

Bundesamt für Statistik (BFS), Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

# INTEGRATION DES LUFTVERKEHRS IN DIE TRANSPORTRECHNUNG



INFRAS

Schlussbericht

Zürich/Bern, 2. Mai 2012

(erweitert um die französische und italienische Übersetzung der Zusammenfassung: 13. August 2012)

Martin Peter, Damaris Bertschmann-Aeppli, Remo Zandonella, Markus Maibach (INFRAS)

Christoph Lieb, Stefan Suter (Ecoplan)

2226A\_TRAKOS\_LUFT\_SCHLUSSBERICHT\_120813\_FINAL.DOCX

## ECOPLAN

THUNSTRASSE 22  
CH-3005 BERN  
t +41 31 356 61 61  
f +41 31 356 61 60  
BERN@ECOPLAN.CH

WWW.ECOPLAN.CH

INFRAS

BINZSTRASSE 23  
POSTFACH  
CH-8045 ZÜRICH  
t +41 44 205 95 95  
f +41 44 205 95 99  
ZUERICH@INFRAS.CH

MÜHLEMATTSTRASSE 45  
CH-3007 BERN

WWW.INFRAS.CH

## IMPRESSUM

### Auftraggeber

Bundesamt für Statistik (BFS), Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

### Autoren

Martin Peter, Damaris Bertschmann-Aeppli, Remo Zandonella, Markus Maibach (INFRAS)  
Christoph Lieb, Stefan Suter (Ecoplan)

### Mitglieder der Begleitgruppe

#### *Bundesämter:*

J.-M. Pittet (BFS)  
L. Revertra (BFS)  
Ch. Hürzeler (ARE)  
U. Ziegler (BAZL)  
R. Hofmann (BAZL)  
S. Trauffer (EFV)

#### *Luftfahrtsektor:*

F. Keller (Flughafen Zürich)  
Y. Bertelle (Aéroport International de Genève)  
R. Abegglen (SWISS)  
P. Kurrus (Aérosuisse)

### Zitiervorschlag

Peter M., Bertschmann-Aeppli D., Zandonella R., Maibach M. (Infras),  
Lieb Ch., Suter S. (Ecoplan) 2012: Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung , Studie im Auftrag des BFS und des ARE.

**Die im Bericht enthaltenen Aussagen wurden von den Autoren verfasst und stimmen nicht notwendigerweise mit jenen der Auftraggeber oder der Begleitgruppe überein.**

## ÜBERBLICK

<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>Résumé</b>	<b>22</b>
<b>Compendio</b>	<b>39</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>56</b>
<b>Block I: Abgrenzung und Methodik</b>	<b>57</b>
<b>2. Abgrenzung</b>	<b>57</b>
<b>3. Datenverfügbarkeit</b>	<b>63</b>
<b>4. Differenzierungen der Kosten und Erträge</b>	<b>65</b>
<b>Block II: Transportrechnung Luftverkehr</b>	<b>70</b>
<b>5. Interne Kosten und Erträge</b>	<b>70</b>
<b>6. Externe Kosten</b>	<b>101</b>
<b>7. Gesamtrechnung 2010</b>	<b>216</b>
<b>BLOCK III: Transportrechnung – Verkehrsträgervergleich</b>	<b>230</b>
<b>8. Integration Ergebnisse und Vergleich</b>	<b>230</b>
<b>9. Schlussfolgerungen</b>	<b>236</b>
<b>Anhang: Befragung interne Kosten</b>	<b>241</b>
<b>Glossar</b>	<b>255</b>
<b>Literatur</b>	<b>259</b>

## INHALT

<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>Résumé</b>	<b>22</b>
<b>Compendio</b>	<b>39</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>56</b>
<b>Block I: Abgrenzung und Methodik</b>	<b>57</b>
<b>2. Abgrenzung</b>	<b>57</b>
<b>3. Datenverfügbarkeit</b>	<b>63</b>
<b>4. Differenzierungen der Kosten und Erträge</b>	<b>65</b>
4.1. Kostenart	65
4.2. Kostenstellen	65
4.3. Ertragsart	67
4.4. Kostenträger	69
<b>Block II: Transportrechnung Luftverkehr</b>	<b>70</b>
<b>5. Interne Kosten und Erträge</b>	<b>70</b>
5.1. Methodik	70
5.2. Daten	72
5.3. Annahmen	75
5.4. Resultate	81
5.4.1. Nach Kostenart und Kostenstelle	81
5.4.2. Nach Ertragsart	90
5.4.3. Interner Kostendeckungsgrad	94
5.5. Weitere volkswirtschaftliche Aspekte	95
5.5.1. Beiträge der Gemeinden und Kantone an Flugplätze	95
5.5.2. Historische Kosten	98
<b>6. Externe Kosten</b>	<b>101</b>
6.1. Einleitung und Methodik	101
6.1.1. Berücksichtigte Kostenbereiche	101
6.1.2. Methodisches Vorgehen bei der Berechnung der Kosten	102
6.1.3. Allgemeine Festlegungen	104
6.1.4. Umgang mit Unsicherheiten und Sensitivitätsanalyse	106
6.1.5. Positive Externalitäten des Verkehrs	109
6.2. Unfälle	111

6.2.1.	Vorgehen	111
6.2.2.	Mengengerüst	115
6.2.3.	Wertgerüst	121
6.2.4.	Ergebnis	127
6.2.5.	Sensitivitätsanalyse	136
6.3.	Luftbelastung	142
6.3.1.	Vorgehen	142
6.3.2.	Mengengerüst	147
6.3.3.	Wertgerüst	151
6.3.4.	Ergebnis	152
6.3.5.	Sensitivitätsanalyse	156
6.4.	Lärm	163
6.4.1.	Vorgehen	163
6.4.2.	Mengengerüst	166
6.4.3.	Wertgerüst	171
6.4.4.	Ergebnis	175
6.4.5.	Sensitivitätsanalyse	180
6.5.	Klima	188
6.5.1.	Vorgehen	188
6.5.2.	Mengengerüst	191
6.5.3.	Wertgerüst	193
6.5.4.	Ergebnis	194
6.5.5.	Sensitivitätsanalyse	195
6.6.	Natur- und Landschaft	198
6.6.1.	Vorgehen	198
6.6.2.	Mengengerüst	200
6.6.3.	Wertgerüst	201
6.6.4.	Ergebnis	202
6.6.5.	Sensitivitätsanalyse	203
6.7.	Vor- und nachgelagerte Prozesse	206
6.7.1.	Vorgehen	206
6.7.2.	Mengengerüst	208
6.7.3.	Wertgerüst	210
6.7.4.	Ergebnis	210

6.7.5.	Sensitivitätsanalyse	211
6.8.	Gesamtübersicht externe Kosten	214
<b>7.</b>	<b>Gesamtrechnung 2010</b>	<b>216</b>
7.1.	Kosten	216
7.2.	Erträge	223
7.3.	Kostendeckungsgrade	225
7.4.	Kosten je Verkehrseinheit	227
	<b>BLOCK III: Transportrechnung – Verkehrsträgervergleich</b>	<b>230</b>
<b>8.</b>	<b>Integration Ergebnisse und Vergleich</b>	<b>230</b>
<b>9.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>236</b>
9.1.	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	236
9.2.	Methodische Erkenntnisse	237
	<b>Anhang: Befragung interne Kosten</b>	<b>241</b>
	Linien/Charterverkehr	241
	General Aviation	244
	Verbände Leichtaviatik	247
	Skyguide	249
	Flugplätze	252
	<b>Glossar</b>	<b>255</b>
	<b>Literatur</b>	<b>259</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

### AUSGANGSLAGE

Die Transportrechnung stellt eine Gesamtrechnung für die Verkehrsbereiche dar, welche alle relevanten Kosten der betrachteten Verkehrsträger zusammenfügt und mit den entsprechenden Erträgen vergleicht. Der Bund präsentierte eine Transportrechnung für die Jahre 2003 und 2005 für den Strassen- und Schienenverkehr (BFS 2006 resp. 2009). Bis anhin war der Luftverkehr in der Statistik nicht einbezogen. Diese Lücke wird mit der vorliegenden **Transportrechnung des Luftverkehrs 2010** geschlossen. Sie zeigt erstmals ein umfassendes Bild der Kosten und Erträge des schweizerischen Luftverkehrs und einen Vergleich mit den anderen Verkehrsträgern.

### ABGRENZUNG UND METHODIK

Die vorliegende Rechnung für den Luftverkehr stützt sich auf aktuelle Verkehrsstatistiken, Kosteninformationen der Akteure im Verkehrsbereich sowie viele weitere Daten ab. Sie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Statistik (BFS) und des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) von der Arbeitsgemeinschaft Infrac/Ecoplan unter Beizug einer Begleitgruppe mit Vertretern des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) sowie der wichtigsten Akteure des Luftverkehrs in der Schweiz erstellt.

Das System Luftverkehr Schweiz umfasst in dieser Studie neben dem Linien- und Charterverkehr auch die General Aviation und den Güterverkehr (Luftfracht). Der Flughafen Basel-Mulhouse wird (ausser beim Lärm) ganz zur Schweiz gezählt. Hingegen sind die militärische Aviatik sowie der Luftfrachtersatzverkehr nicht berücksichtigt.<sup>1</sup> Ebenso findet der Zu- und Abgangverkehr der Passagiere und Güter bei Flugplätzen keinen Eingang in die Berechnungen, weil dieser Verkehr in der Strassen- resp. Schienenrechnung enthalten ist.

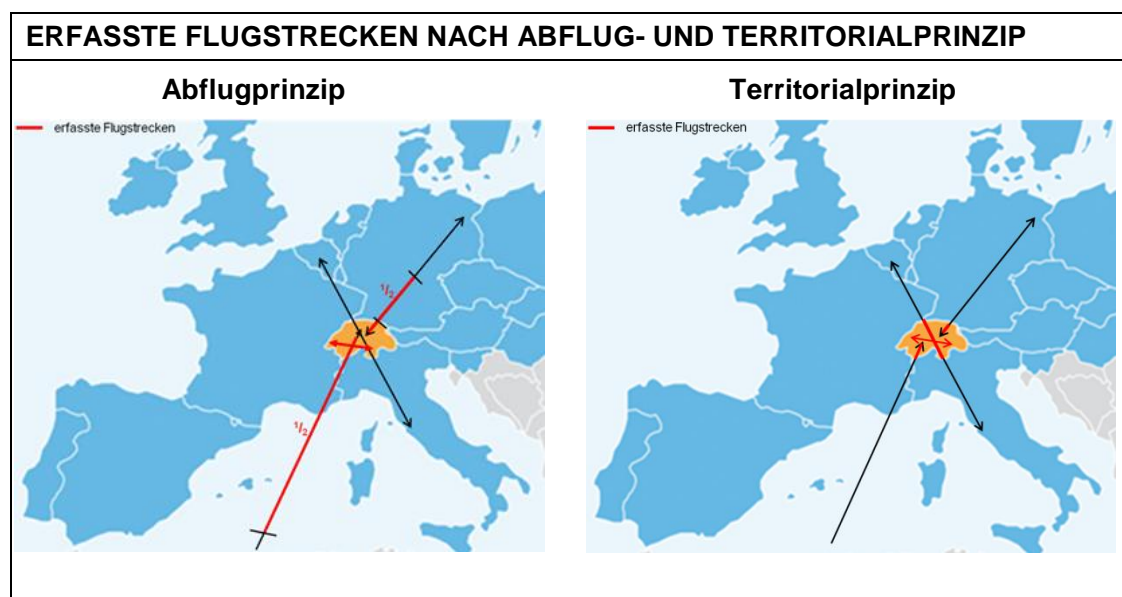
Das System Luftverkehr weist andere Systemgrenzen auf als der Strassen- und Schienenverkehr, weil der grösste Teil der Luftverkehrsbewegungen den Start- oder Zielpunkt im Ausland haben. Eine Beschränkung auf den inländischen Verkehr würde einen Grossteil dieser Verkehrsströme ausblenden. In der Studie werden die Resultate deshalb nach zwei unterschiedlichen Abgrenzungsprinzipien dargestellt (vgl. folgende Figur):

- › Das **Abflugprinzip** umfasst üblicherweise alle Abflüge ab der Schweiz bis zur Destination. In diesem Projekt definieren wir das Abflugprinzip etwas anders, rechnerisch sind beide Definitionen aber eng verwandt. Das Abflugprinzip erfasst in diesem Projekt verkehrsseitig alle Flüge

<sup>1</sup> Der Luftfrachtersatzverkehr wird mit Lastwagen geführt und in der Strassenrechnung erfasst.

ab der Schweiz bis in die Hälfte der Strecke zum ausländischen Zielflughafen bzw. ab der Hälfte der Strecke vom ausländischen Ausgangsflughafen bis in die Schweiz sowie die gesamte Strecke aller Inlandflüge. Das Abflugprinzip kann deshalb auch als Halbstreckenprinzip bezeichnet werden. Wenn alle Länder nach diesem Prinzip eine Luftverkehrsrechnung erstellen, dann würden alle Luftverkehrsverbindungen weltweit korrekt einmal betrachtet.

- › Demgegenüber bildet das **Territorialprinzip** alle über schweizerischem Territorium stattfindenden Luftverkehrsaktivitäten ab, das heisst alle über dem Gebiet der Schweiz zurückgelegten Flugkilometer. Diese Abgrenzung entspricht jener der Transportrechnung für Strasse und Schiene. Sie wird jedoch dem Verkehrsträger Luft nur sehr eingeschränkt gerecht, da alle internationalen Flüge auf ihre Strecke im Inland reduziert werden. Wenn alle Länder nach diesem Prinzip eine Luftverkehrsrechnung erstellen, dann würden alle Flugleistungen über internationalen Gewässern (Meere, Ozeane) nicht erfasst.



**Figur Z-1**

Kosten und Erträge in der Transportrechnung Luftverkehr werden soweit möglich gleich wie in der Rechnung für den Strassen- und Schienenverkehr differenziert. Neben fixen und variablen Kosten (Kostenart) werden die Kostenstellen ‚Verkehrsmittel‘, ‚Infrastruktur‘, ‚Sicherheit‘ und ‚Umwelt‘ unterschieden. Die Erträge liegen differenziert nach Tarifeinnahmen, Selbstfinanzierung, zweckgebundene Abgaben, weitere Abgaben sowie gemeinwirtschaftliche Leistungen vor. Schliesslich werden Angaben zu den Kostenträgern gemacht (Benutzer, Dritte, Staat, Allge-

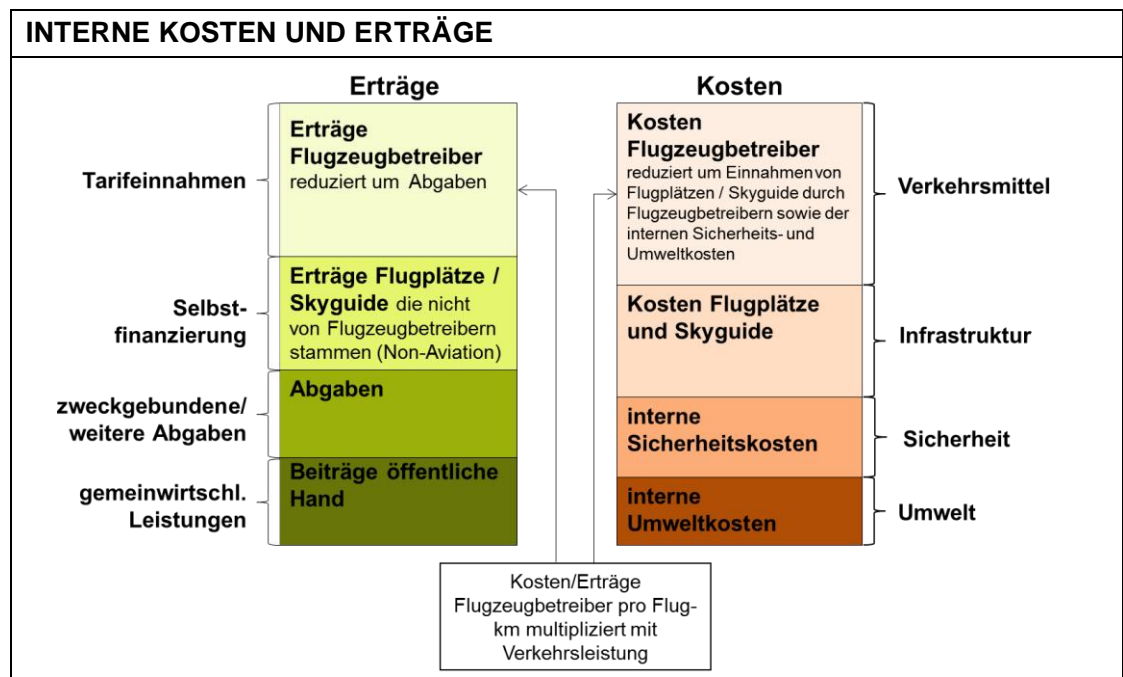


meinheit). Alle Ergebnisse werden in Faktorkosten (d.h. ohne indirekte Steuern wie die MWST) ausgewiesen.

## BETRIEBLICHE INTERNE SICHT

Als interne Kosten werden jene Kosten verstanden, die innerhalb des Verkehrssektors auftreten und monetär getragen und bezahlt werden. Ihnen stehen die internen Erträge gegenüber.

Die folgende Figur zeigt, wie die Ertragsarten sowie die Kostenstellen in der Transportrechnung Luftverkehr gegliedert sind.



Figur Z-2

### Kosten

Insgesamt entstehen im Luftverkehr gemäss Abflugprinzip interne Kosten von rund 5.8 Mrd. CHF, wobei 4.9 Mrd. CHF auf den Personenverkehr entfallen. Gewichtigste Verkehrsart ist der Linien- und Charterverkehr mit einem Kostenanteil von knapp zwei Drittel (4.2 Mrd. CHF). Bei der Differenzierung nach Kostenstellen fällt mit 4.1 Mrd. CHF der grösste interne Kostenblock bei den Verkehrsmitteln an. Im Bereich Sicherheit und Umwelt ergeben sich hingegen nur geringfügige interne Kosten.

Alle Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	3'022	498	541	-	4'061
Infrastruktur	1'142	143	62	308	1'654
Sicherheit	4	11	6	-	22
Umwelt	31	0	3	-	34
Total	4'199	652	612	308	5'771
Personalaufwand	881	228	122	66	1'298
Sachaufwand	2'588	247	406	117	3'358
Kapitalkosten	730	177	84	124	1'115
Total	4'199	652	612	308	5'771

**Tabelle Z-1** Interne Kosten Luftverkehr im Jahr 2010 – Abflugprinzip<sup>2</sup>.

Werden die Kosten gemäss Territorialprinzip berechnet, ergeben sich deutlich geringere Verkehrsmittelkosten als im Abflugprinzip. Die Infrastrukturkosten bleiben hingegen praktisch gleich, da diese weitestgehend auf den territorial gebundenen Flughäfen anfallen und sich somit in beiden Abgrenzungen niederschlagen. Die internen Kosten gemäss Territorialprinzip betragen insgesamt knapp 3 Mrd. CHF, wobei noch rund 1.3 Mrd. CHF den Verkehrsmitteln zuzuordnen sind.

Alle Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	603	498	249	-	1'349
Infrastruktur	1'099	140	37	308	1'584
Sicherheit	-	11	6	-	17
Umwelt	31	0	3	-	34
Total	1'732	649	295	308	2'984
Personalaufwand	620	228	70	66	985
Sachaufwand	531	244	168	117	1'061
Kapitalkosten	581	177	56	124	938
Total	1'732	649	295	308	2'984

**Tabelle Z-2** Interne Kosten Luftverkehr im Jahr 2010 – Territorialprinzip.

## Erträge

Diesen Kosten stehen Erträge gegenüber, welche fast vollständig aus dem Verkauf von Tickets stammen. Eine Ausnahme sind nur die Erträge des Non-Aviation Bereichs (v.a. Restaurants, Läden an den Flugplätzen, Parkingeinnahmen). Die Tarifeinnahmen nach Abflugprinzip machen über 89% der gesamten Erträge von knapp 6.1 Mrd. CHF aus. Nach Territorialprinzip beträgt dieser Anteil knapp 80%. Bei beiden Abgrenzungsprinzipien trägt die Non-Aviation (Selbstfinanzierung) mit etwas über 500 Mio. CHF zu den Erträgen bei.

<sup>2</sup> Die Sicherheitskosten umfassen die internen und externen Unfallkosten. Kosten für Personen- und Gepäckkontrolle sind in den Infrastrukturkosten enthalten.

Alle Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	4'328	509	581	-	5'418
Selbstfinanzierung	31	-	-	510	541
Zweckgebundene Abgaben	31	48	7	-	85
weitere Abgaben	3	20	2	-	25
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	10	3	1	-	14
Total	4'403	581	591	510	6'084

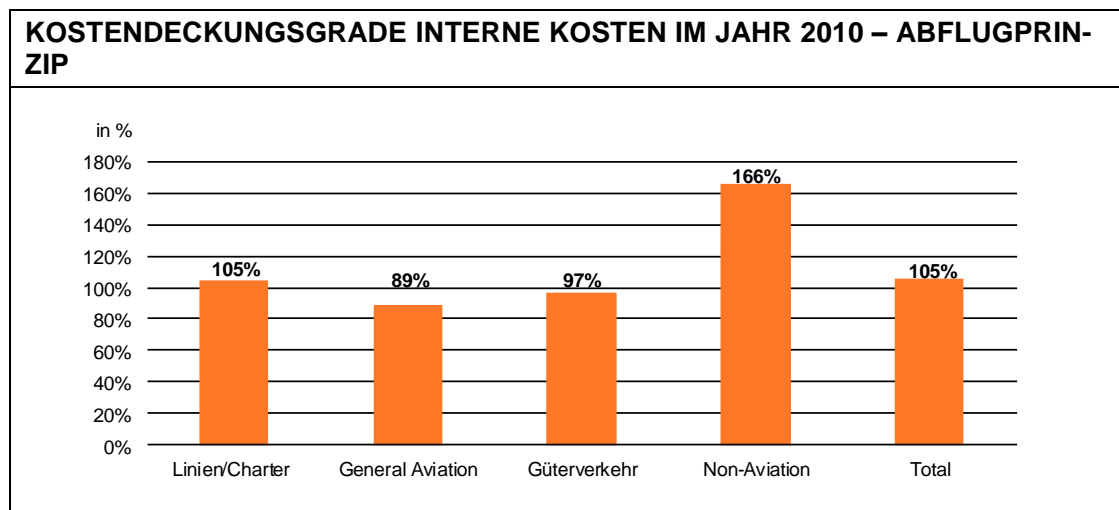
**Tabelle Z-3** Interne Erträge Luftverkehr im Jahr 2010 – Abflugprinzip.

Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	1'675	506	277	-	2'458
Selbstfinanzierung	14	-	-	510	524
Zweckgebundene Abgaben	31	48	7	-	85
weitere Abgaben	3	20	2	-	25
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	-	-	-	-	-
Total	1'723	574	286	510	3'093

**Tabelle Z-4** Interne Erträge Luftverkehr im Jahr 2010 – Territorialprinzip.

### Kostendeckungsgrade der internen Kosten und Erträge

Aus der Gegenüberstellung dieser Kosten und Erträge werden die internen Kostendeckungsgrade nach Abflugprinzip ersichtlich.



**Figur Z-3**

Demnach vermögen Linien-/Charterpersonenverkehr und die Non-Aviation ihre internen Kosten zu decken; beide verfügen über Kostendeckungsgrade von über 100%. Ein anderes Bild ergibt sich für die General Aviation sowie den Güterverkehr, bei denen eine interne Kostendeckung von 89% resp. 97% resultiert. Gesamthaft – unter Berücksichtigung der Non-Aviation - resultiert bei den internen Kosten eine Deckung von 105% (ohne Non-Aviation 102%).

Nicht berücksichtigt in obigen Kostendeckungsgraden sind zusätzliche Beiträge von Gemeinden oder Kantonen an Flugplätze. Während Landesflughäfen kaum solche Beiträge erhalten, variieren diese bei den Regionalflughäfen. Werden darüber hinaus historische volkswirtschaftliche Kosten berücksichtigt (v.a. kalkulatorische Zinsen auf in der Vergangenheit gewährten Bundessubventionen), sänke der Kostendeckungsgrad bezüglich internen Kosten und Erträgen nach Abflugprinzip um einen Prozentpunkt auf 104%.

## EXTERNE KOSTEN

Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von Dritten (der Allgemeinheit) getragen wird. Im vorliegenden Bericht werden sechs Kostenkategorien unterschieden:

- › Unfälle: Von Dritten getragene Kosten aus Verkehrsunfällen
- › Luftbelastung: Gesundheits-, Gebäude- und Waldschäden sowie Ernteaufschläge durch Schadstoffemissionen
- › Lärm: Verminderte Mietzinsen sowie Gesundheitsschäden durch Lärmbelastung
- › Klima: Globale Schäden durch Treibhausgasemissionen
- › Natur- und Landschaft: Verluste und Fragmentierungen von Habitaten für Pflanzen und Tiere durch die Verkehrsinfrastruktur
- › Vor- und nachgelagerte Prozesse: Klimakosten durch Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Infrastruktur, von Verkehrsmitteln sowie durch die Energiebereitstellung

Diese Kategorien wie auch die Berechnungsmethodik orientieren sich an der Vorgehensweise bisheriger Studien für den Strassen- und Schienenverkehr (Ecoplan, Infras 2008). Es wird ein sogenannter at least Ansatz verwendet, d.h. überall wo Annahmen getroffen werden, fallen diese so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ aus. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen.

Für die in der Studie betrachteten Kategorien der externen Kosten des Luftverkehrs war die Methodik bei der Berechnung teilweise gegeben, damit die Vergleichbarkeit mit Ergebnissen zu den externen Kosten von Strasse und Schiene in der Transportrechnung gewährleistet ist. Beim ARE laufen aber aktuell Arbeiten zur Aktualisierung der Methodik der Transportrechnungen, welche dann für alle Verkehrsträger wieder gleich umzusetzen sind.

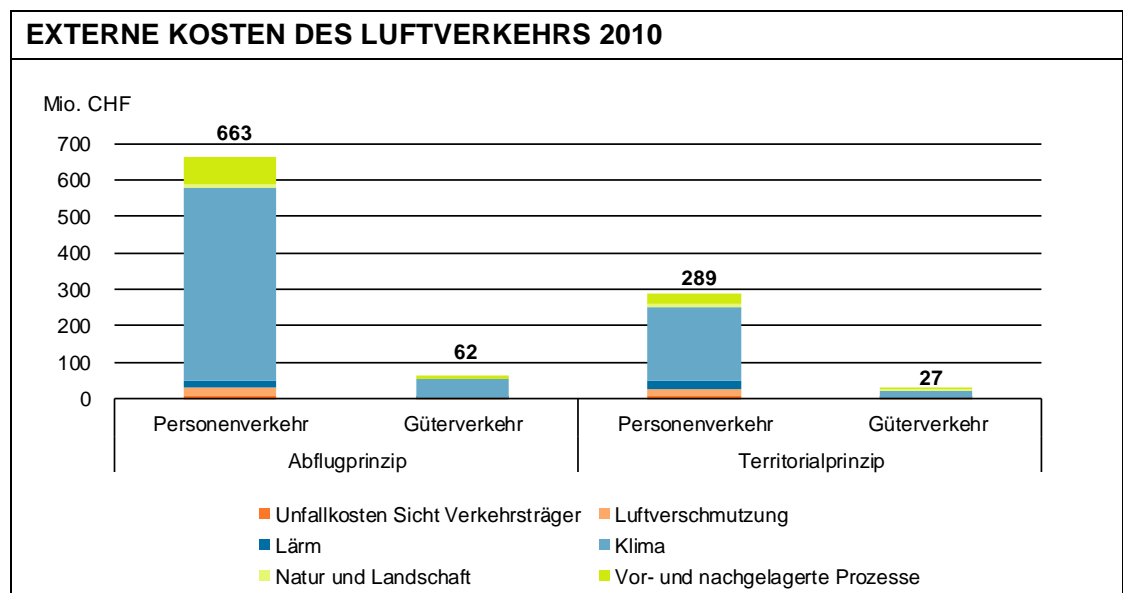
Die wichtigsten Datengrundlagen für die Berechnung der externen Kosten sind detaillierte Unfalldaten aus verschiedenen Quellen (BFU, ICAO, ASCEND, Versicherer), Emissionsdaten

(CO<sub>2</sub>-, PM10- sowie NO<sub>x</sub>-Emissionen) des BAZL, Emissionsdaten zu Herstellungs-, Betriebs- und Entsorgungsdaten (EcoInvent), Lärmdaten aus SonBase (Spezialauswertung des Lärmmodells des Bundes) und der Landesflughäfen Zürich und Genf sowie die bisherigen Berechnungen zum Strassen- und Schienenverkehr (vor allem für Kostensätze).

Wie die folgende Tabelle und Figur zeigen, belaufen sich die gesamten externen Kosten für den Luftverkehr im Jahr 2010 aus Sicht der Verkehrsträger auf 725 Mio. CHF (Abflugprinzip) resp. auf 316 Mio. CHF (Territorialprinzip). Den mit Abstand grössten Kostenblock stellen die Klimakosten dar, welche beim Abflugprinzip rund 80%, beim Territorialprinzip 71% der gesamten externen Kosten ausmachen. Der Personenverkehr verursacht gut 91% dieser Kosten, der Güterverkehr knapp 9%.

in Mio. CHF, 2010	Abflugprinzip			Territorialprinzip		
	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Unfallkosten Sicht Verkehrsträger	9.2	0.2	9.4	8.0	0.2	8.2
Luftverschmutzung	19.9	2.0	22.0	19.9	2.0	22.0
Lärm	19.4	1.4	20.8	19.4	1.4	20.8
Klima	531.4	50.8	582.2	203.5	19.7	223.3
Natur und Landschaft	9.3	0.9	10.2	9.3	0.9	10.2
Vor- und nachgelagerte Prozesse	73.6	7.0	80.6	28.7	2.8	31.4
<b>Total Sicht Verkehrsträger</b>	<b>662.8</b>	<b>62.4</b>	<b>725.2</b>	<b>288.7</b>	<b>27.1</b>	<b>315.8</b>

**Tabelle Z-5** Übersicht externe Kosten Luftverkehr im Jahr 2010



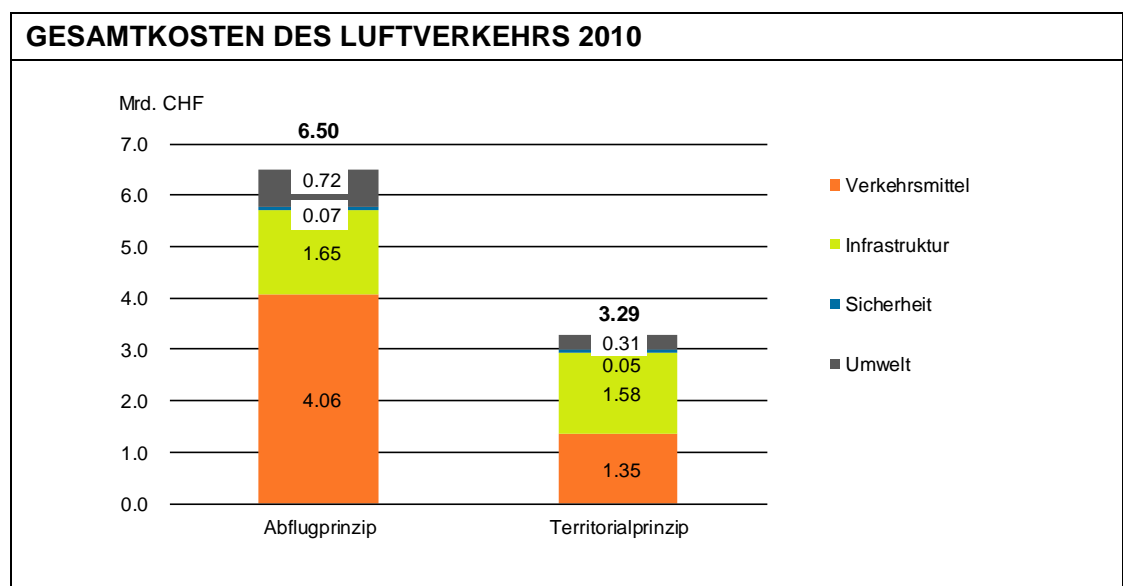
**Figur Z-4**

Externe Nutzen, welche in der Transportrechnung Luftverkehr zu berücksichtigen wären, gibt es bei den verschiedenen Verkehrsträgern beim aktuellen Stand der Forschung keine. Es gibt nur sehr wenige echte externe Nutzen. Beispiele sind das geringere Leid von Angehörigen, wenn

dank rascherem Notfall(luft)transport ein Unfallopfer gerettet werden kann oder die Freude beim Anblick von Flugzeugen.

## GESAMTKOSTEN UND -ERTRÄGE DES LUFTVERKEHRS

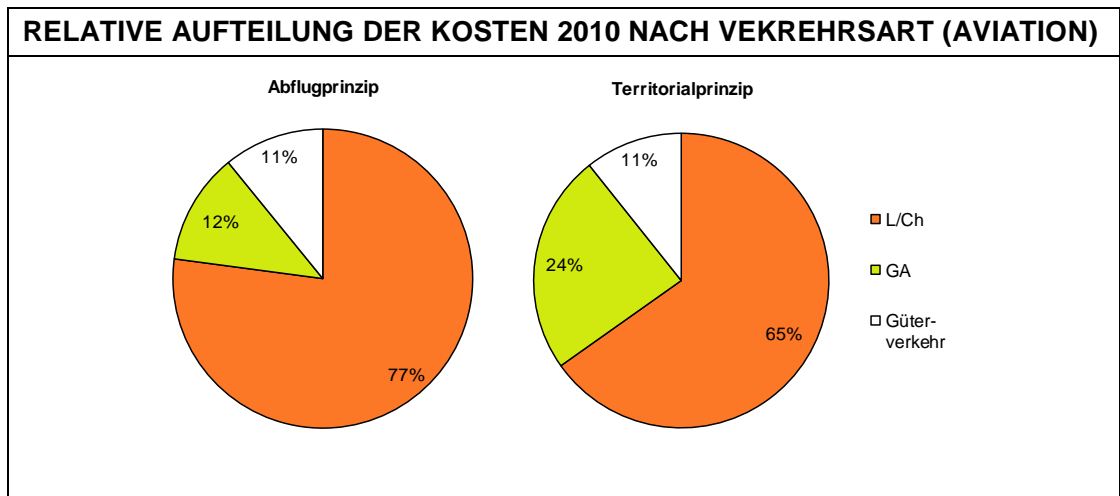
Die Gesamtkosten (interne und externe Kosten) belaufen sich für das Jahr 2010 auf rund 6.5 Mrd. CHF nach Abflugprinzip und auf rund 3.3 Mrd. CHF nach Territorialprinzip. Auch bei Betrachtung der Gesamtkosten machen die Verkehrsmittelkosten den grössten Teil aus. Der Anteil der Umweltkosten an den Gesamtkosten beträgt 11%. Von den 6.5 Mrd. CHF Gesamtkosten nach Abflugprinzip stammen 6.2 Mrd. CHF aus dem Bereich Aviation und 0.3 Mrd. CHF aus dem Bereich Non-Aviation (Retail, Gastronomie, etc. in Flughäfen).



Figur Z-5

### Kosten nach Verkehrsart

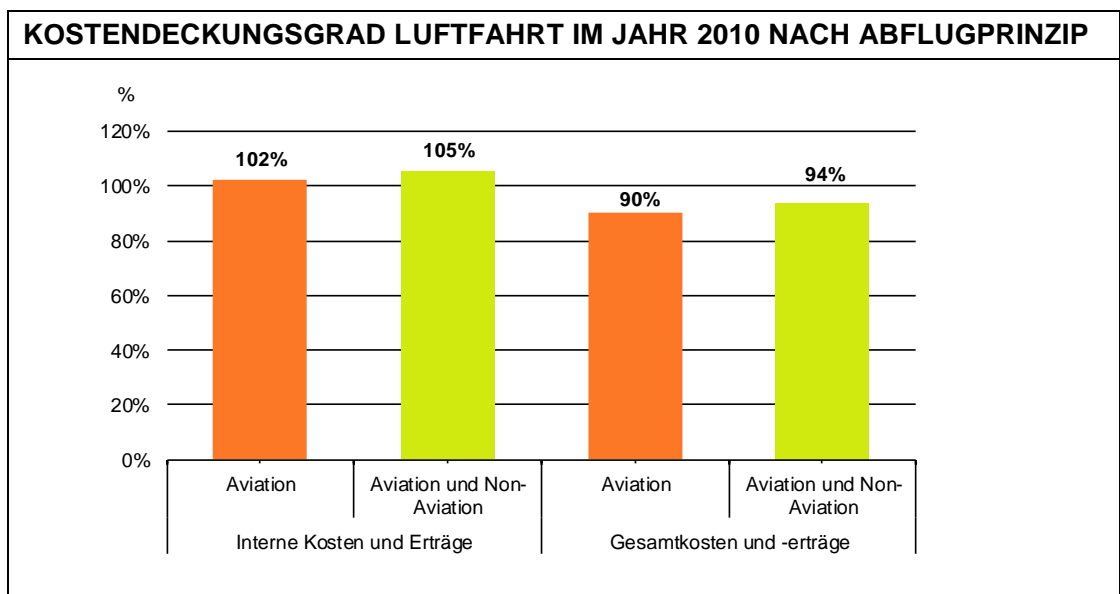
Die Kosten allein für die Aviation, das heisst unter Ausklammerung der Non-Aviation-Kosten, lassen sich auf die verschiedenen Verkehrsarten im Luftverkehr umlegen. Der Personenverkehr wird dabei aufgeteilt in Linien- und Charterverkehr sowie General Aviation (Business Aviation, Helikopterverkehr, Leichtaviatik). Wie zu erwarten, ergeben sich die absolut grössten Kostenblöcke im Linien- und Charterverkehr, der auch bezüglich Passagieraufkommen dominiert. Diese Verkehrsart weist nach Abflugprinzip Kosten von 4.8 Mrd. CHF aus. Dies entspricht 77% der Gesamtkosten der Aviation. Der Güterverkehr verursacht 11% der Kosten.



Figur Z-6

### Kostendeckungsgrade

Im Jahr 2010 ergaben sich in der Luftfahrt Schweiz nach Abflugprinzip Erträge von rund 5.6 Mrd. CHF im Bereich Aviation. Zuzüglich der weiteren Erträge aus dem Non-Aviation-Bereich von rund 0.5 Mrd. CHF fielen im Luftverkehr 2010 Gesamterträge von knapp 6.1 Mrd. CHF an (nach Abflugprinzip). Diese Erträge lassen sich mit den oben ausgewiesenen Kosten vergleichen. Die resultierenden Kostendeckungsgrade sind in der folgenden Figur dargestellt.

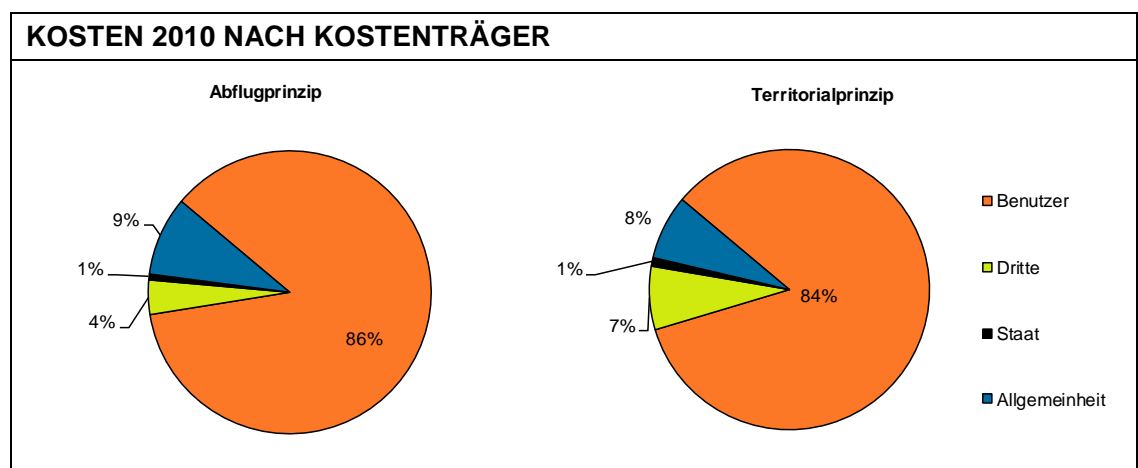


Figur Z-7

Es zeigt sich, dass die Luftfahrt nach Abflugprinzip ihre internen Kosten zu decken vermag. Werden die externen Kosten miteinbezogen (und die damit zusammenhängenden Abgaben auf der Ertragsseite), ergibt sich ein Kostendeckungsgrad von 90% ohne Berücksichtigung der Non-Aviation Tätigkeiten resp. von 94% mit Non-Aviation Tätigkeiten. Diese macht deutlich, dass die rentablen Dienstleistungen im Non-Aviation Bereiche (vor allem bei den Landesflughäfen) helfen, den Kostendeckungsgrad im Luftverkehr insgesamt zu erhöhen.

### Kostenträger

Die folgende Figur zeigt, dass rund 85% der Kosten durch die Benutzer bezahlt werden. Unter dem Abflugprinzip tragen die Non-Aviation-Tätigkeiten rund 4% der Kosten bei (Querfinanzierung durch Dritte). Ein Prozent fallen beim Staat als Kosten an und 9% der Kosten trägt die Allgemeinheit (z.B. über die Belastung durch negative externe Effekte des Luftverkehrs).



**Figur Z-8** Benutzer inkl. Tarifeinnahmen, Abgaben und Kosten Non-Aviation; Dritte u.a. mit Nettoerträgen aus Non-Aviation.

## VERKEHRSTRÄGERVERGLEICH

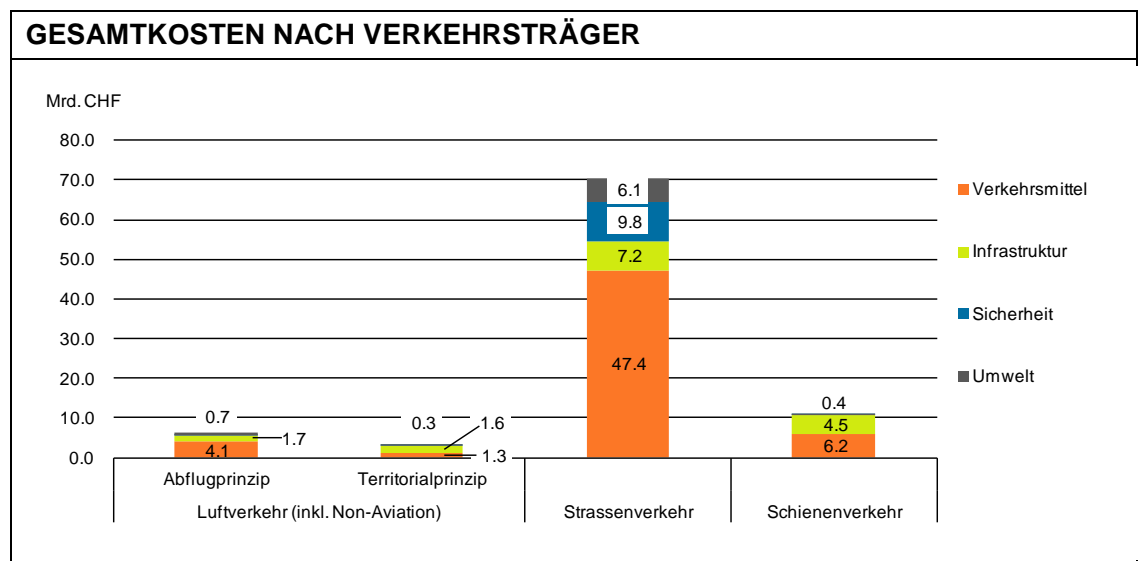
Diese Studie erlaubt erstmals einen umfassenden Vergleich zwischen den drei Verkehrsträgern Strassen, Schiene und Luft. Dabei sind für die Interpretation die folgenden Aspekte zu beachten:

- › Die im Vergleich verwendeten Zahlen beziehen sich nicht auf das gleiche Basisjahr. Die letzten verfügbaren Daten für den Strassen- und Schienenverkehr datieren aus dem Jahr 2005.
- › Die Verkehrsträger weisen unterschiedliche Systemgrenzen auf. Der Luftverkehr nimmt dabei eine spezielle Stellung ein, da das im Strassen- und Schienenverkehr verwendete Territorialprinzip der internationalen Ausrichtung des Verkehrsträgers nicht gerecht wird.



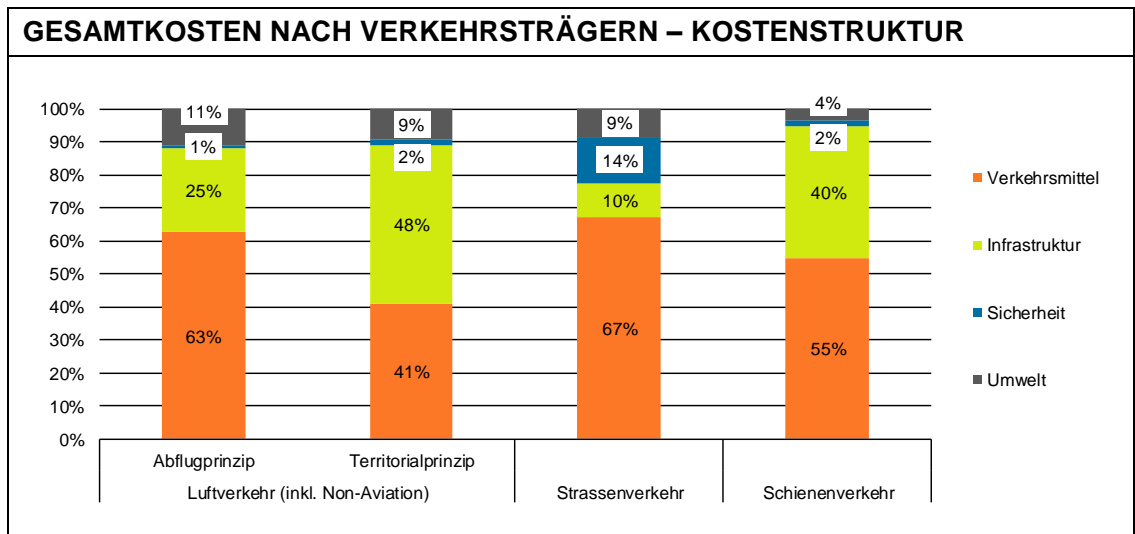
### Vergleich der Gesamtkosten

Die Gesamtkosten 2010 (interne und externe Kosten) belaufen sich beim Luftverkehr auf 6.5 bzw. 3.3 Mrd. CHF nach Abflug- bzw. Territorialprinzip) und beim Schienenverkehr auf 11.3 Mrd. CHF. Der Strassenverkehr weist mit über 70 Mrd. CHF deutlich höhere Gesamtkosten aus.



**Figur Z-9** Kosten Luftfahrt für 2010, Kosten Strasse und Schiene für 2005.

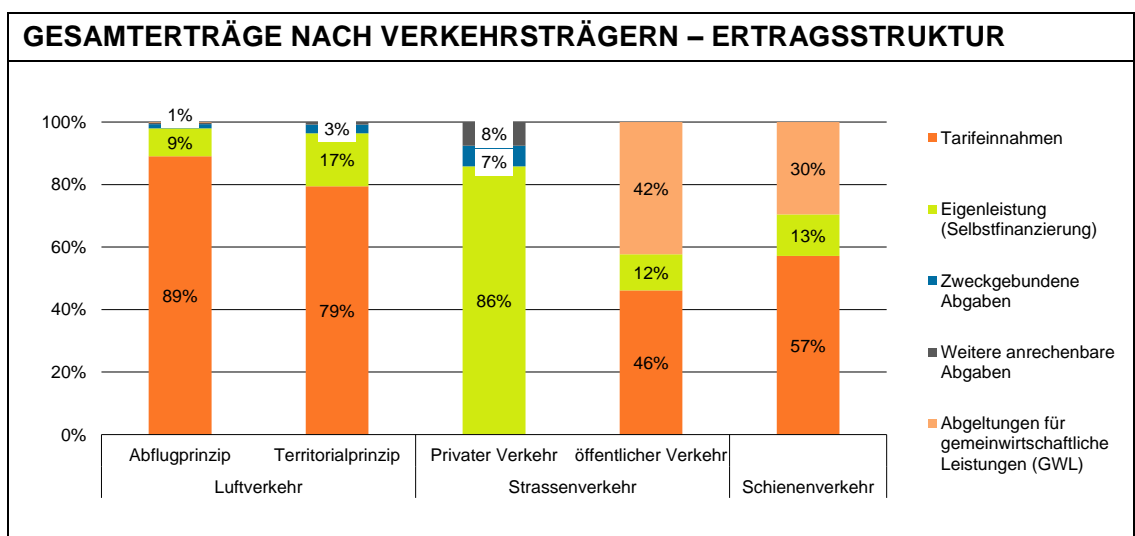
Die relativen Anteile der vier unterschiedenen Kostenstellen zeigen, dass die Verkehrsmittel im Luftverkehr nach Abflugprinzip und im Strassenverkehr mit annähernd zwei Drittel der Kosten ähnliche Anteile aufweisen. Beim Luftverkehr nach Territorialprinzip sind die Anteile der Infrastrukturkosten entsprechend höher und in einer ähnlichen Grössenordnung wie beim Schienenverkehr. Die Umweltkosten machen im Luft- und Strassenverkehr mit rund 10% etwa gleich viel aus. Hier weist der Schienenverkehr mit 4% Umweltkosten an den Gesamtkosten den tiefsten Wert auf. Die Sicherheitskosten spielen weder im Schienen- noch im Luftverkehr eine zentrale Rolle, wohingegen sie im Strassenverkehr mit 14% substantiell sind.



**Figur Z-10** Kostenbasis Luftfahrt für 2010, Kostenbasis Strasse und Schiene für 2005.

### Vergleich der Gesamterträge

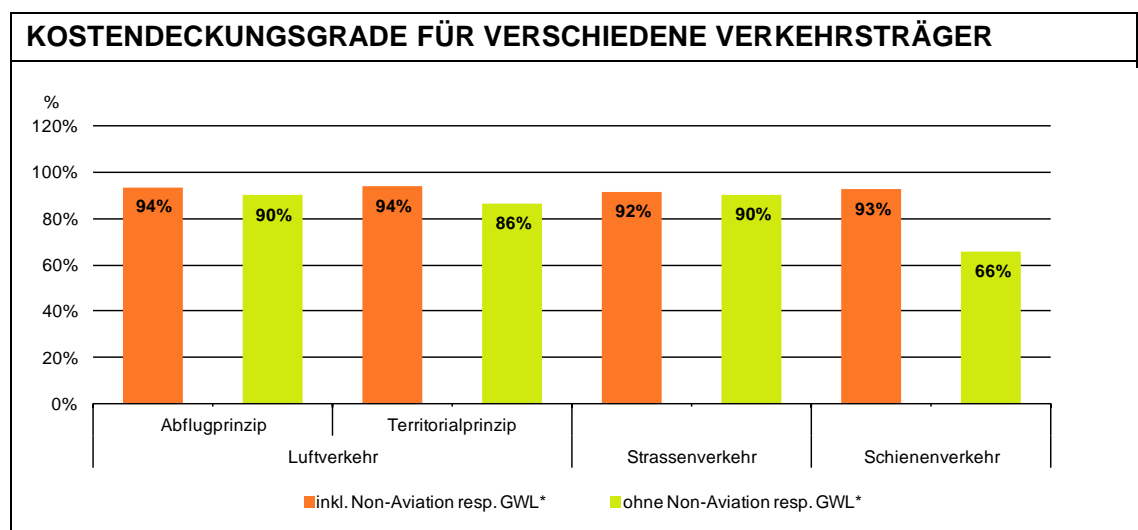
Die Ertragsstrukturen der Verkehrsträger unterscheiden sich deutlich voneinander. Im Luftverkehr stammen gemäss Absatzprinzip knapp 90% der Erträge aus 'Tarifeinnahmen' (Ticketeinnahmen) und weitere 9% sind Selbstfinanzierung. Der private Strassenverkehr finanziert sich zu 86% selbst. Die übrigen Erträge entfallen weitgehend auf Abgaben. Die Erträge des öffentlichen Strassenverkehrs und des Schienenverkehrs stammen zu 46% resp. 57% aus Tarifeinnahmen, weiter 42% resp. 30% werden über Abgeltungen für gemeinwirtschaftliche Leistungen finanziert.



**Figur Z-11** Ertragsbasis Luftfahrt für 2010, Ertragsbasis Strasse und Schiene für 2005.

### Vergleich der Kostendeckungsgrade

Der Vergleich der Kostendeckungsgrade der verschiedenen Verkehrsträger zeigt, dass keiner der untersuchten Verkehrsträger seine Gesamtkosten zu decken vermag, sich aber alle in einem ähnlichen Bereich bewegen. Lediglich für den Schienenverkehr fällt der Deckungsgrad auf 66%, wenn die Abgeltungen für gemeinwirtschaftliche Leistungen (GWL) nicht als Erträge miteinbezogen werden.



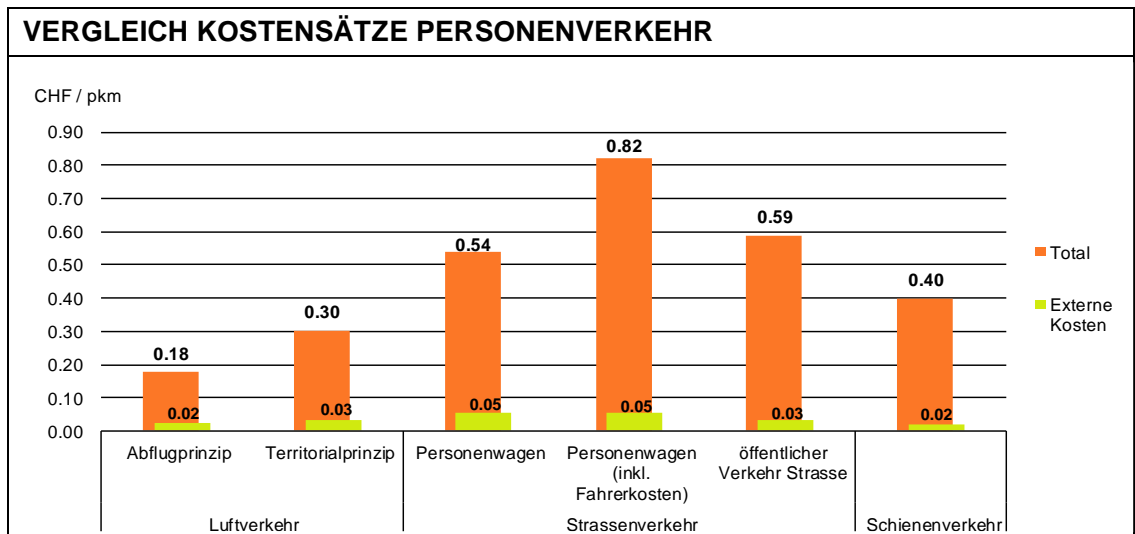
**Figur Z-12** Der Luftverkehr weist sehr geringe gemeinwirtschaftliche Leistungen (GWL<sup>3</sup>) auf, weshalb an dieser Stelle für den Luftverkehr die Unterscheidung mit und ohne Non-Aviation gemacht wird. Kosten Luftfahrt 2010, Kosten Strasse und Schiene 2005.

\* Gesamtwirtschaftliche Leistungen

### Vergleich von Kostensätzen

Auch anhand der Kostensätze pro Personenkilometer resp. Tonnenkilometer lassen sich die Verkehrsträger vergleichen. Der Luftverkehr weist dabei im Personenverkehr jeweils die tiefsten Gesamtkostensätze aus. Dies ist begründet durch die hohe Durchschnittsdistanz pro Verkehrsweg im Luftverkehr und den absolut gesehen tieferen Gesamtkostenblock im Verkehrsträgervergleich. Die externen Kosten liegen mit rund 2.2 Rappen pro Personenkilometer im Luftverkehr unter jenen im Strassenverkehr (5.4 Rp./pkm), jedoch über jenen im Schienenverkehr (1.7 Rp./pkm).

<sup>3</sup> Leistungen für die Gemeinwirtschaft, welche vom Staat finanziert werden.



**Figur Z-13** Luftverkehr ohne Non-Aviation, Daten für 2010, Strassen- & Schienenverkehr Daten für 2005.

Ein ähnliches Bild zeigt sich im Güterverkehr, bei dem der Luftverkehr ebenfalls tiefere Kosten je Tonnenkilometer (0.18 CHF/tkm, Abflugprinzip) aufweist als der Strassen- (0.57 CHF/tkm) und Schienenverkehr (0.24 CHF/tkm), die externen Kostensätze beim Luftverkehr (Abflugprinzip) jedoch wieder zwischen Strassen- und Schienenverkehr liegen.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

- › Wie bei Strasse und Schiene sind die Kosten für das Verkehrsmittel (Airlines) auch beim Luftverkehr dominant. Die Umweltkosten machen gut 10% der Kosten im Luftverkehr aus, was vergleichbar ist mit dem Strassenverkehr.
- › Die Klimakosten dominieren bei den externen Kosten des Luftverkehrs mit einem Anteil von rund 80% nach Abflugprinzip. Die Lärmkosten machen nur einen geringen Teil aus, was u.a. auf die konservative Berechnungsmethodik bei dieser Kostenkategorie zurückzuführen ist, welche die wahren Kosten tendenziell unterschätzt (wie im Strassen- und Schienenverkehr).
- › Wie die Verkehrsträger Schiene und Strasse deckt der Luftverkehr seine Kosten in einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung (ohne externe Kosten). In einer volkswirtschaftlichen Betrachtung unter Einbezug der externen Effekte werden die Gesamtkosten aber nicht gedeckt. Der Kostendeckungsgrad ist mit 94% leicht höher als bei den beiden anderen Verkehrsträgern. Ohne Einbezug des Non-Aviation Bereichs würde der Kostendeckungsgrad auf 90% sinken.
- › Auf betriebswirtschaftlicher Ebene weisen die Landesflughäfen Kostendeckungsgrade über 100% auf, während die Regionalflugplätze ihre Kosten nur zu rund 90% tragen. Zurückzuführen

ren ist dies auf die hohen Deckungsbeiträge des Linien- und Charterverkehrs und des Non-Aviation Bereiches.

- › Die Studie erlaubt einen Vergleich der Verkehrsträger Luft, Schiene und Strasse auf Basis der jeweiligen Gesamtkosten. Aussagekräftigere Vergleiche müssten sich jedoch auf spezifische Korridore beziehen, auf denen die einzelnen Verkehrsträger in Konkurrenz zueinander stehen.
- › Das Abflugprinzip wird einer umfassenden Systembetrachtung des Luftverkehrs gerecht. Die Ergebnisse des Luftverkehrs nach Territorialprinzip sind dagegen methodisch direkter vergleichbar mit den für die Strasse und Schiene berechneten Ergebnissen. Das Abflugprinzip bildet somit für den Verkehrsträger Luft die primäre Quelle für Informationen zu den Transportkosten. Das Territorialprinzip kann spezifische Zusatzinformationen liefern.

## RÉSUMÉ

### ÉTAT DES LIEUX

Le compte des transports représente un compte global qui recense tous les coûts importants relatifs aux modes de transport considérés et les compare avec les recettes. La Confédération a présenté un compte des transports pour les années 2003 et 2005 qui portait sur le trafic routier et le trafic ferroviaire (OFS 2006 et 2009). Le trafic aérien n'a jusqu'ici pas été considéré dans la statistique.

Cette lacune est comblée avec le présent **compte des transports du trafic aérien 2010**. Ce compte dresse pour la première fois un tableau complet des coûts et des recettes du trafic aérien suisse et établit une comparaison avec les autres modes de transport.

### DÉLIMITATION ET MÉTHODOLOGIE

Le présent compte pour le trafic aérien s'appuie sur des statistiques actuelles, sur des informations relatives aux coûts fournies par les acteurs dans le domaine des transports ainsi que sur de nombreuses autres données. Il a été établi sur mandat de l'Office fédéral de la statistique (OFS) et de l'Office fédéral du développement territorial (ARE) par la communauté de travail Infras/Ecoplan avec le concours d'un groupe d'accompagnement formé de représentants de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) ainsi que des principaux acteurs du trafic aérien en Suisse.

Le système Trafic aérien Suisse comprend, dans cette étude, non seulement le trafic de lignes charter, mais aussi le domaine General Aviation et le trafic de marchandises (fret aérien). L'aéroport Bâle-Mulhouse a été considéré comme entièrement suisse (sauf en ce qui concerne le bruit). En revanche l'aviation militaire et le trafic de substitution du fret aérien ne sont pas pris en compte.<sup>4</sup> Le transport de passagers et de marchandises à l'arrivée et au départ des aéroports n'est pas non plus considéré dans les calculs, car il est compris dans le compte routier ou ferroviaire.

Le système Trafic aérien présente d'autres délimitations du système que le trafic routier et le trafic ferroviaire, car la majeure partie des mouvements du trafic aérien ont un point de départ ou d'arrivée à l'étranger. Une limitation au seul trafic interne reviendrait à occulter une grande partie des flux de transport. Dans cette étude, les résultats sont donc présentés selon deux différents principes de délimitation (voir figure suivante) :

<sup>4</sup> Le trafic de substitution du fret aérien est assuré par camion et saisi dans le compte routier.

- › Le **principe du départ** comprend habituellement tous les départs depuis la Suisse jusqu'à la destination. Dans ce projet, le principe du départ est défini un peu autrement, mais les deux définitions sont étroitement apparentées sur le plan mathématique. Il inclut tous les vols à partir de la Suisse jusqu'à la moitié du trajet vers l'aéroport d'arrivée étranger ou à partir de la moitié du trajet depuis l'aéroport de départ étranger jusqu'en Suisse ainsi que tous les trajets des vols internes. Dans cette étude nous utiliserons donc le terme de « **principe du demi trajet** ». Si tous les pays établissaient un compte du trafic aérien en fonction de ce principe, les liaisons du trafic aérien seraient alors toutes considérées correctement au niveau mondial.
- › En revanche, le **principe de territorialité** reproduit toutes les activités du trafic aérien se déroulant sur le territoire suisse, autrement dit il considère tous les kilomètres parcourus en avion sur le territoire suisse. Cette délimitation correspond à celle en vigueur dans le compte routier et dans le compte ferroviaire. Elle ne rend cependant justice au mode de transport Air que de façon très limitée, car tous les vols internationaux sont ainsi réduits à leur trajet sur le territoire national. Si tous les pays établissaient un compte du trafic aérien en suivant ce principe, toutes les prestations de vol au-dessus des eaux internationales (mers, océans) ne seraient pas considérées.

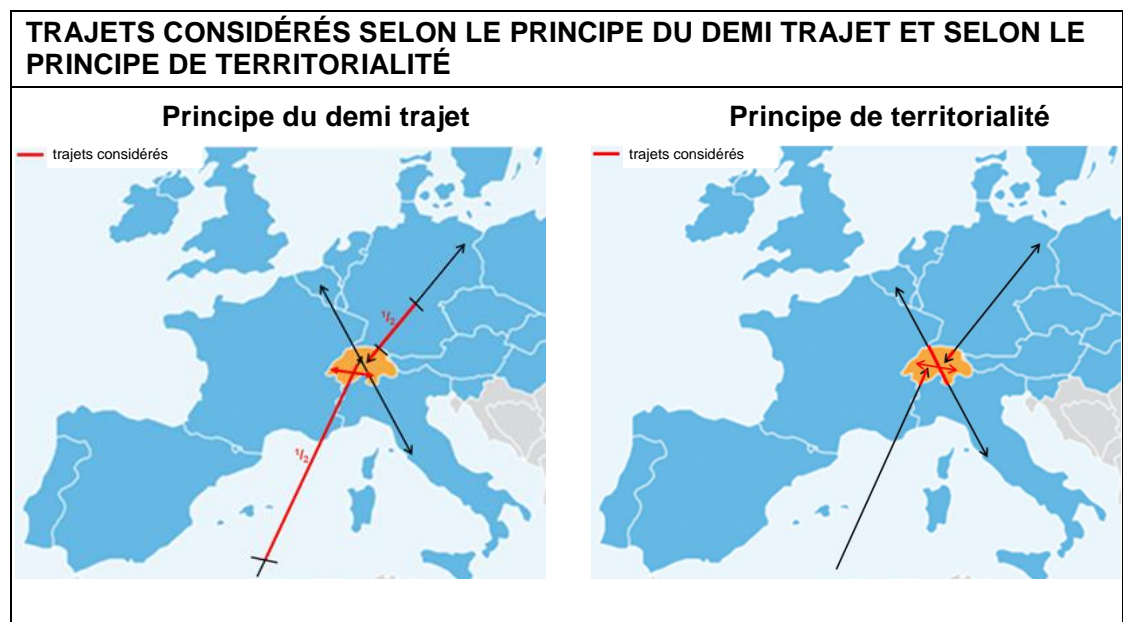


Figure R-1

Les coûts et les recettes dans le compte des transports du trafic aérien sont différenciées autant que possible comme dans les comptes routier et ferroviaire. Sont distingués en sus des coûts fixes et des coûts variables (nature des coûts) les types de coûts « Moyen de transport » « Infrastructure », « Sécurité » et « Environnement ». Les recettes sont quant à elles différenciées selon les recettes tarifaires, l'autofinancement, les taxes et impôts affectés, les autres taxes et impôts ainsi que les prestations d'intérêt général. Enfin, des indications sont données sur les sources de financement (utilisateurs, tiers, Etat, collectivité). Tous les résultats sont présentés en coûts des facteurs (autrement dit sans impôts indirects comme la TVA).

## PERSPECTIVE D'ÉCONOMIE D'ENTREPRISE

Sont considérés comme des coûts internes les coûts encourus dans le secteur des transports du trafic aérien et qui sont pris en charge et payés monétairement. Ils font face aux recettes internes.

La figure suivante montre comment la nature des recettes et les types de coûts sont structurés dans le compte des transports du trafic aérien.

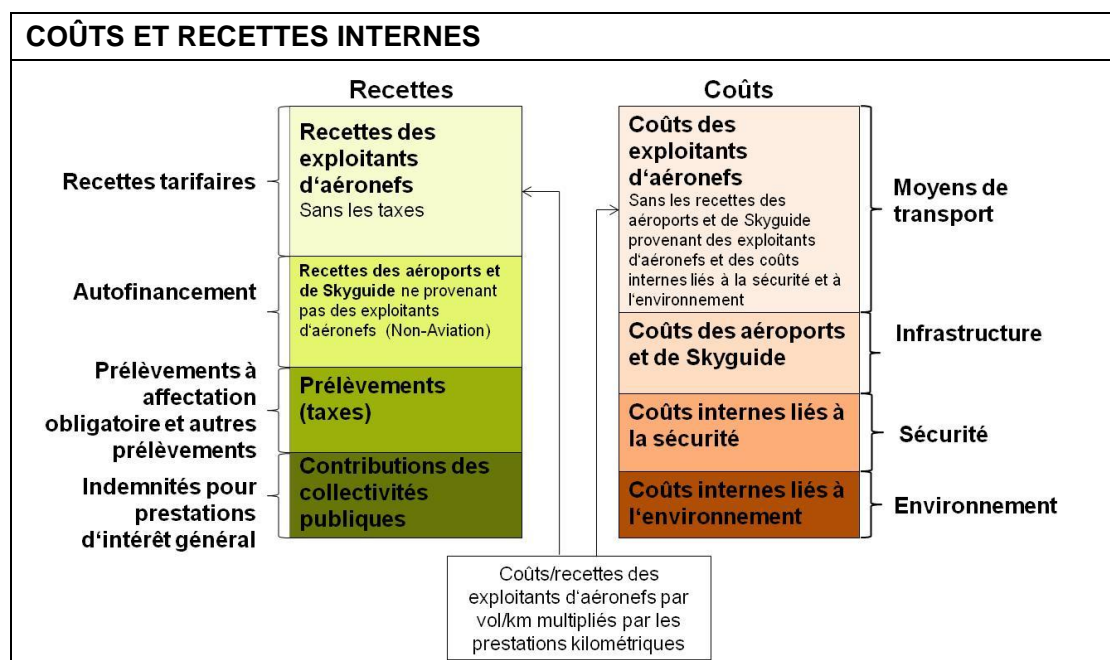


Figure R-2



## Coûts

Les coûts internes dans le trafic aérien totalisent selon le principe du demi trajet environ 5,8 milliards de francs, dont 4,9 milliards de francs relèvent du transport de personnes. Le trafic de lignes et charter représente le principal type de transport aérien avec une part de près de deux tiers des coûts (4,2 mia CHF). Dans la différenciation selon les types de coûts, les moyens de transport forment le plus grand bloc de coûts internes, avec 4,1 milliard de francs. Les coûts internes ne sont en revanche que modestes dans le domaine de la sécurité et de l'environnement.

Tous les vols de/vers la Suisse en mio. CHF	Transport de personnes		Transport de marchandises	Non-Aviation	Total
	Lignes/charters	General Aviation			
Moyens de transport	3'022	498	541	-	4'061
Infrastructure	1'142	143	62	308	1'654
Sécurité	4	11	6	-	22
Environnement	31	0	3	-	34
<b>Total</b>	<b>4'199</b>	<b>652</b>	<b>612</b>	<b>308</b>	<b>5'771</b>
Dépenses de personnel	881	228	122	66	1'298
Dépenses en biens et services	2'588	247	406	117	3'358
Coûts du capital	730	177	84	124	1'115
<b>Total</b>	<b>4'199</b>	<b>652</b>	<b>612</b>	<b>308</b>	<b>5'771</b>

**Tableau R-1** Coûts internes du trafic aérien en 2010 – principe du demi trajet <sup>5</sup>

Si les coûts sont calculés selon le principe de territorialité, les coûts des moyens de transport sont nettement plus faibles que ceux établis selon le principe du demi trajet. Les coûts d'infrastructure restent par contre pratiquement les mêmes, car ils incombent le plus largement aux aéroports liés à un certain territoire et se reflètent donc dans les deux délimitations. Les coûts internes selon le principe de territorialité se montent au total à près de 3 milliards de francs, dont 1,3 milliard de francs sont à attribuer aux moyens de transport.

Tous les vols de/vers la Suisse en mio. CHF	Transport de personnes		Transport de marchandises	Non-Aviation	Total
	Lignes/charters	General Aviation			
Moyens de transport	603	497	249	-	1'349
Infrastructure	1'099	140	37	308	1'584
Sécurité	-	11	6	-	17
Environnement	31	0	3	-	34
<b>Total</b>	<b>1'732</b>	<b>649</b>	<b>295</b>	<b>308</b>	<b>2'984</b>
Dépenses de personnel	620	228	70	66	985
Dépenses en biens et services	531	244	168	117	1'060
Coûts du capital	581	177	56	124	938
<b>Total</b>	<b>1'732</b>	<b>649</b>	<b>295</b>	<b>308</b>	<b>2'984</b>

**Tableau R-2** Coûts internes du trafic aérien en 2010 – Principe de territorialité

<sup>5</sup> Les coûts de sécurité comprennent les coûts internes et externes des accidents. Les coûts occasionnés pour le contrôle des personnes et des bagages sont compris dans les coûts d'infrastructure.

## Recettes

Ces coûts font face à des recettes, qui proviennent presque exclusivement de la vente de billets d'avion. Les recettes provenant du domaine Non-Aviation (notamment restaurants, magasins dans les aéroports, recettes de stationnement) sont la seule exception ici. Les recettes tarifaires selon le principe du demi trajet représentent plus de 89% des recettes totalisant 6,1 milliards de francs. Selon le principe de territorialité, les recettes tarifaires atteignent près de 80%. Le domaine Non-Aviation (autofinancement) contribue aux recettes à raison d'un peu plus de 500 millions de francs, cela dans les deux principes de délimitation.

Tous les vols de/vers la Suisse en mio. CHF	Transport de personnes		Transport de marchandises	Non-Aviation	Total
	Lignes/charters	General Aviation			
Recettes tarifaires	4'328	509	581	-	5'418
Contributions propres/Autofinancement	31	-	-	510	541
Prélèvement à affectation obligatoire	31	48	7	-	85
Autres prélèvements	3	20	2	-	25
Prestations d'intérêt général	10	3	1	-	14
Total	4'403	580	591	510	6'084

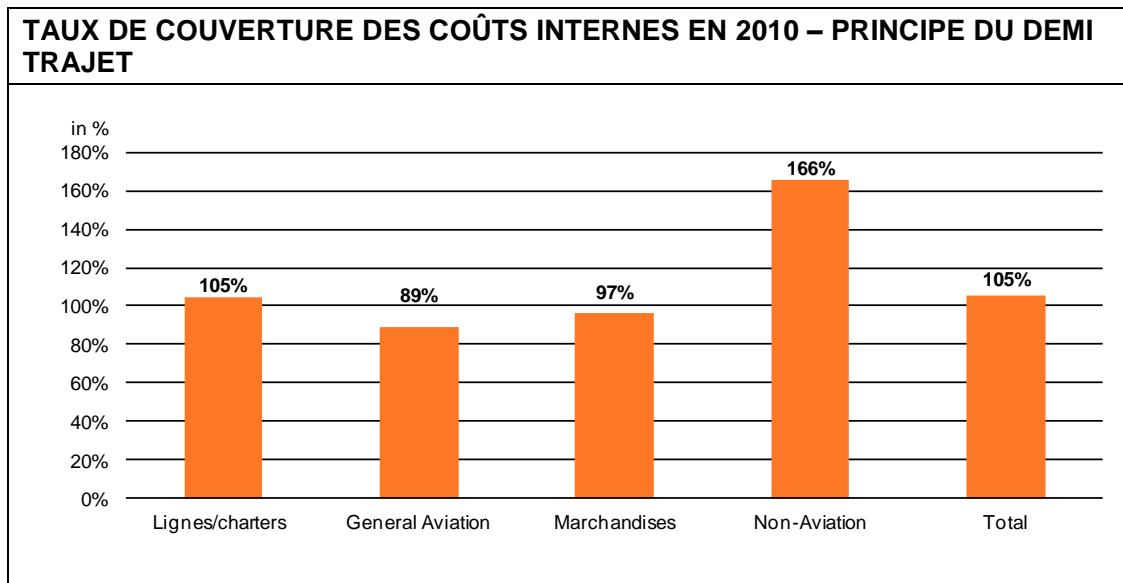
**Tableau R -3** Recettes internes du trafic aérien en 2010 – Principe du demi trajet

Tous les vols de/vers la Suisse en mio. CHF	Transport de personnes		Transport de marchandises	Non-Aviation	Total
	Lignes/charters	General Aviation			
Recettes tarifaires	1'675	505	277	-	2'457
Contributions propres/Autofinancement	14	-	-	510	524
Prélèvement à affectation obligatoire	31	48	7	-	85
Autres prélèvements	3	20	2	-	25
Prestations d'intérêt général	-	-	-	-	-
Total	1'723	573	286	510	3'092

**Tableau R-4** Recettes internes du trafic aérien en 2010 – Principe de territorialité

## Taux de couverture des coûts et recettes internes

En confrontant ces coûts et recettes, on met en lumière les taux de couverture des coûts internes selon le principe du demi trajet.



**Figure R-3**

On voit que le trafic de lignes/charter et le domaine Non-Aviation arrivent à couvrir leurs coûts internes avec des taux de couverture supérieurs à 100%. Il n'en va pas de même du domaine General Aviation et du transport de marchandises, dont les taux de couverture des coûts internes sont de respectivement 89% et 97%. Le taux global de couverture des coûts internes atteint 105% (104% sans le domaine Non-Aviation).

N'ont pas été considérés dans les taux ci-dessus les contributions supplémentaires aux aéroports accordées par des communes ou des cantons. Si les aéroports nationaux ne reçoivent quasiment jamais de telles contributions, la situation est variable en ce qui concerne les aéroports régionaux. Si l'on tenait en plus compte des coûts historiques de l'économie nationale (notamment les intérêts comptables sur les subventions fédérales accordées dans le passé), le taux de couverture des coûts et recettes internes baisserait d'un point pour se situer à 104%.

## COÛTS EXTERNES

Sont considérés comme coûts externes les coûts qui sont à la charge de tiers (collectivité) et non de ceux qui les ont occasionnés. Dans le présent rapport six catégories de coûts sont distinguées:

- › Accidents: coûts résultant d'accidents de circulation aérienne supportés par des tiers
- › Pollution de l'air: atteintes à la santé, dommages causés aux bâtiments et aux forêts, pertes de récolte
- › Bruit: pertes de revenu locatif et atteintes à la santé
- › Climat: dommages globaux dus aux émissions de gaz à effet de serre

- › Nature et paysage: pertes et fragmentations d'habitat pour les plantes et les animaux dues à l'infrastructure de transports
- › Processus de production en amont et en aval : coûts liés au climat par la production, l'entretien et l'élimination de l'infrastructure, des moyens de transport et de l'approvisionnement en énergie.

Ces catégories de même que la méthode de calcul s'orientent sur la manière de procéder d'études réalisées jusqu'ici sur les transports routier et ferroviaire (Ecoplan, Infras 2008). On a recours à l'approche dite *at least*, autrement dit, lorsque que des hypothèses sont émises, aussi réalistes soient-elles, c'est toujours l'hypothèse la plus conservatrice qui est choisie en cas de doute. Cela veut dire concrètement que lorsqu'il y a des incertitudes, ce sont les hypothèses prudentes qui l'emportent, ce qui conduit plutôt à une sous-estimation qu'à une surestimation des coûts effectifs.

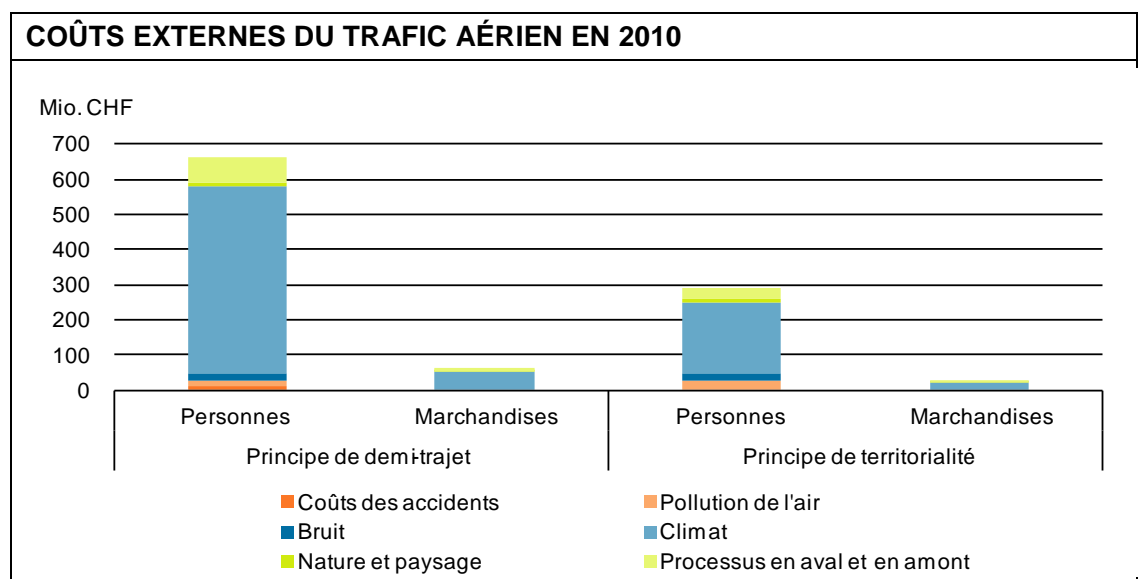
Pour les catégories de coûts externes du trafic aérien considérées dans l'étude, il a fallu en partie suivre une méthodologie donnée afin d'assurer la comparabilité avec des résultats sur les coûts externes de la route et du rail dans le compte des transports. Des travaux sont cependant en cours à l'ARE afin d'actualiser la méthodologie des comptes des transports, qui devront ensuite être établis de la même manière pour tous les modes de transport.

Les principales bases de données pour le calcul des coûts externes sont des données détaillées sur les accidents tirées de diverses sources (bpa, OACI, ASCEND, assureurs), des données sur les émissions de polluants (CO<sub>2</sub>, PM10 et NO<sub>x</sub>) de l'OFAC, des données relatives aux émissions de polluants résultant de la production, de l'exploitation et de l'élimination (EcoInvent), des données sur le bruit fournies par Sonbase (exploitation spéciale du modèle de bruit de la Confédération) et les aéroports nationaux de Zurich et de Genève ainsi que les calculs actuels établis sur le trafic routier et le trafic ferroviaire (avant tout pour les coûts unitaires).

Comme le montrent le tableau suivant et la figure suivante, les coûts externes totaux pour le trafic aérien en 2010 dans l'optique des modes de transport atteignent 725 millions de francs (principe du demi trajet) ou 316 millions de francs (principe de territorialité). Les coûts liés au climat forment de loin le bloc de coûts le plus important puisqu'ils représentent environ 80% des coûts externes totaux selon le principe du demi trajet et 71% selon le principe de territorialité. Le transport de personnes occasionne un peu plus de 91% de ces coûts, le transport de marchandises un peu moins de 9%.

en Mio. CHF, 2010	Principe de demi-trajet			Principe de territorialité		
	Personnes	Marchandises	Total	Personnes	Marchandises	Total
Coûts des accidents moyens	9.2	0.2	9.4	8.0	0.2	8.2
Pollution de l'air	19.9	2.0	22.0	19.9	2.0	22.0
Bruit	19.4	1.4	20.8	19.4	1.4	20.8
Climat	531.4	50.8	582.2	203.5	19.7	223.3
Nature et paysage	9.3	0.9	10.2	9.3	0.9	10.2
Processus en aval et en amont	73.6	7.0	80.6	28.7	2.8	31.4
<b>Total du point de vue "modes de transport"</b>	<b>662.8</b>	<b>62.4</b>	<b>725.2</b>	<b>288.7</b>	<b>27.1</b>	<b>315.8</b>
Coûts des accidents du point de vue "usagers"	19.8	0.7	20.4	13.7	0.6	14.3

**Tableau R-5** Vue d'ensemble des coûts externes du trafic aérien en 2010



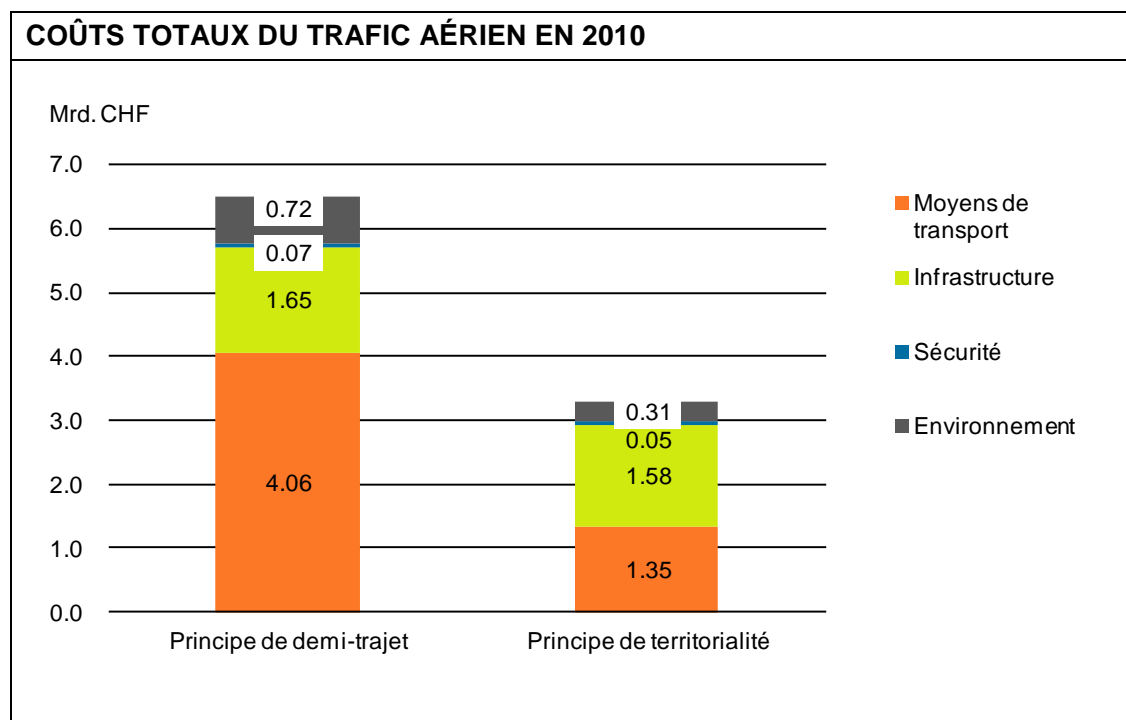
**Figure R-4**

Dans l'état actuel de la recherche, il n'existe pas d'avantages externes des modes de transport qui pourraient être pris en considération dans le compte des transports du trafic aérien. Il n'y a que très peu de véritables avantages externes. On peut citer ici comme exemples l'amoindrissement de la souffrance des proches lorsqu'une victime d'un accident peut être sauvée grâce à un transport aérien d'urgence plus rapide ou la joie procurée par la contemplation d'avions.

## TOTAL DES COÛTS ET DES RECETTES DU TRAFIC AÉRIEN

Les coûts totaux (internes et externes) se montent en 2010 à environ 6,5 milliards de francs selon le principe du demi trajet et à quelque 3,3 milliards de francs selon le principe de territorialité. Les coûts des transports publics représentent aussi la plus grande partie des coûts totaux. La part des coûts liés à l'environnement atteint 11%. Sur les 6,5 milliards de francs des coûts totaux selon le principe du demi trajet, 6,2 milliards de francs sont occasionnés par le domaine Avia-

tion et 0,3 milliard de francs par le domaine Non-Aviation (commerce de détail, gastronomie, etc. dans les aéroports).



**Figure R-5**

### Coûts selon le type de transport aérien

Les coûts encourus pour le seul domaine Aviation, autrement dit ceux qui ne prennent pas en compte les coûts du domaine Non-Aviation, peuvent être attribués à différents types de transport aérien. Le transport de personnes est subdivisé en trafic de lignes et charter et General Aviation (Business Aviation, transport par hélicoptère, aviation légère). Comme on pouvait s'y attendre, le bloc de coûts le plus important en termes absolus est le trafic de lignes et charter, qui est aussi dominant au niveau du nombre de passagers transportés. Ce type de transport aérien occasionne des coûts de 4,8 milliards de francs selon le principe du demi trajet, soit 77% des coûts totaux du domaine Aviation. Le transport de marchandises engendre 11% des coûts.

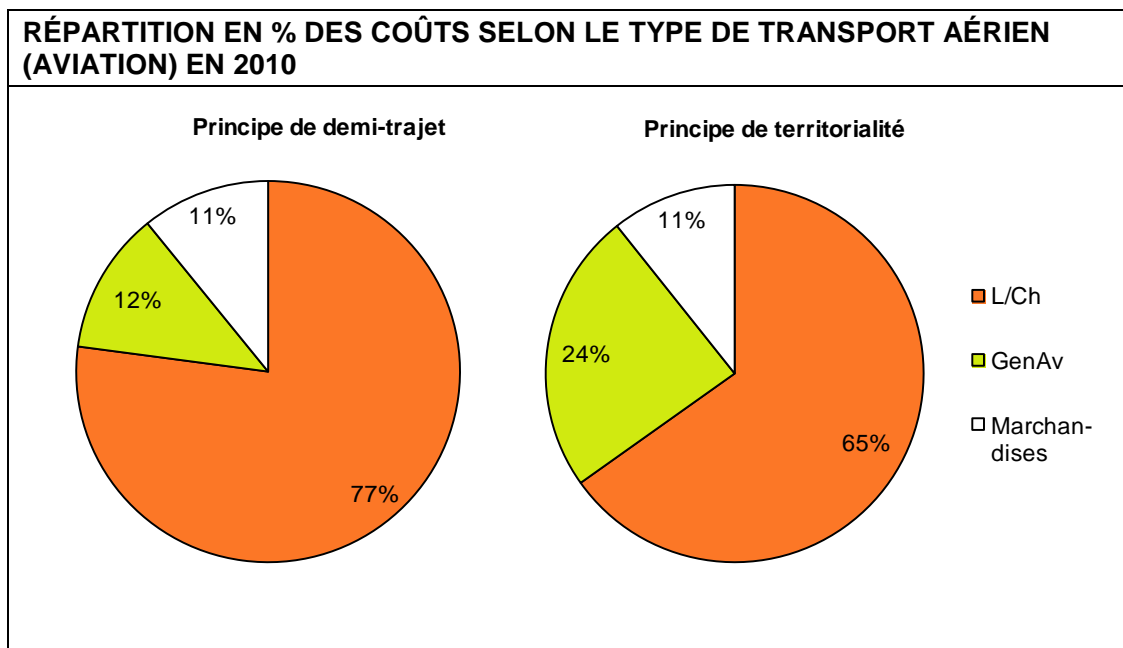


Figure R-6

#### Taux de couverture des coûts

En 2010, le trafic aérien en Suisse a des recettes de 5,6 milliards de francs dans le domaine Aviation généré selon le principe du demi trajet. Si l'on ajoute à ce montant les recettes de 0,5 milliard de francs provenant du domaine Non-Aviation, on arrive à des recettes totales de près de 6,1 milliards de francs pour le trafic aérien en 2010 (selon le principe du demi trajet). Ces recettes peuvent être comparées avec les coûts énumérés plus haut. Les taux de couverture des coûts en résultant sont présentés dans la figure ci-après.

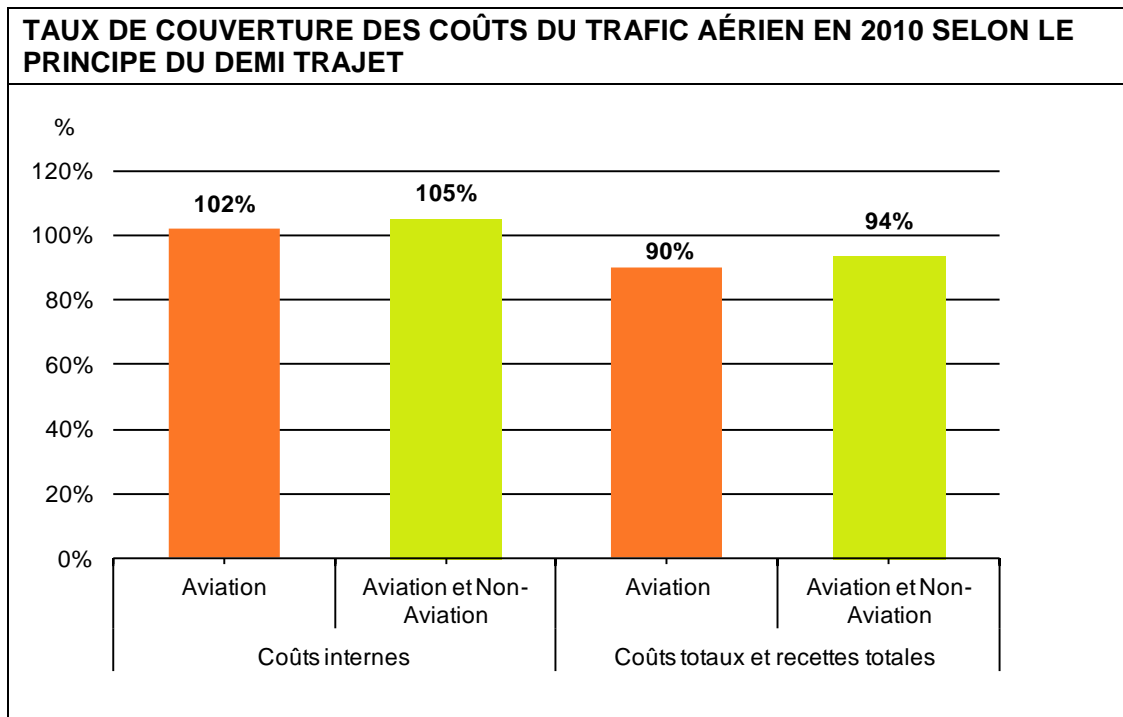


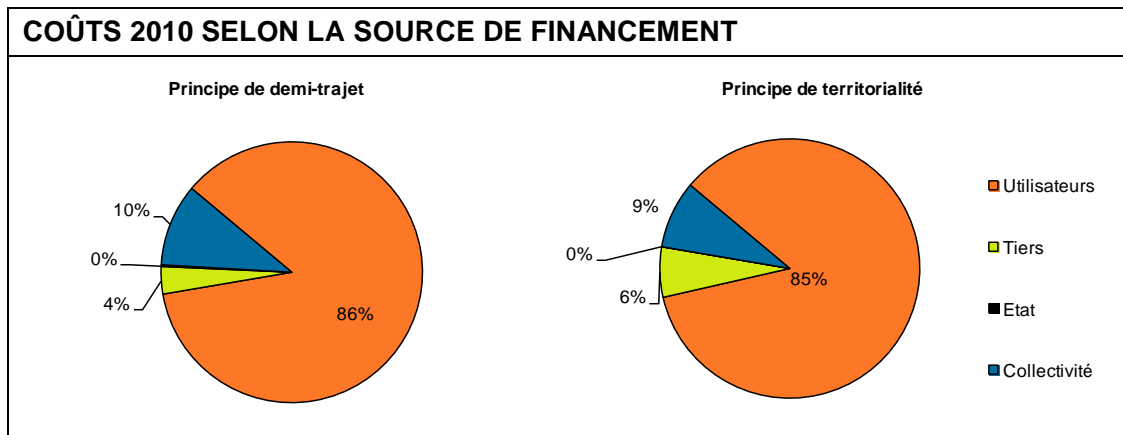
Figure R-7

On voit que le trafic aérien selon le principe du demi trajet arrive à couvrir ses coûts internes. Si l'on considère aussi les coûts externes (et donc aussi les taxes et impôts s'y rapportant du côté des recettes), le taux de couverture des coûts atteint 90% sans tenir compte des activités Non-Aviation et 94% avec ces dernières. Cela montre clairement que les prestations rentables dans le domaine Non-Aviation (avant tout dans les aéroports nationaux) contribuent à élever de manière générale le taux de couverture des coûts dans le trafic aérien.

### Sources de financement

La figure ci-après montre qu'environ 85% des coûts sont payés par les usagers. Selon le principe du demi trajet, les activités Non-Aviation prennent en charge quelque 4% des coûts (financement croisé par des tiers). 1% des coûts est à la charge de l'Etat et 9% à celui de la collectivité (par ex. via la charge due aux effets externes négatifs du trafic aérien).





**Figure R-8** Usagers, y compris recettes tarifaires, taxes et impôts et coûts Non-Aviation ; tiers entre autres avec recettes nettes du domaine Non-Aviation

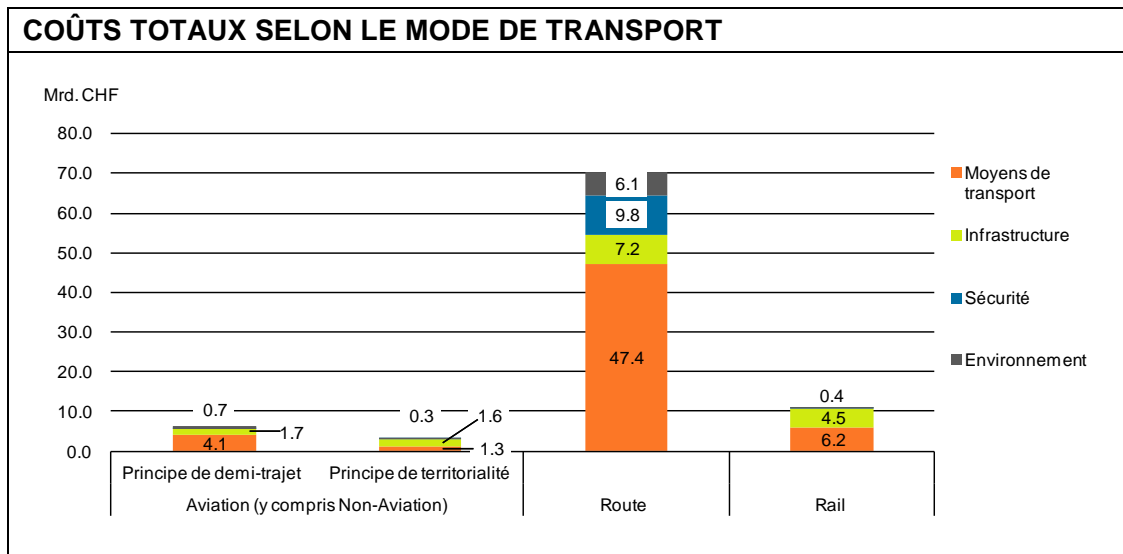
## COMPARAISON DES MODES DE TRANSPORT

Cette étude permet pour la première fois d'établir une comparaison complète entre les trois modes de transport Route, Rail et Aviation. Pour l'interprétation, il convient de tenir compte des aspects suivants :

- › Les chiffres utilisés dans la comparaison ne se réfèrent pas à la même année de base. Les dernières données disponibles pour le trafic routier et le trafic ferroviaire remontent à l'année 2005.
- › Les modes de transport présentent des délimitations du système différentes. Le trafic aérien occupe ici une position particulière, car le principe de territorialité utilisé dans le trafic routier et le trafic ferroviaire ne satisfait pas à l'orientation internationale de ce mode de transport.

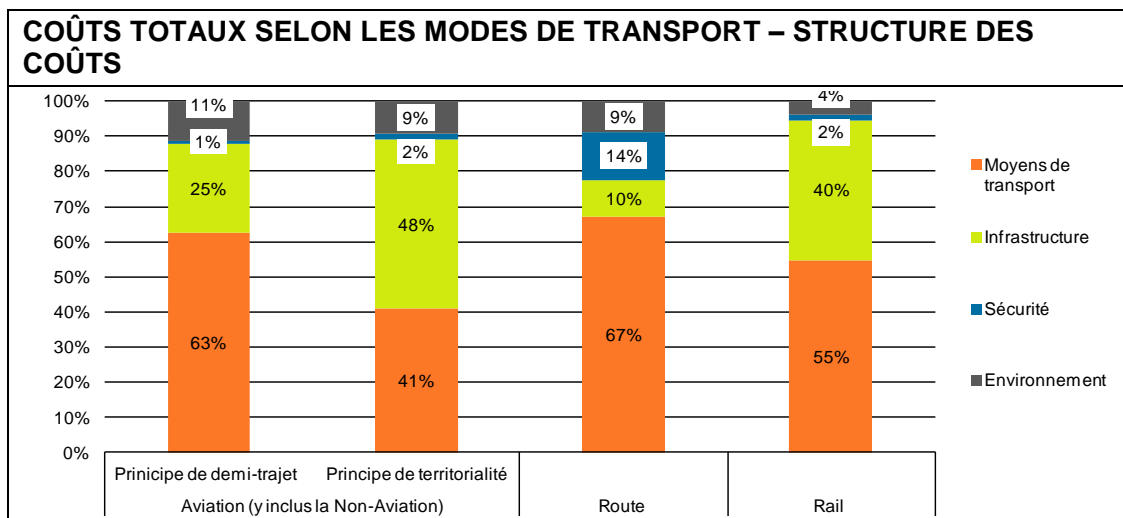
### Comparaison des coûts totaux

Les coûts totaux en 2010 (coûts internes et externes) se montent, dans le trafic aérien, à 6,5 milliards de francs selon le principe du demi trajet et à 3,3 milliards de francs selon le principe de territorialité. Dans le trafic ferroviaire, les coûts totaux s'élèvent à 11,3 milliards de francs. Ils sont nettement plus importants dans le trafic routier : plus de 70 milliards de francs.



**Figure R-9** Coûts du trafic aérien en 2010, coûts trafic routier et trafic ferroviaire en 2005

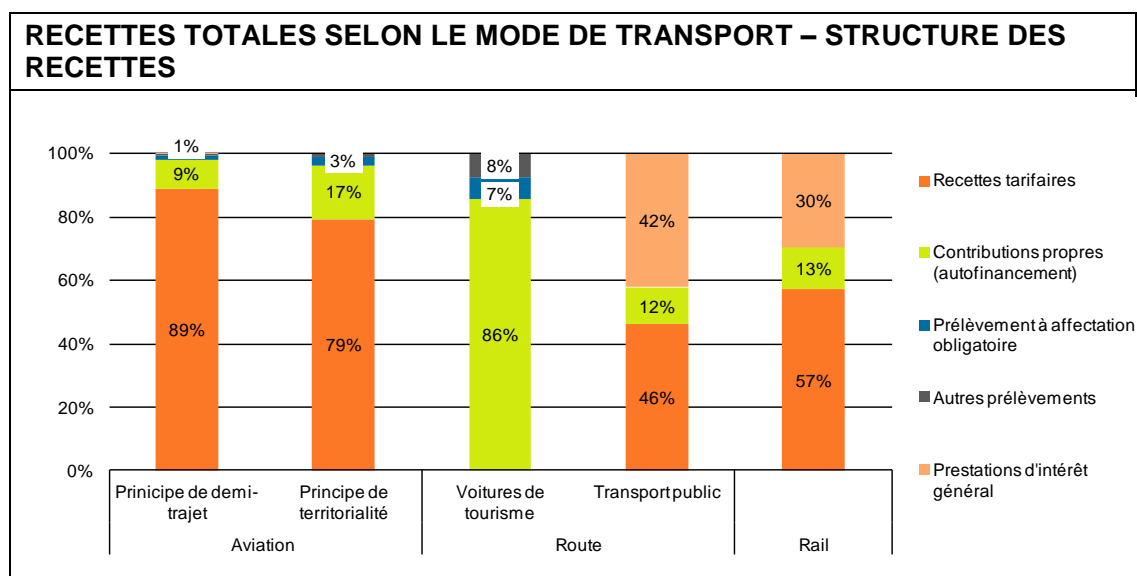
Si l'on considère les parts en % des quatre types de coûts, on voit que les moyens de transport dans le trafic aérien selon le principe du demi trajet et les moyens de transport dans le trafic routier présentent des parts semblables, soit à peu près deux tiers des coûts. Dans le trafic aérien selon le principe de territorialité, la part des coûts d'infrastructure est plus élevée et atteint à peu près le même niveau que dans le trafic ferroviaire. Les coûts liés à l'environnement se montent à environ 10% des coûts totaux tant pour le trafic aérien que pour le trafic routier. Ils sont les plus bas pour le trafic ferroviaire, avec 4% des coûts totaux. Les coûts de sécurité ne jouent un rôle important ni dans le trafic ferroviaire dans le trafic aérien, mais ils sont par contre non négligeables dans le trafic routier (14%).



**Figure R-10** Base des coûts du trafic aérien pour 2010, base des coûts du trafic routier et du trafic ferroviaire pour 2005

### Comparaison des recettes totales

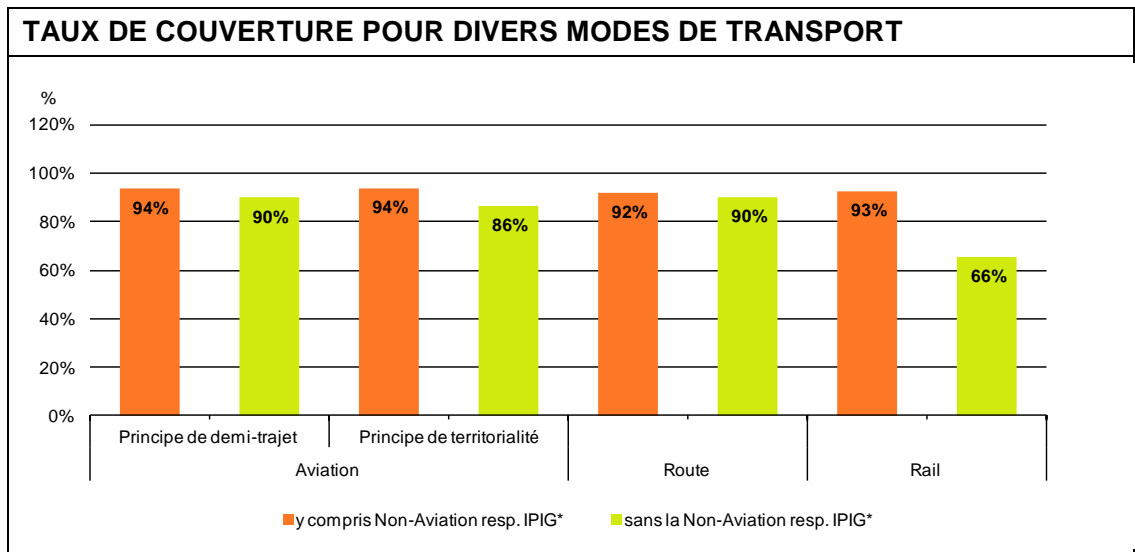
La structure des recettes des modes de transport se différencie clairement entre elle. Dans le trafic aérien, selon le principe du demi trajet, environ 90% des recettes proviennent des recettes tarifaires (billets) et 9% des contributions propres. Le trafic motorisé privé se finance soi-même à raison de 86%. Les autres recettes sont constituées dans une large mesure de prélèvements (taxes). Les recettes des transports publics routiers et du trafic ferroviaire proviennent respectivement de 46% et de 57% de recettes tarifaires ainsi que de 42% et de 30% d'indemnités pour prestations d'intérêt général.



**Figure R-11** Base des recettes du trafic aérien pour 2010, base des recettes du trafic routier et du trafic ferroviaire pour 2005.

### Comparaison des taux de couverture des coûts

La comparaison des taux de couverture des coûts des différents modes de transport montre qu'aucun des trois modes de transport considérés ne parvient à couvrir ses coûts totaux et que les trois ont des taux se situant à des niveaux semblables. Seule exception : le trafic ferroviaire présente un taux de 66% si l'on ne tient pas compte des indemnités pour prestations d'intérêt général comme recettes.



**Figure R-12** Le trafic aérien ne perçoit que de très faibles prestations d'intérêt général<sup>6</sup>, raison pour laquelle on fait ici une distinction entre avec le domaine Non-Aviation et sans ce dernier.

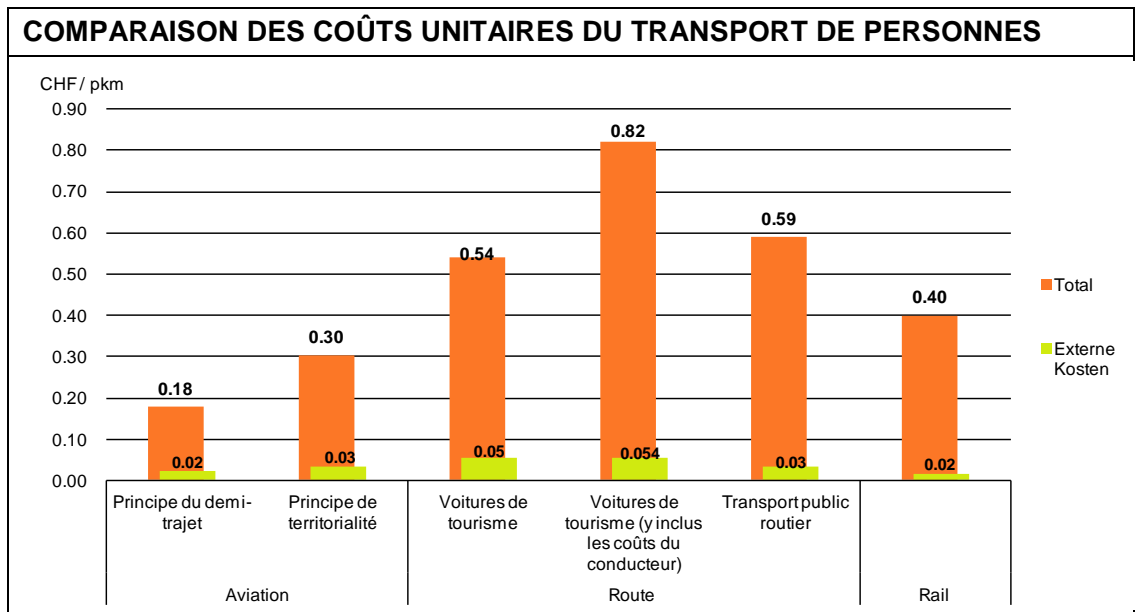
Coûts du trafic aérien en 2010, coûts du trafic routier et du trafic ferroviaire en 2005

\* IPIG: Indemnités pour prestations d'intérêt général

### Comparaison des coûts unitaires

On peut aussi comparer les modes de transport à l'aide des coûts unitaires par personne-kilomètre ou par tonne-kilomètre. Le trafic aérien présente ici les coûts unitaires les plus bas dans le transport de personnes. Cela tient au fait que la distance moyenne par trajet de transport est élevée dans le trafic aérien que le bloc de coûts totaux est plus bas en termes absolus dans la comparaison des modes de transport. Les coûts externes atteignent à peu près 2,2 centimes par personne-kilomètre dans le trafic aérien, soit un niveau plus faible que dans le trafic routier (5,4 ct./pkm) mais plus élevé que dans le trafic ferroviaire (1,7 ct./pkm).

<sup>6</sup> Prestations pour l'économie générale qui sont financées par l'Etat.



**Figure R-13** Trafic aérien sans le domaine Non-Aviation, données 2010, trafic routier et trafic ferroviaire (données 2005)

Le tableau est semblable dans le transport de marchandises : coûts par tonne-kilomètre les plus bas dans le trafic aérien (0,18 CHF/tkm, principe du demi trajet), contre 0,57 CHF/tkm dans le trafic routier et 0,24 CHF/tkm dans le trafic ferroviaire ; les coûts unitaires externes du trafic aérien (principe du demi trajet) se situent ici aussi entre ceux du trafic routier et ceux du trafic ferroviaire.

## CONCLUSIONS

- › Tout comme dans le trafic routier et le trafic ferroviaire, les coûts pour les moyens de transport sont dominants dans le trafic aérien. Les coûts liés à l'environnement représentent plus de 10% des coûts dans le trafic aérien, soit une part comparable à celle observée dans le trafic routier.
- › Les coûts liés au climat sont prépondérants dans les coûts externes du trafic aérien, avec une part de quelque 80% selon le principe du demi trajet. Les coûts liés au bruit ne sont que minimes, ce qui peut être dû en partie à la méthode de calcul conservatrice utilisée pour cette catégorie de coûts et qui tend à sous-estimer les coûts réels (comme dans le trafic routier et le trafic ferroviaire).
- › A l'instar des modes de transport Rail et Route, le trafic aérien couvre ses coûts dans une optique d'économie d'entreprise (sans les coûts externes). Mais ils ne sont pas couverts dans une optique d'économie nationale incluant les effets externes. Le taux de couverture des coûts du

trafic aérien (94%) est un peu plus élevé que pour les deux autres modes de transport. Sans tenir compte du domaine Non-Aviation, le taux de couverture des coûts baisserait à 90%.

- › Dans une perspective d'économie d'entreprise, les aéroports nationaux présentent des taux de couverture des coûts de plus de 100% alors que les aéroports régionaux ne couvrent leurs coûts qu'à raison d'environ 90%. Cette différence s'explique par les contributions de couverture élevées du trafic de lignes et charter et du domaine Non-Aviation.
- › L'étude permet de comparer les modes de transport Aviation, Rail et Route sur la base des coûts totaux de chaque mode de transport. Pour disposer de comparaisons plus significatives, il faudrait se référer à des voies plus spécifiques dans lesquelles les modes de transports seraient en concurrence.
- › Le principe du demi trajet répond à une considération de système complète du trafic aérien. Les résultats obtenus pour le trafic aérien selon le principe de territorialité sont en revanche méthodologiquement plus directement comparables avec ceux calculés pour le trafic routier et le trafic ferroviaire. Le principe du demi trajet forme ainsi pour le mode de transport Aviation la source primaire d'informations sur les coûts de transport. Le principe de territorialité peut fournir des informations supplémentaires spécifiques.

## COMPENDIO

### SITUAZIONE INIZIALE

Il conto dei trasporti è un conto globale che registra tutti i costi rilevanti dei vettori considerati e li paragona con i corrispondenti ricavi. La Confederazione ha presentato un conto dei trasporti per gli anni 2003 e 2005 avente come oggetto il traffico stradale e ferroviario (UST 2006 e 2009). Questo conto integrale non includeva il traffico aereo. Per porre rimedio a questa lacuna è stato allestito il presente **conto dei trasporti del traffico aereo 2010**. Questo conto traccia per la prima volta un quadro completo dei costi e ricavi del traffico aereo svizzero e lo mette a confronto con gli altri vettori di trasporto.

### DELIMITAZIONE E METODOLOGIA

Il presente conto dei trasporti del traffico aereo si basa su statistiche attuali dei trasporti, informazioni aggiornate sui costi fornite dagli operatori del settore e numerosi altri dati. Lo studio è stato commissionato dall'Ufficio federale di statistica (UST) e dall'Ufficio federale dello sviluppo territoriale (ARE) al consorzio Infrac/Ecoplan, che è stato affiancato da un gruppo di accompagnamento costituito da rappresentanti dell'Ufficio federale dell'aviazione civile (UFAC) e dai principali attori del trasporto aereo in Svizzera.

Il sistema traffico aereo svizzero considerato nel presente studio include i voli di linea e i voli charter, ma anche il settore General Aviation (aviazione generale) e il trasporto merci. L'aeroporto di Basilea-Mulhouse è attribuito interamente alla Svizzera, tranne che per le emissioni acustiche. L'aviazione militare e il traffico sostitutivo del trasporto aereo non entrano invece in linea di conto<sup>7</sup>. Nei calcoli non è considerato neppure il trasporto terrestre di passeggeri e merci in arrivo e in partenza dagli aeroporti, poiché esso è incluso nel conto stradale o nel conto ferroviario.

I criteri di delimitazione del sistema del traffico aereo differiscono da quelli adottati per il traffico stradale e ferroviario, perché nella maggior parte degli spostamenti del traffico aereo il punto di partenza o di arrivo si trova all'estero. Se si restringesse il campo di delimitazione al traffico interno si escluderebbe gran parte dei flussi di trasporto. In questo studio i risultati sono dunque presentati secondo due principi di delimitazione diversi (cfr. fig. seguente).

› Il **principio di partenza** tiene normalmente conto di tutti i voli in partenza dalla Svizzera, fino al luogo di destinazione. Nell'ambito di questo progetto esso assume tuttavia un significato

<sup>7</sup> Il traffico sostitutivo del trasporto aereo avviene per mezzo di autocarri ed è rilevato nel conto stradale.

leggermente diverso, pur rimanendo le due definizioni molto simili dal punto di vista del computo. Nel nostro caso, il principio di partenza considera tutti i voli in partenza dalla Svizzera fino a metà della tratta verso l'aeroporto di arrivo all'estero, e tutti i voli in partenza da aeroporti esteri e diretti in Svizzera, a partire da metà tratta, nonché l'intera tratta di tutti i voli nazionali. Nel presente studio adotteremo dunque la designazione «**principio di mezza tratta**». Se tutti i Paesi compilassero un conto del traffico aereo secondo questo principio, i collegamenti aerei sarebbero conteggiati correttamente a livello mondiale.

- › Il **principio di territorialità** rileva invece tutti i movimenti del traffico aereo effettuati sopra il territorio nazionale svizzero. Esso considera dunque tutti i chilometri percorsi in volo nello spazio aereo svizzero. Questa delimitazione rispecchia quella adottata nel conto stradale e nel conto ferroviario, ma non si presta per i mezzi di trasporto aereo (vettore aria), poiché tutti i voli internazionali sono conteggiati solo per la tratta interna al territorio nazionale. Se tutti i Paesi compilassero un conto dei trasporti del traffico aereo in base a questo principio, gli spostamenti aerei effettuati al di sopra delle acque internazionali (mari e oceani) non verrebbero rilevati.



**Figura C-1**

Nel conto dei trasporti del traffico aereo i costi e i ricavi sono differenziati per quanto possibile secondo il modello adottato nel conto dei trasporti stradale e ferroviario. Oltre ai costi fissi e

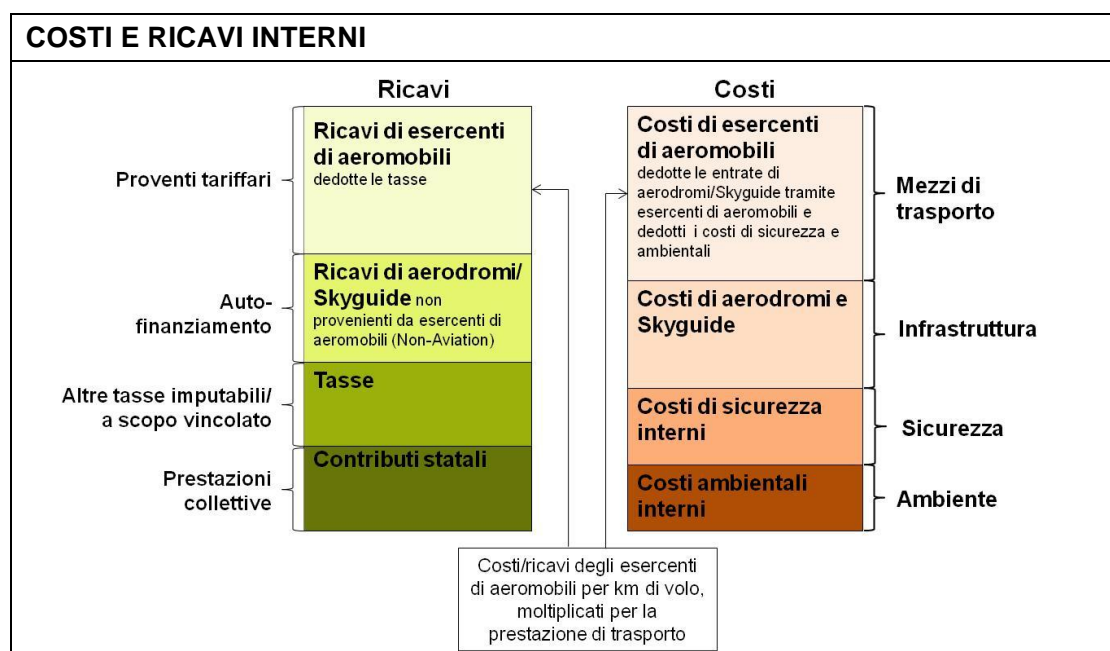


variabili (tipo di costo) si opera una distinzione tra i centri di costo «mezzi di trasporto», «infrastruttura», «sicurezza» e «ambiente». I ricavi sono suddivisi a loro volta in proventi tariffari, prestazioni proprie (autofinanziamento), tasse a scopo vincolato, altre tasse imputabili e indennità per prestazioni collettive. Vengono infine dettagliate le unità di imputazione (utenti, terzi, Stato, collettività). Tutti i risultati sono presentati sotto forma di costi dei fattori, ossia senza imposte indirette (p.es. IVA).

# OTTICA DI ECONOMIA D'IMPRESA

Per costi interni s'intendono i costi sostenuti nel settore dei trasporti in rassegna, presi a carico e pagati in forma monetaria. A essi si contrappongono i ricavi interni.

Lo schema sottostante mostra come sono articolati i tipi di ricavi e i centri di costo nel conto dei trasporti del traffico aereo.

**Figura C-2**

## Costi

Secondo il principio di mezza tratta, i costi interni complessivi nel settore del trasporto aereo ammontano a 5,8 miliardi di franchi, di cui 4,9 miliardi sono generati dal trasporto di persone. Il traffico di linea e i voli charter assorbono circa due terzi dei costi (4,2 mia. CHF) e rappresentano dunque il principale genere di trasporto aereo. Nella differenziazione secondo i centri di co-

sto, i mezzi di trasporto rappresentano la prima voce di costi interni, totalizzando 4,1 miliardi di franchi. Nel settore della sicurezza e dell'ambiente i costi interni sono invece esigui.

Tutti i voli da/verso la Svizzera in mio. CHF	Trasporto di persone		Trasporto merci	Non-Aviation	Totale
	Linea/charter	General Aviation			
Mezzi di trasporto	3'022	498	541	-	4'061
Infrastruttura	1'142	143	62	308	1'654
Sicurezza	4	11	6	-	22
Ambiente	31	0	3	-	34
<b>Totale</b>	<b>4'199</b>	<b>652</b>	<b>612</b>	<b>308</b>	<b>5'771</b>
Spese per il personale	881	228	122	66	1'298
Spese per beni e servizi	2'588	247	406	117	3'358
Costi del capitale	730	177	84	124	1'115
<b>Totale</b>	<b>4'199</b>	<b>652</b>	<b>612</b>	<b>308</b>	<b>5'771</b>

**Tabella C-1** Costi interni del traffico aereo nel 2010 secondo il principio di mezza tratta<sup>8</sup>.

Se i costi vengono calcolati secondo il principio di territorialità, i costi dei mezzi di trasporto risultano nettamente inferiori rispetto a quelli ottenuti applicando il principio di mezza tratta. I costi d'infrastruttura rimangono invece sostanzialmente identici, poiché essi ricadono per lo più sugli aeroporti legati a uno specifico territorio e dunque si riflettono in entrambe le delimitazioni. I costi interni calcolati secondo il principio di territorialità ammontano complessivamente a circa 3 miliardi di franchi, di cui 1,3 miliardi sono attribuibili ai mezzi di trasporto.

Tutti i voli da/verso la Svizzera in mio. CHF	Trasporto di persone		Trasporto merci	Non-Aviation	Totale
	Linea/charter	General Aviation			
Mezzi di trasporto	603	497	249	-	1'349
Infrastruttura	1'099	140	37	308	1'584
Sicurezza	-	11	6	-	17
Ambiente	31	0	3	-	34
<b>Totale</b>	<b>1'732</b>	<b>649</b>	<b>295</b>	<b>308</b>	<b>2'984</b>
Spese per il personale	620	228	70	66	985
Spese per beni e servizi	531	244	168	117	1'060
Costi del capitale	581	177	56	124	938
<b>Totale</b>	<b>1'732</b>	<b>649</b>	<b>295</b>	<b>308</b>	<b>2'984</b>

**Tabella C-2** Costi interni del traffico aereo nel 2010 secondo il principio di territorialità.

## Ricavi

A questi costi si contrappongono i ricavi, che provengono quasi esclusivamente dalla vendita dei biglietti aerei, fatta eccezione per i ricavi del settore Non-Aviation (vale a dire ristoranti, negozi all'interno degli aeroporti, proventi dei parcheggi). I proventi tariffari in base al principio di

<sup>8</sup> I costi di sicurezza comprendono i costi interni ed esterni causati dagli incidenti. I costi per il controllo delle persone e dei bagagli sono inclusi nei costi di infrastruttura.

mezza tratta rappresentano oltre l'89% dei ricavi complessivi, pari a 6,1 miliardi di franchi. In base al principio di territorialità, i proventi tariffari ammontano all'80%. I ricavi del settore Non-Aviation (autofinanziamento) sono di poco superiori a 500 milioni di franchi in base a entrambi i principi di delimitazione.

Tutti i voli da/verso la Svizzera in mio. CHF	Trasporto di persone		Trasporto merci	Non-Aviation	Totale
	Linea/charter	General Aviation			
Proventi tariffari	4'328	509	581	-	5'418
Autofinanziamento	31	-	-	510	541
Tasse a scopo vincolato	31	48	7	-	85
Altre tasse imputabili	3	20	2	-	25
Prestazioni collettive	10	3	1	-	14
Totale	4'403	580	591	510	6'084

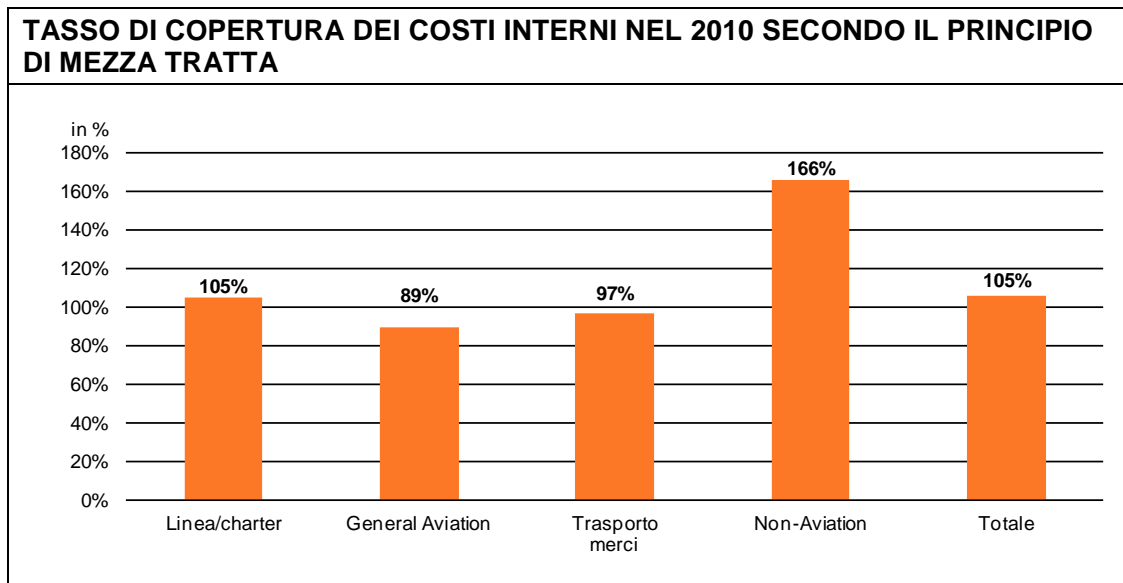
**Tabella C-3** Ricavi interni del traffico aereo nel 2010 secondo il principio di mezza tratta.

Tutti i voli da/verso la Svizzera in mio. CHF	Trasporto di persone		Trasporto merci	Non-Aviation	Totale
	Linea/charter	General Aviation			
Proventi tariffari	1'675	505	277	-	2'457
Autofinanziamento	14	-	-	510	524
Tasse a scopo vincolato	31	48	7	-	85
Altre tasse imputabili	3	20	2	-	25
Prestazioni collettive	-	-	-	-	-
Totale	1'723	573	286	510	3'092

**Tabella C-4** Ricavi interni del traffico aereo nel 2010 secondo il principio di territorialità.

### Tasso di copertura dei costi e dei ricavi interni

Mettendo a confronto i costi e i ricavi si ottengono i tassi di copertura dei costi interni secondo il principio di mezza tratta.



**Figura C-3**

Dal grafico emerge che il traffico di linea/charter e il settore Non-Aviation riescono a coprire i loro costi interni con un tasso di copertura superiore al 100% in entrambi i casi. Diversa è invece la situazione nel settore della General Aviation e del trasporto merci, dove il tasso di copertura dei costi interni è rispettivamente dell'89% e del 97%. Il tasso globale di copertura dei costi interni raggiunge il 105% (102% senza il settore Non-Aviation).

Nei tassi di copertura indicati sopra non sono stati considerati i contributi supplementari accordati agli aeroporti da Comuni o Cantoni. Se è vero che gli aeroporti nazionali non percepiscono quasi mai detti contributi, la situazione è mutevole sul piano degli aeroporti regionali. Se si considerassero in più anche i costi storici dell'economia nazionale (ovvero gli interessi figurativi sulle sovvenzioni federali accordate in passato), secondo il principio di mezza tratta il tasso di copertura dei costi e ricavi interni scenderebbe di un punto, collocandosi a 104%.

## COSTI ESTERNI

Sono considerati costi esterni i costi sostenuti non di coloro che li cagionano, ma da terzi (collettività). Nel presente rapporto si distinguono sei categorie di costi:

- › incidenti: costi risultanti da incidenti della circolazione aerea e sostenuti da terzi;
- › inquinamento atmosferico: danni alla salute, agli edifici e alle foreste, perdite di raccolto dovute alle emissioni inquinanti;
- › rumore: diminuzione del reddito locativo e danni alla salute riconducibili alle emissioni foniche;

- › clima: danni globali dovuti alle emissioni di gas serra;
- › natura e paesaggio: perdita e frammentazione degli spazi vitali di piante e animali causate dalle infrastrutture di trasporto;
- › processi collaterali a monte e a valle: costi legati ai cambiamenti climatici dovuti alla produzione, alla manutenzione e allo smaltimento delle infrastrutture e dei mezzi di trasporto e all'approvvigionamento di energia.

Queste categorie, come pure il metodo di calcolo, seguono le modalità adottate negli studi condotti finora sul traffico stradale e ferroviario (Ecoplan, Infrac 2008). È stato impiegato l'approccio definito «at least»: nel formulare le ipotesi si segue la pista più realistica e in caso di dubbio si propende sempre per la tesi più conservativa. Concretamente ciò significa che quando vi sono delle incertezze ci si affida alle ipotesi più prudenti: ciò induce a sottostimare piuttosto che sovrastimare i costi effettivi.

Per le categorie di costi esterni del traffico aereo considerate nello studio si è dovuta in parte seguire una metodologia predefinita allo scopo di garantire la comparabilità dei dati con i risultati dei costi esterni del settore stradale e ferroviario nel conto dei trasporti. In seno all'ARE sono in corso lavori per aggiornare la metodologia dei costi dei trasporti e fare così in modo che in futuro vengano compilati in maniera uniforme per tutti i vettori di trasporto.

Il calcolo dei costi esterni si basa principalmente sui seguenti dati: dati dettagliati sugli incidenti tratti da diverse fonti (upi, OACI, ASCEND, assicuratori), dati sulle emissioni inquinanti (CO<sub>2</sub>, PM10 e NO<sub>x</sub>) dell'UFAC, dati sulle emissioni di inquinanti risultanti dalla produzione, dallo sfruttamento e dallo smaltimento (EcoInvent), dati sul rumore forniti da SonBase (elaborazione speciale del modello di rumore della Confederazione) e dagli aeroporti nazionali di Zurigo e Ginevra, nonché i calcoli attualmente disponibili sul traffico stradale e ferroviario (in particolare per le aliquote di costo).

Come si evince dalla tabella e dalla figura sottostanti, nel 2010 i costi esterni totali del traffico aereo ammontano, dal punto di vista dei vettori di trasporto, a 725 milioni di franchi (principio di mezza tratta) o 316 milioni di franchi (principio di territorialità). I costi legati ai cambiamenti climatici costituiscono di gran lunga la voce di costo più importante, poiché rappresentano circa l'80% dei costi esterni totali secondo il principio di mezza tratta e il 71% secondo il principio di territorialità. Il trasporto di persone cagiona un buon 91% di questi costi, il trasporto merci appena il 9%.

in mio. CHF 2010

	Principio di mezza tratta			Principio di territorialità		
	Trasporto persone	Trasporto merci	Totale	Trasporto persone	Trasporto merci	Totale
Costi di incidenti (ottica vettori)	9.2	0.2	9.4	8.0	0.2	8.2
Inquinamento atmosferico	19.9	2.0	22.0	19.9	2.0	22.0
Rumore	19.4	1.4	20.8	19.4	1.4	20.8
Cambiamenti climatici	531.4	50.8	582.2	203.5	19.7	223.3
Natura e paesaggio	9.3	0.9	10.2	9.3	0.9	10.2
Processi a monte e a valle	73.6	7.0	80.6	28.7	2.8	31.4
<b>Totale (ottica vettori)</b>	<b>662.8</b>	<b>62.4</b>	<b>725.2</b>	<b>288.7</b>	<b>27.1</b>	<b>315.8</b>

Tabella C-5 Panoramica dei costi esterni del traffico aereo nel 2010

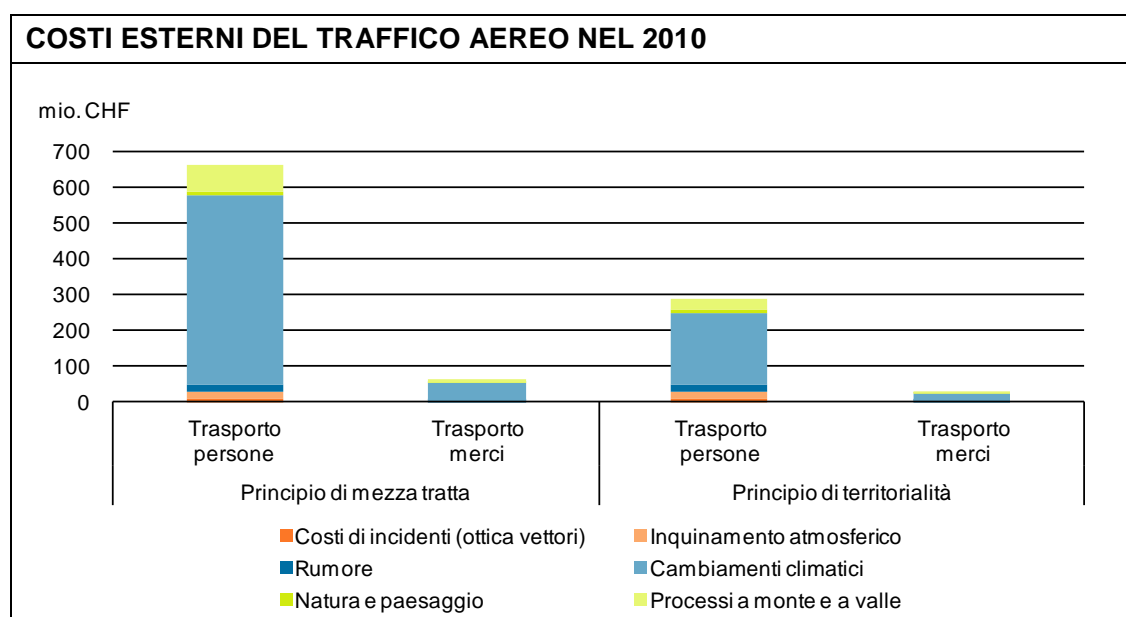


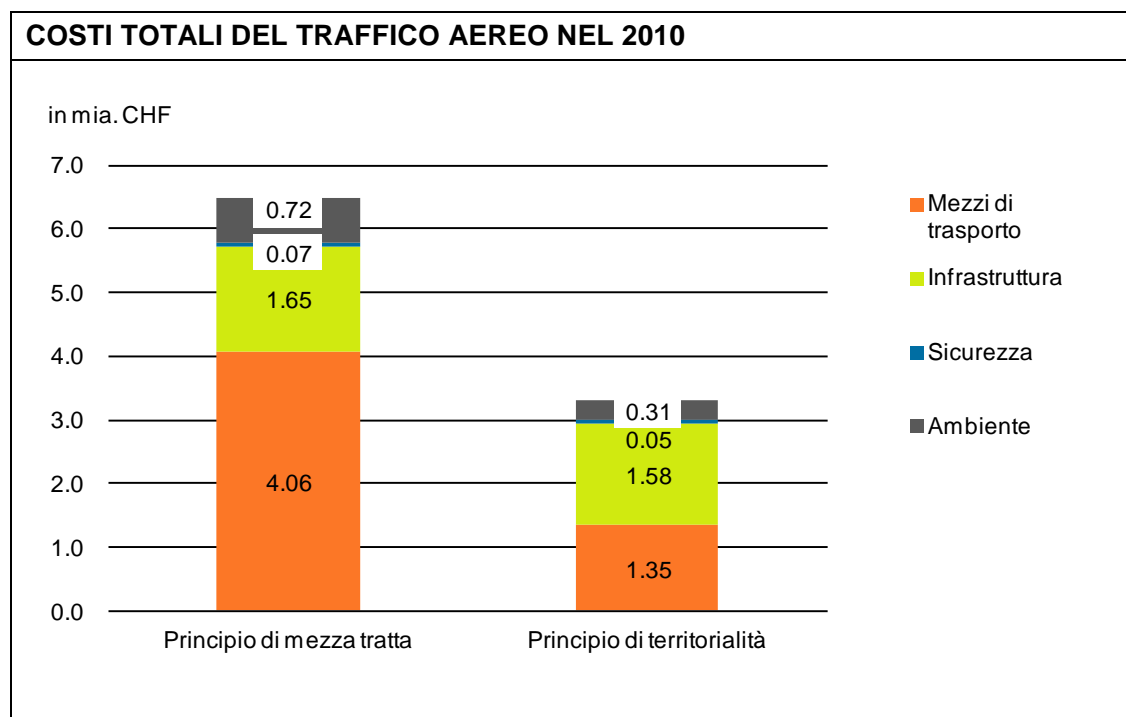
Figura C-4

Allo stato attuale della ricerca non sono noti vantaggi esterni dei vettori di trasporto che potrebbero essere presi in considerazione nel conto nei trasporti del traffico aereo. I vantaggi esterni effettivi sono pochissimi. A titolo di esempio si possono citare la ridotta sofferenza dei parenti delle vittime di incidenti stradali salvate grazie a un trasporto aereo d'emergenza più rapido o il piacere provato nel contemplare gli aerei.

## COSTI E RICAVI TOTALI DEL TRAFFICO AEREO

I costi totali (interni ed esterni) per l'anno 2010 ammontano a 6,5 miliardi di franchi secondo il principio di mezza tratta e a 3,3 miliardi di franchi secondo il principio di territorialità. I costi dei mezzi di trasporto costituiscono anche qui la voce principale dei costi totali. I costi legati all'ambiente rappresentano l'11%. In base al principio di mezza tratta, 6,2 miliardi di franchi (su un totale di 6,5 miliardi di franchi di costi) sono cagionati dal settore Aviation e 0,3 miliardi di

franchi dal settore Non-Aviation (commercio al dettaglio, gastronomia e altri servizi negli aeroporti).



**Figura C-5**

### Costi per genere di trasporto aereo

I costi sostenuti nel solo settore Aviation, vale a dire esclusi i costi attribuibili al settore Non-Aviation, possono essere imputati a diversi tipi di trasporto aereo. Il trasporto di persone è suddiviso in traffico di linea, voli charter e General Aviation (Business Aviation, trasporto in elicottero, aviazione leggera). Come prevedibile, la voce di costo in assoluto più importante è rappresentata dal traffico di linea e charter, che domina anche in termini di volume di passeggeri trasportati. Questo tipo di trasporto totalizza costi che secondo il principio di mezza tratta ammontano a 4,8 miliardi di franchi, pari al 77% dei costi totali del settore Aviation. Il trasporto aereo di merci genera l'11% dei costi.

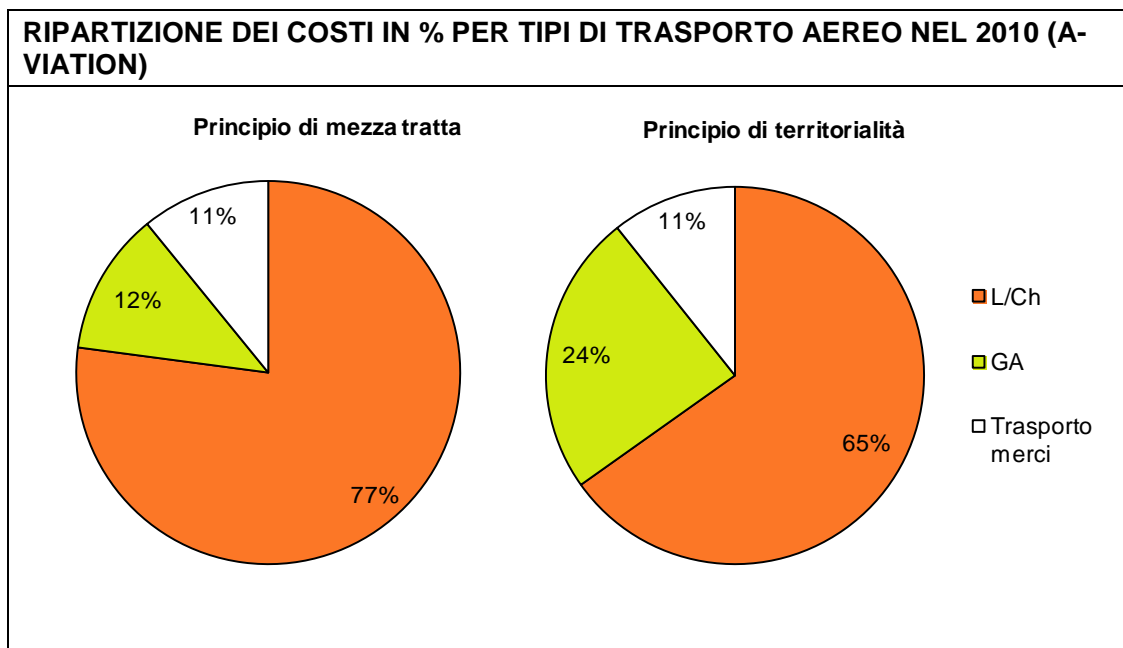
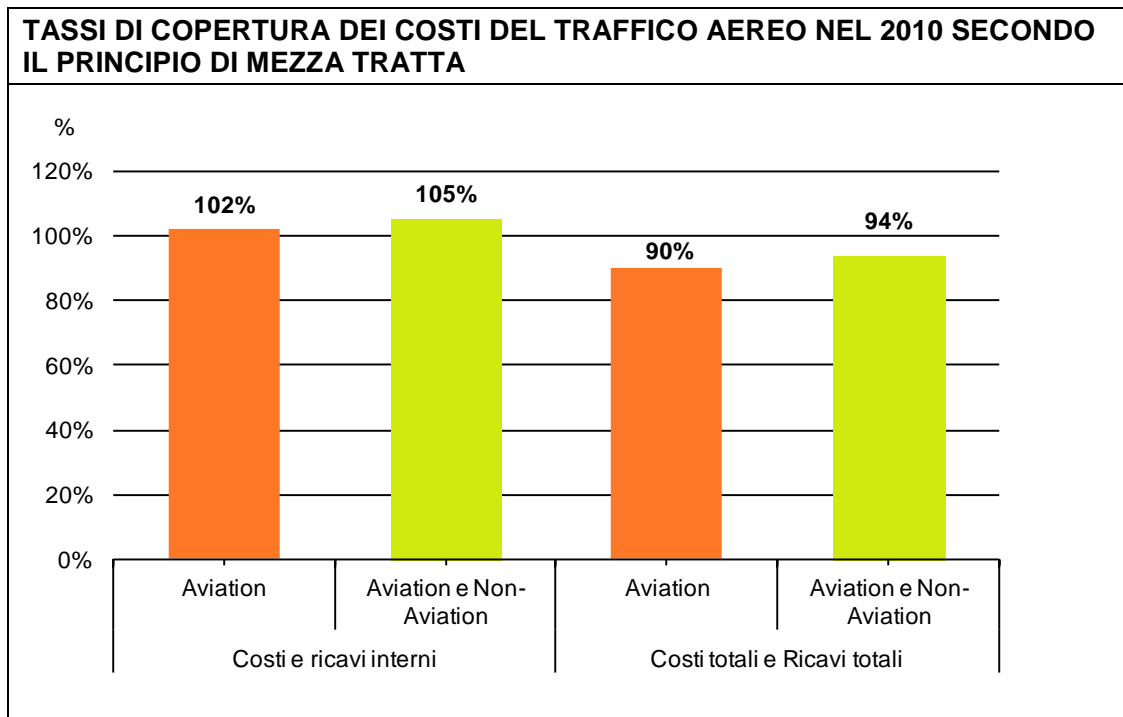


Figura C-6

### Tasso di copertura dei costi

Nel 2010, in base al principio di mezza tratta il traffico aereo in Svizzera ha generato ricavi per circa 5,6 miliardi di franchi nel settore Aviation. Se a questo importo si aggiungono le entrate del settore Non-Aviation (0,5 miliardi di franchi), nel 2010 i ricavi totali nel traffico aereo ammontano a 6,1 miliardi di franchi (sempre secondo il principio di mezza tratta). Mettendo a confronto questi ricavi con i costi riportati sopra si ottengono i tassi di copertura dei costi (cfr. figura sottostante).



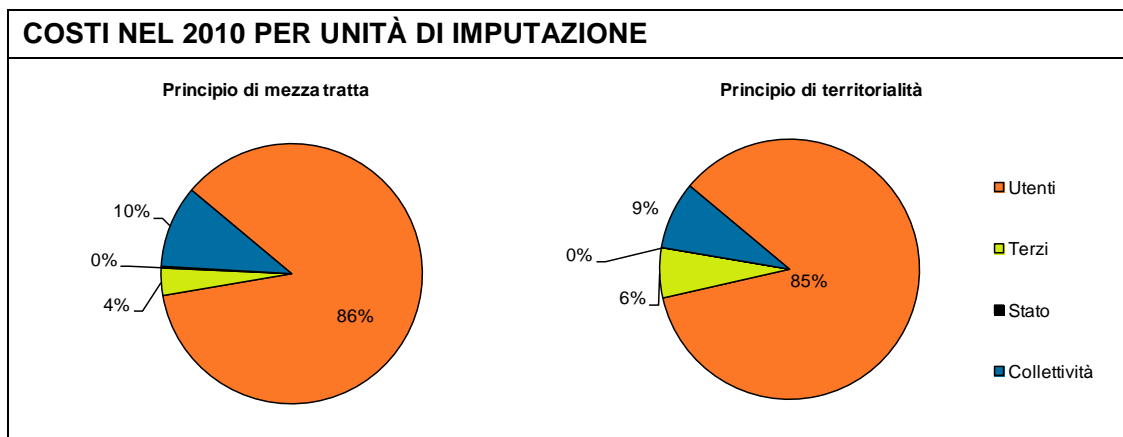


**Figura C-7**

I dati mostrano che il traffico aereo in base al principio di mezza tratta riesce a coprire i propri costi interni. Se si considerano anche i costi esterni (e quindi anche le tasse e imposte ad essi corrispondenti dal lato dei ricavi), il tasso di copertura dei costi raggiunge il 90%, senza tener conto delle attività del settore Non-Aviation, e il 94% se si includono anche dette attività. Da ciò si evince che i servizi redditizi nel settore Non-Aviation (speciamente negli aeroporti nazionali) contribuiscono ad aumentare il tasso generale di copertura dei costi nel traffico aereo.

### **Unità di imputazione**

Dalla figura sottostante emerge che circa l'85% dei costi sono pagati dagli utenti. In base al principio di mezza tratta, le attività Non-Aviation assorbono il 4% circa dei costi (finanziamento incrociato da parte di terzi). L'1% dei costi è a carico dello Stato e il 9% a carico della collettività (p.es. per effetto del carico dovuto agli effetti esterni negativi del traffico aereo).



**Figura C-8** Utenti, compresi proventi tariffari, tasse e imposte e costi del settore Non-Aviation; terzi tra l'altro con ricavi netti provenienti dal settore Non-Aviation.

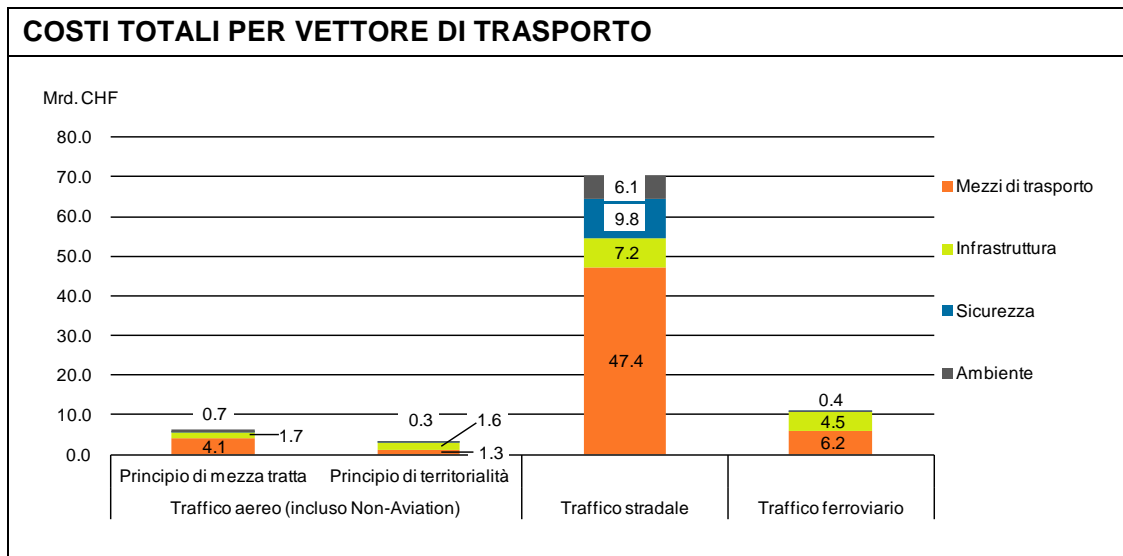
## VETTORI DI TRASPORTO A CONFRONTO

Il presente studio consente per la prima volta di stabilire un confronto completo tra i tre vettori di trasporto (strada, ferrovia e aria). Ai fini dell'interpretazione dei dati è opportuno tenere conto dei seguenti aspetti.

- › I dati utilizzati nell'analisi comparativa non si riferiscono allo stesso anno di base. Gli ultimi dati disponibili per il traffico stradale e il traffico ferroviario risalgono al 2005.
- › I vettori di trasporto presentano delimitazioni di sistema diverse. Il traffico aereo costituisce un caso speciale, poiché il principio di territorialità impiegato nel traffico stradale e ferroviario non soddisfa l'impostazione internazionale di questo vettore di trasporto.

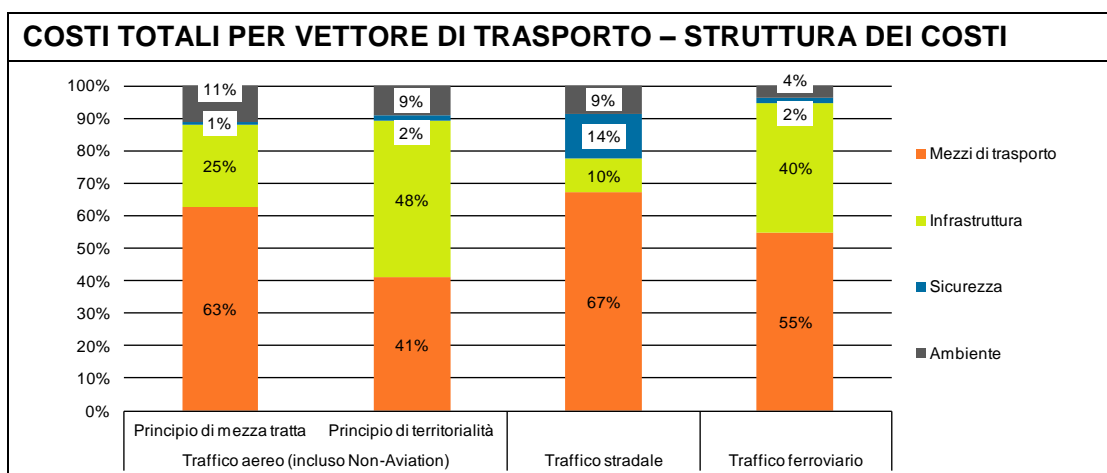
### Costi totali a confronto

I costi totali nel 2010 (costi interni ed esterni) ammontano a 6,5 o 3,3 miliardi di franchi (in base rispettivamente al principio di mezza tratta e al principio di territorialità) nel traffico aereo e a 11,3 miliardi di franchi nel traffico ferroviario. Nel traffico stradale essi si situano a un livello nettamente più elevato, che supera i 70 miliardi di franchi.



**Figura C-9** Costi del traffico aereo nel 2010, costi del traffico stradale e del traffico ferroviario nel 2005.

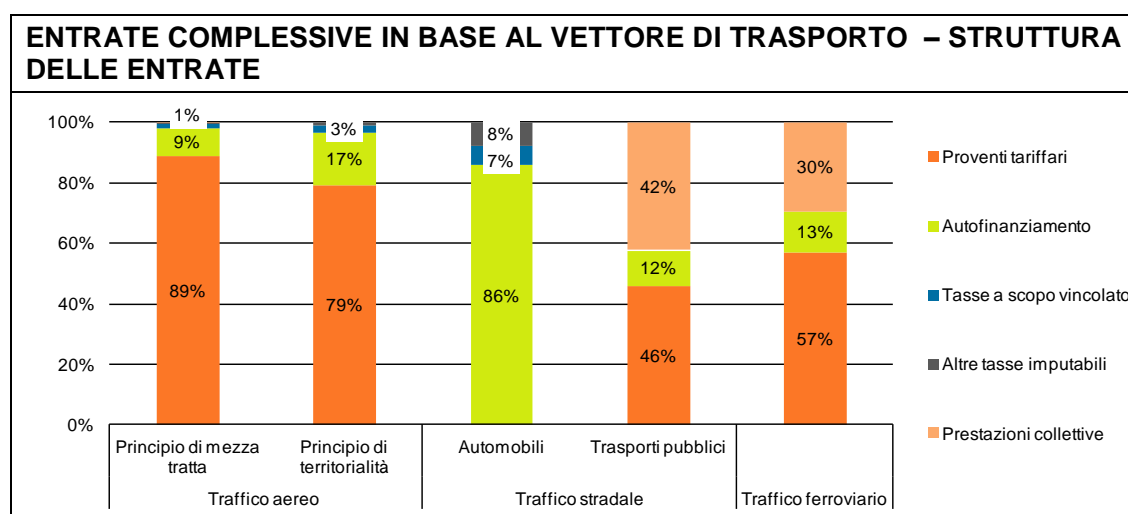
Se si osservano le quote percentuali dei quattro centri di costo si nota che i mezzi di trasporto nel traffico aereo secondo il principio di mezza tratta e nel traffico stradale totalizzano valori simili, pari a circa due terzi dei costi. Nel traffico aereo secondo il principio di territorialità, i costi d'infrastruttura sono in percentuale più elevati e corrispondono più o meno a quelli del traffico ferroviario. I costi legati all'ambiente sono in percentuale simili nel traffico aereo e nel traffico stradale (10% circa dei costi totali), mentre nel traffico ferroviario scendono al livello minimo (4% dei costi totali). I costi legati alla sicurezza hanno un peso irrilevante nel traffico ferroviario e in quello aereo, raggiungono invece un livello non trascurabile nel traffico stradale (14%).



**Figura C-10** Base dei costi del traffico aereo nel 2010, base dei costi del traffico stradale e del traffico ferroviario nel 2005.

### Raffronto delle entrate complessive

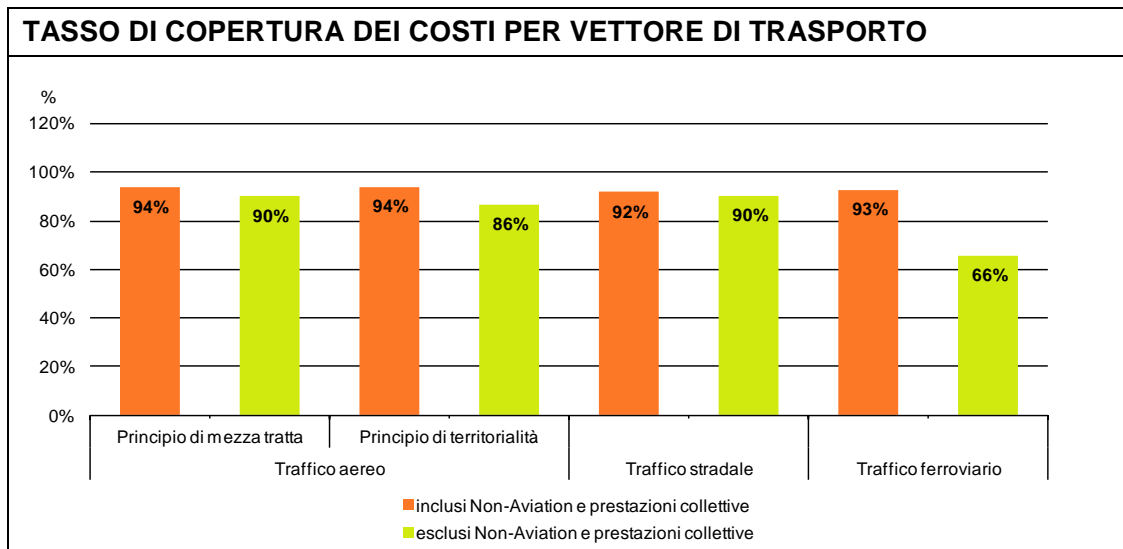
Le strutture delle entrate dei vari vettori di trasporto sono molto diverse tra loro. Nel traffico aereo, in base al principio della mezza tratta, circa il 90% delle entrate proviene dai proventi tariffari (biglietti) e il 9% dall'autofinanziamento. Il traffico stradale privato è autofinanziato all'86%. Le rimanenti entrate sono costituite in larga parte dal prelievo di tasse. Le entrate dei trasporti pubblici e del traffico ferroviario provengono risp. al 46% e al 57% dai proventi tariffari e al 42% e al 30% da indennità per prestazioni collettive.



**Figura R-11** Entrate di base del traffico aereo per il 2010, entrate di base del traffico stradale e ferroviario per il 2005.

### Tassi di copertura dei costi a confronto

Confrontando i tassi di copertura dei costi dei diversi vettori di trasporto risulta che nessuno dei tre vettori in rassegna è in grado di coprire i propri costi totali e che tutti e tre presentano un tasso simile. L'unica eccezione è costituita dal traffico ferroviario: se gli indennizzi per prestazioni collettive non sono contabilizzati fra i ricavi, il tasso di copertura si situa al 66%.



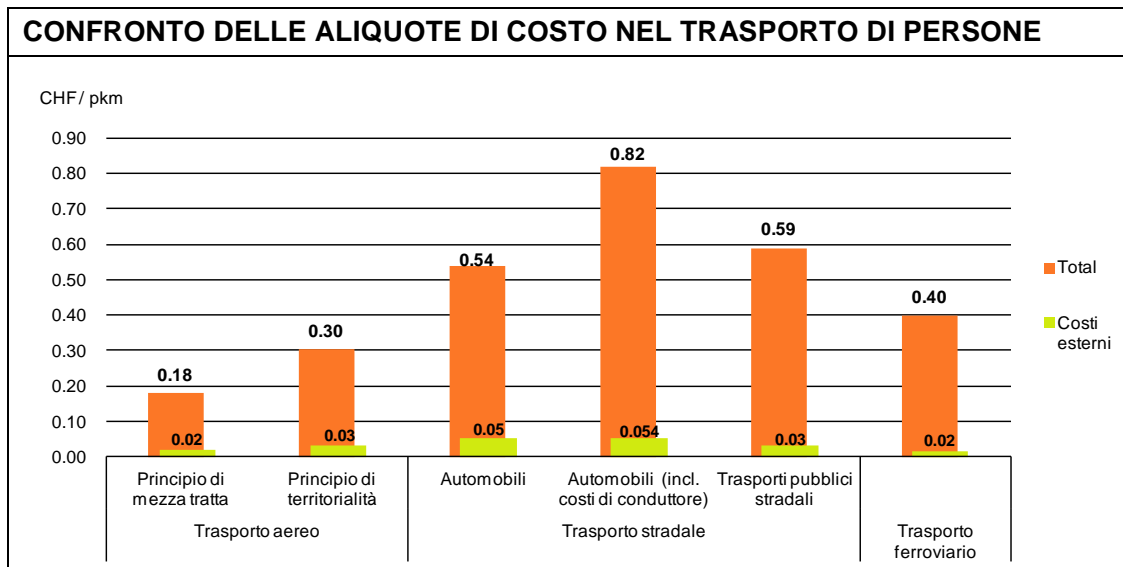
**Figura C-12** Il traffico aereo fornisce pochissime prestazioni collettive<sup>9</sup>, ragion per cui in questo rapporto si opera una distinzione tra «inclusi Non-Aviation e prestazioni collettive» e «esclusi Non-Aviation e prestazioni collettive».

Costi del traffico aereo nel 2010, costi del traffico stradale e del traffico ferroviario nel 2005.

### Aliquote di costo a confronto

Il confronto tra vettori di trasporto può essere effettuato anche a livello di aliquote di costo per passeggero-chilometro o per tonnellata-chilometro. In questa analisi comparativa il traffico aereo presenta le aliquote di costo più basse del trasporto passeggeri. Ciò è dovuto al fatto che nel traffico aereo la distanza media per tratta è elevata e i costi totali sono in termini assoluti più bassi rispetto agli altri vettori di trasporto. I costi esterni si attestano intorno a 2,2 centesimi per passeggero-chilometro nel traffico aereo, dunque al di sotto di quelli del traffico stradale (5,4 ct/pkm), ma al di sopra di quelli del traffico ferroviario (1,7 ct/pkm).

<sup>9</sup> Prestazioni a favore della collettività finanziate dallo Stato.



**Figura C-13** Traffico aereo senza il settore Non-Aviation, dati riferiti al 2010; per il traffico stradale e ferroviario i dati sono riferiti al 2005.

Nel trasporto merci si delinea un quadro simile: il traffico aereo registra i costi più bassi per tonnellata-chilometro (0,18 CHF/tkm, principio di mezza tratta), contro 0,57 CHF/tkm nel traffico stradale e 0,24 CHF/tkm nel traffico ferroviario. Le aliquote dei costi esterni nel traffico aereo (principio di mezza tratta) si situano anche in questo caso tra i valori del traffico stradale e quelli del traffico ferroviario.

## CONCLUSIONI

- › Come nel traffico stradale e ferroviario, i costi per i mezzi di trasporto (Airlines) sono la voce dominante anche nel traffico aereo. I costi legati all'ambiente rappresentano circa il 10% dei costi nel traffico aereo, percentuale comparabile a quella rilevata per il traffico stradale.
- › I costi legati ai cambiamenti climatici sono una voce considerevole nei costi esterni del traffico aereo (80% secondo il principio di mezza tratta). I costi legati al rumore rappresentano una parte minima: ciò è probabilmente dovuto almeno in parte al metodo di calcolo conservativo adottato per questa categoria di costi, che tende a sottostimare i costi reali (come nel traffico stradale e nel traffico ferroviario).
- › Analogamente ai vettori di trasporto strada e ferrovia, il traffico aereo copre i propri costi in un'ottica di economia d'impresa (senza considerare i costi esterni), ma non in un'ottica di economia nazionale, che include gli effetti esterni. Il tasso di copertura dei costi, pari al 94%, è lievemente superiore al tasso di copertura negli altri due vettori di trasporto. Se si esclude il settore Non-Aviation, il tasso di copertura dei costi scende al 90%.

- › In un'ottica di economia d'impresa, gli aeroporti nazionali segnano un grado di copertura dei costi superiore al 100%, mentre gli aeroporti regionali coprono i loro costi solo al 90%. Questa differenza è riconducibile agli elevati contributi di copertura del traffico di linea e charter e del settore Non-Aviation.
- › Lo studio consente di analizzare in chiave comparativa i vettori di trasporto aria, ferrovia e strada sulla base dei costi totali di ciascun vettore. Per estrapolare dati comparativi più significativi bisognerebbe analizzare tragitti standard più specifici, sui quali i singoli vettori di trasporto entrano in concorrenza.
- › Il principio di mezza tratta rispecchia l'ottica sistemica globale del traffico aereo. I risultati del traffico aereo secondo il principio di territorialità sono d'altro canto direttamente comparabili dal profilo metodologico con quelli ricavati per il traffico stradale e il traffico ferroviario. Il principio di mezza tratta rappresenta dunque per il vettore aria la fonte principale di informazioni sui costi di trasporto, mentre il principio di territorialità può fornire informazioni complementari specifiche.

## 1. EINLEITUNG

Die Transportrechnung Schweiz wurde im Auftrag des Bundesamtes für Statistik (BFS) und des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) in den Jahren 2004 bis 2006 erarbeitet (Infras / Eco-plan 2006).<sup>10</sup> Sie umfasste bisher die Kosten und Erträge des motorisierten Strassen- und Schienenverkehrs. In diesen Bereichen hat sie sich rasch zu einem etablierten Instrument der Verkehrspolitik entwickelt.

Für den Luftverkehr ist eine solche Rechnung bis anhin nicht vorhanden. Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Grundlagen (methodisch, Daten) zu erarbeiten und eine Berechnung für das Jahr 2010 zu präsentieren. Dabei werden interne und externe Kosten und Erträge nach verschiedenen Kostenarten, Kostenstellen (Verkehr, Infrastruktur, Sicherheit, Umwelt) und Kostenträgern (Luftverkehrssegmente) unterschieden.

Der Bericht ist in drei Blöcke gegliedert:

- › Block I umfasst die wichtigsten methodischen Fragen, insbesondere die territoriale Abgrenzung und die Struktur der Transportrechnung sowie die Datengrundlagen.
- › Block II zeigt das Vorgehen und die Ergebnisse für die internen Kosten und Erträge sowie für die externen Kosten auf und präsentiert den Zusammenzug (Kostendeckungsgrad, spezifische Kosten).
- › Block III stellt die Ergebnisse des Luftverkehrs den anderen Verkehrsträgern gegenüber und zieht Schlussfolgerungen.

<sup>10</sup> Die ersten Resultate für die Jahre 2003 und 2005 wurden vom Bundesamt für Statistik publiziert (BFS 2006, resp. 2009).



## BLOCK I: ABGRENZUNG UND METHODIK

### 2. ABGRENZUNG

Die Berechnung der Transportrechnung Luftverkehr für die Schweiz (inkl. Flughafen Basel) basieren auf Daten des Jahres 2010. Neben dem aus Kosten- und Ertragssicht dominierenden Linien- und Charterverkehr wird auch die General Aviation und der Güterverkehr in die Transportrechnung Luftverkehr integriert. Nicht berücksichtigt wird die militärische Aviatik sowie der Luftfrachtersatzverkehr.<sup>11</sup> Ebenfalls nicht berücksichtigt werden Verkehre von und zu Flugplätzen, da diese bereits in der Transportrechnung Strasse und Schiene erfasst sind. Bei den Leistungen der öffentlichen Hand an den Luftverkehr werden innerhalb dieses Auftrags nur jene des Bundes berücksichtigt. Damit werden insb. die Unterstützungsleistungen von Kantonen und Gemeinden an Flugplätze nicht berücksichtigt (vgl. Kap. 5.5.1).

Die Pilotrechnung wird für zwei verschiedene Abgrenzungsprinzipien – dem Abflugprinzip und dem Territorialprinzip – erstellt. Im Fokus steht dabei das Abflugprinzip, da es den Eigenschaften des Verkehrsträgers eher gerecht wird. Weil die Transportrechnung für die Schiene und die Strasse jedoch auf dem Territorialprinzip basiert, wird die Rechnung zusätzlich auch nach diesem Prinzip erstellt. Die beiden Prinzipien werden in den nachstehenden Absätzen beschrieben und erklärt.

#### Abflugprinzip

Das Abflugprinzip stellt das gesamte Luftverkehrsangebot ab der und in die Schweiz dar. Es erfasst verkehrsseitig alle Flüge ab der Schweiz bis in die Hälfte der Strecke zum ausländischen Zielflughafen bzw. ab der Hälfte der Strecke vom ausländischen Ausgangsflughafen bis in die Schweiz sowie die gesamte Strecke aller Inlandflüge (vgl. Figur 1). Das bedeutet, dass alle Starts und Landungen in der Schweiz berücksichtigt werden. Auf Seite der Infrastruktur werden alle für diese Flugstrecken relevanten Infrastrukturen berücksichtigt. Das sind namentlich alle schweizerischen Flugplätze (Basel wird vollständig mitgezählt) sowie alle Flugsicherungsdienstleistungen, die für die erfassten Flugstrecken relevant sind. Würden alle Länder eine Transport-

<sup>11</sup> Bei der Transportrechnung für Strassen- und Schienenverkehr ist der Umgang mit militärischem Verkehr im Rahmen der laufenden Methodenüberprüfung genauer zu definieren. Luftfrachtersatzverkehr nennt man Gütertransporte, die als Luftverkehr gelten, jedoch – meist weil zum gefragten Zeitpunkt keine Luftverkehrskapazitäten vorhanden sind – auf der Strasse transportiert werden. Diese Transporte werden daher bereits in der Strassenrechnung berücksichtigt.

rechnung Luftverkehr gemäss dem so definierten Abflugprinzip erstellen, wären alle Flüge vollständig abgedeckt.

Das Abflugprinzip kann auch als Halbstreckenprinzip bezeichnet werden, da die Anzahl Verbindungen nach einer bestimmten Destination grundsätzlich der Anzahl Verbindungen von dieser Destination entspricht.

Für das Emissionsinventar der Zivilluftfahrt, welches auch für die Erstellung des Treibhausgasinventars der Schweiz zuhanden des United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) dient, wird das ‚Absatzprinzip‘ – in Englisch Sales Principle – verwendet. Als international anerkannter Standard wird es häufig auch für weitere Statistiken angewendet. Bei Absatzprinzip wird die gesamte in der Schweiz getankte Treibstoffmenge herangezogen. Für einen Flug von der Schweiz (A) ins Ausland (B) ist nach diesem Prinzip die Strecke von A nach B relevant. Strategisches Tanken, Auswirkungen des Jet Streams<sup>12</sup> sowie unterschiedliche Flugrouten von A nach B und von B nach A sind mögliche Ursachen für Abweichungen zwischen dem Abflug- und dem Absatzprinzip. Mit dem für diese Studie vorliegenden Datenmaterial lassen sich diese Unterschiede jedoch nicht abschliessend quantifizieren. Das Absatzprinzip wird in dieser Transportrechnung Luftverkehr mit dem Abflugprinzip approximiert.

<sup>12</sup> Z.B. geringerer Energieverbrauch bei Flügen von West nach Ost im Polarfrontjetstream.



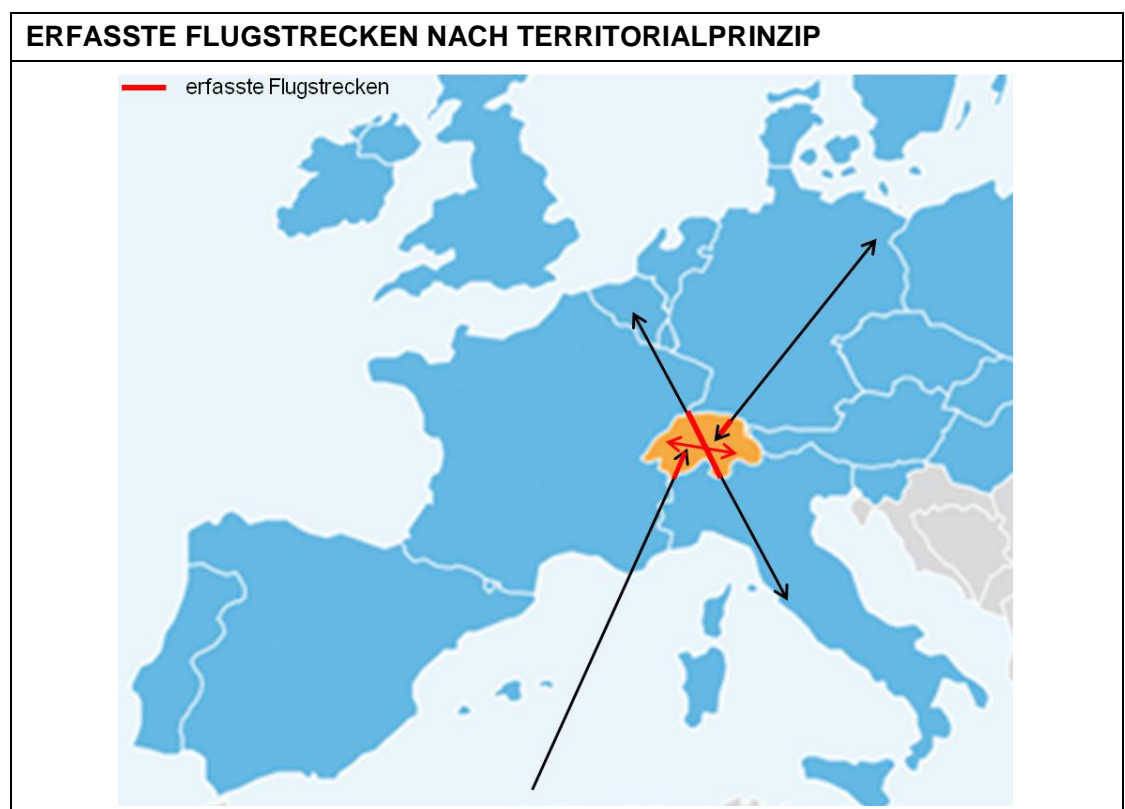
**Figur 1** Erfasste Flugstrecken nach Abflugprinzip.

### **Territorialprinzip**

Das Territorialprinzip erfasst alle in schweizerischem Territorium stattfindenden Luftverkehrsaktivitäten. Berücksichtigt werden alle über der Schweiz zurückgelegten Flug-km sowie die für diese Flüge relevante Infrastruktur (Flugplätze und Skyguide). Das bedeutet, dass alle Inlandflüge, Flugstrecken von und nach der Schweiz über Schweizer Territorium sowie alle Überflüge über Schweizer Territorium berücksichtigt werden. Zudem werden sämtliche schweizerischen Flugplätze (inkl. Basel) berücksichtigt. Diese Abgrenzung entspricht jener der Transportrechnung für die Strasse und die Schiene, wird jedoch dem Verkehrsträger Luft nur sehr eingeschränkt gerecht, da die meisten Flüge ab der Schweiz internationale Flüge sind und es keine Ausstiegsmöglichkeit an der Grenze gibt. Das Territorialprinzip ist daher nur eine zusätzliche Hilfsrechnung zum Abflugprinzip. Entsprechend soll im Luftverkehr meist das Abflugprinzip verwendet werden.

Bei der Umsetzung des Territorialprinzips zeigten sich Schwierigkeiten in Bezug auf die Abgrenzung der Flugsicherungsdienstleistungen. Einerseits leistet Skyguide Dienstleistungen über ausländischem Territorium (Süddeutschland, Frankreich), andererseits gibt es ausländische Flugsicherungsdienstleister, die Aufgaben über Schweizer Territorium im Tessin und im Jura wahrnehmen. Dabei war es nicht möglich, die Kosten und Erträge über ausländischem Territori-

um von jenen über schweizerischem Territorium abzugrenzen. Das Territorialprinzip berücksichtigt daher einfach die Kosten und Erträge von Skyguide. Das führt zu einer Überschätzung der Flugsicherungskosten für die Schweiz, da das von Skyguide überwachte ausländische Territorium deutlich grösser ist als jenes von ausländischen Flugsicherungsdienstleistern über Schweizer Territorium. Der von Skyguide überwachte Luftraum entspricht ca. 1.75-mal der Fläche der Schweiz.



**Figur 2** Erfasste Flugstrecken nach Territorialprinzip

### Differenzierungen der Kosten und Erträge

Die Ergebnisse nach den beiden Abgrenzungsprinzipien werden nach folgenden Differenzierungen ausgewiesen:

- › Nach **Personen- und Güterverkehr**: Es gilt zu bemerken, dass die Trennung von Güter- und Personenverkehr im Luftverkehr deutlich schwieriger ist als im Strassen- und Schienenbereich. Der Luftfrachtverkehr der Schweiz basiert weitgehend auf Belly Freight Transporten (Gütertransport im Frachtraum der Personenflugzeuge). Da der Transport von Personen und Gütern gleichzeitig mit demselben Flugzeug stattfindet, ist es z.B. schwierig festzustellen, welche Ab-

schreibungskosten durch den Güterverkehr und welche durch den Personenverkehr verursacht werden. Für die Zuteilung der Kosten zum Personen- oder Güterverkehr sind daher Annahmen nötig (vgl. Kapitel 5.3).

- › Nach **Verkehrsart**: Die Verkehrsart wird in drei Kategorien unterteilt: a) Personenverkehr im Linien- und Charterverkehr, b) Personenverkehr General Aviation und c) Güterverkehr (Frachtflüge, Belly Freight, Gütertransporte mit Helikoptern). Zudem werden auch die Kosten und Erträge der Non-Aviation berechnet. Zur General Aviation zählen alle gewerblichen Flüge abzüglich der Linien- und Charterflüge sowie alle nicht gewerblichen Flüge mit Motorflächenflugzeugen, Motorsegler, Helikopter (nur Personenverkehr) und Segelflugzeugen. Zum Güterverkehr zählen Frachtflüge, Helikopterflüge zwecks Gütertransporten sowie Belly Freight Transporte.
- › Nach **Flugplatzkategorie**: Vorgesehen war eine Differenzierung nach Flügen von/nach Landesflughäfen, Regionalflugplätzen, Heliports und Flugfeldern. Während die Daten auf der Infrastrukturseite vorliegen, war es auf Seite der Verkehrsmittel nicht möglich, differenzierte Daten zu bekommen. Die internen Kosten werden daher unter Berücksichtigung von Annahmen lediglich nach den Flugplatzkategorien ‚Landesflughäfen‘, ‚Regionalflugplätze‘ und ‚alle Flughafenkategorien‘ differenziert. Da das Territorialprinzip nur als Zusatzinformation dient, wurde in diesem Prinzip bei den internen Kosten auf die Differenzierungen ‚Landesflughafen‘ und ‚Regionalflugplatz‘ verzichtet.
- › Nach **internen und externen Kosten**: Interne Kosten sind buchhalterische Kosten, die direkt vom Nutzer getragen werden (z.B. Betriebskosten oder vom Luftverkehr bezahlte Schallschutzmassnahmen). Externe Kosten sind Kosten, die nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen werden (z.B. Umweltschäden, nicht internalisierte Lärmkosten).
- › Nach **Aviationstätigkeit** (Aviation) und **Nebentätigkeiten** (Non-Aviation): Während die Aviation alle direkt mit dem Luftverkehr zusammenhängenden Aktivitäten erfasst, betrachtet die Non-Aviation alle Tätigkeit von Flugplätzen und Flugzeugbetreibern, die dem Angebot von Gütern und Dienstleistungen dient, die nicht für den eigentlichen Luftverkehr erforderlich sind (im wesentlichen Einzelhandelsgeschäfte, Gastronomie, Parken, Autovermietung, Immobilienvermietung).
- › Nach **Kostenart**: Es werden Fixkosten und variable Kosten unterschieden. Als Fixkosten werden die Kosten des gebundenen Kapitals ausgewiesen. Zu den variablen Kosten werden die Personalkosten und Sachaufwände gerechnet (Erläuterungen vgl. Kapitel 4.1).
- › Nach **Kostenstelle**: Unterschieden werden Kosten für Verkehrsmittel, Verkehrsinfrastruktur, die Sicherheit und Umwelt (Erläuterungen vgl. Kapitel 4.2)

- › **Nach Ertragsart:** Tarifeinnahmen, Selbstfinanzierung, zweckgebundene Abgaben, weitere Abgaben, gemeinwirtschaftliche Leistungen (Erläuterungen vgl. Kapitel 4.3).
- › Nach **Kostenträger:** Benutzer, Dritte, Staat, Allgemeinheit (Erläuterungen vgl. Kapitel 4.4).
- › Schliesslich werden auch die **VGR-relevanten Kosten** ausgewiesen, d.h. die Kosten die in die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (VGR) einfließen, d.h. die für die Berechnung des BIP relevant sind.

Alle Kosten und Erträge werden vor Steuern berechnet (Nettoprinzip). Unternehmens- und Mehrwertsteuern sind also nicht berücksichtigt (Faktorkosten), weil man in der Transportrechnung die reinen Mobilitätskosten abbilden will. Spezifische Umweltabgaben und Mineralölsteuern werden jedoch berücksichtigt.

Die folgende Tabellenstruktur zeigt das Raster der Differenzierungen, für das die Transportrechnung Luftverkehr berechnet wurde.

Flugplatzkategorie X	Aviation			Non-Aviation
	Personenverkehr		Güterverkehr	
	Linien/Charter	General Aviation		
Nach Kostenstelle				
Verkehrsmittel				
Infrastruktur				
Sicherheit				
Umwelt				
Nach Kostenart				
Fixkosten				
variable Kosten				
Nach Kostenträger				
Benutzer				
Dritte				
Staat				
Allgemeinheit				
Nach Ertragsart				
Tarifeinnahmen				
Selbstfinanzierung				
zweckgebundene Abgaben				
weitere Abgaben				
Gemeinwirtschaftliche Leistungen				

**Tabelle 1** Berechnete Differenzierungen

### 3. DATENVERFÜGBARKEIT

Grundlage für die Berechnung der Transportrechnung Luftverkehr bilden die Daten im eDossier Schweizerische Zivilluftfahrt des Bundesamtes für Statistik. Für folgende Angaben wurden zudem vom Bundesamt für Zivilluftfahrt zusätzliche Berechnungen vorgenommen:

- › Berechnung der Flug-km sowie Passagieren pro Verkehrsart nach Abflug- und Territorialprinzip
- › Emissionsdaten (CO<sub>2</sub>-, PM10- sowie NO<sub>x</sub>-Emissionen)
- › Differenzierung der Lärmdaten nach Verkehrsart

Die Berechnung der **internen Kosten** basiert auf Umfragen bei Flugzeugbetreibern und Flugplätzen. Eine detaillierte Ausführung dazu befindet sich im Kapitel 5.2. Die meist privatrechtlichen Unternehmen sind nicht zur Datenlieferung verpflichtet. Die Möglichkeit die Transportrechnung Luftverkehr zu erstellen, ist daher stark von der Bereitschaft der Luftfahrtindustrie abhängig, ihre – teilweise sensiblen – Daten zur Verfügung zu stellen. Im Bereich des Güterverkehrs stellte sich dies als besonders schwierig heraus. Hauptgrund dafür war meist die restriktive „privacy policy“ der Unternehmen. Ebenfalls sehr aufwändig gestaltete sich die Datenbeschaffung bei General Aviation Akteuren. Die Gründe dafür waren hier etwas anders gelagert. Die meisten angefragten Unternehmen sind Kleinbetriebe, die wenig Personal für die Administration haben. Die bei den Unternehmen vorliegenden Daten und die zur Verfügung stehende Zeit für Datenaufbereitungen sind begrenzt. Zudem fiel die Datenanfrage auf die Sommermonate, welche als Hochsaison gilt. Die Priorität einer Datenanfrage ist in dieser Zeit tief.

Anders als bei der Strassen- und Eisenbahnrechnung ist der Einblick in die Unternehmensdaten im Luftverkehr weniger tief, weil die öffentliche Hand eine deutlich geringere Rolle spielt. Dies wirkt sich zum Beispiel bei der Berechnung der Eigenkapitalkosten aus. Während in der Eisenbahnrechnung detaillierte Investitionsdaten zur Verfügung standen, die nach einheitlichen Prinzipien abgeschrieben werden konnten, sind die Abschreibungspraktiken der befragten Unternehmen sehr verschieden. Eine einheitliche Basis für die Berechnung der Eigenkapitalkosten des Luftverkehrs besteht daher nicht. Die Eigenkapitalkosten konnten nur approximativ geschätzt werden.

Zudem besteht keine Möglichkeit, Datenangaben der einzelnen Akteure einzeln oder aggregiert zu plausibilisieren. Insbesondere wo künstliche Abgrenzungen vorgenommen werden müssen, die nicht der Logik folgen in der die Akteure im Luftverkehr ihre Buchhaltung gestalten, ist

die Transportrechnung Luftverkehr darauf angewiesen, dass die Unternehmen nicht politisch motiviert die Kostenverteilung beeinflussen.

Für die **externen Kosten** stützen sich die Berechnungen neben den erwähnten Quellen auf weitere Daten aus direkten Anfragen bei den Infrastrukturbetreibern (insbesondere Flughäfen Zürich und Genf) ab. Ebenso wurden, wo nötig, zusätzliche Quellen ausgewertet. Die wichtigsten Daten sind:

- › Detaillierte Unfalldaten (BFU, ICAO, ASCEND, Versicherer)
- › Lärmdaten aus SonBase (Lärmmodell des Bundes, Spezialauswertung durch Firma LCC) und der Landesflughäfen Zürich und Genf
- › Emissionsdaten zu Luftschadstoffen und Treibhausgasen (BAZL)
- › Emissionsdaten zu Herstellungs-, Betriebs- und Entsorgungsdaten (EcoInvent)
- › Bisherige Berechnungen zum Strassen- und Schienenverkehr (vor allem für Kostensätze)

Detaillierte Angaben zu den Daten der internen Kosten befinden sich in Kapitel 5.2. Die detaillierten Quellen für die Berechnungen der externen Kosten werden in den Kapiteln der jeweiligen Kostenkategorie aufgeführt (Kapitel 6.2 bis 6.7).

### **Dank**

Allen Personen und Institutionen, welche die Untersuchungen in irgendeiner Form unterstützt haben, danken wir an dieser Stelle bestens. Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir diversen Datenlieferanten des BAZL, BFU, ICAO, EMPA; ebenso den Landesflughäfen Zürich, Genf und Basel, den Regionalflugplätzen Bern, St. Gallen, Lugano, Birrfeld, Grenchen und Samedan sowie den Flugfeldern Locarno, Speck-Fehraltorf und Mollis. Seitens der Flugzeugbetreiber möchten wir ebenfalls allen Unternehmen danken, welche uns Daten zur Verfügung gestellt haben.



## 4. DIFFERENZIERUNGEN DER KOSTEN UND ERTRÄGE

Dieses Kapitel erläutert, welche Differenzierungen der Kosten und Erträge in der Transportrechnung Luftverkehr (TRL) angestrebt werden, welche Aussagen damit gemacht werden können und welche Aspekte wo berücksichtigt bzw. ausgewiesen werden. Die Erläuterungen gehen zunächst auf die Kategorie Kostenart (3.1) ein, gefolgt von der Differenzierung nach Kostenstellen (3.2). Danach wird die Differenzierung nach Ertragsart erläutert (3.3), aus welcher auch die Kostenträger (3.4) abgeleitet werden können.

### 4.1. KOSTENART

Die Kostenarten werden grundsätzlich nach fixen und variablen Kosten unterteilt.

Die **Fixkosten** entsprechen den Kapitalkosten für das gebundene Kapital. Neben den betriebswirtschaftlich relevanten Abschreibungen und Fremdkapitalzinsen wird die aus volkswirtschaftlicher Sicht ebenfalls relevante Verzinsung des Eigenkapitals einbezogen (vgl. Erläuterungen unten). Fixkosten im Bereich der externen Kosten beziehen sich auf nicht direkt von der Verkehrsleistung abhängende Grössen wie z.B. Kosten für Natur und Landschaft.

Die **variablen Kosten** enthalten den von den Unternehmen ausgewiesenen Personal- und Sachaufwand. Im Kapitel zu den internen Kosten wird der Personal- und Sachaufwand teilweise getrennt aufgeführt. Bei den externen Kosten fällt der grösste Teil abhängig von der Verkehrsleistung an und ist demnach als variabel zu bezeichnen.

KOSTENART		
	Interne Kosten	Externe Kosten
Fixkosten	Durch Unternehmen ausgewiesene Kosten für Zinsen und Abschreibungen, Schätzung der Eigenkapitalkosten.	Kosten Natur und Landschaft, Infrastrukturkosten im Bereich vor- und nachgelagerte Prozesse
Variable Kosten	Durch Unternehmen ausgewiesene Personal- und Sachkosten	Übrige externe Kosten

**Tabelle 2** Aufteilung der Kosten nach Kostenart

### 4.2. KOSTENSTELLEN

Die Aufteilung nach Kostenstellen gibt Auskunft, wodurch die Kosten entstehen. Es wird unterteilt zwischen Verkehrsmittel, Infrastruktur, Sicherheit und Umwelt. Tabelle 3 fasst zusammen, welche Kosten wo angerechnet werden.

<b>KOSTENSTELLEN</b>		
	<b>Interne Kosten</b>	<b>Externe Kosten</b>
Verkehrsmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Kosten der Flugzeugbetreiber...</li> <li>› ...reduziert um die Kosten ‚Sicherheit‘ und ‚Umwelt‘.</li> <li>› ...reduziert um die Erträge von Flugplätzen und Flugsicherungsdienstleistungen, welche von Flugzeugbetreibern stammen.</li> </ul>	Keine
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Kosten für die Flugsicherung               <ul style="list-style-type: none"> <li>› Abflugprinzip: Kosten von Skyguide für Start und Landungen, Kosten von ausländischen Flugsicherungsdiensten für Überflüge von Flügen ab der Schweiz.</li> <li>› Territorialprinzip: Gesamte Kosten von Skyguide (Start, Landungen, Überflüge)</li> </ul> </li> <li>› plus Kosten der Flugplätze...               <ul style="list-style-type: none"> <li>› ... reduziert um die durch sie verwalteten zweckgebundenen Umweltafgaben (Lärmgebühren)</li> <li>› ...reduziert um hoheitliche Sicherheitskosten.</li> </ul> </li> </ul>	Keine
Sicherheit	Die Komponenten ‚Sachschaden‘ und ‚Polizei- und Rechtsfolgekosten‘ der internen Unfallkosten. <sup>13</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Soziale Unfallkosten (Personenschaden, Sachschaden, Polizei- und Rechtsfolgekosten)</li> <li>› reduziert um die Sachschadenskosten sowie die internen Polizei- und Rechtsfolgekosten.</li> </ul>
Umwelt	Zweckgebundene Umweltafgaben (z.B. Lärmabgaben)	Umweltkosten durch Luftverschmutzung, Lärm, Klimaemissionen (inkl. vor- und nachgelagerter Prozesse) und Landschaftsverbrauch

**Tabelle 3** Aufteilung der Kosten nach Kostenstellen

Es stellt sich die Frage, ob Kosten für Gepäck- und Passagierkontrollen sowie Kosten für das Sicherheitspersonal im Bereich der Sicherheit oder im Bereich der Infrastruktur angerechnet

<sup>13</sup> Die internen Unfallkosten bestehen aus drei Komponenten i) Personenschaden, ii) Sachschaden, iii) Polizei- und Rechtsfolgekosten. Da bei den Personenkosten die immateriellen Kosten dominieren, werden sie nicht als buchhalterische interne Kosten berücksichtigt. Jedoch werden die immateriellen Kosten dennoch weitgehend von den Verkehrsteilnehmern getragen. Es sind also nicht buchhalterisch anfallende interne Kosten.

werden sollen. In Anlehnung an die Vorgehensweise im Strassen- und Eisenbahnbereich wurde entschieden, dass diese Kosten den Infrastrukturkosten zugerechnet werden. Damit bleibt gewährleistet, dass die Sicherheitskosten mit jenen der Transportrechnung für Schiene und Strasse vergleichbar bleibt, welche beispielsweise Security-Personal auch nicht unter den Sicherheitskosten berücksichtigt.

Die Infrastrukturkosten wurden in der Abfrage zweimal erfasst. Einerseits bei den Infrastrukturbetreibern selbst und andererseits bei den Flugzeugbetreibern, welche durch Gebühren die Infrastrukturkosten tragen. Dabei lagen die ausgewiesenen Infrastrukturkosten der Flugzeugbetreiber spürbar unter den ausgewiesenen Erträgen der Flugplätze von Flugzeugbetreibern. Aufgrund der breiteren Datenbasis wird auf die Angaben der Flugplätze abgestellt.

Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass der Luftverkehr hoheitliche Sicherheitsaufgaben finanziert, die bei den anderen Verkehrsträgern vom Staat zur Verfügung gestellt werden. Diese Leistungen enthalten einerseits entgangene Erträge für unentgeltlich zur Verfügung gestellte Räumlichkeiten für Zoll, Post, Militär etc. sowie Kosten für vom Luftverkehr übernommene hoheitliche Sicherheitsaufgaben. Diese umfassen Sicherung des Flugplatzgeländes, Bewachung besonders gefährdeter Fluggesellschaften, Personenschutz, Interventionskosten und falls durch den Flugplatz bezahlt die Kosten für Passkontrollen und Zoll. Die beiden Komponenten (entgangene Erträge, Kosten für hoheitliche Sicherheitsaufgaben) werden zusammen im folgenden ‚hoheitliche Sicherheitskosten‘ genannt. Um die Vergleichbarkeit der Verkehrsträger zu gewährleisten, werden sie den Infrastrukturkosten abgezogen. Dadurch erhöht sich der Deckungsgrad des Luftverkehrs leicht. Zu Informationszwecken wird der Deckungsgrad mit Berücksichtigung der Kosten für hoheitliche Sicherheitsaufgaben ebenfalls berechnet.

### 4.3. ERTRAGSART

Die Aufstellung nach Ertragsart beantwortet die Frage, über welche Kanäle die Erträge fließen. Es wird zwischen Tarifeinnahmen, Selbstfinanzierung, zweckgebundenen Abgaben, weiteren Abgaben und gemeinwirtschaftlichen Leistungen unterschieden.

Die Tarifeinnahmen entsprechen den Erträgen der Flugzeugbetreiber.

Die Selbstfinanzierung entspricht den Erträgen der Non-Aviation. In der Strassen- und Eisenbahnrechnung wird der Nebenertrags-Bereich nicht berücksichtigt. Im Luftverkehr ist er unternehmerisch bedingt bei den Flugplätzen gut zu separieren. Aufgrund der wichtigen Rolle als Querfinanzierer des Luftverkehrs soll er in der Transportrechnung Luftverkehr separat ausgewiesen werden. Die Ergebnisse können so einfacher korrekt interpretieren werden. Der Non-

Aviation Bereich wird hier als ganzer Sektor mit allen Kosten und Erträgen berücksichtigt. Eine alternative Betrachtungsweise wäre, dass nur der Gewinn des Non-Aviation Bereichs berücksichtigt und proportional zur Relevanz den verschiedenen Verkehrsarten des Luftverkehrs zugeordnet würde. Um die Werte insb. mit den Berechnungen im Eisenbahnbereich (Rail-City) vergleichen zu können, wird es vorgezogen, diese Sparte separat auszuweisen.

Die gemeinwirtschaftlichen Leistungen erfassen die Unterstützungen des Bundes an den Luftverkehr. Im Jahr 2010 wird die Übernahme der Skyguide-Beiträge an Eurocontrol von 14 Mio. CHF durch den Bund berücksichtigt. Die Beiträge werden für allgemeine Leistungen von Eurocontrol sowie für Leistungen über ausländischem Territorium verwendet und finanzieren damit Aufgaben, die von zentraler Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Luftverkehrsinfrastruktur sind. Sie werden im Abflugprinzip berücksichtigt, nicht aber im Territorialprinzip, da es um Leistungen über ausländischem Territorium geht. Beiträge an internationale Zivilluftfahrtorganisationen sowie die Verwaltungskosten für das Bundesamt für Zivilluftfahrt werden analog zur Strassen- und Schienenrechnung nicht angerechnet. Bundesinvestitionen in der Vergangenheit werden ebenfalls nicht berücksichtigt, jedoch im Abschnitt 5.5.2 ausgewiesen. Leider können im Rahmen dieser Studie die gemeinwirtschaftlichen Leistungen von Kantonen und Gemeinden an Flugplätze nicht aufgearbeitet werden. Diese könnten jedoch gerade im Bereich der Regionalflugplätze relevant sein. So stellte beispielsweise der Kanton Bern dem Flugplatz Bern-Belp von 2005 bis 2010 ein zinsloses Darlehen im Umfang von 800'000 CHF zur Verfügung oder der Kanton Tessin übernahm das Flugplatzdefizit des Flugplatzes Lugano-Agno der Jahre 2005 und 2006 von insgesamt 2.2 Mio. CHF. Hinweise zur Relevanz von Beiträgen der Kantone und Gemeinden werden im Kapitel 5.5.1 gesammelt dargestellt.

Als Ertragsart aus Sicht der Externalitäten kommen externe Nutzen des Luftverkehrs in Frage. Die positiven Externalitäten des Verkehrs wurden verschiedentlich untersucht (z.B. B, S, S 2006). Dabei werden nur sehr wenige echte externe Nutzen festgestellt werden, die eindeutig dem Verkehr zugeordnet werden können (Ecoplan 2006). Eine Quantifizierung dieser Effekte ist darüber hinaus äusserst schwierig. Deshalb werden aus externer Sicht keine Ertragsarten ausgewiesen.

<b>ERTRAGSART</b>		
	<b>Interne Sicht</b>	<b>Externe Sicht</b>
Tarifeinnahmen	Erträge der Flugzeugbetreiber	-
Selbstfinanzierung	Erträge Non-Aviation	-
zweckgebunden Abgaben	zweckgebundene Mineralölsteuern und zweckgebundene Umweltabgaben (insb. Lärmabgaben)	-
weitere Abgaben	nicht zweckgebundene Mineralölsteuern und nicht zweckgebundene Abgaben, die sich an der Umweltverschmutzung orientieren (insb. Luftschadstoffabgaben).. ..	-
gemeinwirtschaftliche Leistungen	Vom Staat finanzierte Leistungen an den Luftverkehr.	-

**Tabelle 4** Zuteilung der Erträge auf die Ertragsarten.

#### 4.4. KOSTENTRÄGER

Die Aufstellung nach Kostenträger beantwortet die Frage, wer welche Kosten trägt. Es wird zwischen Benutzern, Dritten, Staat und Allgemeinheit unterschieden. Die Kostenträger können direkt von der Ertragsart abgeleitet werden.

<b>KOSTENTRÄGER</b>		
	<b>Betrieblich interne Kosten</b>	<b>Externe Kosten</b>
Benutzer	Tarifeinnahmen, zweckgebundene Abgaben, weitere Abgaben, Kosten Non-Aviation	internalisierte externe Kosten: von Benutzern getragene Lärm- und emissionsabhängige Landegebühren, selbst getragene immaterielle, administrative und medizinische Kosten
Dritte	Selbstfinanzierung (Nettoerträge Non-Aviation)	-
Staat	Gemeinwirtschaftliche Leistungen	Spitalfinanzierung
Allgemeinheit	-	Restliche externe Kosten, die nicht über zweckgebundene Abgaben internalisiert werden.

**Tabelle 5** Ableitung der Kostenträger auf Basis der Ertragsarten.

## BLOCK II: TRANSPORTRECHNUNG LUFTVERKEHR

### 5. INTERNE KOSTEN UND ERTRÄGE

Als interne Kosten werden jene Kosten verstanden, die innerhalb des Verkehrssektors auftreten und monetär getragen und bezahlt werden. Die entsprechenden Zahlungsströme sind die internen Erträge. In diesem Kapitel wird dargestellt, wie die internen Kosten und Erträge berechnet wurden und welche Ergebnisse sich daraus ergeben.

#### 5.1. METHODIK

Die internen Kosten und Erträge wurden aufgrund von Umfragen bei den relevanten Akteuren und Statistiken zu den Verkehrsleistungen ermittelt. Es wurden Flugzeugbetreiber, Flugplätze und Skyguide befragt.

Auf Seite der Flugzeugbetreiber ist eine Befragung aller in der Schweiz aktiven Unternehmen nicht möglich. Daher werden aufgrund der stichprobenartigen Befragung von Flugzeugbetreibern für verschiedene Flugzeugtypen Kosten- und Ertragssätze pro Verkehrsleistung gerechnet. Für den Linien-/Charterverkehr werden Kosten- und Ertragssätze pro Flug-km (Personenverkehr) resp. tkm (Güterverkehr) berechnet, für die General Aviation pro Flug. Grundsätzlich ermöglichen Kostensätze pro Flug-km eine genauere Hochrechnung als Kostensätze pro Flug. In der General Aviation verfügen die Anbieter jedoch kaum über Angaben ihrer geflogenen Kilometer. Vielmehr werden Statistiken über geleistete Flugstunden und allenfalls noch über die Anzahl Flüge geführt. Im Hinblick auf die vorhandenen Statistiken über Verkehrsleistungen wurde die Anzahl Flüge als Hochrechnungsgrösse gewählt. Die Flugzeugtypen wurden wie folgt von der Statistik Zivilluftfahrt des BAZL/BFS übernommen:

- › Linien-/Charter Personenverkehr kontinental
- › Linien/Charter Personenverkehr interkontinental
- › Linien/Charter Güterverkehr (Belly Freight und Frachtflüge) kontinental
- › Linien/Charter Güterverkehr (Belly Freight und Frachtflüge) interkontinental
- › Motorflächenflugzeuge gewerblich
- › Motorflächenflugzeuge nicht gewerblich
- › Helikopter gewerblich
- › Helikopter nicht gewerblich
- › Motorsegler
- › Segelflugzeuge

Die Kosten- und Ertragssätze werden mit der Verkehrsleistung hochgerechnet. Die Verkehrsleistung des Linien-/Charterverkehr wird vom BAZL speziell für diese Studie aufbereitet. In der General Aviation wird die Verkehrsleistung der Bewegungsstatistik des eDossier Schweizerische Zivilluftfahrt entnommen.

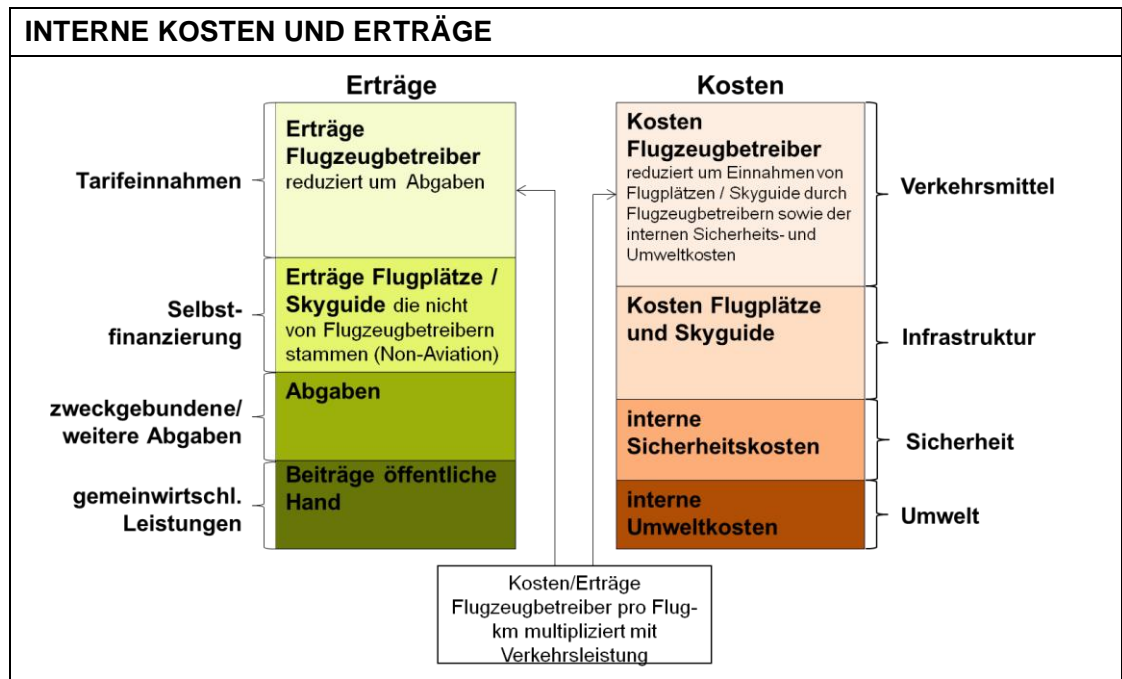
Aufgrund der Befragung der Infrastrukturbetreiber (Flugplätze und Skyguide) werden die Kosten und Erträge ermittelt, welche durch die Infrastruktur generiert werden. Die Sachkosten der Flugplätze werden um die von ihnen erhobenen und verwalteten zweckgebundenen Umweltabgaben reduziert, welche schliesslich als interne Umweltkosten ausgewiesen werden. Der Meteorien dienst wird integral mit den Kosten und Erträgen von Skyguide erfasst.

Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurden den Sachkosten der Flugzeugbetreiber um folgende Komponenten reduziert:

- › Erträge der Infrastrukturbetreiber, die von Flugzeugbetreibern stammen: Damit wird gewährleistet dass die Flughafengebühren nicht einmal als Sachkosten bei den Flugzeugbetreiber und einmal als Personal-, Sach- und Kapitalkosten bei den Flughafenbetreibern erscheinen.
- › Interne Kosten der Kostenstelle ‚Sicherheit‘: Die Sicherheitskosten enthalten die Unfallkosten (Personen- und Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten). Der interne Teil dieser Kosten aus Sicht der Verkehrsträger besteht in erster Linie aus Sachkosten. Er wird daher den Verkehrsmittelkosten abgezogen und als Sicherheitskosten ausgewiesen.

Erträge fallen im Luftverkehr einerseits durch Ticketeinnahmen bei den Fluggesellschaften (Tarifeinnahmen), Non-Aviation Erträge der Flugplätze (Selbstfinanzierung) und Beiträge der öffentlichen Hand (gemeinwirtschaftliche Leistungen) an. Alle übrigen Erträge der Flugplätze und der Flugsicherungsdienste werden von den Fluggesellschaften über die Ticketpreiseinnahmen finanziert. Die Ertragsart ‚Abgaben‘ wird durch Ticketeinnahmen finanziert und daher aus den Tarifeinnahmen herausgerechnet. In den gemeinwirtschaftlichen Leistungen werden Erträge durch Abgeltung des Bundes berücksichtigt. Im Jahr 2010 werden die Beitragszahlungen an Eurocontrol von 14 Mio. CHF, welche der Bund für Skyguide bezahlte, als gemeinwirtschaftliche Leistung angerechnet.

Die internen Kostendeckungsgrade werden durch den Vergleich der ermittelten Kosten und Erträge berechnet.



Figur 3 Zuordnung der internen Kosten und Erträge

## 5.2. DATEN

Neben den vom BFS und BAZL zur Verfügung gestellten Daten (vgl. Abschnitt 3), wurden insgesamt 45 Akteure im Schweizer Luftverkehr für Daten angefragt. Die Unternehmen wurden in Absprache mit der Begleitgruppe so ausgewählt, dass eine möglichst breite und repräsentative Abdeckung aller Luftverkehrssegmente gewährleistet ist. Von 25 Akteuren gingen Daten ein. Während bei den Flugzeugbetreibern, den Heliports und den Flugfeldern eine Stichprobenerhebung angestrebt wurde, war bei den Landesflughäfen und Regionalflugplätzen eine Vollerhebung das Ziel. Leider konnte dieses Ziel bei den zehn Regionalflugplätzen nicht erreicht werden. Trotz intensiven Bemühungen gingen von drei Regionalflugplätzen keine und von einem nur unvollständige Daten ein. Tabelle 6 gibt einen Überblick, in welchem Bereich wie viele Akteure angefragt wurden und welche dass antworteten.



Datenerhebung			Angefragt	Datenlieferung
Verkehrsmittel	Linien/Charter		5	4
	General Aviation	Business Aviation	2	0
		Fallschirmspringer, Flugschule, etc.	4	1
		Helikopter	8	3
		Leichtaviatik	2	2
	Fracht	Belly Freight	3	1
		Frachtflugzeuge	2	0
Infrastruktur	Landesflughäfen		3 von 3	3
	Regionalflugplätze		10 von 10	6
	Flugfelder		4 von 43	3
	Heliports		5 von 21	0
	Skyguide		1 von 1	1
	Meteodienst		1 von 1	0.5

**Tabelle 6** Datenanfragen und Dateneingang.

Abdeckung bei den Flugzeugbetreibern		Verkehrsleistung der befragten Unternehmen	Verkehrsleistung Absatzprinzip
Linien/Charter (Mio. Flug-km)		269	257
General Aviation (Anzahl Flüge)	Business Aviation	Expertenschätzung	72'040
	Fallschirmspringer, Flugschule, etc.	744	
	Helikopter	13'506	
	Leichtaviatik	Expertenschätzung	403'919
Fracht (Mio. tkm)	Belly Freight	1'341	1'015
	Frachtflugzeuge	Approximation anhand Belly Freight Daten	

**Tabelle 7** Verkehrsleistung der Unternehmen, welche geantwortet haben in Gegenüberstellung mit der Verkehrsleistung im Absatzprinzip. Bei den Linien/Charterflüge ist die Verkehrsleistung der Flüge von und nach der Schweiz angegeben. Um den Wert mit der Verkehrsleistung des Absatzprinzips zu vergleichen, muss er durch zwei dividiert werden (das Absatzprinzip berücksichtigt nur Flüge ab der Schweiz, resp. nur die halben Flugstrecken der Flüge von/nach der Schweiz).

Unproblematisch war der Datenrücklauf im Bereich der Linien-/Charterflughanbieter und der Landesflughäfen. Die Datenbeschaffung der Regionalflugplätze war deutlich anspruchsvoller. Insbesondere die Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Verkehrsarten stellte für die Regionalflugplätze mit verschiedenen Sparten eine grössere Herausforderung dar. Zudem ist vermutlich die Sensibilisierung für das Anliegen geringer als bei den Landesflughäfen, wodurch die

Priorisierung der Datenanfrage teilweise relativ tief war. Aufgrund der einfacheren betrieblichen Strukturen war die Datenbeschaffung bei den Flugfeldern einfacher, da auch anhand von Jahresrechnungen die Daten durch das Projektteam aufbereitet werden konnten.

Die Datenbeschaffung für die General Aviation stellte eine weitere Herausforderung dar. Die angefragten Akteure der gewerblichen General Aviation sind meist Kleinunternehmen mit wenig oder Individualpersonen mit kaum administrativen Ressourcen. Zudem fiel die Datenanfrage während den Sommermonaten in die Hochsaison. Tendenziell einfacher war die Datenerhebung bei Anbietern, die nur eine Kategorie von Fluggeräten betreiben (z.B. nur Kleinflugzeuge oder nur Helikopter) und welche entweder eine explizite Ansprechperson für die Buchhaltung haben oder für welche ein externes Unternehmen die Buchhaltung führt. In der Leichtaviatik sind typischerweise Privatpersonen tätig. Für diesen Bereich wurden die entsprechenden Verbände für eine Expertenschätzung angefragt. Im Bereich der Business Aviation gingen trotz der Anstrengungen keine Daten ein, worauf für dieses Segment eine grobe Expertenschätzung durch die Autoren basierend auf wenigen vorliegenden Daten erstellt wurde.

Rudimentär ist die Datenlage im Bereich des Frachtverkehrs. Der Frachtverkehr hat zwei Teilssegmente: einerseits der Bereich der Vollfrachter, das sind Flüge, die nur der Beförderung von Fracht dienen. Andererseits der Belly Freight, welche im Frachtraum von Personenflugzeugen mitgeführt wird. Da die Schweiz aus globaler Sicht kein bedeutendes Land für Luftgüterverkehr ist, gibt es keinen Frachtflugzeugbetreiber mit Sitz in der Schweiz. Die angefragten ausländischen Gesellschaften waren aufgrund ihrer Privacy-Bestimmungen nicht bereit, Daten zur Verfügung zu stellen. Belly Freight transportieren ebenfalls nur wenige der Airlines mit Sitz in der Schweiz. Für die Belly Freight ging nur ein vollständiges Datenset ein und von einer weiteren Gesellschaft einige indikative Angaben. Die Berechnungen zum Güterverkehr haben daher eine deutlich schwächere Verlässlichkeit als jene der übrigen Flugzeugkategorien.

Im Bereich der Linien-/und Chartergesellschaften bleibt zu bemerken, dass die ausgewiesenen Kostenstrukturen vergleichsweise viel Interpretation erfordern. Insbesondere in internationalen Konzernen spielen in die Buchhaltung auch weitere Überlegungen (wie z.B. Steueroptimierungen) hinein. Die wahren Kosten von Tochtergesellschaften internationaler Konzerne zu bestimmen ist daher nicht trivial.

Für Helikopterflüge war es nicht möglich, getrennte Daten für das Verkehrsmittel und die Infrastruktur zu erhalten. Die Betriebsrechnung für Heliports und für die Flüge wird in den Unternehmen nicht getrennt geführt. Die ausgewiesenen Daten enthielten daher sowohl die Infrastruktur- wie auch die Verkehrsmittelkosten. Aufgrund von Expertenschätzungen wurden die Kosten anschliessend auf Flüge und Infrastruktur aufgeteilt. Zudem musste anhand von Unter-

nehmensangaben geschätzt werden, welcher Anteil der Helikopterflüge dem Gütertransport und welcher dem Personentransport dient.

Der Meteodienst konnte die Daten nicht in der angefragten Differenzierung aufbereiten. Da die Kosten jedoch zu 100% gedeckt sind, werden die Daten über die differenzierteren Angaben von Skyguide (Auftraggeber des Meteodienstes) erfasst.

### 5.3. ANNAHMEN

In den folgenden Abschnitten werden die zentralen Annahmen dargelegt. Der Abschnitt „Verkehrsmittel“ zeigt die berechneten Hochrechnungssätze und die zugrunde gelegten Mengengerüste. Der Abschnitt „Infrastruktur“ erklärt die zentralen Annahmen zur Infrastruktur. Da mit vertraulichen Daten gearbeitet wird, können nicht alle Quellen offengelegt werden. Dem Auftraggeber werden sie jedoch in Form des Berechnungsfiles zugänglich gemacht.

Sowohl bei den Verkehrsmittel wie bei der Infrastruktur mussten Annahmen zur Verteilung der Kosten zwischen Güter- und Personenverkehr getroffen werden. Es wurde Folgendes unterstellt:

- › Belly Freight: Es wird unterstellt, dass die Kosten von einem Passagier, jenen von 100kg Fracht entsprechen.<sup>14</sup> Werden auch die Frachtflüge berücksichtigt, entfallen 9.2% aller Kosten im Linien/Charterverkehr (Personen und Güter) auf den Güterverkehr (vgl. Kapitel 6.2.4).
- › Helikopter: Es wird angenommen, dass 44% der Flüge dem Güter- und 56% dem Personenverkehr zuzuordnen sind. Zudem wird unterstellt, dass pro Güterflug eine Tonne Last transportiert wird. Die Schätzungen basieren auf Daten und Einschätzungen der Swiss Helicopter Association (SHA). Die SHA schätzt, dass ihre Daten 95% aller Gütertransporte abdeckt.

Im Bereich der Kapitalkosten konnten uns von den meisten Unternehmen keine Informationen zu den Eigenkapitalkosten zugänglich gemacht werden. Eigenkapitalkosten sind Kosten, die kalkulatorisch für die Verzinsung des Eigenkapitals angesetzt werden. Die Eigenkapitalkosten wären ökonomisch korrekterweise zum Marktwert zu verzinsen. Da jedoch die meisten betrachteten Unternehmen nicht börsennotiert sind, fehlen entsprechende Daten. Die Eigenkapitalkos-

<sup>14</sup> Die Definition entspricht den international angewendeten Verkehrseinheiten (Workload unit). Eine Verkehrseinheit (VE) ist die Messzahl für die gemeinsame Erfassung des gewerblichen Personen und Güterverkehrs. Die VE wird dabei gleichgesetzt mit einem Fluggast, der mit Handgepäck (insgesamt gleich 100 kg) auf einem Flughafen eingetroffen oder von diesem abgeflogen ist, oder 100 kg umgeschlagener Luftfracht bzw. Luftpost oder einer Kombination von Fluggastaufkommen (Ankunft und Abflug) und dem örtlichen Luftfracht sowie Luftpostaufkommen (Aus- und Einladung) (vgl. z.B. Flughafen München, Geschäftsbericht 2009).

ten mussten daher approximiert werden. Je nach verfügbarer Information wurden die Eigenkapitalkosten anders geschätzt:

- › Landesflughäfen: Für den Flughafen Zürich liegt eine Berechnung der Eigenkapitalkosten basierend auf dem Marktwert vor, welche verwendet wurde. Der Flughafen Basel ist ein öffentlich rechtlicher Betrieb. Aufgrund seiner spezifischen Rechtsform wurde auf die Addierung von Eigenkapitalkosten verzichtet. Beim Flughafen Basel wird das in der Bilanz ausgewiesene Eigenkapital (Buchwert) mit einem Zinssatz 5% über dem Zins von 10jährigen Bundesobligationen verzinst. Die 5% wurden im Hinblick auf die in der Zeitspanne 1900 bis 2010 beobachtete Risikoprämie für Aktienanlagen gegenüber Staatsanleihen mit AAA Rating von 4% (Credit Suisse 2011) und der gängigen Praxis von Unternehmen in der Luftfahrt, die in der Regel aufgrund ihrer Risikoexposition höhere Werte als 4% einsetzen, festgelegt. Da auf den Buchwerte und nicht auf Marktwerte abgestellt wird, werden die Kosten tendenziell etwas unterschätzt.
- › Übrige Flugplätze: Es wird unterstellt, dass die Fremdkapitalkosten im Durchschnitt ein bestimmtes Verhältnis zu den Eigenkapitalkosten aufweisen. Dabei wird auf das berechnete Verhältnis des Flughafens Zürich abgestellt. Der Flughafen Zürich wurde ausgewählt, weil es die einzigen zugänglichen Daten für einen Flugplatz sind.
- › Flugzeugbetreiber: Es wird unterstellt, dass die Fremdkapitalkosten im Durchschnitt ein bestimmtes Verhältnis zu den Eigenkapitalkosten aufweisen. Dabei wird aufgrund der Analyse der verschiedenen Airlines angenommen, dass im Durchschnitt das Eigenkapital 116% des verzinsten Fremdkapitals entspricht und das Eigenkapital 2% höher verzinst wird als das Fremdkapital. Die 2% entsprechen 50% der historisch beobachteten Risikoprämie gegenüber risikominimalen Anlagen (Credit Suisse 2011). In der privaten Aviatik werden die Eigenkapitalkosten nicht berücksichtigt.

Aufgrund des starken Wettbewerbsdrucks unter den Flugzeugbetreiber entstehen bei den Flugzeugbetreibern nach Abzug der Eigenkapitalkosten langfristig nur geringe Gewinne. Um Deckungsgradschwankungen aufgrund von kurzfristigen Gewinnschwankungen bei den Flugzeugbetreibern zu vermeiden wurden grundsätzlich die Erträge der Flugzeugbetreiber den Kosten (inkl. Eigenkapitalkosten) gleichgestellt. Eine Ausnahme bildet die Swiss, bei der aufgrund der detaillierteren Datengrundlage den Gewinn nach Berücksichtigung der Eigenkapitalkosten stehen gelassen wurde. Daraus entsteht im Bereich der Linien- und Charterflüge ein leichter Gewinn. Aufgrund der Ortsgebundenheit der Flugplätze, ist der Wettbewerb etwas schwächer einzuschätzen. Zudem ist die Datengrundlage breiter (Vollerfassung der Landesflughäfen, über

50% bei den Regionalflugplätzen) und insbesondere Regionalflugplätze werden bei Liquiditätsengpässen teilweise von der öffentlichen Hand unterstützt. Daher werden ihre Erträge nicht korrigiert.

### Verkehrsmittel

Aufgrund der eingegangenen Unternehmensdaten wurden folgende durchschnittlichen Kosten- und Ertragssätze für Linien/Charterflüge berechnet. Die Gewichtung der verschiedenen Unternehmen erfolgte anhand des Anteils der Flüge mit ähnlichem Business Modell.

<b>Kosten- und Ertragssätze pro Flug-km im Linien- und Charterpersonenverkehr</b>		
in CHF	Kontinental	Interkontinental
<b>Kostensatz Landesflughäfen</b>	<b>16.11</b>	<b>16.37</b>
Personalaufwand	2.35	2.39
Sachaufwand	12.46	12.76
Kapitalkosten	1.30	1.23
<b>Kostensatz Regionalflugplätze</b>	<b>12.89</b>	<b>13.09</b>
Personalaufwand	1.88	1.91
Sachaufwand	9.97	10.20
Kapitalkosten	1.04	0.98
<b>Ertragssätze Landesflughäfen</b>	<b>16.27</b>	<b>18.23</b>
Ticketeinnahmen	16.10	18.16
übrige Erträge	0.17	0.07
<b>Ertragssätze Regionalflugplätze</b>		
Ticketeinnahmen	12.88	14.53
übrige Erträge	0.17	0.07

**Tabelle 8** Berechnete Kosten- und Ertragssätze pro Flug-km im Linien- und Charterverkehr in CHF (Abflug- und Territorialprinzip)

Während hinter den Kostensätzen für Linien-/Charterflüge ab Landesflughäfen Unternehmensdaten stehen, mussten die Kostensätze für Flüge ab Regionalflugplätzen geschätzt werden. Aufgrund der geringeren Gefässgrösse wird unterstellt, dass die Kosten durchschnittlich 20% geringer sind als bei Flügen ab Landesflughäfen (weniger Treibstoffverbrauch, weniger Personal). Gemäss den Berechnungen des BAZL wurden im Jahr 2010 im Linien/Charter Personenverkehr folgende Flug-km zurückgelegt:

<b>Flug-km Linien/Charter nach Abflugprinzip</b>		
in 1000 km	Kontinental	Interkontinental
Landesflughafen	141'589	112'793
Regionalflughafen	2'543	63

**Tabelle 9** Zurückgelegte Flug-km nach Abflugprinzip im Linien/Charterpersonenverkehr. Berechnung des BAZL.

<b>Flug-km Linien/Charter nach Territorialprinzip</b>		
in 1000 km	Kontinental	Interkontinental
Landesflughafen	80'431	9'558
Regionalflughafen	2'565	11

**Tabelle 10** Zurückgelegte Flug-km nach Territorialprinzip im Linien/Charter-Personenverkehr. Berechnungen des BAZL.

Für die General Aviation wurden Kosten- und Ertragssätze pro Flug berechnet. Dabei wurden die Unternehmensdaten einer bestimmten Flugkategorie zugeordnet und gleichgewichtet. Beispielsweise wurden den gewerblichen Helikopterflügen die drei eingegangenen Datensets von Unternehmen zugeordnet, die solche Flüge anbieten, und zu je 33% gewichtet. Die daraus resultierenden Kostensätze gestalten sich wie folgt:

<b>Kosten- und Ertragssätze General Aviation pro Flug</b>						
in CHF	Gewerblicher Verkehr		Nicht gewerblicher Verkehr			
	MFFZ	Helikopter	MFFZ	Motorsegler	Helikopter	Segelfz.
<b>Kosten pro Flug</b>	<b>2'319</b>	<b>1'898</b>	<b>867</b>	<b>254</b>	<b>1'356</b>	<b>389</b>
Personalaufwand	616	700	271	-	322	-
Sachaufwand	1'176	747	370	164	541	330
Kapitalkosten	528	451	226	90	493	59
<b>Ertrag pro Flug</b>	<b>2'319</b>	<b>1'898</b>	<b>867</b>	<b>254</b>	<b>1'356</b>	<b>389</b>
'Ticketeinnahmen'	2'319	1'898	867	254	1'356	389
übrige Einnahmen	-	-	-	-	-	-

**Tabelle 11** Kosten- und Ertragssätze der General Aviation pro Flug gemäss eigenen Berechnungen. Als 'Ticketeinnahmen' gelten alle Einnahmen aus Aviatik Dienstleistungen. MFFZ=Motorflächenflugzeug.

Während im Abflugprinzip alle Flüge ab der Schweiz vollständig in die Betrachtung einbezogen werden, werden im Territorialprinzip teilweise auch nur Teilstücke berücksichtigt. Aufgrund der Berechnungen des BAZL wurde der Anteil Auslandflüge berechnet und es wurde unterstellt, dass Auslandflüge 50% der Strecke in der Schweiz zurücklegen. Dadurch stimmt die Anzahl Flüge im Territorialprinzip und im Abflugprinzip überein. Es resultieren die nachstehende Anzahl Flüge:

<b>Anzahl Flüge General Aviation im Abflug- und Territorialprinzip</b>						
	Gewerblicher Verkehr		Nicht gewerblicher Verkehr			
	MFFZ	Helikopter	MFFZ	Motorsegler	Helikopter	Segelfz.
Landesflughäfen	41'103	3'595	32'569	-	2'753	-
Regionalflugplätze	26'355	12'755	153'597	1'184	10'948	5'780
Heliports	-	20'834	-	-	2'484	-
Flugfelder	4'581	15'188	179'150	2'756	13'847	28'883
Total	72'040	52'371	365'317	3'940	30'033	34'663

**Tabelle 12** Anzahl berücksichtigte General Aviation Flüge nach Abflug- und Territorialprinzip im Jahr 2010.  
Quelle: Berechnungen des BAZL.

Die Kostensätze des Güterverkehrs können aus Datenschutzgründen nicht offen gelegt werden.

### Infrastruktur

Bei der Verkehrsinfrastruktur wurde für die Landesflughäfen und Regionalflugplätze eine Vollerhebung angestrebt, während bei den Heliports und den Flugfeldern aufgrund einer Stichprobenerhebung die Daten hochgerechnet werden sollen. Für die Gebirgslandeplätze und Winterflugfelder wird unterstellt, dass die Kosten nahe bei null liegen.

Während die Vollerhebung bei den Landesflughäfen gelang, mussten die Kosten und Erträge von vier **Regionalflugplätzen** approximiert werden. Dafür wurden die Kosten und Erträge von einem Flugplatz mit einer ähnlichen prozentualen Verteilung der Bewegungen auf die Flugzeugtypen gemäss BAZL (vgl. Kap. 5.1) herangezogen. Beispielsweise wird ein Flugplatz mit einem hohen Anteil an Flugbewegungen mit Motorflächenflugzeugen im nicht gewerblichen Bereich mit einem Flugplatz verglichen, der ebenfalls einen hohen Anteil an Flugbewegungen mit Motorflächenflugzeugen im nicht gewerblichen Bereich aufweist. Es wurde unterstellt, dass der approximierte Flugplatz dieselben Kosten und Erträge pro Flug erzielen, wie jener, von welchem Daten vorlagen. Die Kosten und Erträge werden also anhand der Anzahl Flugbewegungen hochgerechnet.

Bei den **Flugfeldern** wurde ebenfalls die Struktur der drei erhaltenen Datensets gemäss der Anzahl Flugbewegungen auf die übrigen Flugfelder hochgerechnet (Anzahl Flüge multipliziert mit durchschnittlichem Kosten-/Ertragssatz). Es wurde also angenommen, dass die Kosten und Erträge der Flugfelder proportional zu der Anzahl Flüge sind. Insgesamt mussten die Kosten- und Erträge für 40 Flugfelder mit insgesamt 355'056 Flugbewegungen geschätzt werden. Dabei wurden folgende Kosten- resp. Ertragssätze unterstellt.

<b>Infrastrukturkostensätze und-Ertragssätze pro Flug ab Flugfeld</b>		
in CHF	General Aviation	Non-Aviation
<b>Kosten pro Flug</b>	<b>27.6</b>	-
Personalaufwand	6.3	-
Sachaufwand	13.8	-
Kapitalkosten	7.4	-
<b>Erträge pro Flug</b>	<b>26.9</b>	<b>0.4</b>

**Tabelle 13** Durchschnittliche Infrastrukturkosten und -Erträge pro Flug ab Flugfeldern anfallen. Eigene Berechnung.

Da keine Daten zu den Kosten und Erträgen von Helikopterflügen aufgeteilt nach Infrastruktur und Verkehrsmittel erhältlich waren, mussten die Kosten und Erträge der **Heliports** geschätzt werden. Im Gespräch mit dem Geschäftsleiter der Swiss Helicopter Association wurden folgende Annahmen hergeleitet:

- › 10% der gesamten Flugkosten entfallen auf die Infrastruktur.
- › Davon sind 60% Kapitalkosten und je 20% Personalkosten resp. Sachaufwand.
- › Die Kosten der Heliports werden schliesslich zu 54% der General Aviation und zu 44% dem Güterverkehr zugeordnet.
- › Pro Güterflug wird 1t transportiert.

Neben den Flugplätzen gehört auch die **Flugsicherung** zur Infrastruktur. Skyguide kann seine Kosten und Erträge nicht auf die Sparten Linien-/Charterflüge, General Aviation und Frachtflüge verteilen. Folgende Annahmen wurden im Gespräch mit Skyguide für die Zuteilung definiert:

- › Es wird unterstellt, dass für Skyguide die Kosten Flugtypunabhängig sind. Die Kosten werden proportional zu der Anzahl Bewegungen auf die verschiedenen Sparten verteilt.
- › Die Erträge werden anhand des MTOW (Maximum Take-Off Weight) zugeteilt. Es wird unterstellt, dass Flüge mit einem MTOW unter 18t zur General Aviation gehören und Flüge mit einem MTOW darüber Linien-/Charterflüge im Personen- und Güterverkehr sind.
- › Die Verteilung der Erträge zwischen Personen- und Güterverkehr erfolgt anhand des Gewichts, wobei 1 Passagier 100kg Fracht entspricht. Dies bedeutet, dass 9.2% aller Kosten und Erträge des Linien-/Charterverkehrs dem Güterverkehr zugeteilt werden.



## 5.4. RESULTATE

### 5.4.1. NACH KOSTENART UND KOSTENSTELLE

#### Abflugprinzip

Über alle Flugplatzkategorien und ihre Flüge betrachtet, gestalten sich die Kosten wie folgt:

Alle Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	3'022	498	541	-	4'061
Infrastruktur	1'142	143	62	308	1'654
Sicherheit	4	11	6	-	22
Umwelt	31	0	3	-	34
Total	4'199	652	612	308	5'771
Personalaufwand	881	228	122	66	1'298
Sachaufwand	2'588	247	406	117	3'358
Kapitalkosten	730	177	84	124	1'115
Total	4'199	652	612	308	5'771

Alle Flüge von/nach Schweiz in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	72%	76%	88%	0%	70%
Infrastruktur	27%	22%	10%	100%	29%
Sicherheit	0%	2%	1%	0%	0%
Umwelt	1%	0%	1%	0%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Personalaufwand	21%	35%	20%	21%	22%
Sachaufwand	62%	38%	67%	38%	58%
Kapitalkosten	17%	27%	13%	40%	19%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

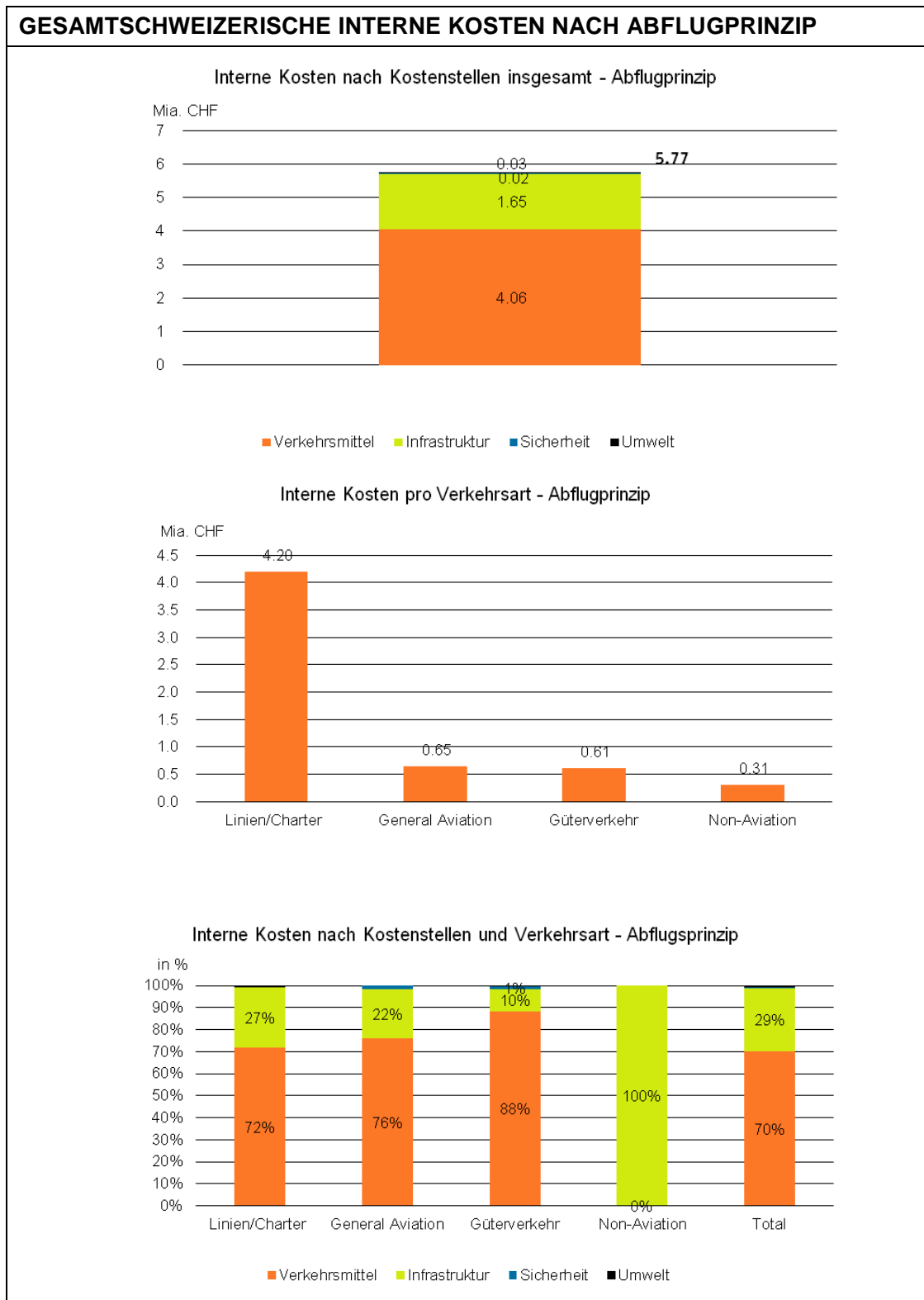
**Tabelle 14** Gesamtschweizerische interne Kosten nach Kostenstelle und Kostenart gemäss Abflugprinzip. Eig. Berechnungen.

Insgesamt entstehen im Luftverkehr Kosten von 5.8 Mrd. CHF. Dabei entfallen 5.5 Mrd. CHF auf den Personen- und Güterverkehr und 0.3 Mrd. CHF auf den Non-Aviation Bereich. Die gewichtigste Verkehrsart ist der Linien-/Charterverkehr, der mit 4.2 Mrd. CHF knapp drei Viertel der Gesamtsumme ausmacht. Die General Aviation und der Güterverkehr tragen je ca. 10% zu den Gesamtkosten bei.

Bei den Kostenstellen macht das Verkehrsmittel zwischen 72% und 88% der Kosten aus. Die übrigen Kosten entfallen mehrheitlich auf die Infrastruktur. Der Anteil der Bereiche ‚Sicherheit‘ und ‚Umwelt‘ ist in einer internen Kostenbetrachtung mit maximal 2% gering. Bei den Sicherheitskosten fallen vor allem Sachschäden an Helikoptern ins Gewicht. Sie machen mehr als die Hälfte der gesamten Sicherheitskosten aus.

Werden die Aufteilungen nach Kostenarten betrachtet, entfällt der höchste Anteil auf die Sachkosten (durchschnittlich 58%). Die zweitgrösste Kostenart ist im Verkehrsbereich immer der Personalaufwand, der geringste Anteil entfällt auf die Kapitalkosten. Zwischen den ver-

schiedenen Verkehrsarten gibt es jedoch beträchtliche Unterschiede. Im Linien- und Charterpersonenverkehr und im Güterverkehr liegt der Anteil der Sachkosten bei über 60%, in der General Aviation leicht unter 40%. In der Non-Aviation machen die Kapitalkosten mit 40% den grössten Anteil aus, gefolgt vom Sachaufwand (38%) und dem Personalaufwand (21%).



**Figur 4** Darstellung der gesamtschweizerischen internen Kosten nach Abflugprinzip

Die internen Kosten wurden auch für Flüge ab Landesflughäfen und der dazu notwendigen Verkehrsinfrastruktur einzeln berechnet. Dasselbe gilt für die Regionalflugplätze. Die Resultate sind wie folgt:

Flüge von/nach Landesflughäfen in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	3'010	112	491	-	3'613
Infrastruktur	1'118	48	53	299	1'519
Sicherheit	4	3	2	-	9
Umwelt	31	0	3	-	34
<b>Total</b>	<b>4'162</b>	<b>164</b>	<b>549</b>	<b>299</b>	<b>5'174</b>
Personalaufwand	868	56	100	63	1'086
Sachaufwand	2'569	70	388	115	3'142
Kapitalkosten	725	38	62	121	947
<b>Total</b>	<b>4'162</b>	<b>164</b>	<b>549</b>	<b>299</b>	<b>5'174</b>

Flüge von/nach Landesflughäfen in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	72%	69%	89%	0%	70%
Infrastruktur	27%	30%	10%	100%	29%
Sicherheit	0%	2%	0%	0%	0%
Umwelt	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Personalaufwand	21%	34%	18%	21%	21%
Sachaufwand	62%	43%	71%	38%	61%
Kapitalkosten	17%	23%	11%	41%	18%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tabelle 15** Interne Kosten nach Kostenstelle und Kostenart von allen Flüge ab Landesflughäfen und der dazu notwendigen Verkehrsinfrastruktur gemäss Abflugprinzip. Eig. Berechnungen.

Die Landesflughäfen und ihr Verkehr machen 5.2 Mrd. CHF von den gesamtschweizerischen Kosten der Luftverkehrsaktivitäten aus. Das bedeutet, dass der Verkehr ab Landesflughäfen alleine 90% aller Kosten generiert. Der Anteil des Linien-/Charterpersonenverkehrs ist auf den Landesflughäfen leicht höher als gesamtschweizerisch, jener der General Aviation tiefer. Der Prozentsatz des Güterverkehr und der Non-Aviation entsprechen etwa dem nationalen Durchschnitt.

Aufgrund der Dominanz des Verkehrs ab Landesflughäfen in den gesamtschweizerischen Zahlen unterscheiden sich auch die Anteile der verschiedenen Kostenstellen und Kostenarten nicht signifikant vom nationalen Durchschnitt. Einzig in der General Aviation nimmt der Anteil der Infrastrukturkosten zu Lasten der Verkehrsmittelkosten zu.

Die Verteilung der Kosten für Flüge ab Regionalflugplätzen und ihre dazugehörige Infrastruktur ist in den folgenden zwei Tabellen dargestellt:

Flüge von/nach Regionalflugplätzen in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	10.7	177.6	15.9	-	204.1
Infrastruktur	23.5	73.0	1.8	8.5	106.9
Sicherheit	0.1	4.4	2.2	-	6.7
Umwelt	0.1	0.0	0.0	-	0.1
<b>Total</b>	<b>34.3</b>	<b>255.1</b>	<b>19.9</b>	<b>8.5</b>	<b>317.8</b>
Personalaufwand	13.5	98.9	6.9	3.2	122.5
Sachaufwand	16.3	86.5	7.0	2.4	112.2
Kapitalkosten	4.5	69.8	6.0	2.9	83.2
<b>Total</b>	<b>34.3</b>	<b>255.1</b>	<b>19.9</b>	<b>8.5</b>	<b>317.8</b>

Flüge von/nach Regionalflugplätzen in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	31%	70%	80%	0%	64%
Infrastruktur	68%	29%	9%	100%	34%
Sicherheit	0%	2%	11%	0%	2%
Umwelt	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Personalaufwand	39%	39%	35%	38%	39%
Sachaufwand	48%	34%	35%	28%	35%
Kapitalkosten	13%	27%	30%	34%	26%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tabelle 16** Interne Kosten nach Kostenstelle und Kostenart von allen Flüge ab Regionalflugplätzen und der dazu notwendigen Verkehrsinfrastruktur gemäss Abflugprinzip. Eig. Berechnungen.

Der Luftverkehr ab Regionalflugplätzen trägt mit 318 Mio. CHF zu ca. 5% der gesamtschweizerischen Kosten bei. Dabei entfallen fast 80% der Kosten auf die General Aviation. Gut 10% macht der Linien-/Charterpersonenverkehr aus, ca. 5% der Güterverkehr und nur 3% entfallen auf die Non-Aviation. Im Total erhöht sich der Anteil der Infrastrukturkosten zu Lasten der Verkehrsmittelkosten sowie die Personal- und Kapitalkosten zu Lasten des Sachaufwands.

### Territorialprinzip

Erfolgt die Abgrenzung nach dem Territorialprinzip gestalten sich die Kosten wie folgt:

Alle Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	603	498	249	-	1'349
Infrastruktur	1'099	140	37	308	1'584
Sicherheit	-	11	6	-	17
Umwelt	31	0	3	-	34
<b>Total</b>	<b>1'732</b>	<b>649</b>	<b>295</b>	<b>308</b>	<b>2'984</b>
Personalaufwand	620	228	70	66	985
Sachaufwand	531	244	168	117	1'061
Kapitalkosten	581	177	56	124	938
<b>Total</b>	<b>1'732</b>	<b>649</b>	<b>295</b>	<b>308</b>	<b>2'984</b>

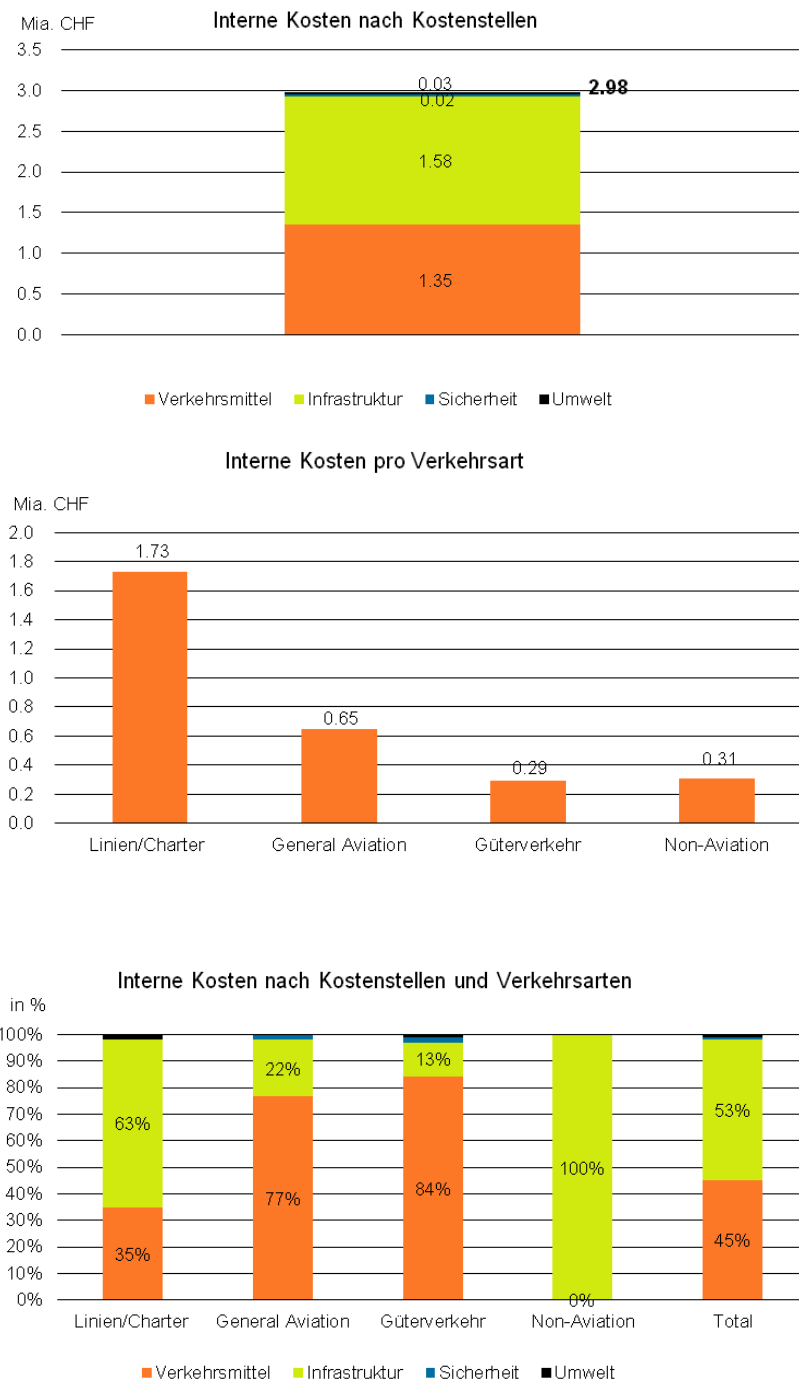
Alle Flüge von/nach Schweiz in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Verkehrsmittel	35%	77%	84%	0%	45%
Infrastruktur	63%	22%	13%	100%	53%
Sicherheit	0%	2%	2%	0%	1%
Umwelt	2%	0%	1%	0%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Personalaufwand	36%	35%	24%	21%	33%
Sachaufwand	31%	38%	57%	38%	36%
Kapitalkosten	34%	27%	19%	40%	31%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

**Tabelle 17** Kosten nach Kostenstellen und Kostenarten. Eigene Berechnungen

Erfolgt die Abgrenzung nach dem Territorialprinzip reduziert sich die Gesamtsumme deutlich. Insgesamt betragen die Kosten des Luftverkehrs in dieser Abgrenzung noch 3.0 Mrd. CHF. Die Reduktion resultiert hauptsächlich aus den geringeren Verkehrsmittelkosten im Linien-/Charterpersonenverkehr (Abnahme von 3.0 Mrd. CHF auf 0.6 Mrd. CHF). Die Sicherheits- und Umweltkosten bleiben unverändert und die Infrastrukturkosten sinken, da die Flugsicherungskosten über ausländischen Territorium von Flügen ab der Schweiz höher sind als die Skyguidekosten für Überflüge.

Bei der Aufteilung nach Kostenart steigt gegenüber dem Abflugprinzip der Anteil der Kapitalkosten (Ausnahme General Aviation: Gleichbleibend). Prozentual sinken die Sachkosten und steigt der Personalaufwand.

# **GESAMTSCHWEIZERISCHE INTERNE KOSTEN NACH TERRITORIALPRINZIP**



**Figur 5** Darstellung der gesamtschweizerischen internen Kosten nach Territorialprinzip

## Datenqualität

Wird die Bedeutung der verschiedenen Bereiche in % der Gesamtkosten gemessen, zeigt sich die Situation wie folgt:

Anteil an Gesamtkosten Abflugprinzip	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Flüge von/nach Landesflughäfen	72%	3%	10%	5%	90%
Flüge von/nach Regionalflugplätzen	1%	4%	0%	0%	5%
Alle Flüge von/nach Schweiz	73%	11%	11%	5%	100%

Anteil an Gesamtkosten Territorialprinzip	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Flüge von/nach Landesflughäfen	50%			10%	
Flüge von/nach Regionalflugplätzen	1%			0%	
Überflüge	7%			0%	
Alle Flüge von/nach Schweiz	58%	22%	10%	10%	100%

**Tabelle 18** Anteil der Verkehrsarten an den Gesamtkosten. Eigene Berechnungen.

Im Abflugprinzip macht der Linien-/Charterpersonenverkehr von/nach Landesflughäfen 72% der Gesamtkosten aus. Die Non-Aviation der Landesflughäfen trägt zusätzliche 5% zu den Gesamtkosten bei. Diese beiden Bereiche machen also mehr als drei Viertel aller Kosten aus. Die General Aviation und der Güterverkehr machen je 11% aller Kosten aus.

Aufgrund der tieferen Verkehrsleistung sinkt im Territorialprinzip das Gewicht des Linien-/Charterverkehrs auf 58%. Da die Gesamtkosten insgesamt gesunken sind, beträgt bei gleichem absolutem Wert das Gewicht des Non-Aviationbereichs mit 10% nun doppelt so viel zu den Gesamtkosten bei. Der Güterverkehr verbleibt bei rund 10% und die General Aviation kann ihr Gewicht mit 22% verdoppeln.

Die Datenqualität unterscheidet sich je nach Segment.

Die Datenqualität des Linien-/Charterpersonenverkehrs ab Landesflughäfen ist nach Einschätzungen der Autoren gut bis sehr gut. Die Infrastrukturkosten basieren auf einer Vollerhebung und die Datenqualität der Verkehrsmittel ist ebenfalls vergleichsweise gut. Es konnten 4 vollständige Datensets erhoben werden, wobei zwei davon von den zwei wichtigsten in der Schweiz lizenzierten Flugzeugbetreibern stammen. Die Datenqualität des Linien-/und Charterverkehrs ab Regionalflugplätzen ist schwächer. Drei von insgesamt vier Infrastrukturbetreibern stellten Daten zur Verfügung. Auf der Verkehrsmittelseite konnten keine Daten erhoben werden. Sie mussten daher aufgrund der Daten des Linien-/Charterpersonenverkehrs ab Landesflughäfen hergeleitet werden. Gegeben dass der Anteil der Kosten des Verkehrs ab Regionalflugplätzen



gemäss Abflugprinzip knapp 1% der Gesamtkosten ausmacht, kann die Datenqualität des Linien-/Charterpersonenverkehrs insgesamt als gut bis sehr gut eingestuft werden.

Die Qualität der General Aviation Daten ist etwas tiefer einzustufen als jene des Linien-/Charterpersonenverkehrs, jedoch immer noch gut. Die General Aviation ist durch eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Akteure geprägt. Ein Anbieter von internationalen Privatflügen unterscheidet sich deutlich von einem Segelflieger. Zudem finden General Aviation Aktivitäten auf allen 77 Flugplätzen der Schweiz statt. Wird die Relevanz der einzelnen Akteure betrachtet, stellt sich jedoch heraus, dass mehr als die Hälfte aller Kosten auf Landesflughäfen und Regionalflugplätzen entstehen, also insgesamt 13 Infrastrukturbetreiber eine hohe Relevanz haben. Neun davon haben ein vollständiges Datenset geliefert, von einem liegen indikative Angaben vor. Die Breite der Aktivitäten konnte mit einer Ausnahme abgedeckt werden: leider stellte kein Anbieter von internationalen Privatflügen Daten zur Verfügung. Damit dieser Bereich nicht unberücksichtigt bleibt, haben die Autoren aufgrund ihnen vorliegenden Daten und Internet Recherchen die Kostenstruktur dieses Bereichs geschätzt. In der Statistik des BAZL wurden im Jahr 2010 55'000 gewerbliche Taxiflüge mit ausländischer Destination registriert. Insgesamt werden in der General Aviation 522'000 Flüge berücksichtigt.

Die Datenqualität des Güterverkehrs ist tief einzustufen. 90% der Kosten entfallen auf Gütertransporte im Linien-/Charterverkehr (Belly Freight und Vollfrachter). Auf Seiten jener Verkehrsmittelbetreiber konnte im Bereich der Belly Freight nur ein vollständiges und ein indikatives Datenset erhoben werden. Frachtflugzeugbetreiber stellten keine Daten zur Verfügung. Die restlichen 10% der Kosten entfallen auf Helikoptergütertransporte. Insgesamt konnten Daten von drei gewerblichen Helikopterbetreibern berücksichtigt werden. Die geringe Datenbreite der Verkehrsmittelbetreiber im Linien-/Chartergüterverkehr ist von bedeutender Relevanz, da 88% der Güterverkehrskosten auf die Verkehrsmittel entfallen.

Die Datenqualität Non-Aviation ist sehr gut. 97% der gesamten Kosten entfallen auf die Landesflughäfen, bei welchen eine Vollerhebung vorgenommen wurde.

Der Anteil der Kosten, welcher auf den Linien-/Charterpersonenverkehr und die Non-Aviation entfällt mit guter bis sehr guter Datenqualität, beträgt 80%. Die General Aviation (gute Datenqualität) und der Güterverkehr (tiefe Datenqualität) machen ja ca. 10% aus.

## 5.4.2. NACH ERTRAGSART

### Abflugprinzip

Die Erträge verteilen sich wie folgt:

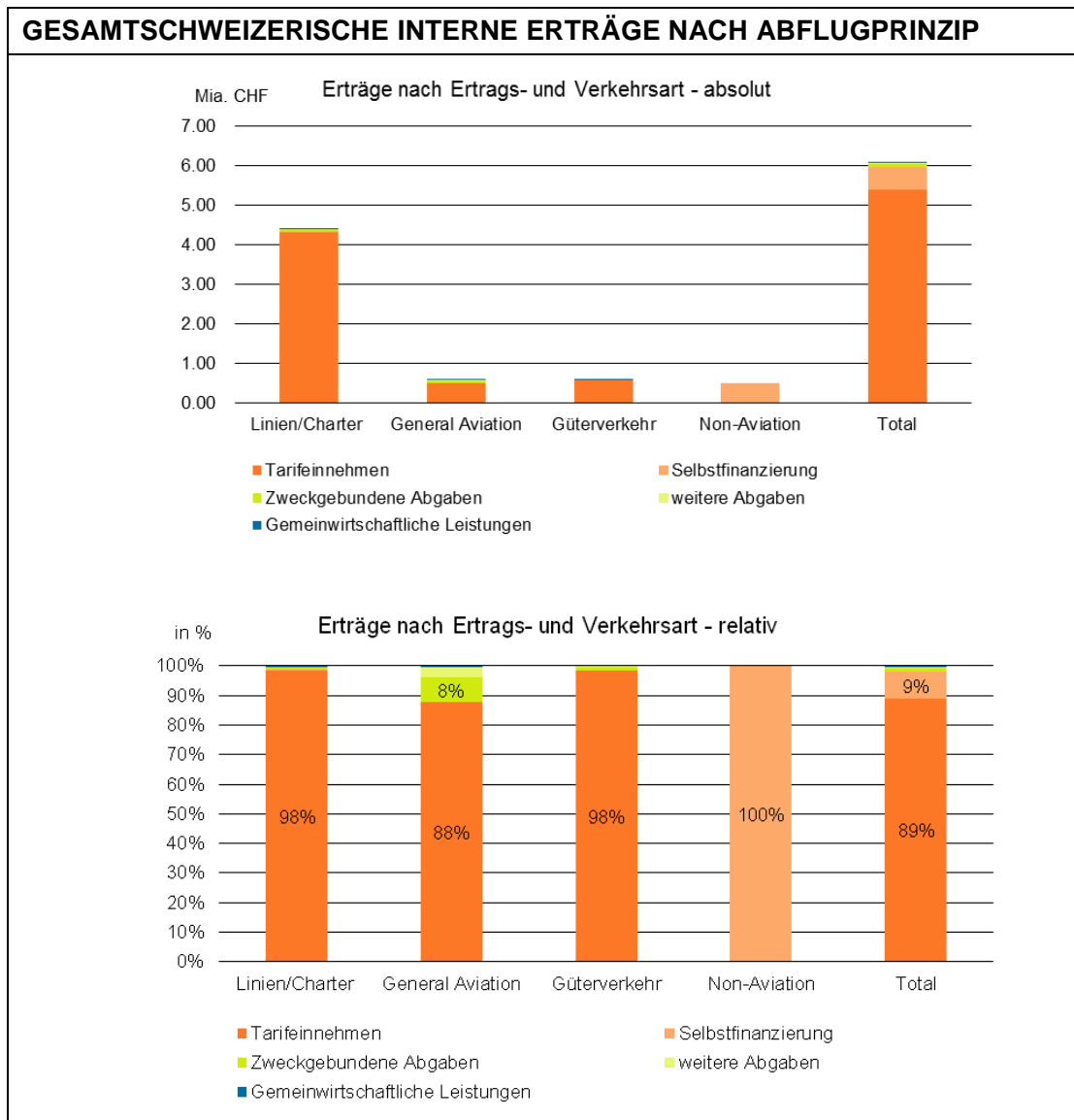
Alle Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	4'328	509	581	-	5'418
Selbstfinanzierung	31	-	-	510	541
Zweckgebundene Abgaben	31	48	7	-	85
weitere Abgaben	3	20	2	-	25
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	10	3	1	-	14
<b>Total</b>	<b>4'403</b>	<b>581</b>	<b>591</b>	<b>510</b>	<b>6'084</b>

Alle Flüge von/nach Schweiz in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	98.3%	87.7%	98.4%	0.0%	89.1%
Selbstfinanzierung	0.7%	0.0%	0.0%	100.0%	8.9%
Zweckgebundene Abgaben	0.7%	8.3%	1.1%	0.0%	1.4%
weitere Abgaben	0.1%	3.5%	0.3%	0.0%	0.4%
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	0.2%	0.5%	0.2%	0.0%	0.2%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100.0%</b>

**Tabelle 19** Erträge nach Ertragsarten gemäss Abflugprinzip. Eigene Berechnungen

Die Erträge stammen mit Ausnahme der Non-Aviation fast vollständig aus dem Verkauf von Tickets. In der General Aviation sind zudem die zweckgebundenen und weiteren Abgaben noch etwas spürbar. Das höhere Gewicht ist darauf zurückzuführen, dass der internationale Verkehr weitgehend von der Mineralölsteuer befreit ist, viele Flüge der General Aviation jedoch steuerpflichtig sind. Ein Beitrag von 0.7% entfällt im Bereich der Linien-/Charterflüge auf die Selbstfinanzierung. Dahinter stehen insbesondere On-Board Verkäufe. Die gemeinwirtschaftlichen Leistungen des Bundes (Beiträge an Eurocontrol) machen mit 14 Mio. CHF 0.2% aller Erträge aus. In dieser Studie nicht berücksichtigt werden Zuschüsse von Kantonen und Gemeinden an Regionalflyplätze, Flugfelder und Heliports.



**Figur 6** Darstellung der gesamtschweizerischen Erträge nach Abflugprinzip

Für Flüge von/nach Landesflughäfen und die dazu notwendige Infrastruktur wurden die Erträge separat berechnet. Dasselbe gilt für die Regionalflugplätze. Die folgenden Tabellen enthalten die Resultate.

Flüge von/nach Landesflughäfen in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	4'294	114	528	-	4'936
Selbstfinanzierung	31	-	-	497	527
Zweckgebundene Abgaben	31	8	3	-	42
weitere Abgaben	3	8	1	-	12
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	10	1	1	-	12
<b>Total</b>	<b>4'369</b>	<b>131</b>	<b>533</b>	<b>497</b>	<b>5'529</b>

Flüge von/nach Landesflughäfen in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	98.3%	86.7%	99.0%	0.0%	89.3%
Selbstfinanzierung	0.7%	0.0%	0.0%	100.0%	9.5%
Zweckgebundene Abgaben	0.7%	5.9%	0.6%	0.0%	0.8%
weitere Abgaben	0.1%	6.2%	0.1%	0.0%	0.2%
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	0.2%	1.1%	0.2%	0.0%	0.2%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**Tabelle 20** Erträge von Flügen von/nach Landesflughäfen und der dazugehörigen Infrastruktur nach Ertragsarten gemäss Abflugprinzip. Eigene Berechnungen.

Flüge von/nach Regionalflugplätzen in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	33.6	191.7	15.9	-	241.2
Selbstfinanzierung	0.4	-	-	13.1	13.5
Zweckgebundene Abgaben	0.1	19.1	1.0	-	20.2
weitere Abgaben	0.0	8.1	0.4	-	8.5
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	0.3	1.5	0.0	-	1.9
Total	34.4	220.4	17.4	13.1	285.3

Flüge von/nach Regionalflugplätzen in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	97.6%	86.9%	91.3%	0.0%	84.5%
Selbstfinanzierung	1.2%	0.0%	0.0%	100.0%	4.7%
Zweckgebundene Abgaben	0.2%	8.7%	6.0%	0.0%	7.1%
weitere Abgaben	0.0%	3.7%	2.5%	0.0%	3.0%
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	0.9%	0.7%	0.2%	0.0%	0.7%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**Tabelle 21** Erträge von Flügen von/nach Landesflughäfen und der dazugehörigen Infrastruktur nach Ertragsarten gemäss Abflugprinzip. Eigene Berechnungen.

5.5 Mrd. CHF der Erträge entstehen für Flüge von und nach Landesflughäfen und den dazugehörigen Infrastrukturen. Das sind 90% aller Erträge. Mit Flügen ab Regionalflugplätzen und der dafür benötigten Verkehrsinfrastruktur entstehen mit 285 Mio. CHF etwa 5% aller Erträge. Die Kostenstrukturen sind vergleichbar mit dem gesamtschweizerischen Durchschnitt.

### Territorialprinzip

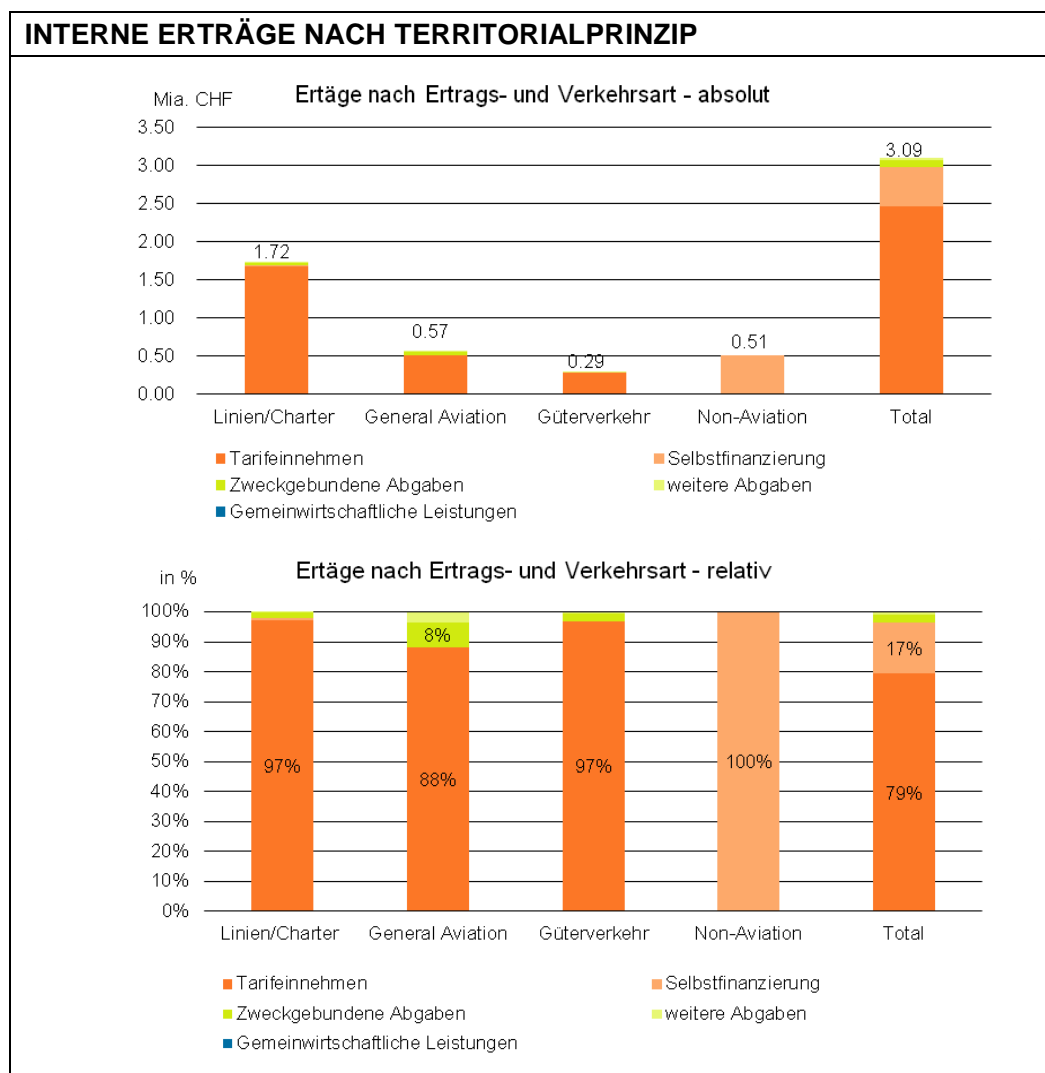
Werden die Flugbewegungen nach dem Territorialprinzip abgegrenzt entstehen folgende Erträge:

Flüge von/nach Schweiz in Mio. CHF	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	1'675	506	277	-	2'458
Selbstfinanzierung	14	-	-	510	524
Zweckgebundene Abgaben	31	48	7	-	85
weitere Abgaben	3	20	2	-	25
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	-	-	-	-	-
Total	1'723	574	286	510	3'093

Flüge von/nach Schweiz in %	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Tarifeinnahmen	97.2%	88.1%	97.0%	0.0%	79.5%
Selbstfinanzierung	0.8%	0.0%	0.0%	100.0%	17.0%
Zweckgebundene Abgaben	1.8%	8.4%	2.3%	0.0%	2.8%
weitere Abgaben	0.2%	3.5%	0.6%	0.0%	0.8%
Gemeinwirtschaftliche Leistungen	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**Tabelle 22** Erträge nach Ertragsarten gemäss Territorialprinzip. Eigene Berechnungen.

Im Territorialprinzip stehen den Kosten von 2.8 Mrd. CHF Erträge von 3.1 Mrd. CHF gegenüber. Erwartungsgemäss sinkt der prozentuale Anteil der Tarifeinnahmen im Vergleich zum Abflugprinzip ein wenig, das Gesamtbild bleibt jedoch unverändert. In den Verkehrsbereichen entfallen im Durchschnitt über 90% der Erträge auf Tarifeinnahmen.



**Figur 7** Darstellung der Erträge nach Territorialprinzip

### Datenqualität

Für die Datenqualität gilt dasselbe, wie im Abschnitt 5.4.1 erläutert. Die Datenqualität der Non-Aviation wird von den Autoren als sehr gut beurteilt, jene des Linien-/Charterpersonenverkehrs gut bis sehr gut, die General Aviation gut und die Datenqualität im Güterverkehr ist eher tief.

### 5.4.3. INTERNER KOSTENDECKUNGSGRAD

Die folgende Tabelle stellt die Kostendeckungsgrade dar, wenn nur die internen Kosten und Erträge berücksichtigt werden (interne Kostendeckungsgrade):

Interner Kostendeckungsgrad Abflugprinzip	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Flüge von/nach Landesflughäfen	105%	80%	97%	166%	107%
Flüge von/nach Regionalflygplätzen	100%	86%	88%	153%	90%
Alle Flüge von/nach Schweiz	105%	89%	97%	166%	105%

Interner Kostendeckungsgrad Territorialprinzip	Personenverkehr		Güterverkehr	Non-Aviation	Total
	Linien/Charter	General Aviation			
Flüge von/nach Landesflughäfen	100%			166%	
Flüge von/nach Regionalflygplätzen	100%			153%	
Alle Flüge von/nach/über Schweiz	99%	88%	97%	166%	104%

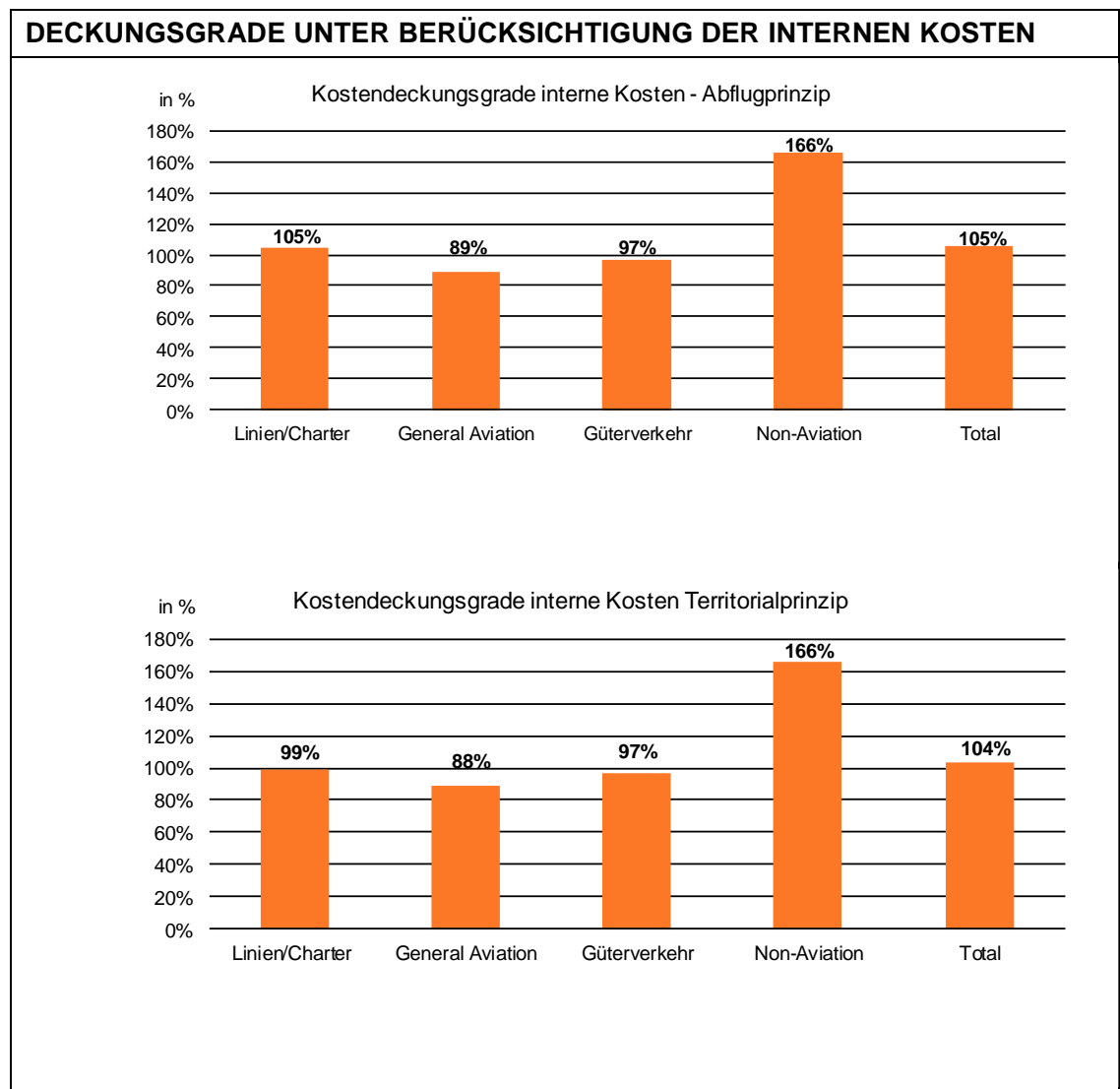
**Tabelle 23** Interne Kostendeckungsgrade nach Abflug- und Territorialprinzip . Eigene Berechnungen.

Die Kostendeckungsgrade unter alleiniger Berücksichtigung der internen Kosten und Erträge sind im Abflugprinzip für den Linien-/Charterpersonenverkehr und die Non-Aviation über 100% und in der General Aviation sowie dem Güterverkehr unter 100%. Im Territorialprinzip ist der Deckungsgrad des Linien-/Charterpersonenverkehrs ebenfalls unter 100%. Der tiefere Deckungsgrad im Territorialprinzip begründet sich darin, dass die Verkehrsmittelkosten gedeckt oder sogar leicht überdeckt sind, die Infrastrukturdienstleistungen jedoch nicht kostendeckend angeboten werden können. Da diese im Territorialprinzip mehr Gewicht haben, sinkt der Kostendeckungsgrad entsprechend. Ein auffälliges Ergebnis ist auch die Tatsache, dass der Linien- und Charterverkehr ab Landes- und Regionalflygplätzen je kostendeckend ist, im Total jedoch eine leichte Unterdeckung besteht. Die leichte Unterdeckung ist auf die nicht kostendeckende Erbringung von Skyguidedienstleistungen an Überflüge zurückzuführen.

Die Verluste im Verkehrsbereich werden von den Flugplätzen durch den Ertragsüberschuss im Non-Aviation Bereich finanziert. Dadurch entsteht insgesamt jeweils ein positiver Kostendeckungsgrad.

Würden die hoheitlichen Sicherheitskosten von 41.5 Mio. CHF berücksichtigt, würde der Deckungsgrad des Linien/Charterverkehrs im Territorialprinzip von 99% auf 97% sinken und im

Abflugprinzip von 105% auf 104%. Entsprechend würden auch der Gesamtdeckungsgrad um 2%-Punkte resp. 1%-Punkt sinken.



**Figur 8** Darstellung der Deckungsgrade unter Berücksichtigung der internen Kosten nach Abflug- und Territorialprinzip.

## 5.5. WEITERE VOLKSWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

### 5.5.1. BEITRÄGE DER GEMEINDEN UND KANTONE AN FLUGPLÄTZE

Gemäss Auftrag werden innerhalb dieser Studie in den gemeinwirtschaftlichen Kosten nur Bundesbeiträge berücksichtigt. Damit werden insbesondere Beiträge von Kantonen und Gemeinden

an Flugplätze nicht erfasst. Um diese zu erfassen, müssten Daten von 77 Flugplätzen beschafft werden. Im Hinblick auf den zähen Datenrückfluss ist zu erwarten, dass dies mit einem erheblichen Aufwand verbunden wäre. Dennoch soll die Bedeutung dieser Beiträge abgeschätzt werden. Daher wurden die Flugplätze bei der Datenerhebung zusätzlich nach den Beiträgen der öffentlichen Hand gefragt, die innerhalb der letzten zehn Jahre gewährt wurden. Der Zehnjahreshorizont wurde gewählt, um einen Eindruck davon zu bekommen, wie regelmässig Unterstützungen der öffentlichen Hand anfallen. Als Beiträge kommen zinslose oder zinsvergünstigte Darlehen, Bürgschaften, Defizitgarantien und die Übernahme von Verlusten (resp. von Gewinnen als negative Beiträge) in Frage.

Die Befragung kam zu folgendem Resultat:



<b>KANTONS- UND GEMEINDEBEITRÄGE AN ERFASSTE FLUGPLÄTZE</b>			
<b>Flugplatz</b>	<b>Zinslose/-vergünstigte Darlehen</b>	<b>Defizitgarantie oder Bürgschaften</b>	<b>Übernahme von Verlusten und Gewinnen</b>
Zürich		2002: Defizitgarantie des Kantons von 100 Mio. CHF zur Absicherung von Darlehen der Flughafen Zürich AG an flugnahe Betriebe im Zusammenhang mit dem Swissair-Grounding. Die Bürgschaft wurde nicht beansprucht.	
Genf	-	-	-
Basel-Mulhouse	-	-	-
Bern-Belp	2005: zinsloses Darlehen des Kantons im Umfang von 800'000 CHF mit einer Laufzeit von 5 Jahren.	-	-
Lugano-Agno	2010: Vorauszahlung von 800'000 CHF der Stadt Lugano. Tilgung ende 2011/ anfangs 2012 vorgesehen.	-	2004: Verlust von 1.6 Mio. CHF 2005: Verlust von 0.6 Mio. CHF
St. Gallen-Altenrhein	-	-	-
Birrfeld	-	-	-
Grenchen	-	-	-
Samedan			2006: Verlust 416'000 CHF 2007: Verlust 912'000 CHF 2008: Verlust 1'020 CHF 2009: Verlust 1.05 Mio. CHF 2010: Gewinn 612'000 CHF
La Chaux-de-Fonds-Les Eplatures	Zinslose Gemeindedarlehen (Nennwert in CHF): 1999-2016: 500'000 2001-2016: 275'000 2010-2034: 530'000  Restbetrag 2010: 922'3000	-	Jährliche Subvention von Gemeinden und Kanton im Umfang von 325'950 CHF.
Speck-Fehraltorf	-	-	-

**Tabelle 24** Kantons- und Gemeindebeiträge an Flugplätze, von welchen Daten eingingen.

Insgesamt ist das Bild gemischt. Landesflughäfen scheinen kaum Kantons- oder Gemeindebeiträge zu erhalten. Bei den Regionalflugplätzen liegen Angaben von sieben Flugplätzen vor (ins-

gesamt gibt es zehn). Die gewährten Beiträge von Kantonen oder Gemeinden sind sehr variabel. Drei der sieben erfassten Regionalflugplätze geben an, in den letzten zehn Jahren keine Unterstützungen bekommen zu haben, vier haben Beiträge erhalten. Drei erhielten zinslose Darlehen und von drei Flugplätzen wurden Verluste übernommen (zwei davon erhalten auch zinslose Darlehen). Die der Gesellschaft entgangenen Zinsen auf den zinslosen Darlehen sind im Vergleich zu den gesamten internen Kosten des Luftverkehrs marginal. Die Verlustübernahme ist im Hinblick auf die Deckungsgradauswirkungen auch nicht von signifikanter Grössenordnung. Die Summe aller übernommenen Verluste erreichte im Jahr 2004 mit 1.4 Mio. CHF den Höchststand.

Zu den Flugfeldern und Heliports liegen kaum Daten vor. Es ist allerdings zu vermuten, dass auch diese Beiträge den Deckungsgrad nicht signifikant beeinflussen.

### 5.5.2. HISTORISCHE KOSTEN

Neben den ausgewiesenen internen Kosten können weitere volkswirtschaftliche Zusatzkosten in Form von kalkulatorischen Kapitalkosten genannt werden. Die Methodik der Strassen- und Eisenbahnrechnungen berücksichtigt solche Kosten in Form von kalkulatorischen Zinsen für früher gewährte Finanzbeiträge der öffentlichen Hand (Zinsen auf Spezialfinanzierungen) und zur Verzinsung früherer Fehlbeträge (sogenannte Saldozinsen). Sie sind finanztechnisch nicht mehr relevant und belasten die laufenden Rechnungen nicht, da sie in früheren Jahren abgeschrieben wurden.

Die Ausklammerung dieser Kosten aus der Gesamtverkehrsträgerrechnung entspricht der heute gültigen Rechtsgrundlage und ist auch im internationalen Vergleich die gängige Praxis. Diese Kosten wurden in früheren Jahren abgeschrieben und sind heute finanztechnisch nicht relevant. Deshalb sollen in der Basisrechnungen der Transportrechnung nicht berücksichtigt werden. Damit wird auch der Vergleich der Verkehrsmittel nicht mit historischen Kosten belastet. Es ist aber sinnvoll, die historischen Kosten separat sichtbar zu machen und aufzuzeigen, welchen Einfluss eine Berücksichtigung dieser Kosten auf den Kostendeckungsgrad hätte.

Aufgrund der Datenverfügbarkeit können nur Bundesbeiträge berücksichtigt werden. Dabei werden nur Bundesbeiträge an Flugplätze berücksichtigt. Insbesondere die Subvention an die Swissair, welche im Jahr 2002 gewährt wurde, wird nicht berücksichtigt, da die Swissair als solche nicht mehr existiert. Das BAZL machte untenstehende Angaben über die in der Vergangenheit gewährten Bundessubventionen und die im Jahr 2010 ausstehenden Bundesdarlehen.

Die Subventionen sind nur bis 1994 ausgewiesen, da in den folgenden Jahren nur noch marginale Beiträge gewährt worden seien.

ÜBERSICHT BUNDESBEITRÄGE AN FLUGPLÄTZE IN MIO. CHF		
Flugplatz	Ausstehende zinsgünstige Bundesdarlehen 2010	Bundessubventionen bis 1994
Basel	26.5	124.7
Genf		289.2
Zürich		816.2
Regionalflugplätze	2.1	3.6
Flugfelder		n.a.
Total	28.6	1'230

**Tabelle 25** Vom Bund gewährten Subventionen und Darlehen an Flugplätze gemäss BAZL. Die meisten Subventionen wurden vor 1985 ausgeschüttet. Nach 1994 gewährte Bundessubventionen sind gemäss BAZL marginal.

