

Daisyworld

Peter Bützer

Inhalt

1	Eine kurze Theorie	1
2	Aufgabe	2
3	Simulation, Lösung	3
3.1	Einfaches Modell.....	3
3.1.1	Annahmen	3
3.1.2	Simulationsdiagramm (Typ 3)	3
3.1.3	Zeitdiagramm	4
3.1.4	Folgerung	4
3.1.5	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	4
3.1.6	Folgerung	5
3.2	Erweiterung des Modells.....	6
3.2.1	Annahme	6
3.2.2	Simulationsdiagramm.....	6
3.2.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	7
3.2.4	Folgerungen.....	8
3.3	Ein einfaches Experiment.....	9

1 Eine kurze Theorie



Abbildung 1: Gänseblümchen (Daisies)

Das *Gaia-Prinzip* ist eine Hypothese, unsere Erde als Ganzes als Lebewesen zu betrachten¹. Diese Hypothese wurde vom Chemiker, Biophysiker und Mediziner James Lovelock und der der Mikrobiologin Lynn Margulis etwa um die Mitte der 1960er Jahre entwickelt und kann heute als Theorie gelten. Mit dem sehr einfachen Modell von *Daisyworld* haben die beiden einen Aspekt des Temperaturverhaltens anschaulich gemacht– Lovelock spricht bei diesem Modell klar von einer Karikatur von Gaia.

Daisyworld ist ein einfacher Modellplanet, der von nur zwei Sorten von Pflanzen bewachsen ist, nämlich von schwarzen und weissen Gänseblümchen (Daisies). Als Annahme wachsen diese Blumen bei Temperaturen zwischen 5° C und 40°C mit einem Optimum bei ca. 22°C. Sie konkurrieren dabei um dieselbe Fläche. Der unbewachsene Teil hat, ebenso, wie der bewachsene haben genügend Wasser, Luft und Nährstoffe für das Wachstum.

¹ Lovelock James E., GAIA, Die Erde ist ein Lebewesen, Scherz Verlag, Bern/München/Wien, 1992, 2.Auflage



Abbildung 2: Viel Weiss und viel Lichtreflektion mit vielen Gänseblümchen



Abbildung 3: Viel Schwarz und viel Lichtabsorption mit vielen Gänseblümchen

Energie bezieht dieser Modellplanet einzig und allein von seiner Sonne. Die Oberfläche reflektiert einen Teil vom einfallenden Licht, abhängig vom Bewuchs - genau genommen von der *Albedo*². Der Daisyworld gelingt es, ihre Temperatur einigermassen konstant zu halten. Das geschieht dadurch, dass die weissen Gänseblümchen bei stärkerer Lichteinstrahlung gegenüber den schwarzen einen Wachstumsvorteil haben, weil sie nicht so heiss werden. Dabei reflektieren sie viel Licht und die Temperatur des Modellplaneten steigt nicht an. Bei schwacher Lichteinstrahlung sind die schwarzen im Vorteil, weil sie die wenige Energie besser nutzen können um nahe an das Optimum der Temperatur von 22°C zu erreichen – sie erreichen eine grössere Temperaturzunahme.

Daisyworld ist eine fiktive Welt, die veranschaulicht, wie sich ein System ohne planende Instanz selbst regulieren könnte.

Dass die Temperatur als ökologischer Faktor auf dem Planeten Erde eine bedeutsame Rolle spielt ist unbestritten³.

Damit liegt ein natürliches *Regelsystem* vor, bedingt durch die *negative Rückkopplung* über die sich verändernde Albedo.

- Je stärker die Einstrahlung, desto mehr weisse Gänseblümchen (grössere Albedo), was zu mehr Energie-Reflektion und damit zu tieferer Temperatur führt.
- Je schwächer die Einstrahlung, desto mehr schwarze Gänseblümchen (kleinere Albedo), was zu mehr Energie-Absorption und damit zu höherer Temperatur führt.

