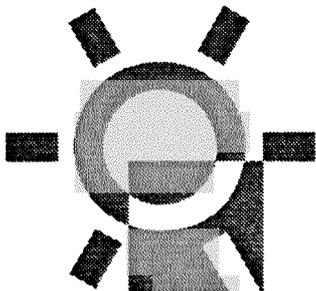


Materialien zu PACER

Externe Kosten von Photovoltaik- Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen

Walter Ott
Peter Koch



PACER

Bundesamt für Konjunkturfragen

Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich:

Neue Argumente für Investitionsentscheide

Die Strom- und Wärmeversorgung verursacht Kosten, die in den Energiepreisen nicht enthalten sind und für die die jeweiligen KonsumentInnen nichts bezahlen: Das sind sogenannte **externe Kosten**, wie zum Beispiel die Kosten der Luftverschmutzung, die nicht versicherten Risiken von Grossunfällen, die Beeinträchtigung von Naturräumen, etc. Solange diese Kosten extern bleiben und nicht in die Wirtschaftlichkeitskalküle der InvestorInnen und KonsumentInnen einbezogen werden, solange werden diese Umweltressourcen verschwendet, was zu übermässiger Umweltbelastung führt.

Erstmals wurden für die Schweiz die häufig diskutierte externen Kosten für den Strom- und Wärmebereich auf solider wissenschaftlicher Basis ermittelt. Die Arbeit ist für die Schweiz eine Pionierleistung, welche die energie- und umweltpolitische Diskussion bereichert. Die Studie identifiziert die wichtigsten externen Effekte der Strom- und Wärmeversorgung, quantifiziert ihr Ausmass und monetarisiert soweit möglich die resultierenden Kosten: Externe Kosten der Luftverschmutzung (Waldschäden, landwirtschaftliche Produktionsausfälle, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden), externe Kosten der ölbedingten Meeres- und Bodenverschmutzung, Kosten des Treibhauseffektes, externe Kosten der Elektrizitätsproduktion und -Verteilung (Beeinträchtigung von Gewässern und der Landschaft, Grossrisiken bei KKW und Staudämmen). Pro Energieträger und pro Ener-

giesystem (z.B. Gasheizungen, Ölheizungen, Gas-WKK-Anlagen, etc.) werden daraus **kalkulatorische Energiepreiszuschläge** (Rp./kWh) berechnet, welche den in der Studie monetarisierten externen Kosten entsprechen.

Die Risiken eines KKW-Grossunfalles oder eines Staudammbruches werden separat behandelt. Die spezielle Risikosituation bei solchen Grossereignissen - sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit aber extrem grosse Auswirkungen - wirft heikle methodische Probleme auf. Die externen Kosten der Grossrisiken werden in der Form von **Risikozuschlägen** ausgewiesen.

Die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge und die Risikozuschläge können für eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet werden, welche externe Kosten integriert. Sie bilden eine gute Grundlage für die Evaluation von energie- und umweltpolitischen Massnahmen (Kosten/Nutzen-Überlegungen bei Sparmassnahmen, etc.).

Die Arbeit richtet sich an öffentliche und private InvestorInnen sowie an Interessierte aus Planungs-, Architektur-, Ingenieur- und Beratungsbüros, die bei ihren Projekten umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anstellen, aber auch an Vollzugsfachleute in den Bereichen Energie und Umwelt, an Energie- und UmweltpolitikerInnen sowie generell an den Kreis von energie- und umweltpolitisch Interessierten.

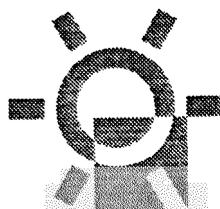
(Synthese-Bericht, Bestell-Nr. 724.270 d)

Externe Kosten von Photovoltaik- Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen

Teilbericht 6 des Projektes

«Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge
für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Walter Ott
Projektleitung
Peter Koch



PACER

Bundesamt für Konjunkturfragen

Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen
Belpstrasse 53
3003 Bern

Programmleiter: PACER Dr. Jean-Bernard Gay
c/o EPFL-LESO
1015 Lausanne

Ressortleiterin: Oekonomische Aspekte
Irene Wuillemin
Bundesamt für Konjunkturfragen,
Bern

AutorInnen: Walter Ott
Peter Koch

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Bundesamtes für Konjunkturfragen im Rahmen von PACER sowie im vorliegenden Fall zu Handen des Bundesamtes für Energiewirtschaft und des Amtes für Bundesbauten, von Dritten erarbeitet wurden. Die Bundesämter und die vom BFK eingesetzte PACER-Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den AutorInnen.

Bestellnummern:

Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz.

Teilbericht 1:

Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich

1994,724.270.1d

Teilbericht 2:

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie

1994,724.270.2d

Teilbericht 3:

Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich

1994,724.270.3d

Teilbericht 4:

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft

1994,724.270.4d

Teilbericht 5:

Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität

1994,724.270.5d

Teilbericht 6:

Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen

1994,724.270.6d

Copyright: Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.

Inhaltsverzeichnis

Glossar/Abkürzungen	a
1. Einleitung	1
2. Methodik.....	2
2.1 Kennzahlen Emissionsmatrizen .....	.2
Systemabgrenzung .....	.2
Vorgehen. ....	.2
Aggregationslevel. ....	.3
Methodenkritik.. ....	.6
2.2 Berechnung der externen Kosten. ....	.6
Berechnungsweise.. ....	.6
Anmerkungen zu den verwendeten Werten .....	.7
3. Resultate	9
3.1 Solarzelle .....	.9
3.1.1 Kennzahlen Solarzellen 1992 .....	.9
3.1.2 Kennzahlen Solarzellen 1995.....	.12
3.1.3 Vergleich mit Literaturdaten.....	.13
3.1.4 Datenqualität. ....	.13
3.2 Sonnenkollektoren.. ....	.14
3.2.1 Kennzahlen Sonnenkollektor Einfamilienhaus .....	.14
3.2.2 Kennzahlen Sonnenkollektor Nullheizenergiehaus.. ....	.15
3.2.3 Vergleich mit Literaturquelle. ....	.17
3.2.4 Datenqualität. ....	.17
3.3 Fenster. ....	.18
3.3.1 "Kennzahlen"Fenster.....	.18
3.3.2 Literaturvergleich mit [1] und [8] .....	.20
3.3.3 Datenqualität.....	.20
3.4. Zusammenfassung Emissionsmatrizen .....	.21
4. Externe Kosten	22
4.1 Vorbemerkung zu den Variantenrechnungen.. ....	.22
4.2 Externe Kosten PV-Anlage, Sonnenkollektoren und Fenster.. ....	.23
4.3 Externe Kosten von Wärmedämmmaterialien .....	.26
4.4 Spezifische externe Kosten. ....	.27

Anhang

Anhang A1 :	Standard-Ökobilanzen	A1-1
Anhang A2:	Input/Outputmatrize	A2-1
	A2.1 Solarzellen (1992/93)	A2-1
	A2.2 Flachkollektor.	A2-7
	A2.3 Fenster.....	A2-9
	A2.4 Systematik der Berechnung der Emissionsmatrize ....n.....	A2-9
Anhang A3:	Detaillierte Ökobilanz für die 3 kWp Solaranlage 1992.....	A3-1
Anhang A4:	Precombustion und Strombereitstellung	A4-1
Anhang A5:	Vorgehenssystematik zur Schätzung der externen Kosten	A5-1
Literaturverzeichnis		L-I

Glossar/Abkürzungen

<i>CH90-92</i>	Elektrizitätsproduktionsmodell, das die spezifisch schweizerischen Produktionsverhältnisse der Jahre 1990 bis 1992 widerspiegelt.
<i>EG-Si</i>	electronic grade Silizium
<i>Feedstock:</i>	energetischer Materialeintrag
<i>KEPZ</i>	kalkulatorische Energiepreiszuschläge
<i>KLV</i>	kritisches Luftvolumen
<i>kWP</i>	Kilowatt Peak, Kilowatt Spitzenleistung
<i>m-Si</i>	monokristallines Silizium
<i>MG-Si</i>	metallurgic grade Silizium
<i>NMVOC</i>	Nicht-Methan volatile organic carbon, d.h. flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan
<i>p-Si</i>	polykristallines Silizium
<i>FLA</i>	Produktlinienanalyse
<i>Precombustion:</i>	Die ökologischen Umweltauswirkungen sowie der Energiebedarf, die bei der Bereitstellung fossiler Endenergie (d.h. Primärenergieförderung, Aufbereitung und Transport zum Verbraucher) anfallen, werden unter Precombustion zusammengefasst.
<i>PV</i>	Photovoltaik
<i>Strombereitstellung</i>	Die ökologischen Umweltauswirkungen sowie der Energiebedarf, die bei der Produktion von Elektrizität anfallen, werden unter Strombereitstellung zusammengefasst
<i>UCPTE88</i>	Elektrizitätsproduktionsmodell, dem die Verhältnisse des west-europäischen Stromverbundsystems UCPTE (Union pour la coordination de la production et du transport de des Jahres 1998 zugrundeliegen. Zur UCPTE gehörten 1988 folgende Staaten: Belgien, BR Deutschland, Frankreich, Griechenland, Italien, Jugoslawien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweiz, Spanien.

1. Einleitung

Im Rahmen des Projekts "Externe Kosten der Wärme- und Stromversorgung" soll untersucht werden, wie sich die Anwendung von kalkulatorischen Energiepreiszuschlägen (KEPZ) auf Produktionsprozesse von ausgewählten alternativen Energietechniken und von Wärmedämmungen auswirkt: Welche Folgen hat die durch diese Preiszuschläge bewirkte relative Verteuerung der Produktionsfaktoren i.w.S.? Verbessert die Anlastung von externen Kosten mittels kalkulatorischen Energiepreiszuschlägen die Konkurrenzfähigkeit alternativer Energien auch dann, wenn die KEPZ auch auf die Produktion der für die Nutzung alternativer Energiequellen notwendigen "Hilfsgüter" ausgedehnt wird?

Die Grundlagen, die für die Beantwortung dieser Fragen notwendig sind, werden nachfolgend zusammengestellt. Für Solarzellen, Sonnenkollektoren und Energiesparfenster werden der Energiebedarf (fossil und elektrisch) und die Emissionen (CO, CO₂, NMVOC, NO_x, SO₂, CH₄) abgeschätzt, die über den gesamten Lebenszyklus anfallen, betrachtet von der Produktion, zur Nutzung/Betrieb bis hin zur Entsorgung. Mithilfe der Emissionszuschläge und der kalkulatorischen Energiepreiszuschläge gemäss [19] lassen sich daraus kalkulatorische Zuschläge zur Berücksichtigung der monetarisierten externen Kosten ableiten.

2. Methodik

2.1 Kennzahlen Emissionsmatrizen

Systemabgrenzung

Die Systemabgrenzung für die Abschätzung dieser Kennzahlen lehnt sich an Konzept des Bilanzgebiet von Ökobilanzen gemäss der BUWAL-Studie "Ökobilanz von Packstoffen" [2] an: Die Grenzen sind prinzipiell so weit gesteckt, dass der Energieverbrauch bzw. die Emissionen "aller" Verbrauchsmaterialien, Hilfsgüter und Einsatzstoffe von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung berücksichtigt werden müssten. Dasselbe gilt für die zum Einsatz gelangende (End-)Energie; Precombustion bei den fossilen Energieträger und Strombereitstellung sind somit ausdrücklich mitinbegriffen (vgl. dazu auch die beiden Berichte der Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen, "Regeln zur Datenerfassung für Energie- und Stoffflussanalysen" [9] sowie "Methodische Grundlagen für Energie- und Stoffflussanalysen" [20]).

Vorgehen

Mithilfe von Produktlinienanalysen (PLA) werden die Lebenszyklen der untersuchten Materialien (d.h. Herstellung, Gebrauch und Entsorgung) in einzelne Teilschritte zergliedert (vgl. "Ökoinventare für Energiesysteme" [4] und [5]). Für jeden Teilschritt wird eine Input/Outputbilanz erstellt: Diese fasst - vereinfacht gesagt - die Material- und (End)Energieflüsse (Input) sowie die Abwärme, Emissionen und Abfälle(Output) zusammen. Die Resultate werden in sogenannten Stoff- und Energiebilanzen zusammengestellt (vgl. Anhang 2). Damit sind die "direkten" Umweltauswirkungen (Ressourcenverbrauch und Emissionen) der eigentlichen Produktion (Prozesse 1. Ordnung) erfasst. Nun müssen die Umweltauswirkungen, die bei der Gewinnung der benötigten Rohstoffe bzw. bei der Produktion der Verarbeitungsgüter, bei der Bereitstellung der Endenergie und bei der Entsorgung der Produktionsabfälle anfallen, erfasst werden (Prozesse 2. Ordnung). Für jedes einzelne benötigte Material oder anfallende Abprodukt müsste wieder eine PLA erstellt werden. Auch für diese Produktionshilfsmittel sind wiederum Vorleistung notwendig (Prozesse 3. Ordnung). Diese "Vorleistungsspirale" lässt sich beinahe ad infinitum weiterführen.

Um sich das Vorhaben zu erleichtern, greift man auf (standardisierte), meist gewichtsspezifische Datensätze/Ökobilanzen für die einzelnen Materialien oder Prozesse zurück; oder vereinfacht das System, indem man Materialien vernachlässigt oder mithilfe von ähnlichen Produkten abschätzt (vgl. z.B. Tab. A1-1).

Die gesuchte Abschätzung des Energieverbrauchs bzw. der Emissionen ergibt sich somit durch eine Multiplikation von Materialinput und -output und deren spezifischem Energiebedarf/Emissionen. Danach werden sie über alle Teilschritte des Lebenszyklus

giert. Aufgrund dieses Vorgehens weisen die Resultate einen grossen Unsicherheitsbereich auf: Sie sollten nicht für absolute Aussagen, sondern **nur für relative** Vergleiche verwendet werden.

Aggregationslevel

Die Emissionen und Energieverbrauchsdaten, die gemäss dem skizzierten Vorgehen berechnet werden, sind z.T. sehr detailliert (z.B. CO-Emissionen je Prozessschritt, vgl. Anhang A3). Um diese Zahlenberge interpretieren zu können, müssen die Daten aggregiert werden. Dabei wird folgendes Aggregationsschema gewählt:

- Vorleistungen

Darunter werden der gesamte Energieaufwand und alle Emissionen aufgeführt, die durch die Bereitstellung der benötigten Rohstoffe¹, Halbfabrikate* und Hilfsmittel³ anfallen; nicht enthalten sind darin jedoch die Emissionen der Energieträgerbereitstellung (vgl. Precombustion/ Strombereitstellung weiter unten).

Nach obiger Definition entspricht dies den Prozessen 2. Ordnung.

- Herstellungsprozesse

Hier werden der Energieaufwand und die Emissionen zusammengefasst, die durch die eigentliche Produktion⁴ verursacht werden; wiederum ohne die Umweltauswirkungen der Energieträgerbereitstellung.

Die Herstellungsprozesse entsprechen den Prozessen 1. Ordnung

- Precombustion (= Energieträgerbereitstellung)

Die Bereitstellung für die in den Prozessen 1. und 2. Ordnung benötigten fossilen Energieträger wird hier zusammen ausgewiesen.

- Strombereitstellung

Diese Zeile umfasst jeweils die Umweltbelastung sowie den Energieverbrauch für die Bereitstellung der Elektrizität, die bei Vorleistungen und Herstellungsprozessen verbraucht wird.

Die Daten weisen also einen hohen Aggregierungslevel auf; Interpretationen bezüglich Prozessschritten und/oder bestimmter Rohmaterialien sind auf diesem Niveau nicht mehr möglich.

¹ z.B. Quarz bei der PV-Anlage

² z.B. Dichtungen/Kunststoffe bei der Panelfabrikation

³ z.B. Flusssäure zur Dammage-Ätzung der Panels

⁴ z.B. Strombedarf zur electronie-grade-Siliziumherstellung, NMVOC-Emissionen bei der Sinterung der Zellen

Um die aggregierten Kennzahlen interpretieren zu können, sind folgende Hinweise notwendig:

• Energie

Energie wird bis zuletzt auf dem Niveau der Endenergie erfasst⁵, und zwar getrennt für fossile (in MJ) und elektrische Energieträger (in kWh bzw. MJ). Ebenfalls wird der sogenannte "Feedstock" oder energetische Materialeintrag berücksichtigt. Dies ist nur bei Materialien relevant, bei denen Energieträger als Rohstoffe/Ausgangprodukte eingesetzt werden (z.B. Holz beim Papier, Rohöl bei Kunststoffen, Kohle bei Graphitelektroden, etc).

Der Gesamtenergiebedarf (Primärenergie) ergibt sich durch die Berücksichtigung des Energieverbrauchs für die Bereitstellung der Endenergie. Dabei ist insbesondere die Elektrizitätsproduktion sowohl für die Emissionsmatrizen/Ökobilanzen als auch für die Höhe der externen Kosten ein sensibler Einflussparameter: Nach dem Standard-UCPTE88-Modell (vgl. [2]) müssen z.B. rund 9,5 MJ Primärenergie aufgewendet werden, um eine Kilowattstunde elektrische Endenergie zu erzeugen. Um den Einfluss des zugrundegelegten Elektrizitätserzeugungsmodell aufzuzeigen, wurden die Emissionsmatrizen sowie die externen Kosten mithilfe von zwei verschiedenen Produktionsmodellen berechnet:

1. mit dem **Elektrizitätserzeugungsmodell UCPTE88**: Dieses Modell wird bei der Erstellung von Ökobilanzen (oder wie in diesem Falle: von Emissionsmatrizen) normalerweise verwendet, um eine internationale Vergleichbarkeit zu gewährleisten.⁶
2. mit dem **Elektrizitätserzeugungsmodell CH90-92**: Dieses Modell entspricht den schweizerischen Stromproduktionsverhältnissen der Jahre 1990 bis 1992.⁷

Der Übersichtlichkeit halber werden die Resultate der Emissionsmatrizen im Kapitel 3 nur für das Stromproduktionsmodell UCPTE88 dargestellt. Im Kapitel 4 werden jedoch auch die externen Kosten berechnet, die sich aufgrund der mit dem Modell CH90-92 berechneten Emissionsmatrizen ergeben.

⁵ Soweit dies die zugrundeliegenden Daten erlauben! Vergleiche dazu Anhang A1: insbesondere bei den Kunststoffen konnte eine Desaggregation der vorliegenden Standardökobilanzen gemäss [2] nicht vorgenommen werden. Bei diesen Materialien wird daher von Anfang an mit Primärenergie gerechnet. Der Fehler, der sich daraus ergibt, ist jedoch vernachlässigbar, weil bei den betrachteten Systemen Kunststoffe nur in kleinem Ausmass eingesetzt werden.

⁶ Das UCPTE88-Modell nach [2] stützt sich auf Daten des GEMIS 1990. Inzwischen ist die GEMIS-Studie überarbeitet worden [15]. Im Anhang A4 wird das UCPTE88-Modell mit diesen neueren Daten (GEMIS 2.0) nochmals berechnet.
Anmerkung: Für die Produktion von Aluminium wurde jeweils das Elektrizitätsmodell 'Westliche Welt' verwendet; Begründung vgl. [2]

⁷ Dieses Modell wurde eigens für diese Studie erstellt und stützt sich bezüglich Emissionsfaktoren auch auf GEMIS 2.0 [15]. Die Berechnungen sind im Anhang A4 zusammengestellt. (vgl. Anmerkung Fussnote 6)

- **Gutschriften**

In den nachfolgenden Emissionsmatrizen werden in Anlehnung an [5] **weder energetische noch emissionsseitige Gutschriften** gemacht, sondern die tatsächlichen Energieaufwände und Emissionen berücksichtigt: Energetische Gewinne aus Prozessen wie z.B. Prozessdampf, H₂, oder Abwärme fallen somit nur dann in Betracht, wenn sie für den Prozess selbst verwendet werden⁸. Wird die "gewonnene" Energie in anderen, nicht mit der Herstellung des betrachteten Materials verknüpften Prozessen eingesetzt, wird lediglich der Betrag der zusätzlich nutzbaren Energie aufgeführt (vgl. z.B. Herstellung von Electronic-Grade-Silizium im Kapitel 3.1)
- **Störfälle**

Bei den Emissionsmatrizen werden Störfälle oder Unfälle grundsätzlich nicht berücksichtigt. Störfälle und Unfälle können insbesondere bei den Energieversorgungsketten auftreten (z.B. Tankerunglücke, KKW-GAUs, etc); sie sind aber auch bei der Produktion von (insbesondere chemischen) Hilfsmaterialien nicht selten. Die Methodik eines Einbezug von Störfällen in Ökobilanzen/Emissionsmatrizen ist jedoch noch nicht praxisreif entwickelt [6].
- **Emissionen**

Berücksichtigt werden nur CO-, CO₂-, NMVOC-, NO_x-, SO_x- und CH₄-Emissionen. Die Gesamtemission von CO₂ ist keine Messung, sondern wird stöchiometrisch mithilfe von Schätzformeln berechnet (vgl. [2]). Diese gelten nur für die Verbrennung fossiler Energieträger; allfällige prozessspezifische CO₂-Emissionen sind in den vorhandenen Datenquellen nirgends vorhanden. Ebenso sind CO₂-Emissionen aus Transporten nur unvollständig erfasst⁹. Die Kennzahl ist somit mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren.
- **Nutzung/Betriebsphase**

Soweit verlässliche Angaben über den zusätzlichen Energieverbrauch und die Emissionen beim Normalbetrieb/Nutzung vorliegen, sind diese Daten berücksichtigt worden. Wie oben angedeutet, werden auch hier allfällige Un- oder Störfälle nicht erfasst.
- **Entsorgung**

Bei **den Produktionsabfällen der Vorleistungen** sind die Emissionen und der Energieverbrauch berücksichtigt, die beim Transport hin zum Entsorger und bei der Entsorgung selbst anfallen. Die **Entsorgung der Produkte** selbst (d.h. Solarzellen, Kollektoren, Fenster, Wärmedämmstoffe) ist nur **transportmässig** erfasst worden, da

⁸ Üblicherweise wird in Ökobilanzen für Energiegewinne aus Prozessen unabhängig vom 'Ort' ihrer Verwendung eine energetische Gutschrift veranschlagt. Emissionsseitig wird eine der Energiemenge äquivalente Gutschrift gemacht, wobei meist Heizöl Extraleicht als Substitut verwendet wird.

⁹ Die Emissionsmatrizen für Transportmittel, die den Standardökobilanzen nach [2] zugrundeliegen, enthalten keine CO₂-Emissionen. Für die Transporte der Materialien hin zur Baustelle und zum Entsorgungsort wurden Daten aus [14] verwendet, die CO₂-Emissionen berücksichtigen (vgl. Anhang A1)

zum jetzigen Zeitpunkt noch keine genauen Angaben darüber vorliegen, welche Behandlungsverfahren bei der Entsorgung von Solarzellen, Kollektoren usw. angewendet werden.

Methodenkritik

Unberücksichtigt bleiben gemäss der Aufgabenstellung eine Vielzahl von u.U. ökotoxikologisch relevanten Emissionen in Luft, Wasser und Boden. Die nachfolgenden Kennzahlen ergeben somit noch keine Ökobilanz. Diese Kennzahlen sind das Produkt einer Literaturlauswertung; sie stützen sich bei der PLA auf Arbeiten im Rahmen des Projekts "Umweltbelastung durch Endenergiebereitstellung" und für die Materialdatensätze (Ökobilanzen) auf [2], [1] und [3] ab. Da diesen Standardökobilanzen unterschiedliche Systemabgrenzungen zugrundeliegen, mussten sie vorerst "normiert" werden (vgl. dazu Figur AI -1)¹⁰.

Unbefriedigend sind die Emissionsmatrizen im Bereich "Entsorgung" und "Transporte". Die Umweltauswirkungen der Entsorgung können deshalb nur ungenügend abgeschätzt werden, weil umweltverträgliche Rückbautechnologien für die untersuchten Materialien noch nicht vorhanden sind. Aus folgenden Gründen sind auch die Transporte nur unbefriedigend berücksichtigt:

- In den Transporten der Standardökobilanzen sind CO₂-Emissionen nicht enthalten
- Die Umweltauswirkungen der Transportleistung werden durch rechnerisch ermittelte Tonnenkilometer erfasst. Diese Vereinfachung ist bei Rohstoffen noch gerechtfertigt, auf dem Niveau von Materialien und Produkten haben die tatsächlichen Lieferstrukturen bzw. Lieferfrequenzen jedoch einen bedeutenden Einfluss.¹¹

2.2 Berechnung der externen Kosten

Berechnungsweise

Im Rahmen dieses Projekts werden externe Kosten von Luftschadstoffen und Energiesystemen in [12] und [11] ermittelt. Mithilfe dieser Ausgangsgrössen lassen sich die ex-

¹⁰ Ökobilanzen nach [2] berücksichtigen Strombereitstellung und Precombustion, diejenigen nach [1] jedoch nur Strombereitstellung; zudem unterscheiden sich die Emissionsmatrizen der verwendeten UCPT-Modelle leicht. Daher wird bei allen Standardbilanzen die Strombereitstellung und Precombustion abgezogen, um eine einheitliche Handhabung zu gewährleisten (vgl. Figur AI -1. Ein ungelöstes Problem stellen die nicht berücksichtigten CO₂-Emissionen aus den Transporten in [2] dar.

¹¹ vgl. dazu z.B. [13]: Da die Restaurants täglich mit Frischwaren und Verpackungen bedient werden, ist der Anteil der Transporte an der tatsächlichen Umweltbelastung markant höher.

temen Kosten der Herstellung, Nutzung und Entsorgung der hier untersuchten Materialien wie folgt berechnen:

$$\text{Externe Kosten (Fr.)} = \sum_{X=1}^n \text{Emissionsmenge (t)}_{\text{Luftschadstoff}_X} + \text{Emissionszuschläge (Fr./t)}_{\text{Luftschadstoff}_X} \\ + \sum_{Y=1}^m \text{Elektrizitätsverbrauch (kWh)}_{Y_Z} \cdot \text{kalk. Energiepreiszuschläge (Fr./kWh)}_{Y_Z}$$

wobei: $X = \text{CO}_2, \text{NMVOC}_{\text{Sommer}}, \text{NO}_x, \text{NO}_{x\text{Sommer}}, \text{SO}_2$

$Y_Z =$ Nuklearer bzw. hydraulischer (Lauf- und Speicherwerke) Elektrizitätsverbrauch in Abhängigkeit der Elektrizitätsproduktionsmodelle UCPT88 oder CH90-92 (=Z)

Anmerkungen zu den verwendeten Werten

Die hier verwendeten **Emissionszuschläge** sind in Tabelle 2-1 zusammengestellt: Sie enthalten die Schadenskosten der Luftverschmutzung sowie die über den Vermeidungskostenansatz geschätzten externen Kosten des Treibhauseffektes gemäss [19]. Da Nicht-Methan VOC's und NO_x , insbesondere im Sommer ein erhöhtes Schadenpotential aufweisen (Ozonbildung, Sommersmog), werden bei diesen Schadstoffen separate externe Kosten für Sommer-Emissionen veranschlagt. Die externen Kosten von fossilen Brennstoffen werden über die Emissionszuschläge für Luftschadstoffe (inklusive CO_2) erfasst.

Separate **kalkulatorische Energiepreiszuschläge** bestehen nur für hydraulische und nukleare Elektrizitätserzeugung (vgl. Tab. 2.1)¹². In diesen Kostenansätzen sind die Kosten von Naturraumschäden und Stör- bzw. Grossunfällen enthalten (vgl. [12], [19]). Die Unfallrisiken von Kern- und Wasserkraftwerken gehen mit dem auf die jeweilige Stromproduktion umgelegten Erwartungswert in die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge (KEPZ) ein.¹³ Die KEPZ enthalten zusätzlich die Beeinträchtigung der Landschaft und des Naturraumes durch die Übertragungsleitungen sowie durch die Kern- und Wasserkraftwerke.

