

**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:** 12

**Artikel:** Ökoinventare zukünftiger Elektrizitätserzeugungssysteme für die Schweiz

**Autor:** Dones, R. / Gantner, U. / Hirschberg, S.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902332>

### **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:** 24.01.2026

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



Der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke VSE hat sieben Varianten für den Stromversorgungsmix für zwei Entwicklungen des Landesverbrauchs bis zum Jahr 2030 vorgestellt. Für mögliche Energiesysteme wurden mit Lebenszyklusanalysen Ökoinventare erstellt. Dies erlaubt den Vergleich der Emissionen der verschiedenen Versorgungsvarianten. Um einen Stromverbrauch im Jahr 2030 von 85,1 Mrd. kWh zu decken, würde die Variante mit dem höchsten Anteil fossiler Energieträger (58,2%) total 26,2 Mio. t Treibhausgase ausstossen. Dies würde rund 36% der gegenwärtigen gesamten inländischen Treibhausgas-Emissionen entsprechen. Demgegenüber verursacht die Variante mit dem höchsten nuklearen Anteil (56,6%) 2,3 Mio. t Treibhausgase, wovon 2,0 Mio. t aus kleinen fossilen Systemen (3,5%) stammen. Für die Nettostromproduktion der Schweiz im Referenzjahr 1990 von 54,1 Mrd. kWh wurde ein Ausstoss von 0,9 Mio. t Treibhausgase berechnet.

# Ökoinventare zukünftiger Elektrizitätserzeugungssysteme für die Schweiz

## Adresse der Autoren:

Roberto Dones, Urs Gantner, Stefan Hirschberg,  
Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI.

■ R. Dones, U. Gantner, S. Hirschberg

## Einleitung

Seit 1991 arbeiten die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) und das Paul Scherrer Institut (PSI) zusammen an der Entwicklung umfassender Öko-

inventare (Material- und Energiebedarf sowie Emissionen) für unterschiedliche in der Schweiz und im UCPTE-Raum **in Betrieb stehenden** Elektrizitäts- und Wärmeverorgungssystemen [1]. Dazu bediente man sich der Lebenszyklusanalyse (LCA: Life Cycle Analysis). Wissenschaftliche Aspekte möglicher **zukünftiger** Energiesysteme für die Schweiz werden innerhalb des

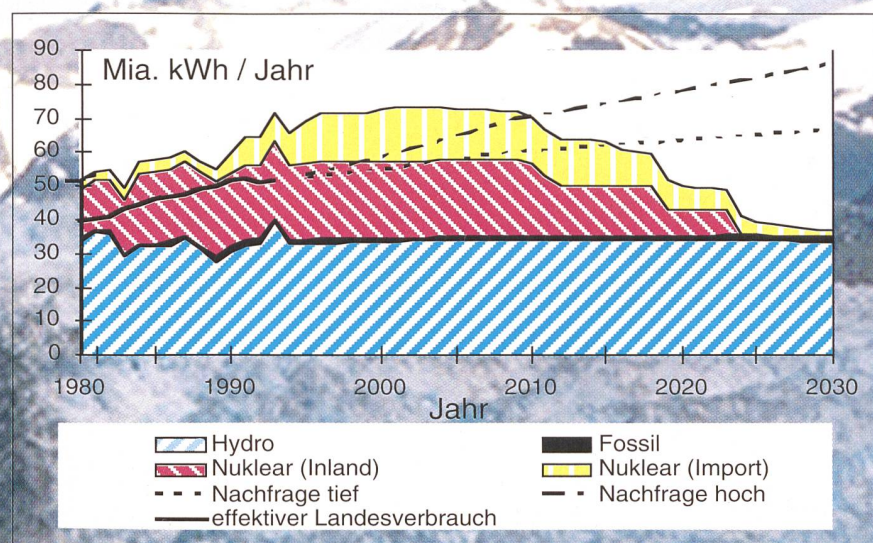


Bild 1 Basisangebot und Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage bei positiver Wirtschaftsentwicklung (für die Jahre 1995 bis 2030).



Systeme der Stromerzeugung		Jährliches Stromangebot (TWh)	Jährliche Anteile am Total (%)	
			H = Nachfrage hoch	T = Nachfrage tief
Basisangebot	Hydro	33,54	39,7	51,1
	Nuklear (Import)	1,71	2,0	2,6
	M-WKK	1,96	2,3	3,0
	GT-WKK	1,03	1,2	1,6
	KVA	0,57	— *	— *
	Photovoltaik und andere erneuerbare Systeme	0,14	0,2	0,2
	Total für Basis	38,4	45,4	58,5
		(38,95)**		
Mankodeckung	7 Varianten (s. Tabelle III)	46,2 H 27,2 T	54,6	41,5
Total		84,5 (85,1)** H 65,6 (66,2)** T	100	100

\* In LCA nicht berücksichtigt.

\*\* Inklusive Kehrlichtverbrennungsanlagen.

**Tabelle I Basisangebot und Manko der Elektrizitätsversorgung in der Schweiz für das Jahr 2030 (nach VSE).**

Genutzter Energieträger	Technologie	Abkürzung Technologie	Abkürzung Produktionssystem
Erdgas	Kombiprozess Gasturbine/Dampfzyklus	Kombi Gas	Kombi Gas
Erdölprodukte	Kombiprozess Gasturbine/Dampfzyklus	Kombi Öl	Kombi Öl
Steinkohle	Druck-Wirbelschichtfeuerung	Ko-Wirbel	Kohle
	Staubfeuerung	Ko-Staub	
Kernenergie	Fortgeschrittene LWR	Nuklear	Nuklear
Sonnenenergie	Photovoltaik-Schrägdachanlage Monokristalline Siliziumzellen	Photo krist	PV
	Photovoltaik-Schrägdachanlage Amorphe Siliziumzellen	Photo amorph	

**Tabelle II Berücksichtigte Systeme für die Mankodeckung.**

GaBE-Projektes (**G**anzheitliche **B**etrachtung von **E**nergiesystemen) [2], [3] untersucht. Als erster Schritt wurden Ökoinventare zukünftiger Stromversorgungsvarianten für die Schweiz analysiert. Das Projekt wurde vom VSE unterstützt und die Ergebnisse unter ökologischen Gesichtspunkten in der «Vorschau '95» [4] über die möglichen Stromversorgungsvarianten der Schweiz miteinbezogen. Ausführlicher wird die Studie in [5] diskutiert. Die Analyse der Ökoinventare wurde für ausgewählte Emissionen auf drei Niveaus durchgeführt, auf die im weiteren Text eingegangen wird:

1. Individuelle Betrachtung eines jeden Systems.
2. Vergleiche der Systeme untereinander.
3. Vergleich von sieben Stromversorgungsvarianten für die Schweiz für das Jahr 2030.

## Zukünftige Varianten des Stromversorgungsmix

In erster Linie basiert der pro Jahr in der Schweiz produzierte Strom auf Wasserkraft (ungefähr 61%) und Nuklearenergie

(etwa 37%). Der Anteil an fossilen Systemen ist folglich minimal (etwa 2%). Ausserdem bestehen Langzeitverträge mit Frankreich. Wie Bild 1 zeigt, übersteigt bei einer Jahresbetrachtung wegen der hohen Wasserkraftproduktion im Sommer die zur Verfügung stehende jährliche Strommenge den derzeitigen effektiven Landesverbrauch.

Die längerfristige Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage wird durch komplexe Zusammenhänge einer Vielzahl von Einflussfaktoren mit möglichen gegenläufigen Effekten wie Effizienzverbesserung der Anwendung, Änderungen in der Wirtschaftsstruktur des Landes, Zunahme der Bevölkerung, weitere Automatisierung im Industrie- und Dienstleistungssektor usw. beeinflusst. Der VSE hat unter der Annahme eines Wirtschaftswachstums zwei mögliche Entwicklungen des Landesverbrauchs postuliert: «Nachfrage hoch» entspricht einer jährlichen Zuwachsrate des Stromverbrauchs von 2% ab dem Jahr 1995 bis ins Jahr 2010 und 1% Zuwachsrate für den Zeitraum 2010 bis 2030; für die «Nachfrage tief» lauten die entsprechenden Werte 1% bzw. 0,5%.

Die Energiesysteme, die entweder langfristig gesichert sind oder in den nächsten 40 Jahren wahrscheinlich ausgebaut werden, sind hier als Basisangebot bezeichnet. Am Ende der betrachteten Zeitspanne stehen die Wasserkraftwerke an erster Stelle (87,3%), gefolgt von Wärmekraftkopplung (Motor-WKK 5,1% und kleine Gasturbine GT-WKK 2,7%), den noch bestehenden und gesicherten Bezugsrechten im Ausland (Kernkraftwerke 4,5%), der Photovoltaik (PV) sowie anderen Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (0,4%). Die kommunalen Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) tragen ebenfalls zur Stromerzeugung in der Schweiz bei. Diese wurden in der LCA-Studie nicht berücksichtigt, da der Strom als Nebenprodukt betrachtet wird und die Emissionen deshalb dem Kehrlicht zugeordnet werden.

Die Stilllegung der gegenwärtig in Betrieb stehenden Kernkraftwerken und der Ablauf der langfristigen Importverträge wird zu einem Manko zwischen der postulierten Energienachfrage und dem Basisangebot führen. In Bild 1 ist die zu erwartende Nachfrage sowie das Basisangebot für die entsprechende Zeitspanne aufgetragen.

Die am Basisangebot beteiligten Systeme der Stromerzeugung und das Ausmass des verbleibenden Mankos bei den Nachfrageentwicklungen «hoch» und «tief» im Jahr 2030 werden in Tabelle I gezeigt.

Es wurden sieben Mankodeckungsvarianten vom VSE vorgegeben, die aus fossilen, nuklearen und erneuerbaren Systemen der Stromerzeugung zusammengesetzt



sind. Tabelle II zeigt die für die Mankodeckung berücksichtigten Energiesysteme, in gewissen Fällen noch unterteilt in verschiedene Technologien, samt den später verwendeten Abkürzungen. In dieser Studie ist Photovoltaik (PV) als Repräsentant der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen verwendet worden. Zusätzlich wird zwischen in- und ausländischer Herkunft unterschieden. Tabelle III zeigt die gewählten Mankodeckungsvarianten.

Erdgas- und Steinkohlensysteme wurden vom VSE als Möglichkeiten zur Stromerzeugung mit fossilen Energieträgern angenommen. Besonders gasbetriebene Kombikraftwerke (mit der Möglichkeit, Öl als alternativen Brennstoff zu verfeuern) und fortgeschrittene Steinkohlenkraftwerke (Kohlenstaub- und Druckwirbelschichtfeuerung), die qualitativ hochwertige Kohlen verbrennen, werden als geeignetste Techniken für die fossilen Systeme betrachtet. Als typische fortgeschrittene Kernanlagen wurden die Systeme AP600 (Advanced Pressurized 600 MW) und ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) gewählt. Die Wärmekraftkopplung wurde nur für die kleinen Gasturbinen (GT-WKK, Annahme: 30 MW) und die Motor-WKK (M-WKK), nicht aber für Kombikraftwerke betrachtet. Diese Annahme wird nach Ansicht des VSE durch das geringe wirtschaftliche Potential von Wärme aus Kombi-Kraftwerken gestützt. Bei der Photovoltaik beschränkte man sich in dieser Studie auf Dachpaneele, die aus monokristallinen und amorphen Siliziumzellen bestehen. Für die importierte Elektrizität wird angenommen, dass sie in gegenwärtigen als auch zukünftigen nuklearen und mit Kohlen gefeuerten Systemen erzeugt wird. Die importierte Elektrizität aus Gassystemen stammt aus Kombi-Gas. Mit diesen Annahmen können die Varianten des Versorgungsmixes durch die Beiträge der einzelnen elektrischen Versorgungssysteme charakterisiert werden.

