Gartenbauwissenschaft, **66** (1). S. 46–50, 2001, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Blütenbildung von Knollensellerie *(Apium graveolens* L. *var. rapaceum)* II. Simulationsmodell für das Schossrisiko

Flower Formation in Celeriac *(Apium graveolens* L. *var. rapaceum)*
II. Modelling the risk of bolting

C. Alt und H.-J. Wiebe
(Institut für Gemüse- und Obstbau, Abteilung Gemüsebau, Hannover)

Summary

Different models were discussed as a tool to prevent partly vernalisation during the production of transplants and to estimate temperature effects on bolting of celeriac after transplanting. Besides vernalisation (T<14 °C) also devernalisation (T>14 °C) are taken into account. All presented models are based on the summation of hourly vernalisation and devernalisation rates. The different models are parameterised and evaluated using two independent data sets. Not the maximum vernalisation value but the continuouse existence of a positive vernalisation sum yields the best bolting prediction.

Zusammenfassung

Als Hilfe zur Vermeidung einer Teilvernalisation während der Jungpflanzenproduktion und zur Schätzung der Temperaturwirkung nach der Pflanzung auf das Schossen von Sellerie wurden verschiedene Modelle untersucht. Neben Vernalisationseffekten (T<14 °C) werden auch Devernalisationseffekte (T>14 °C) berücksichtigt. Alle in dieser Arbeit beschriebenen Modelle basieren auf der Summenbildung der stündlichen Vernalisations- und Devernalisationsraten. Die Modelle werden mit jeweils einem unabhängigen Datensatz parameterisiert und evaluiert. Es zeigt sich, dass nicht die maximale Vernalisationssumme die beste Beziehung zur Schosserhäufigkeit ergab, sondern die Einwirkungsdauer einer positiven Vernalisationssumme.

Einleitung

Die Blütenanlage von Knollensellerie wird nach einer kurzen Jugendphase durch niedrige Temperatur induziert, während die anschließende Blütenstreckung (Schossen) durch niedrige Temperaturen und durch Langtag gefördert wird (WIEBE 1998, Teil I). Das Schossen im ersten Kulturjahr ist unerwünscht, da die Knollen bei geringer Größe bereits verformt sind und deshalb nicht mehr marktfähig sind. Eine Quantifizierung der Temperaturwirkung auf das Schossen in einem Modell erlaubt erstens die Temperaturregelung während der Jungpflanzenanzucht, um eine unerwünschte Teilvernalisation zu vermeiden. Zweitens ermöglicht das Modell die nachträgliche Schätzung der Vernalisationswirkung nach dem Auspflanzen. Erschwert wird die Simulation der Blütenbildung von Sellerie durch die Existenz einer Jugendphase, deren Dauer von vielen Faktoren abhängt und im Bestand eine große Varianz zeigt (WIEBE 1989, 1998). Da der Knollensellerie in der Praxis jedoch immer gepflanzt wird, kann zur Vereinfachung mit der Simulation nach der Pflanzung begonnen werden, denn Jungpflanzen sind für den Kältereiz bereits empfindlich.

Für die Vernalisationswirkung der Temperatur verwendet man unterschiedliche Verfahren der Temperatursummenbildung unter einer Maximumtemperatur (THORNLEY 1987). Diese Verfahren sind für die Simulation der Blütenbildung von Sellerie nicht ausreichend, da hohe Temperaturen zu starken Devernalisationswirkungen führen, das Schossrisiko also wieder senken (WIEBE 1998). Ein Simulationsmodell muß deshalb die gegensätzlichen Wirkungen niedriger und hoher Temperatur auf die Blütenbildung simulieren wie es beispielsweise für Zuckerrüben (SMIT, 1983) und Kohlrabi (WIEBE 1995) beschrieben ist.

