

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 17

Rubrik: Seminar der Europäischen Wirtschaftskommission der UNO über die Auswirkungen der thermischen Kraftwerke auf die Umwelt = Séminaire de la Commission économique pour l'Europe de l'ONU sur les aspects d'environnement des systèmes de refroidissement des centrales thermiques

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 04.04.2026

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

Seminar der Europäischen Wirtschaftskommission der UNO über die Auswirkungen der thermischen Kraftwerke auf die Umwelt

(Zürich und Baden, 14. – 16. Mai 1974)

Séminaire de la Commission économique pour l'Europe de l'ONU sur les aspects d'environnement des systèmes de refroidissement des centrales thermiques

(Zurich et Baden, 14 à 16 mai 1974)

Begrüßungsansprache

Von Dr. H. R. Siegrist,
Direktor des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft

Sehr geehrte Herren,

Im Namen der schweizerischen Bundesregierung heisse ich Sie in unserem Lande herzlich willkommen. Es ist für uns eine Ehre, dass die Europäische Wirtschaftskommission der UNO die Schweiz als Tagungsort für ein Seminar über die Auswirkungen der thermischen Kraftwerke auf die Umwelt gewählt hat. Dies ist gar nicht selbstverständlich, wenn man bedenkt, dass unsere Elektrizitätsproduktion zum weit überwiegenden Teil auf der Wasserkraft beruht und dass unsere Erfahrung auf dem Gebiete der thermischen Stromerzeugung sehr beschränkt und zudem erst von kurzer Dauer ist. Der Übergang zur thermischen Stromerzeugung in der Mitte der 60er Jahre erfolgte aber zu einer Zeit, in der die Bevölkerung für Fragen des Umweltschutzes bereits stark sensibilisiert war. Das hat unsere Behörden in ihren Bestrebungen unterstützt, die Auswirkungen der klassisch-thermischen wie auch der nuklear-thermischen Kraftwerke auf die Umwelt sehr genau abzuklären, bevor sie für solche Anlagen Bau-erlaubnisse erteilten. Dass wir einen grossen Wert auf eine saubere Umwelt legen, ersehen Sie auch daraus, dass unser Land pro Jahr mehr als 1 Milliarde Franken aufwendet für den Bau von Abwasserreinigungsanlagen.

Die mittlere Produktionsmöglichkeit aller Wasserkraftwerke beträgt rund 30 Milliarden kWh pro Jahr, davon 16 Mia kWh im Sommerhalbjahr und 14 Mia kWh im Winterhalbjahr. In den Akkumulierbecken können 8 Mia kWh gespeichert werden. Sie werden im Sommerhalbjahr, wenn der Schnee und die Gletscher im Hochgebirge schmelzen, gefüllt. Im Winterhalbjahr, wenn die Produktion der Laufwerke im Tiefland wegen der geringeren Wasserführung zurückgeht, liefern sie die fehlende Energie. Die Akkumulierwerke sind für eine sehr hohe Leistung ausgebaut. Das hat zur Folge, dass die Schweiz jederzeit über eine bedeutende Leistungsreserve verfügt. Diese Leistungsreserve ermöglicht uns, ganzjährig hochwertige Spitzenenergie auszuführen. Als Gegenleistung erhalten wir ein bedeutend grösseres Quantum Schwachlastenergie zurückgeliefert. Auf diese Weise können wir namentlich im Winter während der Nacht und über das Wochenende die Produktion der Speicherwerke drosseln und dementsprechend Speicherwasser sparen oder durch Inbetriebnahme der Pumpen den Wasservorrat in den Speicherseen erhöhen. Trotz ihrer Kleinheit ist die Schweiz dasjenige Land in Europa, das über den grössten Stromverkehr mit dem Ausland verfügt.

Unsere wirtschaftlich nutzbaren Wasserkräfte sind nun aber praktisch alle ausgebaut. Sämtliche Wasserkraftwerke,

Allocution de bienvenue

Par M. H. R. Siegrist,
directeur de l'Office fédéral de l'économie énergétique

Messieurs,

Au nom du Gouvernement fédéral, je vous souhaite une très cordiale bienvenue en Suisse. Nous remercions la Commission économique pour l'Europe de l'ONU d'avoir fait à notre pays le grand honneur de le choisir comme lieu d'un séminaire sur les aspects d'environnement des centrales thermiques. Nous l'apprécions d'autant plus que, comme vous le savez, notre pays a produit jusqu'il y a peu de temps la presque totalité de son énergie électrique à partir de ses forces hydrauliques et que, bien que notre industrie construisait de nombreuses centrales thermiques à l'étranger, notre expérience dans l'exploitation de telles centrales n'en est qu'à ses débuts. Nous avons passé à la production thermo-électrique en Suisse vers le milieu des années soixante, alors que la population avait déjà été sensibilisée aux problèmes écologiques. Il en est résulté que nos autorités ont étudié d'autant plus minutieusement les effets des centrales thermiques, classiques ou nucléaires, sur l'environnement avant d'en octroyer les permis de construire. Le seul fait que notre pays dépense annuellement plus d'un milliard de francs pour la construction de stations d'épuration des eaux usées suffit à démontrer l'importance que la Suisse attache à maintenir la salubrité de l'environnement.

