

FACHGRUPPE SYSTEMÖKOLOGIE
SYSTEMS ECOLOGY GROUP

Bericht / Report Nr. 4

«Maisreife» - das Konzept der physiologischen Zeit

Olivier Roth

März / March 1990

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich ETHZ
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Departement für Umweltwissenschaften / Department of Environmental Sciences
Institut für Terrestrische Ökologie / Institute of Terrestrial Ecology

Adresse des Autors / Address of the author:

**Dr. O. Roth
Fachgruppe Systemökologie ETH Zürich
Institut für Terrestrische Ökologie
Departement für Umweltnaturwissenschaften
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich
S W I T Z E R L A N D**

e-mail: fischlin@sys.ife.ethz.ch

© 1990 Fachgruppe Systemökologie ETH Zürich

«Maisreife» - das Konzept der physiologischen Zeit

Olivier Roth*

Mai 1989

*Fachgruppe Systemökologie, ETH-Zürich, CH-8092 Zürich

1. Einleitung

Häufig interessiert den landwirtschaftlichen Berater oder Anwender nur ein Zeitpunkt eines Ereignisses, wie z.B. der Erntezeitpunkt (HOLMES & ROBERTSON, 1959; BLOC & GOUET, 1978), ein Behandlungszeitpunkt (PRUESS, 1983), u.s.w. Mit Hilfe eines Simulationsmodelles können Phänomene wie Vermehrung, Entwicklung, Reifung, Alterung, Absterben, u.s.w. durchgerechnet werden. Bei der Simulation wird nach jedem Zeitschritt der Wert der Eingangs-, Ausgangs-, Hilfs- und Ratenvariablen neu berechnet. Die Zustandsvariablen berechnen sich dann durch numerische Integration. Simulationssprachen bzw. -Umgebungen wie z.B. DARE-P, ACSL oder ModelWorks nehmen dem Simulierer letzteres Problem ab. In dieser Übung soll der Student ein einfaches Modell formulieren, davon ein Simulationsmodell abfassen und dieses schliesslich simulieren.

2. Lernziel

Kennenlernen der typischen Arbeitsschritte vom Modell zum funktionierenden Simulationsmodell. Das heisst, ausgehend von einer kleinen theoretischen Erläuterung sollen die Modellgleichung entwickelt werden und anschliessend in ein Simulationsprogramm umgesetzt werden. Dieses Simulationsmodell soll dann auf einem Arbeitsplatzrechner eingegeben und verifiziert werden.

3. Theorie

Physiologische Alterung: Viele biologische Prozesse verlaufen nicht nur zeitabhängig sondern auch in Abhängigkeit von der Temperatur (T [°C]). Es handelt sich dabei insbesondere um poikilotherme Organismen, wie z.B. Pflanzen, Insekten, Pilze, etc. Die Entwicklungsgeschwindigkeit poikilothermer Organismen verläuft in einem üblichen Temperaturbereich häufig linear zur Temperatur (siehe Fig. 1, aus Unterrichtsprogramm «Drosophila», WAGNER et al., 1984; JOHNSON, I.R. & THORNLEY, 1985).

Zur Beschreibung der physiologischen Alterung solcher Organismen wird deshalb häufig eine Temperatursumme (TS [°C·d]) über einem Entwicklungsnullpunkt (ENP [°C]) berechnet. Das heisst, die Entwicklung bleibt bei Temperaturen unterhalb des ENP stehen und nimmt oberhalb des ENP bei normalen Temperaturen proportional zur Temperatur zu. Eigentlich gibt es auch einen "oberen ENP" oberhalb dem keine Entwicklung stattfindet. Solche Temperaturen sind jedoch in unseren Breitengraden und den hier lebenden Organismen eher selten. Deshalb wird der "obere ENP" zumeist vernachlässigt.

