

Übungsaufgabe 5

André Hardtke

Markus Lück



Physikalische Prozesse in der Ökologie

WS 2009/2010

1 Aufgabenstellung

Wenden sie die Tautochronenmethode an, um aus dem Datensatz `\ufobi6\trans\ppoeck\ueb5\fl1t97.sd2` für einen Monat (Oktober), den Bodenwärmestrom der Fichtenfläche F1 im Solling zu berechnen. Neben den Bodentemperaturen (BTM_HH) finden Sie dort auch Lufttemperaturen (TT_so, TT_kr, TT_st für Lufttemperaturen über dem Bestand, Kronenraum und im Stammraum). Sprechen Sie sich bitte ab, damit wir für alle Monate Ausarbeitungen erhalten. Richten Sie sich bitte in der Wahl der Horizonte nach der Tabelle der thermischen Eigenschaften für den Boden der Fichtenprobestfläche F1 im Solling. Mitteln Sie über die Temperaturen in einer Schicht. Stellen Sie den Verlauf der Lufttemperaturen, der Wärmeflussdichte in den einzelnen Schichten und den der Gesamtflussdichte als mittlere monatliche Tagesgänge dar und diskutieren Sie die Ergebnisse.

2.1 Methode der Auswertung (Hardtke)

Temperaturen haben einen bedeutenden Einfluss auf die physiologischen Prozesse von Organismen und sind somit maßgebend steuernd für biologische Umsatzprozesse. An dieser Stelle soll vor allem der Zusammenhang zwischen der Bodentemperatur und der Abbaugeschwindigkeit von organischem Material angesprochen werden.

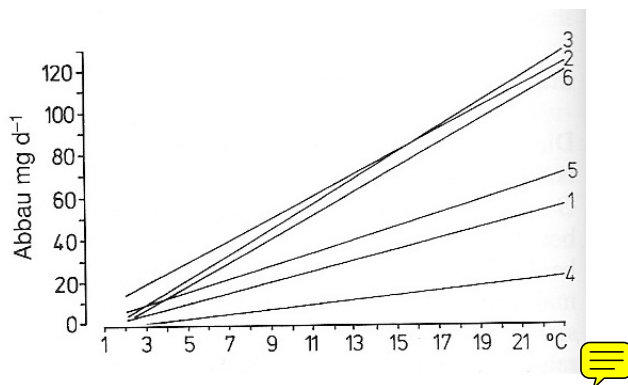


Abbildung 1: Korrelation zwischen Temperatur und dem Abbau vergrabener Cellulose in Böden Norddeutschlands. Parabraunerde unter (1) Forst, (2) konventioneller und (3) alternativer Ackernutzung; Podsol unter (4) Forst, (5) konventioneller und (6) alternativer Ackernutzung (entnommen aus Scheffer / Schachtschabel)

In einem Boden kommt es immer dann zu einem Wärmetransport, wenn in verschiedenen Bodentiefen unterschiedliche Temperaturen vorliegen, also wenn ein Temperaturgradient vorliegt. Die Richtung des Transport ist bestimmt durch die im Boden vorliegenden Temperaturen: Wärme „fließt“ immer von der wärmeren Bodenschicht zur kälteren Bodenschicht.

Die Wärmeflussdichte, durch eine Bodenschicht ist proportional zum Gradienten der Temperatur und lässt sich durch folgende Formel beschreiben:

$$G = -k * \frac{\delta T}{\delta z}$$

Die Größe k stellt in der oben gezeigten Gleichung eine Konstante dar und wird auch als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet.

Um einen leichteren Vergleich zwischen verschiedenen Transportkoeffizienten zu ermöglichen wird die Wärmeleitfähigkeit k in die allgemeinere Wärmediffusivität in $\frac{m^2}{s}$

$$G = -\kappa * \frac{\delta W}{\delta z} = -\kappa * \frac{\rho * c * \delta T}{\delta z}$$

Die Wärmediffusivität kann anschaulich, in Analogie zur Elektrik, als ein Transportwiderstand entlang einer Einheitslänge betrachtet werden.

Die Volumenwärme lässt sich dann aus den Größen Dichte ρ und der Wärmekapazität c errechnen. Wärmekapazitäten von heterogenen Materialien ergeben sich aus der Summation ihrer Einzelkapazitäten.