La capacité moyenne de production de toutes les centrales hydrauliques est de 30 milliards de kWh par an, dont 16 milliards pendant le semestre d'été et 14 milliards pendant le semestre d'hiver. Les bassins d'accumulation ont une capacité équivalant à 8 milliards de kWh. Alimentés par la fonte des neiges et des glaciers en haute montagne, ils se remplissent pendant l'été et fournissent leur énergie pendant le semestre d'hiver, alors que la production des usines au fil de l'eau diminue en plaine par suite de la baisse des eaux. Les centrales à accumulation sont équipées pour de très grandes puissances. Il s'ensuit que notre pays dispose constamment d'importantes réserves de puissance, qui nous permettent pendant toute l'année l'exportation à bon prix d'énergie de pointe. En compensation, les pays voisins nous fournissent en heures creuses une quantité d'énergie plus grande nous permettant, principalement pendant la nuit en hiver et pendant les fins de semaines, d'économiser l'eau accumulée ou d'augmenter par pompage le contenu des bassins d'accumulation. Malgré sa relative exigüité, la Suisse est le pays d'Europe qui a les échanges les plus importants de courant électrique avec l'étranger.

Cependant, toutes nos ressources en chutes d'eau qui pouvaient être économiquement équipées sont pratiquement

die sich zurzeit noch in Erstellung befinden, vermögen die jährliche Produktionsmöglichkeit nur noch um 1 Mia kWh zu erhöhen. Das entspricht nicht einmal der Verbrauchszunahme eines einzigen Jahres. Vor einigen Jahren hat deshalb auch bei uns die Ära der thermischen Stromproduktion begonnen. Mit Rücksicht darauf, dass die Erdölprodukte (d. h. Heizöl und Motortreibstoffe) nicht weniger als 80 % des gesamten schweizerischen Rohenergiebedarfs decken, hat sich die Regierung von Anfang an sehr entschieden dafür eingesetzt, dass von der Wasserkraft direkt zur Nuklearenergie übergegangen wird. Die Phase der klassisch-thermischen Kraftwerke sollte wenn immer möglich übersprungen werden. Dadurch sollte einerseits verhindert werden, dass auch die Elektrizitätsproduktion in die Abhängigkeit der Erdölprodukte gerate; andererseits waren hierfür auch Überlegungen der Lufthygiene massgebend. In der Tat ist in der Schweiz nur ein einziges grösseres thermisches Kraftwerk gebaut worden. Es ist die Zentrale Vouvry im Rhonetal unmittelbar oberhalb des Genfersees. Sie besteht aus zwei Dampfkesseln und zwei Turbogenerator-Gruppen von je rund 150 MW und vermag also rund 300 MW zu produzieren. Die Zentrale steht in Verbindung mit einer benachbarten Erdölraffinerie, von der sie das benötigte Schweröl über eine Pipeline bezieht. Die Betriebsaufnahme erfolgte im Jahre 1965.

Sowohl das Projekt der Raffinerie als auch dasjenige des thermischen Kraftwerks haben anfangs der 60er Jahre zu einer grossen Opposition geführt. Man prophezeite, dass die Emissionen zur Zerstörung der Reben- und Tabakkulturen in der Rhoneebene führen würden, und dass die Touristen das berühmte Fremdenverkehrsgebiet am Genfersee in Zukunft meiden würden. Die Bundesregierung hat deshalb eine Expertenkommission eingesetzt, welche alle zu erwartenden Auswirkungen der Raffinerie und des thermischen Kraftwerks zu untersuchen hatte und welche Vorschläge für eine Minimalisierung dieser Auswirkungen zu machen hatte. Der Raffinerie wurden sehr schwere Auflagen zum Schutz der Atmosphäre und des Wassers der Rhone sowie des Grundwassers gemacht. Eingehende meteorologische Untersuchungen ergaben, dass das thermische Kraftwerk am vorgesehenen Standort in der Rhoneebene nur verantwortet werden konnte, wenn es mit einem Kamin von 300 m Höhe ausgerüstet wurde. Das entspricht der Höhe des Eiffelturms in Paris. Da das Tal infolge seiner topographischen Gestalt sehr schlecht ventiliert ist, wären mit einem niedrigeren Schornstein schädliche Auswirkungen der Schwefeldioxid-Emissionen auf die Pflanzenwelt zu erwarten gewesen.

