



Transportsysteme

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



FSI



20. Diskussionsforum Ökobilanzen, 05. Dezember 2003
EPF Lausanne / Session „Transportsystems“

Transport Systems

Michael Spielmann
Thomas Kägi
Phillip Stadler
Olaf Tietje

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
Natural Social Science Interface

spielmann@uns.umnw.ethz.ch



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter



Transport Systems: Gliederung



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

- Overview about Scope of the Database and General Approaches of Transport Modelling in „ecoinvent 2000“
- Example: Air Transportation
- Some first Results
- Some Final Remarks

ETH



Transport Systems:

Objective:

Supply a set of highly aggregated environmental inventory data
for various transport systems....

To close gaps in life cycle inventories of energy and material
systems

→ Focus on freight/goods transportation

→ !!! Careful application in transport LCAs



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EPFL

FEI

EMPA

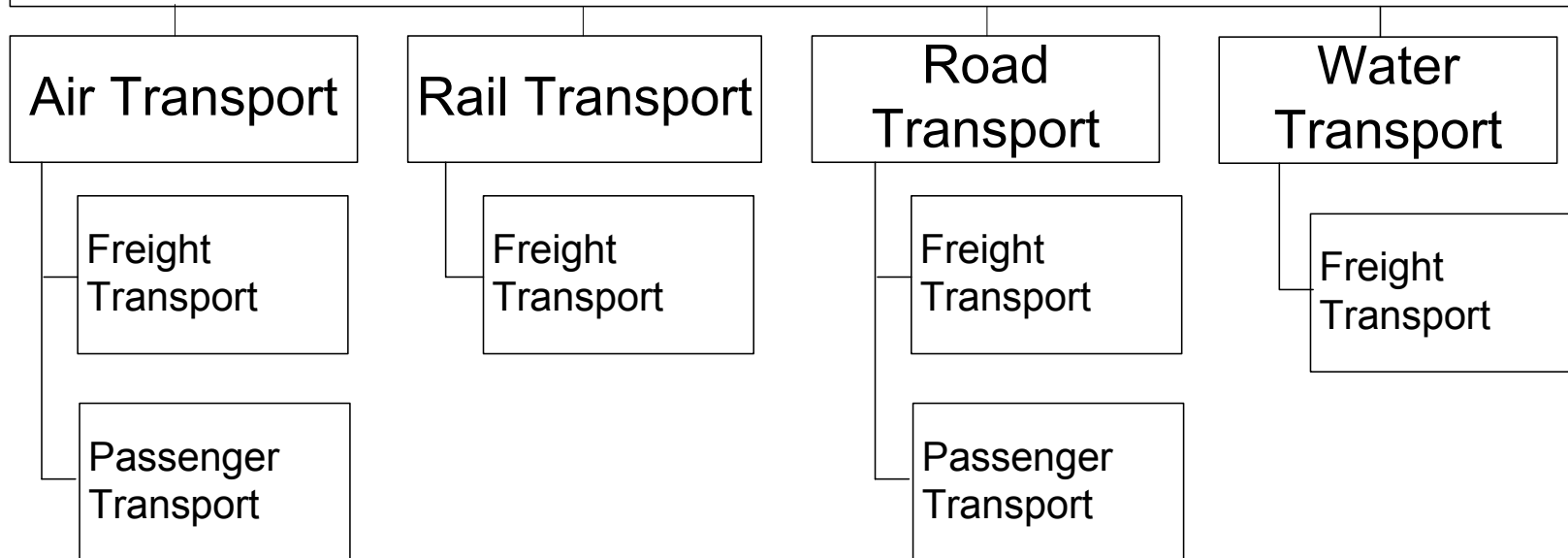
EAWAG

FAL

Transport Systems:



Ecoinvent 2000 Transportation (tkm)



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



Functional Unit:

