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: 87 (1996)

Heft: 22

Artikel: Einfache Modellierung der Entwicklung des Energieverbrauchs von Energieanwendungen

Autor: Schwarz, Jürg / Spreng, Daniel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902385

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

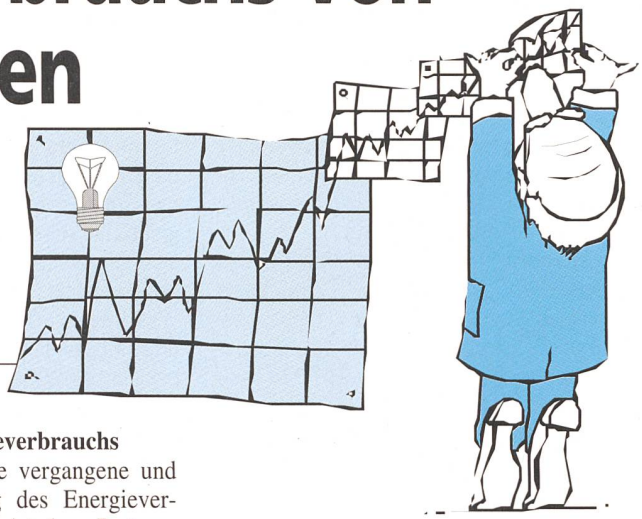
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media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

Download PDF: 15.07.2025

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

Bis vor einigen Jahren war die Energieverbrauchszunahme in der Schweiz beinahe ungebrochen. Der Elektrizitätsbedarf wuchs exponentiell an und dementsprechend wurde das Stromangebot laufend angepasst. Fehleinschätzungen der kommenden Entwicklung wurden durch den Zuwachs früher oder später wettgemacht. Heute, am Ende des industriellen Zeitalters und unter dem Einfluss wirtschaftlicher Einbrüche, ist die Nachfrage schwankend oder sogar rückläufig. Energieversorger und die Konsumenten, aber auch Politikerinnen sind vermehrt daran interessiert, die künftige Entwicklung des Energiebedarfs vorauszusagen. Für eine «schnelle» Abschätzung kann, vor allem unter dem Eindruck der stürmischen Zunahme in der Vergangenheit, die Entwicklung exponentiell – oder wenigstens «geradlinig» – weitergeführt werden. Doch der künftige Verbrauch wächst nicht in den Himmel. Als Alternative bietet sich eine Abschätzungsmethode an, die der Endlichkeit Rechnung trägt. In diesem Bericht wird die künftige Entwicklung des Energieverbrauchs, mit Hilfe von zwei analytischen Funktionen, aus der vergangenen Entwicklung abgeleitet.

Einfache Modellierung der Entwicklung des Energieverbrauchs von Energieanwendungen



■ Jürg Schwarz und Daniel Spreng

Einleitung

Darstellung des Energieverbrauchs

Eine Möglichkeit, die vergangene und zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs zu beschreiben, ist der «Bottom-up»-Ansatz. Dabei wird der Energieverbrauch einzelner Energieanwendungen in einem Land (oder einer anderen wirtschaftlichen Einheit) «zusammengezählt». Der Energieverbrauch der einzelnen Anwendungen wird als Kombination einer Nutzung und dem typischen Energieverbrauch dafür dargestellt. Beispielsweise kann der Elektrizitätsverbrauch für Licht in den Schweizer Haushalten als Summe über den Elektrizitätsverbrauch aller Lampen dargestellt werden. Dieser kann für jede einzelne Lampe als «Anzahl benutzter Stunden (Nutzung) mal Elektrizitätsverbrauch pro Stunde (spezifischer Energieverbrauch)» berechnet werden.

Schwierigkeiten bei der Beschreibung

Neben der Datenproblematik – oft sind zu wenige oder ungenaue Daten vorhanden – ergeben sich andere schwierige Fragen bei der Anwendung des Bottom-up-Ansatzes.

Erstens: Welches ist die richtige Aufteilung des real anfallenden Energieverbrauchs in «Nutzung» und «spezifischen Verbrauch»? Das scheint machbar, beispielsweise bei einer Treppenhausbeleuchtung, wo über eine Zeitschaltuhr die Benutzungsdauer bestens bekannt ist und der Anschlusswert der Lampen über den

Adresse der Autoren
Jürg Schwarz
Prof. Dr. *Daniel Spreng*
Forschungsgruppe Energieanalysen
Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, ETH Zentrum (ETL), 8092 Zürich.

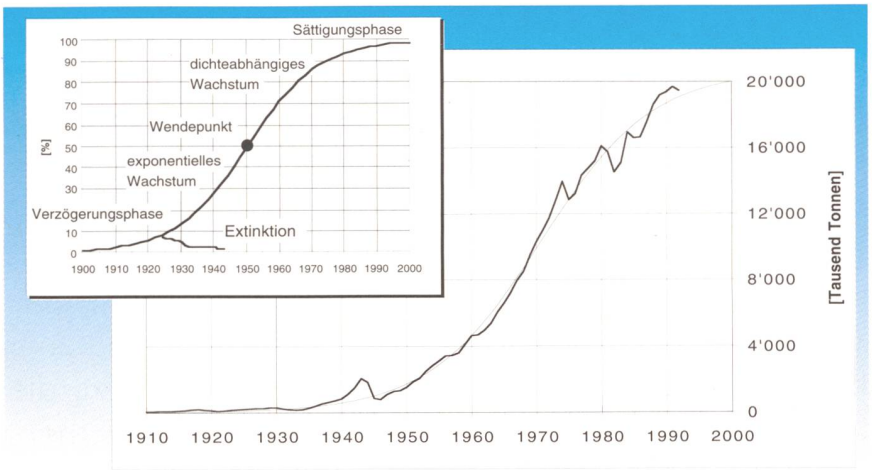


Bild 1 Weltweite Produktion von Hüttenaluminium [1], mit eingezeichnetem Fit einer S-Kurve. Das kleine Bild zeigt die verschiedenen Phasen im Verlauf einer logistischen Funktion.

Elektrizitätsverbrauch für die Beleuchtung Auskunft gibt. Wie lange ist aber die Benutzungsdauer aller Treppenhausbeleuchtungen in der ganzen Schweiz? Und wie deren Anschlusswerte? Wie viele Lampen sind insgesamt in Schweizer Haushalten installiert? Es müssen notgedrungen andere Grössen herangezogen werden, um den Elektrizitätsverbrauch für die Beleuchtung zu beschreiben. Zum Beispiel die Wohnfläche, oder die Anzahl der Haushalte oder deren Bewohner. Damit wird aber die Aufteilung in Nutzung und spezifischen Elektrizitätsverbrauch schwieriger, denn jetzt lautet die nicht einfach zu beantwortende Frage: Wie lange brennen in einem durchschnittlichen Haushalt wie viele Lampen mit welchem Anschlusswert?

Zweitens: Welches sind die Möglichkeiten, den Verlauf der Entwicklung vorauszusagen? Werden die Treppenhäuser in der Zukunft heller oder mit Energiesparlampen ausgerüstet werden? Mit welcher Methode soll die Zukunft berechnet werden? Mit linearer Extrapolation der vorhandenen Entwicklungen? Oder sollen raffinierte (statistische) Methoden angewendet werden?