Der Vorschlag eines 300 m hohen Kamins mitten in der Rhoneebene rief dann aber die Opposition des Eidg. Luftamtes hervor. Man studierte hierauf eine Lösung, bei der die thermische Zentrale am Rande des Tales im Innern des Berges errichtet worden wäre. Von dort hätten die Abgase unterirdisch bis auf die erforderliche Höhe von 300 m über der Talsohle geleitet werden sollen. Aber auch von dieser Lösung ist man abgekommen und hat dann schliesslich das Kraftwerk auf einem Bergplateau 500 m über der Talsohle errichtet. Die Rauchgase werden auch von dort noch über ein Kamin von 120 m Höhe abgegeben. Die meteorologischen Untersuchungen hatten ergeben, dass die Luftschichten auf dieser Höhe so turbulent sind, dass das abgegebene Schwefeldioxid sehr rasch verdünnt wird und mit keinerlei schädli-

utilisées. Les dernières centrales hydrauliques à être aménagées n'augmenteront la capacité annuelle de production que d'un milliard de kWh. Cela ne correspond même pas à la croissance de la consommation pendant une seule année. C'est pourquoi nous avons été contraints de passer il y a quelques années à la production thermo-électrique. Etant donné que les produits pétroliers (c'est-à-dire avant tout le mazout et les carburants) couvrent 80% des besoins totaux de la Suisse en énergie, le gouvernement a insisté dès le début pour un passage direct de l'énergie hydraulique à l'énergie nucléaire. Nous avons omis dans une large mesure le palier des centrales thermiques classiques. Le motif qui a conduit le Gouvernement fédéral à préconiser cette solution était de prévenir que la production d'énergie électrique ne devienne, elle aussi, tributaire des produits pétroliers, mais aussi de sauvegarder par-là la salubrité de l'atmosphère. La Suisse ne possède de ce fait qu'une seule grande centrale thermique classique. C'est celle de Vouvry, au-dessus de la plaine du Rhône. Elle comprend deux turbo-alternateurs, à chaudière indépendante, de 150 MW chacun, soit près de 300 MW au total. La centrale est reliée par un oléoduc à la raffinerie de pétrole voisine, qui l'approvisionne en fuel lourd. Elle a été mise en service en 1965.

Aussi bien le projet de construction de la raffinerie que celui de la centrale thermique ont fait l'objet d'une forte opposition. On prédisait que les émanations anéantiraient les vignobles et les plantations de tabac dans la plaine du Rhône et qu'elles chasseraient les touristes des bords du lac Léman. Le Gouvernement fédéral a chargé une commission d'experts d'étudier toutes les répercussions de la raffinerie et de la centrale thermique sur le voisinage et de présenter des propositions sur la manière de réduire au maximum les nuisances. De très lourdes charges ont été imposées à la raffinerie pour la protection de l'air, des eaux du Rhône et de la nappe phréatique.

Quant à la centrale thermique, des études météorologiques ont montré qu'elle ne pouvait être construite dans la plaine du Rhône à l'endroit envisagé que si on l'équipait d'une cheminée de 300 m de hauteur, soit de la hauteur de la tour Eiffel. Etant donné qu'à cet endroit la plaine est mal ventilée par suite de sa configuration, une cheminée moins élevée n'aurait pas complètement éliminé des retombées de SO₂ nocives à la végétation. Mais le projet d'une cheminée de 300 m de hauteur s'est heurté à l'opposition de l'Office fédéral de l'air. On examina la possibilité de placer la centrale dans une caverne à l'intérieur de la montagne et de construire un puits pour amener la fumée à la hauteur requise de 300 m au-dessus de la plaine du Rhône. Le projet qui a finalement été retenu a été de construire la centrale sur un petit plateau dominant la plaine du Rhône de 500 m. Une cheminée de 120 m de hauteur amène les fumées et l'anhydride sulfureux dans des couches d'air ayant une turbulence suffisante pour les diluer rapidement. Les résultats des études météorologiques préalables ont été confirmés dans les faits. La situation de cette relativement grande centrale thermique au flanc de la montagne est probablement unique au monde. Le fuel lourd nécessaire est acheminé à l'état chaud par un oléoduc de 13 km. Pour éviter que ce fuel ne se fige dans la conduite pendant les temps d'arrêt, on le remplace au préalable par du fuel léger. La centrale est

chen Auswirkungen auf Mensch, Tier oder Vegetation zu rechnen ist. Die seitherigen Erfahrungen haben diese Voraussage im vollen Umfang bestätigt. Die Lage dieses Kraftwerkes auf einem Bergplateau ist wohl weltweit etwas Einmaliges. Das benötigte Schweröl wird dem Kraftwerk in erwärmtem Zustand über eine 13 km lange Ölleitung zugeführt. Um zu vermeiden, dass das Öl während der Stillstandszeiten sich abkühlt und stockt, wird die Leitung vor dem Abstellen mit leichtem Heizöl gefüllt. Das Kraftwerk ist mit vier Verdunstungskühltürmen mit Ventilatorbetrieb ausgerüstet. Das Wasser zur Speisung dieser Kühltürme muss ebenfalls vom Tal über eine Leitung hinaufgepumpt werden. Auch der Betrieb der Kühltürme hat zu keinerlei schädlichen Auswirkungen auf die Umgebung geführt.

