

20. Diskussionsforum Ökobilanzen, 19. September 2003
ETH Zürich / Session „Energieträger, erneuerbar“

Photovoltaik

Niels Jungbluth

ESU-services, Uster, www.esu-services.ch

jungbluth@esu-services.ch

Folie 1

Präsentation: Niels Jungbluth



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FSEI

ENIPA

ESMRS

ESU

Folie 2

Präsentation: Niels Jungbluth

Übersicht

- Systemgrenzen
- Bilanzierung und Aufdatierung
- Beispiel Allokation
- Diskussion der Ergebnisse
 - Sachbilanz
 - Unsicherheiten
 - LCIA



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

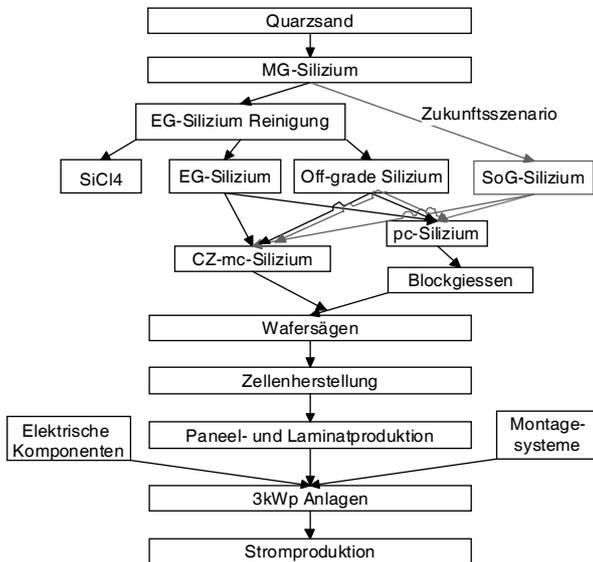
FSEI

ENIPA

ESMRS

ESU

Systemgrenzen



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



Bilanzierte 3kWp Anlagen

Anlagentypen	Zellentypen	Paneeltypen
Schrägdachanlagen	mc-Si	Paneel
	pc-Si	Paneel
	mc-Si	Laminat
	pc-Si	Laminat
	mc-Si, zukünftig	Laminat
	pc-Si, zukünftig	Laminat
Flachdachanlagen	mc-Si	
	pc-Si	
Fassadenanlagen	mc-Si	Paneel
	pc-Si	Paneel
	mc-Si	Laminat
	pc-Si	Laminat



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



➤ Gesamte Kette bilanziert für einen Betrieb in der Schweiz



Vertiefung: Siliziumreinigung



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



- Grosse Unterschiede in verschiedenen LCA
 - Energie Modell
 - Silizium Effizienz
 - Allokation
- Aufteilung in einzelne Prozessschritte
- Länderspezifische Strommodelle für MG-Silizium (Norwegen) und EG-Silizium (Anlage in Deutschland)
- Allokation unter Berücksichtigung aller Produkte
- Aufdatierung der wesentlichen Kennziffern (Energie)
- Berücksichtigung weiterer Emissionen und Infrastruktur