In dieser Arbeit wird anhand der vorliegenden Ergebnisse aus Klimakammern (s. Teil I) eine Modellstruktur zur Simulation des Schossens von Sellerie entwickelt. Mit je einem unabhängigen Datensatz aus verschiedenen Jahren wird das Modell parametrisiert und anschließend evaluiert.

Material und Methoden

Zur Erzeugung geeigneter Datensätze für ein Modell, das das Schossen von Sellerie simuliert, wurden von 1989 bis 1996 Jungpflanzen der Sorte 'Monarch' in 4 cm Preßtöpfen aus Potgrond im Gewächshaus bei >18 °C bis zum Ende der Jungendphase nach 7–8 Wochen kultiviert. Datensätze mit unterschiedlichen Temperaturverläufen werden durch Kältebehandlungen in Klimakammern (s. Teil I) und in maschinengekühlten Gewächshauszellen sowie durch verschiedene Pflanztermine in den 8 Versuchsjahren erzeugt. Da in den Klimakammern mit begrenzten Lichtintensitäten der Anteil Schosser nicht immer mit längerer Einwirkungsdauer der Kälte anstieg (WIEBE 1998), wurden nur 28 Varianten mit höchstens 3 Wochen Kältebehandlung verwendet. In den Jahren 1993 und 1994 wurden 62

Sätze in Kühlzellen mit Tageslicht wochenweise unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt. Dabei wurden die Pflanzen innerhalb 3–6 Wochen planmäßig zwischen den Tag-/Nachtemperaturen von 8/4 °C, 12/8 bzw. 10/5 °C und 18/15 °C hin und her gestellt. Von jedem Satz wurden 60 Pflanzen im Abstand von 50 x 50 cm gepflanzt und 40 Pflanzen, wie in Teil I beschrieben, ausgewertet.

Aus den oben genannten Varianten wurden 46 Sätze für die Parametrisierung und 44 Sätze für die Evaluierung verwendet. Sowohl in Kühlzellen wie im Freiland wurde die Lufttemperatur kontinuierlich gemessen und zu Studenwerten gemittelt. Mit der Berechnung der Vernalisationssummen wurde mit Beginn der Kältebehandlung oder für die warm kultivierten Kontrollen, am Pflanztermin begonnen.

Ergebnisse

Vernalisationsfunktion

Für die temperaturabhängige Vernalisationswirkung wurden aus den Ergebnissen in Teil I folgende Annahmen getroffen: A) Mit zunehmender Temperatur verringert sich der Wirkungswert einer Stunde (Vernalisationsrate); B) Zwischen 13 °C und 15 °C endet der induktive Bereich für die Blütenanlage; C) Steigt die Temperatur über 15 °C so tritt eine Devernalisationswirkung (negative Vernalisationsrate) auf. Aus diesen Annahmen ergibt sich ein prinzipieller Kurvenverlauf für die stündliche Vernalisationsrate, V (h^{-1}), als Funktion der Temperatur, T (°C), (Abb. 1), der mathematisch mit Hilfe der umgeformten logistischen Funktion ausgedrückt werden kann:

$$V(T) = (c_{max} - c_{min})\left(\frac{c_{max}\, e^{-\mu T}}{c_{min} + (c_{max} - c_{min})\, e^{-\mu T}} - f\right), \qquad (1)$$

dabei bezeichnen f (-) und μ ($°C^{-1}$) zwei anzupassende Modellparameter. Die Parameter c_{max} und c_{min} wurden für alle weiteren Berechnungen fest bestimmt zu $c_{max} = 1\,h^{-1}$ und $c_{min} = 0.01\,h^{-1}$, ohne Auswirkung auf die Anpassungsfähigkeit der Funktion im folgendem. Für den Parameter f gilt, $c_{max} - c_{min} > f > c_{min}$. Die maximale Vernalisationsrate beträgt $0.99(1–f)\ h^{-1}$, die minimale $–0.99f\ h^{-1}$. Der praktisch relevante und experimentell untersuchte Temperaturbereich für die Vernalisatonswirkung liegt zwischen 5 °C und 25 °C. Die Vernalisationssumme eines Satzes, VS (-), zu einem bestimmten Zeitpunkt, ausgedrückt in Stunden nach Induktionsbereitschaft, Z (h), erhält man durch Aufsummation der Vernalisationswirkung (Gleichung 1) bis zum gewünschten Zeitpunkt, sofern für die Temperatur mittlere Stundenwerte verwendet werden:

$$VS(Z) = \sum_{0}^{Z} V(T) \qquad (2)$$

Vorhersage der 'Schosser' über die akkumulierte Vernalisationssumme

In einem ersten Ansatz wurde die Vernalisationsfunktion (Gleichung 1), d.h. die Modellparameter f und μ, angepasst, um eine geeignete Beziehung zwischen der maximalen Vernalisationssumme, VS_{max}, innerhalb der Kulturdauer eines Satzes und der gemessenen prozentualen Schosshäufigkeit, SH (%), zu erhalten (Abb. 2).

Bis zu einem kritischen Wert für die maximale Vernalisationssumme, VS_{crit}, traten keine Schosser auf. Für grössere Werte von VS_{max} beschreibt eine asymptotische Exponentialfunktion die Daten. Dadurch ergibt sich folgende mathematische Beschreibung der simulierten SH, in der die Parameter α und VS_{crit} anzupassen sind:

$$SH = \left\{ \begin{matrix} 0 \\ 100(1 - e^{-\alpha(VS_{max} - VS_{crit})}) \end{matrix} \right\} \text{ für } \begin{matrix} VS_{max} < VS_{crit} \\ VS_{max} \geq VS_{crit} \end{matrix} \qquad (3)$$

Die Werte für die angepassten Parameter der Funktionen aus Gleichungen 1 und 3 sind in Tabelle 1 dargestellt.

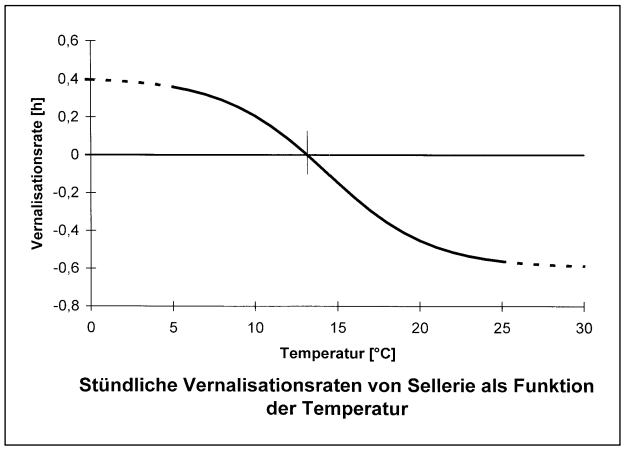


Abb. 1. Einfluss der Temperatur, T, auf die stündliche Vernalisations- bzw. Devernalisationsrate, V, für Knollensellerie (Gleichung 1). Die Parameterwerte entsprechen den Werten für Modell VS_{max} (Tabelle 1).

Fig. 1. The influence of temperature, T, on the hourly vernalisation or devernalisation rate, V, of celeriac (equation 1). The values of the parameters are from model VS_{max} (Table 1).