Die historischen Kosten werden wie folgt berechnet:

- › **Bundessubventionen:** Neben den Bundessubventionen selbst werden die Kapitalbeschaffungskosten des Bundes berücksichtigt. Die Kapitalbeschaffungskosten sind die Zinskosten, welche dem Bund durch die Aufnahme von Fremdkapital entstehen. Die Saldozinsen aus Bundesdarlehen entsprechen daher der Summe der Bundesdarlehen plus der Verzinsung der Bundesdarlehen von deren Ausschüttung bis im Jahr 2010 (inkl. Zinseszinsen). Der verwendete Zinssatz orientiert sich an der Rendite einer 10jährigen Bundesobligation. Für die Zeitperiode bis 1998 wird in Übereinstimmung mit der Eisenbahnrechnung ein durchschnittlicher Zinssatz von 4.5% unterstellt (Infras 2002). Die Zinssätze sind zu Beginn dieses Jahrtausends spürbar gesunken. In den Jahren 1998 bis 2010 betrug die durchschnittliche Rendite einer zehnjährigen Bundesobligation 2.5% (SNB 2011). Für die Jahre 1998 bis 2010 wird der Zinssatz daher auf dieses Niveau reduziert.
- › **Bundesdarlehen:** Die Saldozinsen aus zinsgünstigen Bundesdarlehen entsprechen den Kapitalbeschaffungskosten des Bundes reduziert um die Zinserträge aus den Darlehen. Betragen die Kapitalbeschaffungskosten des Bundes beispielsweise 4.5% p.a. und das Darlehen wird zu 2% p.a. gewährt, betragen die Saldozinsen 2.5% (4.5% - 2%) des ausstehenden Restbetrages. Die Saldozinsen werden bis in das Jahr 2010 aufgezinst. Die Zinseszinsen werden also berücksichtigt. Analog zu den Bundessubventionen wird unterstellt, dass die Kapitalbeschaffungskosten des Bundes bis 1998 4.5% und nach 1998 2.5% betragen.

Aus den Berechnungen ergeben sich folgende Saldozinsen:

**Saldozinsen im Jahr 2010**

in Mio. CHF	Landesflughäfen	übrige Flugplätze	Total
Saldozinsen aus Bundessubventionen	47.7	0.1	47.9
Saldozinsen aus Bundesdarlehen	0.2	<0.1	0.2
<b>Total</b>	<b>47.9</b>	<b>0.2</b>	<b>48.1</b>

**Tabelle 26** Aufgelaufene Saldozinsen bis 2010 durch Bundessubventionen und Bundesdarlehen an Flugplätze.

Werden die 48.1. Mio. CHF Saldozinsen als Kosten angerechnet, sinkt der Kostendeckungsgrad gemäss Abflugprinzip um 1%-Punkt.

Die Saldozinsen im Schienenverkehr sind mit mehreren Milliarden CHF. bedeutend höher als jene im Luftverkehr. Die Strassenrechnung hat seit 1996 überwiegend Überschüsse produziert. Anstelle von kalkulatorischen Kosten entsteht daher ein kalkulatorischer Ertrag.

## 6. EXTERNE KOSTEN

### 6.1. EINLEITUNG UND METHODIK

#### 6.1.1. BERÜCKSICHTIGTE KOSTENBEREICHE

Neben den in Kapitel 5 hergeleiteten internen Kosten sind auch die externen Kosten des Luftverkehrs zu bestimmen. Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen wird. Die Lärmbelastung und Luftverschmutzung gelten als typische Beispiele für externe Kosten: Sie werden durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, belasten aber die AnwohnerInnen (Lärm) bzw. die gesamte Gesellschaft (Luftverschmutzung). Somit werden die Kosten zu einem grossen Teil nicht von den Verkehrsteilnehmenden bezahlt. Erst ansatzweise werden die externen Kosten internalisiert wie z.B. mit den lärm- oder emissionsabhängigen Landegebühren. In diesem Bericht werden die externen Kosten in sechs verschiedenen Bereichen berechnet, wobei bei den Unfällen zuerst die gesamten oder sozialen Kosten bestimmt werden, welche in interne und externe Kosten aufgeteilt werden können. Zudem wird aufgezeigt, ob ein Teil der externen Kosten internalisiert ist:

- › Unfälle
- › Luftbelastung
- › Lärm
- › Klima
- › Natur und Landschaft
- › Vor- und nachgelagerte Prozesse

Damit werden die wichtigsten externen Kosten abgedeckt. Einige zusätzliche Effekte werden jedoch **nicht mitberücksichtigt**:

- › Die Staukosten werden bei der Transportrechnung für die Bereiche Schiene und Strasse nicht einbezogen, weshalb die Verspätungskosten auch für den Luftverkehr ausgeklammert werden (Gleichbehandlung der Verkehrsträger, bessere Vergleichbarkeit).
- › Der Energieverbrauch (Heizen, Beleuchten etc.) der Immobilien der Flugverkehrsinfrastruktur wird nicht mitberücksichtigt, da auch der Energieverbrauch von Bahnhöfen und Raststätten in der Transportrechnung nicht enthalten sind.
- › Die Angst von Bewohnern von Gebäuden, die von Flugzeugen in niedriger Höhe überflogen werden, wird vernachlässigt, da dazu keine Daten vorliegen.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> IER (2003), Ermittlung externer Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main, S. 69.

- › Der Bus- / Lastwagen- / Schlepperverkehr auf dem Flugplatz (gehört zur Aviationstätigkeit, da ohne Busse, Fingerdock etc. Gepäck und Passagiere nicht in das Flugzeug gelangen) wird so weit als möglich einbezogen. Prinzipiell ist der Verkehr auf dem Flugplatz in den Bereichen Unfälle, Luft, Klima, vor- und nachgelagerte Prozesse relevant. Bei den Unfällen liegen dazu keine Daten für die ganze Schweiz vor, so dass diese (in diesem Bereich geringen) Kosten vernachlässigt werden, ebenso bei den vor- und nachgelagerten Prozessen. In den anderen Bereichen, d.h. Luft und Klima, werden diese Verkehre aber berücksichtigt.

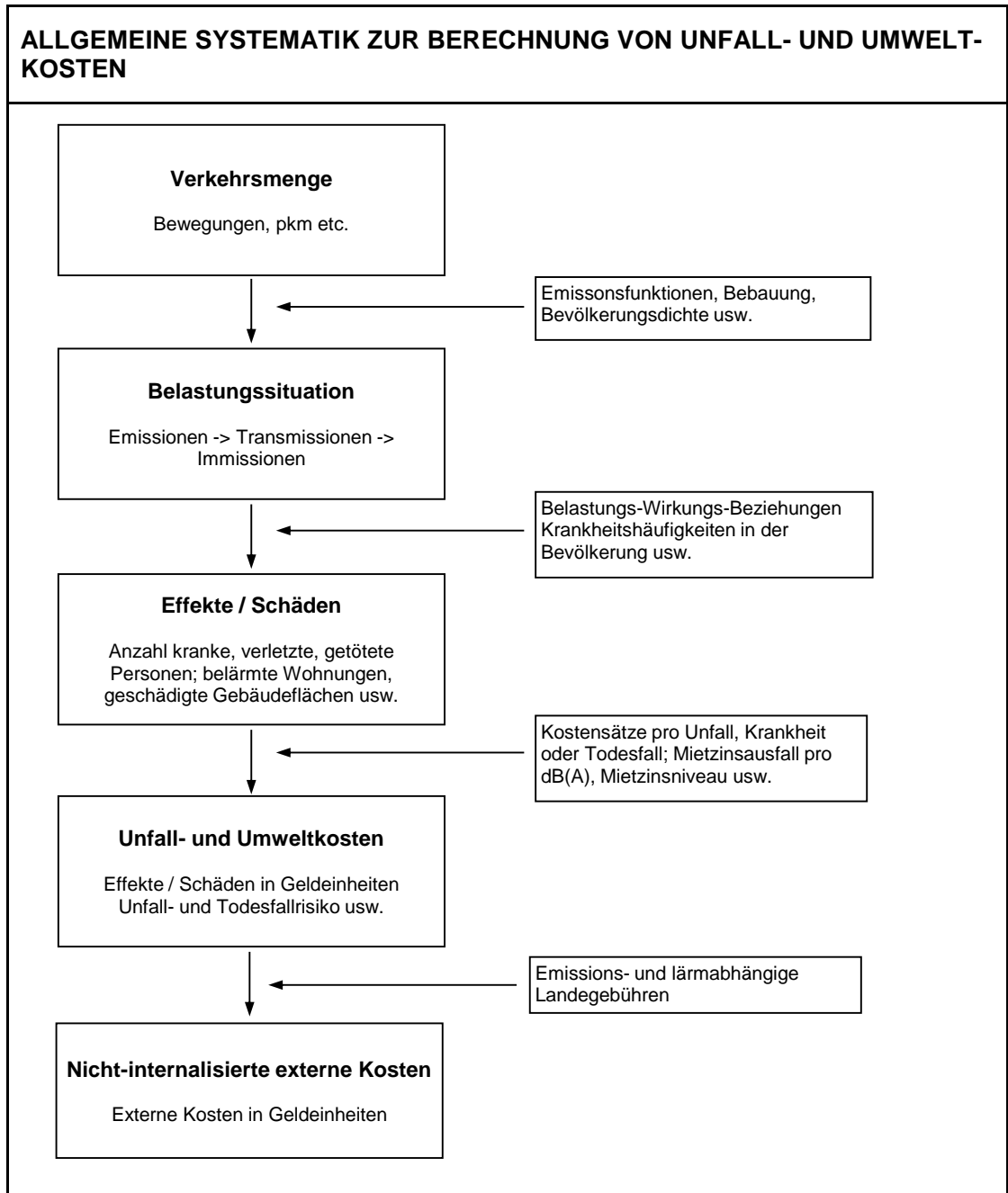
### 6.1.2. METHODISCHES VORGEHEN BEI DER BERECHNUNG DER KOSTEN<sup>16</sup>

Die Methodik zur Berechnung der externen Kosten des Luftverkehrs orientiert sich an den Vorgehensweisen wie sie in den bisherigen Studien für den Strassen- und Schienenverkehr<sup>17</sup> verwendet wurden, wobei wo nötig und möglich Anpassungen erfolgen. Die allgemeine Systematik zur Berechnung der externen Kosten wird in der folgenden Figur dargestellt:

- › Ausgangslage bildet die Verkehrsmenge wie die Zahl der Bewegungen oder die pkm im Luftverkehr.
- › Daraus wird die Belastungssituation abgeschätzt. Je nach Kostenbereich sind für diese Schätzungen Emissionsfunktionen, Bevölkerungsdichte, Bebauung, Aufteilungen nach Verletzungsschwere etc. nötig.
- › In einem nächsten Schritt werden die daraus resultierenden Effekte bzw. Schäden ermittelt. Dabei handelt es sich je nach Kostenbereich z.B. um die Zahl der zusätzlichen kranken, verletzten oder getöteten Personen, um die Anzahl belärmter Wohnungen oder um das Ausmass geschädigter Gebäudeflächen. Um diese Effekte bestimmen zu können, werden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Krankheitshäufigkeiten in der Bevölkerung und weitere Grundlagen verwendet.
- › Dann werden die Schäden in Geldeinheiten quantifiziert. Dazu werden je nach Kostenbereich spezifische Kostensätze pro Unfall, Verletzten, Getöteten, Krankheitsfall, verlorenes Lebensjahr oder Mietzinsausfälle ermittelt und mit den ermittelten Schäden verknüpft.
- › Schliesslich werden noch die internalisierten externen Kosten abgezogen (emissions- und lärmabhängige Landegebühren). Die nicht-internalisierten externen Kosten zeigen den politischen Handlungsbedarf auf, wenn das Ziel der Internalisierung verfolgt wird.

<sup>16</sup> Der Rest des Kapitels 6.1 folgt in grösseren Teilen Ecoplan, Infrac (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz), wird hier aber wiederholt, damit der vorliegende Bericht möglichst selbsterklärend ist.

<sup>17</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.



Figur 9

Aus dem Strassen- und Schienenverkehr liegen umfangreiche Vorarbeiten für das Jahr 2005 vor, da für diese Verkehrsbereiche die externen Kosten bereits berechnet wurden.<sup>18</sup> Deshalb kann für

<sup>18</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

den Luftverkehr das Wertgerüst (d.h. die Kostensätze z.B. pro Tonne Schadstoff) übernommen werden, wobei zu prüfen ist, ob für den Luftverkehr allenfalls Anpassungen nötig sind. Wie sich zeigen wird, ist dies in vielen Fällen nicht notwendig. An einigen Stellen sind jedoch zusätzliche Überlegungen notwendig (z.B. bei Emissionen in grosser Höhe, die es im Strassen- und Schienenverkehr nicht gibt).

Für den Strassen- und Schienenverkehr wurde für das ARE ein vertrauliches Aktualisierungstool erstellt,<sup>19</sup> mit dem das ARE die externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in den Jahren 2006, 2007... berechnen kann. Dabei werden alle einfach verfügbaren Daten aktualisiert (Nominallohnwachstum, Veränderung Nettoproduktionsausfall etc. etc.). Die Grundlage für die hier verwendeten Kostensätze bildet deshalb das Aktualisierungstool für den Strassen- und Schienenverkehr für das Jahr 2010.<sup>20</sup>

Für die im Folgenden untersuchten Kategorien der externer Kosten des Luftverkehrs war die Methodik bei der Berechnung teilweise gegeben, damit die Vergleichbarkeit mit Ergebnissen zu den externen Kosten von Strasse und Schiene in der Transportrechnung gewährleistet ist. Beim ARE stehen aber Arbeiten zur Aktualisierung der Berechnungsmethodik an der Transportrechnung an, welche dann für alle Verkehrsträger umzusetzen sind.

### 6.1.3. ALLGEMEINE FESTLEGUNGEN

Einige grundlegende Vorgaben, die für alle Kostenbereiche gelten, werden aus den bisherigen Studien für den Strassen- und Schienenverkehr übernommen:

- › Für die internationale Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden sämtliche Kostenberechnungen auf der Basis von **Faktorkosten** vorgenommen. Als Faktorkosten werden die Kosten ohne indirekte Steuern (z.B. MWST) bezeichnet. Die Faktorkosten liegen durchschnittlich 7.7% unter den Marktpreisen.
- › Auch bei den internen Kosten oben werden Faktorpreise verwendet. Der internationale Luftverkehr ist von Mehrwertsteuer befreit, bei den Flughäfen wird sie herausgerechnet.
- › Die Berechnung der Kosten erfolgt – wie in Kapitel 2 besprochen – in allen Bereichen nach dem **Territorialprinzip** und nach dem **Abflugprinzip**. Im Bereich der Klimakosten werden

<sup>19</sup> Ecoplan, Infras (2009), Aktualisierungstool externe Kosten des Verkehrs.

<sup>20</sup> Folglich werden Daten, die im Aktualisierungstool nicht aktualisiert werden, ebenfalls nicht neu erhoben. Grund dafür ist, dass sonst die Berechnungen für den Luftverkehr nicht mit dem Strassen- und Schienenverkehr vergleichbar wären. Zudem wäre der Aufwand deutlich höher und die Werte dürften nicht gross abweichen. Einige wenige der im Aktualisierungstool benötigten Inputdaten sind für 2010 noch nicht verfügbar. In diesem Fall werden die Wachstumsprognosen zwischen 2009 und 2010 aus Ecoplan, Infras (2010, Berechnungsmethode und Prognose der externen des Schwerverkehrs) verwendet.



die Treibhausgasemissionen ebenfalls nach beiden Prinzipien bestimmt. Die Klimafolgeschäden, die sich in den Kostensätzen widerspiegeln, umfassen jedoch auch beim Territorialprinzip Schäden, die ausserhalb der Schweiz auftreten.<sup>21</sup> Im Bereich der vor- und nachgelagerten Prozesse spielen die verbrauchte Treibstoffmenge und die zurückgelegten Distanzen eine zentrale Rolle, weshalb eine Berechnung nach beiden Abgrenzungsprinzipien notwendig ist. Bei der Luftbelastung, dem Lärm und den Natur- und Landschaftskosten ergibt sich hingegen kein Kostenunterschied für die beiden Abgrenzungsprinzipien. Bei den Unfällen sind die Unterschiede klein.

- › Bei der Berechnungen der Kosten des Jahres 2010 werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2010 anfallen, aber durch Auslöser im Jahr 2010 bedingt sind (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.). Wenn im Folgenden also von Kosten gesprochen wird, dann sind damit immer alle **Folgekosten** (auch die zukünftigen) der Belastungen des Jahres 2010 gemeint.
- › Die externen Kosten werden differenziert nach Sicht Verkehrsträger und Sicht Verkehrsteilnehmende ermittelt: Bei der **Sicht Verkehrsträger** sind nur jene Kosten extern, die von der Allgemeinheit getragen werden. Kosten, die das unschuldige Unfallopfer trägt, werden demgegenüber als intern betrachtet, weil es selbst zu den Verkehrsteilnehmenden zählt (auch wenn die Unfallverursachenden für diese Schäden nicht aufkommen). Diese Sicht zeigt auf, mit welchen Unfallkosten die Allgemeinheit belastet wird. Bei der **Sicht Verkehrsteilnehmende** sind alle Kosten extern, die nicht durch die Unfallverursachenden gedeckt werden (unabhängig davon, ob sie vom unschuldigen Opfer oder von der Allgemeinheit getragen werden). Diese Sicht eignet sich, wenn es um Fragen der Internalisierung der externen Kosten geht. Die Differenzierung der beiden Sichtweisen ist allerdings nur bei den Unfallkosten von Bedeutung (in den anderen Kostenbereichen entstehen keine Kosten bei den anderen Verkehrsteilnehmenden).

Um die Vorgaben der Transportrechnung erfüllen zu können, sind noch einige weitere Differenzierungen zu berechnen:

- › Es ist eine Differenzierung nach **Kostenträger** (Benutzer, Dritte, Staat, Allgemeinheit) vorzunehmen. Diese Differenzierung ergibt sich meist unmittelbar aus den einzelnen Kostenbestandteilen.

<sup>21</sup> Beim Territorialprinzip werden zwar nur Treibhausgasemissionen berücksichtigt, die in der Schweiz anfallen. Der Anstieg der Treibhausgas-Konzentration betrifft jedoch die gesamte Atmosphäre. Die damit verbundenen Klimaveränderungen sind nicht abhängig von der Ausstossquelle. Die Emission von Treibhausgasen in der Schweiz führt demnach zu globalen Schäden.

- › Die Differenzierung nach **fixen und variablen Kosten** ist bei den externen Kosten einfach, da abgesehen vom Bereich Natur und Landschaft sowie Teilen der Kosten für vor- und nachgelagerten Prozessen alles variable Kosten sind.
- › Die Differenzierung nach **Aviationstätigkeit und Nebentätigkeiten** ist bei den externen Kosten vernachlässigbar: Die externen Kosten werden meist nur durch die Aviationstätigkeit verursacht (Unfälle, Luftbelastung, Lärm, Klima etc.). Einzig der Bodenverbrauch wäre kleiner, wenn sich die Flughäfen auf die reine Aviationstätigkeit konzentrieren würden. Da der Anteil der Nebentätigkeiten hier relativ gering ist und der Bodenverbrauch ohnehin keine massgeblichen externen Kosten verursacht, kann diese Differenzierung vernachlässigt werden. Damit sind die gesamten externen Kosten der Aviationstätigkeit zuzuschreiben.
- › Um die **VGR-relevanten Kosten** ausweisen zu können, d.h. die Kosten die in die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung einfließen, muss neben dem Nettoproduktionsausfall auch der Bruttoproduktionsausfall berechnet werden, der sonst nicht benötigt wird.

Diese zusätzlichen Differenzierungen werden im Folgenden nicht weiter vertieft.

#### 6.1.4. UMGANG MIT UNSICHERHEITEN UND SENSITIVITÄTSANALYSE

##### Einleitung

Die Berechnung der externen Kosten kann nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Damit ergeben sich bezüglich der Endergebnisse in jedem Fall gewisse Unsicherheiten. Im Wesentlichen können sie bei der Ermittlung der Ergebnisse auf drei Ebenen entstehen:

- › Belastungssituation
- › Effekte bzw. Schäden (Dosis-Wirkungs-Beziehungen)
- › Kostensätze für die Bewertung der Schäden

Je nach Wissenstand stehen verschiedene Möglichkeiten zum Umgang mit Unsicherheiten zur Verfügung, welche in Tabelle 27 im Überblick dargestellt sind und im Folgenden erläutert werden.

WISSENSTAND UND UMGANG MIT UNSICHERHEITEN	
Wissenstand	Umsetzungsmöglichkeiten in Berechnungen
Gesichertes Wissen	Punktwert
Wissen mit Unsicherheiten	Punktschätzung im Sinne eines best guess Ansatzes
	Punktschätzung im Sinne eines at least Ansatzes
	Bandbreiten oder Sensitivitätsanalysen
Ungenügende oder keine Kenntnisse	Vernachlässigung der Ermittlung, nur qualitative Ermittlung

Tabelle 27

### Gesichertes Wissen

Der Begriff „Wissen“ ist umfassend zu verstehen, es kann sich um Datengrundlagen (z.B. Verkehrsleistung, Unfallzahlen), um Funktionszusammenhänge, Belastungs-Wirkungs-Beziehungen oder auch um Kostenangaben (z.B. medizinische Behandlungskosten pro Spitalpflegetag) handeln.

Bei gesichertem Wissen handelt es sich in der Regel um Grundlagen, welche in offiziellen Statistiken publiziert werden. Die Zahlen bzw. Parameter aus dieser Wissenskategorie können für Berechnungen der externen Kosten als „Punktwerte“ übernommen werden, ohne dass zusätzliche Annahmen oder Massnahmen notwendig sind.

### Wissen mit Unsicherheiten

Zu dieser Wissenskategorie lassen sich alle Daten, Funktionszusammenhänge, Belastungs-Wirkungs-Beziehungen oder Kostensätze zählen, über die eine Vielzahl von Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Arbeiten (z.B. empirische Erhebungen, Modellierungen usw.) vorliegt. Die Erkenntnisse sind aber mit Unsicherheiten (z.B. nur Angaben in Bandbreiten oder Konfidenzintervallen<sup>22</sup>) verbunden oder führen nicht zu einem eindeutigen oder einzig geltenden Resultat (Zahlenwert).

In diesem Fall können für den Umgang mit den Unsicherheiten unterschiedliche Strategien angewendet werden:

- › **Best guess Ansatz:** Bei diesem Ansatz wird für die weiteren Berechnungsschritte ein Punktwert verwendet, welcher auf einem „best guess“ Vorgehen beruht. Für die Ermittlung des „best guess“ können unterschiedliche Methoden verwendet werden, so z.B. eine qualitative Einschätzung der vorliegenden Arbeiten, eine mit statistischen Verfahren durchgeführte Meta-

<sup>22</sup> Mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit, liegt das wahre Ergebnis innerhalb dieses Intervalls.

Analyse oder eine Abstützung auf bestimmte Autoren oder Studien, die als wissenschaftlich besonders gut angesehen werden und / oder sich genau auf den untersuchten Kontext beziehen.

- › **At least Ansatz:** Alternativ kann ein Wert gewählt werden, der im unteren Bandbereich der bekannten Ergebnisse liegt. Mit diesem Vorgehen soll sichergestellt werden, dass die tatsächlichen Kosten nicht überschätzt werden, sondern die ausgewiesenen Ergebnisse vielmehr als „mindestens zu erwartende“ Kosten interpretiert werden können. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „at least Ansatz“.
- › **Bandbreiten:** Bei diesem Ansatz werden die bestehenden Unsicherheiten in den Berechnungen ausgewiesen. Konkret bedeutet dies, dass bei unsicheren Annahmen die Berechnungen nicht für einen einzelnen Wert, sondern für eine Unter- und Obergrenze durchgeführt werden. Die Wahl der Unter- und Obergrenze erfolgt entweder abgestützt auf statistischen Angaben (z.B. auf dem 95%-Konfidenzintervall) oder wenn diese nicht vorhanden sind bzw. deren Herleitung schwierig ist, ad hoc aufgrund der vorliegenden Studienergebnisse.

Der best guess und der at least Ansatz können zudem ergänzt werden, indem für wichtige Annahmen eine **Sensitivitätsanalyse** durchgeführt wird, d.h. dass wichtige Annahmen angepasst werden, um zu untersuchen, wie sich dadurch das Endergebnis verändert.

### Ungenügende oder keine Kenntnisse

Bei der Ermittlung der externen Kosten gibt es Teilbereiche bzw. Fragestellungen über die nur geringe oder noch gar keine Erkenntnisse aus entsprechenden Untersuchungen vorliegen (z.B. Auswirkung der Luftverschmutzung auf Gesamtmortalität bei unter 30-jährigen Personen, Auswirkungen des Lärms in Erholungsgebieten).

In diesen Fällen muss auf eine Quantifizierung der Effekte verzichtet werden, es kann nur eine qualitative Würdigung vorgenommen werden. Besteht eine berechtigte Vermutung, dass die Effekte bzw. Schäden nicht null sind, entspricht dieses Vorgehen einem at least Ansatz.

### Vorgehenskonzept zum Ausweis der Unsicherheiten pro Kostenbereich

#### Basisrechnung

Es wird eine Basisrechnung vorgenommen, die einen plausiblen Wert für die externen Kosten ermittelt. Dieser Wert beruht, falls kein eindeutiger ‚best guess‘ vorliegt, auf einer **vorsichtigen Schätzung (at least Ansatz)**, d.h. überall wo Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden, werden diese „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“ getroffen. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen.

### Berechnung der Sensitivitätsanalyse

Für die in den Basisberechnungen enthaltenen Unsicherheiten wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- › Für jeden Kostenbereich werden alle wesentlichen **Inputdaten** für die Basisrechnung aufgeführt und es wird deren **Wissenstand** (gesichertes Wissen oder Wissen mit Unsicherheiten) untersucht und tabellarisch dargestellt (vgl. z.B. für den Unfallbereich die Tabelle 38 auf Seite 137). Anhand dieser Übersicht werden die wesentlichen Unsicherheiten im jeweiligen Kostenbereich ermittelt.
- › Pro Kostenbereich wird anschliessend für die identifizierten **Unsicherheiten** das Ausmass der Unsicherheit festgelegt. Es ist klar, dass man sich im Rahmen dieses Arbeitsschritts auf jene Unsicherheiten / Annahmen beschränken muss, welche für das Gesamtergebnis im jeweiligen Kostenbereich bedeutend sind.
- › Basierend darauf wird für jeden Kostenbereich und für jede (relevante) Unsicherheit eine **Sensitivitätsanalyse** durchgeführt: Es wird untersucht, wie sich das Ergebnis verändert, wenn die Annahme höher oder tiefer wäre als in der Basisrechnung.

Damit werden die für das Resultat wesentlichen Unsicherheiten herausgefiltert. Im Rahmen des zur Verfügung stehenden Budgets ist es aber nicht möglich, wie im Strassen- und Schienenverkehr eine Monte-Carlo-Simulation für die Ergebnisse durchzuführen. Mit einer Monte-Carlo-Analyse würden alle Annahmen gleichzeitig verändert und mit Hilfe statistischer Methoden würde das 95%-Konfidenzintervall des Gesamtergebnisses bestimmt.

### Ausweis möglicher Über- und Unterschätzungen

Ergänzend zur quantitativen Abschätzung der Sensitivitätsanalysen wird pro Kostenbereich auch auf zusätzliche, mögliche Unter- und Überschätzungen eingegangen. Es handelt sich dabei um Aspekte, welche ausserhalb der Berechnungssystematik liegen und daher nicht in die quantitative Analyse einfließen können.

## 6.1.5. POSITIVE EXTERNALITÄTEN DES VERKEHRS

Bei einer volkswirtschaftlichen Rechnung zu den Kosten und Erträgen müssen die externen Kosten und Nutzen in die Betrachtung einbezogen werden, um einen Kostendeckungsgrad der gesamten sozialen Kosten zu ermitteln. Die relevanten externen Kosten sind oben genannt. Externe Nutzen werden in der Transportrechnung keine einbezogen. Der allergrösste Teil des Verkehrsnutzens fällt bei allen Verkehrsträgern als interner Nutzen direkt bei den Verkehrsteilneh-

menden an, wie z.B. Zeitersparnisse und tiefere Transportkosten. Echte externe Nutzen gibt es nur sehr wenige. Ein Beispiel ist das geringere Leid von Angehörigen, wenn dank rascherem Notfall(luft)transport ein Unfallopfer gerettet werden kann oder die Freude beim Anblick von Flugzeugen. Bei vielen Beispielen, die als externe Nutzen vorgebracht werden, handelt es um Markteffekte, also normale Anpassungs- und Überwälzungsprozesse wie sie auch in anderen Märkten zu beobachten sind. Ein typisches Beispiel dafür ist der Beitrag zum Wirtschaftswachstum: Es handelt sich um interne Nutzen, da die BIP-Zunahme mit der Verkehrsnachfrage gekoppelt ist und die Nutzen z.B. aus zusätzlichen Flügen zunächst den Verkehrsteilnehmenden zugutekommen. Die positive Wirkung auf die Gesamtwirtschaft ergibt sich durch die Überwälzung dieser Nutzen (über die Preise) über verschiedene Märkte (z.B. Dienstleistungsbranche, Exporte) an Dritte. Es verbleiben einige wenige weitere Beispiele (z.B. Beschäftigungseffekte bei Unterbeschäftigung, Wissenstransfer durch räumliche Mobilität der Arbeitskräfte, Aufbrechen von Monopolen wegen tieferer Transportkosten) deren Nutzencharakter und Bedeutung zurzeit noch umstritten ist und genauer zu erforschen ist (siehe Ecoplan 2006).

## 6.2. UNFÄLLE

**Ziel** dieses Kapitels ist es, die **sozialen (volkswirtschaftlichen) Unfallkosten im Jahr 2010 durch den gesamten Schweizer Luftverkehr** zu berechnen. Die sozialen Kosten umfassen sowohl die internen als auch die **externen Unfallkosten**. Die internen Kosten werden vom Unfallverursacher selbst getragen (z.B. Sachschäden am eigenen Flugzeug). Die externen Unfallkosten werden nicht von den Unfallverursachenden, sondern von Dritten getragen (z.B. den Steuerzahlenden im Fall von erhöhten Spitaldefiziten durch Behandlungskosten). Die externen Kosten werden zudem aus Sicht Verkehrsträger und aus Sicht Verkehrsteilnehmende ermittelt. Diese beiden Sichtweisen unterscheiden sich durch die Kosten, die bei Flugverkehrsteilnehmern anfallen, die den Unfall nicht selbst verursacht haben (vgl. Kapitel 6.1.3).

### 6.2.1. VORGEHEN

Als **Flugunfall** wird ein Ereignis beim Betrieb eines Luftfahrzeuges verstanden,<sup>23</sup>

- › bei dem eine Person inner- oder ausserhalb des Luftfahrzeuges erheblich verletzt oder getötet wird; oder
- › bei dem das Luftfahrzeug einen Schaden erleidet, der die Festigkeit, die Flugleistungen oder die Flugeigenschaften wesentlich beeinträchtigt und in der Regel grössere Reparaturarbeiten oder den Ersatz des beschädigten Bauteils erforderlich macht; oder
- › bei dem das Luftfahrzeug verschollen oder das Wrack unerreichbar ist.
- › Nicht als Flugunfall gelten Ereignisse aufgrund von kriminellen Akten (inkl. Terror).

Die Unfallkosten eines Berichtsjahres können auf zwei verschiedene Arten berechnet werden: Entweder man berechnet die Kosten der **tatsächlich in diesem Jahr passiertten Unfälle** oder man berechnet die **durchschnittlichen Unfallkosten** basierend auf den Daten der letzten X Jahre. Die erste Methode hat den Vorteil, dass sie exakt die im Berichtsjahr angefallenen Unfälle ausweist. Allerdings führt dies über die Jahre zu grossen Schwankungen in den Unfallkosten (in den letzten 10 Jahren zwischen 5 und 46 Todesopfer bzw. zwischen 3 und 15 erheblich Verletzten). Die Ergebnisse der einzelnen Jahre sind zudem nicht repräsentativ für die Luftfahrt (zufällig sehr hohe oder tiefe Kosten). Darunter leidet die Vergleichbarkeit mit anderen Verkehrsträgern (Strasse und Schiene).

Diese Nachteile werden vermieden, wenn mit Durchschnittszahlen gerechnet wird. In diesem Fall wird eine **Gefährdungsrechnung (oder Wahrscheinlichkeitsrechnung)** gemacht.

<sup>23</sup> BFS (2010), Schweizerische Zivilluftfahrt, eDossier der Statistik 2009.

Dabei gleichen sich Jahre mit vielen oder grossen Unfällen mit Jahren mit wenigen Unfällen gegenseitig aus. Dies entspricht im Sinne einer Versicherungslogik den in diesem Jahr zu erwartenden Unfällen.

Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden die Berechnungen im vorliegenden Bericht sowohl nach dem Territorialprinzip als auch nach dem Abflugprinzip durchgeführt. Im Bereich der Unfälle wurde folgendes Vorgehen beschlossen:

› **Territorialprinzip mit tatsächlichen Unfällen**

› **Abflugprinzip mit zu erwartenden Unfällen** (im Linien- und Charterverkehr; in der General Aviation konnte wegen fehlender Daten (vgl. unten) kein Durchschnitt gebildet werden, es wurden die tatsächlichen Unfälle nach Territorialprinzip verwendet)

Die Anzahl der tatsächlichen Unfälle gemäss Territorialprinzip kann relativ einfach eruiert werden, da das BFU (Büro für Flugunfalluntersuchungen) alle Flugunfälle auf Schweizer Territorium erfasst.

Nicht zentral erfasst werden hingegen die Unfälle nach dem Abflugprinzip (das BFU erfasst nur Unfälle ausserhalb der Schweiz, wenn das betroffene Flugzeug einem Schweizer Unternehmen gehört). Deshalb können für das Abflugprinzip nicht die tatsächlichen Unfallzahlen ermittelt werden.<sup>24</sup>

Bei der Berechnung der zu erwartenden Unfälle stellt sich die Frage, über wie viele Jahre der Durchschnitt gebildet wird. Die EASA (European Aviation Safety Agency)<sup>25</sup> verwendet Durchschnitte über 5 und 10 Jahre, was auch in der übrigen Literatur üblich ist.<sup>26</sup> Da es im Linien- und Charterverkehr in der Schweiz in den letzten 10 Jahren praktisch keine Unfälle gab, muss für die Bildung eines Durchschnittes auf Länder mit ähnlichem Sicherheitsniveau wie die Schweiz abgestellt werden. Dazu wird die iSTARS-Datenbank der ICAO (International Civil Aviation Organization) ausgewertet. Da auch in diesen Ländern nur relativ wenige Unfälle im Linien- und Charterverkehr zu verzeichnen sind, wird der Durchschnitt über die letzten 10 Jahre verwendet. Basierend auf dem Durchschnitt für die Anzahl Unfälle pro Abflug sowie der Zahl der Abflüge wird bestimmt, wie hohe Unfallkosten im Linien- und Charterverkehr zu erwarten sind.

<sup>24</sup> Das Territorialprinzip könnte auch mit den zu erwartenden Unfällen bestimmt werden, darauf wird jedoch der Übersichtlichkeit halber verzichtet.

<sup>25</sup> EASA (2011), Annual safety review 2010, S. 11 – 13.

<sup>26</sup> So wurden in bisherigen Studien z.B. 7 und 11 Jahre verwendet, wobei die Dauer durch die Datenverfügbarkeit bestimmt wurde (INFRAS/ISI/IER (2007), Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland. Aufdatierung 2005, S. 60 und UNITE (2002), The Pilot Accounts for Switzerland, S. 25).

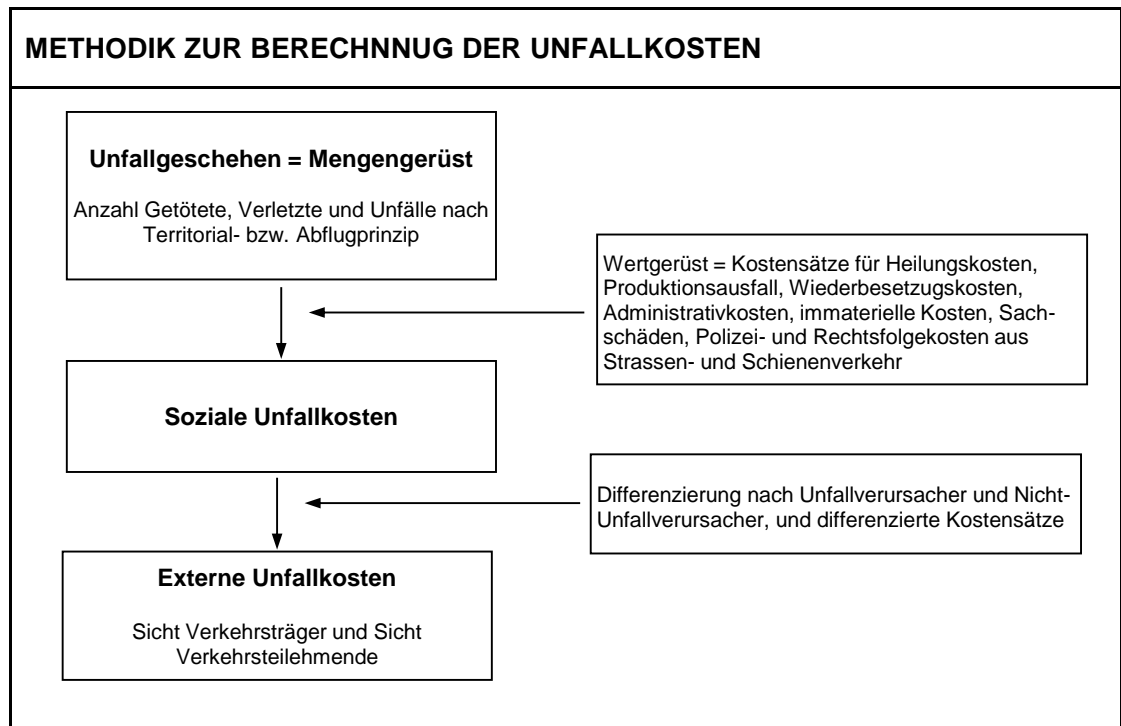


In der General Aviation (inkl. Helikopter) werden für die Berechnungen gemäss Abflugprinzip die Daten der tatsächlichen Unfälle gemäss Territorialprinzip vom BFU übernommen. Da die General Aviation meist innerhalb der Schweiz fliegt (Arbeitsfliegerei (Helikopter: Holzen, Hüttenversorgung), Rettungswesen, Schulung, Rundflüge), dürfte dies zu einer gewissen Unterschätzung der Unfälle nach dem Abflugprinzip führen, insbesondere in der Business Aviation.

Zudem könnte in der General Aviation der Durchschnitt nur über die letzten drei Jahre gebildet werden, da die Daten früherer Jahre nicht mehr in der gleichen Form vorliegen. Da die Datenerhebung jedoch aufwendig ist, wird darauf verzichtet und es werden auch bei den Berechnungen gemäss Abflugprinzip die tatsächlichen Unfälle im Jahr 2010 verwendet. In Zukunft sollten hier jedoch ebenfalls Durchschnittswerte z.B. über die letzten 5 Jahre verwendet werden.

Die **Bewertungsmethodik** wird in der folgenden Figur dargestellt. Für die Bewertung wird zuerst das sogenannte **Mengengerüst** erhoben, d.h. es wird untersucht, wie viele Unfälle im Jahr 2010 stattfanden (bzw. gemäss Wahrscheinlichkeitsrechnung zu erwarten waren) und wie viele Personen dabei verletzt oder getötet wurden. In einem zweiten Schritt wird das **Wertgerüst** bestimmt, d.h. es werden Kostensätze pro Unfall, Verletzten oder Getöteten ermittelt. Dabei werden folgende Kostenbestandteile berücksichtigt:

- › Die **medizinischen Heilungskosten** umfassen die Kosten des Ressourcenaufwands für Pflege und Wiedergenesung (stationäre und ambulante Behandlung, Arzneimittel und Analysen, ärztlich verordneten Nach- und Badekuren, Hilfsmittel und Gegenstände, welche der Heilung dienen).



Figur 10

- › Der **Produktionsausfall** entsteht infolge von dauerhafter oder vorübergehender Arbeitsunfähigkeit der Unfallopfer. Zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Kosten wird der Nettoproduktionsausfall (Bruttoproduktionsausfall abzüglich Eigenkonsum) ermittelt. Der mit der Produktionseinbusse einhergehende Verzicht auf Konsummöglichkeiten wird bei der Bestimmung der immateriellen Kosten berücksichtigt.<sup>27</sup>
- › **Wiederbesetzungskosten** werden dadurch verursacht, dass bei einem dauerhaften Ausfall einer Arbeitskraft die Stelle neu besetzt werden muss.
- › Die **immateriellen Kosten** umfassen die Kosten von Leid, Schmerz, Schock und Verlust an Lebensfreude. Diese Kosten werden mit Hilfe von Zahlungsbereitschaften ermittelt.
- › Zu den **administrativen Kosten** der Versicherungen bei Personenschäden zählen sämtliche Kosten für die Abwicklung der Unfälle (Prüfung des Versicherungsanspruchs, Auszahlung etc.).
- › Die **Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten** umfassen die Kosten von Schäden an Luftfahrzeugen bzw. die Kosten der Polizei (Personal-, Material- und Fahrzeugkosten für Un-

<sup>27</sup> Siehe Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 3.4.1.

fallaufnahme, Verkehrsregelung, Rapporte, Zeugenbefragungen etc.) und allfälliger Rechtstreitigkeiten (Gerichtskosten, Anwaltskosten, Kosten für Expertisen). Zudem werden hier auch die Administrativkosten der Versicherungen bei Unfällen mit Sachschäden bzw. bei Rechtsschutzversicherungen und Luftfahrzeug-Haftpflichtversicherungen mit einbezogen.

Es werden nicht nur die Kosten im Jahr 2010 betrachtet, sondern auch alle Folgekosten, die in den Jahren danach anfallen (z.B. Produktionsausfall bei Todesfall). Die Kosten von gesundheitlichen Spätschäden werden jedoch vernachlässigt. Verletzungen können zu gesundheitlichen Spätschäden führen, die erst viele Jahre nach dem Unfallereignis auftreten. Diese Kosten dürften aber vergleichsweise gering sein.<sup>28</sup>

Auch nicht berücksichtigt sind die Kosten der Feuerwehr auf kleineren Flugplätzen oder bei Unfällen ausserhalb von Flugplätzen (falls beim Unfall ein Brand entsteht) und die Kosten der Besucher, die ihre Angehörigen und Freunde im Spital besuchen (0.97% bzw. 0.08% der Kosten von Strassenunfällen in Belgien).<sup>29</sup> Zu den Kosten der Bergung der Wracks konnten nur bei Kleinflugzeugen Daten gefunden werden, bei Flugzeugen über 2250kg MTOM (=Maximum Take Off Mass, maximales Abfluggewicht) und Helikoptern jedoch nicht.

Aus der Zusammenführung von Mengen- und Wertgerüst ergeben sich die sozialen Kosten der Verkehrsunfälle. Die externen Kosten werden als Anteil der sozialen Kosten ermittelt, wobei differenzierte Anteile nach verschiedenen Kriterien aus dem Schienenverkehr übernommen werden (vgl. Kapitel 6.2.3).

## 6.2.2. MENGengerüst

### Mengengerüst nach dem Territorialprinzip, tatsächliche Unfälle

Das BFU (Büro für Flugunfalluntersuchungen) analysiert alle Flugunfälle in der Schweiz. Ziel der Untersuchung ist es jeweils, aus den Fehlern zu lernen, um gleichartige Unfälle in der Zukunft vermeiden zu können. Gleichzeitig erhebt das BFU damit auch alle Flugunfälle in der Schweiz und wertet sie statistisch aus.

Damit steht als Grundlage für die Berechnungen eine umfassende Statistik der zivilen Flugunfälle zur Verfügung (nicht enthalten darin sind militärische Unfälle wie im Verkehr<sup>30</sup>), in der auch Unfälle von kleinen Luftfahrzeugen enthalten sind.<sup>31</sup> Unfälle auf dem Flug-

<sup>28</sup> Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang B.

<sup>29</sup> De Brabander und Vereeck (2007), Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium, S. 719, 720 und 728.

<sup>30</sup> Gemäss Auskunft der bfu sind die militärischen Unfälle auf öffentlichen Strassen zwar in den polizeilich registrierten Unfällen enthalten, aber die Hochrechnung der bfu zur Berücksichtigung der Dunkelziffer enthält militärische Unfälle nicht und diese Hochrechnung ist für das Endergebnis entscheidend.

platz, z.B. beim Busverkehr, Gepäckverlad etc. sind in den Daten nicht enthalten, sollten im Prinzip aber berücksichtigt werden. Diese Kosten werden vernachlässigt.

Im Strassenverkehr wird bei der Erhebung der Unfallzahlen noch die Dunkelziffer berücksichtigt, weil viele Strassenverkehrsunfälle nicht polizeilich registriert werden. Im Luftverkehr wird **keine Dunkelziffer** berücksichtigt (wie im Schienenverkehr): Im Luftverkehr werden sogar schwere Vorfälle erfasst d.h. Ereignisse, die beinahe zu einem Unfall geführt hätten, bei denen aber glücklicherweise doch nichts passiert ist. Nicht registrierte Unfälle sind praktisch auszuschliessen.

Das Ergebnis der BFU-Statistik wird in der Tabelle 28 dargestellt. Im Jahr 2010 wurden bei 38 Unfällen 9 Menschen getötet, 7 erheblich verletzt und 6 leicht verletzt. Im Linien- und Charterverkehr waren 2010 keine Unfälle zu beklagen. Bei Helikopterunfällen wurden 4 Personen erheblich verletzt. Der Grossteil des Unfallgeschehens – inkl. aller tödlicher Unfälle – ist somit bei der General Aviation zu verzeichnen. Dies lässt sich weiter unterteilen auf die Luftfahrzeugtypen: Die Grosszahl der Unfälle ereignet sich bei den kleinen Flugzeugen unter 2250kg MTOM. Die Todesfälle verteilen sich jedoch etwa gleichmässig auf diese Kategorie, schwerere Flugzeuge und Segelflugzeuge (inkl. Motorsegler). Die meisten Unfälle und Todesfälle ereignen sich bei Flügen ab Flugfeldern, während bei Flügen ab Regional- und vor allem Landesflughäfen nur wenige Unfälle und Unfallopfer zu beklagen sind.

---

<sup>31</sup> In der Unfallstatistik zum Luftverkehr werden standardmässig auch Freiballone und Luftschiffe mitberücksichtigt. Diese werden hier jedoch vernachlässigt, da die Transportrechnung vom Prinzip her eine Rechnung ist, in der die Kosten und Nutzen des Verkehrs auf Infrastrukturen bewertet werden. Freiballone und Luftschiffe benötigen aber keine Infrastruktur und werden deshalb ausgeschlossen. Im Jahr 2010 gab es keine Unfälle mit Freiballonen und Luftschiffen.

**MENGENGERÜST TERRITORIALPRINZIP, TATSÄCHLICHE UNFÄLLE 2010: ANZAHL GETÖTETE, VERLETZTE UND UNFÄLLE**

Differenzierung nach Verkehrsart							
		Linien- und Charterverkehr interkontinental	Linien- und Charterverkehr europäisch	Helikopter	General Aviation (bzw. Rest)	Total	
Getötete	Fluggäste	-	-	-	2	2	
	Besatzung	-	-	-	7	7	
	Dritte	-	-	-	-	-	
	Total	-	-	-	9	9	
Erheblich Verletzte	Fluggäste	-	-	-	1	1	
	Besatzung	-	-	1	2	3	
	Dritte	-	-	3	-	3	
	Total	-	-	4	3	7	
Leichtverletzte	Fluggäste	-	-	-	1	1	
	Besatzung	-	-	3	2	5	
	Dritte	-	-	-	-	-	
	Total	-	-	3	3	6	
Anzahl Unfälle	Total	-	-	12	26	38	
Differenzierung nach Luftfahrzeugtyp							
		Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	Flugzeuge mehr als 5700 kg MTOM	Helikopter	Motorsegler, Segelflug- zeuge	Total
Getötete		4	2	-	-	3	9
Erheblich Verletzte		1	2	-	4	-	7
Leichtverletzte		2	1	-	3	-	6
Anzahl Unfälle		20	3	-	12	3	38
Differenzierung nach Flugplatztyp							
		Landes- flughäfen	Regional- flugplätze	Heliports	Flugfelder	Ausserhalb Flugplatz	Total
Getötete		-	2	-	7	-	9
Erheblich Verletzte		1	2	1	1	2	7
Leichtverletzte		-	2	-	4	-	6
Anzahl Unfälle		4	7	2	21	4	38

MTOM = Maximum Take-Off Mass (maximales Abfluggewicht)

**Tabelle 28**

**Differenzierung nach Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher**

Für die Berechnung der externen Kosten ist es entscheidend, ob das Opfer eines Unfalls den Unfall selbst verursacht hat oder nicht. Hat das Opfer den Unfall nicht selbst verursacht, muss meist die Versicherung des Verursachers mindestens einen Teil der Kosten übernehmen, womit die Kosten internalisiert werden. Gemäss Auskunft des BFU werden die Verursacher der Unfälle im Luftverkehr nicht erfasst. Dies auch deshalb, weil meist eine Verkettung von ungünstigen Umständen / Fehlern zum Unfall geführt hat. In diesen Fällen kann der Verursacher gar nicht

einfach bestimmt werden. Deshalb muss wie folgt vorgegangen werden: In der Statistik wird unterschieden zwischen (vgl. Tabelle 28<sup>32</sup>)

- › Fluggäste (inkl. Kabinenpersonal)
- › Besatzung (Pilot, Co-Pilot und Fluglehrer, aber nicht Kabinenpersonal)
- › Dritte (nicht im Luftfahrzeug, meist Personen, die von Herabfallendem getroffen werden, z.B. auf Baustellen bei Baumaterialtransporten mit Helikopter)

Bei den Fluggästen und den Dritten kann davon ausgegangen werden, dass sie den Unfall nicht verursacht haben. Im Linien- und Charterverkehr ist die Besatzung meist nicht Unfallverursacher (oder nur Mitverursacher – stattdessen werden die Unfälle gemäss BFU durch technisches Versagen, Fehler der Flugsicherung und widrige Wetterverhältnisse etc. verursacht, wobei oft mehrere Ursachen gleichzeitig auftreten). Folglich wird wie im Schienenverkehr unterstellt, dass die Besatzung im Linien- und Charterverkehr nicht Unfallverursacher ist. Bei Unfällen mit Helikoptern oder in der General Aviation gibt es jedoch wenig potenzielle Unfallgründe ausserhalb des Luftfahrzeugs.<sup>33</sup> Deshalb wird angenommen, dass bei Helikoptern und General Aviation die Besatzung Unfallverursacher ist. Es wird jedoch eine Sensitivität gerechnet, in der unterstellt wird, dass auch die Besatzung nicht Unfallverursacher ist. Zusammenfassend wird also in der Sensitivität angenommen, dass alle Unfallopfer nicht Unfallverursacher sind, in der Hauptrechnung ist nur die Besatzung von Helikoptern und General Aviation-Luftfahrzeugen Unfallverursacher. Das gleiche Verfahren für die Zuteilung zu Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher wird auch im Abflugprinzip angewendet. Nach dem Territorialprinzip sind damit 7 der 9 Todesopfer Unfallverursacher, 3 der 7 erheblich Verletzten und 5 der 6 Leichtverletzten.

### **Mengengerüst nach dem Abflugprinzip, zu erwartende Unfälle**

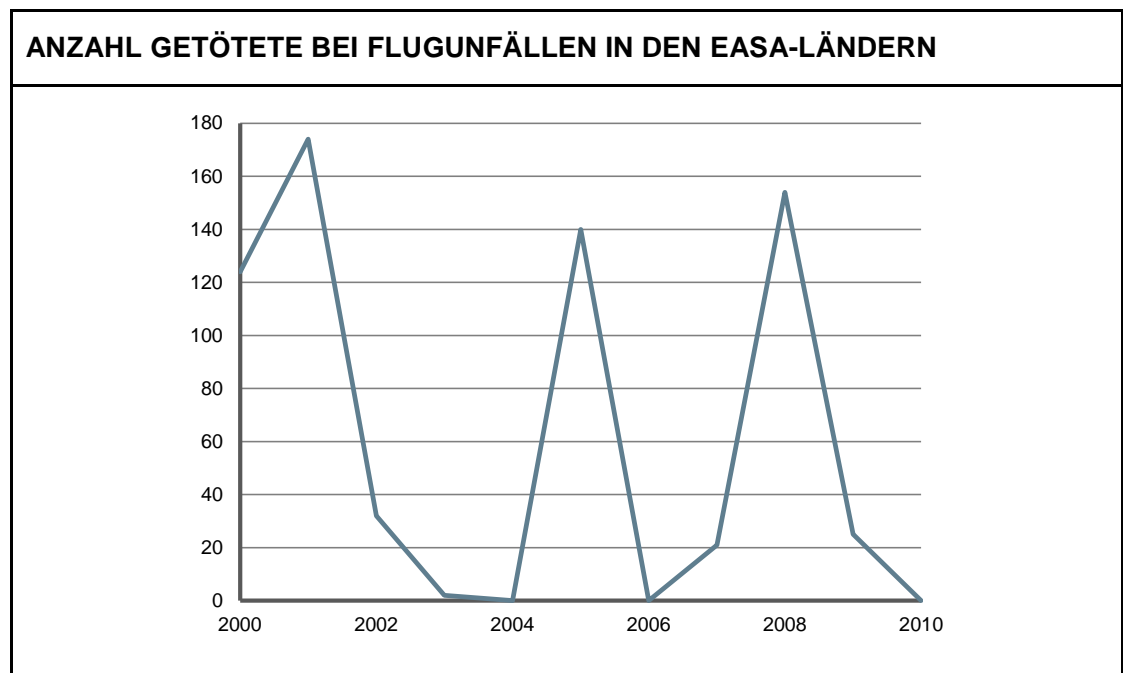
Wie erwähnt wird beim Abflugprinzip eine Gefährdungs- oder Wahrscheinlichkeitsrechnung gemacht. Dazu werden Unfallraten pro 1 Mio. Abflüge bestimmt. Die Grundlage bildet die nicht öffentlich zugängliche iSTARS-Datenbank: In dieser Datenbank der ICAO werden alle Flugunfälle seit 2000 erfasst. Da bei den Daten zu den Abflügen die Angaben zum Charterverkehr fehlen, erfolgt die Auswertung nur für den Linienverkehr. Es wird angenommen, dass die Ergebnisse aus dem Linienverkehr auch für den Charterverkehr verwendet werden können. Die Auswer-

<sup>32</sup> Auch die Ergebnisse nach Luftfahrzeugtyp und Flugplatztyp können so unterteilt werden, worauf der Übersichtlichkeit halber aber verzichtet wurde. Gerechnet wird mit den detaillierten Daten.

<sup>33</sup> Dies gilt weniger für die Business Aviation, aber für Helikopter und nicht-gewerblichen Flüge. Im Jahr 2010 gab es knapp 100'000 gewerbliche Bewegungen mit Flugzeugen (ohne Linien- und Charterverkehr) und gut 900'000 Bewegungen im nicht-gewerblichen Flugverkehr und mit Helikopter (Daten BFS).

tung der iSTARS-Datenbank erfolgt für die EASA-Länder (European Aviation Safety Agency – EU plus Schweiz, Norwegen und Island), die gemäss BAZL einen ähnlichen Sicherheitsstandard aufweisen wie die Schweiz, da die Schweiz die Standards der EASA anwendet.

Die folgende Figur zeigt die Zahl der bei Flugunfällen Getöteten in den EASA-Ländern in den letzten 11 Jahren. Es zeigt sich, dass diese Zahl stark schwankt (zwischen 0 und 174). Es ist kein klar ersichtlicher Trend zu erkennen. Deshalb schlagen wir vor, den Durchschnitt der letzten 11 Jahre zu verwenden. Auch in diesem Durchschnitt sind lediglich 25 Unfälle mit Todesfolge enthalten. Die verfügbare Fallzahl ist sehr gering, um die statistische Repräsentativität der zu berechnenden Unfallraten zu gewährleisten.



**Figur 11** Quelle: ICAO, iSTARS-Datenbank.

Um die Berechnungen vornehmen zu können, wird die Zahl der Todesfälle auf die Zahl der Abflüge bezogen.<sup>34</sup> Wie sich zeigt, ist bei einer Million Abflügen mit 10 Todesfällen zu rechnen (vgl. folgende Tabelle). Meist sind es Fluggäste (8 Todesfälle) oder Besatzung (1 Todesfall bei

<sup>34</sup> In bisherigen Studien wurde die Zahl der Todesfälle teilweise auch auf die Personenkilometer bezogen. Es gibt zwei Gründe, die Abflüge zu verwenden und nicht die pkm: Erstens spielen sich die meisten Unfälle bei Start oder Landung ab. Unfälle während dem Flug (en route) sind relativ selten und machen nur 18% der Unfälle bzw. 38% der Todesopfer von Flugunfällen aus. Folglich hängt die Zahl der Unfälle eher an der Zahl der Bewegungen als an den pkm. Zweitens stehen uns keine Daten zu den pkm zur Verfügung.

Cockpit- und Kabinenpersonal). Dritte, die sich ausserhalb des Flugzeugs bzw. am Boden befinden, sind nur sehr selten betroffen (0.3 Todesfälle pro Mio. Abflüge).

<b>UNFALLRATEN PRO 1 MIO. ABFLÜGE IN DEN EASA-LÄNDERN</b>				
	Getötete	Erheblich Verletzte	Leichtverletzte	Unfälle
Fluggäste	8.32	1.53	0.16	
Besatzung	1.03	0.19	0.02	
Dritte	0.29	0.05	0.01	
<b>Total</b>	<b>9.63</b>	<b>1.77</b>	<b>0.19</b>	<b>3.20</b>

Quelle: iStars-Datenbank der ICAO: Durchschnitt 2000-2010 und ASCEND-Datenbank für erheblich Verletzte.

**Tabelle 29**

Die Anzahl der Schwer- und Leichtverletzten wird von der ICAO nicht erhoben. Deshalb werden Daten von ASCEND verwendet, die über eine umfassende, weltweite Datenbank zum Unfallgeschehen im Flugverkehr verfügen (Beschreibung siehe unten bei Sachschäden in Kapitel 6.2.3). Die ASCEND-Daten zeigen, dass im Linienverkehr in den EASA-Ländern 2001-2010 durchschnittlich pro Todesfall 0.18 erheblich Verletzte zu beklagen sind. Aus der Zahl der Getöteten gemäss ICAO in Tabelle 29 wird dann über dieses Verhältnis die Zahl der erheblich Verletzten bestimmt.

Bei den Leichtverletzten sind lediglich ICAO-Zahlen zur Zahl der Unfälle mit maximal Leichtverletzten (keine Todesfälle und keine erheblich Verletzte) verfügbar. Deshalb verwenden wir hier die Anzahl der Unfälle mit maximal leichten Verletzungen. Dies ist eine deutliche Unterschätzung: Denn einerseits kann es bei einem Unfall mit Leichtverletzten mehrere Leichtverletzte geben und andererseits kann es auch bei Unfällen mit Getöteten oder erheblich Verletzten noch Leichtverletzte geben. Die Zahl der Leichtverletzten wird entsprechend den Getöteten auf Fluggäste, Besatzung und Dritte aufgeteilt.

Schliesslich muss lediglich bei 3.2 von einer Million Abflügen mit einem Unfall gerechnet werden (0.00032%).

Mit den Unfallraten in Tabelle 29 und der Zahl der Abflüge im Linien- und Charterverkehr in der Schweiz (2010 waren es 208'000 Abflüge) kann nun das Mengengerüst nach dem Abflugprinzip ermittelt werden. Wie eingangs erwähnt wird dabei unterstellt, dass die Unfälle durch Helikopter und General Aviation im Territorial- und Abflugprinzip identisch sind. Dies führt zu einer gewissen Unterschätzung der Unfälle nach dem Abflugprinzip. Das sich ergebende Mengengerüst wird in der folgenden Tabelle dargestellt. Im Linien- und Charterverkehr wa-



ren im Jahr 2010 bei 0.67 Unfällen 2.00 Tote, 0.37 Schwerverletzte und mindestens 0.04 Leichtverletzte zu erwarten. Da es im Jahr 2010 in der Schweiz keine Unfälle im Linien- und Charterverkehr gab (die nun aus der Rechnung fallen würden), kommen diese Zahlen zu den Opferzahlen gemäss Territorialprinzip (vgl. Tabelle 28) hinzu.

<b>MENGERGERÜST ABFLUGPRINZIP, ZU ERWARTENDE UNFÄLLE 2010: ANZAHL GETÖTETE, VERLETZTE UND UNFÄLLE</b>						
<b>Differenzierung nach Verkehrsart</b>						
		Linien- und Charterverkehr interkontinental	Linien- und Charterverkehr europäisch	Helikopter	General Aviation (bzw. Rest)	Total
Getötete	Fluggäste	0.18	1.55	-	2	3.73
	Besatzung	0.02	0.19	-	7	7.21
	Dritte	0.01	0.05	-	-	0.06
	Total	0.21	1.80	-	9	11.00
Erheblich Verletzte	Fluggäste	0.03	0.29	-	1	1.32
	Besatzung	0.00	0.04	1	2	3.04
	Dritte	0.00	0.01	3	-	3.01
	Total	0.04	0.33	4	3	7.37
Leichtverletzte	Fluggäste	0.00	0.03	-	1	1.03
	Besatzung	0.00	0.00	3	2	5.00
	Dritte	0.00	0.00	-	-	0.00
	Total	0.00	0.03	3	3	6.04
Anzahl Unfälle	Total	0.07	0.60	12	26	38.67

**Tabelle 30**

Um die externen Kosten zu berechnen, müssen die Unfallopfer wiederum nach Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher aufgeteilt werden. Dies geschieht genau gleich wie nach dem Territorialprinzip (siehe oben). Da angenommen wird, dass im Linien- und Charterverkehr niemand den Unfall selbst verursacht, bleibt die Zahl der unfallverursachenden Opfer identisch zum Territorialprinzip: 7 Todesopfer, 3 erheblich Verletzte und 5 Leichtverletzte.

### 6.2.3. WERTGERÜST

#### Personenschäden

Nachdem die Zahl der Unfälle bestimmt wurde, geht es in einem zweiten Schritt darum, Kostensätze pro Getöteten, Unfall etc. herzuleiten. Auftragsgemäss werden keine detaillierten Kostensätze für den Flugverkehr neu erhoben. Stattdessen wird unterstellt, dass die **für den Strassenverkehr hergeleiteten Kostensätze** auch für den Luftverkehr angewendet werden können. Auch im Schienenverkehr mussten mangels besserer Datenquellen die Kostensätze aus dem Strassenverkehr übernommen werden. Für den Flugverkehr scheint dies ebenfalls eine plausible

Näherung zu sein. Einzig bei den erheblich Verletzten führt das Vorgehen zu einer Unterschätzung der Kosten.<sup>35</sup>

Die verwendeten, aus dem Strassenverkehr übernommenen Kostensätze sind in der folgenden Tabelle abgebildet.<sup>36</sup> Um die ursprünglichen Werte für das Jahr 2005 auf das Jahr 2010 aufzudatieren, wird das Aktualisierungstool für den Strassen- und Schienenverkehr verwendet.<sup>37</sup> Wie zu erwarten war, nehmen die Kosten mit der Verletzungsschwere zu: Leichtverletzte verursachen Kosten von 37'000 CHF, Schwerverletzte solche von 550'000 CHF und bei Todesfällen betragen die Kosten gut 3.5 Mio. CHF. Auf die immateriellen Kosten entfällt der Grossteil der Kosten. Je nach Verletzungsschwere sind sie für 81% bis 92% der Kosten verantwortlich. Die Nettoproduktionsausfälle sind vor allem bei Getöteten und erheblich Verletzten relevant (16% bzw. 10%). Die Heilungskosten betragen 4 – 8% der Kosten (ausser bei den Todesfällen). Die übrigen Kosten (Wiederbesetzungskosten und administrative Kosten) sind wenig relevant.

Im Durchschnitt entstehen pro Verletzten Kosten von 312'000 CHF bzw. pro Opfer (inkl. Getötete) solche von 1.632 Mio. CHF, wobei mit dem Mengengerüst gemäss Territorialprinzip aus Kapitel 6.2.2 gewichtet wird. Diese Zahlen sind deutlich höher als im Strassenverkehr (99'000 bzw. 114'000 CHF zu Preisen 2010<sup>38</sup>) und Schienenverkehr (214'000 bzw. 971'000 CHF). Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Luftverkehr die durchschnittliche Verletzungsschwere deutlich höher ist. So werden im Luftverkehr in der Schweiz 2010 41% aller Unfallopfer getötet und 32% erheblich verletzt, während es im Strassenverkehr nur 0.4% bzw. 12% sind und im Schienenverkehr 22% und 27%.

<sup>35</sup> Erhebliche Verletzung sind gemäss Büro für Flugunfalluntersuchungen wie folgt definiert: Verletzung, die eine Person bei einem Flugunfall erleidet und die eines der folgenden Merkmale hat.

- › Sie erfordert eine Spitaleinweisung innert sieben Tagen und von mehr als 48 Stunden;
- › Sie besteht aus einem Knochenbruch; ausgenommen sind einfache Brüche von Fingern, Zehen oder Nase;
- › Sie besteht aus Riss- oder Platzwunden, die schwere Blutungen, Schädigungen eines Nerven, eines Muskels oder einer Sehne zur Folge haben;
- › Sie hat eine Schädigung eines inneren Organs zur Folge;
- › Sie besteht aus Verbrennungen 2. und 3. Grades oder aus Verbrennungen, die mehr als 5 Prozent der Körperoberfläche bedecken;
- › Sie ist auf nachweisbar infektiöse Stoffe oder schädliche Strahlungen zurückzuführen.

Die erheblich Verletzten entsprechen damit in den Kategorien des Strassenverkehrs den Kategorien Mittelschwerverletzt (Spitalaufenthalt von 1-6 Tagen), Schwerverletzt (Spitalaufenthalt  $\geq 7$  Tage) und Invaliditätsfälle. Für die Abschätzung der Kosten der erheblich Verletzten muss vereinfachend die Annahme getroffen werden, dass sie sich gleich wie im Strassenverkehr auf Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte verteilen. Da im Luftverkehr aber viel mehr Todesfälle pro Unfallopfer zu verzeichnen sind als im Strassenverkehr, ist zu vermuten, dass es im Luftverkehr auch mehr Invaliditätsfälle gibt bzw. dass die Verletzungen durchschnittlich schwerer sind. Die Kosten im Luftverkehr dürften also etwas unterschätzt werden.

<sup>36</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 89.

<sup>37</sup> Ecoplan, Infrac (2009), Aktualisierungstool externe Kosten des Verkehrs.

<sup>38</sup> Die Ergebnisse aus Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 89 wurden mit dem Aktualisierungstool auf 2010 hochgerechnet.

SOZIALE UNFALLKOSTEN PRO VERUNFALLTEN BZW. PRO UNFALL						
CHF	Medizinische Heilungskosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
Getötete	24'368	552'163	22'805	15'836	2'924'178	<b>3'539'349</b>
Erheblich Verletzte	42'957	52'885	3'014	7'582	441'591	<b>548'029</b>
Leichtverletzte	1'512	1'079	-	169	33'982	<b>36'742</b>
	Polizeikosten		781	CHF pro Unfall		
	Rechtsfolgekosten		6'625	CHF pro Unfall		
	Administrativkosten		812	CHF pro Unfall		

Tabelle 31

### Polizei- und Rechtsfolgekosten

In Tabelle 31 sind auch die Polizei- und Rechtsfolgekosten pro Unfall sowie die Administrativkosten dazu enthalten. Auch diese Zahlen werden aus dem Strassenverkehr übernommen. Die Polizeikosten basieren auf einer Umfrage bei Polizeikörpern für den Strassenverkehr.<sup>39</sup> Da keine anderen Daten vorliegen, musste diese Zahl auch für den Schienenverkehr übernommen werden, obwohl die Kosten im Schienenverkehr eher höher sein dürften.<sup>40</sup> Wie im Schienenverkehr wird auch im Luftverkehr der Kostensatz aus dem Strassenverkehr verwendet. Im Flugverkehr dürften die Kosten pro Unfall eher höher sein als im Strassenverkehr, weil z.B. bei Unfällen in den Bergen der Transport zum Unfallort schwierig ist und teilweise mit Helikopter erfolgt. Damit werden die Kosten gemäss dem at least Ansatz ermittelt, d.h. tendenziell unterschätzt. Die Rechtsfolgekosten pro Unfall (und die dazugehörigen Administrativkosten) werden ebenfalls aus dem Strassenverkehr übernommen, da keine anderen Daten vorliegen und weil auch nach Luftverkehrsunfällen immer wieder Rechtsstreitigkeiten auftreten.

### Sachschäden

Im Gegensatz zum Schienenverkehr werden die Sachschäden im Flugverkehr in der Schweiz nicht zentral erfasst. Es liegen somit keine gesamthaften Angaben zu den Sachschäden von Flugunfällen vor. Aus verschiedenen Quellen konnten jedoch die Sachschäden pro Unfall differenziert nach sechs Luftfahrzeugkategorien erhoben werden (Motorsegler und Segelflugzeuge, Flugzeuge bis 2250 kg MTOM, Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM, Flugzeuge mit mehr als 5700 kg MTOM (ohne Linien- und Charterverkehr), Flugzeuge des Linien- und Charterverkehrs, sowie Helikopter). Es handelt sich um folgende Quellen:

<sup>39</sup> Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 63.

<sup>40</sup> Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 63-64.

- › Die Hauptquelle ist die Datenbank des englischen Unternehmens „ASCEND Aerospace Information Redefined“. In der **ASCEND-Datenbank** sind unter anderem alle Unfälle von Düsen- und Turboprop- (=Propellerturbine) -Flugzeugen mit mehr als 2 Sitzen und aller Turbinenhelikopter weltweit enthalten. Die Daten wurden aus offiziellen Quellen sowie inoffiziellen wie Versicherungsberichten gesammelt. Die Datenbank wird durch Behörden und die Flugindustrie rege verwendet. Die Datenbank umfasst ca. 90% aller Unfälle weltweit. Nicht enthalten in der Datenbank dürften eher kleinere Unfälle sein, was tendenziell zu einer Überschätzung der Sachschäden pro Unfall führen könnte. Diese Tendenz wird im vorliegenden Bericht aber korrigiert. Die ASCEND-Datenbank für die Jahre 2001-2010 wurde von ASCEND spezifisch für das vorliegende Projekt ausgewertet.
- › Die **Helicas-Datenbank** ist der ASCEND-Datenbank ähnlich, enthält aber nur Helikopter. Im Bereich der Helikopter ist sie umfassender als die ASCEND-Datenbank, da sie neben den Turbinenhelikoptern auch Helikopter mit Kolbenmotoren enthält. Auch die Helicas-Datenbank wurde von ASCEND für die Jahre 2001-2010 spezifisch für das vorliegende Projekt ausgewertet.
- › Für Kleinflugzeuge wurden schliesslich bei der im Schweizer Flugversicherungsmarkt führenden **Versicherung** (knapp 90% Marktanteil) Daten erhoben. Im Gegensatz zu den beiden anderen Datenbanken enthalten diese Daten die Kosten für die Bergung. Schäden bei Dritten sind nicht enthalten, dürften aber eher gering sein. Die Auswertung erfolgte mit den Daten ab 2007 bis heute (Oktober 2011).

Die Sachschäden pro Unfall sowie ihre Genauigkeit werden in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Festlegungen können wie folgt kommentiert werden:

- › **Linien und Charterverkehr:** Die verwendete Zahl von 6 Mio. CHF pro Unfall basiert auf der Auswertung der ASCEND-Datenbank für 211 Unfälle im Linien- und Charterverkehr in den EASA-Ländern. ASCEND geht davon aus, dass ca. 20% der kleineren Unfälle mit Kosten unter 2 Mio. \$<sup>41</sup> nicht in der Datenbank enthalten sind. Werden diese miteinbezogen, vermindert sich der Betrag auf ziemlich genau 6 Mio. CHF. Die ursprüngliche Zahl liegt etwa 10% höher, so dass eine Sensitivität mit  $\pm 10\%$  erfolgt (vgl. Kapitel 6.2.5).

<sup>41</sup> Die Umrechnung in CHF geschieht jeweils mit dem Jahresmittelwert des Wechselkurses der Nationalbank sowie einer Preisanpassung auf 2010 mit der Inflation.

<b>SACHSCHÄDEN PRO UNFALL NACH LUFTFAHRZEUGTYP</b>						
	Motorsegler, Segelflugzeuge	Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	Flugzeuge mit mehr als 5700 kg MTOM	Linien- und Charterverkehr	Helikopter
<b>Sachschäden in CHF</b>	<b>75'000</b>	<b>75'000</b>	<b>600'000</b>	<b>4'500'000</b>	<b>6'000'000</b>	<b>875'000</b>
Genauigkeit ( $\pm$ %)	10%	10%	75%	10%	10%	20%
Schwankungsbreite von	67'500	67'500	150'000	4'050'000	5'400'000	700'000
bis	82'500	82'500	1'050'000	4'950'000	6'600'000	1'050'000

Tabelle 32

- › **Flugzeuge über 5700 kg MTOM** (ohne Linien- und Charterverkehr): Es wird etwa die gleiche prozentuale Reduktion vorgenommen wie beim Linien- und Charterverkehr und damit auch die gleiche Unsicherheit von  $\pm 10\%$  verwendet. Die Auswertung der ASCEND-Datenbank für 87 Unfälle in den EASA-Ländern ergibt einen Wert von 4.5 Mio. CHF.
- › **Helikopter**: Das Ergebnis setzt sich aus einer Kombination der beiden Datenbanken von ASCEND und Helicas für Unfälle in der Schweiz zusammen: Aus der ASCEND-Datenbank stammen Daten von 37 Unfällen mit Turbinenhelikoptern und aus der Helicas-Datenbank Daten für 14 Unfälle mit Helikopter mit Kolbenmotoren. Dies ergibt durchschnittliche Sachschäden von gut 1 Mio. CHF pro Unfall. Die beiden Datenbanken decken 63% aller von der BFU ausgewiesenen Helikopter-Unfälle ab. Die nicht erfassten Unfälle dürften eher kleinere sein. Wir gehen davon aus, dass diese Unfälle halb so teuer sind. Damit ergibt sich ein Mittelwert von ca. 875'000 CHF pro Unfall. Die Genauigkeit ist hier aufgrund der nicht erfassten Unfälle mit  $\pm 20\%$  geringer als oben. Der Unsicherheitsbereich reicht bis etwa zum unkorrigierten ASCEND-Wert sowie bis zum Wert, der sich ergeben würde, wenn alle 30 nicht erfassten Unfälle in der Schweiz keine Kosten verursachen würden.
- › **Motorsegler, Segelflugzeuge und Flugzeuge bis 2250 kg MTOM**: Für diese Kleinflugzeuge verfügt ASCEND über keine (bzw. sehr unvollständige) Daten. Deshalb wurden Daten der führenden Schweizer Versicherung verwendet: Aus 390 Unfällen ergeben sich durchschnittliche Kosten von 75'000 CHF pro Unfall (eine Differenzierung auf die beiden Kategorien der Tabelle 32 ist nicht möglich). Wir unterstellen eine Unsicherheit von  $\pm 10\%$ .
- › **Flugzeuge zwischen 2250kg und 5700 kg MTOM**: Die ASCEND-Datenbank enthält keine Angaben für Flugzeuge mit Kolbenmotoren. In der vorliegenden Gewichtsklasse dürften aber rund 60% der Flugzeuge diesem Typ entsprechen. Für die Ermittlung der Sachschäden pro Unfall ist weiter bedeutend, dass Flugzeuge mit Kolbenmotor weniger teuer sind als die in der ASCEND-Datenbank enthaltenen Düsen- und Turbinenflugzeuge. Für diese beträgt der Durchschnittswert für Sachschäden aus 57 Unfällen in den EASA-Ländern 1.3 Mio. CHF pro Unfall.

Die Schweizer Versicherung liefert hingegen einen Durchschnittswert aus 25 Unfällen von 150'000 CHF pro Unfall. Mangels besserer Datengrundlagen nehmen wir an, dass der Wert der Versicherung für Flugzeuge mit Kolbenmotoren gilt. Damit ergibt sich ein gewichteter Durchschnitt von ca. 600'000 CHF. Dieser ist jedoch sehr unsicher. Deshalb wird die Schwankungsbreite so gewählt, dass der untere Wert den Wert der Versicherung trifft und der obere Wert etwas unter dem zu hohen Wert von 1.3 Mio. CHF zu liegen kommt.

Wie im Strassen- und Schienenverkehr wird schliesslich angenommen, dass die Administrativkosten 20% der Sachschäden ausmachen.

### Wertgerüst externe Unfallkosten

Um die externen Kosten zu berechnen, werden die Anteile der externen Kosten an den sozialen Kosten aus dem Schienenverkehr übernommen.<sup>42</sup> Die verwendeten Anteile werden dabei nach Kostenbestandteil und nach Unfallverursacher bzw. Nicht-Verursacher differenziert (vgl. folgende Tabelle). Die Sicht Verkehrsträger und die Sicht Verkehrsteilnehmende unterscheiden sich dabei nur bei den immateriellen Kosten und nur bei den Nicht-Unfallverursachenden, bei denen aus Sicht Verkehrsteilnehmende ein viel grösserer Teil der Kosten extern ist als aus Sicht Verkehrsträger. Der Unterschied sind die Kosten, die nicht beim Verursacher, sondern bei anderen Verkehrsteilnehmenden anfallen, und die aus Sicht Verkehrsträger intern sind, aus Sicht Verkehrsteilnehmende aber extern. Die externen Kostensätze können also aus der Multiplikation der Tabelle 31 mit der Tabelle 33 ermittelt werden (und werden hier nicht dargestellt).

<b>ANTEILE DER EXTERNEN KOSTEN AN DEN SOZIALEN KOSTEN</b>						
Anteil externe Kosten an sozialen Kosten	Medizinische Heilungskosten	Nettoproduktionsausfall	Wiederbesetzungskosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten Sicht Verkehrsträger	Immaterielle Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende
Unfallverursacher	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	8.7%	8.7%
Nicht-Unfallverursacher	20.2%	100.0%	100.0%	15.7%	0.5%	81.2%

**Tabelle 33**

<sup>42</sup> Es könnten auch die Anteile des Strassenverkehrs verwendet werden, die beinahe identisch sind zu den Anteilen im Schienenverkehr. Der Schienenverkehr dürfte dem Flugverkehr ähnlicher sein als der Strassenverkehr. Eine genaue Berechnung der Anteile im Luftverkehr wäre sehr aufwendig, da dabei das gesamte Versicherungssystem, das nach Flugunfällen aktiviert wird, untersucht werden müsste. Darauf wurde auch in der Aktualisierung der externen Kosten im Strassen- und Schienenverkehr auf das Jahr 2005 verzichtet und weiterhin die Prozentwerte aus der Studie für das Jahr 1998 verwendet.

Bei den Polizei- und Rechtsfolgekosten werden ebenfalls die Anteile vom Schienenverkehr übernommen (85% der Polizeikosten, 42% der Rechtsfolgekosten, 0% der Administrativkosten).<sup>43</sup> Zudem gibt es keine externen Sachschäden (Anteil 0%).

## 6.2.4. ERGEBNIS

### Übersicht

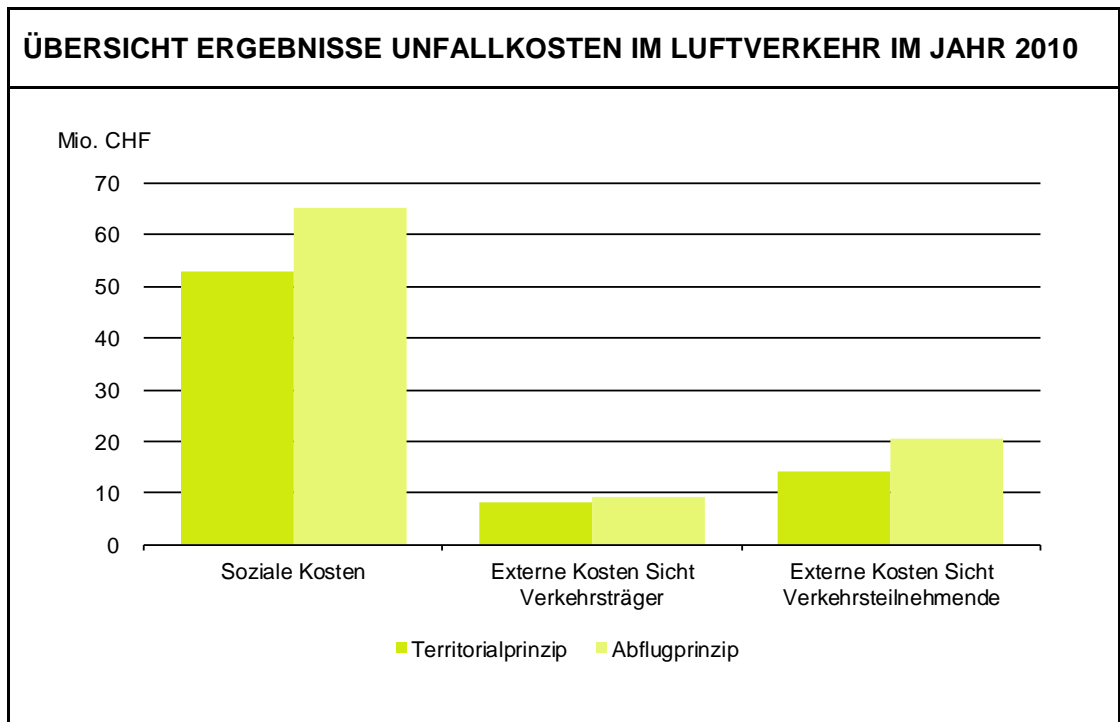
Die folgende Tabelle und Figur geben einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse. In der Schweiz (d.h. gemäss Territorialprinzip) entstanden im Flugverkehr soziale Unfallkosten von 53 Mio. CHF. Davon fallen gut 8 Mio. CHF ausserhalb des Verkehrsträgers als externe Kosten an und 14 Mio. CHF werden nicht vom Verursacher selbst bezahlt.

<b>ÜBERSICHT ERGEBNISSE UNFALLKOSTEN IM LUFTVERKEHR IM JAHR 2010</b>		
	Territorialprinzip tatsächliche Unfälle	Abflugprinzip zu erwartende Unfälle
Soziale Kosten	53.05	65.15
Externe Kosten Sicht Verkehrsträger	8.16	9.38
Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende	14.33	20.41

**Tabelle 34**

Während im Territorialprinzip sowohl in der General Aviation als auch im Linien- und Charterverkehr die tatsächlichen Unfälle im Jahr 2010 berücksichtigt werden, sind im Abflugprinzip die zu erwartenden Unfälle im Linien- und Charterverkehr sowie die tatsächlichen Unfälle in der General Aviation berücksichtigt. Da es im Jahr 2010 in der Schweiz keine tatsächlichen Unfälle im Linien- und Charterverkehr gab, bedeutet dies, dass für die Berechnung der Abflugprinzips zu den oben ausgewiesenen Kosten gemäss Territorialprinzip die zu erwartenden Unfallkosten im Linien- und Charterverkehr gezählt werden. Damit steigen die sozialen Kosten auf 65 Mio. CHF und die externen Kosten auf 9 bzw. 20 Mio. CHF (Sicht Verkehrsträger bzw. Sicht Verkehrsteilnehmende).

<sup>43</sup> Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 65 und 67.



Figur 12

Einige der im Folgenden dargestellten Ergebnisse und Grafiken könnten in einem anderen Jahr ganz anders aussehen, weil das Unfallgeschehen je nach Jahr sich unterschiedlich auf die einzelnen Kategorien verteilen kann.

### Soziale Unfallkosten

In der folgenden Tabelle werden die detaillierten Ergebnisse für die sozialen Kosten nach dem Abflugprinzip dargestellt. Nach dem Territorialprinzip sehen die Ergebnisse ähnlich aus: Die gesamten Kosten beim Linien- und Charterverkehr bzw. bei den Flugzeugen über 5700kg Abfluggewicht (dabei handelt es sich wiederum um den Linien- und Charterverkehr) entfallen und die Kosten bei den Landesflughäfen sind entsprechend tiefer (d.h. nur noch sehr gering). Die restlichen Ergebnisse sind identisch.



## SOZIALE ZU ERWARTENDE UNFALLKOSTEN IM JAHR 2010 NACH DEM ABFLUG-PRINZIP

### Differenzierung nach Verkehrsart

in Mio. CHF	Linien- und Charterverkehr interkontinental	Linien- und Charterverkehr europäisch	Helikopter	General Aviation (bzw. Rest)	Total
<b>Personenschäden</b>	<b>0.75</b>	<b>6.55</b>	<b>2.30</b>	<b>33.61</b>	<b>43.21</b>
Med. Heilungskosten	0.01	0.06	0.18	0.35	0.59
Nettoproduktionsausfall	0.12	1.01	0.21	5.13	6.47
Wiederbesetzung	0.00	0.04	0.01	0.21	0.27
Administrativkosten	0.00	0.03	0.03	0.17	0.23
Immaterielle Kosten	0.62	5.41	1.87	27.74	35.64
<b>Sachschäden</b>	<b>0.49</b>	<b>4.30</b>	<b>12.60</b>	<b>4.23</b>	<b>21.62</b>
Sachschäden	0.41	3.58	10.50	3.53	18.02
Administrativkosten	0.08	0.72	2.10	0.71	3.60
<b>Polizei- u. Rechtsfolgekosten</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.10</b>	<b>0.21</b>	<b>0.32</b>
Polizeikosten	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03
Rechtsfolgekosten	0.00	0.00	0.08	0.17	0.26
Administrativkosten	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03
<b>Total</b>	<b>1.24</b>	<b>10.85</b>	<b>15.00</b>	<b>38.05</b>	<b>65.15</b>
Anteil in %	1.9%	16.7%	23.0%	58.4%	100.0%

### Differenzierung nach Luftfahrzeugtyp

	Flugzeuge mehr als 5700 kg MTOM	Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	Helikopter	Motorsegler, Segelflugzeuge	Total
Personenschäden	7.30	8.21	14.78	2.30	10.62	43.21
Sachschäden	4.79	2.16	1.80	12.60	0.27	21.62
Polizei- u. Rechtsfolgekosten	0.01	0.02	0.16	0.10	0.02	0.32
<b>Total</b>	<b>12.09</b>	<b>10.40</b>	<b>16.74</b>	<b>15.00</b>	<b>10.91</b>	<b>65.15</b>
Anteil in %	18.6%	16.0%	25.7%	23.0%	16.8%	100.0%

### Differenzierung nach Flugplatztyp

	Bewegungen ab / nach Landesflughäfen	Regional- flugplätze	Heliports	Flugfelder	Ausserhalb Flugplatz	Total
Personenschäden	7.85	8.25	0.55	25.47	1.10	43.21
Sachschäden	7.07	5.40	2.10	2.85	4.20	21.62
Polizei- u. Rechtsfolgekosten	0.04	0.06	0.02	0.17	0.03	0.32
<b>Total</b>	<b>14.95</b>	<b>13.71</b>	<b>2.66</b>	<b>28.49</b>	<b>5.33</b>	<b>65.15</b>
Anteil in %	23.0%	21.0%	4.1%	43.7%	8.2%	100.0%

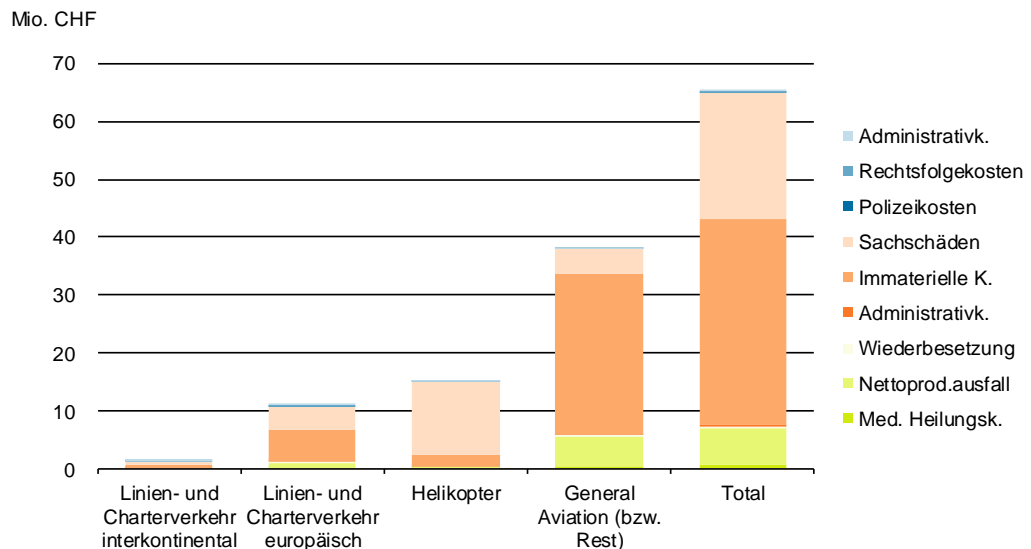
MTOM = Maximum Take Off Mass (maximales Abfluggewicht)

Tabelle 35

Etwa zwei Drittel der Kosten werden durch Personenschäden verursacht (vgl. auch Figur 13), die Sachschäden belaufen sich auf einen Drittel der Kosten und die Polizei und Rechtsfolgekosten sind unbedeutend (unter 0.5% der Kosten). Bei den Personenschäden sind vor allem die immateriellen Kosten mit 55% der Gesamtkosten relevant, aber auch der Nettoproduktionsausfall mit 10%. Die übrigen Kosten der Personenschäden (medizinische Heilungskosten, Wiederbesetzungskosten und administrative Kosten) machen zusammen weniger als 2% der gesamten Kosten aus.

Bei der Verteilung auf die Verkehrsart fällt auf (vgl. Tabelle 35 und Figur 13), dass 58% der Kosten durch die General Aviation (ohne Helikopter) verursacht werden. Die Kosten von Helikoptern tragen 23% zum Total bei und die erwarteten Kosten im Linien- und Charterverkehr die verbleibenden 19%.

### AUFTEILUNG DER ZU ERWARTENDEN SOZIALEN UNFALLKOSTEN 2010 NACH DEM ABFLUGPRINZIP NACH DEN KOSTENBEREICHEN UND NACH DER VERKEHRSART

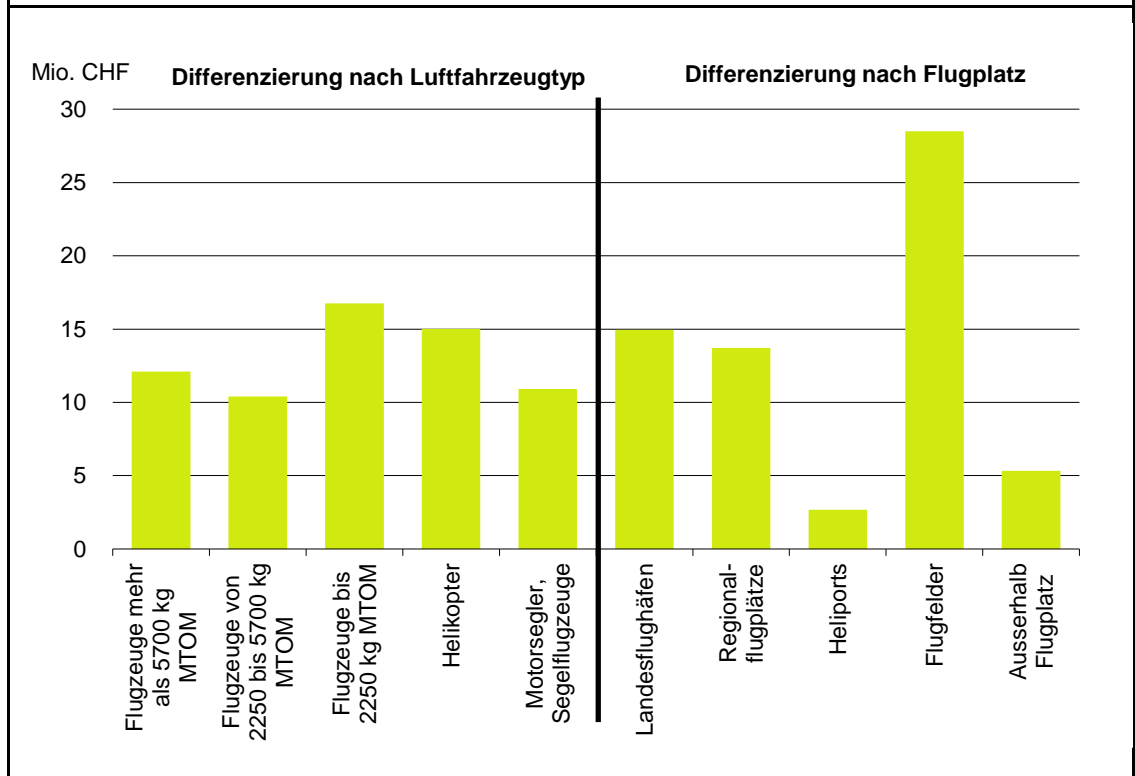


Figur 13

Mit der Differenzierung nach dem Luftfahrzeugtyp können die Ergebnisse in der General Aviation noch weiter differenziert werden (Linien- und Charterflugzeuge und Helikopter wie oben – vgl. Tabelle 35 und Figur 14): Die insgesamt 58% der General Aviation stammen vor allem von Kleinflugzeugen bis 2250 kg MTOM (=Maximum Take Off Mass, maximales Abfluggewicht) mit 26% der gesamten Kosten. Motorsegler und Segelflugzeuge tragen 17% zum Total bei, während grössere Flugzeuge mit 2250 – 5700 kg MTOM die verbleibenden 16% beisteuern.