Vereinfachte Darstellung

Dieser Bericht beschreibt, wie der Energieverbrauch einzelner Energieanwendungen auf zwei Einflüsse reduziert werden kann. Zum einen auf die exponentielle Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs, zum anderen auf die logistische Marktdurchdringung einer Energieanwendung. Diese Entwicklungen sollen nur aus «sich heraus» wirksam sein. Der Einfluss der Benutzerinnen und ihre Verhaltensänderungen wurde ebensowenig in Betracht gezogen wie wirtschaftliche oder klimatische Bedingungen oder Trendbrüche. Im vorliegenden Bericht ist das Auseinanderhalten der beiden Komponenten nicht immer leicht möglich. Das Ziel der hier gemachten Untersuchungen ist aber nicht in erster Linie quantitative Aussagen zu machen, sondern beispielhaft den Einfluss der beiden Entwicklungen auf den Energieverbrauch aufzuzeigen. So beinhaltet im Abschnitt über das Wäschewaschen die Diffusion nicht nur die Anzahl Waschmaschinen pro Haushalt, sondern eine gemischte Grösse von der Art «Anzahl Waschmaschinen mal gewaschene Wäsche pro Haushalt mal Waschtemperatur pro Waschgang». Und der spezifische Verbrauch bezieht sich nicht nur auf die heute bekannten Waschvollautomaten, sondern durchaus auf das Waschen in irgendwelchen elektrisch beheizten Behältern.

Dieser Artikel ist eine gekürzte Fassung der Ravel-Publikation «Einfache Modellierung der Entwicklung des Energieverbrauchs von Energieanwendungen», zu bestellen bei der EDMZ, 3003 Bern, Bestellnummer: 724.357.12.35 D.

Methode

Die Verlaufskurven der beiden Einflüsse werden bei einigen Beispielen – teilweise mit Hilfe spekulativer Annahmen – mit realen Daten in Übereinstimmung gebracht. Dabei kommen einfache mathematische Methoden zur Anwendung, um aus den vorhandenen Daten die drei Parameter der logistischen Funktion und die vier Parameter der Exponentialfunktion zu schätzen. Durch die Fortführung der Verläufe ist es möglich, Varianten der künftigen qualitativen Entwicklung des Elektrizitätsbedarfs einiger Anwendungen anzugeben. Dieses Verfahren eignet sich wegen der durchschaubaren Struktur für eine schnelle Abschätzung, die der vorausgesetzten Endlichkeit Rechnung trägt. Dadurch, dass eine feste, inhärente Entwicklung vorausgesetzt wird, können Abweichungen davon als Auswirkungen anderer Einflüsse um so besser gedeutet werden (Beispiel: Trendbruch bei der ersten Ölkrise). Zudem können andere Einwirkungen bei der Berechnung des künftigen Energiebedarfs mit dieser Methode direkt beschrieben werden. Beispielsweise würde sich ein verändertes (Kauf)verhalten – zum Beispiel verursacht durch (Umwelt)bewusstseinsbildung – in einer geringeren Marktdurchdringung und damit in einer gedämpften Energieverbrauchsentwicklung niederschlagen.

Einsatz bei kumulierten Elektrizitätsanwendungen

Bei einzelnen Anwendungen und Geräten kann die Darstellung des Elektrizitätsverbrauchs mit den Entwicklungen des spezifischen Verbrauchs und der Marktdurchdringung problemlos angewendet werden. Ebenfalls möglich ist – wenn auch etwas komplexer – die Entwicklung des Energieverbrauchs mehrerer Anwendungen mit demselben Ansatz zu modellieren. Im letzten Abschnitt wird der kumulierte Elektrizitätsverbrauch mehrerer Gerätetypen – am Beispiel der Unterhaltungs- und Heimelektronik – beschrieben. Die zentrale Annahme ist, dass sie in immer schnellerer Folge auf dem Markt erscheinen und ihn immer schneller durchdringen. Trotz immer geringerem spezifischen Verbrauch jedes neu auf den Markt gebrachten Gerätetyps resultiert für die ganze Gruppe kumuliert eine erhebliche Elektrizitätsverbrauchszunahme. Die umgekehrte Entwicklung kann sich ergeben, wenn für die Geräte genügend niedrige Verbrauchszielwerte, welche die technische Entwicklung beschleunigen, vorgegeben sind. Trotz laufend zunehmender Gerätedichte resultiert dann auch kumuliert eine Abnahme des Verbrauchs.

Diffusion und spezifischer Verbrauch einer Energieanwendung

Beispiel Aluminiumproduktion

Der Energieverbrauch für eine bestimmte Energiedienstleistung oder der Energieaufwand, der für die Produktion eines bestimmten Materials aufgewendet werden muss, kann als Produkt von spezifischem Verbrauch und einer Menge beschrieben werden:

Energieverbrauch = spezifischer Energieverbrauch × Menge

Mit diesem Ansatz kann beispielsweise der weltweite Energieverbrauch zur Aluminiumerzeugung aus der Menge des in den Jahren 1910 bis 1992 weltweit produzierten Hüttenaluminiums und dem Energieverbrauch zur Produktion einer Mengeneinheit Aluminium in dieser Zeitspanne berechnet werden.

Angenommen, der spezifische Verbrauch zur Produktion von Hüttenaluminium wird durch technische Verbesserungen weiterhin exponentiell kleiner und der Absatz pegelt sich s-förmig auf einem bestimmten Sättigungsniveau ein. Dann bewirken diese zwei Einflüsse in den nächsten Jahren gleichzeitig, dass der Energieverbrauch für die Aluminiumproduktion abnimmt. Die Menge, die in Gebrauch ist und rezykliert wird, kann dabei durchaus weiterhin zunehmen (Bilder 1–3).

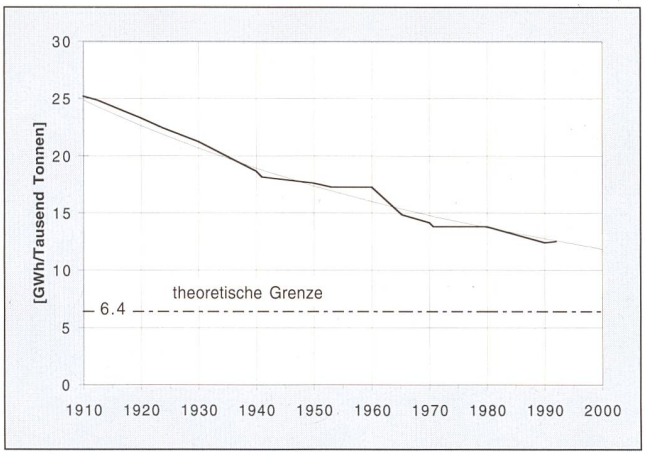


Bild 2 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch für die Produktion von Hüttenaluminium [1], [2], mit eingezeichnetem exponentiellen Fit.