¹² Kalkulatorische Energiepreiszuschläge lassen sich auch für fossile Brennstoffe berechnen, indem man die externen Kosten der CO_2 -Emissionen, die bei der Verbrennung entstehen, auf den entsprechenden fossilen Energieträger überwälzt.

¹³ Allfällige externe Kosten durch Grossunfälle in den Energieversorgungsketten der fossilen Brennstoffe werden jedoch vernachlässigt

Kalkulatorische Energiepreiszuschläge (für Elektrizität)					
Rp/kWh	Nuklear	Wasserkraft Laufwerk	Wasserkraft Speicherwerk		
Schätzwert	0,1 ¹⁾	0,28	0,67		
Emissionszuschläge (für Luftschadstoffe)					
Fr/t	CO ₂	NMVOCSommer	NO _x	NO _x Sommer	SO ₂
Minimum	159	12400	13800	14300	11500
Maximum	227	30700	32270	33450	26900

- 1) Die externen Kosten einer kWh Elektrizität aus Kernkraftwerken belaufen sich (inklusive den externen Kosten der Energieträgerbereitstellung auf 0,42 Rp/kWh, vgl. Anhang A4.

Tabelle 2- 1: Emissionszuschläge für Luftschadstoffen und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für die Elektrizitätserzeugung nach [12] und [11]; für CO, Partikel und CH₄ sind keine Kostenschätzungen vorhanden

3. Resultate

3.1 Solarzellen

3.1.1 Kennzahlen Solarzellen 1992

Bilanziert wird eine Kyocera 3 kWp polykristalline Silizium-Photovoltaik-Anlage, die in Japan produziert wird, mit einem Wechselrichter der Marke Solcon 3300. Als Montageart wird "Schrägdach aufgesetzt" gewählt (dies nicht zuletzt deshalb, weil diese Kombination die häufigste in der Schweiz verwendete PV-Anlage ist). Nur dank dieser Konkretisierung des Untersuchungsgegenstandes kann eine Bilanzierung überhaupt vorgenommen werden; dafür verlieren die Daten jedoch an "Allgemeingültigkeit". Hinzu kommt, dass die Technologie der Herstellung von PV-Anlagen noch jung ist und deshalb starke Rationalisierungs- und Effizienzpotentiale aufweist. Die Schätzungen sind daher als Momentaufnahmen zu verstehen.

Die den Kennzahlen unterstellte Technologie bzw. Produktionsverfahren sind in Tab. A2-2 beschrieben (vgl. auch [5]). Dort sind ebenfalls wichtige Anpassungen in den Basisdaten gegenüber der Literaturquelle [5] aufgeführt, die gemäss Absprache mit [6] vorgenommen werden (vgl. Tab. A2-3). Bei diesen Ausgangsparametern ergeben sich folgende zusammenfassende Resultate (vgl. Anhang A2 und Anhang A3):

Total 3 kWp Anlage nach Belastungstellen in MJ	Heizöl Schwer	Diesel/ Heizöl Extraleicht	Erdgas	Kohle	Material-eintrag ¹⁾	Elektrische Energie
Endenergie						
Vorleistungen	9 991.4	4 973.0	4 826.1	2 230.3	14 530.5	11 521.0
Herstellungsprozesse		449.2		6 444.0		80 795.6
Total Endenergie	9 991.4	5 422.2	4 826.1	8 674.3	14 530.5	92 316.6
Primärenergie						
Precombustion					2 880.8 ⁵⁾	
Strombereitstellung (UCPTE88) ³⁾						130 038.2 ⁵⁾
Total Primärenergie⁴⁾	9 991.4	5 422.2	4 826.1	8 674.3	17 411.2	222 354.8

- 1) inbegriffen sind auch Primärenergieverbräuche für die Herstellung von Kunststoffen, vgl. Abgrenzungsprobleme Kap.2.1
- 2) umfasst Petrolkoks beim Prozessschritt metallurgic-grade-Si-Herstellung und Graphitelektroden bei der Waferfertigung
- 3) Dieser Primärenergieaufwand verteilt sich gemäss dem Stromproduktionsmodell UCPTE88 auf die einzelnen Energieträger (davon rund 40% fossil)
- 4) Das Total ergibt sich als Summe aus dem Total der Endenergie plus die zusätzlichen Energieaufwände der Precombustion und Strombereitstellung
- 5) in [15] ist der Primärenergiebedarf global angegeben und lässt - im Gegensatz zu [2] - sich nicht nach Energieträger spezifizieren. Daher wird der Precombustion-Energiebedarf unter Materialeintrag, derjenige für die Strombereitstellung unter Elektrischer Energie eingetragen. Das heisst jedoch ausdrücklich nicht, dass die gesamte , in diesen Kolonnen angegebenen Energiemengen als Materialeintrag oder Elektrizität verbraucht werden.

Tabelle 3- 1: *End- und Primärenergieverbrauch für Herstellung, Nutzung und Entsorgung einer 3 kWp-PV-Anlage nach Energieträgern. Zugrundegelegtes Strommodell: UCPTE88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)*

Unter Vorleistungen werden alle Energieverbräuche für die Bereitstellung der Produktionsrohstoffe zusammengefasst. Die Zeile "Herstellungsprozesse" enthält den direkten Energieverbrauch bei der Produktion, Nutzung und Entsorgung der PV-Anlage. Precombustion und Strombereitstellung umfassen die Energieaufwände für die Bereitstellung der Endenergie, die bei den Vorleistungen und den Herstellungsprozessen eingesetzt wird.

Energieanalyse nach Prozessschritten	Thermische Endenergie		Elektrische Endenergie		Primärenergie	
	MJ	%	kWh	%	MJ th äq	%
MG-Si Herstellung	17 901.1	41%	4 140.2	16%	54 905.5	20%
Waferfertigung	5 110.6	12%	11 229.9	44%	104 213.1	39%
Zellenfertigung	49.3	0%	4 521.2	18%	39 752.8	15%
Panelfertigung	9 449.1	22%	4 988.3	19%	52 341.5	19%
Montage	5 621.6	13%	533.0	2%	9 851.8	4%
Wechselrichter	876.2	2%	156.5	1%	2 070.4	1%
Elek. Installationen	500.6	1%	74.6	0%	1 190.2	0%
/Betrieb		0%		0%		0%
Entsorgung	3 935.8	9%		0%	4 354.6	2%
Total (in 1000 ...)	43.4		25.6		268.7	

Tabelle 3-2: End- und Primärenergieverbrauch für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung einer 3 kWp-PV-Anlage nach Prozessschritten

Rund 43 GJ thermische und 26 MWh elektrische Energie müssen für die Produktion, Nutzung und Entsorgung der untersuchten Photovoltaik-Anlage aufgewendet werden. Beim Prozessschritt Electronic-grade-Siliziumherstellung fallen als Nebenprodukt rund 5-6 GJ Prozessdampf an, die in anderen Prozessschritten genutzt werden können.¹⁴

Nach [5] ist in der Schweiz an einem mittleren Standort ein Jahresertrag von 3,6 GJ/kWp erzielbar; der Schwankungsbereich reicht von 2,5 bis 4,7 GJ. Unterstellt man der PV-Anlage eine Lebensdauer von 30 Jahren, so ergibt sich ein Gesamtertrag von 324 GJ für eine 3 kWp-Anlage. Tabelle 3-3 stellt den gesamten Energieaufwand für Produktion, Nutzung und Entsorgung der PV-Anlagen dem möglichen Ertrag gegenüber:

¹⁴ In [5] wird mit rund 90 MJ/kg Electronic-Grade-Silizium gerechnet; dies ergibt bei einer Einsatzmenge von 290 kg metallurgic-grade-Silizium für eine 3kWp-PV-Anlage und bei einer Ausbeute von 20% im electronic-grade-Siliziumherstellungsprozess 5,22 GJ Prozessdampf.

Angaben in GJ	Endenergie	Primärenergie
Energie fossil	43.4	46.3
Energie elektrisch	92.2	222.4
Total		268.7
Gesamter Ertrag während Lebensdauer	324.0	790.3 ¹⁾
Rückzahldauer (a)		10 ²⁾

1) 324 MJ Endenergie mit Einsparung Primärenergieaufwand 2.4 MJ/MJ nach korrigiertem UCPTTE88

2) berechnet sich wie folgt: 268 MJ Energieaufwand / 26.3 MJ Energieertrag je Jahr = 10

Tabelle 3-3: Grobschätzung der ökologischen Rückzahldauer einer 3 kWp PV Anlage

Zwei Anmerkungen sind wichtig, um das Resultat aus Tabelle 3-3 in den richtigen Rahmen zu stellen:

- Der Energiebedarf wie auch die energetische Rückzahldauer einer PV-Anlage fällt in dieser Grobschätzung höher aus als in bisherigen Studien. Ein Grund dafür liegt darin, dass die Untersuchung [5] viel detaillierter ist als alle bisherigen; viele bis anhin vernachlässigte Stoffströme werden hier berücksichtigt. Ein weiterer Grund liegt in nicht getätigten Gutschriften.
- Die Rückzahldauer von 10 Jahren ist auch direkt abhängig vom unterstellten Ertrag, d.h. vom Standort und der zugrundegelegten Lebensdauer. Bei einem schlechten Standort erbringt die PV-Anlage nur etwa 210 GJ, bei einem sehr guten hingegen 420 GJ (vgl. [5]). Die Rückzahldauer kann somit zwischen grobgeschätzt 6 und 13 Jahren liegen.
- Einen zusätzlichen Einfluss auf die Rückzahldauer weist die Montageart auf. Je nachdem wie und wo die Panels montiert werden, ist ihnen nicht nur die Funktion Energiegewinnung als Nutzen zuzuschreiben, sondern auch die Funktion Fassadenschutz. Bei Schrägdachmontagen entfällt diese zusätzliche Funktion laut [6]. Für andere Montagearten müssten bis zu 20% der Herstellungsenergie der Funktion Fassadenschutz zugeschrieben werden.

Tabelle 3-4 zeigt die bei der Herstellung und Entsorgung der untersuchten PV-Anlage anfallenden Emissionen:

Total 3 kWp Anlage nach Belastungstellen in kg	CO	CO ₂	NM VOC	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Vorleistungen	4.7	2 712.9	8.4	11.3	14.5	12.8	
Herstellungsprozesse	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Precombustion	1.8	200.9	1.3	0.7	0.1	0.7	5.1
Strombereitstellung	7.9	9 395.0	5.9	9.7	1.2	8.7	21.0
Total	14.3	12 310.5	15.6	21.7	15.7	22.2	26.1

Tabelle 34: Emissionen bei der Herstellung (und Entsorgung) der untersuchten PV-Anlage. Angaben in kg. Zugrundegelegtes Energiemodell: UCPTTE88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

3.1.2 Kennzahlen Solarzellen 1995

Die Tabellen 3-1 bis 3-4 spiegeln den Energiebedarf/Gesamtemissionsanfall der Herstellung, Nutzung und Entsorgung einer PV-Anlage nach heutigem Stand der Technik. Bereits in naher Zukunft, 1995, sind jedoch relevante Effizienzsteigerungen in der Produktion zu erwarten: Durch bessere Auslastung der Produktionsprozesse¹⁵ ist eine erhebliche Reduktion zu erwarten. Nach Angaben von [6] und [5] ergeben sich für die Herstellung der PV-Anlage 1995 folgende Kennzahlen:

Total 3 kWp Anlage nach Belastungstellen in MJ	Heizöl Schwer	Diesel/ Heizöl Extraleicht	Erdgas	Kohle	Material-eintrag ¹⁾	Elektrische Energie
Vorleistungen	7 653.4	4 472.9	4 481.2	2 214.6	12 667.5	8 825.4
Herstellungsprozesse		327.3		4 229.1		59 086.3
Total Endenergie	7 653.4	4 800.2	4481.2	6 443.7	12 667.5	67 911.7
Precombustion					2 310.9	
Strombereitstellung						96 192.8
Total Primärenergie	7 653.4	4 800.2	4481.2	6443.7	14 978.4	164 104.6
Gesamt						202.4 GJ

1) inbegriffen sind auch Primärenergieverbräuche für die Herstellung von Kunststoffen, vgl. Abgrenzungsprobleme Kap.2.1

Table 3-5: End- und Primärenergieverbrauch bei der Herstellung einer 3 kWp-PV-Anlage nach Energieträgern. Zugrundegelegtes Energiemodell: UCPTTE88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

Als Nebenprodukt fallen bei der Electronie-grade-Siliziumherstellung 4-5 GJ Prozessdampf an.

Total 3 kWp Anlage nach Belastungstellen in kg	CO	CO ₂	NMVOC	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Vorleistungen	4.0	2 308.4	7.6	10.0	13.1	10.6	
Herstellungsprozesse	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	
Precombustion	1.4	161.2	1.0	0.5	0.0	0.5	3.9
Strombereitstellung	5.8	6 920.8	3.8	6.9	0.8	5.9	15.7
Total	11.2	9 391.8	12.6	17.5	13.9	17.1	19.6

Table 3-6: Emissionen bei der Herstellung (und Entsorgung) der untersuchten PV-Anlage. Angaben in kg. Zugrundegelegtes Energiemodell: UCPTTE88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

¹⁵ Mehrschichtbetrieb, u.U. keine Verwendung des reinen EG-Silizium oder zumindest Optimierung der Ausbeute, Verbesserung des Zellenwirkungsgrades, u.U. rahmenlose Lamine, vgl. auch Tab. A2-3

3.1.3 Vergleich mit Literaturdaten

In [3] ist ein monokristallines Silizium-Laminat ökobilanziert worden. Ein Vergleich damit ergibt folgendes Bild:

Prozessschritt (je Laminat, bzw. Panel)	Endenergie nach [3] (monokristallin) je Modul		Endenergie nach [5] (polykristallin) je Panel	
	Thermisch	Elektrisch	Thermisch MJ	Elektrisch
MG-Si Herstellung	82	29	300	70
Waferfertigung	-100	150	85 ¹⁾	189
Zellenfertigung	150	62	1	76
Panelfertigung	66	15	159	84
Je Modul/51 W Panel	200	255	545	419

1) Mit derselben Systemabgrenzung wie in [3] würde hier ein thermischer Endenergiebedarf von -15 MJ entstehen (Gutschrift Prozessdampf)

Tabelle 3- 7: Vergleich der Panelherstellung 1992/93 mit Literaturdaten (131)

Wie bereits erwähnt weist die vorliegende Schätzung einen höheren Energiebedarf auf. Der Unterschied im Energiebedarf, wie er in Tabelle 3-7 ausgewiesen ist, rührt in erster Linie daher, dass in [3] monokristalline Solarzellen bilanziert wurden. Im Bereich der thermischen Energie ist dieser Unterschied jedoch auch auf detaillierter erfasste Stoffflüsse zurückzuführen. Bei der Elektrizität spielt vor allem der höhere Strombedarf bei der EG-Siliziumherstellung¹⁶ und der deutlich höhere Energiebedarf für die Panelfertigung eine Rolle.

3.1.4 Datenqualität

Aufgrund der detaillierten Stoffflusserfassung der PV-Anlagenherstellung sowie der zugrundeliegenden Standard-Ökobilanzen muss mit einer Datensatzqualität B (Fehler < 20%) gerechnet werden. Eine Verbesserung der Daten ist bei den Prozessschritten "Betrieb" und "Entsorgung" wünschbar.

16 infolge der massiv schlechteren Ausbeute bei der EG-Siliziumherstellung: in [5] 18% und in [3] 50%

3.2 Sonnenkollektoren

3.2.1 Kennzahlen Sonnenkollektor Einfamilienhaus

Die Vielzahl vorhandener Kollektortypen, Wärmetauschersysteme etc. erschweren die Definition eines typischen Sonnenkollektorsystems (vgl. dazu [4]). Hier wird ein Flachkollektor aus Kupfer mit 6 m² Kollektorfläche für die Warmwasserversorgung eines Einfamilienhauses bilanziert (vgl. Tab. A2-4). Speicher, Pumpe, Leitungen, Expansionsgefässe und Zusatzheizaggregat werden gemäss der Variante 7 aus [4] für die Bedürfnisse eines Einfamilienhauses dimensioniert.

Bei diesen Ausgangsparametern ergeben sich folgende zusammenfassende Resultate:

Total Flachkollektor nach Belastungstellen in MJ	Heizöl Schwer	Diesel/ Heizöl Extraleicht	Erdgas	Kohle	Material-eintrag	Elektrische Energie
Vorleistungen	2 752.3	707.1	1 784.6	3311.5	72.3	1714.6
Herstellungsprozesse		4 829.8				5 866.9
Total Endenergie	2 752.3	5 536.9	1784.6	3 311.5	72.3	7 581.6
Precombustion Strombereitstellung					1277.2	10 506.4
Total Primärenergie	2 752.3	5 536.9	1 784.6	3 311.5	1 349.5	18 088.0
Gesamt						32.8 GJ

Tabelle 3-8: End- und Primärenergieverbrauch für Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines 6 m² Flachkollektors nach Energieträgern. Zugrundegelegtes Strommodell: UCPTe88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

Auffallend ist der geringe Anteil an eigentlicher Herstellungsenergie: Die bei den Prozessen aufgeführten Energieverbräuche betreffen die Betriebsenergien für die Pumpe und das Zusatzheizaggregat. Der Grund liegt darin, dass in [4] in erster Linie Stoffflüsse (Vorleistungen) bilanziert werden; Angaben über die eigentliche Produktion/Montage der Bestandteile des Kollektorsystems fehlen.

In Abhängigkeit der Standortverhältnisse und des Kollektorwirkungsgrades beträgt der solare Jahresertrag eines Sonnenkollektorsystems zwischen 400 bis 600 kWh je m² Kollektorfläche. Gemäss [4] ist mit dem hier bilanzierten Flachkollektor über die gesamte Lebensdauer von 20 Jahren ein Wärmeertrag von 220 GJ erzielbar¹⁷. Dies entspricht einem Primärenergieertrag von gut 240 GJ¹⁸. Bei total 33 GJ Primärenergieaufwand für die Herstellung des Kollektors resultiert somit eine energetische Rückzahldauer von 3 Jahren¹⁹.

17 Berechnet sich wie folgt: 20 Jahre * 500 kWh * 6 m² * 3,6 = 216 000 MJ Endenergie

18 Substitutions-Energieträger: Heizöl Extraleicht. Precombustionenergiebedarf laut [15] (vgl. auch Tab. A4-1): 0.139 MJ/MJ =>216 GJ * 1,139 =246 GJ

19 Berechnet sich wie folgt: 33 GJ Energieaufwand / 12 GJ Energieertrag je Jahr = 2.75

Tabelle 3-9 zeigt die Emissionskennzahlen für diesen Sonnenkollektor:

Flachkollektor nach Belastungstellen in kg	CO	CO ₂	NM VOC	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Vorleistungen	2.4	872.3	3.3	2.4	6.1	3.9	
Herstellungsprozesse							
Precombustion	0.8	98.0	0.6	0.4	0.0	0.3	1.9
Strombereitstellung	0.6	768.5	0.6	0.8	0.1	0.8	1.7
Total	3.8	1 738.8	4.5	3.6	6.2	5.0	3.6

Tabelle 3-9: Emissionen bei der Herstellung (und Entsorgung) des untersuchten Flachkollektors (6m²). Angaben in kg/6m² Zugrundegelegtes Strommodell: UCPT E88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

3.2.2 Kennzahlen Sonnenkollektor Nullheizenergiehaus

In [1] ist ein 32 m² grosser Wabenkollektor aus Aluminium bilanziert, welcher in die Südfassade eines Nullheizenergiehauses montiert wird. Dieser Kollektor wird in dem untersuchten Nullheizenergiehaus für die Raumwärmegewinnung und Warmwasserversorgung eingesetzt²⁰. Der Kollektor funktioniert nach dem Thermosyphonprinzip und benötigt daher keine Pumpe. Der **in diesem Kollektorsystem installierte Speicher** weist ein Volumen von 20 m³ auf (inklusive Expansionsgefäss und Saisonspeicher).

Mithilfe der Materialverbrauchsangaben für die Herstellung des Kollektors und des Speichers gemäss [1] lassen sich folgende Kennzahlen berechnen:

Total Wabenkollektor nach Belastungstellen in MJ	Heizöl Schwer	Diesel/ Heizöl Extraleicht	Erdgas	Kohle	Material-eintrag ¹⁾	Elektrische Energie
Vorleistungen	16 837.9	11 688.9	15 796.8	51 100.2	20 387.9	23 913.8
Herstellungsprozesse						27 900.0
Total Endenergie	16 837.9	11 688.9	15 796.8	51 100.2	20 387.9	51 813.8
Precombustion					8 283.3	
Strombereitstellung						72 757.7
Total Primärenergie	16 837.9	11 688.9	15 796.8	51 100.2	28 671.2	124 571.5
Gesamt						248.7 GJ

1) inbegriffen sind auch Primärenergieverbräuche für die Herstellung von Kunststoffen, vgl. Abgrenzungsprobleme Kap.2.1

Tabelle 3- 10: End- und Primärenergieverbrauch für Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines 32m² Wabenkollektors nach Energieträgern. Zugrundegelegtes Strommodell: UCPT E88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

20 Ein Kollektor dieser Grössenordnung kann gemäss [4] die gesamte Warmwasserversorgung eines 'normalen' Mehrfamilienhauses abdecken.

Flachkollektor nach Belastungstellen in kg	CO	CO ₂	NMVOc	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Vorleistungen	31.1	15 267.2	30.9	46.3	75.6	46.6	
Herstellungsprozesse				.0			
Precombustion	6.9	604.5	4.4	2.0	0.2	1.9	27.8
Strombereitstellung	4.4	5 265.8	3.4	5.4	0.6	4.9	11.7
Total	42.4	21 137.5	38.7	53.7	76.4	53.4	39.5

Tabelle 3- 11: Emissionen bei der Herstellung (und Entsorgung) des untersuchten Wabenkollektors (32m²). Angaben in kg/32m² Zugrundegelegtes Strommodell: UCPTe88 (überarbeitet gemäss Anhang A4)

Nach [1] kann der bilanzierte Wabenkollektor einen solaren Jahresertrag von 13000 kWh erzielen²¹. Dies ergibt bei 20 Jahren Lebensdauer einen Primärenergieertrag von ca. 1 060 GJ²². Gemäss [4] beträgt der Primärenergieertrag einer Kollektoranlage dieser Grössenordnung sogar 1 190 GJ²³. Da der untersuchte Wabenkollektor vertikal an bzw. in der Fassade installiert ist, erzielt er einen schlechteren Ertrag als bei einer Schrägdachmontage.

Bei einem Gesamtertrag von rund 1 060 GJ (vgl. [4]) ergibt sich eine energetische Rückzahldauer von gut 5 Jahren²⁴. Die Rückzahldauer dieses Wabenkollektors ist aus folgenden Gründen höher, als diejenige des im Kapitel 3.2.1 bilanzierten Flachkollektors:

- Das spezifische Speichervolumen je m² Kollektorfläche beträgt beim Wabenkollektor des Nullheizenergiehauses 625 lt/m²; beim Flachkollektor jedoch nur 110 lt/m³. Dieser eklatante Unterschied wird in erster Linie durch den zusätzlichen Saisonspeicher²⁵ verursacht.
- Der Speicher des Wabenkollektor benötigt rund 48 t Stahlbeton; bei dem Flachkollektor ist gar kein Beton bilanziert.
- In [1] werden dem Kollektor Materialgutschriften zugebilligt. Diese ergeben sich durch eine Einsparung der Fassadenisolation auf Grund der Montage der Kollektoren sowie durch die Einsparung von Mauerwerk infolge Einbau des Speichers. Diese Gutschriften werden in obigem Beispiel nicht berücksichtigt. Von dem in Tab. 3-10 ausgewiesenen Gesamtenergiebedarf dürften daher 10-20% der Funktion Isolation/Mauerwerk zugeschrieben werden.

²¹ 32 m² à 400 bis 600 kWh/a = 12 800 bis 16 000 kWh (vgl. 3.2.1). Davon kann jedoch nur rund die Hälfte genutzt werden, da die übrigen in diesem Nullheizenergiehaus installierten Energiesparmassnahmen (Dämmstoffe, Warmwasserrückgewinnung, etc.) zu einem immensen Sommerüberschuss führen.

²² berechnet sich wie folgt: 20 Jahre à 13 000 kWh * 3.6 = 936 000 MJ Endenergie. Energieverbrauch bei der Precombustion von Heizöl Extralleicht (= Substitut): 0.139 MJ/MJ => 936 MJ * 1.139 = 1066 GJ

²³ vgl. Variante 11 in [4]

²⁴ 249 GJ Energieaufwand für Herstellung / 53 GJ Energieertrag je Jahr = 4.69

²⁵ Funktion: Verlagerung von Wärmeertrag aus dem Sommerhalbjahr in den Winter

3.2.3 Vergleich mit Literaturquelle

Tabelle 3-12 zeigt den m²-spezifischen Primärenergiebedarf verschiedener Sonnenkollektorsysteme:

Primärenergiebedarf	EFH-Wabenkollektor gemäss [1]	EFH-Flachkollektor gemäss [1]	Wabenkollektor nach [1] und [4]	Flach-Kollektor nach [4]
je m ² Kollektorfläche	5.0 GJ	7.7 GJ	6.3 bis 8 GJ	5.5 GJ
berücksichtigt	Kollektor und Speicher, Leitungen		Kollektor, Speicher, Zusatzheizaggregat, Leitungen, elekt. Installationen, Betriebsenergiebedarf	

Tabelle 3- 72: Vergleich der Kollektorherstellung mit Literaturdaten ([1])

Der Flachkollektor nach [4] **und** der hier nachgerechnete Wabenkollektor nach [1] und [4] sind in etwa die Eckpunkte des Schwankungsbereiches. Um sowohl die Unsicherheiten der Datensätze als auch die Vielzahl möglicher Kollektorsysteme aufzufangen, werden externe Kosten für diese beide Kollektorsysteme berechnet (vgl. Kap. 4).

3.2.4 Datenqualität

Angesichts der unvollständigen Datenerfassung in [4] muss den Kennzahlen die Qualität C zugesprochen werden (Fehler ~50%).

3.3 Fenster

3.3.1 "Kennzahlen" Fenster

Für die Bilanzierung der Fenster sind die zur Verfügung stehenden Unterlagen ungenügend, da nicht einmal der Materialfluss erfasst ist [7]. Anhand einer Grobschätzung der Hauptmaterialien mithilfe von [1], [7] und [18] können dennoch Kennzahlen generiert werden (vgl. Tab 3-13); und zwar je für ein doppelverglastes Holz- und PVC-Fenster.

	Variante 1		Variante 2	
	Holzfenster H1	PVC-Fenster P1	Holzfenster H2	PVC-Fenster P2
Fensterrahmen je m ² Fensterfläche ¹⁾	2.5 m		3m	
Abmessungen Rahmen (cm)	6*4		7*5	
Fenstertyp	doppelverglast		dreifachverglast	
Glasdicke (mm)	3		4	
Glasbedarf (m ³)	0.006		0.012	
Glasdichte	2500		2500	
Glasmenge (kg)	15		30	
Holzbedarf (m ³)	0.006		0.011	
Holzdicke	450		450	
Holzmenge (kg)	2.7		4.7	
PVC-Bedarf (m ³)		0.006		0.011
PVC Dichte		950		950
PVC-Menge (kg)		5.7		9.9

1) Bilanziert werden nur der eigentliche Fensterrahmen; die Berücksichtigung der zusätzlichen Fensterhalterung würde den Materialbedarf um etwa die Hälfte erhöhen.

