

Pflanzen

Schädlingsprognose für den Obstbau

Jörg Samietz, Benno Graf, Heinrich Höhn, Lukas Schaub und Hans Ulrich Höpli, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CH-8820 Wädenswil

Auskünfte: Jörg Samietz, E-Mail: joerg.samietz@acw.admin.ch, Tel. +41 44 783 61 93

Zusammenfassung

Das Prognosewerkzeug SOPRA wurde mit dem Ziel entwickelt, die Überwachungs- und Bekämpfungsmassnahmen bei Obstschädlingen zu optimieren. Unter Nutzung von «Time-varying distributed delays» wurden Phänologiemodelle auf der Basis von Stundenwerten der klimatischen Variablen Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und Bodentemperatur für folgende Arten erstellt und validiert: Mehliges Apfelblattlaus (*Dysaphis plantaginea*), Apfelsägewespe (*Hoplocampa testudinea*), Apfelwickler (*Cydia pomonella*), Kleiner Fruchtwickler (*Grapholita lobarzewskii*), Birnblattsauger (*Cacopsylla pyri*), Kirschenfliege (*Rhagoletis cerasi*), Apfelblütenstecher (*Anthonomus pomorum*) und Schalenwickler (*Adoxophyes orana*). Die im Modell angewandten Körpertemperaturen basieren auf detaillierten Studien zur Habitatwahl und teilweise biophysikalischer Simulation der Habitatbedingungen. Auf Basis lokaler Wetterdaten wird die Altersstruktur der Schädlingspopulationen simuliert und entsprechend werden Schlüsselereignisse für den Pflanzenschutz angezeigt. Die Simulationsergebnisse werden den Pflanzenschutzberatern und Produzenten als ein umfassendes Beratungsinstrument über das Internet zur Verfügung gestellt (www.sopra.info), was die Entscheidungshilfe für die acht wichtigsten Schädlinge im Kern- und Steinobstanbau der Alpentäler und nördlich der Alpen auf lokaler und regionaler Ebene unterstützt.

In mehrjährigen Kulturen, wie zum Beispiel im Obstbau, durchlaufen viele Schädlinge einen Grossteil ihrer Entwicklung direkt an den Nutzpflanzen. Die Kenntnis des Entwicklungsstandes vorausgesetzt, ergeben sich zu unterschiedlichen Zeiten im Lebenszyklus Möglichkeiten für den gezielten und selektiven Einsatz von zum Teil hoch spezifischen, Nützlinge schonenden und umweltfreundlichen Pflanzenschutzmitteln. Beispiele dafür sind die Pheromonverwirrung zur Verhinderung der Paarung, gezielter Einsatz unterschiedlicher Insektenwachstumsregulatoren mit Wirkung auf die Ei- oder Larvenstadien, oder sogar artspezifischer Viruspräparate wie beim Apfelwickler. Voraussetzung für eine erfolgreiche Strategie ist dabei aber einerseits der zeitlich präzise Einsatz geeigneter Überwachungsmaßnahmen für bestimmte Stadien im Jahresverlauf, um unter Zuhilfenahme

von Schadschwellen einen Behandlungsbedarf überhaupt abzuklären. Zum anderen müssen eben auch die allfälligen Pflanzenschutzmassnahmen aufgrund der spezifischen Wirkung optimal auf die entsprechenden Stadien im Lebenszyklus der Schädlinge abgestimmt werden.

Die erforderlichen Kenntnisse über die Phänologie der Schädlinge können mit Prognosemodellen simuliert werden. Allerdings waren die entsprechenden Plattformen in der Vergangenheit zu heterogen oder kompliziert für die direkte Nutzung durch Berater und Produzenten oder die Programme waren schlichtweg nicht zugänglich für den potentiellen Anwender (vgl. Rosling *et al.* 1999; van der Werf *et al.* 1999).

Vor diesem Hintergrund werden an der Forschungsanstalt ACW seit den neunziger Jahren Grund-

lagen für die Schädlingsprognose im Schweizer Obstbau erarbeitet. Mit ursprünglichem Fokus auf Apfel wurde unter dem Akronym SOPRA (SchadOrganismen-PRognose auf Apfel) ein umfassendes Prognosewerkzeug erstellt und auf dem Internet verfügbar gemacht. Seit 2007 ist das System mit einer stark erweiterten Entscheidungshilfe und völlig neuem Design unter www.sopra.info für sechs Arten online: Mehliges Apfelblattlaus (*Dysaphis plantaginea*), Apfelsägewespe (*Hoplocampa testudinea*), Apfelwickler (*Cydia pomonella*), Kleiner Fruchtwickler (*Grapholita lobarzewskii*), Birnblattsauger (*Cacopsylla pyri*), Kirschenfliege (*Rhagoletis cerasi*). In diesem Jahr sind mit Apfelblütenstecher (*Anthonomus pomorum*) und Schalenwickler (*Adoxophyes orana*) weitere zwei Arten hinzugekommen.

Neben der Vorhersage des jahreszeitlichen Auftretens der einzelnen Entwicklungsstadien enthält SOPRA weit reichende Informationen über die Schädlinge selbst, stadienspezifische Behandlungsempfehlungen, sowie auf die Phänologie abgestimmte, konkrete Entscheidungshilfen für die Anwender. An dieser Stelle sollen der Hintergrund der bestehenden Modelle beleuchtet und die Funktionen des Systems insbesondere aus Sicht der Praxis vorgestellt werden.

Temperaturabhängige Entwicklung

Die Geschwindigkeit sämtlicher Entwicklungsprozesse in der be-

lebten Natur hängt von der Temperatur ab, weil mit steigender Wärme, und damit rascherer Teilchenbewegung, die zugrunde liegenden physikalisch-chemischen Abläufe beschleunigt werden. Bei zu hohen Temperaturen werden allerdings die Baustoffe des Lebens geschädigt und der Stoffwechsel bricht zusammen. Vom Optimum der Körpertemperatur, das bei vielen Insekten zwischen etwas über 30 und ca. 40°C liegt, verlangsamt sich die Entwicklungsgeschwindigkeit mit abnehmender Temperatur, bis sie unter einem art- und stadienspezifischen Schwellenwert schliesslich nahezu zum Stillstand kommt, dem Entwicklungsnullpunkt. Vom Entwicklungsnullpunkt bis zum Optimum verläuft bei vielen Insekten die Beziehung zwischen Entwicklungsrate pro Zeiteinheit und der Körpertemperatur nahezu linear. Das ermöglicht die relativ unkomplizierte Berechnung von stadienspezifischen Entwicklungsraten bei bekannter Temperatur und die Vereinfachung in Form von Temperatursummen über dem Entwicklungsnullpunkt in Form von Tagesgraden oder Stundengraden.

Der mathematische Ansatz der für SOPRA erstellten Modelle nutzt diese Beziehungen und besteht, vereinfacht gesagt, in einer Aneinanderreihung von Differenzialgleichungen, welche die relative Altersstruktur in den Insektenpopulationen beschreiben, so genannten «Time-varying distributed delays» (Mantsch 1976). Für jede Stunde im laufenden Jahr wird auf Grundlage der aktuellen Temperatur berechnet, wie viele Individuen eine bestimmte Altersklasse innerhalb der Entwicklungsstadien verlassen und in die nächste aufsteigen. Mit dieser Methode lassen sich für jedes Stadium der einzelnen Arten neben der Beziehung zwischen Temperatur und Entwicklungsrate auch

deren spezifische Variabilität in die Modellierung der Phänologie einbeziehen. Letzteres ermöglicht erst die Nachbildung des überlappenden Stadienverlaufs über das Jahr – sowie entsprechende Schlussfolgerungen zum Pflanzenschutz – und stellt damit einen grossen Vorteil im Vergleich zu einfachen Temperatursummenmodellen dar.

Die Beziehung zwischen Entwicklungsrate und Temperatur muss für jedes relevante Stadium im Lebenszyklus der einzelnen Schädlingsarten in aufwendigen Laborversuchen bestimmt werden. Viele hundert Individuen werden dabei unter genau regulierten Bedingungen einer Reihe von konstanten Temperaturen in Klimakammern ausgesetzt, und täglich wird die Entwicklung einzeln für jedes Tier verfolgt. Besonders wichtig für die Modellierung der Phänologie sind dabei die Stadien nach einer zwangsweisen Winterruhe, der Diapause. Insbesondere für diese Stadien wurden bei allen in SOPRA integrierten Modellen Versuche bei mindestens vier konstanten Temperaturen durchgeführt. Bei der Reproduktion und der Lebensdauer ergeben sich dabei abweichend von den anderen Entwicklungsvorgängen nicht-lineare Beziehungen zwischen Entwicklung und Temperatur, die entsprechend umgesetzt werden müssen (z.B. Graf *et al.* 2001).

Habitatwahl entscheidend

Insbesondere bei kleineren Insekten wird die Körpertemperatur direkt durch die thermischen Umweltbedingungen bestimmt, weil die Individuen selbst keine oder nur sehr eingeschränkt Wärme erzeugen können, also ektotherm sind. In vielen Fällen kann deshalb für die Modellierung der Phänologie die Lufttemperatur als Basis für die Berechnung der Entwicklung genutzt werden. Allerdings haben viele Insekten im Verlaufe der Evolution Verhaltensmechanismen zur Thermoregulation entwickelt oder können durch Wahl des Mikrohabitats oder Ausrichtung zur Sonne ihre Körpertemperatur beträchtlich beeinflussen (Kühr *et al.* 2005, Samietz *et al.* 2006). Solche Habitatwahl muss bei der Phänologiemodellierung mit berücksichtigt werden. So liefert das Modell beim Apfelwickler nur deshalb verlässliche Ergebnisse, weil die Temperatur des Überwinterungshabitats nachgebildet wird. Auf Grundlage des Sonnenwinkels im Jahresverlauf und der zunehmenden Beschattung durch die Vegetation wird laufend die Oberflächentemperatur der Apfelbaumstämme simuliert, wo die Larven überwintern und sich verpuppen (Abb. 1). Diese Stammtemperatur wird ebenfalls für die Simulation des Überwinterungshabitats beim Schalenwickler benutzt. Dagegen bohren sich die Larven des Kleinen Fruchtwickers

Abb. 1. Simulation der effektiven Sonnenstrahlung (IRAD) am Stamm der Apfelbäume anhand gemessener Strahlung über der Vegetation (RAD) und Tag im Jahr (JULD).

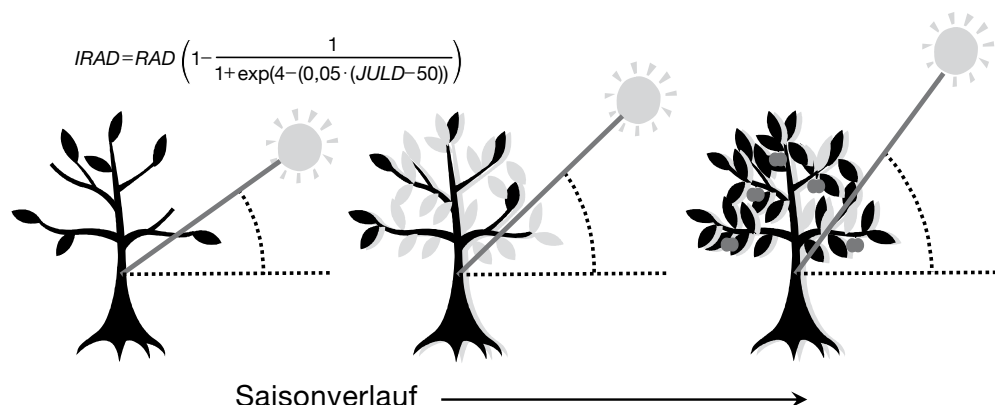




Abb. 2. Habitatterperatur bestimmt die Entwicklungsgeschwindigkeit: Überwinterungshabitat des Kleinen Fruchtwicklers ca. 2 cm tief eingebohrt und mikroklimatische Messungen im Stamminnenen.

in das Holz ein (Abb. 2), weshalb das Überwinterungshabitat mit einem biophysikalischen Modell der Stamminnentemperatur berechnet werden muss. Mit der simulierten spezifischen Habitatterperatur ist die Übereinstimmung des Modells mit dem Flug des Kleinen Fruchtwicklers ideal, mit der Stammoberflächentemperatur und mit der Lufttemperatur ergeben sich grosse Abweichungen (Abb. 3). Die Bodentemperatur dient als Basis der Modellierung für die Puppen der Apfelsägewespe und der Kirschenfliege nach der Überwinterung.

Sämtliche in SOPRA integrierten Modelle wurden in unabhängigen Datenreihen zuerst im Freilandlabor begutachtet und später mit Felddaten mehrerer Jahre validiert, d.h. auf ihre Gültigkeit überprüft (vergl. Graf *et al.* 1996, Graf *et al.* 1999, Graf *et al.* 2001, Schaub *et al.* 2005, Graf *et al.* 2006).

Wetterdaten als Grundlage

Als Grundlage für alle in den Modellen verwendeten Habitatterperaturen dienen die Lufttemperatur (2 m), die Sonnenstrahlung, sowie die Bodentemperatur in 5 cm Tiefe. Diese Parameter wer-

den von sehr präzisen automatischen Klimastationen bezogen (MeteoSchweiz). Kleinwetterstationen, wie sie insbesondere für phytopathologische Modelle wegen der lokalen Niederschlagsbedingungen notwendig sind, werden in SOPRA nicht benutzt, da sich schon deren geringe Ungenauigkeiten bei den Lufttemperaturen über den Jahresverlauf aufsummieren können und so ggf. zu Verfälschungen bei der Phänologie führen (Sacchelli *et al.* 2008).

Derzeit werden 14 Meteo-Schweiz-Stationen genutzt, um die verschiedenen für den Obstbau bedeutsamen klimatischen Regionen abzudecken (Abb. 4). Die Stationen reichen dabei von sehr frühen Tallagen im Tessin (Magadino) bis zu den späten Obstbaugebieten über 600 Höhenmeter in der Nordostschweiz (St. Gallen). Die Grenzen der in Abb. 4 dargestellten Gebiete wurden durch digitale Interpolation herausgearbeitet wobei als Basis Frühjahrs- und Sommertemperaturen, Phänologiedaten der Vegetation (Kirchhofer 1982-1984, Aschwanden *et al.* 1996) sowie langjährigen Daten zur Insektenphänologie benutzt wurden.

Bei der lokalen Prognose mit SOPRA kann nun jederzeit mit den Wetterdaten aus einer entsprechenden Datenbank die Altersstruktur der Schädlingpopulationen und der Verlauf der Stadien über die Saison simuliert werden. Bis zum jeweiligen Tag fliessen dabei die Werte des aktuellen Jahres ein, für die Prognose wird die Klimatologie in Form von zehnjährigen Mittelwerten der stündlichen Daten verwendet. Darauf basierend werden Schlüsselereignisse für den Pflanzenschutz angezeigt. Ein Beispiel für eine solche Phänologie wird in Abb. 5 zusammen mit einer Auswahl an wichtigen Ereignissen angezeigt. Die Ver-

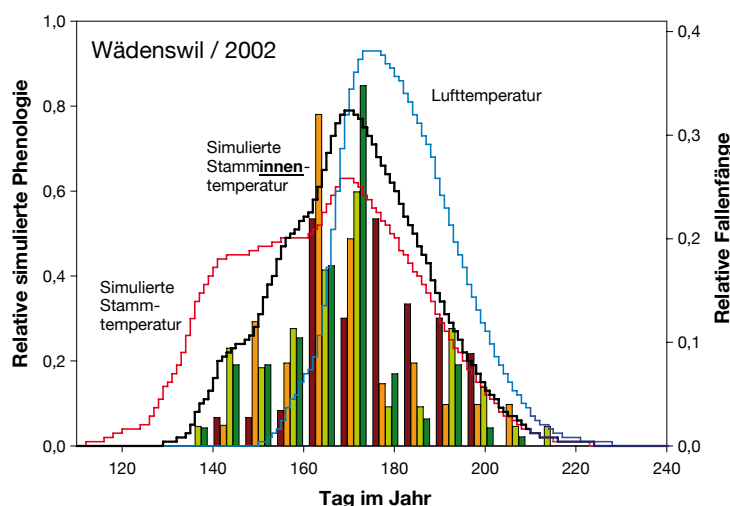
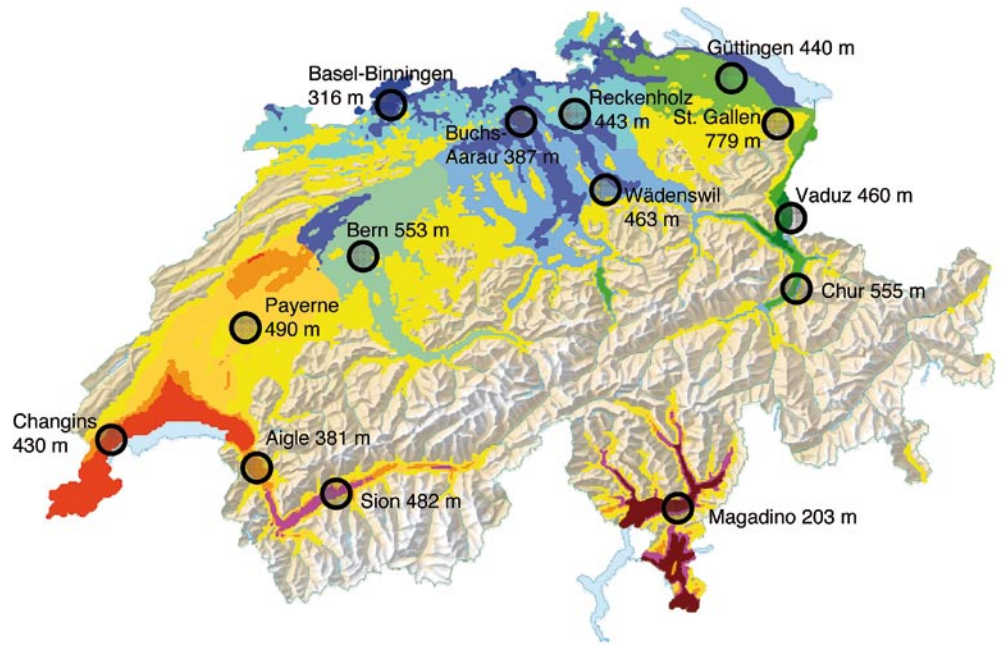


Abb. 3. Validation der simulierten Phänologie des Kleinen Fruchtwicklers (linke Achse) mit Pheromonfallenfängen (rechte Achse).

wendung der langjährigen Mittel für die Projektion in SOPRA bietet einen grossen Vorteil gegenüber den meisten anderen Systemen. Benutzer können bereits Monate im voraus erfahren, mit welchen Ereignissen bei durchschnittlicher Witterung in einer Klimaregion zu rechnen ist. Je näher die Vorhersage am aktuellen Datum ist, um so präziser wird sie.

Entscheidungshilfe online

Die während der Saison regelmässig aktualisierten Simulationsergebnisse werden den Benutzern als ein umfassendes Beratungsinstrument über das Internet zur Verfügung gestellt (www.sopra.info). Den Einstieg in die Webseite bietet dabei eine digitale Schweizerkarte mit den farblich umgesetzten klimatischen Regionen, für die jeweils eine entsprechend repräsentative Meteo-Schweiz-Station verfügbar ist (Abb. 6 A). Klickt man nun auf dieser Karte auf einen gewünschten geographischen Punkt, so wird man direkt zur tabellarischen Übersicht aller Schädlinge am jeweiligen Ort und für den aktuellen Zeitraum geführt (Abb. 6 B). Diese wie auch alle anderen tabellarischen Übersichten beinhalten in den für die einzelnen Tage stehenden Kästchen immer den selben Farbcode mit Blau für Überwachung und Rot für Bekämpfungsmassnahmen. Dunkelblau und Dunkelrot stehen dabei für die jeweiligen optimalen Zeiträume für die Pflanzenschutzmassnahmen. Zusätzlich werden in Hellblau und Hellrot Vor- und Nachwarnperioden angezeigt. Damit wird auf anstehende Ereignisse hingewiesen und es werden Zeiträume gekennzeichnet, in den die allfälligen Massnahmen ggf. schon oder noch ausgeführt werden können. So kann eine optimale Abstimmung zwischen verschiedenen anstehenden Pflanzenschutzmassnahmen erfolgen. Alle Tabellen lassen sich mit ei-



nem dynamischen Scrollbalken entlang der Zeitachse verschieben und entweder im Detail oder im Überblick betrachten.

Von der tabellarischen Übersicht aller Schädlinge am jeweiligen Ort gelangt man durch anklicken eines Kästchens zur detaillierten Prognose der Phäno-

logie für die entsprechende Art am gewählten Tag (Abb. 6 C). In dieser Ansicht ist links der relative Verlauf der einzelnen Stadien graphisch dargestellt, auf der rechten Seite wird die Phänologie interpretiert und es werden Entscheidungshilfen gegeben. Diese sind in Überwachung und Bekämpfung getrennt und mit

Abb. 4. Abgrenzung der für SOPRA herausgearbeiteten klimatischen Regionen in für den Obstbau bedeutsamen Gebieten und Lage der jeweils verwendeten repräsentativen Wetterstationen (Höhen ü.NN).

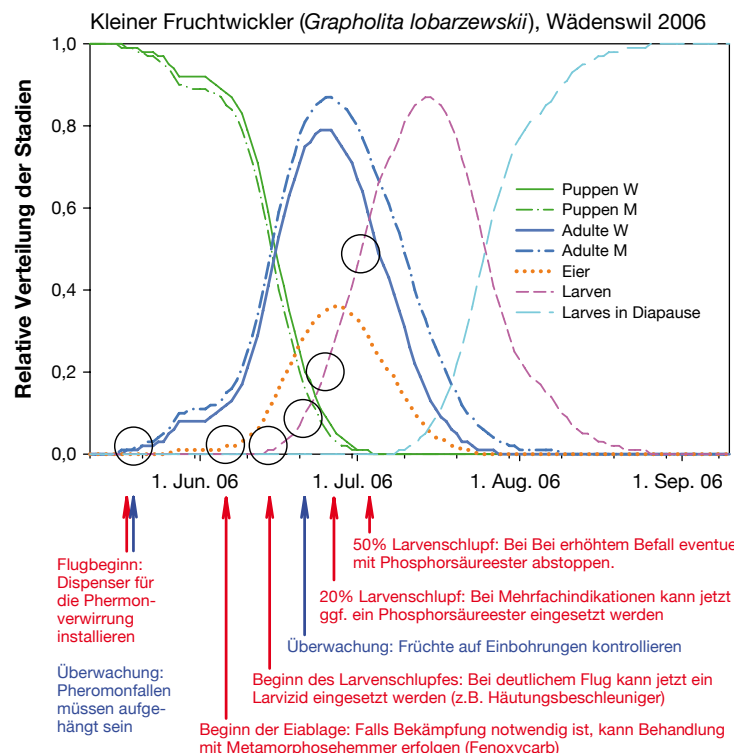


Abb. 5. Simulierte relative Phänologie des Kleinen Fruchtwicklers mit einer Auswahl wichtiger Ereignisse und entsprechenden Empfehlungen. Die Entscheidungshilfe von SOPRA im Internet ist ausführlicher und gibt Vor- und Nachwarnstufen an. W - Weibchen, M - Männchen.

■ Damit kann SOPRA die Effizienz des Pflanzenschutzes im Obstbau entscheidend verbessern, unerwünschte Insektizidapplikationen und Nebenwirkungen verringern, und zudem zur effektiven, weil zeitlich optimierten Anwendung von umweltfreundlichen und spezifischen Pflanzenschutzmitteln beitragen.

Literatur

■ Aschwanden A., Beck M., Häberli C., Haller G., Kiene M., Roesch A., Sie R. & Stutz M., 1996. Die Ergebnisse des Projekts KLIMA90, Grafiken. Schweizerische Meteorologische Anstalt (MeteoSchweiz), Zürich. 260 S.

■ Graf B., Höhn H. & Höpli H.U., 1996. The apple sawfly, *Hoplocampa testudinea*: a temperature driven model for spring emergence of adults. *Entomol. Exp. Appl.* **78**, 301-307.

■ Graf B., Höhn H. & Höpli H.U., 1999. The smaller fruit tortrix,

Grapholita lobarzewskii: predicting the phenology of adult emergence. *Entomol. Exp. Appl.* **93**, 299-304.

■ Graf B., Höhn H. & Höpli H.U., 2001. The apple sawfly, *Hoplocampa testudinea*: Temperature effects on adult life-span and reproduction. *Entomol. Exp. Appl.* **98**, 377-380.

■ Graf B., Höpli H.U., Höhn H. & Samietz J., 2006. Temperature effects on egg development of the Rosy Apple Aphid and forecasting of egg hatch. *Entomol. Exp. Appl.* **119**, 207-211.

■ Kirchhofer W. (Hrsg.), 1982-84. Klimaatlas der Schweiz. Erste und Zweite Lieferung. Bundesamt für Landestopografie, Wabern.

■ Kührt U., Samietz J., Dorn S., 2005. Thermoregulation behaviour in codling moth larvae. *Physiological Entomology* **30**, 54-61

■ Manetsch T.J., 1976. Time-varying distributed delays and their use in aggregative models of large systems. *IEEE Trans. Systems, Man, Cybern.* **6**, 547-553.

■ Rossing W.A.H., van der Werf W. & Leeuwis C., 1999. Quality of modelling in fruit research and orchard management: an introduction to the workshop. *Acta Hort.* **499**, 147-150.

■ Schaub L., Graf B. & Butturini A., 2005. Phenological model of pear psylla *Cacopsylla pyri*. *Entomol. Exp. Appl.* **117**, 105-111.

■ Sacchelli M., Siegfried W. & Samietz J. 2007. Temperature accuracy of agricultural weather stations and consequences for phenology modelling *Acta Hort.*, im Druck.

■ Samietz J., Salser M.A. & Dingle H., 2005. Altitudinal variation in behavioral thermoregulation: local adaptation vs. plasticity in California grasshoppers. *J. Evol. Biol.* **18**, 1087-1096

■ Van der Werf W., Leeuwis C. & Rossing W.A.H., 1999. Quality of modelling in fruit research and orchard management: issues for discussion. *Acta Hort.* **499**, 151-159.

RÉSUMÉ

Outil d'avertissement pour les ravageurs en arboriculture

L'outil d'avertissement SOPRA a été développé pour améliorer le monitoring et les mesures de lutte contre les ravageurs dans les vergers. En appliquant des approches «time-varying distributed delay», des modèles phénologiques ont été développés sur la base de la radiation solaire, de la température de l'air et du sol sur un rythme horaire de mesures. Les modèles sont validés pour le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*), l'hoplocampe des pommes (*Hoplocampa testudinea*), le carpocapse des pommes (*Cydia pomonella*), la petite tordeuse (*Grapholita lobarzewskii*), le psylle commun du poirier (*Cacopsylla pyri*), la mouche de la cerise (*Rhagoletis cerasi*), l'anthonome du pommier (*Anthonomus pomorum*) et la tordeuse de la pelure capua (*Adoxophyes orana*). L'intégration dans le modèle des températures corporelles est basée sur la sélection de l'habitat et la simulation biophysique des conditions d'habitat. En fonction des données météorologiques locales, la structure d'âge des populations des ravageurs est simulée et ainsi, les événements importants pour la gestion des activités sont annoncés. Les résultats de cette simulation sont visibles sur internet (www.sopra.info) et servent comme support de décision à l'échelle locale et régionale pour les huit ravageurs principaux des vergers des vallées alpines et du nord des Alpes.

SUMMARY

Forecasting tree fruit pests

The forecasting tool SOPRA has been developed with the objective to optimize timing of monitoring and control measures of insect pests in fruit orchards. Applying time-varying distributed delay approaches, phenology-models were developed driven by solar radiation, air temperature and soil temperature on hourly basis. Models are developed and validated for *Dysaphis plantaginea*, *Hoplocampa testudinea*, *Cydia pomonella*, *Grapholita lobarzewskii*, *Cacopsylla pyri*, *Rhagoletis cerasi*, *Anthonomus pomorum* and *Adoxophyes orana*. The implementation of body temperatures in the models is based on habitat selection and biophysical simulation of habitat conditions. On base of local weather data, age structure of the pest populations is simulated and crucial events for management activities are announced. Through a web-interface, the simulation results are made available to consultants and growers (www.sopra.info) and the latter can be applied as decision support system (DSS) for the eight major insect pests of fruit orchards in the alpine valleys and north of the Alps on local and regional scale.

Key words: phenology, model, forecasting, decision support system, temperature, pest insects, monitoring, plant protection, fruit growing.