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: 10.12.2025

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

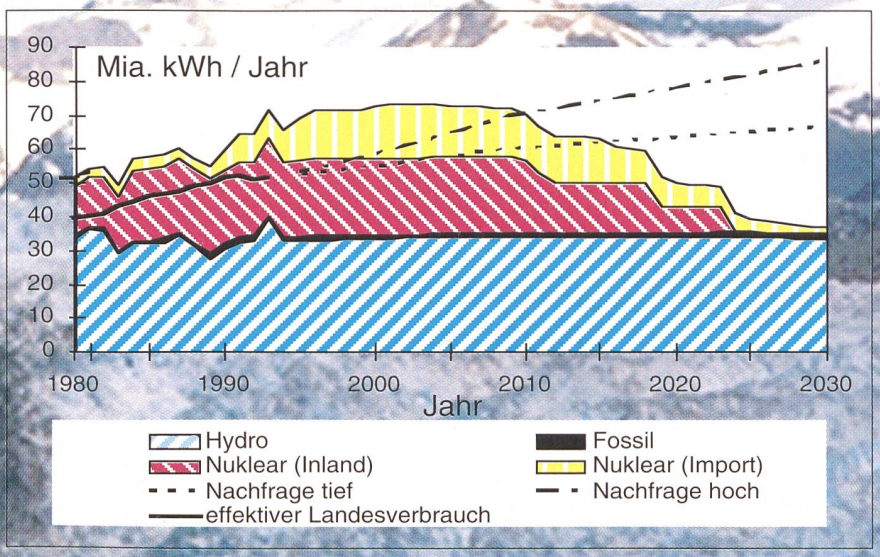


Bild 1 Basisangebot und Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage bei positiver Wirtschaftsentwicklung (für die Jahre 1995 bis 2030).

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 *(38,95)***	45,4	58,5
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 Kehrichtverbrennungsanlagen.

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 (**Ga**nzheitliche **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 Kehrichtverbrennungsanlagen (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 Kehricht zugeordnet werden.

Die Stillegung 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 Mankodekkung 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 Dachpanele, 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.

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].

Annahmen der Analyse

LCA ist prozessorientiert und berücksichtigt explizit die verschiedenen Komponenten der einzelnen Energieketten von der Rohstofförderung über die Aufbereitung bis zur Benützung im Kraftwerk und der Abfallbehandlung. Dabei wird jeder Schritt 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 Untertagbau, 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 Urananreicherungsschritt 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_x (kg/GWh)	direkt KW	216	34	421	3	4	5	0	0	0	0
	gesamte Kette	611	425	888	153	209	281	31	7	157	104
NO_x (kg/GWh)	direkt KW	360	68	209	119	414	186	0	0	0	0
	gesamte Kette	780	482	648	278	626	445	23	13	69	42
CO_2- äquiv. (t/GWh)	direkt KW	664	679	445	331	456	532	0	0	0	0
	gesamte Kette	762	771	551	392	540	679	6	4	44	28
CH_4 a) (kg/GWh)	direkt KW	7	7	6	18	32	216	0	0	0	0
	gesamte Kette	1612	1608	645	921	1275	3460	12	7	78	57
NMVOC (kg/GWh)	direkt KW	14,3	13,6	6,6	10,2	28	19,5	0	0	0	0
	gesamte Kette	148,6	143,4	1347,1	105,0	158,0	335,3	10,3	3,4	53,9	47,7
Partikel (kg/GWh)	direkt KW	36	34	1	1	1	0	0	0	0	0
	gesamte Kette	1719	2103	221	88	119	207	46	229	164	0,164
Radioakt. b) (GBq/GWh)	direkt KW	0,004	0,004	0	0	0	0	0,280	0	0	0
	gesamte Kette	14,6	14,6	7,6	1,3	1,8	3,3	1014,1	0,8	22.5	8,8

KW = Kraftwerk. a) Auch in CO_2-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 Basismaterialien 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_2, CH_4, SO_x, NO_x, 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 Freisetzungen, die in Zusammenhang mit kleinen Störfällen entstehen. Ausgeschlossen sind jedoch grosse Freisetzungen 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.

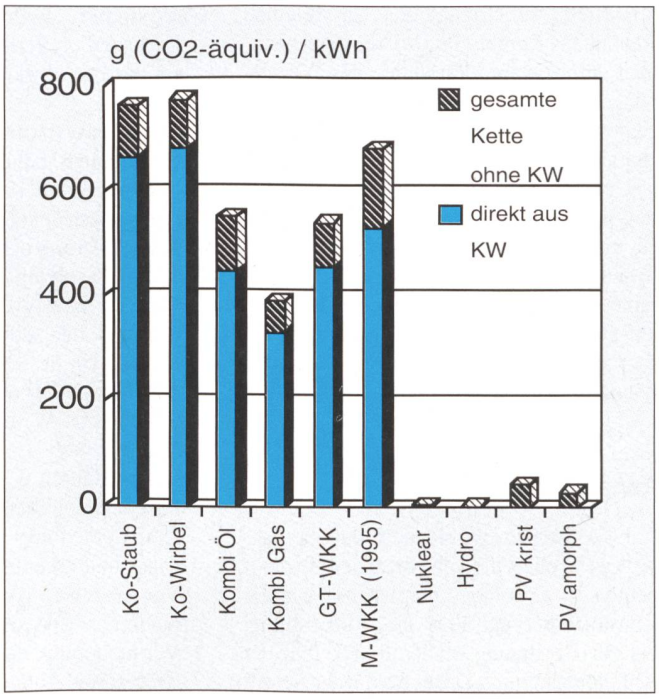


Bild 2 Treibhausgas-Emissionen der analysierten Energieketten.