Tabelle 3- 13: Annahmen über Materialbedarf für Holz- und PVC-Fenster.

Die Kennzahlen werden auf 1 m² Fenster normiert; dazu muss ein durchschnittlicher Anteil Fensterrahmen je m² Fensterfläche abgeschätzt werden (vgl. 1. Zeile Tab. 3-13 und Herleitung Seite A2-12).

Bei den zugrundegelegten Annahmen ergeben sich folgende Ökobilanzen für die verwendeten Fenster (die Varianten 2 werden nur für die Abschätzung der externen Kosten verwendet):

Holzfenster Variante 1 Energiebedarf in MJ	Heizöl Schwer	Diesel/ Heizöl Extraleicht	Erdgas	Kohle	Material- eintrag	Elektrische Energie
Total Endenergie für Prozesse	42	11	101		58	15
Precombustion					18	
Strombereitstellung						22
Total Primärenergie	42	11	101		76	37
Gesamt						268

Tabelle 3-14: End- und Primärenergieverbrauch je m² Holzfensters

Holzfenster Variante 1 in g	CO	CO ₂	NM VOC	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Vorleistungen/Prozesse	8	16 070	35	81	229	69	19
Precombustion	17	1160	10	4	0	3	4
Strombereitstellung	1	1560	1	1	0	1	40
Total	26	18790	46	86	229	73	63

Tabelle 3- 15: Emissionen je m² Holzfensters. Angaben in g/m²

PVC-Fenster Variante 1 Energiebedarf in MJ	Heizöl Schwer	Diesel/ Heizöl Extraleicht	Erdgas	Kohle	Material- eintrag	Elektrische Energie
Total Endenergie für Prozesse	230	12	101		17	38
Precombustion					42	
Strombereitstellung						174
Total Primärenergie	230	12	101		59	212
Gesamt						614

Tabelle 3-1 6: End- und Primärenergieverbrauch je m² PVC-Fensters. Strommodell:
UCPTE88

PVC-Fenster Variante 1 in g	CO	CO ₂	NM VOC	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Vorleistungen/Prozesse	16	28 680	95	102	233	85	15
Precombustion	21	2 520	16	10	1	9	23
Strombereitstellung	8	9 570	4	9	1	7	22
Total	45	40770	115	121	235	101	60

Tabelle 3- 17: Emissionen je m² PVC-Fensters. Angaben in g/m²

3.3.2 Literaturvergleich mit [1] und [8]

Mit [1] ist ein Vergleich leider wenig ergiebig, da dort nicht das gesamte Fenster bilanziert wird sondern nur die Materialflüsse, die ein Energiesparfenster zusätzlich zu einem normalen Fenster braucht.

In [8] sind die Daten leider nicht desaggregiert verfügbar. Der Grobvergleich mit den Ökobilanzdaten aus [8] auf Niveau Primärenergie und kritischem Luftvolumen ergab folgendes Bild

Fensterart	Ökobilanzen nach [8]		Grobschätzung		Fensterart
	Primärenergie	KLV	Primärenergie	KLV	
Vollholzfriese	507	2 576	284	3 137	Holzfenster H1
Vollkantel	519	2 653	544	6 191	Holzfenster H2
Naturfriese	450	2 807			
Holz-Alu	881	6 192			
Kunststoff	929	3 076	656 - 1195	3818 - 7381	PVC-Fenster P1/P2

*Tabelle 3- 18: Vergleich der Energiekennzahlen und der kritischen Luftvolumina (KLV) für die bilanzierten Fenstervarianten mit Literaturwerten aus [8]
Die Werte sind nur bedingt vergleichbar, geben jedoch einen Hinweis bezüglich der Grössenordnung*

Bei den Kennzahlen Fenster ist die Unsicherheit gross; die Varianten 2 (dreifachverglast) scheinen der tatsächlichen Umweltbelastung in Bezug auf den Energieverbrauch am nächsten zu kommen. Die Luftschadstoffemissionen sind deshalb einiges höher, weil in [8] ein anderes Stromproduktionsmodell verwendet wird;

3.3.3 Datenqualität

Die Kennzahlen für die Fenster beruhen allesamt auf Annahmen. Daher muss ihnen mindestens eine Datensatzqualität C (Fehler <50%) zugesprochen werden.

3.4. Zusammenfassung Emissionsmatrizen

Aufgrund der Vorgehensweise zur Kennzahlenschätzung, der mangelnden Datengrundlage, der spezifisch definierten Bilanzobjekte und des raschen Technologiewandels ist es ratsam, sich nicht auf eine einzige Kennzahl abzustützen, sondern mit Kennzahlbereichen zu arbeiten. Tabelle 3-19 fasst die Kennzahlbereiche zusammen:

Bilanzobjekt	untere Kennzahl in	obere Kennzahl in	Datensatzqualität
Solarzelle	Tab. 3- 5/3-6	Tab. 3-1/3-4	Fehler <20%
Kollektor	Tab. 3-8/3-9	Tab. 3-10/3-11	Fehler <50%
Holzfenster	Tab. 3-14/3-15	Variante 2	Fehler <50%
PVC-Fenster	Tab. 3-16/3-17	Variante 2	Fehler <50%

Tabelle 3- 19: Zusammenfassende Übersicht der Kennzahlentabellen

4. Externe Kosten

4.1 Vorbemerkung zu den Variantenrechnungen

Die Emissionsmatrizen in Kapitel 3 machen deutlich, dass ein wesentlicher Teil der Luftschadstoffemissionen durch die Endenergiebereitstellung verursacht werden: Je nach Luftschadstoff schwankt der Anteil zwischen 50% bis 80%. Das diesen Emissionsmatrizen zugrundegelegte Elektrizitätserzeugungsmodell UCPTTE88 spiegelt gesamteuropäische Verhältnisse wider; für schweizerische Verhältnisse (CH90-92) ist beim UCPTTE88-Modell der Anteil der hydraulischen Stromproduktion viel zu niedrig. (vgl. Tab. 4-1).

Elektrizitätsproduktionsmodelle								
	Heizöl Schwer	Erdgas	Stein- kohle	Braun- kohle	AKW	Wasserkraft		Total
						Lauf- werke	Speich- erwerke	
UCPTTE88								
Anteile	9.3%	8%	16.6%	9.0%	36.9%	10.1%	10.1%	100%
Wirkungsgrade	40%	41%	39%	37%	33%	90%	90%	41%
MJ Energieinput für Produktion 1 kWh	0.84	0.70	1.53	0.87	4.03	0.40	0.40	8.78
CH 90-92								
Anteile	1.1%	1.1%			39.5%	25.5%	32.7%	100%
Wirkungsgrade	40%	41%	39%	37%	33%	80%	80%	50.5%
MJ Energieinput für Produktion 1 kWh	0.10	0.10	0.00	0.00	4.31	1.15	1.47	7.13

Tabelle 4-1: Stromproduktionsmodelle UCPTTE88 und CH90-92 mit Wirkungsgraden nach [15]. Die Aufteilung zwischen Lauf- und Speicherwerken im UCPTTE88-Modell sowie die Aufteilung der fossilen Stromproduktion im CH90-92-Modell (Erdgas/Schweröl) beruht auf Annahmen.

Das Modell CH90-92 in Tab. 4-1 entspricht dem Mittel der inländischen Produktionsverhältnisse zwischen 1990 und 1992. Um die Auswirkungen einer "umweltfreundlicheren" Stromproduktion bzw. um den Einfluss des Produktionsstandortes Schweiz auf die externen Kosten zu untersuchen, werden für alle Untersuchungsobjekte folgende Varianten berechnet:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| . UCPTTE88 | . CH 90-92 |
| . Ohne CO ₂ | . Ohne CO ₂ |
| . Mit CO ₂ | . Mit CO ₂ |

Die Umweltauswirkungen dieser unterschiedlichen Stromproduktionsmodelle sind aus den Tabellen 4-2 und 4-3 ersichtlich (vgl. dazu Berechnungen im Anhang A4).

Precombustionsenergiebedarf für die Bereitstellung von 1 kWh Strom	
	Total Energiebedarf [MJ/kWh]
UCPTE88 überarbeitet gemäss Anhang A4 und [15]	0.403
CH90-92	0.155

Tabelle 4-2: Precombustion für die Erzeugung 1 kWh Strom in Abhängigkeit der Energiemodelle: Energieträgereinsatz (vgl. Anhang A4). Dieser zusätzliche Energiebedarf wird weder für die Emissionsmatrizen noch für die externen Kosten berücksichtigt, da er im Unsicherheitsbereich untergeht.

Emissionen der Strombereitstellung	Partikel g/kWh	CO g/kWh	CO ₂ g/kWh	HC g/kWh	NO _x g/kWh	SO ₂ g/kWh	CH ₄ g/kWh
UCPTE88							
nach [2]	0.196	0.348	441.657	2.112	1.236	2.502	
nach [15]	0.039	0.307	368.786	0.149	0.350	0.269	0.862
CH90-92 nach [15]	0.005	0.034	29.737	0.016	0.051	0.031	0.023

Tabelle 4-3: Emissionen der Stromproduktionsmodelle UCPTE88 und CH90-92. Die erste Zeile beim Modell UCPTE88 entspricht den in [2] aufgeführten Werten. Die zweite Zeile gibt die mit den GEMIS 2.0 nachgerechneten Emissionen wieder. Diese werden für die Kostenschätzungen verwendet. (vgl. dazu Anhang A4)

Die Emissionszuschläge und die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge enthalten die Schadenskosten der Luftverschmutzung (inkl. vorgelagerte Prozessstufen), die externen Kosten des Treibhauseffektes (mit dem Vermeidungskostenansatz ermittelt) und die Kosten der Unfallrisiken (auf die Produktion umgelegte Erwartungswerte).

4.2 Externe Kosten PV-Anlage, Sonnenkollektoren und Fenster

In Anhang A5 sind die Resultate der Kostenberechnung aufgeführt. Hier wird anhand der PV-Anlage 92/93 gezeigt, welchen Detaillierungsgrad die Tabellen aufweisen (vgl. Tab 4-4 und 4-5):

Kostenparameter

Bilanzierungsgegenstand	PV-Anlage 92/93	Externe Kosten Minimum	Fr.2648.48
Kostenmodell	Mit CO ₂	Externe Kosten Maximum	Fr.4378.61
Energiemodell	UCPTE88		

Kostenkalkulation In Fr.	Total kWh	Elektrizitätsverbrauch			CO ₂	NMVOC	NO _x	NO _v Sommer	SO ₂
		Nuklear	Laufwerk	Speicher- werk					
Vorleistungen	3 200	1.18	0.91	2.17	431.35	52.37	78.06	80.88	147.13
Prozesse	22 443	8.28	6.35	15.19	0.28	0.02	0.04	0.04	0.09
Precombustion					31.59	7.91	4.86	5.04	7.94
Elektrizitätsbereitstellung					1439.81	36.72	66.79	69.21	99.93
Stabtotale Minimum		9.46	7.26	17.36	1957.39	97.02	149.75	155.18	255.08
Totale Kosten Minimum		2648.46							
Vorleistungen					615.83	129.65	182.53	189.20	344.15
Prozesse					0.40	0.05	0.09	0.10	0.22
Precombustion					45.62	19.60	11.37	11.79	18.57
Elektrizitätsbereitstellung					2132.67	90.91	156.18	161.89	233.71
Subtotale Maximum		9.46	7.26	17.36	2794.51	240.20	350.18	362.98	596.67
Total		4379.61							

Tabelle 44: Externe Kosten für eine 3 kWp-PV-Anlage Technologiestand 1992/93 mit externen Kosten CO₂ und nach Strommodell UCPTE88
Für die Sommeremissionen wird die Hälfte der Gesamtemission veranschlagt (Annahme: Kontinuierliche Produktion)

Kostenparameter

Bilanzierungsgegenstand	PV-Anlage 92/93	Externe Kosten Minimum	1196.13
Kostenmodell	Mit CO ₂	Externe Kosten Maximum	2108.41
Energiemodell	CH90-92		

Kostenkalkulation In Fr.	Total kWh	Elektrizitätsverbrauch			CO ₂	NMVOC	NO _x	NO _v Sommer	SO ₂
		Nuklear	Laufwerk	Speicher- werk					
Vorleistungen	3 200	1.26	2.28	7.01	431.35	52.37	78.06	80.88	147.13
Prozesse	22 443	8.87	16.02	49.17	0.28	0.02	0.04	0.04	0.09
Precombustion					31.95	7.91	4.86	5.04	7.94
Elektrizitätsbereitstellung					180.05	16.74	16.48	17.08	33.19
Subtotale Minimum		10.13	18.31	56.18	643.63	77.04	99.44	103.05	188.35
Totale Kosten Minimum		1196.13							
Vorleistungen					615.83	129.65	182.53	189.20	344.15
Prozesse					0.40	0.05	0.09	0.10	0.22
Precombustion					45.62	19.60	11.37	11.79	18.57
Elektrizitätsbereitstellung					257.06	41.43	38.54	39.95	77.64
Subtotale Maximum		10.13	18.31	56.18	918.90	190.72	232.54	241.04	440.58
Totale Kosten Maximum		2108.41							

Tabelle 4-5: Externe Kosten für eine 3 kWp-PV-Anlage Technologiestand 1992/93 mit externen Kosten CO₂ und nach Strommodell CH90-92
Für die Sommeremissionen wird die Hälfte der Gesamtemission veranschlagt (Annahme: Kontinuierliche Produktion)

Tabelle 4-6 fasst die Externen Kosten nach dem UCPTTE88-Modell zusammen, Tabelle 4-7 diejenigen nach dem CH90-92 Modell.

UCPTTE88 in Fr.	Ohne CO ₂		Mit CO ₂	
	Mimumum	Maximum	Mimumum	Maximum
3 kWp-PV Anlage 1992	690	1 590	2 650	4380
3 kWp-PV-Anlage 1995	550	1 260	2040	3390
6 m ² Flachkollektor EFH	140	330	415	720
32 m ² Wabenkollektor EFH	1630	3815	4 990	6610
m ² Holzfenster H1	2	6	5	10
m ² Holzfenster H2	5	11	11	19
m ² PVC-Fenster P1	4	9	11	18
m ² PVC-Fenster P2	7	16	19	33

Tabelle 4-6: Zusammenfassung der externen Kosten nach dem Strommodell UCPTTE88. vgl. dazu Anhang A5

CH90-92 in Fr.	Ohne CO ₂		Mit CO ₂	
	Mimumum	Maximum	Mimumum	Maximum
3 kWp-PV Anlage 1992	550	1 190	1 190	2 110
3 kWp-PV-Anlage 1995	440	960	950	1690
6 m ² Flachkollektor EFH	130	295	300	545
32 m ² Wabenkollektor EFH	1550	3 595	4180	7345
m ² Holzfenster H 1	2	6	5	9
m ² Holzfenster H2	5	10	9	18
m ² PVC-Fenster P1	4	8	9	16
m² PVC-Fenster P2	7	15	16	29

Tabelle 4-7: Zusammenfassung der externen Kosten nach dem Strommodell CH90 92. vgl. dazu Anhang A5

Wie zu erwarten war, sind die externen Kosten beim Strommodell CH90-92 durchwegs tiefer. Die Unterschiede zwischen den externen Kosten schwanken in Abhängigkeit des Energieeinsatzes: Die Herstellung einer PV-Anlage ist sehr stromintensiv; bei den EFH-Wabenkollektoren verschwinden die Unterschiede beinahe, weil der Einsatz von fossilen Energieträgern bestimmend ist (vgl. Kap 3.2 und Anhang A3).

4.3 Externe Kosten von Wärmedämmmaterialien

In [16] werden für verschiedene Dämmstoffe ähnliche Emissionsmatrizen erstellt, wie im Kapitel 3 für PV-Anlagen, Kollektoren und Fenster. Die Tabellen 4-8 und 4-9 fassen die externen Kosten für folgende Dämmstoffe zusammen:

- Zellulose (Dicke der Dämmschicht: 10 cm bzw. 14cm)
- Glaswolle (Dicke der Dämmschicht: 10 cm bzw. 14cm)
- Steinwolle (Dicke der Dämmschicht: 10 cm bzw. 14cm)
- Polyurethan-Hartschaum (Dicke der Dämmschicht: 10 cm bzw. 14cm)

UCPTE88 in Fr.	Ohne CO ₂		Mit CO ₂	
	Mimumum	Maximum	Mimumum	Maximum
m ² Zellulose 10 cm	0.18	0.42	0.49	0.86
m ² Zellulose 14 cm	0.25	0.58	0.68	1.20
m ² Glaswolle 10cm	0.11	0.26	0.31	0.54
m ² Glaswolle 14cm	0.15	0.36	0.43	0.75
m ² Steinwolle 10 cm	0.37	0.86	1.02	1.78
m ² Steinwolle 14 cm	0.51	1.20	1.42	2.50
m ² PU-Hartschaum 10 cm	2.78	6.47	8.18	14.17
m ² PU-Hartschaum 14 cm	3.90	9.06	11.45	19.87

Tabelle 4-8: Zusammenfassung der externen Kosten von Dämmstoffen für das Strommodell UCPTE88 gemäss [16]

CH90-92 in Fr.	Ohne CO ₂		Mit CO ₂	
	Mimumum	Maximum	Mimumum	Maximum
m ² Zellulose 10 cm	0.17	0.41	0.45	0.79
m ² Zellulose 14 cm	0.24	0.57	0.63	1.11
m ² Glaswolle 10cm	0.11'	0.25	0.28	0.69
m ² Glaswolle 14cm	0.15	0.35	0.40	0.70
m ² Steinwolle 10 cm	0.36	0.84	0.95	1.68
m ² Steinwolle 14 cm	0.50	1.17	1.33	2.36
m ² PU-Hartschaum 10 cm	2.65	6.09	6.77	11.97
m ² PU-Hartschaum 14 cm	3.70	8.52	9.48	16.76

Tabelle 4-9: Zusammenfassung der externen Kosten von Dämmstoffen gemäss [16] für das Strommodell CH90-92.

4.4 Spezifische externe Kosten

Tabelle 4-10 zeigt Schätzungen der spezifischen externen Kosten für die einzelnen Bilanzgegenstände. Die letzte Spalte weist die vorgeschlagenen Schätzwerte der spezifischen externen Kosten (inklusive CO₂-Kosten) aus; der untere Wert ergibt sich als Resultat des Strommodells CH90-92, der obere als Resultat des UCPT88-Modells.

Bilanzgegenstand	Schwankungsbereich total	spezifische Kosten
je 1 kWp Solaranlage	zwischen 150 bis 1500 Fr/kWp	1 bis 5 Rp/kWh ¹⁾
je m ² Kollektor	zwischen 50 und 250 Fr/m ²	1 bis 4 Rp/kWh ²⁾
je m ² Fenster	zwischen 5 und 30 Fr/m ²	10 bis 20 Fr/m ²
je m ² Zellulose	0.20 bis 1.20 Fr/m ²	1 Fr/m ²
je m ² Glaswolle	0.10 bis 0.80 Fr/m ²	0.7 Fr/m ²
je m ² Steinwolle	0.30 bis 2.50 Fr/m ²	1.50 Fr/m ²
je m ² PU-Hartschaum	2.60 bis 19.90 Fr/m ²	10 Fr/m ²

1) Ertrag der 3 kWp PV-Anlage während Lebensdauer 324 GJ => je kWp somit 30 MWh

2) Ertrag eines 6m²-Kollektors während Lebensdauer 176 GJ => 8 MWh je m²

Tabelle 4- 10: Schwankungsbereiche der externen Kosten und geschätzte spezifische Zuschläge

Bei der Interpretation der in Tabelle 4-10 angegebenen spezifischen Kosten sind folgende Anmerkungen unbedingt zu berücksichtigen:

- Die den Abschätzungen zugrundeliegenden Emissionsmatrizen sind unterschiedlich genau. Der Detaillierungsgrad z.B. bei den Solarzellen ist deutlich höher als z.B. bei den Fenstern oder Wärmedämmstoffen (vgl. dazu Kapitel 3)
- Den externen Kosten bzw. den spezifischen Kosten nach Tabelle 4-10 liegen genau definierte Produktionsverhältnisse zu Grunde. Bei den Solarzellen wurde ein allfälliger technischer Fortschritt in der Produktion berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.1); bei allen übrigen bilanzierten Gegenständen handelt es sich jedoch um Momentanaufnahmen.



Anhang



Anhang A1 : Standard-Ökobilanzen

Materialien/Prozesse	Bilanziert als	Referenzgrösse	Qualität	Quelle
Aluminium 50% Rec.	Aluminium 50% Recycling Elektrolyse Strombedarf mit WW-Modell	1 kg	B	[1] bzw. [2]
AluPaste	k.A.			
Argon	k.A.			
Baumwolle/Putzlappen	k.A.			
Beton	als Beton	1 kg	B	[1]
Butyl	k.A.			
CaOH ₂	k.A.			
Cadmium-freies Hartlot	nur als Kupfer (Kupferanteil ca. 25%)	1 kg	D	[1]
CF ₄	k.A.			
CH ₂ Cl	k.A.			
Chromstahl	Stahl nicht feuerverzinkt	1 kg	C	[1]
Dichtungen (PE/IT)	als PVC	1 kg	B	[1], [2] und [3]
Div. Reinigungsmittel	k.A.			
Dynamoblech	k.A.			
EPDM	als Gummi	1 kg	C	[1]
Ethylenglykol, bzw. Propylenglykol	k.A.			
Farben (1/3) NMVOC	k.A.			
Feuerung Heizöl EL	industrielle Feuerung	42.5 MJ	C	[2]
Feuerung Kohle	industrielle Feuerung	29.3 MJ	C	[2]
Feuerung Erdgas	industrielle Feuerung	36.6 MJ	C	[2]
Folie	als Weich PVC	1 kg	C	[1]
Folienherstellung		1 kg	C	[17]
Glas	Flachglas nach Floatverfahren Dies sind eigentlich Fensterglasangaben; insbesondere Einsatzstoffe sind nicht identisch	1 kg	C	[1]
Glaswolle		1 kg	D	[1]
Graphit	Steinkohle	1 kg	C	[2]
Graphitelektroden	ist im Energieverbrauch des Prozesses als Kohle bilanziert und wird dort erfasst			
Grauguss	als Roheisen	1 kg	D	[2]
Gusseisen	als Roheisen (angenähert via Erzabbau; Hochofen und Koksgewinnung)	1 kg	D	[2]
H ₂	aus Steamcracking	1 kg	C	[3]
HCl	als Salzsäure via Amalganverfahren, stöchiometrisch vertei (40% Chlor), HCl-Herstellung: Strom nur zu 50% (Inkonsistenz in Datenbasis)	1 kg	C	[3] und [2]
HF	Flussäure inklusive H ₂ SO ₄ Herstellung	1 kg	C	[3]
HNO ₃	Salpetersäure mit Ammoniaksynthese	1 kg	C	[3]
Holz	Brettschnittholz; Dichte 450 kg/m ³ , Rohstoffverbrauch: 2,2m ³ Rundholz (-> Materialeintrag)	1 kg	C	[1]
Holzkohle		1 kg	D	[2] und [5]
Holzschnitzel	Schnittholz	1 kg	C	[1]
Karton	GK-Karton	1 kg		[2]

Tabelle A 1- Fortsetzung nächste Seite

Materialien/Prozesse	Bilanziert als	Referenzgrösse	Qualität	Quelle
Kohle	Nur mit Feedstock-Energiegehalt, die Gewinnung wird durch die Precombustion erfasst	1 kg	C	[2]
Kupfer	Kupfer	1 kg	C	[1]
Mineralöle	Bilanz als Rohöl, Aufwand zur Gewinnung in Precombustion	1 kg	C	[2]
Mineralwolle	Steinwolle	1 kg	D	[1]
N/O/Argon	Luftzerlegung ist bereits im Stromverbrauch des Hauptprozesses erfasst			
NaOH	Natronlauge 50%ig	1 kg	C	[3]
Öbinder	k.A.			
Papier	Swiss Kraft Econom	1 kg	B	[2]
PE HD	Polyethylen bis Granulat; Folienherstellung separat	1 kg	C	[2]
PE LD	LD PE bis Granulat ohne Entsorgung (da Verbund)	1 kg	B	[2]
Petrolkoks	als Kohle			
POCl ₃				
PP	Polypropylen bis granulat mit Entsorgung	1 kg	B	[2]
PUR	PUR	1 kg		[1]
Precombustion Erdgas		1 MJ	B	[15]
Precombustion Heizöl EL		1 MJ	B	[15]
Precombustion Heizöl Schwer		1 MJ	B	[15]
Precombustion Braunkohle		1 MJ		[15]
Precombustion Steinkohle		1 MJ	B	[15]
Propanol	k.A.			
Prozesswasser	Vollensalztes Wasser	1 kg	C	[3]
PS	PS bis granulat mit Entsorgung	1 kg	B	[2]
PVC	PVC mit Entsorgung	1 kg	B	[1], [2] und [3]
Quarz	Quarz	1 kg	C	[3]
Rostschutzfarbe	k.A.			
Schaumglas	Schaumglas	1 kg		[1]
Schwarzchrom	Schwarzchrom	1 m ²	D	[1]
Schweissanode	k.A.			
Sekurisieren	Sekurisieren	1 m ²		[1]
Silberschicht	Silberschicht	1 m ²		[1]
Siliziumcarbid	k.A.			
Silikon	als Gummi (EPDM)	1 kg	D	[1]
Silikonkeber	k.A.			
Sintermagnesia	Keine Angaben			
Stahl	Stahl nicht feuerverzinkt	1 kg	C	[1]
Strombereitstellung 1	Elektro-Mix UCPTTE 88 Update, vgl. Anhang A4	1 kWh		[15]
Strombereitstellung 2	Elektro Mix CH 90-92, Update vgl. Anhang A4	1 kWh		[15]
Strombereitstellung 2	Elektro-Mix Westliche Welt (WG: 53%)	1 kWh		[2]
Styropor	k.A.			
Transport Hochseefrachter	Transport, mit einer Auslastung von 80%	1 tkm	C	[10]
Transport LKW	Transport (16t) mit Auslastung 45%	1 tkm	C	[10]
Transport LW	Transport (3,5t) mit 30% Auslastung	1 tkm	C	[10]