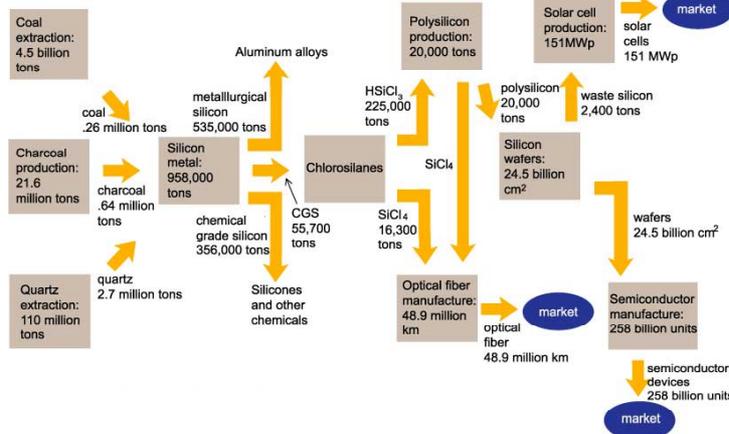


Silizium: Ein globaler Markt



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

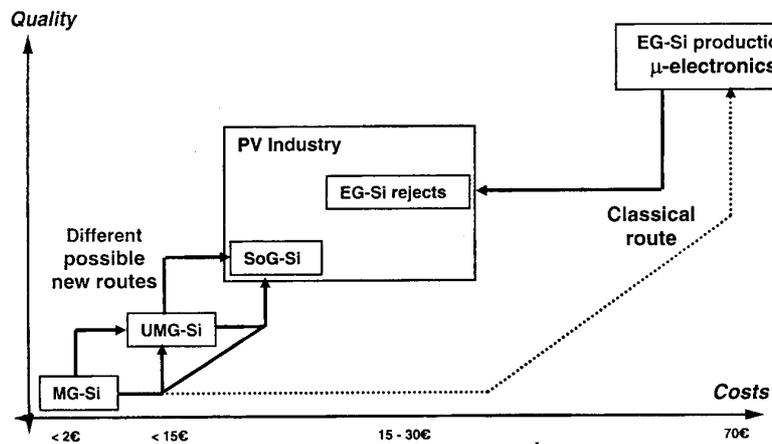
A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



(Williams 2003)

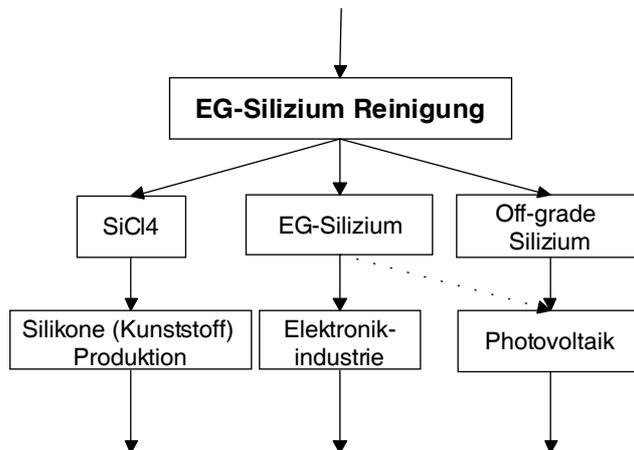


Problem der Allokation



Verschiedene Wege der pc-Silizium Bereitstellung für die Photovoltaikindustrie und Kosten pro Kilogramm (Sarti & Einhaus 2002)

Ein Prozess - Drei Produkte



Sachbilanz mit Allokation



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



	Name	Location	Unit	MG-silicon,	silicon,	silicon,	silicon,	Allocation criteria
				to purification	electronic grade, at plant	electronic grade, off-plant	tetrachloride, at plant	
	Unit			DE kg	DE kg	DE kg	DE kg	
allocated products	silicon, electronic grade, at plant	DE	kg	6.78E-1	100	0	0	Material balance
	silicon, electronic grade, off-plant	DE	kg	8.44E-2	0	100	0	
technosphere	silicon tetrachloride, at plant	DE	kg	1.28E+0	0	0	100	Material balance
	MG-silicon, at plant	NO	kg	1.00E+0	71.1	8.9	20.0	
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	kg	8.32E-1	22.0	2.4	25.6	Revenue all products
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	kg	2.00E+0	48.4	1.6	50.0	Stoichiometric calculation
	natural gas, burned in boiler condensing modulating >100kW	RER	MJ	1.22E+2	96.8	3.2	-	Revenue purified silicon
	electricity, natural gas, at combined cycle plant, best	RER	kWh	8.66E+1	96.8	3.2	-	Revenue purified silicon
	electricity, hydropower, at run-of-river power plant	RER	kWh	2.74E+1	96.8	3.2	-	Revenue purified silicon
price		GLO	€	70.36	75.00	20.00	15.00	
revenue		GLO	€	70.36	50.67	1.69	18.00	

	Name	Location	Unit	MG-silicon,	silicon,	silicon,	silicon,	Allocation criteria
				to purification	electronic grade, at plant	electronic grade, off-plant	tetrachloride, at plant	
	Unit			kg	kg	kg	kg	
allocated products	silicon, electronic grade, at plant	DE	kg	1	1	0	0	Material balance
	silicon, electronic grade, off-plant	DE	kg	0	0	1	0	
technosphere	silicon tetrachloride, at plant	DE	kg	0	0	0	1	Material balance
	MG-silicon, at plant	NO	kg	1.1	1.1	0.2	0.2	
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	kg	6.78E-1	1.81E-4	1.36E-4	0.8	Revenue all products
	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	kg	1.4	0.4	0.8	0.8	Stoichiometric calculation
	natural gas, burned in boiler condensing modulating >100kW	RER	MJ	174.2	46.5	-	-	Revenue purified silicon
	electricity, natural gas, at combined cycle plant, best	RER	kWh	124.1	33.1	-	-	Revenue purified silicon
	electricity, hydropower, at run-of-river power plant	RER	kWh	39.2	10.5	-	-	Revenue purified silicon