Tabelle IV zeigt ausgewählte direkte Luftemissionen von SO_x, NO_x, Treibhausgasen als CO_2-äquiv., 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 SO_x-Emissionen. Die 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-, SO_x- und NO_x-Emissionen sowie der radioaktiven Luftemissionen der einzelnen Systeme verglichen.

Die Treibhausgas-Emissionen werden in CO_2-Äquivalenten angegeben. Dazu werden die treibhauswirksamen Gase wie CH_4, N_2O, CF_4 und FCKW auf der Grundlage des «Global Warming Potential» über 100 Jahre (GWP 100) von IPCC 1994 [7] umgerechnet und zum 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 (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 vernachlässigbarem 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 CO_2 für alle Ketten den grössten Anteil an den Treibhausgas-Emissionen. Alle berücksichtigten Ketten verursachen kleine Beiträge an den totalen Methan-Emissionen. 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-Untertagbau macht etwa 5% der totalen Treibhausgase aus. Emissionen von 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 (N_2O) ist Ko-Wirbel (7%). Die Beiträge von FCKW sind vernachlässigbar.

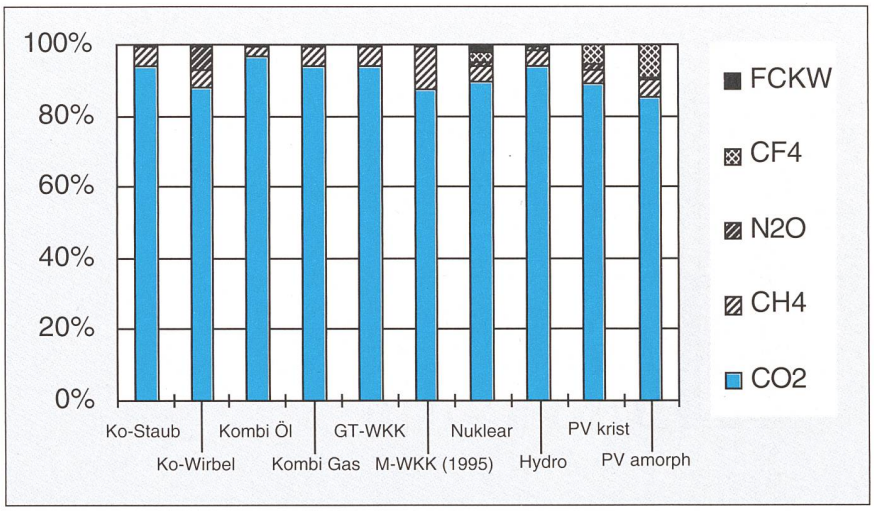


Bild 3 Anteile der verschiedenen zum Total beitragenden Treibhausgase der analysierten Energieketten.

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 kW_{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 N_2O-Emissionen für Ko-Wirbel gegenüber heutigen Steinkoh-

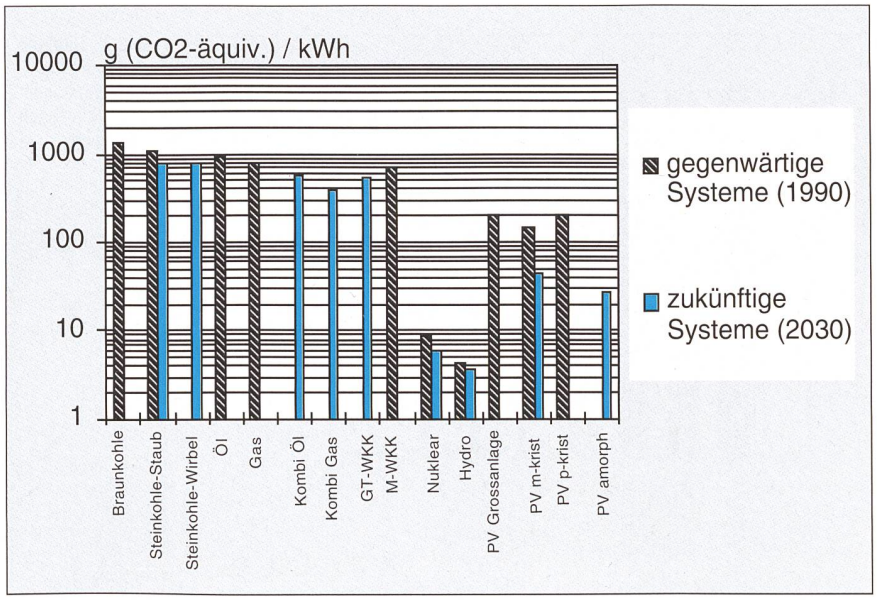
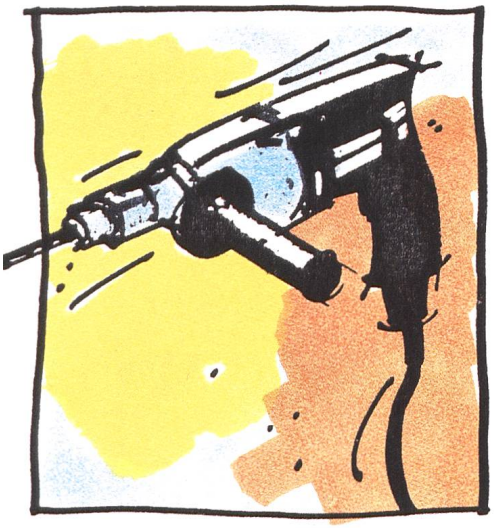
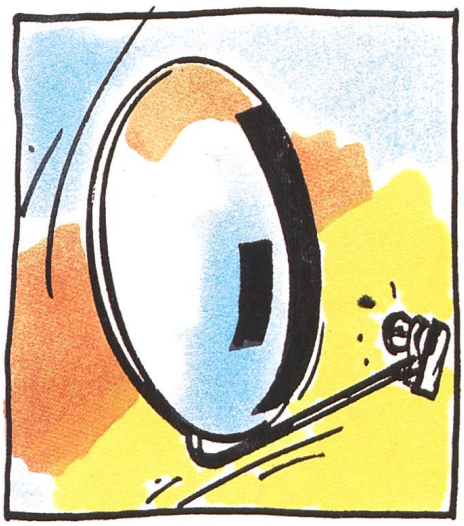
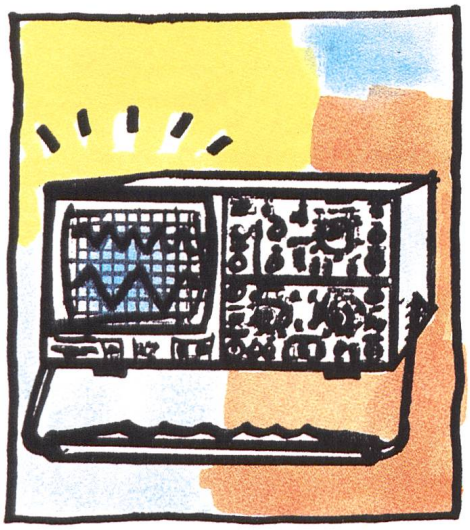