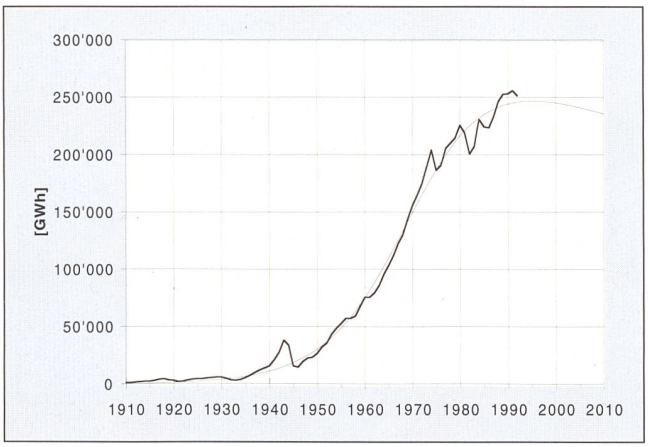


Bild 3 Weltweiter Elektrizitätsverbrauch für die Produktion von Hüttenaluminium, mit eingezeichnetem Fit und möglichem Verlauf bis zum Jahr 2010, unter der Annahme einer exponentiellen Senkung des spezifischen Verbrauchs und einer s-förmigen Produktionssättigung.

Entwicklung des spezifischen Verbrauchs

Die zeitliche Entwicklung des spezifischen Verbrauchs unterliegt verschiedenen Einflüssen. Oft wird er kontinuierlich verbessert, mit einer fast konstanten, jährlichen Rate und nähert sich somit exponentiell einer bestimmten Grenze. Bei der Erzeugung von Aluminium bleibt immer ein bestimmter Teil der eingesetzten Energie im Material als chemische Energie gespeichert. Der spezifische Verbrauch ist in den letzten hundert Jahren beim vorliegenden Beispiel jährlich im Mittel um rund 0,74% verringert worden und liegt heute doppelt so hoch wie der theoretisch minimale Wert von 6,4 GWh Elektrizität pro tausend Tonnen produziertem Material [1], [2]. In Bild 2 ist ein exponentieller Fit in den realen Verlauf spezifischen Verbrauchs eingezeichnet. Wie das Beispiel der Lampen zeigt, sind auch sprunghafte Veränderungen des spezifischen Verbrauchs möglich, wenn eine neue Technologie eingeführt wird (Bild 8 im Kapitel «Elektrizitätsverbrauch für Licht im Haushaltsektor»). So hat die Einführung der Fluoreszenzlampen in der Mitte dieses Jahrhunderts den spezifischen Verbrauch der Lichterzeugung um 60% gesenkt. Der Verlauf des spezifischen Verbrauchs bezieht sich hier auf die neuesten auf dem Markt erhältlichen Geräte und Anwendungen. In Gebrauch ist aber ein Mix von verschieden alten Geräten. Die Altersverteilung hängt von der Lebensdauer und davon ab, wie schnell die Geräte und Anwendungen im Markt auftauchen. Durch Verschieben der gesamten Kurve des spezifischen Verbrauchs um einen der Lebensdauer und der Markteinführungszeit angepassten Zeitabschnitt kann sie der realen Altersverteilung der Geräte, mit den entsprechenden spezifischen Verbräuchen, angenähert werden.

Diffusion von Geräten und Energieanwendungen

Mit einer logistischen Funktion – auch S-Funktion genannt – kann der zeitliche Verlauf des Marktanteils (Diffusion) einer neue Energieanwendung oder eines neuen Gerätes, die in den Markt eindringen, beschrieben werden (Bild 1). Die S-Funktion ist die Lösung einer Differentialgleichung, in der Eigenschaften eines Produktes (Lebensdauer) und die Dynamik des Marktes (Nachfrage) als Variablen modelliert werden können. Die logistische Wachstumsfunktion, die in vielen Bereichen der Wissenschaft und Technik zur einfachen Beschreibung von Wachstumsphänomenen angewendet wird, ist gekennzeichnet durch unterschiedliche, charakteristische Stadien [3]. Zu Beginn der Einführung wächst die neue Energieanwendung oder das neue Gerät nur langsam in den Markt hinein (Verzögerungsphase). Unter Umständen kann die Neuerung verschwinden, bevor sie richtig etabliert wurde (Extinktion). Später nimmt der Marktanteil explosionsartig zu (exponentielle Wachstumsphase), wenn das Produkt erfolgreich genug ist. Nach dem Wendepunkt tritt eine Verlangsamung des Wachstums auf (dichteabhängige Wachstumsabnahme) und das Niveau pegelt sich langfristig auf einem bestimmten Wert ein (Sättigungsphase).

Einflüsse von Diffusion und spezifischem Verbrauch

Elektrizitätsverbrauch für Wäschepflege

Waschen

Das mechanisierte Waschen hat eine lange Tradition und entsprechend gross ist die Marktdurchdringung dieses Haushaltgerätes. Im Jahr 1993 hatten rund 90% aller Haushalte Zugang zu einer Waschmaschine [4]. Diese relativ hohe Marktsättigung wird sicher bestehen bleiben oder sogar noch grösser werden. Dazu kommt der Trend zum vermehrten Waschen, auch wenig verschmutzter Wäsche. Andererseits hat der spezifische Energieverbrauch in den letzten Jahren deutlich abgenommen. Wird allein mit der Fortführung dieser Entwicklung der Gesamtenergieverbrauch für das Waschen bestimmt, nimmt er trotz der zunehmenden Marktdurchdringung immer weiter ab. Dabei wird als theoretische Grenze für den spezifischen Verbrauch angenommen, dass nur die Energie eingesetzt wird, die für die Erwärmung von 2,5 Liter Wasser auf 60 °C pro Kilogramm Trockenwäsche aufgewendet werden muss.

Am Beispiel Wäschewaschen wird deutlich, dass der Energieverbrauch einer bestimmten Energieanwendung, die in der Sättigungsphase ist, im wesentlichen durch

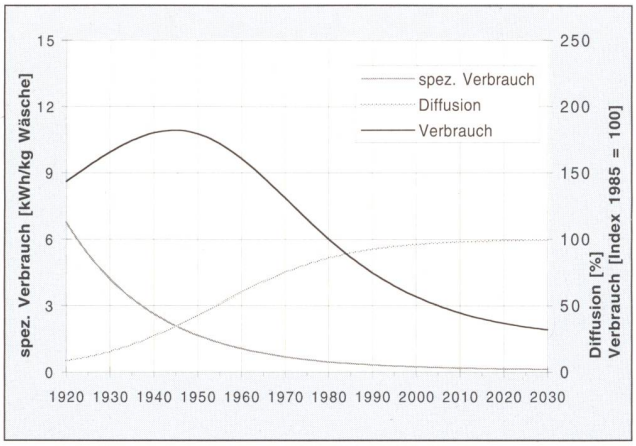


Bild 4 Entwicklung des Energieverbrauchs für das Wäschewaschen, relativ zu 1980. Der spezifische Verbrauch wurde mit einer Exponentialfunktion in die Vergangenheit fortgeführt. Damit wird der Wandel der Technologie der Waschvollautomaten (ab etwa 1950) zu älteren Technologien nur qualitativ wiedergegeben. Dasselbe gilt für die «Diffusion» der Geräte, die hier eine gemischte Grösse der Form «Anzahl Waschmaschinen mal gewaschene Wäsche pro Haushalt mal Waschtemperatur pro Waschgang» darstellt.