Um die Wärmemenge zu errechnen, die benötigt wird um einen Boden zu erwärmen, werden die Temperaturänderung und die Wärmekapazität miteinander multipliziert. Ein anderer Weg um die Wärmemenge zu berechnen ergibt sich durch die folgende Gleichung:

$$\frac{dW}{dt} = G_u - G_o = -\kappa * \frac{\delta W_u}{\delta z} - (-\kappa * \frac{\delta W_o}{\delta z}) = \kappa * (\frac{\delta W_o}{\delta z} - \frac{\delta W_u}{\delta z}) = \kappa * \frac{\delta^2 W}{\delta z^2}$$

Die oben aufgeführte Formel beschreibt die Flussdivergenz. Man versteht darunter die Differenz der Wärmeflussdichten einer Bodenschicht G an ihren Rändern G_u und G_o .

Um den oben genannten Sachverhalt in Abhängigkeit von der Zeit zu beschreiben müssen beide Seiten der oben aufgezeigten Formel für die Flussdivergenz durch ρc dividiert werden.

Um den Bodenwärmestrom durch die oben aufgeführte Gleichung zu quantifizieren, wird der vertikale Temperaturgradient sowie die Wärmeleitfähigkeit der oberen Bodenschicht benötigt. Da diese beiden Voraussetzungen nur in seltenen Fällen gegeben sind bedient man sich der sogenannten Tautochtronenmethode um den Bodenwärmestrom zu berechnen.

Tautochtronenmethode

Um den Bodenwärmestrom mit Hilfe der Tautochtronenmethode zu berechnen, benötigt man die Temperaturen von verschiedenen Bodenschichten, sowie deren zeitlichen Änderungen.

Sind diese Größen bekannt kann über die folgende Formel der Energiestrom für jede Schicht berechnet werden, der die Temperaturänderung in dieser Schicht bewirkt hat.

$$G\Delta z = \frac{dT\Delta z}{dt} * \rho\Delta z * c\Delta z$$

Durch diese Formel kann die Wärmekapazität für ein Volumen mit Einheitsfläche und Schichtdicke, in der Einheit $\frac{J}{m^2K}$ berechnet werden.

Um den gesamten Bodenwärmestrom G, also die gesamte Wärmeflussdichte durch die Oberfläche zu berechnen, müssen alle Einzelflussdichten der Bodenschichten, die eine zeitliche Temperaturschwankung aufweisen, aufaddiert werden.

Im folgenden wird nun mit Hilfe des Programms SAS versucht den Bodenwärmestrom in einem Waldbestand zu berechnen (für den Monat Oktober).

2.2 Der verwendete SAS-CODE (Hardtke)

```

/* Berechnung von Bodenwärmeströmen aus Bodentemperaturmessungen (PPOEK)

/* Tautochronenmethode */

/*Setzen eines Libnames, in diesem Fall des Libnames ueb5*/
libname ueb5 "U:\PPOEK\ueb5";
data flt97;
    set ueb5.flt97;
run;
data flt97;
    set flt97;

    /* Mittel der Temperaturen für jede Schicht*/
    /* BTM_h = gemessene Bodentemperaturen in Tiefe h */

    BTM_1= mean(BTM_02,BTM_05); /* BTM_1 mittlere Bodentemperatur in
Schicht 1 */
    BTM_2= mean(BTM_05,BTM_10); /* BTM_2 mittlere Bodentemperatur in
Schicht 2 */
    BTM_3= mean(BTM_10,BTM_20); /* BTM_3 mittlere Bodentemperatur in
Schicht 3 */
    BTM_4= mean(BTM_20,BTM_50); /* BTM_4 mittlere Bodentemperatur in
Schicht 4 */
    BTM_5= mean(BTM_50,BTM100); /* BTM_5 mittlere Bodentemperatur in
Schicht 5 */
    BTM_6= BTM100; /* BTM_6 mittlere Bodentemperatur in
Schicht 6 */

    /* Fehlerhafte Werte ausschließen */
    if "02sep1997:09:15:00"dt <= saszeit <="02sep1997:09:45:00"dt then
do;
        BTM_1 = .;BTM_2 = .;BTM_3 = .;BTM_4 = .;BTM_5 = .;BTM_6 = .;
end;

    /* lbtm_* = Temperatur der vorherigen halben Stunde */
    /* kein bedeutender Wert, nur ein SAS-Trick */

    /* lag1 verschiebt die Zeilen um genau 1 Zeile nach unten */
    lbtm_1= lag1(BTM_1);
    lbtm_2= lag1(BTM_2);
    lbtm_3= lag1(BTM_3);
    lbtm_4= lag1(BTM_4);
    lbtm_5= lag1(BTM_5);
    lbtm_6= lag1(BTM_6);

    /* Gradient in K/s :
Achtung hier werden Halbstundenmittelwerte der Bodentemperaturen
verwendet,
das bedeutet, dass das Signal und damit die die Wärmeströme etwas
gedämft werden.
Besser wäre es, wenn man einen Anfangs- und einen Endwert der
jeweiligen Stunde
zur Verfügung hätte.*/