Um das spekulative Element zu reduzieren, die Analyse realistisch und vertretbar zu machen, wurden keine revolutionären Systeme miteinbezogen. Die Leistungsparameter der ausgewählten Techniken sollten zwischen dem Jahr 2010 und 2020 in grossem Rahmen implementiert werden können.

## Annahmen der Analyse

LCA ist prozessorientiert und berücksichtigt explizit die verschiedenen Komponenten der einzelnen Energieketten von der Rohstoffförderung über die Aufbereitung bis zur Benützung im Kraftwerk und der Abfallbehandlung. Dabei wird jeder Schritt

Varianten der Mankodeckung		Anteile der Systeme zur Mankodeckung im Winterhalbjahr
1	Konventionell-thermisch	50% Kombi Gas; 25% Kombi Öl; 25% Kohle
2	Nuklear	100% Nuklear Inland
3	Mix Nuklear/Gas	Nuklear Inland wie heute; Rest Kombi Gas
4	Import 100%	10% Kombi Gas; 30% Kohle; 60% Nuklear
5	Import 50%	Import: 10% Kohle; 40% Nuklear Inland: 25% Kombi Gas; 25% Nuklear
6	Konv.-thermisch + PV	wie 1 mit PV 5%
7	Mix Nuklear/Gas + PV	wie 3 mit PV 5%

Tabelle III Definition der Mankodeckungsvarianten (VSE) [4].

in Bau-, Betriebs- und Abbruchphase unterteilt. So lässt sich eine faire Basis für Vergleiche der Energiesysteme untereinander schaffen.

Um eine möglichst genaue Beschreibung der totalen Flüsse von und in die Umwelt zu liefern, werden nicht nur direkte Emissionen aus Anlagen miteinbezogen, sondern auch indirekte aller Schritte der Energieketten. Direkte Emissionen entstehen beim Betrieb von Kraftwerken und Anlagen zur Bereitstellung des Brennstoffs sowie von Baumaschinen und Transportsystemen. Die indirekten Emissionen entstehen im Zusammenhang mit der Infrastruktur, der Materialherstellung und Energieverbräuchen aller Schritte.

Basierend auf den Resultaten der früheren Studie [1] und Informationen über wahrscheinliche Entwicklungstrends konnten diejenigen Teile der Energieketten identifiziert werden, für die grössere Änderungen zu erwarten sind. Diese werden im folgenden beschrieben:

**Gassysteme:** Reduktion der Erdgas-Leckagen im Ferntransport und Verbesserung des Wirkungsgrades der Kraftwerke.

**Steinkohlensysteme:** Teilweise Methanrückhaltung beim Untertagebau, Verbesserung und Ausbau der Rauchgasreinigungstechnologien und Wirkungsgradsteigerung der Kraftwerke.

**Nukleare Systeme:** Reduktion der langfristigen Radon-Emissionen im Bergbau und der Aufbereitungsrückstände, Reduktion des Stromverbrauchs und der Fluorchlorkohlenwasserstoff-Emissionen (FCKW) im Urananreicherungs-schritt durch Ersetzen des Gasdiffusionsverfahren durch Zentrifugen- oder Lasertechnologien, fortgeschrittene Kraftwerke mit verlängerter Lebensdauer und erhöhtem Brennstoffabbrand, Verwendung von Emissionen einer modernen Wiederaufarbeitungsanlage, Verminderung des Volumens radioaktiver, fester Abfälle.

**Hydro-Systeme:** Wirkungsgradsteigerung der Turbinen.

**PV-Systeme:** Verbesserungen bei der Herstellung von monokristallinem und amorphem Silizium sowie der Solarzellen (Ausbeute, Stromverbrauch), Steigerung des Zellenwirkungsgrades.

In [1] wurden die Material- und Energieaufwendungen für bestehende Systeme statisch beschrieben (z.B. gleicher Strommix für den Bedarf aller Systeme zu einem festgelegtem Zeitpunkt). Die Anwendung auf zukünftige Systeme erfordert Extrapolationen und zusätzliche Annahmen. Die Erweiterung des existierenden Datensatzes (Material- und Energiebedarf sowie Emissionen) auf zukünftige Systeme wurde mit direkten Informationen von Beratern aus der Industrie, Literaturrecherchen sowie durch Beurteilung von Experten durchgeführt. Für den Stromkonsum ausserhalb der Schweiz (z.B. für die Materialherstellung, Schienentransport) wurde ein UCPTE-Mix für das Jahr 2010 definiert. Dieser Mix basiert auf der Extrapolation der Prognose der Internationalen Energiebehörde (IEA) für das Jahr 2005 [6]. Vergleicht man den Mix mit der heutigen Situation, so wird deutlich, dass der Gasanteil grösser und der Ölanteil kleiner wird. Der relative Anteil von Kohle-, Wasser- und Kernenergie bleibt etwa auf dem heutigen Niveau. Bei Elektrizität aus Photovoltaik wird eine signifikante Erhöhung erwartet, die jedoch im Vergleich mit den anderen Systemen immer noch gering bleibt. Bedingt durch den kontinuierlich fortschreitenden Substitutionsprozess werden im betrachteten Jahr die heutigen Systeme noch einen beträchtlichen Anteil ausmachen. Deshalb müssen für jedes Stromversorgungssystem die Anteile fortgeschrittener und heutiger Techniken abgeschätzt werden.

Stand ein Bereich möglicher Werte von Emissionen, Wirkungsgraden, Materialbedarf und anderer Schlüsselparameter zur Verfügung, wurde im Normalfall der beste,



Schadstoffe/ Gruppe	Strom- System	Ko-Staub	Ko-Wirbel	Kombi Öl	Kombi Gas	GT- WKK	M-WKK (1995)	Nuklear	Hydro	PV krist	PV amorph
SO <sub>x</sub> (kg/GWh)	direkt KW gesamte Kette	216 611	34 425	421 888	3 153	4 209	5 281	0 31	0 7	0 157	0 104
NO <sub>x</sub> (kg/GWh)	direkt KW gesamte Kette	360 780	68 482	209 648	119 278	414 626	186 445	0 23	0 13	0 69	0 42
CO <sub>2</sub> -äquiv. (t/GWh)	direkt KW gesamte Kette	664 762	679 771	445 551	331 392	456 540	532 679	0 6	0 4	0 44	0 28
CH <sub>4</sub> <sup>a)</sup> (kg/GWh)	direkt KW gesamte Kette	7 1612	7 1608	6 645	18 921	32 1275	216 3460	0 12	0 7	0 78	0 57
NM VOC (kg/GWh)	direkt KW gesamte Kette	14,3 148,6	13,6 143,4	6,6 1347,1	10,2 105,0	28 158,0	19,5 335,3	0 10,3	0 3,4	0 53,9	0 47,7
Partikel (kg/GWh)	direkt KW gesamte Kette	36 1719	34 2103	1 221	1 88	1 119	0 207	0 46	0 229	0 164	0 0,164
Radioakt. <sup>b)</sup> (GBq/GWh)	direkt KW gesamte Kette	0,004 14,6	0,004 14,6	0 7,6	0 1,3	0 1,8	0 3,3	0,280 1014,1	0 0,8	0 22,5	0 8,8

KW = Kraftwerk.

a) Auch in CO<sub>2</sub>-äquivalent.

b) Total aller radioaktiven Emissionen ohne Gewichtungsfaktoren.

Tabelle IV Ausgewählte Luftemissionen zukünftiger Stromversorgungssysteme [5].

im Zweifelsfall ein konservativer Wert gewählt.

Es wurden weder neue Prozesse zur Materialherstellung (mit Ausnahme der Solarzellen-Produktion) noch zukünftige Transportsysteme berücksichtigt. Obwohl die heutige Herstellungsqualität der Basis-materialien als hoch eingestuft werden kann, führen die erwähnten Annahmen zu einer konservativen Behandlung der indirekten Emissionen. Dem kann entgegengehalten werden, dass die zukünftige Rohstoffgewinnung wegen Verknappung der Reserven mit grösserem Aufwand betrieben werden muss.

Es wurden primär die Luftemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Staub und Radioaktivität) sowie Material- und Energiebedarf betrachtet. Emissionen in Wasser, feste Abfälle und Flächenbeanspruchung wurden nicht für alle zukünftigen Systeme behandelt. Detaillierte Ergebnisse dazu für gegenwärtige Systeme findet man in [1].

Die Resultate geben keine direkte Information über die Auswirkung auf die Umwelt, da nur Emissionsinventare erstellt wurden. Alle totalen Emissionen werden unabhängig von geographischen oder politischen Grenzen erfasst.

Es werden diejenigen Emissionen betrachtet, die bei normalem Betrieb auftreten. Dazu zählen auch Freisetzung, die in Zusammenhang mit kleinen Störfällen entstehen. Ausgeschlossen sind jedoch grosse Freisetzung aus seltenen schweren Unfällen.

Massnahmen zur Nachfragereduktion von Strom, sei es bei der Übertragung oder beim Endverbraucher (Demand Side Management), sind gemäss VSE bei der betrachteten Stromnachfrage bereits enthalten. Nur die Bereitstellung der Energieträger und deren Verwendung in Energiesystemen werden hier analysiert.

Blockheizkraftwerke werden durch eine gasgefeuerte Motor-WKK-Anlage, die seit 1987 in Basel in Betrieb steht, vertreten.

## Systemvergleiche

Die Emissionswerte für die Systeme wurden auf die produzierte Elektrizität, die an der Sammelschiene der entsprechenden Anlage geliefert wurde, normiert. Wäre das Verteilernetz miteinbezogen worden, so würden Motor-WKK und PV, welche Elektrizität direkt an die Anwendungen liefern, im Vergleich mit den anderen Systemen leicht besser abschneiden.

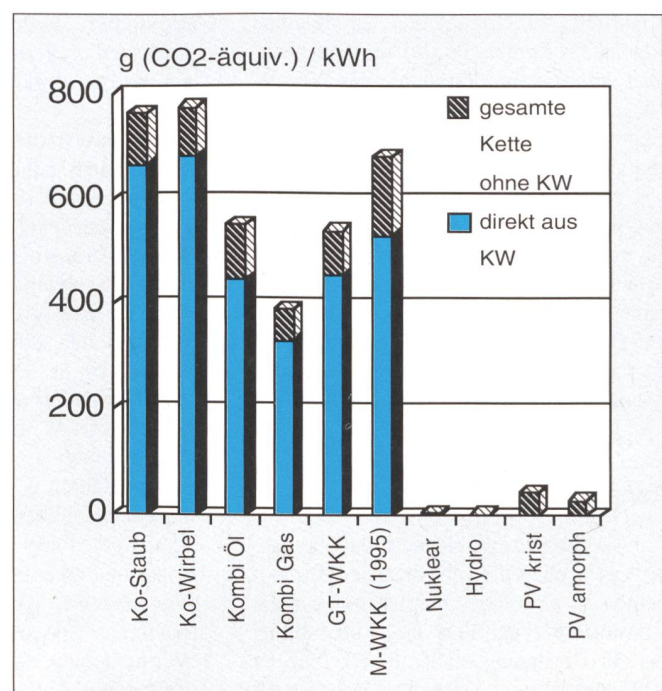


Bild 2 Treibhausgas-Emissionen der analysierten Energieketten.