Bild 4 Treibhausgas-Emissionen heutiger und zukünftiger Energieketten (logarithmische Skala).



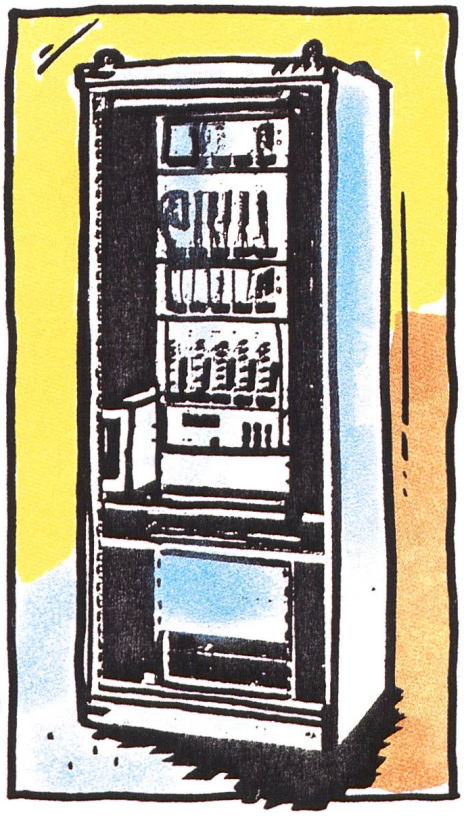


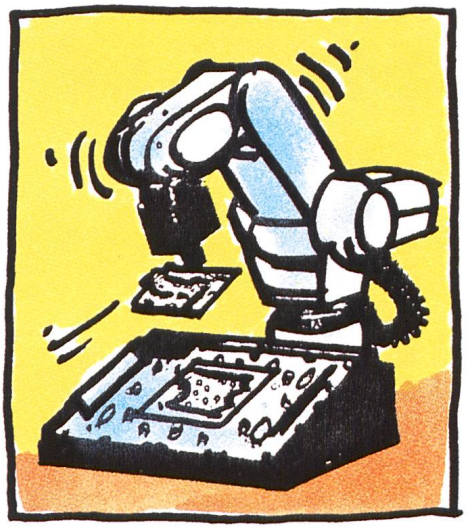


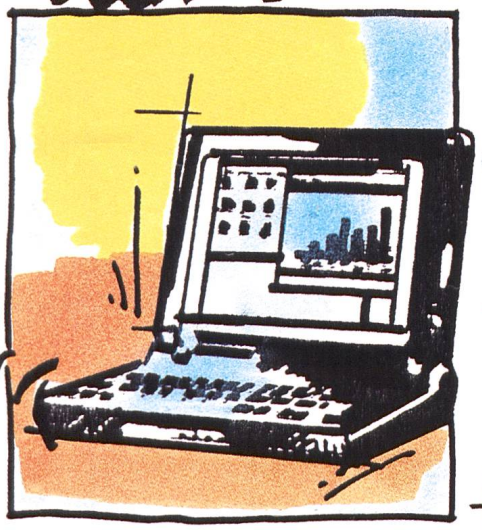
Stichtag 1.1.1996:

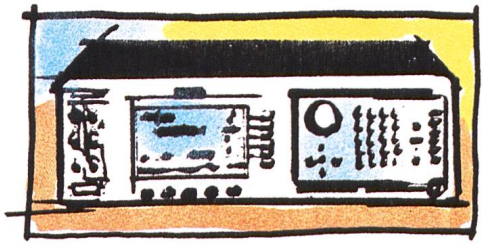
EMV

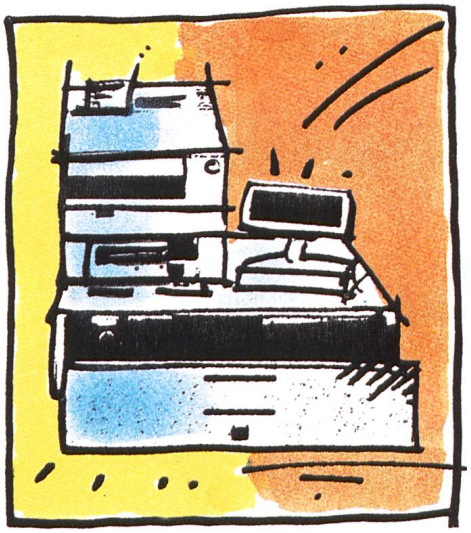
Sichern Sie sich den Zutritt zum europäischen Markt!