```

```

/*      Berechnung der Temperaturdifferenzen (bzw.
Temperaturschwankungen)
      DT_* zwischen den Messungen pro halbe Stunde (eine halbe
Stunde hat 1800 sec) */

      DT_1=btm_1-lbtm_1;
      DT_dt_1=DT_1/1800;          /* dT/dt = Temperaturschwankung, dt=1800
*/

      DT_2=btm_2-lbtm_2;
      DT_dt_2=DT_2/1800;
      DT_3=btm_3-lbtm_3;
      DT_dt_3=DT_3/1800;
      DT_4=btm_4-lbtm_4;
      DT_dt_4=DT_4/1800;
      DT_5=btm_5-lbtm_5;
      DT_dt_5=DT_5/1800;
      DT_6=btm_6-lbtm_6;
      DT_dt_6=DT_6/1800;

/* Wärmeverratsänderungen der Schichten. Annahme: Boden sei Feucht
(Spätherbst, Winter, Frühjahr) */

/* DW=Bodenwärmestrom der Schichten */

/* (Temperaturschwankung)*(Wärmekapazität)*(Dichte des Bodens) */
      DW_1 = Dt_dt_1* 93*1000;
      DW_2 = Dt_dt_2* 116*1000;
      DW_3 = Dt_dt_3* 330*1000;
      DW_4 = Dt_dt_4* 697*1000;
      DW_5 = Dt_dt_5* 1383*1000;
      DW_6 = Dt_dt_6* 1401*1000;

run;
data f1t97;
  set f1t97;
  if dw_1 = . then dw_1=0;
  if dw_2 = . then dw_2=0;
  if dw_3 = . then dw_3=0;
  if dw_4 = . then dw_4=0;
  if dw_5 = . then dw_5=0;
  if dw_6 = . then dw_6=0;

/* Gesamtbodenwärmestrom */

/*Es musste ein Umweg über eine den unten aufgeführten Weg
genommen werden, SAS
die Addition von Missing values nicht realisierte*/
Gesamtwarmestrom = DW_1 + DW_2 + DW_3 + DW_4 + DW_5 + DW_6;
if Gesamtwarmestrom=0 then Gesamtwarmestrom=.;
run;

```

```

/* Auswahl der Daten aus dem Monat Oktober */

data Oktober;
set flt97;
if "01Oct1997:00:00:00"dt < saszeit < "01Nov1997:00:00:00"dt;
run;

/*Erstellung von mittleren monatlichen Tagesgängen im Monat Oktober*/

/*Es werden die Variablen t, d und h erzeugt, indem die Daten aus der
SAS-Zeit geschnitten werden*/

data tagesgang;
  set Oktober;
  format saszeit datetime. datum date.;
  t = saszeit;
  Datum = datepart(saszeit); /* ziehe das Datum aus einer Datetime.
- Variable */
  d = datum;
  monat = month(datum);/* der Monat im Jahr als Zahl 1-12 */
  h = hour(saszeit);
run;

/*Sortierung des Datensatzes nach der Variablen h, welche aus der
saszeit herausgeschnitten wurde,
durch das oben gezeigte Statement*/

Proc sort data=Tagesgang;by h;run;

/*Berechnung der mittleren monatlichen Größen im Oktober*/
Proc means data=Tagesgang mean noprint;
by h;
output out=tagesgangT mean=;
run;

/*Darstellung der Tagesgänge und anschließende Ausgabe in einer gif-
Datei*/

symbol1 i = join v = dot h=0.5 c = red l =1 w = 1;
symbol2 i = join v = dot h=0.5 c = green l =1 w = 1;
symbol3 i = join v = dot h=0.5 c = blue l =1 w = 1;
symbol4 i = join v = dot h=0.5 c = magenta l =1 w = 1;
symbol5 i = join v = dot h=0.5 c = olive l =1 w = 1;
symbol6 i = join v = dot h=0.5 c = purple l =1 w = 1;
symbol7 i = join v = dot h=0.5 c = orange l =1 w = 1;
symbol8 i = join v = dot h=0.5 c = marine l =1 w = 1;
symbol9 i = join v = dot h=0.5 c = grey l =1 w = 1;
symbol10 i = join v = dot h=0.5 c = black l =1 w = 1;

