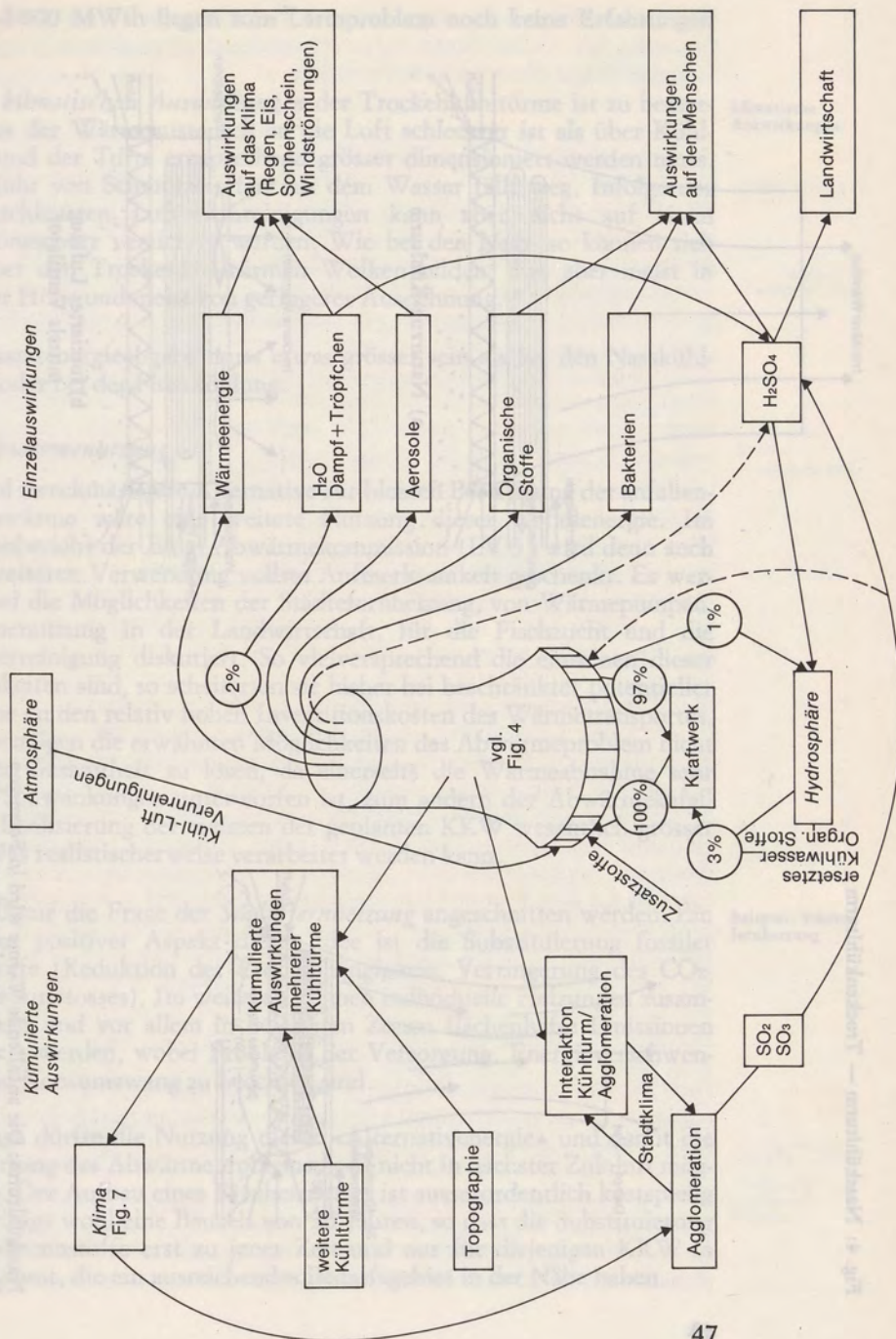
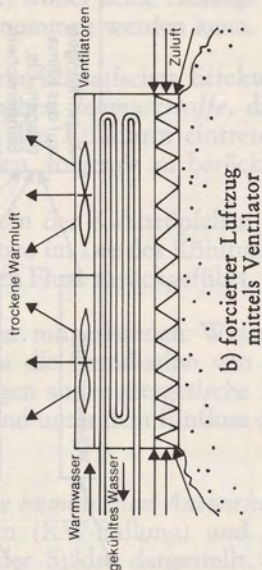
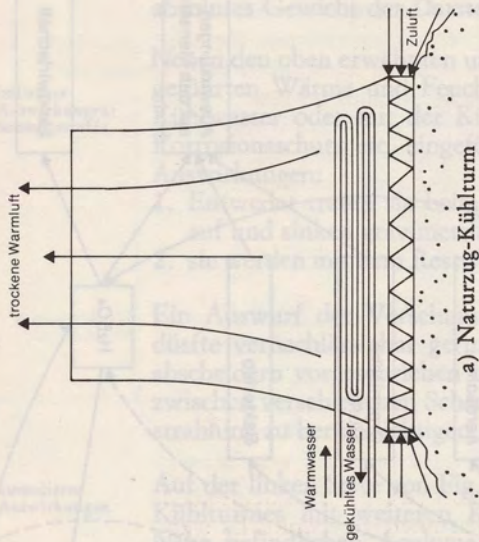
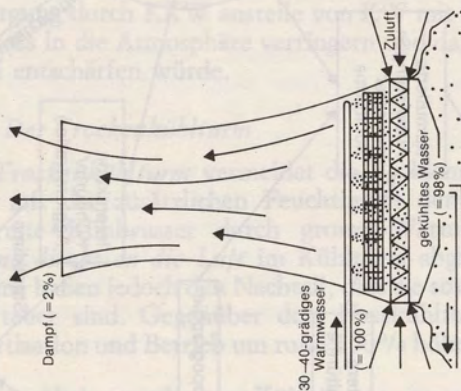