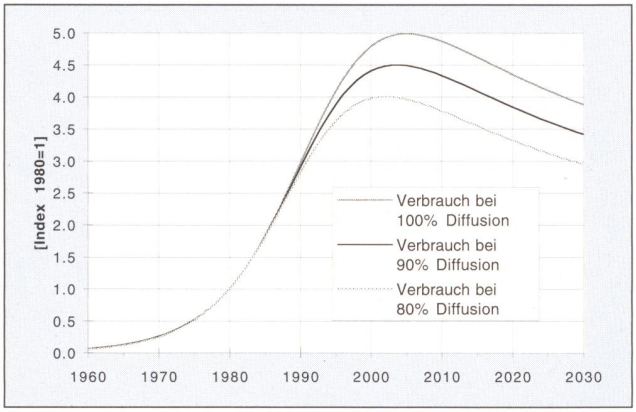


Bild 5 Varianten für den zukünftigen Energiebedarf der Wäschetrocknung mit drei verschiedenen Sättigungsniveaus, relativ zu 1980.

die Entwicklung des spezifischen Verbrauchs bestimmt ist (Bild 4).

Trocknen

Das maschinelle Trocknen der Wäsche ist in der Schweiz noch wenig verbreitet. Im Jahr 1993 hatten etwa 30% der Haushalte Zugang zu einem Tumbler [4]. Eine Sättigung dieses Marktes würde im zweiten Quartal des nächsten Jahrhunderts einsetzen, wenn logistisches Wachstum vorausgesetzt wird. Wäschetrocknen ist wesentlich energieaufwendiger als Waschen und ist mit dem traditionellen Aufhängen im Freien oder im Trocknungsraum (bis auf Raumwärme) ohne Aufwand von technischer Energie möglich. Deshalb ist nicht klar, ob und wie die Entwicklung dieser Energieanwendung gemäss logistischem Marktverhalten sein wird. Für die Berechnung des zukünftigen Energiebedarfs kann beispielsweise angenommen werden, dass später nur 90% aller Haushalte einen Tumbler benutzen. Trotz laufender Senkung des spezifischen Verbrauchs würde wegen der zunehmenden Marktdurchdringung, die jetzt noch im exponentiellen Wachstumsstadium ist, der Gesamtenergiebedarf weiter ansteigen, bis er nach der Jahrhundertwende ein Maximum erreicht hat (Bild 5).

Einfluss des Sättigungsniveaus auf den Elektrizitätsverbrauch

Würde die Marktdurchdringung aus politischen, gesellschaftlichen oder technischen Gründen künftig beispielsweise nur 80% betragen, wäre der Energieverbrauch für die Wäschetrocknung geringer (Bild 5). Das Maximum käme knapp nach der Jahrhundertwende zu liegen, etwa fünf Jahre vor dem Maximum bei 90% Marktdurchdringung. Im allgemeinen liegt das Maximum des Energieverbrauchs um so niedriger und erscheint um so früher, je geringer die zukünftige Marktdurchdringung ist – bei gleicher Entwicklung des spezifischen Verbrauchs. Zum Vergleich wurde als obere Abschätzung der Energieverbrauch bei 100% Marktdurchdringung berechnet.

Am Beispiel Wäschetrocknen wird deutlich, dass der Energieverbrauch im wesentlichen durch den Verlauf der Diffusionsentwicklung und des Sättigungsniveaus bestimmt ist, wenn eine Energieanwendung in der Wachstumsphase ist.

Elektrizitätsverbrauch für Licht im Haushaltsektor

Der Elektrizitätsverbrauch für das Anwendungsgebiet Licht in der Schweiz ist zwischen 1910 und heute auf ein vielfaches angewachsen (Bild 6). Der Anteil am Endenergieträger Elektrizität war rund 7% zu Beginn der 50er Jahre und ist bis auf 12% im Jahr 1994 angestiegen [5]. Der grosse Anstieg zwischen 1986 und 1987 wird durch den Sektor Gewerbe/Landwirtschaft/Dienstleistungen verursacht. Er dürfte bei der Neubewertung der Anwendungsgebiete entstanden sein und entspricht deshalb nicht einer realen Verbrauchszunahme.

Der Elektrizitätsverbrauch für das Anwendungsgebiet Licht vereinigt neben der Beleuchtung weitere Kategorien, wie zum Beispiel die Unterhaltungs-, Heim- und Büroelektronik, Elektroöfeli usw. (allgemein steckbare Geräte). Die Verbrauchszunahme widerspiegelt deshalb auch den wachsenden Anteil dieser Kategorien. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde der Fit für den Elektrizitätsverbrauch für Licht im Haushaltsektor mit

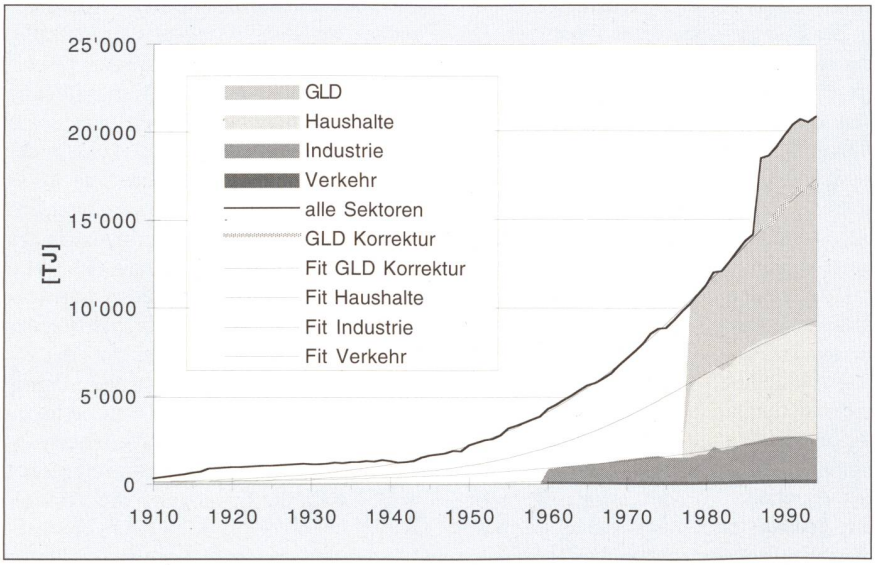


Bild 6 Schweizer Elektrizitätsverbrauch für das Anwendungsgebiet Licht aller Sektoren. Die Sektoren Verkehr und Industrie sowie Haushalte und GLD wurden erst ab 1960 bzw. 1978 detailliert erfasst. Für die Berechnung einer Fitkurve wird eine Korrektur vorgenommen, die den Sprung im Sektor GLD – verursacht durch die Neuzuteilung der Kategorien – reduziert («GLD-Korrektur»). Bei allen Verbrauchsverläufen wurde eine S-Kurve hineingefittet, wobei für die Summe aller Sektoren nur die Daten ab 1945 benutzt wurden.

Modelldaten reduziert, die den zunehmenden Einfluss der Geräte am Elektrizitätsverbrauch für Licht berücksichtigen (siehe Kapitel «Kumulierter Verbrauch bei mehreren Energieanwendungen» und Bild 7).