Der Modellplanet regelt sich somit, je nach Einstrahlung, selbständig auf eine mittlere Temperatur ein.

2 Aufgabe

Man versuche die Daisyworld mit einem sehr einfachen Modell zu simulieren.

- Die weissen Gänseblümchen wachsen besser mit starker Lichteinstrahlung,
- die schwarzen Gänseblümchen wachsen besser mit schwacher Lichteinstrahlung.

Die Fläche, welche unbewachsen, mit weissen oder mit schwarzen Gänseblümchen bedeckt ist, sollte sich in Funktion der Lichteinstrahlung ändern.

² Weisser Planet: Albedo =1, schwarzer Planet: Albedo =0, grauer Planet: 0< Albedo <1.

³ Heinrich Dieter, Hergt Manfred, dtv-Atlas zur Ökologie, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1990, S.39

3 Simulation, Lösung

3.1 Einfaches Modell

3.1.1 Annahmen

- Die von den weissen Gänseblümchen bedeckte Fläche wird als weisse Fläche, die von den schwarzen als schwarze Fläche betrachtet.
- Die Albedo sind: weiss: $r_w = 0.8$, grau: $r_u = 0.3$, schwarz: $r_s = 0.1$.
- Die Fläche, welche nicht von Gänseblümchen bedeckt ist, ist grau.
- Die Wachstumsraten (v_{tw} , v_{ts}) sind viel langsamer als die Sterberaten (v_{wt} , v_{st}).
- Die Energie-Einstrahlung folgt einer Sinus-Kurve mit einer Periode von 12 Monaten (Jahreszeiten).

3.1.2 Simulationsdiagramm (Typ 3)⁴

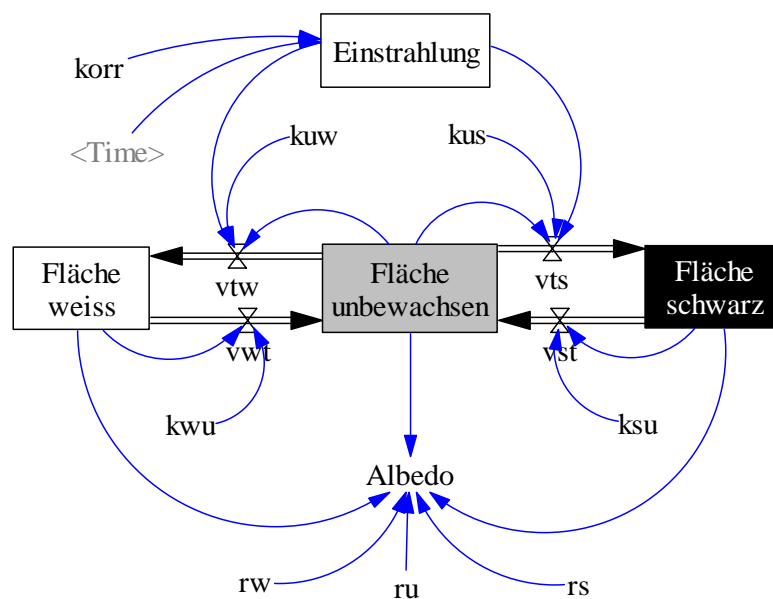


Abbildung 4: Simulationsdiagramm der Daisyworld mit weissen und schwarzen Daisies und einem "grauen" Boden (Software Vensim © PLE⁵)

Das Diagramm zeigt die Kopplungen und die Rückkopplungen der verschiedenen dunklen resp. hellen Flächen.

