



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

Transport Systems

Michael Spielmann
Thomas Kägi
Phillip Stadler
Olaf Tietje

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich(ETHZ)
Natural Social Science Interface
spielmann@uns.umnw.ethz.ch

Folie 2

Präsentation: Michael Spielmann



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Transport Systems: Gliederung

- Genereller Überblick über Umfang und Herangehensweise zur Modellierung von Transportsystemen
- Beispiel: Air Transportation
- Einige erste Ergebnisse
- Fazit



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH

SENER

PSI

EMPA

EMSL

EPFL



Transport Systems:

Zielsetzung:

Bereitstellung eines Satzes hochrageregierter

Umweltverkehrsdaten, um die Lebenszyklen von Energie- und Materialsystemen zu vervollständigen.

→ Fokussierung auf Fracht- bzw. Gütertransport

→ **!!!** Eine direkte Nutzung der Ergebnisse zum Vergleich von verschiedenen Transportsystemen ist nicht immer angezeigt



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH

SENER

PSI

EMPA

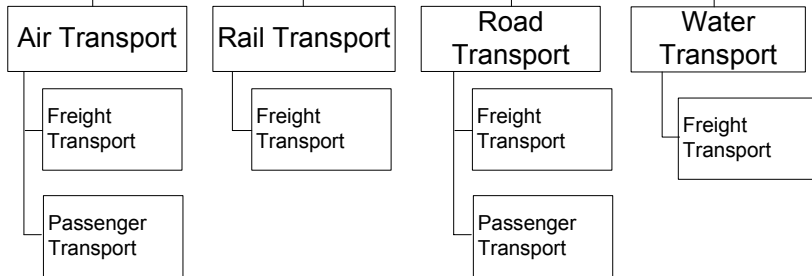
EMSL

EPFL



Transport Systems:

Ecoinvent 2000 Transportation (tkm)



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

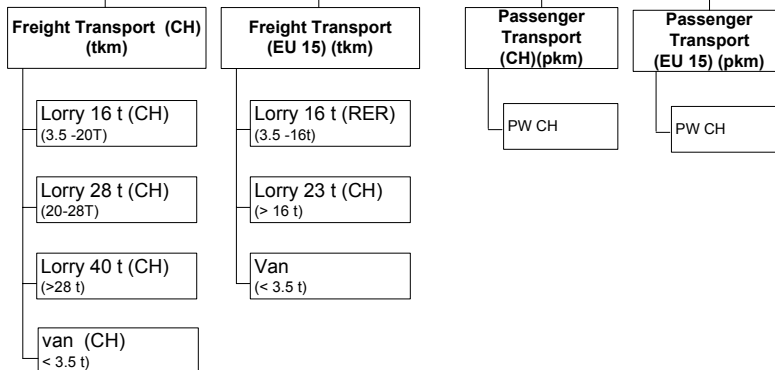


Functional Unit:

tkm: Unit of Measure of goods transportation, which represents the transport of one tonne of goods by a certain means of transportation over one kilometre.

Transport Systems: Road Transport

Road Transport (tkm)

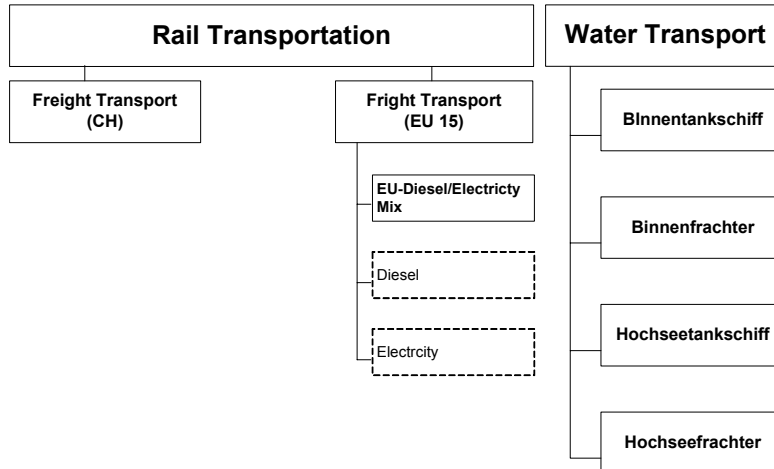


Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Transport Systems: Rail & Water