Die Zentrale Vouvry ist wie gesagt das einzige grössere konventionell-thermische Kraftwerk unseres Landes. Der weitere Ausbau unseres Produktionsapparates stützt sich praktisch vollständig auf die Kernenergie ab. In der zweiten Hälfte der 60er Jahre wurden drei Kernkraftwerke mit einer totalen Leistung von 1000 MWe erstellt.

Die drei Kernkraftwerke erzeugten im vergangenen Jahr total 6,3 Mia kWh. Das sind ziemlich genau 1000 kWh pro Kopf der Bevölkerung, womit die Schweiz die höchste spezifische Atomstromproduktion aller Länder der Welt aufweist.

Der Bau von Kernkraftwerken unterliegt einem strengen Bewilligungsverfahren. Die Projekte werden von der Eidg. Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen darauf hin geprüft, «ob alle nach dem Stand der Wissenschaft und Technik notwendigen und zumutbaren Sicherheitsbedingungen für den Bau und Betrieb von Atomanlagen zum Schutze von Menschen, fremden Sachen und wichtigen Rechtsgütern erfüllt sind». Die Kommission, deren Mitglieder nebenamtlich tätig sind, ist verbeiständet durch die Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft. Auch der Betrieb der Atomanlagen untersteht einer strengen Aufsicht. Die Radioaktivität wird nicht nur in der Umgebung der Atomanlagen, sondern in der ganzen Schweiz dauernd durch Messungen überwacht. Die Resultate werden alljährlich publiziert. Während die Atombombentests regelmässig eine Erhöhung der Radioaktivität zur Folge haben, führen die Atomanlagen zu keiner signifikanten Erhöhung der Radioaktivität in ihrer Umgebung.

Schon frühzeitig wurde in unserem Lande erkannt, dass der Erwärmung der Gewässer durch die Einleitung von Kühlwasser aus klassisch- oder nuklear-thermischen Kraftwerken bestimmte ökologische Grenzen gesetzt wird. Die Bundesbehörden haben die mutmasslichen Auswirkungen dieser Erwärmung durch eine Expertenkommission abklären lassen. Im Jahre 1968 hat diese Kommission ihren Bericht abgeliefert. Er trägt den Titel «Gewässerschutztechnische Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme und -rückgabe bei konventionellen und nuklear-thermischen Kraftwerken». Er kommt im wesentlichen zu folgenden Empfehlungen:

1. Die Temperatur des abzuleitenden Kühlwassers soll in der Regel 30 °C nicht überschreiten.
2. Die Erwärmung des Wassers eines bestimmten Flusssystemes darf durch die Gesamtheit der abzuleitenden Kühlwässer an keiner Stelle mehr als 3 °C betragen. Ausnahms-

équipée de quatre tours de réfrigération thermique à tirage forcé. L'eau pour l'alimentation de ces tours est amenée de la plaine par pompage. On n'a pas constaté d'effets nocifs sur l'environnement de la part de ces tours de réfrigération.

Comme je l'ai dit, la centrale de Vouvry est la seule centrale thermique classique d'une certaine importance construite dans notre pays. Toutes les autres sont ou seront des centrales nucléaires. Trois centrales atomiques, d'une puissance totale de 1000 MWe, ont été construites pendant la seconde moitié des années soixante.

En 1973, ces trois centrales ont produit 6,3 milliards de kWh au total, soit assez exactement 1000 kWh par habitant. Ainsi la Suisse est le pays ayant la production spécifique d'électricité d'origine nucléaire la plus élevée au monde.

La construction de centrales nucléaires est soumise à une sévère procédure d'autorisation. Les projets sont examinés par la Commission fédérale pour la sécurité des installations atomiques, qui vérifie s'il est satisfait à toutes les conditions de sécurité en matière de construction et d'exploitation d'installations atomiques pouvant être raisonnablement exigées au stade actuel de la science et de la technique afin de protéger les personnes, les biens et les droits d'autrui importants. La commission, dont les membres exercent leur fonction à titre accessoire, est assistée par la Division pour la sécurité des installations nucléaires de l'Office fédéral de l'économie énergétique. L'exploitation des installations nucléaires est également soumise à une étroite surveillance. La radioactivité est mesurée en permanence non seulement à proximité des installations nucléaires, mais dans toute la Suisse. Les résultats de ces mesures sont publiés chaque année. Alors que les essais de bombes atomiques provoquaient régulièrement une augmentation de la radioactivité, on n'a encore jamais enregistré une augmentation significative dans les environs immédiats des centrales nucléaires.

