

Doctoral Thesis ETH No. 16423

**Spatio-Temporal Modelling and Analysis of Larch Bud Moth  
Population Dynamics in the European Alps**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
BRONWYN PRICE

B.Sc (Environmental Science), University of Melbourne, Australia

born 13<sup>th</sup> of February 1977

citizen of  
Australia and Great Britain

accepted on the recommendation of

Prof. Peter J. Edwards, examiner

Dr Andreas Fischlin, co-examiner

Dr Britta Allgöwer, co-examiner

2006

## SUMMARY

The larch bud moth (*Zeiraphera diniana* GN.; Lep., Tortricidae) has caused large-scale defoliation of larch trees across the entire Alpine Arc every 8-10 years since at least Roman times. The temporal dynamics of the larch bud moth and its population cycles have been researched intensively, however the spatial patterns of larch bud moth population have received less attention. Some studies have noted the synchrony of population cycles within valleys, or, at the Alpine arc scale, travelling waves of larch bud moth (as a special case of synchrony). However, accurate quantification of these patterns has not previously been shown and the reasons for such patterns remain unclear. Recent research into synchrony suggests dispersal or regional environmental correlation (the Moran Effect) could result in such patterns of synchrony. Knowledge of spatio-temporal patterns of population dynamics is of general interest to ecologists and important for management and conservation purposes. As ecological field studies with high spatial and temporal resolution and extent are usually prohibitively expensive and time consuming, modelling studies are necessary for the management and understanding of systems over wide spatial and temporal grains and extents. However, knowledge of the appropriate grains and extents at which to model is necessary to achieve usable results.

The main aims of this research were to 1) to determine the spatio-temporal dynamics of larch bud moth populations at differing scales and 2) to investigate the influence of spatial data resolution on modelling larch bud moth dynamics and determine an optimum resolution for modelling larch bud moth dynamics in the Upper Engadine valley allowing for a balance between model complexity, output accuracy and simulation time.

Through time series analysis, in particular cross-correlation and cross-spectral analysis, we were able to confirm that patterns of synchrony at the valley scale and travelling waves at the Alpine arc scale in population cycles of larch bud moth are present but not consistent across all sites in the Upper Engadine valley.

At the Alpine arc scale, waves of larch bud moth travel from west to east across the Alpine arc. Wind-driven dispersal mechanisms in conjunction with a

gradient in habitat quality (possibly habitat connectivity) provide a feasible explanation for this phenomenon, whereas the Moran effect does not.

At the scale of the Upper Engadine valley, populations of larch bud moth are in close synchrony with one another with the exception of populations in areas to which migration is restricted due to orographical effects. This finding also confirms the hypothesis that migration is driving synchrony at the valley extent rather than the Moran effect.

We modelled larch bud moth population dynamics and migration under the same process models at the spatial extent of a single valley (The Upper Engadine valley) but with differing spatial grains: 1. that of the entire valley, 2. that of areas known as ‘sites’ which have an average area of 3.7km<sup>2</sup> and are homogeneous with respect to altitude, forest type and aspect, and 3. that of the forest compartment, which have an average area of 25 hectares. We revealed that for the larch bud moth, from these spatial grains, optimum modelling spatial grain is that of the ‘site’. However, dispersal appears to be more sensitive to wind conditions as influenced by orography at a higher spatial resolution than has been assumed previously. Thus, while larch bud moth populations should only be considered distinct at the ‘site’ level and therefore local dynamics modelled at this spatial grain, modelling of migration processes between the ‘sites’ taking into account orography at a higher resolution would produce more accurate predictions. Comparison of our time series analysis and modelling results revealed that migration is an important causal mechanism for observed patterns of synchrony in larch bud moth populations at the valley scale.

## ZUSAMMENFASSUNG

Seit der Zeit des Römischen Reiches verursacht der Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* GN.; Lep., Tortricidae) alle 8-10 Jahre großräumige Entnadelungen der Lärchenbäume über den gesamten Alpenbogen. Die zeitliche Dynamik der Lärchenwickler ist intensiv erforscht worden, ihrer räumlichen Verteilungen wurde aber wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Einige Studien haben die Gleichzeitigkeit der Populationzyklen innerhalb von Tälern oder Wanderwellen des Lärchenwickler über den Alpenbogen (als spezieller Fall von Synchronie) aufgezeigt. Eine genaue Quantifizierung dieser Muster stand allerdings noch aus und die Gründe für die Muster blieben unklar. Neue Forschungen legen nahe, dass Wanderungen oder regionale Umweltwechselbeziehungen (Moran Effekt) solche Muster von Gleichzeitigkeit erzeugen könnten. Das Verständnis raumzeitlicher Muster von Populationsdynamiken ist für Ökologen von allgemeinem Interesse, sowie für Management- und Erhaltungszwecke wichtig. Ökologische Feldstudien mit zeitlich sowie räumlich hoher Auflösung und grosser Ausdehnung sind normalerweise unerschwinglich teuer und mit hohem Zeitaufwand verbunden. Für das Management und für das Verstehen eines Systems mit räumlich und zeitlich hoher Auflösung und grossen Ausmassen sind daher Studien mit Modellierungsansatz notwendig. Um aussagekräftige Resultate zu erzielen ist die Kenntnis von angemessener Auflösung und Ausdehnung unentbehrlich.

Die Hauptziele der vorliegenden Forschungsarbeit waren 1) die Feststellung der Populationsdynamik des Lärchenwicklers auf unterschiedlichen Skalen in Raum und Zeit und 2) die Untersuchung des Einflusses der räumlichen Datenauflösung auf das Modellieren der Lärchenwicklerdynamik, sowie das Festlegen einer optimalen Auflösung für das Oberengadin, bei welcher Modellkomplexität, Genauigkeit und Simulationszeit im Gleichgewicht stehen sollen.

Durch Zeitreihenanalyse, insbesondere Kreuzkorrelation und Kreuzspektrumanalyse, konnten die Gleichzeitigkeit auf der Skala eines Tals und die Wanderwellen auf der Skala des gesamten Alpenbogens bestätigt werden, aber es könnte auch gezeigt werden, dass diese nicht konsistent an allen Standorten des Oberengadins auftreten.

Auf der Skala des ganzen Alpenbogens sind Wanderwellen des Lärchenwickler von Westen nach Osten festzustellen. Windgetriebene Verbreitungsmechanismen in Verbindung mit einem Gradienten der Lebensraumqualität (vielleicht Lebensraumverbund) stellen eine plausible Erklärung für dieses Phänomen dar, eher als der Moran Effekt.

Auf der Skala des Oberengadins verhalten sich die Lärchenwicklerpopulationen an verschiedenen Standorten synchron, es sei denn, die Wanderung an diese Standorte ist aus orographischen Gründen eingeschränkt. Dieses Ergebnis bestätigt auch die Hypothese, dass Migration eher die Ursache des synchronen Verhaltens auf der Talskala ist als der Moran Effekt.

Die Dynamik der Lärchenwicklerpopulationen und die Migrationsprozesse wurden innerhalb des gleichen Untersuchungsgebiets mit den gleichen Prozessmodellen modelliert, jedoch unter verschiedenen räumlichen Auflösungen: 1. ganzes Tal (Oberengadin), 2. 20 'Standorte', welche einer Durchschnittsgröße von 3.7 km<sup>2</sup> entsprechen und welche gleichartig bezüglich Höhe, Aspekt und Waldtyp sind, und 3. 424 Forstabteilungen, welche einer Durchschnittsgröße von 25 ha entsprechen. Die Ergebnisse zeigten, dass die räumliche Auflösung auf 'Standort'-Ebene die optimalsten Resultate liefert. Allerdings scheint die Verbreitung des Lärchenwicklers empfindlicher auf Windbedingungen zu sein als bisher angenommen, wenn diese bei einer höheren Auflösung durch die Orographie beeinflusst sind. Während daher die Populationen des Lärchenwickler nur auf der Skala von 'Standorten' einzeln betrachtet werden können, und das Modellieren der lokalen Dynamik bei dieser Auflösung erfolgen soll, würde die Modellierung der Wandervorgänge zwischen verschiedenen 'Standorten' präzisere Voraussagen erlauben, wenn die Orographie bei einer feineren Auflösung mit einbezogen würde. Der Vergleich unserer Zeitreihenanalyse mit Simulationsresultaten zeigte, dass Migration ein wichtiger Kausalmechanismus für die beobachteten Muster des synchronen Verhaltens des Lärchenwicklers auf der Skala einzelner Täler und des ganzen Alpenbogens ist.