⁴ Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 50

⁵ Vensim © PLE, Simulationssoftware, Ventana Systems Inc., 60 Jacob Gates Road, Harvard, MA 01451, <http://www.vensim.com/download.html>, 2007-12-12

3.1.3 Zeitdiagramm

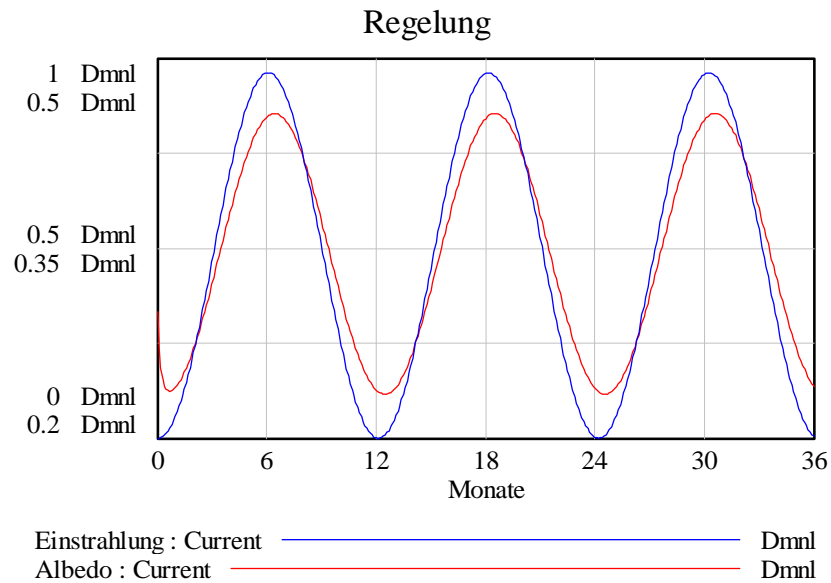


Abbildung 5: Zeitdiagramm der Einstrahlung und der dazu verzögerten Albedo

3.1.4 Folgerung

Eine starke Einstrahlung führt zu einer grossen Albedo (→ viel Weiss → starke Rückstrahlung → weniger Energieaufnahme → tiefere Temperatur).

3.1.5 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Albedo= $rw \cdot \text{Fläche weiss} + ru \cdot \text{Fläche unbewachsen} + rs \cdot \text{Fläche schwarz}$
Units: Dmnl [0,?]
- (02) Einstrahlung= $\text{INTEG} (\text{SIN}(\text{Time} \cdot \text{korr} \cdot 0.52) / 4 \cdot \text{korr}, \quad 0)$
Units: Dmnl [0,?]
- (03) FINAL TIME = 36
Units: Month
The final time for the simulation.
- (04) Fläche schwarz= $\text{INTEG} (+vts - vst, \quad 0)$
Units: m2 [0,?]
- (05) Fläche unbewachsen= $\text{INTEG} (vst + vwt - vts - vtw, \quad 1)$
Units: m2 [0,?]
- (06) Fläche weiss= $\text{INTEG} (vtw - vwt, \quad 0)$
Units: m2 [0,?]
- (07) INITIAL TIME = 0
Units: Month
The initial time for the simulation.
- (08) korr= $1 \cdot 1$
Units: 1/Month [0,?]
Faktor zur Korrektur der Einheiten bei der Sinus-Funktion
- (09) ksu= 2.8
Units: 1/Month [0,4]
Absterben ca. 0.25 Monate -> $k = 0.7 / 0.125 = 2.8$

- (10) kus= 1.4
Units: 1/Month [0,1]
Wachstum: ca. 1 Monat --> $k=0.7/0.5=1.4$
- (11) kuw= 1.4
Units: 1/Month [0,2]
Wachstum: ca. 1 Monat --> $k=0.7/0.5=1.4$
- (12) kwu= 2.8
Units: 1/Month [0,4]
Absterben ca. 0.25 Monate -> $k=0.7/0.125=2.8$
- (13) rs= 0.1
Units: 1/m² [0,?]
Albedo für schwarze Gänseblümchen =0.1 (wie Wald)
- (14) ru= 0.3
Units: 1/m² [0,1]
Reflexionsfaktor für mit Blumen unbewachsene Fläche (Wiese), Albedo=0.3 (helleres grau)
- (15) rw= 0.8
Units: 1/m² [0,1]
Reflexionsfaktor für weisse Fläche, Albedo=1 -> Gänseblümchen: 0.8
- (16) SAVEPER = TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (17) TIME STEP = 0.1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.
- (18) vst= ksu*Fläche schwarz
Units: m²/Month [0,?]
- (19) vts= kus*Fläche unbewachsen*(1-Einstrahlung)
Units: m²/Month [0,?]
Die Schwarzen wachsen bei kleiner Einstrahlung besser.
- (20) vtw= kuw*Fläche unbewachsen*(0+Einstrahlung)
Units: m²/Month [0,?]
Die Weissen wachsen bei grosser Einstrahlung besser
- (21) vwt= kwu*Fläche weiss
Units: m²/Month [0,?]

3.1.6 Folgerung

Die einfache Simulation zeigt, dass der „Gänseblümchen-Planet“ von Daisyworld die Energie-Abstrahlung der Energie-Einstrahlung mit einer negativen Rückkopplung selbstregulierend anpassen kann.

3.2 Erweiterung des Modells

Die Änderung der Albedo soll um eine Abschätzung des Temperaturverlaufs^{6,7} erweitert werden.

Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann über die Wärmeabstrahlung:

$F = \alpha \sigma A T^4$; daraus folgt:

$T = (F/(\alpha \sigma A))^{1/4} [\text{J/sec/J*sec*K}^4*\text{m}^2/\text{m}^2]^{1/4}$

F: Energiezufluss [J/sec]

A: Fläche [m²]

α : Albedo (0–1) [dimensionslos]

σ : Stefan-Boltzmann-Konstante $5.67 \times 10^{-8} [\text{J}/(\text{sec K}^4 \text{m}^2)]$

3.2.1 Annahme

- Mit mehr Einstrahlung, höherer Temperatur, wachsen die weissen Daisies rascher, aber sterben auch rascher.
- Mit weniger Einstrahlung, tieferer Temperatur, wachsen die schwarzen Daisies langsamer, aber sterben auch langsamer.

3.2.2 Simulationsdiagramm

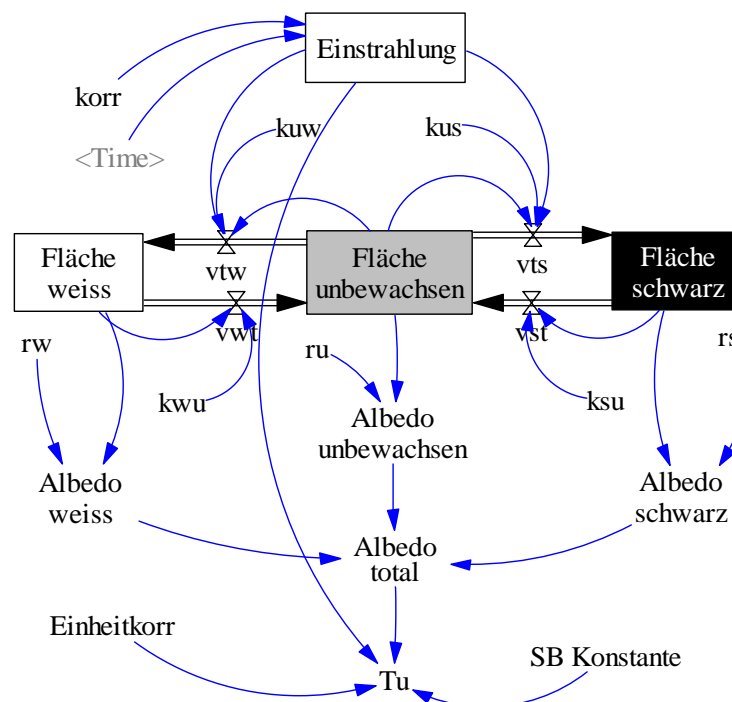


Abbildung 6: Simulationsdiagramm mit der Abschätzung der Temperatur

⁶ Bice Dave, Modeling Daisyworld, http://www.carleton.edu/departments/GEOL/DaveSTELLA/Daisyworld/daisyworld_model.htm, 2007-10-21