Tabelle IV zeigt ausgewählte direkte Luftemissionen von  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , Treibhausgasen als  $\text{CO}_2$ -äquiv.,  $\text{CH}_4$ , NMVOC, Partikel und Radioaktivität aus zukünftigen Kraftwerken sowie die Ergebnisse, die für die ganzen Energieketten berechnet wurden. Die Emissionen der Lufthauptschadstoffe werden im Vergleich zu heute in Betrieb stehenden Systemen signifikant reduziert. Bei fossilen Energieketten wird dies durch die beträchtlichen Wirkungsgradsteigerungen der Kraftwerke erreicht. Trotzdem verursachen die fossilen im Vergleich zu den nuklearen und erneuerbaren Ketten drastisch mehr Verbrennungsprodukte. Dabei schneidet Gas-Kombi von den fossilen Systemen am besten ab. Wird statt Gas Öl als Brennstoff verwendet, so ergeben sich wegen der grösseren Belastung der Ölkette (im speziellen der Raffinerie) wesentlich höhere  $\text{SO}_x$ -Emissionen. Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen der Ölkette steigen auf ein Niveau, das vergleichbar mit den Steinkohlenketten ist. Die nukleare Energiekette zeigt die höchsten emittierten Mengen von radioaktiven Stoffen, wobei der relative Beitrag des Kraftwerks sehr klein ist. Es werden im folgenden Text nur die Ergebnisse der Treibhausgas-,  $\text{SO}_x$ - und  $\text{NO}_x$ -Emissionen sowie der radioaktiven Luftemissionen der einzelnen Systeme verglichen.

Die Treibhausgas-Emissionen werden in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten angegeben. Dazu werden die treibhauswirksamen Gase wie  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CF}_4$  und FCKW auf der Grundlage des «Global Warming Potential» über 100 Jahre (GWP 100) von IPCC 1994 [7] umgerechnet und zum  $\text{CO}_2$  addiert. Bild 2 zeigt die Resultate, wobei die direkten Emissionen der Kraftwerke getrennt vom Rest der Ketten dargestellt sind.

Der niedrigste Wert für fossile Systeme wurde für Kombi-Gas berechnet, der höchste für «Kombi-Wirbel». Bei den fossilen Kraftwerken macht der direkte Schadstoffausstoss mit Abstand den grössten Anteil (78–88%) der totalen Emissionen der ganzen Ketten aus. Ein Ko-Wirbel-Kraftwerk produziert etwa zweimal soviel Tonnen ( $\text{CO}_2$ -äquiv.)/GWh wie ein gasbetriebenes Kombi-Kraftwerk. Für erneuerbare und nukleare Systeme wurden die niedrigsten Treibhausgas-Emissionen berechnet. Sie stammen in erster Linie von indirekten Quellen und von up- und downstream Prozessen, jedoch nur in vernachlässigbarer Masse von den Kraftwerken selbst. Diese Systeme setzen ein bis zwei Grössenordnungen weniger Treibhausgase frei als fossile Systeme.

Wie aus Bild 3 ersichtlich ist, verursacht  $\text{CO}_2$  für alle Ketten den grössten Anteil an den Treibhausgas-Emissionen. Alle berücksichtigten Ketten verursachen kleine Beiträge an den totalen Methan-Emissio-

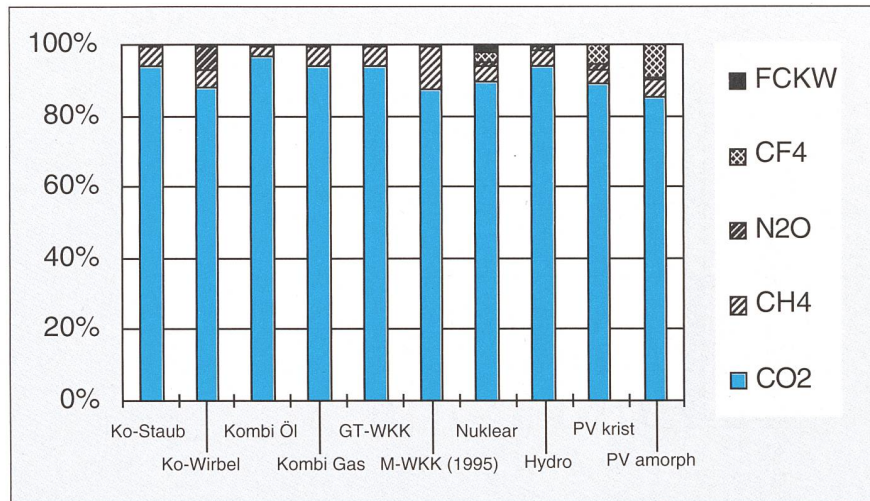


Bild 3 Anteile der verschiedenen zum Total beitragenden Treibhausgase der analysierten Energieketten.

nen. Die höchsten relativen Beiträge wurden für die Gassysteme, insbesondere Motor-WKK (12%), berechnet. Dies beruht auf der angenommenen Gasversorgung (Kombi: Hochdrucknetz für die regionale Verteilung; Motor-WKK: Niederdrucknetz). Die Methanfreisetzung aus dem Kohle-Untertagebau macht etwa 5% der totalen Treibhausgase aus. Emissionen von  $\text{CF}_4$  (aus der Aluminiumproduktion) tragen für PV etwa 5–9% zum Total der Treibhausgase bei. Für die anderen Energiesysteme können sie ausser acht gelassen werden. Die einzige Energiekette mit einem wesentlichen Beitrag von Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ist Ko-Wirbel (7%). Die Beiträge von FCKW sind vernachlässigbar.

Bild 4 vergleicht die Treibhausgas-Emissionen gegenwärtiger europäischer

[8] und zukünftiger für die Schweiz relevanten Energieketten. Die Emissionen der PV, die nur für schweizerische Bedingungen beurteilt wurden, werden für vier Anlagentypen dargestellt: Grossanlagen, monokristalline (m-krist), polykristalline (p-krist) und amorphe Schrägdachanlagen ( $3 \text{ kW}_{\text{peak}}$ ).

Treibhausgas-Emissionen zukünftiger, fossiler Systeme können gegenüber den heutigen durchschnittlichen Systemen um 35–50% reduziert werden. Trotzdem bleiben sie zwei Grössenordnungen grösser als die der Wasser- und Kernkraft und eine grösser als die von PV. Die relative Bedeutung einiger spezifischer Treibhausgase aus fossilen Systemen ändert sich (z.B. signifikante Erhöhung der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen für Ko-Wirbel gegenüber heutigen Steinkoh-

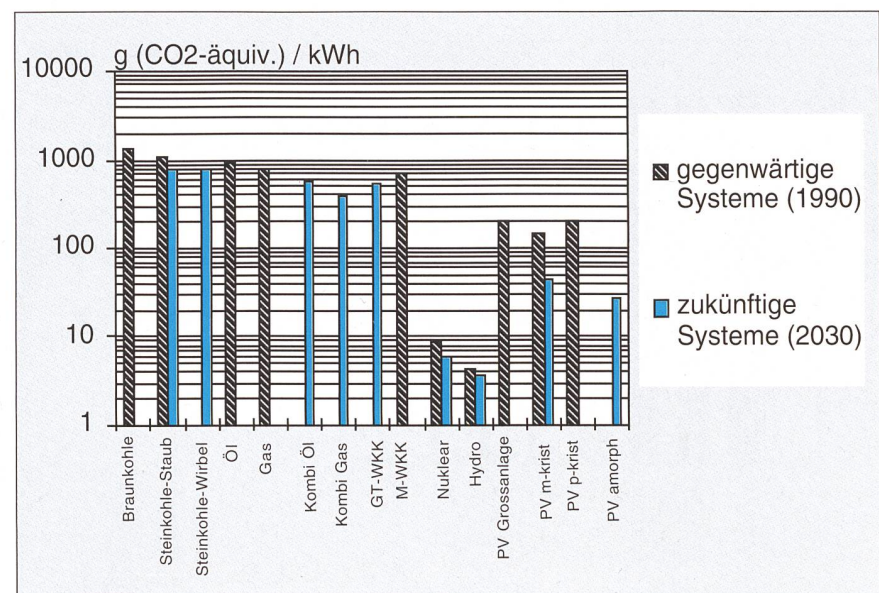
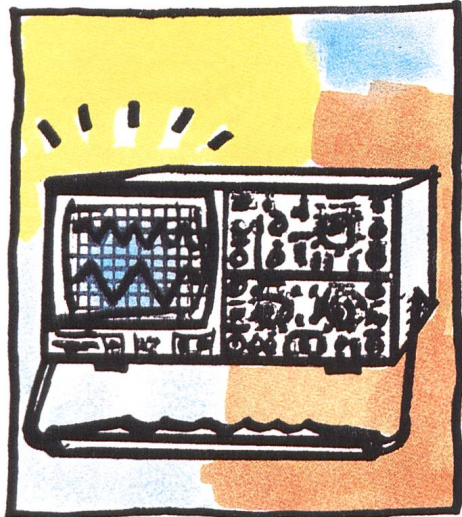
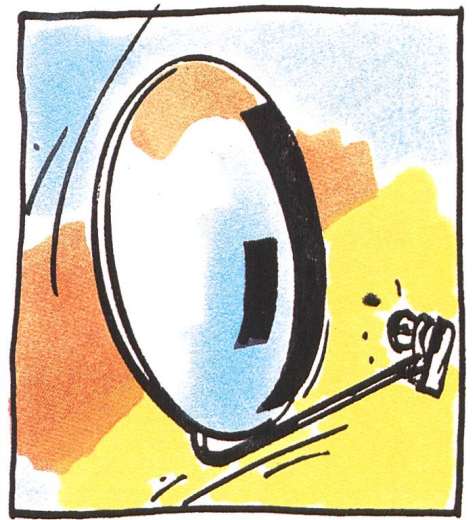
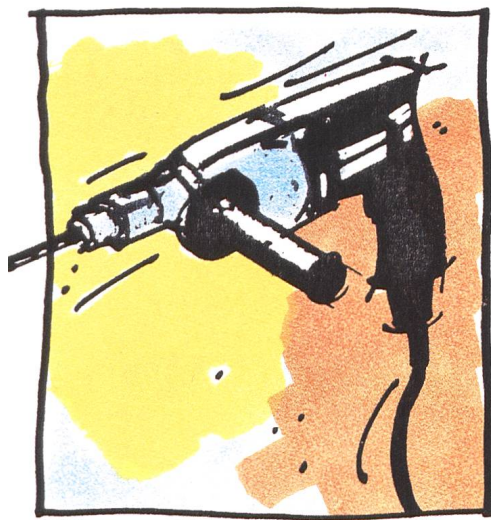


Bild 4 Treibhausgas-Emissionen heutiger und zukünftiger Energieketten (logarithmische Skala).