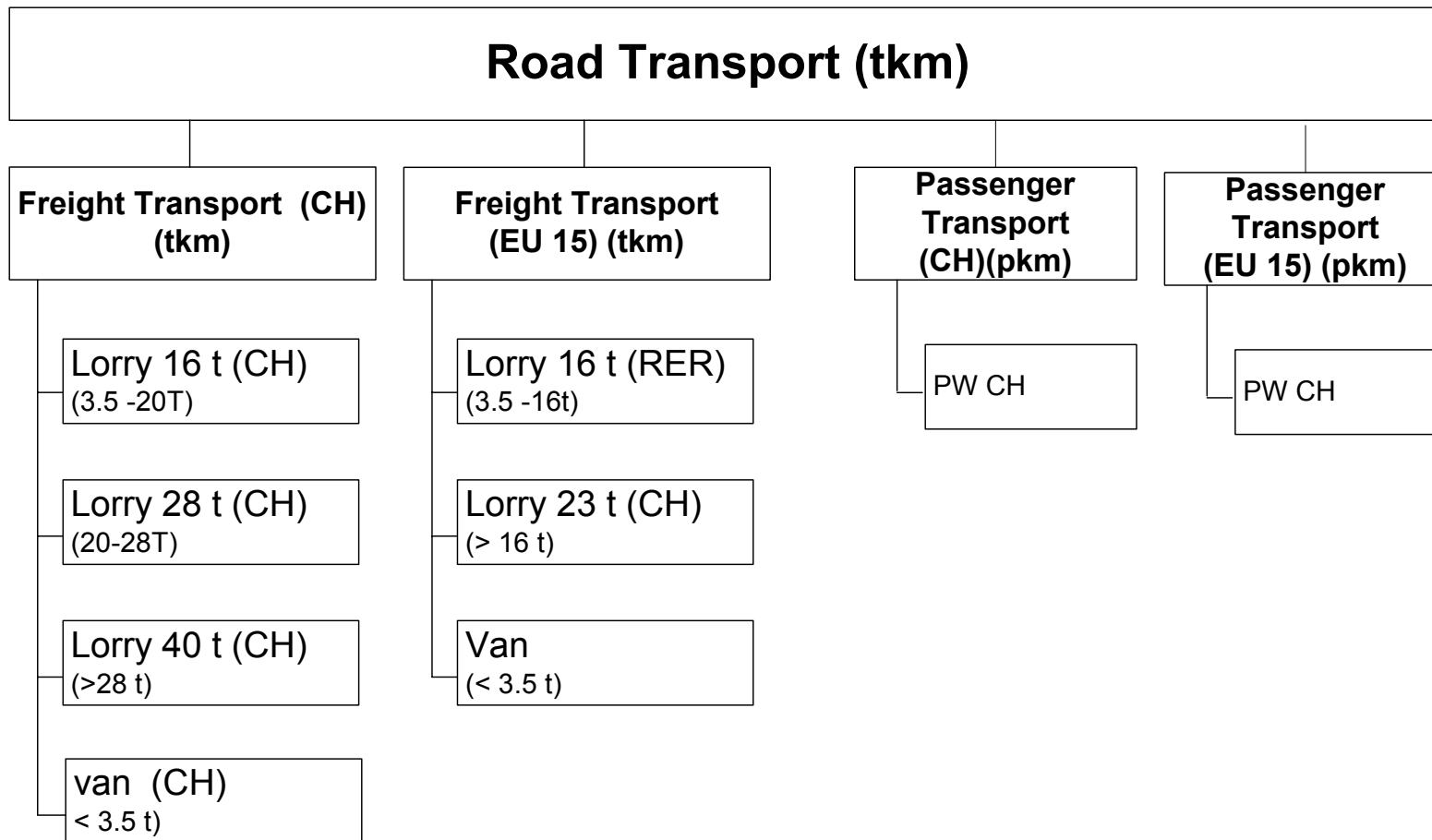
tkm: Unit of Measure of goods transportation, which represents the transport of one tonne of goods by a certain means of transportation over one kilometre.