Im selben Zeitraum, in dem der Elektrizitätsverbrauch für die Erzeugung von Licht angewachsen ist, wurde deren Effizienz verbessert. Beispielsweise ist der Energieverbrauch zur Erzeugung einer bestimmten Lichtmenge bei der Glühlampe seit deren Einführung bis heute auf rund 1/3 gesunken (Bild 8). Die in den Haushalten erzeugte Lichtmenge ist daher noch wesentlich stärker angewachsen als der Elektrizitätsverbrauch, da gilt:

Elektrizitätsverbrauch für Lichterzeugung = spezifische Verbrauch der Lichterzeugung × erzeugte Lichtmenge

Deshalb kann mit einer bestimmten Menge Elektrizität bei laufend gesenktem spezifischem Verbrauch laufend mehr Licht erzeugt werden.

Varianten für den Elektrizitätsbedarf der Lichterzeugung im Haushaltsektor

Die erzeugte Lichtmenge ist das, was die Haushalte nachfragen und nicht die dafür benötigte Elektrizität. Deshalb wird für die Berechnung des zukünftigen Elektrizitätsbedarfs die in der Vergangenheit erzeugte Lichtmenge pro Haushalt mit verschiedenen Varianten des spezifischen Verbrauchs berechnet und logistisch weitergeführt.

Für eine **erste Abschätzung der erzeugten Lichtmenge** kann angenommen werden, dass nur konventionelle Glühlampen dafür eingesetzt wurden (**Variante «Wolfram»**), wobei der mittlere spezifische Verbrauch der im Moment in den Haushalten betriebenen Lampen dem der neuesten Lampengeneration vor zehn Jahren entspricht. Dann wäre die in den Haushalten erzeugte Lichtmenge in den letzten 80 Jahren auf das etwa 200fache angestiegen, während in der gleichen Zeit der Elektrizitätsverbrauch zur Lichterzeugung um das 100fache angestiegen ist.

Wäre das Licht jeweils mit neueren Lampentypen mit den entsprechend tieferen spezifischen Verbräuchen erzeugt worden, resultierte sogar ein Anstieg auf das über 400fache. Bei dieser **Variante R10**, die als **realistische Abschätzung der erzeugten Lichtmenge** angesetzt ist, wird ebenfalls davon ausgegangen, dass der mittlere spezifische Verbrauch der im Betrieb stehenden Lampen dem der neusten vor zehn Jahren entspricht. Zusätzlich sollen die neueren Lampentypen sukzessive die alten ablösen, wobei die Fluoreszenzlampen die Glühlampen bis zum Jahr 2020 bis auf 1% logistisch aus dem Markt verdrängt hätten. Die Fluoreszenzlampen ihrerseits sollen bis zum Jahr 2040 ebenfalls logistisch bis auf 1% durch die Natriumdampflampen, die hier stellvertretend für eine neue Sparlampengeneration stehen, abgelöst worden sein.

Um eine **weitere Abschätzung der erzeugten Lichtmenge** zu erhalten, könnte angenommen werden, dass für die Erzeugung von Licht immer derselbe spezifische Verbrauch vorgeherrscht hätte (**Variante «Wolfram konstant»**). Dann wäre die erzeugte Lichtmenge der letzten Jahre – entsprechend dem Elektrizitätsverbrauch für Licht – auf das 100fache angestiegen und die logistische Fortführung des Verlaufes entspricht im wesentlichen der Entwicklung der Anzahl Wohnungen in der Schweiz.

Für alle Varianten des Verlaufs des spezifischen Verbrauchs wurde die Lichterzeugung durch eine S-Kurve gefittet und bis zum Jahr 2030 weitergeführt (Bild 9, Tabelle I).

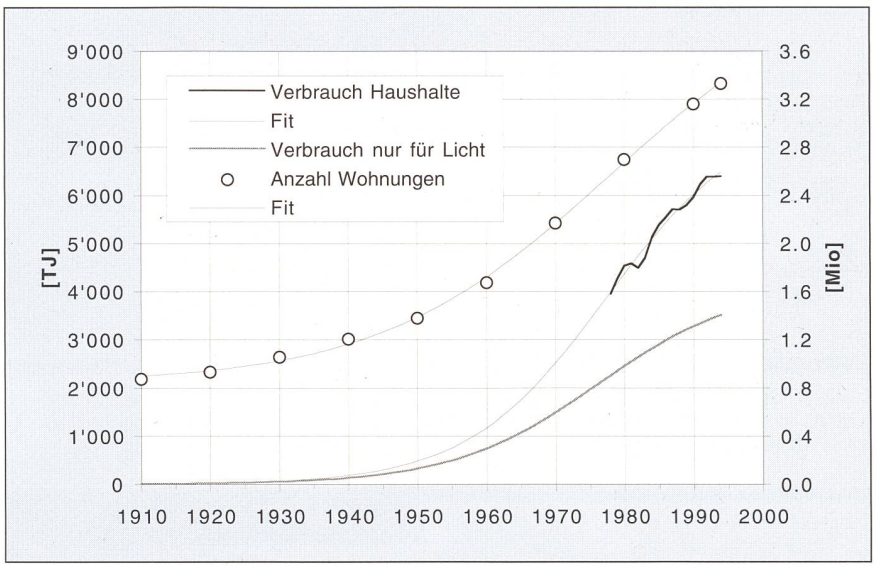


Bild 7 Elektrizitätsverbrauch für das Anwendungsgebiet Licht im Haushaltsektor. Da ein grösser werdender Teil der Elektrizität in dieser Kategorie für Geräte verwendet wird, ist der effektive Verbrauch für die Lichterzeugung kleiner («Verbrauch nur für Licht», mit Daten aus dem Gedankenexperiment im Kapitel «Kumulierter Verbrauch bei mehreren Energieanwendungen»).

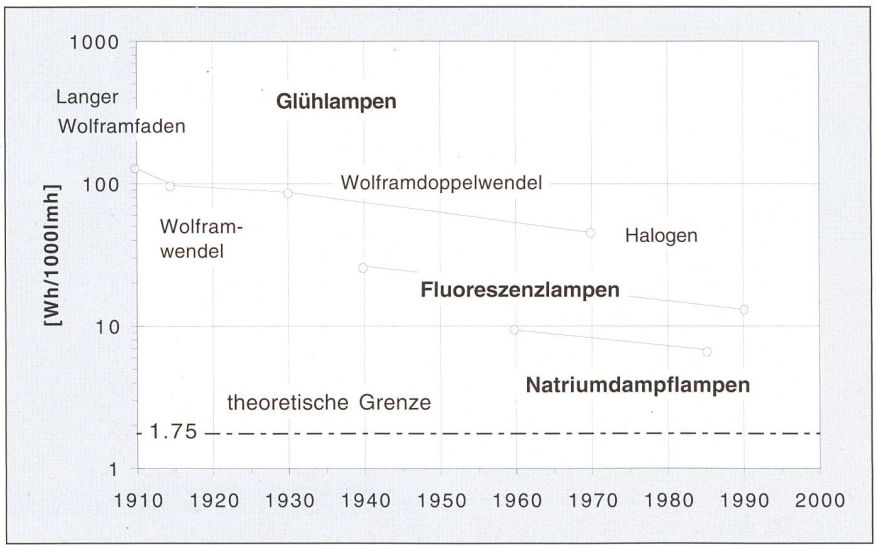


Bild 8 Elektrizitätsverbrauch in Wh im logarithmischen Massstab für die Erzeugung von 1000 lmh Licht für verschiedene Lampentypen [2].