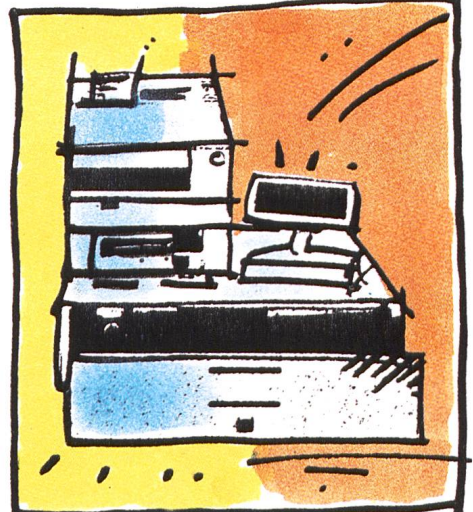
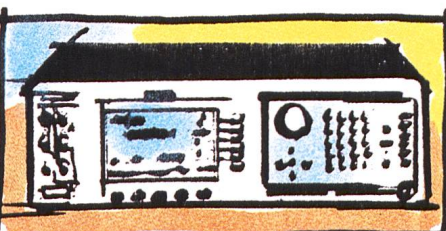
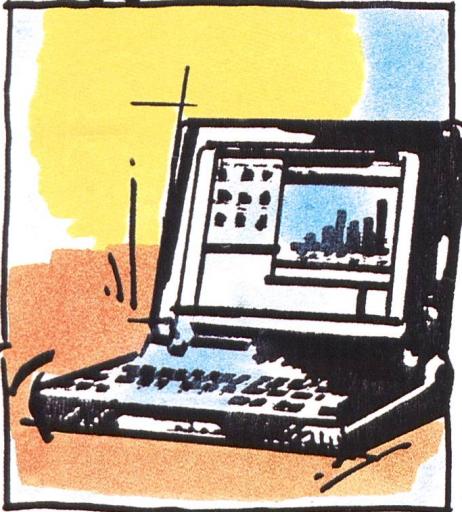
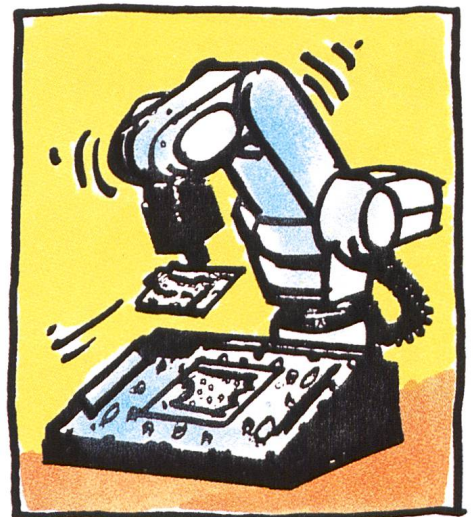




Stichtag 1.1.1996:

# EMV

Sichern Sie sich den Zutritt  
zum europäischen Markt!





# Dieses neue Praxishandbuch macht den Weg frei

Ab dem 1. Januar 1996 muss jedes Gerät mit elektrischen und elektronischen Bauteilen die EMV-Schutzanforderungen erfüllen und dies mit der CE-Kennzeichnung dokumentieren. Der CE-Kennzeichnungs-pflicht unterliegen alle Schweizer Hersteller

und Exporteure, die ihre Produkte in ein EU-Mitgliedsland exportieren wollen!

Jetzt ist es also höchste Zeit zu handeln, um sich vor bösen Überraschungen zu schützen.

## Klarheit in den maßgebenden Vorschriften und Standards

Das neue Praxishandbuch zeigt Ihnen im rechtlichen Teil die verschiedenen Wege, auf denen Sie in Zukunft die Voraussetzung für die CE-Kennzeichnung – die Konformitäts-erklärung – für jedes Ihrer Produkte erreichen. Sie erfahren genau, wann Sie die Einhaltung der EMV-Schutzanforderungen ohne Messung erklären können, und wann Sie für Ihre Erklärung ein akkreditiertes Messlabor einschalten müssen. Ausserdem haben wir für Sie

weitere wichtige Informationen zusammengestellt:

- Das formale Verfahren zur CE-Kennzeichnung mit allen Vordrucken.
- Die wichtigsten EN-Normen in Auszügen – von Experten kommentiert!
- Die für Ihre Erzeugnisse geltenden Grenzwerte.
- Die Befugnisse des Starkstrom-inspektorats bis zum Marktausschlussverfahren.

## Fundierte EMV-Know-how für Ihre Produktentwicklung

Im technischen Teil, der nach den Arbeitsabläufen in der Produktentstehung strukturiert ist, stellt das Praxishandbuch im Detail vor, wie Sie EMV-Massnahmen entsprechend den neuen Anforderungen und dabei kostengünstig realisieren. Sie lernen zunächst, **Problemzonen und Fehlerquellen gezielt zu ermitteln**. Anschliessend sind durchgängige Lösungen für EMV-gerechtes Design in Elektronik und Mechanik, auf Geräte-, System- und Anlagenebene beschrieben. Mit diesem zuverlässigen Instrumentarium **beziehen Sie EMV von Anfang an in Ihren Entwicklungen ein**. Sie

optimieren Störaussendung und Störfestigkeit! Die Autoren erklären unter anderem konkret,

- wie Sie Leiterplatten, Gehäuse oder Kabelführungen auslegen müssen,
- worauf es beim Geräte- und Systementwurf oder bei der Anlageninstallation ankommt,
- wie Sie die EMV-Risiken zugekaufter Netzteile, Leiterplatten etc. erkennen und minimieren.

Zusätzlich in jedem technischen Kapitel: Wirksame Nachbesserungsmassnahmen mit anschaulichen Fallbeispielen.

## Zeit- und kostensparende Unterstützung für Ihre EMV-Messungen

Der 3. Teil behandelt alle Möglichkeiten, mit denen Sie die (Zwischen-) Ergebnisse Ihrer EMV-Massnahmen präzise auswerten können. Durch verständliche Verfahrensbeschreibungen, Messaufbau-Skizzen, Angaben zu Geräteausrüstung und -kosten sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

- setzen Sie in Ihrem eigenen Labor

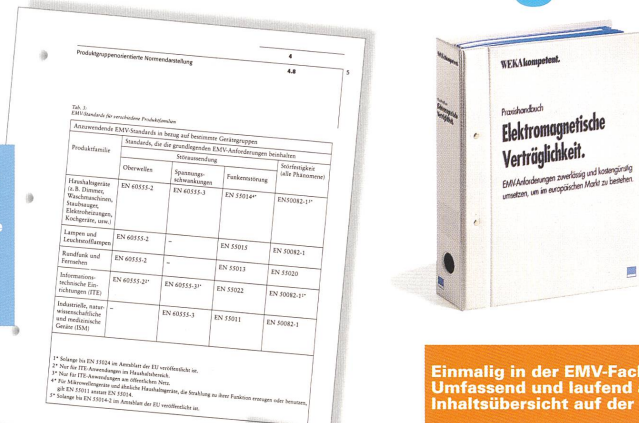
einfache Messverfahren entwicklungsbegleitend ein,

- bauen Sie Mess-Know-how in Ihrem Betrieb auf,
- schätzen Sie ab, ob sich die Anschaffung hochwertiger Messgeräte oder die **Einrichtung eines Testlabors** langfristig für Sie rechnen.

Klare Orientierung im Vorschriften-wust: Sie wissen, welche Vorschriften auf Ihre Produkte anzuwenden sind.

Für Ihre praktische Arbeit im direkten Zugriff: Fachwissen für EMV-Sicherheit auf allen Ebenen.

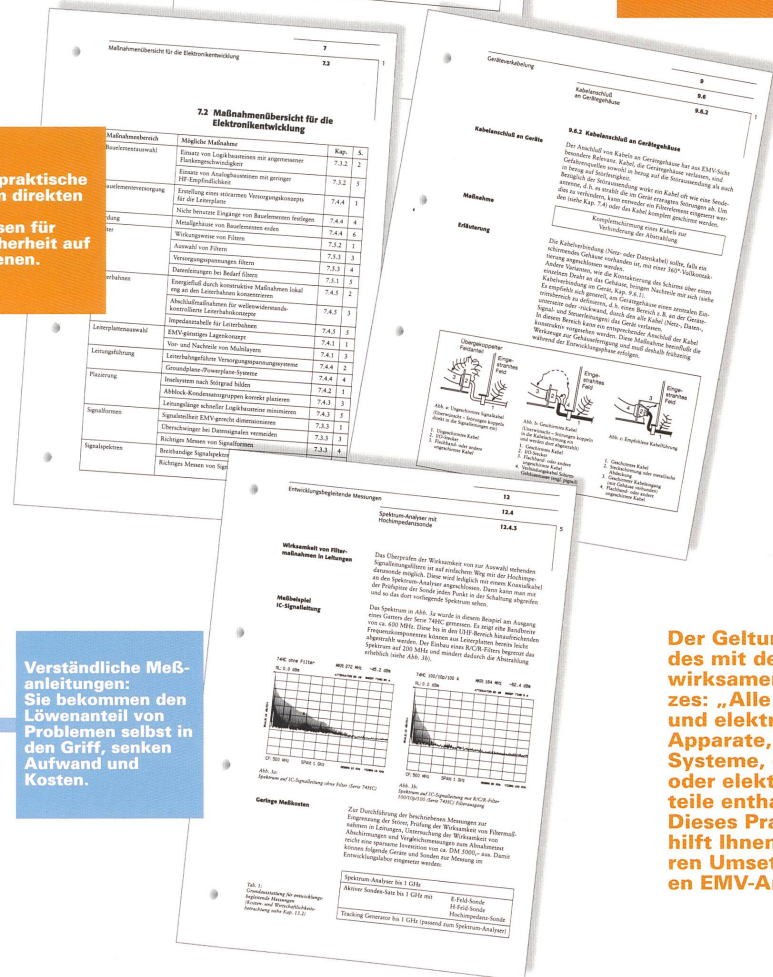
Verständliche Meßanleitungen: Sie bekommen den Löwenanteil von Problemen selbst in den Griff, senken Aufwand und Kosten.



Einmalig in der EMV-Fachliteratur: Umfassend und laufend aktuell. Inhaltsübersicht auf der Rückseite.

Kompetente Unterstützung bis hin zum Problemfall: Erprobte Entwicklungsregeln und wirtschaftlich vertretbare Nachbesserungsempfehlungen.

Der Geltungsbereich des mit dem 1.1.96 voll wirksamen EMV-Gesetzes: „Alle elektrischen und elektronischen Apparate, Anlagen und Systeme, die elektrische oder elektronische Bauteile enthalten.“ Dieses Praxishandbuch hilft Ihnen bei der sicheren Umsetzung der neuen EMV-Anforderungen.





# Gehen Sie störungsfrei in den EU-Markt

5/9630

## Ihr rundes EMV-Informationspaket

### Verzeichnisse

- Autoren • Abkürzungen • Stichwortverzeichnis

### EG-Richtlinien, Gesetze und Verordnungen

- EMV-Gesetz mit Erläuterung

### Wege zur CE-Kennzeichnung

- CE-Kennzeichnung im Überblick • Zusammenwirken mit anderen Richtlinien • Anwendung der Normen • Konformitätserklärung • Dokumentation • Marktübersicht

### EMV-Normen

- Aktueller Stand bei ISO-, EN- und nationalen Normen • Kommentierte Auszüge • Auswahl der zutreffenden EMV-Normen

### Störquellen, Kopplungswege und Störsenken

- Störquellen und -senken: Wirkungsweisen, Fehlerursachen und Fehlersuche

### EMV-gerechte Elektronik-Entwicklung von Geräten

- Massnahmenübersicht • Verhalten elektronischer Bauelemente • EMV-gerechtes Leiterplattendesign • Filtermassnahmen • Entstörung von Schaltnetzteilen und Frequenzumrichter

### EMV-gerechte Mechanik-Entwicklung von Geräten

- Massnahmenübersicht • Punkte eines Gehäuses • EMV-gerechte Schirme • EMV-gerechte Kabel

### EMV-gerechte Entwicklung von Komponenten

- Massnahmenübersicht • EMV-gerechtes Design beim Zusammenbau • Schutzmassnahmen

### EMV auf Systemebene

- Massnahmenübersicht • Anlagenplanung • Konzeption • EMV-gerechte Installation • EMV-gerechte Wartung

### Praxisbeispiele

- Erfolgreiche Konzepte

### EMV-Messung

- Messverfahren • Messmittel • Entwicklungsbeginn

### Planung und Labors

- Kosten- und Wirtschaftlichkeit • Geräte- und Labormittel

### EMV-Dienstleistungen

- Dienstleistungen • EMV-Messungen • EMV-Zertifizierung • Seminare

## Ihre EMV-Experten

Dipl.-Ing. Joachim Nedtwig



EMV-Sachverständiger für zivile und militärische Normung in internationalen Gremien. EMV-Gutachter, Veranstalter von EMV-Praxisseminaren. Berater für EMV-Schutzmassnahmen bei industriellen Elektronikprodukten.