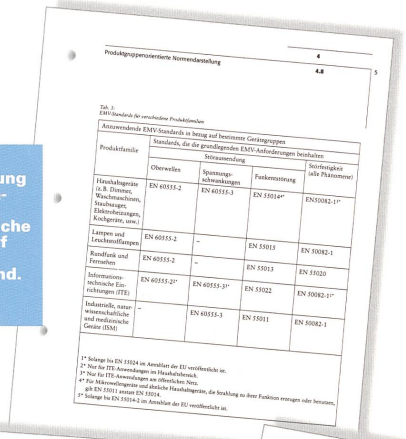




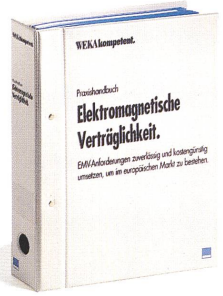
Dieses neue Praxishandbuch macht den Weg frei

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-Kennzeichnungspflicht 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.



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

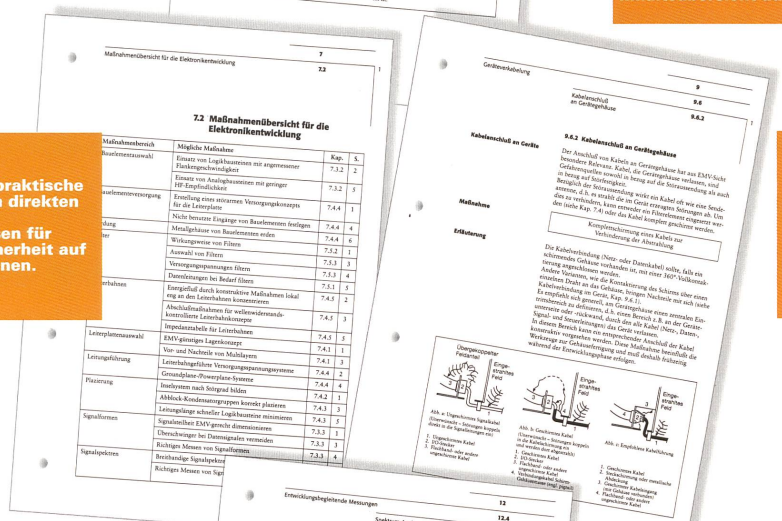


Einmalig in der EMV-Fachliteratur: Umfassend und laufend aktuell. Inhaltsübersicht auf der Rückseite.

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 Konformitätserklärung –** 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 Starkstrominspektorats bis zum Marktausschlussverfahren.



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

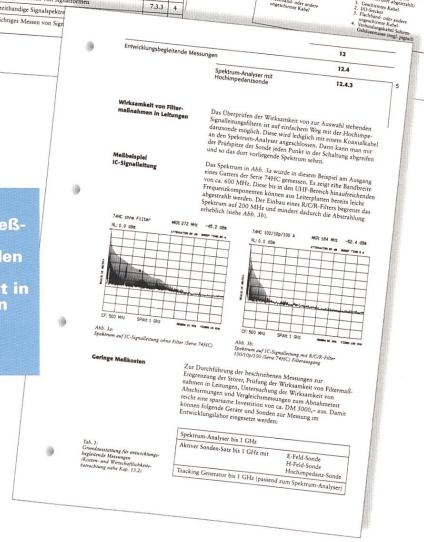
Kompetente Unterstützung bis hin zum Problemfall: Erprobte Entwicklungsregeln und wirtschaftlich vertretbare Nachbesserungsempfehlungen.

Fundiertes 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**.



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

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.

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 Geräteausstattung 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.

Gehen Sie störungsfrei in den EU-Markt

0396/5

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 Frequenzumrichtern

EMV-gerechte Mechanik-Entwicklung von Geräten
• Massnahmenübe
punkte eines Gehä
tischer Schirme • E

EMV-gerecht
von Kompone
• Massnahmenübe
beim Zusammenba
Schutzmassnahme

EMV auf Syst
• Massnahmenübe
Anlagenebene • K
schiedlichen Entst
gerechten Installati
bung

Praxisbeispie
• Erfolgreiche Kon

EMV-Messun
• Messverfahren z
• Entwicklungsbeg

Planung und
lungslabors
• Kosten- und Wir
• Geräte- und Lab

EMV-Dienstle
• Dienstleistungen
EMV-Messungen •
zeichnis • Seminar

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 Ergänzungs-Service 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

WEKApraxisnah.
WEKA Verlag AG
Hermetschloostrasse 77 Postfach 8010 Zürich Telefon 01-434 88 88 Telefax 01-432 82 01

