



DGG-Proceedings

Vol. 1, 2011

Short Communications - Annual Conference DGG and BHGL
23.02. - 26.02.2011, Hannover, Germany
Peer Reviewed

Editorial Board and Review

Balder, Hartmut *Berlin*
Damerow, Lutz *Bonn*
Dirksmeyer, Walter *Braunschweig*
Drüge, Uwe *Erfurt*
Michaelis, Gerlinde *Bad-Zwischenahn*
Rath, Thomas *Hannover*
Schreiner, Monika *Großbeeren*
Schuster, Mirko *Dresden*
Winkelmann, Traud *Hannover*

German Society of Horticultural Sciences (DGG)
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover
Germany

© DGG, 2011

Hinrich H. F. Holthusen*, Frank-M. Chmielewski

Klimawandel und Apfelertrag - Einfluss von Witterung und Klima auf die Ertragsbildung an der Niederelbe

*Corresponding Author:

Hinrich H. F. Holthusen

ESTEBURG - Obstbauzentrum Jork

Moorende 53

21635 Jork

Deutschland

Email: hinrich.holthusen@lwk-niedersachsen.de

Klimawandel und Apfelertag - Einfluss von Witterung und Klima auf die Ertragsbildung an der Niederelbe

Hinrich H. F. Holthusen¹
Frank-M. Chmielewski²

ESTEBURG - Obstbauzentrum Jork, Moorende 53, 21635 Jork¹
Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Professur für
Agrarklimatologie, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin²

1. Einleitung, Stand des Wissens, Zielsetzung

In Deutschland werden auf ca. 32.000 ha kommerziell Äpfel angebaut und jährlich etwa eine Million Tonnen geerntet. Durch den erwarteten Klimawandel sind Auswirkungen auf den Primären Sektor und damit verbundene höhere ökonomische Risiken unausweichlich (IPCC, 2007). Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf die deutsche Apfelproduktion sind daher wahrscheinlich.

Aufzeichnungen klimatischer Daten während des 20. Jahrhunderts lassen in den Anbauregionen einen Temperaturanstieg erkennen, der zunächst zu Veränderungen in der pflanzlichen Entwicklung geführt hat, so beschrieben für die Niederelbe (HENNIGES et al., 2007) und das Rheinland (BLANKE und KUNZ, 2009). Dementsprechend ist es von Interesse, weitere mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Apfelertäge in Deutschland zu untersuchen (CHMIELEWSKI et al. 2009). Die Ertragsbildungsgleichung nach HANDSCHACK (2000) nennt folgende Einflussgrößen:

$$E(\text{Ertrag}) = [E^{-1}(\text{Vorjahresertrag}) * A(\text{Alternanz}) + B_{+}(\text{Blühneigung der Sorte}) * N(\text{Anzahl Blütenknospen}) * F(\text{Finaler Fruchtansatz}) * G(\text{Einzelfruchtgewicht})]$$

Von Relevanz für die genannten Eingangsgrößen sind neben einer Vielzahl nicht-klimatischer Parameter wie Sorten- und Unterlagenwahl, Pflanzabstand etc. auch klimatische Faktoren. Die Wirkungen der klimatischen Größen Lufttemperatur, Niederschlagshöhe und Sonnenscheindauer wurden aus Literaturangaben zusammengetragen. Sie zeigen sowohl im Ernte- als auch im Vorerntejahr differenzierte Wirkung auf den Apfelertag. Ein generell positiver Einfluss z. B. höherer Temperaturen, wie im Zuge des Klimawandels zu erwarten, ist daraus nicht abzuleiten.

Auf Grund der Komplexität der Ertragsbildung beim Apfel ist es vergleichsweise schwierig die Variabilität der Erträge ausschließlich durch klimatische Parameter zu beschreiben. Unter dem Eindruck des Klimawandels und der deutlich langsameren Anpassung mehrjähriger Kulturen erscheint es jedoch notwendig, die Wirkung klimatischer Parameter intensiv zu untersuchen. Ziel der Studie war es, klimatische Parameter zu identifizieren, die die Ertragsbildung an der Niederelbe bedeutend beeinflussen und darauf aufbauend ein einfaches statistisches Ertragsmodell zu entwickeln. In einem zweiten Schritt sollten durch den Klimawandel bedingte phänologische Veränderungen in den Terminen Blüte und Fruchtreife und letztlich im Apfelertag untersucht werden.

2. Material und Methoden

Um den Einfluss von Witterung und Klima auf Apfelerträge zu ermitteln, wurden zwei Ansätze gewählt:

1. Aus Daten über absolute Apfelerträge und Anbauflächen an der Niederelbe zwischen 1973 und 2006 wurde ein Ertragsverlauf ($t\ ha^{-1}$) erstellt. Um technologische Fortschritte als maßgeblichen Faktor für die Verdopplung der Erträge im untersuchten Zeitraum auszuschließen, wurde der lineare Apfelertragstrend (1973-2006) berechnet. Jahre mit Ertragseinbußen auf Grund von Spätfrösten während der Blüte wurden eliminiert, um eine Verzerrung der Trendgrade zu verhindern. Nachfolgend wurde für jedes Jahr die Anomalie (y_i in Prozent) der beobachteten Erträge (x_{oy}) zum linearen Ertragstrend (x_{lyt}) bestimmt:

$$y_i = (x_{oy})_i / (x_{lyt})_i$$

Aus Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes wurden die benötigten klimatischen Parameter für den Standort Jork, Niederelbe berechnet. Anschließend wurden die Anomalien des linearen Apfelertragstrends mit den berechneten Größen [Monatswerte der Lufttemperatur (T), Maximumtemperatur (T_x), Minimumtemperatur (T_n), Niederschlagshöhe (P) und Sonnenscheindauer (Sd)] des Ernte- und Vorerntejahres korreliert.

Der Zeitraum für die Ertragsanomalien an der Niederelbe wurde in zwei Zeiträume aufgeteilt. Die erste Periode wurde genutzt, um Ertragsmodelle zu optimieren (Optimierungsperiode), die mit Hilfe des zweiten Zeitraums verifiziert wurden (Verifikationsperiode). Um die Güte der Modelle abschätzen zu können wurde der MAE und der RSME zwischen beobachteten und modellierten Ertragsanomalien für den Optimierungs- (MAE_{opt} , $RSME_{opt}$) und Verifikationszeitraum (MAE_{ver} , $RSME_{ver}$) bestimmt.

Ein weiterer Einblick in die Witterungsabhängigkeit des Apfelertrages wurde durch die Berücksichtigung von Jahren mit sehr hohen und niedrigen Erträgen erreicht (prozentuale Abweichungen vom Trend). Die absolute Differenz zwischen den beiden Extremjahren (x_{HY} ; x_{LY}) wurde hierzu für jeden klimatischen Parameter ermittelt und mit dem Mittelwert (x_{AY}) für den gesamten Untersuchungszeitraum (1973-2005) verglichen. Nur bei Erfüllung der Bedingungen a., b. und c. wurde ein Parameter als ertragsbeeinflussend eingestuft:

a. $|Parameter\ x_{HY} - Parameter\ x_{LY}| \gg 0$

b. $|Parameter\ x_{HY} - Parameter\ x_{AY}| > 0$ und $|Parameter\ x_{LY} - Parameter\ x_{AY}| > 0$

c. $[Parameter\ x_{HY} - Parameter\ x_{AY}]$ Vorzeichen ungleich $[Parameter\ x_{LY} - Parameter\ x_{AY}]$

Hierbei sind x_{HY} die klimatischen Verhältnisse in Jahren mit sehr hohem Apfelertrag und x_{LY} die Bedingungen in schlechten Ertragsjahren. Ausfälle durch Spätfröste wurden, wie oben bereits erwähnt, nicht berücksichtigt.

2. Das modifizierte Wasserhaushalts- und Ertragsmodell SIMWASER (STENITZER, 1988) wurde genutzt, um auf der Grundlage von Klimaszenarien zukünftige Apfelerträge an der Niederelbe abzuschätzen. Hierzu wurde das Modell um einen Modellapfelbaum erweitert: Ein „Sämling“ konnte sieben Jahre im Modell vegetativ wachsen. Die berechneten Werte des siebenjährigen Baumes wurden anschließend für die generative Ertragsberechnung im Modell jährlich als Startparameter verwendet. Die simulierten Erträge beziehen sich somit jeweils auf einen gleichalten siebenjährigen Apfelbaum (Vollertragsbaum).

Für die Abschätzungen des Apfelertrages unter veränderten klimatischen Verhältnissen wurden die WETTREG Klimaszenarien A1B und B1 verwendet, die auf dem gekoppelten Atmosphären- und Ozeanmodell ECHAM5/ OM IPCC, Szenariolauf 1 basieren. Für den Zeitraum 2001 bis 2100 waren für beide Szenarien pro Dekade 200 Modelljahre verfügbar, die die Variabilität des Klimas in der jeweiligen Periode widerspiegeln.

3. Ergebnisse

1. In das Regressionsmodell gingen für das Vorerntejahr (*) die Sonnenscheindauer von April-Juni [Sd(04-06)*] und die Minimumtemperatur im November [$T_n(11)^*$] sowie für das Erntejahr die Sonnenscheindauern im März/April [Sd(0304)] und im Mai/Juni [Sd(0506)] als auch die Niederschlagshöhe im Juli des Erntejahres [P07] als Einflussfaktoren ein (Abb. 1). Im Optimierungszeitraum (1973-1989) betrug die Fehlermaße zwischen den beobachteten und berechneten Erträgen 3.61 % für die MAE und 4.60 % für die RMSE. Für den Verifikationszeitraum (1990-2006) erhöhte sich die MAE auf 12.78 % und die RMSE auf 15.79 %. Das Modell war relativ gut in der Lage den Ertrag in beiden Perioden (Optimierungs- und Verifikationsperiode) zu erklären, nur in 2005, bedingt auch in 1994 und 1995, ergaben sich größere Abweichungen.

Regressionsmodell: $\text{delta-y} = 0.805679 + 0.00103065 \text{ Sd}(04-06)^* - 0.0468646 T_n11^* - 0.00110369 \text{ Sd}(0304) + 0.00031381 \text{ Sd}(0506) - 0.00153245 P07$

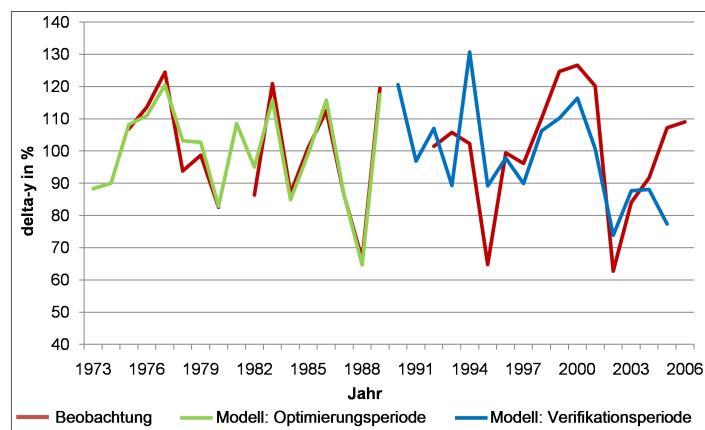


Abb. 1.: Beobachtete und modellierte Anomalien des linearen Apfelertagstrends (delta-y) an der Niederelbe zwischen 1973 und 2006.

Die Analyse von Jahren mit großen Ertragsanomalien bestätigt im Wesentlichen die Ergebnisse der Regressionsanalyse, insbesondere den positiven Einfluss der Sonnenscheindauer im April-Juni des Vorerntejahres sowie den negativen Einfluss der Sonnenscheindauer im März/ April des Erntejahres. Auch die negative Wirkung hoher Niederschläge im Juli des Erntejahres und hoher Minimumtemperaturen im November des Vorerntejahres wurden deutlich.

2. Die mit SIMWASER durchgeführten Modellrechnungen ergeben bis zum Ende des 21. Jahrhunderts Veränderungen der phänologischen Phasen sowie der Apfelertäge. Insbesondere die signifikante Verkürzung der Periode BBCH[61-87] ($p < 0.01$) um 28 (Szenario A1B) bzw. 19 Tage (Szenario B1) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist vermutlich der maßgebliche Faktor für die signifikante Abnahme der Erträge um ca. 7 % an der Niederelbe bei sonst gleichbleibenden Rahmenbedingungen. Entscheidend für die Verkürzung der Periode BBCH[61-87] ist eine stärkere Verfrühung der Pflückreife BBCH 87 (A1B: -38.5 bzw. B1: -24.8 Tage) im Vergleich zum Blühbeginn BBCH 61 (A1B: -10.1 bzw. B1: -5.6 Tage) zum Ende dieses Jahrhunderts (2071-2100) im Vergleich zur Referenzperiode (1961-1990), Abb. 2.

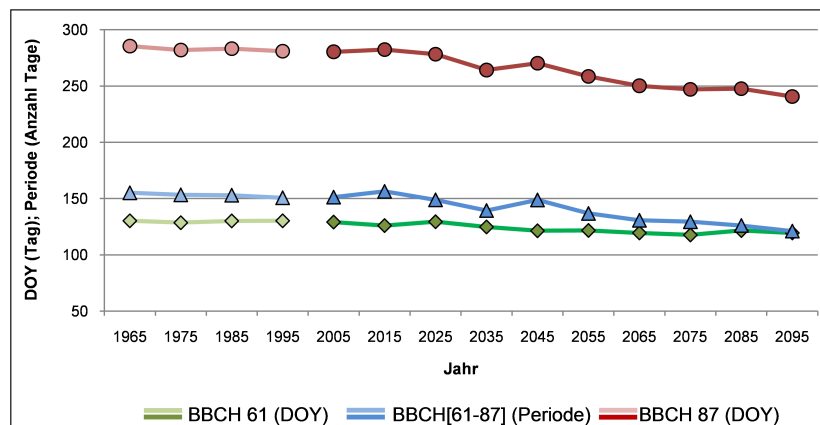


Abb. 2: Mögliche Veränderungen im Beginn der Apfelblüte (BBCH 61) und in der Pflückreife (BBCH 87) sowie in der Länge der Periode BBCH[61-87] an der Niederelbe zwischen 2001 und 2100 nach WETTREG, Szenario A1B. Zum Vergleich die Eintrittstermine und Phasenlängen für den Kontrolllauf (1961-2000). *DOY: Tag nach Jahresbeginn.*

4. Diskussion

Mit Hilfe der Korrelations- und Regressionsanalyse war es möglich, ein einfaches Ertragsmodell für Apfeltrträge an der Niederelbe aufzustellen. Dabei wurden klimatische Einflussfaktoren sowohl im Ernte- als auch im Vorerntejahr festgestellt. Die Ergebnisse lassen sich teilweise durch Befunde aus der Literatur bestätigen, insbesondere der negative Einfluss hoher Niederschläge im Juli des Erntejahres wurde schon für Apfeltrträge in Holstein beschrieben (ZIELKE, 1929; CLAUSEN, 1943). Der negative Einfluss hoher Novembertemperaturen lässt sich u. U. auf latente Kälteschäden zurückführen, zumindest zeigten WEBER und ZABEL (2010), dass hohe Novembertemperaturen mit vorausgegangenen feuchten Perioden im September/ Oktober Triebsterben im Folgejahr begünstigten. Der überwiegend positive Einfluss längerer Sonnenscheindauer im Frühling/ Sommer weist darauf hin, dass es sich dabei unter den klimatischen Bedingungen der Niederelbe zumindest in der Vergangenheit um einen limitierenden Faktor gehandelt hat.

Das Modell SIMWASER ist zum jetzigen Zeitpunkt in der Lage den Faktor G (Einzelfruchtgewicht) der Ertragsbildungsgleichung zu beschreiben. Die mit SIMWASER errechnete Ertragsabnahme ist damit vorrangig auf eine Abnahme des Einzelfruchtgewichts zurückzuführen, bedingt durch eine kürzere effektive Entwicklungsdauer der Früchte. Dies gilt zumindest unter der Prämisse sonst gleich bleibender Bedingungen und lässt sich durch angepasste Sortenwahl (längere Entwicklungsdauer) u. U. kompensieren.

5. Schlussfolgerung

Da das Modell SIMWASER nur Berechnungen für eine Vegetationsperiode durchführt, können z. Z. insbesondere der Faktor Anzahl Blütenknospen (N), aber auch der Finale Fruchtansatz (F) nicht berechnet werden, was eine Abschätzung der tatsächlichen

Ertragsveränderungen erschwert. In Anlehnung an PALTINEANU und CHITU (2006) sollte das Modell um die Subroutinen ergänzt werden. Weiter sollte das Modell zukünftig direkte Ertragswirkungen einer höheren CO₂ Konzentration der Atmosphäre berücksichtigen. Die Verfügbarkeit von Ertragsdaten war der begrenzende Faktor für die Aufstellung des Regressionsmodells. Um präzise Modelle aufstellen zu können, sind Ertragsdaten aus einer Vielzahl von Jahren notwendig. Die Datenerhebung stellt aber einen beträchtlichen Ressourcenaufwand dar und wird für Dauerkulturen – im Gegensatz zu einjährigen landwirtschaftlichen Kulturen – zur Zeit nicht durchgeführt. Allerdings regten schon KEMMER und MARSEILLE (1937) als Resümee ihrer Untersuchung die flächendeckende Anlage obstbaulicher Dauerfeldversuche an. Darin sollten neben Erträgen u. a. auch klimatische Parameter erfasst werden. Obgleich nie vollständig umgesetzt, ist das Resümee zu erneuern und zu bekräftigen. Um in der Zukunft belastbare Ertragsmodelle aufstellen zu können, werden unbedingt langfristige Ertragsaufzeichnungen benötigt.

6. Literatur

- BLANKE, M.; KUNZ, A.: Einfluss rezenter Klimaveränderungen auf die Phänologie bei Kernobst am Standort Klein-Altendorf – anhand 50-jähriger Aufzeichnungen. In: Erwerbs-Obstbau Bd. 51 (2009), Nr. 3, S. 101-114
- CHMIELEWSKI, F.-M.; BLÜMEL, K.; HENNIGES, Y.; MÜLLER, A.; WEBER, R.W.S.: Klimawandel: Chancen, Risiken und Kosten für den deutschen Obstbau. In: MAHAMMADZADEH, M.; BIEBELER, H.; BARDT, H. (Hrsg.): Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen - Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele, Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Medien GmbH, 2009, S. 279-286
- CLAUSEN, H.: Witterung und Obstertrag. In: Gartenbauwissenschaft Bd. 17 (1943), S. 603-615
- HANDSCHACK, M.: Komponenten der Ertragsbildung, Ertragsschwankungen und ihre Ursachen, Bekämpfung der Alternanz. In: FRIEDRICH, G.; FISCHER, M. (Hrsg.) Physiologische Grundlagen des Obstbaues. 3. Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer, 2000, S. 210-227
- HENNIGES, Y.; VOLLMER, I.; WEBER, R.W.S.; GÖRGENS, M.; CHMIELEWSKI, F.-M.: Der Klimawandel, eine Herausforderung für den norddeutschen Obstbau. In: Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes Bd. 62 (2007), Nr. 5, S. 156-160
- IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007
- KEMMER, E.; MARSEILLE, O.: Über einige ökologische Ursachen unterschiedlicher Ertragsleistungen bei den Apfelsorten "Schöner von Boskoop" und "Goldparmäne". In: Gartenbauwissenschaft Bd. 10 (1937), S. 557-575
- PALTINEANU, C.; CHITU, E.: An estimation model of the climatic rating in the 'Golden Delicious' apple cultivar in the southern part of Romania. In: Acta Horticulturae. Bd. 707: ISHS, 2006, S. 119-125
- STENITZER, E.: SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes, Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt. Bd. 31. Petzenkirchen, 1988
- WEBER, R.W.S.; ZABEL, D.: Winterfrost als Ursache des aktuellen Triebsterbens an jungen Bäumen. In: Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes Bd. 65 (2010), Nr. 7, S. 198-204
- ZIELKE, W.: Untersuchungen über den Einfluß der Witterung auf die Ernten einiger Obstgattungen und -sorten in Deutschland. In: Gartenbauwissenschaft Bd. 2 (1929), Nr. 5/6, S. 459-589