```

```

/*mittlerer monatlicher Tagesgang im Oktober der Lufttemperaturen im
Stammraum, Kronenraum und über dem Bestand*/

legend1 label=none frame; value=(tick=1 "G_so")value=(tick=2"Gpotso");
goptions device=win;

axis1 order = 0 to 24 by 3 minor=(n=2)label =("Zeit [h] ");
axis2 order = 0 to 10 by 1 minor=(n=4) label =(angle =90 "Lufttemperatur
[°C]");
filename fileref "U:\PPOEK\Protokolle\Protokoll 4\ueb5_00_abb1.gif";
goptions dev=gif733 gsfname=fileref ftext = complex gsfmode=replace
htext = 1.3;

proc gplot data = tagesgangT;
    plot (TT_KR TT_ST TT_SO) * h/overlay haxis= axis1 vaxis = axis2
legend= legend1 vref=0 lvref=2;
run;

/*mittlerer monatlicher Tagesgang im Oktober der Wärmeflussdichten in
den einzelnen Schichten*/

legend1 label=none frame; value=(tick=1 "G_so")value=(tick=2"Gpotso");
goptions device=win;

axis1 order = 0 to 24 by 3 minor=(n=2)label =("Zeit [h] ");
axis2 order = -10 to 10 by 1 minor=(n=4) label =(angle =90
"Wärmeverratsänderung [W/m^2]");
filename fileref "U:\PPOEK\Protokolle\Protokoll 4\ueb5_00_abb2.gif";
goptions dev=gif733 gsfname=fileref ftext = complex gsfmode=replace
htext = 1.3;

proc gplot data = tagesgangT;
    plot (DW_1 DW_2 DW_3 DW_4 DW_5 DW_6) * h/overlay haxis= axis1
vaxis = axis2 legend= legend1 vref=0 lvref=2;
run;

/*mittlerer monatlicher Tagesgang im Oktober der Gesamtflussdichte*/

legend1 label=none frame; value=(tick=1 "G_so")value=(tick=2"Gpotso");
goptions device=win;

axis1 order = 0 to 24 by 3 minor=(n=2)label =("Zeit [h] ");
axis2 order = -20 to 10 by 2 minor=(n=4) label =(angle =90
"Wärmeflussdichte [W/m^2]");
filename fileref "U:\PPOEK\Protokolle\Protokoll 4\ueb5_00_abb3.gif";
goptions dev=gif733 gsfname=fileref ftext = complex gsfmode=replace
htext = 1.3;

```



```
proc gplot data = tagesgangT;  
    plot (Gesamtwaermestrom) * h/overlay haxis= axis1 vaxis = axis2  
legend= legend1 vref=0 lvref=2;  
run;  
Quit;
```