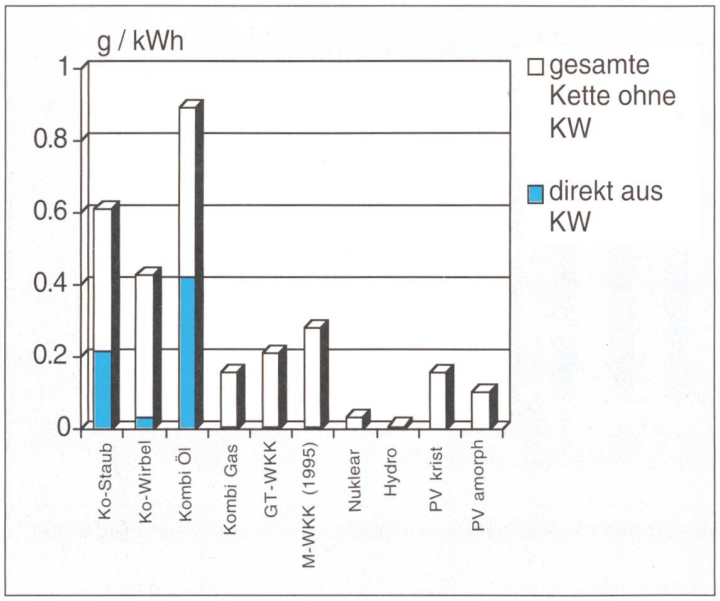


Bild 5 SO_x-Emissionen in die Luft für zukünftige Systeme.

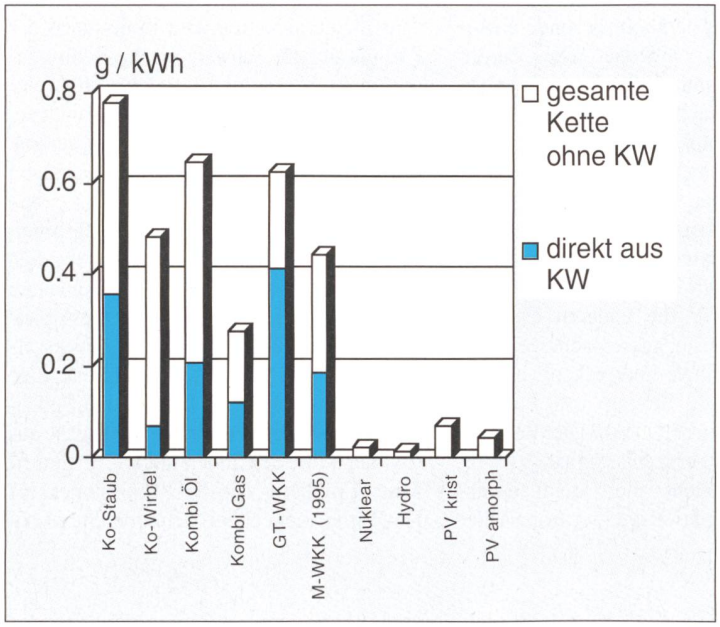


Bild 6 NO_x-Emissionen in die Luft für zukünftige Systeme.

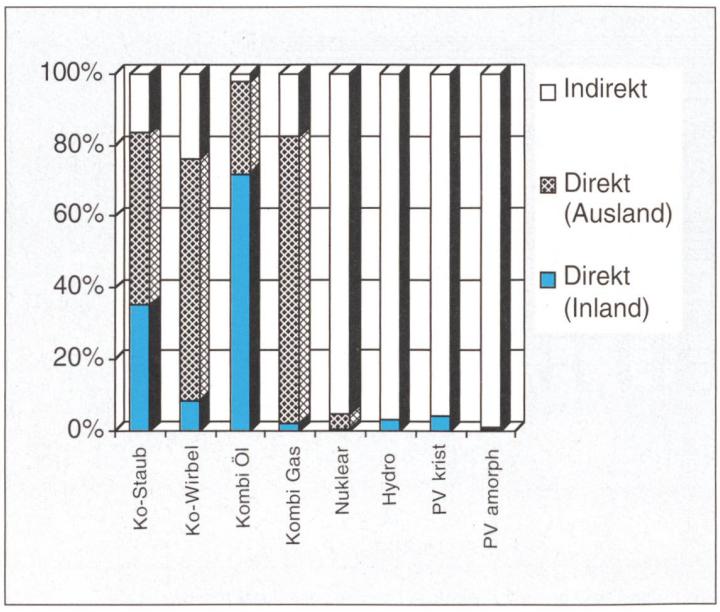


Bild 7 Direkte und indirekte SO_x-Emissionen aus zukünftigen Systemen.

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_x- und NO_x-Emissionen zu sehen. Kombi-Öl weist sowohl für das Kraftwerk als auch für die ganze Kette die grössten SO_x-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_x-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_x-Belastung. Die direkten NO_x-Emissionen aus den Kraftwerken liegen jedoch bei GT-WKK am höchsten. Im Vergleich der fossilen Anlagen schneiden Ko-Wirbel-Kraftwerke bezüglich NO_x am besten ab. Bei Kombi-Gas sind die NO_x-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_x- und NO_x-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_x und NO_x.

Die Menge des in der Schweiz direkt emittierten SO_x 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_x-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_x-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_x-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_x-Emissionen der Gaskette.