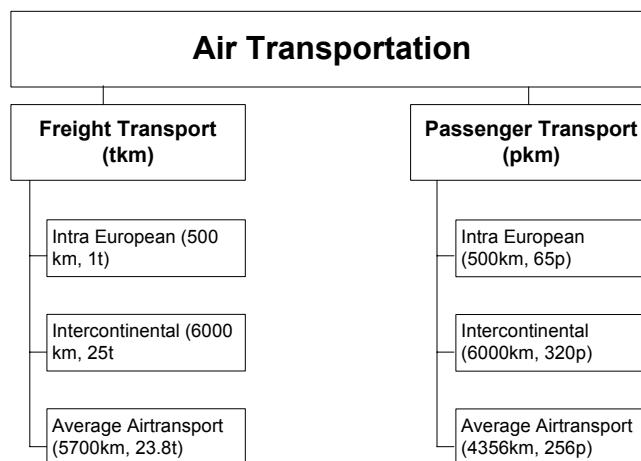


Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Transport Systems: Air Transport

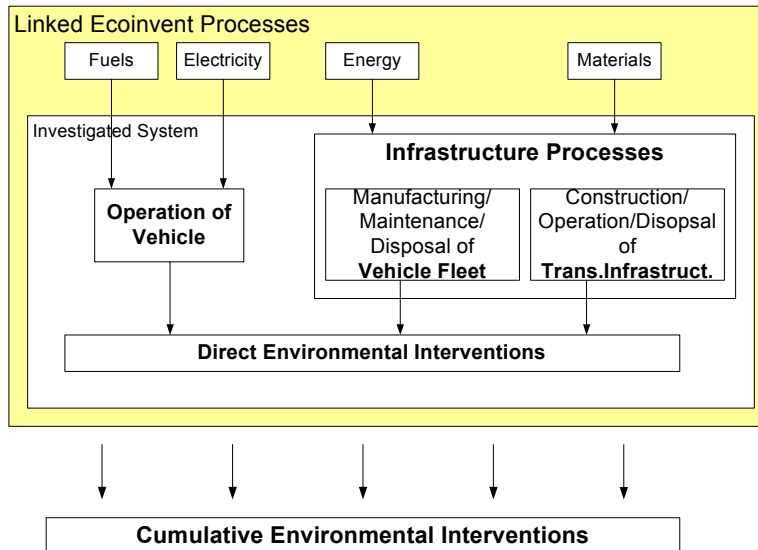


Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Transport Systems: Aufbau



Folie 9

Präsentation: Michael Spielmann

ecoinvent
Zentrum

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EMPA

PSI

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

Transport Systems: Annahmen Infra

- Bereits errichtete Infrastruktur wird mit Modulen berechnet, die den heutigen (2000) Produktionsstandard abbilden.
- Zur Verknüpfung von Infrastrukturprozessen mit der FU (tkm) nehmen wir an, dass die heutigen Verkehrsleistungen auch für frühere Zeiten repräsentativ sind.
- Landuse und Betrieb von linienförmigen Infrastrukturen wird über vkm- Performance alloziert.
- Konstruktion und Maintenance von linienförmigen Infrastrukturen wird über Gtkm- Performance alloziert.

Folie 10

Präsentation: Michael Spielmann

ecoinvent
Zentrum

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EMPA

PSI

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

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

Air Transport

Michael Spielmann

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
Natural Social Science Interface

spielmann@uns.umnw.ethz.ch

Folie 11

Präsentation: Michael Spielmann



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

SENER

PSI

EMPA

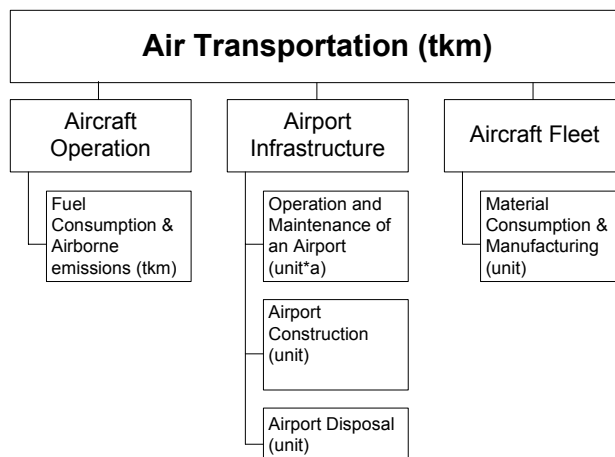
ETH ZÜRICH

ETH ZÜRICH

ETH ZÜRICH



Air Transport: Übersicht



Folie 12

Präsentation: Michael Spielmann



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

SENER

PSI

EMPA

ETH ZÜRICH

ETH ZÜRICH

ETH ZÜRICH



Air Transport: Operation of Aircrafts

Bestimmung des Kerosinverbrauchs



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EMPA

PSI

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

Ansatz:

Top down approach, basierend auf:

- Kerosinverbrauchsdaten
- Transport Performance

Daten vom BAZL (2002) liegen für die verschiedenen Kontinente vor.