⁷ Carstensen Rolf, James Lovelock's Daisyworld, <http://systemerde.ipn.uni-kiel.de/Daisyworld/daisyweb.html>, 2007-10-21

Das Wachstum der Weissen wird mit stärkerer rascher, das Wachstum der Schwarzen mit schwächerer Einstrahlung.
Zeitdiagramme

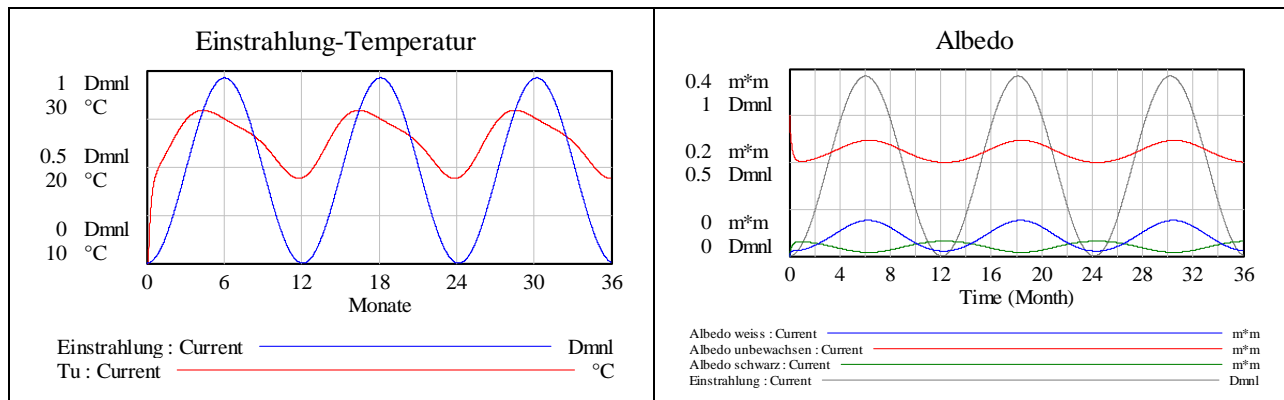


Abbildung 7: Temperaturverhalten geregelt durch die Gänseblümchen

Folgerung:

Die Temperatur folgt der Einstrahlungsstärke mit einer starken Dämpfung. So regelt der „Planet“ Daisyworld seine Temperatur selbst.

3.2.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Albedo schwarz= $rs \cdot \text{Fläche schwarz}$
Units: m^2m [0,?]
- (02) Albedo total= (Albedo weiss+Albedo unbewachsen+Albedo schwarz)
Units: m^2m [0,?]
- (03) Albedo unbewachsen= $ru \cdot \text{Fläche unbewachsen}$
Units: m^2m [0,?]
- (04) Albedo weiss= $rw \cdot \text{Fläche weiss}$
Units: m^2m [0,?]
- (05) Einheitkorr= 50
Units: W [40,60]
Korrektur, damit die Temperatur für die verwendete Fläche stimmt.
- (06) Einstrahlung= $\text{INTEG} (\text{SIN}(\text{Time} \cdot \text{korr} \cdot 0.52) / 4 \cdot \text{korr}, 0)$
Units: Dmnl [0,?]
- (07) FINAL TIME = 36
Units: Month
The final time for the simulation.
- (08) Fläche schwarz= $\text{INTEG} (+vts - vst, 0)$
Units: m^2m [0,?]
- (09) Fläche unbewachsen= $\text{INTEG} (vst + vwt - vts - vtw, 1)$
Units: m^2m [0,?]
- (10) Fläche weiss= $\text{INTEG} (vtw - vwt, 0)$
Units: m^2m [0,?]
- (11) INITIAL TIME = 0
Units: Month
The initial time for the simulation.
- (12) korr= $1 \cdot 1$
Units: 1/Month [0,?]
Korrektur, damit das Argument in der Sinusfunktion keine Einheit hat.
- (13) ksu= 3.5
Units: 1/Month [0,4]

Absterben ca. 0.2 Monate $\rightarrow k = 0.7/0.2 = 3.5$, die Schwarzen sterben weniger rasch als die Weissen

(14) $k_{us} = 1.4$

Units: 1/Month [0,1]

Wachstum: ca. 2 Monate $\rightarrow k = 1.4$

(15) $k_{uw} = 0.7$

Units: 1/Month [0,2]

Wachstum: ca. 1 Monate $\rightarrow k = 0.7$, die weissen wachsen rascher als die schwarzen (mehr Licht)

(16) $k_{wu} = 7$

Units: 1/Month [0,4]

Absterben ca. 0.1 Monate $\rightarrow k = 0.7/0.1 = 7$, die Weissen sterben rascher, als die

Schwarzen

(17) $r_s = 0.1$

Units: Dmnl [0,?]

Albedo für schwarze Gänseblümchen = 0.1 (wie Wald)

(18) $r_u = 0.3$

Units: Dmnl [0,1]

Reflexionsfaktor für mit Blumen unbewachsene Fläche (Wiese), Albedo=0.3 (helleres grau)

(19) $r_w = 0.8$

Units: Dmnl [0,1]

Reflexionsfaktor für weisse Fläche, Albedo=1 \rightarrow Gänseblümchen: 0.8

(20) $SAVEPER = \text{TIME STEP}$

Units: Month [0,?]

The frequency with which output is stored.

(21) $SB \text{ Konstante} = 5.67e-008$

Units: $W/(K*K*K*K*m*m)$

(22) $TIME STEP = 0.01$

Units: Month [0,?]

The time step for the simulation.

(23) $T_u = \text{SQRT}(\text{SQRT}((2 + \text{Einstrahlung}) * \text{Einheitkorr} / (SB \text{ Konstante} * \text{Albedo total}))) - 273$

Units: K [0,?]

(24) $v_{st} = k_{su} * \text{Fläche schwarz}$

Units: $m*m/\text{Month}$ [0,?]

(25) $v_{ts} = k_{us} * \text{Fläche unbewachsen} * (1.2 - \text{Einstrahlung})$

Units: $m*m/\text{Month}$ [0,?]

Je kleiner die Einstrahlung, desto grösser das Wachstum

(26) $v_{tw} = k_{uw} * \text{Fläche unbewachsen} * (0.2 + \text{Einstrahlung})$

Units: $m*m/\text{Month}$ [0,?]

Je grösser die Einstrahlung, desto rascher das Wachstum

(27) $v_{wt} = k_{wu} * \text{Fläche weiss}$

Units: $m*m/\text{Month}$ [0,?]

3.2.4 Folgerungen

Die Temperatur der Oberfläche von Daisyworld regelt sich in der Nähe der optimalen 21°C ein.

Die starken Schwankungen der Einstrahlung werden stark gedämpft.

Wenn das System der Erde ihre Regelmöglichkeiten überschreitet, führt das zu einem Kollaps⁸.

⁸ Lovelock James, Gaias Rache, Warum die Erde sich wehrt, List, Ullstein Buchverlage GmbH, Berlin, 2007

4 Ein einfaches Experiment

Ein Temperatursensor wird mit weissem, ein Sensor mit genau gleich viel schwarzem Papier umwickelt (z.B. Vernier Stainless-Steel-Sensoren mit Labpro als Software). Die Sensoren dürfen nicht auf einer Fläche aufliegen (Wärmeübertragung; hier sind sie ca. 50 cm über einem Ziegeldach).



Abbildung 8: Die beiden mit Papier umwickelten Sensoren

Man lässt zuerst das thermische Gleichgewicht einspielen (ca. 30 Minuten) und misst dann die Temperaturverläufe der beiden Sensoren.

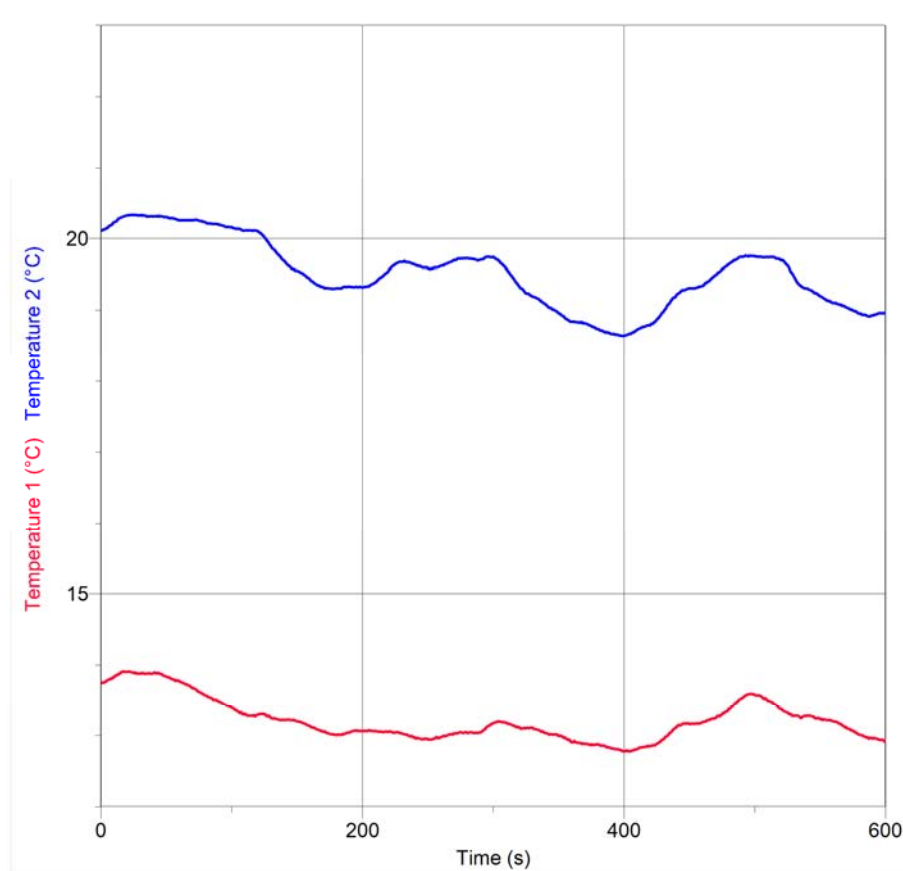


Abbildung 9: Temperaturverlauf der Sensoren an der Wintersonne (9. Februar 2008, 1555-1605h); Oben der Sensor mit dem schwarzen, unter der Sensor mit dem weissen Papier.

Folgerungen:

Oktober 2007

1. Der Sensor mit dem schwarzen Papier zeigt eine wesentlich höhere Temperatur.
2. Der Temperaturverlauf des Sensors mit dem weissen Papier schwankt weniger.

Gute Links:

von Bloh Werner, Daisyworld: a tutorial approach to geophysiological modelling,

<http://www.pik-potsdam.de/~bloh/>, 2007-10-24

Narang Vipin, Evolution and the Daisyworld Experiments,

www.comp.nus.edu.sg/~cs6211/slides/Daisyworld.ppt, 24.10.2007 (PowerPoint)

Simulationen:

Flash-Animation: ORACLE, ThinkQuest, Education Foundation,

<http://library.thinkquest.org/C003763/flash/gaia1.htm>, 2007-10-24

Java-Animation: Mackay Robert, Daisy World Model,

<http://cs.clark.edu/~mac/physlets/DaisyWorld/Daisy.htm>, 2007-10-24

Java-Animation: Ginger Booth, Yale University, <http://gingerbooth.com/courseware/daisy.html>,
2007-10-24

Ein Modell mit falschen Einheiten:

http://www.carleton.edu/departments/geol/DaveSTELLA/Daisyworld/daisyworld_model.htm