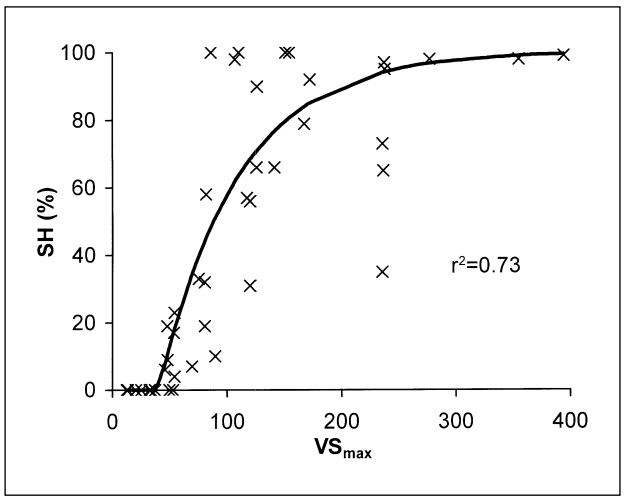


Abb. 2. Beziehung zwischen der maximalen Vernalisationssumme, VS_{max}, innerhalb der Kulturdauer eines Satzes und der gemessenen prozentualen Schosshäufigkeit, SH, (Gleichung 3). Parameterisierungsdatensatz.

Fig. 2. Relationship between maximum vernalisation sum, VS_{max}, accumulated during the cultivation period and measured fraction of bolted plants, SH, (equation 3). Parameterisation data set.

Tab. 1. Werte der an den Parameterisierungsdatensatz angepassten Modellparameter sowie Steigung, m, Achsenabschnitt, b, und Bestimmtheitsmaß, r^2, der Regression zwischen gemessener und berechneter Anzahl geschosster Pflanzen.
Table 1: Model parameters as well as slope, m, y-intercept, b, and coefficient of determination, r^2, of the regression between measured and calculated number of bolted plants.

	Vernalisations-funktion (Gleichung 1)		Asy. Exponentialfkt. (Gleichung 3)		Logistische Fkt. (Gleichung 4)		Wichtungs-par. (Gleichung 5)	Parameterisierung			Evaluierung		
Modelle	μ (°C^{-1})	f (-)	α (-)	VS_{crit} (-)	β (-)	f_{min} (%)	c (-)	m (-)	b (%)	r^2 (-)	m (-)	b (%)	r^2 (-)
(VS_{max}	0.324	0.608	0.0144	40.0	-	-	-	0.764	12.1	0.73	0.744	17.3	0.63
VS_{14}	0.312	0.619	0.00806	35.8	-	-	-	0.658	16.0	0.70	0.791	6.19	0.83
VS_{166}	0.280	0.683	0.0175	29.5	-	-	-	0.754	11.8	0.72	0.880	–0.929	0.84
F	0.325	0.591	0.0155	29.6	-	-	-	0.855	8.06	0.80	0.882	9.86	0.81
$n_{>40}$	0.320	0.600	-	-	0.00710	0.0841	-	0.933	3.64	0.84	0.939	5.16	0.80
$n_{>40}$ & VS_{max}	0.325	0.597	0.0118	40.0*	0.00725	0.0876	0.203	0.910	4.70	0.85	0.917	6.36	0.87
$n_{>40}$ & VS_{166}	0.321	0.603	0.00326	40.0*	0.00833	0.0541	0.201	0.879	3.95	0.86	0.873	5.19	0.83

* Dieser Parameterwert wurde nicht angepasst sondern vorgegeben.

Im nächsten Schritt wurde die Summenbildung nicht beim Höchstwert beendet, sondern auch der Verlauf danach, also die Devernalisation in die Berechnung mit einbezogen. Neben VS_{max} als Maß für das Schossrisiko wurde analog auch die akkumulierte VS 14 Tage nach dem Eintreten der maximalen Vernalisationssumme (VS_{14}) sowie die VS an dem fest gewählten Tag 166 (VS_{166}) im Jahr (Mitte Juni), nach dem keine vernalisierenden Temperaturen mehr zu erwarten sind, untersucht (Tabelle 1). Für dieses, wie auch alle weiteren Modelle, wurde die Vernalisationsfunktion (Gleichung 1), d.h. die Modellparameter f und μ, jeweils neu angepasst. Tendenziell steigt die Vorhersagegenauigkeit mit späterem Zeitpunkt, zu dem die akkumulierte Vernalisationssumme als Mass für das Schossrisiko herangezogen wird.