Kumulierter Verbrauch bei mehreren Energieanwendungen

Heutiger Energieverbrauch und der Einfluss neuer Energieanwendungen

Der Bedarf an Material, Wärme oder Transport ist energieintensiv und hat einen

Variante	Lichterzeugung wird mit spezifischem Verbrauch von … berechnet	Eigenschaften und Maximum des berechneten Elektrizitätbedarfs für Licht
Wolfram	Wolframlampen	untere Abschätzung des Energiebedarfs, Maximum um etwa 2005
R10	Wolfram-, dann Fluoreszenz-, nachher Natriumdampflampen	realistische Abschätzung des Energiebedarfs, Maximum um etwa 2020
Wolfram konstant	als konstanter spezifischer Verbrauch dient der Mittelwert aller Wolframlampen	obere Abschätzung des Energiebedarfs, 99% Sättigung ab etwa 2050

Tabelle I Zusammenstellung der Voraussetzungen und Eigenschaften der Varianten Wolfram, R10 und Wolfram konstant für die Berechnung des zukünftigen Elektrizitätsbedarfs für Licht. Bei allen Varianten wurde der mittlere spezifische Verbrauch durch Verschieben der Kurve um zehn Jahre erzeugt.

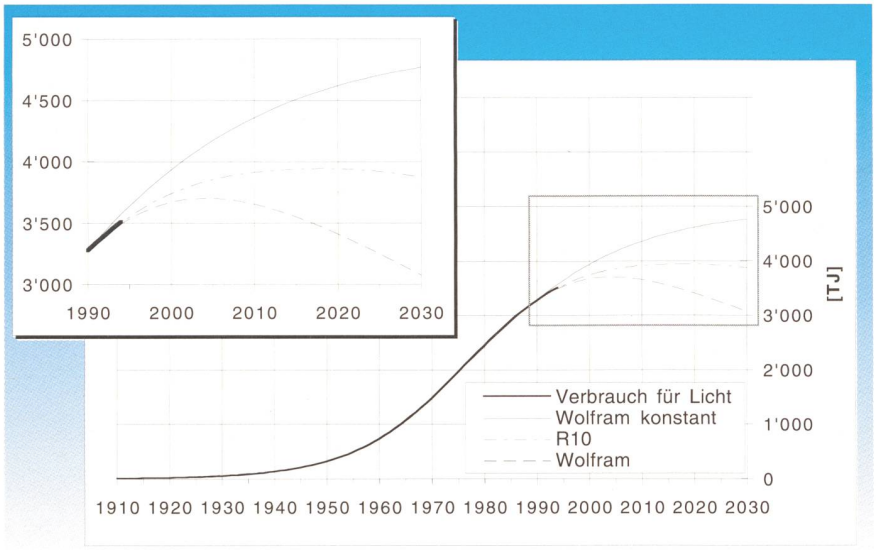


Bild 9 Berechneter Verlauf des Elektrizitätsbedarfs zur Erzeugung von Licht im Haushaltsektor für die Varianten Wolfram, R10 und Wolfram konstant des spezifischen Verbrauchs.

grossen Anteil am Gesamtenergieverbrauch. Da in der «entwickelten» Gesellschaft das Bevölkerungswachstum nicht mehr wesentlich und der Grundbedarf in vielen Bereichen in einer Sättigungsphase ist, wird der Energieverbrauch durch den spezifischen Verbrauch dominiert und ist deshalb im allgemeinen nur wenig zunehmend. In den letzten Jahrzehnten ist der Pro-Kopf-Wärmeverbrauch in der Schweiz stagnierend und beträgt heute knapp zwei Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs (Bild 10). Die Erdölkrisen und die Umweltproblematik haben sicher auf diese Entwicklung direkt einen Einfluss gehabt, denn ein grosser Teil der Wärme, die vor allem für Raumheizung und Warmwasser dient, wird mit fossilen Brennstoffen erzeugt. Da der Pro-Kopf-Bedarf an Energiebezugsfläche im Haushaltsektor eher in einer Sättigungsphase liegt, wird der Verlauf des Heizenergiebedarfs zunehmend durch den spezifischen Verbrauch bestimmt [7]. Dieser wird künftig – unter dem Einfluss von Richtlinien noch stärker – laufend verbessert und entsprechend nimmt der resultierende Energiebedarf ab.

Andere weniger energieintensive Anwendungen mit neuen Energieverbrauchern nehmen zu. Wenn diese immer schneller eingeführt werden und in den Markt eindringen, kann trotz laufend niedrigerem spezifischen Verbrauch der kumulierte Energiebedarf beträchtlich zunehmen. Die Unterhaltungs- bzw. Heimelektronik – als Teil der Lichtanwendung – sind ein Beispiel solcher neuen Produkte. Der Bedarf für die Lichtanwendung ist in den letzten Jahren auch wegen dieser Geräte stark angewachsen. Da die Grössenordnungen der Verbräuche der einzelnen Energiedienstleistungen sehr verschieden sind, wird der Gesamtverbrauch eher durch den kleiner werdenden Anteil der Bedürfnisse nach Wärme und Transport bestimmt, falls nicht neue, heute noch unbekannte Anwendungen erfunden werden.

Unterhaltungselektronik als Beispiel von neuen Energieanwendungen

Für ein Gedankenexperiment im Haushaltsektor soll die Anzahl der Verbraucher, beispielsweise Geräte der Unterhaltungs- und Heimelektronik, die bei den Konsumenten in Betrieb sind und in den letzten Jahrzehnten fortwährend zugenommen haben, betrachtet werden.

Neue Gerätetypen und Anwendungen erscheinen dabei in immer schnellerer Folge auf dem Markt. So dauerte es zwischen der Einführung des Radioapparates und der

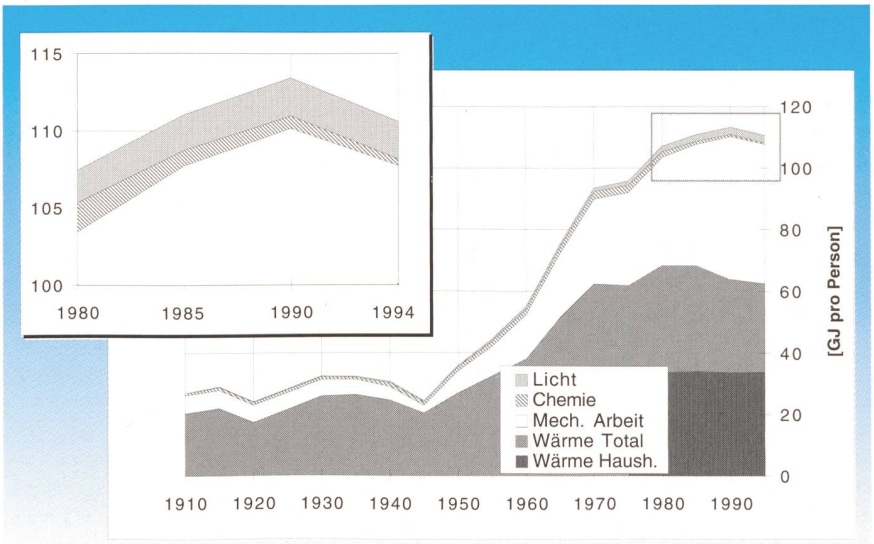


Bild 10 Gesamter schweizerischer Endenergieverbrauch (pro Person), aufgeteilt in die verschiedenen Energieanwendungen (zusätzlich ist der Wärmeverbrauch vom Hauhaltsektor eingezeichnet) [5]. Bei der Anwendung Licht wurde diesselbe Korrektur, die den Sprung im Sektor GLD reduziert, wie in Bild 6 vorgenommen. Der Zuwachs in den letzten Jahren wird im kleinen Bild deutlich.