Ing. (HTL) Martin Lutz



Schweizer EMV-Berater, Mitglied nationaler und internationaler Normengremien. 6 Jahre Leiter «Technik und Verkauf» des Bereiches «EMV-Prüfsysteme» bei einem Elektronikhersteller. Schwerpunkt seiner Beratungstätigkeit und Seminare: «Praktische Störfestigkeitsmassnahmen».

## Das Loseblattsystem für EMV-Sicherheit auf Dauer

## Bestellkarte

Ja, ich will den Zutritt zum europäischen Markt sichern und bestelle:

\_\_\_ Ex. **Praxishandbuch Elektromagnetische Verträglichkeit**



1 Band im Format A4, ca. 600 Seiten  
Bestellnummer 185 400  
Preis: Fr. 228.- inkl. MWSt.

Rückgaberecht innert 10 Tagen. Inklusive automatisch erfolgendem Ergänzungsservice zum Ø Seitenpreis von nur Fr. 1.-, jederzeit abbestellbar.

### Lieferadresse

Firma: .....

Name: .....

Vorname: .....

Abt./Funktion: .....

Strasse/Nr.: .....

PLZ/Ort: .....

Telefon: .....

Datum: .....

Unterschrift: .....

2403 WK 16

**WEKA praxisnah.**

WEKA Verlag AG

Hermetschloostrasse 77 Postfach 8010 Zürich Telefon 01-434 88 88 Telefax 01-432 82 01





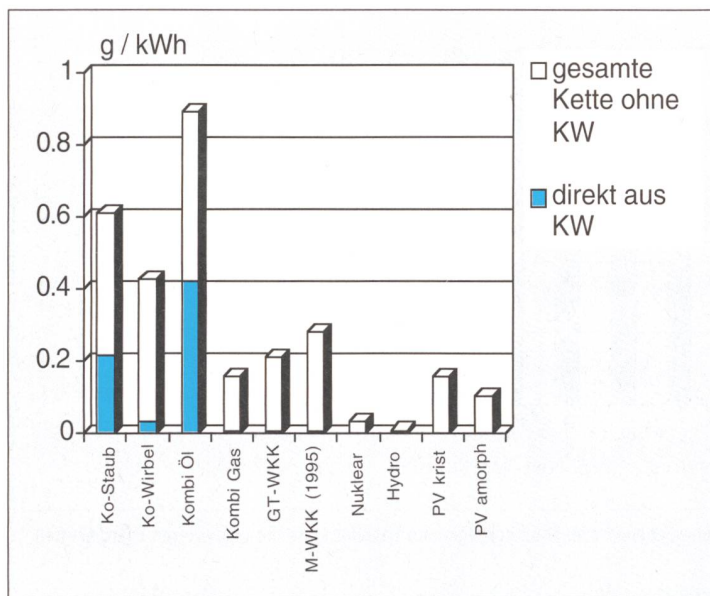


Bild 5  
SO<sub>x</sub>-Emissionen  
in die Luft für  
zukünftige  
Systeme.

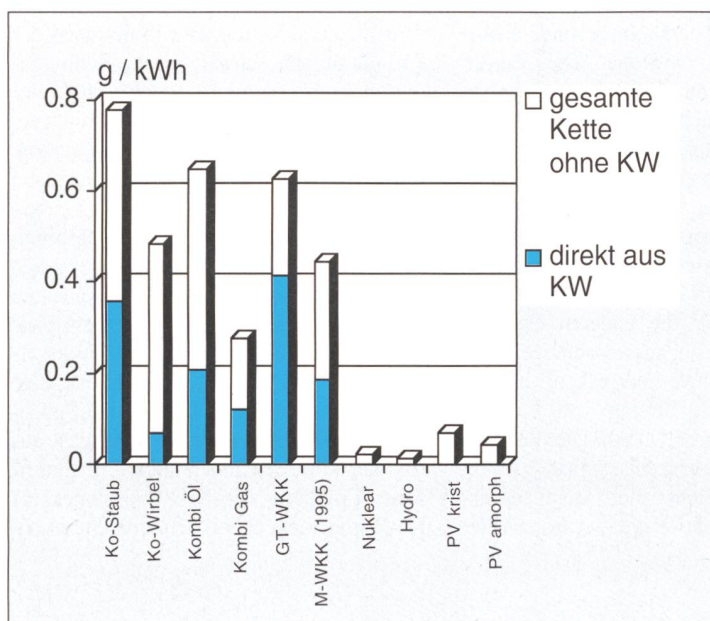


Bild 6  
NO<sub>x</sub>-Emissionen  
in die Luft für  
zukünftige  
Systeme.

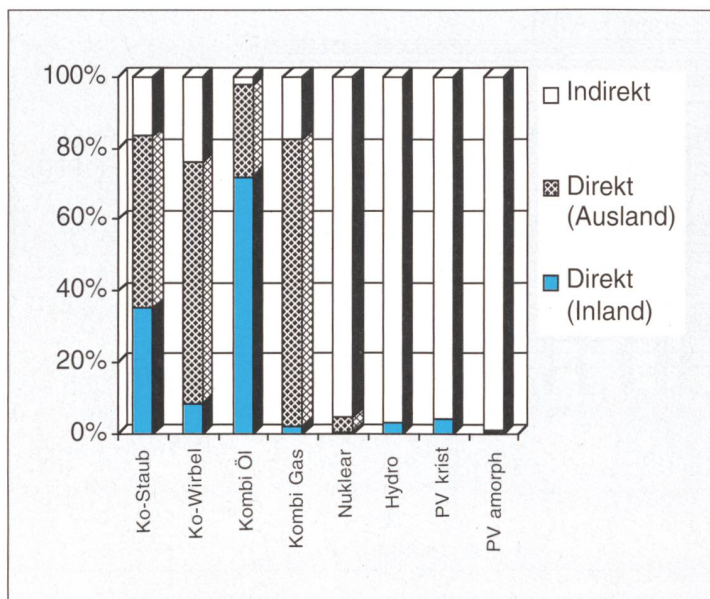


Bild 7 Direkte  
und indirekte  
SO<sub>x</sub>-Emissionen  
aus zukünftigen  
Systemen.

lensystemen). Für PV scheint, verglichen mit heutigen Systemen, eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um einen Faktor zwei bis acht möglich zu sein.

In Bild 5 und 6 sind SO<sub>x</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen zu sehen. Kombi-Öl weist sowohl für das Kraftwerk als auch für die ganze Kette die grössten SO<sub>x</sub>-Emissionen auf. Entsprechend haben Kohlen- und Gassysteme die zweit- bzw. drittgrössten Werte. Das Ko-Wirbel-Kraftwerk emittiert, verglichen mit einem fortschrittlichen Ko-Staub-Kraftwerk, nur sehr wenig Schwefeloxid (etwa 8% der Kette). Die direkten SO<sub>x</sub>-Emissionen von Kombi-Gas-Kraftwerken sind vernachlässigbar, verglichen mit denen anderer fossiler Systeme.

Wie in Bild 6 zu sehen ist, verursacht Ko-Staub die stärkste totale NO<sub>x</sub>-Belastung. Die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den Kraftwerken liegen jedoch bei GT-WKK am höchsten. Im Vergleich der fossilen Anlagen schneiden Ko-Wirbel-Kraftwerke bezüglich NO<sub>x</sub> am besten ab. Bei Kombi-Gas sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Kraftwerk und der totalen Kette im Vergleich mit den übrigen Gassystemen am tiefsten. GT-Kraftwerke emittieren etwa zwei Drittel der totalen Emissionen aus der entsprechenden Kette.

Die Bilder 7 und 8 zeigen, unter der Annahme, dass die Kraftwerke in der Schweiz stehen, die SO<sub>x</sub>- und NO<sub>x</sub>-Anteile der direkten Emissionen im In- und Ausland sowie der indirekten, die vorwiegend im Ausland entstehen. Für die meisten Schadstoffe sind die totalen Emissionen aus den fossilen Ketten überwiegend direkt, wie im Fall von SO<sub>x</sub> und NO<sub>x</sub>.

Die Menge des in der Schweiz direkt emittierten SO<sub>x</sub> macht mit Ausnahme von Kombi-Öl und Ko-Staub nur einen kleinen Teil der ganzen Ketten aus. Bei den Kohlenketten stammen alle direkten Emissionen in der Schweiz aus dem Kraftwerk, bei der Ölkette zusätzlich aus der Raffinerie. Die direkten SO<sub>x</sub>-Emissionen der Kohlen- und Ölketten ausserhalb der Schweiz werden von Frachtern bzw. Tankern verursacht, diejenigen der Gaskette entstehen durch das Abfackeln in der Produktion und Verarbeitung.

Bei den fossilen Systemen, mit Ausnahme der Ko-Wirbel, sind die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen in der Schweiz vergleichbar mit den direkten Emissionen im Ausland. Diese inländischen Emissionen entstehen in erster Linie beim Betrieb der Kraftwerke, bei der Ölkette zusätzlich noch in den Raffinerien. Die ausländischen NO<sub>x</sub>-Emissionen werden bei den Kohlenketten durch den Transport (Frachter und Dieselzüge) dominiert. Bei der Ölkette stammen sie aus verschiedenen Quellen wie Förderung, Raffinerie, Dieselmotoren



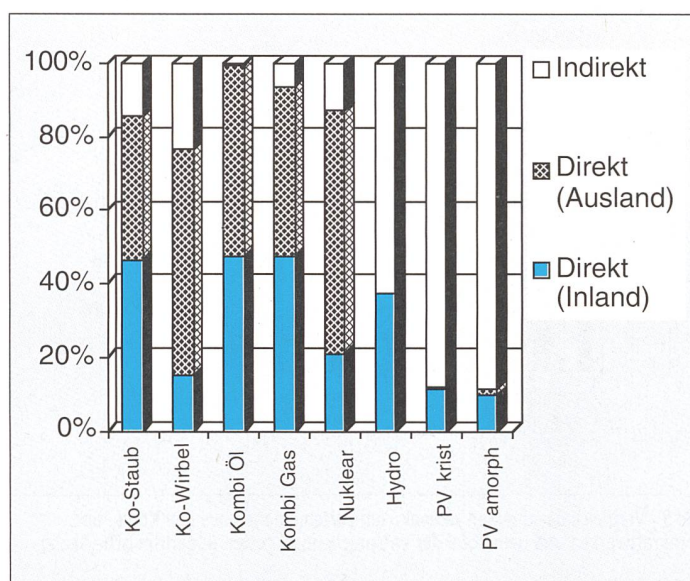
und Öltransport. Die Pumpstationen der Gaspipelines verursachen den Hauptanteil der ausländischen NO<sub>x</sub>-Emissionen der Gaskette.