Die Simulation der Schosseranteile versagte jedoch in bestimmten Fällen, bei denen eine relativ niedrige Vernalisationssumme für lange Zeit einwirkte. In Abbildung 3 sind die Verläufe der Vernalisationssummen für einige Beispiele dargestellt. Es wird deutlich, daß eine lange Einwirkung relativ niedriger Vernalisationssummen zum teilweisen Schossen führt, während kurzfristiges Erreichen hoher Summen, mit schnellem Abbau durch hohe Temperatur, nicht zum Schossen führt. Dies unterstützt die Aufnahme der Einwirkungsdauer als Maß für das Schossrisiko.

Vorhersage der 'Schosser' über die Einwirkungsdauer

Als Maß für die Einwirkungsdauer wurde die Anzahl der Stunden, n, eines Satzes mit einer VS über einer kritischen Vernalisationssumme, VS_{crit}, ausgewählt. Der Wert für VS_{crit} wurde auf 40 festgesetzt, da unterhalb dieses Wertes keine Schosser auftraten (vgl. Abb. 2 und Modell VS_{max}). Das Modell wurde mit $n_{>40}$ bezeichnet. Das Ende des Berechnungszeitraumes bildete, wie auch in den folgenden Modellen, der Tag 166 (s.o.). Da für alle Sätze mit $VS_{max}<40$ sich der Wert $n=0$ ergibt, liegen diese in der Abbildung 4 im Koordinatenursprung übereinander. Für den Zusammenhang zwischen n und der gemessenen SH wurde eine logistische Funktion mit den zu bestimmenden Parametern f_{min} und β unterstellt:

$$SH = \frac{100}{1 + \left(\frac{100}{f_{min}} - 1\right) e^{-ßn}} \qquad (4)$$

Neben der Anzahl Stunden über VS_{crit} wurde ebenfalls die Fläche, F, unter dem Graphen eines Satzes (vergleiche Abb. 3) als Maß für das Schossrisiko untersucht. Der Zusammenhang zwischen F und der gemessenen SH wurde durch die asymptotische Exponentialfunktion (Gleichung 3) beschrieben.

Vorhersage der 'Schosser' über die Kombination von Vernalisationssumme und Einwirkungsdauer

Denkbar ist eine weitere Verbesserung der Modellvorhersagegenauigkeit bei gleichzeitiger Aufnahme der Vernalisationssumme und der Einwirkungsdauer als Maß für das Schossrisiko. Mathematisch erfolgte die

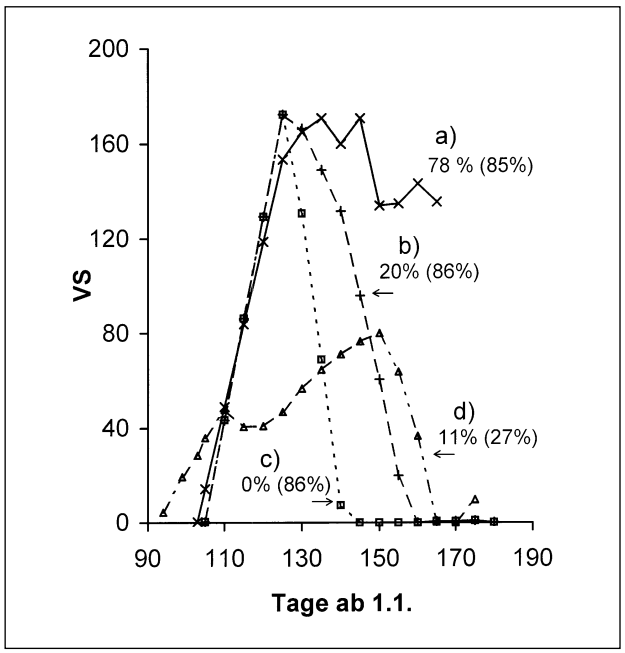


Abb. 3. Verläufe der Vernalisationssummen, VS, ausgewählter Beispiele. Die Prozentzahlen an den Graphen geben die gemessene (nach Modell VS_{max} berechnete) prozentuale Schosshäufigkeit an.
Fig. 3. Time course of the vernalisation sum, VS, of selected experiments. The percentages denote the measured (calculated by model VS_{max}) fractions of bolted plants for the different graphs.