➤ Elementary Flow mal Allokationsfaktor geteilt durch Output gleich Bilanz



CZ-Silizium, Casting, Waferherstellung und Zellenproduktion



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



- Aufteilung der Prozessschritte
- Kritische Überprüfung der alten Sachbilanz
- Aufdatierung Silizium Effizienz
- Weitere Emissionen aus Umweltberichten und Literatur

➤ Immer noch zu wenig verlässliche und vollständige Daten



Modul- und Anlagenproduktion, Stromerzeugung

- Berücksichtigung der aktuellen Zellen- und Modulgrößen
- Aufdatierung der Daten zur Zelleneffizienz
 - pc-Si = 14.8%, mc-Si = 16.5%
- Aktueller Ertrag von Anlagen in der Schweiz = 819 kWh/kWp
- Berechnung eines Strommix Photovoltaik für die Schweiz



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FST

ENRPA

ESWRS

ETH ZÜRICH



Zukunftsszenario 2005-2010

- Ziel: Abschätzung für das Potential von Photovoltaik
- Produktion von gereinigtem Solar-grade Silizium in einem eigenen Verfahren
- 50% Anteil von SoG-Silizium für Waferproduktion, 50% Off-grade
- Reduktion des Energieverbrauchs in verschiedenen Stufen auf Minimum der bekannten Werte
- Leicht gestiegene Effizienz der Solarzellen
 - pc-Si = 15.7%, mc-Si = 17.5% (optimiert)



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FST

ENRPA

ESWRS

ETH ZÜRICH



Ergebnis Sachbilanz (Auszug)



Swiss Centre For Life Cycle Inventories

A Joint Initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices

Name	Location	Unit	electricity, photovoltaic, at 3kWp slanted-roof, mc-Si, panel, mounted	MinValue	MaxValue	electricity, photovoltaic, at 3kWp slanted-roof, pc-Si, panel, mounted	MinValue	MaxValue
Particulates, < 2.5 um	high population density	kg	2.0E-6	1.1E-6	3.6E-6	1.7E-6	1.1E-6	2.6E-6
Particulates, < 2.5 um	low population density	kg	1.5E-5	8.2E-6	2.7E-5	1.3E-5	8.1E-6	2.1E-5
Particulates, < 2.5 um	lower stratosphere + upper troposphere	kg	7.5E-16	3.0E-16	1.6E-15	5.9E-16	2.4E-16	1.2E-15
Particulates, < 2.5 um	unspecified	kg	5.0E-6	1.6E-6	1.2E-5	5.0E-6	1.4E-6	1.2E-5
Particulates, < 2.5 um	total	kg	2.2E-5			2.0E-5		



- Etwa 1000 Elementary Flows pro Sachbilanz
- Unterteilung in SubCategories
- Angabe der Min / Max Werte aus der Monte Carlo Simulation



Beispiel Unsicherheitsangabe



Swiss Centre For Life Cycle Inventories

A Joint Initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices

Name	Location	Unit	MG-silicon, to purification	UncertaintyType	StandardDeviation	GeneralComment
Water, cooling, unspecified natural origin	-	m3	4.35E+1	1	1.33	(4,4,2,3,1,5); Literature 1997
MG-silicon, at plant	NO	kg	1.00E+0	1	1.24	(3,1,2,1,1,5); Literature 1997
polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	kg	6.37E-4	1	1.65	(4,4,3,3,4,5); Literature, Hagedom, different plastics
hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	kg	2.00E+0	1	1.11	(3,na,1,1,1,na); Estimation
hydrogen, liquid, at plant	RER	kg	6.26E-2	1	1.33	(4,4,2,3,1,5); Literature 1997

- Lognormalverteilung, Angabe Quadrat der Standardabweichung
- Pedigree Matrix (Reliability, Completeness, Temporal correlation, Geographical cor., Technol. cor., Sample size) mit Einstufung 1-5
- Basic Uncertainty nach Art des Flows