Da viele Unfälle mit kleineren Luftfahrzeugen geschehen, sind bei der Differenzierung nach Flugplätzen (vgl. Tabelle 35 und Figur 14) die Flüge ab Flugfelder mit 44% der Kosten am wichtigsten. Die Flüge ab Landesflughäfen, auf denen auch viele kleinere Luftfahrzeuge verkehren, folgen mit 23% der Kosten vor den Flügen ab Regionalflugplätzen und Heliports mit 21% bzw. 4%. Allerdings können 8% der Unfälle keinem Flugplatz zugeordnet werden, da das BFU nicht weiss, wo das entsprechende Luftfahrzeug gestartet ist bzw. wo es hätte landen sollen (Unfälle ausserhalb Flugplatz).

### AUFTEILUNG DER ZU ERWARTENDEN SOZIALEN UNFALLKOSTEN 2010 NACH DEM ABFLUGPRINZIP NACH DEN LUFTFAHRZEUGTYPEN UND NACH DEN FLUGHÄFEN



Figur 14

#### Externe Unfallkosten

Auch bei den externen Kosten werden wie bei den sozialen Kosten nur die Ergebnisse nach dem Abflugprinzip präsentiert. Die Ergebnisse nach dem Territorialprinzip ergeben sich wiederum aus denjenigen nach dem Abflugprinzip unter Abzug der Kosten im Linien- und Charterverkehr bzw. der Flugzeuge über 5700 kg MTOM.

Wie die folgende Tabelle und Figur zeigen, betragen die externen Kosten 9.4 bzw. 20.4 Mio. CHF (Sicht Verkehrsträger bzw. Sicht Verkehrsteilnehmende). Bei den externen Kosten handelt es sich beinahe ausschliesslich um Personenschäden. Aus Sicht Verkehrsträger machen die Nettoproduktionsausfälle 69% der Kosten aus und die immateriellen Kosten 21%. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die immateriellen Kosten um den Faktor 6.6 höher und damit für 64% der Kosten verantwortlich (Nettoproduktionsausfälle noch 32%).

## EXTERNE ZU ERWARTENDE UNFALLKOSTEN IM JAHR 2010 NACH DEM AB-FLUGPRINZIP

### Differenzierung nach Verkehrsart

in Mio. CHF	Linien- und Charterverkehr interkontinental	Linien- und Charterverkehr europäisch	Helikopter	General Aviation (bzw. Rest)	Total
Personenschäden	0.12	1.10	0.37	7.66	9.25
Sachschäden	-	-	-	-	-
Polizei- u. Rechtsfolgekosten	0.00	0.00	0.04	0.09	0.13
<b>Total Sicht Verkehrsträger</b>	<b>0.13</b>	<b>1.10</b>	<b>0.41</b>	<b>7.75</b>	<b>9.38</b>
Anteil in %	1.3%	11.7%	4.3%	82.6%	100.0%
<b>Total Sicht Verkehrsteilnehmende<sup>1</sup></b>	<b>0.62</b>	<b>5.46</b>	<b>1.48</b>	<b>12.85</b>	<b>20.41</b>
Anteil in %	3.1%	26.8%	7.2%	63.0%	100.0%

### Differenzierung nach Luftfahrzeugtyp

	Flugzeuge mehr als 5700 kg MTOM	Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	Helikopter	Motorsegler, Segelflugzeuge	Total
<b>Total Sicht Verkehrsträger</b>	<b>1.22</b>	<b>1.97</b>	<b>3.16</b>	<b>0.41</b>	<b>2.62</b>	<b>9.38</b>
Anteil in %	13.0%	21.0%	33.6%	4.3%	28.0%	100.0%
<b>Total Sicht Verkehrsteilnehmende<sup>1</sup></b>	<b>6.08</b>	<b>2.33</b>	<b>7.90</b>	<b>1.48</b>	<b>2.62</b>	<b>20.41</b>
Anteil in %	29.8%	11.4%	38.7%	7.2%	12.8%	100.0%

### Differenzierung nach Flugplatztyp

Bewegungen ab / nach	Landesflughäfen	Regional- flugplätze	Heliports	Flugfelder	Ausserhalb Flugplatz	Total
<b>Total Sicht Verkehrsträger</b>	<b>1.30</b>	<b>1.99</b>	<b>0.15</b>	<b>5.78</b>	<b>0.15</b>	<b>9.38</b>
Anteil in %	13.9%	21.2%	1.6%	61.7%	1.6%	100.0%
<b>Total Sicht Verkehrsteilnehmende<sup>1</sup></b>	<b>6.52</b>	<b>2.35</b>	<b>0.15</b>	<b>10.53</b>	<b>0.86</b>	<b>20.41</b>
Anteil in %	32.0%	11.5%	0.7%	51.6%	4.2%	100.0%

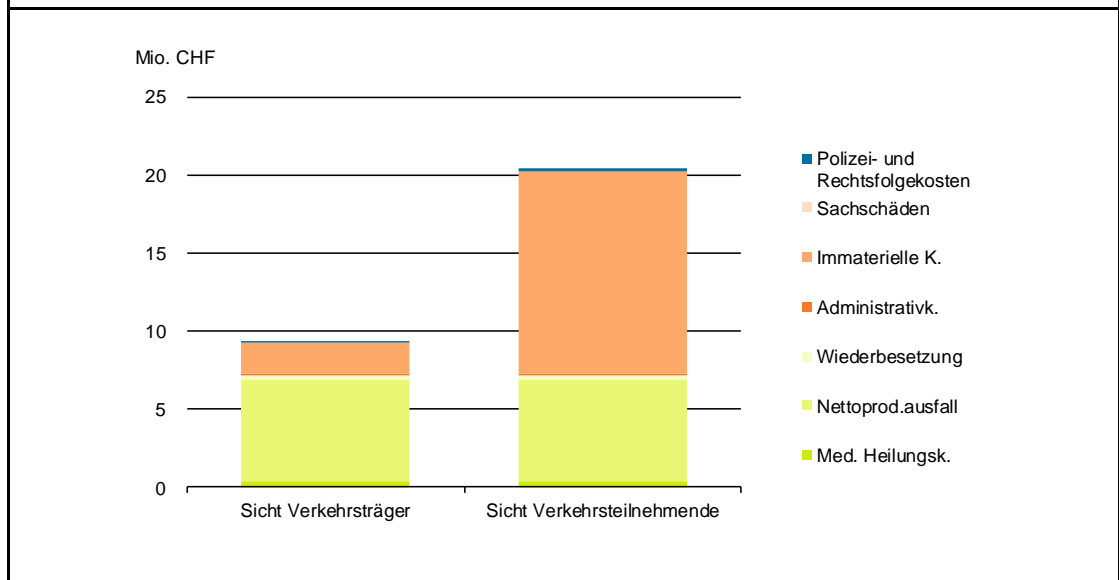
MTOM = Maximum Take-Off Mass (maximales Abfluggewicht)

**Tabelle 36** Die Sicht Verkehrsteilnehmende unterscheidet sich nur durch höhere immaterielle Kosten von der Sicht Verkehrsträger.

Bei der Verteilung auf die Verkehrsart bzw. nach Luftfahrzeugtyp ist aus Sicht Verkehrsträger die General Aviation für 83% der Kosten verantwortlich (34% Flugzeuge bis 2250 kg MTOM, 28% Motorsegler und Segelflugzeuge, 21% Flugzeuge 2250 – 5700 kg MTOM). Aus Sicht Verkehrsteilnehmende vergrössert sich der Anteil den Linien- und Charterverkehrs von 13% auf 30%, so dass für die General Aviation nur noch 63% verbleiben (39% Flugzeuge bis 2250 kg MTOM, 13% Motorsegler und Segelflugzeuge, 11% Flugzeuge 2250 – 5700 kg MTOM).

Aus Sicht Verkehrsträger fallen 62% der Unfallkosten auf Flügen ab Flugfeldern an, 21% auf Flügen ab Regionalflughäfen und 14% auf Flügen ab Landesflughäfen. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende nimmt der Anteil der Flüge ab Landesflughäfen auf 32% zu, womit die Flüge ab Flugfelder nur 52% der Kosten tragen und die Flüge ab Regionalflughäfen noch knapp 12%.

### AUFTEILUNG DER EXTERNEN ZU ERWARTENDEN UNFALLKOSTEN 2010 NACH DEM ABFLUGPRINZIP NACH DEN KOSTENBEREICHEN



Figur 15

### Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr

Schliesslich sollen die Kosten noch auf den Personen- und Güterverkehr aufgeteilt werden. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- › Bei den Helikoptern wird auf Daten zu den Helikopter-Flugstunden zurückgegriffen. Gemäss der Swiss Helicopter Association werden 56% der Flugstunden im Personenverkehr erbracht und 44% im Güterverkehr.
- › Für die General Aviation wird angenommen, dass die gesamten Kosten dem Personenverkehr anzulasten sind, da der Güterverkehr in diesem Bereich eine marginale Rolle spielt und da keine Daten vorliegen, die eine genauere Zuteilung erlauben würden.
- › Im Linien- und Charterverkehr ist die Aufteilung etwas schwieriger.
  - › Bei den Personenschäden erfolgt zuerst eine Aufteilung der Personen im Flugzeug. Aus den offiziellen Statistiken zur Anzahl Passagiere und zur Anzahl Bewegungen kann die durchschnittliche Anzahl Passagiere berechnet werden, die 94 Personen beträgt. Zusätzlich werden 2 Personen im Cockpit und 4 Personen Kabinenpersonal unterstellt.<sup>44</sup> Die Personenschäden der Passagiere und des Kabinenpersonals werden dem Personenverkehr zuge-

<sup>44</sup> Diese Annahme wurde mit dem Flughafen Zürich abgesprochen.

schrieben. Das Cockpit-Personal hingegen fliegt auch für den Güterverkehr, nämlich für die Güter, die sich im Frachtraum des Passagierflugzeugs befinden.

- › Die Personenschäden beim Cockpit-Personal sowie die Sachschäden und die Polizei- und Rechtsfolgekosten werden deshalb nach dem transportierten Gewicht auf den Personen- und Güterverkehr aufgeteilt (wie bei der Luftbelastung und beim Lärm, vgl. Kapitel 6.3.4 und 6.4.4). Dabei wird das Gewicht basierend auf Daten des BFS wie folgt berechnet:
  - › Personenverkehr: Anzahl Passagiere \* 100 kg. Gemäss ICAO geht man pro Passagier von 100kg aus (80 kg Passagier + 20 kg Gepäck). Bei den Passagieren sind alle Passagiere miteinzubeziehen, d.h. Lokalpassagiere (Ziel oder Quelle in der Schweiz), Transferpassagiere (steigen auf einem Schweizer Flugplatz um) und Transitpassagiere (Zwischenlandung in Zürich mit Weiterflug im gleichen Flugzeug (bzw. gleiche Flugnummer)).<sup>45</sup>
  - › Güterverkehr: Gewicht Fracht \* Hochrechnung + Gewicht Post. Auch im Güterverkehr sind Lokal-, Transfer- und Transitverkehr zu berücksichtigen. In der offiziellen Statistik wird der Transitverkehr jedoch nicht ausgewiesen, die Zahlen sind aber verfügbar. Deshalb verwenden wir die Daten zum Lokal- und Transferverkehr und einen Hochrechnungsfaktor von 1.046, um den Transitverkehr zu berücksichtigen. Der Hochrechnungsfaktor ist ein Durchschnitt der letzten vier Jahre, für die uns Daten vom BFS zur Verfügung gestellt wurden. Es ist anzumerken, dass das Gewicht des Güterverkehrs sowohl reine Güterverkehrsflüge umfasst, als auch die Belly-Freight (d.h. Güter im Frachtraum von Passagierflugzeugen, aber ohne Gepäck der Passagiere).<sup>46</sup>
- › Aus diesen Berechnungen ergibt sich, dass im Linien- und Charterverkehr 90.8% des transportierten Gewichts vom Personenverkehr stammt und 9.2% vom Güterverkehr.
- › Nimmt man diese beiden Punkte zusammen, zeigt sich, dass im Jahr 2010 99.8% der Personenschäden (inkl. Cockpit-Personal) dem Personenverkehr zuzuweisen sind und 90.8% der Sachschäden und Polizei- und Rechtsfolgekosten.

Die folgende Tabelle und Grafik zeigen die Ergebnisse der Aufteilung. Der Personenverkehr verursacht 88% bis 98% der sozialen und der externen Unfallkosten, wobei der Anteil nach dem Abflugprinzip etwas höher ist als nach dem Territorialprinzip, weil nach dem Abflugprinzip auch mit Unfällen im Linien- und Charterverkehr gerechnet wird. Bei den externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger ist der Anteil etwa 10 Prozentpunkte höher als bei den sozialen Kosten,

<sup>45</sup> Transfer- und Transitpassagiere werden doppelt gezählt, nämlich einmal bei der Ankunft und einmal beim Abflug. Analog wird auch im Güterverkehr der Transfer- und Transitverkehr doppelt gerechnet (Tel. Auskunft des BFS).

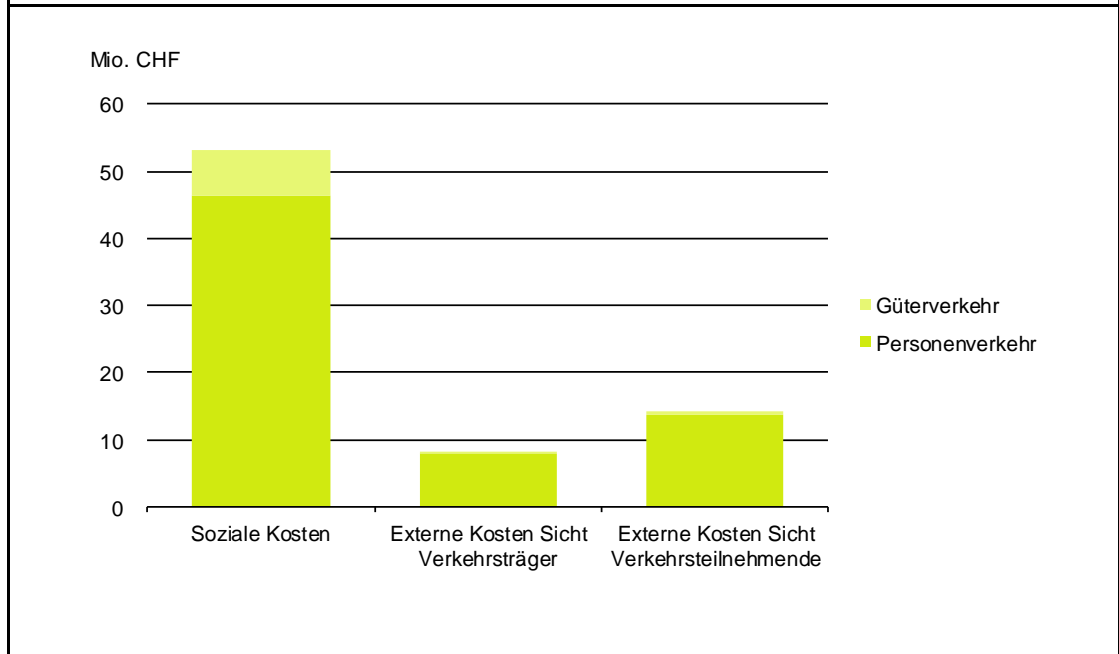
<sup>46</sup> Auskunft des BFS per Mail.

weil der Anteil der Helikopter an den gesamten Kosten kleiner ist und weil bei den Helikoptern der Güterverkehr relativ bedeutend ist. In der Grafik wird nur das Territorialprinzip dargestellt, die Grafik für das Abflugprinzip würde jedoch ähnlich aussehen, einzig die Y-Achse müsste anderes angeschrieben werden (höhere Kosten nach dem Abflugprinzip).

<b>AUFTEILUNG DER UNFALLKOSTEN AUF DEN PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR</b>						
in Mio. CHF	Territorialprinzip			Abflugprinzip		
	Personen- verkehr	Güterverkehr	Total	Personen- verkehr	Güterverkehr	Total
<b>Soziale Kosten</b>						
Linien- und Charterverkehr	-	-	-	11.64	0.45	<b>12.09</b>
Helikopter	8.40	6.60	<b>15.00</b>	8.40	6.60	<b>15.00</b>
General Aviation	38.05	-	<b>38.05</b>	38.05	-	<b>38.05</b>
<b>Total</b>	<b>46.45</b>	<b>6.60</b>	<b>53.05</b>	<b>58.09</b>	<b>7.05</b>	<b>65.15</b>
Anteil	87.6%	12.4%	100.0%	89.2%	10.8%	100.0%
<b>Externe Kosten Sicht Verkehrsträger</b>						
Linien- und Charterverkehr	-	-	-	1.22	0.00	<b>1.22</b>
Helikopter	0.23	0.18	<b>0.41</b>	0.23	0.18	<b>0.41</b>
General Aviation	7.75	-	<b>7.75</b>	7.75	-	<b>7.75</b>
<b>Total</b>	<b>7.98</b>	<b>0.18</b>	<b>8.16</b>	<b>9.20</b>	<b>0.18</b>	<b>9.38</b>
Anteil	97.8%	2.2%	100.0%	98.1%	1.9%	100.0%
<b>Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende</b>						
Linien- und Charterverkehr	-	-	-	6.07	0.01	<b>6.08</b>
Helikopter	0.83	0.65	<b>1.48</b>	0.83	0.65	<b>1.48</b>
General Aviation	12.85	-	<b>12.85</b>	12.85	-	<b>12.85</b>
<b>Total</b>	<b>13.68</b>	<b>0.65</b>	<b>14.33</b>	<b>19.75</b>	<b>0.66</b>	<b>20.41</b>
Anteil	95.5%	4.5%	100.0%	96.8%	3.2%	100.0%

Tabelle 37

### AUFTEILUNG DER UNFALLKOSTEN AUF DEN PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR NACH DEM TERRITORIALPRINZIP



Figur 16

## 6.2.5. SENSITIVITÄTSANALYSE

### Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Für die Ermittlung der Unfallkosten war es unumgänglich, bei verschiedenen Berechnungsschritten Annahmen zu treffen. Wo wenige empirische Erkenntnisse vorlagen, wird zur Festlegung dieser Annahmen meist von einem at least Ansatz ausgegangen; also bei der Wahl von zwei oder mehreren möglichen Parametern jener gewählt, der in der Tendenz eher zu einer Unter- als Überschätzung der Unfallkosten führt. Sofern viele empirische Befunde vorliegen, aber diese eine grosse Bandbreite aufwiesen, wurden auch best guess Annahmen getroffen. Im Folgenden werden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse die wichtigsten unsicheren Annahmen variiert werden, um zu sehen, wie stark sich das Ergebnis dadurch verändert.

Als Grundlage dazu werden in der folgenden Tabelle die für die Berechnung der Unfallkosten verwendeten Inputdaten und Annahmen nochmals übersichtlich dargestellt. Im Rahmen



der Sensitivitätsanalyse sind insbesondere die folgenden quantifizierbaren Unsicherheiten von Bedeutung:<sup>47</sup>

ÜBERSICHT ÜBER INPUTDATEN, ANNAHMEN UND UNSICHERHEITEN BEI DEN UNFALLKOSTEN			
Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst</b>			
Unfallgeschehen in der Schweiz	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Unfallgeschehen in EASA-Ländern	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
<b>Wertgerüst</b>			
Besatzung GA und Heli Unfallverursacher?	Wissen mit Unsicherheiten	Annahme: ja	Sensitivität: nein
Immaterielle Kosten (VOSL)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Medizinische Behandlungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 15%
Sachschäden	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 26% / ± 22%
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	at least	
Anteil externe Kosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 30%

Tabelle 38

- › Für die Berechnung der externen Kosten ist es entscheidend, ob die **Unfallopfer den Unfall selbst verursacht** haben oder nicht. Bei der Besatzung von Helikoptern und Luftfahrzeugen der General Aviation kann dies nicht festgelegt werden. Wie in Kapitel 6.2.2 erläutert, nehmen wir an, dass die Besatzung den Unfall verursacht hat, untersuchen aber im Rahmen einer Sensitivität, wie hoch die Kosten wären, wenn die Besatzung nicht Verursacher ist.
- › Die grösste Unsicherheit betrifft die Festlegung der **immateriellen Kosten**. Diese beruhen letztendlich alle auf der Festlegung des VOSL (value of statistical life bzw. immaterielle Kosten eines Todesfalles). Der Wert des VOSL wurde in Ecoplan und Infras (2008<sup>48</sup>) aus diversen internationalen Studien hergeleitet. Verschiedene Studien kommen dabei zu unterschiedlichen Resultaten. Wie dort erläutert, scheint sich jedoch der verwendete Wert von 1.5 Mio. € (zu Marktpreisen 1998 bzw. 3.398 Mio. CHF zu Faktorpreisen 2010) als Basiswert durchgesetzt zu haben. In Ecoplan und Infras (2008, S. 103) wurde auch gezeigt, dass der VOSL auch 50% tiefer oder 100% höher liegen könnte.
- › Die Bestimmung der **medizinischen Heilungskosten** ist ebenfalls mit gewissen Unsicherheiten behaftet, weil die Kosten der Unfallversicherungen um die staatlichen Beiträge an die Spitalkosten ergänzt werden müssen. In den bisherigen Studien (Ecoplan 2002, Ecoplan 2007, Ecoplan und Infras 2008) wurde deshalb im Rahmen der Sensitivitätsanalyse mit 15% höheren

<sup>47</sup> Siehe Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 102ff.

<sup>48</sup> Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 86-87.

und tieferen Kosten gerechnet. Dies wird im Folgenden aber nicht weiterverfolgt, weil es die sechs Gesamtergebnisse (vgl. Tabelle 39) nur um weniger als 0.6% verändert.

- › Die **Sachschäden** aus Unfällen konnten aus den verschiedenen Datengrundlagen nicht genau bestimmt werden. Die verwendeten Unsicherheiten wurden bereits in Kapitel 6.2.3 ausführlich erläutert. Der mit den Unfällen 2010 gewichtete Durchschnitt der Unsicherheiten nach Luftfahrzeugtyp beträgt nach Territorialprinzip 26% bzw. nach Abflugprinzip 22% (aufgrund der unterschiedlichen Gewichtung der unterschiedlich grossen Unsicherheiten bei den verschiedenen Luftfahrzeugtypen).
- › Die **externen Kosten** wurden als Anteile der sozialen Kosten bestimmt. Die Prozentzahlen werden dabei vom Schienenverkehr übernommen. Zudem waren für die Herleitung dieser Prozentzahlen einige Annahmen nötig, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Eine genaue Quantifizierung dieser Unsicherheiten ist ohne grossen Aufwand nicht möglich, im Schienenverkehr wurde bisher von  $\pm 20\%$  ausgegangen. Da die Übertragung auf den Luftverkehr mit weiteren Unsicherheiten behaftet ist, gehen wir hier von  $\pm 30\%$  aus.

Das Mengengerüst hingegen beruht auf der Auswertung von offiziellen Statistiken (der Schweiz bzw. der ICAO). Diese Auswertungen können als zuverlässig bezeichnet werden. Da die ICAO-Daten für den Linienverkehr auch für den Charterverkehr angewendet werden müssen, besteht jedoch eine gewisse Unsicherheit, die jedoch nicht beziffert werden kann und deshalb vernachlässigt wird.<sup>49</sup>

### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die folgende Tabelle und Figur zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Für die sozialen Kosten sind nur die Höhe der immateriellen Kosten und der Sachschäden von Bedeutung, die beiden anderen Sensitivitäten haben keine Auswirkungen auf das Ergebnis. Aufgrund der immateriellen Kosten schwanken die sozialen Kosten aber um  $-28\%$  und  $+56\%$ . Die Sachschäden verändern die sozialen Kosten um  $\pm 8\%$ , haben aber keinen Einfluss auf die externen Kosten (weil die externen Sachschäden Null betragen). Insgesamt schwanken die sozialen Kosten zwischen 38 und 83 Mio. CHF (Territorialprinzip) bzw. zwischen 47 und 101 Mio. CHF (Abflugprinzip).

Da bei den externen Kosten aus **Sicht Verkehrsträger** die immateriellen Kosten viel weniger bedeutend sind, schwankt das Ergebnis aufgrund der immateriellen Kosten nur noch um etwa  $-11\%$  und  $+22\%$ . Die wichtigste Unsicherheit ist hier deshalb die Abschätzung des Anteils

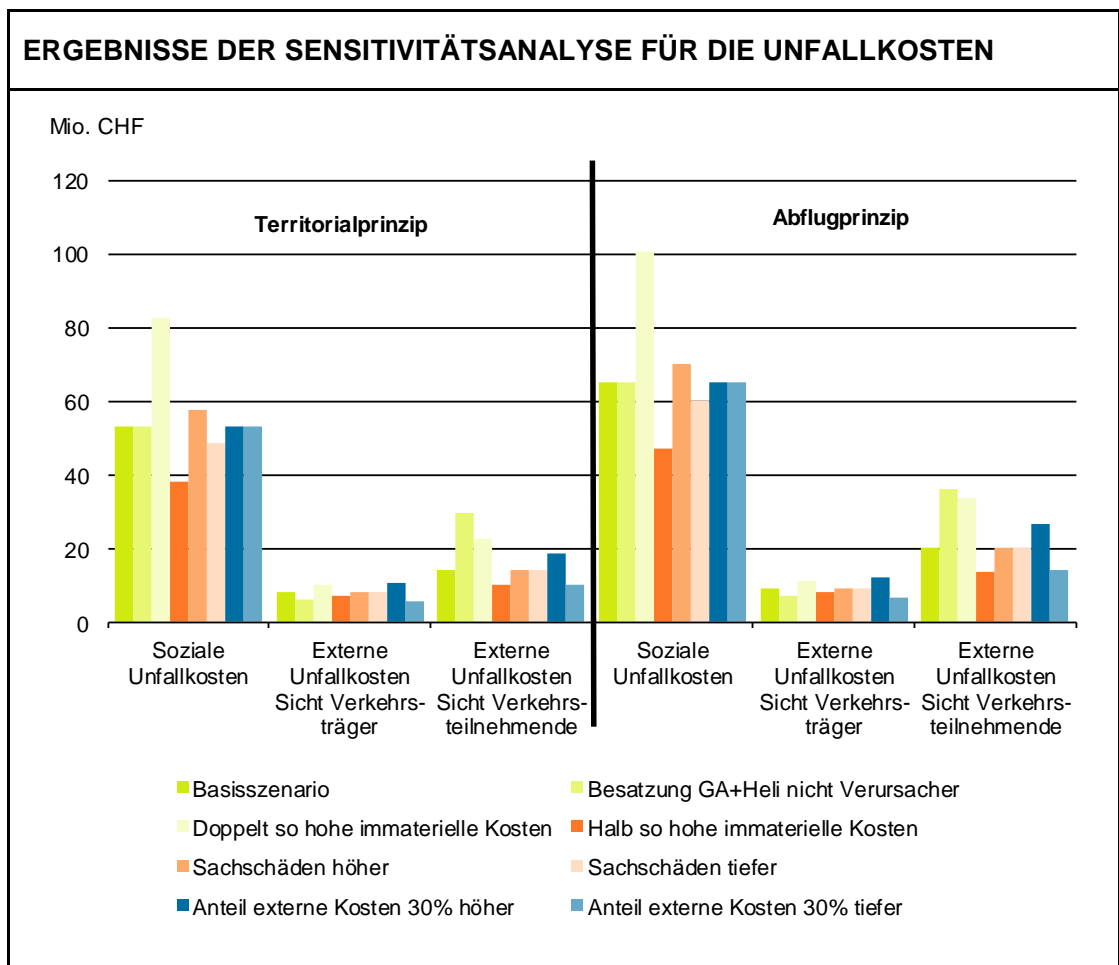
<sup>49</sup> Die Sachschäden pro Unfall im Linien- bzw. im Charterverkehr sind gemäss ASCEND-Daten praktisch identisch. Dies deutet darauf hin, dass die Unterschiede gering sein könnten.

der externen Kosten an den sozialen Kosten ( $\pm 30\%$ ). Wird die Besatzung bei General-Aviation- und Helikopterflügen nicht als Unfallverursacher angesehen, so sinken die Kosten um ca. 25%. Damit liegen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger zwischen 6 und 11 Mio. CHF (Territorialprinzip) bzw. zwischen 7 und 12 Mio. CHF (Abflugprinzip).

Bei den externen Kosten aus **Sicht Verkehrsteilnehmende** sind die immateriellen Kosten wieder bedeutender und verursachen deshalb Schwankungen um ca.  $-30\%$  und  $+60\%$ . Wird die Besatzung bei General-Aviation- und Helikopterflügen nicht als Verursacher angesehen, so steigen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende um gut 15 Mio. CHF, was nach dem Territorialprinzip gut eine Verdoppelung der Kosten ist, nach dem Abflugprinzip auch noch eine Erhöhung um 77%. Folglich liegen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende zwischen 10 und 30 Mio. CHF (Territorialprinzip) bzw. zwischen 14 und 36 Mio. CHF (Abflugprinzip).

<b>ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄTSANALYSE FÜR DIE UNFALLKOSTEN</b>						
in Mio. CHF	<b>Territorialprinzip</b>			<b>Abflugprinzip</b>		
	Soziale Unfallkosten	Externe Unfallkosten Sicht Verkehrs- träger	Externe Unfallkosten Sicht Verkehrs- teilnehmende	Soziale Unfallkosten	Externe Unfallkosten Sicht Verkehrs- träger	Externe Unfallkosten Sicht Verkehrs- teilnehmende
<b>Basiszenario</b>	<b>53.05</b>	<b>8.16</b>	<b>14.33</b>	<b>65.15</b>	<b>9.38</b>	<b>20.41</b>
Besatzung GA+Heli nicht Verursacher	53.05	5.99	29.88	65.15	7.21	35.96
Doppelt so hohe immaterielle Kosten	82.67	10.12	22.46	100.78	11.37	33.43
Halb so hohe immaterielle Kosten	38.25	7.18	10.26	47.33	8.39	13.90
Sachschäden höher	57.40	8.16	14.33	69.97	9.38	20.41
Sachschäden tiefer	48.71	8.16	14.33	60.32	9.38	20.41
Anteil externe Kosten 30% höher	53.05	10.61	18.63	65.15	12.20	26.54
Anteil externe Kosten 30% tiefer	53.05	5.71	10.03	65.15	6.57	14.29
<b>Abweichung vom Basiszenario in %</b>						
Besatzung GA+Heli nicht Verursacher	0.0%	-26.6%	108.5%	0.0%	-23.2%	76.2%
Doppelt so hohe immaterielle Kosten	55.8%	24.0%	56.7%	54.7%	21.2%	63.8%
Halb so hohe immaterielle Kosten	-27.9%	-12.0%	-28.4%	-27.4%	-10.6%	-31.9%
Sachschäden höher	8.2%	0.0%	0.0%	7.4%	0.0%	0.0%
Sachschäden tiefer	-8.2%	0.0%	0.0%	-7.4%	0.0%	0.0%
Anteil externe Kosten 30% höher	0.0%	30.0%	30.0%	0.0%	30.0%	30.0%
Anteil externe Kosten 30% tiefer	0.0%	-30.0%	-30.0%	0.0%	-30.0%	-30.0%

Tabelle 39



Figur 17

### Zusätzliche Unter-oder Überschätzungen

Verschiedene (meist kleinere) Bestandteile der Unfallkosten können im Rahmen der Basisrechnung nicht berücksichtigt werden und müssen in der Folge auch in der Sensitivitätsanalyse ausgeschlossen werden:

- › Nach dem Abflugprinzip werden Unfälle von Helikoptern und in der General Aviation unterschätzt, weil aufgrund der vorliegenden Daten nur die Unfälle in der Schweiz berücksichtigt werden können, d.h. dass die Unfälle im Ausland nicht enthalten sind. Anstatt der Hälfte der Wegstrecke in den ausländischen Zielflughafen wird nur die Strecke bis zur Schweizer Grenze miteinbezogen.
- › Im Luftverkehr liegen keine Daten zur Aufteilung der erheblich Verletzten auf Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte vor. Die erheblich Verletzten werden mit einem durchschnittlichen Kostensatz bewertet, wobei der Durchschnitt mangels besserer Daten über

die Anzahl der Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte im Strassenverkehr gebildet wurde. Da im Luftverkehr ein sehr hoher Anteil von Toten beobachtet wird (gemessen an der Gesamtzahl der Opfer), dürfte im Luftverkehr die durchschnittliche Verletzungsschwere der erheblich Verletzten höher sein als im Strassenverkehr. Der Kostensatz pro erheblich Verletzten dürfte also höher liegen als hier verwendet.

- › Bei der Berechnung nach dem Abflugprinzip auf Basis der ICAO-Daten wird die Zahl der Leichtverletzten deutlich unterschätzt, weil nur die Zahl der Unfälle mit maximal Leichtverletzten verfügbar ist, aber nicht die deutlich höhere Zahl der Leichtverletzten.
- › Unfälle auf dem Flugplatz, z.B. beim Busverkehr, Gepäckverlad etc. sind in den Daten nicht enthalten. Diese Kosten werden vernachlässigt.
- › Kosten durch gesundheitlichen Spätschäden: Verletzungen können zu gesundheitlichen Spätschäden führen, die erst viele Jahre nach dem Unfallereignis auftreten. Diese Kosten dürften aber vergleichsweise gering sein.
- › Es sind keine Daten zu den Kosten der Bergung der Wracks der Flugzeuge über 2250kg MTOM und der Helikopter vorhanden.
- › Die Kosten der Feuerwehr auf Flugplätzen ohne eigene Feuerwehr und ausserhalb von Flugplätzen, falls durch den Unfall ein Brand entsteht (0.97% der Kosten von Strassenunfällen in Belgien), werden vernachlässigt.
- › Die Kosten der Besucher, die ihre Angehörigen oder Freunde im Spital besuchen (0.08% der Kosten von Strassenunfällen in Belgien), sind nicht berücksichtigt.
- › Die Polizeikosten sind tendenziell unterschätzt, weil die Übernahme des Kostensatzes vom Strassenverkehr problematisch ist, weil z.B. bei Unfällen in den Bergen der Transport zum Unfallort schwierig ist und teilweise mit Helikopter erfolgt.

Der Einbezug dieser Kosten dürfte die Unfallkosten im Luftverkehr erhöhen, aber für die Berechnung nach dem **Territorialprinzip** dürfte die **Grössenordnung immer noch dieselbe** sein. Mehrkosten um bis zu 10% und mehr sind aber durchaus möglich. Beim **Abflugprinzip** ist die **Unterschätzung grösser**.

## 6.3. LUFTBELASTUNG

### 6.3.1. VORGEHEN

Das **Ziel** im Bereich der **Luftverschmutzung** ist es, die externen Kosten **durch den Luftverkehr für das Jahr 2010** zu berechnen. Um die Kosten der Luftbelastung zu quantifizieren (vgl. linker Teil der Figur 18), müssen in einem ersten Schritt die Emissionen ermittelt werden und daraus die Immissionen unter Berücksichtigung verschiedener Transformationsprozesse berechnet werden. Die Immissionen führen zu Gesundheits-, Gebäude- und Waldschäden sowie zu Ernteausfällen, die in der Folge mit entsprechenden Kostensätzen monetarisiert werden können. Eine exakte Berechnung würde bedingen, dass ein Ausbreitungsmodell für die Luftverschmutzung ausgewertet wird, die Folgen z.B. für die Gesundheit mittels epidemiologischer Studien im Rahmen einer Meta-Analyse bestimmt werden und die mit diesen Grundlagen ermittelten Gesundheitsschäden in Geldeinheiten umgerechnet werden. Eine derart detaillierte neue Bottom-Up-Rechnung war für die vorliegende Studie nicht vorgesehen.

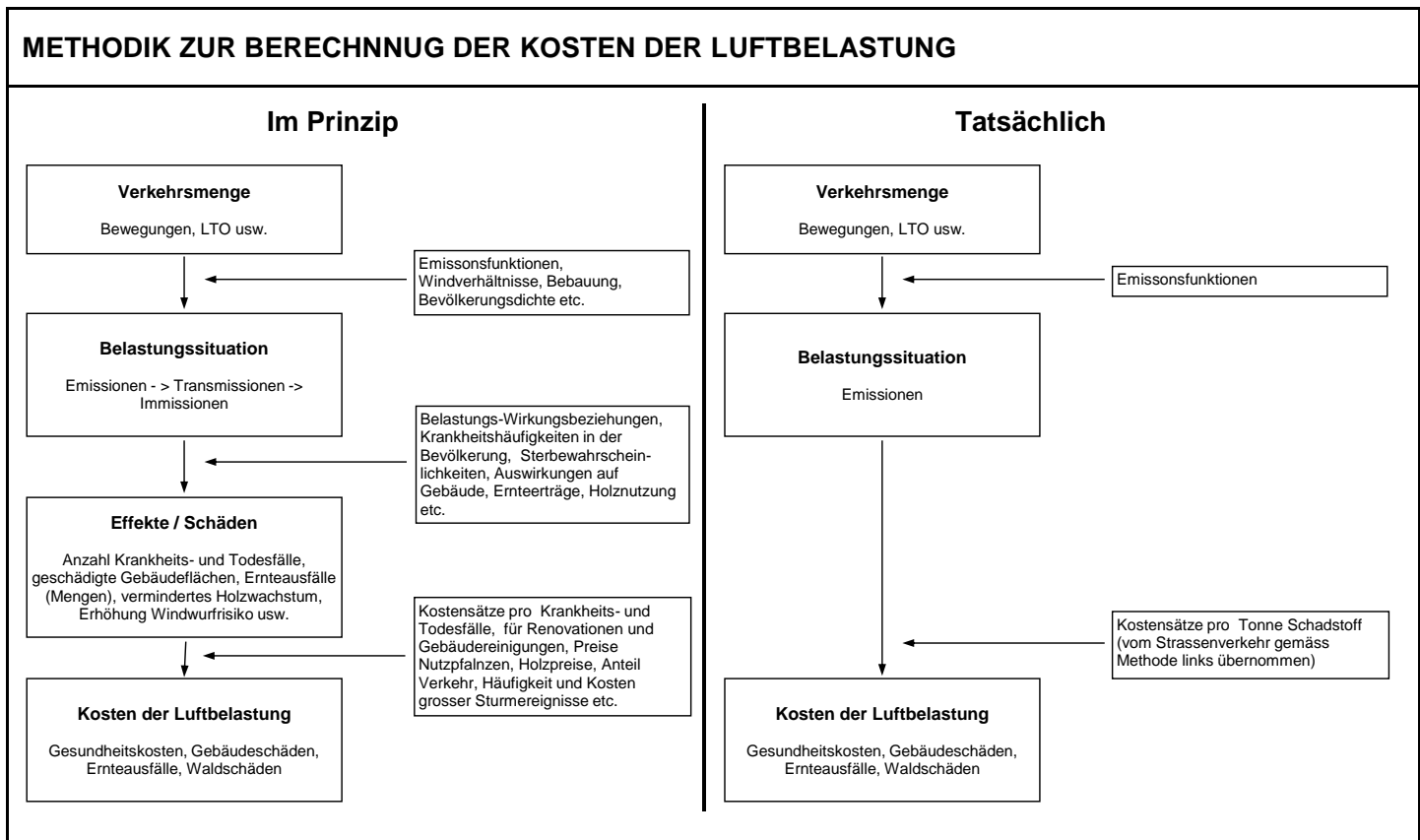
Stattdessen verwenden wir die aus den Berechnungen für den Strassenverkehr hergeleiteten Kostensätze pro ausgestossene Tonne Schadstoff (vgl. SN 641 828 bzw. rechter Teil der Figur 18). Die Kostensätze beziehen sich auf PM<sub>10</sub> und NO<sub>x</sub> und beinhalten die gesamten Kosten der Luftbelastung auf Gesundheit, Gebäude, Nutzpflanzen und Wälder.<sup>50</sup> Neben diesen Kostensätzen werden zusätzlich die Emissionen von PM<sub>10</sub> und NO<sub>x</sub> benötigt. Bei der Berechnung der Kosten der Luftbelastung werden die folgenden Kostenbereiche miteinbezogen:<sup>51</sup>

#### **Gesundheitsschäden**

- › Die Luftbelastung führt zu zusätzlichen Gesundheitsschäden. Aus dem Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden (sogenannte Belastungs-Wirkungs-Beziehung oder dose-response-function) werden die luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle berechnet. Dabei werden folgende Krankheitsbilder berücksichtigt:
  - › verlorene Lebensjahre bei über 30-Jährigen und Babys
  - › Spitaltage wegen Atemwegs- und Herz-/Kreislaferkrankungen
  - › chronische Bronchitis bei Erwachsenen
  - › akute Bronchitis bei Kindern
  - › Asthmaanfälle bei Erwachsenen
  - › Tage mit eingeschränkter Aktivität bei über 20 Jährigen

<sup>50</sup> Die Kostensätze in der Schweizer Norm basieren auf detaillierten Studien des ARE, insbesondere auf Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

<sup>51</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 5.4, 6.4, 9.1.4, 9.2.4.



Figur 18

- › Die luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle werden schliesslich in Geldeinheiten umgerechnet, indem folgende Kostenbestandteile berücksichtigt werden:<sup>52</sup>
  - › **Medizinische Behandlungskosten:** Darunter sind sowohl die Kosten der stationären und teilstationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente etc.) zu verstehen.
  - › **Produktionsausfall:** Die durch die Luftbelastung beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.
  - › **Wiederbesetzungskosten:** Nach Todesfällen von Erwerbstätigen müssen deren Stellen neu besetzt werden.
  - › **Immaterielle Kosten:** Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person.

<sup>52</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 5.

- › All diese Kostenbestandteile wurden auch bei den Unfällen berücksichtigt.<sup>53</sup> Analog zum Vorgehen bei den Unfallkosten werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2010 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.).
- › Die Gesundheitskosten werden wie in Ecoplan und Infrac (2008) über die Schadstoffexposition am **Wohnort** berechnet.
- › Akute Gesundheitsschäden durch hohe Konzentrationen von **Ozon** werden mit diesem Vorgehen **nicht berücksichtigt**. Der Einbezug von Schäden durch Ozon würde die Kosten sehr grob geschätzt um etwa 10% erhöhen.<sup>54</sup>

### Gebäudeschäden

- › Die Luftbelastung führt auch zu Gebäudeschäden, die sich wie folgt zusammensetzen:<sup>55</sup>
  - › **Renovationsaufwendungen** infolge erhöhter Renovationstätigkeit
  - › Kosten aufgrund der **Verschlechterung des Fassadenzustandes** ohne direkte Renovationsfolge. Die dadurch entstehende Verkürzung der Lebensdauer führt zu zusätzlichen jährlichen Kapitalkosten.
  - › Erhöhte **Reinigungsaufwendungen**
- › Miteinbezogen werden also die Kosten an Gebäudefassaden. Nicht berücksichtigt werden hingegen allfällige Schäden an Kunst- und Baudenkmälern. Ebenfalls beziehen sich die erhöhten Reinigungskosten nur auf kommerziell bewirtschaftete private und öffentliche Gebäude. Allfällige erhöhte Reinigungsaufwendungen an Ein- und Mehrfamilienhäusern, die durch die Bewohner selbst durchgeführt werden, werden nicht berücksichtigt.

### Ernteausfälle

- › Bodennahes Ozon führt zu Schädigungen an Nutzpflanzen und damit zu Ernteausfällen.<sup>56</sup> Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, das in den Pflanzen zu Membranschäden führen kann. Diese Membranschäden hemmen Photosynthese und Transpiration der Pflanze und führen zu einer Reihe von Folgeschäden (u.a. beschleunigte Blattalterung, erhöhte Krankheitsanfälligkeit, Vitalitätsverlust), insbesondere zu einem verminderten Wachstum. Mit Hilfe von Be-

<sup>53</sup> Einige bei den Unfällen berücksichtigte Kostenbereiche sind hier jedoch nicht relevant: Polizei- und Rechtsfolgekosten treten im Bereich Luftbelastung nicht auf. Die administrativen Kosten werden vernachlässigt, da sie weniger als 0.5% der Kosten ausmachen dürften. Die Sachschäden entsprechen den im Folgenden erläuterten Gebäude- und Vegetationsschäden (siehe Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 159).

<sup>54</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 153.

<sup>55</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 6.

<sup>56</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 9.1.



lastungs-Wirkungs-Beziehungen wird die Ozonbelastung in Ernteaufschläge von zehn verschiedenen Nutzpflanzen (Weizen, Tomaten etc.) umgerechnet. In ländlichen Gebieten gilt die Ozonbildung als  $\text{NO}_x$ -limitiert.<sup>57</sup> Deshalb werden die  $\text{NO}_x$ -Emissionen als Approximation an das Ozon verwendet.

- › Wie in der Vorgängerstudie<sup>58</sup> müssen die folgenden Effekte vernachlässigt werden: der Einfluss des Ozons auf Weiden und Grasland (Mindererträge bei Milch- und Fleischproduktion), der direkte Einfluss der Stickstoffemissionen auf die Nutzpflanzen und der Einfluss der Bodenversauerung auf die Nutzpflanzen.

### Waldschäden

- › Schliesslich führen Bodenversauerung und Ozonbelastung auch zu Waldschäden.<sup>59</sup> Beides führt zu **reduziertem Wachstum** und damit für die Forstwirtschaft zu **Ertragsausfällen**. Die Bodenversauerung führt zudem zu verminderter Standfestigkeit und damit zu einem **erhöhten Windwurfrisiko**. Daraus erwachsen der Forstwirtschaft Zusatzkosten für die Räumung und Wiederaufforstung sowie Mindererträge bei der Holzverwertung. Vereinfachend kann angenommen werden, dass sowohl Bodenversauerung als auch Ozonbelastung durch  $\text{NO}_x$  verursacht wird.<sup>60</sup> Wiederum werden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen verwendet, um die Waldschäden zu ermitteln.
- › Einige Auswirkungen der Luftbelastung auf den Wald – wie z.B. die Kosten zusätzlicher Naturgefahren infolge geschädigter Wälder – können jedoch nicht quantifiziert werden, weil dazu die Datengrundlagen fehlen.

### Weitere Überlegungen

Bei den Emissionen werden üblicherweise nur die **Emissionen im LTO-Zyklus** berücksichtigt (LTO = Landing and Take-Off, d.h. Landung und Abflug inkl. Bewegungen auf dem Flugplatz).<sup>61</sup> Es wird angenommen, dass die **Emissionen in grosser Höhe** (über 900m über Boden) nicht zurück in Bodennähe gelangen und somit vernachlässigt werden können. Die Höhe von ca. 900m entspricht in etwa der natürlichen Grenze zwischen der sogenannten Mischungsschicht und höheren Luftschichten. Innerhalb der Mischungsschicht, d.h. unterhalb ca. 900m, durchmi-

<sup>57</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 225.

<sup>58</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 230.

<sup>59</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 9.2.

<sup>60</sup> Ecoplan (2007), Externe Kosten im Strassenverkehr: Grundlagen zur Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse, S. 50.

<sup>61</sup> Barrett et al. (2010), Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions, S. 7736.

schen sich Luft und Schadstoffe gut.<sup>62</sup> Man geht aber meist davon aus, dass Emissionen in höheren Luftschichten nicht in die Mischungsschicht und damit auf die Erde absinken.<sup>63</sup>

Es gibt jedoch erste Forschungsergebnisse die zeigen, dass diese Annahme nicht zutreffen könnte:<sup>64</sup> Barrett et al. (2010)<sup>65</sup> haben erstmals versucht, die Zahl der Todesfälle durch Emissionen in grosser Höhe auf der gesamten Welt abzuschätzen. Gemäss Barrett et al.<sup>66</sup> führen die Emissionen des Luftverkehrs weltweit zu knapp 10'000 Todesfällen. Davon sind 20% auf die LTO-Emissionen zurückzuführen. Folglich würden weltweit knapp 8'000 Todesfälle durch Emissionen in grosser Höhe verursacht. In der Schweiz wären es 33 Todesfälle durch Emissionen in grosser Höhe. Dadurch würden sich die unten berechneten Gesundheitskosten des Luftverkehrs mehr als verdreifachen.

Dieses Ergebnis wird jedoch im Folgenden nicht berücksichtigt, weil die Zusammenhänge, wie Emissionen in grosser Höhe wieder zur Erde gelangen, hochkomplex sind und noch nicht ausreichend verstanden werden.<sup>67</sup> Da – auch gemäss BAZL – noch kein wissenschaftlicher Konsens vorhanden ist, wird gemäss dem at least Ansatz darauf verzichtet, die durch Emissionen in grosser Höhe verursachten Gesundheitskosten zu berücksichtigen.

Zudem werden noch die Emissionen durch Verkehr auf dem Flugplatz (Bus-, Lastwagen-, Schlepperverkehr etc. bzw. die **Emissionen bei der Abfertigung**) miteinbezogen. Es fliessen also nur die Emissionen im LTO-Zyklus und bei der Abfertigung in die Berechnungen ein. Damit sind die Ergebnisse aus Sicht **Territorialprinzip** und aus Sicht **Abflugprinzip identisch**, weil sich die beiden Prinzipien nur durch die Emissionen in grosser Höhe unterscheiden würden.

Schliesslich ist zu beachten, dass PM10 kein einheitlicher Schadstoff ist, sondern sich aus sehr vielen verschiedenen Substanzen zusammensetzt. Diese unterschiedlichen Substanzen können auch unterschiedlich schädlich sein bzw. eine unterschiedliche Toxizität (Giftigkeit) aufweisen. So hat z.B. nanofeiner Russ aus einem Verbrennungsmotor eine andere Wirkung als Pneuabrieb (bzw. semi-volatile Gummipartikel) oder Partikel von Bremsbelägen. Diese Problematik tritt sowohl im Luft- als auch im Strassenverkehr auf. Aufgrund mangelnder Evidenz für eine quantitative Differenzierung der Bestandteile von PM10 – und auch im Sinne des at least Ansatzes – wurde im Strassenverkehr darauf verzichtet, die unterschiedlichen Bestandteile von PM10

<sup>62</sup> IER (2003), Ermittlung externer Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main, S. 15.

<sup>63</sup> Barrett et al. (2010), Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions, S. 7736.

<sup>64</sup> Tarrasón et al. (2004), Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation, S. 5.

<sup>65</sup> Barrett et al. (2010), Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions.

<sup>66</sup> Barrett et al. (2010), Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions, S. 7738.

<sup>67</sup> Whitt et al. (2011), Vertical mixing of commercial aviation emissions from cruise altitude to the surface.

verschieden zu behandeln.<sup>68</sup> Deshalb wird auch im Luftverkehr auf eine Differenzierung verzichtet und PM10 als einheitlicher Schadstoff betrachtet.

### 6.3.2. MENGENGERÜST

Grundlage für die Berechnung der Schäden der Luftbelastung sind die Emissionen von PM10 und NO<sub>x</sub> durch den Luftverkehr im LTO-Zyklus für alle Starts und Landungen in der Schweiz (inkl. Basel) im Jahr 2010 (ohne militärische Aviatik<sup>69</sup>). Diese Emissionen entstehen in drei Teilbereichen:

#### **Triebwerksemissionen**

Die Emissionen durch die Triebwerke der Luftfahrzeuge während dem LTO-Zyklus werden sehr detailliert vom BAZL berechnet, indem die Emissionen der einzelnen Flugzeugtypen getrennt ermittelt werden. Bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen erfolgt die Schätzung der Emissionen standardmässig und ist mit keinen grösseren Problemen verbunden. Beim PM10 hingegen besteht bis heute kein standardisiertes Messverfahren für Feinstaubemissionen von Flugzeugtriebwerken. Als Zwischenlösung bzw. Grobschätzung wird der Treibstoffverbrauch im LTO-Zyklus mit einem Emissionsfaktor für PM10 multipliziert.<sup>70</sup> Die ursprünglichen Berechnungen des BAZL müssen jedoch aufgrund zweier Ursachen noch angepasst werden:<sup>71</sup>

- › **Ermittlung der Flugzeugemissionen:** Für die Berechnung des Schadstoffausstosses wird ein Referenz-LTO-Zyklus der ICAO verwendet. Dieser Zyklus wurde Anfang der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts für die Triebwerkzertifizierung festgelegt und ist stark standardisiert. Das heutige Flugverhalten weicht jedoch deutlich vom Flugverhalten im ICAO-Referenzzyklus ab.

<sup>68</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 152.

<sup>69</sup> Im Strassenverkehr beruhen die Daten zur Luftbelastung auf dem Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM). Dieses beruht auf Zählraten an Strassen, bei denen die Militärfahrzeuge mit enthalten sind.

<sup>70</sup> Schätzungen über die Feinstaubemissionen von Flugzeugtriebwerken basieren gemäss BAZL auf unterschiedlichen Messungen einiger weniger Triebwerke und auf mehr oder weniger abenteuerlichen Schätzfunktionen. Für eine Schätzung kann beispielsweise eine Korrelation zur Rauchzahl, zum mittleren Schwefelgehalt, zu einem Standard-Luft-Treibstoffverhältnis und zu den Emissionen von unverbrannten Kohlenwasserstoffen eines entsprechenden Triebwerks verwendet werden. Das daraus abgeleitete Resultat ist im Allgemeinen nicht mit Werten vergleichbar, die z.B. bei der Typenprüfung im Fahrzeugsektor in einem Volumenstromkanal und gravimetrischer Bestimmung von PM10-Emissionen mittels Filter bestimmt werden. Auf Grund der Unbestimmtheit und der wenigen Datenquellen vereinfacht das BAZL die Schätzung der PM10-Emissionen und fasst sie in einem Faktor zusammen, welcher mit dem Treibstoffverbrauch korreliert wird.

Das BAZL arbeitet seit 2004 auf Stufe ICAO an der Einführung einer Feinstaubzertifizierung für Flugzeugtriebwerke. Im Frühjahr 2011 hat das BAZL auf dem Flughafen Zürich den weltweit ersten permanent installierten Prototypen für standardisierte Feinstaubmessungen in Betrieb genommen. Mit internationalen Partnern wird nun das System getestet und an der Entwicklung des Messprotokolls gearbeitet, welches zu einem ICAO Standard führen soll. Neue, belastbarere Daten zu den PM10-Emissionen sind jedoch nicht vor 2014 zu erwarten.

<sup>71</sup> Fleuti (2011), Diskussion der Immissionswirksamkeit von Flugzeugemissionen.

Gründe dafür sind, dass die Flugzeuge heute aerodynamisch verbessert sind und dass aufgrund von Sicherheitsvorschriften (Flugzeug muss auch bei Ausfall eines Triebwerks noch steigen können) die Flugzeuge heute meist „übermotorisiert“ sind. Folglich beträgt heute die nötige Schubkraft des Triebwerkes deutlich weniger als im ICAO-Referenzzyklus angenommen. Die tatsächlichen Emissionen sind deshalb gemäss Berechnungen des Flughafens Zürich (Fleuti 2011) mit dem „Advanced Aircraft Emission Calculation Model“ (ADAECAM) für den gesamten Flugbetrieb des Flughafens Zürich um 20% (PM10) bis 27% (NO<sub>x</sub>) tiefer als im ICAO-Referenzzyklus.

- › **Emissionswirksamkeit bzw. Abbruchhöhe:** Für die Schäden durch die Luftbelastung sind die Immissionen bei Personen, Gebäuden, Feldern und Wäldern entscheidend. Bei der Berechnung der Schäden wird jedoch oft auf die Emissionen abgestellt – was auch hier gemacht werden soll. Dies ist akzeptabel für alle Emissionen, die bis etwa 300m über Grund ausgestossen werden. Emissionen, die oberhalb ausgestossen werden, werden nicht mehr direkt am Boden immissionswirksam, da sie rasch sehr grossflächig verteilt, verdünnt und umgewandelt werden. So sind die Emissionen, die über 300m ausgestossen werden, auf dem Boden praktisch nicht mehr messbar (Fleuti 2011). Fleuti (2011) zeigt mit dem ADAECAM, dass die Emissionen gemäss normalen LTO-Zyklus (Emissionen bis 900m über Grund) durch eine Senkung der Abbruchhöhe auf 300m um ca. 40% sinken.

Beide Korrekturen zusammen führen dazu, dass die ursprünglichen, vom BAZL berechneten **Emissionen um 50% (PM10) bzw. 55% (NO<sub>x</sub>) gesenkt** werden müssen. Diese Korrektur gilt nur für den Linien- und Charterverkehr auf den Landesflughäfen. Für alle anderen Flughäfen wird der übliche LTO-Zyklus bis 900m berücksichtigt, da dazu keine Daten vorliegen. Das BAZL hat diese beiden Korrekturen bei der Lieferung an Ecoplan bereits berücksichtigt. Deshalb unterscheiden sich die im Folgenden ausgewiesenen Emissionen von den üblicherweise vom BAZL publizierten Werten.

Die Genauigkeit der berechneten Emissionen ist beim NO<sub>x</sub> mit  $\pm 10\%$  relativ hoch (Fleuti 2011 und Auskunft BAZL), beim PM10 jedoch geringer (+30%, –100%, Auskunft BAZL).

### **Emissionen durch Abrieb**

Für die Feinstaubemissionen aus Abrieb bestehen erste grobe Schätzungen für den Verschleiss von Pneus, Bremsen und Pisten von insgesamt 190g pro LTO-Zyklus (Grobschätzung des BAZL<sup>72</sup>). Bei diesen Emissionen handelt es sich aber nicht um PM10, sondern um TSP (total

<sup>72</sup> BAZL (2005), Empfehlung für die Abschätzung von PM10 Emissionen aus dem Luftverkehr.

suspended particles), d.h. es sind darin auch Partikel enthalten, deren Durchmesser grösser als 10 µm ist. Für die Umrechnung in PM10 wird ein Faktor 0.55 verwendet, der sich anhand von Messungen der Immissionen an typischen Schweizer Standorten ergibt.<sup>73</sup> Es handelt sich um einen Durchschnittswert. Entsprechend ist nicht klar, ob dieser Faktor die spezifische Emissionssituation „Abrieb im Flugverkehr“ zutreffend abbildet. Es stehen jedoch keine alternativen Anpassungsfaktoren zur Verfügung. Die Emissionen von 105 g PM10 / LTO werden dann mit der Zahl der LTO im Linien- und Charterverkehr auf den drei Landesflughäfen multipliziert.<sup>74</sup>

Wie erwähnt handelt es sich bei dem Emissionsfaktor um eine Grobschätzung. Es ist aufgrund der wenigen vorliegenden Datengrundlagen gemäss BAZL nicht möglich, die Genauigkeit des Emissionsfaktors zu bestimmen und eine Sensitivitätsanalyse dafür zu berechnen.

### Emissionen auf dem Flugplatz

Hier geht es insbesondere um die Emissionen durch die **Abfertigung** am Flugplatz.<sup>75</sup> Die Emissionen von PM10 und NO<sub>x</sub> stammen von den drei Landesflughäfen Zürich, Genf und Basel.<sup>76</sup> Miteinbezogen werden in Zürich (von den anderen beiden Flughäfen haben wir dazu keine Daten erhalten) auch die Emissionen durch folgende Tätigkeiten: Prüf- und Standläufe, Notstrom, Brandübungen und APU.<sup>77</sup> Nicht mitberücksichtigt werden hingegen die Emissionen durch den Verkehr zum Flugplatz (gehört zum Strassen- bzw. Schienenverkehr) und durch die Infrastruktur (Heizung etc.). Grund dafür ist die Gleichbehandlung mit dem Strassen- und Schienenverkehr, bei denen die Emissionen durch die Heizung von Autobahnraststätten und Bahnhöfen ebenfalls nicht berücksichtigt werden.

Bei den PM10-Emissionen durch Verkehr von Bussen, Lastwagen, Schleppern etc. auf dem Flughafen, die in Zürich 10% der Emissionen durch die Abfertigung ausmachen, sind nur die Motoremissionen enthalten, die PM10-Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung fehlen hingegen. Aus dem Strassenverkehr ist bekannt,<sup>78</sup> dass der Grossteil der PM10-Emissionen durch

<sup>73</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 32-33.

<sup>74</sup> Wir verzichten darauf, dies auch für die Linien- und Charterflüge auf Regionalflugplätzen zu berechnen, weil dort kleinere Flugzeuge verkehren, so dass eine Überschätzung resultieren würde. Die Vernachlässigung ist für das Endergebnis irrelevant, da nur knapp 3% aller LTO im Linien- und Charterverkehr auf Regionalflugplätze entfällt.

<sup>75</sup> Diese Emissionen entstehen durch ground support equipment (Rolltreppen, Band zum Gepäck Aufladen etc. am Standplatz des Flugzeugs), GPU (ground power unit = Stromversorgung Flugzeug am Dock), Verkehr auf dem Flughafen und Enteisung der Flugzeuge (Auskunft Flughafen Zürich).

<sup>76</sup> Für Basel haben wir die Daten für 2009 statt 2010 erhalten, da die Daten 2010 noch nicht verfügbar sind.

<sup>77</sup> Das APU ist ein kerosinbetriebenes, im Flugzeug eingebautes Hilfstriebwerk, dessen Emissionen vom BAZL nicht mitberechnet werden. Gemäss ICAO gehört diese Quelle zum Flugzeug, dient aber eigentlich der Abfertigung (Auskunft des Flughafens Zürich).

<sup>78</sup> Infras (2010), Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA und BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030, S. 56.

Abrieb und Aufwirbelung verursacht wird. Deshalb bilden wir einen Durchschnitt aus Personenwagen, Bus, Lieferwagen und schwerem Nutzfahrzeug im Innerortsverkehr, der zeigt, dass 27.4% der gesamten PM10-Emissionen Motoremissionen sind. Entsprechend werden die vom Flughafen Zürich gelieferten Motoremissionen durch den Verkehr auf dem Flugplatz bzw. 10% der Abfertigungsemissionen in Basel und Genf hochgerechnet, um die Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung mit zu berücksichtigen.

Da die Daten bei den Landesflughäfen erhoben werden,<sup>79</sup> gehen wir davon aus, dass diese Emissionen dem Linien- und Charterverkehr zugerechnet werden können. Die Differenzierung nach interkontinental und europäisch ist nicht direkt möglich, so dass eine Abschätzung über die Anzahl Bewegungen erfolgt (gemäss Rücksprache mit dem Flughafen Zürich).

Die Genauigkeit der Daten ist je nach Flugplatz unterschiedlich, wobei Basel die Daten mit deutlich weniger Genauigkeit angeben kann. Aufgrund der Berücksichtigung des Abriebs und der Aufwirbelung wird die Unsicherheit beim PM10 noch um 5% erhöht. Der gewichtete Durchschnitt der Genauigkeit beträgt  $\pm 33\%$  für PM10 (inkl. 5% von Abrieb und Aufwirbelung) bzw.  $\pm 9\%$  für NO<sub>x</sub>.

Wie erwähnt führen nicht die Emissionen von Schadstoffen zu Schäden, sondern die Immissionen. Zwischen dem Ort der Emission und dem Ort der Immission können aufgrund der Verfrachtung durch Windströmungen grosse Distanzen liegen. In der vorliegenden Berechnung wird implizit unterstellt, dass der Export von Schadstoffen ins Ausland und der Import aus dem Ausland sich gegenseitig ausgleichen. Diese Annahme wurde auch bereits im Strassen- und Schienenverkehr getroffen.<sup>80</sup>

### **Schadstoffemissionen durch den Luftverkehr**

Die folgende Tabelle zeigt die sich ergebenden Emissionen. Insgesamt werden im Flugverkehr 48t PM10 ausgestossen und gut 1'000 t NO<sub>x</sub>. Wenig überraschend wird der Grossteil der Schadstoffe (ca. 97%) auf den Landesflughäfen ausgestossen, während Regionalflugplätzen, Heliports und Flugfelder kaum relevant sind. Entsprechend ist der Linien- und Charterverkehr mit ebenfalls 98% (bei NO<sub>x</sub> nur 96%) die Hauptquelle der Emissionen, wobei der interkontinentale Verkehr 12% (PM10) bzw. 24% (NO<sub>x</sub>) davon trägt (Rest europäischer Verkehr).

<sup>79</sup> Regionalflugplätze und Flugfelder wurden nicht nach diesen Emissionen befragt, da wir davon ausgehen, dass diese Emissionen nicht ins Gewicht fallen.

<sup>80</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 5-6.

<b>PM10- UND NO<sub>x</sub>-EMISSIONEN IM LTO-ZYKLUS IM LUFTVERKEHR IN DER SCHWEIZ</b>					
in Tonnen im Jahr 2010	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Heliports	Flugfelder	Total
<b>Emissionen PM10</b>					
Linien- und Charterverkehr interkontinental	5.91	0.00	-	-	<b>5.91</b>
Linien- und Charterverkehr europäisch	40.93	0.08	-	0.00	<b>41.00</b>
Helikopter	0.01	0.14	0.16	0.15	<b>0.46</b>
Business Aviation	0.21	0.15	0.00	0.03	<b>0.40</b>
Rest General Aviation	0.27	0.18	0.00	0.14	<b>0.59</b>
<b>Total</b>	<b>47.33</b>	<b>0.55</b>	<b>0.16</b>	<b>0.32</b>	<b>48.36</b>
davon durch Triebwerkemissionen	9.89	0.55	0.16	0.32	10.92
davon durch Abrieb	21.20	-	-	-	21.20
davon durch Emissionen auf dem Flugplatz	16.24	-	-	-	16.24
<b>Emissionen NO<sub>x</sub></b>					
Linien- und Charterverkehr interkontinental	250.1	0.1	-	-	<b>250.1</b>
Linien- und Charterverkehr europäisch	711.1	10.6	-	-	<b>721.6</b>
Helikopter	0.3	2.6	2.7	2.5	<b>8.1</b>
Business Aviation	13.0	5.3	0.0	0.8	<b>19.0</b>
Rest General Aviation	20.1	8.1	0.1	4.6	<b>32.9</b>
<b>Total</b>	<b>994.5</b>	<b>26.6</b>	<b>2.9</b>	<b>7.9</b>	<b>1'031.8</b>
davon durch Triebwerkemissionen	809.5	26.6	2.9	7.9	846.9
davon durch Emissionen auf dem Flugplatz	185.0	-	-	-	185.0

Tabelle 40

Beim NO<sub>x</sub> wird der Grossteil der Emissionen durch die Triebwerke verursacht (82%), während die Emissionen durch die Abfertigung auf dem Flugplatz für die verbleibenden 18% der Emissionen verantwortlich sind. Beim PM10 hingegen trägt die Abfertigung 34% zum Total bei. Dazu kommt, dass die Emissionen der Triebwerke nur etwa halb so hoch sind wie diejenigen durch Abrieb. Ein sehr ähnliches Verhältnis zwischen Motor- und Abriebemissionen wird auch im Strassenverkehr beobachtet.<sup>81</sup>

### 6.3.3. WERTGERÜST

In einem zweiten Schritt müssen diese Emissionen bewertet werden. Wie oben beschrieben wählen wir bei der Bewertung ein vereinfachtes Verfahren, indem wir direkt Kostensätze pro Tonne Schadstoff verwenden (für das eigentlich notwendige detaillierte Vorgehen siehe Kapitel 6.3.1, dieses liegt den Kostensätzen aber zugrunde). Im Rahmen der Erarbeitung der Schweizer Norm

<sup>81</sup> Im Strassenverkehr beträgt der Anteil der Motoremissionen an den gesamten Emissionen im Durchschnitt über alle Fahrzeugkategorie und alle Strassentypen 29% (Luftverkehr 34%), d.h. 71% der Emissionen sind auf den Abrieb zurückzuführen. Da in den nächsten Jahren die Motoremissionen deutlich abnehmen sollen, aber keine Abnahme beim Abrieb erwartet wird, steigt der Anteil der Abrieb-Emissionen an den gesamten Emissionen bis 2030 auf 96% (Quelle: Grundlagedaten zu NISTRA (= Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, Ecoplan 2010), die auf dem HBEFA (Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Infras 2010) beruhen).

SN 641 828 „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Externe Kosten“ wurden basierend auf Ecoplan und Infrac (2008) Kostensätze pro Tonne Schadstoff hergeleitet. Dabei enthält die Norm SN 641 828 für PM10 Kostensätze für bebautes und unbebautes Gebiet (für NO<sub>x</sub> nur einen Kostensatz). Als bebaut gilt dabei eine Strasse mit Bebauung je 50m beidseits der Strasse. Im Luftverkehr verwenden wir den Kostensatz für unbebautes Gebiet, weil es neben der Piste keine Bebauung gibt und weil die Flugzeuge beim Überflug über Wohnhäuser meist schon mehr als 50m über Boden sind. Das gewählte Verfahren entspricht dem at least Ansatz, weil der Kostensatz im unbebauten Gebiet 2.0- bzw. 3.3-mal kleiner ist als derjenige im bebauten Gebiet (für Gesundheitskosten bzw. Gebäudeschäden).<sup>82</sup>

Die in den Kostensätzen enthaltenen Kostenbestandteile werden in Kapitel 6.3.1 erläutert. Die Kostensätze aus der Norm beziehen sich auf das Jahr 2005 und müssen deshalb noch auf das Jahr 2010 hochgerechnet werden.<sup>83</sup> Wie die folgende Tabelle zeigt, betragen die Gesundheitskosten knapp 350'000 CHF pro t PM10, die Gebäudeschäden 37'000 CHF / t PM10 und die Ernteauffälle und Waldschäden 3'200 CHF / t NO<sub>x</sub> (davon entfallen je ca. 50% auf Ernteauffälle bzw. Waldschäden<sup>84</sup>). Zwischen den Kostensätzen befindet sich jeweils etwa ein Faktor 10.

<b>KOSTENSÄTZE PRO TONNE SCHADSTOFF (ZU PREISEN 2010)</b>	
Gesundheitskosten in CHF / t PM10	348'000
Gebäudeschäden in CHF / t PM10	37'000
Ernteauffälle und Waldschäden in CHF / t NO <sub>x</sub>	3'200

**Tabelle 41**

## 6.3.4. ERGEBNIS

### Externe Kosten der Luftbelastung

Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die externen Kosten durch die Luftbelastung. Es entstehen insgesamt externe Kosten in der Grössenordnung von 22 Mio. CHF. Davon werden

<sup>82</sup> PM10 führt zu lokalen und regionalen Schäden (Schäden in unmittelbarer Nähe des Emissionsortes bzw. Transport der Schadstoffe über weite Strecken). Die lokalen Schäden sind im bebauten Gebiet gut 7-mal höher als im unbebauten Gebiet. Die regionalen Schäden sind natürlich unabhängig vom Emissionsort. Da der Anteil der lokalen und regionalen Schäden bei Gesundheitskosten und Gebäudeschäden unterschiedlich hoch ist, ergibt das für den Gesamtkostensatz unterschiedliche Differenzen.

<sup>83</sup> Gemäss SN 614 828, Ziffer 22.2 und 23 ist bei den Gesundheitskosten das Nominallohnwachstum und das Bevölkerungswachstum zu berücksichtigen, bei den Gebäudeschäden der Hochbaupreisindex und die Zunahme der Gebäudefläche sowie bei den Ernteschäden und Waldschäden der Konsumentenpreisindex.

<sup>84</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 289.



77% durch Gesundheitskosten verursacht. Auf die drei Bereiche Gebäudeschäden, Ernteaufälle und Waldschäden entfallen je ungefähr 8% der Kosten.

<b>ÜBERSICHT EXTERNE KOSTEN DER LUFTBELASTUNG IM LUFTVERKEHR IM JAHR 2010</b>					
Mio. CHF	Gesundheitskosten	Gebäudeschäden	Ernteaufälle	Waldschäden	Total
Externe Kosten	16.82	1.80	1.66	1.68	<b>21.96</b>
in% des Totals	76.6%	8.2%	7.5%	7.7%	100.0%

**Tabelle 42** Nur Schäden durch Emissionen im LTO-Zyklus berücksichtigt.

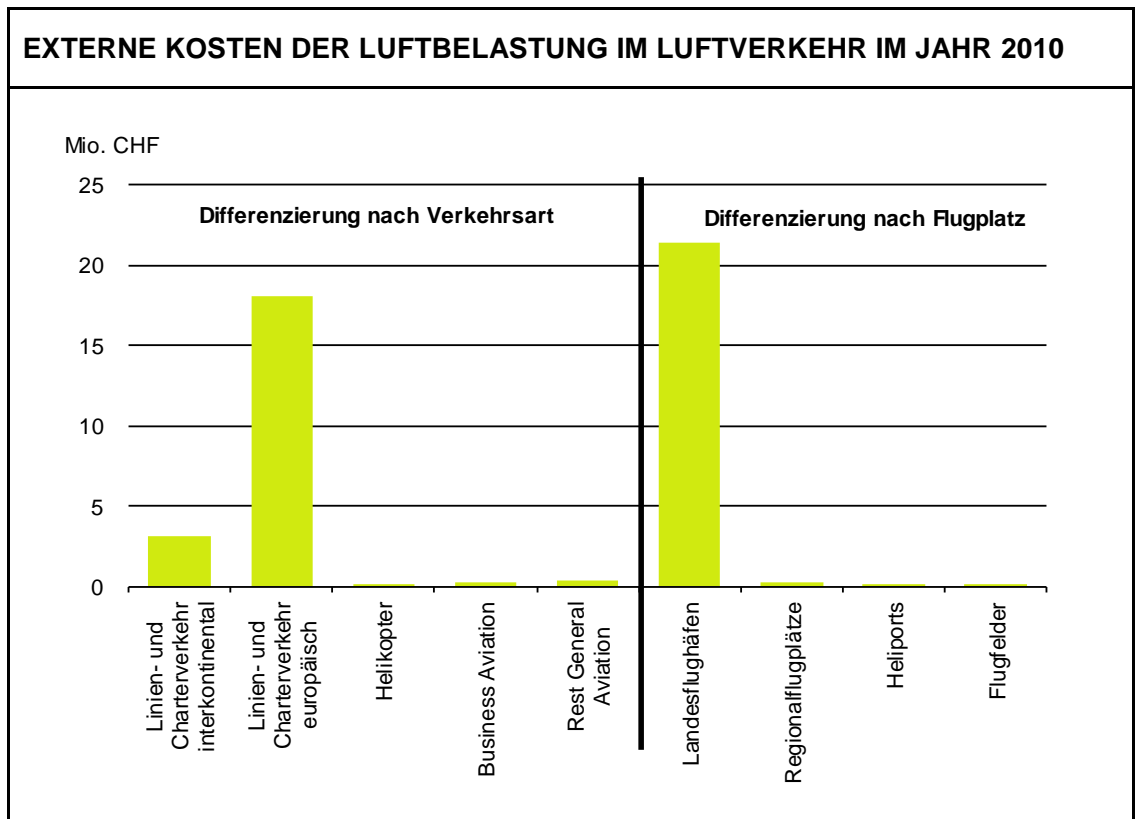
Die folgende Tabelle und Figur zeigen eine weitere Aufteilung der externen Kosten der Luftbelastung. Der Linien- und Charterverkehr ist dabei sehr dominant, denn 97% der Kosten sind auf ihn zurückzuführen (83% europäischer und 14% interkontinentaler Linien- und Charterverkehr).

Bei der Aufteilung der Schäden auf den Emissionstyp (Emissionen der Triebwerke, durch Abrieb und auf dem Flugplatz) sieht man, dass alle drei Bereiche etwa gleich viel zum Ergebnis beitragen, wobei der Abrieb, welcher auf einer Grobschätzung beruht, mit 37% etwas bedeutender ist.

Die Verteilung nach Flugplatztyp zeigt eine noch deutlichere Ungleichverteilung als die Differenzierung nach Verkehrsart: 97.6% der Kosten entfallen auf die Landesflughäfen, 1.4% auf die Regionalflugplätze und für Heliports und Flugfelder verbleiben zusammen nur 1.0%.

<b>EXTERNE KOSTEN DER LUFTBELASTUNG IM LUFTVERKEHR IM JAHR 2010</b>					
Mio. CHF	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Heliports	Flugfelder	Total
Linien- und Charterverkehr interkontinental	3.09	0.00	-	-	<b>3.09</b>
Linien- und Charterverkehr europäisch	18.06	0.06	-	0.00	<b>18.13</b>
Helikopter	0.00	0.06	0.07	0.07	<b>0.20</b>
Business Aviation	0.12	0.07	0.00	0.02	<b>0.21</b>
Rest General Aviation	0.17	0.09	0.00	0.07	<b>0.33</b>
<b>Total</b>	<b>21.45</b>	<b>0.30</b>	<b>0.07</b>	<b>0.15</b>	<b>21.96</b>
davon durch Triebwerkemissionen	6.43	0.30	0.07	0.15	<b>6.95</b>
davon durch Abrieb	8.16	-	-	-	<b>8.16</b>
davon durch Emissionen auf dem Flugplatz	6.85	-	-	-	<b>6.85</b>

**Tabelle 43** Nur Schäden durch Emissionen im LTO-Zyklus berücksichtigt.



Figur 19 Nur Schäden durch Emissionen im LTO-Zyklus berücksichtigt.

### Internalisierung der externen Kosten der Luftbelastung

Die oben dargestellten Ergebnisse umfassen die gesamten Schäden durch die Luftbelastung. Im Luftverkehr wird jedoch ein Teil dieser Kosten über emissionsabhängige Landegebühren internalisiert, also den Verursachern angelastet: Die Schweiz hat neben Schweden als erstes Land der Welt emissionsabhängige Landegebühren eingeführt (1997 Zürich, 1998 Genf, 2000 Bern, 2003 Basel). Im Jahr 2010 wechselte die Schweiz auf ein europäisch harmonisiertes Gebührenmodell. Das neue Modell berücksichtigt in erster Linie die absolute Menge der Stickoxid-Emissionen.<sup>85</sup> Mit der Einführung von Emissionsgebühren wurde vor allem das Lenkungsziel verfolgt, die spezifischen Emissionen aus dem Luftverkehr zu senken.<sup>86</sup>

Um die internalisierten Kosten – und damit auch die nicht-internalisierten externen Kosten – abschätzen zu können, wurde bei den Landesflughäfen die Einnahmen aus den emissionsabhän-

<sup>85</sup> BAZL (2010), Schadstoffabhängige Landegebühren.

<sup>86</sup> Die emissionsabhängigen Landegebühren werden nur wegen der Luftschadstoffe erhoben (nicht wegen CO<sub>2</sub> – telefonische Auskunft des BAZL).

gigen Landegebühren erfasst.<sup>87</sup> Es wurden insgesamt Einnahmen von 3.70 Mio. CHF erzielt.<sup>88</sup> Diese Einnahmen fliessen in die allgemeine Flughafenrechnung (und werden nicht wie beim Lärm direkt zur Reduktion der Umweltbelastung eingesetzt).

Die **nicht-internalisierten externen Kosten** betragen somit etwa **18 Mio. CHF**. Falls das Ziel der Internalisierung der externen Kosten verfolgt wird, so zeigen die nicht-internalisierten externen Kosten den **politischen Handlungsbedarf** auf.<sup>89</sup>

### Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr

Um die Kosten auf den Personen- und Güterverkehr aufzuteilen, wird wie folgt vorgegangen:

- › Im Linien- und Charterverkehr erfolgt die Aufteilung nach dem transportierten Gewicht, da der Treibstoffverbrauch vor allem vom Gewicht abhängt. Die Aufteilung nach dem Gewicht erfolgt genau gleich wie bei den Unfällen (vgl. Kapitel 6.2.4). Es wird also ebenfalls damit gerechnet, dass 90.8% der Kosten dem Personenverkehr zuzuschreiben sind und 9.2% dem Güterverkehr.
- › Bei den Helikoptern wird dieselbe Aufteilung verwendet wie bei den Unfällen (Anteil Personenverkehr 56%, Güterverkehr 44%).
- › Für die General Aviation wird wie bei den Unfällen angenommen, dass der Personenverkehr die gesamten Kosten verursacht.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Aufteilung. Der Personenverkehr verursacht 91% der externen Kosten, d.h. 20 Mio. CHF. Der Güterverkehr trägt somit 2 Mio. CHF.

<sup>87</sup> Gemäss BAZL haben nur die Regionalflugplätze Bern und Lugano emissionsabhängigen Landegebühren. Von Bern haben wir jedoch keine Daten erhalten. Lugano meldete Einnahmen von 0.03 Mio. CHF, die in dem Wertoben enthalten sind.

<sup>88</sup> In Zürich 2.93 Mio. CHF, in Genf 0.75 Mio. CHF (Daten 2009). In Basel werden die Landegebühren nach den Emissionen differenziert (Bonus-Malus-System). Nach Auskunft des Flughafens ist das System aufkommensneutral (Bonus = Malus).

<sup>89</sup> Es stellt sich auch die Frage, wie die „externen Kosten“ genau zu definieren sind. Sind es die Kosten, die von Dritten getragen werden, so sind es hier 22 Mio. CHF. Werden hingegen die Kosten, die nicht vom Verursacher getragen werden, als externe Kosten bezeichnet, so sind es 18 Mio. CHF. Üblicherweise geht es bei der Berechnung der externen Kosten darum, das Ausmass des Problems der Umweltbelastung zu ermitteln und damit um die erste Definition. So werden auch im Strassenverkehr die Einnahmen der LSVA nicht von den ausgewiesenen externen Kosten abgezogen. Deshalb wird auch hier die erste Definition verwendet. Es ist jedoch zu betonen, dass die zweite Definition bzw. die nicht-internalisierten externen Kosten die relevante Zahl darstellen, um den politischen Handlungsbedarf abschätzen zu können. Im Rahmen der Transportrechnung werden die Internalisierungsbeiträge auf der Einnahmenseite berücksichtigt.

**AUFTEILUNG DER KOSTEN DER LUFTBELASTUNG AUF DEN PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR**

Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Linien- und Charterverkehr	19.27	1.95	<b>21.22</b>
Helikopter	0.11	0.09	<b>0.20</b>
General Aviation	0.55	-	<b>0.55</b>
<b>Total</b>	<b>19.93</b>	<b>2.03</b>	<b>21.96</b>
Anteil	90.7%	9.3%	100.0%

**Tabelle 44** Nur Schäden durch Emissionen im LTO-Zyklus berücksichtigt.

### 6.3.5. SENSITIVITÄTSANALYSE

#### Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Auch für die Kosten der Luftverschmutzung werden die Auswirkungen der mit verschiedenen Unsicherheiten verbundenen Berechnungsschritte auf das Kostenergebnis mit einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Die in der Sensitivitätsanalyse berücksichtigten Unsicherheiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt und können wie folgt kommentiert werden:

#### Emissionen

- › **Emissionen Treibwerk:** Die Berechnungen beim PM10 sind mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet, die von den Experten des BAZL auf +30% und –100% geschätzt werden (vgl. auch Bemerkungen zum sekundären PM10 unten, was die Unsicherheiten weiter erhöht). Beim NO<sub>x</sub>, dem im Flugverkehr bisher mehr Aufmerksamkeit geschenkt wurde, sind die Unsicherheiten deutlich geringer (±10%, vgl. Kapitel 6.3.2).
- › **Emissionen auf dem Flugplatz:** Wie in Kapitel 6.3.2 beschrieben werden die Emissionen auf den drei Landesflughäfen erhoben. Die Genauigkeit der Angaben ist je nach Flughafen unterschiedlich hoch. Der gewichtete Durchschnitt der Genauigkeit beträgt ±33% für PM10 bzw. ±9% für NO<sub>x</sub>.

## ÜBERSICHT ÜBER INPUTDATEN, ANNAHMEN UND UNSICHERHEITEN BEI DER LUFTBELASTUNG

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite (PM10 ; NOx)
<b>Emissionen</b>			
Emissionen Triebwerk	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	+30%/-100%   $\pm 10\%$
Emissionen auf dem Flughafen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 33\%$   $\pm 9\%$
<b>Wertgerüst</b>			
Kostensatz Gesundheitskosten Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-52% / +117%
Kostensatz Gebäudeschäden Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-38% / +43%
Kostensatz Ernteauffälle und Waldschäden Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-33% / +40%

Tabelle 45

### Wertgerüst

- › **Kostensatz Gesundheitskosten:** Der Kostensatz für die Gesundheitskosten basiert auf den Ergebnissen von Ecoplan und Infrac (2008, Kapitel 5). Dort wurde eine detaillierte Monte-Carlo-Simulation für alle quantifizierbaren Unsicherheiten in der Berechnung durchgeführt. Das Resultat dieser Simulation zeigt, dass die gesamten Gesundheitskosten im Strassenverkehr und damit auch der hier verwendete Kostensatz auch 52% tiefer oder 117% höher sein könnte.<sup>90</sup> Hauptgrund für diese grosse Schwankungsbreite sind die immateriellen Kosten für verlorene Lebensjahre, die wie bei den Unfällen (vgl. Kapitel 6.2.5) allein eine Schwankungsbreite von -50% / +100% haben. Daneben sind auch die immateriellen Kosten der Krankheitsfälle sehr unsicher ( $\pm 50\%$ ). Auch die Belastungs-Wirkungsbeziehungen für die 7 Krankheitsbilder sind teilweise sehr unsicher (bis zu -100% / +196%, die wichtigste Belastungs-Wirkungs-Beziehung für verlorene Lebensjahre schwankt um  $\pm 47\%$ ). Die Umwandlung der Emissionen in Immissionen ist zudem von einer Unsicherheit von  $\pm 18\%$  betroffen.<sup>91</sup>
- › **Kostensatz Gebäudeschäden:** Auch für den Kostensatz für die Gebäudeschäden wurde von Ecoplan und Infrac (2008, S. 180-183) eine detaillierte Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Diese zeigt, dass die Gebäudeschäden im Strassenverkehr auch um 38% unterschritten oder um 43% überschritten werden könnten. Dabei schwanken die verwendeten Bau- und Reinigungskosten um je  $\pm 25\%$ , die Immissionen wie bei den Gesundheitskosten um  $\pm 18\%$  und die zusätzlich zu reinigenden Fassadenflächen um  $\pm 100\%$ .

<sup>90</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 165-167.

<sup>91</sup> Dies gehört streng genommen nicht zum Wertgerüst, sondern zum Mengengerüst. Der Einfachheit halber wird diese Unsicherheit hier jedoch beim Wertgerüst berücksichtigt.

› **Kostensatz Ernteaufälle und Waldschäden:** Für die Ernteaufälle und Waldschäden beläuft sich die Unsicherheit in der Monte-Carlo-Simulation auf –33% und +40%.<sup>92</sup> Dabei schwanken die Ernteaufälle um –29% und +32%, vor allem aufgrund der Unsicherheiten bei den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen. Die Waldschäden könnten auch um 37% tiefer oder um 48% höher ausfallen, was ebenfalls vor allem auf die Unsicherheiten bei den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zurückzuführen ist.

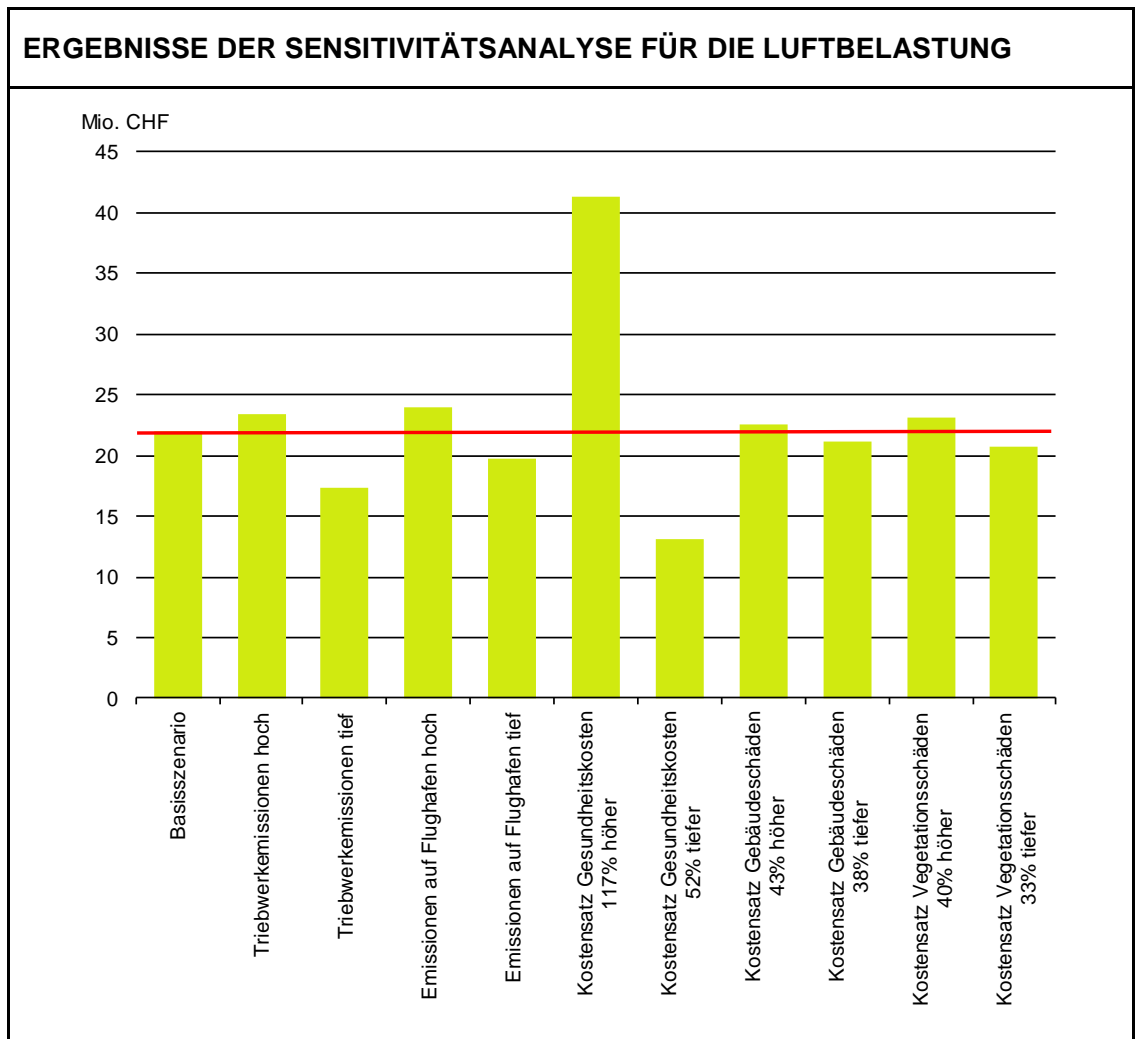
### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden in der folgenden Tabelle und Figur dargestellt. Den grössten Einfluss auf das Ergebnis hat der Kostensatz der Gesundheitskosten, weil hier einerseits eine sehr grosse Unsicherheit besteht (–52% / +117%) und weil andererseits die Gesundheitskosten rund drei Viertel der Kosten ausmachen. Das Ergebnis für die externen Kosten schwankt dadurch um –40% und +90% zwischen 13 und 41 Mio. CHF. Da die Bestimmung der Triebwerksemissionen ebenfalls relativ unsicher ist (insbesondere beim PM10), schwanken die externen Kosten aus diesem Grund ebenfalls relativ stark (–20% und +7%). Die übrigen Unsicherheiten führen zu relativ geringen Abweichungen von weniger als ±10%.

ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄTSANALYSE FÜR DIE LUFTBELASTUNG			
in Mio. CHF	Externe Kosten	Differenz zum Basisszenario	Differenz in%
<b>Basisszenario</b>	<b>21.96</b>	<b>-</b>	<b>0.0%</b>
Triebwerkemissionen hoch	23.50	1.54	7.0%
Triebwerkemissionen tief	17.49	-4.48	-20.4%
Emissionen auf Flughafen hoch	24.08	2.11	9.6%
Emissionen auf Flughafen tief	19.85	-2.11	-9.6%
Kostensatz Gesundheitskosten 117% höher	41.64	19.68	89.6%
Kostensatz Gesundheitskosten 52% tiefer	13.22	-8.75	-39.8%
Kostensatz Gebäudeschäden 43% höher	22.74	0.78	3.5%
Kostensatz Gebäudeschäden 38% tiefer	21.28	-0.69	-3.1%
Kostensatz Vegetationsschäden 40% höher	23.30	1.34	6.1%
Kostensatz Vegetationsschäden 33% tiefer	20.86	-1.10	-5.0%

Tabelle 46

<sup>92</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S.228-230 und 243-245, wobei die Schwankungsbreiten der Ernteaufälle und Waldschäden mit Ihrem Ergebnis (in Mio. CHF) gewichtet wurden.



Figur 20

### Zusätzliche Unter-oder Überschätzungen

Die Kosten der Luftverschmutzung wurden nach dem at least Ansatz bestimmt. Entsprechend wurden viele Annahmen getroffen, die tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten führen. Gesamthaft ist also davon auszugehen, dass die tatsächlichen **Kosten der Luftverschmutzung deutlich höher liegen dürften als hier ausgewiesen**. Dies gilt nicht nur für die Basisrechnung, sondern auch für die Intervalle der Sensitivitätsanalyse. Dies kann wie folgt begründet werden:

### Mengengerüst

- › **Emissionen in grosser Höhe (über 900m)** werden in den Berechnungen **vernachlässigt**, weil davon ausgegangen wird, dass diese Emissionen nicht auf die Erde zurückkommen. Wie in

Kapitel 6.3.1 gezeigt, gibt es jedoch erste Forschungsergebnisse, die dies bestreiten. Sind diese Forschungsergebnisse korrekt, dürften sich die Gesundheitskosten der Luftbelastung etwa **verdreifachen**.<sup>93</sup> Dies ist insofern nicht überraschend als der Grossteil der Emissionen im Flugverkehr in grosser Höhe ausgestossen wird. Da es jedoch noch keinen wissenschaftlichen Konsens über die Auswirkungen der Emissionen in grosser Höhe gibt, werden diese Kosten gemäss dem at least Ansatz nicht berücksichtigt.

- › Wie in Kapitel 6.3.2 beschrieben, werden bei den Triebwerkemissionen nur die Emissionen bis zu einer Abbruchhöhe von 300m berücksichtigt. Die Schäden die durch **Emissionen zwischen 300m und 900m** über Boden entstehen, sind also ebenfalls **nicht enthalten**.
- › Die Grobschätzung der **Emissionen im Abrieb** beruht auf sehr wenigen Unterlagen. Deshalb ist es nicht möglich, die relativ grosse Unsicherheit dieser Emissionen zu beziffern.<sup>94</sup>

#### Wertgerüst allgemein

- › Die verwendeten Kostensätze wurden für den Strassenverkehr hergeleitet. Sie basieren damit auf den speziellen Charakteristiken des Strassenverkehrs (z.B. Emissionsort). Zudem wurde beim PM10 ein komplexes Verfahren angewendet, um den Kostensatz nach Emissionsort zu differenzieren (bebautes und unbebautes Gebiet). Die Ungenauigkeit aus der **Übertragung dieser Kostensätze aus dem Strassenverkehr auf den Luftverkehr** ist nicht bekannt.
- › **Berücksichtigung des sekundären PM10:** Es ist zu beachten, dass PM10 sich aus primärem und sekundärem PM10 zusammensetzt. Primäres PM10 wird direkt als PM10 ausgestossen. Sekundäres PM10 bildet sich erst in der Luft durch die Reaktion zwischen den Vorläufersubstanzen Stickoxide NO<sub>x</sub>, Ammoniak NH<sub>3</sub>, Schwefeldioxid SO<sub>2</sub> und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe NMVOC.<sup>95</sup> Die ganzen Berechnungen beruhen auf Emissionen von primärem PM10 sowie auf Kostensätzen pro Tonne primäres PM10. Damit dieses Vorgehen stimmt, muss der Anteil des sekundären PM10 am gesamten PM10 im Strassen- und Luftverkehr gleich sein. Dies trifft aber nicht zwingend zu.<sup>96</sup> Eine wissenschaftlich fundierte Quantifizierung dieser Unsicherheit ist nicht möglich.

<sup>93</sup> Es gibt keine Berechnungen für Gebäudeschäden, Ernteauffälle und Waldschäden, die gesamten Kosten der Luftbelastung würden sich aber nur durch die Zunahme der Gesundheitskosten knapp verdreifachen.

<sup>94</sup> Eine Abweichung der Abriebemissionen von der getroffenen Annahme um X%, führt zu einer Veränderung des Gesamtergebnisses um X\*0.37%.

<sup>95</sup> Ecoplan (2007), Externe Kosten im Strassenverkehr, S. 41.

<sup>96</sup> Im Strassenverkehr sind 40.3% der PM10-Immissionen (Bevölkerungsexposition) durch sekundäres PM10 verursacht (Ecoplan 2007, Externe Kosten im Strassenverkehr, S. 42), bei der gesamten Luftbelastung sind es 45.1% (BUWAL(2003, Modelling of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010, S. 66).



### Gesundheitskosten<sup>97</sup>

- › Im Bereich der **Abschätzung der Gesundheitsfolgen** der Luftverschmutzung führen folgende Punkte zu einer Unterschätzung:
  - › Es werden nur die gesundheitlichen Auswirkungen durch den Leitschadstoff PM10 berücksichtigt. Gesundheitseffekte durch Schadstoffe, die unabhängig von PM10 auftreten, wie z.B. **Ozon**, werden vernachlässigt. Dies führt zu einer Unterschätzung der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten in der Grössenordnung von ca. 10%.
  - › Es gibt Hinweise, dass die **Emissionen des Verkehrs toxischer** sein könnten als andere Emissionen. Für die Berechnung werden jedoch alle Emissionen im gleichen ungewichteten Ausmass berücksichtigt. Damit werden die Kosten des Verkehrs tendenziell unterschätzt.
  - › **Verschiedene Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Luftschadstoffbelastung werden nicht berücksichtigt.** Dazu gehören zum Beispiel Asthmaanfälle bei Kindern, Hausarztkonsultationen, Medikamentenverordnungen wegen Atemwegs- und Herz- / Kreislauferkrankungen, Selbstmedikation, Vermeidungsverhalten sowie akute und chronische physiologische Veränderungen (z.B. der Lungenfunktion). Diese Effekte sind entweder ökonomisch nicht in Geldeinheiten quantifizierbar, da die nötigen Grundlagendaten in der Schweiz fehlen, oder es fehlen die epidemiologischen Grundlagen.
  - › Effekte der Luftbelastung werden nur für diejenigen Altersgruppen berechnet, zu denen epidemiologische Untersuchungen bzw. Studienresultate vorliegen. Beispielsweise ist die **Mortalität der Ein- bis 29-Jährigen nicht berücksichtigt**, da diese Altersgruppe bisher nicht in Langzeitstudien untersucht wurde (würde der Effektschätzer der über 30-Jährigen auch für die 1-29-Jährigen verwendet, würde sich die Zahl der verlorenen Lebensjahre um 3% erhöhen).
  - › Die Abschätzung der Auswirkungen der Luftbelastung auf die **Morbidität** umfasst in den meisten Fällen **nur Kurzzeiteffekte**. Langzeitwirkungen können selten quantifiziert werden, obwohl sie aus medizinischer Sicht als wahrscheinlich zu taxieren sind. Bei der Mortalität sind die Langzeitwirkungen etwa 10-mal grösser als die akuten Effekte. Auch bei den Krankheitsbildern wären also deutlich höhere Kosten denkbar.
- › Im Bereich der **Bewertung der Gesundheitsfolgen** der Luftverschmutzung wird die Unterschätzung durch folgende Punkte verschärft (die verwendeten Kostensätze pro Tonne Schadstoff beruhen auf einer Vielzahl von detaillierten Kostensätzen):<sup>98</sup>

<sup>97</sup> Der folgende Text basiert auf Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

<sup>98</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 170.

- › Die **Anpassung des VOSL** (value of statistical life) **an den Risikokontext** könnte im Bereich Luftverschmutzung zu einem doppelt (oder sogar dreimal) so hohen Kostensatz führen.<sup>99</sup> Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen aber zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus. Auch in EU-Forschungsprojekten zu diesem Thema (z.B. HEATCO und IMPACT<sup>100</sup>) wird auf eine Anpassung verzichtet.
- › Die **administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht miteinbezogen, dürften aber weniger als 0.5% der Kosten ausmachen.
- › Auch die **Vermeidungskosten** werden vernachlässigt, dürften aber ebenfalls klein sein.
- › Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet.

### Gebäudeschäden

- › **Schäden an Bau- und Kulturdenkmälern** wie beispielsweise Kirchen, Standbilder oder historische Brunnen werden aus der Analyse **ausgeschlossen**, insbesondere aufgrund der Schwierigkeiten bei der Bestimmung des immateriellen Werts dieser Gebäude und Installationen. Die teilweise mit hohen Kosten verbundenen Restaurierungen dieser Gebäude sind nicht in den Berechnungen enthalten.
- › Zusätzliche **Fensterreinigungsarbeiten an Ein- und Mehrfamilienhäusern** bleiben **unberücksichtigt**, da nur die Reinigungskosten bei kommerziell bewirtschafteten Gebäuden berücksichtigt werden. Da die Fensterflächen an Ein- und Mehrfamilienhäusern ca. 2/3 der gesamtschweizerischen Fensterflächen ausmachen, stellen die berechneten Reinigungskosten die absolute Untergrenze der erwarteten Werte dar. Würden vergleichbare Reinigungsintervalle und -kosten unterstellt, würden sich die gesamten Gebäudeschäden um gut einen Drittel erhöhen bzw. die gesamten Kosten der Luftbelastung um knapp 3%.

### Ernteauffälle und Waldschäden

Wie in den Vorgängerstudie müssen die folgenden **Effekte vernachlässigt** werden wie z.B. der Einfluss des Ozons auf Weiden und Grasland (Mindererträge bei Milch- und Fleischproduktion), der direkte Einfluss der Stickstoffemissionen und der Bodenversauerung auf die Nutzpflanzen sowie die Kosten zusätzlicher Naturgefahren infolge geschädigter Wälder.

<sup>99</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 82-83.

<sup>100</sup> Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines und IMPACT (2008), Handbook on the estimation of the external costs of transport.

## 6.4. LÄRM

### 6.4.1. VORGEHEN

Im Folgenden sollen die **Lärmkosten des zivilen Luftverkehrs in der Schweiz im Jahr 2010** ermittelt werden. Dabei wird der Lärm von Militärflugzeugen ausgeklammert.<sup>101</sup> Die Basis für die Berechnungen bilden neue Erhebungen zur Lärmbelastung durch den zivilen Luftverkehr sowie die Berechnungen von Ecoplan und Infrac (2008)<sup>102</sup> für den Strassen- und Schienenverkehr.

Da es im Flugverkehr nur bei Start und Landung zu relevanten Lärmbelastungen kommt, sind die Ergebnisse nach dem **Territorial- und dem Abflugprinzip identisch**. Bei beiden Prinzipien werden alle Lärmkosten in der Schweiz ermittelt, die sich im Rahmen des LTO-Zyklus ergeben. Die Beschränkung auf die Lärmkosten in der Schweiz führt aber vor allem in Basel zu Problemen, weil der **Lärm im Ausland vernachlässigt** wird. In Basel ist nur ein kleiner Teil des Fluglärms auf Schweizer Territorium hörbar. Sollen Kostensätze pro LTO oder pro pkm gebildet werden, sollte der Flughafen Basel deshalb ausgeschieden werden.

#### **Berücksichtigte und vernachlässigte Kostenkomponenten**

Die Ermittlung der Lärmkosten beschränkt sich wie im Strassen- und Schienenverkehr auf

- › die **Wohnnutzung** bzw. auf verminderte Mietzinsen, da belärmte Wohnungen auf dem Wohnungsmarkt weniger gefragt sind als vergleichbare Wohnungen an ruhiger Lage, und
- › die **menschliche Gesundheit**, denn die Lärmbelastung kann zu körperlichen und psychischen Störungen führen und die Gesundheit schädigen.

Diese beiden Kostenbestandteile werden beide am Wohnort ermittelt.

**Weitere Komponenten der Lärmkosten werden nicht erfasst:**<sup>103</sup>

- › Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten<sup>104</sup>
- › Auswirkungen des Lärms am Arbeitsplatz und in der Schule (Beeinträchtigung der Lebensqualität, Produktionsausfälle durch verminderte Leistungsfähigkeit des Personals, Lernschwierigkeiten bei Kindern<sup>105</sup>)

<sup>101</sup> Im Strassenverkehr beruhen die Daten aus SonBase auf dem Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM). Dieses beruht auf Zählraten an Strassen, bei denen die Militärfahrzeuge mit enthalten sind.

<sup>102</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 4.

<sup>103</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 112.

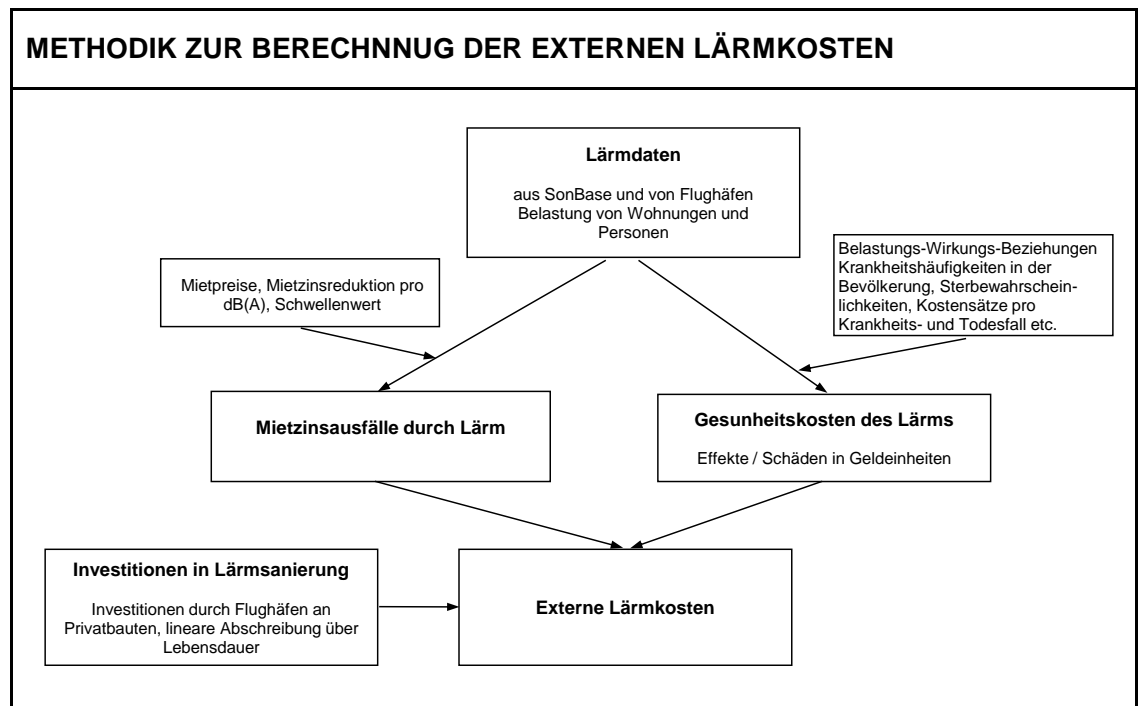
<sup>104</sup> INFRAS (2006), Luftfahrt und Nachhaltigkeit – Bestandesaufnahme, Perspektiven, Handlungsspielraum, S. 39.

<sup>105</sup> Basierend auf aktuellen Ergebnissen der WHO (2011, Burden of disease from environmental noise) wurde berechnet, dass die Kosten von Lernschwierigkeiten bei Kindern in den Grössenordnung von insgesamt 3 Mio. CHF liegen könnten (Ecoplan 2011, Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit und Ecoplan 2011, Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten).

- › Auswirkungen des Lärms auf dem Flugplatz
- › Vermeidungskosten bzw. Lärmfluchtkosten (z.B. Freizeitaufenthalt in wenig belärmten Gebieten, Wechsel des Wohnorts usw.)<sup>106</sup>
- › Umsatzausfälle in Freizeit und Tourismus wegen Attraktivitätsverlust
- › Nutzeneinbussen durch Fluglärm auf die Fauna.<sup>107</sup>
- › Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von belärmten Grundstücken in der Raumplanung, sowie auch Auswirkungen auf nicht überbautes Bauland (sogenanntes Bauerwartungsland) – andererseits können in Gebieten um wichtige Flughäfen aufgrund der Nähe zum Flughafen die Bodenpreise auch steigen.

### Berechnungsmethodik

Für die Ermittlung der Lärmkosten wird das folgende methodische Vorgehen gewählt (vgl. auch folgende Figur):



Figur 21

<sup>106</sup> Zuverlässige Schätzungen zu diesen Kosten gibt es bisher kaum. Allgemein besteht aber die Ansicht, dass sie eher von untergeordneter Bedeutung sind.

<sup>107</sup> INFRAS (2006), Luftfahrt und Nachhaltigkeit – Bestandesaufnahme, Perspektiven, Handlungsspielraum, S. 40-41.

- › Grundlage für die Monetarisierung ist eine detaillierte Untersuchung der Lärmbelastung durch den Flugverkehr im Jahr 2010 in der Schweiz. Dazu wird einerseits auf Daten der Flughäfen Zürich und Genf abgestellt und andererseits das Lärmmodell des Bundes (SonBase) speziell für diese Projekt ausgewertet.
- › Ausgehend von der Anzahl belärmter Wohnungen sind in einem zweiten Schritt die lärmbedingten Mietzinsausfälle zu ermitteln. Dazu muss einerseits der Zusammenhang zwischen dem Mietzinsniveau und der Lärmbelastung und andererseits das durchschnittliche Mietzinsniveau festgelegt werden.
- › Die Lärmbelastung führt zu zusätzlichen Gesundheitsschäden, insbesondere zu ischämischen Herzkrankheiten und zu Bluthochdruck bedingten Krankheiten.<sup>108</sup> Aus dem Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden (sogenannte Belastungs-Wirkungs-Beziehung oder dose-response-function) werden die lärmbedingten Krankheits- und Todesfälle berechnet. Diese werden schliesslich in Geldeinheiten umgerechnet, indem wie bei der Luftbelastung folgende Kostenbestandteile berücksichtigt werden:
  - › **Medizinische Behandlungskosten:** Darunter sind sowohl die Kosten der stationären und teilstationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente etc.) zu verstehen.
  - › **Produktionsausfall:** Die durch den Lärm beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.
  - › **Wiederbesetzungskosten:** Nach Todesfällen von Erwerbstätigen müssen deren Stellen neu besetzt werden.
  - › **Immaterielle Kosten:** Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person.
- › Wie bei der Luftbelastung wird hier ein verkürztes Verfahren verwendet, indem die Krankheits- und Todesfälle nicht explizit bestimmt werden, sondern direkt ein Kostensatz pro dB(A) ab einem bestimmten Lärmniveau verwendet wird, der aus den Berechnungen aus dem Strassenverkehr abgeleitet wurde.
- › Analog zum Vorgehen bei der Luftbelastung werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2005 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.).

<sup>108</sup> Durch die gleichzeitige Berücksichtigung von Mietzinsausfällen und Gesundheitsschäden entsteht keine Doppelzählung, da bei den Gesundheitsschäden Schlaf- und Kommunikationsstörungen nicht miteinbezogen werden (Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 6-7).

- › Die Mietzinsausfälle und die Gesundheitskosten werden schliesslich zusammengezählt. Dabei müssen aber noch die von den Flughäfen Zürich und Genf getätigten Lärmsanierungskosten abgezogen werden. Dabei handelt sich vor allem um Schallschutzfenster. Da die bisherigen Berechnungen der Lärmkosten auf dem Lärm an der Aussenfassade beruhen,<sup>109</sup> ist der positive Effekt der Lärmschutzfenster in den berechneten Kosten nicht enthalten. Dazu werden die Kosten der Investitionen auf ihre Lebensdauer aufgeteilt und von den Lärmkosten abgezogen.

### Nachtlärm

Während die Mietzinsausfälle und die ischämischen Herzkrankheiten über den Tageslärm bestimmt werden, basieren die Bluthochdruck bedingten Krankheiten auf dem Nachtlärm. Der zur Verfügung stehende Kostensatz aus dem Strassen und Schienenverkehr basiert auf dem durchschnittlichen Nachtlärm (**8-Stunden-Mittelwert** von 22 bis 6 Uhr).

In der Schweiz besteht auf Flugplätzen grundsätzlich ein Nachtflugverbot nach 22 Uhr. Bei Landesflughäfen und Regionalflughäfen mit Linienverkehr gibt es flugplanmässigen Verkehr bis 23 oder 24 Uhr. Der grösste Teil dieses Nachtverkehrs findet in der ersten Nachtstunde statt. Im Flugverkehr ist deshalb vor allem die erste Nachtstunde (22-23 Uhr) von Bedeutung, so dass auch die Lärmschutzverordnung Vorgaben für die erste Nachtstunde enthält. Entsprechend sollte eigentlich ein Kostensatz für die erste Nachtstunde verwendet werden. Dies ist aber im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da keine neuen epidemiologischen Auswertungen vorgenommen werden können, um diesen Kostensatz zu ermitteln. Da es hingegen möglich ist, den 8-Stunden-Durchschnitt des Nachtlärms zu berechnen, wird als Hilfskonstruktion damit und mit dem entsprechenden, vorhandenen Kostensatz gearbeitet. Das Vorgehen der Berechnung ist analog zu den Lärmkostenrechnungen für den Strassen- und Schienenverkehr.

## 6.4.2. MENGENGERÜST

### Datengrundlagen

Die Lärmbelastung durch die Zivilluftfahrt auf allen Flugplätzen durch alle Flugbewegungen wird in umfangreichen Arbeiten für dieses Projekt neu erhoben. Die Flughäfen Zürich und Genf sind bzgl. des Lärms in der Schweiz die wichtigsten Flughäfen, da nur bei diesen beiden Flughäfen Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes auftreten. Deshalb führen die Flughäfen Zürich und Genf eigene Lärmberechnungen durch, welche auch in diesem Projekt verwendet wer-

<sup>109</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 17.

den. Für alle anderen Flugplätze (inkl. Basel) und Flugfelder wird das Lärmmodell SonBase des Bundes verwendet, das für dieses Projekt speziell durch die Firma LCC ausgewertet wurde,<sup>110</sup> um den militärischen Lärm ausschliessen und die gewünschten Differenzierungen herleiten zu können.<sup>111</sup> Die folgenden Flughäfen konnten in die Berechnung miteinbezogen werden:

- › **3 Landesflughäfen:** Zürich, Genf, Basel-Mulhouse
- › **10 Regionalflugplätze:** Bern-Belp, Birrfeld, Ecuwillens, Grenchen, La Chaux-de-Fonds-Les Eplatures, Lausanne-La Blécherette, Lugano-Agno, Samedan, Sion, St.Gallen-Altenrhein
- › **36 Flugfelder:** Ambri, Amlikon, Bad Ragaz, Bex, Biel-Kappelen, Buochs, Buttwil, Courtelary, Dittingen, Fricktal-Schupfart, Gruyères, Hasenstrick, Hausen a.A., Kägiswil, La Côte, Langenthal, Locarno, Lommis, Luzern-Beromünster, Mollis, Montricher, Môtiers, Neuchâtel, Raron (Ehem. Milflug), Reichenbach, Saanen, Schaffhausen, Schänis, Sitterdorf, Speck-Fehraltorf, St.Stephan, Thun, Triengen, Wangen-Lachen, Yverdon, Zweisimmen

Auf eine Berechnung des Lärms von **Heliports** muss **verzichtet** werden, weil bei den Heliports nur Angaben zum maximalen Lärmniveau ( $L_{\max}$ ) vorliegen, welches aufgrund der Lärmschutzverordnung bei Heliports relevant ist. Daten zum durchschnittlichen Lärm, wie sie hier für die Berechnung der externen Kosten benötigt werden, sind jedoch nicht verfügbar.

Ausser bei den Landesflughäfen wird die Lärmbelastung der Flugplätze auf der Basis des **Lärmmodells SonBase** bestimmt, welches im Auftrag des BAFU erstellt wurde. Die Grundlage von SonBase bilden die Isophone der Zivilflugplätze des BAZL<sup>112</sup> (die Militärflugplätze werden hier nicht berücksichtigt, sind aber in SonBase und den bisherigen Publikationen aus SonBase enthalten).<sup>113</sup> Isophone sind durch Berechnungen bestimmte Kurven gleicher Lautstärke.<sup>114</sup> Die Isophone werden dann mit den Bevölkerungs- und Wohnungszahlen überlagert und ausgewertet. Die Datengrundlagen des BAZL stammen je nach Flugplatz / Flugfeld aus den Jahre 1985 bis 2005 und wurden teilweise als Prognosen erstellt, die bis ins Jahr 2010 reichen (die Lärmdaten von Zürich und Genf stammen beide aus dem Jahr 2010). Die Lärmdaten gemäss SonBase führen eher zu einer Überschätzung, es handelt sich aber um die besten verfügbaren Daten.

Beim Nachtlärm benutzen wir einen durchschnittlichen Lärmpegel über 8 Stunden (22-6 Uhr). Wird der Durchschnitt der ersten Nachtstunde (22-23 Uhr), in der meist noch Flugzeuge verkehren, in einen 8-Stunden-Durchschnitt für die ganz Nacht umgerechnet, so reduziert sich

<sup>110</sup> LCC (2011), Zivilfluglärm in der Schweiz.

<sup>111</sup> Für Flugplätze mit gemischter Benutzung bestehen auch Lärmkarten nur für den zivilen Flugverkehrslärm.

<sup>112</sup> Die Fluglärmdaten in Son Base sollen 2012 überarbeitet / aktualisiert werden.

<sup>113</sup> BAFU (2009), SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz, S. 21

<sup>114</sup> Die 55dB(A)-Isophone ist die Linie auf einer Landkarte, auf welcher der Lärmpegel 55 dB(A) beträgt. Innerhalb der Isophone ist der Lärm höher, ausserhalb tiefer.

das Lärmniveau um 9.03 dB(A), wenn zwischen 23 und 6 Uhr kein Lärm emittiert wird. In Basel ist auf Schweizer Territorium deshalb der Nachtlärm unter 50 dB(A), d.h. nicht mehr relevant. Auf den Regionalflugplätzen und den Flugfeldern ist ohnehin kein Nachtlärm zu verzeichnen, so dass beim Nachtlärm nur die Flughäfen Zürich und Genf relevant sind.<sup>115</sup>

Schliesslich müssen die uns gelieferten Daten noch auf 2010 hochgerechnet werden, da sie teilweise auf Datengrundlagen anderer Jahre beruhen:

- › SonBase beruht bzgl. Daten zur Bevölkerung und zu den Wohnungen auf dem Jahr 2000 (Volkszählung 2000). Die Aktualisierung der Daten aus SonBase vom Jahr 2000 auf das Jahr 2010 geschieht bei den belärmten Wohnungen nach dem Wachstum der Zahl der Wohnungen und bei den belärmten Personen nach dem Bevölkerungswachstum. Dieselbe Aktualisierungsmethode wurde bereits im Strassen- und Schienenverkehr verwendet.
- › Auch beim Flughafen Zürich stammen die Wohnungsdaten und die Daten der Personen im Kanton Aargau aus dem Jahr 2000. Bei den Personen im Kanton Zürich verwendet der Flughafen hingegen aktuellere Daten des Kantons aus dem Jahr 2009.
- › In Genf stammen alle Daten von Ende 2010 und müssen noch auf Mitte 2010 umgerechnet werden.

Bei der Hochrechnung der Personen werden kantonsspezifische Daten verwendet (für die Kantone Zürich, Aargau, Genf, Baselland), die Daten der Regionalflugplätze und der Flugfelder werden mit dem Schweizer Durchschnitt hochgerechnet. Bei den Wohnungen sind keine kantonsspezifischen Daten verfügbar, so dass mit dem Schweizer Durchschnitt gerechnet wird.

### **Lärmbelastung durch den Luftverkehr**

Im Folgenden werden die ermittelten Lärmbelastungen durch den Flugverkehr dargestellt. Die Flughäfen Zürich und Genf haben dabei ihre Lärmmodelle nach 1 dB(A)-Lärmklassen ausgewertet, während in SonBase nur mit 5 dB(A)-Lärmklassen gerechnet werden konnte. In den Berechnungen werden wir die detaillierten Daten zu den 1 dB(A)-Lärmklassen verwenden, in der folgenden Tabelle und Figur stellen wir das Mengengerüst der Übersichtlichkeit halber nur in 5 dB(A)-Klassen dar.

<sup>115</sup> In Genf gibt es keine Daten zum 8h-Durchschnitt des Nachtlärms. Verfügbar sind lediglich Daten zum 1h-Durchschnitt für 22-23 Uhr und zum 1h-Durchschnitt 23-24 Uhr und zum 6h-Durchschnitt 24-6 Uhr (= Null). Die Lärmbelastung 23-24h liegt um durchschnittlich 3.13 dB(A) unter der Lärmbelastung 22-23h. Der 8h-Durchschnitt der Lärmbelastung 22-23h und der um durchschnittlich 3.13 dB(A) tieferen Lärmbelastung 23-24h und keiner Lärmbelastung in den übrigen 6 Stunden entspricht der Lärmbelastung 22-23h minus 7.31 dB(A). Deshalb werden von der Lärmbelastung 22-23h 7.31 dB(A) abgezogen und es wird mit diesen Werten gerechnet.

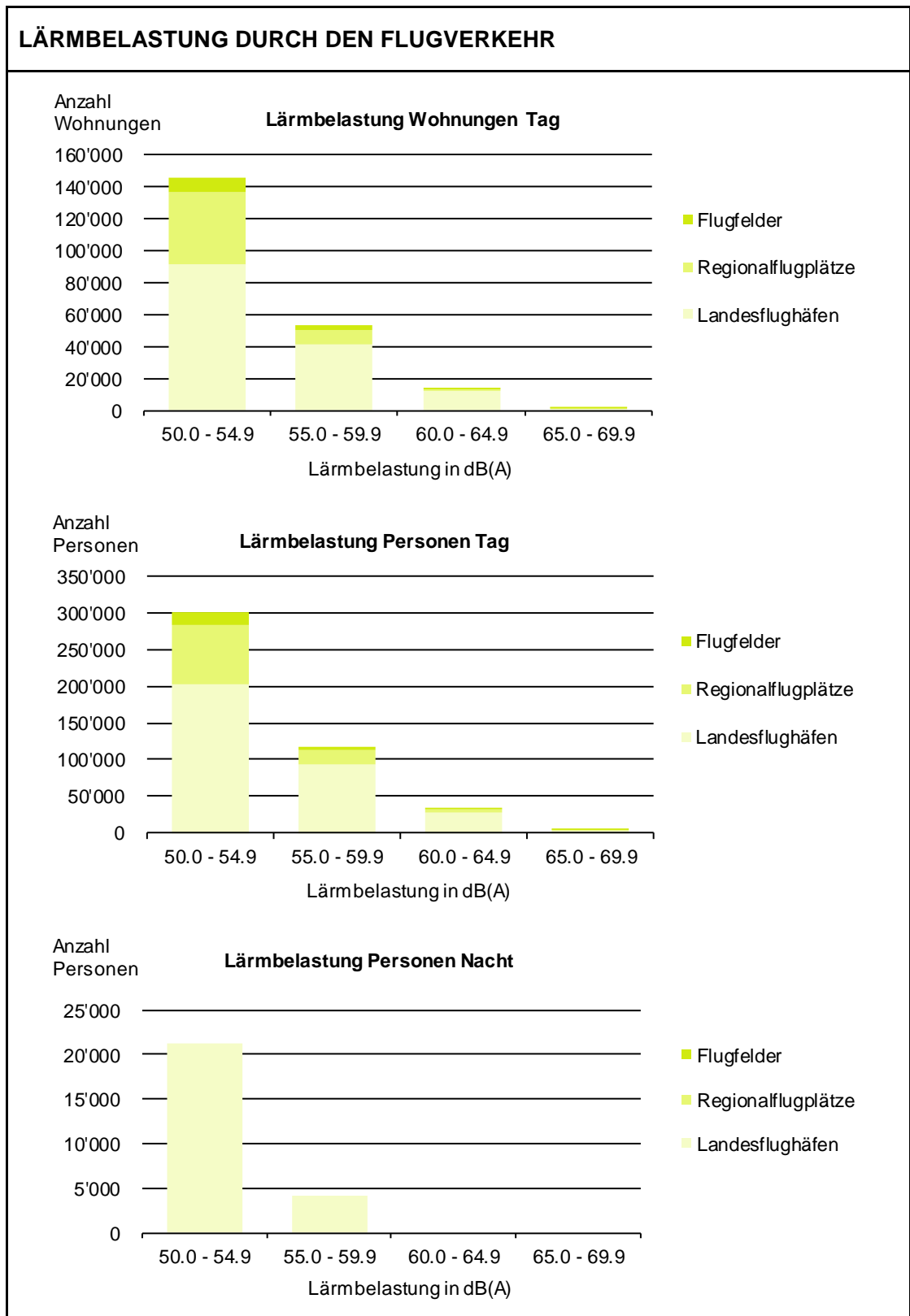


Beim Tageslärm sind die drei Landesflughäfen für etwa 80% der belasteten Personen und Wohnungen über 55 dB(A) verantwortlich. Des Weiteren entfallen 15% auf die Regionalflugplätze und 5% auf die Flugfelder. Insgesamt sind knapp 70'000 Wohnungen und gut 150'000 Personen einem Fluglärmniveau über 55 dB(A) ausgesetzt. Durchschnittliche Lärmniveaus über 70 dB(A) werden im Flugverkehr nicht erreicht.

Beim Nachtlärm, bei dem die Grenze von 50 dB(A) entscheidend ist, sind gut 25'000 Personen betroffen. Die Landesflughäfen verursachen den gesamten Nachtlärm.

<b>LÄRMBELASTUNG DURCH DEN FLUGVERKEHR</b>				
<b>WOHNUNGEN TAG</b>				
Lärmklasse in dB(A)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Flugfelder	Total
50.0 - 54.9	91'949	44'281	9'312	145'541
55.0 - 59.9	41'336	9'306	2'572	53'214
60.0 - 64.9	12'093	1'153	497	13'743
65.0 - 69.9	1'432	167	27	1'626
70.0 - 74.9	-	-	-	-
<b>Total &gt;50 dB</b>	<b>146'810</b>	<b>54'907</b>	<b>12'408</b>	<b>214'124</b>
<b>Total &gt; 55 dB</b>	<b>54'861</b>	<b>10'626</b>	<b>3'096</b>	<b>68'583</b>
<b>PERSONEN TAG</b>				
Lärmklasse in dB(A)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Flugfelder	Total
50.0 - 54.9	203'916	79'770	16'823	300'510
55.0 - 59.9	93'700	18'366	5'514	117'580
60.0 - 64.9	28'387	2'774	959	32'120
65.0 - 69.9	3'018	362	32	3'411
70.0 - 74.9	-	-	-	-
<b>Total &gt;50 dB</b>	<b>329'021</b>	<b>101'272</b>	<b>23'328</b>	<b>453'621</b>
<b>Total &gt; 55 dB</b>	<b>125'104</b>	<b>21'502</b>	<b>6'505</b>	<b>153'111</b>
<b>PERSONEN NACHT</b>				
Lärmklasse in dB(A)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Flugfelder	Total
50.0 - 54.9	21'260	-	-	21'260
55.0 - 59.9	4'189	-	-	4'189
60.0 - 64.9	-	-	-	-
65.0 - 69.9	-	-	-	-
70.0 - 74.9	-	-	-	-
<b>Total &gt;50 dB</b>	<b>25'449</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>25'449</b>
<b>Total &gt; 55 dB</b>	<b>4'189</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4'189</b>

Tabelle 47



Figur 22

### 6.4.3. WERTGERÜST

Die Kosten des Lärms setzen sich wie in Kapitel 6.4.1 beschrieben aus den Mietzinsausfällen und den Gesundheitskosten zusammen, die im Folgenden erläutert werden.<sup>116</sup>

#### Mietzinsausfälle

Belärmte Wohnungen werden weniger nachgefragt als vergleichbare Wohnungen in ruhigen Gebieten. Bei einem funktionierenden Wohnungsmarkt schlägt sich diese Mindernachfrage in einem tieferen Mietpreis nieder. Die Differenz zwischen einer belärmten und einer vergleichbaren unbelärmten Wohnung entspricht den Lärmkosten des Flugverkehrs. Deshalb gilt es im Folgenden festzulegen, wie sich die Mietpreise mit dem Lärmniveau verändern und wie hoch die durchschnittlichen Mietpreise sind.

Die Mietzinsausfälle werden prinzipiell genau gleich berechnet wie im Strassen- und Schienenverkehr.<sup>117</sup> In den Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Mietzinsniveau wird normalerweise der Taglärm als Belastungsmass verwendet (der Nachtlärm wird manchmal als Variante betrachtet), so dass wir die weiteren Berechnungen auch auf den Taglärm abstützen.

Wie im Strassen- und Schienenverkehr gehen wir davon aus, dass **unter 55 dB(A) keine Mietzinsausfälle** auftreten. Die Schwelle von 55 dB(A) Tageslärm beruht erstens auf empirischen Befunden zum Anteil lärmgestörter Personen, entspricht zweitens dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärmschutzverordnung und wird drittens in der Literatur häufig verwendet. Diese Untergrenze kann gemäss dem at least Ansatz als sehr vorsichtig bezeichnet werden:<sup>118</sup> Untersuchungen zeigen, dass auch bei tieferen Werten der Lärm als störend empfunden wird und selbst unter 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft zu einer weiteren Lärmverminderung bestehen würde. Deshalb wird teilweise die Meinung vertreten, dass 50 dB(A) ein geeigneteres minimales Lärmniveau darstellt als 55 dB(A). Auch für den Luftverkehr wurde dies mehrfach vorgeschlagen.<sup>119</sup> Die Wahl von 55 dB(A) führt also zu einer Unterschätzung der Lärmkosten. Auch international wird meist von 55 oder 50 dB(A) ausgegangen. So empfehlen z.B. die WHO und die EU die Verwendung von 55 dB(A).<sup>120</sup> Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird untersucht, wie sich das Ergebnis verändert, wenn der Schwellenwert angepasst wird.

<sup>116</sup> Der folgende Text basiert auf Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 127-132.

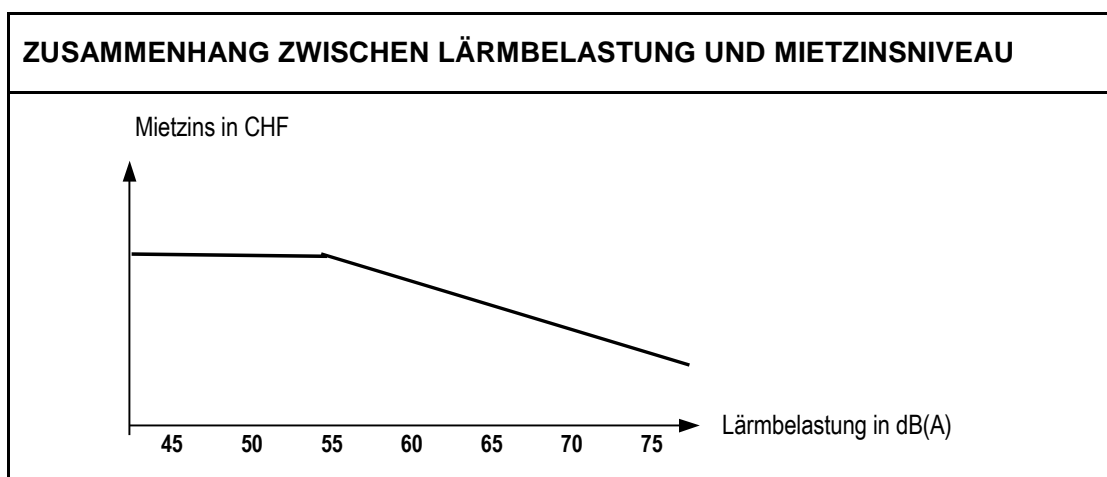
<sup>117</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Kapitel 4.

<sup>118</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 55.

<sup>119</sup> Infras (2006), Luftfahrt und Nachhaltigkeit – Bestandesaufnahme, Perspektiven, Handlungsspielraum, S. 42 und Infras, (2007), RDF Frankfurt Immobilienpreisanalyse, S. 30-31.

<sup>120</sup> Infras / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 65, 221, 222 und 233.

Über 55 dB(A) nehmen die Mietzinse um einen fixen Prozentsatz pro dB(A) ab (vgl. folgende Figur). Wie im Strassen- und Schienenverkehr verwenden wir dabei einen Prozentsatz von 0.6% pro dB(A).<sup>121</sup> Im Luftverkehr wird jedoch häufig mit höheren Prozentsätzen gerechnet: So empfiehlt Infras<sup>122</sup> eine Abnahme der Mietzinse um 0.8% bis 1.0% pro dB(A). In einer Metaanalyse von 33 Fluglärm-Studien aus Kanada und USA werden Mietzinsabnahmen im Bereich von 0.29% bis 1.49% pro dB(A) gefunden mit einem Durchschnitt / Median bei 0.7% pro dB(A).<sup>123</sup> Neuste Forschungsergebnisse der ZKB (2011) zeigen, dass der Mietzinsabschlag auch tiefer sein könnte (allerdings müssten in diesem Fall ab einem tieferen Lärmniveau Mietzinsausfälle berechnet werden). Diese Ergebnisse werden nicht berücksichtigt, um die Vergleichbarkeit zu Strasse und Schiene nicht zu gefährden.<sup>124</sup>



**Figur 23**

Nachdem die prozentuale Reduktion der Mieten pro dB(A) Lärm bestimmt ist, muss im Folgenden das Mietzinsniveau festgelegt werden. Tabelle 48 zeigt einerseits das Mietzinsniveau im Jahr 2010 für eine durchschnittliche Wohnung (16'524 CHF pro Jahr oder 1'377 CHF pro Monat)<sup>125</sup> und andererseits die daraus folgende Mietzinsreduktion pro dB(A) von durchschnittlich 99 CHF pro dB(A). Da die vom Fluglärm hauptsächlich betroffenen Kantone innerhalb der

<sup>121</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 128.

<sup>122</sup> Infras, (2007), RDF Frankfurt Immobilienpreisanalyse, S. 30-31.

<sup>123</sup> Nelson (2004), Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values.

<sup>124</sup> Um die neusten Forschungsergebnisse der ZKB (2011, Ruhe bitte!) berücksichtigen zu können, müssten zudem weitere Lärmdaten bis 40 dB(A) zur Verfügung stehen. Bei der nächsten Überarbeitung der Lärmkosten ist die ZKB-Studie im Strassen-, Schienen- und Luftverkehr zu berücksichtigen.

<sup>125</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 130 und Hochrechnung mit dem Mietpreisindex gemäss SN 641 828.

Schweiz überdurchschnittlich hohe Mietpreise aufweisen, wird mit kantonal differenzierten Mietwerten gerechnet (vom BFS), so dass die Mietpreisabnahme z.B. im Kanton Zürich 113 CHF pro dB(A) beträgt.

<b>MIETZINSE UND MIETZINABNAHME PRO DB(A) LÄRM</b>					
	Kanton Zürich	Kanton Aargau	Kanton Genf	Kanton Baselland	Schweiz
Mietzinsniveau in CHF / Jahr im Jahr 2010	18'820	17'337	16'912	17'652	16'524
Mietzinsreduktion in CHF pro Jahr pro dB(A)	112.92	104.02	101.47	105.91	99.14

**Tabelle 48**

Für Basel, die Regionalflugplätze und die Flugfelder liegen die Daten nur in 5dB(A)-Lärmklassen vor. Es stellt sich somit die Frage, wie viele dB(A) z.B. in der Lärmklasse 55-60 dB(A) zu berücksichtigen sind. In der Literatur wird meist der Mittelwert 57.5 dB(A) verwendet, da keine detaillierteren Daten zur Verfügung stehen. Wir verwenden hingegen die durchschnittliche Lärmbelastung in dieser Lärmklasse in Zürich und Genf, die 57.0 dB(A) beträgt (bzw. für die weiteren Lärmklassen 61.9 und 65.9 dB(A)). Dies führt zu tieferen Ergebnissen, da die Ungleichverteilung des Lärms innerhalb der Lärmklasse berücksichtigt wird. Diese Durchschnitte werden auch bei der Berechnung der Gesundheitskosten verwendet.

### **Gesundheitskosten**

Wie in Kapitel 6.4.1 erwähnt werden bei der Berechnung der Gesundheitskosten des Lärms wie bei der Luftbelastung vier Kostenbereiche berücksichtigt:

- › Medizinische Behandlungskosten
- › Nettoproduktionsausfall
- › Wiederbesetzungskosten
- › Immaterielle Kosten

Die Berechnungsmethodik ist identisch zur Berechnung im Strassen- und Schienenverkehr.

Deshalb kann direkt der Kostensatz pro dB(A) Lärm verwendet werden, der im Rahmen der SN 641 828 hergeleitet wurde.<sup>126</sup> Diese Kostensätze werden gemäss SN 641 828 noch auf das Jahr 2010 aufdatiert, so dass folgende Kostensätze zu Preisen 2010 verwendet werden:

<sup>126</sup> Ecoplan (2007), Externe Kosten im Strassenverkehr: Grundlagen zur Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse, S. 24. Die Kostensätze basieren auf Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

- › Der Kostensatz für ischämische Herzkrankheiten beläuft sich auf 18.22 CHF pro Person und Jahr pro dB(A) Lärmbelastung über 65 dB(A) Tageslärm.
- › Für Bluthochdruck bedingte Krankheiten ergibt sich ein Kostensatz von 15.82 CHF pro Person und Jahr pro dB(A) Lärmbelastung über 50 dB(A) Nachtlärm.

### **Investitionen in Schallschutzmassnahmen**

Um die Lärmproblematik zu bekämpfen, haben die Landesflughäfen Genf und Zürich je einen Lärmfond gegründet, der aus lärmabhängigen Lande- und Passagiergebühren geäuftet wird (vgl. Kapitel 6.4.4 unten). Aus diesen Fonds werden insbesondere Schallschutzfenster finanziert. Bei Altbauten muss der Flughafen die Kosten der Lärmschutzfenster tragen, bei Neubauten hingegen der Bauherr selbst. Zu den Kosten bei Neubauten gibt es keine Daten. Etwa 10% der Ausgaben des Lärmfonds in Zürich betreffen aber auch sogenannte Dachziegelklammerungen (vgl. folgender Exkurs).

Da die gemäss obiger Methode berechneten Lärmkosten auf dem Lärm an der Aussenfassade beruhen, bedeutet dies, dass die Ergebnisse der Berechnungen gemäss obiger Methode nicht ändern, wenn zusätzliche Schallschutzfenster eingebaut werden. Optimalerweise müssten die Kostensätze für Mietzinsreduktionen (und Gesundheitskosten) differenziert sein nach Wohnungen mit Lärmschutzfenster und solchen ohne. Solche Kostensätze liegen jedoch nicht vor. Deshalb werden als Hilfskonstruktion die Investitionen in die Schallschutzfenster von den ursprünglich errechneten Lärmkosten abgezogen, um die externen Kosten zu ermitteln. Dabei wird unterstellt, dass die Lärmkosten sich im Ausmass der Investitionskosten reduzieren.

Es wird wie folgt vorgegangen: Bei Schallschutzfenstern ist mit einer Lebensdauer von 30 Jahren zu rechnen.<sup>127</sup> Die eingebauten Schallschutzfenster führen also in den folgenden 30 Jahren zu einer Reduktion des Lärms. Folglich werden alle Investitionen in Schallschutzfenster, die in Zürich ab 1999 und in Genf ab 2003 getätigt werden, bis zum Vorjahr (2009) aufaddiert, was Investitionssummen von 98 Mio. CHF (Zürich) bzw. 22 Mio. CHF (Genf) ergibt.<sup>128</sup> Die Summe wird dann durch die Lebensdauer von 30 geteilt. Das Ergebnis von insgesamt 4 Mio. CHF wird von den ursprünglich errechneten Kosten abgezogen.

Zum Vergleich: Im Strassen- und Schienenverkehr gibt es keine Daten zum Einbau von Schallschutzfenstern. Die Kosten der Lärmschutzwände werden in den Infrastrukturkosten berücksichtigt, weil die Investitionskosten für Lärmschutzwände nicht einzeln vorliegen. Dabei

<sup>127</sup> Lebensdauer für Fenster bei grosser Beanspruchung gemäss SN 506 480 (2004), Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau, S. 26.

<sup>128</sup> Gemäss den Datenlieferungen der Flughäfen.

handelt sich um Kosten, die nur wegen des Lärms entstehen und damit als Lärmkosten bezeichnet werden können (Vermeidungskosten). Im Strassen- und Schienenverkehr sind die Vermeidungskosten der Lärmschutzwände nicht in den ausgewiesenen externen Lärmkosten enthalten. Analog werden auch im Luftverkehr die Kosten der Schallschutzfenster abgezogen.

#### **Exkurs: Wirbelschleppen**

Flugzeuge können Wirbelschleppen (Luftwirbel) nach sich ziehen, die zum Loslösen von Dachziegeln führen können.<sup>129</sup> Deshalb finanziert der Flughafen Zürich aus seinem Lärmfonds – obwohl dies streng genommen nichts mit Lärm, sondern mit Sicherheit zu tun hat – nicht nur Schallschutzfenster, sondern auch Dachziegelklammerungen, die verhindern, dass Dachziegel von den Dächern fallen. Nach derselben Methodik gerechnet wie die Schallschutzfenster ergeben sich daraus vom Flughafen getragene Kosten von 0.36 Mio. CHF im Jahr 2010. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten der sich lösenden Ziegel mindestens so gross sein würden (sonst würden es sich nicht lohnen, in Dachziegelklammerungen zu investieren). Diese Kosten sind aber bereits internalisiert und werden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

### **6.4.4. ERGEBNIS**

#### **Externe Kosten des Lärms**

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Kostenbestandteile im Überblick. Insgesamt entstehen externe Kosten im Umfang von 20.8 Mio. CHF. Davon werden 95% durch Mietzinsausfälle verursacht und 4% durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten. Ischämische Herzkrankheiten, die erst ab 65 dB(A) auftreten, sind jedoch im Flugverkehr praktisch irrelevant. Durch Schallschutzinvestitionen, insbesondere Schallschutzfenster, können 4 Mio. CHF eingespart werden.

<b>ÜBERSICHT EXTERNE LÄRMKOSTEN IM LUFTVERKEHR IM JAHR 2010</b>					
Mio. CHF	Mietzinsausfälle	Ischämische Herzkrankheiten	Bluthochdruck bedingte Krankheiten	Schallschutzfenster	<b>Total</b>
Externe Kosten	23.65	0.06	1.06	-4.00	<b>20.77</b>
in % des Totals	113.8%	0.3%	5.1%	-19.2%	100.0%
in % ohne Schallschutz	95.5%	0.2%	4.3%		

**Tabelle 49**

<sup>129</sup> IER (2003), Ermittlung externer Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main, S. 70.

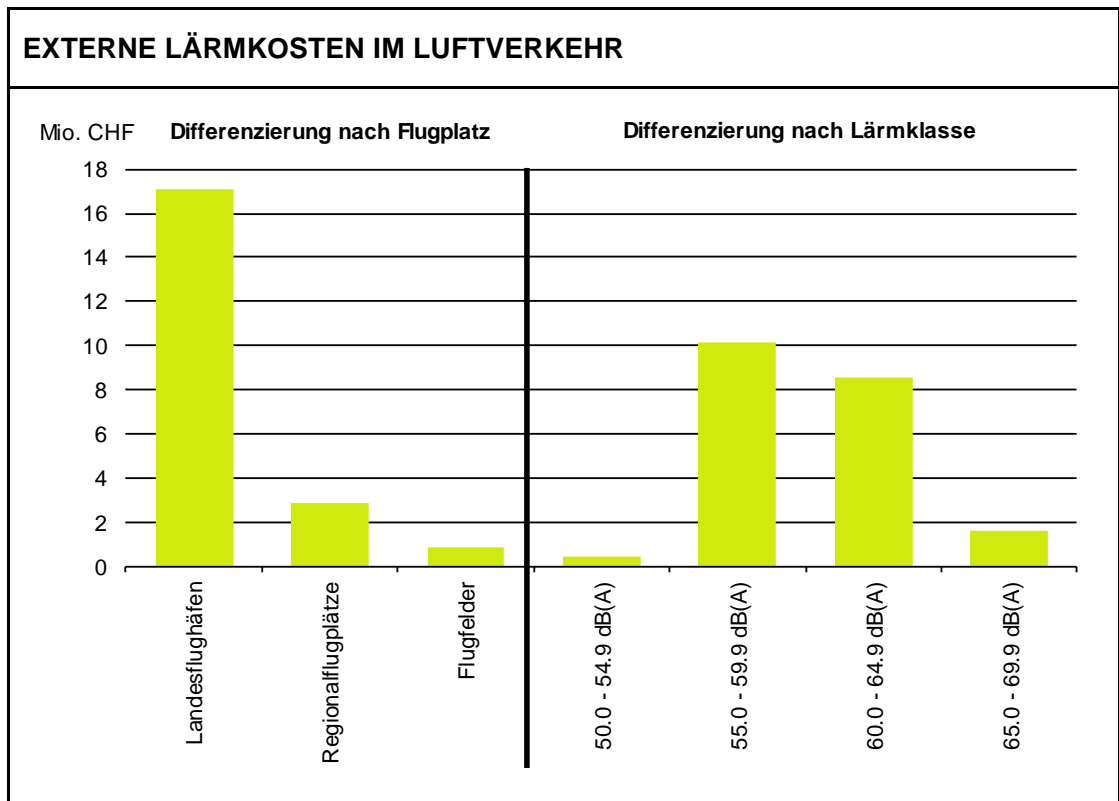
Eine weitere Differenzierung der Lärmkosten in der folgenden Tabelle und Grafik macht erkennbar, dass 17 Mio. CHF oder 82% der Kosten um die drei Landesflughäfen anfallen. Auf die Regionalflugplätze entfallen Lärmkosten von 2.8 Mio. CHF oder 14% der Lärmkosten und auf die Flugfelder 0.9 Mio. CHF oder 4%.

EXTERNE LÄRMKOSTEN IM LUFTVERKEHR IM JAHR 2010 IN MIO. CHF				
in Mio. CHF	Landesflughäfen	Regional- flugplätze	Flugfelder	Total
Lärmklasse in dB(A)				
50.0 - 54.9	0.49	-	-	<b>0.49</b>
55.0 - 59.9	7.75	1.86	0.51	<b>10.12</b>
60.0 - 64.9	7.40	0.79	0.34	<b>8.53</b>
65.0 - 69.9	1.42	0.19	0.03	<b>1.63</b>
70.0 - 74.9	-	-	-	<b>-</b>
<b>Total</b>	<b>17.05</b>	<b>2.84</b>	<b>0.88</b>	<b>20.77</b>
Anteil an Total	82.1%	13.7%	4.3%	100.0%
<b>Aufteilung auf Kostenbestandteile</b>				
Mietzinsausfälle	19.93	2.83	0.88	<b>23.65</b>
Ischämische Herzkrankheiten	0.06	0.01	0.00	<b>0.06</b>
Bluthochdruck bedingte Krankheiten	1.06	-	-	<b>1.06</b>
Schallschutzfenster	-4.00	-	-	<b>-4.00</b>

**Tabelle 50**

In die beiden Lärmklassen 55-60 dB(A) bzw. 60-65 dB(A) entfallen knapp 50% bzw. gut 40% der Lärmkosten. In der höheren dieser beiden Lärmklassen sind zwar deutlich weniger Personen / Wohnungen betroffen, aber die Kosten pro Person / Wohnung sind dafür aufgrund des höheren Lärms deutlich höher. Die Lärmklasse 50-55 dB(A) ist mit 2% jedoch weniger relevant, weil die Mietzinsausfälle erst ab 55 dB(A) berücksichtigt werden. Bei den ausgewiesenen Kosten handelt es sich deshalb nur um Bluthochdruck bedingte Kosten. Die Klasse 65-70 dB(A) vereint noch 8% der Kosten.





Figur 24

### Internalisierung der externen Lärmkosten

Um Anreize zu setzen, die Lärmkosten zu reduzieren und um finanzielle Mittel zu beschaffen, erheben die Flughäfen lärmabhängige Landegebühren. In Zürich wird zudem eine lärmabhängige Passagiergebühr erhoben (Lärm-Fünfliber).<sup>130</sup> Die Einnahmen aus diesen Abgaben dienen in Zürich und Genf dazu, die Lärmfonds zu alimentieren, aus welchen die oben erwähnten Schallschutzfenster (und Dachziegelklammerungen) und künftig auch Lärmentschädigungen finanziert werden.<sup>131</sup>

Mittels einer Umfrage bei den Flugplätzen haben wir versucht, die Einnahmen aus diesen Lärmabgaben zu erfassen (vgl. folgende Tabelle). In Zürich kamen 2010 Einnahmen von 32 Mio. CHF zusammen, in Genf bzw. Basel lediglich 1.6 (2009) bzw. 0.5 Mio. CHF. Bei den Regionalflugplätzen erhielten wir meist entweder keine Angaben oder Nullwerte. Einzig Samedan und Lugano haben zusammen Einnahmen von 0.09 Mio. CHF ausgewiesen.

<sup>130</sup> INFRAS (2006), Luftfahrt und Nachhaltigkeit – Bestandesaufnahme, Perspektiven, Handlungsspielraum, S. 41.

<sup>131</sup> Gemäss telefonischer Auskunft des BAZL werden die Zürcher Passagiergebühren nicht dazu verwendet, die Landegebühren zu bezahlen, sondern beide Abgaben werden in den Lärmfonds einbezahlt.

<b>LÄRMABHÄNGIGE LANDE- UND PASSGIERGEBÜHREN</b>					
in Mio. CHF	Zürich	Genf	Basel	Regional- flugplätze	Total
Lärmabhängige Landegebühren	6.39	1.63	0.49	0.09	<b>8.60</b>
Lärmabhängige Passagiergebühren	25.37	-	-	-	<b>25.37</b>
Total lärmabhängige Gebühren	31.76	1.63	0.49	0.09	<b>33.97</b>

Tabelle 51

Die Einnahmen aus den Lärmabgaben sind mit insgesamt 34 Mio. CHF höher als die oben ausgewiesenen externen Kosten von 21 Mio. CHF. Das würde bedeuten, dass die externen Kosten nach Berechnung mit der vorliegenden Methodik mehr als internalisiert sind. Dieses Ergebnis ist allerdings auf den gewählten at least Ansatz zurückzuführen, der zur Folge hat, dass die oben ausgewiesenen externen Kosten eine absolute Untergrenze darstellen. Insbesondere die Senkung der Lärmschwelle, ab der Mietzinsausfälle berücksichtigt werden, von 55 dB(A) auf 50 dB(A) erhöht die Lärmkosten sehr deutlich (auf 92 Mio. CHF). Dies sowie weitere Gründe, warum die ausgewiesenen Lärmkosten tendenziell zu tief sind, werden in Kapitel 6.4.5 unten besprochen.

Ausserdem dient die lärmabhängige Passagierabgabe in Zürich dazu, den Lärmfonds zu öffnen. Aus diesem Lärmfonds werden Entschädigungszahlungen (in der Logik für den vergangenen und künftigen Lärm des Flughafens) an die Hauseigentümer bezahlt. Um den vergangenen und zukünftigen Lärm abgelten zu können, müssen also momentan mehr Einnahmen erzielt werden als externe Kosten pro Jahr entstehen.

### Differenzierung nach Verkehrsart

Die externen Kosten sollen auch nach der Verkehrsart differenziert werden. Die Aufteilung auf Linien- und Charterverkehr (unterteilt nach europäisch und interkontinental) und General Aviation ist jedoch nicht einfach möglich. Helikopter müssen gar ganz vernachlässigt werden, da Heliports ohnehin nicht miteinbezogen werden können und weil die Differenzierung des Lärms der anderen Flugplätze auch nach Helikopter gemäss BAZL sehr aufwändig wäre.

Als **Approximation** wird deshalb die **Verteilung der Schallenergie** (energetische Anteile) verwendet (vgl. folgende Tabelle). Dazu hat das BAZL spezifische Berechnungen angestellt. Für die drei Landesflughäfen hat das BAZL die gesamte Flottenstruktur des letzten Betriebsjahres analysiert und nach den Verkehrsarten aufgeteilt. Dabei wurden die Anzahl Bewegungen nach Flugzeugtypen untersucht, wobei die Lärmemissionen je nach Flugzeugtyp unterschiedlich gross sind. Generell gilt, dass grosse Flugzeuge tendenziell lauter sind. Deshalb ist der interkon-

tinentaler Verkehr meist lauter als der europäische, weil er oft mit grösseren Flugzeugen geflogen wird. Da in der Nacht keine General Aviation-Flüge zu verzeichnen sind, verursacht nur der Linien- und Charterverkehr Nachtlärm. Die Ergebnisse zeigen, dass die General Aviation auf den Landesflughäfen nicht vernachlässigt werden darf, da sie für 12% der Schallenergie verantwortlich ist.<sup>132</sup>

Die Ergebnisse in Tabelle 53 zeigen, dass insgesamt 26% der Lärmkosten auf die General Aviation zurückzuführen ist, die verbleibenden 74% auf den Linien- und Charterverkehr, wobei 60% auf den europäischen und 14% auf den interkontinentalen Linien- und Charterverkehr fallen. Auf den Landesflughäfen entfallen 89% auf den Linien- und Charterverkehr.

AUFTEILUNG AUF DIE VERKEHRSART: VERTEILUNG DER SCHALLENERGIE					
	Landesflughäfen		Regionalfugplätze		Flugfelder
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag
Linien- und Charterverkehr interkontinental	16%	36%			
Linien- und Charterverkehr europäisch	72%	64%	6%	100%	
General Aviation	12%		94%		100%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tabelle 52** Tag = 6 – 22 Uhr, Nacht = 22 – 6 Uhr.

AUFTEILUNG AUF DIE VERKEHRSART: ERGEBNISSE IN MIO CHF					
in Mio. CHF	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Flugfelder	<b>Total</b>	Total in %
Linien- und Charterverkehr interkontinental	2.90	-	-	<b>2.90</b>	14.0%
Linien- und Charterverkehr europäisch	12.21	0.18	-	<b>12.39</b>	59.6%
General Aviation	1.95	2.66	0.88	<b>5.49</b>	26.4%
<b>Total</b>	<b>17.05</b>	<b>2.84</b>	<b>0.88</b>	<b>20.77</b>	100.0%

**Tabelle 53**

<sup>132</sup> Die Berechnung erfolgt getrennt für Zürich, Genf und Basel, kann aus Datenschutzgründen aber nicht differenziert ausgewiesen werden.

### Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr

Die Aufteilung der Ergebnisse nach dem Personen- und Güterverkehr erfolgt beim Lärm genau gleich wie bei der Luftbelastung. Der Linien- und Charterverkehr wird also wiederum nach dem transportierten Gewicht aufgeteilt (90.8% Personenverkehr, 9.2% Güterverkehr). Dies macht auch im Lärmbereich Sinn, denn die lärmabhängigen Landegebühren hängen teilweise vom Gewicht ab.<sup>133</sup> Bei der General Aviation wird wiederum angenommen, dass der Güterverkehr keine Kosten verursacht.

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen: Der Personenverkehr verursacht 93% der externen Lärmkosten, d.h. 19 Mio. CHF. Der Güterverkehr trägt somit knapp 1.5 Mio. CHF.

AUFTEILUNG DER LÄRMKOSTEN AUF DEN PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR			
Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Linien- und Charterverkehr	13.88	1.40	<b>15.28</b>
General Aviation	5.49	-	<b>5.49</b>
<b>Total</b>	<b>19.37</b>	<b>1.40</b>	<b>20.77</b>
Anteil	93.3%	6.7%	100.0%

Tabelle 54

## 6.4.5. SENSITIVITÄTSANALYSE

### Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden folgende Annahmen betrachtet (vgl. Tabelle 55):

#### Lärmbelastung

- › Eine grosse Unsicherheit im Lärmbereich im Strassen- und Schienenverkehr sind die **Ergebnisse des Lärmmodells** SonBase (–52% bis –87% und +80% bis +342%).<sup>134</sup> Die Herleitung zeigt, dass viele Unsicherheiten Faktoren betreffen, die im Luftverkehr nicht relevant sind (z.B. Lastwagenanteil, Steigung der Strasse, Höhe Lärmschutzwände, Lage von Strassen, Höhe von Gebäuden, Geschwindigkeit). Auf der anderen Seite ist aber denkbar, dass zusätzlich luftverkehrsspezifische Unsicherheiten berücksichtigt werden müssen.

<sup>133</sup> Skyguide (2010), AIP GEN 4 Charges for aerodromes / heliports and air navigation services, S. 80.

<sup>134</sup> Ecoplan, Infrac, (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 120-121 bzw. 140-141.

- › Für die Landesflughäfen wurden die Fluglärmrechnungen von der EMPA durchgeführt. Thomann (2007) untersucht die Unsicherheit von Lärmmessungen und Berechnungen sehr ausführlich.<sup>135</sup> Für Belastungsrechnungen der Landesflughäfen Zürich und Genf, welche mit Einzelflugsimulationen auf der Basis von Radardaten und detaillierten Bewegungsstatistiken durchgeführt werden, kann die Unsicherheit vereinfacht wie folgt abgeschätzt werden:<sup>136</sup>
  - › **Belastung Tag:  $\pm 0.5$  dB**
  - › **Belastung Nacht:  $\pm 1.0$  dB**
- › Für Basel, das im Ergebnis praktisch irrelevant ist, sowie für die Regionalflugplätze und Flugfelder (gemäss BAZL) werden dieselben Schwankungsbreiten verwendet.
- › Werden diese Unsicherheiten in die Lärmdaten eingefügt, so verändern sich die für die Berechnungen relevanten Lärmmasse (Anzahl dB(A) über Schwellenwert) um  $\pm 16\%$  bei den Mietzinsausfällen, um  $\pm 51\%$  bei den ischämischen Herzkrankheiten und um  $-32\%$  und  $+38\%$  bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten (vgl. Tabelle 55).

#### **Mietzinsausfälle**

- › Der **Schwellenwert**, ab dem mit Mietzinsausfällen zu rechnen ist, wurde vorsichtig bei 55 dB(A) festgelegt. Verschiedene Studien zeigen, dass auch unterhalb von 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft für Lärmverminderungen besteht. Deshalb wird auch mit dem Schwellenwert 50 dB(A) gerechnet.
- › Es wird unterstellt, dass die Mietzinse um 0.6% pro dB(A) abnehmen. Im Strassen- und Schienenverkehr wurde angenommen, dass diese Abnahme auch 0.2% oder 0.9% betragen könnte.<sup>137</sup> Diese Schwankungsbreite von  $-67\%$  und  $+50\%$  wird hier übernommen.

<sup>135</sup> Die Auswirkung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Gesamtunsicherheit ist sehr komplex und hängt von vielen weiteren Faktoren ab (Qualität der Eingangsdaten, Ort, Tageszeit, Entfernung zu Hauptflugrouten usw.).

<sup>136</sup> Auskunft der EMPA per Mail.

<sup>137</sup> Ecoplan, Infras, (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 140 und Anhang B.

## ÜBERSICHT ÜBER INPUTDATEN, ANNAHMEN UND UNSICHERHEITEN BEI DER LÄRMBELASTUNG

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mietzinsausfälle</b>			
Lärmbelastung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 16%
Schwellenwert Mietzinsabnahme	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	50 statt 55 dB (A)
Abnahme Mietzinse pro dB(A)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-67% / +50%
<b>Ischämische Herzkrankheiten</b>			
Lärmbelastung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 51%
Belastungs-Wirkungs-Beziehungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +115%
<b>Bluthochdruck bedingte Krankheiten</b>			
Lärmbelastung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-32% / +38%
Belastungs-Wirkungs-Beziehungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-88% / +135%
<b>Wertgerüst Gesundheitskosten</b>			
Immaterielle Kosten bei verlorenen Lebensjahren	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Immaterielle Kosten für Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 50%
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	at least	

Tabelle 55

### Gesundheitskosten<sup>138</sup>

- › Wie hoch die gesundheitlichen Folgen der Lärmbelastung sind, ist ebenfalls unsicher. Im Rahmen von epidemiologischen Studien wurde untersucht, wie sicher diese Zusammenhänge sind. Es zeigt sich, dass die **Belastungs-Wirkungs-Beziehung** für ischämische Herzkrankheiten um -100% und +115% schwanken kann, diejenige für Bluthochdruck bedingte Krankheiten um -88% und +135%. Das Ergebnis für die Unsicherheit bei den ischämischen Herzkrankheiten wird jedoch im Folgenden nicht ausgewiesen, weil die luftverkehrsbedingten ischämischen Herzkrankheiten praktisch irrelevant sind (Schwankung der Gesamtkosten um ±0.3%).
- › Die immateriellen Kosten der Gesundheitsschäden sind ebenfalls schwierig zu bestimmen. So könnte der Kostensatz für die immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre auch 50% tiefer oder 100% höher liegen (diese Unsicherheit beruht wie bei den Unfällen auf der Schätzgenauigkeit des VOSL – value of statistical life). Die immateriellen Kosten der Krankheitsfälle könnten auch um 50% höher oder tiefer liegen.

<sup>138</sup> In Ecoplan, Infras, (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 141-143) wird zudem der Diskontsatz als unsicher dargestellt. Da dieser jedoch das Gesamtergebnis nur um ca. ±1% verändert, verzichten wir hier darauf, den Diskontsatz zu berücksichtigen.

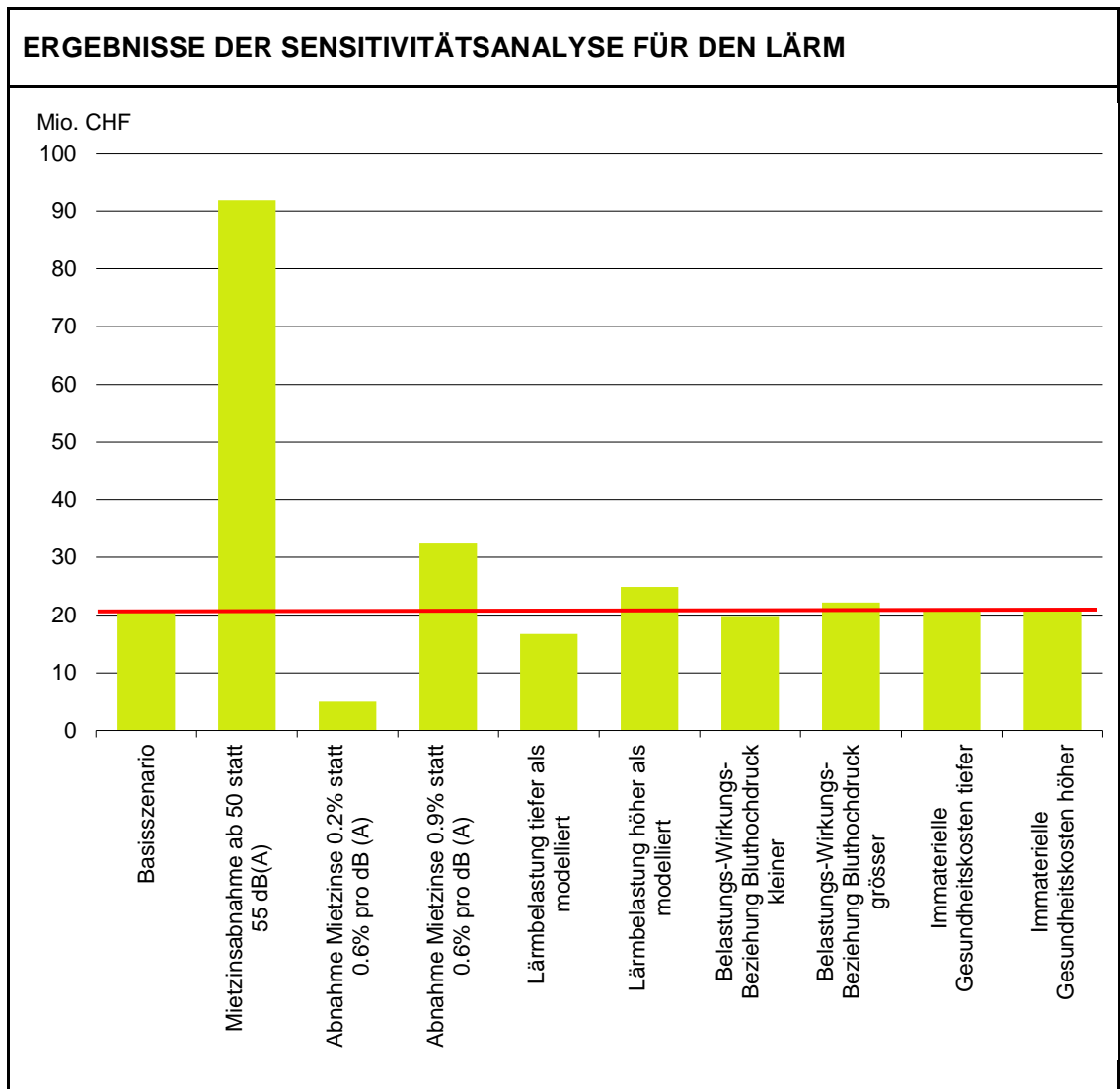
### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die folgende Tabelle und Grafik zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Eine Berechnung sticht dabei klar heraus: Der **Schwellenwert**, ab dem Mietzinsausfälle berücksichtigt werden, hat einen sehr grossen Einfluss auf das Ergebnis: Wird er von 55 **auf 50 dB(A) gesenkt**, so **steigen** die berechneten **externen Kosten um den Faktor 4.4** auf 92 Mio. CHF (nur Mietzinsausfälle um Faktor 4 auf 95 Mio. CHF). Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, als es in der Literatur viele Hinweise gibt, die darauf hindeuten, dass es bereits Mietzinsausfälle unter 55 dB(A) gibt. Der in der Hauptrechnung verwendete Wert von 55 dB(A) ist also eine entscheidende Annahme gemäss dem at least Ansatz.

ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄTSANALYSE FÜR DEN LÄRM			
in Mio. CHF	Externe Kosten	Differenz zum Basisszenario	Differenz in%
<b>Basisszenario</b>	<b>20.77</b>	<b>-</b>	<b>0.0%</b>
Mietzinsabnahme ab 50 statt 55 dB(A)	91.87	71.10	342.3%
Abnahme Mietzinse 0.2% statt 0.6% pro dB (A)	5.01	-15.76	-75.9%
Abnahme Mietzinse 0.9% statt 0.6% pro dB (A)	32.60	11.82	56.9%
Lärmbelastung tiefer als modelliert	16.72	-4.05	-19.5%
Lärmbelastung höher als modelliert	24.89	4.11	19.8%
Belastungs-Wirkungs-Beziehung Bluthochdruck kleiner	19.84	-0.93	-4.5%
Belastungs-Wirkungs-Beziehung Bluthochdruck grösser	22.20	1.43	6.9%
Immaterielle Gesundheitskosten tiefer	20.65	-0.12	-0.6%
Immaterielle Gesundheitskosten höher	20.89	0.12	0.6%

Tabelle 56

Auch die Abnahme der Mietzinse pro dB(A) ist von grosser Bedeutung. Würde sie höher oder tiefer als in der Hauptrechnung unterstellt ausfallen, würden sich die externen Kosten um -76% und +57% verändern. Die Genauigkeit der Lärmmodelle ist im Flugverkehr höher als im Schienen- und Strassenverkehr und führt „nur“ zu einer Schwankung um knapp  $\pm 20\%$ . Die Unsicherheiten bei der Belastungs-Wirkungs-Beziehung der Bluthochdruck bedingten Krankheiten bzw. bei den immateriellen Gesundheitskosten sind relativ unbedeutend.



Figur 25

### Zusätzliche Unter-oder Überschätzungen<sup>139</sup>

Es ist nochmals zu betonen (vgl. Kapitel 6.4.1), dass in dieser Studie **nur** die Auswirkungen des **Lärms am Wohnort** ermittelt werden. **Weitere Lärmkosten** werden **nicht berücksichtigt** (Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten, am Arbeitsplatz sowie in der Schule (Lernschwierigkeiten ca. 3 Mio. CHF im Flugverkehr<sup>140</sup>), Lärm auf dem Flugplatz, Lärmfluchtkosten, Kosten in Freizeit und Tourismus sowie auf die Fauna, Verluste durch Aus-

<sup>139</sup> Ecoplan, Infras, (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 145-146.

<sup>140</sup> Vgl Fussnote 105.



zonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken, vgl. Kapitel 6.4.1). Deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Lärmkosten die tatsächlich durch den Lärm verursachten externen Kosten klar. Ausserdem werden in einigen Bereichen gemäss dem at least Ansatz konservative Annahmen getroffen, die zu einer **weiteren Unterschätzung der Lärmkosten** führen. Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung (bzw. teilweise dagegen):

### Lärmdaten

- › **Heliports** müssen **vernachlässigt** werden, weil für diese keine Daten zum durchschnittlichen Lärm verfügbar sind.
- › **In St. Gallen-Altenrhein fehlen Lärmdaten ab 60 dB(A)**, was zu einer Unterschätzung führt. Für St. Gallen könnte die Unterschätzung deutlich sein, für den gesamten schweizerischen Fluglärm jedoch sehr gering.
- › Bei den **Regionalflugplätzen und Flugfeldern** beruhen die Lärmdaten teilweise auf den maximal erlaubten Bewegungen (**Prognosen**), die höher sind als die tatsächlichen Flugbewegungen (um Raum für einen Ausbau zu haben). Die **Lärmkosten** werden hier also **überschätzt**. Aber die Lärmkosten der Regionalflugplätze und der Flugfelder machen nur 16% der gesamten Lärmkosten des Luftverkehrs aus.
- › **Lärmeffekte im Ausland**, die vor allem in Basel bedeutend sind, werden in die Berechnung nicht miteinbezogen.

### Mietzinsausfälle

- › Die **tiefe Leerwohnungsziffer** bzw. der Nachfrageüberhang in der Schweiz und insbesondere in Zürich und Genf könnte Grund dafür sein, dass die wahren Präferenzen der Mieter für Ruhe sich nicht vollständig in den Mietpreisen widerspiegeln bzw. dass die **Mietzinsausfälle unterschätzt** werden.<sup>141</sup>
- › Es gibt Hinweise, dass die **Wertminderung in vom Eigentümer bewohnten Wohnungen / Häusern höher ist als in Mietwohnungen**. Die Abnahme der Mietzinse pro dB(A) beruht auf Ergebnissen von Mietwohnungen. Rund ein Drittel der Schweizer Bevölkerung lebt in einem Eigenheim. Für diesen Teil der Bevölkerung dürften die Mietzinsausfälle bzw. die Wertreduktion höher sein als für Mietwohnungen.<sup>142</sup>
- › Andererseits zeigt eine **neue Studie der ZKB** (2011), dass die **Mietzinsausfälle auch kleiner** sein könnten. Dieses Ergebnis wird nicht berücksichtigt, um die Vergleichbarkeit zum Stras-

<sup>141</sup> Ecoplan (2011), Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten.

<sup>142</sup> Ecoplan (2011), Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten.

sen- und Schienenverkehr zu ermöglichen und weil die dazu nötigen Grundlagedaten nicht vorliegen.<sup>143</sup>

- › Zumindest einige Personen fühlen sich auch durch **Fluglärm unter 50 dB(A)** gestört. Die **Störwirkung** tritt insbesondere bei einem Aufenthalt im Garten / auf dem Balkon auf. Auch seltene Überflüge (deren durchschnittliches Lärmniveau aufgrund der Seltenheit tief ist) führen zu Belästigungen und damit zu einer Zahlungsbereitschaft für deren Vermeidung.

### Gesundheitsschäden

- › Neuste Ergebnisse der WHO (2011) zeigen, dass die bisher in der Schweiz benutzten **Belastungs-Wirkungs-Beziehung für ischämische Herzkrankheiten** die Kosten massiv **unterschätzen** könnten. Eine Berechnung mit dem in Ecoplan (2011)<sup>144</sup> entwickelten Berechnungstool zeigt, dass dadurch die Gesundheitskosten durch ischämische Herzkrankheiten in der Grössenordnung von 9 Mio. CHF zu liegen kommen. Diese neuen Erkenntnisse werden hier jedoch nicht mitberücksichtigt, um die Vergleichbarkeit zum Strassen- und Schienenverkehr zu gewährleisten.
- › **Ambulante Behandlungen** von Angina Pectoris und der Medikamentenverbrauch für ischämische Herzkrankheiten werden **nicht berücksichtigt**. Für Jugendliche bis 14 Jahre werden überhaupt keine ambulante Behandlungen und kein Medikamentenverbrauch ermittelt.
- › Für **weitere Krankheiten**, die durch den Lärm verschlimmert werden dürften (wie z.B. erhöhte Blutfettwerte, Bronchialasthma, Krebserkrankungen etc.), liegen (noch) keine gesicherten Zusammenhänge vor. Diese Krankheitsbilder mussten deshalb **vernachlässigt** werden.
- › Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die **Lebenserwartung** der Bevölkerung weiter zunehmen wird. Bei der Bestimmung der Produktionsausfälle wird vernachlässigt, dass ca. 15% der Bevölkerung über das AHV-Alter hinaus berufstätig sind.
- › Die **Anpassung des VOSL** (value of statistical life) **an den Risikokontext** könnte im Bereich Lärm zu einem doppelt (oder sogar dreimal) so hohen Kostensatz führen.<sup>145</sup> Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen aber zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus. Auch in EU-Forschungsprojekten zu diesem Thema (z.B. HEATCO und IMPACT<sup>146</sup>) wird auf eine Anpassung verzichtet.

<sup>143</sup> Die ZKB hat ein neues Lärmass definiert, zu dem uns keine Daten zur Verfügung stehen.

<sup>144</sup> Ecoplan (2011), Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten.

<sup>145</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 99-100.

<sup>146</sup> Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines und IMPACT (2008), Handbook on the estimation of the external costs of transport.

- › Für einige Krankheitsfälle liegen **keine** empirischen Studien zu den **Zahlungsbereitschaften** vor, so dass auf eine Bewertung der immateriellen Kosten verzichtet werden musste.
- › Die **administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht mit einbezogen, dürften aber weniger als 0.5% der Kosten ausmachen.
- › Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet.<sup>147</sup>

### Fazit

Aufgrund verschiedener Vernachlässigungen und aufgrund vorsichtiger Annahmen (insbesondere Schwellenwert für Mietzinsausfälle) dürften die berechneten Lärmkosten eine **absolute Untergrenze** bilden.

<sup>147</sup> Ecoplan, Infras, (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 146.

## 6.5. KLIMA

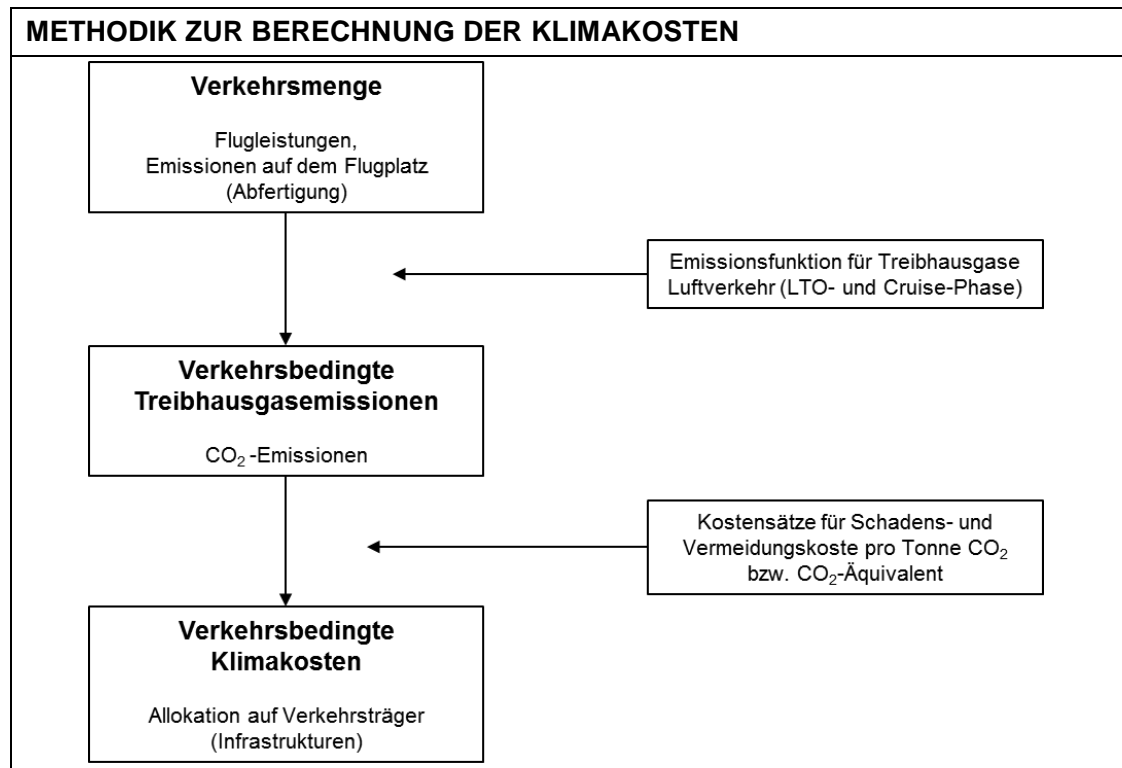
### 6.5.1. VORGEHEN

Das **Ziel** im Bereich **Klimakosten** ist es, die externen Klimakosten **durch den Luftverkehr zu ermitteln**. Durch den Ausstoss von anthropogenen Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) steigt die Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre, was zu einem Anstieg der globalen Temperatur sowie des Meeresspiegels führt. Die Folgen des Klimawandels sind im Detail im Bericht zu den externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000 dargestellt.<sup>148</sup>

Die Emissionen des Luftverkehrs führen analog zur Strasse und Schiene über den verstärkten Treibhausgaseneffekt zu Schäden auf globaler Ebene. Im Gegensatz zum Schienen- und Strassenverkehr fallen diese Emissionen darüber hinaus in einem kleinen Land wie der Schweiz mehrheitlich ausserhalb der Landesgrenzen an. Die Klimakosten beziehen sich deshalb auf jene (globalen) Schäden, welche durch den Emissionsausstoss des schweizerischen Luftverkehrs entstehen. Beim Territorialprinzip sind dies die im Inland ausgestossenen Emissionen des Luftverkehrs, beim Abflugprinzip die Emissionen der Hälfte aller Flüge ab der resp. in die Schweiz. Diesem Umstand ist bei der Interpretation der Resultate Rechnung zu tragen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Kosten des Klimawandels im Zeitverlauf weiter steigen werden. Aufgrund dieser besonderen Charakteristika des Klimawandels weicht die Bewertung der Klimakosten teilweise von den anderen Kategorien der externen Kosten ab.

Die **Bewertungsmethodik** wird in der folgenden Grafik dargestellt. Die Werte für Schadens- und Vermeidungskosten variieren in der Literatur stark. Sie hängen ausserdem stark von künftigen Aktivitäten zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen ab.

<sup>148</sup> Infras (2006), Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000, Klima und bisher nicht erfasste Umweltbereiche, städtische Räume sowie vor- und nachgelagerte Prozesse.



Figur 26

Grundsätzlich können die Kosten einer emittierten Tonne CO<sub>2</sub> entweder mit Hilfe des Schadenskostenansatzes oder mit Hilfe des Vermeidungskostenansatzes bestimmt werden.

› **Schadenskostenansatz:** Zur Berechnung der Schadenskosten sind detaillierte Modellierungen notwendig, um die physischen Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Ressourcen und die daraus resultierenden ökonomischen Schäden zu bestimmen. Ein Vergleich der bisherigen Berechnungen der Schadenskosten findet sich z.B. in der Studie des Projekts "Social Cost of Carbon".<sup>149</sup>

Da die Klimakosten über den Zeitverlauf steigen werden, sind bei der Berechnung der Schadenskosten vor allem die zukünftigen Schäden mit zu berücksichtigen. Die Diskontrate bestimmt dabei, wie hoch die zukünftigen Schäden in die Rechnung eingehen. Bei einer Diskontrate von 0% gehen auch Schäden in ferner Zukunft vollständig in die heutige Rechnung ein. Typischerweise wird in der Literatur jedoch ein Diskontsatz > 0 von bis zu 3% verwendet.<sup>150</sup> Beim Schadenskostenansatz werden die heutigen und zukünftigen Schadenskosten geschätzt

<sup>149</sup> Watkiss et al. (2005), The Social Cost of Carbon (SCC) Review.

<sup>150</sup> Umweltbundesamt (2007), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten; HM Treasury (2003), Green Book, Appraisal and Evaluation in Central Government; Cline (1992), The Economics of Global Warming.

und auf einen ‚Net Present Value‘ für eine heute emittierte Tonne CO<sub>2</sub> abdiskontiert. Dabei ergeben sich eine Vielzahl von Unsicherheiten: Einerseits ist das Ausmass und der Zeitpunkt des Eintreffens zukünftiger Schäden nur schwer festlegbar, andererseits sind die weiteren Klimaeffekte des Luftverkehrs (Cirruswolken, Kondensstreifen, siehe unten) ebenso schwer zu quantifizieren. Zuletzt erhält bei dieser Berechnungsweise der Diskontierungssatz eine zentrale Rolle bei der Quantifizierung der Kosten.

- › **Vermeidungskostenansatz:** Dieser Ansatz basiert auf den Vermeidungskosten, welche durch politisch formulierte Reduktionsziele bei den betroffenen Akteuren anfallen. Die Höhe dieser Kosten wird bestimmt durch die Verteilung der Reduktionslasten auf Länder sowie die Festlegung spezifischer Ziele für einzelne Akteure, in diesem Fall für die Branche Luftfahrt. Es wird angenommen, dass zuerst die kostengünstigste Vermeidungsoption durchgeführt wird (Kosteneffizienz). Die Kosten der letzten vermiedenen Tonne CO<sub>2</sub> bestimmen den CO<sub>2</sub>-Preis (Grenzvermeidungskosten), sprich z.B. die Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub> im EU ETS.

Diese Überlegungen und die daraus resultierenden Bandbreiten spiegeln sich in den im Handbuch der EU zu den externen Kosten des Verkehrs vorgeschlagenen Werte für CO<sub>2</sub> (IMPACT 2008,). Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der Preise bei unterschiedlichen Anwendungszeitpunkten. Je weiter entfernt der Anwendungszeitpunkt ist, desto höher sind auch die Kostensätze.

<b>KOSTENSÄTZE JE TONNE CO<sub>2</sub></b>			
<b>Anwendungszeitpunkt</b>	<b>Euro je Tonne CO<sub>2</sub></b>		
	Unterer Wert	Mittlerer Wert	Oberer Wert
2010	7	25	45
2020	17	40	70
2030	22	55	100
2040	22	70	135
2050	20	85	180

**Tabelle 57** Quelle: IMPACT 2008.

Für die Berechnung der externen Klimakosten des Strassen- und Schienenverkehrs wurden die Kostensätze aus obiger Tabelle abgeleitet (Ecoplan, Infrac 2008). Dabei wurde der Mittelwert des kurz- und langfristigen Satzes (2010/2050) zu damaligen Wechselkursen in CHF umgerechnet: 90 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>. Dieser Satz ist auch mit aktuellen Arbeiten des Umweltbundesamtes Deutschland kompatibel, die einen mittleren Satz von 67 € pro Tonne CO<sub>2</sub> empfehlen (UBA 2012). Die externen Kosten des Luftverkehrs sollten mit diesen Resultaten möglichst vergleich-

bar sein, weshalb die erwähnten beiden Kostensätze auch für die vorliegende Arbeit übernommen werden (vgl. Kapitel 6.5.3, Tabelle 60).

## 6.5.2. MENGENGERÜST

Für die Klimakosten der Luftfahrt sind die Emissionen der Treibhausgase relevant. Für die Luftfahrt sind dies hauptsächlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Weitere Treibhausgase, welche beim Verbrennungsprozess von den Flugzeugen ausgeschieden werden sind Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O). Letztere spielen in ihrer absoluten Menge – auch unter Berücksichtigung des grösseren Treibhauspotenzials – im Luftverkehr nur eine marginale Rolle und werden bei den Berechnungen nicht mit einbezogen.<sup>151</sup> Über den gesamten Flugzyklus betrachtet, stellen Flugzeug-Gasturbinen keine Methanquellen sondern Methansenken dar, da ab einer bestimmten Schubmass mehr Methan vernichtet als ausgestossen wird (vgl. u.a. Knighton, Herndon und Miakel-Lye, 2009). Aus diesen Gründen werden die Methan-Emissionen ebenfalls nicht berücksichtigt.

Zu den Emissionen der eigentlichen Transporttätigkeit werden zusätzlich die Emissionen des Verkehrs auf den Flugplätzen (Busverkehr, Rangierung der Flugzeuge, Abfertigung etc.) addiert. Ermittelt wurde der Treibstoffverbrauch auf den Flughäfen mittels Umfrage. Der Verbrauch von rund 3'600 Tonnen wird mit Emissionsfaktoren in CO<sub>2</sub>-Emissionen umgerechnet.

Die Luftverkehrsemissionen sind differenziert nach den vier Infrastrukturkategorien (Landesflughäfen, Regionalflugplätze, Flugfelder, Heliports) sowie nach den fünf Flugarten (L/Ch international, L/Ch europäisch, Helikopter, Business Aviation, Rest General Aviation) werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

<sup>151</sup> Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Lachgasemissionen machen weniger als 1% der gesamten Treibhausgasemissionen der Luftfahrt aus (international aviation bunkers, vgl. National Inventory Report (BAFU 2011)).

<b>EMISSIONSMENGEN FLUGVERKEHR</b>					
CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Flugart und Infrastruktur, Abflugprinzip (t)					
	Landesflughäfen	Regionalfugplätze	Flugfelder	Heliports	Total
L/Ch intercontinental	2'388'974	368	0	0	2'389'342
L/Ch continental + domestic	1'988'245	15'417	0	0	2'003'662
Helikopters	3'924	9'176	6'078	13'838	33'016
Business Aviation	131'787	22'400	1'444	5	155'636
Rest General Aviation	162'795	26'205	12'334	90	201'424
<b>Total</b>	<b>4'675'725</b>	<b>73'566</b>	<b>19'856</b>	<b>13'933</b>	<b>4'783'080</b>
CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Flugart und Infrastruktur, Territorialprinzip (t)					
	Landesflughäfen	Regionalfugplätze	Flugfelder	Heliports	Total
L/Ch intercontinental	264'361	83	0	0	264'444
L/Ch continental + domestic	1'312'723	15'143	0	0	1'327'866
Helikopters	5'622	9'682	6'246	13'839	35'389
Business Aviation	66'468	17'816	3'625	5	87'914
Rest General Aviation	66'526	27'455	18'910	90	112'981
<b>Total</b>	<b>1'715'700</b>	<b>70'179</b>	<b>28'781</b>	<b>13'934</b>	<b>1'828'594</b>

**Tabelle 58** Quelle: Direktanfrage BAZL, Oktober 2011; ohne on-site Verkehr (rd. 11'400 Tonnen CO<sub>2</sub>); Territorialprinzip inkl. Emissionen der Überflüge.

Ein intensiver wissenschaftlicher Diskurs findet aktuell zur Gewichtung der Luftfahrtemissionen statt. Dabei geht es insbesondere um die Quantifizierung verschiedener weiterer Treibhausgase, Spurengase, Partikel sowie weiterer Effekte wie Cirruswolken und Kondensstreifen. Diese Einflüsse werden unter dem Begriff Strahlungsantrieb subsumiert. Aufgrund verschiedener Einschränkungen bei der Anwendung dieses Radiative Forcing Index (RFI) wird in neueren Publikationen der sogenannte Emissionsgewichtungsfaktor (EGF) diskutiert (siehe z.B. Lee et al. 2009a).<sup>152</sup> Dieser Faktor versucht über das gesamte Treibhauspotenzial eines bestimmten Stoffes (Global Warming Potential) zeitlich unterschiedlich lange und intensive Auswirkungen zu erfassen und abzubilden.

Grundsätzlich besteht Einigkeit, dass neben den Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Luftverkehr weitere Einflüsse zu berücksichtigen sind. Jedoch besteht noch kein breit anerkanntes und wissenschaftlich gesichertes Mass, das diese Effekte abbildet. Dies ist bei der Erstellung und Interpretation von Kostenberechnungen entsprechend zu beachten. Für diese Studie stützen wir uns auf die in Lee et al. (2009a, S.38) publizierten Werte für einen Betrachtungshorizont von 100 Jahren ohne Einbezug der von Flugzeugen verursachten Wolkenbildung (at least Ansatz). Dabei werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit dem Durchschnitt von Tiefst- und Höchstwerten multipliziert (1.35).

<sup>152</sup> Englisch: emission weighting factor, EWF.



<b>BERÜCKSICHTIGUNG WEITERER KLIMAWIRKUNGEN (RADIATIVE FORCING)</b>			
<b>RF-Faktoren</b>	<b>low</b>	<b>high</b>	<b>mean</b>
mit Einbezug der Wolkenbildung	1.90	2.00	1.95
ohne Einbezug der Wolkenbildung	1.30	1.40	1.35

**Tabelle 59** RF-Faktoren für GWP100, Quelle: Lee et al. (2009a, S.38).

Im Luftverkehr belaufen sich die Gesamtemissionen in der Schweiz (inkl. Radiative Forcing) im Jahr 2010 auf 6.47 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Abflugprinzip) resp. auf 2.48 Mio. Tonnen (Territorialprinzip). In diesen Zahlen sind CO<sub>2</sub>-Äquivalente für den Verkehr auf den Flugplätzen enthalten. Der weitaus grösste Teil dieser Emissionen ist bei beiden Abgrenzungsprinzipien auf den Linien- und Charterverkehr zurückzuführen. Helikopter, Business Aviation und die restliche General Aviation sind zusammen für 8% (Abflugprinzip) resp. 13% (Territorialprinzip) der ausgewiesenen Emissionen verantwortlich.

### 6.5.3. WERTGERÜST

Die Klimakosten hängen neben den emittierten Treibhausgasen vom gewählten Kostensatz je Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent ab. Wie bereits ausgeführt variiert die Höhe der Klimakostensätze je nach Betrachtungshorizont und angewendetem Berechnungsansatz (Schadenskosten vs. Vermeidungskosten). Letztere werden wiederum von folgenden Rahmenbedingungen beeinflusst:

- › Politische Reduktionsziele
- › Stabilisierungsziele aus wissenschaftlicher Sicht
- › Verteilung der Reduktionslasten auf einzelne Länder
- › Zugrunde gelegte Diskontsätze

Welcher Wert schliesslich für die Berechnung eingesetzt wird, hängt von der Betrachtungsweise und der Wertung ab. Um die Vergleichbarkeit mit der Strassen- und Schienenrechnung zu gewährleisten, wenden wir den gleichen Kostensatz von CHF 90 je Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent an. Dieser ergibt sich als arithmetisches Mittel zwischen dem Wert für die kurzfristige Betrachtungsweise und jenem für die langfristige.

<b>KOSTENSÄTZE IM KLIMABEREICH GEMÄSS IMPACT</b>		
	<b>€ / Tonne CO<sub>2</sub></b>	<b>CHF / Tonne CO<sub>2</sub>, gerundet</b>
Kurzfristige Betrachtungsweise (2010)	25	40
Langfristige Betrachtungsweise (2050)	85	140
<b>Zentraler Wert</b>		<b>90</b>

**Tabelle 60** Quelle: Infrac, Ecoplan 2008 und Infrac / CE Delft et al. 2007.

BFS und ARE sind 2012/2013 daran, die Methoden der Transportrechnung zu überprüfen und den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen anzupassen. Dabei wird auch das Thema der zu verwendenden Kostensätze bei den Klimakosten beleuchtet.

Mit der beabsichtigten Anbindung des schweizerischen Luftverkehrs ins nationale Emissionshandelssystem sowie dessen Verknüpfung mit dem Europäischen Emissionshandelssystem (EU ETS) wird künftig ein Teil der Klimaemissionen vermieden resp. internalisiert. Die Einnahmen aus dem Emissionshandelssystem würden in der Transportrechnung als Internalisierung der externen Kosten angerechnet werden.

#### 6.5.4. ERGEBNIS

Die Ergebnisse der Klimakosten werden in der folgenden Darstellung gezeigt. Insgesamt fallen Kosten von 582 Mio. CHF beim Abflugprinzip resp. von 223 Mio. CHF beim Territorialprinzip an. Aufgrund der geringen Bedeutung der reinen Luftfracht im schweizerischen Luftverkehr sind 91% dieser Kosten dem Personenverkehr anzulasten. Die Aufteilung zwischen Güter- und Personenverkehr folgt dabei dem gleichen Prinzip wie bei den vorhergegangenen Kostenkategorien.<sup>153</sup>

Der weitaus bedeutendste Kostenteil ist auf den Linien- und Charterverkehr zurückzuführen. Beim Abflugprinzip macht der Linien- und Charterverkehr 92% der gesamten Klimakosten aus. Rund 48 Mio. CHF (8%) sind dem Helikopterverkehr, der Business Aviation und der restlichen General Aviation zuzurechnen.

<b>KLIMAKOSTEN DES LUFTVERKEHRS</b>		
<u>Gesamtkosten nach Infrastruktur (Mio. CHF)</u>		
	Abflugprinzip	Territorialprinzip
Landesflughäfen	569.2	209.5
Regionalfugplätze	9.0	8.6
Flugfelder	2.4	3.5
Heliports	1.7	1.7
<b>Total</b>	<b>582.2</b>	<b>223.3</b>

**Tabelle 61** Überflüge können aufgrund der vorliegenden Verkehrsdaten nicht separiert werden, sie sind im Territorialprinzip enthalten. Ohne Überflüge wären die Kosten für Flugfelder und Heliports für beide Abgrenzungsprinzipien gleich.

<sup>153</sup> Anteil Personenverkehr im Linien-/Charterverkehr gemäss Anzahl Passagieren (1 Passagier = 100 kg) und beförderter Frachtmenge rund 91%, bei Helikoptern 56%, bei der General Aviation 100%.

<b>KLIMAKOSTEN DES LUFTVERKEHRS – DIFFERENZIERT NACH VERKEHRSART</b>		
<u>Gesamtkosten nach Flugart (Mio. CHF)</u>		
	Abflugprinzip	Territorialprinzip
L/Ch intercontinental	290.4	32.2
L/Ch continental + domestic	244.4	162.3
Helikopter	4.0	4.3
Business Aviation	18.9	10.7
Rest General Aviation	24.5	13.7
<b>Total</b>	<b>582.2</b>	<b>223.3</b>

**Tabelle 62** Überflüge können aufgrund der vorliegenden Verkehrsdaten nicht separiert werden, sie sind im Territorialprinzip enthalten. Ohne Überflüge wären die Kosten für Helikopter und Rest General Aviation für beide Abgrenzungsprinzipien gleich.

### 6.5.5. SENSITIVITÄTSANALYSE

#### **Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten**

Bei den Klimakosten sind insbesondere die Gewichtung der Emissionen sowie die zur Bewertung der Emissionen verwendeten Kostensätze relevant für die Sensitivitätsrechnung.

Im Luftverkehr spielt die Gewichtung der Klimagasemissionen während der Flugphase eine bedeutende Rolle. Der Konsens in der Wissenschaft ist dahingehend, dass über die reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen hinaus gehende Effekte bestehen. Über die Wirkungsrichtung (dämpfend resp. verstärkend) und ihr Ausmass bestehen hingegen unterschiedliche Meinungen. Je nach Einbezug dieser Effekte können sich die Klimakosten beträchtlich ändern.

Wie oben dargestellt, liegen aus der Literatur sehr unterschiedliche Kostensätze für die Bewertung der Emissionen vor. Faktoren wie der unterlegte Betrachtungshorizont oder die verwendete Methodik zur Quantifizierung der Schäden (Vermeidungs-/Schadenskosten) sind Gründe für diese uneinheitlichen Werte.

ÜBERSICHT ÜBER ANNAHMEN UND BANDBREITEN BEI DEN KLIMAKOSTEN DES LUFTVERKEHRS			
Bereich / Annahme	Wissensstand	Vorgehen in Studie	Bandbreite
<b>Emissionen</b>	Aktuelle statistische Grundlagen, Zusatzberechnungen BAZL	best guess	+/- 5% (prov.) <sup>1)</sup>
<b>Gewichtung der Emissionen</b> RFI	Wissen mit Unsicherheit	at least	1.30 bis 2.00
<b>Wertgerüst</b> Kostensatz (Kosten pro Tonne CO <sub>2</sub> )	Wissen mit Unsicherheit	Anlehnung an EU Handbuch; analog zu Strasse und Schiene	+/- 50 CHF pro Tonne CO <sub>2</sub>

**Tabelle 63** \* Auf diese Unsicherheit wird in der Sensitivitätsanalyse nicht eingegangen.

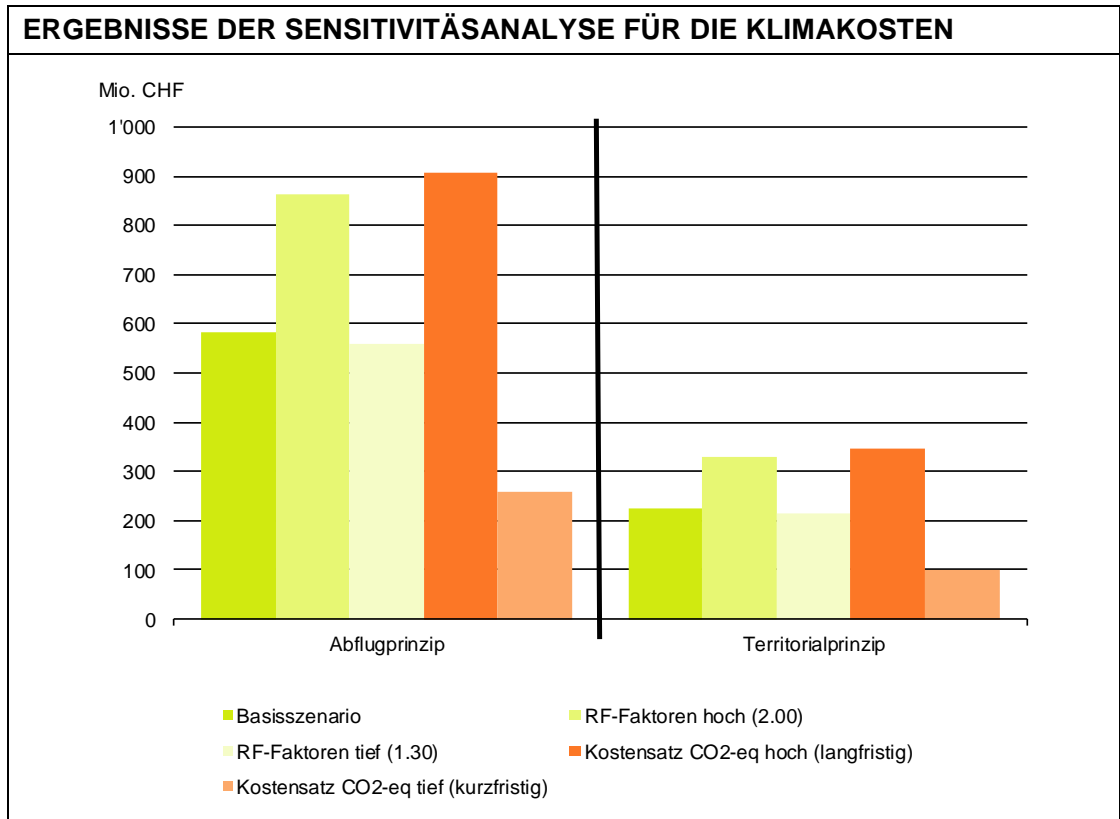
### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Diese weisen darauf hin, dass die Sensitivitäten nicht auf die Abgrenzungsprinzipien zurückzuführen sind, sondern allein von der Bewertung der Flugemissionen (Radiative Forcing, RF) und dem verwendeten Kostensatz. Wird ein RF-Faktor von 2 verwendet, fallen die Klimakosten knapp 50% höher aus. Etwas grösser ist der Kostensprung bei Bewertung der Emissionen mit einem langfristigen Klimakostensatz von 140 CHF. Da mit 90 CHF in der Basisrechnung der zentrale Wert von kurz- und langfristigem Ansatz zum Tragen kommt, fallen diese bei Anwendung des kurzfristigen und tieferen Satzes um den gleichen Betrag, wie sie bei Anwendung des langfristigen Satzes steigen.

ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄSANALYSE FÜR DIE KLIMAKOSTEN		
in Mio. CHF	Abflugprinzip	Territorialprinzip
<b>Basisszenario</b>	<b>582.2</b>	<b>223.3</b>
RF-Faktoren hoch (2.00)	862.0	330.2
RF-Faktoren tief (1.30)	560.7	215.0
Kostensatz CO <sub>2</sub> -eq hoch (langfristig)	905.7	347.3
Kostensatz CO <sub>2</sub> -eq tief (kurzfristig)	258.8	99.2
<b>Abweichungen vom Basisszenario</b>		
RF-Faktoren hoch (2.00)	48%	48%
RF-Faktoren tief (1.30)	-4%	-4%
Kostensatz CO <sub>2</sub> -eq hoch (langfristig)	56%	56%
Kostensatz CO <sub>2</sub> -eq tief (kurzfristig)	-56%	-56%

**Tabelle 64**

Aufgrund der grösseren absoluten Emissionsmenge beim Abflugprinzip fallen auch die absoluten Unterschiede entsprechend grösser aus als beim Territorialprinzip.



Figur 27

### Zusätzliche Unter-oder Überschätzungen

Zu beachten ist ferner, dass die oberen Werte der Klimaschäden – analog zu Strasse und Schiene – noch höher ausfielen, wenn Extremrisiken bewertet würden. Darüber hinaus ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass wie in Kapitel 6.5.2 ausgeführt die Lachgasemissionen vernachlässigt wurden. Die Resultate dürften deshalb die effektiven Kosten minim unterschätzen.

## 6.6. NATUR- UND LANDSCHAFT

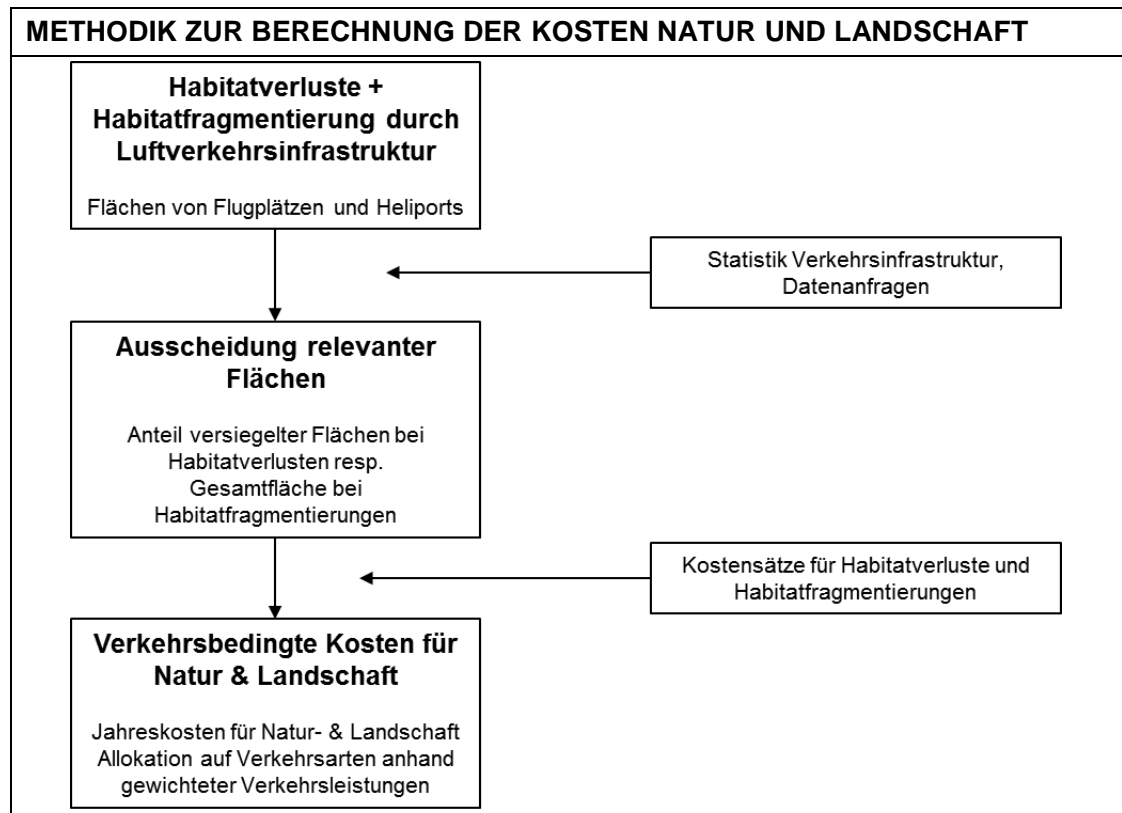
### 6.6.1. VORGEHEN

Die externen Kosten des Luftverkehrs in diesem Bereich berücksichtigen die Auswirkungen der Luftverkehrsinfrastruktur auf Natur und Landschaft. Dabei interessiert an dieser Stelle die Wirkung der Verkehrsinfrastruktur auf die Habitate von Pflanzen und Tieren. Durch Verkehrsinfrastruktur können Habitate zerstört (Habitatverlust) oder geteilt (Habitatfragmentierung) werden. Darüber hinaus sind negative Auswirkungen auf die Qualität der Habitate vorstellbar.

Für die Schweiz wurde 2004 eine Grundlagenstudie zu den externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft erstellt (Nateco, Econcept 2004), welche sich auf die Verkehrsträger Strasse und Schiene konzentrierte und welche für die Aufdatierung der externen Kosten des Verkehrs auf das Jahr 2005 aktualisiert wurde (Ecoplan, Infrac 2008). Darin wurden die Kosten für Habitatverluste sowie für Habitatfragmentierungen auf Jahresbasis berechnet, Habitatqualitätsverluste wurden nicht näher monetarisiert.

In Nateco, Econcept (2004) wird für die Berechnung der Habitatverluste auf einen Ersatzkostenansatz abgestützt. Es werden also die jährlichen Kosten für die Erstellung von Ersatzhabitatflächen berechnet. Diese Hochrechnungen basieren auf einem Infrastruktursample, für welches die Differenz der Verkehrsflächen zwischen 1950 und 1990 untersucht wurden. Für das gleiche Infrastruktursample wird zudem die Anzahl Fragmentierungen der Lebensräume von sechs verschiedenen Tiergruppen ermittelt. Mittels realen Kosten für Bauwerke zur Überwindung dieser Fragmentierungen berechnen sich die Habitatfragmentierungskosten. Die Gesamtkosten berechnen sich in der Studie als Summe aus Habitatverlusten und Habitatfragmentierungskosten und werden für das Jahr 2000 angegeben. Sie werden mit Spannbreiten angegeben und differenziert nach verschiedenen Strassenklassen sowie ein- resp. mehrspurigen Bahntrassen. In Ecoplan, Infrac (2008) werden die Kostensätze wie auch das Mengengerüst auf das Jahr 2005 aktualisiert.

Die Bewertungsmethodik für die Transportrechnung der Luftfahrt orientiert sich am Vorgehen der erwähnten Studien. Damit wird einerseits auf die umfassendste Grundlagenarbeit für die Schweiz abgestützt, andererseits ist durch dieses Vorgehen die Vergleichbarkeit zur Strassen- und Schienenrechnung gewährleistet.



Figur 28

Für die Anwendung auf den Luftverkehr übernehmen wir die Kostensätze je für Habitatverluste und Habitatfragmentierungen aus Nateco, Econcept (2004). Die Kostensätze für Habitatverluste beziehen sich wie erwähnt auf die Erstellung von Ersatzhabitaten und können deshalb auf den Luftverkehr übertragen werden. Weil die Überbauung von bestimmten Biotoptypen durch Verkehrsinfrastruktur nicht eindeutig einer Strassenkategorie zugewiesen werden kann, verwenden wir durchschnittliche Kostensätze über alle Strassenkategorien. Bei den Habitatfragmentierungen wird davon ausgegangen, dass die Fluginfrastruktur vergleichbare Effekte (Überwindbarkeit, Verkehrsaufkommen, Lärmemissionen) auf Natur und Landschaft aufweist wie die Strassenkategorie Autobahnen/Autostrassen.

Da die Flugplätze neben versiegelten Flächen auch weiträumige unversiegelte Flächen aufweisen (teilweise gar Naturschutzgebiete) wird für die Berechnung der Habitatverluste nur auf die versiegelte Fläche zurückgegriffen. Bei der Habitatfragmentierung wird auf die Begebenheiten der Flugfelder (meist keine abgesperrten Areale) Rücksicht genommen, weshalb für die Kostenberechnung nur die Flächen der Kategorien Landesflughäfen und Regionalflughäfen einbe-

zogen werden. Dahinter steht die Annahme, dass Flugfelder und Heliports keine wesentlichen Fragmentierungswirkungen aufweisen.

Das Wertgerüst (Kostensätze) wird analog zu Ecoplan, Infras (2008) mit der Entwicklung der Baupreise im Tiefbau auf das Basisjahr (2010) aktualisiert. Die Allokation nach der Verkehrsart (Personenverkehr, Güterverkehr) wird anhand gewichteter Verkehrsleistungen vorgenommen.

## 6.6.2. MENGENGERÜST

Basis des Mengengerüsts sind die Flächen der Flugplätze in der Schweiz im Jahr 2010. Detaillierte Angaben über versiegelte Flächen, Grasflächen sowie allfällige Naturschutzgebiete innerhalb der Flugplatzperimeter stammen einerseits aus der bei den Flugplatzbetreibern angefragten Daten. Zur Vervollständigung dieser Datengrundlagen stützen wir uns auf die entsprechende Statistik des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) ab.

Die folgende Tabelle fasst die wesentlichen Daten des Mengengerüsts zusammen.

<b>FLÄCHEN DER FLUGPLÄTZE IN DER SCHWEIZ</b>				
Flächen 2010 (m <sup>2</sup> )	Versiegelte Flächen	Naturschutz-flächen	Restliche Grünflächen	Total
Landesflughäfen	7'180'020	850'000	10'169'980	18'200'000
Regionalflugplätze	938'400	227'000	3'582'132	4'747'532
Flugfelder	307'532	-	5'045'453	5'352'985
Heliports	24'378	-	66'488	90'866
<b>Total</b>	<b>8'450'330</b>	<b>1'077'000</b>	<b>18'864'053</b>	<b>28'391'383</b>

**Tabelle 65**

Für die Berechnung der Kosten im Bereich Natur und Landschaft sind die folgenden Flächen von Relevanz:

- › Bei Habitatverlusten gelten grundsätzlich die versiegelten Flächen auf den Flugplätzen als relevante Grösse.
- › Bei Habitatfragmentierungen wird davon ausgegangen, dass diese hauptsächlich bei den Landesflughäfen sowie den Regionalflugplätzen bestehen, da diese mit Zäunen umgeben sind. Die Flächen der Flugplätze dieser beiden Kategorien werden als Kreise approximiert, Fragmentierungsstrecken sind folglich die Durchmesser eines solchen Kreises. Für die Berechnung der Habitatfragmentierungen werden bei den Landesflughäfen vier Durchmesser herangezogen, bei den Regionalflugplätzen deren zwei. Die anderen Kategorien (Flugfelder und Heliports) werden nicht berücksichtigt.



### 6.6.3. WERTGERÜST

Wie eingangs kurz erwähnt, werden in Nateco, Econcept (2004) für die Kosten von Habitatverlusten und Habitatfragmentierungen je zwei unterschiedliche Ansätze angewendet.

#### **Habitatverluste**

Kosten für Habitatverluste werden mittels Ersatzkostenansatz ermittelt. Relevant sind die Kosten für die Erstellung eines Ersatzhabitates an anderer Stelle im Umfang der Fläche der betrachteten Verkehrsinfrastruktur (resp. der resultierenden Flächendifferenz zwischen zwei Betrachtungszeitpunkten). In der Grundlagenstudie dient das Jahr 1950 als Referenzzustand. Basierend auf einer Sampleanalyse werden die zerstörten Flächen nach ihren Eigenschaften in unterschiedliche Habitate (z.B. Binnengewässer, Moore, Wälder etc.) gegliedert. Für jede dieser sogenannten Zielbiotope werden danach Erstellungskosten (Landerwerb, Planungskosten, Erstinstandsetzung, Pflegemassnahmen) herangezogen. Diese Kosten werden auf die gesamte Infrastruktur hochgerechnet und in Annuitäten umgewandelt.

Für die vorliegende Studie werden aus den Kosten für die Strasseninfrastruktur (differenziert nach Strassenkategorie) Kostensätze je Quadratmeter Infrastruktur berechnet. Dazu wird auf die zugrundeliegenden Angaben zur Infrastrukturlänge und zur berücksichtigten Breite zurückgegriffen. Analog zu Ecoplan, Infrac (2008) werden die so ermittelten Kostensätze über den Index der Baupreise für Tiefbauten auf das Basisjahr (2010) aktualisiert. Für die Berechnung werden die Mittelwerte über alle vier Strassenkategorien verwendet.

#### **Habitatfragmentierungen**

Basis für die Kosten Habitatfragmentierungen bildet das gleiche Infrastruktursample wie für die Habitatverluste. Aufgrund dieses wird die Anzahl der Fragmentierungen differenziert nach sechs Tiergruppen (Reh, Feldhase, Dachs, Igel, Amphibien, Bachlebewesen) ermittelt und für die gesamte Verkehrsinfrastruktur hochgerechnet. Für jede Fragmentierungsart und Tiergruppe wurden danach die realen Kosten für Bauwerke zur Überwindung dieser Fragmentierungen herangezogen. Aus diesen beiden Kostenarten ergeben sich die Gesamtkosten für die Strassen- und Schieneninfrastruktur im Jahr 2000.

Für die vorliegende Studie werden aus den Kosten für die Strasseninfrastruktur (differenziert nach Strassenkategorie) Kostensätze je Meter Infrastruktur berechnet (Basis Infrastrukturlängen). Die Kostensätze werden ebenfalls auf das Basisjahr aktualisiert (siehe auch Habitatverluste). Es werden die Kostensätze für Autobahnen/Autostrassen verwendet.

VERWENDETE KOSTENSÄTZE				
Habitatverluste		Fragmentierung		
	Bezeichnung	2010, CHF/m <sup>2</sup>	Bezeichnung	2010, CHF/m
Landesflughäfen	Mittelwert	0.265	Autobahn/Autostrasse	167.1
Regionalflugplätze	Mittelwert	0.265	Autobahn/Autostrasse	167.1
Flugfelder und Heliport	3.-Klass-Strassen	0.178	keine	0.0

Tabelle 66

Falls Luftfahrtakteure (Flugplätze) hier ökologische Ersatzmassnahmen ergreifen, würden diese in der Transportrechnung als Internalisierung der externen Kosten angerechnet würden. Für die vorliegende Rechnung waren aber dazu keine Daten von Akteuren verfügbar.

#### 6.6.4. ERGEBNIS

Im Bereich Natur und Landschaft entstehen der Luftfahrt im Jahr 2010 Kosten in der Höhe von 10.2 Mio. CHF, wovon 78% für Habitatfragmentierungen anfallen. Wie aus Tabelle 67 hervorgeht, verursachen die Landesflughäfen die höchsten externen Kosten, was aufgrund ihrer Grösse nicht überrascht. Durch Heliports und Flugfelder werden trotz ihrer im Vergleich zu den Landesflughäfen und Regionalflugplätzen bedeutenderen Anzahl praktisch keine externen Kosten in dieser Kategorie verursacht.

KOSTEN NATUR & LANDSCHAFT DES LUFTVERKEHRS			
Gesamtkosten nach Infrastruktur (Mio. CHF)			
	Habitat- verluste	Habitat- fragmentierungen	Total
Landesflughäfen	1.9	5.5	7.4
Regionalflugplätze	0.2	2.5	2.8
Flugfelder	0.1	0.0	0.1
Heliports	0.0	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>2.2</b>	<b>8.0</b>	<b>10.2</b>

Tabelle 67

Werden die Kosten für Natur und Landschaft über das Gewicht der beförderten Passagiere sowie der beförderten Gütermenge auf Personen- und Güterverkehr aufgeteilt, fallen für letzteren rund CHF 0.9 Mio. an. Der Personenverkehr hat einen Anteil von knapp 91%.

## 6.6.5. SENSITIVITÄTSANALYSE

### Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Die wichtigste Annahme, welche für die vorliegende Rechnung getätigt werden musste, ist die Näherung der Strassen- und Luftinfrastruktur, indem die Kostensätze aus der Berechnung für die Strasseninfrastruktur für den Luftverkehr übernommen werden. Dies kann zwar kein echtes Abbild der Verhältnisse bringen, genügt aber als ungefähres Richtmass. Eine Herleitung von spezifischen Kostensätzen für die Luftinfrastruktur war im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich.

<b>ÜBERSICHT ÜBER ANNAHMEN UND BANDBREITEN BEI DEN KOSTEN FÜR NATUR UND LANDSCHAFT DES LUFTVERKEHRS</b>			
<b>Bereich / Annahme</b>	<b>Wissensstand</b>	<b>Vorgehen in Studie</b>	<b>Bandbreite</b>
<b>Wertgerüst</b>			
Kosten für Habitatverluste	Wissen mit Unsicherheit	best guess	+/- 40%
Kosten für Habitatfragmentierung	Wissen mit Unsicherheit	best guess	+/- 40%

**Tabelle 68**

### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Aus der den Kostenberechnungen für die Luftfahrt zugrunde liegenden Studie (Econcept, Nateco, 2004) gehen Bandbreiten für die Kostensätze hervor. Daher können auch für die Kostenkategorie Natur und Landschaft Sinn, mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse Unsicherheiten abzubilden und Bandbreiten aufzuzeigen. Für die effektiven externen Kosten für Natur und Landschaft kann deshalb angenommen werden, dass diese innerhalb der angegebenen Bandbreite der Kosten von rund 5.5 Mio. CHF (tiefer Kostensatz für Habitatverluste und Habitatfragmentierungen) bis 14.9 Mio. CHF (hoher Kostensatz für Habitatverluste und Habitatfragmentierungen) liegen. Mit rund 50% ist die Bandbreite beim Kostensatz für Habitatfragmentierung am grössten.

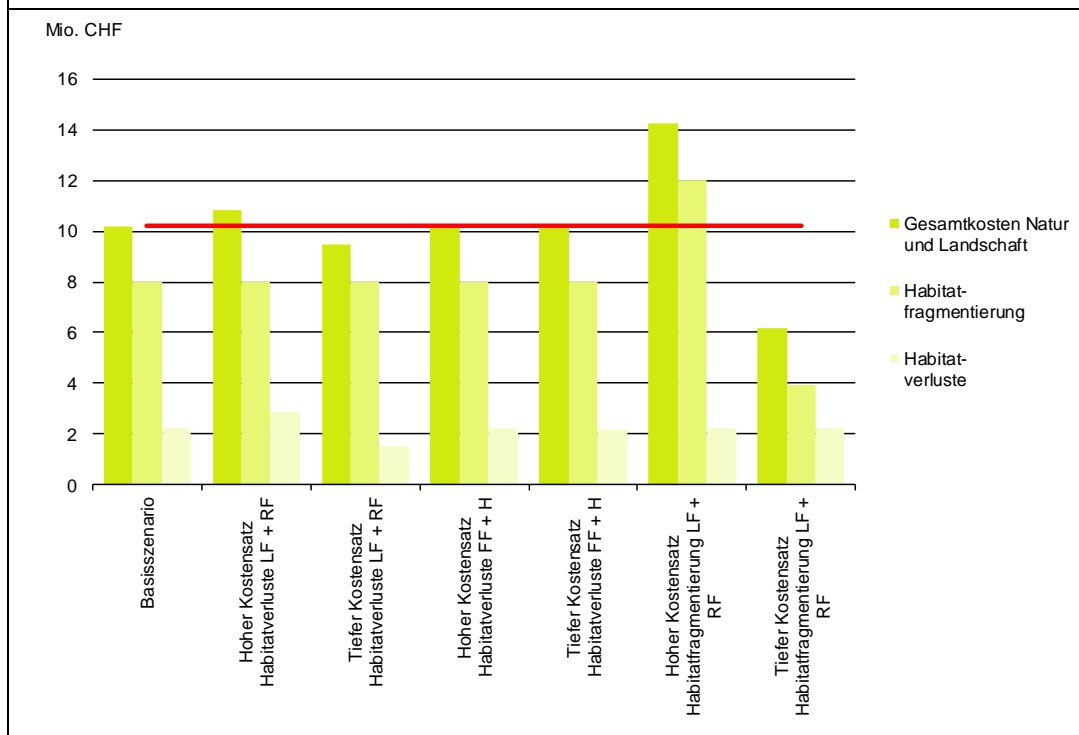
### ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄSANALYSE FÜR DIE NATUR- UND LANDSCHAFTSKOSTEN

in Mio. CHF	Habitat- verluste	Habitat- fragmentierung	Gesamtkosten Natur und Landschaft
<b>Basisszenario</b>	<b>2.2</b>	<b>8.0</b>	<b>10.2</b>
Hoher Kostensatz Habitatverluste LF + RF	2.9	8.0	10.9
Tiefer Kostensatz Habitatverluste LF + RF	1.5	8.0	9.5
Hoher Kostensatz Habitatverluste FF + H	2.2	8.0	10.2
Tiefer Kostensatz Habitatverluste FF + H	2.2	8.0	10.2
Hoher Kostensatz Habitatfragmentierung LF + RF	2.2	12.0	14.2
Tiefer Kostensatz Habitatfragmentierung LF + RF	2.2	4.0	6.2
<b>Abweichung vom Basisszenario in %</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>
Hoher Kostensatz Habitatverluste LF + RF	29.9%	0.0%	6.5%
Tiefer Kostensatz Habitatverluste LF + RF	-31.2%	0.0%	-6.8%
Hoher Kostensatz Habitatverluste FF + H	0.8%	0.0%	0.2%
Tiefer Kostensatz Habitatverluste FF + H	-0.9%	0.0%	-0.2%
Hoher Kostensatz Habitatfragmentierung LF + RF	0.0%	50.8%	39.8%
Tiefer Kostensatz Habitatfragmentierung LF + RF	0.0%	-50.4%	-39.5%

**Tabelle 69** LF + RF = Landesflughäfen und Regionalflugplätze; FF + H = Flugfelder und Heliports.

Stellt man die obigen Resultate für die Sensitivitätsanalyse grafisch dar, ergibt sich das folgende Bild.

### ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄSANALYSE FÜR DIE NATUR- UND LANDSCHAFTSKOSTEN



**Figur 29**

### **Zusätzliche Unter-oder Überschätzungen**

Wichtig ist letztlich anzumerken, dass mit dem gewählten Vorgehen nur die Kosten für Habitatverluste und -fragmentierungen berücksichtigt werden. Nicht enthalten sind insbesondere Kosten für die Qualitätsminderung von Habitaten durch die betrachtete Infrastruktur. So können etwa die Lärmemissionen den Bewegungsspielraum von Tieren sowie die Biodiversität über den eigentlichen Flugplatzperimeter hinaus einschränken. Hingegen können Umweltmassnahmen wie Renaturierungen oder Naturschutzflächen zu einer Verbesserung der Qualität im Umfeld eines Flugplatzes führen. Getätigte Ausgaben für letztere sind von den ausgewiesenen externen Kosten in Abzug zu bringen. Einige Flugplätze tätigen solche Ausgaben (zum Beispiel Zahlungen für Schaffung/Unterhalt von Naturschutzgebieten). Für die vorliegende Studie konnten hierzu jedoch keine Daten zur Verfügung gestellt werden. Die ausgewiesenen externen Kosten in diesem Bereich konnten deshalb nicht um diese Internalisierungen bereinigt werden.

Unberücksichtigt sind schliesslich Kosten für ästhetische Effekte, das heisst Kosten, welche Individuen entstehen in Folge des durch die Infrastruktur eingeschränkten Landschaftsbildes. Diese beiden Aspekte (Habitatqualität, ästhetische Effekte) fehlen auch bei der Schienen- und Strassenkostenrechnung. Aufgrund der Eigenschaften des Luftverkehrs (Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über den Luftraum) sowie des daraus resultierenden geringen Flächenverbrauchs würden diese Kosten beim Luftverkehr deutlich geringer ausfallen als bei Schiene und Strasse.<sup>154</sup>

Die Kosten für Natur und Landschaft werden einzeln je Verkehrsträger berechnet. Die jeweilige Infrastrukturfläche resp. -länge bildet dabei die Basis. Werden die Kosten für Natur und Landschaft aller Verkehrsträger addiert, können aufgrund dieser Herangehensweise Doppelzählungen auftreten.<sup>155</sup> Dies führt zu einer tendenziellen Überschätzung dieser externen Kosten.

<sup>154</sup> Analog zu den ausgewiesenen Kosten für Natur und Landschaft, welche beim Luftverkehr um einen Faktor 17 (Strasse) resp. 2.7 (Schiene) tiefer liegen als bei den flächigen Verkehrsträgern.

<sup>155</sup> So z.B. bei den Fragmentierungskosten von parallel verlaufender Strassen- und Schieneninfrastruktur.

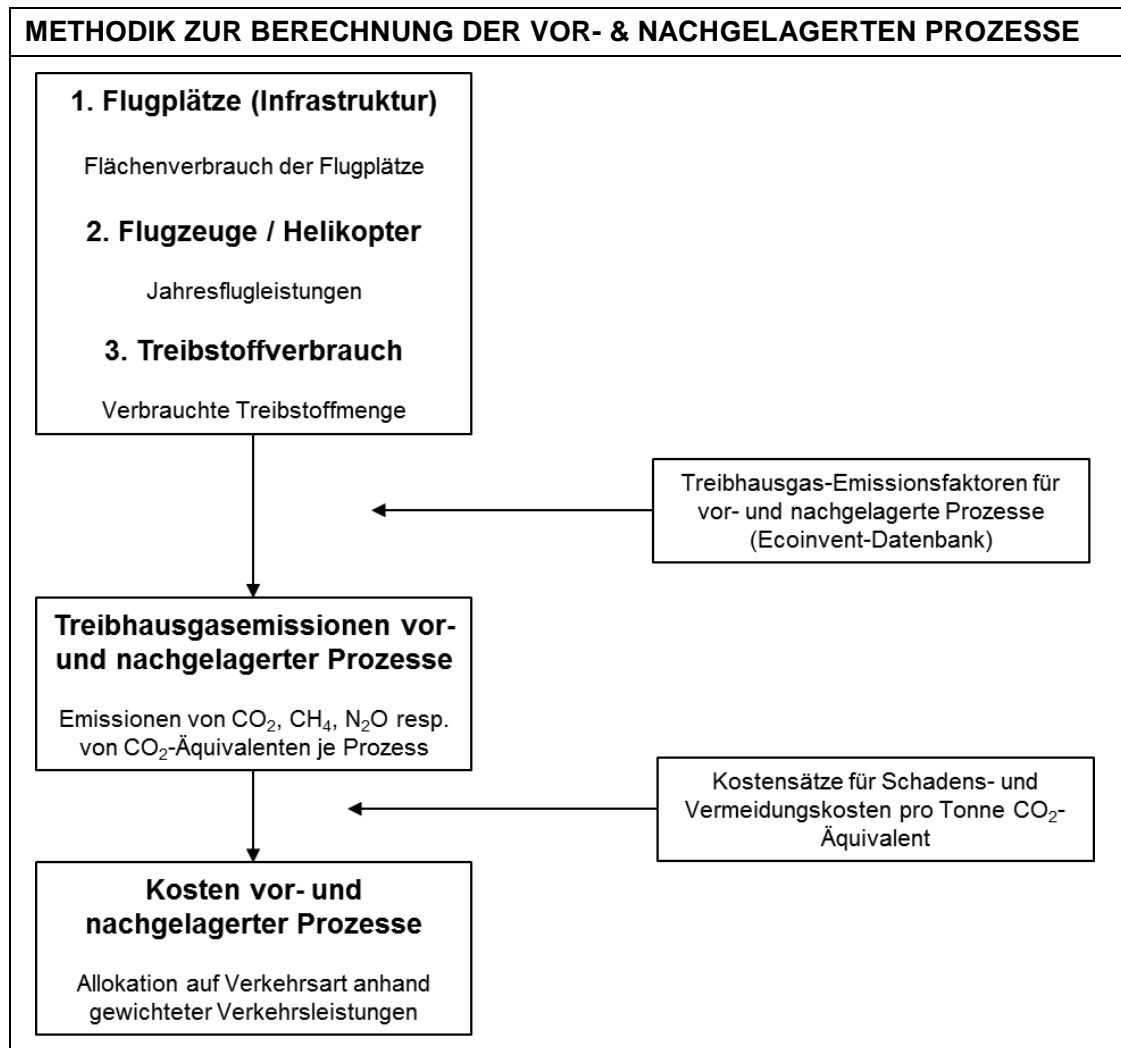
## 6.7. VOR- UND NACHGELAGERTE PROZESSE

### 6.7.1. VORGEHEN

Die externen Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse beziehen sich auf die nicht unmittelbar mit dem direkten Betrieb der Flugzeuge verbundenen Folgeschäden durch den Luftverkehr in der Schweiz. Sie lassen sich grob in die folgenden drei Kategorien einteilen:

- › Bau, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsinfrastruktur (Flugplätze),
- › Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsmittel (Flugzeuge),
- › Herstellung, Transport und Feinverteilung des Treibstoffes (Energiebereitstellung).

Die Kostenkategorie umfasst letztlich den mit diesen Prozessen verbundenen Ausstoss von Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O). Diese Vorgehensweise berücksichtigt also die globalen Umweltbelastungen, bei denen der Ort der Emission praktisch unbedeutend für den entstehenden Schaden ist. Eine detailliertere Bewertung aller resultierenden Schäden dieser Prozesse ist mit sehr grossem Aufwand verbunden und hängt zudem stark vom regionalen bzw. nationalen Kontext ab. So steht beispielsweise für die Herstellung eines Flugzeuges in Europa ein anderer Energiemix zur Verfügung als in Asien, was sich entsprechend auf die Kosten für diesen vorgelagerten Prozess auswirkt. Der Herstellungsprozess selber kann wiederum ebenfalls unterschiedliche lokale Auswirkungen haben. Wie auch bei der Strassen- und Schienenrechnung wird für diese Kostenkategorie auf bestehende Prozessanalysen zurückgegriffen, welche nicht alle resultierenden Schäden berücksichtigen können. Der Fokus auf die Treibhausgasemissionen entspricht in diesem Fall dem at least Ansatz.



Figur 30

Analog der Berechnung dieser Kostenkategorie bei Strasse und Schiene wird auf die umfangreiche Datenbank von EcoInvent abgestützt.<sup>156</sup> Darin finden sich für verschiedenste Prozesse und auf unterschiedlichem Aggregationsniveau die mit der Produktion, Unterhalt und Entsorgung eines bestimmten Gutes zusammenhängenden Energieverbräuche und Emissionen. Diese Datenbank bildet eine in diesem Bereich sehr gute Datengrundlage mit vielen Prozessketten, welche auf die Schweiz bezogen sind.

Die folgende Tabelle zeigt, welche Prozesse berücksichtigt werden können und in welcher Differenzierung die Daten vorliegen. Aufgrund fehlender Daten bezüglich Unterhalt und Ent-

<sup>156</sup> Die Datenbank ist online zugänglich ([www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)), alle benötigten Datensätze stammen aus der Version v2.2 der Datenbank.

sorgung von Flugzeugen können die Emissionen dieser beiden Prozesse nicht berücksichtigt werden, obwohl sie bei Strasse und Schiene enthalten sind. Ebenso fehlen bei der Infrastruktur (Flughafen Zürich) die Angaben zu Unterhalt.

<b>UP- UND DOWNSTREAM-PROZESSE</b>				
<b>Kategorie</b>	<b>Prozess</b>	<b>Funktionale Einheit</b>	<b>Differenzierungen</b>	<b>Allokation</b>
Infrastruktur	Bau und Erneuerung	Gesamtemissionen pro Flugplatz	Flughafen Zürich	Allokation auf andere Flughäfen nach Emissionen pro Beschäftigtem
	Unterhalt und Betrieb (teilweise)			
	Entsorgung			
Verkehrsmittel	Herstellung	Gesamtemissionen pro Flugzeug	Flugzeuge nach Lang- und Mittelstrecke sowie Fracht und Passagieren; Helikopter	Auf Basis der spezifischen Flugleistungen
	Unterhalt (fehlt)			
	Entsorgung (fehlt)			
Energiebereitstellung (sog. Pre-combustion)	Herstellung Treibstoff	Gesamtemissionen pro Liter Treibstoff (Kerosin)	Kerosin	Auf Basis des verbrauchten Treibstoffs
	Transport			
	Regionalverteilung bis Endkunde			

**Tabelle 70** (Teilweise) fehlende Daten sind grau hervorgehoben.

Die Hochrechnung der spezifischen Emissionen je funktionaler Einheit ergibt die zusätzliche Menge an Treibhausgasemissionen für die vor- und nachgelagerten Prozesse. Wir verwenden für die Bewertung dieser Emissionen die gleichen Kostensätze wie bei der eigentlichen Klimaemissionen (d.h. 90 CHF je Tonne CO<sub>2</sub> als zentraler Wert, vgl. 6.5.3)

## 6.7.2. MENGENGERÜST

### Infrastruktur

In der Datenbank finden sich Daten zum Bau sowie zur Entsorgung des Flughafens Zürich. Beim Prozess „Erstellung“ werden die Herstellung der Pisten sowie der Gebäude berücksichtigt. Zudem fließen in diesen Prozess Materialien und Energie für den Unterhalt der Gebäude sowie deren Entsorgung mit ein. Der Prozess „Entsorgung“ berücksichtigt lediglich den Rückbau der Pisten. Die beiden Prozesse zusammen bilden demnach Bau und Rückbau von Gebäuden und Pisten ab, der Unterhalt ist jedoch nur teilweise enthalten.



Da die resultierenden Emissionsmengen sich auf den Flughafen Zürich beziehen, welcher eine grosse Dichte an Gebäuden verfügt, verwenden wir für die Zurechnung dieser Emissionswerte auf die anderen Flugplätze die Variable „Beschäftigte“.

### Verkehrsmittel

Die Grundlagen der Emissionen für Verkehrsmittel weisen nur Angaben für die Herstellung aus. Unterhalt sowie Entsorgung können deshalb nicht abgebildet werden.

Für die vorliegenden Berechnungen stützen wir uns einerseits auf die Herstellung eines Helikopters ab (Kategorien Helikopter, Business Aviation und General Aviation), andererseits finden sich die Emissionen für die Herstellung eines Kurz-/Mittel- und Langstreckenflugzeuges (Kategorien Linien-&Charterverkehr europäisch und interkontinental).

### Treibstoffe (Precombustion)

Die Treibhausgasemissionen für die Gewinnung, die Bearbeitung und den Transport von Treibstoffen stützen sich auf den gleichen Prozess wie bei der Strasse, allerdings nicht für Benzin und Diesel sondern für Kerosin.

### Gesamtemissionen je Prozess

Die folgende Darstellung zeigt die den Berechnungen zugrundeliegenden Prozesse für die drei Bereiche Verkehrsinfrastruktur, Verkehrsmittel und Treibstoffe. Während sich die Emissionen beim Treibstoff auf ein Kilogramm beziehen, liegen bei der Verkehrsinfrastruktur sowie den Verkehrsmitteln Angaben für einen Flugplatz resp. für ein Flugzeug/Helikopter über deren gesamte Lebensdauer vor.

GESAMTEMISSIONEN DER BETRACHTETEN PROZESSE							
Emissions of processes in kg per unit of process		airplanes			airports		kerosene
name		Helikopter	Flugzeug, Mittelstrecke	Flugzeug, Langstrecke	Erstellung Flughafen	Entsorgung Flughafen	ab Regionallager
Code		H	FZMS	FZLS			
Ecolnvent Version		2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Location		Global	Europe	Europe	Airport Zurich	Airport Zurich	CH
Einheit		unit	unit	unit	unit	unit	kg
Total CO2 fossil	CO2	4'018	2'017'380	5'857'600	389'593'009	542'230	0.5013
Total CH4 (methane) fossil	CH4	8	3'830	10'824	644'149	1'188	0.0033
Total N2O (dinitrogen monoxide) fossil	N2O	0.10	39	116	9'629	11	0.0000
Herstellung		ja	ja	ja	ja	nein	ja
Unterhalt / Betrieb		nein	nein	nein	teilw.	nein	ja
Entsorgung		nein	nein	nein	ja	ja	ja
Emissions of processes in kg CO2 eq per unit of process							
Total CO2 fossil	CO2	4'018	2'017'380	5'857'600	389'593'009	542'230	0.5013
Total CH4 (methane) fossil	CH4	166	80'434	227'311	13'527'137	24'954	0.0683
Total N2O (dinitrogen monoxide) fossil	N2O	31	12'168	35'871	2'984'897	3'349	0.0028
<b>Total emissions per unit of process</b>		<b>4'215</b>	<b>2'109'981</b>	<b>6'120'783</b>	<b>406'105'043</b>	<b>570'533</b>	<b>0.5725</b>

**Tabelle 71** Quelle: Ecolnvent database v2.2. (2011).

Die dargestellten Gesamtemissionen für die Verkehrsmittel werden unter Berücksichtigung ihrer Lebensdauer über Jahresflugleistungen auf jährliche Emissionen je Verkehrsmenge umgerechnet. Diese Grösse wird dann mit den effektiven Verkehrsleistungen für das betrachtete Jahr hochgerechnet. Die Emissionen für Herstellung und Entsorgung eines Flugplatzes werden über die Anzahl Beschäftigten je Flugplatz alloziert.<sup>157</sup> Nachfolgende Tabelle zeigt die resultierenden CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die drei berücksichtigten Prozesskategorien.

<b>CO<sub>2</sub>-ÄQUIVALENTE FÜR ALLE DREI PROZESSKATEGORIEN, 2010</b>					
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalente für alle drei Prozesskategorien (t CO<sub>2</sub> eq.)</b>					
	Infrastruktur	Verkehrsmittel		Energiebereitstellung	
		Abflugprinzip	Territorialprinzip	Abflugprinzip	Territorialprinzip
Landesflughäfen	10'485				
Regionalflyplätze	370				
Flugfelder	162				
Heliports	34				
L/Ch intercontinental		6'126	519	434'219	48'058
L/Ch continental + domestic		9'312	5'362	364'129	241'315
Helicopters		16	18	6'000	6'432
Business Aviation		32	21	28'284	15'977
Rest General Aviation		91	87	36'605	20'532
<b>Total</b>	<b>11'050</b>	<b>15'578</b>	<b>6'007</b>	<b>869'238</b>	<b>332'314</b>

**Tabelle 72** Alle Werte in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr für den betrachteten Prozess; Quelle: Eigene Berechnung auf Basis Beschäftigte (Infrastruktur), Emissions- und Treibstoffverbrauchsdaten.

### 6.7.3. WERTGERÜST

Die Bewertung der Treibhausgasemissionen erfolgt wie beim Klima mit einem kurzfristigen Kostensatz von 40 CHF / t CO<sub>2</sub>, einem langfristigen Kostensatz von 140 CHF / t CO<sub>2</sub> und einem zentralen Kostensatz von 90 CHF / t CO<sub>2</sub> (vgl. Kapitel 6.5.3).

### 6.7.4. ERGEBNIS

Die ausgewiesenen externen Kosten für die vor- und nachgelagerten Prozesse des Luftverkehrs belaufen sich auf knapp 81 Mio. CHF (Abflugprinzip) resp. auf 31 Mio. CHF (Territorialprinzip). Wie die folgende Tabelle zeigt, ist primär die Bereitstellung des Treibstoffes für die Kosten verantwortlich. Im Vergleich dazu fallen die externen Kosten für Infrastruktur und Verkehrsmittel sehr gering aus.

<sup>157</sup> Die Beschäftigtenzahlen stammen aus der Studie zur volkswirtschaftlichen Bedeutung der Zivilluftfahrt in der Schweiz (Infras, 2011).

<b>KOSTEN FÜR VOR- &amp; NACHGELAGERTE PROZESSE DES LUFTVERKEHRS</b>		
<b>Kosten vor- &amp; nachgelagerte Prozesse (Mio. CHF)</b>		
	Abflugprinzip	Territorialprinzip
Infrastruktur	1.0	1.0
Verkehrsmittel	1.4	0.5
Treibstoff	78.2	29.9
<b>Total vor-&amp;nachgelagerte Prozesse</b>	<b>80.6</b>	<b>31.4</b>

Tabelle 73

## 6.7.5. SENSITIVITÄTSANALYSE

### Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Hauptdatenquelle für diese Kostenkategorie stellt die EcoInvent-Datenbank dar. Auf die diesbezüglichen Unsicherheiten wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Die in der Tabelle angegebenen Bandbreiten sind ungefähre Richtwerte.

<b>ÜBERSICHT ÜBER ANNAHMEN UND BANDBREITEN BEI DEN KOSTEN FÜR VOR- UND NACHGELAGERTE PROZESSE DES LUFTVERKEHRS</b>			
<b>Bereich / Annahme</b>	<b>Wissensstand</b>	<b>Vorgehen in Studie</b>	<b>Bandbreite</b>
Emissionen › Infrastruktur › Verkehrsmittel › Energiebereitstellung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	Für die drei Bereiche <sup>1)</sup> › +/- 25% › +/- 25% › +/- 10%
Kostensatz (Kosten pro Tonne CO <sub>2</sub> )	Wissen mit Unsicherheit	Anlehnung an EU Handbuch; analog zu Strasse und Schiene	+/- 50 CHF pro Tonne CO <sub>2</sub>

**Tabelle 74** 1) Auf diese Unsicherheiten wird in der Sensitivitätsanalyse nicht eingegangen.

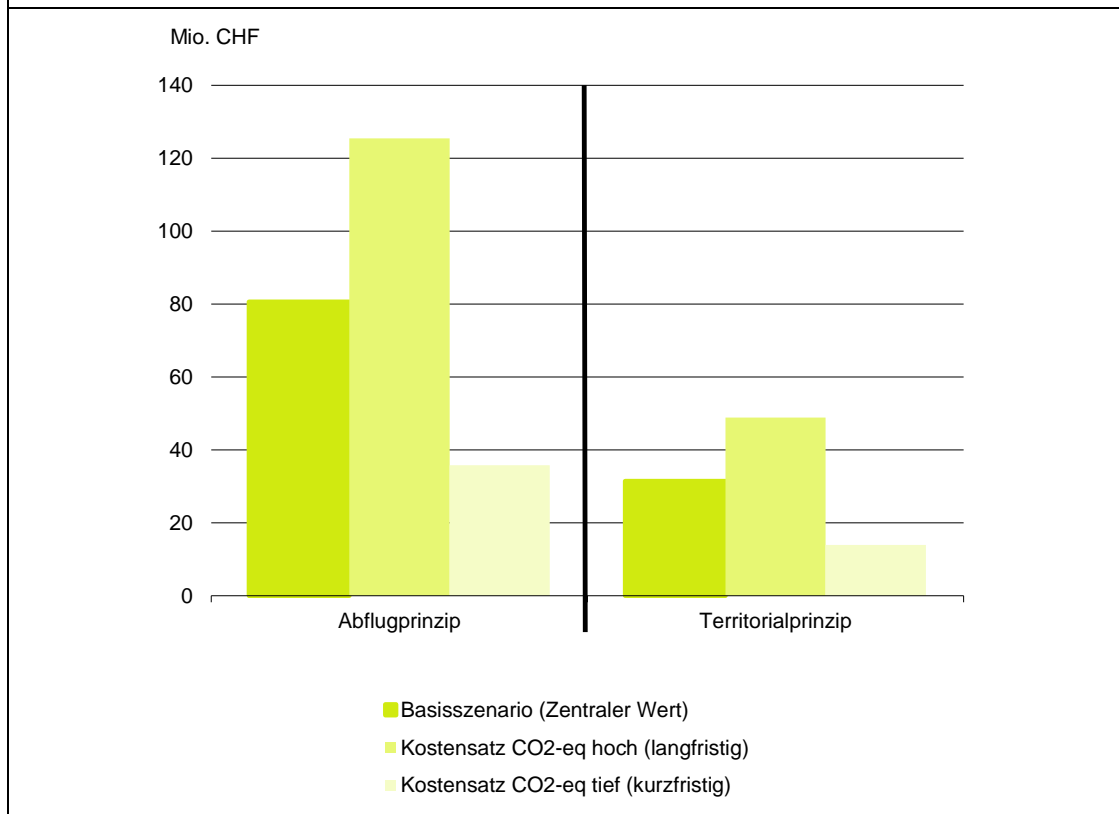
### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Analog zur Rechnung bei der Schiene und bei der Strasse weisen die hier berechneten Kosten die Unsicherheit bezüglich Bewertung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf. Die oben dargestellten Ergebnisse basieren auf einem Kostensatz von 90 CHF je Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent. In der folgenden Tabelle und Figur werden die Ergebnisse für die Sensitivitätsanalyse gezeigt. Als Bandbreiten werden wieder je ein kurzfristiger und langfristiger Kostensatz verwendet. Die Resultate liegen in Analogie zu den Klimakosten um 56% über resp. unter den Kosten des Basisszenarios.

**ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄSANALYSE FÜR DIE KOSTEN VOR- UND NACHGELAGERTER PROZESSE**

in Mio. CHF	Abflugprinzip	Territorialprinzip
<b>Basisszenario (Zentraler Wert)</b>	<b>80.6</b>	<b>31.4</b>
Kostensatz CO2-eq hoch (langfristig)	125.4	48.9
Kostensatz CO2-eq tief (kurzfristig)	35.8	14.0
<b>Abweichungen vom Basisszenario</b>		
Kostensatz CO2-eq hoch (langfristig)	56%	56%
Kostensatz CO2-eq tief (kurzfristig)	-56%	-56%

Tabelle 75

**ERGEBNISSE DER SENSITIVITÄSANALYSE FÜR DIE KOSTEN VOR- UND NACHGELAGERTER PROZESSE**


Figur 31

**Zusätzliche Unter-oder Überschätzungen**

Wie in Kapitel 6.7.1 dargelegt, können aufgrund des vorliegenden Datenmaterials nicht alle Prozesse berücksichtigt werden. So fehlt neben dem nur teilweise erfassten Unterhalt und Betrieb der Flugplätze der Unterhalt für die Verkehrsmittel sowie deren Entsorgung. Die Emissionen dieser Prozesse sind in den ausgewiesenen Emissionen demnach nicht enthalten. Werden

diese Emissionen einbezogen erhöhen sich die Kosten für die vor- und nachgelagerten Prozesse der Luftfahrt nochmals.

Ferner wurde an anderer Stelle erwähnt, dass zahlreiche Umweltbelastungen der vor- und nachgelagerten Prozesse aus methodischen Gründen sowie aufgrund fehlenden Datenmaterials nicht berücksichtigt werden konnten. Dazu gehören insbesondere:

- › Luftverschmutzungskosten (Rohstoffgewinnung, Herstellungsprozesse),
- › Belastungen für Gewässer sowie Natur und Landschaft insbesondere bei der Förderung, Weiterverarbeitung und dem Transport der Treibstoffe.

## 6.8. GESAMTÜBERSICHT EXTERNE KOSTEN

Folgend fassen wir die in den vorangegangenen Kapiteln einzeln dargestellten Kosten zusammen. Die gesamten externen Kosten für den Luftverkehr im Jahr 2010 belaufen sich demnach aus Sicht Verkehrsträger auf 725 Mio. CHF (Abflugprinzip) resp. auf 316 Mio. CHF (Territorialprinzip). Den mit Abstand grössten Kostenblock stellen die Klimakosten dar, welche beim Abflugprinzip rund 80%, beim Territorialprinzip 71% der gesamten externen Kosten ausmachen.

<b>ÜBERSICHT EXTERNE KOSTEN LUFTVERKEHR, ALLE KATEGORIEN</b>						
in Mio. CHF, 2010						
	<b>Abflugprinzip</b>			<b>Territorialprinzip</b>		
	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Unfallkosten Sicht Verkehrsträger	9.2	0.2	9.4	8.0	0.2	8.2
Luftverschmutzung	19.9	2.0	22.0	19.9	2.0	22.0
Lärm	19.4	1.4	20.8	19.4	1.4	20.8
Klima	531.4	50.8	582.2	203.5	19.7	223.3
Natur und Landschaft	9.3	0.9	10.2	9.3	0.9	10.2
Vor- und nachgelagerte Prozesse	73.6	7.0	80.6	28.7	2.8	31.4
<b>Total Sicht Verkehrsträger</b>	<b>662.8</b>	<b>62.4</b>	<b>725.2</b>	<b>288.7</b>	<b>27.1</b>	<b>315.8</b>
Unfallkosten Sicht Verkehrsteilnehmende	19.8	0.7	20.4	13.7	0.6	14.3
<b>Total Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>673.3</b>	<b>62.9</b>	<b>736.2</b>	<b>294.4</b>	<b>27.5</b>	<b>322.0</b>
Soziale Unfallkosten	58.1	7.1	65.1	46.5	6.6	53.1

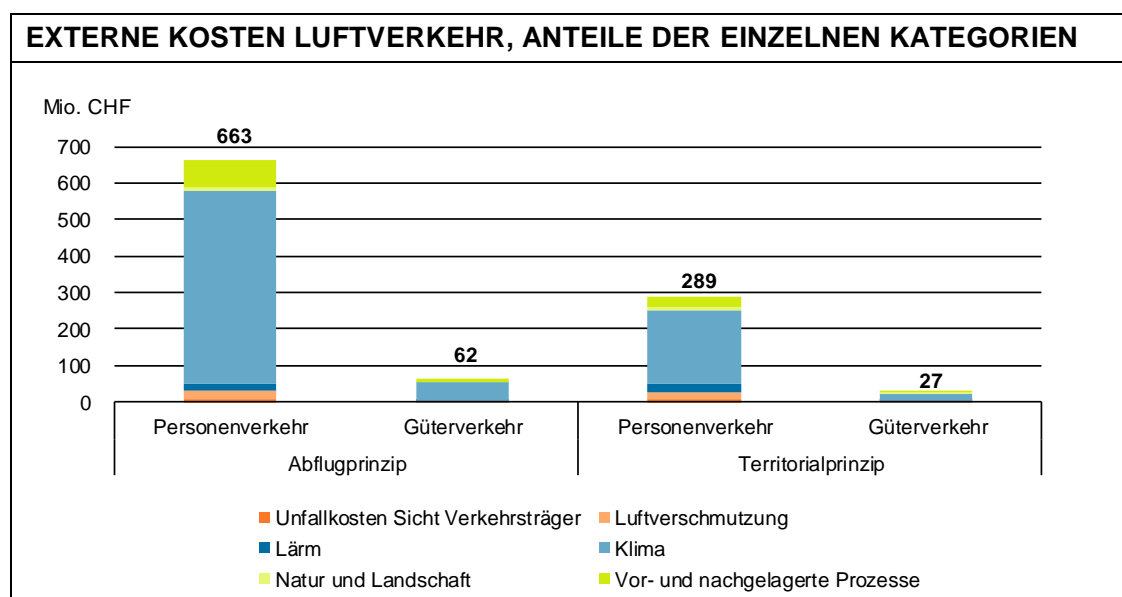
**Tabelle 76**

Je nach Abgrenzungsprinzip sind die externen Kosten also unterschiedlich hoch. Diese Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass insbesondere die Klimakosten in grossem Masse von der Verkehrsleistung beeinflusst werden. Bei Betrachtung aller Flüge in die resp. ab der Schweiz zählt für eine Beispielsdestination Schweiz-Asien je die Hälfte der zurückgelegten Distanz beim Hin- und Rückflug (Abflugprinzip). Beim Territorialprinzip hingegen werden nur die innerhalb der Schweizerischen Landesgrenzen anfallenden Flugkilometer berücksichtigt. Diese Distanzen sind bedeutend geringer, was sich letztlich auch auf den verbrauchten Treibstoff sowie die Emissionen auswirkt. Dadurch weisen die Klimakosten und die Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse, welche beide direkt von diesen distanzabhängigen Variablen beeinflusst sind, die grössten Unterschiede zwischen den beiden Abgrenzungsprinzipien auf. Auf der anderen Seite beziehen sich die Kostenkategorien Luftverschmutzung, Lärm und Natur & Landschaft auf Grössen, die unabhängig vom Abgrenzungsprinzip in der Schweiz anfallen. Sie weisen deshalb die gleichen Kosten auf in beiden Prinzipien.

Für die Unfallkosten ist die Perspektive entscheidend über die Höhe der Kosten. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende fallen höhere immaterielle Kosten (Schmerz, Leid, etc.) an als aus Sicht Verkehrsträger, weil ein Teil der Kosten nicht beim Unfallverursacher, sondern bei anderen Verkehrsteilnehmern anfällt. Deshalb werden in der Tabelle beide Sichtweisen aufgeführt.

Die Lärmkosten machen nur einen geringen Anteil der externen Kosten aus (20.8. Mio. CHF resp. 2.9% nach Abflugprinzip bzw. 6.6% nach Territorialprinzip). Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine sehr vorsichtige Schätzmethode gewählt worden ist, welche eine absolute Untergrenze der Lärmkosten wiedergibt.

Die folgende Figur veranschaulicht die Bedeutung der Klimakosten sowie der Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse.



**Figur 32**

Abschliessend ist nochmals darauf hinzuweisen, welche Kosten bei den obigen Kategorien berücksichtigt worden sind. Es handelt sich dabei um eine Monetarisierung von (negativen) Auswirkungen des Luftverkehrs, die nicht direkt von den Verursachenden selber getragen werden. Bei gewissen externen Kostenkategorien werden zur Internalisierung Abgaben bei den Verkehrsteilnehmenden erhoben. Auf diese wurde in den jeweiligen Kapiteln hingewiesen, sie wurden jedoch nicht direkt mit den externen Kosten verrechnet. Diese Anrechnung findet erst bei der Gegenüberstellung aller Kosten und Erträge statt, wobei beispielsweise die Lärmabgaben oder die emissionsabhängigen Landegebühren als Abgaben aufgeführt sind (vgl. Kapitel 7).

## 7. GESAMTRECHNUNG 2010

### 7.1. KOSTEN

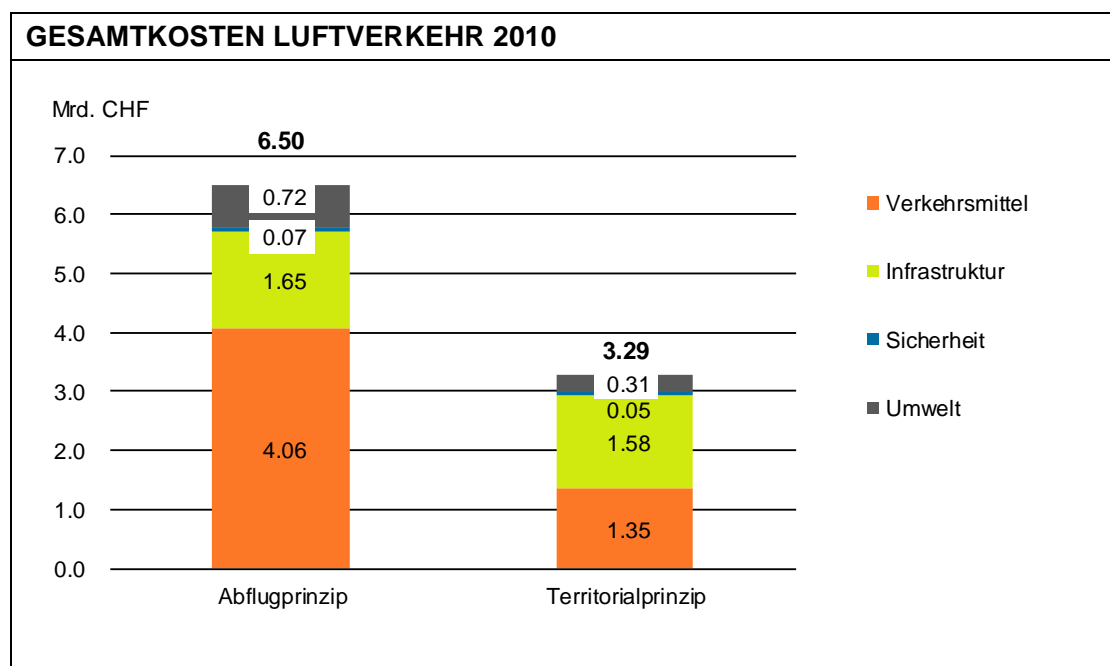
In diesem Kapitel werden die berechneten internen (Kapitel 5) und externen (Kapitel 6) Kosten zusammengestellt und summarisch für den Luftverkehr angegeben. Dabei greifen wir auf die in Kapitel 4.2 erklärten vier Kostenstellen zurück.

- › Verkehrsmittel: Umfassen die internen Kosten der Flugzeugbetreiber (ohne Aufwendungen für Infrastruktur, Sicherheit und Umwelt).
- › Infrastruktur: Umfassen die Kosten der Flugplätze sowie für die Flugsicherung.
- › Sicherheit: Umfassen die sozialen Unfallkosten.
- › Umwelt: Umfassen die Umweltkosten durch Luftverschmutzung, Lärm, Klimaemissionen, vor- und nachgelagerte Prozesse sowie durch Landschaftsverbrauch.

Die im Folgenden präsentierten Ergebnisse werden konsequent nach Abflug- und nach Territorialprinzip differenziert.

#### Gesamtkosten

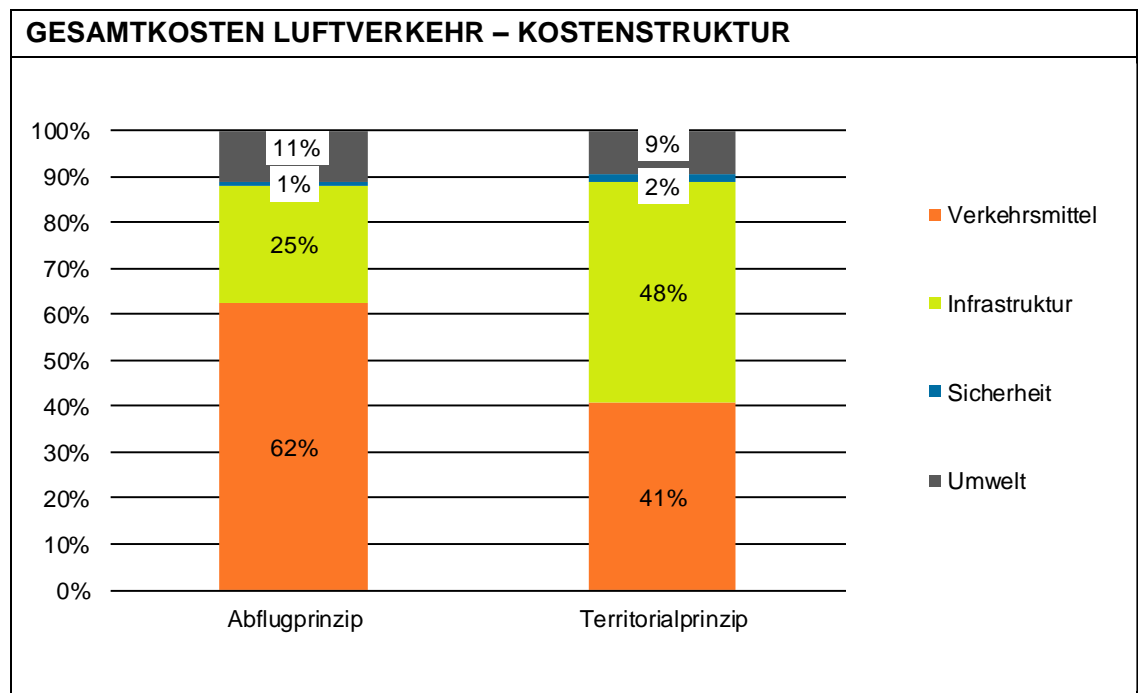
Wie Figur 33 zeigt, ergeben sich für die Luftfahrt im Jahr 2010 Gesamtkosten von rund 6.5 Mrd. CHF nach Abflugprinzip und von rund 3.3 Mrd. CHF nach Territorialprinzip.



Figur 33



Die relative Verteilung dieser absoluten Kosten zeigt, dass im Abflugprinzip mit knapp zwei Drittel die Kosten für Verkehrsmittel (insb. Personal- und Sachaufwand sowie Kapitalkosten der Flugzeugbetreiber) dominieren (vgl. Figur 34). Im Territorialprinzip hingegen überwiegen die Infrastrukturkosten (Betrieb Flugplätze sowie Flugsicherung) mit knapp der Hälfte aller Kosten. Die Umweltkosten machen bei beiden Prinzipien etwa einen Zehntel aus. Gründe für die unterschiedliche Gewichtung der Kosten für Verkehrsmittel und Infrastruktur liegen in der unterschiedlichen Abgrenzung. Im Territorialprinzip fallen in absoluten Beträgen ähnliche Kosten im Bereich Infrastruktur an wie im Abflugprinzip (vgl. Figur 33). Die Verkehrsleistung ist jedoch deutlich geringer, was die Kosten für Verkehrsmittel im Vergleich zum Abflugprinzip senkt.



**Figur 34**

Im Bereich Luftfahrt interessiert über diese Gesamtkostenperspektive hinaus der Kostenanteil der Dienstleistungen aus dem Non-Aviation Bereich (Retail, Gastronomie, etc.). Die folgende Tabelle zeigt, dass diese Kosten rund 300 Mio. CHF betragen. Diese Kosten sind in den oberen Figuren jeweils im Bereich der Infrastruktur enthalten. Diese gut 300 Mio. CHF fehlen im Folgenden bei der Aufteilung der Kosten nach weiteren Kriterien.

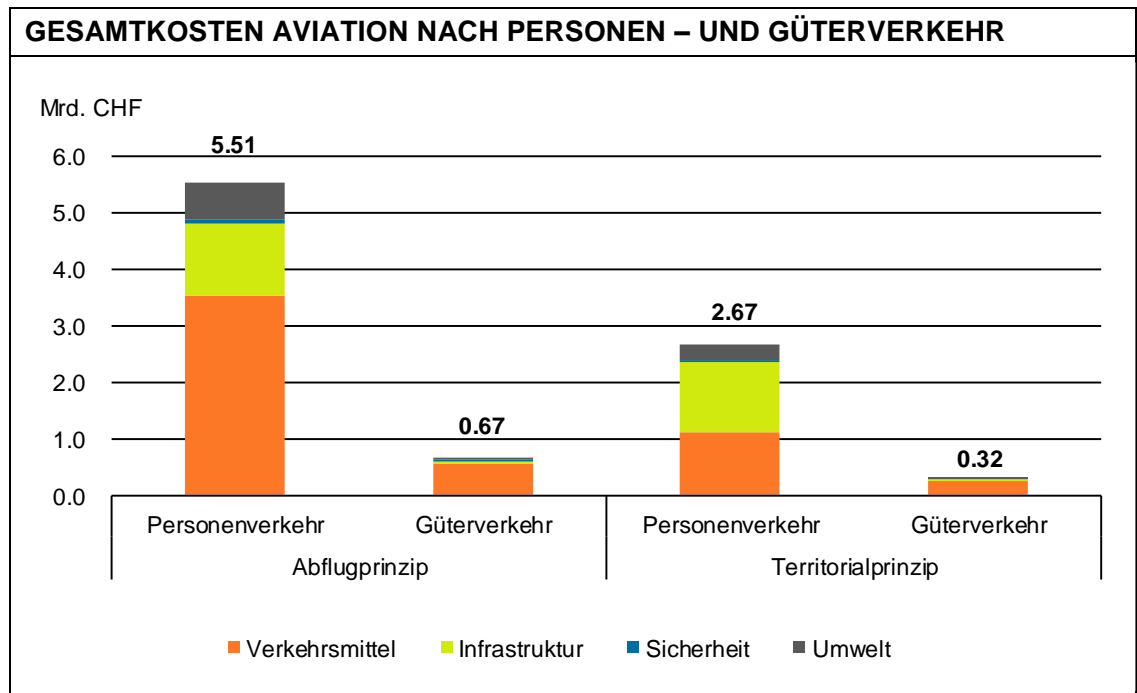
<b>GESAMTKOSTEN NACH AVIATION UND NON-AVIATION 2010</b>						
<b>Aviation / Non-Aviation in Mrd. CHF</b>						
Abflugprinzip				Territorialprinzip		
	Aviation	Non-Aviation	Total	Aviation	Non-Aviation	Total
Verkehrsmittel	4.06	0.00	<b>4.06</b>	1.35	0.00	<b>1.35</b>
Infrastruktur	1.35	0.31	<b>1.65</b>	1.28	0.31	<b>1.58</b>
Sicherheit	0.07	0.00	<b>0.07</b>	0.05	0.00	<b>0.05</b>
Umwelt	0.72	0.00	<b>0.72</b>	0.31	0.00	<b>0.31</b>
<b>Total</b>	<b>6.19</b>	<b>0.31</b>	<b>6.50</b>	<b>2.99</b>	<b>0.31</b>	<b>3.29</b>

**Tabelle 77** Die Differenz im Bereich Infrastruktur ist auf unterschiedliche Abgrenzungen von Skyguide zurückzuführen.

### Kosten nach Verkehrsart

Insgesamt entfallen nach Abflugprinzip 5.5 Mrd. CHF im Personenverkehr und knapp 0.7 Mrd. CHF im Güterverkehr an. Betrachtet man die Kosten nach Verkehrsart unter Anwendung des Territorialprinzips, ergeben sich knapp 2.7 Mrd. CHF für den Personenverkehr und 0.3 Mrd. CHF für den Güterverkehr. Die Zahlen beziehen sich ausschliesslich auf den Aviation-Bereich, Non-Aviation-Tätigkeiten werden nicht auf die Verkehrsarten verteilt.

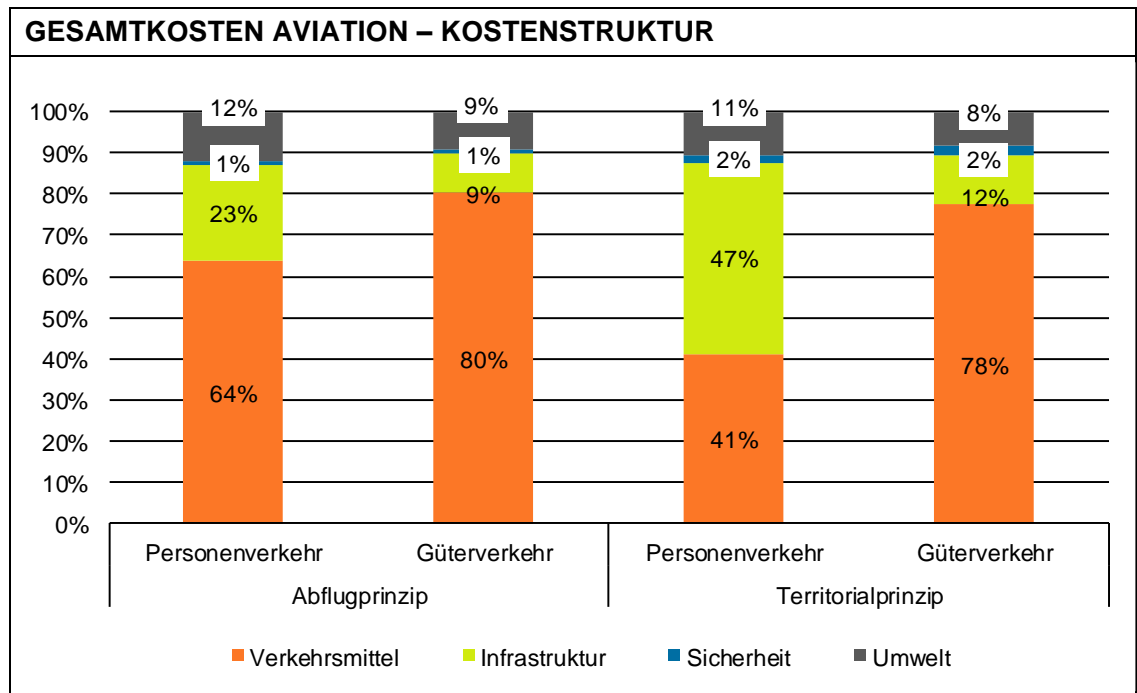
Es gilt anzumerken, dass im Flugverkehr diese Betrachtungsweise nicht gleichgehend zur Situation im Strassen- und Schienenverkehr interpretiert werden kann. Während bei letzteren Güter- und Personenverkehr weitestgehend getrennt abgewickelt werden, vermischen sich diese im Luftverkehr. Zwar bestehen reine Cargo-Transporte, das heisst Flugzeuge, die ausschliesslich für den Warenverkehr eingesetzt werden. Bei Flugzeugen für den Transport von Passagieren spielt jedoch der Güterverkehr ebenfalls eine Rolle. Nicht genutzte Platzkapazitäten werden für den Güterverkehr genutzt (sogenannte Belly-Freight). Die Zuteilung der Kosten auf den Personen- und Güterverkehr erfolgt daher für diese Flüge nach dem Gewicht der Passagiere an Bord und der geladenen Fracht.



Figur 35

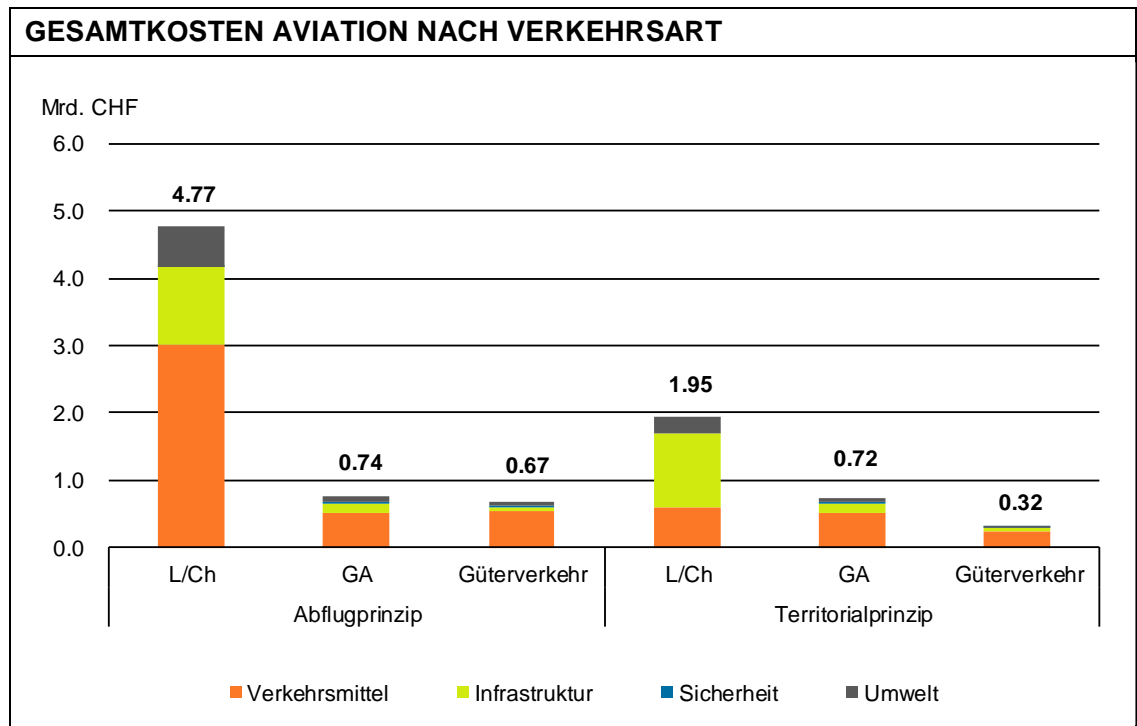
Zusätzlich ist zu obiger Darstellung anzumerken, dass die Datenverfügbarkeit zur Berechnung der Kosten im Güterverkehr sehr lückenhaft ist. Die ausgewiesenen Werte mussten daher insbesondere bei Verkehrsmittel und Infrastruktur weitgehend über Annäherungen und Expertenschätzungen erstellt werden.

Daraus resultiert für den Güterverkehr ein höherer Anteil an Verkehrsmittel-bezogenen Kosten (vgl. Figur 36). Hingegen sind bei den Sicherheits- und Umweltkosten keine deutlichen Unterschiede in der Kostenstruktur zwischen Personen- und Güterverkehr feststellbar.



**Figur 36**

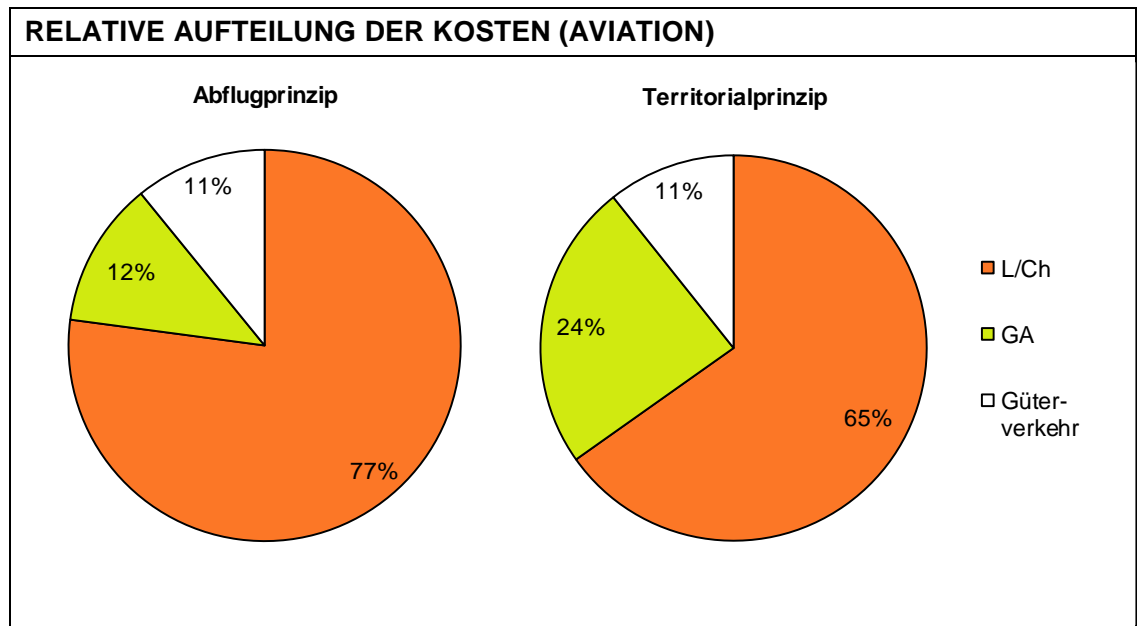
In der nachfolgenden Figur wird der Personenverkehr zusätzlich in Linien- und Charterverkehr sowie General Aviation aufgeschlüsselt. Letztere umfassen neben der Business Aviation auch die Personenflüge im Helikopterverkehr sowie die restliche General Aviation (Leichtaviatik etc.). Wie zu erwarten, zeigen sich die mit Abstand grössten Kostenblöcke im Linien- und Charterverkehr, der auch bezüglich Passagieraufkommen dominiert.



**Figur 37** L/Ch und General Aviation ergänzen sich zum Personenverkehr.

Auf den Linien- und Charterverkehr entfallen nach Abflugprinzip rund 4.8 Mrd. CHF oder 77 Prozent der Gesamtkosten (vgl. auch Figur 38). Beim Territorialprinzip sind es 1.95 Mrd. CHF (65 Prozent). Wie auch beim Güterverkehr weist die General Aviation (ausschliesslich Personenverkehr) vorwiegend Verkehrsmittelkosten auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die General Aviation zu grossen Teilen auf kleinen Regionalflugplätzen oder Flugfeldern abgewickelt wird, welche tiefere Infrastrukturkosten aufweisen als etwa die Landesflughäfen.

Die relative Aufteilung der Aviation-Kosten nach obiger Kategorisierung zeigt zudem, dass die General Aviation nach Territorialprinzip einen deutlich höheren Anteil an den Gesamtkosten ausmacht.

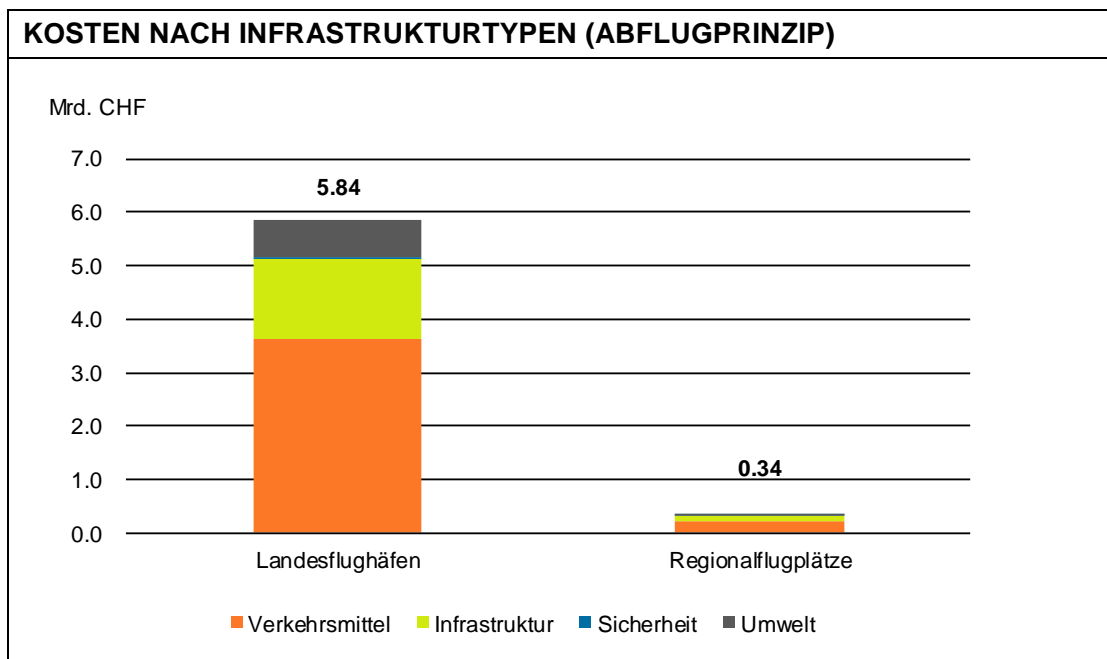


Figur 38

### Kosten nach Flugplatztyp

Die entstehenden Kosten des Luftverkehrs können auch nach Flugplatztyp differenziert werden. Wie die folgende Grafik zeigt, entfällt der mit rund 5.8 Mrd. CHF grösste Teil auf die Landesflughäfen.

Aufgrund der Datenqualität sowie aus Datenschutzgründen können die Kosten nur für das Abflugprinzip dargestellt werden. Die Kosten nach Territorialprinzip werden deshalb an dieser Stelle nicht gezeigt. Ebenso wird die Differenzierung nur für Landesflughäfen und Regionalflugplätze vorgenommen.



**Figur 39** Kosten inkl. Non-Aviation; Kosten auf Ebene Flugfelder und Heliports liegen nicht in der benötigten Differenzierung vor, weshalb diese in der Figur fehlen.

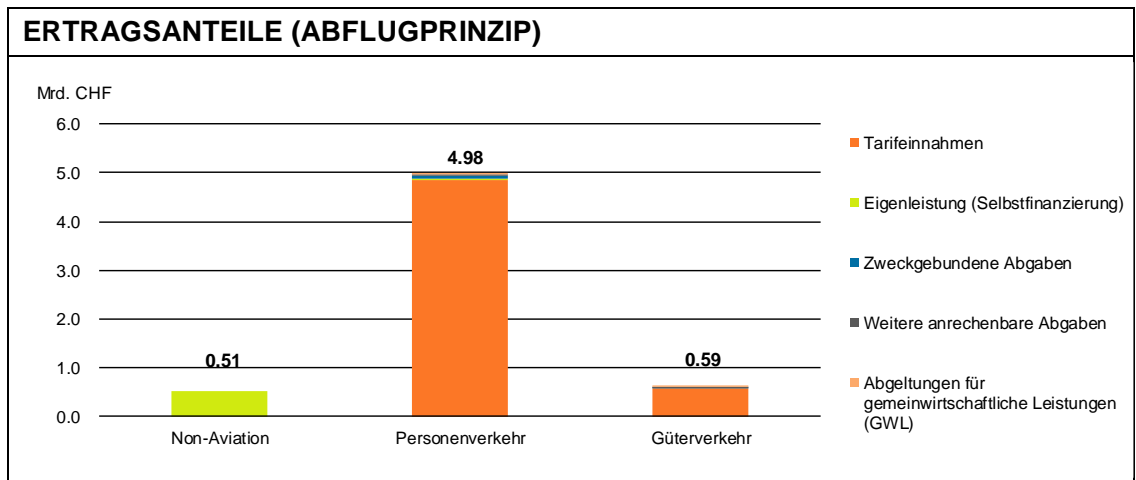
## 7.2. ERTRÄGE

Neben den Kosten fallen je nach betrachtetem Bereich unterschiedliche Erträge und anrechenbare Abgaben an. Wie in Kapitel 4.3 erläutert wird unterschieden zwischen

- › Tarifeinnahmen (Erträge der Flugzeugbetreiber),
- › Selbstfinanzierung (Non-Aviation-Tätigkeiten) ,
- › Zweckgebundenen Abgaben (z.B. Mineralölsteuer, Lärmabgabe),
- › Weiteren Abgaben (u.a. nicht zweckgebundene Mineralölsteuer) und
- › Gemeinwirtschaftlichen Leistungen (Beitragszahlungen des Bundes an Eurocontrol)

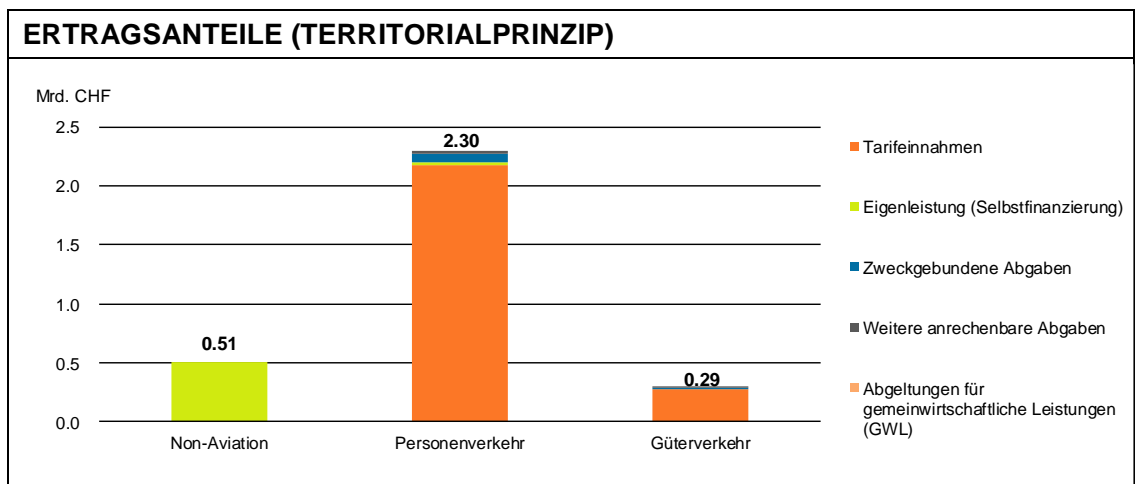
### Gesamterträge

In der Luftfahrt ergeben sich 2010 Erträge in der Höhe von rund 5.6 Mrd. CHF im Bereich Verkehr. Zuzüglich der weiteren Erträge aus dem Non-Aviation-Bereich von rund 500 Mio. CHF fallen im Luftverkehr Gesamterträge von knapp 6.1 Mrd. CHF an (nach Abflugprinzip). Wie die folgende Figur zeigt, stammen über 89% davon aus Tarifeinnahmen.



Figur 40

Analog sieht die Situation für das Territorialprinzip aus, wobei hier Gesamterträge inkl. Non-Aviation von 3.1 Mrd. CHF anfallen.



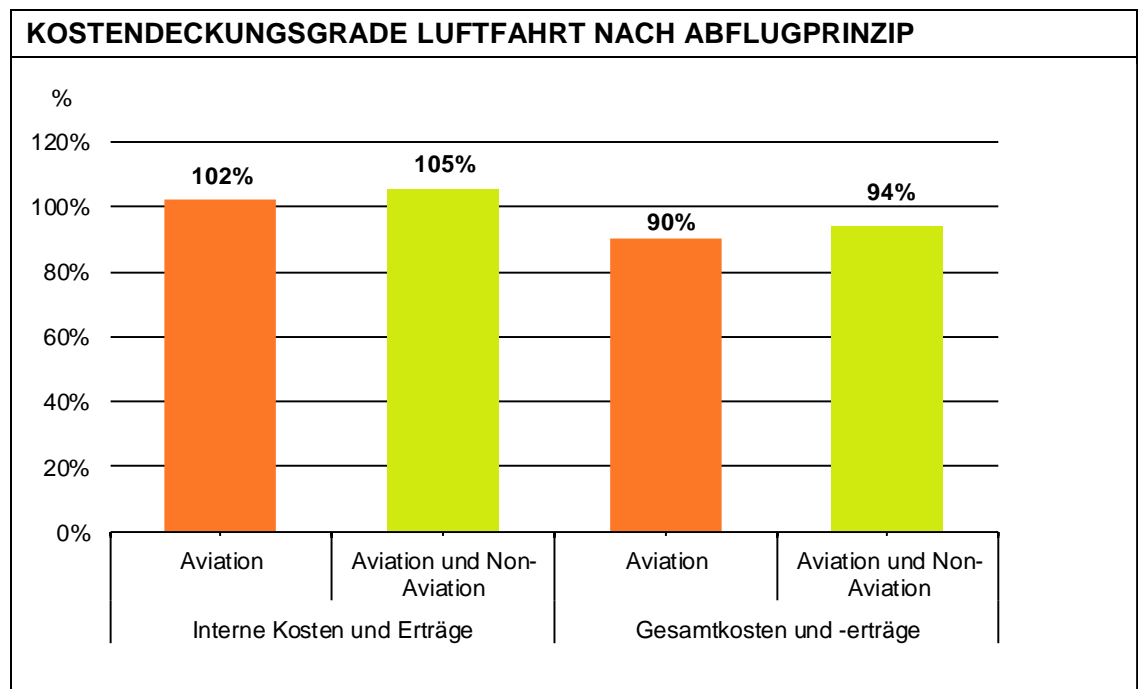
Figur 41



### 7.3. KOSTENDECKUNGSGRADE

Die Gegenüberstellung von Gesamtkosten und -erträgen ergibt den Kostendeckungsgrad für die Luftfahrt. Um den spezifischen Eigenschaften der Luftfahrt gerecht zu werden, stellen wir die Kostendeckungsgrade jeweils mit und ohne Berücksichtigung der Tätigkeiten im Non-Aviation-Bereich dar. Die Abgeltungen für gemeinwirtschaftliche Tätigkeiten (Beiträge des Bundes) im Luftverkehr haben nach Territorialprinzip gar keinen Einfluss und nach Abflugprinzip nur einen marginalen Einfluss auf den resultierenden Kostendeckungsgrad. Wir verzichten an dieser Stelle deshalb auf die separate Ausweisung der Kostendeckungsgrad ohne diese Leistungen.

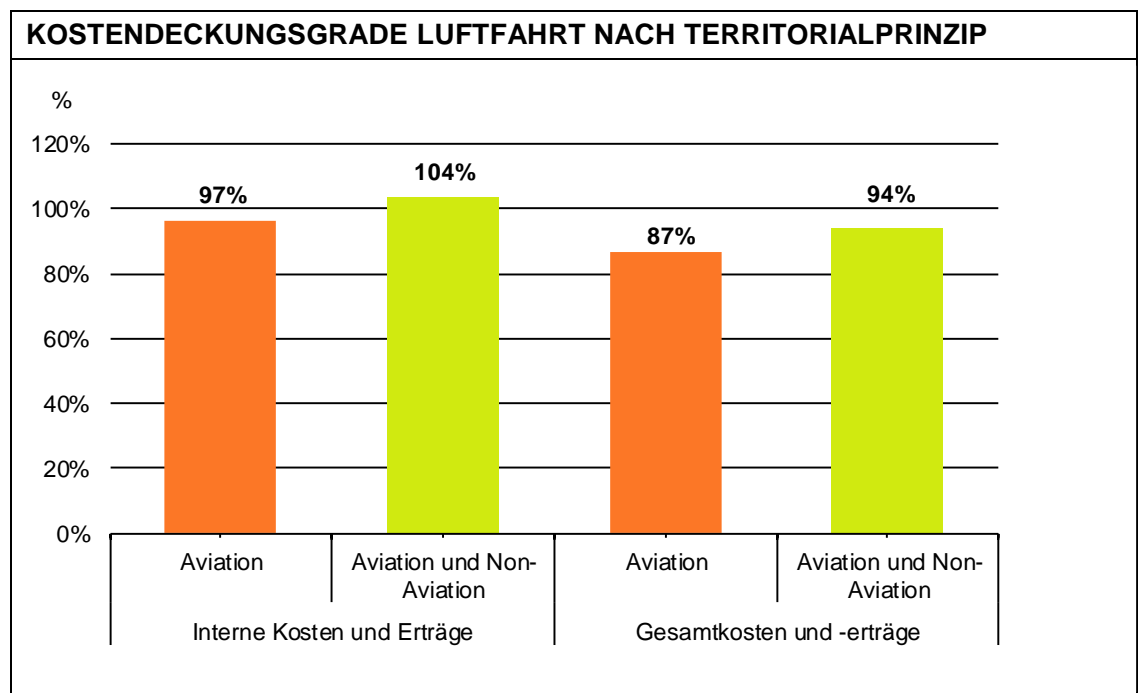
Es zeigt sich, dass die Luftfahrt ohne Berücksichtigung der externen Kosten (und der damit zusammenhängenden Abgaben auf Ertragsseite) nach Abflugprinzip ihre Kosten zu decken vermag. Werden die externen Kosten einbezogen und somit die Kostendeckungsgrade für die Gesamtkosten und -erträge betrachtet, ergibt sich ein Kostendeckungsgrad von 90% resp. von 94% wenn die Non-Aviation-Tätigkeiten berücksichtigt werden. Diese macht deutlich, dass die rentablen Dienstleistungen im Non Aviation Bereiche (vor allem bei den Landesflughafen) helfen, den Kostendeckungsgrad im Luftverkehr zu erhöhen.



Figur 42

Die Darstellung nach Territorialprinzip zeigt ein etwas anderes Bild. Hier kann die Luftfahrt seine Kosten nur dann decken, wenn erstens die externen Kosten nicht berücksichtigt werden

und zweitens die Non-Aviation-Tätigkeit miteinbezogen wird. Im Unterschied zum Abflugprinzip kann der Aviation-Bereich also seine Kosten für Verkehrsmittel und Infrastruktur nicht decken. Fließen die externen Kosten in die Rechnung mit ein, deckt die Luftfahrt ihre Kosten zu 87% (Aviation) resp. zu 94% (inkl. Non-Aviation). Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die Erträge aus dem internationalen Flugverkehr nicht berücksichtigt werden.



Figur 43

Wenn man zudem die hoheitlichen Sicherheitskosten einbezieht (die der Luftverkehr selbst trägt), dann sinkt der Kostendeckungsgrad leicht von 94% auf 93%. Diese Kosten sind bei Strasse und Schiene durch die öffentliche Hand getragen und werden deshalb beim Hauptvergleich beim Luftverkehr nicht gezählt.

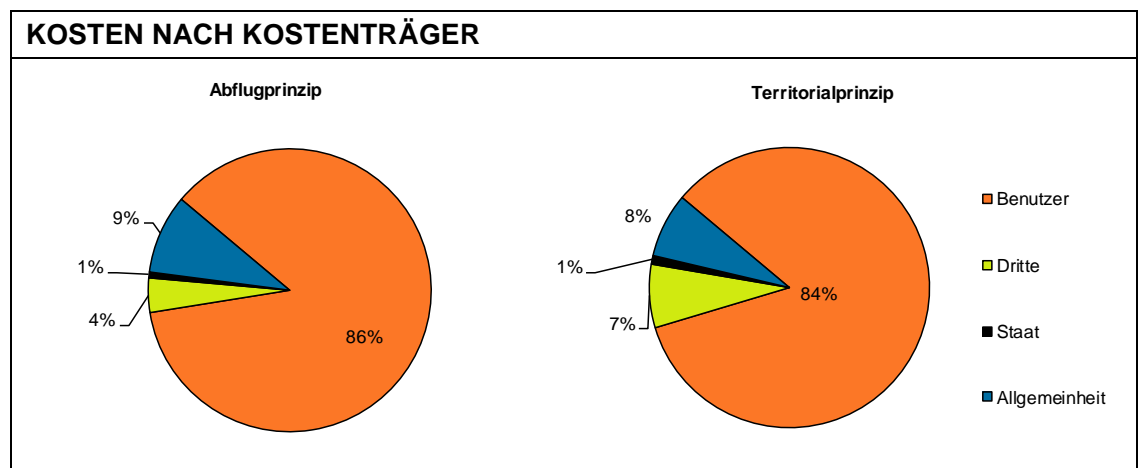
BERÜCKSICHTIGUNG HOHEITLICHER SICHERHEITSKOSTEN		
Kostendeckungsgrade (KDG) mit hoheitlichen Sicherheitskosten in Mrd. CHF (Zusatzinformation)		
	Abflugsprinzip	Territorialprinzip
Hoheitliche Sicherheitskosten	0.04	0.04
Kosten ohne h. Sicherhk.	6.50	3.29
Kosten ohne h. Sicherhk.	6.54	3.33
Erträge (inkl. Non-Aviation)	6.08	3.09
KDG mit hoheitlichen Sicherheitskosten	93%	93%

Tabelle 78

### Kostenträger

Der Luftverkehr vermag seine Kosten (bei Berücksichtigung der externen Kosten) nicht vollständig zu decken. Die Kostenunterdeckung bedeutet, dass nicht alle Kosten von den Verursachenden selber bezahlt werden. Eine Differenzierung der Kosten nach den Kostenträgern zeigt, wer die weiteren Kosten zu tragen hat. Für die Berechnung der Kostenanteile nach Kostenträgern gehen wir nach der in Kapitel 4.4 präsentierten Aufstellung vor.

Folgende Figur stellt die Kostenträger für das Abflug- und das Territorialprinzip dar. Der grösste Teil der Kosten wird durch die Benutzenden bezahlt. Rund 10% der Kosten fällt für die Allgemeinheit an. Es sind dies insbesondere die externen Kosten. 4% resp. 7% der Kosten entfallen auf Dritte, wobei die Nettoerträge aus den Non-Aviation-Tätigkeiten dominant sind.

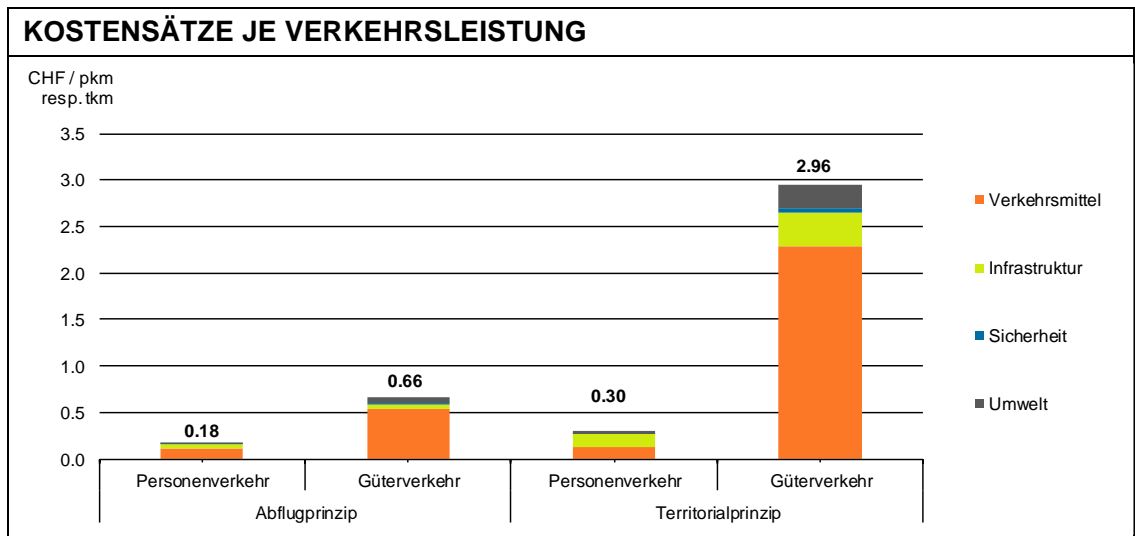


**Tabelle 79** Benutzer inkl. Tarifeinnahmen, Abgaben und Kosten Non-Aviation; Dritte u.a. mit Nettoerträgen aus Non-Aviation.

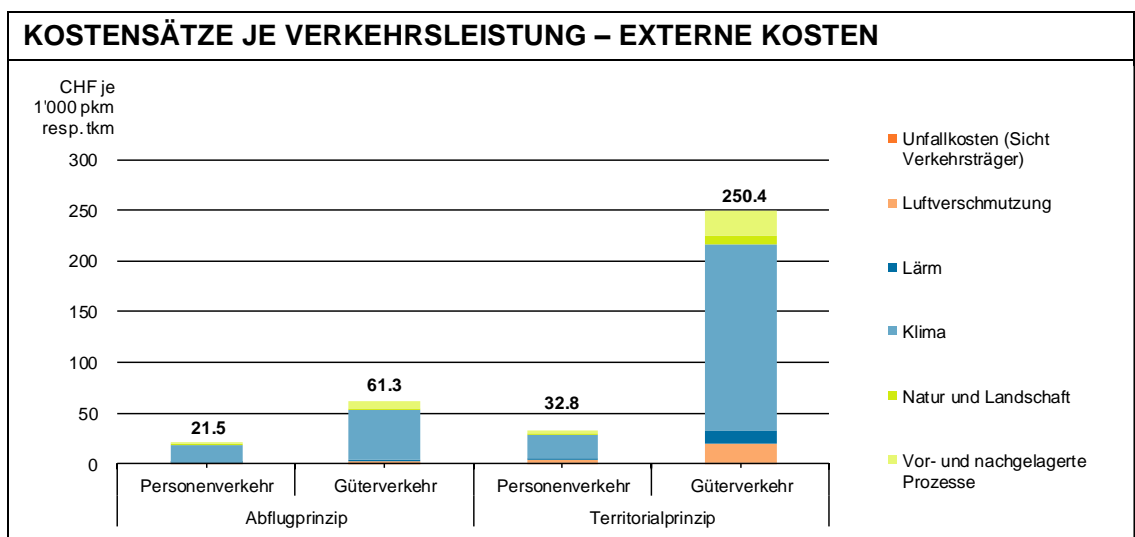
## 7.4. KOSTEN JE VERKEHRSEINHEIT

Spezifische Kosten pro Verkehrseinheit ermöglichen eine weitere Perspektive für die Beurteilung der Luftfahrt. Die folgenden Figuren zeigen die entsprechenden Resultate nach Abflug- und Territorialprinzip jeweils für Personen- und Güterverkehr.

Die hohen Werte im Güterverkehr sind aufgrund der bereits erwähnten komplexeren Verknüpfung von Personen- und Gütertransport in der Luftfahrt vorsichtig zu interpretieren. Zudem ist der Indikator (Tonnenkilometer) nicht geeignet, die hohe Wertigkeit der Luftverkehrsfracht abzubilden.



Figur 44 Ohne Kosten Non-Aviation.



Figur 45 Einheit: CHF je 1'000 pkm resp. je 1000 tkm.

<b>EXTERNE KOSTEN LUFTVERKEHR</b>				
<b>Kostensätze Externe Kosten</b>				
in CHF je 1'000 pkm resp. 1'000 tkm				
	Abflugprinzip		Territorialprinzip	
	Personenverkehr	Güterverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr
Unfallkosten (Sicht Verkehrsträger)	0.3	0.2	0.9	1.7
Luftverschmutzung	0.6	2.0	2.3	18.8
Lärm	0.6	1.4	2.2	13.0
Klima	17.3	49.9	23.1	182.6
Natur und Landschaft	0.3	0.9	1.1	8.6
Vor- und nachgelagerte Prozesse	2.4	6.9	3.3	25.7
<b>Total</b>	<b>21.5</b>	<b>61.3</b>	<b>32.8</b>	<b>250.4</b>

Figur 46

## BLOCK III: TRANSPORTRECHNUNG – VERKEHRSTRÄGERVERGLEICH

### 8. INTEGRATION ERGEBNISSE UND VERGLEICH

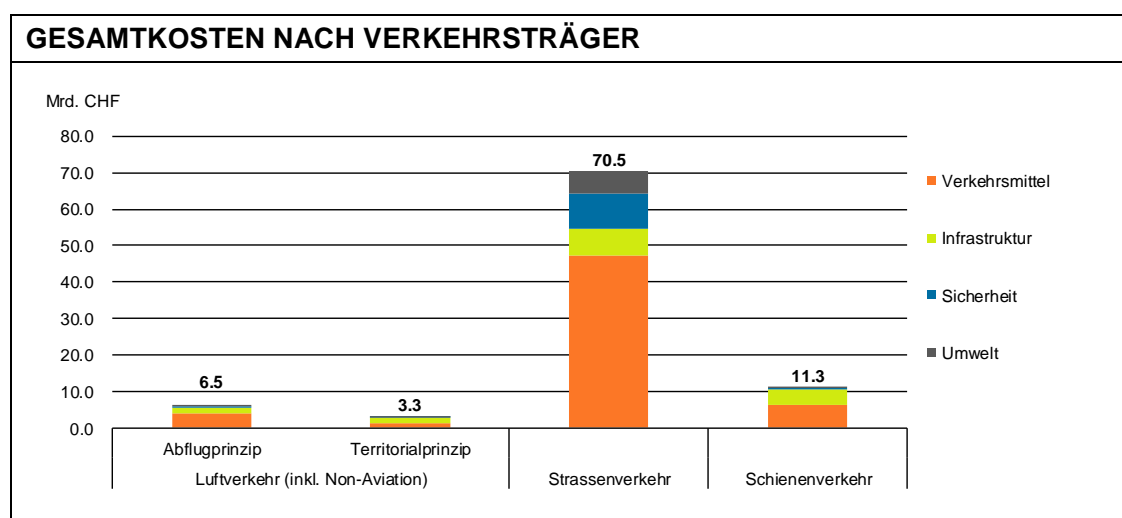
Nachdem die Resultate der Transportrechnung Luftverkehr im vorhergehenden Kapitel ausführlich dargestellt worden sind, geht es an dieser Stelle um die Einordnung der Resultate im Vergleich mit den weiteren Verkehrsträgern, für welche bereits eine Transportrechnung erstellt worden ist (Schiene und Strasse).

Bei diesem Vergleich sind verschiedene Elemente zu beachten:

- › Die verwendeten Zahlen beziehen sich nicht auf das gleiche Basisjahr. Die letzten verfügbaren Daten für den Strassen- und Schienenverkehr datieren aus dem Jahr 2005.
- › Die Verkehrsträger weisen unterschiedliche Systemgrenzen auf, was bei der Interpretation der Resultate zu berücksichtigen ist. Der Luftverkehr nimmt dabei eine spezielle Stellung ein, da das im Strassen- und Schienenverkehr verwendete Territorialprinzip der internationalen Ausrichtung des Verkehrsträgers nicht gerecht wird.

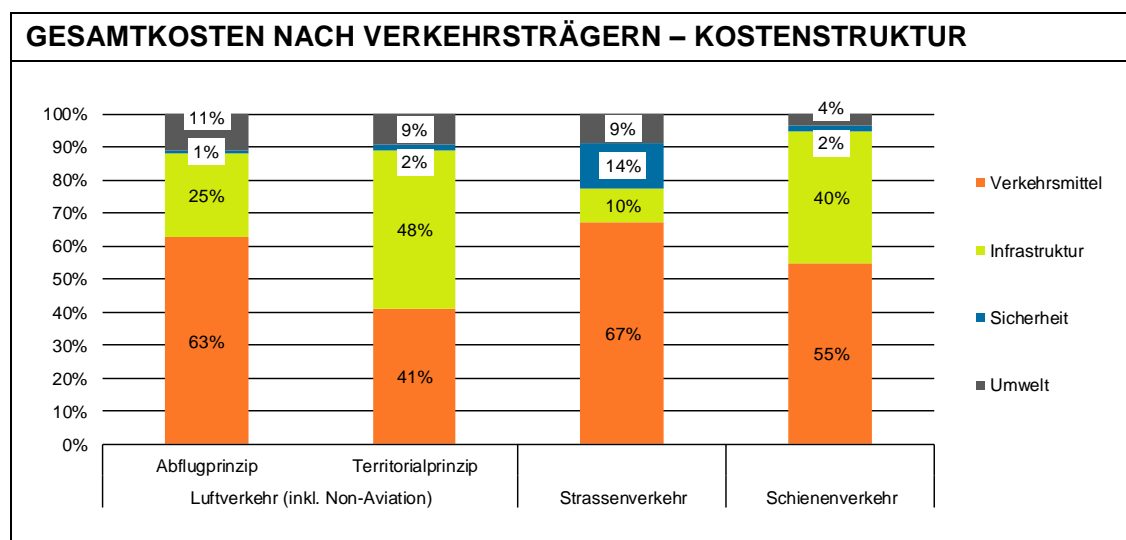
#### Gesamtkosten nach Verkehrsträger

Figur 47 zeigt die Gesamtkosten für Luftverkehr, Strassenverkehr und Schienenverkehr, wobei der Strassenverkehr u.a. aufgrund seiner hohen Verkehrsleistung die mit Abstand höchsten Kosten aufweist. Mit etwas über 11 Mrd. CHF resp. mit rund 6.5 Mrd. CHF sind die Anteile des Schienenverkehrs und des Luftverkehrs (Abflugprinzip) deutlich geringer.



Figur 47 Kosten Luftfahrt für 2010, Kosten Strasse und Schiene für 2005.

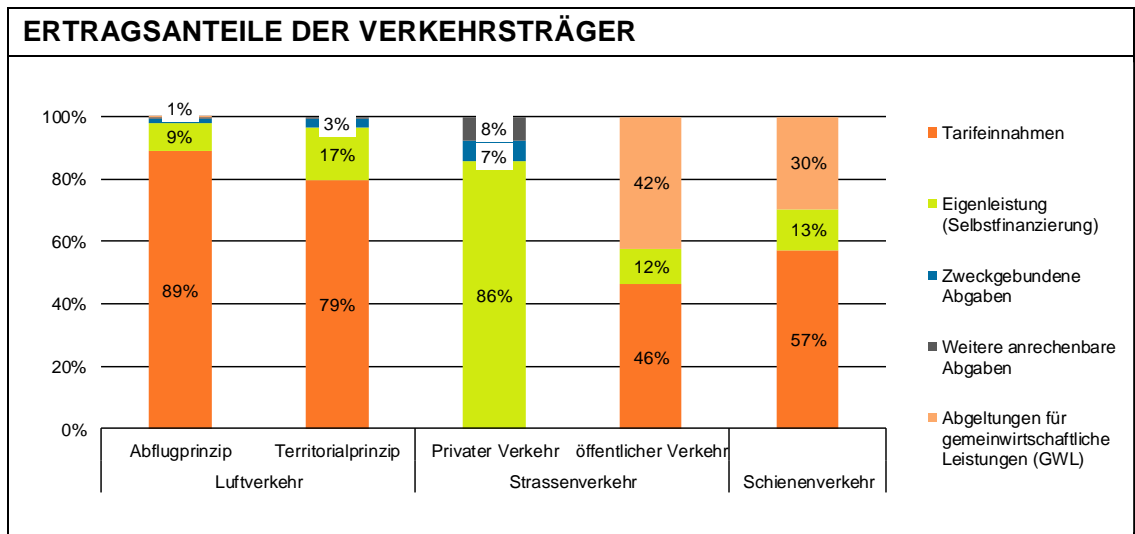
Die relativen Anteile der vier Kostenstellen zeigen, dass die Verkehrsmittel im Luftverkehr (Abflugprinzip) und im Strassenverkehr mit annähernd zwei Drittel der Kosten in ähnlicher Grössenordnung ausfallen. Beim Territorialprinzip sind die Anteile der Infrastrukturkosten wiederum in einer ähnlichen Grössenordnung wie beim Schienenverkehr. Ebenso machen die Umweltkosten im Luft- und Strassenverkehr mit rund 10% etwa gleich viel aus. Hier weist der Schienenverkehr mit lediglich 4% an den Gesamtkosten den tiefsten Wert aus. Die Sicherheitskosten spielen weder im Schienen- noch im Luftverkehr eine zentrale Rolle, wohingegen sie im Strassenverkehr mit 14% substantiell sind.



**Figur 48** Kostenbasis Luftfahrt für 2010, Kosten Strasse und Schiene für 2005.

### Erträge nach Verkehrsträgern

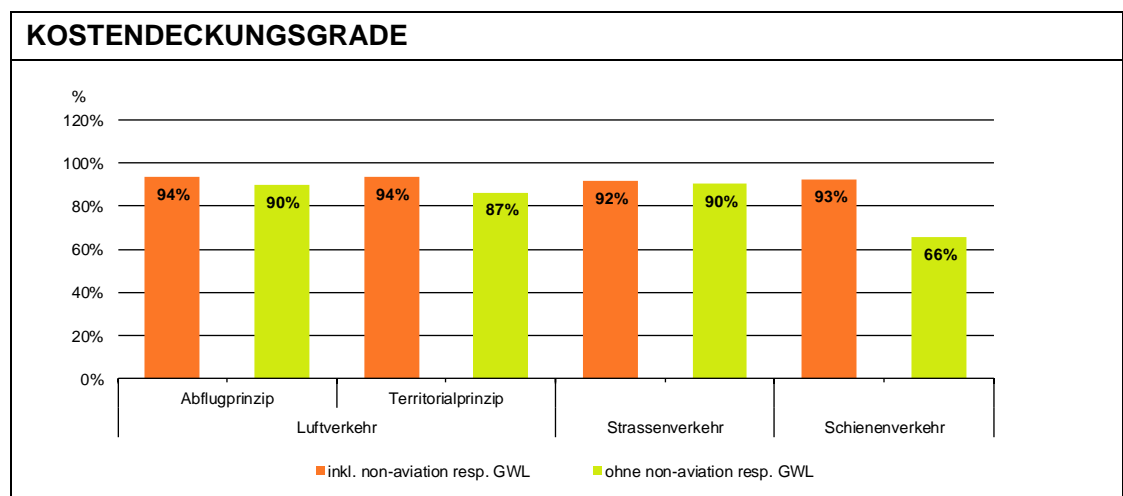
Dieses Bild zeigt eindeutige Unterschiede zwischen den Verkehrsträgern. So finanziert sich der Luftverkehr am stärksten durch Tarifeinnahmen, während diese im privaten Strassenverkehr keine Rolle spielen. Im Schienenverkehr zeigt sich das starke staatliche Engagement bei der Bestellung von Verkehrsdienstleistungen mit dem im Vergleich der Verkehrsträger höchsten Anteil der Abgeltungen für gemeinwirtschaftliche Leistungen.



**Figur 49** Erträge der Luftfahrt (inkl. Non-Aviation) für 2010, Erträge Strasse und Schiene für 2005.

### Kostendeckungsgrade nach Verkehrsträgern

Die oben dargestellten Kosten und Erträge der verschiedenen Verkehrsträger lassen sich gegenüberstellen. Die resultierenden Kostendeckungsgrade sind in der folgenden Figur ausgewiesen. Für die Interpretation dieser Zahlen gelten die gleichen Voraussetzungen wie für die absoluten Kosten und Erträge, insbesondere sind die verkehrsträgerspezifischen Eigenschaften bei einem Vergleich zu berücksichtigen. Das Bild zeigt, dass keiner der untersuchten Verkehrsträger seine Kosten zu decken vermag, sich aber alle in einem ähnlichen Bereich bewegen. Lediglich für den Schienenverkehr fällt der Deckungsgrad auf 66%, wenn die Abgeltungen für gemeinwirtschaftliche Leistungen (GWL) nicht miteinbezogen werden.

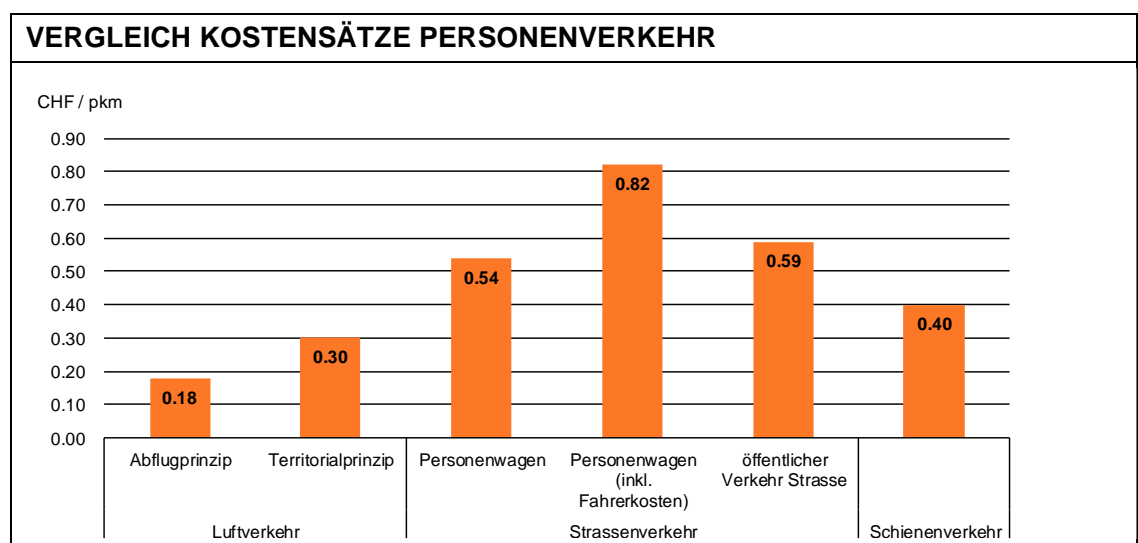


**Figur 50** Der Luftverkehr weist sehr geringe gemeinwirtschaftliche Leistungen (GWL) auf, weshalb an dieser Stelle für den Luftverkehr die Unterscheidung mit und ohne Non-Aviation gemacht wird.



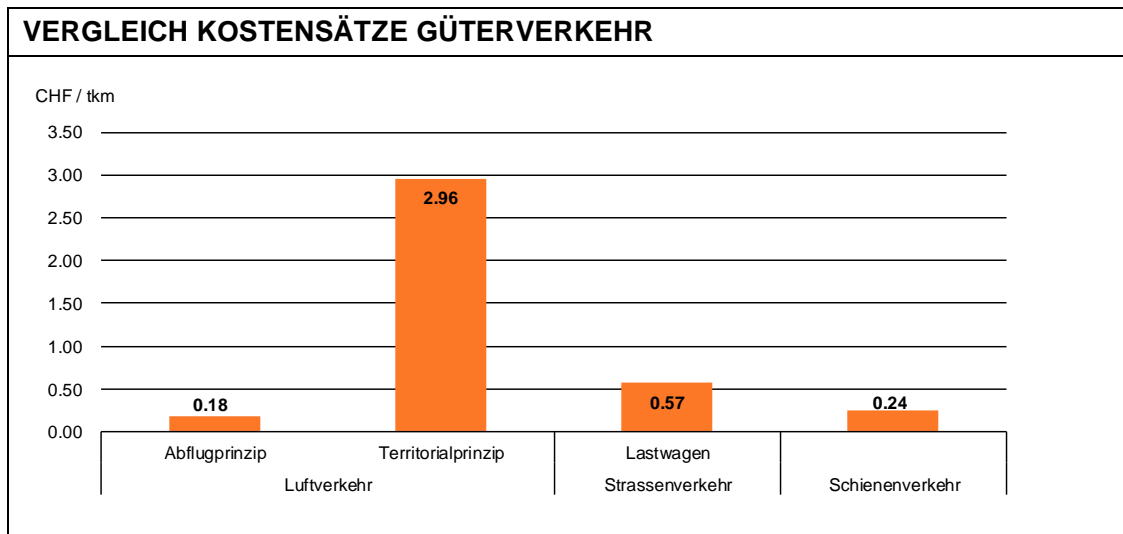
### Kostensätze nach Verkehrsträgern

Die Kostensätze pro Personenkilometer resp. Tonnenkilometer lassen sich über die Verkehrsträger hinweg am ehesten vergleichen. Der Luftverkehr weist dabei im Personen- wie auch im Güterverkehr jeweils die tiefsten Werte aus (Abflugprinzip). Dies ist begründet durch die hohe Durchschnittsdistanz pro Verkehrsweg. Aber auch die absoluten Gesamtkosten des Luftverkehrs sind im Verkehrsträgervergleich relativ tief. Dies wurde aus Figur 47 ersichtlich.



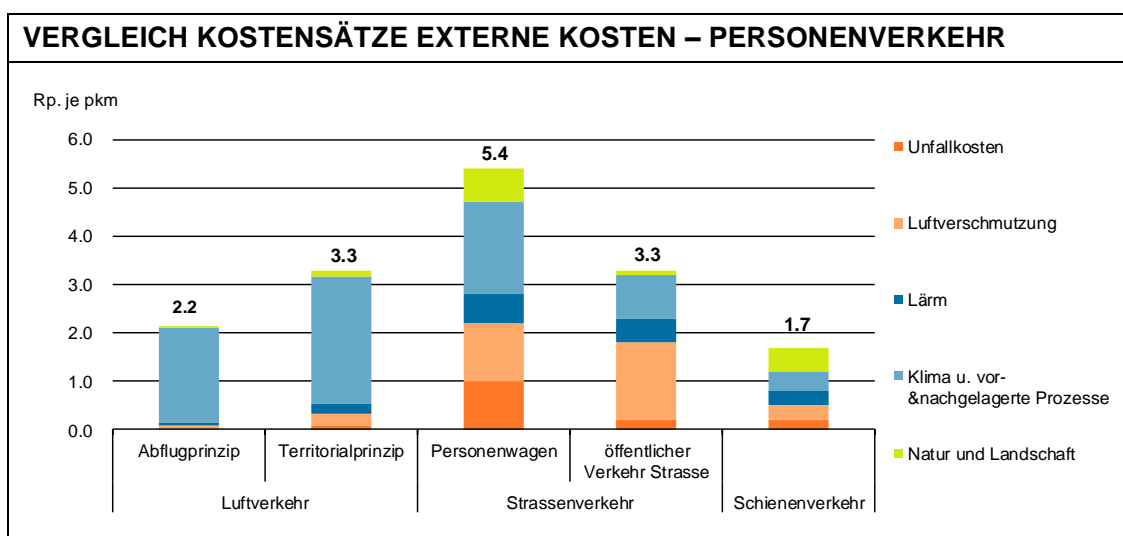
**Figur 51** Luftverkehr ohne Non-Aviation, Daten für 2010, Strassen-&Schienenverkehr 2005.

Im Güterverkehr ist der Vergleich deutlich eingeschränkter, weil neben den unterschiedlichen Durchschnittsdistanzen die unterschiedliche Güterstruktur und Wertigkeit zu berücksichtigen ist.

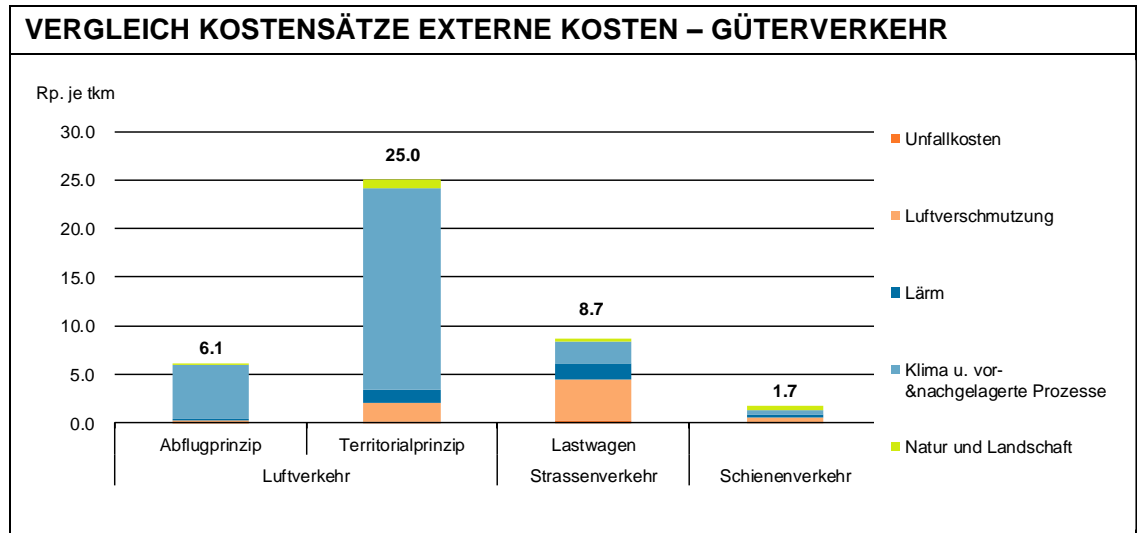


**Figur 52** Luftverkehr ohne Non-Aviation, Daten für 2010, Strassen-&Schienenverkehr 2005.

Die beiden nachstehenden Figuren zeigen die Kostensätze für die externen Kosten. Auch hier weist der Strassenverkehr (Personenwagen und Lastwagen) die höchsten Werte auf. Die tiefsten Werte weist der Schienenverkehr auf. Aus den beiden Figuren wird auch ersichtlich, dass für alle Verkehrsträger die jeweiligen Kostenkategorien eine unterschiedliche Rolle spielen. Im Luftverkehr sind vor allem die Klimakosten bestimmend. Im Strassenverkehr weisen neben diesen auch die Luftverschmutzungs- und Unfallkosten ähnliche hohe Anteile auf. Im Schienenverkehr wiederum sind die Kosten gleichmässiger über alle Kategorien verteilt.



**Figur 53** Daten Luftverkehr für 2010, Strassen-&Schienenverkehr 2005.



**Figur 54** Daten Luftverkehr für 2010, Strassen-&Schienenverkehr 2005.

## 9. SCHLUSSFOLGERUNGEN

### 9.1. INTERPRETATION UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Die Transportrechnung 2010 zeigt erstmals ein umfassendes Bild der Kosten und Erträge des schweizerischen Luftverkehrs. Die Unterscheidung nach zwei Prinzipien (Abflugprinzip und Territorialprinzip) berücksichtigt dabei den Umstand, dass der Luftverkehr (anders als die anderen Verkehrsträger) eine starke internationale Dimension hat, die für das Luftverkehrssystem höchst relevant ist, aber gleichzeitig eben auch das Schweizer Territorium verlässt. Folgende Resultate sind besonders interessant.

#### **Kostenstruktur**

- › Dominant sind die Kosten für das Verkehrsmittel, also die Kosten der Airlines. Die Umweltkosten machen gut 10% der Kosten aus. Dies ist vergleichbar mit der Kostenstruktur des Strassenverkehrs.
- › Bei den externen Kosten dominieren die Klimakosten, während die Lärmkosten einen geringen Teil ausmachen. Dies ist einerseits durch die Wahl des methodischen Ansatzes begründet (für Klima gleiche Kostensätze wie für Strassen- und Schienenverkehr, ‚best guess‘ Ansatz mit Streubreiten; für Lärm at least Ansatz), andererseits durch die Tatsache, dass während dem gesamten Flug Treibhausgase ausgestossen werden, wogegen der Lärm nur beim Start und bei der Landung zu Problemen – vor allem für einzelne Haushalte bzw. Gemeinden – führt. Zudem besteht am Flughafen Zürich ein Nachtflugverbot.

#### **Kostendeckungsgrade**

- › Wie die anderen Verkehrsträger deckt der Luftverkehr seine Kosten in der betriebswirtschaftlichen Betrachtung ohne externe Kosten, nicht aber in der volkswirtschaftlichen Betrachtung. Der Kostendeckungsgrad ist mit 94% etwas höher als bei den anderen Verkehrsträgern (Strasse 92%, Schiene 93% mit Anrechnung der Abgeltungen). Dies ist vor allem dadurch begründet, dass der rentable Non-Aviation Bereich bei den Landesflughäfen zusätzliche Deckungsbeiträge generieren, die den Kostendeckungsgrad erhöhen. Ohne diese Dienstleistungen würde der Kostendeckungsgrad 90% betragen.
- › Interessant ist dabei die Struktur der einzelnen Luftverkehrssegmente. Bei den Landesflughäfen liegt der betriebswirtschaftliche Kostendeckungsgrad bei 107%. Zu diesem hohen Kostendeckungsgrad tragen einerseits die Non-Aviation Services (mit 166%) und andererseits die In-

terkontinentalflüge im Linien/Charterpersonenverkehr (111%) bei, während die General Aviation nur 80% der Kosten deckt. Demgegenüber ist der Kostendeckungsgrad bei den Regionalflugplätzen deutlich tiefer und beträgt im Schnitt nur 90%. Der Anteil des rentablen Non-Aviation Sektors und die Bedeutung von Interkontinentalflügen ist hier deutlich geringer.

- › Generell weist die Kleinaviatik (General Aviation) andere Kosten- und Belastungsmuster aus als der stark auf die drei Landesflughäfen konzentrierte Linien- und Charterverkehr. Dies gilt insbesondere auch für die Sicherheit. Während der Anteil der Unfallkosten im Linien/Charterverkehr minimal ist, machen die Unfallkosten bei der General Aviation 12% der externen Kosten aus (nach dem Abflugprinzip).

### **Kostensätze**

- › Die Kosten pro Personenkilometer sind niedriger als bei den anderen Verkehrsmitteln, was vor allem auf die hohe Durchschnittsdistanz zurückzuführen ist. Bezieht man sich auf das Territorialprinzip, sind die Kostensätze der Totalkosten kleiner als im Strassen- und Schienenverkehr, die externen Kostensätze sind jedoch in einer ähnlichen Grössenordnung wie beim Strassenverkehr und deutlich höher als im Schienenverkehr.
- › Generell aber ist die Vergleichbarkeit zwischen den Verkehrsträgern eingeschränkt, weil die Ausrichtung und die Transportstruktur sehr unterschiedlich sind. Aussagekräftigere Vergleiche müssten sich auf spezifische Korridore beziehen, bei denen die einzelnen Verkehrsträger in Konkurrenz zueinander stehen (z.B. Relationen im Distanzbereich zwischen 300 und 1'000 km). Im Güterverkehr ist die Vergleichbarkeit zusätzlich infolge der unterschiedlichen Güterstruktur der Verkehrsträger eingeschränkt.

## **9.2. METHODISCHE ERKENNTNISSE**

### **Abgrenzungsprinzipien**

Die beiden angewendeten Prinzipien (Abflug- und Territorialprinzip) unterscheiden sich insbesondere in folgenden Punkten:

- › Verkehrsmittel bezogene Kosten: Die Zurechnung der Verkehrsmittel-bezogenen Kosten ist beim Abflugprinzip vollständig, weil ein ganzer Flug mit einbezogen wird, währendem die Ermittlung dieser Kosten nach Territorialprinzip künstlich ist und sich auf eine fiktive (national abgegrenzte) Verkehrsleistung bezieht.
- › Infrastruktur: Währendem die Abgrenzung bei den Flughäfen territorial gut möglich ist (Basel wird konsequent mitgezählt), ist bei den Kosten der Flugsicherung für die Ermittlung des Territorialprinzips eine künstliche Abgrenzung notwendig. Zudem ist anzumerken, dass die Infra-

struktur wesentlich geringere Dimensionen aufweisen würde, wenn sie nur für die Verkehrsleistung nach Territorialprinzip ausgerichtet sein müsste.

- › Sicherheit: Hier ergeben sich fundamentale Unterschiede, die aber beide grundsätzlich interessant sind. Einerseits kann zwischen dem Territorial- und dem Abflugprinzip unterschieden werden, andererseits zwischen den tatsächlichen Unfällen und den zu erwartenden Unfällen.
- › Umwelt: Ein entscheidender Unterschied zeigt sich bei den Klimakosten, bei denen das Territorialprinzip den für die Schweiz relevanten Klimakosten nur teilweise Rechnung tragen kann. Das Abflugprinzip führt mit der vorliegenden Methodik zu den gleichen Resultaten wie das Absatzprinzip (Emissionen aus der in der Schweiz abgesetzten Treibstoffmenge).

Die Berechnungen haben gezeigt, dass das Abflugprinzip den Anforderungen an eine umfassende Systembetrachtung Luftverkehr gerecht werden kann, während dies beim Territorialprinzip nicht der Fall ist. Das Territorialprinzip ist aber für einzelne Informationen (Flugplätze, Sicherheit, Umwelt ohne Klima sowie vor- und nachgelagerte Prozesse) interessant und liefert wichtige Zusatzinformationen.

- Deshalb schlagen wir vor, für zukünftige Rechnungen das Abflugprinzip in den Vordergrund zu stellen (insbesondere für die Ermittlung der Gesamtkosten und die Gegenüberstellung von Kosten und Erträgen). Das Territorialprinzip kann für spezifische Zusatzinformationen beigezogen werden.

### **Datenlage für die Ermittlung der internen Kosten und Erträge**

Die Erhebungsmethode mit Vollerhebung bei den grösseren Flughäfen und Hochrechnung bei kleineren Einheiten hat sich als zweckmässig erwiesen. Die Datenqualität ist mit einem solchen Vorgehen ausreichend. Kritisch ist die Aufteilung zwischen Personen- und Güterverkehr zu beurteilen. In der vorliegenden Pilotrechnung konnte der Güterverkehr nur rudimentär einbezogen werden. Dies ist einerseits durch die logistische Organisation (reine Fracht und Belly Freight), andererseits durch die beschränkte Bereitschaft der privatwirtschaftlich organisierten Akteure zur Datenlieferung begründet.

- Es dürfte deshalb zweckmässig sein, diese Differenzierung in der Transportrechnung zu hinterfragen. Entweder indem die Analyse mit einem standardisierten Ansatz spezifisch vertieft wird, oder indem der Güterverkehr nicht separat ausgewiesen wird.

### **Schätzung der externen Kosten**

Die für den Strassen- und Schienenverkehr verwendeten methodischen Ansätze haben sich grundsätzlich auch für den Luftverkehr bewährt. Besondere Schwierigkeiten zeigen sich insbesondere in zwei Bereichen:

- › **Lärmkosten:** Angesichts der Bedeutung der Lärmproblematik in der Öffentlichkeit scheint der gewählte Ansatz zwar ausreichend, um eine solide Untergrenze anzugeben, nicht aber um allen Facetten der Lärmthematik gerecht zu werden. Daraus ergeben sich auch gewisse Probleme im Quervergleich (mit anderen Verkehrsträgern). Es erscheint deshalb sinnvoll, die Ermittlung der Lärmkosten für den Luftverkehr zu vertiefen.
- › **Klimakosten:** Angesichts der herausragenden Bedeutung der Klimakosten im Luftverkehr sind die Festlegung eines Kostensatzes sowie die Berücksichtigung der Emissionen in grossen Höhen besonders sensitiv. In dieser Studie ist konsequenterweise derselbe Satz (Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub>) angewendet worden wie für Strasse und Schiene. Im Quervergleich zu den aktuellen Erkenntnissen zu den Klimakosten entspricht der Satz durchaus einem best guess (Mittelwert aus Min- und Max. Ansätzen). Es dürfte aber zweckmässig sein, die Klimakosten zu vertiefen und allenfalls (angesichts der bedeutenden Unsicherheiten) mit Streubreiten zu arbeiten.

### **Künftige Datenerfassung**

Grundsätzlich gilt analog zur Strassen- und Schienenrechnung, dass mit den vorliegenden Tools eine Aktualisierung für die nächsten Jahre problemlos machbar ist. Es ist aber zu empfehlen, in regelmässigen Abständen eine vollständige Überarbeitung der Methodik vorzunehmen, um neue Erkenntnisse (z.B. Integration des Luftverkehrs ins europäische Emissionshandelssystem) einbeziehen zu können und um gewisse Daten, welche sich nicht in vernünftigem Aufwand jährlich aktualisieren lassen, neu zu erheben.

Für die periodische Aktualisierung ist insbesondere eine frühzeitige Absprache mit dem BAZL aufzugleisen. Dabei geht es darum, klare Datenbedürfnisse zu formulieren, da der Aufwand für die Auswertung der Datenbanken zu Beginn anfällt. Ist das Datenset (Emissionen, Passagiere, Bewegungen, Distanzen sowie Differenzierungen nach Flugplatzkategorien, Verkehrsart resp. in der General Aviation Flugzeugtypen und allenfalls Abgrenzungsprinzip) definiert, kann eine jährliche Extraktion der Daten ohne grösseren Aufwand erfolgen.

Die Zusammenarbeit mit den Landesflughäfen hat gezeigt, dass bei diesen ebenfalls ein höherer Anfangsaufwand anfällt, um die Daten in gewünschter Form liefern zu können. Erfolgt

aber jährlich eine Anfrage in gleichem Umfang und Differenzierung hält sich der Folgeaufwand für diese Akteure ebenfalls im Rahmen.

Inwiefern ein Einbezug der vielen kleineren Akteure (Regionalflugplätze, Flugfelder, General Aviation, Helikopter) künftig Sinn macht, ist noch zu erörtern. Die Anfragen zeigen aber, dass der Aufwand stark steigt, um in Anbetracht der Bedeutung dieses Sektors relativ geringfügige zusätzliche Erkenntnisse und Daten zu gewinnen. Es hat sich gezeigt, dass bei diesen Akteuren oft auch die Personalressourcen nicht vorhanden sind, um solche – für die Grösse dieser Akteure schnell unverhältnismässig wirkende – Datenanfragen zu bewältigen.



## ANHANG: BEFRAGUNG INTERNE KOSTEN

### LINIEN/CHARTERVERKEHR

#### Erträge

	Personenverkehr	Frachtverkehr	
	Linien/Charter	Belly Freight	Frachtflüge
<i>Verkehrliche Erträge</i>			
Inland			
Kontinental			
Interkontinental			
Übrige Erträge (1)			
<b>Total</b>	0	0	0

<b>Non-Aviation</b>	Non-Aviation (2)
Erträge Total	

#### Kosten

Kosten	Personenverkehr	Frachtverkehr	
	Linien/Charter	Belly Freight	Frachtflüge
<i>Aviation Inland</i>			
Personalaufwand			
Sachaufwand und Verschiedenes			
Abschreibungen			
Zinsen			
Mehrwertsteuer			
Kerrosinsteuer			
Übrige Steuern			
<i>Aviation Kontinental</i>			
Personalaufwand			
Sachaufwand und Verschiedenes			
Abschreibungen			
Zinsen			
Mehrwertsteuer			
Kerrosinsteuer			
Übrige Steuern			

	Personenverkehr	Frachtverkehr	
	Linien/Charter	Belly Freight	Frachtflüge
<i>Aviation Interkontinental</i>			
Personalaufwand			
Sachaufwand und Verschiedenes			
Abschreibungen			
Zinsen			
Mehrwertsteuer			
Kerrosinststeuer			
Übrige Steuern			

Kosten Non-Aviation	Non-Aviation*
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	

\* Kosten flugunabhängige Dienstleistungen, die in der Schweiz erbracht werden z.B. Vermittlung von Mietautos, Hotelübernachtungen etc.

### Verkehrsdaten

Verkehrsdaten	Personenverkehr/ Belly Freight	Frachtflüge
Anzahl Flüge		
Domestic		
Kontinental		
Interkontinental		
Flug-km		
Domestic		
Kontinental		
Interkontinental		
Sitzplatzkilometer (AKT)		
Domestic		
Kontinental		
Interkontinental		
Passegierkilometer (PKT)		
Domestic		
Kontinental		
Interkontinental		
Frachtkilometer (FKT)		
Domestic		
Kontinental		
Interkontinental		

Anteil Belly-Freight am Gesamtgewicht	
Domestic	
Kontinental	
Interkontinental	

Flottengrösse und Treibstoffverbrauch 2010	Anzahl Flugzeuge	Flugstrecke in km
Passagierflugzeuge		
Typ A (bitte ausfüllen)		
Typ B (bitte ausfüllen)		
Typ C (bitte ausfüllen)		
Typ D (bitte ausfüllen)		
etc.		
Frachtflugzeuge		
Typ A (bitte ausfüllen)		
Typ B (bitte ausfüllen)		
Typ C (bitte ausfüllen)		
Typ D (bitte ausfüllen)		
etc.		

### Volkswirtschaftliche Aspekte

Welche Bürgschaften/Defizitgarantien/Zuschüsse hat die öffentliche Hand in den letzten 10 Jahren für die Fluggesellschaft übernommen/bezahlt?

Jahr	Bürgschaftsbetrag (in Mio. CHF) unterteilt nach Bund/Kanton/Gemeinde	Gültigkeitsdauer

Welcher aktuellen Wert haben die Anlagen (Immobilien, Flugzeuge, etc.) der Fluggesellschaft gemäss Anlage- und Abschreibungsrechnung Ende 2010?

Jahr	Anlagewert
2010	

Gibt es generell Gründe, weshalb die Daten des Jahresberichts 2010 Ihrer Fluggesellschaft ein nicht repräsentatives Bild vermitteln, weil wichtige Sondereffekte, Einmal-Aufwendungen, etc. in dieses Jahr fallen? In welchen Bereichen treten diese auf und in welcher Grössenordnung liegen diese wertmässig?

Sehen Sie weitere Aspekte, welche berücksichtigt werden sollten?

## GENERAL AVIATION

### Erträge

Aviation	Personenverkehr
Verkehrliche Erträge	
Non-Aviation	
Non-Aviation Erträge	

**Kosten**

<b>Aviation</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Kerosinsteuer	
Übrige Steuern	
<b>Total</b>	<b>0</b>
<b>Non-Aviation</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
<b>Total</b>	<b>0</b>

**Verkehrsdaten und Diverses**

<b>Verkehrsdaten 2010</b>	
Anzahl Flüge	
Anzahl Flug-km	
alternativ: Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	
Anzahl Flugstunden	

<b>Flottengrösse und Treibstoffverbrauch 2010</b>	<b>Kerosin je Flugstunde (l/h)</b>
Typ A (bitte ausfüllen)	
Typ B (bitte ausfüllen)	
Typ C (bitte ausfüllen)	
Typ D (bitte ausfüllen)	
etc.	

Welcher aktuellen Wert haben die Anlagen (Immobilien, Flugzeuge, etc.) der Fluggesellschaft gemäss Anlage-und Abschreibungsrechnung Ende 2010?

Jahr	Anlagewert
2010	

Gibt es generell Gründe, weshalb die Daten des Jahresberichts 2010 Ihrer Fluggesellschaft ein nicht repräsentatives Bild vermitteln, weil wichtige Sondereffekte, Einmal-Aufwendungen, etc. in dieses Jahr fallen? In welchen Bereichen treten diese auf und in welcher Grössenordnung liegen diese wertmässig?

Sehen Sie weitere Aspekte, welche berücksichtigt werden sollten?

## VERBÄNDE LEICHTAVIATIK

<b>Motorflugverband</b>	
in CHF	
<b>Flugdaten (pro Jahr)</b>	
durchschnittliche Anzahl Flugstunden pro Flugzeug	
Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h)	
durchschnittliche Flugstunden pro Bewegungen	
Bewegungen pro Flugzeug	#DIV/0!
<b>Fixkosten Flugzeug (für ein durchschnittliches Flugzeug)</b>	-
Durchschnittliche Abschreibung pro Flugzeug und Jahr	
Versicherungskosten	
Weiteres (flugzeugbezogene Gebühren (z.B. Avionikgeräte), technische Kontrollen, etc.)	
<b>Fixkosten Infrastruktur Landesflughäfen</b>	-
Hangar-/Standgebühren	
Weitere Infrastrukturgebühren und Sonstiges	
<b>Fixkosten Infrastruktur Regionalflugplätze</b>	-
Hangar-/Standgebühren	
Weitere Infrastrukturgebühren und Sonstiges	
<b>Fixkosten Infrastruktur Flugfelder</b>	-
Hangar-/Standgebühren	
Weitere Infrastrukturgebühren und Sonstiges	
<b>Variable Kosten (pro Flug-h mit durchschnittlichem Flugzeug)</b>	-
Treibstoffkosten / Startkosten	
davon Treibstoffsteuer	
Unterhalt und Wartung	
Sonstiges (Administration, Vereinsmitgliedschaft, etc.)	
<b>Landetaxen (pro Flug)</b>	
Landesflughäfen	
Regionalflugplätzen	
Flugfelder	
<b>Skyguidegebühren (pro Flug)</b>	
Landesflughäfen	
Regionalflugplätzen	
Beschreibung Standardmodell (falls nicht mehr aktuell, bitte anpassen)	einmotoriges, 4-plätziges Sportflugzeug, Abfluggewicht >1000kg, 200 PS Motorenleistung, Neupreis CHF 300'000

<b>Segelflugverband</b>			
in CHF	Segelflugzeuge Selbststarter	Segelflugzeuge Schleppflug	Segelflugzeuge Seilwinde
Anteil der Flugkategorie in %			
<b>Flugdaten (pro Jahr)</b>			
durchschnittliche Anzahl Flugstunden pro Flugzeug			
Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h)			
durchschnittliche Flugstunden pro Bewegungen			
Bewegungen pro Flugzeug	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Fixkosten Flugzeug (für ein durchschnittliches Flugzeug)</b>	-	-	-
Durchschnittliche Abschreibung pro Flugzeug und Jahr			
Versicherungskosten			
Weiteres (flugzeugbezogene Gebühren (z.B. Avionikgeräte), technische Kontrollen, etc.)			
<b>Fixkosten Infrastruktur Landesflughäfen</b>			
Hangar-/Standgebühren			
Weitere Infrastrukturgebühren und Sonstiges			
<b>Fixkosten Infrastruktur Regionalflugplätze</b>	-	-	-
Hangar-/Standgebühren			
Weitere Infrastrukturgebühren und Sonstiges			
<b>Fixkosten Infrastruktur Flugfelder</b>	-	-	-
Hangar-/Standgebühren			
Weitere Infrastrukturgebühren und Sonstiges			
<b>Variable Kosten (pro Flug-h mit durchschnittlichem Flugzeug)</b>	-	-	-
Treibstoffkosten / Startkosten			
davon Treibstoffsteuer			
Unterhalt und Wartung			
Sonstiges (Administration, Vereinsmitgliedschaft, etc.)			
<b>Landetaxen (pro Flug)</b>			
Landesflughäfen			
Regionalflugplätzen			
Flugfelder			
<b>Skyguidegebühren (pro Flug)</b>			
Landesflughäfen			
Regionalflugplätzen			
Beschreibung Standardmodell (falls nicht mehr aktuell, bitte anpassen)	Durchschnittliches Segelflugzeug Abfluggewicht 600kg Neupreis CHF 120'000.--	Durchschnittliches Segelflugzeug Abfluggewicht 600kg Neupreis CHF 120'000.--	Durchschnittliches Segelflugzeug Abfluggewicht 600kg Neupreis CHF 120'000.--



## SKYGUIDE

### Erträge

<b>Flüge von/nach Landesflughäfen</b>	
Total IFR	
davon Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr	
davon Gebühren und Abgaben von Flugzeugbetreiber	
davon Gebühren und Abgaben Flugplätze	
Total VFR	
davon Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr	
davon Gebühren und Abgaben von Flugzeugbetreiber	
davon Gebühren und Abgaben Flugplätze	
<b>Flüge von/nach Regionalflugplätzen</b>	
Total IFR	
davon Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr	
davon Gebühren und Abgaben von Flugzeugbetreiber	
davon Gebühren und Abgaben Flugplätze	
Total VFR	
davon Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr	
davon Gebühren und Abgaben von Flugzeugbetreiber	
davon Gebühren und Abgaben Flugplätze	
<b>Überflüge</b>	
Total IFR	
davon Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr	
davon Gebühren und Abgaben von Flugzeugbetreiber	
davon Gebühren und Abgaben Flugplätze	
Total VFR	
davon Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr	
davon Gebühren und Abgaben von Flugzeugbetreiber	
davon Gebühren und Abgaben Flugplätze	

**Kosten**

<b>Flüge von/nach Landesflughäfen</b>	
<b>IFR</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
davon Kosten Meteodienst	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
Total	0
<b>VFR</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
davon Kosten Meteodienst	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
Total	0
<b>Flüge von/nach Regionalflugplätze</b>	
<b>IFR</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
davon Kosten Meteodienst	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
Total	0
<b>VFR</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
davon Kosten Meteodienst	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
Total	0

<b>Überflüge</b>	
<b>IFR</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
davon Kosten Meteodienst	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
Total	0
<b>VFR</b>	
Personalaufwand	
Sachaufwand und Verschiedenes	
davon Kosten Meteodienst	
Abschreibungen	
Zinsen	
Mehrwertsteuer	
Übrige Steuern	
Total	0

#### Verkehrsdaten

<b>Prozentuale Aufteilung der IFR-Flüge nach Gewicht:</b>	<b>Landesflughäfen</b>	<b>Regionalflugplätze</b>
<18t		
>18t		

## FLUGPLÄTZE

### Erträge

	Personenverkehr		Frachtverkehr		Non-Aviation
	Linien/Charter	General Aviation	Belly-Freight	Frachtflüge	
Aviation Erträge					
davon Erträge von Flugzeugbetreibern					
Beiträge aus Spezialfinanzierung Luftverkehr					
Übr. Erträge (exkl. öffentliche Hand)					
Total	0	0	0	0	0

### Kosten

	Personenverkehr		Frachtverkehr		Non-Aviation
	Linien/Charter	General Aviation	Belly-Freight	Frachtflüge	
<i>nach Kostenart</i>					
Personalaufwand					
Sachaufwand und Verschiedenes					
Abschreibungen					
Zinsen					
Mehrwertsteuern					
Übrige Steuern					
Total	0	0	0	0	0
<i>Zusatzinformation nach Kostenstelle</i>					
Hoheitliche Sicherheitskosten					
Kosten Skyguide					

### Volkswirtschaftliche Aspekte

Welche zinslosen oder zinsvergünstigten Darlehen hat der Flugplatz in den letzten 10 Jahren von der öffentlichen Hand erhalten?

Jahr	Betrag (in Mio. CHF) unterteilt nach Bund (B) /Kanton (K) /Gemeinde (G)	Laufzeit / Zinssatz	Rückzahlung

Welche Bürgschaften/Defizitgarantien hat die öffentliche Hand in den letzten 10 Jahren für den Flugplatz übernommen?

Jahr	Bürgschaftsbetrag (in Mio. CHF) unterteilt nach Bund/Kanton/Gemeinde	Gültigkeitsdauer	Einsatzbestimmungen

Wie hoch ist der Wert aller Anlagen (ohne Land) nach der Perpetual Inventory Methode (aktueller Wert gemäss Anlage- und Abschreibungsrechnung)?

Jahr	Wert der Anlagen in Mio. CHF
2010	

Wie hoch ist das Eigenkapital und welche ökonomischen Eigenkapitalkosten fallen an?

Jahr	Eigenkapital	ökonomische Eigenkapitalkosten
2010		

*Frage betrifft nur die Regionalflugplätze, Flugfelder, Heliports:* Listen Sie bitte die Gewinne und Verluste auf, welche der Kanton/Gemeinden in den letzten 30 Jahren getragen haben. Falls es sehr aufwändig ist, diese Daten zusammenzustellen, geben Sie bitte einen geschätzten, jahresdurchschnittlichen Gewinn/Verlust für die gesamte Zeitperiode an.

Jahr	Durch Kanton/Gemeinde getragene Gewinne (+) und Verluste (-) in Mio. CHF
1981	
1982	
1983	
...	
2010	

Gibt es generell Gründe, weshalb die Daten des Jahresberichts 2010 Ihres Flugplatzes ein nicht repräsentatives Bild vermitteln, weil wichtige Sondereffekte, Einmal-Aufwendungen, etc. in dieses Jahr fallen? In welchen Bereichen treten diese auf und in welcher Größenordnung liegen diese wertmässig?

Sehen Sie weitere Aspekte, welche berücksichtigt werden sollten?

## GLOSSAR

BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
Belly Freight	Transport von Gütern im Frachtraum der Personenflugzeuge
Betriebswirtschaftliche Sicht	Kosten und Erträge aus Sicht einer Unternehmung (gemessen am jeweiligen Leistungsauftrag)
Charterverkehr	Gewerbmässiger Nichtlinienverkehr, z.B. Pauschalverkehr für Reiseveranstalter, Gastarbeiterflüge, Spezialflüge, Ad-hoc Charter etc.
Durchschnittskosten	Gesamtkosten pro Leistungseinheit (Fahrzeugkilometer, Personen- oder Tonnenkilometer)
Eigenkapitalkosten	Eigenkapitalkosten sind Kosten, die kalkulatorisch für die Verzinsung des Eigenkapitals angesetzt werden. Sie widerspiegeln Opportunitätskosten und müssen nicht real bezahlt werden.
Eurocontrol	Europäische Flugsicherungsagentur mit Hauptsitz in Brüssel
Externe Kosten	Kosten, die nicht vom Verursacher getragen werden und daher der Allgemeinheit oder dem Staat anfallen. Sie können monetär (als Defizit bei bestimmten Verkehrsleistungen) oder auch immateriell (bei Unfall- und Umweltkosten) anfallen.
Externe Nutzen	Nutzen, die nicht beim Verursacher sondern der Allgemeinheit zufallen
Fremdkapitalkosten	Fremdkapitalkosten sind die Kosten, die das Unternehmen an ein Kreditinstitut oder einen sonstigen Fremdkapitalgeber bezahlen muss, vor allem also Zinskosten für Kredite oder Anleihen, laufende Kosten, die aus Bürgschaften für Fremdmittel entstehen oder aus Rentenschulden.
Flugfeld	Zu den Flugfeldern werden in dieser Studie folgende Flugplatztypen gezählt: Flugfelder für Flächenflugzeuge, Segelflugfelder, Winterflugfelder, Wasserflugplätze, ehemalige Militärflugplätze und zivil mitbenützte Militärflugplätze. Die Flugfelder decken vorwiegend private Bedürfnisse. Sie dienen im Wesentlichen dem Flugsport sowie der fliegerischen Ausbildung. Überdies dienen Flugfelder auch als Träger für Tourismus-, Geschäfts- und Arbeitsflüge.

Flugplatz	Oberbegriff für alle Luftinfrastrukturanlagen: Landesflughäfen, Regionalflugplätze, Flugfelder, Heliports
Gemeinwirtschaftl. Leistungen (GWL)	Vom Staat finanzierte Leistungen an den Luftverkehr resp. an die anderen Verkehrsträger (insb. Schienenverkehr)
General Aviation (GA)	Allgemeine Luftfahrt, in dieser Studie werden unter dem Begriff General Aviation sämtliche Flugbewegungen verstanden, die weder Linien- noch Charterflüge sind.
Kalkulatorische Zinsen	Zinskosten für das durchschnittlich gebundene Kapital, unter Berücksichtigung von Zinsen für vergünstigte Darlehen (-> volkswirtschaftliche Sicht)
Kapitalkosten	Abschreibungen und Zinsen
Kostenstellen	Einheiten, bei denen Gemeinkosten anfallen, die zu allozieren sind
Kostenträger	Akteure, die die Kosten tragen/finanzieren (Benutzer, Dritte, Staat, Allgemeinheit)
Heliport	Helikopterlandeplatz. Zurzeit gibt es in der Schweiz 23 Heliports, davon sind 2 reine Winterheliports (Gstaad, St. Moritz).
Hoheitliche Sicherheitskosten	Entgangene Erträge für unentgeltlich zur Verfügung gestellte Räumlichkeiten für Zoll, Post, Militär etc. sowie Kosten für vom Luftverkehr übernommene hoheitliche Sicherheitsaufgaben. Diese umfassen Sicherung des Flugplatzgeländes, Bewachung besonders gefährdeter Fluggesellschaften, Personenschutz, Interventionskosten und falls durch den Flughafen bezahlt die Kosten für Passkontrollen und Zoll.
Interner Kostendeckungsgrad	Kostendeckungsgrad unter Berücksichtigung der internen Kosten und Erträge (keine Berücksichtigung der externen Kosten).
Landesflughafen	In der Schweiz gibt es 3 Landesflughäfen: Zürich, Genf und Basel. Die Landesflughäfen sind gemäss SIL die Hauptträger der schweizerischen Luftfahrtinfrastruktur und damit wichtige Teile des nationalen und internationalen Verkehrssystems. Ihre Funktion besteht darin, die Schweiz mit ihren Landesteilen und Wirtschaftsschwerpunkten an den weltweiten Luftverkehr anzubinden.
L/Ch	Linien- und Charterverkehr



Linienverkehr	Linienverkehr ist jede öffentliche, zwischen bestimmten Flugplätzen eingerichtete, regelmässige Flugverbindung mit Beförderungspflicht für Personen, Fracht und Post, für die dem durchführenden Luftfahrtunternehmen eine Konzession des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) erteilt wurde.
Luftfracht-Ersatzverkehr	Als Luftfracht bezeichnete Waren, die durch andere Verkehrsmittel auf der Strasse oder Schiene transportiert wird.
MFFZ	Motorflächenflugzeug
Non-Aviation	Tätigkeit des Flughafens/Flugzeugbetreibern die dem Angebot von Gütern und Dienstleistungen dient, die nicht für den eigentlichen Luftverkehr erforderlich sind (im wesentlichen Einzelhandelsgeschäfte, Gastronomie, Parken, Autovermietung, Immobilienvermietung).
Regionalflugplatz	<p>Regionalflugplätze sind gemäss SIL konzessionierte Flugplätze mit Zulassungszwang, Zollabfertigung und einem gegenüber den Flugfeldern höheren technischen Standard. Generell haben Regionalflugplätze ihren Stellenwert als regionale Zentren vor allem für die Sparten Geschäfts- und Touristikflüge, fliegerische Aus- und Weiterbildung und Flugsport.</p> <p>In der Schweiz gibt es zurzeit 10 Regionalflugplätze, davon gelten 4 als Regionalflugplätze mit Linienverkehr (Bern-Belp, Lugano-Agno, St. Gallen-Altenrhein, Sion) und 6 als solche ohne Linienverkehr.</p>
Selbstfinanzierung	Erträge aus Non-Aviation, welche teilweise zur Querfinanzierung der Aviationstätigkeit genutzt werden.
SIL	Sachplan Infrastruktur Luftfahrt, Raumplanungsinstrument des Bundes
Skyguide	Schweizer Flugsicherungsunternehmen
Tarifeinnahmen	Erträge der Flugzeugbetreiber für Flugdienstleistungen
tkm	Tonnen-Kilometer
Verkehrsmittel	Einzelne Verkehrsmittel gemäss der CH-Verkehrsstatistik
Verkehrsträger	Einzelne Verkehrsträger gemäss der CH-Verkehrsstatistik (Strasse, Schiene, Wasser, Luft)

VGR-relevante Kosten	Kosten, die in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung auftauchen (konkrete Ausgaben und Abschreibungen). Immaterielle Kosten beispielsweise werden nicht abgebildet.
Weitere Abgaben	nicht zweckgebundene Mineralölsteuern und nicht zweckgebundene Abgaben, die sich an der Umweltverschmutzung orientieren (insb. Luftschadstoffabgaben).
Zweckgebunden Abgaben	zweckgebundene Mineralölsteuern und zweckgebundene Umweltabgaben (insb. Lärmabgaben)

## LITERATUR

- BAFU 2009a:** SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz. Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0908. Bern.
- BAFU 2009b:** Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase. Umwelt-Zustand Nr. 0709. Bern.
- BAFU 2011:** Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2009, National Inventory Report 2011, Eingabe per 11. April 2011, Bern.
- Barrett Steven R.H., Britter Rex R., Waitz Ian A. 2010a:** Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions. Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 7736–7742.
- Barrett Steven R.H., Britter Rex R., Waitz Ian A. 2010b:** Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions. Supporting Information. Online im Internet: [http://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es101325r/suppl\\_file/es101325r\\_si\\_001.pdf](http://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es101325r/suppl_file/es101325r_si_001.pdf) (3.2.2011).
- BAZL 2005:** Empfehlung für die Abschätzung von PM10 Emissionen aus dem Luftverkehr – Stand Dezember 2005. Bern.
- BAZL 2010:** Schadstoffabhängige Landegebühren. Online im Internet: [www.bazl.admin.ch/fachleute/01169/02432/02435/index.html?lang=de](http://www.bazl.admin.ch/fachleute/01169/02432/02435/index.html?lang=de) (30.3.2011).
- BFS 2006:** Transportrechnung, Jahr 2003, Neuchâtel.
- BFS 2009:** Transportrechnung, Jahr 2005, Neuchâtel.
- BFS 2010:** Schweizerische Zivilluftfahrt, eDossier der Statistik 2009. Online im Internet: [www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/07/03/01/05.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/07/03/01/05.html) (13.7.2011).
- Bickel P., Hunt A., De Jon G., Laird J., Lieb Ch., Lindberg G., Mackie P., Navrud S., Odgaard Th., Shies J., Tavasszy L. 2006:** HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines. Deliverable 5 of HEATCO (Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment). Online im Internet: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/> (20.10.2011).
- B,S,S 2006:** Die Nutzen des Verkehrs, Teilprojekt 4: Netzwerkexternalitäten, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Strassen, Basel.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2003:** Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Environmental Documentation No. 169. Bern. Online: <http://www.bafu.admin.ch/luft/00649/01960/index.html?lang=de> (19.7.2011).

- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2004:** Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030. Schriftenreihe Umwelt Nr. 355.
- Cline W.R. 1992:** The Economics of Global Warming, Institute for International Economics, Washington D.C.
- Credit Suisse 2011:** Credit Suisse Global Investment Returns Yearbook 2011.
- De Brabander Bram, Vereeck Lode 2007:** Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium. In: Transport Reviews Vol. 27 (6), S. 715-732.
- EASA (European Aviation Safety Agency) 2011:** Annual safety review 2010. Online im Internet: <http://www.easa.eu.int/communications/docs/annual-safety-review/2010/EASA-Annual-Safety-Review-2010.pdf> (23.11.2011).
- Ecoplan 2002:** Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Altdorf.
- Ecoplan 2006:** Die Nutzen des Verkehrs, Synthese der Teilprojekte 1-4, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Strassen, Altdorf und Bern.
- Ecoplan 2007:** Externe Kosten im Strassenverkehr: Grundlagen zur Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse. Forschungsauftrag VSS 2005/204 auf Antrag des Schweizerischen verbandes der Strassen- verkehrsfachleute (VSS). Bern und Altdorf.
- Ecoplan 2007:** Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit. Bfu-report 58.
- Ecoplan 2010:** Handbuch eNISTRA 2010. eNISTRA – eine Tool für zwei sich ergänzende Methoden zur Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekten: NISTRA – Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte und KNA – Kosten-Nutzen-Analysen gemäss VSS-Normen SN 641 820 – SN 641 828. Bern.
- Ecoplan 2011:** Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Altdorf und Bern.
- Ecoplan 2011:** Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten. Arbeitspapier zuhanden des Bundesamtes für Umwelt. Bern.
- Ecoplan, Infras 2008:** Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Umwelt. Bern und Zürich.
- Ecoplan, Infras 2009:** Aktualisierungstool externe Kosten des Verkehrs. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern und Zürich.

- Ecoplan, Infras 2010:** Berechnungsmethode und Prognose der externen des Schwerverkehrs. Arbeitspaket 2 im Rahmen der „Weiterentwicklung der LSVÄ“. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern und Zürich.
- Ecoplan, Planteam, IHA-ETH (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie) (2004):** Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.
- Fleuti Emanuel 2011:** Diskussion der Immissionswirksamkeit von Flugzeugemissionen. Diskussionpapier für die Erarbeitung des vorliegenden Berichtes. Zürich.
- HM Treasury 2003:** Green Book, Appraisal and Evaluation in central Government, online im Internet: [www.hm-treasury.gov.uk/economic\\_data\\_and\\_tools/greenbook/data\\_greenbook\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/economic_data_and_tools/greenbook/data_greenbook_index.cfm).
- Huss Anke, Spoerri Adrian, Egger Matthias, Röösl Martin 2010:** Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction. In: Epidemiology, 21 (6), 829-836.
- ICAO (International Civil Aviation Organization) 2009:** Annual Report of the Council 2008. Doc 9916. [http://www.icao.int/icaonet/dcs/9921/9921\\_en.pdf](http://www.icao.int/icaonet/dcs/9921/9921_en.pdf) (29.3.2011).
- IER (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart) 2003:** Ermittlung externer Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main. Stuttgart. Online im Internet: [www.fluglaerm.at/liesing/Dokumente/RDF\\_031107\\_ExterneKosten.pdf](http://www.fluglaerm.at/liesing/Dokumente/RDF_031107_ExterneKosten.pdf) (11.1.2011).
- Infras, CE Delft Fraunhofer Gesellschaft ISI, University of Gdansk 2007:** IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, Deliverable 1, Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Online im Internet: [http://ec.europa.eu/transport/costs/handbook/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/costs/handbook/index_en.htm) Handbook on the estimation of the external costs of transport, IMPACT Study, Delft.
- Infras 2002:** Revision der Eisenbahnrechnung - Vertiefungsstudie ‚Altlasten‘, Zürich.
- Infras 2006:** Luftfahrt und Nachhaltigkeit – Bestandesaufnahme, Perspektiven, Handlungsspielraum; Arbeitspaket 2–5: Lärm, Umwelt, Raumentwicklung, Wirtschaft, im Auftrag Bundesamt für Zivilluftfahrt. Online im Internet: [www.bazl.admin.ch/themen/lupo/00294/02167/index.html?lang=de](http://www.bazl.admin.ch/themen/lupo/00294/02167/index.html?lang=de) (11.1.2011).
- Infras 2006:** Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich.

- Infras 2007:** RDF Frankfurt Immobilienpreisanalyse. Qualitätssicherung durch Infras. Studie im Auftrag des regionalen Dialogforums Frankfurt (RDF). Zürich. Online im Internet: [www.forum-flughafenregion.de/fileadmin/files/Archiv/Archiv\\_RDF\\_Doku\\_fachliche\\_Arbeit/Dokumente\\_5.3.4/GA\\_Immobilienpreisaend.\\_Qualitaetssicherung.pdf](http://www.forum-flughafenregion.de/fileadmin/files/Archiv/Archiv_RDF_Doku_fachliche_Arbeit/Dokumente_5.3.4/GA_Immobilienpreisaend._Qualitaetssicherung.pdf) (11.1.2011).
- Infras 2008:** Nachhaltigkeit im Luftverkehr – Synthesebericht, im Auftrag Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), Bundesämter für Raumplanung (ARE), Umwelt (BAFU) Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO). Online im Internet: [www.bazl.admin.ch/themen/lupo/00294/02166/index.html?lang=de](http://www.bazl.admin.ch/themen/lupo/00294/02166/index.html?lang=de) (11.1.2011).
- Infras 2010:** Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA. Version 3.1. Berechnungstool im Auftrag der Schweiz, Deutschlands, Österreichs, Schwedens, Frankreichs und Norwegens. Bern.
- Infras 2011:** Volkswirtschaftliche Bedeutung der Zivilluftfahrt in der Schweiz, im Auftrag des Bundesamtes für Zivilluftfahrt BAZL und von Aerosuisse, Mai 2011, Zürich.
- Infras / Ecoplan 2006:** Transportkostenrechnung. Konzept und Pilotrechnung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Raumplanung. Zürich, Altdorf und Bern.
- Infras / ISI 2010:** Verkehrsträgeranalyse - Kosten, Erträge und Subventionen des Strassen-, Schienen- und Luftverkehrs in Deutschland. Studie im Auftrag der Initiative „Luftverkehr für Deutschland“. Online im Internet: [www.initiative-luftverkehr.de/fileadmin/Downloads/ILFD-INFRA-ISI\\_final-07-07-10.pdf](http://www.initiative-luftverkehr.de/fileadmin/Downloads/ILFD-INFRA-ISI_final-07-07-10.pdf) (12.1.2011).
- Infras/ISI/IER 2007 (Allianz pro Schiene):** Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland. Aufdatierung 2005; Zürich.
- Infras / IWW 2004:** External costs of Transport: update study. Studie im Auftrag der International Union of Railways (UIC). Zürich, Karlsruhe. Online im Internet: [www.infras.ch/downloadpdf.php?filename=UpdateExternalCosts\\_FinalReport.pdf](http://www.infras.ch/downloadpdf.php?filename=UpdateExternalCosts_FinalReport.pdf) (24.3.2011).
- Kaufmann Yvonne, Meier Ruedi, Ott Walter 2000:** Luftverkehr – eine wachsende Herausforderung für die Umwelt. Fakten und Trends für die Schweiz. Materialband M25. Nationales Forschungsprogramm NFP 41 Verkehr und Umwelt. Bern.
- Knighton, W.B., Herndon, S.C., Miake-Lye, R.C. 2009:** Aircraft Engine Speciated Organic Gases: Speciation of Unburned Organic Gases in Aircraft Exhaust, Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection

Agency EPA und AEE-300 - Emissions Division Office of Environment and Energy Federal Aviation Administration FAA der Vereinigten Staaten von Amerika, Mai 2009.

**LCC Consulting AG 2011:** Zivilfluglärm in der Schweiz. Auswertung anhand Flugplatzkategorien. Zürich.

**Nateco, Econcept 2004:** Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumplanung, des Bundesamtes für Strassen und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

**Nelson Jon P. 2004:** Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values. Problems and Prospects. In Journal of Transport Economics and Policy, Volume 38 (1), S. 1–28. Online im Internet:

<http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/lse/00225258/v38n1/s1.pdf?expires=1302012324&id=62120724&titleid=1311&accname=Guest+User&checksum=808D9BEA7A72326A1D0CEA88D0C34189> (5.4.2011).

**Pope III C. A., Burnett Richard T., Thun Michael J., Calle Eugenia E., Krewski Daniel, Ito Kazuhiko, Thurston George D. 2002:** Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. In: Journal of American Medical Association Nr. 297 (9), S. 1132-1141.

**Ratliff G., Sequeira C., Waitz I., Ohsfeldt M., Thrasher T., Graham G., Thompson T., Graham M., Thompson T. 2009:** Aircraft Impacts on Local and Regional Air Quality in the United States, Report No. PARTNER-COE-2009-002. Online im Internet: <http://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/proj15/proj15finalreport.pdf> (3.2.2011).

**Richtlinie 2001/81/EG 2001:** Richtlinie 2001/81/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmenge für bestimmte Luftschadstoffe. Online im Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:309:0022:0030:DE:PDF> (8.2.2011).

**Skyguide 2010:** AIP GEN 4 Charges for aerodromes / heliports and air navigation services. Online im Internet: [www.bazl.admin.ch/fachleute/01169/02432/02435/index.html?lang=de](http://www.bazl.admin.ch/fachleute/01169/02432/02435/index.html?lang=de) (30.3.2011).

**SN 506 480; 2004:** Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau. Schweizer Norm herausgegeben vom SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein). Zürich.

**SN 641 828; 2009:** Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Externe Kosten. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

- Tarrasón L., Jonson J.E., Berntsen T. K., Rypdal, K. 2004:** Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation; Report to the European Commission under contract B4-3040/2002/343093/MAR/C1. Online im Internet: [www.europa.nl/environment/air/pdf/air\\_quality\\_impacts\\_finalreport.pdf](http://www.europa.nl/environment/air/pdf/air_quality_impacts_finalreport.pdf).
- UBA Umweltbundesamt 2007:** Ökonomische Bewertung von Umweltschäden: Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Dessau. Online im Internet: [www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf) (17.3.2008).
- UBA Umweltbundesamt 2012:** Ökonomische Bewertung von Umweltschäden: Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Aktualisierung der Kostensätze, Sachstandspapier Klima (noch unveröffentlicht).
- UNITE 2002a:** The Pilot Accounts for Germany. Deliverable 5, Annex 1. Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency. Studie im Auftrag der European Commission – DG TREN; 5th Framework Programme.
- UNITE 2002b:** The Pilot Accounts for Switzerland. Deliverable 5, Appendix 2. Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency. Studie im Auftrag der European Commission – DG TREN; 5th Framework Programme.
- Watkiss, P. et al. 2005:** The Social Cost of Carbon (SCC) Review: Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment, Final Report November, London: UK DEFRA. Online im Internet: <http://socialcostofcarbon.aeat.com>
- Whitt D. B., Jacobson M. Z., Wilkerson J. T., Naiman A. D., Lele S. K. 2011:** Vertical mixing of commercial aviation emissions from cruise altitude to the surface. In: Journal of Geophysical Research, Volume 116. Online im Internet: <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/VIII/Whitt2010JD015532.pdf> (23.11.2011).
- WHO World Health Organization 2011:** Burden of disease from environmental noise. Qualification of healthy life years lost in Europe. Kopenhagen. Online im Internet: <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/burden-of-disease-from-environmental-noise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe> (17.8.2011).
- ZKB Zürcher Kantonalbank 2011:** Ruhe bitte! Wie Lage und Umweltqualität die Schweizer Mieten bestimmen. Studie in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt. Zürich.