des Schwarzweissfernsehers ungefähr 20 Jahre, während die neuesten Kategorien wie Video, CD-Player, Personalcomputer und Fax, aber auch Zweitapparate, immer dichter aufeinander folgen. Die Marktdurchdringung bis zur Sättigung soll bei jedem neuen Gerät schneller als beim vorangehenden verlaufen. Stellvertretend dafür sind beispielsweise Faxgeräte, die erst in den letzten 20 Jahren auf dem Markt erschienen sind [6]. Sicher ist nur ein kleiner Teil der Faxgeräte im Haushaltsektor anzutreffen, aber die Durchdringung mag durchaus ebenso stürmisch erfolgt sein, wenn auch auf tieferem Sättigungsniveau. Obwohl die Diffusion und der Energieverbrauch der einzelnen Gerätetypen der Unterhaltungs- und Heimelektronik jeweils durch ihre Sättigung limitiert ist, ergibt sich aus der Kumulation aller Geräte eine grosse Zunahme. Auch wenn unterstellt wird, dass der spezifische Verbrauch in den letzten Jahrzehnten laufend gesenkt worden ist, ist der kumulierte Elektrizitätsbedarf für den Betrieb aller Geräte zusammen dennoch angewachsen (Bild 11).

Wird mit Resultaten aus dem Gedankenexperiment – unter der Annahme, dass in den 80er Jahren rund 50 % der Elektrizität im Anwendungsgebiet Licht von den Geräten verbraucht wird – der Energieverbrauch für Licht in Lichterzeugung und den Bedarf für Geräte aufgeteilt, zeigt sich, dass der grosse Anstieg in den letzten Jahrzehnten nicht nur durch den Lichtbedarf allein verursacht worden sein muss, sondern auch aus der Verbrauchszunahme der Geräte resultieren könnte (Bild 12).

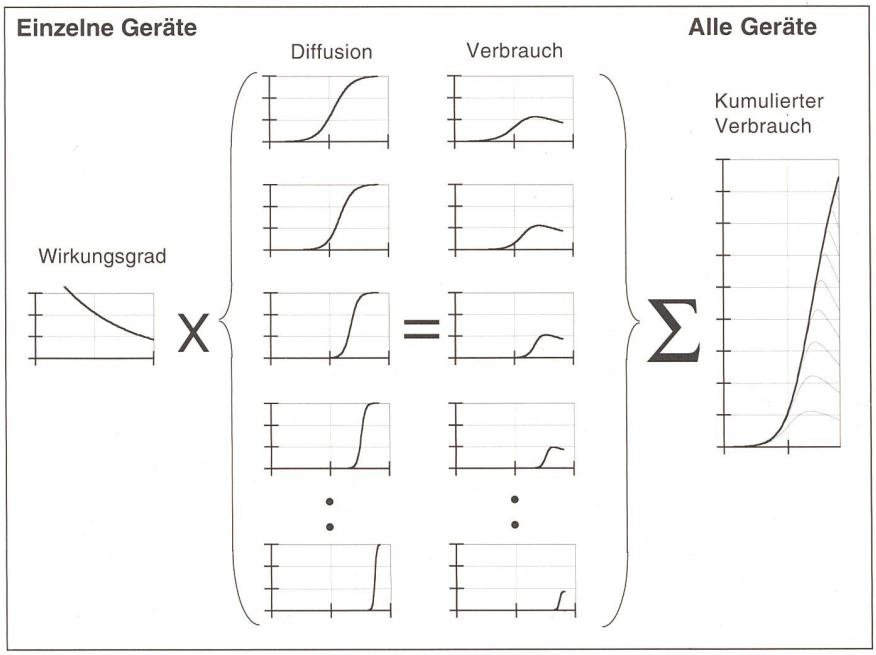


Bild 11 Gedankenexperiment für die auf die Wohnungen bezogene Diffusion von verschiedenen Gerätetypen der Unterhaltungs- bzw. Heimelektronik, mit individuellem und kumuliertem Energieverbrauch, unter der vereinfachenden Annahme, dass alle Gerätetypen den gleichen Verlauf des spezifischen Verbrauchs aufweisen und die gleiche Diffusion erreichen.

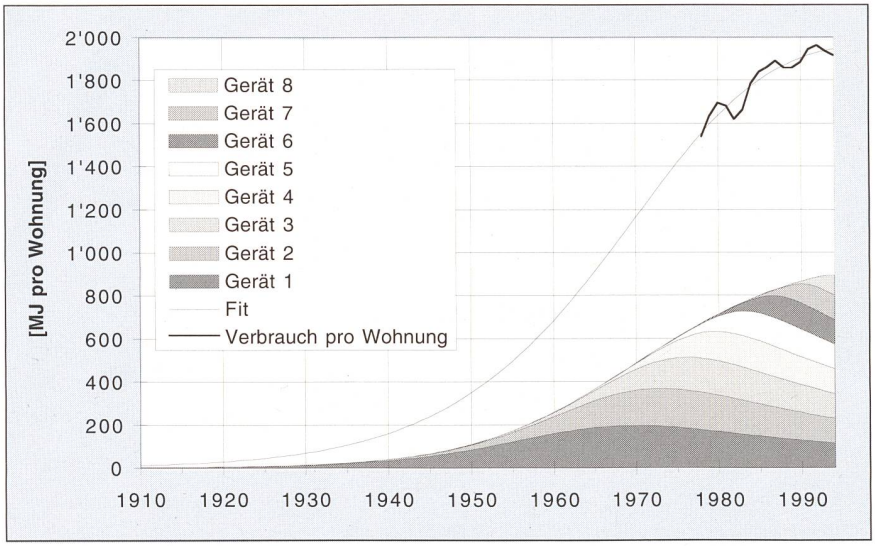


Bild 12 Elektrizitätsverbrauch für das Anwendungsgebiet Licht pro Wohnung im Haushaltsektor [5], mit eingezeichnetem Fit und mit dem im Gedankenexperiment berechneten Verbrauch für Geräte der Unterhaltungs- bzw. Heimelektronik.

Literaturverzeichnis

[1] Interne Quellen (Stand 1994), Alusuisse-Lonza Holding AG, Zürich.

[2] *D. Spreng:* Net-Energy Analysis and the Energy Requirements of Energy Systems, 1988, Praeger, New York.