Tabelle A 1- 1: Standardökobilanzen: Quellen und Bilanzierungsgegenstände

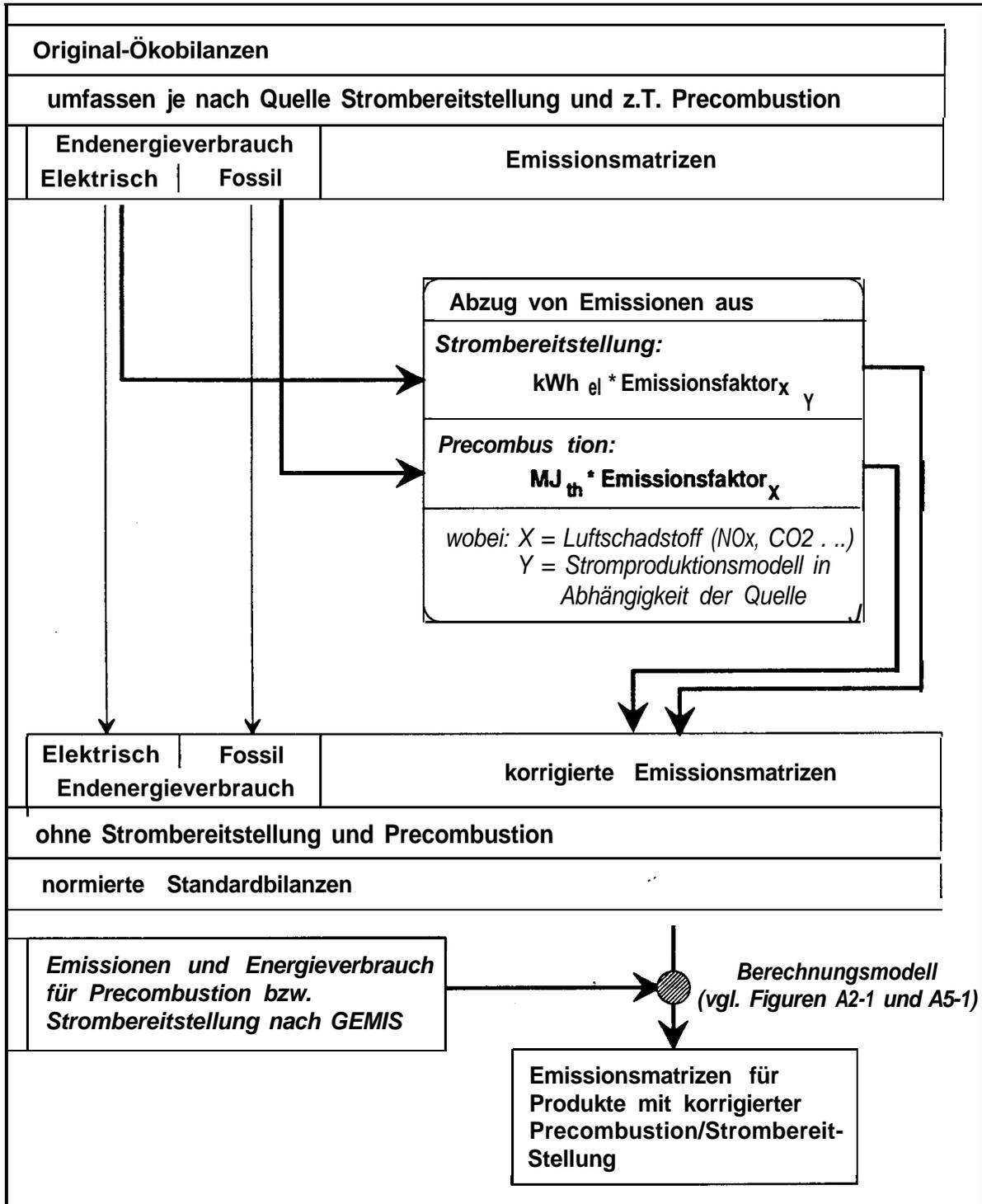


FigurA1-1: Vorgehen bei der Normierung der Standardökobilanzen

Materialien / Prozesse	Heizöl S MJ	Heizöl EL MJ	Erdgas MJ	Kohle MJ	Feedstock MJ	Elektrizität kWh
Aluminium 50% Rec.	28.80	0.45	4.79			8.97
Beton		0.144		0.439		0.014
Cadmium-freies Hartlot	10.8	3.06	4.5			4
Chromstahl	2.16	0	3.6	9.81		0.276
Dichtungen (PE/IT)	38.41	0.76				1.34
EPDM	19.8	0.9				1.02
Folie	38.41	0.76				1.34
Folienherstellung						2.7
Glas	0.76	0.50	6.75		1.16	0.19
Glaswolle	5.90	1.47	1.04			0.35
Grauguss	0.07	0.003	0.411	12.59		0.17
Gusseisen	0.07	0.003	0.411	12.59		0.17
H ₂	26.55	17.80			12.10	0.96
HCl	0.09	0.41	0.13	0.07		0.37
HF	2.27	2.34	8.69			1.35
HNO ₃	0.12	0.10	1.82		9.52	0.02
Holz	11.52	1.274	0	0	14.85	0.49
Holzkohle		0.89			43.50	0.28
Holzschnitzel	1.8	0.91			11.28	0.12
Karton	4.75		1.84	0.96	4.19	0.63
Kohle				29.3		
Kühlwasser						0.01
Kupfer	10.8	3.06	4.5			4
Mineralöle	41					
Mineralfolie	5.04	2.376		5.76		0.338
NaOH	0.04	0.01	0.05	0.03		0.30
Papier	5.37	0.14	2.08	1.09	10.05	0.59
PE HD					62.58	0.53
PE LD					38.99	0.88
PP					44.52	0.57
PUR					42.12	6.75
Precombustion Erdgas					0.073	
Precombustion Heizöl EL					0.095	
Precombustion Heizöl S					0.139	
Precombustion Braunkohle					0.038	
Precombustion Steinkohle					0.072	
PS					52.54	0.38
PVC	38.412	0.756				1.34
Quarz	0.27					0.02
Schaumglas	5.904	1.188		1.044		0.35
Silberschicht						2.7
Sekurisieren	19.8					
Schwarzchrom		1.039				0.6
Silikonkleber	19.8	0.9				1.02
Stahl	2.16		3.60	9.81		0.28
Strombereitstellung 1						7.78
Strombereitstellung 2						6.13
Strombereitstellung 3						5.68
Transport Hochseefrachter	0.25					
Transport LKW		2.65				
Transport LW		11.80				

Tabelle A I-2: Standardökobilanzen: Energiebedarf und Energieträger

Materialien/Prozesse	CO	CO ₂	NM VOC	NO _x	Partikel	SO ₂	CH ₄
Aluminium 50% Rec.	6.572	4314.470	6.437	8.275	17.899	26.136	0.000
Beton	0.375	141.26	0.039	0.485	0.428	0.114	0.012
Cadmium-freies Hartlot	1.620	1834.000	1.200	7.270	1.380	10.090	2.010
Chromstahl	1.663	1703.840	7.844	2.743	13.906	7.948	0.129
Dichtungen (PE/IT)	1.760	2833.000	10.710	5.880	0.719	6.330	0.000
EPDM	0.168	27.600	0.288	0.878		1.276	
Feuerung H EL	0.630	3136.500	0.420	3.350	0.017	3.600	
Feuerung Kohle	2.810	2355.000	0.500	7.010	2.810	16.000	
Feuerung Erdgas	0.340	1879.350	0.380	3.010	0.008	0.027	
Folie	1.760	2833.000	10.710	5.880	0.719	6.330	0.000
Glas	0.391	835.460	2.232	4.595	15.247	3.240	0.983
Glaswolle	0.775	844.500	1.996	3.606	8.160	3.169	0.000
Grauguss	2.330		0.670	0.226	8.373	1.885	
Gusseisen	2.330		0.670	0.226	8.373	1.885	
H ₂	0.544	2873.391	0.448	3.006		1.829	0.000
HCl	0.583	519.176	2.352	1.877	0.259	2.815	0.000
HF	1.205	764.644	0.660	3.616	280.293	27.259	0.000
HNO ₃	2.362	451.021	1.418	3.579	0.158	3.466	0.010
Holz	0.754	1310.100	0.670	4.308	0.122	7.358	1.514
Holz schnitzel	0.435	255.800	0.265	1.463	0.083	1.112	0.241
Karton	0.413			1.978	0.485	3.952	0.000
Kühlwasser							
Kupfer	1.611	1834.000	1.200	7.238	1.378	9.972	2.010
Mineralöle							
Mineralwolle	80.159	1012.420	0.806	4.238	0.861	3.692	0.212
NaOH	0.010	9.028	0.004	0.034	0.003	0.042	0.000
Papier	1.235			2.735	1.210	5.070	0.000
PE HD	0.670	2786.000	11.340	1.091	0.000	0.987	0.000
PE LD	1.771	2000.000	8.815	5.444	0.046	1.447	
PP	1.980		11.963	6.407	0.245	3.403	
PUR	9.025	4439.5	2.12	12.45	1.410	31.97	5.527
Precombustion Erdgas	0.0996	3.63	0.0565	0.0138	0.001	0.0059	0.1043
Precombustion Heizöl EL	0.0337	8.79	0.036	0.0301	0.0022	0.0316	0.0143
Precombustion Heizöl S	0.0381	8.46	0.0384	0.0334	0.0024	0.0358	0.0171
Precombustion Braunkohle	0.0033	4.14	0.0111	0.0039	0.0004	0.0024	0.0033
Precombustion Steinkohle	0.0848	5.91	0.049	0.0163	0.0019	0.0153	0.5025
PS	2.956		26.651	8.492	0.978	9.371	
PVC	1.760	2833.000	10.710	5.880	0.719	6.330	0.000
Quarz	0.004	19.556	0.002	0.021	0.800	0.021	0.000
Schaumglas	0.625	822.5	1.906	3.236	8.139	3.138	0
Silberschicht	0	0	0	0	0	0	0
Sekurisieren	0.29	2089	0.64	4.88	0.0077	12.65	2.6
Schwarzchrom	0.490	77.000	0.246	1.226	0.101	0.096	0.004
Silikonkleber	0.474	445.800	0.329	1.939	0.085	2.388	0.472
Stahl	1.663	1703.840	7.844	2.743	13.906	7.948	0.129
Strombereitstellung 1	0.307	368.785	0.149	0.350	0.0396	0.269	0.862
Strombereitstellung 2	0.034	29.737	0.017	0.051	0.0048	0.031	0.023
Strombereitstellung 3	0.305	326.501	1.836	0.909	0.161	1.706	
Transport Hochseefrachter	0.004	19.588	0.001	0.021	0.013	0.269	
Transport LKW	1.247	227.000	0.880	3.930	0.249	0.249	
Transport LW	21.525	918.000	4.040	8.630	0.155	0.297	

Tabelle A 1-3: Standardökobilanzen: Emissionsmatrizen, Angaben in g je Bilanzierungseinheit (vgl. Tab A 1-1)

Anhang A2: Input/Outputmatrizen

A2.1 Solarzellen (1992/93)

Prozessschritt	Gewinnung MG Silizium	Herstellung EG Silizium	Waferfertigung	Zellenfertigung	Panelfertigung
Referenzgrösse	kg MG Si	je Wafer	pro Wafer	je Zelle	Panel 1kWp
Aufaddiert auf eine 3 kWp Anlage	290.63	1.00	2245.95	2139.00	3.00
Referenzzeiten im [5]	S. 31		S. 60/61	S.68	S.75
Input (kg)					
Aluminium					72.91
AluPaste				1.07	
Argon			41.10		
CaOH ₂				8.98	
CF ₄				0.15	
CH ₃ Cl					5.29
Ethylenglykol			0.67		
Folie (weich PVC)			2.25		2.94
Graphit			0.00		
H ₂		18.9	38.18	0.01	
HCl		547.4	1131.96	7.70	
HF				2.35	
HNO ₃				0.86	
Holz					
Holzkohle	116.25				
Holzschnitzel	435.94				
Kühlwasser			71421.2	21501.2	117.6
Kupfer					1.18
N/OP					
NaOH				16.47	
O ₂ Frischen	5.81				
Paste				0.21	
POCl ₃				0.13	
Propanol				1.07	
SiliziumCarbid			28.75		
Ti-Isopropanol				0.43	
Baumwolle/Putzlappen			0.01		
Dichtungen (PE/IT)		nicht evaluiert	4.49		
Reinigungsmittel			7.64		
Glas			3.82		453.00
Graphitelektroden	0.09				
Karton					5.70
Kohle	0.6				
Mineralöle			2223	0.00	

Tabelle A2- 7: Fortsetzung nächste Seite

Prozessschritt	Gewinnung MG Silizium	Herstellung EG Silizium	Waferfertigung	Zellenfertigung	Panelfertigung
Ölbinder			0.16		
Papier			4.72		
PE HD					29.70
PE LD					1.17
Petrolkoks	116.25				
PP					
PS			4.49		13.44
Silikonkleber					2.28
Stahl			8.98		
Styropor					
Quarz	842.82				
MG Silizium		140.6	290.63		0.90
pSi-Wafer				2245.95	
pSi-Zellen					2139.00
Output (kg)					
CH ₃ Cl					5.70
Dampf					
H ₂		20.50			
STC		504.7			
TCS		64.70			
Alu					
Elektronik-Schrott					
Kupfer					
Schlacke	95.91				
SiO ₂ Feinstaub	217.97				
Stahlschrott			3.14		
EG Silizium		15 bis 32.5			
Energie					
Heizöl EL (MJ)			449.19		
Steinkohle (MJ)	6417.02		26.95		
Strom Mittelspannung für Frischen/Luftzerlegung (kWh)	5.23		266.39	1562.06	
Strom Mittelspannung für Prozess- und Hilfsenergie (kWh)	4036.47		9751.17	2733.17	4083.33
Luft (kg)	(nur berücksichtigte Emissionen)				
CO	0.58				
CO ₂	1743.76			0.09	
NM ₁₀ VOC	0.03		2.25	0.73	
NO _x	5.81			0.00	
Partikel	2.24				
SO _x als SO ₂	8.14				

Tabelle AZ- 7: Fortsetzung nächste Seite

Prozessschritt	Montage Schrägdach aufgesetzt	Wechselrichter Solcon 3300	Elektrische Installationen	3 kWp Anlage	Betrieb
Referenzgrösse	3 kWp Anlage	3 kWp Anlage	3 kWp Anlage	3 kWp Anlage	30 Jahre
Aufaddiert auf eine 3 kWp Anlage	1.20	1.00	1	1 (vgl. Fussnote)	1
Referenzseiten in [5]	84/A7	96/A4	100/A6	103/A7	
Input					
Aluminium	51.60	14.66			
Holz	32.40				
Kupfer		3.48	14.7		
Dichtungen (PE/IT)			2.13		
Glas		0.97			
Karton	2.28	0.27			
PE HD	0.02		2.14		
PP		0.06			
PS	0.12				
Stahl	188.52	19.21	0.86		
Output					
Stoffe					
Alu	51.60	13.45			
Elektronik-Schrott		4.51	29.21		
Kupfer		3.15	2.5		
Stahlschrott	175.20	18.95			
Energie					
Strom Prozess und Hilfsenergie (kWh)	0.19	5.20			
Luft (kg)					
CO					
CO ₂					
NM VOC					
NO _x					
Partikel					
SO _x als SO ₂					

1) umfasst: 1.2 Schrägdachkonstruktionen, 3 Panel, 1 Wechselrichter, 1 El. Installation

Tabelle A2- 1: Energie- und Stoffbilanz für Solarzellen 1992

Gewinnung MG Si	
Prozessbeschreibung	Fast ausschliesslich carbotechnische Reduktion (in Elektroniederschachtofen). Lichtbogen zwischen Kohleelektroden und Ofenboden heizt Quarz und 'Möller' (Kohle, Holzkohle, Petrolkoks und Holzschnitzel) auf 3000 C auf ($\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$). Abgase in Schlauchfilteranlage zu CO_2 oxydiert. Kühlwassersystem, Schlacke wiederverwendbar. Raffination (Frischen) durch Einblasen von Sauerstoff in das 1500 Rohsilizium. dadurch Verlust von ca. 5% zu SiO_2 . Dies wird als amorphes Silizium in Filteranlage ausgefiltert und wiederverwendet. Das erstarrte Rohsilizium wird in Walzenbrechern zerkleinert, dabei entstehender Staub wird abgesaugt und wiederverwendet (Si-Carbide etc.). Pro t MG Silizium insgesamt 750 kg. Pro t MG Silizium werden ca. 200 000 kg Luft umgewälzt. Zusammensetzung der Abprodukte cf. S. 29
Allgemeine Infos:	MG Silizium ist mit 98% Reinheit für photoaktive Anwendungen zu unrein. Reinigung zu EG-Si entspricht Anforderungen der Halbleiterelektronik (höher als für Photovoltaikanwendungen). Jahresproduktion weltweit ca. 800 000t MG Si davon ca. 2000t für Solarzellen. MG = metallurgic grade
Qualität Datensatzes	A
Rahmenbedingungen	Produktion an Standorten mit Rohstoffen und/oder viel Energie Fabrik mit 3 Öfen. Leistung 35 MVA. kontinuierlicher Betrieb Jahresproduktion 15 000 t
Herstellung von EG Si	
Prozessbeschreibung	Mahlen und Hydrochlorierung führt zu gasförmigen Chorsilan-Verbindungen (v.a. TCS und SiCl_4 , aber auch DCS: $\text{Si} + \text{HCl} = \text{TCS} + \text{H}_2$). Austrittsgas wird in Tuchfiltern von Stauben und im Gaswäscher von H_2 befreit. Mehrmalige Destillation (Fremdmetalle fallen aus), Destillat v.a. Trichlorsilan TCS (HSiU_3). Thermische Zersetzung von TCS zusammen mit H_2 und hochreinen Si-Stäben ($\text{TCS} + \text{H}_2 = \text{Si} + 3 \text{HCl} (\text{g})$); dabei aber auch Abprodukt SiCl_4 : Verwendung in Chemischer Industrie. Rund 30% des Einsatzes -> S. 39). Ausbeute unbekannt, eher klein. da viele Chlorstlan-Nebenprodukte ca. 13% (p39) (Problem mit Nettoeinsatzmengen: direkte Wiederverwendung verwischt wahre Ausbeute: MG Si TCS etc)
Allgemeine Infos	Angaben in Hagedorn eigentlich zusammen mit Waferfertigung -> Desaggregation! Hagedorn Angaben für 450 μm statt 350 μm Wafer -> Korrektur um 0.77; cf Sägeblattproblem
Rahmenbedingungen	Jahresproduktion: 3000 t EG Si
Waferfertigung	
Prozessbeschreibung	EG-Si in Graphitbehältnis (Kokille) in Argonschutzatmosphäre giessen. Erstarrte polykristalline Si-Block wird mit Randsagen zu Säulen gesägt (feinkristalliner Randbereich wird Abfall da mit SiCarbid verunreinigt -> höherer EG-Bedarf) und mit Drahtsagen zu 350 μm dicken, 8g schweren Scheiben (Wafer) (Sägespalt 200 μm). Wiederverwenden des Feinstaubes von den Drahtsagen. Ätzreinigung (K/NaOH. Aktivchlor, Ameisensäure). Entfernung Slurryöl (vom Sagen) mit Ölbindner. Verpackung
Allgemeine Infos:	pSi braucht mehr MG Si, da Si Reste bei Waferfertigung nicht wiederverwendbar: mSi-Zellen brauchen nur 93,4g (f p.33). EG = electronic grade
Qualität Datensatzes	D
Rahmenbedingungen	Jahresproduktton ca. 90t pSi. Schichtbetrieb 330 μm grosse pSi mit 100cm ² Fläche

Tabelle A2-2: Fortsetzung nächste Seite

Zellenfertigung	
Prozessbeschreibung	<p>Wafer werden gereinigt (Darnage-Reinigungsätzen mit KOH/HNO₃->H₂/NO_x an Gaswäscher). Spülen der Wafer mit VE-Wasser, Bäder periodisch Neutralisieren und Füllen. Phosphordotierung im Diffusionsofen (Phosphoroxichlorid-Atmosphäre POCl₃, N und O-> bedeckt Wafer) mit P₂O₅ überflüssiges Phosphorsilikatglas wird in Ätzbad entfernt. Ofen periodisch reinigen. Abgas hat N O Cl</p> <p>Randätzen des Wafers muss mit 4%HF-Säure(Bad mit Luft umgewälzt -> Abluft an Wäscher) gereinigt werden (da sonst Kurzschlussgefahr in Zelle). Spülen mit VE Wasser, Abwasserbehandlung. Randätzen mit CF₄, separate Abgasreinigung. Öle als Sonderabfall. Mit Siebdruckverfahren werden auf der Rückseite und analog Vorderseite die Kontakte aufgedruckt (Si- und Al-hakige Druckpaste) VOC aus Lösungsmittel -> Luft (u.a Propanol). Al aus Rückseitenpaste diffundiert in Si -> p Schicht!. Im IR-Ofen sintern -> organische Pastenbestandteile verbrennen. Bearbeitung mit einem Wasserstoffplasma, um ungesättigte Si Atome zu 'passivieren' -> Erhöhung des Zellenwirkungsgrades, Abgase unbehandelt. Aufbringen einer Antireflexschicht aus Titanoxid mit Chemical vapour deposition (erhöht auch WG) Reaktorabgase Propanol (cf. S. 63). N Titanoxid im Filter. Qualitätstest. Ausbeute 95%</p>
Allgemeine Infos:	Phosphordotierung führt zur n-Schicht; Alu auf der Rückseite zur p Schicht
Qualität Datensatzes	E
Panelfertigung	
Prozessbeschreibung	<p>Verschweißen der Zellen mit Alubändern (Leitende Verbindung der Solarzellen) zu einer Zellenmatrix; rundherum eine 90Cu10Ag-Verbindungsstreifen. Zellenmatrix und zwei Ethyl-VinylAcetat (EVA97%)-Folien (5%Schnittabfall, PE Trennfolie) sowie Front und Rückseitenglasscheiben (2mm. eisenarmes Flachglas) werden zusammen im Laminatofen zu Laminat verbunden und getempert. Waschen mit VE Wasser; Rahmung mit einem Edelstahlprofi (gefüllt mit synt. Kautschuk); Aushärtung der Dichtmasse an Luft. Dichtmassenreste sind IG-Abfälle. Mit CH₂Cl Maschine putzen (15% an Luft!, Rest Sonderabfall + Recycling 14%). Zusammensetzung des Härter und Kautschuk vgl. 5.70. Ankleben eines Anschlussgehäuses aus Polyester (Dose mit Lösemittel+Ammoniak reinigen vor Ankleben. Test, 1% Ausschuss; in Sperrholzkisten verpackt mit Styropor</p>
Transporte	<p>Japan: 20000 km Rahmenmaterial (1.17 kg) Frachter 20000 km Laminat (4.17 kg) Frachter 500 km LKW 28t für Beides</p>
Rahmenbedingungen	<p>Einschichtbetrieb Jahresproduktion 25 000 Panel 1 Panel =40 pSi Zellen Nennleistung Panel 0.48Wp. Panelfläche 0.5m2</p>
Montage Schrägdach aufgesetzt	
Prozessbeschreibung	<p>Schrägdach aufgesetzt: Dachhaut sollte intakt sein (Ziegel/Eternit). Trägerkonstruktion aus Holzplatten, Aluprofilen und Stahlbügeln direkt an Dach verschrauben (10 cm Lüftungsspalt) Aufbringen der Trägerkonstruktion. Panel einfügen</p>
Qualität Datensatz	C
Transporte	<p>Stahl 200 km LKW (150 kg p.84) Alu 43kg 300km PW Kleinmaterial 35 kg 100 km PW</p>
Rahmenbedingungen	

Tabelle AZ-Z: Fortsetzung nächste Seite

Wechselrichter Solcon 3300	
Prozessbeschreibung	Produktion nach Degen 1993
Qualität Datensatz	A
Transporte	Stahl 19.2 kg LKW 200 km Alu 14.7 kg 300 km LW Rest 5.6 kg 100 km LW
Allgemeine Infos	Transformierung des Gleichstroms in 50 Hz Wechselstrom WG 92%
Elektrische Installationen	
Prozessbeschreibung	jeweils 6 Panels werden in Serie verkabelt umfasst Kupferdraht und Klemmkasten (zusammenführen der Kabel, von dort zu Solcon) Blitzschutz; Verbindung von Panelrahmen mit Erde (in Tragkonstruktion inbegriffen) Anlage mit 8 m Kupferdraht geerdet
Qualität Datensatz	C
Transporte	33.5 kg Kleinmaterial 50 km LW
Allgemeine Infos	

Tabelle A2-2: Beschreibung der Produktionsverfahren und Technologien für Solarzellenherstellung gemäss [5]

	Änderung Solar92 gegenüber [5]	Änderung Solar95 gegenüber Solar92
Prozessenergie		Allgemeine Reduktion um 20%
Waferfertigung	10 MJ/Wafer	
Zellenfertigung	4.6 MJ/Zelle	
Panelfertigung	4.9 GJ/Panel	
Vollentsalztes Wasser	statt 0.15 kWh/kg 0.1 kWh/kg; Kühlwasser kein Energiebedarf	
Siliziumbedarf		0.1165 kg je Wafer (statt 0.1265)
Zeilenfertigung		3% Ausschuss (statt 5%)
Nennleistung p-Si-Panel		55 Wp (statt 51 Wp) => 662 Panel je 1 kWp-PV-Anlag (statt 713)
Panelfertigung		Laminate statt Panels

Tabelle A2-3: PV-Anlagen 92: Änderungen gegenüber [5] (in Absprache mit [6]) und Effizienzsteigerung für PV-Anlage 95.
U. U. werden ab 1995 statt Panels rahmenlose Lamine produziert, was eine massive Reduktion des Materialverbrauchs/Umweltbelastung im Prozessschritt Panelfertigung zur Folge hätte. Dies wird hier jedoch nicht berücksichtigt.