Die SO<sub>x</sub>-Emissionen der nuklearen Kette und PV sind fast ausschliesslich indirekten Ursprungs und stammen überwiegend aus Elektrizitäts- und Stahlbedarf. Dasselbe gilt für die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus PV. Die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen der Nuklearkette werden überwiegend beim Betrieb der Diesel- und Baumaschinen sowie von chemischen Prozessen der Brennstoffherstellung emittiert. Die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Wasserkraft stammen fast vollständig aus Baumaschinen.

Die radioaktiven Luftemissionen wurden in die vier Klassen Radon, andere Gase, Aktinide und Aerosole eingeteilt. Bild 9 zeigt die direkten radioaktiven Luftemissionen aus Kohle- und Kernkraftwerken und dem Total der entsprechenden Ketten. Ergebnisse aus anderen Systemen werden hier nicht aufgeführt, weil signifikante direkte radioaktive Emissionen fehlen.

Radon wird sowohl in Kohlekraftwerken als auch während dem Kohlebergbau direkt freigesetzt. Die zugehörigen Werte, normiert auf die produzierte Elektrizität, sind mehrere Grössenordnungen kleiner als die Langzeit-Radon-Emissionen aus dem Uranbergbau und -aufbereitung. Andere radioaktive Gase (vorherrschend Edelgase)

Bild 8 Direkte und indirekte NO<sub>x</sub>-Emissionen aus zukünftigen Systemen.



stammen ausschliesslich aus der nuklearen Kette. Durch den Stromkonsum der verschiedenen Schritte erscheinen die beiden Klassen Radon und andere Gase auch in den Kohlen- und anderen Energieketten. Die Werte liegen jedoch zwei bis drei Grössenordnungen tiefer als für die nukleare Kette (gilt auch für Aktinide und Aerosole). Aktinide werden von Kohlekraftwerken in die Luft freigesetzt. Der normierte totale

Aktinideausschuss der Kohlekraftwerke ist etwa 35 mal kleiner als für die nukleare Kette (überwiegend vom Uranbergbau und der Wiederaufarbeitung). Die für die Kohlenketten berechnete Freisetzung radioaktiver Aerosole stammen grösstenteils aus den Kraftwerken und sind nur halb so gross wie für die nukleare Kette. Es muss betont werden, dass sich die relative Zusammensetzung der Radionuklide dieser Klasse aus

Schadstoffe/ Gruppe	Emissionen der Netto CH-Strom- produktion (1990)	Emissionen aus dem Basis- angebot (2030)	Emissionen aus den Varianten der Mankodeckung (2030)							
			Varianten der Nachfrage	1	2	3	4	5	6	7
SO <sub>x</sub> (1000 t/Jahr)	3,5	1,1	hoch tief	17,7 10,4	1,4 0,8	4,5 1,6	11,1 6,5	5,8 3,4	16,6 9,8	4,5 1,7
NO <sub>x</sub> (1000 t/Jahr)	1,9	2,0	hoch tief	20,4 12,0	1,0 0,6	7,5 2,2	11,1 6,5	6,4 3,8	18,8 11,1	6,6 1,9
CO <sub>2</sub> -äquiv. (Mio. t/Jahr)	0,9	2,0	hoch tief	24,2 14,3	0,3 0,2	10,0 2,6	12,0 7,1	7,2 4,2	22,2 13,1	8,5 2,1
CH <sub>4</sub> <sup>a)</sup> (1000 t/Jahr)	1,3	8,3	hoch tief	49,2 29,0	0,5 0,3	23,5 6,0	26,9 15,9	16,4 9,7	45,3 26,7	20,0 4,8
NM VOC (1000 t/Jahr)	1,8	1,0	hoch tief	15,4 9,1	0,5 0,3	2,9 0,9	2,4 1,4	1,8 1,1	13,7 8,1	2,6 0,8
Partikel (1000 t/Jahr)	9,7	8,3	hoch tief	28,7 16,9	2,1 1,2	3,2 1,5	28,3 16,7	11,7 6,9	27,6 16,3	3,5 1,8
Radioakt. <sup>b)</sup> (1000 TBq/Jahr)	57,2	1,8	hoch tief	0,3 0,2	46,9 27,6	21,2 21,2	30,5 18,0	33,8 19,9	0,3 0,2	21,3 20,0

a) Auch in CO<sub>2</sub>-äquivalent.

b) Total aller radioaktiven Emissionen ohne Gewichtungsfaktoren.

Tabelle V Ausgewählte totale jährliche Luftemissionen der heutigen (1990) schweizerischen Nettostromproduktion [1] und der vom VSE definierten [4] Stromversorgungsvarianten für die Schweiz im Jahr 2030 [5].



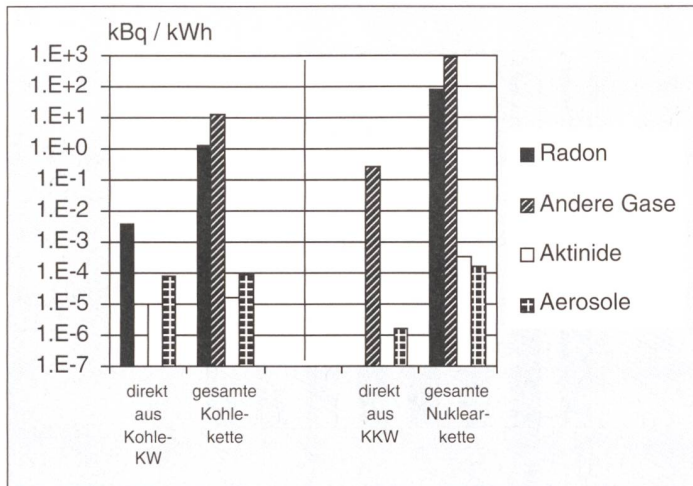


Bild 9 Vergleich der direkten radioaktiven Luftemissionen aus den Kohle- und Kernkraftwerken und dem Total der entsprechenden Ketten (logarithmische Skala).

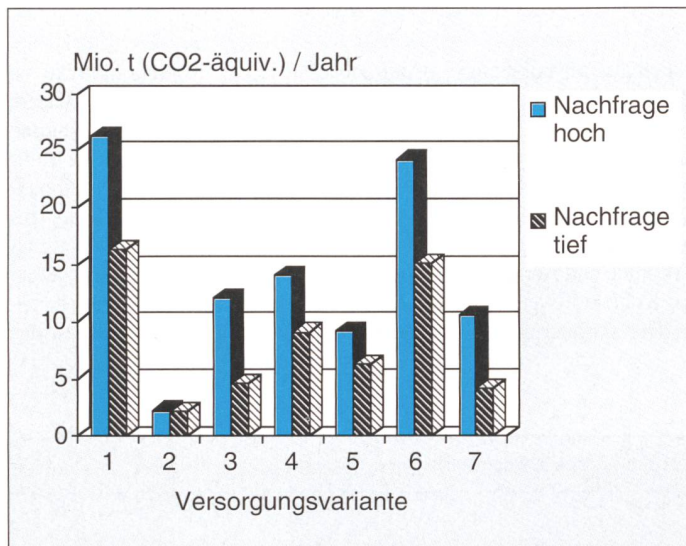


Bild 10 Treibhausgas-Emissionen der sieben Versorgungsvarianten für hohe und tiefe Nachfrage für das Jahr 2030.

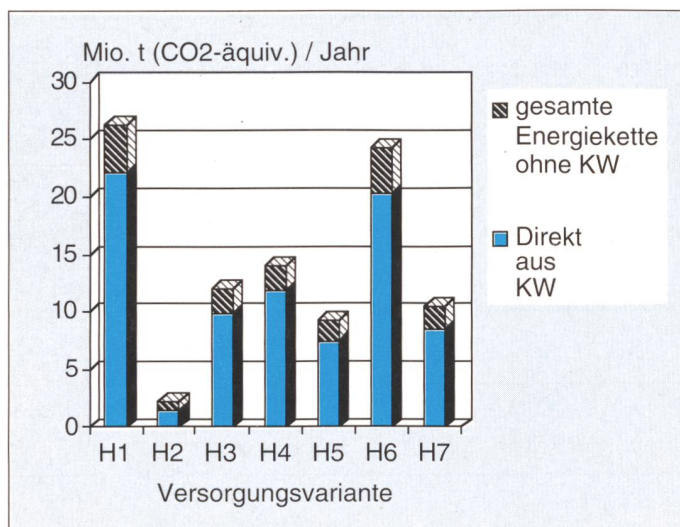


Bild 11 Anteil der Kraftwerke an den totalen Treibhausgas-Emissionen der sieben Versorgungsvarianten der hohen Nachfrage für das Jahr 2030.

der Kohlen- und Kernkraftkette drastisch unterscheiden. Die höchsten Beiträge zu den radioaktiven Aerosolen der nuklearen Kette stammen aus der Wiederaufarbeitung, dem Bergbau und der Brennstoffherstellung, während der Beitrag der Kraftwerke nur 1% ausmacht (überwiegend Jod).

Die hier nicht diskutierte radioaktive Abgabe ins Wasser und die endkonditionierten festen radioaktiven Abfälle wurden in [5] ebenfalls behandelt. Es wird damit gerechnet, dass diese Mengen abnehmen werden.

## Vergleich der Varianten des zukünftigen Versorgungsmixes

Die folgende Diskussion der Emissionen im Jahr 2030 beruht auf den sieben Varianten der Mankodeckung (Tabelle III). Für die Varianten des Versorgungsmixes müssen zusätzlich die Emissionen des Basisangebotes (Tabelle I) addiert werden.

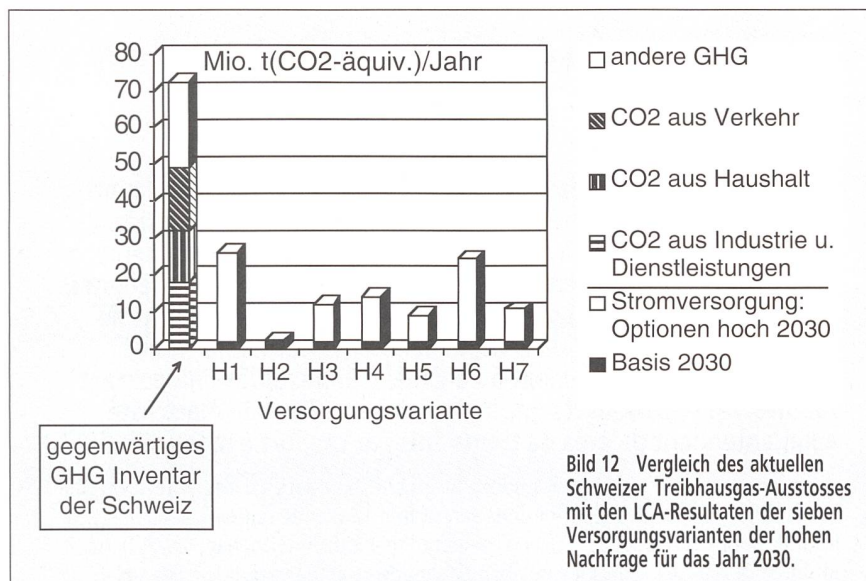
Tabelle V zeigt ausgewählte Ergebnisse der betrachteten Varianten des Versorgungsmixes und die jährlichen Emissionen der heutigen (Referenzjahr: 1990) Nettostromproduktion für die Schweiz, die mit der gleichen Methodik berechnet wurden [1]. Die Emissionen der einzelnen Energieketten schlagen sich in den Resultaten der verschiedenen Optionen nieder. Die folgende Diskussion bezieht sich nur auf die hohe Nachfrage.