Die SO_x-Emissionen der nuklearen Kette und PV sind fast ausschliesslich indirekten Ursprungs und stammen überwiegend aus Elektrizitäts- und Stahlbedarf. Dasselbe gilt für die NO_x-Emissionen aus PV. Die direkten NO_x-Emissionen der Nuklearkette werden überwiegend beim Betrieb der Diesel- und Baumaschinen sowie von chemischen Prozessen der Brennstoffherstellung emittiert. Die direkten NO_x-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) 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 Aktinideausstoss 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

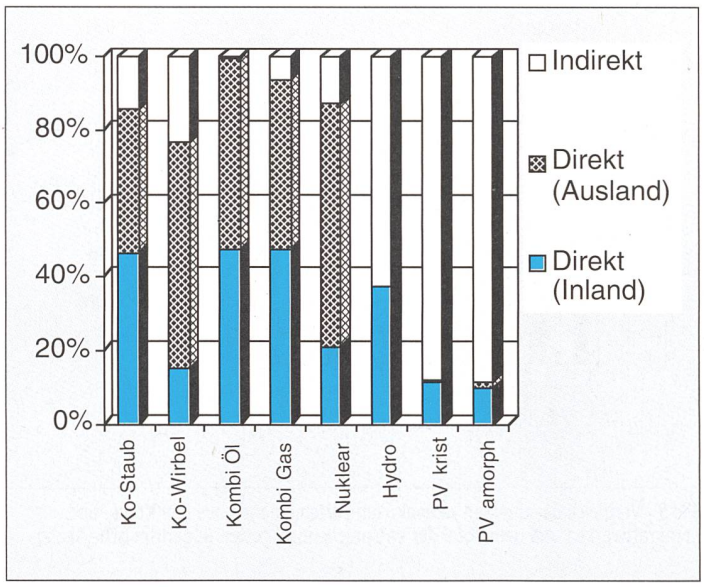


Bild 8 Direkte und indirekte NO_x-Emissionen aus zukünftigen Systemen.

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_x (1000 t/Jahr)	3,5	1,1	hoch	17,7	1,4	4,5	11,1	5,8	16,6	4,5
			tief	10,4	0,8	1,6	6,5	3,4	9,8	1,7
NO_x (1000 t/Jahr)	1,9	2,0	hoch	20,4	1,0	7,5	11,1	6,4	18,8	6,6
			tief	12,0	0,6	2,2	6,5	3,8	11,1	1,9
CO_2-äquiv. (Mio. t/Jahr)	0,9	2,0	hoch	24,2	0,3	10,0	12,0	7,2	22,2	8,5
			tief	14,3	0,2	2,6	7,1	4,2	13,1	2,1
CH_4 a) (1000 t/Jahr)	1,3	8,3	hoch	49,2	0,5	23,5	26,9	16,4	45,3	20,0
			tief	29,0	0,3	6,0	15,9	9,7	26,7	4,8
NMVOC (1000 t/Jahr)	1,8	1,0	hoch	15,4	0,5	2,9	2,4	1,8	13,7	2,6
			tief	9,1	0,3	0,9	1,4	1,1	8,1	0,8
Partikel (1000 t/Jahr)	9,7	8,3	hoch	28,7	2,1	3,2	28,3	11,7	27,6	3,5
			tief	16,9	1,2	1,5	16,7	6,9	16,3	1,8
Radioakt. b) (1000 TBq/Jahr)	57,2	1,8	hoch	0,3	46,9	21,2	30,5	33,8	0,3	21,3
			tief	0,2	27,6	21,2	18,0	19,9	0,2	20,0

a) Auch in CO_2-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].

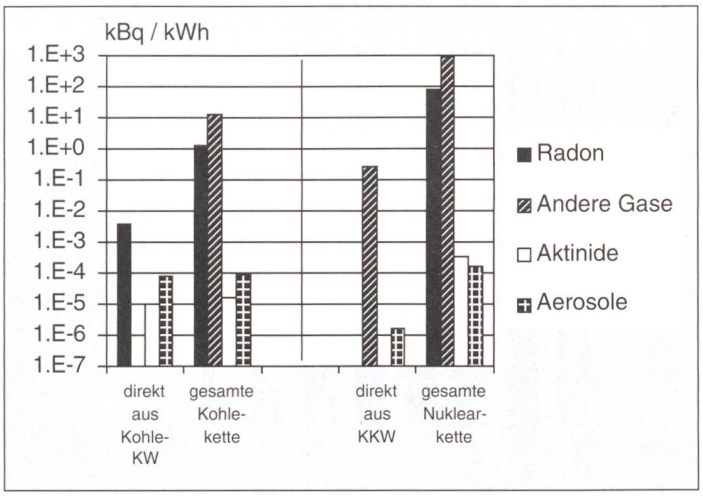


Bild 9 Vergleich der direkten radioaktiven Luftemissionen aus den Kohle- und Kernkraftwerken und dem Total der entsprechenden Ketten (logarithmische Skala).

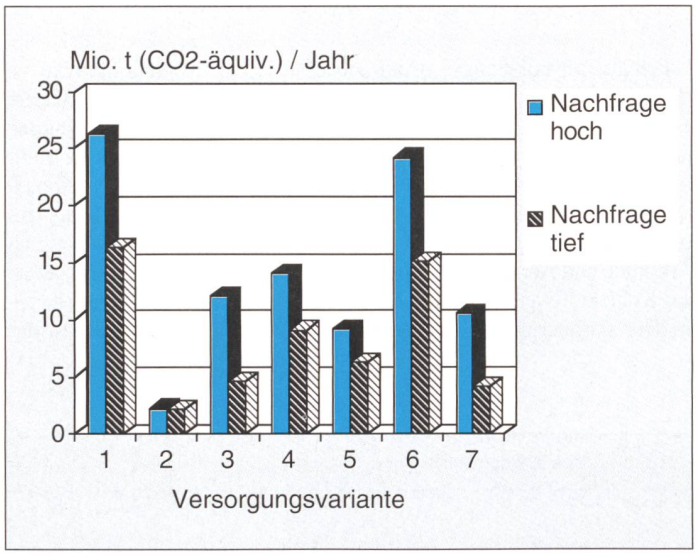


Bild 10 Treibhausgas-Emissionen der sieben Versorgungsvarianten für hohe und tiefe Nachfrage für das Jahr 2030.

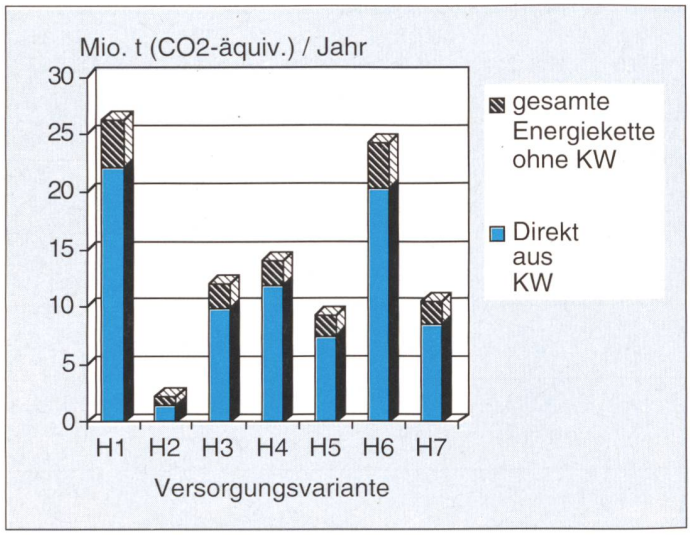


Bild 11 Anteil der Kraftwerke an den totalen Treibhausgas-Emissionen der sieben Versorgungsvarianten der hohen Nachfrage für das Jahr 2030.

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

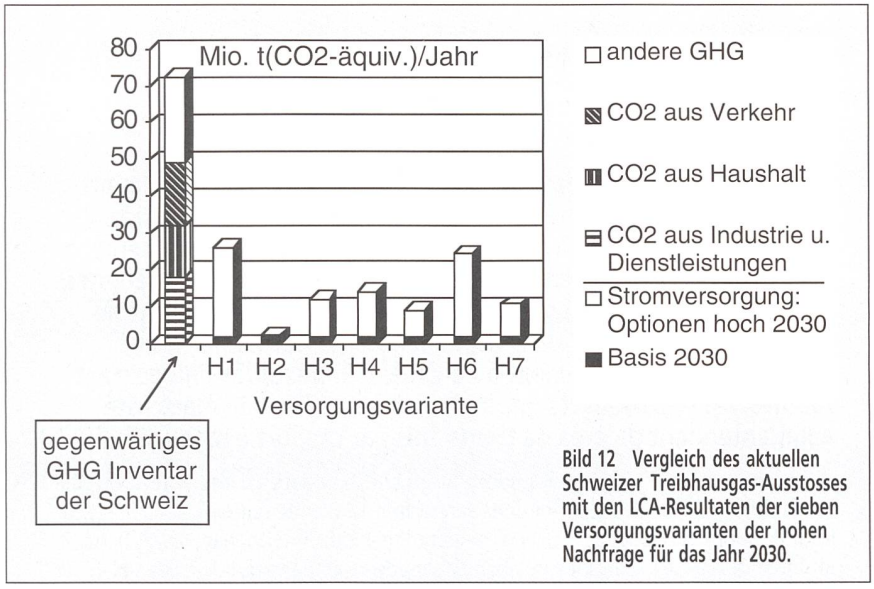


Bild 12 Vergleich des aktuellen Schweizer Treibhausgas-Ausstosses mit den LCA-Resultaten der sieben Versorgungsvarianten der hohen Nachfrage für das Jahr 2030.

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_2-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_2-äquiv.]/Jahr vom Basisangebot). Die nukleare Variante H2 emittiert mit 2,3 Mio. t (CO_2-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_2O) 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 Industrie. Diese wurden mit 66,2 Mio. t (CO_2-äquiv.)/Jahr berechnet [9], [10], wobei die CO_2-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_2-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_2. 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 Mankodekkung sind für die hohe Nachfrage zehn- bis hundertmal höher als diejenige der nuklearen Variante. Insbesondere nimmt der CO_2-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_2-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).

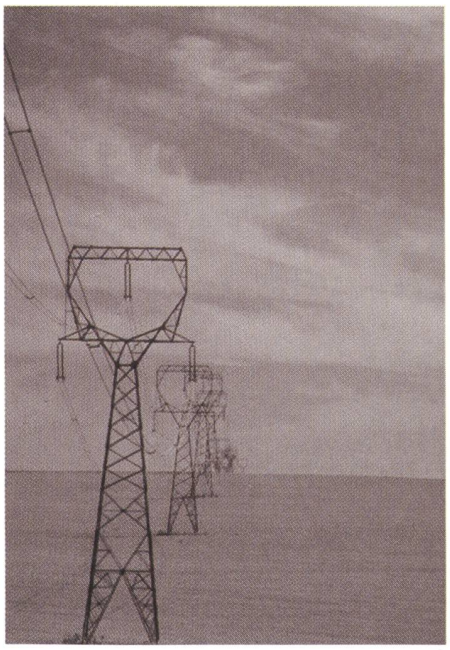
[9] *Buwal:* «Report on the Environment 1993 – The State of the Environment in Switzerland», EDMZ, Bern (1994).

[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 SO_x, NO_x et 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 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 Protokoll-iersystem 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 **ims**

mdm
elektrosystem ag

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

Gebietshändler PLZ 1000-6499

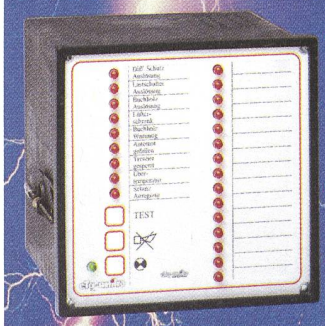
Industrial
Micro Systems AG

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

Fleischmann **unitro**
STÖRMELDESYSTEME

Netzausfälle vermeiden!

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

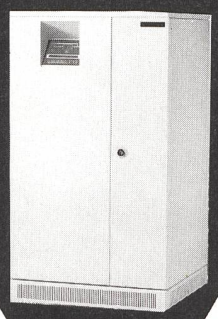


- Elektronisches Fallklappenrelais
- Kompakt-Meldesystem (72) 144x144x150 mm
- 8, 16 bzw. 24 Melde-Eingänge
- max. 230 V AC / 220 V DC
- Auflösung ≤ 1 msec.
- potentialfreie Ausgänge
- wahlweise Busanbindung
- Höchste EMV-Werte: VDEW-Störfestigkeitswerte für digitale Stationsleittechnik, EN-Konformität

S+K

Schärer + Kunz AG
Hermetschloostr. 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

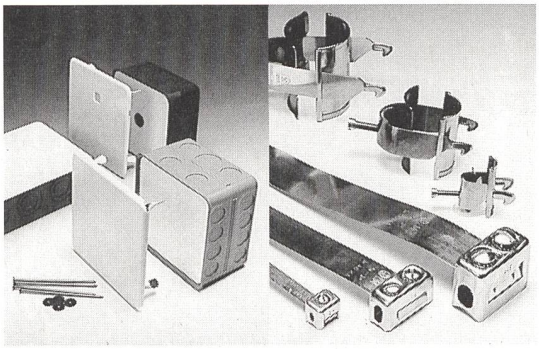
Vielseitiger Leistungs- und Oberschwingungsanalysator

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:

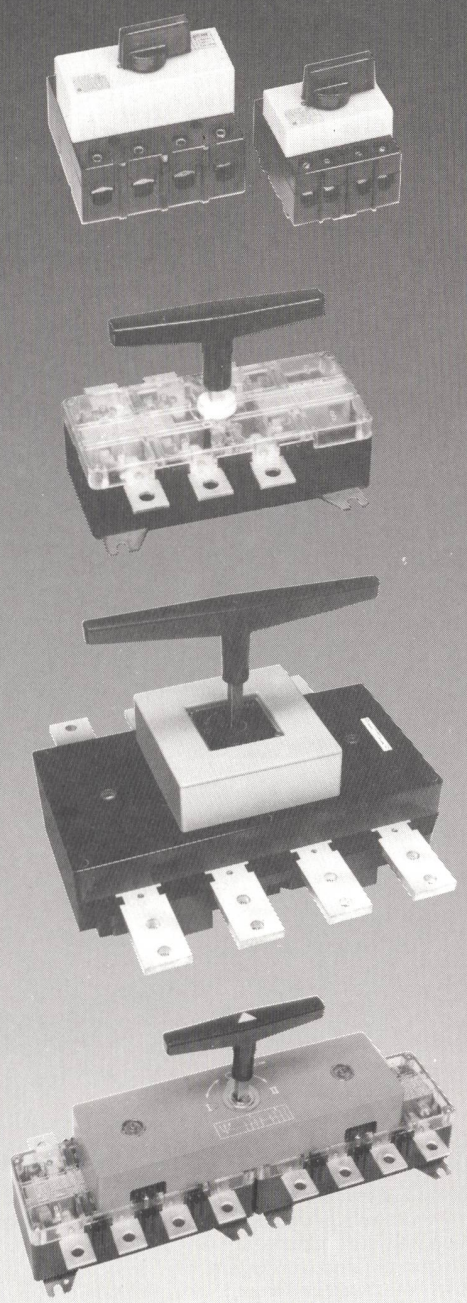
- ☐ LANZ Kabelträger aus galv. Stahl/Inox/Polyester
- ☐ LANZ G-Kanäle und kleine Gitterbahnen
- ☐ LANZ Verteil-Stromschienen 25—900 A
- ☐ LANZ BETOBAR Stromschienen 380—6000 A
- ☐ LANZ Installationsmaterial
- ☐ LANZ Doppelböden für Büros/techn. Räume
- ☐ LANZ Brüstungskanäle
- ☐ LANZ Flachkabel
- ☐ MULTIFIX 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

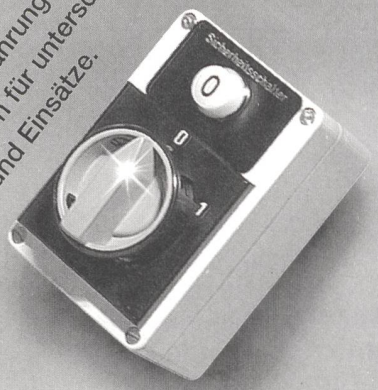
ELTAVO Walter Bisang AG
Elektro- und Industrieprodukte
CH-8222 Beringen/Schaffhausen
Tel. 052/685 31 81/Fax 052/685 31 52

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