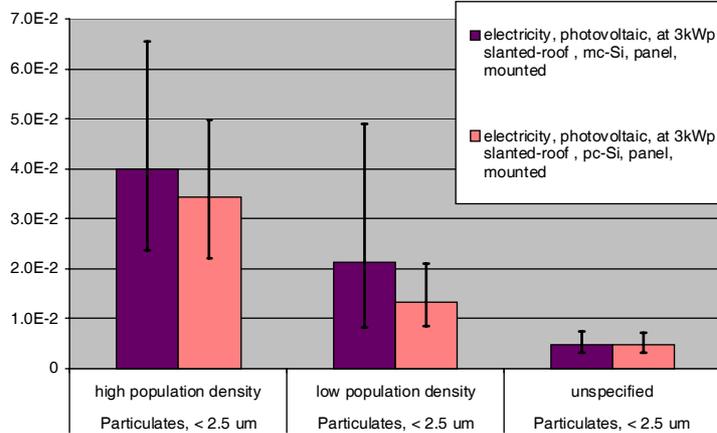


Unsicherheiten



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



Folie 15

Präsentation: Niels Jungbluth

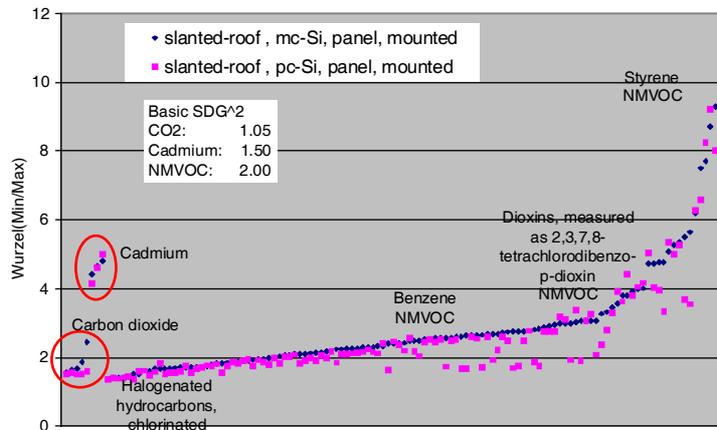


Unsicherheiten



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



Folie 16

Präsentation: Niels Jungbluth

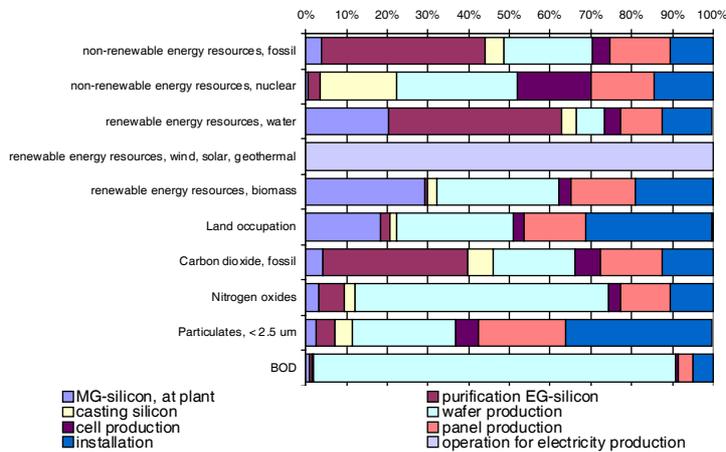


Anteil der Prozessstufen



Swiss Centre For Life Cycle Inventories

A Joint Initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices



Folie 17

Präsentation: Niels Jungbluth

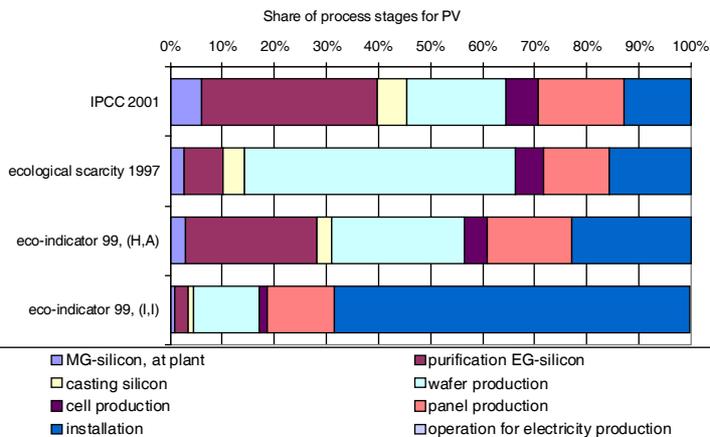


Anteil bei bewerteten Resultaten



Swiss Centre For Life Cycle Inventories

A Joint Initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices



➤ Kupferverbrauch spielt bei der Bewertung mit EI'99 (I,I) eine grosse Rolle

Folie 18

Präsentation: Niels Jungbluth



Schlussfolgerungen Photovoltaik

- Umfassende Überarbeitung der Inventare entsprechend der heutigen Produktionsrealität für die Anwendung in der Schweiz
- Abschätzung zukünftiger Optimierung
- Umfassende Berücksichtigung einer Reihe von Umweltauswirkungen
- Grundlage für die Beurteilung und Vergleich erneuerbarer Energiequellen

- Übertragbarkeit:
 - Anpassung für Ertrag bei Betrieb ausserhalb der Schweiz
 - Anpassungen für Energiemodelle und Produktionswege für Produktion ausserhalb Europas



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A joint initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FSE

ENIPA

ESWRS

ESU



20. Diskussionsforum Ökobilanzen, 19. September 2003
ETH Zürich / Session „Energieträger, erneuerbar“

Sonnenkollektoranlagen

Niels Jungbluth

ESU-services, Uster, www.esu-services.ch

jungbluth@esu-services.ch



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A joint initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FSE

ENIPA

ESWRS

ESU



Sonnenkollektoranlagen

- Untersuchung verschiedener Materialien, Komponenten und Beschichtungen
- Beispielanlagen:
 - Flachkollektor/Röhrenkollektor
 - Ein-/Mehrfamilienhaus
 - Warmwasser/Heizung
 - Zusatzheizungen mit Gas, Holz und Strom
- Aktuelle Szenarien für Wärmebereitstellung in Zusammenarbeit mit der SPF Rapperswil für den Betrieb von Beispielanlagen in der Schweiz

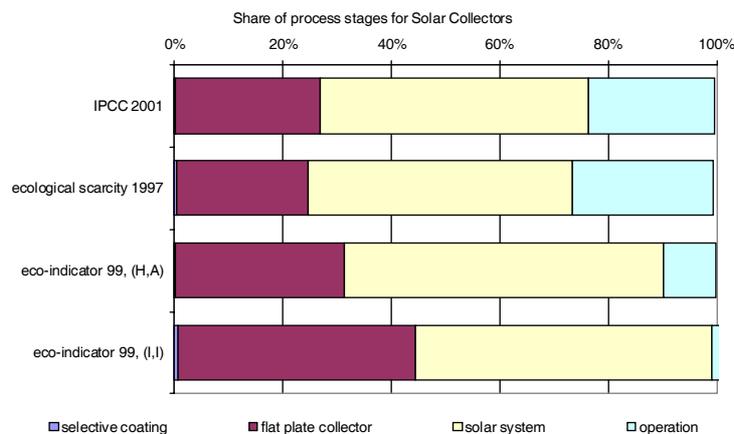


Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



Anteil der Produktionsstufen



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

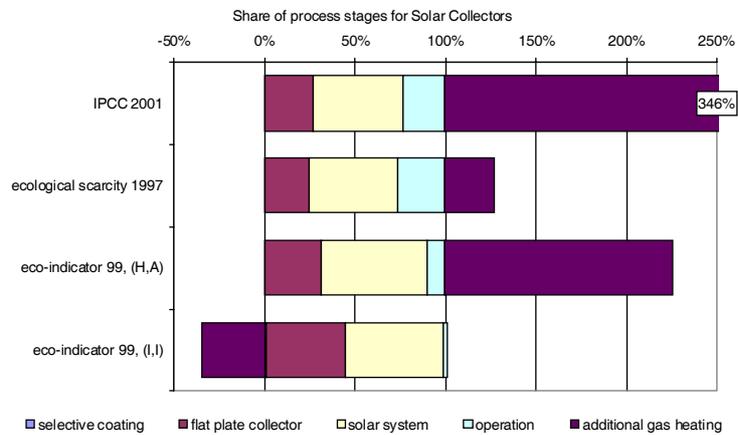
A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices



➤ Beschichtung hat keinen Einfluss



Anteil der Produktionsstufen



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FST

ENIPA

ESWISS

ETH ZÜRICH

➤ EFH, Flachkollektor, Warmwasser

➤ Zusatzheizung (Gas, Wärmeanteil 46%) für das Gesamtsystem sehr bedeutend

Folie 26

Präsentation: Niels Jungbluth

Schlussfolgerungen Sonnenkollektoranlagen



Swiss Centre
For Life Cycle
Inventories

A Joint Initiative of the
ETH domain and Swiss
Federal Offices

ETH

EPFL

FST

ENIPA

ESWISS

ETH ZÜRICH

- Bilanz nur für Beispielanlagen
- Grundlage für standortspezifische Optimierung
 - Ertragsrechnung
 - Grundlagenbilanz der Komponenten
 - Einbezug des Zusatzheizsystems
 - Detaillierte Betrachtung spezifischer Inputs, z.B. selektive Beschichtungen, Solarglas, etc.

Folie 28

Präsentation: Niels Jungbluth