On s'est soucié très tôt dans notre pays des limites écologiques au réchauffement des cours d'eau par les apports d'eau de réfrigération des centrales thermiques classiques et nucléaires. Les autorités fédérales ont chargé une commission d'experts d'étudier les effets probables de ce réchauffement. La commission a présenté en 1968 un rapport intitulé: «Considérations sur les mesures techniques propres à protéger les eaux contre les effets nuisibles des prélèvements et restitutions d'eau de réfrigération opérés par les centrales thermiques classiques et atomiques.» Il contient les recommandations suivantes:

1. La température de l'eau de réfrigération déversée dans le cours d'eau ne doit, en règle générale, pas excéder 30 °C.
2. Le réchauffement de l'eau d'un système fluvial par l'ensemble des apports d'eau de réfrigération ne doit après mélange complet pas excéder 3 °C. Un réchauffement de 5 °C peut être admis exceptionnellement à certaines époques de l'année si les conditions locales sont favorables.
3. Les apports d'eau de réfrigération ne doivent après mélange complet pas faire monter la température maximum des eaux courantes à plus de 25 °C.
4. Les infiltrations d'eau de rivière réchauffée ne doivent pas faire monter la température des eaux souterraines utilisées ou prévues pour l'approvisionnement à plus de 15 °C.
5. S'ils s'agit de cours d'eau très chargés de matières

weise können unter günstigen örtlichen Verhältnissen zu bestimmten Jahreszeiten 5 °C zugelassen werden.

3. Durch die Einleitung von erwärmtem Kühlwasser darf die Höchsttemperatur von Fließgewässern nach völliger Durchmischung an keiner Stelle 25 °C überschreiten.

4. Die Temperatur von Grundwasservorkommen darf durch infiltrierendes erwärmtes Flusswasser 15 °C nicht übersteigen.

5. Bei Gewässern, die bereits stark verschmutzt sind, müssen die Anforderungen für die Einleitung von Kühlwasser verschärft werden.

Da am Flußsystem der Aare und des Rheins die geforderte Gütestufe nicht überall erreicht ist, hat die Landesregierung im Jahre 1971 beschlossen, dass an diesem Flußsystem keine Kernkraftwerke mit direkter Durchlaufkühlung mehr erstellt werden dürfen. Die Projekte, die damals vorhanden waren, mussten deshalb auf Kühlturbetrieb umgearbeitet werden. In sämtlichen Fällen wurden sogenannte Naturzugkühltürme vom Verdunsterprinzip gewählt.

Über die Auswirkungen dieser Kühltürme auf die Umwelt bestehen in der Schweiz keine praktischen Erfahrungen. Es wurde deshalb eine Expertenkommission eingesetzt, die die projektierten Kühltürme nach folgenden Gesichtspunkten zu begutachten hat:

- Einwirkungen auf das Landschaftsbild;
- Meteorologische Auswirkungen, d. h. Auswirkungen auf Temperatur, Feuchtigkeit, Niederschlag, Nebelbildung, Glatteisbildung, Verminderung der Sonneneinstrahlung durch den Dampfschaden;
- Geräuschemissionen;
- Allfällige synergetische Effekte durch Zusammenwirken der Dampffahne mit Luftverschmutzungen;
- Einfluss auf Mensch, Tier und Vegetation;
- Wasserwirtschaftliche und gewässerschutztechnische Auswirkungen der Entnahme des Kühlwassers und der Rückgabe des Abschlammwassers auf den Fluss.

Um alle diese Aspekte beurteilen zu können, gehören der Kommission Fachleute aller einschlägigen Disziplinen an. Ausserdem ist jede eidgenössische, kantonale und kommunale Behörde, welche Bewilligungen für das Kernkraftwerk zu erteilen hat, in der Kommission vertreten. Bewilligungsbehörde nach dem Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz von 1959 ist das Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement. Dies hindert aber nicht, dass kantonale und kommunale Behörden auch in ihrem Zuständigkeitsbereich Bewilligungen zu erteilen haben, so namentlich nach der Gesetzgebung über den Arbeitnehmerschutz, für die Entnahme des Kühlwassers, für die bauliche Gestaltung, soweit diese nicht durch die Atomgesetzgebung gegeben ist.

Am schwierigsten zu beurteilen waren die meteorologischen Auswirkungen, d. h. die Beeinflussung des Mikroklimas. Die Kommission hat hierfür eine meteorologische Arbeitsgruppe eingesetzt, die von Herrn Dr. A. Junod von der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt geleitet wird. Die Untersuchungen der meteorologischen Arbeitsgruppe stehen unter der wissenschaftlichen Oberaufsicht einer Gruppe von Hochschuldozenten.

Die meteorologische Arbeitsgruppe hat zunächst die wissenschaftliche Literatur, die weltweit über die Auswirkungen

polluantes, les exigences quant à l'apport de chaleur par les eaux de réfrigération doivent être renforcées.

Etant donné que les eaux des bassins de l'Aar et du Rhin sont relativement trop chargées de matières polluantes, le Gouvernement fédéral a décidé en 1971 qu'aucune autre centrale nucléaire à refroidissement direct ne pourrait être construite dans ces bassins-versants. Il a donc fallu modifier les projets à réfrigération directe prêts à être exécutés et prévoir des tours de réfrigération. C'est le système humide à tirage naturel qui a, dans tous les cas, été retenu.