Versorgungsvarianten, die fossile Systeme zur Mankodeckung verwenden, führen im Vergleich zum heutigen Versorgungsmix zu Erhöhungen der Verbrennungsgas-Emissionen. Dies gilt sowohl absolut (Tabelle V) als auch normiert auf die erzeugte Elektrizität. In dieser Hinsicht ist die Versorgungsvariante, die für die Mankodeckung nur nukleare Systeme verwendet, bedeutend günstiger. Obwohl die produzierte Menge Elektrizität aus Kernenergie in dieser Variante im Vergleich zur heutigen nuklearen Nettostromproduktion mehr als verdoppelt ist, wird keine Zunahme der radioaktiven Luftemissionen erwartet.

Versorgungsvarianten, die für die Mankodeckung nukleare Systeme verwenden, emittieren rund eine Grössenordnung mehr Radioaktivität als die anderen (bei den fossilen Versorgungsvarianten stammt der grösste Teil der Radioaktivität aus dem importierten Strom nuklearer Systeme des Basisangebots).

Im folgenden werden nur die Treibhausgas-Emissionen betrachtet. Bild 10 zeigt die Treibhausgas-Emissionen der sieben Versorgungsvarianten für die Nachfrage hoch und tief für das Jahr 2030. Die Diskussion beschränkt sich auf Ergebnisse der Nachfrage hoch (H1 bis H7). Für die





Varianten der Nachfrage tief können ähnliche qualitative Aussagen gemacht werden.

Bild 11 zeigt den Anteil der direkten Emissionen aus Kraftwerken gegenüber dem Total der Varianten (Mankodeckung und Basis). Die fossile Variante H1 verursacht mit 26,2 Mio. t (CO<sub>2</sub>-äquiv.)/Jahr den höchsten Ausstoss an Treibhausgasen. Davon stammen 84% direkt vom Kraftwerk und 92% haben ihren Ursprung in den Systemen der Mankodeckung (2,0 Mio. t [CO<sub>2</sub>-äquiv.]/Jahr vom Basisangebot). Die nukleare Variante H2 emittiert mit 2,3 Mio. t (CO<sub>2</sub>-äquiv.)/Jahr am wenigsten Treibhausgase. Die nukleare Energiekette hat dabei lediglich 12% Anteil. Der Rest stammt von den Systemen der Basis. Die Treibhausgas-Emissionen der gemischten Varianten bewegen sich, je nach fossilem Anteil, dazwischen.

Für die verschiedenen Varianten der Nachfrage hoch hat Methan einen Anteil von 5,5% bis 9,5% der gesamten Treibhausgase. Der gewichtete Anteil des Lachgas (N<sub>2</sub>O) zum Total der Treibhausgase beträgt 0,1% bis 2,4%, während andere Treibhausgase vernachlässigbare Mengen beitragen. Die berechneten zukünftigen Treibhausgas-Emissionen der Elektrizitätsproduktion können mit heutigen Inventaren verglichen werden. Die jährlichen Treibhausgas-Emissionen des heutigen schweizerischen Elektrizitätsmix betragen etwa 0,9 Mio. Tonnen [1]. Davon stammen 63% von der Energiekette des Ölkraftwerks in Vouvry, das nur etwa 1,2% zur totalen erzeugten Elektrizität beiträgt. Bild 12 vergleicht die Treibhausgas-Emissionen der künftigen Varianten der Stromversorgung mit den gesamten heutigen Schweizerischen Treibhausgas-Emissionen aus Transport, Haushalt, Dienstleistungen und Indu-

strie. Diese wurden mit 66,2 Mio. t (CO<sub>2</sub>-äquiv.)/Jahr berechnet [9], [10], wobei die CO<sub>2</sub>-äquiv. auf den IPCC 1992-GWP 100 basieren. Um die Konsistenz zu wahren, werden in dieser Studie IPCC 1994-GWP 100 verwendet. Der Gesamtwert der heutigen Emissionen ändert sich damit auf etwa 72,2 Mio. t (CO<sub>2</sub>-äquiv.)/Jahr. Daraus folgt, dass die totalen Treibhausgas-Emissionen des Elektrizitätssektors im Jahre 2030, welcher die ganzen Energieketten im In- und Ausland berücksichtigt, im Fall der fossilen Option rund 36% des totalen gegenwärtigen inländischen Treibhausgas-Ausstosses ausmachen würde.

Den grössten Anteil am gegenwärtigen schweizerischen Treibhausgas-Ausstosses, 68% oder 49 Mio. t/Jahr, besteht aus CO<sub>2</sub>. FCKW tragen mit etwa 19% den zweitgrössten Anteil bei (für FCKW werden in IPCC 1994 nur die direkten Auswirkungen betrachtet). Allerdings ist damit zu rechnen, dass in naher Zukunft diese durch andere Substanzen, die die stratosphärische Ozonschicht nicht schädigen und deren GWP geringer sein könnte, ersetzt werden. Methan und Lachgas haben einen Anteil von 8% bzw. 5%.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die im hier betrachteten Zeitraum erwarteten Verbesserungen der fossilen Kraftwerke sind wesentlich grösser als die der übrigen Schritte der Ketten. Die relative Bedeutung der Kraftwerke sinkt deshalb. Dagegen nimmt der Einfluss der übrigen Teile der Energieketten sowie der Transportaufwendungen und der Materialherstellung zu. Wie erwartet wird für alle analysierten Systeme die Gesamtemission der

Hauptschadstoffe signifikant reduziert. Die Wasserkraftkette zeigt die kleinsten Emissionen von Hauptschadstoffen gefolgt von den nuklearen und solaren Systemen. Die vorausgesetzten Verbesserungen der Photovoltaik-Systeme sind verglichen mit der heute verfügbaren Technik signifikant. Die radioaktiven Emissionen sind naturgemäss für die nukleare Brennstoffkette am grössten. Der relative Beitrag des Kraftwerks ist jedoch sehr klein.

Die Emissions-Charakteristiken der Mankodeckungsvarianten werden durch die gewählten Energiesysteme bestimmt. Die Emissionen der Verbrennungsprodukte der konventionell thermischen Mankodeckung sind für die hohe Nachfrage zehn- bis hundertmal höher als diejenige der nuklearen Variante. Insbesondere nimmt der CO<sub>2</sub>-Ausstoss, im Vergleich zu den Energieketten der heutigen schweizerischen Elektrizitätsversorgung, um das 30fache zu. Die gesamte Radioaktivität der nuklearen Mankodeckung ist vergleichbar mit dem derzeitigen Stand. Die Emissionen der anderen Mankodeckungsvarianten liegen dazwischen.

Aufgrund der Einschränkungen der vorliegenden Studie sind für zukünftige Aktivitäten folgende spezifischen LCA-Erweiterungen von Interesse:

1. Gesamthafte und ständige Verbesserungen der Datenbanken
2. Ausdehnung des Anwendungsbereiches:
  - vollständige Behandlung der Emissionen in Wasser
  - Einbeziehung zusätzlicher fossiler und erneuerbarer Technologien und revolutionären Prozessen (z.B. CO<sub>2</sub>-Speicherung)
  - Berücksichtigung möglicher Veränderungen in den upstream-Schritten der fossilen Ketten
  - Erfassung zukünftiger Weiterentwicklungen im Bereich der Materialverarbeitung und des Transportwesens
  - Analysen zusätzlicher Versorgungsvarianten
3. Sensitivitätsanalysen unsicherer, jedoch ergebnisbeeinflussender Faktoren
4. Klassifizierung der Umwelteinwirkungen basierend auf LCA-Methodik

Andere Aktivitäten innerhalb des GaBE-Projektes zielen auf multidisziplinäre und konsistente Analysen der Energiefragen in der Schweiz ab. Sie enthalten:

- Simulation der Einwirkungen auf die Umwelt (zunächst für fossile Systeme) basierend auf Szenarien; diese Anwendung erlaubt die Modellierung der Ausbreitung und der chemischen Umwandlung der Luftschadstoffe und ist



deshalb im Vergleich zur vereinfachten auf LCA basierenden Bewertung der Einwirkungen eine geeignetere Methode

- gesundheitliche Auswirkung bei normalem Betrieb der Anlagen
- Einwirkungen von schweren Unfällen
- wirtschaftliche Auswirkungen der verschiedenen Möglichkeiten in der Umweltpolitik
- Entscheidungskriterien und -modelle

Damit wird eine breite und tragfähige Unterstützung der Entscheidungsfindung über die zukünftige Elektrizitätsversorgung der Schweiz vorhanden sein.

### Literatur

[1] R. Frischknecht, P. Hofstetter, I. Knoepfel (ETHZ), und R. Dones, E. Zollinger (PSI): «Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz», 1. Auflage, ETHZ/PSI, Zürich (1994).

[2] S. Hirschberg et al.: «Assessment of Energy Systems (Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen – GaBE). Detailed Outline of the Project, 2nd Version», PSI (Juli 1993).

[3] S. Hirschberg: «Framework for and Current Issues in Comprehensive Comparative Assessment of Electricity Generating Systems», einleitender Beitrag, vorgestellt am Internationalen Symposium «Electricity, Health and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision Making», organisiert von EC, ESCAP, IAEA, IBRD, IIASA, OECD/NEA, OPEC, UNIDO, WMO, Wien, 16–19 Oct. 1995 (Proceedings werden von IAEA herausgegeben).

[4] VSE: «Vorschau 1995 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis zum Jahr 2030», VSE, Zürich (Sept. 1995).

[5] R. Dones, U. Gantner, S. Hirschberg (PSI), und G. Doka, I. Knoepfel (ETHZ): «Environmental Inventories for Future Electricity Supply Systems for Switzerland», PSI-Bericht Nr. 96-07, Villigen PSI (1996).

[6] OECD/IEA: «Energy Policies of IEA Countries, 1993, Review», Paris (1994).

[7] J.T. Houghton et al. (Hrsg.): «Climate Change 1994 – Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC 1992 IS 92 Emission Scenarios», Cambridge University Press, Cambridge, UK (1995).

[8] R. Dones, S. Hirschberg (PSI), und I. Knoepfel (ETHZ): «Greenhouse Gas Emission Inventory Based on Full Energy Chain Analysis», vorgestellt anlässlich IAEA Workshop/Advisory Group Meeting «Full Energy Chain Assessment of Greenhouse Gas Emission Factors for Nuclear and Other Energy Sources», Peking, China, 4–7 Oct. 1994 (Proceedings werden von IAEA im TECDOC «Comparison of energy sources in terms of their full-energy-chain emission factors of greenhouse gases» herausgegeben).

[9] Buwal: «Report on the Environment 1993 – The State of the Environment in Switzerland», EDMZ, Bern (1994).

[10] Buwal: «Globale Erwärmung und die Schweiz: Grundlagen», Umwelt-Materialien Nr. 9, Bern (1994).

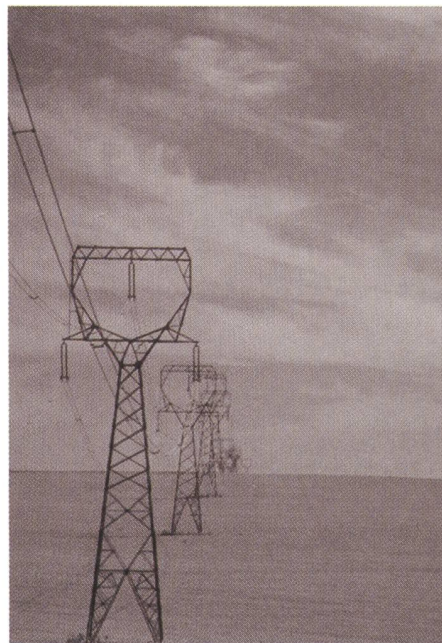
## Avenir de l'électricité: une vision globale des émissions s'impose

Dans son étude intitulée «Prévision 1995 de l'approvisionnement de la Suisse en électricité jusqu'en 2030», l'Union des centrales suisses d'électricité (UCS) a défini sept variantes. Des chercheurs de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) se sont penchés sur les principales émissions de gaz à effet de serre qu'elles impliquent. Pour couvrir le futur déficit d'approvisionnement à l'aide de combustibles uniquement fossiles, les émissions de gaz à effet de serre liées à l'électricité augmenteraient de près de trente fois par rapport à aujourd'hui.