A2.2 Flachkolektor

Bestandteil	Möglichkeiten	Variante 7
Absorber:	aus Kupfer (Lammellenbauweise). Aluminium (Rollbond) oder Edelstahl (Kissenabsorber)	Kupfer
Beschichtung:	Wirkungsgradsteigerung durch selektive Beschichtung des Absorbers: entweder galvanisch (Schwarzchrombeschichtung oder nickelpigmentiertes Aluminiumoxid) oder mit Farbe (Anstrich mit schwarzer Farbe).	Schwarzchrom
Abdeckung :	Glas oder Polycarbonat	Glas
Wärmedämmung;	Mineralfasern, Schäume oder Vakuum	Mineralwolle
Rahmen:	Alu oder Holz	Alu
Dichtungen:	EPDM	EPDM
Lötmaterial		cadmiumfreies Hartlot (Annahme)

Tabelle A2-4: Aufbau des bilanzierten Flachkollektors nach [4] vgl Variante 7 in [4]

Prozessschritt	Herstellung des Kollektors	Speicher	Pumpe	Leitungen	Wärmetauscher
Referenzgrösse	je m ²	660 lt	1	je Laufmeter	je Laufmeter
Aufaddiert auf 1 Anlage	6.00	1.00	1	40	17
Referenzzeiten in [4]	12	13	14	15	16
Input (kg)					
Aluminium	21.42		0.02		
Sintermagnesia					
Dynamoblech			0.47		
EPDM	4.98		0.007		
Propylenglykol					5.5
PVC		2.00			
Cd-freies Hartlot	0.04				
Kupfer	16.98		0.25		
Schwarzchrom	6.00				
Mineralwolle	14.10				
Rostschutzfarbe		1.00			
Schweissanode		1.50			
Dichtungen		20.00			
Grauguss			1.20		
Glas	59.40				
Glaswolle		20.00		2.40	
Silikon				2.08	
Stahl		220.00	0.49	27.20	33.83
Chromstahl		40.00			
Energie					
Heizöl EL MJ					
Strom Prozess und Hilfsenergie kWh		7.50			1.70
Luft (kg)					
NOx		1.00			

Tabelle A2-5: Fortsetzung nächste Seite

Prozessschritt	Expansions- gefäß	Zusatzheiz Aggregat	Montage	Betrieb	Rückbau
Referenzgröße	25 lt	5 kW	m ²	LD	50 km LKW pro m ²
Aufaddiert auf 1 Anlage	1	1		1	
Input (kg)					
Sintermagnesia		0.2			
cd-freies Hartlot		0.0081			
Gusseisen		0.3			
Farben (1/3 NMVOC)	0.07				
Butyl	0.7				
Karton	0.50				
PP	0.03				
Silikon		0.01			
Stahl	4.70				
Chromstahl		1.09			
Energie					
Heizöl EL MJ	29.75			4800	
Strom Prozess und Hilfsenergie (kWh)	13.00	1.50		1606	

Tabelle A2-5: Stoff- und Energiebilanz Flachkollektor nach [4]

Prozessschritt	Herstellung des Kollektors	Speicher	Zusatzheiz- aggregat	Betrieb	Entsorgung
Input (kg)					
Aluminium	65	20			
Beton		48 000			
PUR-Schaum		300			
EPDM	25	113			
Schaumglas		240			
Cd-freies Hartlot	0.16		0.0081		
Kupfer	168				
Schwarzchrom	32 m ²				
Silberschicht	32 m ²				
Sekurisieren	32 m ²				
HD-PE		50			
Gusseisen			0.3		
Glas	550				
Polycarbonat	115.5				
Stahl	30	3 000			
Chromstahl			1.09		
Energie					
Heizöl EL MJ					
Strom (kWh)		7.50		4.5	7738
Luft (kg)					
NOx		1.00			

Tabelle AZ-6: Stoff- und Energiebilanz Wabenkollektor nach [1]

Für Angaben Wabenkollektor MFH werden die Materialverbräuche nach [1] verwendet. Bezüglich Installation und Montage werden die Daten der Variante 11 aus [4] gewählt (vgl. Tab. A2-5)

Wärmeta	
Prozessbeschreibung	verschiedenste Wärmetauscher, hier wird ein Stahlrohrwärmetauscher angenommen
Allgemeine Infos	Wärmetauscherflüssigkeit: Propylenglykol35%ig

Tabelle A2-7: Prozessbeschreibung Kollektorherstellung, vgl. [4]

A2.3 Fenster

Abschätzung Rahmen/m²

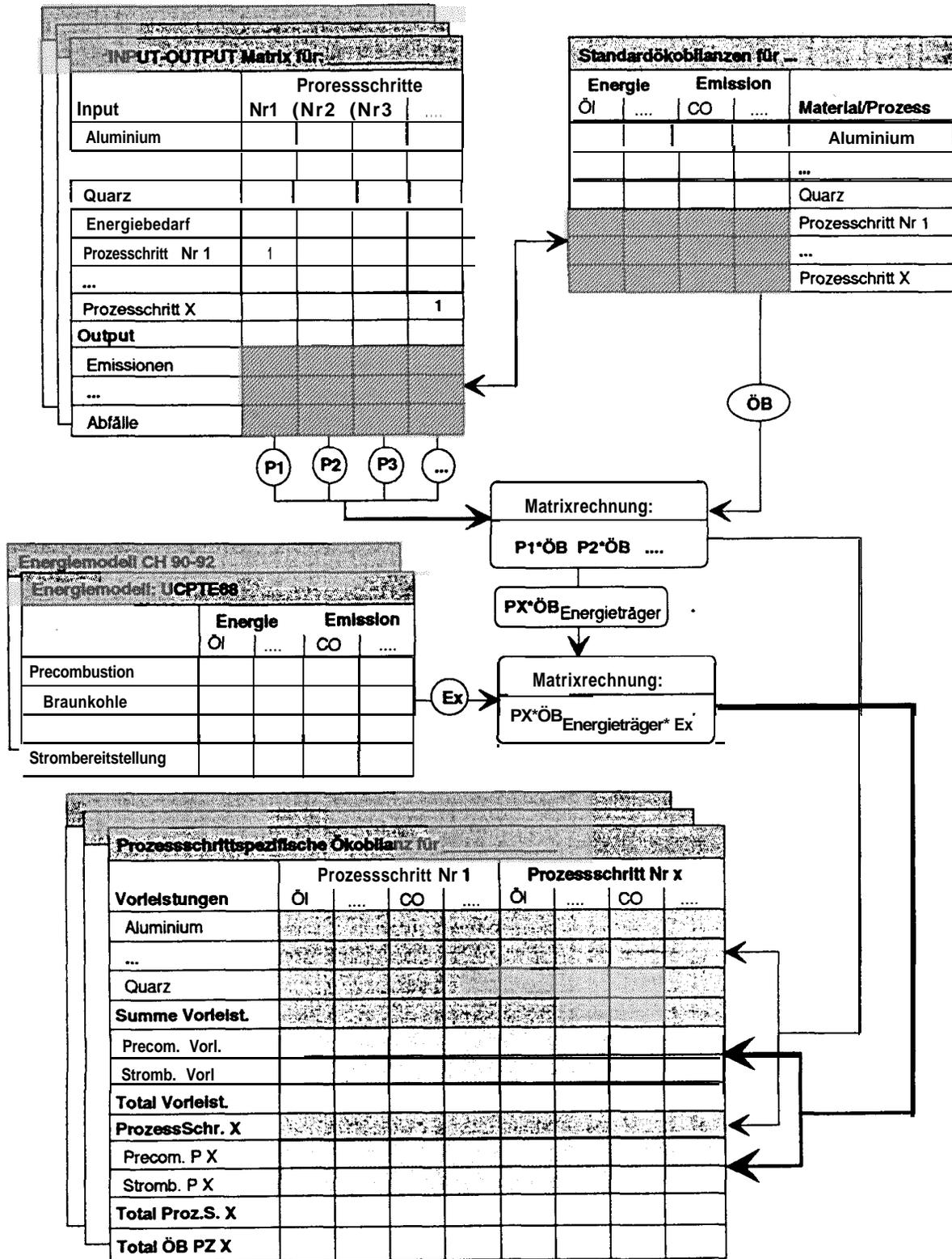
Um den durchschnittlichen Anteil Fensterrahmen je m² Fenster abzuschätzen wurden folgende Annahmen/Überlegungen getroffen:

- Der kleinstmögliche Umfang um eine gegebene, rechteckige Fläche weist das Quadrat auf. Die Formel für die Berechnung des Umfang je Quadratmeter lautet beim Quadrat: $4/a$ (wobei a die Seitenlänge ist).
- Fenstergrößen bewegen sich zwischen 1 m² und max. 4 bis 5 m²
- Nicht alle möglichen Rechteckskombinationen je gegebene Fläche werden realistischer-weise gebaut. Die Verhältnisse schwanken zwischen $a=2*b$ und $a=5*b$

Aus obigen Annahmen ergibt sich eine Wertegruppe, deren statistischer Mittelwert etwa 3 m je m² beträgt. Das in [8] untersuchte Standardfenster weist z.B. 2,5 m/m² auf. Mit diesen beiden Werten wird gerechnet.

A2.4 Systematik der Berechnung der Emissionsmatrizen

Alle Emissionsmatrizen werden mit einem EXCEL-Datenbanksystem berechnet. Die vorgehend dargestellten Daten bilden dabei die Grundlageninformation. Die einzelnen Module (Input/Output-Matrix, Standardökobilanzen, Energiesystem) sind wie folgt verknüpft:



Figur A2-1: Übersicht über das EDV-Programm zur Erstellung der Ökobilanzen

Um alle Berechnungsschritte tabellarisch festzuhalten und nachvollziehbar darzustellen, müsste man einen separaten Anhangband schreiben - und dennoch würde man sich im Tabellenwald verlieren.



Anhang A3: Detaillierte Ökobilanz für die 3 kWp Solaranlage 1992

Prozessschritt		Gewinnung MG Si					
Kompartiment		Energie					
Werte aus		Matbisol.xls; Energiesystem: UCPTe88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle	1.16E+02 kg		103.1			5 056.9	32.5
Holzschnitzel	4.36E+02 kg	784.7	398.6			4 917.4	52.3
Prozesswasser							
Kupfer							
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen	5.81E+00 kg						
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks	1.16E+02 kg						
PP							
PS							
Silikonkleber							
Stahl							
Styropor							
Quarz	8.43E+02 kg	223.3					13.7
Total Vorleistungen		1 008.0	501.7			9 974.3	98.5
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	1008.0					140.1	
Heizöl Extraleicht/Diesel	501.7					47.7	
Erdgas							
Kohle							
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	98.5						766.5
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.							
Total Endenergiebereitstellung						187.8	766.5
Vorleistungen Total		1 008.0	501.7			10 162.1	865.0
Prozess Selbst							
Strombereitstellung	4041.7						31 448.0
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle	6417.0					462.0	
Total Endenergiebereitstellung						462.0	31 448.0
Total Prozess						6 417.0	35 489.7
Total Ökobilanz		1 008.0	501.7			6 417.0	36 354.7

Prozessschritt		Gewinnung MG Si						
Kompartiment	Luft							
Werte aus	Angaben in g							
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4	
Stoffe								
Aluminium								
Paste aluminiumhaltig								
Argon								
CaOH2								
CF4								
CH3Cl								
Diverses								
Ethylenglykol								
Folie (weich PVC)								
Graphit								
H2								
HCl								
HF								
HNO3								
Holz								
Holzkohle								
Holzschnitzel	189.7	111 513.2	115.6	637.8	36.0	484.6	105.0	
Prozesswasser								
Kupfer								
N/OP								
NaOH								
O2 Frischen								
Paste								
POCl3								
Propanol								
Güter								
Silizium-Carbid								
Ti-Isoprop.								
Baumwolle/Putzlappen								
Dichtungen (PE/IT)								
div. Reinigungsmittel								
Glas								
Graphitelektroden								
Karton								
Kohle								
Mineralöle								
Ölbinder								
Papier								
PE HD								
PE LD								
Petrolkoks								
PP								
PS								
Silikonkleber								
Stahl								
Styropor								
Quarz	3.1	16 482.2	1.5	17.4	674.6	18.1		
Total Vorleistungen	192.8	127 995.4	117.1	655.2	710.6	502.7		
Precombustion und Strombereitstellung								
Precombustion von Heizöl Schwer	38.4	8 528.0	38.7	33.7	2.4	36.1	17.2	
Heizöl Extraleicht/Diesel	16.9	4 410.1	18.1	15.1	1.1	15.9	7.2	
Erdgas								
Kohle								
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	30.3	36 327.7	14.7	34.5	3.9	26.5	84.9	
Strombereitstellung Alu								
Folienproduktion aus KS								
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.								
Total Endenergiebereitstellung	85.6	49 265.8	71.4	83.3	7.4	78.5	109.3	
Vorleistungen Total	278.4	177 261.2	188.6	738.5	718.0	581.1	109.3	
Prozess Selbst	0.6	1 743.8	0.0	5.8	2.2	8.1		
Strombereitstellung	1 243.3	1490 522.5	602.0	1 417.1	160.2	1 087.8	3 484.7	
Precombustion								
Heizöl Schwer								
Heizöl Extraleicht/Diesel								
Erdgas								
Kohle	544.2	37 924.6	314.4	104.6	12.2	98.2	3 224.6	
Total Endenergiebereitstellung	1 787.5	1528 447.1	916.5	1 521.7	172.4	1 186.0	6 709.2	
Total Prozess	1 788.1	1530 190.8	916.5	1 527.5	174.6	1 194.2	6 709.2	
Total Ökobilanz	2 066.5	1707 452.0	1 105.1	2 266.1	892.7	1 775.3	6 818.6	

Prozessschritt		Waferfertigung					
Kompartiment		Energie					
Werte aus Solar2.xls		Matbisol.xls; Energiesystem: UCPT E88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig							
Argon	4.11E+01 kg						
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol	6.74E-01 kg						
Folie (weich PVC)	2.25E+00 kg	86.3	1.7				3.0
Graphit							
H2	3.82E+01 kg	1 013.7	679.6			462.0	36.8
HCl	1.13E+03 kg	106.6	465.5	150.5	81.8		414.3
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser	7.14E+04 kg						714.2
Kupfer							
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid	2.87E+01 kg						
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen	1.35E-02 kg						
Dichtungen (PE/IT)	4.49E+00 kg	172.5	3.4				6.0
div. Reinigungsmittel	7.64E+00 kg						
Glas	3.82E+00 kg	2.9	1.9	25.8		4.4	0.7
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle	2.22E+01 kg	911.6					
Ölbinder	1.57E-01 kg						
Papier	4.72E+00 kg	25.3	0.7	9.8	5.1	47.4	2.8
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS	4.49E+00 kg					236.0	1.7
Silikonkeber							
Stahl	8.98E+00 kg	19.4		32.3	88.1		2.5
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen		2 338.3	1 152.8	218.4	175.1	749.8	1 182.0
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	2338.3					325.0	
Heizöl Extraleicht/Diesel	1152.8					109.5	
Erdgas	218.4					15.9	
Kohle	175.1					12.6	
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	1180.3						9 183.6
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für	11.2						30.3
Strombereitstellung für Fol.prod.	30.3						235.9
Total Endenergiebereitstellung						463.1	9 449.8
Vorleistungen Total		2 338.3	1 152.8	218.4	175.1	1 212.9	10 631.8
Prozess Selbst			449.2			27.0	10 017.6
Strombereitstellung	10017.6						77 945.4
Precombustion							
Heizöl Schwer						42.7	
Heizöl Extraleicht/Diesel	449.2						
Erdgas							
Kohle	27.0					1.9	
Total Endenergiebereitstellung						44.6	77 945.4
Total Prozess			449.2			27.0	87 963.0
Total Ökobilanz		2 338.3	1 602.0	218.4	202.0	1 257.6	98 594.8

Prozessschritt Waferfertigung							
Kompartiment Luft							
Werte aus	Angaben in g						
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)	4.0	6 362.8	24.1	13.2	1.6	14.2	
Graphit							
H2	20.8	109 709.4	17.1	114.8		69.8	
HCl	659.6	587 685.8	2 662.4	2 124.3	293.7	3 186.4	
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer							
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzrippen							
Dichtungen (PE/IT)	7.9	12 725.6	48.1	26.4	3.2	28.4	
div. Reinigungsmittel							
Glas	1.5	3 189.9	8.5	17.5	58.2	12.4	3.8
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier	5.8			12.9	5.7	23.9	
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS	13.3		119.7	38.1	4.4	42.1	
Silikonkleber							
Stahl	14.9	15 307.0	70.5	24.6	124.9	71.4	1.2
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen	727.7	734 980.3	2 950.3	2 371.9	491.8	3 448.6	
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	89.1	19 782.2	89.8	78.1	5.6	83.7	40.0
Heizöl Extraleicht/Diesel	38.9	10 133.4	41.5	34.7	2.5	36.4	16.5
Erdgas	21.8	792.9	12.3	3.0	0.2	1.3	22.8
Kohle	14.8	1 034.7	8.6	2.9	0.3	2.7	88.0
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	363.1	435 268.9	175.8	413.8	46.8	317.7	1 017.6
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	9.3	11 181.7	4.5	10.6	1.2	8.2	26.1
Total Endenergiebereitstellung	537.0	478 193.8	332.5	543.1	56.7	449.9	1 211.0
Vorleistungen Total	1 264.7	1 213 174.1	3 282.9	2 915.1	548.5	3 898.6	1 211.0
Prozess Selbst			2.2				
Strombereitstellung	3 081.7	3 694 334.1	1 492.2	3 512.4	397.0	2 696.3	8 636.9
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel	15.1	3 948.4	16.2	13.5	1.0	14.2	6.4
Erdgas							
Kohle	2.3	159.3	1.3	0.4	0.1	0.4	13.5
Total Endenergiebereitstellung	3 099.1	3 698 441.8	1 509.7	3 526.4	398.1	2 710.9	8 656.9
Total Prozess	3 099.1	3 698 441.8	1 511.9	3 526.4	398.1	2 710.9	8 656.9
Total Ökobilanz	4 363.8	4 911 615.9	4 794.8	6 441.4	946.5	6 609.5	9 867.9

Prozessschritt		Zellenfertigung					
Kompartiment		Energie					
Werte aus	Solar2.xls	Matbisol.xls; Energiesystem: UCPTe88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig	1.07E+00 kg						
Argon							
CaOH2	8.98E+00 kg						
CF4	1.50E-01 kg						
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2	6.42E-03 kg	0.2	0.1			0.1	0.0
HCl	7.70E+00 kg	0.7	3.2	1.0	0.6		2.8
HF	2.35E+00 kg	5.3	5.5	20.4			3.2
HNO3	8.56E-01 kg	0.1	0.1	1.6		8.1	0.0
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser	2.15E+04 kg						215.0
Kupfer							
N/OP							
NaOH	1.65E+01 kg	0.6	0.2	0.9	0.5		4.9
O2 Frischen							
Paste	2.14E-01 kg						
POCl3	1.28E-01 kg						
Propanol	1.07E+00 kg						
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.	4.28E-01 kg						
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle	2.14E-03 kg	0.1					
Ölbinder							
Papier							
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS							
Silikondeber							
Stahl							
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen		7.1	9.1	23.9	1.0	8.2	225.9
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	7.1					1.0	
Heizöl Extraleicht/Diesel	9.1					0.9	
Erdgas	23.9					1.7	
Kohle	1.0					0.1	
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	225.9						1 758.0
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.							
Total Endenergiebereitstellung						3.7	1 758.0
Vorleistungen Total		7.1	9.1	23.9	1.0	11.9	1 984.0
Prozess Selbst							
Strombereitstellung	4295.2						33 420.7
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							33 420.7
Total Prozess							37 715.9
Total Ökobilanz		7.1	9.1	23.9	1.0	11.9	39 699.8

Zellenfertigung							
Luft							
Prozessschritt	Angaben in g						
Kompartiment	Luft						
Werte aus	Angaben in g						
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2	0.0	18.4	0.0	0.0		0.0	
HCl	4.5	3 997.9	18.1	14.5	2.0	21.7	
HF	2.8	1 799.1	1.6	8.5	659.5	64.1	
HNO3	2.0	385.9	1.2	3.1	0.1	3.0	0.0
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer							
N/OP							
NaOH	0.2	148.7	0.1	0.6	0.1	0.7	
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS							
Silikonleber							
Stahl							
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen	9.5	6 350.0	21.0	26.6	661.7	89.5	
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	0.3	59.7	0.3	0.2	0.0	0.3	0.1
Heizöl Extraleicht/Diesel	0.3	80.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.1
Erdgas	2.4	86.8	1.4	0.3	0.0	0.1	2.5
Kohle	0.1	6.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	69.5	83 323.5	33.7	79.2	9.0	60.8	194.8
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.							
Total Endenergiebereitstellung	72.6	83 556.1	35.7	80.1	9.0	61.5	198.1
Vorleistungen Total	82.1	89 906.1	56.6	106.7	670.7	151.0	198.1
Prozess Selbst		0.1	0.7	0.0			
Strombereitstellung	1 321.3	1584 020.1	639.8	1 506.0	170.2	1 156.1	3 703.3
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung	1 321.3	1584 020.1	639.8	1 506.0	170.2	1 156.1	3 703.3
Total Prozess	1 321.3	1584 020.2	640.5	1 506.0	170.2	1 156.1	3 703.3
Total Ökobilanz	1 403.4	1673 926.3	697.1	1 612.7	840.9	1 307.1	3 901.3

Panelfertigung							
Prozessschritt		Energie					
Kompartiment							
Werte aus		Solar2.xls; Matbisol.xls; Energiesystem: UCPTe88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium	7.29E+01 kg	2 099.9	32.5	349.1			654.2
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl	5.292						
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)	2.94E+00 kg	112.9	2.2				3.9
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser	1.18E+02 kg						1.2
Kupfer	1.18E+00 kg	12.7	3.6	5.3			4.7
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzklappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas	4.53E+02 kg	342.5	226.7	3 057.8		526.7	87.9
Graphitelektroden							
Karton	5.70E+00 kg	27.1		10.5	5.5	23.9	3.6
Kohle							
Mineralöle							
Olbinder							
Papier							
PE HD	2.97E+01 kg					1 858.6	15.7
PE LD	1.17E+00 kg					45.6	1.0
Petrolkoks							
PP							
PS	1.34E+01 kg					706.1	5.1
Silikonkeber	2.28E+00 kg						
Stahl							
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen		2 595.0	265.0	3 422.6	5.5	3 161.0	777.4
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	2595.0					360.7	
Heizöl Extraleicht/Diesel	265.0					25.2	
Erdgas	3422.6					249.9	
Kohle	5.5					0.4	
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	101.3						788.1
Strombereitstellung Alu	654.2						3 715.2
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für	47.3						127.6
Strombereitstellung für Fol.prod.	127.6						992.6
Total Endenergiebereitstellung						636.1	5 623.6
Vorleistungen Total		2 595.0	265.0	3 422.6	5.5	3 797.1	6 401.0
Prozess Selbst							4 083.3
Strombereitstellung	4083.3						31 771.9
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							31 771.9
Total Prozess							35 855.2
Total Ökobilanz		2 595.0	265.0	3 422.6	5.5	3 797.1	42 256.2

Panelfertigung							
Prozessschritt	Luft						
Kompartiment	Luft						
Werte aus	Angaben in g						
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
Stoffe							
Aluminium	479.2	314 576.6	469.4	603.4	1 305.0	1 905.6	
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)	5.2	8 329.0	31.5	17.3	2.1	18.6	
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer	1.9	2 156.8	1.4	8.5	1.6	11.7	2.4
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas	177.2	378 463.4	1 011.2	2 081.5	6 907.0	1 467.9	445.5
Graphitelektroden							
Karton	2.4			11.3	2.8	22.5	
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD	19.9	82 744.2	336.8	32.4		29.3	
PE LD	2.1	2 340.0	10.3	6.4	0.1	1.7	
Petrolkoks							
PP							
PS	39.7		358.2	114.1	13.1	125.9	
Silikonleber							
Stahl							
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen	727.5	788 610.0	2 218.8	2 874.9	8 231.8	3 583.3	
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	98.9	21 953.9	99.6	86.7	6.2	92.9	44.4
Heizöl Extraleicht/Diesel	8.9	2 329.2	9.5	8.0	0.6	8.4	3.8
Erdgas	340.9	12 424.2	193.4	47.2	3.4	20.2	357.0
Kohle	0.5	32.3	0.3	0.1	0.0	0.1	2.7
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	31.2	37 355.3	15.1	35.5	4.0	27.3	87.3
Strombereitstellung Alu	199.6	213 597.9	1 201.0	594.6	105.1	1 115.9	
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	39.2	47 047.8	19.0	44.7	5.1	34.3	110.0
Total Endenergiebereitstellung	719.2	334 740.6	1 538.0	816.8	124.4	1 299.0	605.2
Vorleistungen Total	1 446.7	1 123 350.6	3 756.7	3 691.6	8 356.2	4 882.4	605.2
Prozess Selbst							
Strombereitstellung	1 256.1	1 505 875.3	608.2	1 431.7	161.8	1 099.1	3 520.6
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung	1 256.1	1 505 875.3	608.2	1 431.7	161.8	1 099.1	3 520.6
Total Prozess	1 256.1	1 505 875.3	608.2	1 431.7	161.8	1 099.1	3 520.6
Total Ökobilanz	2 702.9	2 629 226.0	4 365.0	5 123.4	8 518.0	5 981.4	4 125.8

Montage Schrägdach aufgesetzt							
Prozessschritt		Energie					
Kompartiment							
Werte aus	Solar2.xls	Matbisol.xls; Energiesystem: UCPTe88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium	5.16E+01 kg	1 486.1	23.0	247.1			463.0
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz	3.24E+01 kg	373.2	41.3			481.1	15.9
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer							
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton	2.28E+00 kg	10.8		4.2	2.2	9.5	1.4
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD	2.40E-02 kg					1.5	0.0
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS	1.20E-01 kg					6.3	0.0
Silikonkleber							
Stahl	1.89E+02 kg	407.2		678.7	1 849.4		52.0
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen		2 277.4	64.3	929.9	1 851.6	498.5	532.4
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	2277.4					316.6	
Heizöl Extraleicht/Diesel	64.3					6.1	
Erdgas	929.9					67.9	
Kohle	1851.6					133.3	
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	69.3						539.6
Strombereitstellung Alu	463.0						2 629.3
Folienproduktion aus KS							0.4
Folienproduktion für	0.1						3.0
Strombereitstellung für Fol.prod.	0.4						
Total Endenergiebereitstellung						523.9	3 172.3
Vorleistungen Total		2 277.4	64.3	929.9	1 851.6	1 022.3	3 704.6
Prozess Selbst							0.2
Strombereitstellung	0.2						1.5
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							1.5
Total Prozess							1.7
Total Ökobilanz		2 277.4	64.3	929.9	1 851.6	1 022.3	3 706.3

Prozessschritt Montage Schrägdach aufgesetzt							
Kompartiment	Luft						
Werte aus	Angaben in g						
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
Stoffe							
Aluminium	339.1	222 626.6	332.2	427.0	923.6	1 348.6	
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz	24.4	42 447.2	21.7	139.6	4.0	238.4	49.1
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer							
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton	0.9			4.5	1.1	9.0	
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD	0.0	66.9	0.3	0.0		0.0	
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS	0.4		3.2	1.0	0.1	1.1	
Silikonkleber							
Stahl	313.5	321 207.9	1 478.8	517.1	2 621.6	1 498.4	24.3
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen	678.3	586 348.7	1 836.1	1 089.3	3 550.3	3 095.5	
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	86.8	19 266.4	87.5	76.1	5.5	81.5	38.9
Heizöl Extraleicht/Diesel	2.2	565.0	2.3	1.9	0.1	2.0	0.9
Erdgas	92.6	3 375.6	52.5	12.8	0.9	5.5	97.0
Kohle	157.0	10 942.8	90.7	30.2	3.5	28.3	930.4
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	21.3	25 573.1	10.3	24.3	2.7	18.7	59.8
Strombereitstellung Alu	141.3	151 163.8	850.0	420.8	74.4	789.7	
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	0.1	143.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
Total Endenergiebereitstellung	501.3	211 030.0	1 093.4	566.2	87.2	925.8	1 127.4
Vorleistungen Total	1 179.6	797 378.7	2 929.5	1 655.5	3 637.5	4 021.4	1 127.4
Prozess Selbst							
Strombereitstellung	0.1	70.8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung	0.1	70.8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
Total Prozess	0.1	70.8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
Total Ökobilanz	1 179.7	797 449.5	2 929.6	1 655.6	3 637.5	4 021.4	1 127.6

Wechselrichter Solcon 3300							
Prozessschritt		Energie					
Kompartiment							
Werte aus	Solar2.xls	Matbsol.xls; Energiesystem: UCPTe88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium	1.47E+01 kg	422.1	6.5	70.2			131.5
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer	3.48E+00 kg	37.6	10.6	15.7			13.9
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas	9.65E-01 kg	0.7	0.5	6.5		1.1	0.2
Graphitelektroden							
Karton	2.70E-01 kg	1.3		0.5	0.3	1.1	0.2
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks							
PP	5.50E-02 kg					2.4	0.0
PS							
Silikonkleber							
Stahl	1.92E+01 kg	41.5		69.2	188.5		5.3
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen		503.2	17.7	162.0	188.7	4.7	151.1
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	503.2					69.9	
Heizöl Extraleicht/Diesel	17.7					1.7	
Erdgas	162.0					11.8	
Kohle	188.7					13.6	
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	19.6						152.3
Strombereitstellung Alu	131.5						746.7
Folienproduktion aus KS							0.1
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	0.1						1.2
Strombereitstellung für Fol.prod.	0.1						
Total Endenergiebereitstellung						97.0	900.4
Vorleistungen Total		503.2	17.7	162.0	188.7	101.7	1 051.5
Prozess Selbst							5.2
Strombereitstellung	5.2						40.5
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							40.5
Total Prozess							45.7
Total Ökobilanz		503.2	17.7	162.0	188.7	101.7	1 097.2

Wechselrichter Solcon 3300							
Prozessschritt	Luft						
Kompartiment	Luft						
Werte aus	Angaben in g						
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
Stoffe							
Aluminium	96.3	63 228.6	94.3	121.3	262.3	383.0	
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer	5.6	6 382.3	4.2	25.2	4.8	34.7	7.0
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)							
div. Reinigungsmittel							
Glas	0.4	806.2	2.2	4.4	14.7	3.1	0.9
Graphitelektroden							
Karton	0.1			0.5	0.1	1.1	
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD							
PE LD							
Petrolkoks							
pp	0.1		0.7	0.4	0.0	0.2	
PS							
Silikonkleber							
Stahl	31.9	32 730.8	150.7	52.7	267.1	152.7	2.5
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen	134.5	103 147.9	252.0	204.5	549.1	574.8	
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	19.2	4 256.7	19.3	16.8	1.2	18.0	8.6
Heizöl Extraleicht/Diesel	0.6	155.2	0.6	0.5	0.0	0.6	0.3
Erdgas	16.1	588.0	9.2	2.2	0.2	1.0	16.9
Kohle	16.0	1 115.3	9.2	3.1	0.4	2.9	94.8
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	6.0	7 220.6	2.9	6.9	0.8	5.3	16.9
Strombereitstellung Alu	40.1	42 932.3	241.4	119.5	21.1	224.3	
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	0.0	54.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
Total Endenergiebereitstellung	98.1	56 322.8	282.7	149.1	23.7	252.0	137.6
Vorleistungen Total	232.6	159 470.7	534.7	353.5	572.8	826.8	137.6
Prozess Selbst							
Strombereitstellung	1.6	1 917.7	0.8	1.8	0.2	1.4	4.5
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung	1.6	1 917.7	0.8	1.8	0.2	1.4	4.5
Total Prozess	1.6	1 917.7	0.8	1.8	0.2	1.4	4.5
Total Ökobilanz	234.2	161 388.4	535.5	355.4	573.0	828.2	142.1

Prozessschritt		Elektrische Installationen					
Kompartiment		Energie					
Werte aus		Matbisol.xls; Energiesystem: UCPTe88					
Input je Solaranlage	Güter/Stoffe: kg th. Energie: MJ Strom: kWh	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer	1.47E+01 kg	158.8	45.0	66.2			58.8
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)	2.13E+00 kg	81.8	1.6				2.9
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD	2.14E+00 kg					133.9	1.1
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS							
Silikonkeber							
Stahl	8.60E-01 kg	1.9		3.1	8.4		0.2
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen		242.4	46.6	69.2	8.4	133.9	63.0
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von	Total MJ						
Heizöl Schwer	242.4					33.7	
Heizöl Extraleicht/Diesel	46.6					4.4	
Erdgas	69.2					5.1	
Kohle	8.4					0.6	
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	61.9						481.6
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	4.3						11.5
	11.5						89.7
Total Endenergiebereitstellung						43.8	582.8
Vorleistungen Total		242.4	46.6	69.2	8.4	177.7	645.8
Prozess Selbst							
Strombereitstellung							
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							
Total Prozess							
Total Ökobilanz		242.4	46.6	69.2	8.4	177.7	645.8

Elektrische Installationen							
Prozessschritt	Luft						
Kompartiment	Angaben in g						
Werte aus							
Input je Solaranlage	CO	CO2	NM VOC	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
Stoffe							
Aluminium							
Paste aluminiumhaltig							
Argon							
CaOH2							
CF4							
CH3Cl							
Diverses							
Ethylenglykol							
Folie (weich PVC)							
Graphit							
H2							
HCl							
HF							
HNO3							
Holz							
Holzkohle							
Holzschnitzel							
Prozesswasser							
Kupfer	23.7	26 959.8	17.6	106.4	20.3	146.6	29.5
N/OP							
NaOH							
O2 Frischen							
Paste							
POCl3							
Propanol							
Güter							
Silizium-Carbid							
Ti-Isoprop.							
Baumwolle/Putzlappen							
Dichtungen (PE/IT)	3.7	6 034.3	22.8	12.5	1.5	13.5	
div. Reinigungsmittel							
Glas							
Graphitelektroden							
Karton							
Kohle							
Mineralöle							
Ölbinder							
Papier							
PE HD	1.4	5 962.0	24.3	2.3		2.1	
PE LD							
Petrolkoks							
PP							
PS							
Silikonkleber							
Stahl	1.4	1 465.3	6.7	2.4	12.0	6.8	0.1
Styropor							
Quarz							
Total Vorleistungen	30.3	40 421.4	71.5	123.6	33.8	169.0	
Precombustion und Strombereitstellung							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	9.2	2 051.0	9.3	8.1	0.6	8.7	4.1
Heizöl Extraleicht/Diesel	1.6	409.5	1.7	1.4	0.1	1.5	0.7
Erdgas	6.9	251.4	3.9	1.0	0.1	0.4	7.2
Kohle	0.7	49.9	0.4	0.1	0.0	0.1	4.2
Strombereitstellung (ohne KS/Alu)	19.0	22 824.7	9.2	21.7	2.5	16.7	53.4
Strombereitstellung Alu							
Folienproduktion aus KS							
Folienproduktion für Strombereitstellung für Fol.prod.	3.5	4 251.7	1.7	4.0	0.5	3.1	9.9
Total Endenergiebereitstellung	41.0	29 838.2	26.2	36.3	3.7	30.5	79.6
Vorleistungen Total	71.3	70 259.7	97.7	160.0	37.4	199.5	79.6
Prozess Selbst							
Strombereitstellung							
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							
Total Prozess							
Total Ökobilanz	71.3	70 259.7	97.7	160.0	37.4	199.5	79.6

Entsorgung und Transporte								
		Energie						
		Solar2.xls; Matbisol.xls; Energiesystem: UCPTe88						
		tkm	HS	HEL	Erdgas	Kohle	Feedstock	Strom
A) Zusätzliche Transporte								
Transporte der Vorleistungen franko Fabrik in Japan (200 km LKW)		717 tkm		1 899.2				
Transport der PV-Anlage in die Schweiz		4 080 tkm	1 020.0					
Frachter		102 tkm		270.3				
LKW								
Transport der Anlage franko Baustelle		34 tkm		89.7				
LKW		25 tkm		299.0				
PW								
Transport der PV-Anlageteile hin zum Entsorger		25 tkm		65.6				
LKW		25 tkm		292.1				
PW								
B) Entsorgung								
vgl. Anmerkung								
Total Transporte und Entsorgung			1 020.0	2 915.8				
Precombustion und Strombereitstellung								
(für alle ausser Kunststoffe)								
(Strom für Alu: WW)								
Precombustion von		Total MJ						
Heizöl Schwer		1020.0					141.8	
Heizöl Extraleicht/Diesel		2915.8					277.0	
Erdgas								
Kohle								
Strombereitstellung								
Strombereitstellung Alu								
Total Endenergiebereitstellung							418.8	
Vorleistungen Total			1 020.0	2 915.8				418.8
Prozess Selbst								
Strombereitstellung								
Precombustion								
Heizöl Schwer								
Heizöl Extraleicht/Diesel								
Erdgas								
Kohle								
Total Endenergiebereitstellung								
Total Prozess								
Total Ökobilanz			1 020.0	2 915.8			418.8	

Anmerkung zur Entsorgung

- Die Entsorgung der Produktionsabfälle der Vorleistungen ist den Standardökobilanzen inbegriffen
- Die Entsorgung der Anlage selbst wird vernachlässigt, da die Rückbautechnologien noch nicht bekannt sind

Entsorgung und Transporte							
Luft							
Angaben in g							
	CO	CO2	NMVOG	Nox	Partikel	SOx als SO2	CH4
A) Zusätzliche Transporte							
Transporte der Vorleistungen franko Fabrik in Japan (200 km LKW)	893.7	162 684.6	630.7	2 816.5	178.7	178.7	
Transport der PV-Anlage in die Schweiz	15.3	79 918.0	5.1	86.7	51.0	1 096.5	
Frachter	127.2	23 154.0	89.8	400.9	25.4	25.4	
LKW							
Transport der Anlage franko Baustelle	42.2	7 681.7	29.8	133.0	8.4	8.4	
LKW	545.4	23 262.1	102.4	218.7	3.9	7.5	
PW							
Transport der PV-Anlageteile hin zum Entsorger	30.9	5 618.3	21.8	97.3	6.2	6.2	
LKW	532.7	22 720.5	100.0	213.6	3.8	7.4	
PW							
B) Entsorgung							
Total Transporte und Entsorgung							
	2 187.5	325 039.1	979.5	3 966.6	277.6	1 330.2	
Precombustion und Strombereitstellung							
(für alle ausser Kunststoffe)							
(Strom für Alu: WW)							
Precombustion von							
Heizöl Schwer	38.9	8 629.2	39.2	34.1	2.4	36.5	17.4
Heizöl Extraleicht/Diesel	98.3	25 629.9	105.0	87.8	6.4	92.1	41.7
Erdgas							
Kohle							
Strombereitstellung							
Strombereitstellung Alu							
Total Endenergiebereitstellung	137.1	34 259.1	144.1	121.8	8.9	128.7	59.1
Vorleistungen Total	2 324.6	359 298.3	1 123.6	4 088.5	286.4	1 458.8	59.1
Prozess Selbst							
Strombereitstellung							
Precombustion							
Heizöl Schwer							
Heizöl Extraleicht/Diesel							
Erdgas							
Kohle							
Total Endenergiebereitstellung							
Total Prozess							
Total Ökobilanz	2 324.6	359 298.3	1 123.6	4 088.5	286.4	1 458.8	59.1

Anhang A4: Strombereitstellung und Precombustion nach [2] und CH90-92

Die nachfolgende Figur gibt einen Überblick über die Quellen sowie über die Einflussparameter auf die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Elektrizitätsproduktionsmodelle. Für die Ökobilanzen wurde das Modell UCPT88 mit GEMIS-Daten neu berechnet.

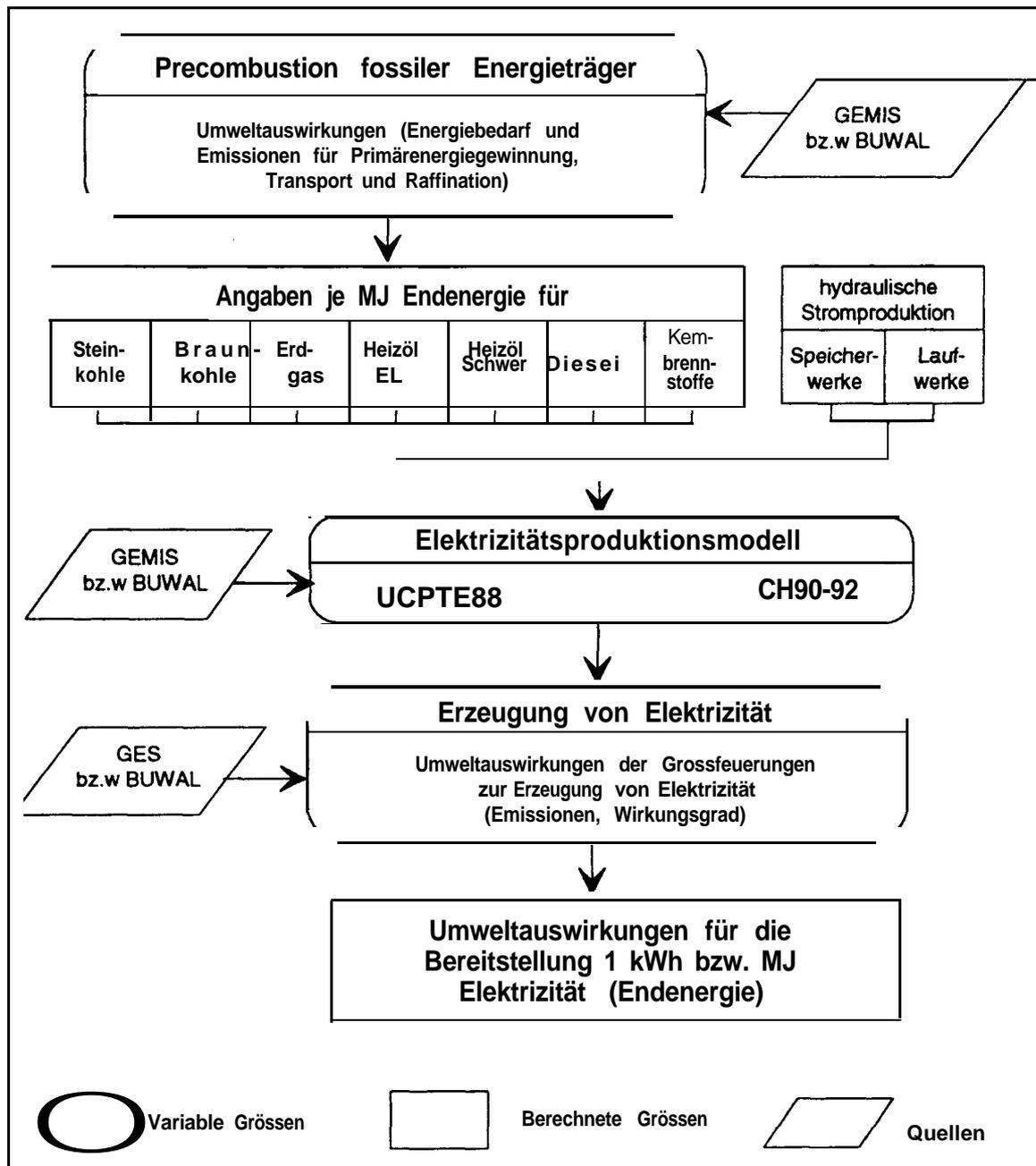


FigurA4-1: Übersicht über die Elektrizitätsproduktionsmodelle
Für die Berechnungen in Anhang A5 und A2 wurde jeweils die Quelle GEMIS [15] verwendet
(GES = Gesamtenergiestatistik)

Precombustion für Heizöl Extraleicht/Diesel/Heizöl Schwer	Energieinhalt je 1000 kg [MJ]	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
Quelle: [2]; je 1000 kg Rohölförderung und Raffinierung Transporte		466.800	2464.550 473.550	149.330		34.200 2.430
Precombustion total nach [2]		466.800	2938.100	149.330		36.630
Precombustion je MJ Heizöl Extraleicht/Diesel	42500	0.011	0.069	0.004		0.001
je MJ Heizöl Schwer	41000	0.011	0.072	0.004		0.001
[2] korr. um Transport; je 1000 kg Rohölförderung und Raffinierung CO2-Emissionen aus Rohölförderung/Raffinierung [2] Transporte nach [10]		694.648	2464.550 580.330	149.330 4.523	0.058	34.200 3.169
Precombustion Total [2] korr. je MJ Heizöl Extraleicht/Diesel	42500	694.648 0.016	3044.880 0.072	153.853 0.004	0.058 0.000	37.369 0.001
je MJ Heizöl Schwer	41000	0.017	0.074	0.004	0.000	0.001
Precombustion nach [15] je MJ Heizöl Extraleicht/Diesel je MJ Heizöl Schwer						0.139 MJ¹⁾ 0.095 MJ¹⁾

- 1) Die Daten aus GEMIS lassen keine Aufteilung des Energieverbrauchs, der bei der Precombustion der fossilen Energieträger anfällt, auf die einzelnen Energieträger zu. Die Angaben stehen zwar in der Spalte "Strom", stellen aber den Gesamtenergiebedarf in MJ dar.

Tabelle A4-1: Precombustion von Rohöl: Energieträgereinsatz

Precombustion für Heizöl Extraleicht/Diesel/Heizöl Schwer	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
Quelle: [2]; je 1000 kg Rohölförderung und Raffinierung Transporte	157000.0 62000.0 219000.0	28000.0 224000.0 252000.0		6721000.0 65000.0 6786000.0	1479000.0 423000.0 1902000.0	3202000.0 662000.0 3864000.0
Precombustion total nach 2 je MJ Heizöl Extraleicht/Diesel	5.2	5.9	0.0	159.7	44.8	90.9
je MJ Heizöl Schwer	5.3	6.1	0.0	165.5	46.4	94.2
[2] korr. um Transport; je 1000 kg Rohölförderung und Raffinierung CO2-Emissionen aus Rohölförderung/Raffinierung [2] Transporte nach [10]	157000.0	28000.0	0.0 215533275.3	6721000.0	1479000.0	3202000.0
Precombustion Total [2] korr. je MJ Heizöl Extraleicht/Diesel	263284.0 6.2	486901.3 11.5	318358687.2 7490.8	7004807.1 164.8	2455353.3 57.8	4143669.8 97.5
je MJ Heizöl Schwer	6.4	11.9	7764.8	170.8	59.9	101.1
Precombustion nach [15] je MJ Heizöl Extraleicht/Diesel je MJ Heizöl Schwer	2.4 2.2	38.1 33.7	8460 8790	38.4 36	33.4 30.1	35.8 31.6

Tabelle A4-2: Precombustion von Rohöl: Emissionen

Precombustion für Erdgas	Energieinhalt je 1000 kg [MJ]	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
"Quelle: [2]; je 1000 kg" Erdgasförderung/Processing Transporte		1926.460		284.750 1760.000		47.590
Precombustion total je MJ Erdgas	46000.000	1926.460 0.042		2044.750 0.044		47.590 0.001
nach [2], korr. um Transporte Erdgasförderung/Processing CO2-Emissionen aus Erdgasförderung Transporte nach [10]		1926.460 111.466		284.750 2678.052		47.590 2.754
Precombustion Total [2] korr. je MJ Erdgas	46000.000	2037.926 0.044		2962.802 0.064		50.344 0.001
Precombustion nach [15] je MJ Erdgas						0.073 MJ¹⁾

1) Die Daten aus GEMIS lassen keine Aufteilung des Energieverbrauchs, der bei der Precombustion der fossilen Energieträger anfällt, auf die einzelnen Energieträger zu. Die Angaben stehen zwar in der Spalte "Strom", stellen aber den Gesamtenergiebedarf in MJ dar.

Tabelle A4-3: Precombustion von Erdgas: Energieträgereinsatz

Precombustion für Erdgas	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
"Quelle: [2]; je 1000 kg" Erdgasförderung/Processing Transporte	7000.0 1000.0	48000.0 106000.0		28423000.0 18000.0	234000.0 211000.0	1960000.0 1000.0
Precombustion total je MJ Erdgas	8000.0 0.2	154000.0 3.3	0.0 0.0	28441000.0 618.3	445000.0 9.7	1961000.0 42.6
nach [2], korr. um Transporte Erdgasförderung/Processing CO2-Emissionen aus Erdgasförderung Transporte nach [10]	7000.0 1251.3	48000.0 114487.4	0.0 187001179.5 167383289.7	28423000.0 1823978.2	234000.0 64316.6	1960000.0 114675.7
Precombustion Total [2] korr. je MJ Erdgas	8251.3 0.2	162487.4 3.5	354384469.2 7704.0	30246978.2 657.5	298316.6 6.5	2074675.7 45.1
Precombustion nach [15] je MJ Erdgas	1	99.6	3630	56.5	13.8	5.9

Tabelle A4-4: Precombustion von Erdgas: Emissionen

Precombustion für Steinkohle	Energieinhalt je 1000 kg [MJ]	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
"Quelle: [2]; je 1000 kg" 85% Untertagebau und 15% Tagebau Transporte		0.520 233.400	41.820 361.620	680.850	37.360	106.920 16.490
Precombustion total je MJ Steinkohle	29300.000	233.920 0.008	403.440 0.014	680.850 0.023	37.360 0.001	123.410 0.004
nach [2], korr. um Transporte Tagebau CO2-Emissionen aus Tagebau Transporte nach [10]		0.520 337.500	41.820 360.000	680.850	37.360	106.920 84.528
Precombustion Total [2] korr. je MJ Steinkohle	29300.000	338.020 0.012	401.820 0.014	680.850 0.023	37.360 0.001	191.448 0.007
Precombustion nach [15] je MJ Steinkohle						0.072 MJ¹⁾

1) Die Daten aus GEMIS lassen keine Aufteilung des Energieverbrauchs, der bei der Precombustion der fossilen Energieträger anfällt, auf die einzelnen Energieträger zu. Die Angaben stehen zwar in der Spalte "Strom", stellen aber den Gesamtenergiebedarf in MJ dar.

Tabelle A4-5: Precombustion von Steinkohle: Energieträgereinsatz

Precombustion für Steinkohle	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
"Quelle: [2]; je 1000 kg"						
85% Untertagebau und 15% Tagebau	119000.0	51000.0		22456000.0	251000.0	295000.0
Transporte	42000.0	124000.0		88000.0	256000.0	539000.0
Precombustion total je MJ Steinkohle	161000.0 5.5	175000.0 6.0	0.0 0.0	22544000.0 769.4	507000.0 17.3	834000.0 28.5
nach [2], korr. um Transporte						
Tagebau	119000.0	51000.0	0.0	22456000.0	251000.0	295000.0
CO ₂ -Emissionen aus Tagebau			91665157.2			
Transporte nach [10]	56000.0	225400.0	56006360.0	49375.0	501310.0	552000.0
Precombustion Total [2] korr je MJ Steinkohle	175000.0 6.0	276400.0 9.4	147671517.2 5040.0	22505375.0 768.1	752310.0 25.7	847000.0 28.9
Precombustion nach [15] je MJ Steinkohle	1.9	84.8	5910	49	16.3	15.3

Tabelle A4-6: Precombustion von Steinkohle: Emissionen

Precombustion für Braunkohle	Energieinhalt je 1000 kg [MJ]	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
"Quelle: [2]; je 1000 kg"						
Tagebau					150.000	13.000
Transporte		233.400				9.700
Precombustion total je MJ Braunkohle	10000.000	233.400 0.023			150.000 0.015	22.700 0.002
nach [2], korr. um Transporte						
Tagebau					150.000	13.000
CO ₂ -Emissionen aus Tagebau						49.722
Transporte nach [10]		337.500				
Precombustion Total je MJ Braunkohle	10000.000	337.500 0.034			150.000 0.015	62.722 0.006
Precombustion nach [15] je MJ Braunkohle						0.038 MJ ¹⁾

1) Die Daten aus GEMIS lassen keine Aufteilung des Energieverbrauchs, der bei der Precombustion der fossilen Energieträger anfällt, auf die einzelnen Energieträger zu. Die Angaben stehen zwar in der Spalte "Strom", stellen aber den Gesamtenergiebedarf in MJ dar.

Tabelle A4-7: Precombustion von Braunkohle: Energieträgereinsatz

Precombustion für Braunkohle	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
"Quelle: [2]; je 1000 kg"						
Tagebau	546000.0	46000.0		7000.0	120000.0	270000.0
Transporte	22000.0	116000.0		62000.0	212000.0	122000.0
Precombustion total je MJ Braunkohle	568000.0 56.8	162000.0 16.2	0.0 0.0	69000.0 6.9	332000.0 33.2	392000.0 39.2
nach [2], korr. um Transporte						
Tagebau						
CO ₂ -Emissionen aus Tagebau			19801710.8			
Transporte nach [10]	38000.0	220000.0	27800000.0	44250.0	455800.0	165000.0
Precombustion Total je MJ Braunkohle	584000.0 58.4	266000.0 26.6	47601710.8 4760.2	51250.0 5.1	575800.0 57.6	435000.0 43.5
Precombustion nach [15] je MJ Braunkohle	0.4	3.3	4140	11.1	3.9	2.4

Tabelle A4-8: Precombustion von Braunkohle: Emissionen

Precombustion für Kernbrennstoffe	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
*Quelle: [2]; je kWh Abbau/Anreicherung/Brennstab Transporte	4.00E-05		0.004	0.009	2.00E-06
Precombustion total je kWh Kernbrennstoff	4.00E-05 4.00E-05		0.004 0.004	0.009 0.009	2.00E-06 2.00E-06
nach [2] korr. um Transporte Tagebau CO2-Emissionen aus Abbau Transporte nach [10]	4.00E-05		0.004	0.009	2.00E-06
	0.00E+00				0.00E+00
Precombustion Total nach [2] korr je kWh Kernbrennstoff	4.00E-05 4.00E-05		0.004 0.004	0.009 0.009	2.00E-06 2.00E-06
Precombustion nach [15] je MJ Kernbrennstoff					0.032 MJ¹⁾

1) Die Daten aus GEMIS lassen keine Aufteilung des Energieverbrauchs, der bei der Precombustion der fossilen Energieträger anfällt, auf die einzelnen Energieträger zu. Die Angaben stehen zwar in der Spalte "Strom", stellen aber den Gesamtenergiebedarf in MJ dar.

Tabelle A4-9: Precombustion von Kernbrennstoffen: Energieträgereinsatz

Precombustion für Kernbrennstoffe	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
*Quelle: [2]; je kWh Abbau/Anreicherung/Brennstab Transporte	0.9	0.1	0.0	0.1	2.7	8.6
Precombustion total je kWh Kernbrennstoff	0.9 0.9	0.1 0.1	0.0 0.0	0.1 0.1	2.7 2.7	8.6 8.6
nach [2] korr. um Transporte Tagebau CO2-Emissionen aus Abbau Transporte nach [10]	0.9	0.1	0.0	0.1	2.7	8.6
	0.0	0.0	1074.4 0.0	0.0	0.0	0.0
Precombustion Total nach [2] korr je kWh Kernbrennstoff	0.9 0.9	0.1 0.1	1074.4 1074.4	0.1 0.1	2.7 2.7	8.6 8.6
Precombustion nach [15] je MJ Kernbrennstoff	0.7	4.6	1940.0	2.4	8.2	4.3

Tabelle A4-10: Precombustion von Kernbrennstoffen: Emissionen

Umweltauswirkungen von Feuerungen	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
Grossfeuerungen nach [2]						
Heizöl Schwer	20	15	78000	1	200	730
Ergas	0	30	56100	6	190	0
Steinkohle	43	100	94200	1	290	540
Braunkohle	30	100	110000	1	240	605
Industrielle Feuerungen nach [2]						
Heizöl Extraleicht	0.4	14.8	73800	9.9	78.8	84.7
Heizöl Schwer	21.5	6.1	78000	8	173.7	653.5
Ergas	0.2	9.3	51348.4	10.4	82.2	0.7
Steinkohle	95.9	95.9	80375.4	17.1	239.2	546.1
Braunkohle						
Holz	195.3	980	101600	176	156	4.9

Tabelle A4-11 Emissionen von Grossfeuerungen für die Stromproduktion [2]

Transporte Angaben je tkm[10]	Auslastung	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
LKW	0.45	2.65				0.099
Bahn	0.41					
LW	0.3					
Rheinschiff	0.5	0.675				0.016
Hochseefrachter	1		0.2			
Hochseetanker	1		0.11			
Pipeline_Gas	1			0.629		
Pipeline_Erdöl	1					

Tabelle A4-12: Transportmittel: Energieträgereinsatz nach [10]

Transporte Angaben je tkm[10]	Auslastung	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
LKW	0.45	60.1	1236	227000	880	3930	234
Bahn	0.41	0	0	0	9.5	42.6	0
LW	0.3	155	21525	918000	4040	8630	297
Rheinschiff	0.5	76	440	55600	79	869	330
Hochseefrachter	1	10	3	15670.2	1	17	215
Hochseetanker	1	5	1	8314.8	1	8	109
Pipeline_Gas	1	0.2	26.4	37000	42.4	12	0.3
Pipeline_Erdöl	1						

Tabelle A4-13: Transportmittel: Emissionen nach [10]

Transporte Angaben je tkm [10]	Distanz	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
Rohöl						
Rheinschiff	1000	675	0	0	0	0
Hochseetanker	4500	0	495	0	0	0
Pipeline_Erdöl	125	0	0	0	0	2
Total		675	495	0	0	2
Erdgas						
Pipeline_Gas	4000	0	0	2516	0	0
Total		0	0	2516	0	0
Steinkohle						
Bahn	850	0	0	0	0	85
Rheinschiff	500	337	0	0	0	0
Hochseefrachter	1800	0	360	0	0	0
Total		337	360	0	0	85
Braunkohle						
Bahn	500	0	0	0	0	49
Rheinschiff	500	337	0	0	0	0
Total		337	0	0	0	49

Tabelle A4-14: Transporte bei der Precombustion: Energieträgereinsatz nach [10] und [2]

Transporte Angaben je tkm [10]	Distanz	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
Rohöl							
Rheinschiff	1000	76000	440000	55600000	79000	869000	330000
Hochseetanker	4500	22500	4500	37416600	4500	36000	490500
Pipeline_Erdöl	125	0	0	0	0	0	0
Total		98500	444500	93016600	83500	905000	820500
Erdgas							
Pipeline_Gas	4000	800	105600	148000000	169600	48000	1200
Total		800	105600	148000000	169600	48000	1200
Steinkohle							
Bahn	850	0	0	0	8075	36210	0
Rheinschiff	500	38000	220000	27800000	39500	434500	165000
Hochseefrachter	1800	18000	5400	28206360	1800	30600	387000
Total		56000	225400	56006360	49375	501310	552000
Braunkohle							
Bahn	500	0	0	0	4750	21300	0
Rheinschiff	500	38000	220000	27800000	39500	434500	165000
Total		38000	220000	27800000	44250	455800	165000

Tabelle A4-15: Transporte für die Precombustion: Emissionen nach [10] und [2]

Elektrizitätsproduktionsmodelle						Wasserkraft		Total
	Heizöl Schwer	Erdgas	Stein- kohle	Braun- kohle	AKW	Lauf- werke	Speicher- werke	
UCPTE88								
Anteile	9.30%	8.00%	16.60%	9.00%	36.90%	10.10%	10.10%	100.0%
Wirkungsgrade nach [2]	33.00%	33.00%	33.00%	33.00%	33.00%	90.00%	90.00%	37.84%
MJ Energieinput für Produktion 1 kWh	1.01	0.87	1.81	0.98	4.03	0.40	0.40	9.51
Wirkungsgrade nach [15]	40%	41%	39%	37%	33%	90%	90%	41.00%
MJ Energieinput je 1 kWh	0.8370	0.7024	1.5323	0.8757	4.0255	0.40	0.40	8.78
CH 90-92								
Anteile	1.15%	1.15%			39.50%	25.50%	32.70%	100.0%
Wirkungsgrade nach [2]	33.00%	33.00%	33.00%	33.00%	33.00%	80%	80%	50%
MJ Energieinput für Produktion 1 kWh	0.13	0.13			4.31	1.15	1.47	7.18
Wirkungsgrade nach [15]	40%	41%	39%	37%	33%	80%	80%	50.47%
MJ Energieinput je 1 kWh	0.1035	0.1010			4.3091	1.15	1.47	7.13

Tabelle A4-15: Strommodelle UCPTE88 und CH90-92: Energieträgereinsatz

Umweltauswirkungen der Strombereitstellung	Partikel mg	CO mg	CO ₂ mg	HC mg	NO _x mg	SO ₂ mg
UCPTE88						
nach [2]	196.6	348.9	441657.0	2112.3	1236.3	2502.3
[2] korrigiert um Transporte und CO ₂ -Emissionen	203.4	379.1	436285.4	2152.4	1302.0	2559.0
nach [15]	39.6	307.6	368785.8	149.0	350.6	269.2
CH90-92						
nach [2]	4.4	7.7	20050.1	105.0	60.5	120.2
nach [15]	4.9	34.0	29737.8	16.7	51.5	31.0

Tabelle A4-16: Strombereitstellung: Emissionen der Modelle UCPTE88 und CH90-92

Umweltauswirkung der Strombereitstellung	Heizöl Extraleicht [MJ]	Heizöl Schwer [MJ]	Erdgas [MJ]	Kohle [MJ]	Strom [kWh]
UCPTE 88 nach [2] nach [15] 1)	0.110	0.100	0.107	0.027	0.020 0.403 MJ ¹⁾
CH90-92 nach [2] nach [15] 1)	0.008	0.009	0.014	0.011	0.000 0.155 MJ ¹⁾

1) Die Daten aus GEMIS lassen keine Aufteilung des Energieverbrauchs, der bei der Precombustion der fossilen Energieträger anfällt, auf die einzelnen Energieträger zu. Die Angaben stehen zwar in der Spalte "Strom", stellen aber den Gesamtenergiebedarf in MJ dar.

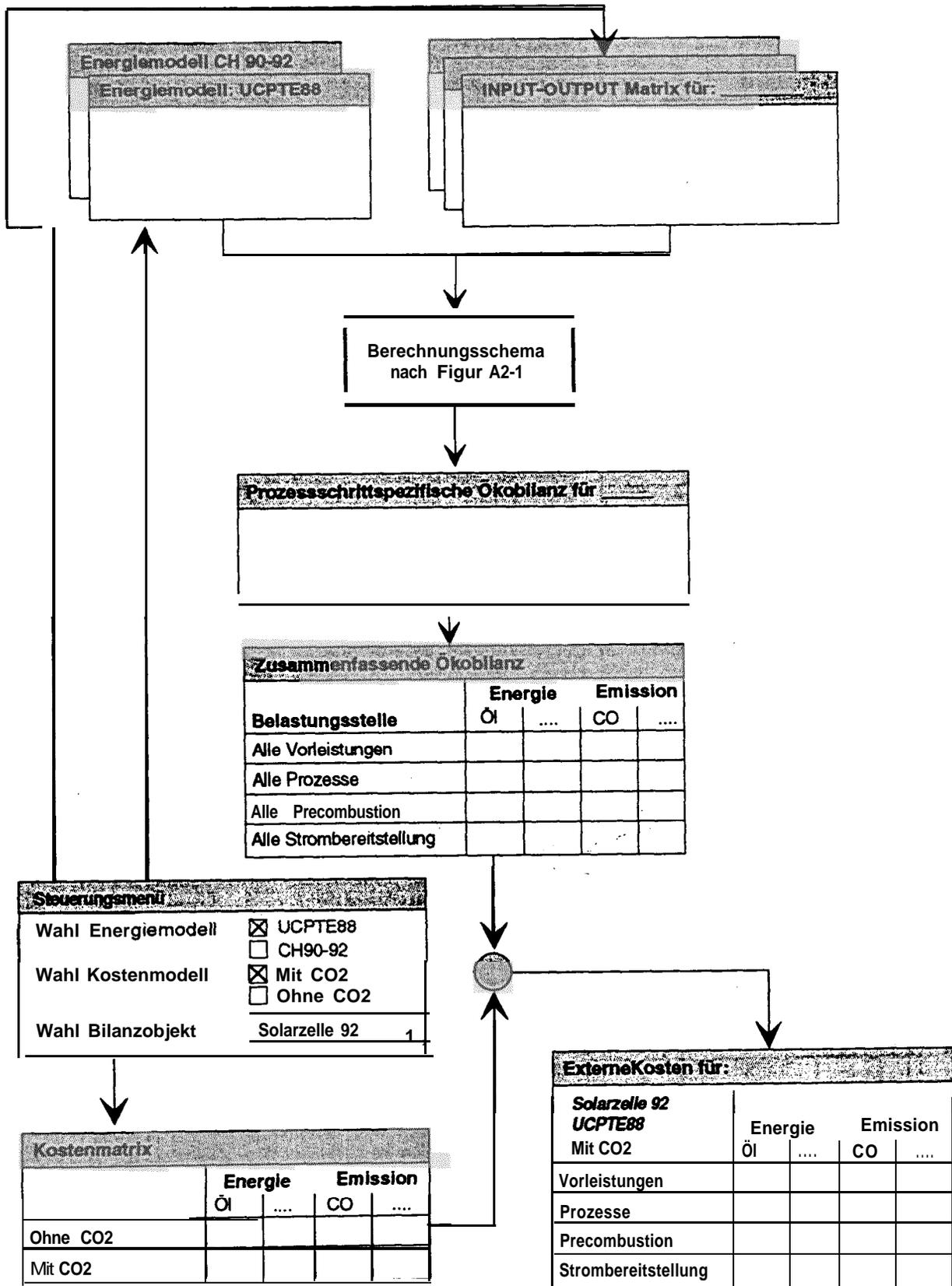
Tabelle A4-17: Precombustion der Energieträger für die Stromproduktion

Emissionen der Bereitstellung von Nuklearbrennstoffen	CO ₂ mg	NM VOC Sommer mg	NO _y Sommer mg	NO _x mg	SO ₂ mg
je MJ	1940.00	1.20	4.10	4.10	4.30
je kWh	6984.00	4.32	14.76	14.76	15.48
Emissionszuschläge	Fr/t 159.00 227.00	12400.00 30700.00	13800.00 32270.00	14300.00 33450.00	11500.00 26900.00
Externe Kosten	Fr/kWh 0.11 0.16	0.01 0.02	0.02 0.05	0.02 0.05	0.02 0.04
Totale Externe Kosten	0.28 bis 0.42 Fr/kWh				

Tabelle A4-18: Berechnung der externen Kosten 1 kWh Nuklearenergie (vgl. auch Tab. A4-10)

Anhang A5: Berechnung der externen Kosten

Figur A5-1 zeigt, wie das EXCEL-Datenbanksystem die externen Kosten für die verschiedenen Materialien berechnet. Die Kostenschätzungen bauen auf dem Emissionsmatrizen-system (vgl. Figur A2-1) auf. Auf eine vollständige Auflistung der Resultatstabellen wird verzichtet.



Figur A5- 1: Übersicht über das Berechnungsmodell

Literaturverzeichnis

- [1] Hofstetter, P. :Die ökologische Rückzahldauer der Mehrinvestitionen in zwei Nullenergiehäusern, Zürich, 1991
- [2] BUWAL: Ökobilanz von Packstoffen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 132, Bern, 1992
- [3] Häne, D., Gruber, N.: Produktlinienanalyse eines monokristallinen Silizium Solarzellen-Moduls, Semesterarbeit ETHZ, Zürich, 1991
- [4] Umweltbelastung durch die End- und Nutzenergiebereitstellung: Ökoinventare für Energiesysteme, Draft Version Kap. XI: Sonnenkollektoren, Sachbearbeitung: Gränicher H.-P., Zürich 1993
- [5] Umweltbelastung durch die End- und Nutzenergiebereitstellung: Ökoinventare für Energiesysteme, Vorabdruck Kap. XII: Photovoltaik, Sachbearbeitung: Doka G., Vollmer M., Zürich 1993
- [6] Persönliche Mitteilungen von I. Knöpfel, Laboratorium für Energiesystem ETHZ, Juli 1993
- [7] EgoKiefer, Fenster und Ökologie, Werbebroschüre, Altstätten 1991
- [8] Richter, K.: Ökobilanzen von Baustoffen und Bauprodukten aus Holz, EMPA Forschungs- und Arbeitsberichte Nr 115, Dübendorf 1992
- [9] Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen (BEW, BUWAL, AfB, BfK): Regeln zur Datenerfassung für Energie- und Stoffflussanalysen, Leitfaden, Sachbearbeitung: Kohler N., Lützkendorf T., Bern 1992
- [10] Gesamtenergiestatistik 1992
- [11] BEW: Externe Kosten Strom und Wärme, Vorabdruck, sachbearbeitendes Büro: INFRAS AG; Zürich, 1993
- [12] Prognos: - Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie, Teilbericht 2 des Projekts "Externe Kosten der Strom- und Wärmeversorgung", im Auftrag von BEW, BfK, AfB, Basel Oktober 1993

- Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft, Teilbericht 4 des Projekts "Externe Kosten der Strom- und Wärmeversorgung", im Auftrag von BEW, BfK, AfB, Basel Oktober 1993
- [13] Lang. B: Ökobilanz zweier Restaurants, ETHZ, Juni 1992
- [14] EVED: Umwelt und Verkehr, Zürich, 1991
- [15] Umweltwirkungsanalysen für Energiesysteme: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme, GEMIS, Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik Wiesbaden, Version 2,1992

-
- [16] INFRAS: Prozessdaten Wärmedämmstoffe, internes Arbeitspapier, Zürich, 1993
 - [17] Boustead, I./Hancock G.: Handbook of industrial energy analysis, New York, 1979
 - [18] Kommunalmagazin 6/92: Lärmschutz Fenster, Juni 1992
 - [19] INFRAS/PROGNOS: Die externen Kosten der Strom- und Wärmeversorgung, Schlussbericht, im Auftrag des BEW, BfK und AfB, Zürich/Basel, Oktober 1993
 - [20] Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen (BEW, BUWAL, AfB, BfK): Methodische Grundlagen für Energie- und Stoffflussanalysen, Sachbearbeitung: Kohler N., Lützkendorf T., Bern 1992



Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER

Die aufgeführten Publikationen und Videos können gegen Verrechnung der Selbstkosten bezogen werden bei der EDMZ, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern. Die aktuelle Übersicht finden Sie in der Zeitschrift IMPULS (Gratisabonnement).

Erneuerbare Energien: Der notwendige «Fort»Schritt

Der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energien gilt als eine Option, längerfristig fossile Energieträger zu substituieren und eine Energieversorgung zu gewährleisten, die im Einklang mit der Ökologie steht. «Erneuerbare Energien: Der notwendige «Fort»-Schritt»: So liess sich die Option umschreiben und nach ihr heisst die Broschüre, welche das Impulsprogramm PACER kurz zusammenfasst. Die einfache, prägnante Beschreibung ermöglicht einen Überblick über die Zielsetzungen, die verschiedenen Angebote und Mittel der Wissensumsetzung von PACER und ist mit grossen Bildern illustriert, die der Veranschaulichung dienen. Ferner umfasst sie die Adressen der Programmleitung und der verschiedenen Ansprechstellen in der Schweiz sowie eine Liste der Träger- und Patronatsorganisationen.

Bestell-Nr: 724.201 d
gratis

Strom aus erneuerbaren Energien:

«Photovoltaik – Grundlagen, Montage und Einspeisung»

Studien des Bundesamtes für Energiewirtschaft zeigen: Der Strom aus Solaranlagen könnte rund 10 Prozent des gesamten Stromverbrauchs in der Schweiz abdecken. Zur Produktion von Solarstrom bieten sich insbesondere ungenutzte Gebäudeflächen, Parkplätze sowie Flächen entlang von Eisenbahnlinien und Autobahnen an. Für die entsprechende Verbreitung der Solarzellentechnik sind interessierte Berufsleute nötig, welche die Möglichkeiten erkennen und Photovoltaikanlagen bauen wollen. So lässt sich letztlich auch auf eine Kostensenkung hinwirken.

An solche Elektroinstallateure richtet sich die Dokumentation zum gleichnamigen PACER-Kurs «**Photovoltaik – Grundlagen, Montage und Einspeisung**»). Sie bietet diesen Berufsleuten das Fachwissen, um die eigene Hemmschwelle gegenüber der unbekanntem Technik abzubauen und eine Anlage realisieren zu können. Schwerpunkt bilden die Netzverbund-Anlagen, bei welchen als Speicher für den unregelmässig anfallenden Solarstrom das öffentliche Netz benützt wird.

Die Dokumentation soll dem Elektroinstallateur als Nachschlagewerk bei Installation und allfälliger Wartung einer Solaranlage dienen. Sie vermittelt deshalb -nebst theoretischem Grundlagewissen über Meteorologie, Solarzellentechnologie sowie Komponenten und Besonderheiten der Solaranlage -eine praktische Anleitung für die Installation. Dazu gehören unter anderem Gesetze, Vorschriften und Bewilligungen, die es beim Bau zu berücksichtigen gilt.

1991, 110 Seiten
Bestell-Nr. 724.242 d
Fr. 24.-

Video «Photovoltaik:

Einführung für Architekten und Bauherren»

Elektrizität ist die gebräuchlichste Energieform, um die Nacht in Tag zu verwandeln. **Elektrizität lässt sich mit Hilfe von Photovoltaik aus der Sonne gewinnen:** Solarzellen wandeln die Sonnenstrahlung in Strom um. Das PACER-Video «**Photovoltaik: Einführung für Bauherren und Architekten**» visualisiert die Möglichkeiten der solaren Stromerzeugung und motiviert zu deren Anwendung.





Die Funktion und der Aufbau einer Solarzelle, ihr Wirkungsgrad sowie die weiteren Komponenten einer Photovoltaik-Anlage sind im Video erklärt und grafisch dargestellt. Solaranlagen werden entweder als Inselsystem oder im Netzverbund betrieben. Bei einer Netzverbundanlage dient das öffentliche Stromnetz als Speicher. Im Gegensatz dazu funktioniert eine Inselanlage unabhängig vom Elektrizitätsnetz und eignet sich dementsprechend für die Stromerzeugung abseits eines Netzanschlusses. Eine Batterie speichert den Überschussstrom.

Nebst diesen Grundlagen zeigt das Video die Montage von Photovoltaik-Anlagen detailliert auf. Statements von Besitzern verdeutlichen, dass sich Unterhalt und Wartung auf periodische Kontrollen beschränken, weil eine Photovoltaik-Anlage keine mechanisch beweglichen Teile aufweist. Beispiele dokumentieren den Handlungsspielraum und die ästhetische Herausforderung, die sich für ArchitektInnen insbesondere bei der Integration von Solarzellen in eine Gebäudefassade ergeben.

Eine Begleitbroschüre - sie ist im Preis inbegriffen - vertieft die Thematik und tritt zusätzlich auf die Planung, Dimensionierung und den Bau einer Photovoltaik-Anlage detailliert ein. Anhand einer Checkliste mit den wesentlichen Beurteilungskriterien lässt sich abschätzen, ob es sinnvoll ist, am untersuchten Objekt eine Anlage zu realisieren.

Video (VHS-PAL 15'), inklusive
Begleitbroschüre (36 Seiten):
1992, Bestell-Nr. 724.241 d
Fr. 30.-

«Photovoltaik – Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen»

Die Photovoltaik, die direkte Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie, hat in den vergangenen Jahren den Sprung von der Anwendung bei Pilotanlagen zur weitverbreiteten Technologie geschafft. Bis ins Jahr 2000 -so sieht das Aktionsprogramm Energie 2000 vor-soll die heute installierte Solarzellenfläche um rund das 200-fache gesteigert werden.

An diese Zielsetzung tragen der PACER-Kurs ((Photovoltaik - Planung in Theorie und Praxis» sowie die für den Kurs ausgearbeitete Publikation «**Photovoltaik – Planungsgrundlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen**» massgeblich bei. Die Publikation bietet Fachleuten, wie Planern und Ingenieuren, Grundlagenkenntnisse über Sonneneinstrahlung sowie verschiedene Solarsysteme und deren Installation. Das Hauptgewicht liegt auf der Vermittlung praxisnaher Anleitungen für die Planung von Solaranlagen. Insbesondere bei autonomen Systemen, die unabhängig vom öffentlichen Elektrizitätsnetz funktionieren, ist die Planung von grösster Bedeutung, muss doch die Anlage genügend Strom für alle Verbraucher erzeugen und eine Batterie überschüssigen Sonnenstrom speichern können. Bei den Netzverbundanlagen stehen Marktübersicht und Ertragsberechnungen im Mittelpunkt, welche die korrekte Planung erleichtern sollen. Angaben zur Installation von Solaranlagen wie auch Kostenberechnungen runden den planerischen Teil der Dokumentation ab. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen werden sowohl Kosten und Tarifierung als auch graue Energie und Energierücklaufzeit aufgezeigt und Subventionsmöglichkeiten erläutert.

1992. 90 Seiten
Bestell-Nr. 724.243 d
Fr. 20.-

«Photovoltaik: Dachmontagesysteme»

Heute können einfache standardisierte Photovoltaikanlagen bis zu einer Leistung von rund 3 kW durch das Installationsgewerbe ohne grosse Spezialkenntnisse realisiert werden. Damit eröffnet sich für die Fachleute des Baubereichs, insbesondere für Dachdecker und Elektroinstallateure ein neues Auftragspotential. Die Dokumentation «**Photovoltaik: Dachmontagesysteme**» und der gleichnamige Kurs bietet dem Dachdecker das notwendige Wissen, um diese berufliche Chance wahrzunehmen und zusammen mit dem Elektroinstallateur eine photovoltaische Solaranlage normgerecht und einwandfrei funktionsfähig zu installieren, in Betrieb zu setzen und allenfalls zu warten. Grundlageninformationen zum Potential, zum Aufbau





und zur Funktion von Photovoltaik- sowie Kollektoranlagen führen in die Thematik ein. Das Hauptgewicht liegt auf einer detaillierten Übersicht über die verschiedenen Montagearten, wie die Systeme «Auf Dach», Spezial- und Solardachziegel sowie Integration in die Dachebene oder Fassade. Die Publikation tritt ausserdem auf die Standorteignung der Solaranlagen, das Bewilligungsverfahren sowie die Zusammenarbeit mit Planern und Elektrikern ein und behandelt kurz die Montagesysteme für Kollektoranlagen.

1993, 123 Seiten
Bestell-Nr. 724.246 d
Fr. 30.-

Passive und aktive Sonnenenergienutzung:

Video: «Sonne und Architektur»

Schon früh richteten die Menschen die Bauweise ihrer Wohnhäuser nach der Sonne aus und profitierten von der Speicherfähigkeit gewisser Materialien: Sie haben die Sonnenenergie passiv genutzt. Wenn Licht und Wärme die Räume durchfluten, ist nicht nur eine Energieeinsparung zu erzielen, sondern ebenso lässt sich die Wohnqualität für die BewohnerInnen steigern. Die heutigen Erkenntnisse eröffnen neue Möglichkeiten, mit der Sonne zu bauen, was im Video «**Sonne und Architektur**» dargestellt wird. Es bietet ArchitektInnen und PlanerInnen aber auch LehrerInnen angehender Bau fachleute einen Einblick in eine der Zeit angepasste Bauweise, die dem Anspruch gerecht wird: **Moderne Architektur befindet sich im Einklang mit Ökonomie.** Anhand von Entwurfskizzen wird durch die wichtigsten planerischen Grundsätze der Solararchitektur geführt. Neuere Bauten aus den Bereichen Wohnen, Dienstleistung, Industrie und Gewerbe verdeutlichen, dass sich mit geschickter Bauweise für alle Gebäudetypen optimale Lösungen zur passiven Nutzung der Sonnenenergie realisieren lassen. Grundsätzlich soll möglichst viel Licht in ein Gebäude eindringen und möglichst wenig Wärme verlorengehen. So gelten beispielsweise in der Grösse der Orientierung des Baues angepasste Fenster und Scheiben mit guter thermischer Isolierung als wichtige Bestandteile der Solararchitektur. Beinahe grenzenlos ist bei der passiven Sonnenenergienutzung der gestalterische Spielraum für ArchitektInnen. In diesem Zusammenhang sind Glasatrien zu erwähnen und architektonische Konzepte mit durchdachtem Lichteinfall, der eine wohnlich-helle Atmosphäre in den Räumen schafft. Glasatrien wie auch Wintergärten bieten als Pufferzone zwischen beheiztem Wohn oder Arbeitsbereich und dem Aussenklima zusätzlichen Raum.

1991, (VHS-PAL 12')
Bestell-Nr. 724.211 d
Fr. 25.-

«Sonne und Architektur – Leitfaden für die Projektierung»

Schon heute leistet die Sonneneinstrahlung durch die Fenster einen ansehnlichen Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs in Gebäuden. Eine konsequente Nutzung der passiven Sonnenenergie kann mithelfen, den Verbrauch nicht erneuerbarer Energien zu senken. Wie dieses Ziel erreicht werden kann, zeigt das Handbuch «**Sonne und Architektur-Leitfaden für die Projektierung**»

Die Publikation ist unterteilt in die folgenden Kurzbeschreibungen:

- **Potential**
- **Bauteile und Grundsätze**
- **technische Installationen**
- **Bauprojekt Gesetze und Normen**

In einer reich gestalteten Beispielsammlung wird anhand bestehender Bauten aufgezeigt, dass sich die Nutzung der passiven Sonnenenergie bereichernd auf die architektonischen Möglichkeiten auswirken kann.

1992, 151 Seiten
Bestell-Nr. 724.212 d
Fr. 46.-





«Solare Warmwassererzeugung - Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung»

Die Sonnenenergienutzung bildet für Sanitär- und Heizungsfachleute eine berufliche Herausforderung: Die Fähigkeit, Sonnenenergieanlagen zu installieren und zu warten, kann mithelfen, Arbeitsplätze zu erhalten, neue zu schaffen und Gewinne zu erzielen.

Der PACER-Kurs **«Solare Warmwassererzeugung - Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung»** und die gleichnamige Dokumentation unterstützen insbesondere Sanitär- und Heizungsfachleute der Planungs- und Ausführungsstufe sowie Sanitär- und Heizungszeichner in ausführenden Betrieben, sich die fachliche Kompetenz anzueignen, um diese berufliche Chance wahrnehmen zu können. Die Publikation bietet einleitend meteorologische Grundlagen und tritt auf das Funktionsprinzip eines Sonnenkollektors, dessen Aufbau und die gebräuchlichsten Kollektortypen ein. Im Mittelpunkt stehen Anleitungen zur selbständigen Dimensionierung, Installation, Inbetriebnahme und Wartung von Solaranlagen. Dabei werden einfache Warmwasseranlagen im Ein- und Zweifamilienhaus, Warmwasseranlagen im Mehrfamilienhaus sowie Warmwasseranlagen mit Heizunterstützung im Ein- und Zweifamilienhaus eingehend behandelt. Die Dokumentation beinhaltet ferner das Vorgehen bei der Realisierung einer Solaranlage im Überblick. Sie beschreibt den Ablauf von der Idee, über Preisabsprache, Datenerhebung, Kollektorstandort und Art der Zusatzenergie bis hin zu Baubewilligung und möglichen Subventionen.

1993, 221 Seiten
Bestell-Nr. 724.213 d
Fr. 50.-

Video: «Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft»

Wie wird die Energie der Sonne zur Wassererwärmung genutzt? Welches sind die idealen Einsatzgebiete für Sonnenkollektoranlagen? Diese Fragen stehen im Zentrum des Videos **«Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft»**. Es visualisiert die aktive Nutzung der Sonnenenergie: Sonnenkollektoren eignen sich zur Erwärmung des Brauchwassers in Wohn- und Geschäftsbauten und für die Schwimmbadbeheizung und zur Heizungsunterstützung. Ebenso verdeutlicht das Video, - insbesondere durch Interviews mit ausführenden Berufsleuten und Anlagebesitzern - dass es sich bei der aktiven Sonnenenergienutzung, um eine einfache Technik handelt. Die Installation erfordert die üblichen Fachkenntnisse von Heizungs- und Sanitärinstallateuren. Zusätzlich können aktive Solarsysteme ArchitektInnen vor eine berufliche Herausforderung stellen: Die Suche nach einer ästhetisch optimalen Lösung für die Integration eines Systems. Weitere Aspekte bilden Wirtschaftlichkeit, Kosten und sinnvolle Realisierungsmöglichkeiten von Sonnenkollektoranlagen. Denn sowohl der Einbezug eines Solarsystems bei der Planung eines Neubaus, wie auch eine notwendige Heizungssanierung bei einem bestehenden Gebäude kann der geeignete Zeitpunkt für die Installation sein.

Das Video wird durch eine Begleitbroschüre vertieft und richtet sich an Architekten, Mitarbeiter von Installationsfirmen, Verantwortliche der Verwaltung, Bauherren und weitere Interessierte.

1993, Bestell-Nr. 724.214 d
Fr. 35.-

Biomasse und erneuerbare Energien in der Landwirtschaft:

«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen»

Auf landwirtschaftlichen Betrieben wird Biomasse produziert, in den Ställen fällt Wärme an und ebenso sind Flächen für die Installation von Sonnenkollektoren vorhanden vor diesem Hintergrund ist die Dokumentation **«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen»** entstanden, ausgearbeitet zum gleichnamigen PACER-Kurs. Sie behandelt schwerpunktmässig die Themenbereiche **Wärmerückgewinnung** aus der Stallluft mittels Wärmepumpen für die Beheizung des Wohnhauses und Wärmetau-





scher für die Beheizung der Zuluft sowie **Sonnenkollektoren für die Heubelüftung** und im Anhang die Dimensionierung von **Biogasanlagen**.

Landwirtschaftlichen BeraterInnen, MitarbeiterInnen von Meliorationsämtern sowie von Architektur- und Ingenieurbüros vermittelt die Dokumentation die nötigen Planungsgrundlagen und Kenntnisse, um den Einsatz von Wärmerückgewinnung, Sonnenkollektoren und Biogasanlagen bei einem Neu- oder Umbau zu evaluieren. Auf Grund dieser Abklärungen lässt sich in der Vorprojektphase beurteilen, wie sinnvoll die Anwendung eines der Systeme, sowohl in ökologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht, ist. Die Grunddaten zur Dimensionierung der drei Anlagentypen werden mit PC-Programmen berechnet. Sie sind im Anhang der Publikation erläutert und können mit dem dort beigelegten Gutschein bezogen werden.

1991, 123 Seiten
Bestell-Nr. 724.221 d
Fr. 38.-
(inkl. 3 MS-Dos-Disketten)

Video mit Unterrichtshilfe: «Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»

Seit jeher nutzt der Landwirt die Sonnenenergie: Indirekt, indem er aus Biomasse Nahrung für Mensch und Tier produziert und direkt bei der Graströcknung im Freien für die Futteraufbereitung. Die Nutzung von nicht erneuerbaren Energien hat zur Verdrängung interner Kreisläufe auf landwirtschaftlichen Betrieben und zu massiven Umweltbelastungen geführt. Der Einsatz erneuerbarer Energien wie Sonnenenergie, Wasserkraft oder Energie aus Biomasse reduzieren die Belastung.

In der Dokumentation und dem Video **«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»** werden die heutigen Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung erklärt und aufgezeigt: Als bewährte Beispiele sind Biogasanlagen zur Erzeugung von Wärme und Strom, Photovoltaikanlagen und Kleinwasserkraftwerken zur Stromproduktion und Sonnenkollektoren für die Heubelüftung dargestellt. Die neuere Technik der Treibstoffproduktion mittels nachwachsender Rohstoffe wird am Beispiel des Raps aufgezeigt.

Die Dokumentation ist speziell für landwirtschaftliche Schulen konzipiert. Sie bietet mit Kopiervorlagen, Grafiken, Abbildungen und prägnanten Zusammenfassungen für die Herstellung von Folien ideale Unterrichtshilfen. Ergänzend sind Beispiele aus der Praxis und Wirtschaftlichkeitsrechnungen angeführt.

Video: **vergriffen**
Publikation: 1992, 69 Seiten
Bestell-Nr. 724.222.1 d
Fr. 17.-

«Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern»

Bei der anaeroben Vergärung oder Methanisierung werden organische Reststoffe in den erneuerbaren Energieträger Biogas und in organischen Dünger umgewandelt. Sowohl zur Vergärung fester als auch flüssiger Substrate sind in jüngster Zeit neue Verfahren entwickelt worden. Sie eröffnen der Abfallbewirtschaftung, die sich im Zusammenhang mit der getrennten Sammlung organischer Abfälle im Umbruch befindet, ganz neue Perspektiven.

Neben Informationen zu den Grundlagen der Vergärung gibt die Dokumentation **«Vergärung von häuslichen Abfällen und Industrieabwässern»** eine Übersicht über die neuesten Verfahren. Durch einen technischen und ökonomischen Vergleich der Vergärung mit aeroben Verfahren (Kompostierung, Abwasserbelüftung) lassen sich zukünftige Einsatzmöglichkeiten anaerober Verfahren abgrenzen. Ebenso kann das Potential an erneuerbarer Energie in Form von Biogas bestimmt werden. Anhand realisierter Anlagen werden betriebliche Konsequenzen, Kosten und Energiebilanzen vorgestellt.

Die Dokumentation richtet sich an Vertreter von Gemeinden und Industrien, welche sich mit der Verwertung biogener Abfälle und Abwässer beschäftigen, an Ingenieur- und Planungsbüros sowie an interessierte öffentliche Stellen. Ziel ist, dem Leser einen Überblick über die Aufbereitung biogener Reststoffe zu geben, welcher eine optimale Entscheidungsfindung für zukünftige Projekte erlaubt.

1993, 68 Seiten
Bestell-Nr. 724.230 d
Fr. 16.-



Faltblatt: «Selbstbau-Sonnenkollektoren Heubelüftung»

1993, Bestell-Nr. 724.223.1 d
gratis

Mit einem Sonnenkollektor für die Heubelüftung sparen LandwirtInnen nicht nur Strom und Geld. Er verkürzt auch die Trocknungszeit und verbessert zudem die Futterqualität. Dem Faltblatt können Kurzinformationen über die Schritte für den Bau ebenso entnommen werden wie über die Funktionsweise eines solchen Sonnenkollektors für die Heubelüftung.

Energie aus Restholz

Ein Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe

Momentan werden in der Schweiz rund 1,4 Millionen m³ Holz energetisch genutzt. Das entspricht 1,6% der Gesamtenergie oder 3% der Wärmeenergieerzeugung. Das sofort verfügbare Potential liegt bei 2,5 Millionen m³. Theoretisch könnten sogar 6 Millionen m³ als Energieholz verwendet werden.

Neben dem Brennholz aus dem Wald bildet das Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben einen wesentlichen Anteil des Potentials. Dazu gehören Schwarten, Spreissel, Rinde und Sägemehl aus Sägereien sowie Verschnittstücke und Sägemehl aus Zimmereien und Schreinereien.

Das Inkrafttreten der Luftreinhalte-Verordnung 92 (LRV) hat in vielen holzverarbeitenden Betrieben Verunsicherung bezüglich der Emissionsgrenzwerte bei Holzfeuerungsanlagen ausgelöst. Daraus ergeben sich für holzverarbeitende Betriebe neue Fragen: Ist die energetische Nutzung des Restholzes überhaupt noch sinnvoll und wirtschaftlich? Welche Auswirkungen haben die Grenzwerte der LRV auf die energetische Nutzung eines spezifischen Restholzsortiments? Soll die bestehende Heizung saniert werden und welche Feurungstechniken stehen zur Verfügung? Die Dokumentation «Energie aus Restholz- Ein Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe» vermittelt Antworten auf diese aktuellen Fragen von Besitzern und Verantwortlichen holzverarbeitender Betriebe. Daneben behandelt sie die Aspekte der schadstoffarmen Verbrennung von Restholz mit Betrieb, Regelung und Abgasreinigung der Feuerungsanlage, die Reduktion des Energieverbrauchs in einem Betrieb und liefert ergänzend Fallbeispiele zur Grobabschätzung der Betriebsdaten der eigenen Holzfeuerungsanlage. Der Leitfaden zeigt damit grundsätzlich auf, wie ein holzverarbeitender Betrieb eine Vorauswahl für ein sinnvolles Anlagekonzept trifft, das der bestimmten Grösse und dem spezifischen Restholzsortiment entspricht. Das Anlagekonzept für die kostengünstige und ökologisch einwandfreie energetische Nutzung des Restholzes erarbeitet ein Planer.

1994, 109 Seiten,
Bestell-Nr. 724.238 d
Fr. 25.–

Energie in ARA: Musteranalysen

Abwasserreinigungsanlagen sind dank der Produktion von Faulgas nicht nur interessante Erzeuger von erneuerbarer Energie, sondern auch bedeutende Energieverbraucher: Sie verbrauchen rund einen Fünftel der Elektrizität kommunaler Bauten und Anlagen. Im Durchschnitt machen heute die Energiekosten einer Abwasserreinigungsanlage 18% des Betriebsaufwandes aus - an sich schon Anlass genug, sich intensiv mit der energetischen Optimierung zu befassen. Die Ermittlung von Energiesparmassnahmen und insbesondere die Umsetzung der wirtschaftlich rentablen Teile liegen daher im Interesse des Kläranlagenbetreibers wie des Abwasserlieferanten. Die damit verbundenen Investitionen sind bestimmt gut angelegt.

In einer zunehmenden Zahl von Kläranlagen müssen in nächster Zeit Anlagenkomponenten wegen Erreichens ihrer Nutzungsdauer ersetzt werden. Zudem werden viele Anlagen mit einer weiterführenden Reinigungsstufe versehen. Diese kostenintensive Zäsur bietet gleichzeitig die Chance, nicht nur die Reinigungsleistung den heutigen Anforderungen anzupassen, sondern ebenso den Energieaufwand zu optimieren und damit wieder Betriebskosten einzusparen.





Diese Chance haben auch das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), das Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK) und das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) erkannt und ein koordiniertes Programm initiiert: E2000, PACER und die Abteilung Abwasseranlagen des BUWAL erteilten gemeinsam den Auftrag zur Erarbeitung von Grundlagen für eine energetische Optimierung von Kläranlagen.

Das vorliegende Handbuch ist das Resultat der gemeinsamen Interessen der drei Ämter. Die Autoren sind im Abwasserbereich seit langem tätige Fachleute mit grossem Erfahrungsschatz. Die vom Verband Schweizer Abwasserfachleute (VSA) getragenen Weiterbildungskurse werden helfen, das im Handbuch zusammengefasste Wissen zu verbreiten. Das Handbuch soll über die Kurse hinaus allen mit Planung und Projektierung von Kläranlagen beauftragten Fachleuten als praktisches Nachschlagewerk dienen, welches ihnen für die Entscheidungsfindung gesichertes Wissen bietet. Zusammen mit den exemplarischen Feinalysen, welche in der Reihe Materialien zu PACER (Bestell-Nr. 724.239.1 d) herausgegeben werden, und einem EDV-gestützten Anwendungsprogramm soll das Handbuch zu einem neuen, energetischen Standard in der Abwasserreinigung beitragen.

Alle am vorliegenden Werk beteiligten Stellen hoffen, dass die Lektüre dem Leser und der Leserin nicht nur zur Vertiefung ihres Wissens dient, sondern daraus Motivation und Können entstehen und die Unterlagen schliesslich Anstösse für möglichst viele energetisch optimale Kläranlagen liefern.

1994, 240 Seiten
Bestell-Nr. 724.239 d
Fr. 32.-

Elektrizität aus Kleinstwasserkraftwerken – eine saubere und umweltfreundliche Energie:

«Kleinstwasserkraftwerke – Einführung in Bau und Betrieb»

In der Schweiz besteht ein beträchtliches Potential für Kleinstwasserkraftwerke. Dank Förderungsmassnahmen von Bund und Kantonen kann sich die Realisierung einer solchen Anlage aus finanzieller Sicht als interessant erweisen.

Für den Einstieg in diese Thematik dient der Faltprospekt «Kleinstwasserkraftwerke». Ausführlichere Informationen enthält die vorliegende Broschüre. Sie ist eine Übersetzung der bereits erschienenen französischsprachigen Publikation «Petites centrales hydrauliques» des Bundesamtes für Konjunkturfragen. Sie richtet sich an all jene, die sich generell über Kleinstwasserkraftwerke informieren möchten oder eine Anlage zu realisieren gedenken. Die vorliegende Broschüre wird durch kantonale Informationsblätter zum Thema Kleinstwasserkraftwerke ergänzt. All diese Publikationen können bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ) in 3000 Bern bezogen werden.

Die Zukunft der Kleinstwasserkraftwerke ist aufs engste mit der Entwicklung der Strompreise, im besonderen der Rücklieferungstarife verbunden. Zu Redaktionsschluss dieser Broschüre zeichnen sich rasche, für die Kleinstwasserkraftnutzung erfreuliche Veränderungen ab.

1993, 96 Seiten
Bestell-Nr. 724.244 d
Fr. 25.-

Faltblatt: «Kleinstwasserkraftwerke»

Prospekt für Entscheidungsträger mit einem Kurztext über dezentrale, umweltgerechte Energieerzeugung sowie Beispielen: Reaktivierung und Modernisierung alter Anlagen sowie Elektrizitätsversorgung von Siedlungen und Alpwirtschaften, die nicht ans öffentliche Stromnetz angeschlossen sind.

1993, Bestell-Nr. 724.245 d
gratis





Volkswirtschaftliche Aspekte der erneuerbaren Energien:

«Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge im Strom- und Wärmebereich. Neue Argumente für Investitionsentscheide».

Die Strom- und Wärmeversorgung verursacht Kosten, die in den Energiepreisen nicht enthalten sind und für die die jeweiligen KonsumentInnen nichts bezahlen: Das sind sogenannte externe Kosten, wie zum Beispiel die Kosten der Luftverschmutzung, die nicht versicherten Risiken von Grossunfällen, die Beeinträchtigung von Naturräumen, etc. Solange diese Kosten extern bleiben und nicht in die Wirtschaftlichkeitskalküle der InvestorInnen und KonsumentInnen einbezogen werden, solange werden diese Umweltressourcen verschwendet, was zu übermässiger Umweltbelastung führt. Die wichtigsten externen Effekte der Strom- und Wärmeversorgung werden identifiziert, ihr Ausmass quantifiziert und die resultierenden Kosten monetarisiert: Externe Kosten der Luftverschmutzung (Waldschäden, landwirtschaftliche Produktionsausfälle, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden), externe Kosten der ölbedingten Meeres- und Bodenverschmutzung, Kosten des Treibhauseffektes, externe Kosten der Elektrizitätsproduktion und -Verteilung (Beeinträchtigung von Gewässern und der Landschaft, Grossrisiken bei KKW und Staudämmen). Pro Energieträger und pro Energiesystem (z.B. Gasheizungen, Ölheizungen, Gas-WKK-Anlagen, etc.) resultieren daraus kalkulatorische Energiepreiszuschläge (Rp./kWh), welche die monetarisierten externen Kosten widerspiegeln. Die Risiken eines KKW-Grossunfalles oder eines Staudammbruches werden separat behandelt. Die spezielle Risikosituation bei solchen Grossereignissen -sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit aber extrem grosse Auswirkungen- wirft heikle methodische Probleme auf. Die externen Kosten der Grossrisiken werden in der Form von Risikozuschlägen ausgewiesen.

Die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge und die Risikozuschläge können für eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung **verwendet** werden, welche externe Kosten integriert. Sie bilden eine Grundlage für die Evaluation von energie- und umweltpolitischen Massnahmen (Kosten/Nutzen-Überlegungen bei Sparmassnahmen, etc.).

Die Arbeit richtet sich an öffentliche und private InvestorInnen sowie an Interessierte aus Planungs-, Architektur-, Ingenieur- und Beratungsbüros, die bei ihren Projekten umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anstellen, aber auch an Vollzugsfachleute in den Bereichen Energie und Umwelt, an Energie- und UmweltpolitikerInnen sowie generell an den Kreis von energie- und umweltpolitisch Interessierten.

1994, 169 Seiten
Bestell-Nr. 724.270 d
Fr. 36.-





PACER-Treffpunkt

«Gebäude im Zeichen der Sonne» Tagungsband des 1. PACER-Treffpunktes 1993.

Fragen nach intelligentem Energieeinsatz und nach der Anwendung erneuerbarer Energien im Bauwesen erhalten heutzutage infolge ökologischer und ökonomischer Randbedingungen eine wachsende Bedeutung. Bei den Entscheidungsträgern/innen finden die erneuerbaren Energien aus verschiedenen Gründen noch nicht die verdiente Beachtung. Die Konkurrenzfähigkeit könnte jedoch durch Anwendung marktwirtschaftlicher Instrumente wie kalkulatorische Energiepreiszuschläge verbessert werden. Die öffentliche Hand ist insbesondere gefordert, in einer Vorreiterrolle Energiepreiszuschläge bei Investitionsentscheidungen zu berücksichtigen.

Die Frage nach einem intelligenten Umgang mit erneuerbarer Energie steht auch mit dem Begriff des angemessenen Bauens in Zusammenhang. Machbarkeit, Qualitätsbewusstsein und Komfortverständnis sind Kriterien, die eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Planungs- und Bauprozesses verlangen. Angesprochen sind Architekten/innen, Bauherren, Behördenvertreter/innen und Energiefachleute. Sie sind die Akteure/innen, welche diese Thematik aufgreifen und sich dieser Aufgabe stellen müssen.

Bei der Lösung dieser neuen Aufgabe stehen vier Fragen im Vordergrund.

Was kosten erneuerbare Energien, sind sie nur wirtschaftlich unter dem Gesichtspunkt der Ökologie?

Bietet die Anwendung von erneuerbaren Energien den Architekten/innen neue gestalterische Chancen?

Wie lassen sich die erneuerbaren Energien in den Planungsprozess integrieren?

Können erneuerbare Energien auch bei Umbauten und Sanierungen eingesetzt werden?

Genau auf diese und andere wichtige Fragen versuchte der Treffpunkt PACER 1993 Antworten zu geben. Er stellte neue Werkzeuge für den Planungsalltag sowie Handlungsanleitungen vor und bietet damit allen Fachleuten, die Entscheidungen im Baubereich treffen, ein Hilfsmittel an, um zur Anwendung erneuerbarer Energien motivieren zu können. (1 Artikel und Zusammenfassungen französisch)

1993, 95 Seiten
Bestell-Nr. 724.202.1 d/f
Fr. 25.-

Ausserdem erhältlich:

Photovoltaik und Architektur. Die Integration von Solarzellen in Gebäudehüllen.

Die Nutzung der Sonnenenergie durch photovoltaische Anlagen ist eine wirkliche Alternative zur herkömmlichen Stromerzeugung, doch ihre architektonische Umsetzung lässt noch immerzu wünschen übrig. Das vorliegende Buch zeigt die gestalterischen und technischen Anforderungen für photovoltaische Fassaden und Dächer auf, und es demonstriert, wie diese Elemente in die Architektur der Bauwerke integriert werden können. Durch die anschauliche Darstellung von bereits existierenden Lösungen und zukünftigen Modellen und mit präzisen Sachinformationen über die benötigten Technologien führt dieser Band die Realisierbarkeit einer Architektur vor, in der sich ökologische, technische und ästhetische Aspekte wechselseitig durchdringen.

(viersprachig deutsch, französisch, italienisch, englisch, zahlreiche Abb.)
1993, 120 Seiten
Bestell-Nr. 724.203 d/f/i/e
Fr. 58.-





Materialien zu PACER

Mit «Materialien zu PACER» startete das Impulsprogramm PACER 1993 eine Dokumentationsreihe zu aktuellen Fragen der Anwendung erneuerbarer Energien, inkl. ökologische und ökonomische Aspekte. «Materialien zu PACER» trägt dem Wunsch vieler Beteiligten Rechnung, im Rahmen von PACER erarbeitetes Wissen, das nicht direkt in Kursen umgesetzt werden soll, einem breiten Kreis von Interessierten raschmöglichst zugänglich zu machen.

Die Programmleitung PACER hofft, die Dokumentationsreihe, welche keineswegs auf das Gebäude beschränkt ist, baldmöglichst durch weitere Themen zu ergänzen.

Die ersten vier Hefte sind dem Thema ((Möglichkeiten passivsolarer Massnahmen bei Sanierungen und Umbauten» gewidmet.

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.

1993, Bestell-Nr. 724.210.1 d
Fr. 12.-

Synthesebericht
Autor: Markus Kunz

1993, Bestell-Nr. 724.210.2d
Fr. 12.-

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.
Balkonverglasungen
Autoren: Christian Süsstrunk, Eric Labhard

1993, Bestell-Nr. 724.210.3d
Fr. 12.-

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.
Luftkollektorfassaden
Autoren: Hansruedi Meier, Peter Steiger

1993, Bestell-Nr. 724.210.4d
Fr. 12.-

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten.
Transparente Wärmedämmung
Autoren: Sandro Bernasconi, Heini Glauser,
Andreas Haller, Andreas Herbster, Beat Züsli

Erstmals wurden für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten von Strom und Wärme in Gebäuden geschätzt (Synthesebericht, 1994, Bestell-Nr. 724.270 d)

Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich

1994, Bestell-Nr. 724.270.1 d
Fr. 13.-

Teilbericht 1 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»
AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Jürg Heldstab, Barbara Jäggin, Anita Sigg, Saskia Willemse, Heidi Ramseier, Margrit Sehaal

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie

1994, Bestell-Nr. 724.270.2 d
Fr. 10.-

Teilbericht 2 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»
Autoren: Klaus P. Masuhr, Thomas Oczipka





Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich

Teilbericht 3 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»
 AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Barbara Jäggin, Heidi Ramseier

1994, Bestell-Nr. 724.270.3 d
 Fr. 8.-

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft

Teilbericht 4 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»
 AutorInnen: Klaus P. Masuhr, Inge Weidig, Wolfgang Tautschnig

1994, Bestell-Nr. 724.270.4 d
 Fr. 6.-

Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität

Teilbericht 5 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»
 Autor: Dr. Reinhard Schüssler

1994, Bestell-Nr. 724.270.5 d
 Fr. 5.-

Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen

Teilbericht 6 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»
 Autoren: Walter Ott, Peter Koch

1994, Bestell-Nr. 724.270.6 d
 Fr. 9.-

Zusammenfassung des Syntheseberichts (gratis)

(aussi disponible en français, gratuit)

1994, Bestell-Nr. 724.270.7 d
 1994, no de commande 724.270 f

Ein weiteres Buch (Materialien) ist im Rahmen des Projektes ((Energie in ARA» erstellt worden.

Energie in ARA: Musteranalysen

Für den planenden Ingenieur oder die planende Ingenieurin bietet dieses Buch in Ergänzung zum Handbuch (Bestell-Nr. 724.239 d) wichtige Arbeitsinstrumente zur Erstellung energetischer Analysen: Muster von energetischen Feinanalysen an zwei konkreten ARA sowie ein EDV-Programm dazu (mit Disketten und Erläuterungen).

Autoren: Andreas Baumgartner, Beat Kobel, Hugo Kutil, Ernst A. Müller, Peter Stähli, Rolf Thommen

1994, Bestell-Nr. 724.239.1 d
 Fr. 25.-
 Disketten
 724.239.11 für Macintosh
 724.239.12 für MS DOS



Die drei Impulsprogramme des Bundesamtes für Konjunkturfragen 1990 bis 1995

Impulsprogramme sind auf 6 Jahre befristete Massnahmen zur Vermittlung von neuem Wissen in die berufliche Praxis. Ansatzpunkte sind zielgruppengerechte Information, Aus- und Weiterbildung. Die Vorbereitung und Durchführung erfolgt in enger Kooperation von Wirtschaft Bildungsinstitutionen und Bund.



IP BAU

IP BAU - Erhaltung und Erneuerung

Der volkswirtschaftliche Stellenwert der baulichen Erneuerung ist bedeutend; schon heute werden mehr als 50% der jährlichen Bauinvestitionen für die Bauerneuerung inkl. Ersatzneubau aufgewendet. Nur mit vermehrter fachlicher Kompetenz und ganzheitlichem Denken kann verhindert werden, dass die Qualität unserer Bauten und Anlagen, aber auch die wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Werte unserer Quartiere, Siedlungen, Dorf- und Stadtteile verlorengehen. Das Impulsprogramm BAU erarbeitet Wissen aus den Bereichen Hochbau, Tiefbau und Umfeld - gesamtheitlich und umweltgerecht -, um die Qualität der Erneuerung und Erhaltung zu verbessern und mit guten Lösungen die bestehende Bausubstanz an die heutigen und zukünftigen Anforderungen von Funktion und Nutzung heranzuführen.



RAVEL

RAVEL - Rationelle Verwendung von Elektrizität

Forschungs und Untersuchungsprojekte des Impulsprogrammes RAVEL über den Stromverbrauch in Industrie, Dienstleistung und Haushalt zeigen: Elektrische Energie wird heute oft nicht oder zu wenig intelligent genutzt. D. h. dieselbe Leistung könnte mit einem Bruchteil des bisherigen Stromverbrauches erzielt werden und das wirtschaftlich, ohne Komforteinbusse. Zudem werden mit Strom zum Teil Leistungen erzeugt, für die sich kein Bedürfnis nachweisen lässt. Wird der heute nicht intelligent genutzte Strom frei, erhält unsere Volkswirtschaft neue Spielräume. Damit diese Chance genutzt werden kann, müssen die RAVEL-Erkenntnisse in der Praxis wirksam werden. Dazu werden sie von Fachleuten in sofort anwendbares, praxisgerechtes Wissen aufgearbeitet und in Weiterbildungsakursen, Informationsveranstaltungen und Publikationen an die Praxis vermittelt.



PACER

PACER - Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien können - so die Beurteilung von Experten - einen nicht unwesentlichen Anteil an die Deckung des Energiebedarfs leisten. Sie zeichnen sich ausserdem durch ihre Umweltverträglichkeit aus. Trotzdem ist ihre Anwendung momentan noch gering. Hier setzt PACER an. Das Impulsprogramm will Techniken im Bereich erneuerbarer Energien fördern, die ausgereift sind und sich nahe an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit befinden: passive und aktive Sonnenenergienutzung für die Wärmeerzeugung, Energiegewinnung aus Biomasse und solare Stromproduktion. Zu diesem Zweck bereitet PACER bestehendes Wissen auf, erarbeitet und vermittelt unter anderem Planungshilfen für Architekten, Ingenieure und Installateure sowie Entscheidungsgrundlagen für Bauleute und Behörden.

Bisher erschienene Materialien zu PACER

Mit «Materialien zu PACER» startete 1993 das Impulsprogramm PACER eine Dokumentationsreihe zu aktuellen Fragen der Anwendung erneuerbarer Energien inkl. ökologische und ökonomische Aspekte. «Materialien zu PACER» trägt dem Wunsch vieler Beteiligten Rechnung, im Rahmen von PACER erarbeitetes Wissen, das nicht direkt in Kursen umgesetzt werden soll, einem breiten Kreis von Interessierten raschmöglichst zugänglich zu machen.

Die Programmleitung PACER hofft, die Dokumentationsreihe, welche keineswegs auf das Gebäude beschränkt ist, baldmöglichst durch weitere Themen zu ergänzen.

Die ersten vier Hefte sind dem Thema «Möglichkeiten passivsolarer Massnahmen bei Sanierungen und Umbauten» gewidmet.

Erstmals wurden dann für die Schweiz die häufig diskutierten externen Kosten von Strom und Wärme im Gebäude geschätzt. (Synthesebericht 1994, Bestell-Nr. 724.270 d)

1993,724.210.1d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

Synthesebericht

Autor: Markus Kunz

1993, 724. 210. 2d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

Balkonverglasungen

Autoren: Christian Süsstrunk, Eric Labhard

1993,724.210.361

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

Luftkollektorfassaden

Autoren: Hansruedi Meier, Peter Steiger

1993,724.210.4d

Passivsolare Elemente bei Sanierungen und Umbauten

Transparente Wärmedämmung

Autoren: Sandro Bernasconi, Heini Glauser, Andreas Haller, Andreas Herbster, Beat Züsli

1994, 724.270.1 d

Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich

Teilbericht 1 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Jürg Heldstab, Barbara Jäggin, Anita Sigg, Saskia Willemse, Heidi Ramseier, Margrit Schaal

1994, 724.270.2 d

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie

Teilbericht 2 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autoren: Klaus P. Masuhr, Thomas Oczipka

1994,724.270.3 d

Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich

Teilbericht 3 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Walter Ott, Reto Dettli, Barbara Jäggin, Heidi Ramseier

1994,724.270.4 d

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft

Teilbericht 4 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

AutorInnen: Klaus P. Masuhr, Inge Weidig, Wolfgang Tautschnig

1994,724.270.5 d

Die externen Kosten der Übertragung und Verteilung von Elektrizität

Teilbericht 5 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autor: Dr. Reinhard Schüssler

1994,724.270.6 d

Externe Kosten von Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren, Fenstern und Wärmedämmstoffen

Teilbericht 6 des Projektes «Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für den Strom- und Wärmebereich in der Schweiz»

Autoren: Walter Ott, Peter Koch

Bezugsadresse:

EDMZ, 3000 Bern