

Semesterprojekt Nummer 1  
Introduction to environmental modelling

Urs SIEBER  
Bahnstrasse 9a  
CH-9323 Steinach  
sieberu@stvsteinach.ch  
Konstantin MOSER  
Rue de la Carrière 30  
CH-1700 Fribourg  
scalettahorn@bluewin.ch

Universität Freiburg  
Departement Geowissenschaften, Einheit Geographie  
Fribourg, März 2007



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die diversen Gleichungen</b>	<b>1</b>
2.1	4: Absorption IR durch Atmosphäre . . . . .	1
2.2	5: Gegenstrahlung der Atmosphäre . . . . .	1
2.3	6: Total IR-Strahlungsverlust an Weltraum (Emission in Weltraum) . . . . .	2
2.4	2: Reflexion am Boden der Sonnenstrahlung direkt in den Weltraum . . . . .	2
2.5	3: Absorption der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre . . . . .	3
2.6	8: Netto Bilanz der IR-Strahlung am Boden . . . . .	3
2.7	7: Total der Turbulenztransfer, Konvektion . . . . .	3
2.8	9: Totaler Energiegewinn durch die Atmosphäre . . . . .	3
2.9	10: Gesamtverlust an Energie an der Oberfläche . . . . .	4
2.10	1: Totalabsorption . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Konklusion und Endbilanzen</b>	<b>4</b>

# 1 Einleitung

In diesem Projekt geht es darum, die diversen Flüsse im System Erde-Sonne genau zu analysieren und auch zu quantifizieren. Das Klimasystem der Erde, das hauptsächlich von der Sonneneinstrahlung angetrieben wird, wird nach allen Interaktionen mit der Erde (Atmosphäre, Boden) untersucht. Abbildung 1 gibt den Überblick über die diversen Interaktionen, die untersucht werden.

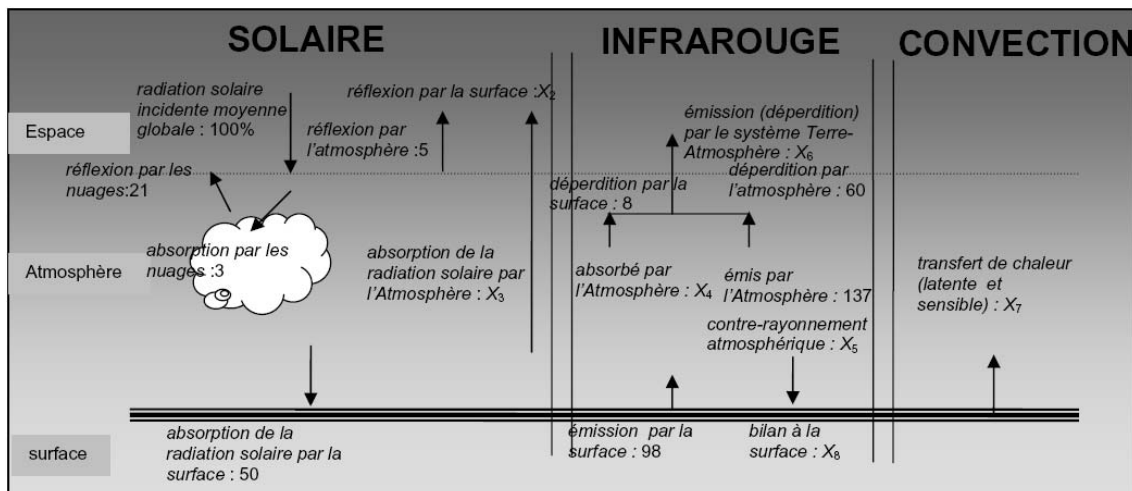


Abbildung 1: Übersicht über die unterschiedlichen Flüsse im Klimasystem der Erde.

## 2 Die diversen Gleichungen

Im Folgenden wird nun versucht, die einzelnen Gleichungen mit den vorhandenen Zahlen zu erarbeiten. Dies analog zu den Vorgaben aus Abbildung 1 mit den 10 Unbekannten  $x_i, i \in \{1, 2, \dots, 10\}$ .

### 2.1 4: Absorption IR durch Atmosphäre

Die Atmosphäre absorbiert genau den Anteil der vom Boden emittierten IR-Strahlung, der nicht direkt ans Weltall verloren geht. D.h. sie absorbiert den Teil, der nicht durch die Atmosphäre hindurchgeht. Da Emission vom Boden (98) und der Verlust durch den Boden (8) gegeben sind, können wir die Absorption IR durch die Atmosphäre leicht berechnen:

$$\begin{aligned} x_4 &= -8 - (-98) = 90 \\ x_4 &= 0.90 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 308.25 \frac{W}{m^2} \end{aligned} \quad (1)$$

### 2.2 5: Gegenstrahlung der Atmosphäre

Die Atmosphäre emittiert auch IR-Strahlung. Einen Teil wieder zurück zum Boden und den anderen Teil in Richtung Weltraum, d.h. aus dem System heraus (entspricht einem

