

# Wissensbasierte Sortierung von Blütenpollen

W. Reisner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**7/2007**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Wissensbasierte Sortierung von Blütenpollen

DI Werner Reisner  
Profactor Produktionsforschungs GmbH

Ing. Kurt Gartlehner  
Austria Consult Beratung und Organisation

Gerhard Kopf  
IH-Tech Sondermaschinenbau u. Instandhaltung GmbH

Dr. Axel Kulcke  
Lumitech Produktion und Entwicklung GmbH

Steyr, Mai 2005

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

1	Übersicht .....	5
2	Summary .....	7
3	Kurzfassung .....	8
3.1	Einführung: .....	8
3.2	Vorarbeiten: .....	8
3.3	Projektziel: .....	9
3.4	Datenbank mit Informationen über die „Herkunft“ der Pollen.....	10
3.5	Absolute Referenzierung der Sensorsignale: .....	10
3.6	Projektergebnisse .....	10
3.7	Einpassung in die Programmlinie „Fabrik der Zukunft“: .....	12
4	Abstract .....	13
4.1	Motivation:.....	13
4.2	Foregoing work:.....	13
4.3	Project goals:.....	14
4.4	Database with information on the origin of the pollen: .....	14
4.5	Absolute referencing of the sensor signals: .....	15
4.6	Project results:.....	15
4.7	Integration into the program “Fabrik der Zukunft” .....	16
5	Projektbeschreibung:.....	17
5.1	Allgemeine Einführung in die Thematik: .....	17
5.2	Vorarbeiten: .....	17
5.3	Projektziel: .....	18
5.4	Arbeitsschwerpunkte: .....	19
5.4.1	Untersuchung von farbbestimmenden Faktoren. ....	19
5.4.2	Datenbank mit Informationen über die „Herkunft“ der Pollen.....	19
5.5	Absolute Referenzierung der Sensorsignale: .....	19
5.6	Einpassung in die Programmlinie „Fabrik der Zukunft“: .....	20
6	Methoden und Daten:.....	21
6.1	Identifikation der farbbestimmenden Faktoren:.....	21
6.1.1	Dokumentation der Produktionskette der Pollen .....	21
6.2	Datenbank erstellen:.....	23
6.2.1	Funktion Mehrdeutigkeit auflösen:.....	24
6.2.2	Pflanzennamen eingeben .....	25
6.2.3	Unbekannte Arten für spätere Bestimmung speichern .....	25
6.2.4	Name für gespeicherte Art eingeben.....	26
6.2.5	Datenbanksoftware: .....	26
6.3	Methode Sensorabgleich:.....	28
6.3.1	Auswahl Spektrometer .....	28
6.3.2	Analyse definierter Pollen.....	28
6.3.3	Tests .....	30
6.4	Abgleich:.....	30
6.5	Gesamtintegration: .....	31
6.6	Ergebnis und Ausblick:.....	32
7	Anhang:.....	33
7.1	Testaufbau:.....	33
7.2	Langzeitstabilität:.....	38
7.3	Testdatenbank: .....	38
7.4	Datenbankklassen .....	39



# 1 Übersicht

Das Hauptnahrungsmittel der Bienen ist neben dem Nektar der Pollen. Bienen sammeln Blütenpollen, indem sie diese in den sog. Pollenhöschen an den Hinterbeinen sammeln. Imker ernten diese Pollen durch Pollenfallen am Einflugloch des Bienenhauses. Die von den Bienen gesammelten 2 bis 4 mm langen Pollenklumpen werden getrocknet und vermischt verkauft.



Blütenpollen ist ein spezielles Nahrungsmittel, und es sind viele therapeutische Wirkungen beschrieben worden. Besonders in der Allergieforschung spielen Blütenpollen eine entscheidende Rolle, da für ca. 48% aller Allergien beim Menschen Blütenpollen verantwortlich gemacht werden.

Trotz dieses hohen Potentials ist der Markt für diese Mischungen von Pollenhöschen sehr klein, da die Wirkung auf Grund der **Mischung vieler Arten** schwer zu erforschen und zu spezifizieren ist. Um diesem nachwachsenden Naturprodukt einen breiten Markt zu erschließen, ist es notwendig, die Blütenpollen **nach ihren Arten zu sortieren**.



In vorhergehenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten (Lebensmittelcluster OÖ, Fabrik der Zukunft 2. Ausschreibung) konnte eine Sortiermaschine gebaut und patentiert werden die es ermöglicht eine hochgenaue Trennung der Pollen nach Pflanzenarten durchzuführen. Mit dieser Maschine können ca. 1000kg Pollen pro Jahr sortiert werden.

## *Projektziele:*

Ziel des gegenständlichen Projektes war es zusätzlich zu dieser Trennung nach Pflanzenarten auch eine wissensbasierte Artbestimmung durchzuführen. Dies ermöglicht es schon dem Produzenten sortenreiner Pollen (Bsp. Imkervereinigung) eine erste Bestimmung der Arten ohne aufwendige Laboruntersuchungen durchzuführen.

Um dieses Ziel zu erreichen, waren folgende grundlegende Fragestellungen zu klären:

1. Welche zusätzlichen Größen der getrennten Pollen können automatisch in der Sortiermaschine erhoben werden, um eine Artenbestimmung möglich zu machen.
2. Welche Daten über die Pollen müssen von einer Datenbank bereitgestellt werden, um zusammen mit den gemessenen Größen eine Artbestimmung möglich zu machen (Bsp. Region, Erntezeitpunkt, Trocknungsdauer,...).

## *Projektergebnisse:*

Notwendig für eine Artenbestimmung ist die Kalibrierung des Gesamtsystems auf Grund der Toleranzen und Einflussfaktoren des Farbsensors. Eine Ermittlung des Spektrums der Beleuchtung und eine anschließende Korrektur des Farbraumes ist daher in definierten Intervallen notwendig. Es konnte eine entsprechende Kalibrieremethode erarbeitet werden.

Weiters müssen die Einflussfaktoren auf die Farbe der Pollen bekannt sein. Als Haupteinflussfaktoren für die Farbe der Pollen konnte im gegenständlichen Projekt der Erntezeitpunkt sowie die Region aus der die Pollenhöschen stammen ermittelt werden. Einflussfaktoren, die die Trocknung und Lagerung betreffen konnten nicht als signifikante Einflussfaktoren erkannt werden. Somit müssen für eine Artenbestimmung Herkunft und Erntezeitpunkt aufgezeichnet werden und der Sortiermaschine bereitgestellt werden.

Es wurde daher eine einfache Datenbank implementiert, die zur Laufzeit der Sortierung die entsprechenden Informationen zur Verfügung stellt und zusammen mit den Farbwerten eine Artenbestimmung ermöglicht.

## 2 Summary

Pollen is the principal food of the bees besides the nectar. Bees collect pollen in pockets on the back legs.

Bee keepers gather the pollen lumps with a trap at the entrance of the bee hive. The pollen lumps are about 2 -4 mm long and will be dried and sold in a mixed form.



This pollen is a valuable natural product with a multitude of applications in medicine and pharmacy but also as an adjunct for food. Especially in the allergy research pollen plays an important role, since pollen is held responsible for approx. 48% of all allergies.

In spite of this high potential the market for mixtures of pollen is very small, because of the difficulties with the investigation of the effects of pollen mixtures. To get new applications and markets it is necessary to sort the pollen according to the plant species.



In preceding research projects (Lebensmittelcluster OÖ, Fabrik der Zukunft 2nd call) a sorting machine was built and patented that was able to separate pollen according to the plant species with a very high purity and a flow rate of the approx. 1000kg per year.

### *Project goals:*

Goal of this project was a knowledge based determination of the plant species of the sorting result additional to the separation of the species. This allows the producer of sorted pollen (e.g. consortium of bee keepers) a first determination of the plant species without costly laboratory tests.

To reach this goal the following questions had to be answered:

1. Which data has to be collected in the sorting machine to allow a determination of the species.
2. Which additional information about the pollen must be stored in a database to allow a determination of the species together with the measurements in the sorting machine

### *Results:*

Essential for the determination of the species is the calibration of the whole system due to the tolerances and factors of influence of the color sensor. An identification of the spectrum of the illumination and a following correction of the color space is therefore necessary in defined intervals. One of the results of the project is such a calibration method.

Furthermore the factors of influence on the color of the pollen have to be known. As a main factor of influence on the color of the pollen, the date of gathering and the gathering region have been identified. Factors of influence concerning the drying and the storage of the pollen are of lower significance for the color. Hence the origin and the date of gathering have to be documented and fed into the sorting machine to enable a unique species determination.

Hence a simple database was implemented, which provides the appropriate data during the runtime of the sorting machine to allow an identification of the plant species together with the color values.

## 3 Kurzfassung

### 3.1 Einführung

Das Hauptnahrungsmittel der Bienen ist neben dem Nektar der Pollen. Bienen sammeln Blütenpollen, indem sie ihren Körper mit diesem einpudern. Danach beginnen sich die Bienen zu putzen und speichern den Pollen in ihren Pollenkörbchen an den Hinterbeinen, indem sie diesem etwas Honig beimischen (Bild rechts). Die heimkehrenden Bienen sehen aus als ob sie Höschchen anhätten, weshalb diese auch so benannt werden. Imker ernten Pollen meist indem beim Flugloch Lochgitter angebracht werden. Bei der Durchquerung dieser fallen die Pollen von den Pollenkörbchen in Behälter ab. Die von den Bienen gesammelten 2 bis 4 mm langen Pollenklumpen werden getrocknet und vermischt verkauft.



Der Pollen beinhaltet ca. 4% Wasser (getrocknet), 15 -35% Kohlenhydrate (Zucker), ca. 5% Lipide (Fette), 6 - 35% Proteide davon ein großer Anteil von Aminosäuren (Aspartansäure, Glutaminsäure, Alanin, Arginin, Cystin,...), Mineralstoffe, Provitamin A, Vitamin B1, B2, B6, B12, Vitamin C, D, E, Enzyme und Fermente. Er ist ein spezielles Nahrungsmittel, und es sind viele therapeutische Wirkungen beschrieben worden. Besonders in der Allergieforschung spielen Blütenpollen eine entscheidende Rolle, da für ca. 48% aller Allergien beim Menschen Blütenpollen verantwortlich gemacht werden.



Trotz dieses hohen Potentials ist der Markt für diese Mischungen von Pollenhöschchen sehr klein, da die Wirkung auf Grund der **Mischung vieler Arten** schwer zu erforschen und zu spezifizieren ist. Um diesem nachwachsenden Naturprodukt einen breiten Markt zu erschließen, ist es notwendig, die Blütenpollen **nach ihren Arten zu sortieren**. Damit entsteht ein Produkt, das zur Zeit nirgends auf der Welt erhältlich ist, nämlich sortenreiner Blütenpollen. Es ergeben sich nicht nur zahlreiche Anwendungen im Bereich der Medizin und Pharmazie, sondern auch Anwendungen als Lebensmittel oder Lebensmittelbeigabe, da der Pollen (Bild rechts) ein hochwertiges Naturprodukt ist.

### 3.2 Vorarbeiten

In einem Kooperationsprojekt im Rahmen des Lebensmittelclusters OÖ wurde eine Sortiermaschine gebaut und patentiert, die die Pollenklumpen greifen und in entsprechende Behälter ablegen kann. Aufbauend auf den Erkenntnissen konnte in einem Projekt der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ des BMVIT eine Sensorik und ein Auswertalgorithmus entwickelt werden die es ermöglichen eine hochgenaue Trennung der Pollen nach Pflanzenarten zu ermöglichen. Mit diesen Ergebnissen konnte eine zweite Maschine gebaut werden, mit einer Jahresleistung von ca. 1000kg sortierter Pollen.



Pollensortiermaschine

### **3.3 Projektziel**

Ziel dieses Projektes war es, für diese Maschine zur Trennung nach Pflanzenarten Komponenten zur wissensbasierten Artbestimmung zu entwickeln. Dies ermöglicht es schon dem Produzenten sortenreiner Pollen (Bsp. Imkervereinigung) eine erste Bestimmung der Arten ohne aufwendige Laboruntersuchungen durchzuführen.

Da in der Sortiermaschine für die Artentrennung bereits präzise Farbwerte für die Pollenhöschen ermittelt werden, wurde in diesem Projekt versucht auch eine Artenbestimmung mit Hilfe dieser Farbwerte durchzuführen

Da das Spektrum der Pollen nicht nur von der Pflanzenart abhängt, sondern auch von natürlichen Einflussfaktoren, müssen für eine Bestimmung der Pflanzenart nach der Farbe auch alle diese Einflussfaktoren mitberücksichtigt werden. D.h. dass ein, von der Maschine ermittelter Farbwert mit Hilfe dieser Herkunfts-informationen korrigiert werden muss, um eine eindeutige Pflanzenart zu identifizieren.

Darüber hinaus besitzen alle elektronischen Komponenten Toleranzen, die durch einen Kalibriervorgang mit einem absolut genauen Messgerät eingerechnet werden müssen um einen, für eine bestimmte Farbe, über einen langen Zeitraum konstanten Farbwert ermitteln zu können.

Um diese Ziele zu erreichen, waren daher folgende grundlegende Fragestellungen zu klären:

1. Welche zusätzlichen Größen der getrennten Pollen können automatisch in der Sortiermaschine erhoben werden, um eine Artenbestimmung möglich zu machen.

2. Welche Daten über die Pollen müssen von einer Datenbank bereitgestellt werden, um zusammen mit den gemessenen Größen eine Artbestimmung möglich zu machen (Bsp. Region, Erntezeitpunkt, Ernte-Wetterlage, Trocknungsdauer,...).

### **3.4 Datenbank mit Informationen über die „Herkunft“ der Pollen**

Um eine eindeutige Zuordnung eines gemessenen Farbwertes zu einer Pflanzenart durchzuführen, müssen alle Einflussgrößen auf diesen Farbwert bekannt sein. Wenn beispielsweise Löwenzahnpollen aus der Region A andere Farbwerte besitzt wie Löwenzahn aus der Region B und dieser einem Farbwert einer anderen Art aus der Region A gleicht, so muss für eine eindeutige Artenbestimmung die Region bekannt sein.

Diese zusätzlichen Informationen müssen von einer Datenbank bereit gestellt werden, die zur Laufzeit (also am Ende des Sortiervorganges) alle benötigten Informationen (etwa Ernteregion) vom Maschinenbenutzer erhält und damit zusammen mit den Farbwerten des Farbsensors eine Artenbestimmung durchführt.

Aus diesem Grund wurde im gegenständlichen Projekt eine einfache Datenbank implementiert, die in einer geführten Eingabe (Wizard) die entsprechenden Informationen vom Maschinenbenutzer erfragt und die Daten entsprechend aufbereitet.

Folgende Daten waren zunächst potentiell farbwirksame Einflussfaktoren und wurden daher im Rahmen des Projektes untersucht:

- Ernteregion
- Erntezeitpunkt
- Trocknungsdauer (Feuchtigkeitszustand)

### **3.5 Absolute Referenzierung der Sensorsignale**

Nicht nur die natürlichen Einflussfaktoren verändern den Farbwert einer bestimmten Pflanzenart, sondern auch Einflussfaktoren die durch die Messung bedingt sind. Dies betrifft vor allem die Elektronik des Farbsensors, als auch Schwankungen in der Beleuchtung (z.B. Alterung der Lampe). D.h. die Sensorsignale müssen reproduzierbar sein, das Signal eines Messobjektes muss also unter verschiedenen Bedingungen (Beleuchtung, Toleranzen der Bauteile,...) die selben Werte annehmen.

Die bisher zur Artentrennung verwendete Methode des Clusters benötigt diese absolute Referenzierung nicht. Clustering arbeitet nur mit der „Ähnlichkeit“ von Objekten in einem definierten Zustandsraum. Daher muss die bestehende Sensorik durch einen spektrometrischen Sensor erweitert werden. Dieser wird dazu verwendet das Farbsignal der Kamera zu kalibrieren.

### **3.6 Projektergebnisse**

Im Projekt wurden wie erwähnt die Einflussfaktoren

- Ernteregion
- Erntezeitpunkt
- Trocknungsdauer (Feuchtigkeitszustand)

untersucht, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch andere Faktoren existieren, die die Farbe der Pollenhöschen beeinflussen können. Dieses Wissen kann nur durch Beobachtung über einen langen Zeitraum im Sortierbetrieb der Maschine erlangt werden. Es wurden daher alle Komponenten so ausgelegt, dass eine einfache Erweiterung um neue Merkmale vorgenommen werden kann.

Um den Einfluss der Trockungsdauer zu ermitteln wurde ein Testaufbau gebaut, der eine Trocknung der Pollen über einen längeren Zeitraum mit zwischenzeitlicher Messung des Farbwertes ermöglichte. Dabei konnte keine signifikante Farbänderung während des Trocknungsprozesses mit Warmluft festgestellt werden. Auch ein künstliches starkes Anfeuchten der Pollenhöschen veränderte das Spektrum nur innerhalb der Messgenauigkeit.

Um den Einfluss des Erntezeitpunktes festzustellen wurde ein Pollentestdatensatz verwendet, der unterschiedliche Arten die zu unterschiedlichen Zeitpunkten in ein und der selben Region geerntet wurden enthielt. Es konnte festgestellt werden, dass die Farbe der Pollenhöschen je nach Erntezeitpunkt zum Teil erheblich variierte. Für eine Artenbestimmung auf Grund des Spektrums ist daher die Kenntnis des Erntezeitpunktes notwendig!

Um den Einfluss der Region zu ermitteln wurde versucht Testpollensätze aus verschiedenen Regionen (Waldviertel, Ennstal) miteinander zu vergleichen. Die besondere Schwierigkeit bestand im Vergleich der Daten, da in diesen Regionen auch die Blütezeitpunkte (und damit die Erntezeitpunkte) unterschiedlich waren. Um diese Korrelation der Region mit dem Erntezeitpunkt zu berücksichtigen wurden statistische Methoden verwendet, die aber auf Grund der Kleinheit der Stichproben (2 verschiedene Regionen, 3 verschiedene Erntezeitpunkte, ca. 20 Pollenhöschen/Region/Zeitpkt.) keine signifikanten Ergebnisse brachten. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass die Region einen Einfluss auf das Spektrum hat.

Basierend auf dieser Erkenntnis wurde eine Datenbank implementiert, die über eine geführte Benutzereingabe die Einflussgrößen (etwa Kalenderwoche) erfragt um am Ende eines Sortiervorganges eine automatische Zuordnung von Farbwerten zu Pflanzenarten unter Berücksichtigung der Einflussgrößen zu erhalten. Diese Datenbank ist in die Sortiermaschine integriert und kann vom Maschinenbenutzer einfach erweitert werden, indem neue Pflanzenarten eingetragen werden. Berücksichtigt sind auch Mehrdeutigkeiten.

Um die Größe und den Einfluss der Toleranzen und Schwankungen der zur Farbmessung verwendeten Komponenten zu ermitteln wurde nach einer Kalibrierung eine Langzeitmessung durchgeführt. Über einen Zeitraum von 8 Tagen wurden in definierten Intervallen Messungen der selben Objekte durchgeführt und mit den exakten Ergebnissen einer Messung mit einem Spektrometer verglichen. Es konnte festgestellt werden, dass der entscheidende Farbwert (Hue) in dieser Zeitspanne kaum Schwankungen zeigte, was auf eine gute Langzeitstabilität der verwendeten Komponenten hindeutet. Als erste Näherung für einen Testbetrieb nach dem Ende des gegenständlichen Projektes kann daher ein Kalibrierintervall von einem Monat angestrebt werden.

### **3.7 Einpassung in die Programmlinie „Fabrik der Zukunft“**

Das gegenständliche Projekt erfüllt in besonderem Maß die Grundprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung.

Blütenpollen sind eine Rohstoffquelle für zahlreiche Substanzen, die in der Medizin und Naturheilkunde Verwendung finden. Besonders die natürliche Mischung von Wirksubstanzen durch Verwendung einer natürlichen Rohstoffquelle hat bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Organismus einen steigenden Stellenwert. Damit stellt die Verwendung von Blütenpollen eine nutzenorientierte Technologie dar.

Da die Pollenhöschen bisher nur in einem sehr geringen Prozentsatz genutzt werden konnten, stellt jede zusätzliche Verwendbarkeit dieses Stoffes eine Steigerung der Effizienz dar. Die Sortierung von Pollen bedarf nur eines winzigen Energie und Zeitaufwandes im Vergleich zur Produktion von Wirkstoffen in üblichen biotechnologischen Produktionsketten.

Die Imkerei ist beinahe überall in Österreich zu Hause, damit passt sich das Sammeln und Aufbereiten von Blütenpollen, die von Bienen gesammelt werden, in vorhandene Strukturen perfekt ein, was ebenfalls ein wichtiger Bestandteil nachhaltiger Technologieentwicklung ist.

Das Sammeln von Blütenpollen durch Bienen ist als wichtiger Bestandteil des natürlichen Ökosystems an sich robust gegen Fehler. Die Verwendung von Stoffen aus heimischen Pflanzen garantiert eine gewisse Krisenfestigkeit.

Darüber hinaus kann die Verwendung der bisher beinahe ungenutzten Blütenpollen für die Imker eine neue Einkommensquelle schaffen. Dies kann besonders in abgelegenen ländlichen Regionen (Bsp. Alpen) mit einer sauberen natürlichen Umwelt eine signifikante Einkommensverbesserung bedeuten.

## 4 Abstract

### 4.1 Motivation

Pollen is the principal food of the bees besides the nectar. Bees collect pollen by powdering their body with the pollen. Afterwards the bees clean themselves and store the pollen in pockets on the back legs.

Bee keepers gather the pollen lumps with a trap in the entrance of the bee hive. The pollen lumps are about 2 -4 mm long and will be dried and sold in a mixed form.



This pollen is a valuable natural product with a multitude of applications in medicine and pharmacy but also as an adjunct for food. The exact effect on humans is the subject of research work in Austria but also abroad.

In spite of this high potential the market for mixtures of pollen is very small, because of the difficulties with the investigation of the effects of pollen mixtures. To get new applications and markets it is necessary to sort the pollen according to the plant species. This creates a new product that is not available in the world up to now – sorted pollen.

Numerous applications not only in the medicine and pharmacy but also in the aliment industry are possible.



### 4.2 Foregoing work

In a cooperative project within the Lebensmittelcluster OÖ a sorting machine was built and patented, that was able to grip pollen lumps and deposit it in a series of boxes. Within the funding program “Fabrik der Zukunft” of the BMVIT a sensor system and a processing unit was developed that made it possible to separate the pollen according to the plant species with high precision. With these results a second machine was built, with a performance of more than 1000kg of sorted pollen per year.

### **4.3 Project goals**

Additional to this separation of the pollen according to the plant species the goal of this project was the development of components for a knowledge based determination of the plant species. This allows the producers of sorted pollen (e.g. association of bee keepers) to identify the species of the plants without a costly laboratory test.

Since the sorting machine calculates precise colour values of the pollen lumps for the separation task, the project aimed at an identification of the species based on these colour values.

The main problem with this approach is, that the spectrum of the pollen depends not only on the plant species, but also on natural factors of influence. These factors of influence have to be taken into account when determining the species based on colour values. That means, that a colour value calculated by the sensor system has to be corrected depending on a kind of 'origin information' to identify a unique plant species.

Furthermore all electronic components have tolerances that must be adjusted with a calibration procedure. This procedure is based on absolute accurate measurements with a calibration hardware, so that the machine can provide a stable color value over a long period.

Recapitulating, the following questions had to be answered:

1. Which measurements of the sorted pollen can be made in the sorting machine to allow an identification of the species.
2. Which data of the pollen have to be collected in a data base additionally to the colour values to allow an identification of the species

### **4.4 Database with information on the origin of the pollen**

To get a unique correlation between measured color values and plant species all factors of influence on the color values have to be identified. If for example dandelion from region A has different color values than dandelion from region B but the same color values than another species from region B the knowledge of the region has to be known to identify the species.

This additional information must be provided by the operator at run time (at the end of the sorting task). It is then possible to search a database for plant species that have the measured color values and fit to the 'origin-data' the operator has defined.

For that purpose a simple data-base was implemented in this project, that provides a guided input procedure (Wizard). In this wizard the information about the pollen is requested and the results are displayed in a simple way.

The following potentially color-effective factors of influence have been considered in the current project:

- Collection region
- Collection date
- Drying duration

#### **4.5 Absolute referencing of the sensor signals**

Not only the natural factors of influence on the pollen can change the color values of a given species, but also factors of influence on the measurement. The electronics of the color sensor as well as the illumination have tolerances and fluctuations (e.g. the deterioration of a lamp,...). But for a species determination the sensor signals have to be reproducible, that means that the signal of a given object must have the same values under different conditions (tolerances, illumination,...).

The method developed for the separation of the objects (clustering) does not need such an absolute interpretation of the signal. Clustering simply needs the similarity of objects in a defined state space. Hence it is necessary to extend the existing sensor system with a spectrometric sensor, that will be used to calibrate the color signal of the camera.

#### **4.6 Project results**

As mentioned above the factors of influence

- Collection region
- Collection date
- Drying duration

were investigated. It can not be ruled out, that there are more factors of influence that can change the color of the pollen significantly. The knowledge about this factors can just be obtained when watching the sorting process over a long period. Because of this the components of the software have been designed to be easily extendable.

To detect the influence of the drying duration a simple test bed was built that made it possible to dry the pollen over a longer period with interim measurement of the color. To sum up it was not possible to find a significant correlation between color changes and the drying duration with hot air. Moreover it was not possible to change the color with moistening the pollen lumps.

To detect the influence of the collection date a pollen test-sample was defined that contained species that were collected at different dates in the same region. It could be shown, that the color of the pollen lumps varies a lot between the different collection dates. For an identification of the species based on the spectrum the knowledge of the collection date is therefore required.

To identify the influence of the region testpollen samples from different regions were collected and compared. The special difficulty is the comparability of the data, since there are significant differences in the blooming dates between the different regions. To consider this correlation between region and dates, statistical methods were

applied. Because of the smallness of the sample (2 different regions, 3 different blooming dates, approx. 20 pollen lumps/region/date) no significant results could be obtained. Hence it can not be ruled out, that the region has a significant influence to the spectrum.

Based on these insights, a database was implemented that asks for all factors of influence with a guided user interface (wizard) to automatically correlate the color values with the species at the end of the sorting procedure having regard to these factors. This database is integrated into the sorting machine and can be extended by the operator to include new species. Also ambiguity can be handled.

To determine the magnitude and the influence of the tolerances and fluctuations of the components used for the color measurement a long run test was performed after a calibration procedure. Over a period of 8 days the color values from the color sensor of the same objects were recorded and compared to the results of a spectrometric measurement. It could be observed, that the important color value 'Hue' was very stable during this period what indicates a good long run stability of the used components. As a first approximation of the calibration interval a duration of one month can be specified for a first test run.

#### ***4.7 Integration into the program "Fabrik der Zukunft"***

This project achieves very well the basic principles of sustainable technology development.

Bee pollen are valuable natural resource for many substances interesting for medical applications. Especially the usage of natural substances has an increasing meaning when looking holistic at the organism. Hence the usage of pollen is a usefulness-oriented technology.

Up to now the pollen have been used to a very small amount. That means that the usage of pollen means an increase of efficiency. The sorting of the pollen needs little energy and time compared to a production of the active agents in a common biotechnological production chain.

The apiculture is situated nearly everywhere in Austria, so that the collection and processing of pollen, collected by bees, fits perfectly to existing structures, which is also an important part of sustainable technologies.

The collection of pollen by bees is an important part of the natural ecosystem and very robust against interferences and the usage of agents out of homelike resources is quite panic-proof.

Furthermore the bee keepers have a new resource of income with selling pollen that were rarely used up to now. Especially in isolated rural regions (alps) with a clean environment this can cause a significant increase in income.

## 5 Projektbeschreibung

### 5.1 Allgemeine Einführung in die Thematik

Das Hauptnahrungsmittel der Bienen ist neben dem Nektar der Pollen. Bienen sammeln Blütenpollen, indem sie ihren Körper mit diesem einpudern. Danach beginnen sich die Bienen zu putzen und speichern den Pollen in ihren Pollenkörbchen an den Hinterbeinen, indem sie diesem etwas Honig beimischen (Bild rechts). Die heimkehrenden Bienen sehen aus als ob sie Höschchen anhätten, weshalb diese auch so benannt werden. Imker ernten Pollen meist indem beim Flugloch Lochgitter angebracht werden. Bei der Durchquerung dieser fallen die Pollen von den Pollenkörbchen in Behälter ab. Die von den Bienen gesammelten 2 bis 4 mm langen Pollenklumpen werden getrocknet und vermischt verkauft.



Der Pollen beinhaltet ca. 4% Wasser (getrocknet), 15 -35% Kohlenhydrate (Zucker), ca. 5% Lipide (Fette), 6 - 35% Proteide davon ein großer Anteil von Aminosäuren (Aspartansäure, Glutaminsäure, Alanin, Arginin, Cystin,...), Mineralstoffe, Provitamin A, Vitamin B1, B2, B6, B12, Vitamin C, D, E, Enzyme und Fermente. Er ist ein spezielles Nahrungsmittel, und es sind viele therapeutische Wirkungen beschrieben worden. Besonders in der Allergieforschung spielen Blütenpollen eine entscheidende Rolle, da für ca. 48% aller Allergien beim Menschen Blütenpollen verantwortlich gemacht werden.



Trotz dieses hohen Potentials ist der Markt für diese Mischungen von Pollenhöschchen sehr klein, da die Wirkung auf Grund der **Mischung vieler Arten** schwer zu erforschen und zu spezifizieren ist. Um diesem nachwachsenden Naturprodukt einen breiten Markt zu erschließen, ist es notwendig, die Blütenpollen **nach ihren Arten zu sortieren**. Damit entsteht ein Produkt, das zur Zeit nirgends auf der Welt erhältlich ist, nämlich sortenreiner Blütenpollen. Es ergeben sich nicht nur zahlreiche Anwendungen im Bereich der Medizin und Pharmazie, sondern auch Anwendungen als Lebensmittel oder Lebensmittelbeigabe, da der Pollen (Bild rechts) ein hochwertiges Naturprodukt ist.

### 5.2 Vorarbeiten

In einem Kooperationsprojekt im Rahmen des Lebensmittelclusters OÖ wurde eine Sortiermaschine gebaut und patentiert, die die Pollenklumpen greifen und in entsprechende Behälter ablegen kann. Diese Sortiermaschine benützte allerdings handelsübliche Farbsensoren, die nicht geeignet waren, um eine Sortenreinheit von  $\geq 90\%$  zu erreichen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen konnte in einem Projekt der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ des BMVIT eine Sensorik und ein Auswertalgorithmus entwickelt werden die es ermöglichen eine hochgenaue Trennung der Pollen nach Pflanzenarten zu ermöglichen. Mit diesen Ergebnissen konnte eine zweite Maschine gebaut werden, mit einer Jahresleistung von ca. 1000kg sortierter Pollen.



Pollensortiermaschine

### **5.3 Projektziel**

Ziel dieses Projektes war es zusätzlich zu dieser Trennung nach Pflanzenarten auch eine wissensbasierte Artbestimmung durchzuführen. Dies ermöglicht es schon dem Produzenten sortenreiner Pollen (Bsp. Imkervereinigung) eine erste Bestimmung der Arten ohne aufwendige Laboruntersuchungen durchzuführen.

Da in der Sortiermaschine für die Artentrennung bereits präzise Farbwerte für die Pollenhöschen ermittelt werden, wurde in diesem Projekt versucht auch eine Artenbestimmung mit Hilfe dieser Farbwerte durchzuführen, indem die Farbwerte Pflanzenarten zugeordnet werden. Nach Ermittlung der Farbe während des Sortiervorganges kann somit durch diese Zuordnung die Pflanzenart bestimmt werden.

Da aber das Spektrum der Pollen nicht nur von der Pflanzenart abhängt, sondern auch von natürlichen Einflussfaktoren, müssen für eine Bestimmung der Pflanzenart nach der Farbe auch alle diese Einflussfaktoren mitberücksichtigt werden. D.h. dass ein, von der Maschine ermittelter Farbwert mit Hilfe dieser Herkunfts-informationen korrigiert werden muss, um eine eindeutige Pflanzenart zu identifizieren.

Darüber hinaus besitzen alle elektronischen Komponenten Toleranzen, die durch einen Kalibriervorgang mit einem absolut genauen Messgerät eingerechnet werden müssen um einen, für eine bestimmte Farbe, über einen langen Zeitraum konstanten Farbwert ermitteln zu können.

## **5.4 Arbeitsschwerpunkte**

### 5.4.1 Untersuchung von farbbestimmenden Faktoren.

Um die Farbe der Pollen eindeutig einer Pflanzenart zuordnen zu können, müssen alle Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die die Pollenfarbe bestimmen. Um beispielsweise den Farbwert  $x/y$  der Pflanzenart A zuordnen zu können, muss sichergestellt sein, dass Pollen dieser Pflanzenart aus der Region I und der Region II die gleiche Farbe haben, und Pollen einer anderen Pflanzenart der Region II nicht den selben Farbwert besitzen. Falls dies der Fall sein sollte ist die Kenntnis der Region für eine eindeutige Zuordnung erforderlich.

Da es sich bei Pollen um ein natürliches Produkt handelt sind die Einflussfaktoren mannigfaltig. Im Projekt konnten daher nur wenige solcher Faktoren untersucht werden, die mit der Aufbereitung und dem Ort bzw. der Zeit der Ernte zusammenhängen.

Folgende Daten waren potentiell farbwirksame Einflussfaktoren und wurden daher im Rahmen des Projektes untersucht:

- Ernteregion
- Erntezeitpunkt
- Trocknungsdauer (Feuchtigkeitszustand)

Diese zusätzlichen Informationen dienen der Sortiermaschine zur Interpretation der Signale aus dem Farbsensor um eine eindeutige Zuordnung der Farbe zur Pflanzenart zu ermöglichen.

### 5.4.2 Datenbank mit Informationen über die „Herkunft“ der Pollen

Um dem Bediener einer Pollensortiermaschine für die sortierten Pflanzenarten auch eine Pflanzenart mitteilen zu können war es notwendig eine Datenbank zu implementieren die den Zusammenhang zwischen Farbwert, farbbestimmenden Einflussfaktoren und Pflanzenart beinhaltet. Am Ende eines Sortiervorganges kann mit Hilfe von Zusatzinformationen, die der Maschinenbediener eingeben muss (Erntezeitpunkt Kalenderwoche,...) die Datenbank durchsucht werden, und so eine Pflanzenart ermittelt werden.

Sollte die Suche ergebnislos verlaufen (unbekannte Pflanzenart, bzw. Pflanzenart mit neuen Faktoren) kann der Maschinenbediener nach Bestimmung der Pflanzenart mittels Laboruntersuchung (Mikroskop) die neue Pflanzenart in die Datenbank übernehmen, und so im Laufe der Zeit eine große Bestimmungssicherheit erhalten.

## **5.5 Absolute Referenzierung der Sensorsignale**

Um die Sensorsignale mit den „Herkunftsdaten“ einer Datenbank in Bezug zu bringen müssen diese reproduzierbar sein. D.h. das Signal eines Messobjektes muss unter verschiedenen Bedingungen (Beleuchtung, Toleranzen der Bauteile,...) die selben Werte annehmen. Die bisher zur Artentrennung verwendete Methode des Clusters benötigt diese absolute Referenzierung nicht. Clustering arbeitet nur mit der „Ähnlichkeit“ von Objekten in einem definierten Zustandsraum. Daher muss die bestehende Sensorik durch einen spektrometrischen Sensor erweitert werden. Dieser wird dazu verwendet das Farbsignal der Kamera zu kalibrieren.

Da der Farbsensor integrale Werte der Farbe liefert, wurde der Weg über die CIE Farbwerte gewählt, um das gemessene Spektrum mit den Farbwerten vergleichen zu können.

## **5.6 Einpassung in die Programmlinie „Fabrik der Zukunft“**

Das gegenständliche Projekt erfüllt in besonderem Maß die Grundprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung.

Blütenpollen sind eine Rohstoffquelle für zahlreiche Substanzen, die in der Medizin und Naturheilkunde Verwendung finden. Besonders die natürliche Mischung von Wirksubstanzen durch Verwendung einer natürlichen Rohstoffquelle hat bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Organismus einen steigenden Stellenwert. Damit stellt die Verwendung von Blütenpollen eine nutzenorientierte Technologie dar.

Da die Pollenhöschen bisher nur in einem sehr geringen Prozentsatz genutzt werden konnten, stellt jede zusätzliche Verwendbarkeit dieses Stoffes eine Steigerung der Effizienz dar. Die Sortierung von Pollen bedarf nur eines winzigen Energie und Zeitaufwandes im Vergleich zur Produktion von Wirkstoffen in üblichen biotechnologischen Produktionsketten.

Die Imkerei ist beinahe überall in Österreich zu Hause, damit passt sich das Sammeln und Aufbereiten von Blütenpollen, die von Bienen gesammelt werden, in vorhandene Strukturen perfekt ein, was ebenfalls ein wichtiger Bestandteil nachhaltiger Technologieentwicklung ist.

Das Sammeln von Blütenpollen durch Bienen ist als wichtiger Bestandteil des natürlichen Ökosystems an sich robust gegen Fehler. Die Verwendung von Stoffen aus heimischen Pflanzen garantiert eine gewisse Krisenfestigkeit.

Darüber hinaus kann die Verwendung der bisher beinahe ungenutzten Blütenpollen für die Imker eine neue Einkommensquelle schaffen. Dies kann besonders in abgelegenen ländlichen Regionen (Bsp. Alpen) mit einer sauberen natürlichen Umwelt eine signifikante Einkommensverbesserung bedeuten.

## 6 Methoden und Daten

Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Testaufbauten und Berechnungsmethoden ist im Anhang gegeben. In den folgenden Kapiteln werden die Testmessungen und Ergebnisse zusammengefasst.

### 6.1 Identifikation der farbestimmenden Faktoren

Die Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Pollenfarbe war Inhalt des Arbeitspakets 1 und gliederte sich in zwei Tasks:

1. Dokumentation der Produktionskette der Pollen
2. Einflussfaktoren auf das Spektrum der Pollen extrahieren

#### 6.1.1 Dokumentation der Produktionskette der Pollen

Das Sammeln der Pollenhöschen erfordert größte Reinlichkeit. Frischpollen ist ein sehr leicht verderbliches Produkt mit einem Wassergehalt von 20 bis 35% und muss zur Konservierung entweder bis auf einen Restwassergehalt von 5 bis 8% getrocknet oder tiefgekühlt werden.

Die Trocknung soll bei einer Temperatur zwischen 30-40 Grad erfolgen und in 2 bis 3 Tagen abgeschlossen sein. Bei höheren Temperaturen werden die wertvollen Inhaltsstoffe des Pollens zerstört. Mit stärkeren Verlusten an ätherischen Ölen ist bereits ab einer Temperatur von 30 Grad zu rechnen. Pollen ist stark hygroskopisch. Lichtempfindliche Inhaltsstoffe des Pollens (Provitamin A, Vitamine der B-Gruppe) werden durch eine Trocknung mit Sonnenlicht bzw. Infrarotlicht teilweise zerstört.

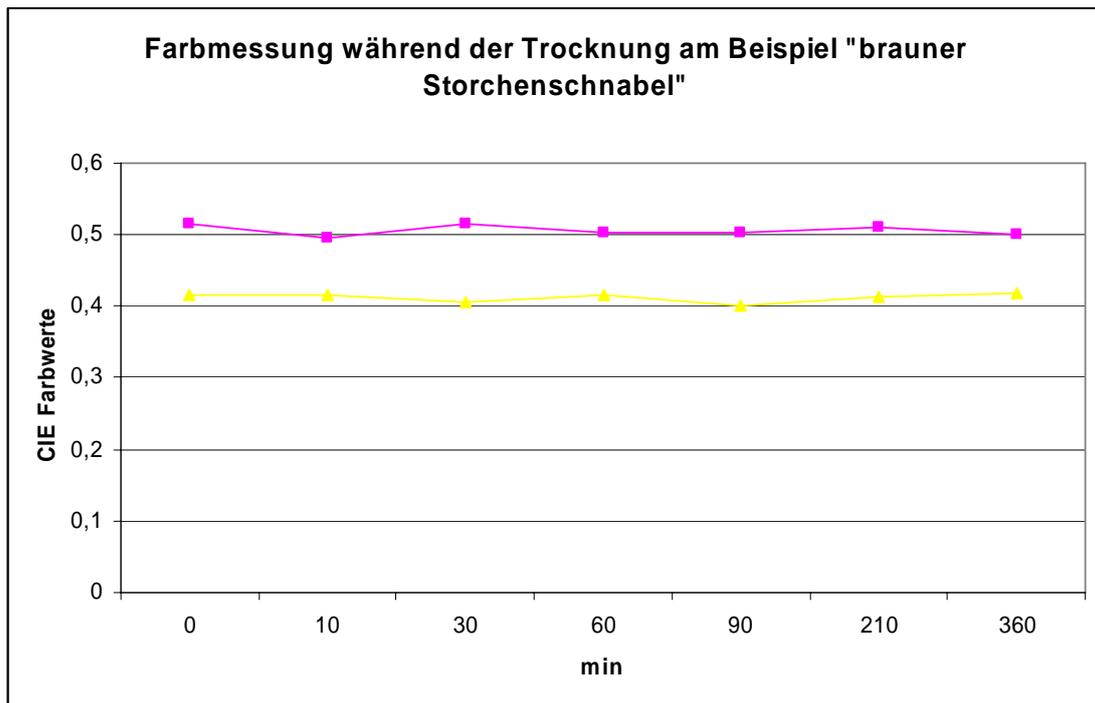
Der Pollen wird kühl und trocken, gut verschlossen und dunkel gelagert werden. Bei längerer Aufbewahrung ist zu beachten, dass der Pollen durch den Fettanteil ranzig und damit für den menschlichen Genuss ungeeignet werden kann. Tiefgekühlter Frischpollen muss nach dem Auftauen innerhalb kürzester Zeit verbraucht werden.

Einfluss Trocknung:

Die stärksten Unterschiede in der Aufbereitung der Pollen bei heimischen Imkern ergeben sich durch unterschiedliche Trocknungsmethoden. Während kleinere Imkereien (typ. Ein-Mann-Betriebe) die Pollen im warmen Luftstrom trocknen (handelsübliche Trockner für Obst...) haben größere Imkerverbände üblicherweise eine Gefriertrocknungsanlage.

Um den Einfluss der Trocknung auf die Pollen zu ermitteln wurde ein Testaufbau gebaut (Anhang 3.1) und eine Testsoftware in Matlab implementiert, um Testsätze von Pollen damit zu vermessen. Dabei wurde das Spektrum des Pollenhöschens während der Trocknung in definierten Intervallen aufgenommen. Die Matlab Testsoftware rechnet die mittels Spektrometer gemessenen Werte in CIE Farbwerte um, die die Basis für einen Vergleich der einzelnen Messungen bilden.

Ergebnis:

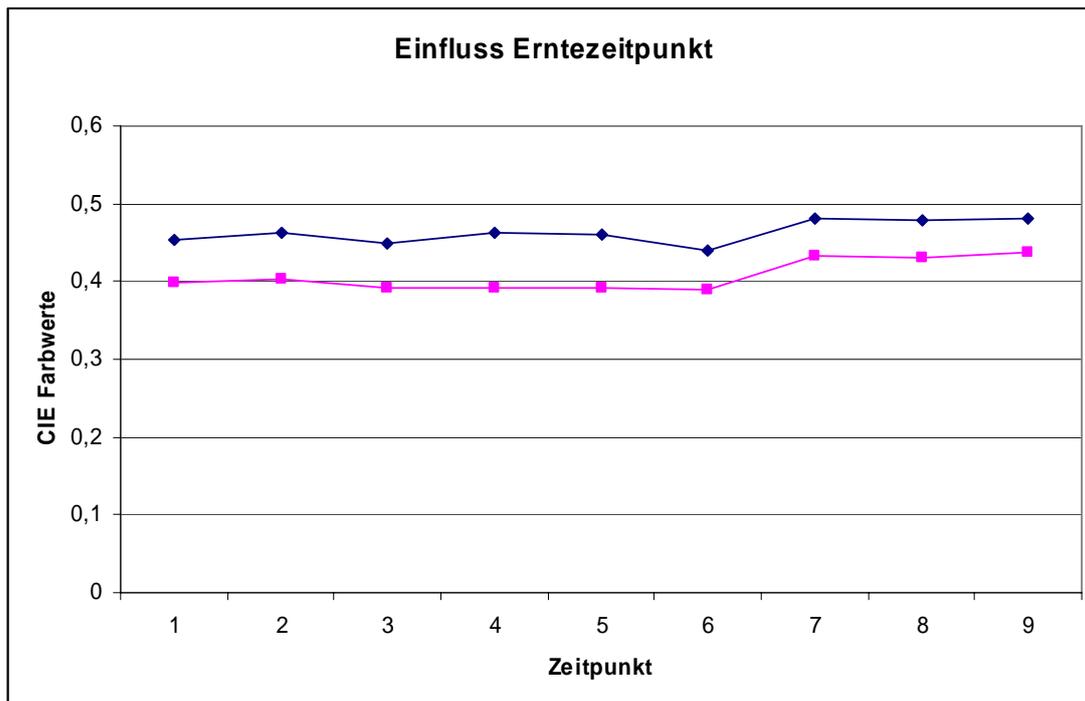


Es konnten keine signifikanten Farbänderungen während des Trocknungsprozesses mit Warmluft festgestellt werden. Auch ein künstliches starkes Anfeuchten der Pollenhöschen veränderte das Spektrum nur innerhalb der Messgenauigkeit.

Einfluss Erntezeitpunkt:

Um den Einfluss des Erntezeitpunktes zu ermitteln wurden Testpollensätze aus einer Region zu verschiedenen Erntezeitpunkten mit dem im Anhang beschriebenen Testaufbau verglichen:

Bsp.: Region Ennstal/Nationalpark Kalkalpen, Rosskastanie Erntezeitpunkt: 12.5., 20.5



Man erkennt deutlich die zwei verschiedenen Erntezeitpunkte (Gruppe 1-6 und 7-9).

Ergebnis: Die Farbe der Pollenhörschen variiert je nach Erntezeitpunkt zum Teil erheblich. Für eine Artenbestimmung auf Grund des Spektrums ist daher die Kenntnis des Erntezeitpunktes notwendig!

Einfluss Region: Um den Einfluss der Region zu ermitteln wurde versucht Testpollensätze aus verschiedenen Regionen (Waldviertel, Ennstal) miteinander zu vergleichen. Die besondere Schwierigkeit bestand im Vergleich der Daten, da in diesen Regionen auch die Blütezeitpunkte (und damit die Erntezeitpunkte) unterschiedlich waren. Um diese Korrelation der Region mit dem Erntezeitpunkt zu berücksichtigen wurden statistische Methoden verwendet, die aber auf Grund der Kleinheit der Stichproben (2 verschiedene Regionen, 3 verschiedene Erntezeitpunkte, ca. 20 Pollenhörschen/Region/Zeitpkt.) keine signifikanten Ergebnisse brachten. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass die Region einen Einfluss auf das Spektrum hat.

## 6.2 Datenbank erstellen

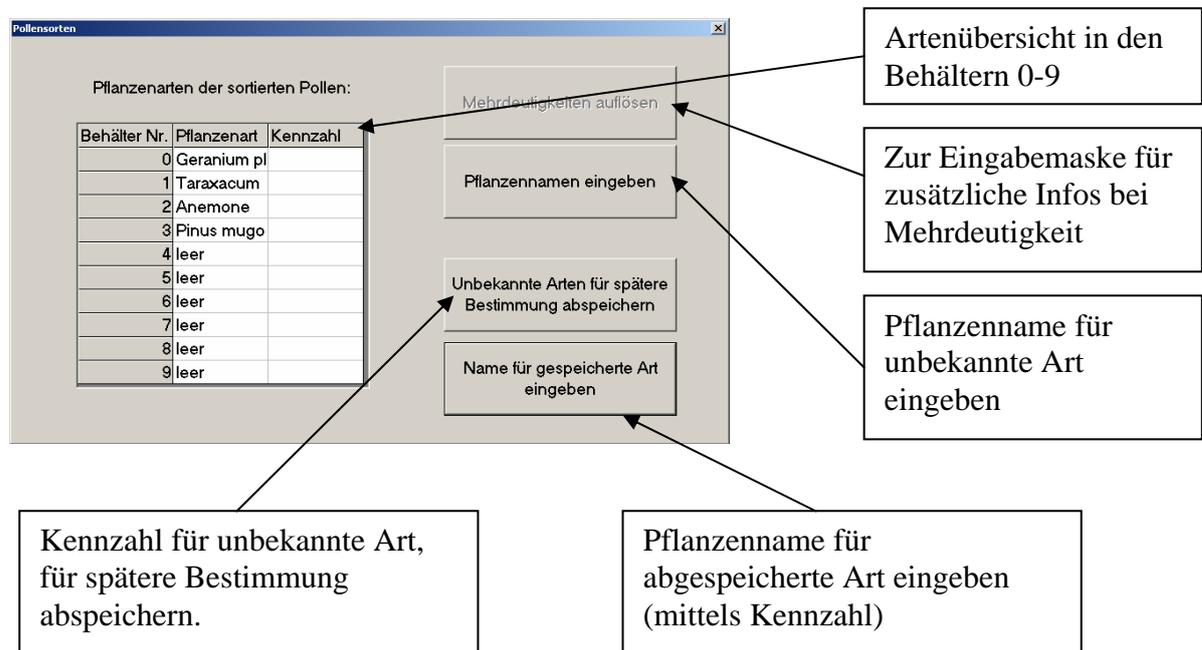
Da die in 2.1 identifizierten Einflussfaktoren maßgeblich das Spektrum der Pollenhörschen bestimmen, ist es notwendig diese Informationen für eine Bestimmung der Pflanzenarten zu berücksichtigen. Für eine automatische Bestimmung in der Sortiermaschine musste daher eine Datenbank aufgebaut werden, die gerade diese Informationen zur Verfügung stellt. Dabei mussten folgende Randbedingungen beachtet werden:

- 1) Nach einem automatischen Sortiervorgang der Sortiermaschine sollen alle Arten automatisch bestimmt werden (Schnittstelle zur Maschine!)

- 2) Der Benutzer der Sortiermaschine muss auf einfache Weise neue Arten in die Datenbank eintragen können.
- 3) Kann die Pflanzenart nicht identifiziert werden, muss der Benutzer in der Lage sein den Pflanzennamen im Nachhinein (=nach einer Bestimmung im Labor) einzugeben.
- 4) Falls das Sortierergebnis nicht eindeutig ist muss der Benutzer weitere Merkmale angeben die zu einer eindeutigen Identifizierung führen.
- 5) Die Bedienerführung soll durch einen sog. Wizard unterstützt werden. Besonderes Augenmerk muss auf eine einfache Bedienbarkeit gelegt werden.

Da die Datenbank mit der Sortiermaschine Daten austauschen muss, wurde eine Datenbanksoftware entworfen und in C++ implementiert.

Die Benutzerführung beinhaltet folgende Elemente (Eingabemasken):



### 6.2.1 Funktion Mehrdeutigkeit auflösen:

Nach dem Sortieren der Pollen können die Pflanzenarten unter Umständen noch nicht eindeutig bestimmt werden. In diesem Fall wird in der Spalte Pflanzenart beim entsprechenden Behälter „mehr Mögl.“ ausgegeben Bsp:

Pflanzenarten der sortierten Pollen:

Behälter Nr.	Pflanzenart	Kennzahl
0	mehr Mögl.	
1	Taraxacum	
2	Anemone	
3	Pinus mugo	
4	leer	
5	leer	
6	leer	
7	leer	
8	leer	
9	leer	

Durch Drücken des Buttons „Mehrdeutigkeiten auflösen“ werden zusätzliche Informationen vom Benutzer erfragt, wie Erntekalenderwoche, Ernteregion,... Falls mit diesen zusätzlichen Bestimmungsmerkmalen eine eindeutige Artenbestimmung möglich wird, wird der Pflanzennamen im entspr. Feld angezeigt.

### 6.2.2 Pflanzennamen eingeben

Pflanzenarten der sortierten Pollen:

Behälter Nr.	Pflanzenart	Kennzahl
0	mehr Mögl.	
1	unbekannt	
2	Anemone	
3	Pinus mugo	
4	leer	
5	leer	
6	leer	
7	leer	
8	leer	
9	leer	

Kann eine Pflanzenart nicht identifiziert werden erscheint in der Spalte Pflanzenart der Eintrag „unbekannt“ für den entsprechenden Behälter. Sollte der Benutzer die Pflanzenart kennen (z.B. durch Identifikation mittels Mikroskop und online-Pollendatenbank) kann er durch Drücken des Buttons Pflanzennamen eingeben den Namen in einen Eingabedialog eingeben. Dieser wird dann automatisch mit allen Bestimmungsdaten in die Datenbank der Maschine übernommen.

### 6.2.3 Unbekannte Arten für spätere Bestimmung speichern

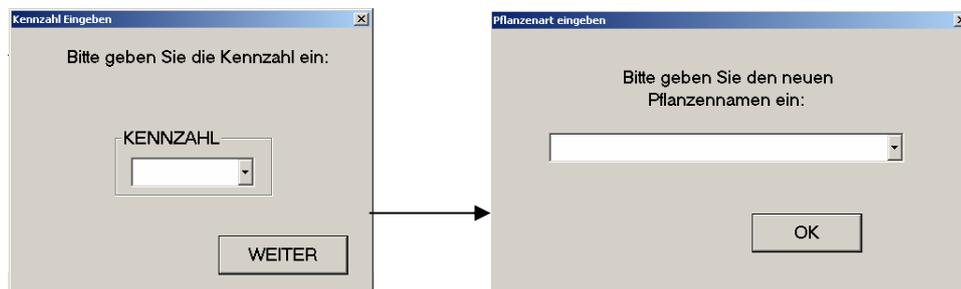
Sollte es nicht möglich sein den Pflanzennamen sofort einzugeben können die Kenngrößen (Farbwerte) der unbekanntes Art abgespeichert werden. Um diesen zu einem späteren Zeitpunkt einen Namen zuordnen zu können wird eine Kennzahl ausgegeben die sich der Benutzer notieren kann.

Pflanzenarten der sortierten Pollen:

Behälter Nr.	Pflanzenart	Kennzahl
0	saved	26111626
1	saved	26111927
2	saved	26112428
3	saved	261123-2
4	leer	
5	leer	
6	leer	
7	leer	
8	leer	
9	leer	

#### 6.2.4 Name für gespeicherte Art eingeben

Um zu einer gespeicherten unbekanntem Art den Pflanzennamen einzugeben muss der Button „Name für gespeicherte Art eingeben“ gedrückt werden. Nach Eingabe der Kennzahl kann der Pflanzename eingegeben werden. Die Pflanzenart ist in der Folge in der Datenbank gespeichert und wird bei neuerlichen Sortiervorgängen erkannt.



#### 6.2.5 Datenbanksoftware:

Inhalt des Arbeitspaketes 3 und 6 war es, die oben beschriebene und im vorausgehenden Arbeitsschritt (Softwaredesign) definierte Software in C++ zu implementieren und in die Sortiermaschine zu integrieren.

Dazu wurden die zwei C++ Klassen CPoDB und CPoDBDlg implementiert. Die Header dieser Klassen sind im Anhang angefügt. Weiter Module zum Auslesen von files und der Anzeige der Dialoge wurden implementiert bzw. adaptiert.

CPoDB enthält Methoden zum Einlesen des Datenbankfiles sowie zum Schreiben der gesamten Datenbank und einzelner neuer Einträge ( bool ReadDB(), bool WriteDB(), bool WriteDbEntry(CString &s)). Diese Klasse benötigt mehrere niedrigere Softwareschichten zum Lesen und Schreiben von files (CCsvFile,

CFile,...). Die Daten werden in eine lokale Datenstruktur (Membervariable) eingelesen und in der diese bearbeitet werden.

CPoDBDlg enthält Methoden zum Einlesen und Ausgeben der relevanten Daten (Erntekalenderwoche, Region,...) mittels graphischer Elemente (Dialoge). Diese Klasse erbt von der Klasse CDialog und CPoDB. Weiters ist der Ablauf der Benutzerführung (Wizard) in dieser Klasse implementiert. Dieser Wizard öffnet je nach Situation (eindeutiges Sortierergebnis, Mehrdeutigkeiten, unbekannte Arten,...) entsprechende Ausgabe- und Eingabefelder um für den Benutzer eine sehr einfache Bedienung zu gewährleisten. Neue Einträge werden sofort in das Datenbankfile geschrieben.

Zum temporären Ablegen von neuen Arten, die mit einer Kennzahl zur späteren Bestimmung abgespeichert werden, existiert ein zweites File. Dieses enthält die Kennzahlen, sowie die Farbwerte und bereits eingegebene Kenngrößen.

Die Software erfüllt die Punkte 1)-5) und besitzt eine einfache Schnittstelle zur Sortiermaschine. Diese Schnittstelle ist eine funktionale Schnittstelle, die eventgetriggert für jeden Sortiervorgang die Farbdaten überträgt. Während der Wizard läuft kann man keinen neuen Sortiervorgang starten, um die Datenkonsistenz sicherzustellen.

Die Sortiermaschine teilt über diese funktionale Schnittstelle der Datenbanksoftware die Sortierergebnisse (Farbwerte) mit. Die Datenbanksoftware sucht nach diesen Farbwerten. Ist das Suchergebnis eindeutig, wird der gespeicherte Pflanzename ausgegeben. Ist das Ergebnis mehrdeutig müssen vom Benutzer weitere Informationen (Erntezeitpunkt,...) abgefragt werden.

Die Datenbanksoftware ist als Klasse in C++ gekapselt und wird beim Erzeugen der Sortiermaschinensoftware dazu gelinkt. Die statischen Daten werden in einem einfachen Textfile im ASCII Format auf der Festplatte des Rechners abgelegt um ein nachträgliches einfaches Ändern der Daten durch einen Administrator zu ermöglichen.

Die Tests erfolgten mit dem vorhandenen und im Anhang beschriebenen Testdatensatz. D.h. es wurden Arten durch die Maschine laufen gelassen, deren genaue Art bekannt war. Die ermittelten Werte wurden in die Datenbank gespeichert. Nach einem weiteren Testlauf wurde ermittelt wie präzise die Artenbestimmung war. Es konnte festgestellt werden, dass die Arten Zwetschke und brauner Storchenschnabel nur mit einer Trefferquote von 82% erkannt werden konnten, da die Farbwerte im Vergleich zur Gesamtstreuung knapp beieinander liegen. Weiters konnten die Arten Wiesenschaumkraut und Bergahorn mit einer Trefferquote von 88% bestimmt werden. Die Arten Löwenzahn, Rosskastanie und Almrausch konnten mit einer Trefferquote von 92% erkannt werden. Alle anderen Arten wurden zu 100% richtig zugeordnet.

## 6.3 Methode Sensorabgleich

Da der, in der Sortiermaschine verwendete Sensor keine absolute Farbmessung durchführen kann, ist es notwendig diesen Sensor (Farbzeilenkamera) abzugleichen. Die auf diese Weise korrigierten Farbwerte der Kamera können dann mit den, in der Datenbank gespeicherten Werten verglichen werden.

### 6.3.1 Auswahl Spektrometer

Im Projekt „Entwicklung einer maschinentauglichen Identifikationsmethode für Blütenpollen“ wurden erste Versuche der Unterscheidung von Blütenpollen in verschiedenen Wellenlängenbereichen gemacht. Ein wichtiges Ergebnis dieser Untersuchungen war, dass die Unterscheidbarkeit der Pollen im Bereich des sichtbaren Lichtes am besten ist und die Erfassung des Spektrums im Infrarot- und Ultraviolettbereich daher nicht ziel führend ist. Aus diesem Grund wurden für das gegenständliche Projekt kompakte Spektrometer im Bereich des sichtbaren Lichtes betrachtet.

Folgendes Anforderungsprofil für das Spektrometer (SM) wurde erstellt:

- 1) Das SM muss den gesamten Bereich des sichtbaren Lichtes erfassen können (400-700nm)
- 2) Baugröße: Die Baugröße des SM darf 200x300x300 mm nicht überschreiten (Einbau in die Maschine!).
- 3) Das SM muss über eine serielle Schnittstelle zum PC verfügen über die das gesamte Spektrum übertragen werden kann.
- 4) Das SM muss über ein Display verfügen, an welchem der CIE Farbwert abgelesen werden kann.
- 5) Das SM muss über einen flexiblen Lichtleiter verfügen (Länge 1m), über den das, vom Objekt reflektierte Licht, übertragen werden kann.

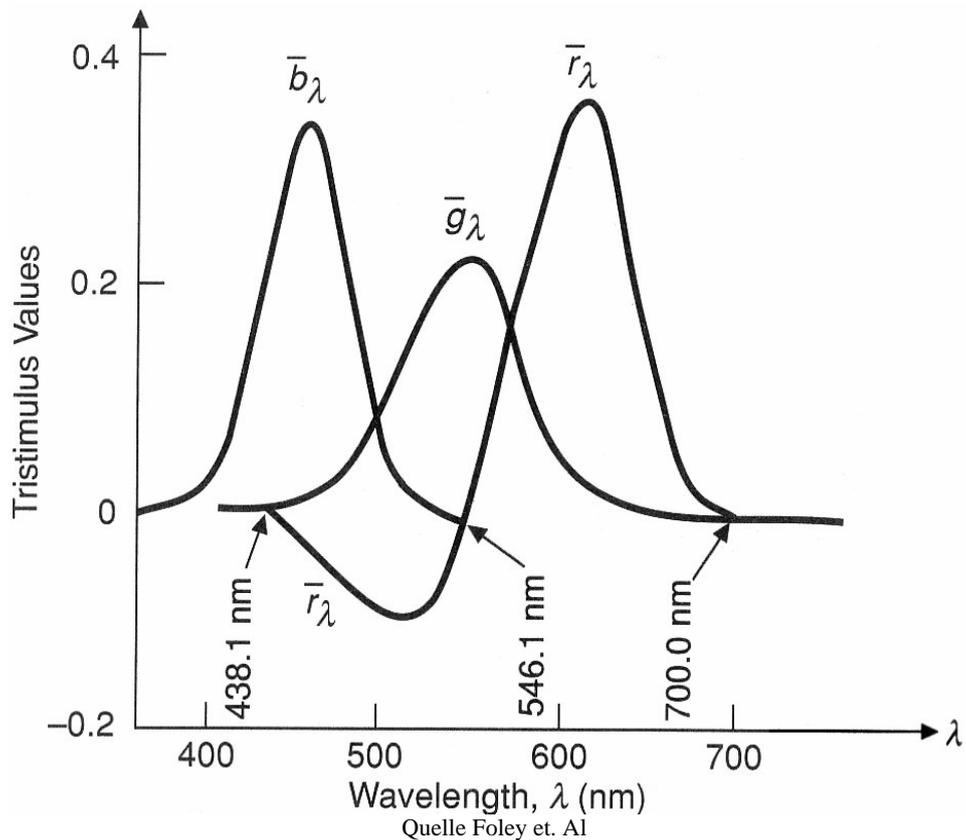
Da am Markt kein Spektrometer mit den gewünschten Spezifikationen im geforderten Preissegment gefunden werden konnte, wurde ein speziell angepasstes Spektrometer der Firma Lumitech verwendet. Lumitech modifizierte für das Projekt ein Standardgerät um die Spezifikationen 1) – 5) zu erfüllen. Diese Modifikationen betrafen den Anbau eines Lichtleiters sowie die Schnittstelle zum PC.

### 6.3.2 Analyse definierter Pollen

Um eine schnelle Artenbestimmung der Pollen in der Sortiermaschine zu gewährleisten sind in der Pollendatenbank die R, G, B Werte des Farbsensors pro Pollenart eingetragen. Diese beinhalten sowohl die Schwankung der Beleuchtung als auch die Schwankungen des Sensors. Um einen Abgleich möglich zu machen wurde daher folgende Prozedur festgelegt:

1. Aufnahme des Spektrums der Beleuchtung in der Sortiermaschine (HQI) durch Reflexion des Lichtes an definierten Objekten
2. Berechnung der CIE Farbwerte (x,y,z) aus dem Spektrum (Integration mit Tristimuluswerten)
3. Umrechnung der CIE-Werte (x,y,z) in RGB-Werte bzw. HSI-Werte
4. Aufnahme des Kamerabildes der Objekte (RGB -> HSI)
5. Berechnung der Korrekturfunktion für die HSI-Kamerawerte.

Als Referenzkörper wurden Kunststoffplättchen mit hoher Farbstabilität verwendet. Das Reflektionsspektrum dieser Plättchen wurde mittels Spektrometer aufgezeichnet. Da sich die CIE Farbwerte aus der Integration des Spektrums über bestimmte Wellenlängenbereiche und Gewichtung mittels Tristimuluskurven ergeben, wurde eine entsprechende Funktion implementiert. Weiters wurde eine Funktion implementiert, welche die CIE Farbwerte in HSI Werte umrechnet. Die so berechneten Referenzwerte sind in einer Tabelle gespeichert.



Beim Kalibriervorgang wird dieselbe Prozedur durchgeführt, wobei sich i.a. abweichende Werte von den Kalibrierwerten ergeben. Diese Abweichung ist bedingt durch Abweichungen in der Beleuchtung (Alterung der Lampe, Umgebungslicht...) und durch Toleranzen im Sensor.

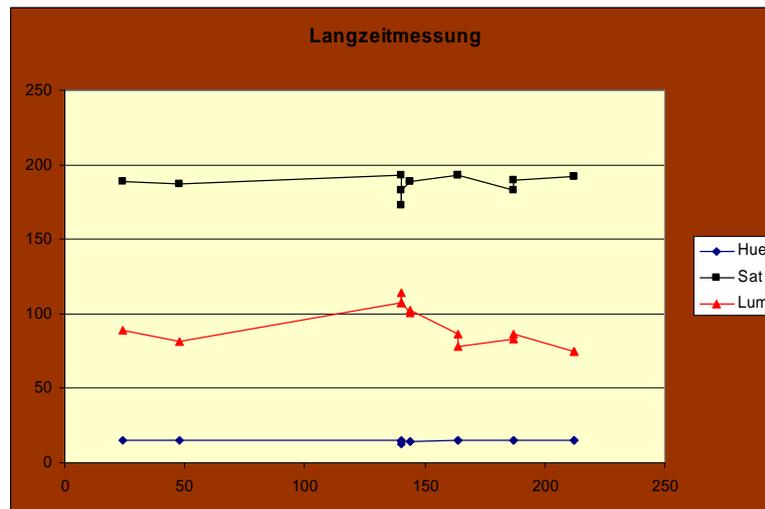
Während des Sortiervorganges werden die, vom Zeilensensor gelieferten HSI Werte mittels der gespeicherten Kalibrier-HSI-werte korrigiert und so ein Farbwert ermittelt, der mit den Werten der Datenbank verglichen werden kann. Dies ermöglicht eine Zuordnung der aktuellen Pollenfarbe zu den Pflanzenarten.

Testdatenbank:

Um diese Artenbestimmung zu testen, wurde eine Testdatenbank mit 19 Arten erstellt s. Anhang 3.3. Mit dieser Datenbank wurde getestet wie stabil die Artenerkennung im zeitlichen Verlauf ist.

### 6.3.3 Tests

Für Langzeitmessungen (Sensor, Beleuchtung) wurden nach einer Kalibrierung die Ergebnisse der korrigierten Farbwerte über einen Zeitraum von 8 Tagen aufgezeichnet. Es konnte festgestellt werden, dass der entscheidende Farbwert (Hue) in dieser Zeitspanne kaum Schwankungen zeigte, was auf eine gute Langzeitstabilität der verwendeten Komponenten hindeutet (siehe LangzeitKalib.xls). Als erste Näherung für einen Testbetrieb nach dem Ende des gegenständlichen Projektes kann daher ein Kalibrierintervall von einem Monat angestrebt werden.



Bsp.: 200 Stunden Langzeitmessung. Entscheidend für die Qualität der Artenerkennung ist die Stabilität des Farbwertes (Hue) und der Sättigung (Sat). Lum (Luminanz) zeigt die veränderten Beleuchtungsverhältnisse während der Messung an.

## 6.4 Abgleich

Um über einen langen Zeitraum hinweg die Konstanz der Farbwerte zu garantieren muss der Farbsensor in definierten Intervallen kalibriert werden. Dazu muss folgender Ablauf durchgeführt werden:

- 1) Farbe des Testkörpers mittels Spektrometer messen
- 2) Spektrum in HSI-werte umrechnen
- 3) Korrekturfunktion parametrieren

Dieser Vorgang muss sicherstellen, dass die, in der Datenbank gespeicherten und mit den Pflanzenarten in Verbindung stehenden Werten, Farbwerte für die gleiche Farbe konstant sind.

Dies betrifft vor allem Situationen, in denen Teile der Farbsensorik oder der Beleuchtung getauscht werden müssen, da sich in diesen Situationen der Farbwert stark ändern kann.

Diese Kalibrierung muss mit einem geeigneten Messgerät erfolgen, etwa einem Spektrometer. Das Spektrum kann dann mittels Integration mit Tristimuluswerten in

CIE Farbwerte umgerechnet werden, die dann z.B. in HSI Werte weiter konvertiert werden. Diese HSI Werte werden dann dazu verwendet die gemessenen (und leicht abweichenden) HSI- Werte zu korrigieren.

## **6.5 Gesamtintegration**

Im Arbeitspaket 6 wurde die Gesamtintegration aller Komponenten vorgenommen. Die Datenbanksoftware, sowie die Abgleichmethode (Korrekturfunktion) wurden in die Sortiermaschine integriert. Die entsprechenden Funktionen ( Datenbankwizzard, Artenanzeige, Kalibriermodus) können von der Bedienkonsole der Sortiermaschine aufgerufen werden. Wie im Kapitel 6.2.5 beschrieben wurden Tests mit den Pollentestsätzen vorgenommen.

## **6.6 Ergebnis und Ausblick**

Im Projekt konnten alle Grundlagen und technischen Vorbereitungen erarbeitet werden, die für eine Artenbestimmung in der Sortiermaschine erforderlich sind. Diese betreffen vor allem die

- Die Dokumentation des spektrometrischen Abgleichs des Farbsensors
- Erstellung einer Datenbanksoftware
- Die Ermittlung von wichtigen farbbestimmenden Einflussfaktoren

Der Abgleich kann mit der entwickelten Methode zufrieden stellend gelöst werden. Die Stabilität der Farbwerte ist damit für einen Dauerbetrieb ausreichend.

Die Datenbank ist geeignet (Geschwindigkeit, Größe) um die Herkunftsdaten für die Sortiermaschine bereit zu halten. Durch die einfache Benutzerschnittstelle kann der Maschinenbediener ohne zeitlichen Aufwand die Artenbestimmung durchführen.

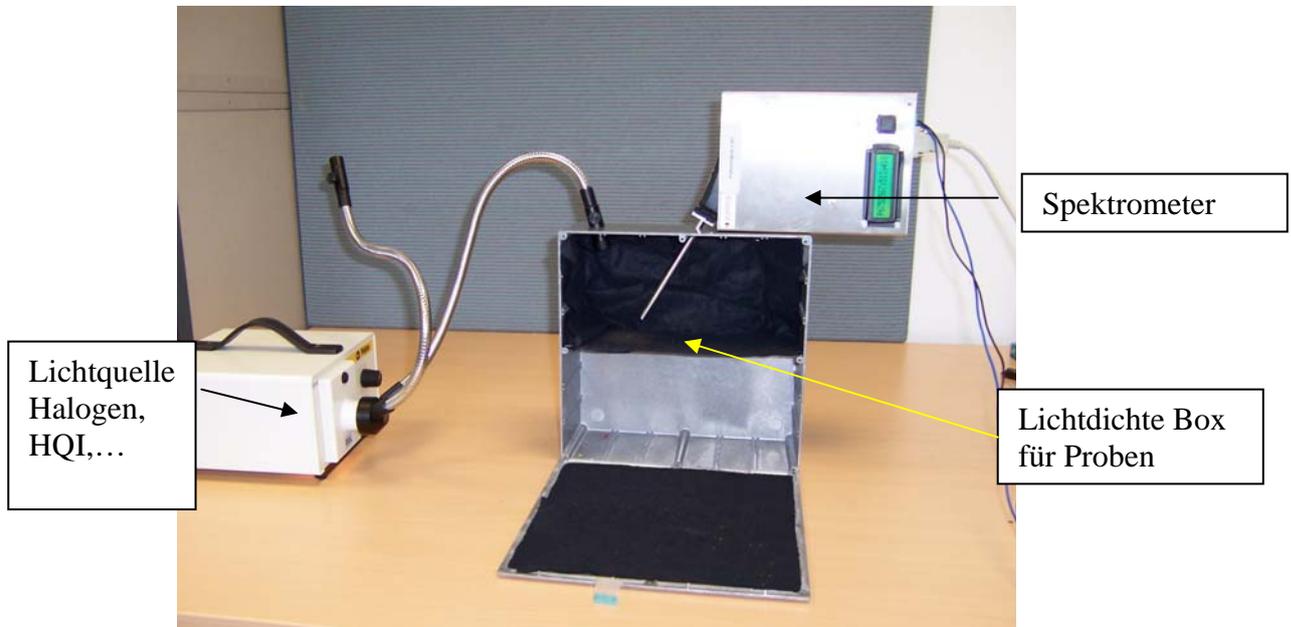
Da Blütenpollen ein natürliches Produkt sind, sind Farbschwankungen durch verschiedenste Einflussfaktoren vorhanden. Da diese Faktoren nicht in einem zeitlich stark begrenzten Projekt erfasst werden können, sondern nur durch einen Dauerbetrieb über einen längeren Zeitraum hinweg erkennbar sind, ist es notwendig diese Einflussfaktoren in einer längeren prozessbegleitenden Analyse zu ermitteln.

Dieses Projekt konnte aber geeignete Messmethoden und eine flexibel erweiterbare Datenbank entwickeln. Somit können Einflussfaktoren die später identifiziert werden einfach in die Datenbank aufgenommen werden. Diese Erweiterung stellt auch kein Kompatibilitätsproblem dar, da zusätzliche Daten das Ergebnis der Artenbestimmung nur genauer machen können.

## 7 Anhang

### 7.1 Testaufbau

Um Messungen an den Pollenhöschen vornehmen zu können und eine Kamerakalibrierung entwerfen zu können wurde folgender Testaufbau gebaut:

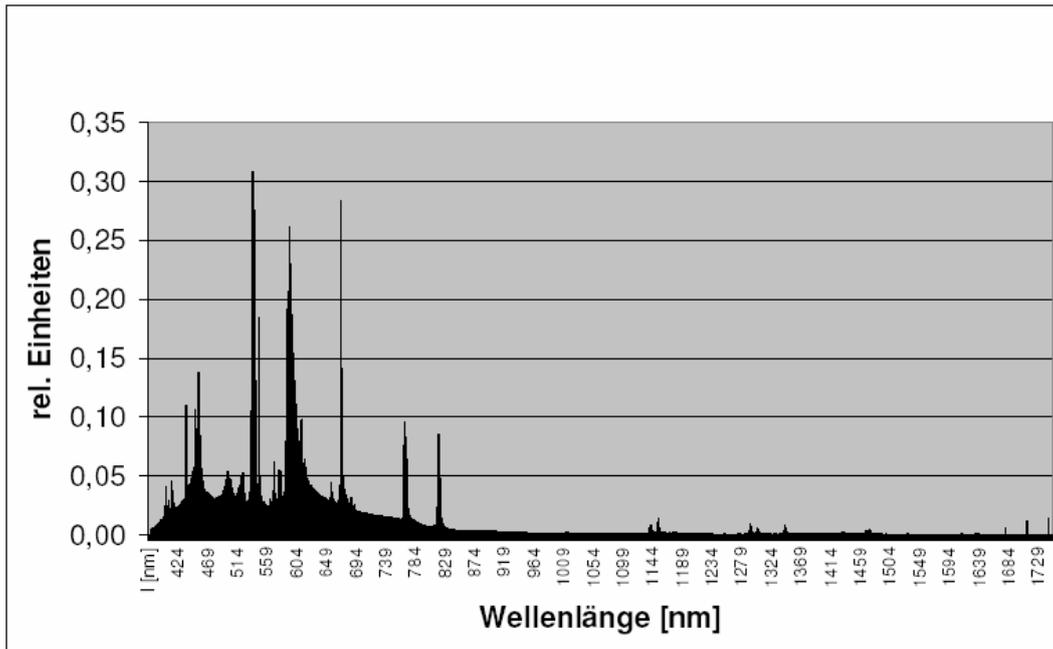


Das abgebildete Spektrometer ist über eine serielle Schnittstelle mit dem PC verbunden. Auf dem PC läuft eine spezielle Software, die ein Spektrum aus dem Speicher des Spektrometers auslesen kann. Die Messung kann automatisch oder auf Knopfdruck am Gerät ausgelöst werden.

Der CIE Farbwert wird zusätzlich am Display des Gerätes angezeigt.

Die Beleuchtung wird über einen Lichtleiter eingekoppelt.

Das Spektrum der, in der Maschine verwendeten HQI Lampe ist in der folgenden Abbildung gegeben:



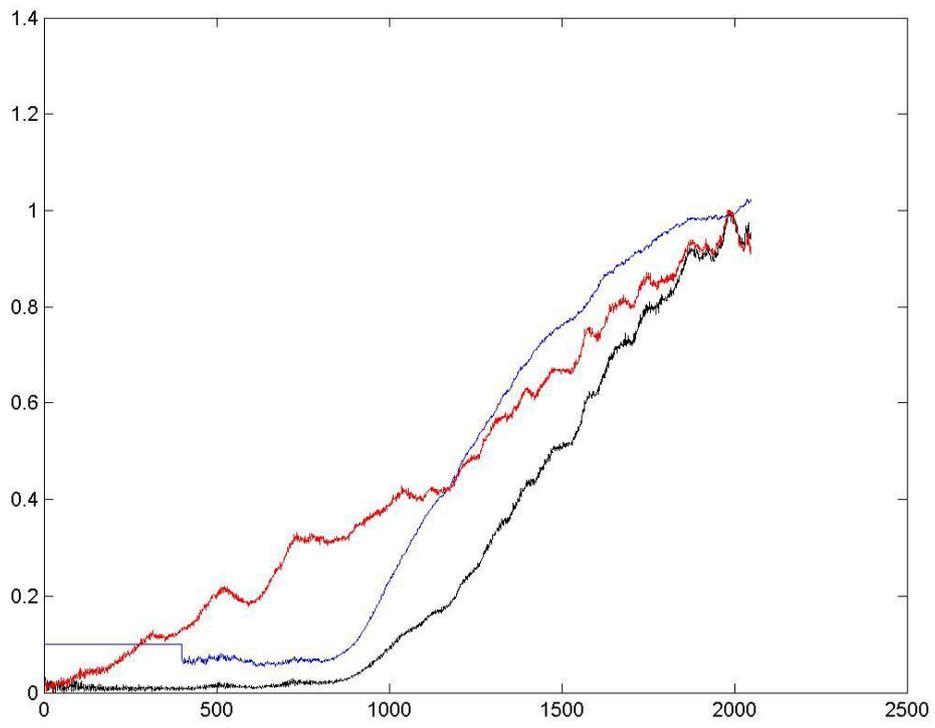
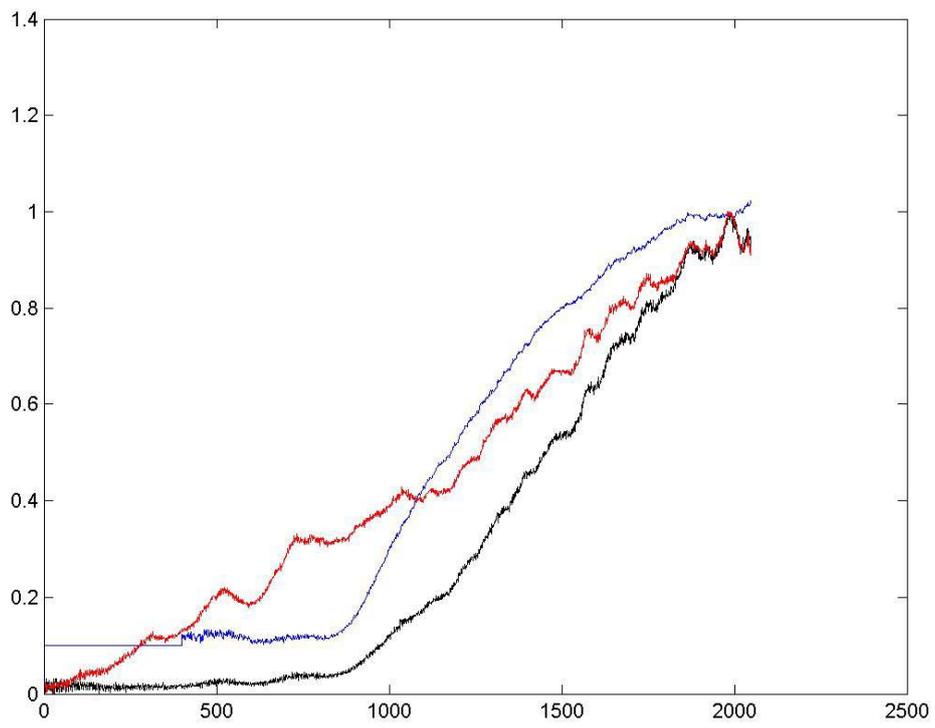
#### Trocknung:

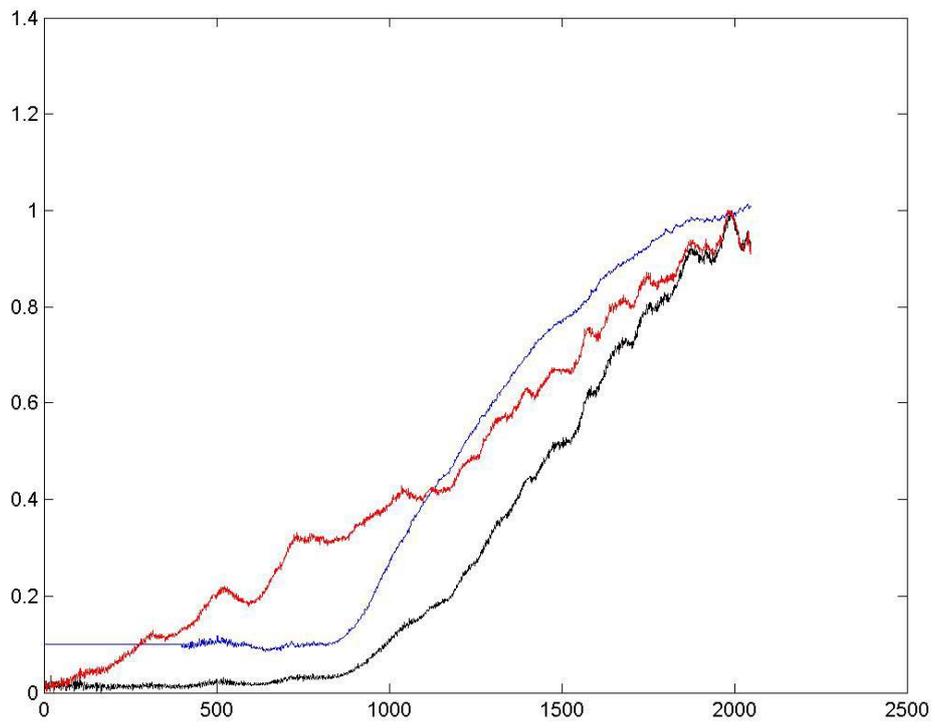
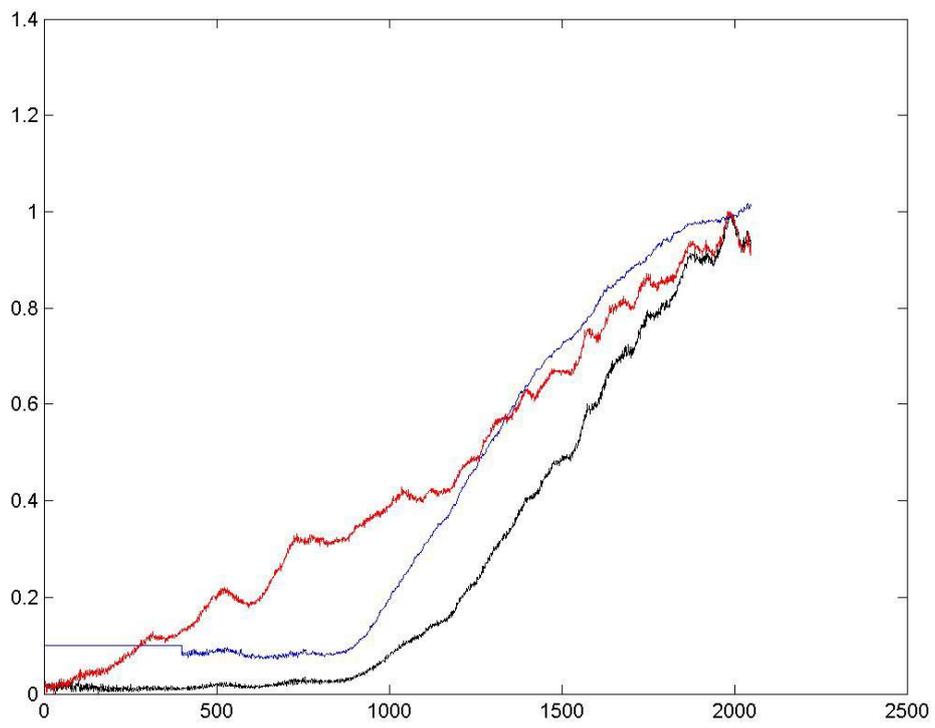
Zur Ermittlung des Einflusses der Trocknung auf das Spektrum wurde ein Testaufbau gebaut, mit dessen Hilfe Pollenhöschen mittels Wärmestrahler getrocknet wurden und zu definierten Zeitpunkten das Spektrum aufgezeichnet wurde.

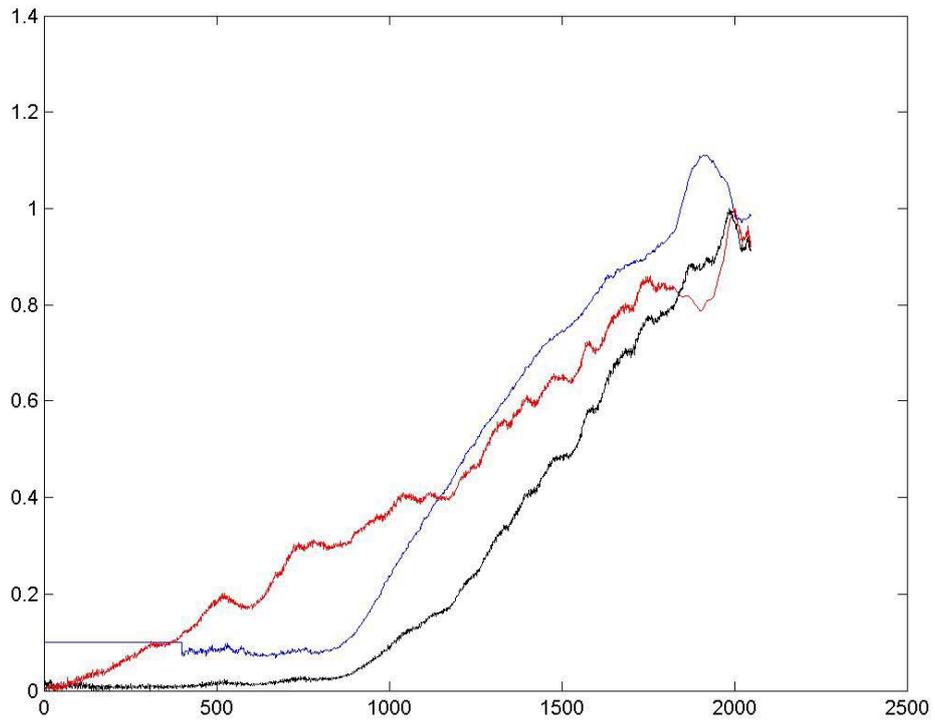
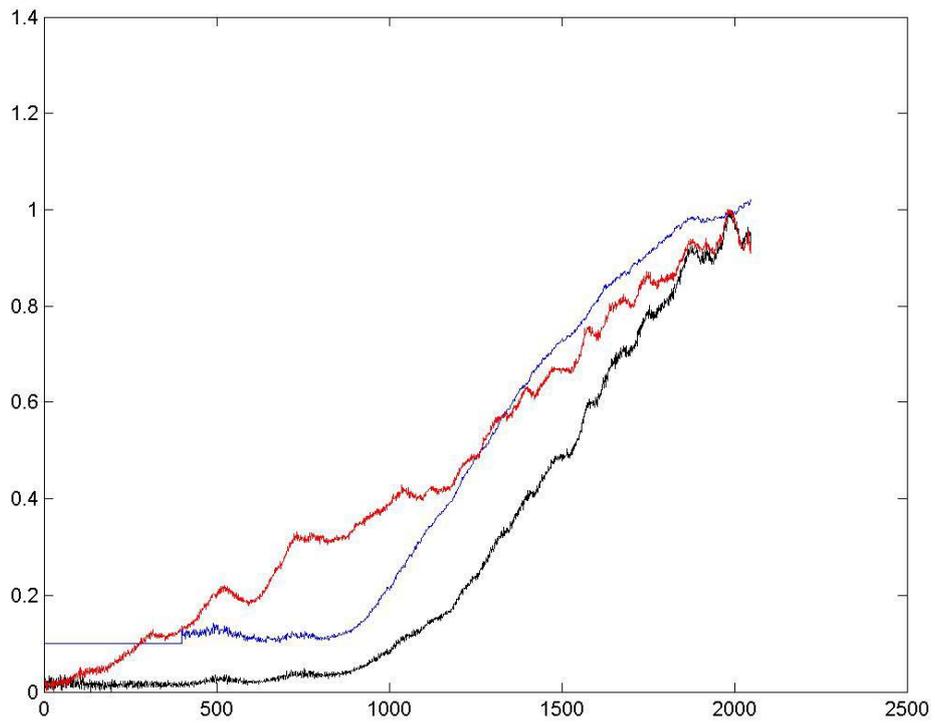
Als Testpollen wurden Pollenhöschen verwendet, welche wenige Tage zuvor geerntet wurden und bis zur Messung in einem luftdichten Behälter aufbewahrt wurden.

Die folgenden Grafiken zeigen die (skalierten) Spektren ( $x$ =skalierte Wellenlänge,  $y$ =relative Intensität) im zeitlichen Verlauf : 10min, 30min, 60min, 90min, 210min, 360min.

- schwarz = Spektrum der Beleuchtung
- rot = gemessenes Reflexionsspektrum
- blau = korrigiertes Spektrum des Messobjektes







## 7.2 Langzeitstabilität

Zur Ermittlung der Langzeitstabilität wurden farbige Kunststoffplättchen verwendet und zu definierten Zeitpunkten der RGB Werte abgelesen. Dieser Wert wurde mittels einer Testsoftware in den HSI Farbraum transformiert. Die genauen Messwerte sowie Übersichtgraphiken sind in der Tabelle Langzeit.xls dokumentiert.

## 7.3 Testdatenbank

Testdatenbank mit 19 Pflanzenarten. Die Farbwerte F1 und F2 bezeichnen den Farbton (Hue) und die Sättigung (Saturation) im HSI Farbraum. Die Werte sind im kalibrierten Gerät aufgenommen.

Pflanzenart	F1	F2
Bergahorn	26,11	24,68
Raps	28,172	26,69
Loewenzahn	16,5	29,5
Rotklee	23,2	16,6
Loewenzahn	15,623	27,286
Wiesenschaumkraut	25,3	25
Zwetschke	14,424	15,0508
Loewenzahn	15,781	24,302
Almrausch	17,5	23
Buschwindroesen	22,8	29,5
Wiesenmagerita	17	21
Buschwindroecken	25,17	31,4
Kaelberkropf	17	18,016
Rosskastanie	16,7	23,73
Rotklee	24,145	17,03
Apfel	16,71	12,05
BraunerStorchschnabel	14,92	15,2896
Apfel	15,63	8,69
NickendeRingdistel	20,7	6,713

## 7.4 Datenbankklassen

```
class CPoDB {
public:

    CPoDB(); //Konstruktor
    ~CPoDB(); // Destruktor
    bool ReadDB(); //Datenbankfile auslesen
    bool WriteDB(); //Datenbankfile schreiben
    bool WriteDbEntry(CString &s); //Eintrag in Datenbank schreiben

    vector<tPoDataBase> mDB; //Datenbank - Datenstruktur
    int mSizeDB;

private:

protected: // create from serialization only

    CCsvFile *mCsv; // Filetransfer Klasse

};

class CPoDBDlg : public CDialog, public CPoDB //Datenbankdialog
{
// Construction
public:
    CPoDBDlg(CWnd* pParent = NULL); // standard constructor

    void ShowDBUserFuncsDlg();
    void ShowKZEingeben(); //Kennzahl eingeben
    void ShowKWDlg(); // Kalenderwoche eingeben
    void ShowArtEingeben(); // Pflanzenart eingeben
    void ShowPflanzenarten(); //Arten anzeigen
    void ShowWIEDER(); //Wiederholung
    void ShowRegion(); // Erntereion eingeben
    void ShowPflanzenartenExt(); //zeigt resultate an mit weiteren Infos
    void UnbekanntSpeichern(); // unbekannte Art speichern

private:

    int kalenderwoche (CTime &time); //Kalenderwoche ermitteln
    void GetAdditionalPoInfo(); // zusätzliche Infos einfordern
    void DrawDBFrame (); // Frame zeichnen
    void EnaMehrdButton( bool state); // Enable Button
    int mKW,mLagerungszeit,mTrockenzeit,kennzahl, mTopfNo; // Membervariablen
    double f1,f2;
```

```

        bool ohneKZ;
    bool mUnbekanntSpeichern;
    HWND mStartWnd;

    CString mRegion;

        CPoDB mData;

// Dialog Data
//{{AFX_DATA(CPoDBDlg)
enum { IDD = IDD_Zc3_name };
    CDateTimeCtrl      m_datetimestrPickerDatum;
    CComboBox m_comboKennzahl;
    CComboBox m_comboStundenLagerungszeit;
    CComboBox m_comboStunden;
    CComboBox m_comboPflanzenName;
    CDateTimeCtrl      m_datetimestrPickerKennzahl;
    CStatic m_staticKennzahl;
    CComboBox m_comboRegion;
    CEdit m_editCalendarWeek;
    CMonthCalCtrl      m_calendar;
    CMSFlexGrid m_gridPotPlant;
    CMSFlexGrid m_gridPotUnknown;
    CMSFlexGrid      m_listbekannt;
    CComboBox m_ComboOhneKZ;
    CEdit      m_TopfNo;

    //}}AFX_DATA
struct PotInfo
{
    bool known;      //bekannt?
    int KW;
    int stunden;     //lagerungszeit
    int trocken;     //trocknungsdauer
    CString region;
    double color1;
    double color2;   //farbwerte
    CString code;    //kennzahl
};

PotInfo all[10];

// Overrides
// ClassWizard generated virtual function overrides
//{{AFX_VIRTUAL(CPoDBDlg)
protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); // DDX/DDV
support

```

```

    //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:

    // Generated message map functions //für neue Buttons
   //{{AFX_MSG(CPoDBDlg)
    afx_msg void OnNameFuerCode();
    afx_msg void OnKalenderWeiter();
    afx_msg void OnKZWeiter();
    afx_msg void Onnameok();
    afx_msg void OnNeu();
    afx_msg void OnEnde();
    afx_msg void Onunbewei();
    afx_msg void Onreok();
    afx_msg void Ontrockfertig();
    afx_msg void OnLagerungFertig();
    afx_msg void Onkennzahlweiter();
    afx_msg void Onwiederholung();
    afx_msg void Onwiederholungaus();
    afx_msg void Onbekanntweiter();
    afx_msg void OnRegionFragen();
    afx_msg void OnTopfNoEingeben();
    afx_msg void OnTopfNoWeiter();
    afx_msg void OnUnbekanntSpeichern();
    afx_msg void OnResultateSpeichern();

    afx_msg void OnNameEingeben();

    afx_msg void OnClose();
    afx_msg void OnneuePollensorte();
    afx_msg void OnOhneKZweiter();
    afx_msg void OnCalenderEntry(NMHDR* pNMHDR, LRESULT* pResult);

    virtual BOOL OnInitDialog();

    //}}AFX_MSG
    DECLARE_ME

```