

# Stagniert die Gezeitennutzung?: eine Standortbestimmung zum 25jährigen Bestehen des Gezeitenkraftwerkes an der Rance

Autor(en): **Vischer, Daniel L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 32

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77943>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

verschlechterte Speicherung der Leichtbauten wird zum grossen Teil wettgemacht durch reduzierte Verluste infolge reduzierter mittlerer Raumtemperatur, weil diese nachts schneller den Absenkwert erreicht. Das bedeutet, dass die bei Büros üblichen Hohlböden und abgehängten Decken zulässig sind, wie auch neuartige hochisolierende Leichtbauwände. Trotzdem sollte bei Leichtbauten in der Planungsphase die Behaglichkeit auf Grund von Simulationsberechnungen genau überprüft werden. Die TI-Wände selber sollten auf jeden Fall genügend Speichermasse aufweisen, damit nicht ungemütlich hohe Oberflächentemperaturen entstehen, und damit die Wärmeabgabe so verzögert wird, dass nicht eine zeitgleiche Konkurrenz zum Direktgewinn entsteht.

### Schlussfolgerungen

Folgende «Charaktereigenschaften» von TI-Fassaden haben sich herausgeschält:

□ Eine Wand mit mindestens 8 cm dicker TI aus Polycarbonat-Waben hat in unserem Klima keine Verluste, sondern Gewinne. Das bewirkt innere Oberflächentemperaturen von über 20 °C.

□ Die Masse der Wand wirkt dämpfend und verzögernd auf den solaren Energiegewinn. Dieser verteilt sich auf mehr als 24 Stunden, so dass das Überschussproblem während des Tages entschärft wird.

□ Die TI arbeitet so gut, dass schon eine Nordwand, die nie die Sonne sieht, sondern immer nur das diffuse Himmelslicht, im Mittel des Winters verlustfrei ist. Wenn die Aussentemperatur über 3,5 °C liegt (Durchschnittstemperatur der Heizsaison in Zürich), gibt es Gewinne, und erst darunter Verluste.

□ Eine Wand mit Sonnenbestrahlung liefert im Winter-Mittel hohe Gewinne, welche dazu verwendet werden können, Wärmeverluste zu decken, welche an andern Orten entstehen: an angren-

zenden Aussenwänden ohne TI, an Fenstern (vor allem nachts), für den Luftwechsel, in günstigen Fällen auch Verluste angrenzender Räume, insbesondere, wenn eine Lüftungsanlage vorhanden ist, die für die Wärmeverlagerung vorgesehen wurde.

□ Mit einer TI lässt sich die Länge der effektiven Heizsaison auf wenige Wochen im Jahr senken, im Berggebiet oder Tessin können transparent isolierte Häuser sogar ganz ohne Heizung auskommen bei normalen internen Lasten und geschickter Konzeption.

□ Für das Gebäudekonzept ist eine frühe Zusammenarbeit von Architekt, Haustechnik-Ingenieur und TI-Fassaden-Hersteller erforderlich, damit von Anfang an korrekte Vorstellungen über die umgesetzten Energiemengen bestehen.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. Paul Schneider und K. Wellinger, Dipl.Ing. ETH, E. Schweizer AG, 8908 Hedingen.

## Stagniert die Gezeitennutzung?

Eine Standortbestimmung zum 25jährigen Bestehen des Gezeitenkraftwerkes an der Rance

**Im «Schweizer Ingenieur und Architekt» Heft 9 vom 27. Februar 1992 wurde der Entwicklungsstand der Wellennutzung skizziert. Eine weitere Möglichkeit, Meeresenergie zu ernten, besteht in der Gezeitennutzung. Bei dieser wird das gezeitenbedingte Auf und Ab der Meeresoberfläche in Strom umgewandelt. Als Wandler dienen Kraftwerke, die einem Niederdruck-Flusskraftwerk gleichen. Was sind die Besonderheiten? Wo steht die Entwicklung heute?**

### Die Gezeiten

Die Gezeiten entstehen durch die *Massenanziehungskräfte der Sonne und des Mondes* und werden durch die Topo-

VON DANIEL L. VISCHER,  
ZÜRICH

graphie des Meeres beeinflusst. Dem entsprechend unterliegen sie starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen.

Auf dem offenen Meer liegt der *Gezeitenhub* in der Grössenordnung von 1 m. An einigen Küsten ist er kaum spürbar, an anderen erreicht er infolge von Auf- und Abflusswerten bis 16 m. Je nach Meeresgebiet folgen sich Flut und Ebbe

ein- oder zweimal pro Tag. Man spricht deshalb von ein- oder halbtägigen Gezeiten. In einigen Regionen gibt es sogar ein gemischtes Regime in dem Sinne, dass während eines Teils des Monats halbtägige und dann wieder ganztägige Gezeiten vorherrschen.

Aus heutiger Sicht wird ein Gezeitenhub von 5 m und mehr als nutzungssträftig erachtet. Küsten mit entsprechenden Mittelwerten finden sich auf allen Kontinenten. In Europa sind vor allem die Bucht von St. Michel, der Bristol-Kanal und die Irische See zu erwähnen.

### Kraftwerkstypen

Es ist interessant festzustellen, dass es an den oben erwähnten europäischen

Küsten bereits im Mittelalter sogenannte *Flutmühlen* gab. Sie lagen an kurzen Kanälen, die vom Meer zur Mühle und von dort wieder zum Meer führten. Mittels Schleusen in Form von selbsttätigen Stemmtoren wurde das Auf und Ab der Gezeiten in eine gleichgerichtete Kanalströmung umgewandelt, die mit Wasserrädern genutzt wurde.

Das Prinzip der Umwandlung des Auf und Ab beziehungsweise des damit verbundenen Hin und Her in eine gleichgerichtete Strömung wird als *Gleichrichterprinzip* bezeichnet. Es ist heute vor allem bei der Wellennutzung verbreitet, findet aber auch bei der Gezeitennutzung eine Entsprechung.

So wie die Flutmühlen seinerzeit eine Abart der Wassermühlen waren, sind heute die Gezeitenkraftwerke eine Variante der Wasserkraftwerke, und zwar jener vom Typ der Niederdruckanlagen. Sie liegen entweder in einer Sperre, die eine Bucht vom Meer abtrennt oder in einer Sperre, die zwischen zwei vom Meer abgetrennten Buchten liegt. Je nachdem spricht man von einem Ein- oder Zweibeckensystem. Man unterscheidet etwa folgende Macharten (Bild 1).

Typ 1: *Einbeckensystem, Einwegnutzung*. Die Sperre ist mit einem Wehr und einem Maschinenhaus versehen. Bei Flut wird das Becken durch das Wehr

gefüllt, bei Ebbe im wesentlichen über das Maschinenhaus entleert (Energieproduktion nur bei Ebbe, Bild 1a).

Typ 2: *Einbeckensystem, Zweiwegnutzung*. Die Sperre ist mit einem Wehr und einem Maschinenhaus versehen, das reversible Turbinen enthält. Bei Flut wird das Becken durch das Wehr und das Maschinenhaus gefüllt, bei Ebbe im wesentlichen durch das Maschinenhaus entleert (Energieproduktion bei Flut und Ebbe, Bild 1 b).

Typ 3: *Zweibeckensystem*. Der meerseitige Damm enthält zwei Wehre. Das Maschinenhaus liegt zwischen den beiden Becken. Bei Flut wird das eine der beiden Becken durch eines der Wehre gefüllt, bei Ebbe wird das andere Becken durch das andere Wehr entleert. Dadurch entsteht vom ersten zum zweiten Becken eine Strömung (Gleichrichterprinzip), die im Maschinenhaus genutzt wird (unterbrochene Energieproduktion, Bild 1 c).

In maschineller Hinsicht wird noch unterschieden, ob die Turbinen – es handelt sich um *Rohr- oder Straflo Turbinen* – mit festen oder regulierbaren Laufradaufbauten bestückt sind und ob sie allenfalls auch als Pumpen eingesetzt werden können. Ist letzteres der Fall, so dient der Pumpbetrieb dazu, die gezeitenbedingten Füll- und Entleerungsvorgänge zu verstärken.

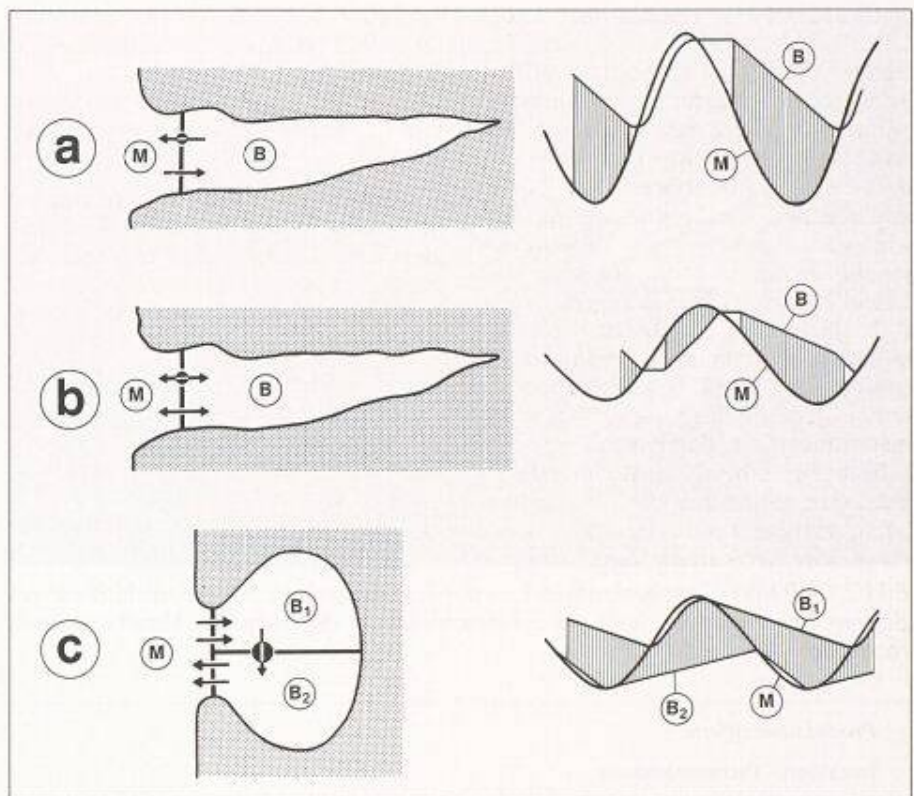


Bild 1. Typen von Gezeitenkraftwerken; links schematische Grundrisse, rechts Wasserspiegel im Meer (M) und im Becken (B) während einer Gezeitenperiode; die Schraffur gibt die genutzte Spiegeldifferenz an. (a) Einbeckensystem mit Nutzung bei Ebbe, (b) Einbeckensystem mit Nutzung bei Flut und Ebbe, (c) Zweibeckensystem mit Dauernutzung (Gleichrichterprinzip)

### Das Kraftwerk an der Rance

Das einzige bis jetzt verwirklichte Gezeitenkraftwerk von nennenswerter Leistung steht in Frankreich an der Rancemündung, einer langen, trichterförmigen Flussmündung am Ärmelkanal. Es wurde 1961–1966 erstellt, ist vom Typ 2 und wurde schon mannigfach beschrieben (Bild 2). Deshalb werden hier nur die charakteristischen Daten angeführt (siehe Kasten).

Dieses Kraftwerk an der Rance läuft seit seiner Inbetriebnahme, d.h. also seit 25 Jahren, praktisch ununterbrochen und bewährt sich im wesentlichen. Es verwundert deshalb, dass weder in Frankreich noch anderswo keine solchen Anlagen mehr erstellt worden sind – mit Ausnahme von zwei wesentlich kleineren Pilotanlagen in Russland und Kanada. An was liegt das? Einige Angaben über die Problematik von Gezeitenkraftwerken finden sich weiter unten. Andere Erklärungen liefern die Zielsetzungen der Pilotanlagen selbst, die im folgenden näher beschrieben werden.

### Zwei Pilotanlagen

Seit 1968 steht das *Gezeitenkraftwerk Kislogubsk* (Kisla-Bucht) an der arkti-

schen Küste der UdSSR (Barentsee) in Betrieb. Es ist vom Typ 2. Die zugehörige Sperre ist nur 40 m lang und enthält das Maschinenhaus mit zwei Rohrturbinengruppen. Das Wehr ist auf dem Dach der einen Gruppe angeordnet. Mit einer installierten Leistung von nur 0,8 MW handelt es sich um ein ausgesprochenes Versuchskraftwerk. Erwähnenswert ist insbesondere die gewählte Bauweise: Das Maschinenhaus wurde in einer Flussbucht bei Murmansk als Schwimmkasten erstellt und dann in die rund 80 km entfernte Sperrstelle eingeschwommen. Die zur Schwimffähigkeit erforderlichen Hohlräume wurden dort mit Kies verfüllt.

Im übrigen entspricht die Machart dem Prototyp an der Rance. In der Tat waren bei der Projektierung und Erstellung der Maschinengruppen auch französische Ingenieure beteiligt. Den spärlichen Veröffentlichungen zufolge war die Zielsetzung der Pilotanlage eine zweifache: Erstens sollte die Möglichkeit geprüft werden, die Baukosten durch Vorfabrikation – das heisst durch die Erstellung möglichst grosser Kraftwerkselemente im Schwimmkastenverfahren – wesentlich zu senken. Zweitens galt es, die Tauglichkeit des ganzen Systems in den eisigen Wintern der Barentsee zu testen. Damit sollten die Vor-

aussetzungen für den Bau mehrerer Grossanlagen am Polarmeer geschaffen werden.

Ende 1983 wurde das *Gezeitenkraftwerk Annapolis* an der Bay of Fundy zwischen den kanadischen Provinzen Nova Scotia und New Brunswick in Betrieb genommen. Es ist vom Typ 1 und Bestandteil einer 225 m langen Sperre, die schon vorgängig als Schutz der Annapolis-Bucht vor Springfluten erstellt worden war. Die halbtägigen Gezeiten erreichten dort vorher im Mittel 6,4 m, bei Springflut 8,7 m und bei Nippflut 4,4 m. Das Maschinenhaus ist rund 50 m lang und enthält eine einzige Strafflogruppe mit einem Laufraddurchmesser von 7,6 m und festen Schaufeln. Bei einer Nennfallhöhe von 5,5 m und einem entsprechenden Durchfluss von 380 m<sup>3</sup>/s beträgt die Leistung 17,8 MW. Die installierte Leistung wird mit 20 MW angegeben, die Jahresproduktion mit 45 GWh. Das Wehr besteht aus zwei mit Tafelschützen regulierten Öffnungen und einem breiten Fischpass. Im ersten Betriebsjahr konnten von 728 Gezeitenhuben deren 720 genutzt werden, die Verfügbarkeit der Anlage erreichte damit vielversprechende 99% (Bilder 3 und 4).

Die Machart widerspiegelt den heutigen *Trend zur Vereinfachung* der Ge-



Bild 2. 240 MW-Gezeitenkraftwerk an der Rancemündung in Frankreich. Blick vom Becken Richtung Meer; links die Schiffsschleuse; in der Mitte das Maschinenhaus; rechts das Wehr (Bild EDF)

#### Produktionsziffern:

Installierte Turbinenleistung	240 MW
Jahresproduktion vom Becken zum Meer	537 GWh
vom Meer zum Becken	72 GWh
total	609 GWh
Jährliche Pumpenenergie	65 GWh
Netto-Jahresproduktion	total 544 GWh

#### Bucht:

Halbtägige Gezeiten, Periode 12 h 25 Min.  
Gezeitenhub maximal 13,5 m (Springflut), im Mittel 8,5 m  
Oberfläche 22 km<sup>2</sup>, Sperrenlänge 750 m

#### Maschinenhaus:

Länge 333 m  
24 Rohrturbinen mit regulierbaren Laufschaalen, reversibel und als Pumpen einsetzbar  
24 Generatoren direkt gekoppelt  
3 Transformatoren zu 80 MVA  
Leistung pro Einheit im Turbinenbetrieb 10 MW  
Durchfluss pro Einheit bei 11 m Fallhöhe 130 m<sup>3</sup>/s, bei 9 m Fallhöhe 155 m<sup>3</sup>/s

#### Wehr:

Länge 115 m  
6 Öffnungen mit 15 m breiten und 10 m hohen Hubschützen, grösste Springflut 18 000 m<sup>3</sup>/s (als Bemessungsdurchfluss)

**Schleuse:** 1 Kammer mit 13 m x 65 m Nutzfläche



Bild 3. 20 MW-Pilotanlage Annapolis an der Bay of Fundy, Kanada. Blick vom Meer Richtung Becken; Maschinenhaus und Kommandoraum (Bild Sulzer-Escher Wyss)

zeitennutzung. Im Gegensatz zum Prototyp an der Rance

□ ist das Kraftwerk vom Typ 1, produziert also nur bei Ebbe,

□ weist es eine Strafloturbine anstelle einer Rohrturbine auf, besitzt die Turbine nur feste Laufschaufeln (Propeller-Turbine) und kann dementsprechend nicht reguliert werden,

□ lässt sich die Turbine nicht als Pumpe einsetzen.

Mit dieser Vereinfachung wird eine drastische Verbilligung der baulichen und elektromechanischen Teile angestrebt. Die Zielsetzung der Pilotanlage Annapolis, bei der auch Schweizer Ingenieure massgeblich beteiligt waren, liegt wesentlich in der Erprobung dieser Vereinfachung und insbesondere der Tauglichkeit der Strafloturbinen begründet. Die entsprechenden Erfahrungen sollen als Grundlage für ein bis zwei Grossprojekte an der Bay of Fundy und anderorts dienen.

#### Grossprojekte

Den drei bis jetzt ausgeführten Anlagen steht eine Vielzahl von Projekten gegenüber. Von diesen weisen einige ein gigantisches Ausmass auf!

In Europa wird immer wieder auf das Gezeitenkraftwerk Severn in der gleichnamigen Bucht im Bristolkanal hingewiesen. Das jüngste Projekt sieht ein Einbeckensystem mit einer Sperre von 16 km Länge vor. Das 4,3 km lange Maschinenhaus enthält 216 Rohrturbinen mit 9 m Laufraddurchmesser, das 4,1 km lange Wehr 166 Öffnungen mit Schützen. Die gesamte installierte Leistung erreicht 8640 MW, die durchschnittliche Jahresproduktion 17 Milliarden kWh.

Von den nordamerikanischen Projekten wurden bereits jene in der Bay of Fundy erwähnt. Auch dort handelt es sich um Einbeckensysteme. Das Cumberland-Bucht-Projekt erfordert eine 1,5 km lange Sperre. Sein Maschinenhaus beherbergt 37 Strafloturbinen. Die gesamte installierte Leistung wird mit 1150 MW geplant, was eine mittlere Jahresproduktion von 3180 Millionen kWh erlaubt. Noch grösser ist das Minas-Bucht-Projekt. Es rechnet mit einer 8 km langen Sperre mit einem Maschinenhaus von 106 bis 128 Turbinen und einem Wehr von 50 bis 92 Öffnungen. Die installierte Leistung wird je nachdem auf 4000 bis 4800 MW veranschlagt und die mittlere Jahresproduktion auf 12–14 Milliarden kWh.

Ähnlich gross konzipierte Projekte gibt es auch in Asien – etwa in China, Indien und der UdSSR. Daneben gibt es aber auch noch sehr viele kleinere. Ein Baubeschluss steht aber überall noch aus.

## Problematik der Gezeitenkraftwerke

Die *Kosten* von Gezeitenkraftwerken sind mit wenigen Ausnahmen verhältnismässig hoch. Das liegt daran, dass es sich um Niederdruckwasserkraftwerke handelt, bei denen grundsätzlich grosse Wassermengen beherrscht werden müssen. Das bedingt lange und darum aufwendige Maschinenhäuser und Wehre. Auch verlangt die Topographie der Meeresbuchten mit grossen Gezeitenhüben die Erstellung langer und starker Sperren.

Die *Produktion* der Gezeitenkraftwerke wird stark vom Mondstand beeinflusst, während die menschliche Aktivität und damit der Strombedarf der Konsumenten prinzipiell mit dem Sonnenstand korreliert. Das führt dazu, dass die Produktion der Gezeitenkraftwerke oft zur Unzeit anfällt. Sie muss deshalb durch den Einsatz flexiblerer Kraftwerke, beispielsweise durch Wasserkraftspeicher- und Pumpspeicherwerke, ergänzt werden.

Die Ausdehnung der Gezeitenkraftwerke hat grosse *Umwelteinflüsse* zur Folge. So bedingt die Abriegelung einer Meeresbucht selbstverständlich eine Änderung der örtlichen Gezeitenhübe und -strömungen, was für die Anwohner und insbesondere für die Schifffahrt und die Fischerei weitreichende Konsequenzen haben kann.

Im Vergleich zu diesen inhärenten Nachteilen der Gezeitenkraftwerke ist als Vorteil zu erwähnen, dass die entsprechende *Technik* auf jener der Was-

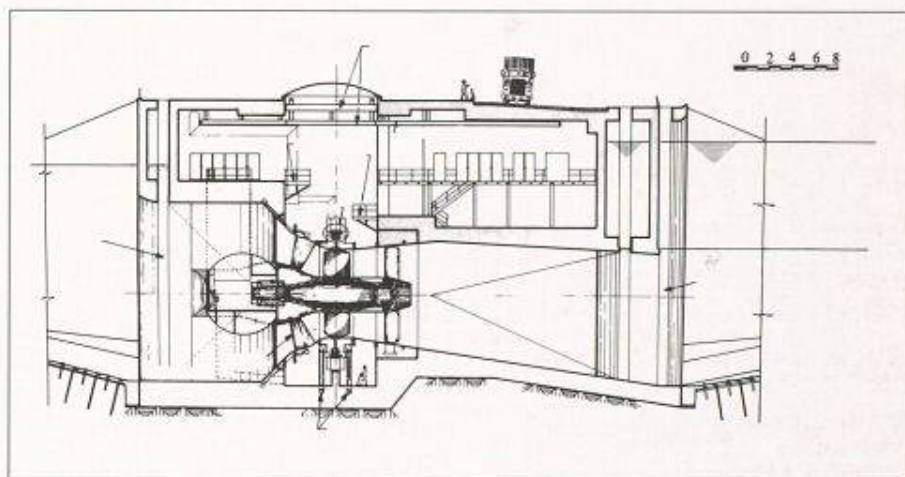


Bild 4. Längsschnitt durch die Strafturbineneinheit des Gezeitenkraftwerkes Annapolis. Laufraddurchmesser 7,6 m (Zeichnung Sulzer-Escher Wyss)

serkraftnutzung und der grossen Flutwehre beruht und darum weitgehend bekannt ist.

### Schlussfolgerungen

Die Tatsache, dass in den 25 Jahren seit der Inbetriebnahme des 240 MW Gezeitenkraftwerkes an der Rance keine weitere Anlage der gleichen oder einer grösseren Klasse erstellt worden ist, spricht für sich. Offenbar hat man bis heute noch keine Lösung gefunden, die den Aufwand, wie er sich bei der Abriegelung einer Meeresbucht notwendigerweise ergibt, wettzumachen vermag. Wohl weist die 1983 in Betrieb genommene Pilotanlage Annapolis einen neuen vielversprechenden Weg. Ein Baubeschluss für ein entsprechendes Grosskraftwerk von mehreren 100 oder

gar 1000 MW scheint jedoch heute wenig wahrscheinlich. Denn eine solche Grossanlage zeitigt unweigerlich eine bedeutende Zahl von Umweltbelastungen, die heute von einer diesbezüglich sensibilisierten Öffentlichkeit nicht akzeptiert werden. Es ist aber leicht vorzusehen, dass die gleiche Öffentlichkeit einmal gezwungen sein wird, unter den verschiedenen, auf dieser Erde verfügbaren Energiequellen eine Wahl zu treffen. Vielleicht dass dann die Gezeitenenergie innerhalb der erneuerbaren Ressourcen als Alternative eher wieder in Frage kommt und ihre Nutzung mit mehr Nachdruck als bisher gefördert wird.

Adresse des Verfassers: Daniel L. Vischer, Prof. Dr., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

## Der «Tempoversuch» und seine wissenschaftliche Fehl-Interpretation

Im Schlussbericht [10] wird der Tempoversuch vom Juli/August 1991 als kleiner Erfolg hingestellt: So soll der Tempoversuch etwas zum allgemein festgestellten Rückgang der Stickoxid-Emissionen beigetragen haben und damit auch Mitursache der verminderten Ozonbelastung sein. Diese Interpretation ist jedoch falsch: Richtig ist zwar, dass von Juli/August 1990 zu Juli/August 1991 sowohl die generelle Stickoxid- als auch die grossflächige Ozonbelastung im Mittel kleiner geworden sind. Wie die folgenden Auswertungen zeigen, ist der im Bericht vorausgesetzte Kausalzusammenhang zwischen diesen beiden Schadstoffabnahmen jedoch nicht gegeben. Dem Tempoversuch können daher auch keine Auswirkungen auf die Ozonbelastung zugesprochen werden.

Anfangs Juni 1991 beschloss der Bundesrat, die Höchstgeschwindigkeiten in den Monaten Juli und August 1991 für bestimmte Autobahnabschnitte ver-

suchsweise auf 100 km/h für PW und auf 70 km/h für LKW zu reduzieren. Damit sollte die Belastung der für die Entstehung von Ozon (O<sub>3</sub>) als verantwortlich

angesehenen Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und bedingt der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) vermindert werden. Verlangt wurde eine wissenschaftliche Begleitung des Versuchs durch das Eidg. Departement des Innern (EDI), vertreten durch das Bundesamt für Um-

VON RENÉ WEIERSMÜLLER,  
SCHLIEREN

welt, Wald und Landschaft (BUWAL). Mit der Projektleitung wurde eine auch für viele andere Umweltabklärungen beigezogene Ingenieurunternehmung beauftragt. Sie hatte ebenfalls den Schlussbericht zu erstellen.

### Resultate im Schlussbericht

Nach dem zusammenfassenden Schlussbericht [10] sollen die Perioden