[3] *G. Czihak, H. Langer, H. Ziegler* (Hrsg.): Biologie, Ein Lehrbuch, 1981, Springer, Berlin.

[4] Die Effizienz elektrischer Haushaltgeräte, Spektrum der Wissenschaft, Oktober 1992, S. 120 bis 123.

[4] *S. Meier, E. Schulz:* Technik im Familienalltag, 1994, Vontobel Stiftung, Zürich.

[5] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1994, Bulletin SEV/VSE 86 (1995) 16, (auch frühere Jahrgänge).

[5] Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1994, Bulletin SEV/VSE 86 (1995) 8 (auch frühere Jahrgänge).

[6] Offizielles Faxverzeichnis, S. 3, 1995/96, Telecom PTT.

[7] *B. Aebischer, J. Schwarz:* Heizölpanel, Schlussbericht 1994, Forschungsgruppe Energieanalysen, ETH Zürich.

Modélisation pratique de l'évolution de la consommation des applications d'énergie

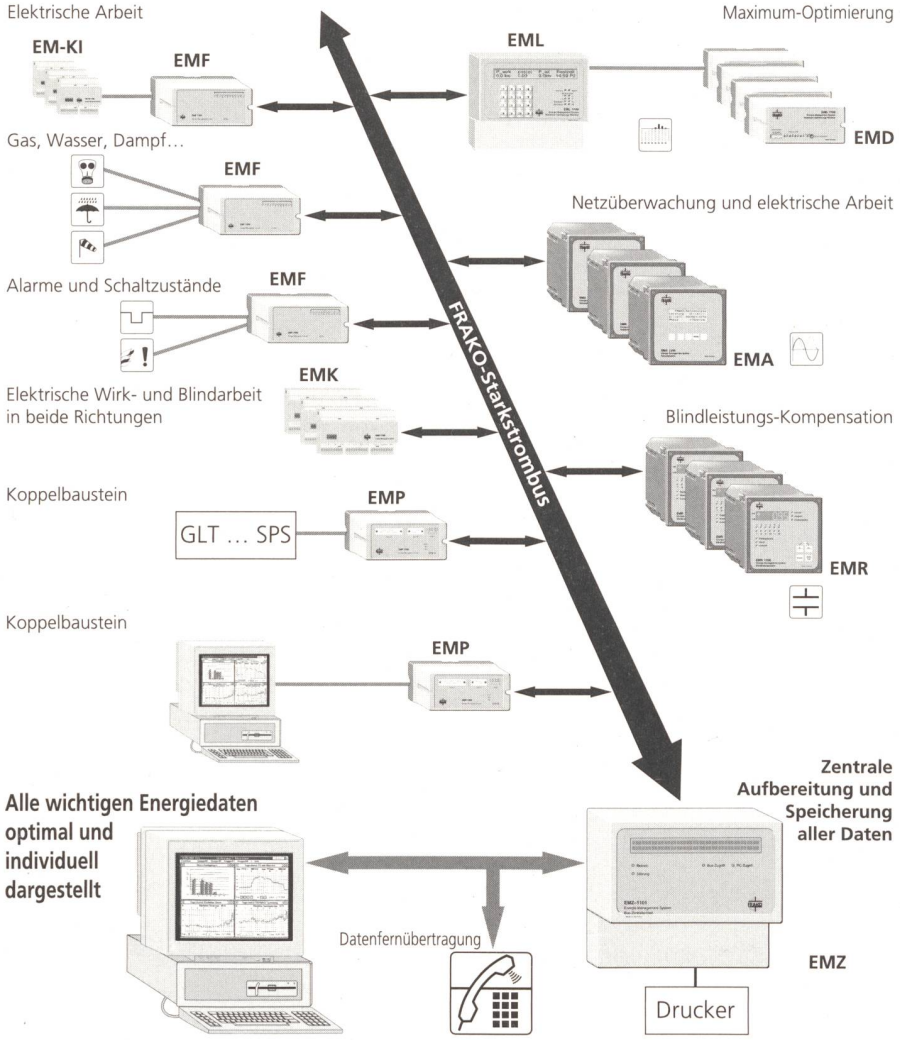
Jusqu'à ces toutes dernières années encore, la consommation d'énergie en Suisse a connu une progression quasi ininterrompue. Les besoins du pays en électricité augmentaient de manière exponentielle, et l'offre d'énergie électrique était adaptée en permanence à cette hausse. Aujourd'hui, la demande est hésitante, voire à la baisse. Les producteurs aussi bien que les consommateurs d'énergie ont davantage intérêt que naguère à connaître l'évolution future des besoins énergétiques. Pour une estimation «rapide», on peut prolonger l'évolution par une courbe exponentielle – ou du moins linéaire. Mais la future consommation ne s'envole pas jusqu'aux nuages. Il existe une solution de rechange, une autre méthode d'évaluation qui tient compte de la finitude. Dans ce modèle, le développement futur de la consommation d'énergie est dérivé de l'évolution antérieure à l'aide de deux fonctions analytiques.

Das FRAKO Energiespar-System

FRAKO STARKSTROMTECHNIK

Grenzenlos modular

STM + Co	**Büro:** Lausanne 1001
CH-8630 Rüti	mapromat SA
Tel. 055 241 20 77 / Fax 055 241 20 79	Tel. 021 616 05 36 / Fax 021 616 07 40



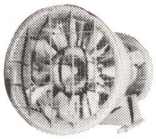
ANSON liefert

Rohrventilatoren
für direkten Rohranschluss 10—60 cm Ø. 150—15000 m³/h. Auch Ex-geschützt. Dazu Lüftungsrohre, Aussengitter und Schalter prompt und preisgünstig.
Rufen Sie uns an:

ANSON liefert

Hochleistungs-ventilatoren
mit Flanschplatte oder Wandring. 800—25000 m³/h. Alle Stromarten. Auch Ex-eschützt. Dazu Schalter und Steuerungen konkurrenzlos günstig von:

ANSON liefert



alle Arten von Spezialventilatoren
für den Anlagebau. Volumen bis 100 m³/sec. Auch für staubige, aggressive Medien und Heissluft. — Beratung und Offerte von:

ANSON liefert

Ex-geschützte Radial-Gebläse
für Abluft, Apparatebau, Spezialanwendungen etc. sofort ab Lager. 200—3000 m³/h. SEV-geprüft. Konkurrenzlos günstig vom Spezialisten:

ANSON liefert

Mitteldruck-Gebläse, eindeutig die besten
bezüglich Leistung, Qualität und Zuverlässigkeit. Bis 3350 m³/h. Bis 3400 Pa. Alle Stromarten.
Verlangen Sie Beratung und Angebot von:

modernste Ventilator-Steuerungen
z.B. Ein-/Aus-Schalter, Stufenschalter, Drehzahlregler, Thermostat- u. Differenzdruck-Schalter, Zeitschalter etc. Für AP-, UP- u. Einbaumontage.
Prompt u. preisgünstig vom Spezialisten:

Oe6

ANSON AG 01/4611111 8055 Zürich Friesenbergstr. 108 Fax 01/463 09 26 **... für Ventilatoren und Gebläse!**