3 Ergebnisse (Lück)

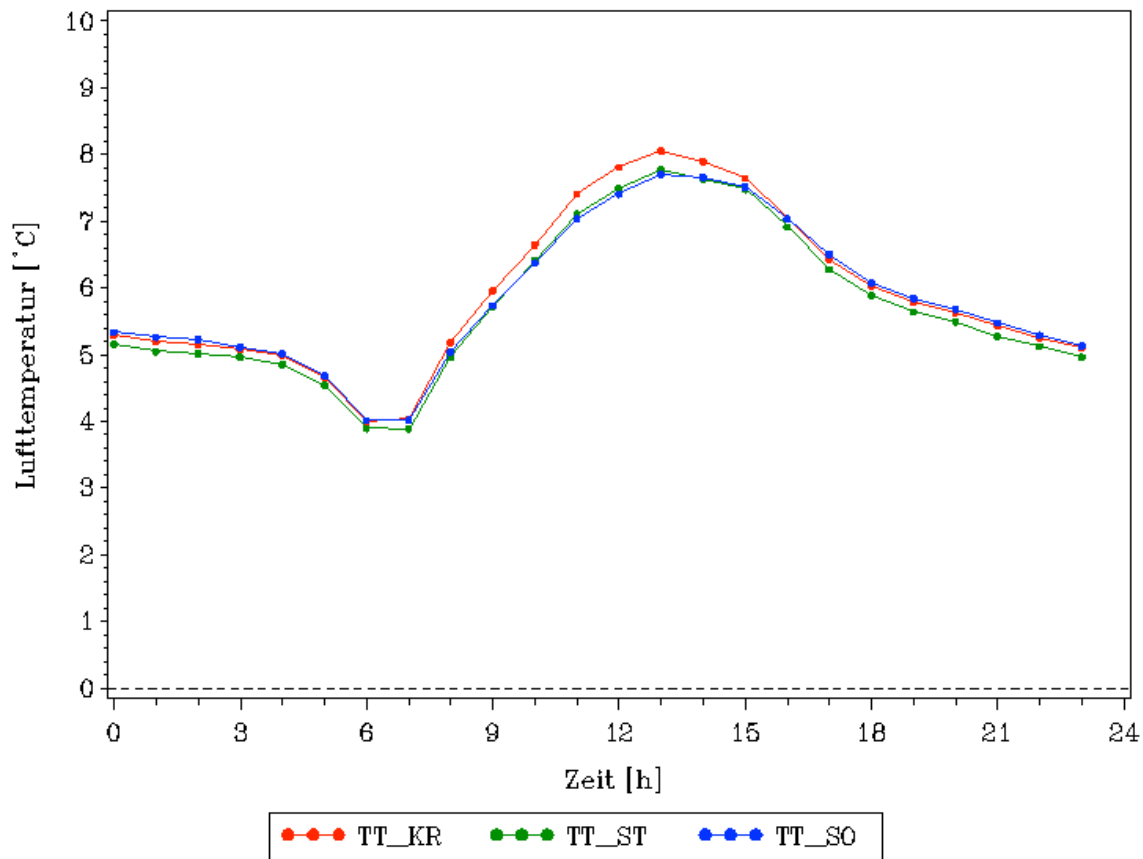


Abbildung 2: Mittlere monatliche Tagesgänge der Größen Temperatur im Kronenraum (TT_KR), Temperatur im Stammraum (TT_ST) und Temperatur über dem Bestand (TT_SO) für den Monat Oktober

Die in Abbildung 1 erkennbaren Kurven für Lufttemperaturen in verschiedenen Messhöhen im Bestand, zeigen einen ähnlichen Kurvenverlauf.

Alle Kurven fallen im Zeitraum zwischen 0 Uhr und 6 Uhr leicht ab (von ca. 5,2°C auf 4°C), bleiben dann bis ca. 7 Uhr konstant und steigen ab diesem Punkt bis ca. 13 Uhr stark an. Alle Kurven weisen zu dieser Uhrzeit ihren Maximalwert auf.

Die Lufttemperatur im Kronenraum (TT_KR) weist mit ca. 8°C die höchste Lufttemperatur im Bestand auf. Im Zeitraum zwischen 13 Uhr und 24 Uhr sinken die Werte wieder stark ab.

Die drei beschriebenen Kurven unterscheiden sich lediglich in der Höhe der gemessenen Temperatur und weichen lediglich im Maximum 0,5°C voneinander ab.