La production d'électricité assurée jusqu'en 2030 sera en majorité d'origine hydraulique. De faibles contributions seront fournies, entre autres, par les installations de couplage chaleur-force et d'incinération des ordures ménagères. A la fin de la durée de vie des centrales nucléaires suisses et après expiration des droits de prélèvement d'électricité contractés à l'étranger, il faut s'attendre à un déficit d'approvisionnement. Sept variantes permettant de couvrir le déficit ont été examinées pour deux types d'évolution possible de la demande en électricité; elles diffèrent entre elles en ce qui concerne les parts de la production d'électricité dues aux énergies fossiles, nucléaire ou solaire ou encore aux importations d'électricité. Les scientifiques ont calculé les émissions de chaque chaîne énergétique en partant de l'exploitation des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets. Malgré de considérables améliorations de rendements des centrales thermiques classiques, les chaînes énergétiques correspondantes produisent une quantité de produits de combustion (tels que le  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  et  $\text{CO}_2$ ) nettement plus importante que les chaînes énergétiques nucléaire et renouvelables. Les rejets de substances radioactives sont par contre les plus élevés dans la chaîne nucléaire.

Les émissions des diverses chaînes énergétiques influencent les résultats des différentes variantes de couverture du déficit. Ci-après seules les émissions de gaz à effet de serre de la demande «haute» sont prises en considération. Pour la variante thermique classique, les émissions totales de gaz à effet de serre sont les plus élevées, avec 26,2 millions de tonnes (mio de t) par an, la principale contribution venant du  $\text{CO}_2$ . Par contre la variante nucléaire entraîne les émissions de gaz à effet de serre les moins importantes (2,3 mio de t par an). Les cinq variantes mixtes, quant à elles, présentent des résultats intermédiaires variant en fonction de la part des combustibles fossiles.

Aujourd'hui, la production suisse d'électricité (à 98% d'origine hydraulique et nucléaire) génère 0,9 mio de t d'émissions de gaz à effet de serre par an. En comparaison, les émissions de gaz à effet de serre dues en Suisse aux transports, à l'industrie et au chauffage des locaux atteignent environ 72 mio de t par an. On peut, dans le cas de la variante thermique classique, en déduire que les émissions totales de gaz à effet de serre du secteur électrique représenteraient d'ici à 2030 environ 36% des actuelles émissions de gaz à effet de serre.





## remo-check® - das universelle NIV-Mess- und Prüfgerät.



Der **remo-check** ist ein kompaktes Mess-, Prüf- und Protokollier-system nach NIV, welches die umfangreichen Kontroll- und Prüffunktionen entscheidend vereinfacht. Das kleine, handliche Gerät kann mit einer Hand bedient werden und eignet sich für alle Hausinstallations-Messungen. Entspricht NIN.

**mdm**

mdm  
elektrosystem ag

Postfach 1209  
CH-8620 Wetzikon  
Telefon 01/934 35 36  
Telefax 01/932 43 29

Gebietshändler PLZ 1000-6499

**ims**  
Industrial  
Micro Systems AG

Dorfstrasse 48  
CH-8542 Wiesendangen  
Telefon 052/320 96 96  
Telefax 052/320 96 99

Fleischmann  
**unipro**  
STÖRMELDESISTEME

## Netzausfälle vermeiden!

Durch schnelles und sicheres Erfassen von Gefahr- und Störzuständen, mit unseren neuen Störmeldesystemen.

- Elektronisches Fallklappenrelais
- Kompakt-Meldesystem (72) 144x144x150 mm
- 8, 16 bzw. 24 Melde-Eingänge
- max. 230 V AC / 220 V DC
- Auflösung ≤ 1 msec.
- potentialfreie Ausgänge
- wahlweise Busanbindung
- Höchste EMV-Werte: VDEW-Störfestigkeitswerte für digitale Stationsleit-technik, EN-Konformität

**S+K**  
Schärer + Kunz AG  
Hermeschloostr. 73  
Postfach 757  
CH-8010 Zürich  
Tel. 01-434 80 81  
Fax 01-434 80 90

**100VA  
-1000KVA  
USV  
Wechselrichter  
Frequenzumformer  
Spannungsstabilisatoren  
Blindstromkompensation  
AC-AC & DC-AC -Wandler**

**ISTRON AG**  
Leistungselektronik  
Haselweg 3, 2553 Safnern/Biel, Tel. 032 553 379 FAX 032 552 729

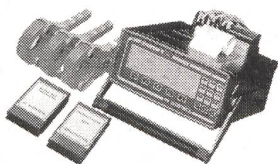
## Energienetze messen, beurteilen VIP System 3

Vielseitiger Leistungs- und Oberschwingungsanalysator

misst, registriert, speichert  
3-phasig, gleichzeitig:

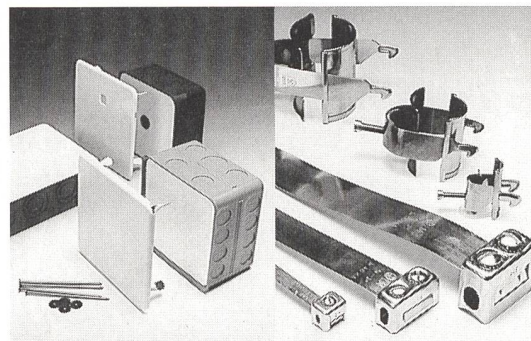
- V, A, kW, kVar, kVA
- kWh, kVarh, cos-phi
- 1 ... 25 harm. OS
- mittlere und effektive Lastspitzen

erweiterbar, protokoll- und grafikfähig



Partner für Elektro-Energie-Optimierung · erfahren · kompetent · individuell beratend seit 1965

**detron ag** Zürcherstrasse 25, CH 4332 Stein  
Tel. 062-873 16 73 Fax 062-873 22 10



## LANZ UP-Dosen Schnellverleger Universal-Dosen Erdleitungsbriden

4 Top-Produkte aus dem modernen LANZ Sortiment

- solide und durchdacht
- preisgünstig und praxisgerecht
- sofort lieferbar von Ihrem Elektrogrossisten

Für LANZ Qualität gibt's keinen Ersatz! Rufen Sie an:  
**lanz oensingen 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24**

Bitte senden Sie Unterlagen:

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> LANZ Kabelträger aus galv. Stahl/Inox/Polyester | <input type="checkbox"/> LANZ Installationsmaterial              |
| <input type="checkbox"/> LANZ G-Kanäle und kleine Gitterbahnen           | <input type="checkbox"/> LANZ Doppelböden für Büros/techn. Räume |
| <input type="checkbox"/> LANZ Verteil-Stromschienen 25-900 A             | <input type="checkbox"/> LANZ Brüstungskanäle                    |
| <input type="checkbox"/> LANZ BETOBAR Stromschienen 380-6000 A           | <input type="checkbox"/> LANZ Flachkabel                         |
|  | <input type="checkbox"/> MULTIFIX Schienenmontagesystem          |

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!  
Name/Adresse/Tel.: \_\_\_\_\_

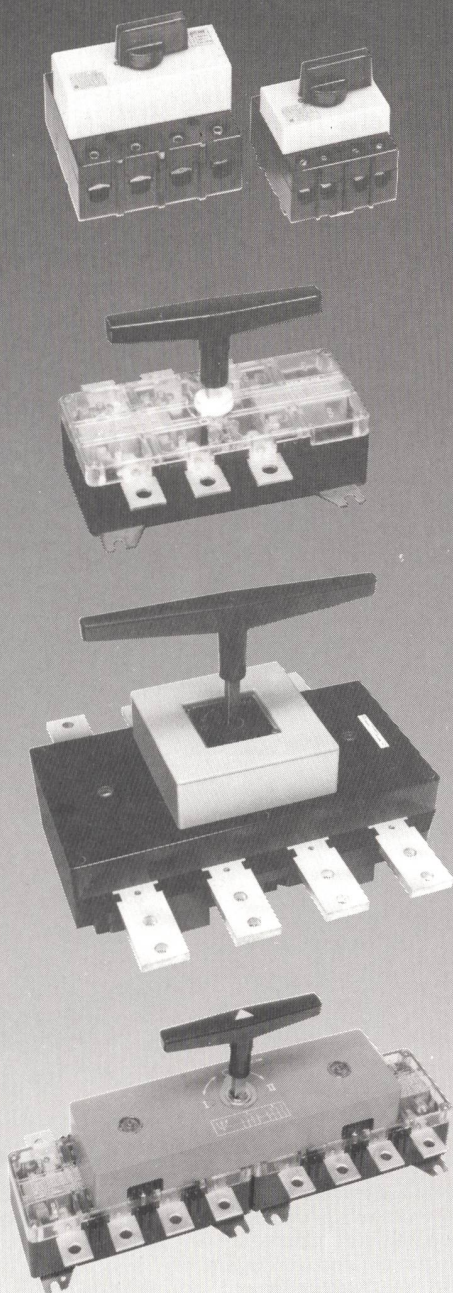
IM2



**lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen · Telefon 062 388 21 21



**sicher  
schalten Sie mit uns**



**Unsere Lasttrennschalter DUCO/DUMECO  
gibt es von 40 bis 3600 A!**

- 40/63 + 125 A-Typen  
DIN-Bauform, Montage  
auf DIN Schienen
- ab 200 A mit  
sichtbarer Trennstelle
- Umschalter 1-0-2
- Hilfskontakte
- Achsverlängerungen
- Klemmenabdeckungen
- Türkupplungen
- Vorhängeschloss-  
vorrichtungen

**ELTAVO Walter Bisang AG**  
Elektro- und Industrieprodukte  
CH-8222 Beringen/Schaffhausen  
Tel. 052/685 31 81/Fax 052/685 31 52

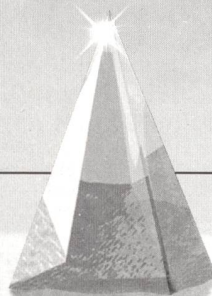
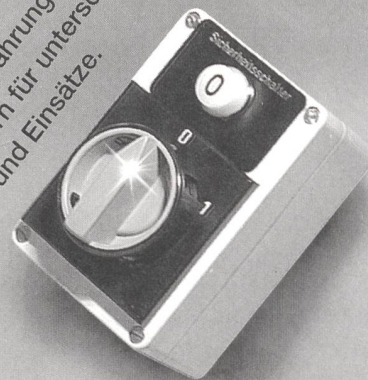
**eltavo**

# ENTWICKELT FÜR DIE ZUKUNFT

Die GHIELMETTI Bedienungssysteme AG  
ist Spezialist im Bau von industrietauglichen  
Tastaturen und Keyboards...



...und hat eine reiche Erfahrung  
mit Nockenschaltern für unterschiedlichste  
Anwendungen und Einsätze.



**GHIELMETTI**

Ghielmetti Bedienungssysteme AG  
Industriestrasse 6 • 4562 Biberist  
Tel. 065 31 11 11 • Fax 065 32 34 27