Ergebnisse in kg/tkm

Intraeuropean:	0.453
Intercontinental:	0.288
Average Fright Trans:	0.294

Vergleich mit Literaturdaten

Data Source	kg/tkm	Type
Lufthansa (2002) ¹	0.185	average
Lufthansa 1997 ²	0.245	average
Ifeu ³	0.381	short and medium haul
Ifeu ³	0.253	long distance
CE ⁴	0.453	short and medium haul
CE ⁴	0.256	long distance
INFRAS ⁵	0.280	no specification

Folie 13

Präsentation: Michael Spielmann



Air Transport: Operation of Aircrafts

Bestimmung der direkten Emissionen



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EMPA

PSI

EMPA

EMPA

EMPA

EMPA

Ansatz:

Die Grundlage der spezifischen Emissionen bilden „Emission Indices“ (EI):

Def.: Mass of a substance in grams per kilogram of fuel burned.

Emissionstypen:

- Airborne Gaseous Emissions
- Particulate Emissions
- Heavy Metal Emissions

Ort der Emission:

- lower stratosphere + upper troposphere (30% of the cruising)
- low population density (LTO)
- Unspecified (70% of cruising)

Folie 14

Präsentation: Michael Spielmann



Air Transport: Operation of Aircrafts



Bestimmung der direkten Emissionen

Airborne Gaseous Emissions

1. Treibstoffzusammensetzung abhängige Emissionen

Summenformal Kerosin: $C_{12}H_{23}$

→ CO_2 : 3150 g/kg

→ H_2O : 1240 g/kg

Schwefelgehalt im Treibstoff: international threshold: 0.05 M%

→ SO_2 -Emissionen: 1g/kg

2. Verbrennungsprozess abhängige Emissionen

Stickoxyde (NO_x); Kohlenmonoxyd (CO); Kohlenwasserstoffe (HC) :

Einflussgrössen: Type of Aircraft Engine; Actual Operating Conditions;

Ambient Conditions.

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter



Air Transport: Operation of Aircrafts



Bestimmung der direkten Emissionen

Emission	Specific emission (g/kg fuel)					
	Lufthansa (2001) ¹	UNIQUE (2002) ³	CE (2002) ⁴ State of the art aircraft	CE (2002) ⁴ Today's average aircraft	DLR (2001) ⁵	This project
CO ₂	3145	3170	3150	3150	3150	3150
CO	2.5	1	-	-	3.7	3.7
SO ₂	0.5	1	0.6	0.6	-	1
NO _x	15.2	12.5	15	12	14	14
HC	0.49	0.5	1	0.3	1.1	- ⁷⁾
NM VOC						1.05⁶⁾
CH ₄						0.05⁶⁾

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter



Air Transport: Operation of Aircrafts

Bestimmung der direkten Emissionen

NMVOG Split:

	Benzene	Formaldehyde	1,3 Butadiene	Ethylene	Total share on VOC
Unit	% VOC	% VOC	% VOC	% VOC	% VOC
LTO-average	1.9	15	1.8	17.4	36.1

Particulate Emissions:

Magnitude: old engine: 0.07 - 0.11 g/kg

new engines: 0.01 - 0.02g/kg

This study: 0.038 g/kg

Size: 10-100 nm (for climb, cruise and decent) → all PM2.5



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Air Transport: Operation of Aircrafts

Bestimmung der direkten Emissionen

Bestimmung/Klassifizierung des Ortes der Emission (3D)

	Distance ¹⁾	LTO ¹⁾	Cruise ¹⁾	Cruise total	LTO	Cruise
Unit	(km)	(kg/LTO)	(kg/km)	(kg)	(%)	(%)
Intra Europe	500	730	2	1'000	42	58
Intercontinental	6'000	3'100	11	66'000	4	96

1: figures are derived from Dings, 2002



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Air Transport: Operation of Aircrafts



Passagiertransport

Referenz: pkm

→ Umrechnung von tkm in pkm

Umrechnungsfaktoren (gewicht eines Passagiers)

BAZL/BFS (2002):	100 kg (70+30)
Maibach (1999):	190 kg (incl. Sitze etc.)
Dings (2002):	240 kg (including all facilities, Personal)

Spezifischer Energieverbrauch:

Intra European:	0.109 kg/pkm
Intercontinental:	0.069 kg/pkm
Average:	0.082 kg/pkm

Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH

SEPA

PSI

EMPA

ETH ZÜRICH

ETH BASEL

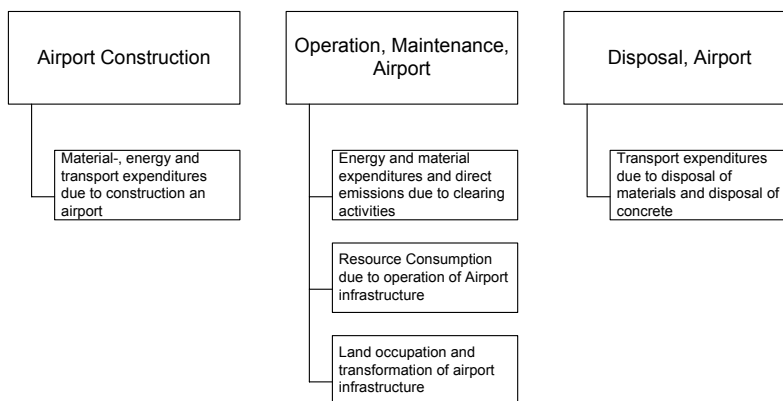
ETH SÄKTEN



Air Transport: Airport Infrastructure



Airport Infrastructure



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH

SEPA

PSI

EMPA

ETH ZÜRICH

ETH BASEL

ETH SÄKTEN



Air Transport: Airport Infrastructure



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Flugzeugabfertigung (Aircraft Clearing):

- Transport Services beim Beladen und entladen der Flugzeuge.
- Turbinenstart und Betrieb von Hilfsturbinen.
- Enteisung von Pisten und Flugzeugen
- Aktivitäten in Service Garagen (VOC-Emissionen)

Data available from Environmental reports of uniqueairport (2000; 2002).

Notwendige Anpassungen:

- Vermeiden von „Double counting“: Kerosinverbrauch und damit verbundenen Emissionen sind bereits in der Betriebsphase verrechnet.
- Mittelwertbildung für Enteisungsmiteinsatz über drei Jahre um jährliche Schwankungen auszugleichen. (next slide)

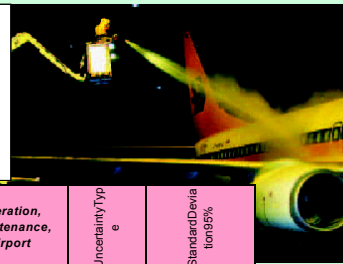
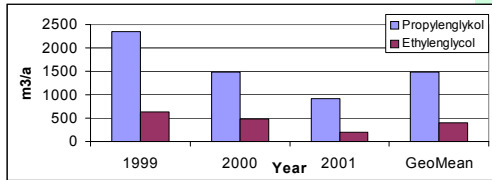


Air Transport: Airport Infrastructure



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Name	Category	Unit	operation, maintenance, airport	UncertaintyType	StandardDeviation95%
Location InfrastructureProcess Unit					
operation, maintenance, airport		unit	1.00E+0		
BOD5, Biological Oxygen Demand	water	kg	6.81E+5	1.00E+0	6.00
DOC, Dissolved Organic Carbon	water	kg	2.02E+5	1.00E+0	6.00
TOC, Total Organic Carbon	water	kg	2.02E+5	1.00E+0	6.00
COD, Chemical Oxygen Demand	water	kg	6.81E+5	1.00E+0	6.00



Air Transport: Airport Infrastructure



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

Land Use

Land type subcategories:

Industrial area, vegetation: die gesamte nicht versiegelte Fläche

Industrial area, built up: bebaute versiegelte Fläche

Traffic area, road network: Pisten, Aircraft Parking

ETH

STERN

PSI

EMPA

ETH

ETH

Land Use Type	Unit	Total
Occupation, industrial area	m2a/unit	8.80E+06
Occupation, industrial area, built up	m2a/unit	4.00E+05
Occupation, industrial area, vegetation	m2a/unit	5.50E+06
Occupation, traffic area, road network	m2a/unit	2.90E+06



Air Transport: Airport Infrastructure



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

Flughafenbau

- Daten basieren auf Maibach 1999
- Die Aufwendungen in Maibach beschränken sich auf die versiegelte Fläche des Flughafen Kloten Anfang der 90er Jahre ohne Aufwendungen für Gebäude.
- → Korrektur:
- 1. Anpassung der Fläche (190 -> 290 ha)
- 2. Abschätzen der Aufwendungen für den Bau (Kellenberger, 2003)
 - 70% halls
 - 30% multi storey buildings (5 floors, mit einer Höhe von 2.7 m)

ETH

STERN

PSI

EMPA

ETH

ETH



Air Transport: Aircraft Fleet



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Long Haul Aircraft

Airbus A340-600

Max. zero flight weight: 240t

Typical seating: 380 seats

Medium Haul Aircraft

Airbus A320

Max. zero flight weight: 61t

Typical seating: 150 seats



Air Transport: Aircraft Fleet



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

Material Einsatz:

	Unit	Short/medium haul	Long haul	Average Freight Transport	Average Passenger Transport
Max. zero fuel weight	t	61	240	233.7	181.7
Aluminium	t/unit	54.9	216	210.3	163.5
Polyethylene, HDPE, granulate,	t/unit	6.1	24	23.7	18.2



Air Transport: Aircraft Fleet



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter



Flugzeug Herstellung:

Die Daten repräsentieren 16 Airbus Manufacturing Facilities.

Die Daten sind aus dem Umweltbericht erhältlich als jährliche Gesamtinterventionen und bezogen auf einen Sitz.

Die Daten beinhalten Flugzeugspezifische Herstellungsprozesse:

- Metalbearbeitung
- Oberflächenfinishing und -behandlung
- Komponenten Assembly
- Endassembly



Air Transport: Aircraft Fleet



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

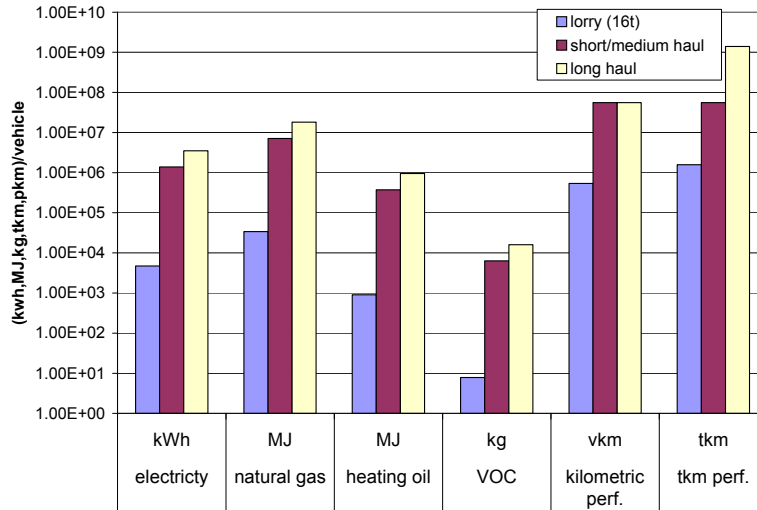


Auswahl der wichtigsten Environmental Interventions:

	Seats	Electricity	Natural gas	Heating oil	VOC emissions	total water consumption n/ discharge
	number	kWh/unit	MJ/unit	MJ/unit	kg/unit	M3/unit
Short/medium haul	150	1.39E+06	7.11E+06	3.74E+05	6.30E+03	1.61E+03
Long haul	380	3.51E+06	1.80E+07	9.48E+05	3.51E+06	4.07E+03
Average Fright transport	367.58	3.40E+06	1.74E+07	9.17E+05	3.40E+06	3.93E+03
Average Passenger Transport	304.79	2.82E+06	1.44E+07	7.60E+05	2.82E+06	3.26E+03



Einschub: Vgl. Vehicle Aircraft vs lorry



econvent
Zentrum

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

SENER

PSI

EMPA

EPFL

UNIL

UNIV

Folie 29

Präsentation: Michael Spielmann



Air Transport: Zusammenführung

Ziel: Alle Module auf die Functional Unit beziehen:

Operation- Modul: 1:1 zu übernehmen

Airport Infrastructur: jährliche Performance; ggf. Abschreibung
über Lebensdauer.

Aircraft Fleet: Multiplikation mit Lebensflugeistung

econvent
Zentrum

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

SENER

PSI

EMPA

EPFL

UNIL

UNIV

Folie 30

Präsentation: Michael Spielmann



Air Transport: Zusammenführung



Nachfrage Flugzeug

Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

Reference figure	unit	Freight		Passenger	
		Intra Europe	Intercont.	Intra Europe	Intercont.
Kilometric performance	km/vehicle	5.59E+07	5.59E+07	5.59E+07	5.59E+07
Average load	t/vehicle (p/vehicle)	1	25	65	320
Transport performance	tkm/vehicle (pkm/vehicle)	5.59E+07	1.40E+09	3.63E+09	1.79E+10
Allocation passenger/freight		0.060	0.246	0.940	0.754



Fazit



Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

A lot have been done to create a comprehensive view on transport activities

but a lot of work is needed to understand the and further aggregate the results