En Suisse, nous n'avons pas d'expérience pratique sur les effets de telles tours de réfrigération sur l'environnement. Une commission d'experts a été instituée pour examiner les projets sous les aspects suivants:

- répercussion sur le paysage;
- effets météorologiques, c'est-à-dire répercussions sur la température, l'humidité, les précipitations, la nébulosité, la formation de verglas, l'ensoleillement par le panache;
- émission de bruit;
- effets synergétiques éventuels dus à l'action combinée du panache et de la pollution atmosphérique;
- effets sur l'homme, les animaux, la végétation;
- effets du prélèvement et de la restitution de l'eau de réfrigération sur l'économie hydraulique et du point de vue de la protection des eaux.

Pour être à même d'apprécier les effets des tours sous tous ces aspects, la commission a été composée de spécialistes de toutes les disciplines en cause. Chacune des autorités fédérales, cantonales ou communales à laquelle il incombe d'accorder des autorisations pour la construction d'une centrale nucléaire y est représentée. Selon la loi fédérale de 1959 sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, c'est le Département fédéral des transports et communications et de l'énergie qui est compétent pour la délivrance des autorisations de construire. Cela n'exclut cependant pas que les autorités cantonales et communales aient des autorisations à délivrer dans les domaines pour lesquels elles sont compétentes, par exemple en vertu de la loi sur le travail, en ce qui concerne le prélèvement de l'eau de réfrigération, en matière de police des constructions, etc., dans la mesure où la législation sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire ne prévoit rien.

Ce sont les effets météorologiques, c'est-à-dire les répercussions sur le microclimat qui ont été le plus difficile à apprécier. A cet effet, la commission a institué un groupe de travail ad hoc, qui est présidé par M. A. Junod, de l'Institut suisse de météorologie. Les travaux du groupe de travail météorologique sont supervisés par un groupe de professeurs d'université.

Le groupe de travail météorologique a commencé par étudier toute la littérature scientifique existante sur les effets des tours de refroidissement, puis a élaboré un modèle de calcul mathématique permettant de quantifier le comportement du panache par les conditions atmosphériques les plus diverses, ainsi que les autres effets climatiques des tours de réfrigération. Ce modèle est connu sous le nom SAUNA (Schwaden-Ausbreitung durch Numerische Analyse) et a été décrit dans un rapport daté du 15 mars 1972. Des comparaisons effectuées avec les effets de tours de refroidissement

nasser Kühltürme vorhanden ist, gesichtet. Hierauf hat sie ein mathematisch-physikalisches Rechenmodell erarbeitet, welches gestattet, das Verhalten der Kühlturmfabne bei den verschiedensten meteorologischen Verhältnissen sowie die übrigen klimatischen Auswirkungen der Kühltürme quantitativ zu erfassen. Dieses Modell ist unter dem Namen «SAUNA» (Schwaden-Ausbreitung durch Numerische Analyse) bekannt und wurde in einem Bericht vom 15. März 1972 beschrieben. Durch Versuche an bestehenden Kühltürmen in der Bundesrepublik Deutschland wurde die Brauchbarkeit des Modells SAUNA getestet.

An den Standorten der projektierten Kühltürme wurde eine mehrjährige Messkampagne durchgeführt. Diese erfasste in verschiedenen Höhen über Boden durch automatische Messinstrumente:

- Windrichtung und -geschwindigkeit;
- Temperatur;
- Feuchtigkeit.

Diese Hauptmessungen wurden ergänzt durch Messungen der Temperatur im Boden sowie unmittelbar über dem Boden, der Niederschläge, der Sonnenscheindauer. Durch tägliche Beobachtungen wurden ferner die Sichtweite und der Bodenzustand erfasst. Die Höhe des Messturmes beträgt je nach den örtlichen topographischen Verhältnissen zwischen 60 und 110 m. Im Umkreis von 5–10 km um den Standort wurde ein Messnetz angelegt, das aus einfachen Bodenstationen besteht und durch welches Wind, Lufttemperatur und -feuchtigkeit graphisch registriert werden. Ein übergelagertes Messnetz besteht aus den schon vorhandenen nächsten Stationen des nationalen meteorologischen Beobachtungsnetzes.

Die gesammelten Daten wurden mit Hilfe des Modells SAUNA für jedes einzelne Projekt ausgewertet, worauf die Ergebnisse in einem umfassenden Bericht der Kühlturmkommission übermittelt wurden. Diese hat sodann auf Grund des meteorologischen Gutachtens und der Stellungnahmen der Vertreter der übrigen Disziplinen (Landschaftsschutz, Gewässerschutz, Lärm usw.) für jedes Projekt einen zusammenfassenden Bericht über sämtliche zu erwartenden Auswirkungen der Kühltürme verfasst. In den fünf bisher abschliessend beurteilten Fällen ist die Kommission jeweils einstimmig zur Schlussfolgerung gelangt, dass die Einwirkungen auf das Landschaftsbild mit Rücksicht auf die Bedeutung des Kraftwerkes für die Stromversorgung des Landes verantwortlich sei, dass die Forderungen der Lärmbekämpfung und des Gewässerschutzes ohne wesentliche Schwierigkeiten erfüllt werden können, und dass die Auswirkungen auf die meteorologischen Verhältnisse sich auf die unmittelbare Umgebung des Kühlturmes beschränken, d. h. auf einen Umkreis von 1 km, und dass sie auch hier vernachlässigbar schwach sein werden. Schädliche oder lästige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Vegetation seien nicht zu erwarten.

Zu diesen Ergebnissen gelangte die Kommission mit Bezug auf die Kernkraftwerk-Projekte Kaiseraugst und Leibstadt am Rhein, Gösgen und Graben an der Aare. Alle diese Projekte sehen Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung mit 900–1000 MW und einem bis zwei Kühltürmen zwischen 120 und 140 m Höhe vor. Mit Bezug auf das Projekt Rütli im sanktgallischen Rheintal liegt eine abschliessende Beurteilung durch die Kühlturmkommission noch nicht vor. Es bestehen gewisse Einwände unter dem Gesichtspunkt des

existentes in der République fédérale d'Allemagne ont prouvé la fiabilité de ce modèle.

Des campagnes de mesures ont été effectuées pendant plusieurs années à l'emplacement des tours projetées. Ces mesures, faites par des instruments automatiques placés à diverses hauteurs au-dessus du sol, ont porté sur les données suivantes:

- direction et vitesse du vent;
- température;
- humidité.

Ces mesures ont été complétées par des mesures de la température du sol et de la température immédiatement au-dessus du sol, de l'ensoleillement. Des observations quotidiennes ont aussi été faites sur la visibilité et l'état du sol. La hauteur de la tour de mesure est de 60 à 110 m selon la configuration locale. Un réseau de mesure a été installé dans un rayon de 5 à 10 km de l'emplacement des tours de refroidissement. Il est composé de simples stations au sol enregistrant graphiquement le vent, la température et l'humidité ambiantes et est complété par les stations au sol les plus proches du réseau météorologique national.

Les données recueillies ont été interprétées séparément pour chaque projet à l'aide du modèle SAUNA. Les résultats en ont été récapitulés dans un rapport très complet à l'intention de la Commission des tours de refroidissement, qui a, en se fondant au surplus sur les avis fournis par des représentants d'autres disciplines (protection du paysage, protection des eaux, bruit, etc.), élaboré un rapport récapitulatif sur tous les effets probables des tours de réfrigération pour chacun des projets. Dans les cinq cas traités jusqu'ici, la commission a conclu à l'unanimité que la modification du paysage est acceptable étant donné l'importance de la centrale pour l'approvisionnement du pays en énergie électrique, que les exigences quant à la lutte contre le bruit et la protection des eaux peuvent être remplies sans difficultés notables, et que les modifications météorologiques se limitent à la zone située à proximité immédiate de la tour de réfrigération, c'est-à-dire à un rayon de 1 km autour d'elle et que, là aussi, elles seront en fait négligeables. Il ne faut donc pas s'attendre à des effets nocifs ou incommodes pour l'homme, les animaux et la végétation.

C'est à ces conclusions que la commission a abouti pour les projets de centrales nucléaires de Kaiseraugst et de Leibstadt sur le Rhin, de Gösgen et de Graben sur l'Aar. Il s'agit de centrales d'une puissance électrique de 900 à 1000 MW pourvues d'une ou de deux tours de réfrigération de 120 à 140 m de hauteur. Pour ce qui est du projet de centrale nucléaire de Rütli, la Commission des tours de refroidissement n'a pas encore donné son avis. Quelques objections ont été faites du point de vue de la protection du paysage. Quant aux répercussions météorologiques et autres, elles ne font, dans la mesure où elles ont été élucidées jusqu'à maintenant, pas l'objet de réserve. Cependant, le projet suscite une certaine opposition de la part du Vorarlberg voisin. Des entretiens entre les experts suisses et autrichiens devraient permettre de juger du bien-fondé des arguments avancés.

Etant donné que, contrairement à de nombreux autres pays, nous n'avons dans le domaine des grandes tours de réfrigération pratiquement pas d'expérience et que les

Landschaftsschutzes. Die meteorologischen und übrigen Auswirkungen des Kühlturmes geben aber, soweit sie bisher abgeklärt worden sind, zu keinen Bedenken Anlass. Dem Projekt erwächst eine gewisse Opposition von seiten des benachbarten Vorarlberg. Durch Gespräche von Experten beider Länder soll die Begründetheit der oppositionellen Argumente abgeklärt werden.

Da wir im Gegensatz zu zahlreichen anderen Ländern auf dem Gebiet der grossen Kühltürme über keine praktischen Erfahrungen verfügen und die im Ausland konstatierten Auswirkungen sich wegen der verschiedenen Topographie

constatations faites à l'étranger ne valent pas sans autre pour les conditions topographiques et météorologiques de notre pays, nous avons tenu, par des études scientifiques, à déterminer le mieux possible les effets probables de ces tours chez nous avant de délivrer des autorisations de construire.

und Meteorologie nicht ohne weiteres auf unsere schweizerischen Verhältnisse übertragen lassen, haben wir Wert darauf gelegt, vor der Bewilligung von Kühltürmen ihre mutmasslichen Auswirkungen durch wissenschaftliche Untersuchungen bestmöglich zu erfassen.

Bilan atmosphérique global et croissance de la consommation énergétique

Extrait du rapport préparé par R. Müller

Auf Grund der Schätzungen über die Weltenergieerzeugung und den Weltenergieverbrauch sowie deren Entwicklung ist es von Interesse, die Auswirkungen der damit verbundenen künstlichen Energieabgabe an die Atmosphäre zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden von den Sekretariaten der Europäischen Wirtschaftskommission und der Weltorganisation für Meteorologie (OMM) sowie von der Sektion Luftreinhaltung der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt wertvolle Auskünfte und Studien zur Verfügung gestellt. Dies hat erlaubt, den nachfolgend publizierten Bericht über die möglichen Einwirkungen des Energieverbrauches auf das Klima auszuarbeiten.

Au vu des estimations sur la production et la consommation énergétique mondiale et leur développement, il est intéressant d'essayer de voir les répercussions que cette libération artificielle d'énergie a sur l'atmosphère. A cette fin, de précieux renseignements et études ont été fournis par les secrétariats de la Commission économique pour l'Europe et de l'Organisation météorologique mondiale, ainsi que par la Section de la protection de l'air de l'Institut suisse de météorologie. Ils ont permis d'établir le présent aperçu général des effets possibles de la consommation énergétique sur le climat.

1. Croissance de la consommation énergétique et ses rejets dans l'atmosphère

La consommation énergétique actuelle et son augmentation continue dans un avenir relativement proche sont-elles susceptibles d'influencer le climat? C'est une question qui concerne non seulement les pays industrialisés mais déjà le globe terrestre dans son ensemble.

1.1 La consommation mondiale d'énergie

Depuis le début du siècle, le taux annuel de progression de la demande d'énergie primaire dans le monde n'a cessé de croître, exception faite du temps de guerre et de la crise économique mondiale des années trente. Selon les statistiques des Nations Unies, la consommation d'énergie dans le monde ainsi que sa production n'ont augmenté de façon exponentielle et à un taux annuel élevé qu'après la Deuxième Guerre mondiale, comme il ressort de la première colonne du tableau I. L'augmentation relative est nettement plus forte en Afrique et en Asie qu'en Amérique, en Europe et en Océanie.

On s'accorde généralement à admettre que la croissance exponentielle mondiale, qui est actuellement de 5,7 % par an, ne pourra pas augmenter indéfiniment à ce rythme à l'avenir: une augmentation annuelle de 5,5 % entraîne une multiplication de la consommation par un facteur 5 après trente ans. Contrairement à la consommation totale, le taux de croissance de la consommation par habitant est très faible: celle-ci s'est accrue fortement il est vrai dans de nombreux pays, mais elle a aussi diminué dans d'autres, notamment en Afrique et en Amérique latine (Fig. 1).

La consommation brute d'énergie mondiale était en moyenne en 1970 de 1,898 tonnes équivalent charbon par

habitant et par an. Cependant, pour certains pays, la consommation par habitant était six fois plus grande que la moyenne mondiale (par exemple les Etats-Unis d'Amérique), tandis que pour d'autres, elle n'atteignait que $\frac{1}{200}$ de cette moyenne. En Europe, la dispersion va de la moyenne au triple de celle-ci environ.

La consommation actuelle d'énergie, dans les pays très industrialisés, n'a pas encore atteint le point de saturation, comme l'indique l'évolution des dernières années. En outre, la population mondiale continuera de croître et de plus, l'écart entre la consommation des pays moins développés et celle des pays industrialisés devrait diminuer. Il s'ensuit que, même dans les conditions de pénurie d'énergie et de hausse des prix, le taux annuel de croissance mondiale de la consommation d'énergie se maintiendra presque au même niveau qu'actuellement, au moins pendant les trente prochaines années. Un taux annuel d'accroissement d'environ 4 % par an paraît assez probable jusqu'à la fin du XX^e siècle et ceci correspond à une période de doublement entre quinze et vingt ans.

Consommation brute d'énergie primaire dans le monde (en 10⁶ tonnes équivalent charbon)

Tableau I

Année	Energie primaire totale	dont			
		Com-bustibles solides	Com-bustibles liquides	Gaz naturel	Hydrau-lique nucléaire et géo-thermique
1929	1713	1367	255	76	14
1950	2519	1569	636	273	41
1960	4233	2205	1323	617	86
1970	6822	2391	2858	1417	157