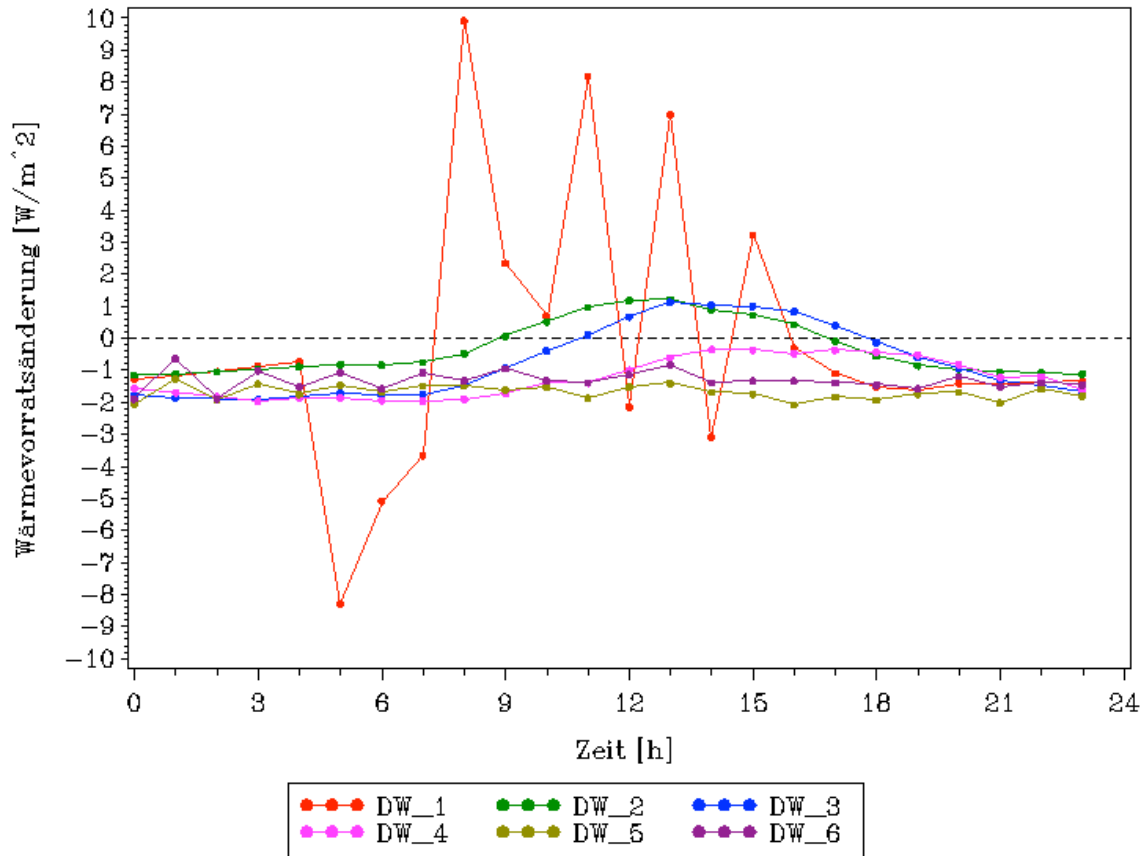


Abbildung 3: mittlere monatliche Tagesgänge für Bodenwärmeverratsänderungen in verschiedenen Bodenschichten (DW_1, DW_2, DW_3, DW_4, DW_5, DW_6) für den Monat Oktober

In Abbildung 3 sind Wärmeverratsänderungen von Bodenschichten (DW_) in zunehmender Tiefe (DW_1-DW_6) abgetragen. Dabei stellt DW_1 die oberste Bodenschicht dar und DW_6 repräsentiert die Bodenschicht mit der größten Tiefe.

Bei der Betrachtung von DW_1 fällt auf, dass der Kurvenverlauf sich von allen anderen Grafen stark unterscheidet. Er unterliegt im Gegensatz zu den Grafen (DW_2-DW_6) starken Schwankungen. Das absolute Minimum der Kurve wird bei einer Uhrzeit von 5 Uhr erreicht. Das absolute Maximum der Kurve findet sich bei einer Uhrzeit von 8 Uhr. Im Wesentlichen kann man den Verlauf dieser Kurve in zwei Teile abteilen.

Zum einen ist das der Verlauf im Zeitintervall von 16 Uhr bis 7 Uhr. Innerhalb dieses Intervalls verläuft die Kurve nur im negativen Bereich.

Im zeitlichen Intervall zwischen 7 Uhr und 16 Uhr dagegen hat die Kurve DW_1 fast ausnahmslos positive Werte für die Wärmeverratsänderung. Im Gegensatz zum Intervall, in dem die Kurve ausnahmslos im negativen Bereich verläuft (16 Uhr bis 7 Uhr) sind in diesem Intervall (7 Uhr bis 16 Uhr) auch vereinzelt negative Werte zu finden. Negative Werte finden sich um 12 Uhr und um 14 Uhr im Verlauf von DW_1.

Der Verlauf der anderen Kurven (DW_2 bis DW_6) ist als gleichmäßiger zu bezeichnen. Alle befinden sich über den gesamten Zeitraum im negativen Bereich. Lediglich die Kurven DW_2 und DW_3 befinden sich in dem Zeitraum von 9 bis 18 Uhr in einem positiven Bereich. Dabei erreicht DW_2 seinen Höhepunkt eher als DW_3.

Auffällig ist, dass die höher liegenden Bodenschichten in einigen Fällen nachts den größten negativen Wärmefluss aufweisen (DW_3 und DW_4). Tagsüber ist die Wärmeverratsänderung positiv oder leicht negativ.

Die unteren Bodenschichten weisen insgesamt die gleichmäßigsten Kurvenverläufe auf und schwanken nur wenig.