«Maisreife» - das Konzept der physiologischen Zeit

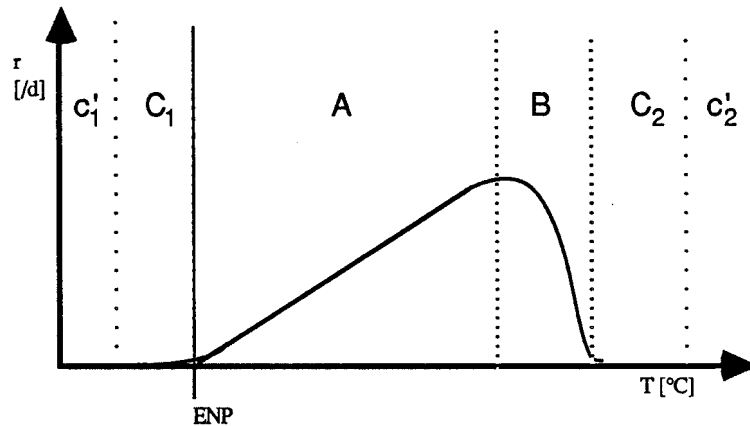


Fig. 1 Lineare Abhängigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit r (\approx Kehrwert der Entwicklungsdauer, z.B. in Tagen) poikilothermer Organismen von der Temperatur T im Bereich A. Unterhalb der Temperaturschwelle ENP (E_ntwicklungsullpunkt) findet kein Wachstum mehr statt (Bereich C_1). Gleich anschliessend an das Entwicklungsoptimum findet eine rapide Abnahme von r statt (Bereich B), um schliesslich wiederum in einen Bereich völligen Wachstumsstillstandes zu münden (Bereich C_2). Die Extrembereiche c_1' resp. c_2' der Bereiche C_1 resp. C_2 sind für den Organismus sogar letal.

Temperaturmessungen: Nun ist aber der Temperaturverlauf selber ein dynamischer Prozess. Es stellt sich also die Frage was für eine Temperatur für die Berechnung einer solchen TS verwendet werden soll. Der genaue Temperatur-Verlauf ist kontinuierlich und kann nur zu gewissen Intervallen gemessen werden. Die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA) registriert die Temperatur an den automatisch betriebenen Messstationen (ANETZ-Stationen) im 10'-Takt. Die Werte werden laufend an die Zentrale in Zürich übermittelt und anschliessend verarbeitet (Plausibilitätstests, Korrektur bei Messfehlern und Geräteausfall, Berechnung von Statistiken) und dann als Mittelwerte pro 1h, pro Tag oder Monat öffentlich zugänglich gemacht. In den meisten Fällen werden jedoch für die Berechnung der TS die Temperaturextreme (T_{min} , T_{max}) verwendet. Diese Grössen haben mehrere Vorteile: sie sind Zeitsystem unabhängig ($T_{12:00}$ Sommerzeit \neq $T_{12:00}$ Winterzeit), enthalten dank einer ziemlich grossen Regelmässigkeit des Temperaturverlaufes viel Informationen auch über die T dazwischen und dazu sind T_{minmax} -Thermometer im Handel erhältlich und überall einfach einsetzbar.

Häufig wird in der Praxis der Temperaturverlauf so verschoben und gestreckt, dass

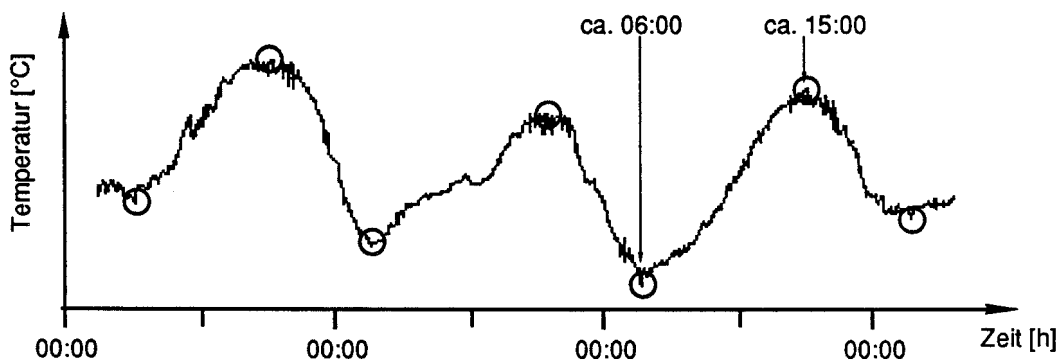


Fig. 2 Temperaturverlauf während dreier Tage. Die Extremtemperaturen (T_{min} , T_{max}) sind mit Kreisen markiert.