Kombination der Kriterien durch einen Wichtungsparameter, c (-), $0 \leq c \leq 1$:

$$SH = cSH_{VSmax} + (1-c)SH_n, \quad (5)$$

wobei SH_{VSmax} und SH_n die nach den Kriterien der maximalen Vernalisationssumme (Gleichung 3) bzw. der Anzahl der Stunden eines Satzes mit einer Vernalisationssumme über VS_{crit} (Gleichung 4) berechneten Schosshäufigkeit bezeichnet. Neben dieser Kombination wurde ebenfalls die Kombination von SH_{VS166} und SH_n untersucht. Die Anpassung des Wichtungsparameters ergab $c=0.201$ für SH_{VSmax} bzw. $c=0.203$ für SH_{VS166} und führt somit zu einer deutlichen höheren Gewichtung von SH_n und dem Kriterium $n_{>40}$.

Diskussion

Die beschriebenen Modelle simulieren den Anteil schossender und damit nicht marktfähiger Selleriepflanzen in einem Bestand in Abhängigkeit von der Temperatur nach der Pflanzung. Durch diese Zielsetzung konnte auf die Berücksichtigung der Dauer der Jungendphase und der Aufteilung in die Phasen Blüteninduktion und Blütenentwicklung (Schossen) verzichtet werden. Bei der Verwendung von Jungpflanzen mit 4–6 Blättern über 1 cm Länge ist die Jugendphase weitgehend beendet. Da die Dauer der Jugendphase in Abhängigkeit von der Lichtintensität, Bestandesdichte und anderen Anbaubedingungen stark variiert (WIEBE 1998), würde deren Simulation die Güte des Modells vermindern, wie auch das Simulationsmodell für die Kopfanalage von Blumenkohl zeigt (WIEBE 1975).

Eine getrennte Simulation der Phasen Blüteninduktion und Streckung des Blütentriebes wäre sinnvoll, da die Klimafaktoren einen differenzierteren Einfluß auf beide Phasen haben. Modelle für die Blütenbildung von Blumenkohl (WIEBE 1975) oder Zwiebeln (BREWSTER 1987) sind deshalb in 3 Phasen: Jungendphase, Blüteninduktion und Blütenentwicklung unterteilt. Beim Sellerie ist für die Blüteninduktion die Temperatur entscheidend während für die Streckung des Blütentriebes auch die Tageslänge einen wesentlichen Einfluß hat (RAMIN und ATHERTON 1994). Da Knollensellerie in Mitteleuropa in der Regel im Mai gepflanzt wird, wirkt auf die Pflanzen nur Langtag ein. Vor einer Anwendung des Modells für Regionen mit kürzeren Tagen muss der Einfluß der Tageslänge parametrisiert werden. In dem Modell von BREWSTER (1987) für die Blütenbildung von Zwiebeln wird in der Phase 3 für Tageslängen unter 16 h ein Korrekturfaktor verwendet.

Für Pflanzen deren Blütenbildung durch niedrige Temperatur oder Tageslänge gesteuert wird, gibt es für die Praxis geeignete einfache Modelle in denen für eine bestimmte Periode Summen der Einflußfaktoren gebildet werden (THORNLEY 1987). Innerhalb des induktiven Bereichs steigt in der Regel die Vernalisationsrate mit der Temperatur bis zu einem Optimum an und fällt dann mit zunehmender Temperatur wieder auf 0 ab (BREWSTER 1987, WIEBE 1989). Auch beim Sellerie hat die Temperatur unterhalb von 5 °C eine abnehmende Wirkung auf die Blütenbildung. In dem hier beschriebenen Modell wurde der Wirkungsabfall unter 5 °C nicht berücksichtigt, da längere Einwirkungszeiten von