Fig. 4: Nasskühlturm — Trockenkühlturm



Nasskühlturm: Die anfallende Wärme wird in Form von Verdunstungswärme an die Atmosphäre abgegeben, ohne die Flüsse zu belasten. Für ein 1 000-MWe-Kernkraftwerk werden jede Sekunde 600 bis 700 Liter Wasser verdunstet (LV 25).

Trockenkühlturm: Das heiße oder warme Wasser, welches die Abwärme des Kraftwerkes aufgenommen hat, wird im Turm durch den Luftstrom abgekühlt, ohne dass es verdunstet (LV 8).

1 000—2 000 MWth liegen zum Lärmproblem noch keine Erfahrungen vor.

Zu den *klimatischen Auswirkungen* der Trockenkühltürme ist zu bemerken, dass der Wärmeaustausch an die Luft schlechter ist als über Kühlwasser und der Turm entsprechend grösser dimensioniert werden muss. Die Zufuhr von Schmutzstoffen aus dem Wasser fällt weg. Infolge der durchgeschleusten Luftverunreinigungen kann aber nicht auf einen Korrosionsschutz verzichtet werden. Wie bei den Nass- so können sich auch über den Trockenkühltürmen Wolken bilden, dies aber meist in grösserer Höhe und meist von geringerer Ausdehnung.

klimatische
Auswirkungen

Die Gesamtenergieabgabe muss etwas grösser sein als bei den Nasskühltürmen oder bei der Flusskühlung.

3. 4. Abwärmenutzung

Die wohl zweckmässigste Alternative zur blossen Beseitigung der anfallenden Abwärme wäre eine weitere Nutzung dieser Abfallenergie. Im Zwischenbericht der Eidg. Abwärmekommission (LV 5) wird denn auch dieser weiteren Verwendung vollste Aufmerksamkeit geschenkt. Es werden dabei die Möglichkeiten der Städtefernheizung, von Wärmepumpen, Abwärmenutzung in der Landwirtschaft, für die Fischzucht und die Abwasserreinigung diskutiert. So vielversprechend die einzelnen dieser Möglichkeiten sind, so scheiterten sie bisher bei beschränkter potentieller Abnahme an den relativ hohen Investitionskosten des Wärmetransportes. Auch vermögen die erwähnten Möglichkeiten das Abwärmeproblem nicht in seiner Gesamtheit zu lösen, da einerseits die Wärmeabnahme sehr starken Schwankungen unterworfen ist, zum andern der Abwärmeeinfall bei der Realisierung der meisten der geplanten KKW wesentlich grösser ist, als was realistisch verarbeitet werden kann.

Hier soll nur die Frage der *Städtefernheizung* angeschnitten werden. Ein zweifellos positiver Aspekt dieser Idee ist die Substituierung fossiler Brennstoffe (Reduktion der Erdölabhängigkeit, Verringerung des CO₂- und SO₂-Ausstosses). Im weiteren können individuelle Heizungen zusammengefasst und vor allem in belasteten Zonen flächenhafte Emissionen verhindert werden, wobei Probleme der Versorgung, Energieverschwendung und Konsumzwang zu beachten sind.

Beispiel: Städte-
fernheizung

Allerdings dürfte die Nutzung dieser «Alternativenergie» und damit die Entschärfung des Abwärmeproblems noch nicht in nächster Zukunft möglich sein. Der Aufbau eines Fernheiznetzes ist ausserordentlich kostspielig und benötigt wohl eine Bauzeit von 20 Jahren, so dass die Substituierung fossiler Brennstoffe erst zu jener Zeit und nur für diejenigen KKW in Frage kommt, die ein ausreichendes Bedarfsgebiet in der Nähe haben.

Trotz dieser Einschränkungen müssten Bemühungen für die zweckmässige Nutzung der $\frac{2}{3}$ bis heute nicht verwendeten produzierten thermischen Energie zielgerichtet gefördert werden.

4. Ermittlung der Auswirkungen auf das Klima

Die *Prognose der Auswirkungen von Abwärme auf das Klima* setzt drei wesentliche Grundlagen voraus:

1. Eine genügende Kenntnis des gegenwärtigen (ev. auch des vergangenen) Klimas eines Standortes und der zugehörigen Region.
2. Hinreichend vollständige und genaue Voraussagemethoden für die in Frage kommenden Effekte.
3. Vergleichendes Beobachtungsmaterial über analoge Effekte an anderen Orten.

Grundlagen
einer Prognose

Die *Methodologie* besteht im wesentlichen aus der Berechnung der Auswirkungen von Abwärme auf das als bekannt vorausgesetzte Lokal- und Regionalklima, wobei dessen natürliche Schwankungen zu berücksichtigen sind. Dabei wird man versuchen müssen, andernorts beobachtete Effekte zu quantifizieren und umgekehrt berechnete Effekte mit bestehenden Beobachtungen zu vergleichen.

Methodologie

4. 1. Erforderliche Klimadaten

Im allgemeinen fällt der vorgesehene Kraftwerkstandort nicht mit einer bestehenden Klimastation zusammen. Ausserdem müssen die benötigten Klimadaten auf ein dichtes Messnetz abgestützt werden können, wobei die einzelnen Messpunkte je nach Topographie nur wenige Kilometer auseinander liegen sollten. Zusätzlich sind Angaben über einzelne Klimaelemente bis 1 000—2 000 m über Boden notwendig. Aus diesen Gründen muss das konventionelle klimatologische Messnetz im Untersuchungsraum in der Regel wesentlich verdichtet werden und auch mindestens eine Station zur Erforschung der unteren Luftschichten enthalten. Die Messperiode sollte mehrere Jahre umfassen und insbesondere den Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Kraftwerkes einschliessen. Auf diese Weise können die relativ kurzen Messreihen des speziellen Messnetzes an die langen Beobachtungsreihen des konventionellen Klimanetzes angeschlossen werden, wobei mit zunehmender Beobachtungsdauer auch die Genauigkeit der Aussagen wachsen wird. Im wesentlichen sind folgende Klimaelemente zu erfassen: Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Höhen, dazu Strahlungshaushalt und Niederschläge.

4. 2. Modelle über die Auswirkungen der Abwärme

Der Vorhersage klimatischer Auswirkungen der Abwärme stehen im Prinzip drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- mathematische Modelle
- physikalische Modelle
- statistische Modelle

4.2.1. Mathematische Modelle

Die *mathematischen Modelle* verwenden unter Einsatz des Computers die physikalischen Gesetze, die die von der Wärmeabgabe betroffenen atmosphärischen Phänomene betreffen. Es bestehen gegenwärtig verschiedene Modelle dieses Typs, die sowohl die Auswirkungen eines einzelnen Kühlturms, als auch Überlagerungseffekte beim Einbezug mehrerer Wärmeemittenten (Abstand einige Kilometer) berechnen können. Diese Modelle sind nach dem Schema «Emission—Transmission—Immission» aufgebaut, wobei die Transmission auch die Änderungen der unterschiedlichen Aggregatzustände des Wassers berücksichtigt. Sie gestatten für die Nachbarschaft eines oder mehrerer Kühltürme folgende Berechnung: Änderung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Beschattung durch Dampfschwaden. Einige dieser Modelle beschreiben stationäre (Sauna [LV 1], Kumulus [LV 4]), andere auch dynamische Zustände (Fog [LV 27], Walküre [LV 19]). Unabhängig davon weisen diese Modelle, die weiter perfektioniert werden, zwei entgegengesetzte Eigenschaften auf: je mehr sie der Wirklichkeit gerecht und dadurch komplexer werden, desto aufwendiger (Rechenzeit) wird ihre Handhabung. Jeder einzelnen Untersuchung wird der Entscheid vorausgehen müssen, welches Modell zur Anwendung kommen soll, wobei die Art des Emittenten (Kühlturm), vor allem aber die klimatischen und topographischen Randbedingungen der Region ausschlaggebend sind.

mathematische
Modelle

berechenbare
Grössen

Was gegenwärtig noch fehlt, ist eine Methode, die nicht nur die Immissionen eines oder mehrerer Kühltürme berechnen, sondern zusätzlich die allfälligen *Veränderungen regionaler*, an die Topographie gebundener *Windsysteme* erfassen kann. Dabei müssten alle Komponenten und Einflussgrößen des Energiehaushaltes berücksichtigt werden, inbegriffen städtische und industrielle Agglomerationen mit ihrer veränderten Bodenoberfläche und ihrer Abwärmeproduktion. Die gegenwärtig laufende Studie «CLIMOD» hat diese komplexe Behandlung des Themas zum Ziel (LV 9, 10).

regionale Wind-
systeme noch
nicht erfasst

4.2.2. Physikalische Modelle

Werden bei den mathematischen Modellen mögliche klimatische Effekte des Abwärme-Ausstosses in die Atmosphäre berechnet, versucht man, mit Hilfe physikalischer Modelle die gleichen *Effekte* kleinmassstäbig im Wind- oder Wasserkanal zu *simulieren*. Diese Methode hat den Vorteil, dass in günstigen Fällen die zu untersuchenden Phänomene direkt sichtbar werden. Andererseits ist aus theoretischen Gründen die Vergleichbarkeit der entsprechenden Erscheinungen in Natur und im Modell nicht a priori gewährleistet. Diese Methode konkurrenziert die mathematische keines-

physikalische
Modelle
Simulation
möglicher
Effekte

wegs, sondern ist viel eher eine entscheidende Ergänzung. Die oben erwähnte Studie «CLIMOD» macht von beiden Verfahren Gebrauch.

4.2.3. Auswertung bestehender Beobachtungen

statistische
Mittel

Übertragung der
Ergebnisse
problematisch

Neben den eben diskutierten Modellen muss auch der Ansatz in Betracht gezogen werden, der mit *statistischen Mitteln* das zur Verfügung stehende Beobachtungsmaterial zum Problemkreis Abwärme/Klimabeeinflussung bearbeitet. Obwohl Kühltürme im Ausland seit vielen Jahren und in teilweise grosser Zahl (mehr als 300 in Grossbritannien) in Betrieb sind, ist die *Übertragung der Ergebnisse nicht unproblematisch*, da technische und grössenmässige Unterschiede der Türme, aber auch die lokalen Verhältnisse (Topographie, Nachbarschaft zu Agglomerationen) sehr stark variieren. Zweckmässig ist eine Beschränkung auf Messungen in der Nachbarschaft von Türmen, die leistungsmässig an die in der Schweiz geplanten herankommen, (z. B. Lünen, Neurath). Erstes Ziel dieser Untersuchungen müsste der Nachweis der Brauchbarkeit mathematischer Modelle sein, sowie die Bestimmung der empirischen Konstanten, die diese Modelle enthalten.

4.2.4. Einschränkungen und Folgerungen

Zum Schluss muss darauf hingewiesen werden, dass die Prognosemethoden — wie z. B. die mathematischen Modelle — so spitzfindig sie auch sein mögen, nur die Berechnung gewisser meteorologischer Extremfälle mit hoher Genauigkeit ermöglichen. Diese Einschränkung ist allerdings typisch für alle atmosphärischen Prognosemodelle und dürfte in nächster Zukunft kaum weniger zutreffen.

Methoden-
evaluation
dringend
notwendig

Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Untersuchungen z. B. an einem bestehenden Kühlturm — und wir denken hier an denjenigen des bald seinen Betrieb aufnehmenden KKW's Gösgen — eines der vielversprechendsten Verfahren zur Klärung des Fragenkomplexes sein könnte. Eine solche Untersuchung würde gleichzeitig erlauben, den Zuverlässigkeitsgrad verschiedener Modelle genau zu eruieren und eine *Methodenevaluation* ermöglichen, die unseres Erachtens sehr *dringend notwendig* wäre.

5. Mögliche klimatische Auswirkungen im Raum Basel

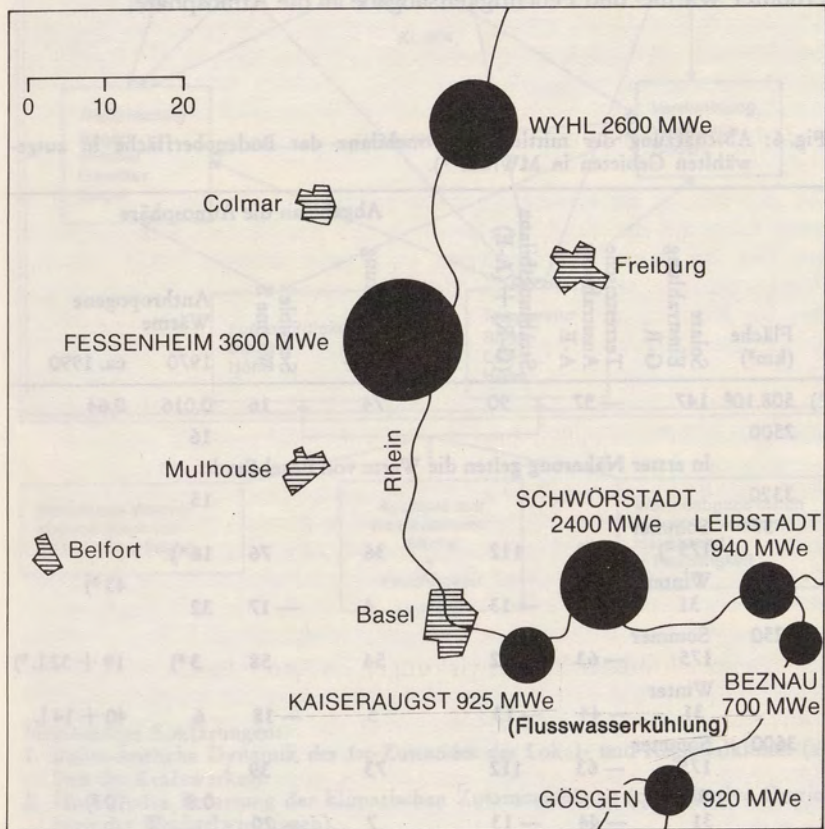
Im vorangehenden Kapitel 4 sind die Ermittlungsmöglichkeiten der direkten klimatischen Auswirkungen der Wärme- und Feuchteabgabe in die Atmosphäre dargestellt worden. Hier soll nun das Problem am Beispiel des Raumes Basel — darunter möchten wir den Geländeausschnitt entlang des Rheins von Wyhl (BRD) über Basel bis Waldshut verstehen (Fig. 5) — konkretisiert werden!

5.1. Ausgangslage

Fig. 7 zeigt schematisch und vereinfacht das komplexe Wirkungsgefüge «Klima». Der natürliche Energiehaushalt wird durch zusätzliche Einflussfaktoren überlagert:

1. Veränderte Oberflächenverhältnisse (Wald, Acker, Strassen und Bauten),
2. Wärme und Feuchtigkeit aus Kühltürmen,
3. Wärme, Feuchtigkeit, Abgase von Siedlung, Verkehr und Industrie.

Fig. 5: Planungsvorstellungen Kernkraftwerke Oberrhein/Hochrhein
(Vereinfacht nach LV 15)



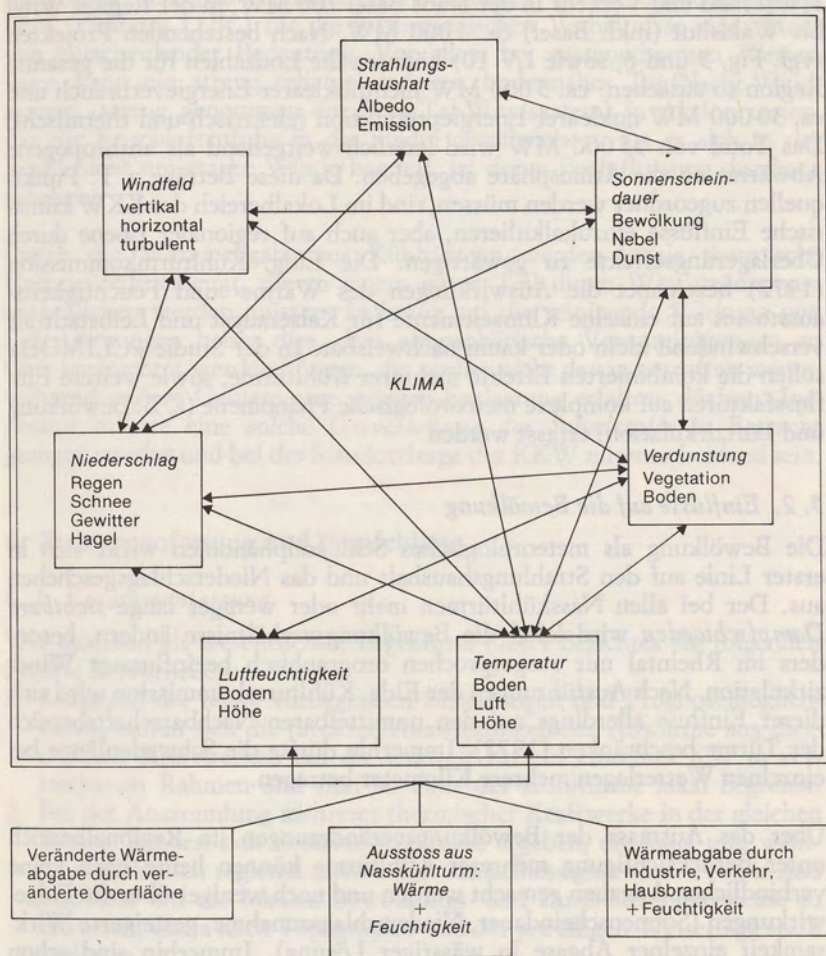
Zwar gilt auch für die Region Basel, dass der *natürliche* Einfall an Sonnenenergie die *anthropogen* zugeführte Wärmemenge flächenhaft im Mittel um das 100- bis 1 000-fache übertrifft. Lokal und je nach Wetterlage sind aber diese Zahlenverhältnisse schon heute sehr stark zu modifizieren: so erreichte für das engere Gebiet um Basel die anthropogene Wärmeenerzeugung im Jahre 1970 Werte in der Grössenordnung der Strahlungsbilanz (Fig. 6). Letztere wird allerdings wie in anderen Siedlungs- und Industrieagglomerationen durch Verunreinigung der Atmosphäre ziemlich stark verändert. Die klimatischen Folgen sind mit denjenigen in anderen Ballungsräumen vergleichbar: Bildung einer *Wärmeinsel* (höhere Luft- und Oberflächentemperaturen im Siedlungsbereich gegenüber dem Umland), Tendenz erhöhter Gewittertätigkeit, durch Überbauung veränderte Luftzirkulation in der bodennahen Luftschicht, bei gewissen Wetterlagen Bildung eines Dunst- und Aerosoldeckels über der Stadt und dem Rheintal. Die Auswirkungen sind zu einem guten Teil also nicht direkte Folgen erhöhter Wärme- und Feuchtigkeitsabgabe an die Atmosphäre.

Fig. 6: Abschätzung der mittleren Wärmebilanz der Bodenoberfläche in ausgewählten Gebieten in MW/km^2 ¹⁾.

Gebiet	Fläche (km^2)	Solare Einstrahlung G-R	Terrestrische Ausstrahlung A-E	Strahlungsbilanz (G-R) + (A-E)	Abgabe an die Atmosphäre			
					Verdunstung V	Sensible Wärme S	Anthropogene Wärme	
							1970	ca. 1990
Erdoberfläche ¹⁾	508.10 ⁶	147	— 57	90	74	16	0.016	0.64
Gross-Chicago	2500						16	
in erster Näherung gelten die Werte von Basel-Stadt								
Ruhrgebiet	3320						13	
Basel-Stadt	37	Sommer						
		175 ²⁾	— 63	112	36	76	16 ⁴⁾	
		Winter						
		31	— 44	— 13	4	— 17	32	43 ³⁾
Hochrheintal	250	Sommer						
		175	— 63	112	54	58	3 ⁵⁾	19 + 32 L ⁶⁾
		Winter						
		31	— 44	— 13	5	— 18	6	40 + 14 L
Industrieraum um Basel	3600	Sommer						
		175	— 63	112	73	39		
		Winter						
		31	— 44	— 13	7	— 20	0.8	10 ⁷⁾

¹⁾ Entspricht Tabelle 1 aus LV 10, hier ohne Erklärungen

Fig. 7: Zu berücksichtigende Elemente des Einflussbereiches «Klima»



Notwendige Abklärungen:

1. Raum-zeitliche Dynamik des Ist-Zustandes des Lokal- und Regionalklimas (vor Bau des Kraftwerkes).
2. Modellhafte Erfassung der klimatischen Zusammenhänge (quantitative Gewichtung der Wechselwirkungen).
3. Prognostizierung der raum-zeitlichen klimatischen Einflüsse des geplanten thermischen Kraftwerkes für einen bestimmten Standort.

Im gleichen Raum hat sich aber eine Entwicklung angebahnt, deren Grössenordnung an folgenden Zahlen abgeschätzt werden kann: im Winter 1969/70 betrug die gesamte Wärmeproduktion von Industrie, Hausbrand und Verkehr in der Stadt Basel 700 MW, in der Region Whyll bis Waldshut (inkl. Basel) ca. 3 000 MW. Nach bestehenden Projekten (vgl. Fig. 5 und 6, sowie LV 10) könnten die Endzahlen für die gesamte Region so aussehen: ca. 5 000 MW nichtnuklearer Energieverbrauch und ca. 30 000 MW nuklearer Energieproduktion (elektrisch und thermisch). Das Total von 35 000 MW wird letztlich weitgehend als anthropogene Abwärme an die Atmosphäre abgegeben. Da diese Beträge z. T. Punktquellen zugeordnet werden müssen, sind im Lokalbereich der KKW klimatische Einflüsse einzukalkulieren, aber auch auf regionaler Ebene durch Überlagerungseffekte zu gewärtigen. Die Eidg. Kühlturmkommission (1972) bezeichnet die Auswirkungen des Wärme- und Feuchtigkeitssausstosses auf einzelne Klimatelemente für Kaiseraugst und Leibstadt als verschwindend klein oder kaum nachweisbar. In der Studie «CLIMOD» sollen die kombinierten Effekte mehrerer Kühltürme, sowie weitere Einflussfaktoren auf komplexe meteorologische Phänomene (z. B. Bewölkung und Luftzirkulation) erfasst werden.

5. 2. Einflüsse auf die Bewölkung

Dampfschwaden
beeinflusst
Bewölkung

Die Bewölkung als meteorologisches Schlüsselphänomen wirkt sich in erster Linie auf den Strahlungshaushalt und das Niederschlagsgeschehen aus. Der bei allen Nasskühltürmen mehr oder weniger lange *sichtbare Dampfschwaden* wird lokal die Bewölkungsverhältnisse ändern, besonders im Rheintal mit ausgesprochen orographisch beeinflusster Windzirkulation. Nach Ausführungen der Eidg. Kühlturmkommission wird sich dieser Einfluss allerdings auf den unmittelbaren Nachbarschaftsbereich der Türme beschränken (1972). Immerhin dürfte die Schwadenlänge bei einzelnen Wetterlagen mehrere Kilometer betragen.

Nebelhäufigkeit
Sonnenschein-
dauer

Über das Ausmass der Bewölkungsveränderungen im Regionalbereich unter Berücksichtigung mehrerer Kühltürme können heute noch keine verbindlichen Angaben gemacht werden und noch weniger über die Folgewirkungen (Sonnenscheindauer, Niederschlagszunahme, gesteigerte Wirksamkeit einzelner Abgase in wässriger Lösung). Immerhin sind schon heute — vor dem Bau der zur Diskussion stehenden KKW — bei entsprechenden Wetterlagen im Hochrheintal grosse Unterschiede in der *Nebelhäufigkeit* und *Sonnenscheindauer* feststellbar. So wurden beispielsweise im Dezember 1972 in Leibstadt nur 17 Stunden Sonnenschein registriert, in Kaiseraugst aber 84 und im Observatorium Basel sogar 107. Wenn wir in Betracht ziehen, dass bereits eine geringe Zunahme des Wasserdampfgehaltes in der Atmosphäre ausreicht, um eine Auflösung der Nebeldecke zu verzögern oder gar eine Neubildung auszulösen, dann muss diesem Punkt grösste Beachtung geschenkt werden.

5. 3. Einflüsse auf die Luftströmungen

Die *bodennahe Luftzirkulation* ist aufgrund verschiedener neuerer Untersuchungen in Agglomerationen vergleichbarer Grössenordnung (Basel, Bern, Freiburg i. Br.) für die lufthygienischen Verhältnisse einer Stadt von entscheidender Bedeutung. Vor allem bei austauscharmen Wetterlagen kann ein streng reliefgebundenes, bodennahes Tag/Nacht-Windsystem (streng genommen ein Berg/Tal-Windsystem) in Aktion treten, das die Frischluftzufuhr in die Städte gewährleistet. Da es sich in der Regel nicht um starke Winde handelt, ist deren Beeinflussung durchaus möglich.

bodennahe
Luftzirkulation

Durch die Wärmeabgabe aus Kühltürmen werden lokale thermische Unterschiede erzeugt, die zu einem guten Teil durch Windströmungen ausgeglichen werden müssen. In bezug auf die reinigende Wirkung von Luftströmungen heisst dies, dass atmosphärische Verunreinigungen an Orte verfrachtet werden können, die vorher nicht davon betroffen waren, während andere Gebiete eine gewisse Entlastung erfahren dürften. Insgesamt müsste eine solche *Umverteilung der Schadstoffe* in Betracht gezogen werden und bei der Standortfrage der KKW mitentscheidend sein.

Umverteilung
von Schadstoffen
durch veränderte
Luftströmungen

6. Zusammenfassung und Empfehlung

6. 1. Zusammenfassung

Wir möchten als wesentlichste Ergebnisse dieses Berichtes die folgenden Punkte hervorheben:

1. Aufgrund der heute vorliegenden Erfahrungen und Prognosemöglichkeiten halten sich die direkten Auswirkungen der Abwärme aus thermischen Kraftwerken auf die Umwelt für ein einzelnes KW in vertretbarem Rahmen und sind im Falle der Kühltürme lokal begrenzt.
2. Bei der Ansammlung mehrerer thermischer Kraftwerke in der gleichen Region können sich Summationseffekte ergeben, die lokal und wahrscheinlich auch regional nicht mehr vernachlässigbar sind. Primär Einflüsse auf die lokalen Bewölkungs- und Durchlüftungssysteme zu erwarten, die je nach Topographie und der jeweiligen Wetterlage stark variieren.
3. Heute stehen Methoden in Ausarbeitung, die die Prognose komplexer meteorologischer Veränderungen mit ausreichender Sicherheit für Kühlturmansammlungen und grössere Gebiete ermöglichen sollen.
4. In den meisten Fällen dürften die Folgewirkungen klimatischer Veränderungen, wie auch die synergetischen Effekte — einzeln und gesamthaft — ausserordentlich schwer abzuschätzen sein. Deshalb sind an sich anzustrebende Wärmelastpläne für die Atmosphäre — vergleichbar den Wärmelastplänen für Flussläufe und Seen — nicht ohne weiteres realisierbar.

5. Besondere Beachtung verdienen die möglichen indirekten Auswirkungen thermischer Kraftwerke auf die Umwelt (Agglomerationsbildung, Konzentration energieintensiver Industrien usw.), verbunden mit weiteren Energie- und Abgasemissionen. Sie sind schwer abschätzbar, dürften aber ebenso bedeutend sein wie die primären Effekte.

6. 2. Empfehlungen

1. Eine aus der Gesamtenergiekonzeption (GEK) allenfalls resultierende Planung hat neben ökonomischen ebenso sehr ökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Sie hat dabei nicht nur die heutigen, sondern auch die zukünftigen Anforderungen an die Umweltbedingungen sicherzustellen und so schwer kontrollierbare nachträgliche Summationseffekte nach Möglichkeit auszuschliessen.
2. Es muss eine sinnvolle Nutzung der anfallenden Abwärme angestrebt werden.
3. Aus historischen, wirtschaftlichen und verkehrstechnischen Gründen befinden sich unsere grossen Industrie- und Siedlungskonzentrationen in vielfach schlecht durchlüfteten, inversionsgefährdeten Tal- und Muldenlagen. In diese gleichen Räume hinein werden heute die KKW gebaut oder geplant. Angesichts der sich abzeichnenden, quantitativ schwer fassbaren Summationseffekte soll eine gesamtschweizerische Studie über bereits belastete und potentiell gefährdete Räume erstellt werden, um mögliche Klimaeffekte zu minimalisieren und die Standortwahl zu optimieren.
4. Die Auswirkungen klimatischer Änderungen auf das Ökosystem — insbesondere auf den Menschen und seine Aktivitäten — sind zu studieren. Darauf aufbauend — unter Berücksichtigung der gesamtschweizerischen Studie belasteter und gefährdeter Räume — sollen Richtwerte über die Belastbarkeit der Atmosphäre ausgearbeitet werden.

Literaturverzeichnis

- (1) Arbeitsgruppe über die meteorologischen Auswirkungen der Kühltürme: Bericht zuhanden der Eidg. Kühlturmkommission über den heutigen Stand der Kenntnisse und die entwickelte Arbeitsmethode zur Abschätzung der meteorologischen Auswirkungen von Kühltürmen. Dienst für Luftreinhaltung der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt, Payerne (SAUNA) 1972.
- (2) —: Bericht über die meteorologische Messerie am Standort Lünen vom 27. November bis 1. Dezember 1972 zur Teilprüfung und Verfeinerung des numerischen Modells «SAUNA». Payerne 1973.
- (3) Bolin, B.: Energy and Climate. University of Stockholm 1975.
- (4) Brog, P. et al: Mittelbare und langfristige Lösungen der Abwärmeprobleme bei Kernkraftwerken, Vortrag Nr. 7/1, Nuclex Basel (KUMULUS) 1975.
- (5) Eidg. Amt für Energiewirtschaft: Zwischenbericht der Eidg. Abwärmekommission, Bern 1976.
- (6) Eidg. Departement des Innern: Gewässerschutztechnische Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und -rückgabe bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken, Bern 19. 3. 1968 (F. Baldinger).
- (7) —: Bericht der Eidg. Expertenkommission zur Ausarbeitung von Wärmelastplänen im Zusammenhang mit der Ableitung von Kühlwasser an Aare und Rhein, Februar 1972.
- (8) Eidg. Institut für Reaktorforschung: Die atmosphärische Kühlung von Kernkraftwerken. Berichte zuhanden der Eidg. Abwärmekommission, im Auftrag des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft. Ausgearbeitet durch das EIR, Würenlingen, Band 1, Dezember 1974; Band 2, Dezember 1976.
- (9) Eidg. Kommission Meteorologie des schweizerischen Gebietes Hochrhein/Oberrhein, Projektleitung CLIMOD: Beeinflussung der meteorologischen Verhältnisse und des Klimas durch anthropogene Änderungen der Energiebilanz und des Wasserhaushaltes im Raum Basel—Bodensee, allgemeine Problemstellung und prinzipielle Lösungsmöglichkeit, Payerne (CLIMOD) 1976.
- (10) —: Zwischenbericht über die Möglichkeiten regionaler Klimaveränderungen durch menschliche Einwirkungen (Projekt CLIMOD), Bern 1976.
- (11) Eidg. Kühlturmkommission: Bericht über die Auswirkungen der Kühltürme des geplanten Kernkraftwerkes Kaiseraugst auf die Umwelt, Bern, 10. 5. 72 (1972 a).
- (12) —: Bericht über die Auswirkungen der Kühltürme des geplanten Kernkraftwerkes Leibstadt auf die Umwelt, Bern, 31. 8. 72 (1972 b).
- (13) Emmelin, L.: La planification de l'environnement en Suède. L'énergie et le climat. Actualités suédoises. ENV No 68, Décembre 1975.
- (14) Expertengespräche zur Frage der Atomkraftwerke in der Region Basel, Verlag GAK, Liestal 1975.
- (15) Internationale Koordinationsstelle der Regio: REGIO, Planungsvorstellungen Kernkraftwerke und bestehende Elektrizitätswerke, Basel, Juli 1975 (Plan-Abb. Nr. 5).
- (16) Kuhn, W.: Wärmebelastung von Gewässern, ein teilweise meteorologisches Problem. Arbeitsberichte MZA Nr. 40. Zürich 1974.
- (17) —: Flussnebel über dem Rhein: Theorie und Beobachtung. Verh. SNG, Luzern 1972.
- (18) Mayor, J. C.: Die Kühlung von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren. Eine Zusammenfassung zuhanden der ad hoc-Arbeitsgruppe für die Abwärmeebenutzung in der Landwirtschaft der Eidg. Abwärmekommission. TM-ST-439, EIR, Würenlingen 1976.
- (19) Nester, K.: Walküre, Simulation der Wirbelstruktur der Abluftströmung aus Kühltürmen mit einem Rechenprogramm, KFK 2249, Kernforschungszentrum Karlsruhe (WALKÜRE) 1976.
- (20) Pellaud, B.: Aperçu sur le refroidissement des centrales nucléaires, Office fédéral de l'économie énergétique, Berne 1971.

- (21) Schuepp, W.: Zukunft Basels, Schicksal trotz Planung? Abt. für Meteorologie, Pub. Nr. 3, Basel-Stadt 1968.
- (22) —: Regionalplanung als meteorologisches Problem. Regio Basiliensis Heft XII/1, S. 189ff. 1971.
- (23) —: Meteorologische Aspekte der Energiebilanz von Ballungszentren. Klima und humane Umwelt. Internationales CIB-Symposium Zürich 1974.
- (24) —: Thermal pollution and meteorological effects. Abt. für Meteorologie, Pub. Nr. 14, Basel-Stadt 1975.
- (25) Scientific American Vol. 220 (1969), Nr. 3, p. 26.
- (26) Seemann, J.: Das aktuelle Interview «Kühlturmschwaden unbedenklich!». Umschau 75 (1975), Heft 24.
- (27) Trepp, J.-P.: A two-dimensional hydrodynamic model for cooling-tower plumes. Proceedings of a Symposium, Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, IAEA Vienna (FOG) 1975.
- (28) Trueb, E. U.: Betrachtung über die Veränderung des Sauerstoffgehalts im Grundwasser als Folge von Flusstau und Temperaturerhöhung des Flusswassers. Gas- und Wasserfach 112 (9): 433—436.
- (29) Turner, H.: Umweltprobleme bei Naturzug-Nasskühltürmen grosser Kernkraftwerke in der Schweiz. Verhandlungen der Ges. für Ökologie, Saarbrücken 1973, S. 261—271.
- (30) Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern: Biologische Untersuchungen (Bodenfauna) der Aare beim Kernkraftwerk Mühleberg im Hinblick auf die Flusswärmung infolge der Kühlwassernutzung. Zwischenbericht über die Untersuchungsperiode 1970—1972. Bern 1977.
- (31) WMO: Global Atmospheric Research Programme (GARP). WMO-ICSU Joint Organizing Committee: The Physical Basis of Climate and Climate Modelling, GARP Publ. Series No. 16, Geneva 1975.
- (32) —: Commission for Atmospheric Sciences, Working Group on the Physics of Climatic Fluctuations: First Session, Leningrad, 8—12 December 1975, Final Report, Geneva 1975.