Tmin auf 0:00 Uhr und Tmax auf 12:00 Uhr fällt. Dies vereinfacht die Berechnungen erheblich und der Fehler der damit in Kauf genommen wird, ist normalerweise kleiner als die Temperaturdifferenz zwischen Messstation und Standort des Feldes.

Tagesgradberechnungen:

Zur Berechnung von Temperatursummen geht man zumeist von täglichen Zunahmen, den sogenannten Tagesgraden aus (entsprechend wird auch von Stundengraden gesprochen). ALLEN (1976) und HIGLEY et al. (1986) behandeln verschiedene Methoden.

A) Die einfachste Art der Berechnung der TS-Zunahme bildet man mit Hilfe der Tagesmitteltemperatur (Tmean) von der man den ENP abzählt:

$$T_{\text{mean}} = \frac{T_{\text{min}} + T_{\text{max}}}{2} \quad (1)$$

$$\frac{dT_S}{dt} = T_{\text{mean}} - \text{ENP} \quad \text{bei: } (T_{\text{mean}} > \text{ENP}) \quad (2)$$

B) Die eben vorgestellte Methode (A) ist gültig für einen ganzen Tag, berücksichtigt jedoch nur die Temperatur von ca. 6:00 und 15:00. Die vorangehende oder nachfolgende Temperatur wird für diesen Tag nicht berücksichtigt. Mit der in Fig. 3 graphisch dargestellten Methode kann die Temperatursumme halbtägewise berechnet werden, indem auch noch der nachfolgende Tmin-Wert mit in die Berechnungen einbezogen wird. Es wird für jeden Halbtage der Temperaturmittelwert und die Tagesgradzunahme analog zu Gl. 1 und 2 gebildet.

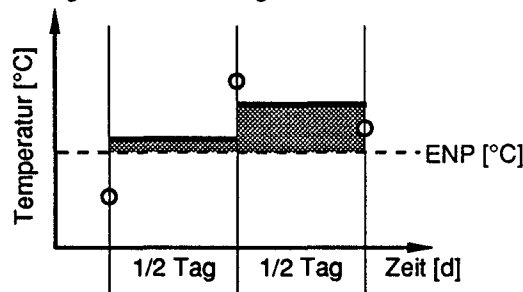


Fig. 3 Temperatursummenberechnung mittels halbtäglicher T-Mittelwertsberechnung (Methode B).

C) Manchmal ist es nötig mit einer kleineren zeitlichen Auflösung oder grösseren Genauigkeit rechnen zu müssen. Dafür muss der Temperaturverlauf mit Hilfe der Temperaturextreme nachgebildet werden. Die einfachste Methode dafür ist die lineare Interpolation (siehe Fig. 4). Die positive Differenz zwischen der die Temperaturextreme verbindenden Geraden und dem ENP bildet die Temperatursummenzunahme.

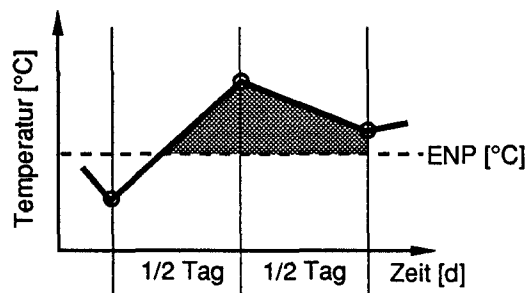


Fig. 4 Halbtägliche Temperatursummenberechnung mittels linearer Interpolation (Methode C).