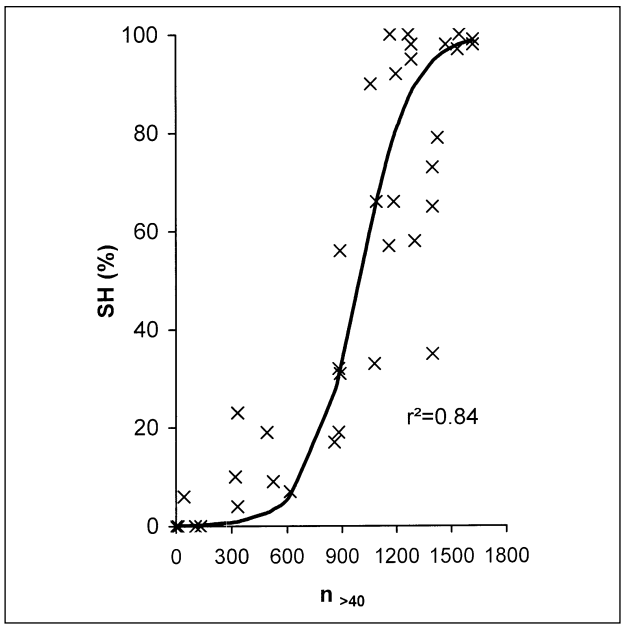


Abb. 4. Beziehung zwischen der Anzahl Stunden eines Satzes mit VS>40, Modell $n_{>40}$, und der gemessenen prozentualen Schosshäufigkeit, SH, (Gleichung 4). Parameterisierungsdatensatz.

Fig. 4. Relationship between accumulated hours where VS>40, $n_{>40}$, and measured fraction of bolted plants, SH, (equation 4). Parameterisation data set.

Temperaturen unter 5 °C zu einem frühen Schossen bei sehr geringem Knollendurchmesser führen.

Der entscheidende Unterschied in der Modellstruktur im Vergleich zu Modellen für andere Kulturpflanzen ist die beim Sellerie notwendige Berücksichtigung von Devernalisationswirkungen. Es gibt bisher nur wenige Modelle, in denen für hohe Temperaturen negative Vernalisationsraten in die Summenbildung eingehen (SMIT 1983, WIEBE 1995). Um unterschiedliche Tag-Nacht-Amplituden zu berücksichtigen, werden die Vernalisationsraten auf Stundenbasis berechnet. Alle in dieser Arbeit beschriebenen Modelle basieren auf der Summenbildung der stündlichen Vernalisationsraten in Abhängigkeit von der Temperatur.

Beim Vergleich der Vorhersagegenauigkeit zeigt sich, dass die Modelle, welche das Schossen rein über die akkumulierte Vernalisationssumme zu verschiedenen Zeitpunkten erklären ($VS_{max,}$ $VS_{14,}$ und VS_{166}), den Modellen unterlegen sind, welche ebenfalls die Einwirkungsdauer mit einbeziehen (F, $n_{>40,}$ $n_{>40}$ & VS_{max}, $n_{>40}$ & VS_{166}). Dies zeigt sich zum einen an dem geringeren Bestimmtheitsmaß, aber auch an der vergleichsweise stärkeren Abweichung von der 1/1–Ausgleichsgeraden, d.h. stärker von eins abweichende Steigung und stärker von null abweichender Ordinatenabschnitt. Außerdem zeigen die Modelle $VS_{max,}$ $VS_{14,}$ und VS_{166} deutlich unterschiedliche Vorhersagegenauigkeiten für den Parameterisierungs- und Evaluierungsdatensatz, während sich die übrigen Modelle hinsichtlich dieses Kriteriums gleichmäßiger verhalten. Eine Kombination von akkumulierter Vernalisationssumme und Einwirkungsdauer zur Erklärung der Blüteninduktion ($n_{>40}$ & VS_{max}, $n_{>40}$ & VS_{166}) führt auf eine erhöhte Anzahl anzupassender Modellparameter, während eine deutliche Verbesserung

der Vorhersagegenauigkeit gegenüber den Modellen F oder $n_{>40}$ nicht zu erkennen ist. Vergleicht man die Parameter f und μ der Vernalisationsfunktion (Gleichung 1), so zeigen sich nur relativ geringe Unterschiede in den Werten zwischen den verschiedenen Modellen. Dies bestätigt den Verlauf der Vernalisationsfunktion, wie er in Abb. 1 zu sehen ist.