Energieverlust). Der Anteil der Gegenstrahlung der Atmosphäre entspricht infolgedessen der Differenz der Gesamtstrahlung der Atmosphäre (137) und der IR-Strahlung, die von der Atmosphäre in den Weltraum verloren geht (60):

$$\begin{aligned} x_5 &= 137 - 60 = 77 \\ x_5 &= 0.77 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 263.725 \frac{W}{m^2} \end{aligned} \quad (2)$$

## 2.3 6: Total IR-Strahlungsverlust an Weltraum (Emission in Weltraum)

Die Totalemission setzt sich aus folgenden Anteilen der IR-Strahlung zusammen: Der eine Teil ist die Strahlung, die direkt vom Boden ohne Interaktion mit der Atmosphäre in den Weltraum emittiert wird (8). Der andere Teil setzt sich aus der Differenz der gesamten IR-Emission der Atmosphäre und der Gegenstrahlung zum Boden zurück zusammen (60, siehe hierfür Gleichung 2). Der zweite Teil entspricht also dem Verlust an IR-Strahlung durch die Atmosphäre:

$$\begin{aligned} x_6 &= -8 + (-60) = -68 \\ x_6 &= -0.68 * 342.5 \frac{W}{m^2} = -232.9 \frac{W}{m^2} \end{aligned} \quad (3)$$

Jetzt ist auch der Wert für  $L\uparrow$  bekannt. Er entspricht, da nur IR-Strahlung verloren geht im System Erde-Sonne und keine IR-Strahlung von aussen hinzugefügt wird, dem oben errechneten Wert von  $-232.9 \frac{W}{m^2}$ .  $L\uparrow$  entspricht  $L^*$ , da keine IR-Strahlung dem System zugefügt wird.

## 2.4 2: Reflexion am Boden der Sonnenstrahlung direkt in den Weltraum

Wenn man von der Grenze der Atmosphäre Weltall-Atmosphäre ausgeht wo die folgende Gleichung  $Q^* = K^* + L^* = 0$  gilt, so kann man auch den Teil der vom Boden reflektierten Strahlung ins All wie folgt berechnen:  $L^*$  ist bereits bekannt aus Gleichung 3.  $K^*$  besteht aus dem einfallenden Teil der Strahlung (100) und dem Anteil der Strahlung die wieder an das Weltall verloren geht, d.h. an der Grenze der Atmosphäre wieder austritt. Prozesse hierfür sind Reflexion der Wolken (21), Reflexion des Bodens (gesuchte Variable) und Reflexion der Atmosphäre (5). Nach folgender Gleichung ist nur noch eine Unbekannte vorhanden die wie folgt aufgelöst werden kann:

$$\begin{aligned} Q^* &= L^* + K^* = 0 \\ K^* &= 100 - 5 - 21 - x_2 \\ L^* &= -68 \\ K^* &= -L^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_2 &= -(-68) - (100 - 5 - 21) = -6 \\
x_2 &= -0.06 * 342.5 \frac{W}{m^2} = -20.55 \frac{W}{m^2}
\end{aligned} \tag{4}$$

## 2.5 3: Absorption der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre

Da  $K^* = K \downarrow + K \uparrow$  ist und die Bilanz ausgeglichen sein muss (es geht weder Energie verloren, noch wird dazugewonnen) kann man sagen, dass alle Absorptionen alle Reflexionen aufheben müssen. Bekannt sind bisher: Reflexion Boden (6), Atmosphäre (5), Wolken (21) und Absorption Boden (50), Wolken (3). Einzig unbekannt ist nun also noch die Absorption der Atmosphäre, die wie folgt berechnet werden kann:

$$\begin{aligned}
K \uparrow &= 6 + 5 + 21 + 50 + 3 + x_3 \\
K \uparrow &= |K \downarrow| = 100 \\
x_3 &= 100 - (6 + 5 + 21 + 50 + 3) = 15 \\
x_3 &= 0.15 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 51.375 \frac{W}{m^2}
\end{aligned} \tag{5}$$

## 2.6 8: Netto Bilanz der IR-Strahlung am Boden

Die Bilanz am Boden kann qualitativ wie folgt beschrieben werden: Die Differenz der vom Boden abgestrahlten IR-Strahlung (98) und der Gegenstrahlung. Die Gegenstrahlung ist aus Gleichung 2 bekannt:

$$\begin{aligned}
x_5 &= 77 \\
x_8 &= -98 + 77 = -21 \\
x_8 &= -0.21 * 342.5 \frac{W}{m^2} = -71.925 \frac{W}{m^2}
\end{aligned} \tag{6}$$