D) Eine realistischere Interpolation wird häufig durch die Sinus-Interpolation angestrebt (ALLEN, 1976). Durch die Temperaturextreme lässt sich halbtagesweise eine Sinuskurve definieren. Die positive Differenz zwischen diesem Sinuskurvenstück und dem ENP bildet die Temperatursummenzunahme.

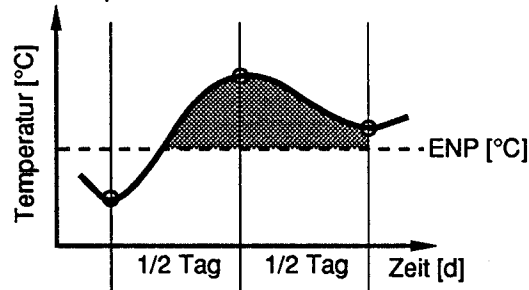


Fig. 5 Halbtägliche Temperatursummenberechnung mittels Sinus-Interpolation (Methode D).

E) Der Abstand von T_{min} zu T_{max} ist in der Regel etwas länger als der Abstand von T_{max} zum nachfolgenden T_{min} (siehe Fig. 2). Diesem Umstand kann ebenfalls Rechnung getragen werden indem die zeitliche Verschiebung der Temperaturextreme berücksichtigt wird (ALLEN, 1976).

F) In der Praxis erwies sich in seltenen Fällen eine TS berechnet mit Hilfe der Formel $T_{max} - ENP$ (bei $T_{max} > ENP$) als besser mit gewissen biologischen Phänomenen korreliert. Eine Erklärung hierfür könnte vielleicht in einer nichtlinearen Entwicklungsgeschwindigkeit bezüglich der Temperatur liegen.

4. Weiterführende Literatur und Referenzen:

- ALLEN, J.C., 1976. A Modified Sine Wave Method for Calculating Degree Days. *Environ. Ent.* 5: 388-396.
- BLOC, D., & GOUET, J-P., 1978. Influence des sommes de température sur la maturité du maïs. *Météorologie Nationale, Association générale des producteurs de maïs, Institut technique des céréales et des fourrages.*
- DURAND, R., BONHOMME, R. & DERIEUX, M., 1982. Seuil optimal des sommes de températures; Application au maïs (*Zea mays* L.). *Agronomie* 2: 589-597.
- HIGLEY, L.G., PEDIGO, L.P. & OSTLIE, K.R., 1986. DEGDAY: A Program for Calculating Degree-days, and Assumptions behind the Degree-day Approach. *Environ. Entomol.* 15: 999-1016.
- HOLMES, R.M. & ROBERTSON, G.W., 1959. Heat Units and Crop Growth. *Can. Dept. Agric. Publ.* 1042., 35pp.
- JOHNSON, I.R. & THORNLEY, J.H.M., 1985. Temperature Dependence of Plant and Crop Processes. *Ann. Bot.* 55: 1-24.
- PARTON, W.J. & LOGAN, J.A., 1981. A Model for Diurnal Variation in Soil and Air Temperature. *Agric. Meteo.* 23: 205-216.
- PRUESS, K.P., 1983. Day-Degree Methods for Pest Management. *Environ. Entomol.* 12: 613-619.
- WAGNER, T.L., WU HSIN-I, SHARPE, P.J.H., SCHOOLFIELD, R.M. & COULSON, R.N., 1984. Modeling Insect Development Rates: A Literature Review and Application of a Biophysical Model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208-225.

5. Aufgabenstellung

Simulation eines Differentialgleichungssystems unter Berücksichtigung eines Zustandsereignisses [state event] (Zeitpunkt der Maisreife)(Computerübung).

Wieviele Tage dauert es, bis eine Maisanpflanzung die Hartteigreife (MR) erreicht?

Nehmen Sie oberhalb des Entwicklungsnullpunktes (ENP) eine lineare Beziehung zwischen Entwicklungsgeschwindigkeit r [Stadium/d] und der Temperatur T an (ENP = 6°C, Saatzeitpunkt $t_s = 120$ d, von Aussaat bis Reife werden $TS_{MR} = 820$ Tagesgrade [d°C] benötigt, $r = T/TS_{MR} - ENP/TS_{MR}$).

Simulieren Sie zwecks Beantwortung obenstehender Frage die Maisentwicklung in Abhängigkeit der Temperatur unter Verwendung der Temperaturextremwerte von Zürich Reckenholz für das Jahr 1986.

- 1.) unter Benutzung von Methode A (siehe Simulationstechnischer Hinweis unten).
- 2.) anhand einer/mehrerer Methode(n) aus B, C oder D.
- 3.) diskutieren Sie die Berechnungen der TS anhand verschiedener Annahmen des ENP auf theoretische Art und Weise für einen Halbtag:

Meth.	$T_{min} > ENP$	$T_{min} < ENP < T_{mean}$	$T_{mean} < ENP < T_{max}$	$T_{max} < ENP$
A				
B				
C				
D				

- 4.) die Temperatursummenzunahme der Ansätze C) und D) lassen sich analytisch pro $dt \leq 1$ Halbtag lösen. Implementieren Sie dazu einen Algorithmus wie unter 2.

Simulationstechnischer Hinweis: Die Implementation soll mit "ModelWorks" erfolgen. Bitte beachten Sie die abgegebenen Unterlagen und Manuals zu "ModelWorks" und Modula-2. Eine Datei mit Namen "MaisReife.MOD" sollte auf der Diskette im Ordner "Work" vorhanden sein. Öffnen Sie diese und editieren Sie die erforderlichen Programmteile. Die Temperaturdaten von Zürich Reckenholz 1986 werden beim aufstarten des Programmes automatisch eingelesen und sind nachher als

$T_{min}, T_{max} : ARRAY[1..366] OF REAL;$
 verfügbar (d.h., können direkt gebraucht werden!).

BERICHTE DER FACHGRUPPE SYSTEMÖKOLOGIE
SYSTEMS ECOLOGY REPORTS
ETH ZÜRICH

Nr./No.

- 1 FISCHLIN, A., BLANKE, T., GYALISTRAS, D., BALTENSWEILER, M., NEMECEK, T., ROTH, O. & ULRICH, M. (1991, erw. und korr. Aufl. 1993): Unterrichtsprogramm "Weltmodell2"
- 2 FISCHLIN, A. & ULRICH, M. (1990): Unterrichtsprogramm "Stabilität"
- 3 FISCHLIN, A. & ULRICH, M. (1990): Unterrichtsprogramm "Drosophila"
- 4 ROTH, O. (1990): Maisreife - das Konzept der physiologischen Zeit
- 5 FISCHLIN, A., ROTH, O., BLANKE, T., BUGMANN, H., GYALISTRAS, D. & THOMMEN, F. (1990): Fallstudie interdisziplinäre Modellierung eines terrestrischen Ökosystems unter Einfluss des Treibhauseffektes
- 6 FISCHLIN, A. (1990): On Daisyworlds: The Reconstruction of a Model on the Gaia Hypothesis
- 7 * GYALISTRAS, D. (1990): Implementing a One-Dimensional Energy Balance Climatic Model on a Microcomputer (*out of print*)
- 8 * FISCHLIN, A., & ROTH, O., GYALISTRAS, D., ULRICH, M. UND NEMECEK, T. (1990): ModelWorks - An Interactive Simulation Environment for Personal Computers and Workstations (*out of print*] for new edition see title 14)
- 9 FISCHLIN, A. (1990): Interactive Modeling and Simulation of Environmental Systems on Workstations
- 10 ROTH, O., DERRON, J., FISCHLIN, A., NEMECEK, T. & ULRICH, M. (1992): Implementation and Parameter Adaptation of a Potato Crop Simulation Model Combined with a Soil Water Subsystem
- 11 * NEMECEK, T., FISCHLIN, A., ROTH, O. & DERRON, J. (1993): Quantifying Behaviour Sequences of Winged Aphids on Potato Plants for Virus Epidemic Models
- 12 FISCHLIN, A. (1991): Modellierung und Computersimulationen in den Umweltnaturwissenschaften
- 13 FISCHLIN, A. & BUGMANN, H. (1992): Think Globally, Act Locally! A Small Country Case Study in Reducing Net CO₂ Emissions by Carbon Fixation Policies
- 14 FISCHLIN, A., GYALISTRAS, D., ROTH, O., ULRICH, M., THÖNY, J., NEMECEK, T., BUGMANN, H. & THOMMEN, F. (1994): ModelWorks 2.2 – An Interactive Simulation Environment for Personal Computers and Workstations
- 15 FISCHLIN, A., BUGMANN, H. & GYALISTRAS, D. (1992): Sensitivity of a Forest Ecosystem Model to Climate Parametrization Schemes
- 16 FISCHLIN, A. & BUGMANN, H. (1993): Comparing the Behaviour of Mountainous Forest Succession Models in a Changing Climate
- 17 GYALISTRAS, D., STORCH, H. v., FISCHLIN, A., BENISTON, M. (1994): Linking GCM-Simulated Climatic Changes to Ecosystem Models: Case Studies of Statistical Down-scaling in the Alps
- 18 NEMECEK, T., FISCHLIN, A., DERRON, J. & ROTH, O. (1993): Distance and Direction of Trivial Flights of Aphids in a Potato Field
- 19 PERRUCHOUD, D. & FISCHLIN, A. (1994): The Response of the Carbon Cycle in Undisturbed Forest Ecosystems to Climate Change: A Review of Plant–Soil Models
- 20 THÖNY, J. (1994): Practical considerations on portable Modula 2 code
- 21 THÖNY, J., FISCHLIN, A. & GYALISTRAS, D. (1994): Introducing RASS - The RAMSES Simulation Server

* Out of print

- 22 GYALISTRAS, D. & FISCHLIN, A. (1996): Derivation of climate change scenarios for mountainous ecosystems: A GCM-based method and the case study of Valais, Switzerland
- 23 LÖFFLER, T.J. (1996): How To Write Fast Programs
- 24 LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A., LISCHKE, H. & ULRICH, M. (1996): Benchmark Experiments on Workstations
- 25 FISCHLIN, A., LISCHKE, H. & BUGMANN, H. (1995): The Fate of Forests In a Changing Climate: Model Validation and Simulation Results From the Alps
- 26 LISCHKE, H., LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A. (1996): Calculating temperature dependence over long time periods: Derivation of methods
- 27 LISCHKE, H., LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A. (1996): Calculating temperature dependence over long time periods: A comparison of methods
- 28 LISCHKE, H., LÖFFLER, T.J., FISCHLIN, A. (1996): Aggregation of Individual Trees and Patches in Forest Succession Models: Capturing Variability with Height Structured Random Dispersions
- 29 FISCHLIN, A., BUCHTER, B., MATILE, L., AMMON, K., HEPPELLE, E., LEIFELD, J. & FUHRER, J. (2003): Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Verfasst im Auftrag des BUWAL
- 30 KELLER, D., 2003. *Introduction to the Dialog Machine, 2nd ed.* Price,B (editor of 2nd ed)

Erhältlich bei / Download from

<http://www.ito.umnw.ethz.ch/SysEcol/Reports.html>

Diese Berichte können in gedruckter Form auch bei folgender Adresse zum Selbstkostenpreis bezogen werden /
Order any of the listed reports against printing costs and minimal handling charge from the following address:

SYSTEMS ECOLOGY ETHZ, INSTITUTE OF TERRESTRIAL ECOLOGY
GRABENSTRASSE 3, CH-8952 SCHLIEREN/ZURICH, SWITZERLAND