Transport Systems: Road Transport



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter



ETH

EPFL

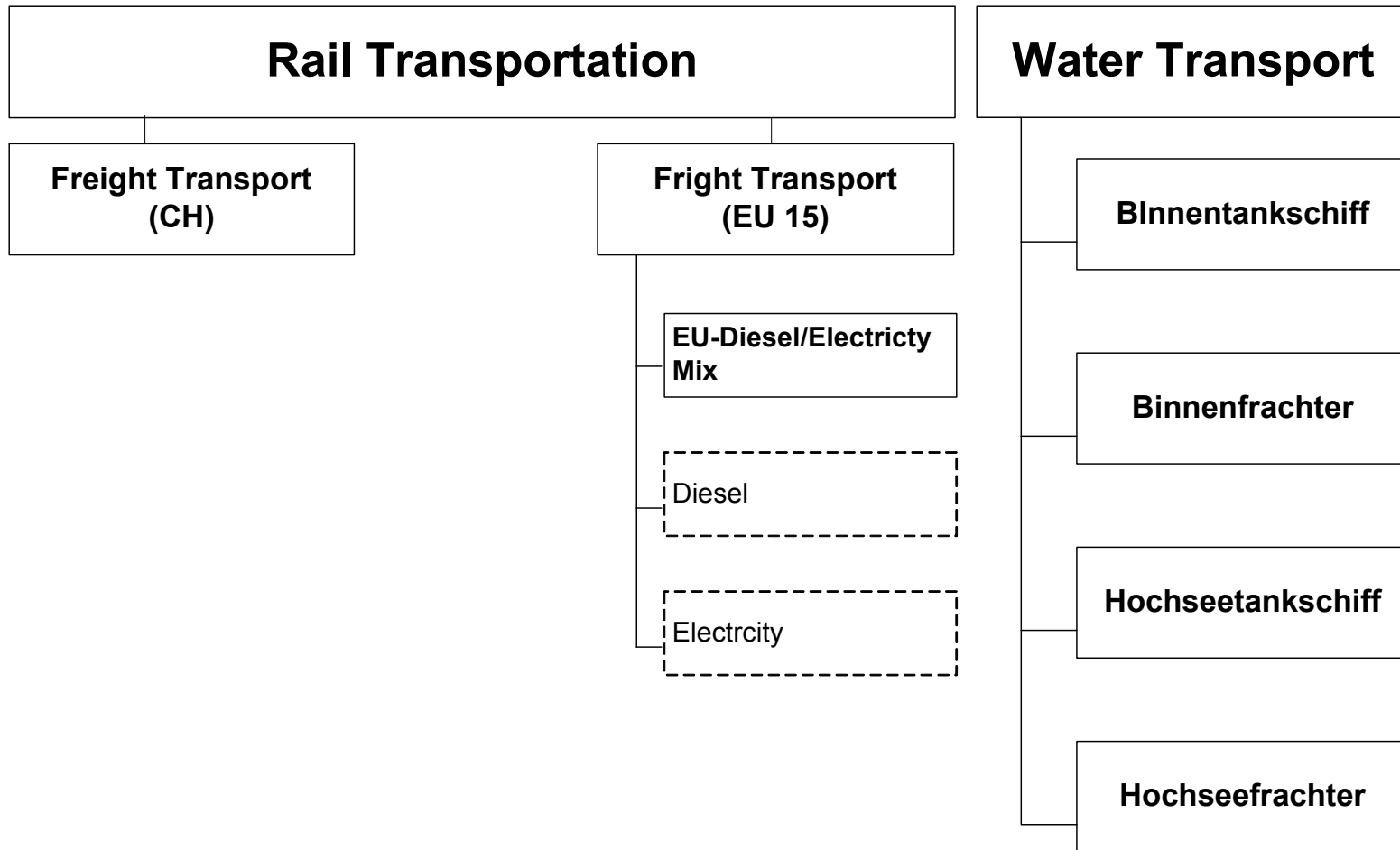
FEI

EMPA

EAWAG

FAL

Transport Systems: Rail & Water



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



FED



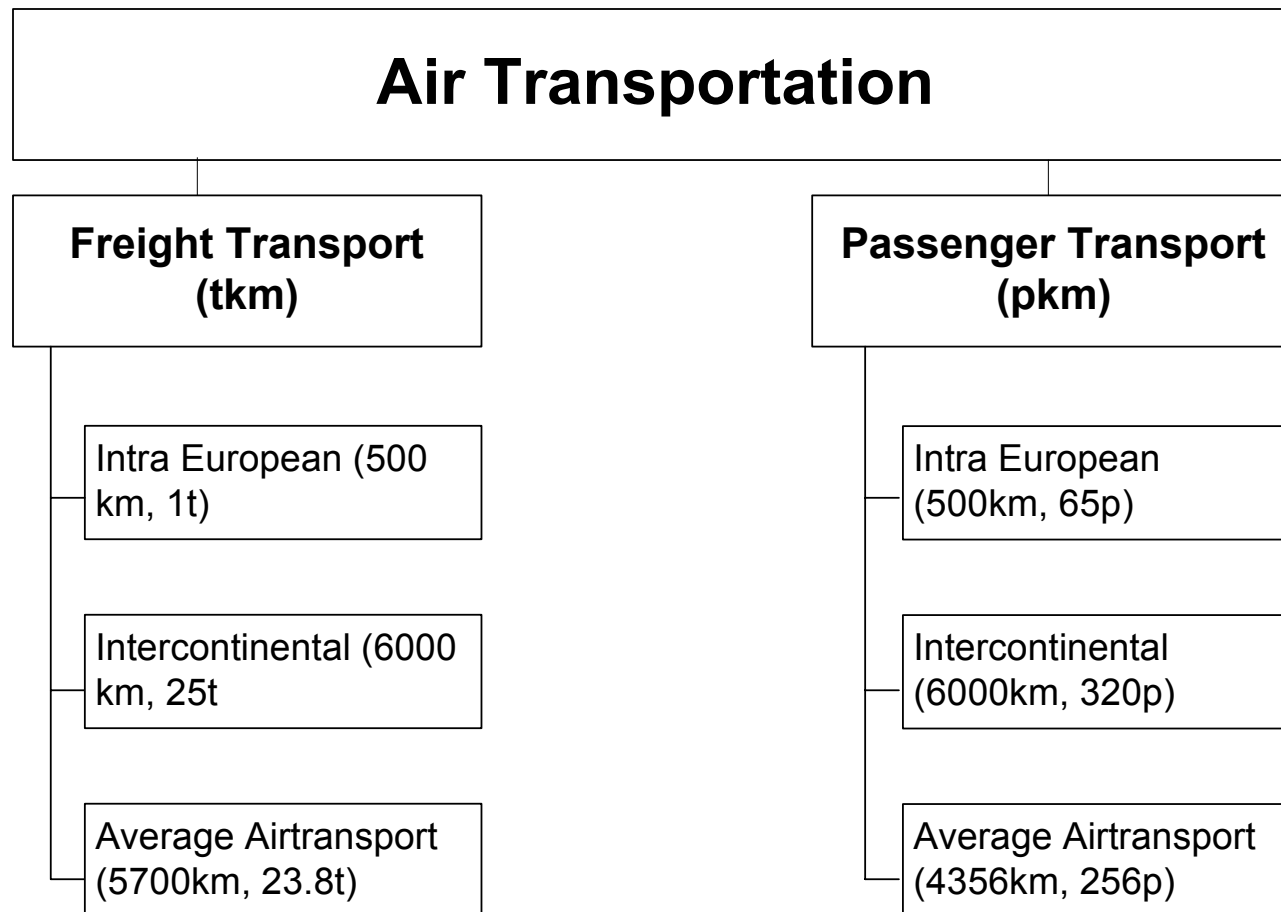
Transport Systems: Air Transport



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

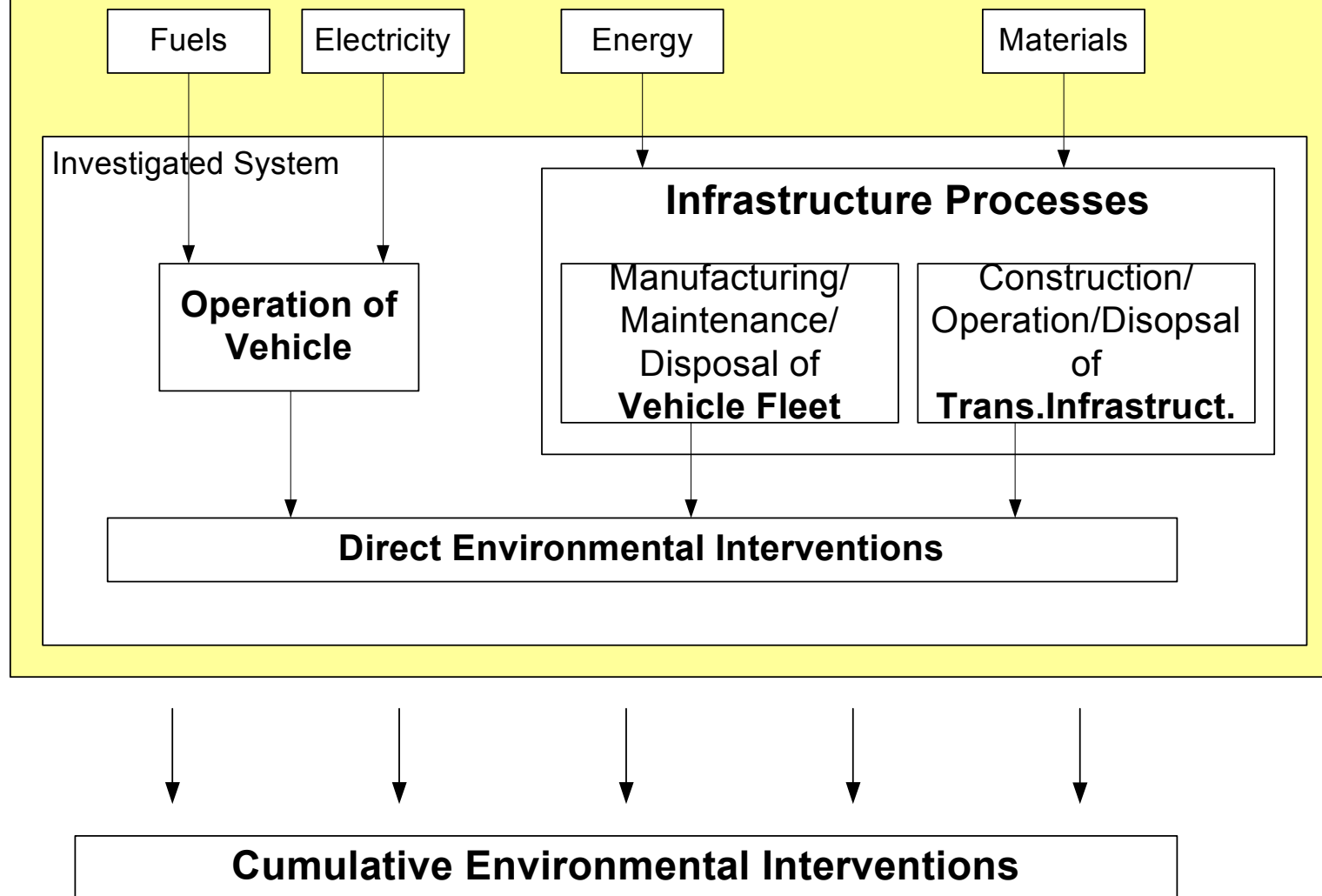
Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



Transport Systems: Aufbau

Linked Ecoinvent Processes



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



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



FEI

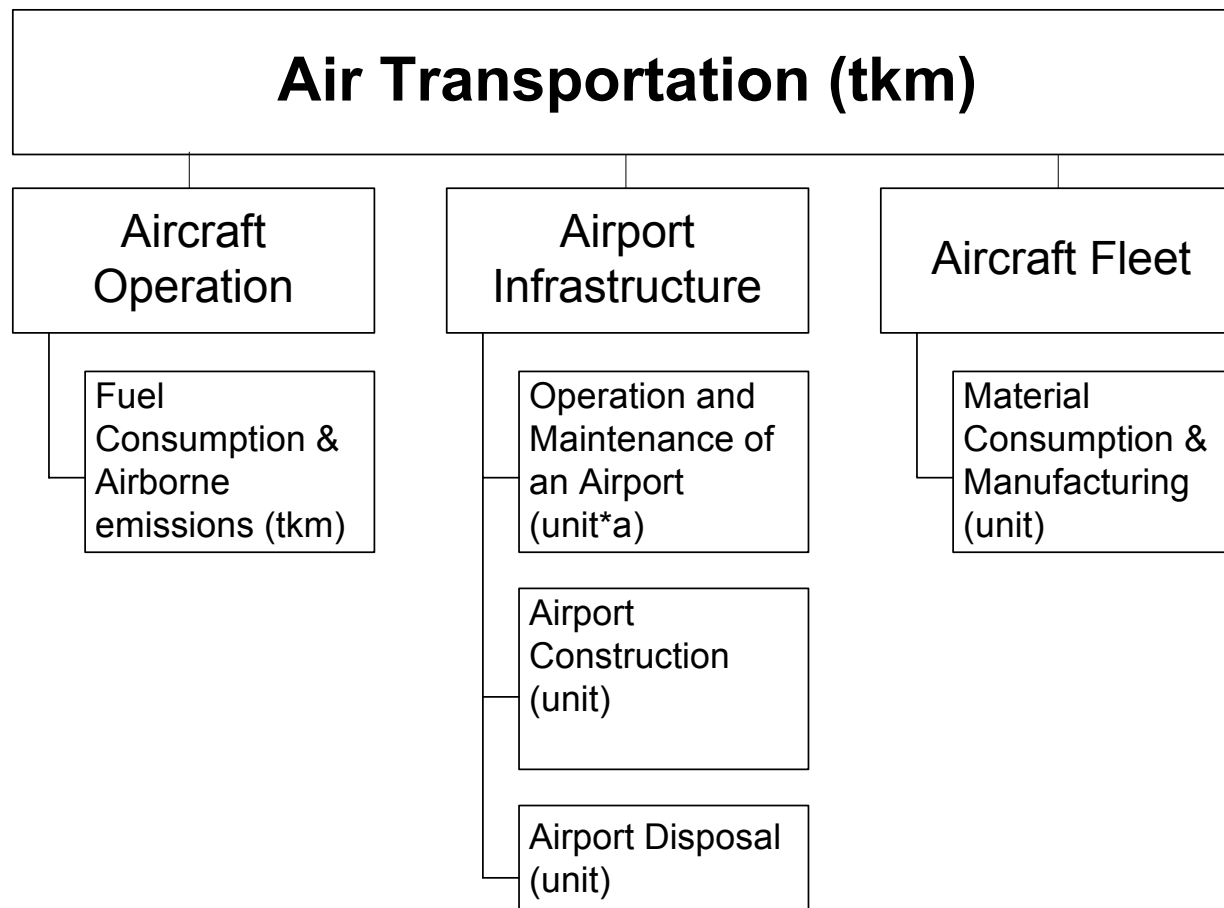


Air Transport: Übersicht



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter



ETH



Air Transport: Operation of Aircrafts



Bestimmung des Kerosinverbrauchs

Ansatz:

Top down approach, based on:

- Kerosin consumption
- Transport performance

Data from BAZL (2002) available for all continents.

Results in kg/tkm

Intraeuropean: **0.453**

Intercontinental: **0.288**

Average Fright Trans: **0.294**

Comparison with other studies

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

Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH



Air Transport: Operation of Aircrafts

Determination of direct emissions

Approach:

Specific emissions (e.g. CO₂/tkm) are derived from „Emission Indices“ (EI) and fuel consumption:

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

Types of Emission:

- Airborne Gaseous Emissions
- Particulate Emissions
- Heavy Metal Emissions

Location of emission:

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



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



FEI



Air Transport: Operation of Aircrafts



Bestimmung der direkten Emissionen

Airborne Gaseous Emissions

1. Fuel composition dependent emissions:

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

→ CO_2 : 3150 g/kg

→ H_2O : 1240 g/kg

Sulphur content: international threshold: 0.3 M%

→ SO_2 -Emissionen: 6g/kg (ecoinvent: 0.05M%)

2. Combustion process dependent emissions:

nitrogens (NO_x); carbon monoxide (CO); Hydrocarbons(HC) :

Impact Factors: Type of Aircraft Engine; Actual Operating Conditions;
Ambient Conditions.

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EPFL

FEI

EMPA

EAWAG

FAL

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

ETH

EPFL

FEI

EMPA

EAWAG

FAL

Air Transport: Operation of Aircrafts



Bestimmung der direkten Emissionen

NMVOC 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

Schweizer Zentrum für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH



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



Air Transport: Operation of Aircrafts



Passagertransport

Reference: pkm

→ Calculation: tkm → pkm

Transformation factors:

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



FEI

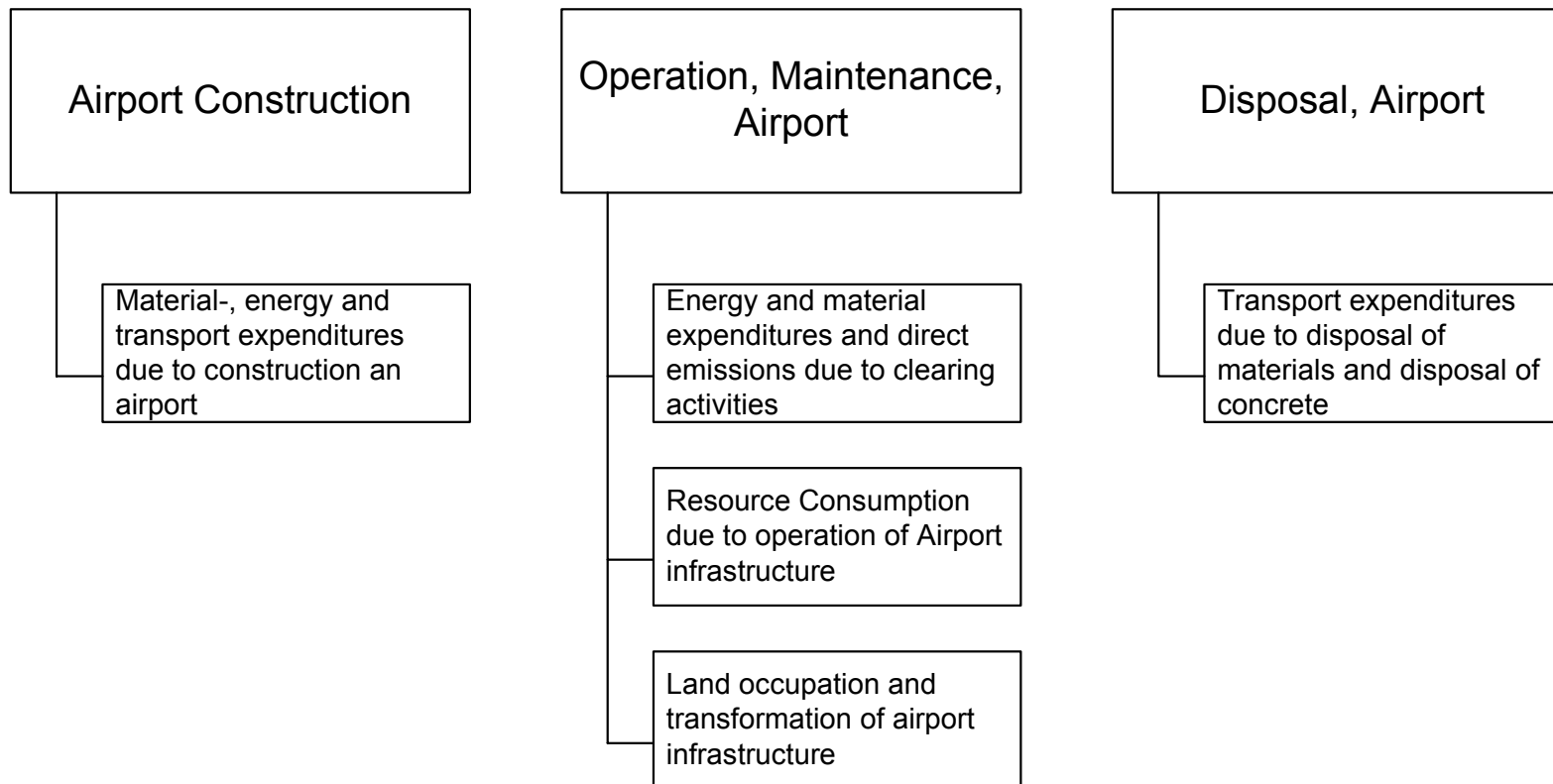


Air Transport: Airport Infrastructure

Airport Infrastructure

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter



ETH

EPFL

FEI

EMPA

EAWAG

FAL

Air Transport: Airport Infrastructure



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

Aircraft Clearing:

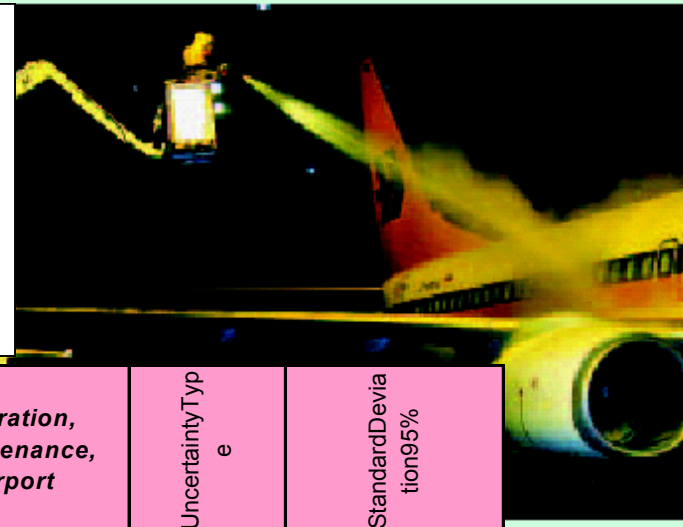
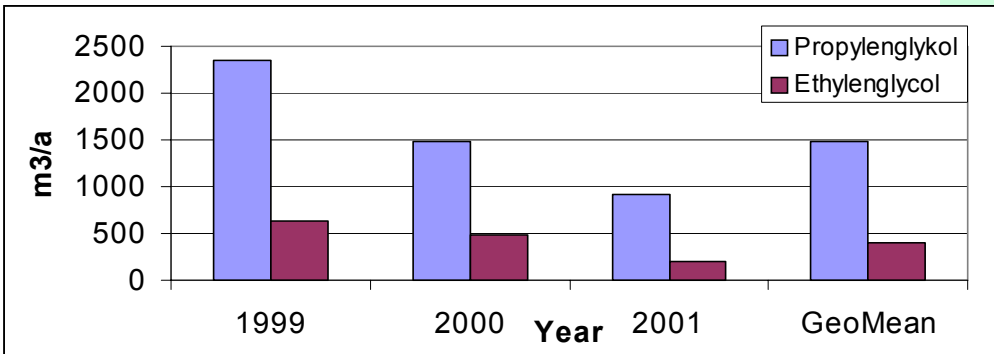
- Transport Services for freight & passengers.
- Start of turbines and operation of auxiliary turbines.
- De Icing of aircrafts and runways
- Activities in service garages (VOC-emissions)

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

ETH



Air Transport: Airport Infrastructure



hweizer Zentrum
r Ökoinventare

e gemeinsame Initiative
ETH-Bereichs
Schweizerischer
desämter

ETH

EPFL

FEI

EMPA

EAWAG

FAL

Name	Category	Unit	operation, maintenance, airport	UncertaintyType	StandardDevia tion95%
Location InfrastructureProcess Unit			RER 0 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



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: 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

ETH



Air Transport: Aircraft Fleet



Material Einsatz:

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

	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

ETH



Air Transport: Aircraft Fleet

Aircraft manufacturing:

Data for 16 Airbus manufacturing facilities.

Available from Environmental Report.

Processes as follows are included:

- Metalworks
- Surface Treatment
- Component Assembly
- Final Assembly



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



FEI



Air Transport: Aircraft Fleet



Environmental Interventions:

Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

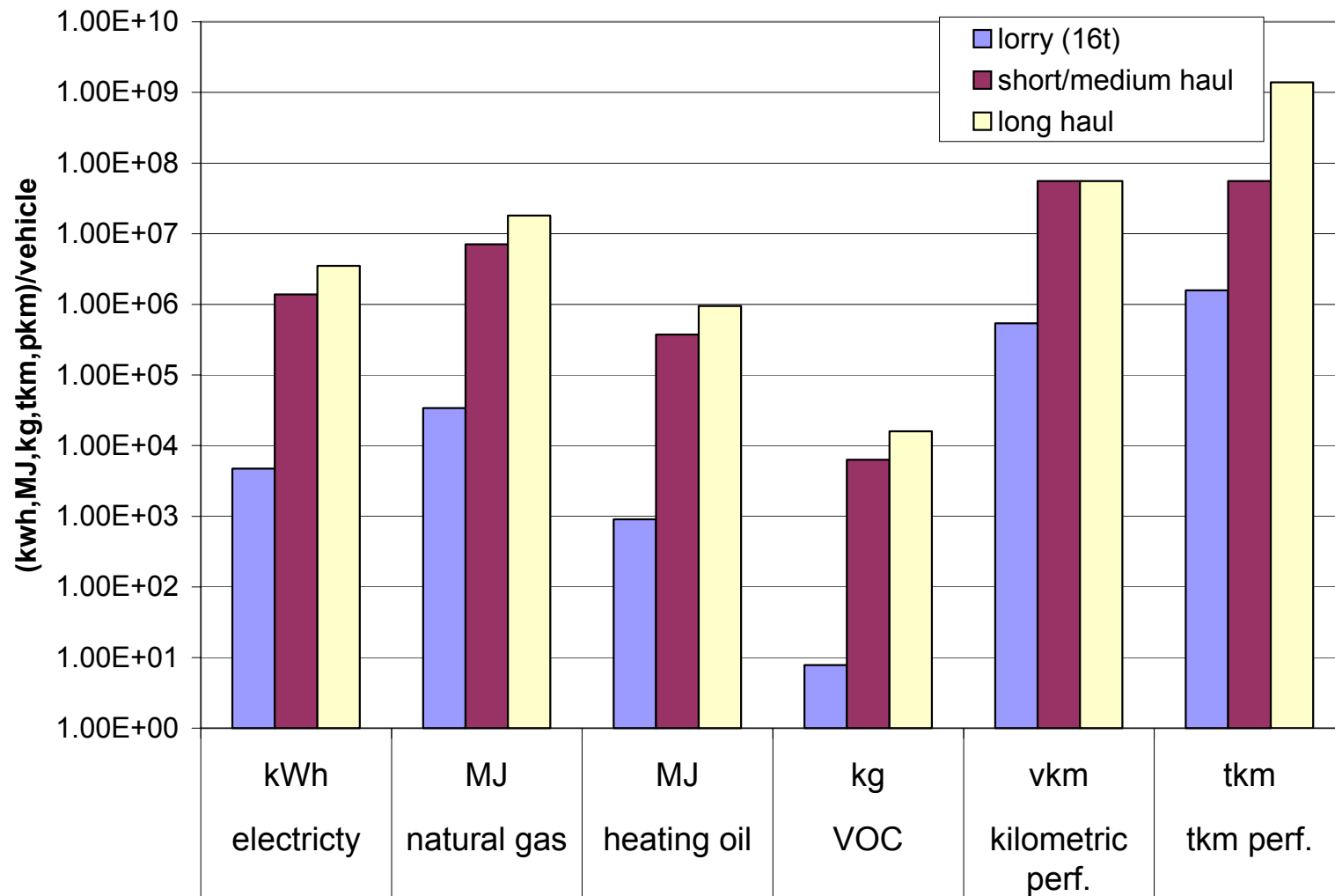
Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

	Seats	Electricity	Natural gas	Heating oil	VOC emissions	total water consumption/ 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

ETH



Einschub: Vgl. Vehicle Aircraft vs lorry



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

Air Transport: Bringing it together



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

Ziel: all modules must be referred to the Functional Unit

Operation- Modul: 1:1

Airport Infrastruktur: inverse value of yearly performance and
life span

Aircraft Fleet: inverse value of aircraft life time
performance

ETH



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

ETH



Air Transport: Bringing it together



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

Name	Location	Infrastruktur eProzess	Unit	transport, aircraft, freight, Europe	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
Location				RER			
InfrastructureProcess				0			
Unit				tkm			
transport, aircraft, freight, Europe	RER	0	tkm	1.00E+0			
operation, aircraft, freight, Europe	RER	0	tkm	1.00E+0	1	1.00	;
aircraft, medium haul	RER	1	unit	1.08E-9	1	1.50E+00	own estimation based on uncertainties in the assumed life time performance of aircrafts and the share of freight.
airport	RER	1	unit	2.58E-12	1	2.00E+0	life span of airports is uncertain
operation, maintenance, airport	RER	0	unit	2.58E-10	1	1.50E+0	uncertainties in flight distance
disposal, airport	RER	1	unit	2.58E-12	1	2.00E+0	life span of airports is uncertain

ETH



Fazit

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



Schweizer Zentrum
für Ökoinventare

Eine gemeinsame Initiative
des ETH-Bereichs
und Schweizerischer
Bundesämter

ETH



FEI