## 2.7 7: Total der Turbulenztransfers, Konvektion

Da die Erde mehr Sonneneinstrahlung aufnimmt (50), als dass sie in Form von IR-Strahlung und Reflexion wieder abgibt (-21), entsteht ein Überschuss an Energie. Diese Energie wird wieder freigegeben (latenter und sensibler Wärmetransport, siehe Skizze), damit sich das System weiter im Gleichgewicht befindet:

$$\begin{aligned}
x_7 = Q_e^* &= K_e^* + L_e^* \\
x_7 &= 50 + (-21) = 29 \\
x_7 &= 0.29 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 99.325 \frac{W}{m^2}
\end{aligned} \tag{7}$$

## 2.8 9: Totaler Energiegewinn durch die Atmosphäre

Der Energiegewinn in der Atmosphäre entspricht nun laut den vorangehenden Berechnungen und Überlegungen der Energiesumme aus Absorption von Wolken (3 im sichtbaren

Bereich) und Atmosphäre selbst im sichtbaren wie im IR-Bereich und der Konvektion. Es gibt keine weiteren Komponenten, aus denen die Atmosphäre Energie gewinnen kann. Diese Werte sind nun alle wohl bekannt:

$$\begin{aligned}
 x_9 &= 3 + x_3 + x_4 + x_7 \\
 x_9 &= 3 + 15 + 90 + 29 = 137 \\
 x_9 &= 1.37 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 469.225 \frac{W}{m^2}
 \end{aligned} \tag{8}$$

## 2.9 10: Gesamtverlust an Energie an der Oberfläche

Der Verlust an Energie am Boden setzt sich zusammen aus der emittierten IR-Strahlung, der Reflexion an der Oberfläche ( $x_2$ ), sowie der Energie der Konvektionsenergie, die wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.

$$\begin{aligned}
 x_{10} &= -98 - 6 - 29 = -133 \\
 x_{10} &= -1.33 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 455.525 \frac{W}{m^2}
 \end{aligned} \tag{9}$$

## 2.10 1: Totalabsorption

Das Total aller Absorptionen im sichtbaren Bereich entspricht der Absorption der Atmosphäre ( $x_3$ ), der Absorption der Wolken (3) und der Absorption des Bodens (50). Das Total sollte den Verlusten im IR-Bereich in den Weltraum entsprechen ( $x_6$ ).

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 3 + 15 + 50 = 68 \\
 x_1 &= |x_6| = 68 \\
 x_1 &= 0.68 * 342.5 \frac{W}{m^2} = 232.9 \frac{W}{m^2}
 \end{aligned} \tag{10}$$

## 3 Konklusion und Endbilanzen

Nun müssten die Endbilanzen des Systems Erde-Atmosphäre ausgeglichen sein auf allen Ebenen (d.h. am Boden, in der Atmosphäre und an der Obergrenze der Atmosphäre). Dies können wir testen, indem wir die Bilanzen aufstellen für jede Ebene:

**Boden:** Die Bilanz am Boden setzt sich zusammen aus der Energie, die der Boden vom sichtbaren Licht absorbiert und der Energie, die er durch IR-Strahlung und Konvektion wieder abgibt. Zusammen sollten sich diese Effekte ganz aufheben:

$$\begin{aligned}
 \textit{Absorption} + (\textit{EmissionIR} + \textit{Konvektion}) &= 0 \\
 50 + (-21 + (-29)) &= 0
 \end{aligned} \tag{11}$$

**Atmosphäre:** Die Bilanz in der Atmosphäre kann qualitativ beschrieben werden als dass sich Absorption in der Atmosphäre, Emission und Konvektion aufheben müssten.

Als Parameter hierfür sind im sichtbaren Bereich ( $K^*$ ) Absorption Wolken und Atmosphäre, im langwelligen Bereich ( $L^*$ ) Absorption und Emission der Atmosphäre und die Konvektion zu betrachten:

$$\begin{aligned}
 0 &= K^*_{*A} + L^*_{*A} + \text{Konvektion} \\
 0 &= (3 + 15) + (90 - 137) + 29 \\
 0 &= 18 + (-47) + 29
 \end{aligned} \tag{12}$$

**Obergrenze der Atmosphäre:** An der Obergrenze setzt sich die Bilanz zusammen aus folgenden Parametern, die sich gegenseitig aufheben müssen, damit sich das System auch auf dieser Ebene im Gleichgewicht befindet. Im kurzwelligen, sichtbaren Bereich aus der eintretenden Energiemenge und der direkt wieder austretenden Energiemenge (Reflexionen an Wolken, Atmosphäre und Boden direkt ins Weltall zurück), im langwelligen, IR-Bereich aus abtretender Menge (es tritt keine IR-Strahlung in Atmosphäre ein). Also kann man sagen, dass  $L^* + K^* = 0$  an der Obergrenze der Atmosphäre sein müssen, damit auch hier die Bilanz ausgeglichen ist:

$$\begin{aligned}
 0 &= K^*_s + L^*_s \\
 0 &= (K_s \uparrow + K_s \downarrow) + (L_s \uparrow + L_s \downarrow) \\
 0 &= [(-21) + (-5) + (-6) + 100] + [(-8) + (-60) + 0] \\
 0 &= (68) + (-68)
 \end{aligned} \tag{13}$$