Der Grund dafür, dass nicht die maximale Vernalisationssumme sondern die Einwirkungsdauer einer positiven Vernalisationssumme die beste Beziehung zur Schosserhäufigkeit brachte, liegt wahrscheinlich in der fehlenden Differenzierung zwischen Blüteninduktion und Blütenentwicklung. Durch hohe Temperatur können bereits angelegte Blüten in der Weiterentwicklung so unterdrückt werden, dass die Knolle als Ernteorgan noch marktfähig bleibt. Ähnlich reagieren Rüben (SMIT 1983) und Kohlrabi (WIEBE 1995). Als Periode für die Summenbildung wäre eine Begrenzung durch Kriterien der Ontogenese der Pflanzen vorteilhaft. Für die Anwendung des Modells in der Praxis in Mitteleuropa ist der Zeitraum für die Summenbildung zwischen Pflanzung und Mitte Juni geeignet, dieser Zeitraum wurde von SMIT (1983) auch für Zuckerrüben bestätigt.

Durch die Verwendung der Modelle zur Temperaturführung während der Jungpflanzenanzucht können auch bei ungeplanten Kältewirkungen negative Vernalisationssummen durch berechnete Temperaturerhöhungen (Devernalisation) bis zum Pflanztag vermieden werden. Desweiteren sind die Modelle in der Lage, nachträglich die Vernalisationswirkung nach dem Auspflanzen zu schätzen. Eine Teilvernalisation während der Jungpflanzenanzucht, als Ursache für hohe Schosseranteile, ist eindeutig nur bis zu den in Tabelle 1 aufgeführten kritischen Werten für die Vernalisationssumme nach der Pflanzung nachzuweisen.

Für die umfangreiche Datenverarbeitung danken wir Frau A. Romey und für die technische Beratung Herrn Dr. H. Kage.

Literatur

BREWSTER, J. L. (1987): Vernalization in the onion – a quantitative approache. In: The manipulation of flowering, London: Butterworths, 171–183.

RAMIN, A. A. and ATHERTON, J. G. (1994): Manipulation of bolting and flowering in celery (*Apium graveolens* L. *var. dulce*). III. Effects of photoperiod and irradiance. Journal of Hort. Sci. **69**, 861–868.

SMIT, A. L. (1983): Influence of external factors on growth and development of sugar-beet (*Beta vulgris* L.). Agric. Res. Reports **914**, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.

THORNLEY, J. H. M. (1987): Modelling flower initiation. In: The manipulation of flowering, London: Butterworths, 67–79.

WIEBE, H.-J. (1989): Vernalisation von wichtigen Gemüsearten – Ein Überblick. Gartenbauwissenschaft 54, 91–104.

WIEBE, H.-J. (1995): Validierung und Anwendung eines Simulationsmodells für die Blütenbildung von Kohlrabi in Abhängigkeit von Vernalisation und Devernalisation. Gartenbauwissenschaft 60, 91–101.

WIEBE, H.-J. (1998): Blütenbildung von Knollensellerie (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*). I. Vernalisation und Devernalisation. Gartenbauwissenschaft 63, 171–177.

Eingegangen: 9. 3. 2000 / 19. 6. 2000

Anschrift der Verfasser: Dr. C. Alt, und Prof. Dr. H.J. Wiebe, Institut für Gemüse- und Obstbau, Abteilung Gemüsebau, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover