

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: 77 (1986)

Heft: 9

Artikel: Die Energiespeicherung im Rahmen des Schweizerischen Energiekonzepts

Autor: Kohn, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904190>

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: 17.07.2025

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

Die Energiespeicherung im Rahmen des Schweizerischen Energiekonzepts

M. Kohn

Die Energieversorgung soll bekanntlich ausreichend, wirtschaftlich und umweltschonend sein. Es wird untersucht, ob und wieweit die Speicherung diesen Zielen dient. Auch für die Realisierung der Postulate einer zeitgerechten Energiepolitik – Sparen, Forschen, Substituieren und Vorsorgen – ist die Speicherung, wenn auch mit unterschiedlicher Bedeutung, von Belang. Speicherung ist deshalb ein wesentlicher Teil eines nationalen Energiekonzepts. Schliesslich erfolgt eine Einführung in einige Hauptfragen von energiepolitischer Bedeutung.

L'alimentation en énergie électrique doit être suffisante, économique et non polluante. L'auteur examine si et dans quelle mesure le stockage peut contribuer à ces buts, de même qu'aux postulats d'une politique énergétique actuelle: économie, recherche, substitution et prévoyance. Le stockage est, par conséquent, un élément important de la conception nationale de l'énergie. Suit une introduction à quelques questions importantes en politique de l'énergie.

Vortrag anlässlich der SEV-Informationstagung «Energiespeicherung in Grossanlagen» vom 20. März 1986 in Bern.

Adresse des Autors

Dipl. Ing. M. Kohn, Präsident der Aare-Tessin AG, Olten; Präsident der ehem. Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption (GEK); Postfach 4174, 8022 Zürich.

1. Einleitung

Dass Energie gespeichert werden muss, brauchte eigentlich nicht erst durch ein Energiekonzept entdeckt zu werden. Der primitive Mensch wusste schon von Natur aus, dass er Getreide und Wasser speichern muss, um sich zu ernähren, dass er im Herbst Holz sammeln muss, um im Winter nicht zu frieren. Die Energiespeicherung drängt sich auf, weil Energiebedarf und Energieangebot häufig weder zeitlich noch örtlich zusammenfallen. Sie hat also den Zweck

- einen zeitlich strukturierten Bedarf durch eine zeitlich verschobene Produktion zu decken: Energie soll also in der Zeit verschoben werden können;
- einen an einem Ort entstehenden Bedarf durch eine an einem anderen Ort anfallende Produktion zu decken: Energie soll auch räumlich verschoben werden können.

Wer sich die Frage stellt, was für eine Bedeutung die Speicherung in der modernen, auf Kontinuität und Sicherheit angelegten Energieversorgung hat, der möge sich einmal ausmalen, wie diese Versorgung aussähe, wenn es keine Speicherung gäbe. Die Gruselszenarien wären Legion. Ohne Speicherung keine Energieversorgung. Doch gibt es Speicherung und Speicherung, gute und schlechte, effiziente und verlustreiche, wirtschaftliche und kostspielige, sinnvolle und sinnlose. Es ist deshalb ein grosses Verdienst des SEV, an einer speziellen Tagung wieder einmal das Speicherproblem in den Mittelpunkt der Betrachtung zu rücken, sich also nicht nur mit der Produktion und dem Verbrauch zu beschäftigen, sondern ein Augenmerk auf die dritte Kraft zu werfen, die auf dem Weg vom Produzenten zum Konsumenten eingebettet ist: der Speicher.

2. Speichersysteme technisch und wirtschaftlich gesehen

Nachfolgend soll eine Übersicht über die «State of the Art» vorgenommen werden: Welche Speicherarten gibt es, wie sind Wirkungsgrad, Kosten und Wirtschaftlichkeit zu beurteilen?

2.1 Speichernatur [1]

Grundsätzlich sind folgende Arten von Energiespeichern zu unterscheiden:

- Speicherung in Form stofflicher Energieträger (zum Beispiel Öl, Gas, Kohle, Uran, Holz);
- Speicherung von potentieller Energie (zum Beispiel Wasser in Stauseen, Druckluft für Gasturbinen), Speicherung von kinetischer Energie (zum Beispiel Schwungräder, supraleitende Magnetspulen), Speicherung von chemischer Energie (zum Beispiel Batterien);
- Speicherung von Wärme [1], Temperaturerhöhung oder Schmelz- bzw. Verdampfungswärme (zum Beispiel Speichersteine, Dampfspeicher, Paraffine).

Die Speicherung in Form stofflicher Energieträger ist unproblematisch. Die Ladung und Entladung des Speichers sind nicht mit einer Energieumwandlung verbunden. Die Speicherluste sind gering, die Wertigkeit der gespeicherten Energie ist hoch.

Bei der Speicherung potentieller Energie bedingt die Ladung des Speichers eine zusätzliche Energieumwandlung. Die Transformation in Nutzungsrichtung kann konventioneller Art sein. Die gespeicherte Energie hat ebenfalls eine hohe Wertigkeit. Sie kann in den meisten Fällen direkt in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt werden, d.h. die Exergie

ist hoch. Es ist deshalb ganz natürlich, dass diese Speicherart im Bereich der elektrischen Energieversorgung am meisten verbreitet ist. Dort liegen auch die längsten Erfahrungen vor. Daher kann diese Speicherart am besten wirtschaftlich beurteilt werden.

Die Speicherung der Wärme kommt dann zum Einsatz, wenn Energie in Form von Wärme bei einer bestimmten Temperatur anfällt oder als Wärme genutzt werden soll. Grundsätzlich ist eine Speicherung auf verschieden hohem Temperaturniveau möglich, wobei die Niedertemperaturspeicherung im Hinblick auf die Nutzung der Sonnenenergie für die Raumheizung eine gewisse Aktualität hat.

2.2 Beurteilung der Energiespeichersysteme [3]

Folgende Kriterien sind für die Beurteilung der verschiedenen Speicherarten von Bedeutung:

- Der Speicherwirkungsgrad

Dieser ist stark abhängig von der Speicherart. Die mögliche Speicherdauer ist für potentielle Energie (Stausee) beliebig lang, für kinetische Energie (Schwungrad und im molekularen Bereich Wärme) jedoch beschränkt. Deshalb sind die Verluste bei der Speicherung von kinetischer Energie bedeutend grösser als für Speicher von potentieller Energie.

- Die Kosten der Energie, die gespeichert werden soll

Im allgemeinen ist Speicherung nur sinnvoll, wenn die Kosten der einzuspeichernden Energie geringer sind als der Preis für die vom Speicher bezogene Energie. Dies ist der Fall bei der Sommerenergie und in der Regel der Nachtenergie bei der Elektrizitätsversorgung. Die Relationen können Grössenordnungen von 3:1 bis 4:1 erreichen. Eine Speicherung ist wirtschaftlich um so interessanter, je grösser dieses Verhältnis ist.

- Die Anzahl Speicherzyklen im Jahr

Äusserst bedeutsam ist die Anzahl Speicherzyklen im Jahr, mit welchen der Speicher geladen und entladen wird. Damit ist das grundsätzliche Problem von saisonalen Niedertemperaturspeichern aufgezeigt. Die Energiedichte ist so gering, dass sich zum Beispiel der Aufwand für einen künstlichen Speicher (Betontank) bei einem jährlichen Speicherzyklus nicht lohnt. Deshalb kommen dafür nur natürliche Speicher (Speicherseen, Untertagspeicher) in Frage.

- Die Kosten des Speichervolumens

Die Kosten des Speichervolumens bzw. die Kosten pro gespeicherte Energieeinheit dürfen um so höher sein, je häufiger der Speicher beansprucht wird.

- Die Kosten für die Installation zur Energieumwandlung

Diese werden ähnlich bestimmt wie bei der Energieerzeugung, d.h. bei der elektrischen Energieversorgung durch die gleichen Aggregate, wie Generatoren, Umrichter usw., bei der Wärmeversorgung vor allem durch Wärmetauscher und Rohrleitungen. Sie machen jedoch nicht den Hauptanteil der Kosten der ganzen Speicheranlage aus.

- Die Wertigkeit der gespeicherten Energie

Hochqualitative Primärenergie, d.h. Energie mit hohem Umsetzungspotential in mechanische bzw. elektrische Energie, erlaubt die Wahl verschiedenartiger Speichermethoden, je nach den Anforderungen. Je höher die Qualität der zur Verfügung stehenden Primärenergie, desto höher wird im allgemeinen die Energiedichte im Speicher gewählt werden können. Dazu ein Beispiel:

Mit Wärme von 1000 °C kann zum Beispiel ein chemischer Kreisprozess zur Wasserspaltung betrieben und der erzeugte Wasserstoff gespeichert werden. Auch kann mit einer Dampfturbine eine Pumpe angetrieben werden und Wasser zu einem hochgelegenen Stausee gepumpt werden. Ebenso stehen alle thermischen Speicherarten zur Verfügung. Will man hingegen Wärme von 100 °C verwerten, wie sie zum Beispiel von Flachkollektoren für die Nutzung der Sonnenenergie anfällt, so bleibt fast nichts anderes als ein Wasser- oder Erdspeicher übrig.

Daraus ergibt sich, dass der Preis für gute Speichereigenschaften mit hoher Qualität der Primärenergie zu bezahlen ist.

Die Energiespeicherung ist demnach um so eher gerechtfertigt, je höherwertiger die gespeicherte Energie pro Volumeneinheit ist. Daher sind die Pumpspeicherung, Speicherung bei hohem Druck und die Speicherung mit Batterien unbestritten. Bei der Speicherung von Wärme bei niedriger Temperatur gibt es hingegen nicht nur Schwierigkeiten wegen der niedrigen Exergie, sondern auch wegen der geringen Zahl von Speicherzyklen pro Jahr (Saisonspeicher).

2.3 Technische Vervollkommnung und Innovation

Ob es sich um Kohle, Gas, Luft, neue Brennstoffe durch Photosynthese oder schliesslich um die Speicherung über die Thermochemie handelt, überall sind Forscher und Ingenieure am Werk, um bestehende Lösungen zu verbessern oder neue Ideen in die Tat umzusetzen. Auch in der Bewirtschaftung von Speichern sind neue Überlegungen am Platz. Diese Fragen sind im einzelnen Gegenstand der übrigen Re-

ferate der Tagung [4...12]. Gemeinsam ist all diesen Beiträgen die Tatsache, dass der Speicher nicht als Einzelanlage, sondern zusammen mit den Umwandlungsanlagen als Energiesystem betrachtet wird. Damit ist Gewähr für eine ganzheitliche Betrachtung der Dinge geboten.

3. Die Einbettung der Energiespeicherung in die schweizerische Energiekonzeption

Die Energiespeicherung hat nicht nur eine technisch-betriebliche, sondern eine energiepolitische Komponente. Sie muss den Kriterien einer modernen, zeitgerechten Energieversorgung genügen.

Die Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption (GEK) hat im Jahre 1978 richtungsweisend die Ziele und Postulate einer Energiepolitik formuliert [2]. Die Energieversorgung hat dabei *ausreichend, wirtschaftlich und umweltschonend* zu sein. Die Massnahmen, die dazu in der heutigen Zeit nötig sind, bestehen aus *Sparen, Forschen, Substituieren, Vorsorgen*. Wie passt nun die Energiespeicherung in diese Ziel-Mittel-Hierarchie?

3.1 Energiespeicherung und die Ziele der Energieversorgung

Dass eine Speicherung Reserven schafft und damit der Forderung nach *ausreichender* Versorgung in idealer Weise gerecht wird, muss nicht länger erläutert werden. Ob es sich um eine Kohlehalde, Batterien von Öltanks, Untertagspeicher für Gas oder akkumulierte Elektrizität im Speichersee der Alpen handelt, immer wird dank der Reservebildung an die Gewährleistung einer kontinuierlichen Energieversorgung beigetragen.

Auch auf die *Wirtschaftlichkeit* der Versorgung dürfte sich die Existenz von Speichern in der Regel positiv auswirken. Zwar ist die Speicherung für sich selbst betrachtet mit Kosten verbunden. Aber die Verluste, die im industriellen Prozess durch Energiemangel entstehen könnten, übersteigen die Kosten einer gesicherten Versorgung um einiges. Deshalb ist die Forderung nach Sicherheit der Energie, vor allem der Stromversorgung, durch Bereitstellung der notwendigen Reservekapazitäten so imperativ. Berechnungen im Rahmen der Arbeiten der GEK haben gezeigt, dass die Ein-

busse am Bruttosozialprodukt durch einen anhaltenden Stromausfall 30mal mehr Verlust bringt, als der ausgefallene Strom wert ist. Mit anderen Worten: Der Mangel an 1 kWh elektrischer Energie mit einem Wert von 10 Rappen verursacht einen volkswirtschaftlichen Schaden von 3 Franken. Oder noch anders gerechnet: Ein anhaltender Strommangel in der Grössenordnung einer jährlichen Produktion eines grossen Kernkraftwerks reisst in unser Volkseinkommen ein Loch, das dreimal grösser ist, als das ganze Kraftwerk kostet.

Einen Beitrag an die Wirtschaftlichkeit der Versorgung leistet die Speicherung auch dann, wenn im geeigneten Zeitpunkt durch das Anlegen von Lagern Energie günstiger gespeichert wird als ihre Beschaffung im Bedarfsfall zu Spotmarktpreisen. Allerdings kann dieses Vorgehen auch zu Verlusten führen.

Dem Postulat *umweltschonend* wird durch die Speicherung prima vista nicht gerade entgegengekommen. Speicheranlagen, vor allem die Energiespeicherung in Grossanlagen, kommen in die Landschaft zu liegen und können zu Belastungen der Umwelt führen. Doch ist auch hier eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen, welcher ganzheitliche Betrachtungen zugrunde gelegt werden müssen. In Schwachlastzeiten im Akkumulierbecken gespeicherte Elektrizität kann dank der zeitlichen Verlagerung in Spitzenzeiten zur Deckung eines elektrischen Spitzenbedarfs herangezogen werden, wodurch der Einsatz von Gasturbinen oder ölthermischen Reserveeinheiten im In- oder Ausland vermieden werden kann. Welche Belastung ist grösser: die optische durch die Staumauer oder die luftthygenische durch den Schadstoffausstoss der konventionell-thermischen Produktion?

Die umweltbelastende Wirkung der Energiespeicherung darf also relativiert werden. Trotzdem ist es notwendig, Mittel und Wege zu suchen, um die Umweltverträglichkeit der Speicher, insbesondere der Grossspeicher, optimal zu gestalten [9].

3.2 Energiespeicherung und die Postulate der Energiepolitik

Vorsorgen

Von allen Postulaten profitiert die *Vorsorge* von der Erstellung von Speicheranlagen am meisten. Hier sind die wirtschaftliche Landesvorsor-

ge und die Sicherheitspolitik angesprochen. Das Bundesgesetz über die wirtschaftliche Landesversorgung zählt die Energieträger zu den lebenswichtigen Gütern, also gehört auch deren Lagerung dazu. Bei Erdöl und Kohle sind Pflichtlager anzulegen, die den Landesverbrauch in Krisenzeiten für mindestens sechs Monate decken. Die Elektrizitätswirtschaft kommt diesen Anliegen nach, indem jedes Kernkraftwerk im Werk selbst über eine Brennstoffreserve verfügt, die die Aufrechterhaltung einer Produktion von 1-2 Jahren ermöglicht.

Einzig die schweizerische Gaswirtschaft laboriert noch an der Lösung des Reservehaltungsproblems herum. Der Bund möchte auch für Erdgas Pflichtlager. Technische Schwierigkeiten haben das Vorhaben bisher verzögert. Gesucht wird ein natürlicher, unterirdischer Grossspeicher. Die Energiespeicherung mit Gas ist schon aus sicherheitspolitischen Gründen ein wichtiges Thema [7].

Energiesparen

Im grossen ganzen dürfte die Speicherung in bezug auf die rationelle Energieverwendung neutral sein. Dem Mehrverbrauch für die Erstellung und den Betrieb des Speichers steht der Gewinn aus der Flexibilität der Versorgung gegenüber. Die Möglichkeit, Energieangebot und Energiebedarf räumlich oder zeitlich zur Deckung zu bringen, kann den Gesamtwirkungsgrad der Versorgung aufwerten.

Was aber zur Befriedigung des Spargedankens nötig ist, sind die rationelle Ausgestaltung, die Effizienzsteigerung und die optimale Bewirtschaftung der Speichersysteme [4; 5; 6].

Forschen

Zur Energieforschung trägt die Speicherung als solche wenig bei. Aber dank der Forschung lässt sich die Speicherung ausbauen und verbessern. Hier sind der Forschungs- und Erfindertätigkeit keine Grenzen gesetzt. Vor allem mit der Speicherung der elektrischen Energie hat sich der menschliche Geist seit langem beschäftigt. Aus verschiedenen Ländern, vor allem aus Deutschland, kommen Nachrichten über neue Trends bei Patentanmeldungen. Vielleicht macht auch an dieser Tagung die Meldung über eine Novität Schlagzeilen. Jedenfalls ist die Forschungstätigkeit auf dem Gebiete der

Speicherung keine Fehlinvestition, weder eine finanzielle noch eine geistige.

Erdöl substituieren

Einen direkten Einfluss auf den Abbau des Erdölanteils hat die Speicherung nicht, es sei denn, die Speicherung der Substitutionsenergie erweise sich als kostengünstiger oder wirtschaftlich attraktiver. Aber indirekt und im Gesamtzusammenhang betrachtet, erlaubt die Speicherung von Elektrizität und die Verwertung von elektrischer Überschussenergie den Ersatz fossiler Energie. Über die entsprechenden Rahmenbedingungen (Marktverhältnisse, Abhängigkeiten von Mengen und Zeitpunkt) sowie von anderen Verwertungsmöglichkeiten handelt [5].

Zusammenfassung

Die Energiespeicherung ist ein wertvolles Element der Energieversorgung; es erhöht ihre Flexibilität und Sicherheit und leistet den Anforderungen der Energiepolitik Genüge. Sie ist aus der Energieszene nicht wegzudenken. Sie ist Bestandteil der Energiekonzeption.

Ferner kann festgestellt werden, dass die Energiespeicherung die Energieprobleme entschärft. Probleme, die sich allenfalls aus dem Bau und Betrieb in ökologischer Hinsicht ergeben könnten, werden durch die Vorteile bezüglich der Sicherheit und der Anpassungsfähigkeit kompensiert.

4. Internationale Aspekte der Energiespeicherung

So wie unsere Energieversorgung in das globale Energiesystem eingebaut ist, hat auch die Energiespeicherung eine internationale Komponente. Ganz besonders wirkt sich diese bei der elektrischen Energie aus. Da die Produktion schwankt und besonders zu Schwachlastzeiten den Bedarf übersteigt, wird Strom exportiert, um dann zu anderen Zeiten und in anderen Qualitäten wieder importiert zu werden. Kommt dazu, dass die Reservestrategie der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft dadurch gekennzeichnet ist, dass im Gegensatz zum Ausland praktisch keine stillstehenden Reservekraftwerke gehalten werden. Die nicht benötigte Überschussenergie wird exportiert, bis sie durch den jähr-

lich wachsenden Konsum im eigenen Netz resorbiert wird. Der Export von heute ist die Reserve von morgen.

Hier stellt sich die Frage, ob die Reservephilosophie nicht international angelegt sein sollte. Versinnbildlicht würde diese Idee mit dem «Speicher im Ausland». Die Gaswirtschaft liebäugelte bereits mit einem Untertagespeicher im süddeutschen Raum; Umweltschutzkreise, besonders Kernkraftwerkgegner, würden den Strombezug aus ausländischen Kraftwerken oder Reserveanlagen dem Bau eigener Stromerzeugungsanlagen vorziehen.

In diesen Fragen wird wie so oft der Weg der Mitte der gangbarste sein. In einem immer näher zusammenwachsenden Europa dürfte eine Politik der völligen Autarkie jedes Landes in der Frage der Reservehaltung kostspielig und sinnwidrig sein. Vor allem für den kurz- und mittelfristigen Bereich dürf-

te die gegenseitige Aushilfe wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll sein. Für die langfristigen Bedürfnisse speziell auf dem Gebiet der Elektrizität sollte jedes Land jenen Grad der Selbstversorgung anstreben, der ihm ermöglicht, seine Grundversorgung auch ohne Hilfe des Auslandes sicherzustellen. Bei aller Sympathie für die internationale Zusammenarbeit in der Reservehaltung: Kaiseraugst in der Schweiz ist mir lieber als ein Speicher im Ausland!

Damit kommt auch zum Ausdruck, dass Speicherung zwar etwas Wesentliches, aber keinesfalls Selbstzweck sein kann. Speicherung muss mit Produktion gepaart sein, Speichersysteme müssen mit Verteilnetzen verknüpft bleiben. Der Dreiklang «Produktion – Speicherung – Konsum» ist es, welcher der Energieversorgung die nötige Harmonie verleiht.

Literatur

- [1] P. Kesselring: Zur Energiedichte im Latentwärmespeicher – einige grundsätzliche physikalische Überlegungen. In: Rationelle Energienutzung durch Wärmespeicherung. Tagung, Stuttgart 1977, VDI-Berichte 288. Düsseldorf, VDI-Verlag, 1977; S. 87...95.
- [2] Das Schweizerische Energiekonzept. Schlussbericht. 3 Bände. Bern, Eidgenössische Kommission für die Gesamtenergiekonzeption/EDMZ, 1978.
- [3] Energiesysteme: Angebot und Perspektiven. In: Das Schweizerische Energiekonzept. Schlussbericht. Band 1. Bern, Eidgenössische Kommission für die Gesamtenergiekonzeption/EDMZ, 1978; S. 287...371.
- [4] P. Kesselring: Speicherung und Transport von Energie. Ein wichtiges Thema für künftige Energiesysteme. Bull. SEV/VSE 77(1986)9; S. 490...494.
- [5] H. Glavitsch: Verwertung von elektrischer Überschussenergie. Bull. SEV/VSE 77(1986)9; S. 495...499.
- [6] J.-L. Savary: Gestion énergétique des lacs à accumulation. Bull. ASE/UCS 77(1986)9; p. 500...504.
- [7] P. Zaugg: Energiespeicherung mit Gas und Luft. Bull. SEV/VSE 77(1986)9; S. 505...511.
- [8] J.-C. Hadorn: Le stockage saisonnier de chaleur. Bull. ASE/UCS 77(1986)9; p. 512...517.
- [9] C. Zimmermann: Die Prüfung der Umweltverträglichkeit bei Grossanlagen zur Energiespeicherung. Bull. SEV/VSE 77(1986)9; S. 518...521.
- [10] G. Beghi: Production thermochimique de vecteurs d'énergie. Bull. ASE/UCS 77(1986)9; S. 522...527.
- [11] H. Barnert: Neue Energiesysteme auf der Basis von Kohle. Bull. SEV/VSE 77(1986)9; S. 528...532.
- [12] G. Calzaferri: Neue Brennstoffe durch Photosynthese. Bull. SEV/VSE 77(1986)9; S. 533...537.