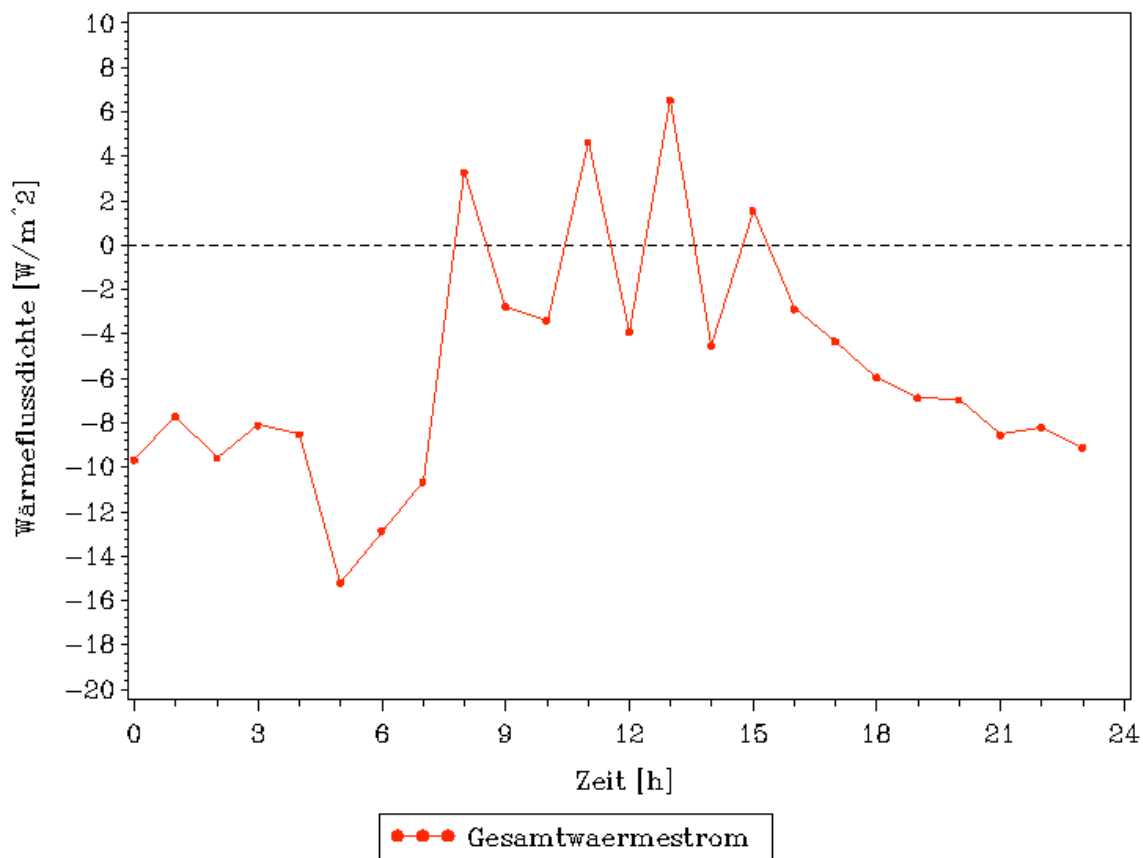


Abbildung 4: mittlerer monatlicher Tagesgang für den Bodenwärmestrom im Monat Oktober

In Abbildung 4 ist der monatliche Tagesgang für den Bodenwärmestrom im Monat Oktober abgetragen. Dieser erreicht gegen 4 Uhr mit -15 W/m^2 seinen tiefsten Stand, steigt danach aber stark an und befindet sich gegen 8 Uhr im positiven Bereich.

Bis 15 Uhr unterliegt der Kurvenverlauf starken Schwankungen und wechselt mehrmals zwischen positiv und negativ. Dabei befindet sich der Graf in einem Bereich von -5 bis +7 W/m². Nach 15 Uhr fällt die Kurve stark ab und pendelt sich bis 4 Uhr in einem Bereich von -8 bis -10 W/m² ein.

4 Diskussion (Lück)

Das die Lufttemperaturen in verschiedenen Höhen des Bestandes morgens die niedrigsten Werte vorweisen, war zu erwarten. Zeitlich gesehen sind wir am weitesten von dem Zeitpunkt an dem noch Sonneneinstrahlung erfolgte entfernt.

Mit Sonnenaufgang und mit Beginn des Strahlungseinfalls ab 7 Uhr steigen auch die Lufttemperaturen wieder an. Die Temperatur im Kronenraum liegt hier bis zum späten Nachmittag über den Temperaturen des Stamminnenraums und des Raumes über dem Kronendach. Dies kann daran liegen, dass die Strahlung der Sonne im Kronenraum durch die große Astoberfläche stärker in Wärme umgewandelt wird als im Stamminnenraum, der unterhalb liegt.

Eigentlich sollte über dem Bestand die höchste Temperatur vorhanden sein, da die warme Luft des Kroneninnenraums aufsteigt. Da aber über dem Kronenraum auch stärkere Luftströme vorliegen wird die aus dem Kronenraum stammende Wärme stark verteilt. Daraus resultieren tagsüber die niedrigsten Werte bei der Lufttemperatur.

Durch die Sonneneinstrahlung erhitzt sich die oberste Bodenschicht. Die Temperaturdifferenz setzt eine Wärmebewegung nach unten in eine tiefer gelegene Bodenschicht in gang. Hat diese die gleiche Temperatur wie die über ihr liegende Bodenschicht erreicht, setzt sich die Wärmebewegung in noch tiefere Bodenschichten fort. Setzt die Sonnenstrahlung und der damit verbundene Wärmeeintrag aus z.B. nachts, läuft der Wärmestrom entgegengesetzt, also von unten nach oben.

Die oberste Bodenschicht DW_1 verhält sich typisch wie eine Bodenschicht, die extrem stark von der Lufttemperatur beeinflusst wird. Nachts ist die Wärmeverratsänderung typisch negativ, da der Boden Wärme an die Umgebungsluft abgibt. In den frühen Morgenstunden erreicht die Bodenschicht ihr Minimum, da hier der größte zeitliche Abstand zu Zeiten mit Sonneneinstrahlung besteht. Danach steigt er durch die aufgehende Sonne stark an und wird positiv. Hier ist die Strahlungsadsorption durch die Sonne größer als der Wärmefluss in tiefere Schichten. Dass die Kurve so uneinheitlich verläuft, mag an den unterschiedlichen Strahlungszuständen liegen, die in einem Waldbestand vorliegen. Auf einer Freifläche wäre der Kurvenverlauf wesentlich einheitlicher.

Die Bodenschichten DW_2 und DW_3 erwärmen sich ebenfalls und weisen in der Tagesmitte eine positive Wärmeverratsänderung auf.

Jedoch ist die Wärmeverratsänderung bei weitem nicht so hoch wie bei DW_1 und auch zeitlich verzögert. Das beide Kurven nicht so hohe Werte vorweisen liegt daran, dass die oberste Bodenschicht die einfallende starke Sonnenstrahlung abpuffert. Die

Temperaturspitzen die in der obersten Bodenschicht auftreten werden geglättet. Eine darunter liegende „mäßige“ Temperatur wird an die weiter unten liegenden Schichten weitergegeben.

Das die Maxima beider Kurven zeitlich versetzt sind, ist auch einfach zu erklären. Der Bodewärmestrom braucht seine Zeit. Eine Erwärmung des Bodens erfolgt von oben nach unten. Folglich muss die Schicht DW_2 zuerst Wärme von oben aufnehmen, bevor sie Wärme nach unten abgeben kann.

Die Schicht DW_4 wird zwar noch von den darüber liegenden Schichten beeinflusst, jedoch ist der Wärmestrom zu gering, als das er für eine positive Wärmevorratsänderung reicht. Die Wärmeabgabe an tiefere Schichten ist zu groß.

Dadurch bleibt er immer im negativen Bereich. Auch hier erkennt man noch ein wenig den Zeitverzögerten Wärmefluss, der von oben statt gefunden hat.

Die Bodenschichten DW_5 und DW_6 liegen zu tief im Boden als das sie bei einer so geringen Einstrahlung wie sie im Oktober vorliegt erwärmt würden. Ihre Wärmevorratsänderung ist durchweg negativ, da die abgegebene Wärme nach unten größer ist, als die von oben dazu gewonnene.

Der gesamte Wärmestrom ähnelt in etwa der Wärmevorratsänderung der Bodenschicht DW_1. Jedoch sind hier die Spitzen, also die extremen minimalen und maximalen Werte geglättet, so das die Amplituden nicht ganz so massiv ausfallen. Dies liegt daran, dass zu der oft positiven Wärmevorratsänderung von Schicht DW_1 noch die restlichen Schichten dazugerechnet werden.

Lediglich die negative Wärmevorratsänderung in den frühen Morgenstunden wird durch die ebenfalls negativen Verläufe der anderen Kurven verstärkt.

5 Schlussfolgerung

Es zeigt sich, dass die Wärmeflussdichten-Bilanz im Boden zu dieser Jahreszeit negativ ausfällt. Dies ist für diese Jahreszeit typisch für unsere Böden. Sie verlieren mehr Wärme als sie aus der Atmosphäre aufnehmen können. Wärmeschwankungen werden zwar noch geringfügig auf tiefer liegende Schichten übertragen, jedoch pendelt der Boden sich auf einem Temperaturlevel ein.

6 Literatur

Hans Häckel, 2008, Meteorologie, 6. Auflage, UTB Verlag Stuttgart

Scheffer / Schachtschabel, 2008, Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg