

# Erkennung von Pollen in 3D Volumendaten mittels grauwertbasierter Invarianten

O. Ronneberger  
H. Burkhardt

Lehrstuhl für Mustererkennung und Bildverarbeitung  
Institut für Informatik  
Albert-Ludwigs Universität Freiburg

in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst und der MeteoSchweiz

## Erkennung von Pollen

---

- Motivation und Ziel des Projektes
- Probenahme, Präparation und Bilderzeugung
- Merkmals-Extraktion mit grauwertbasierten Invarianten
- Klassifikation mit Support Vektor Maschinen
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

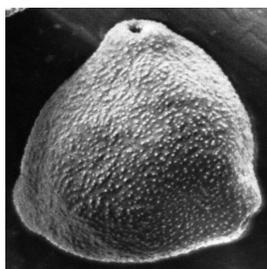
# Motivation und Ziel des Projektes

---

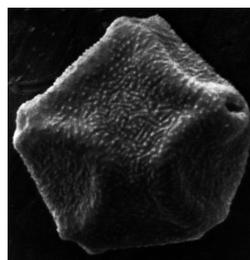
- Manuelle Auszählung der Pollen auf den Luftstaubproben:
  - zeit- und personalaufwendige Arbeit
  - Die Daten kommen mit bis zu zwei Tagen Verspätung
  - Die Qualität der Daten schwankt sehr stark je nach Erfahrung und Motivation der ca. 100 Deutschen Pollenzähler
- Einsatz eines computergestützten Bilderkennungs-Systems:
  - bessere Aktualität bis hin zur Online-Messung
  - einheitliche, reproduzierbare und evtl. höhere Qualität
  - Aufbau eines vollautomatischen Meßnetzes

## Die zu erkennenden Pollenarten

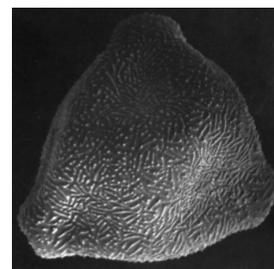
---



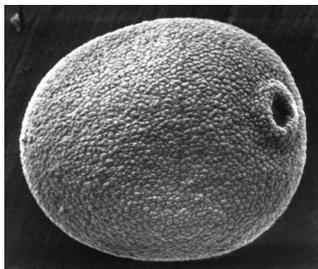
Hasel



Erle



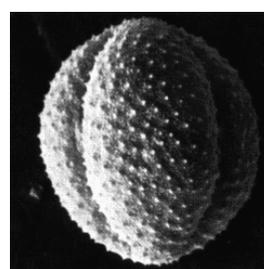
Birke



Gräser



Roggen

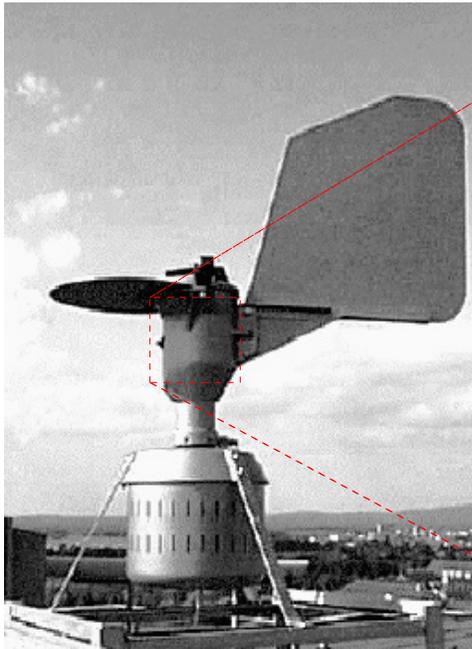


Beifuß

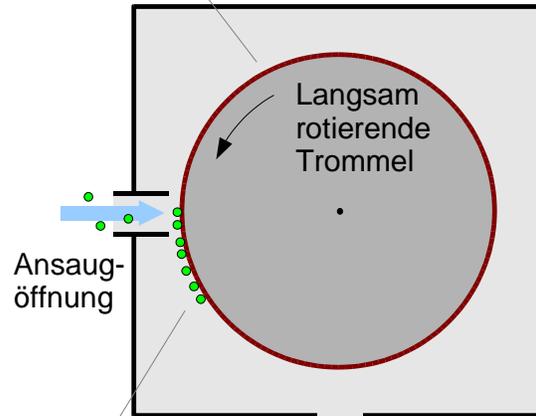
+ 33 weitere allergologisch nicht so relevante Arten

# Probenahme

## Pollenfalle nach Burkard



Folienstreifen mit Haftmedium

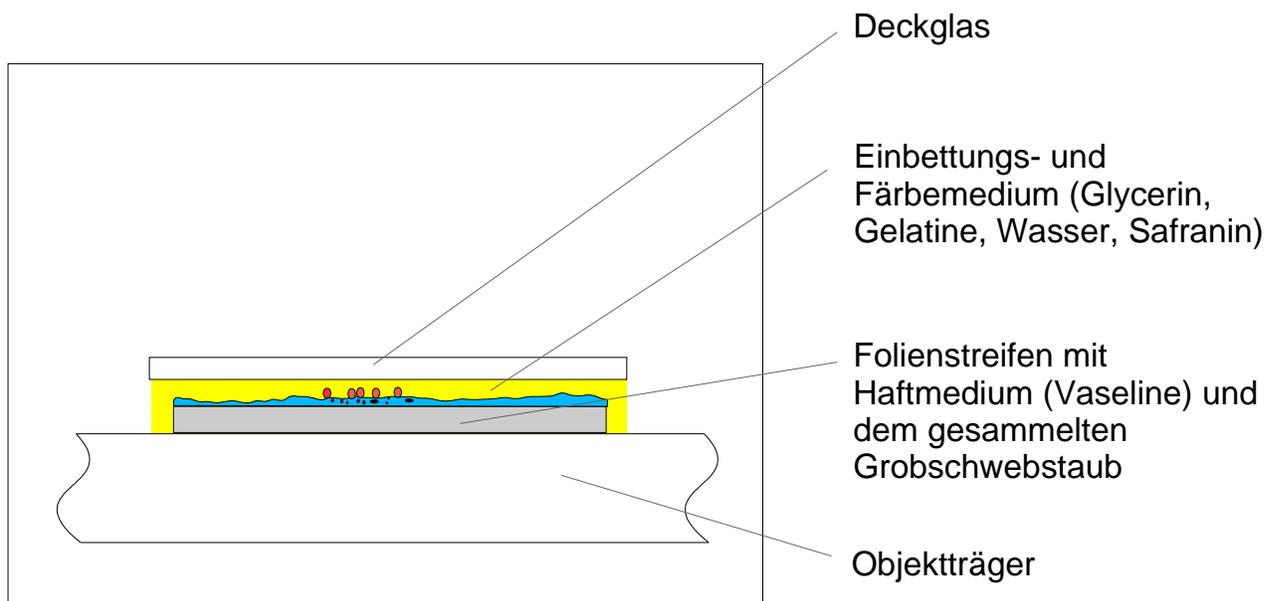


Ansaugöffnung

Pollen und sonstiger Grobschwebstaub

Pumpe

# Präparation



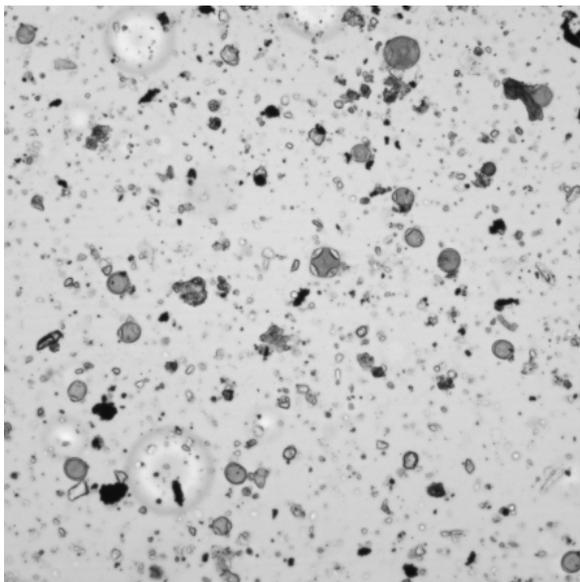
# Bilderzeugung

---

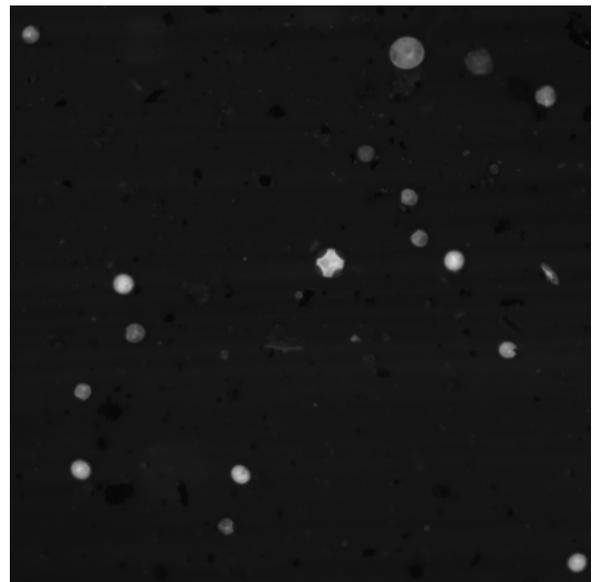


# Bilderzeugung

---



Durchlicht

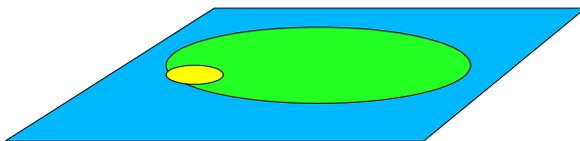


Fluoreszenz

polvi Translucent

## Konventionelle und 3D Mikroskopie

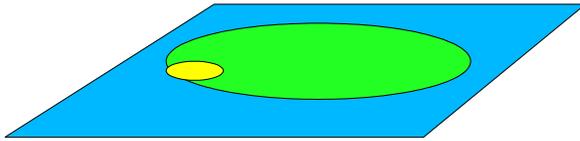
---



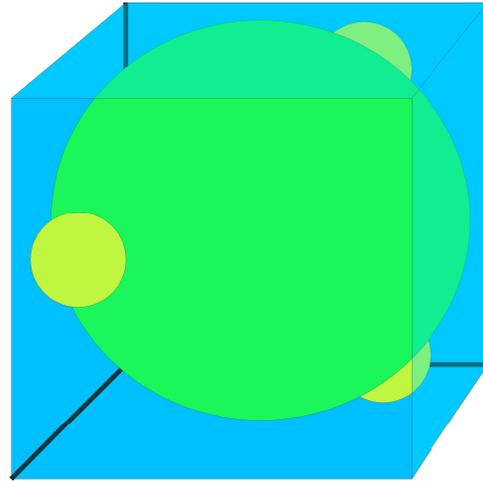
Konventionelle Mikroskopie

# Konventionelle und 3D Mikroskopie

---



Konventionelle Mikroskopie



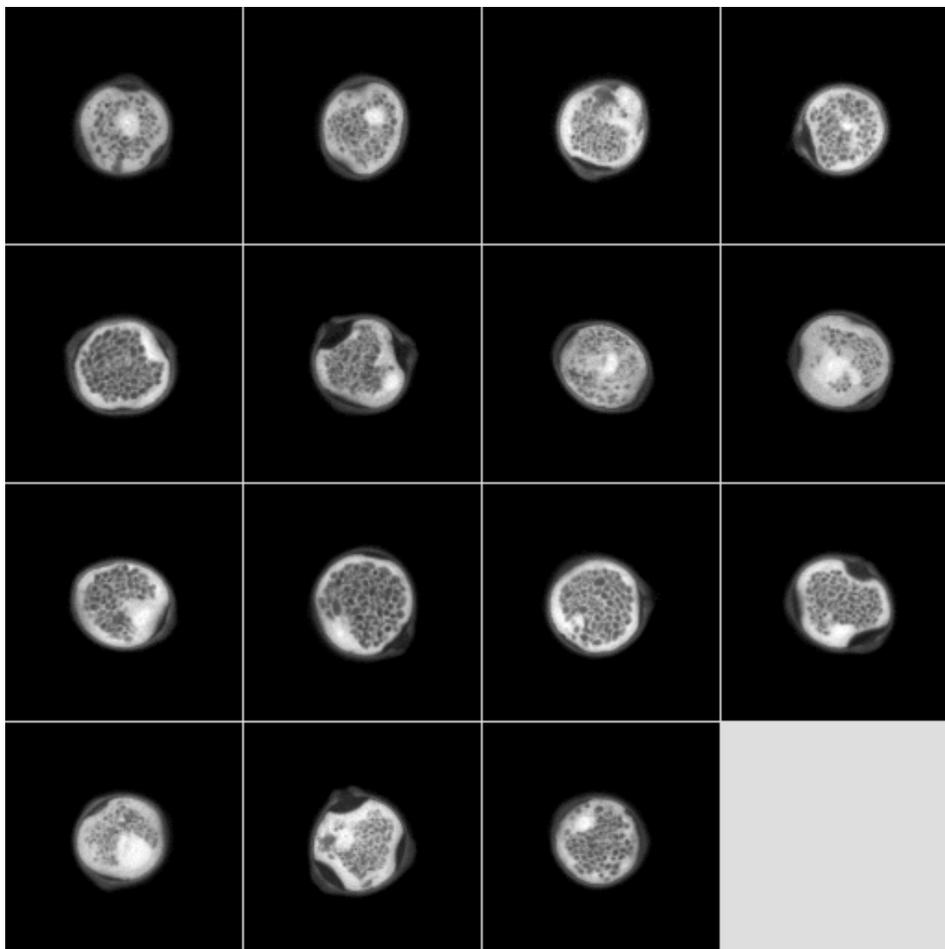
3D Mikroskopie (z.B. konfokale Laser Scanning Technik)

polvi Translucent Fluorescence  
polvi Fluorescence\_LSM  
Pollen-Filme

# Aufbau einer Referenzdatenbank

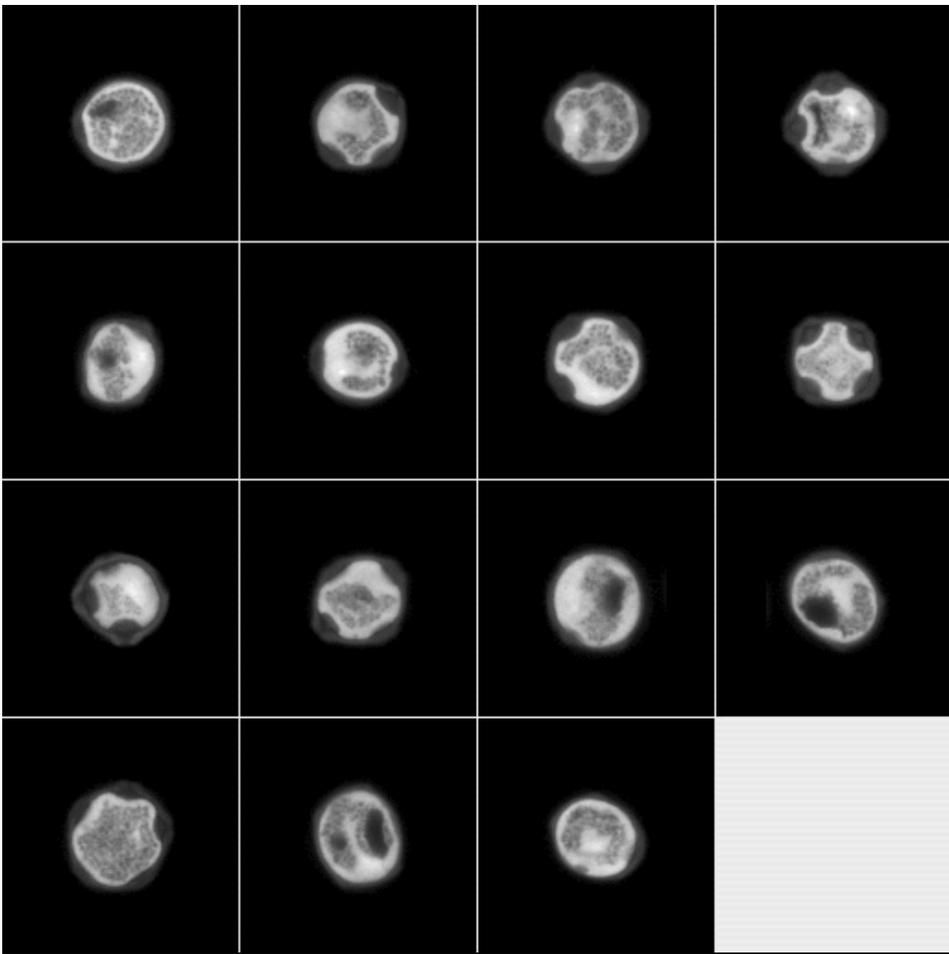
---

- 26 Pollen-Arten aus »Schüttel-Proben«
  - Sichere Zuordnung der Art
  - Evtl. geringere Variation in Form und Größe als in Luftstaub-Proben (keine Unterarten, keine regionalen Variationen)
  - Keine Deformation, Kontamination oder Agglomeratbildung durch "Sammelstreß"
- Aufnahme von 3D Volumen von ca. 15 Pollenkörnern pro Art mit einem konfokalen Laser-Scan-Mikroskop
  - höchstmögliche Qualität für die Machbarkeitsstudie



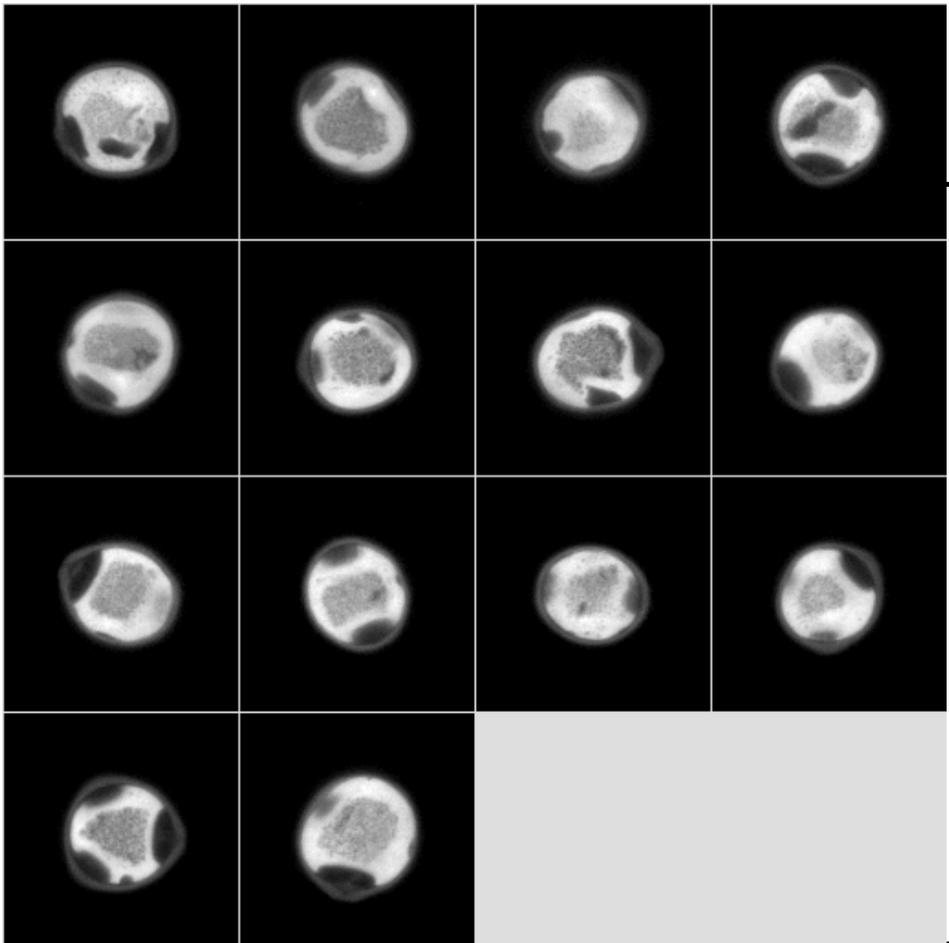
**Birke**

---



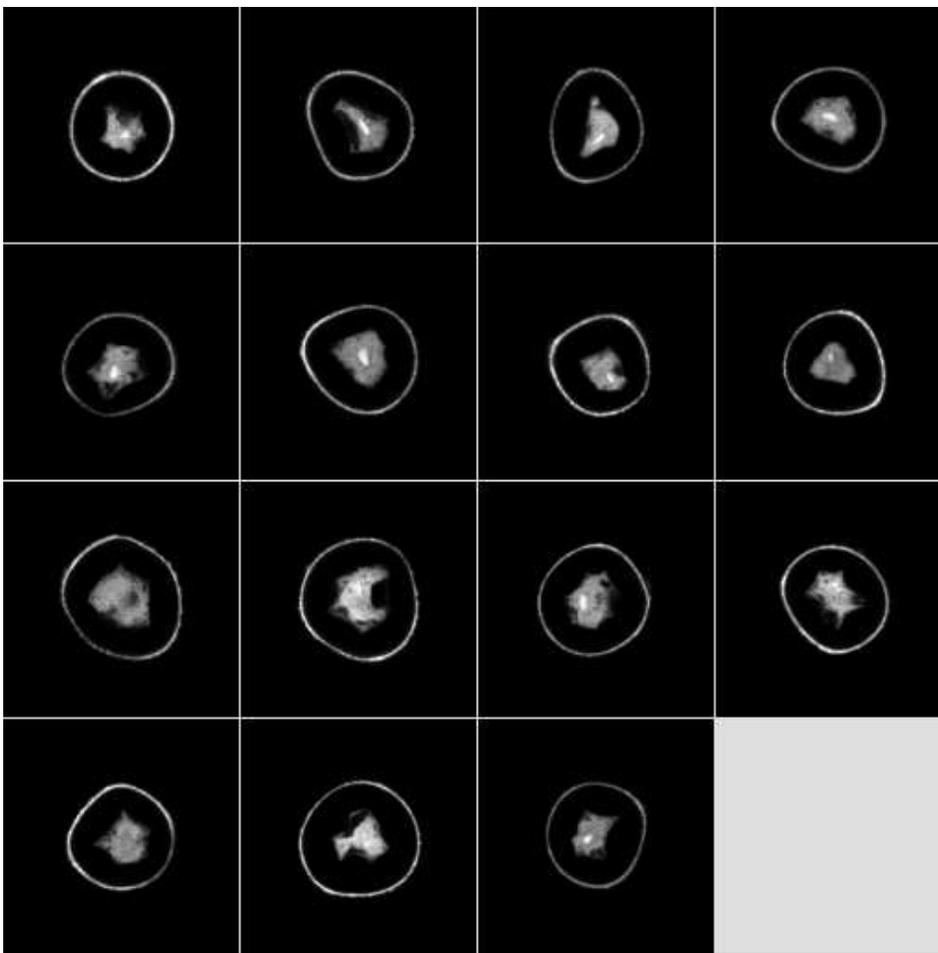
# Erle

---



# Hasel

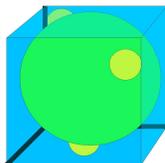
---



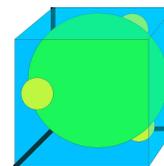
Eibe

## Mustererkennung mit Invarianten

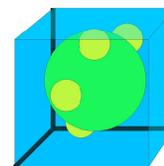
Unbekanntes  
Flug-Objekt



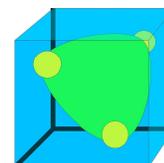
Referenz-Datenbank



Birke



Erle



Hasel

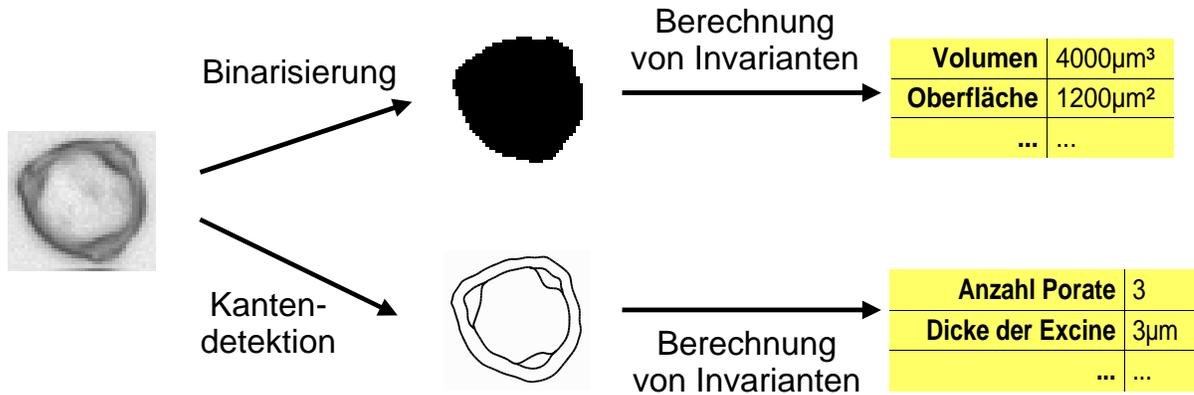
...

(23 weitere  
Arten)

- Lage & Orientierung ?
- Ausbleichung ?
- Deformation ?
- Kontamination ?

# Mustererkennung mit Invarianten

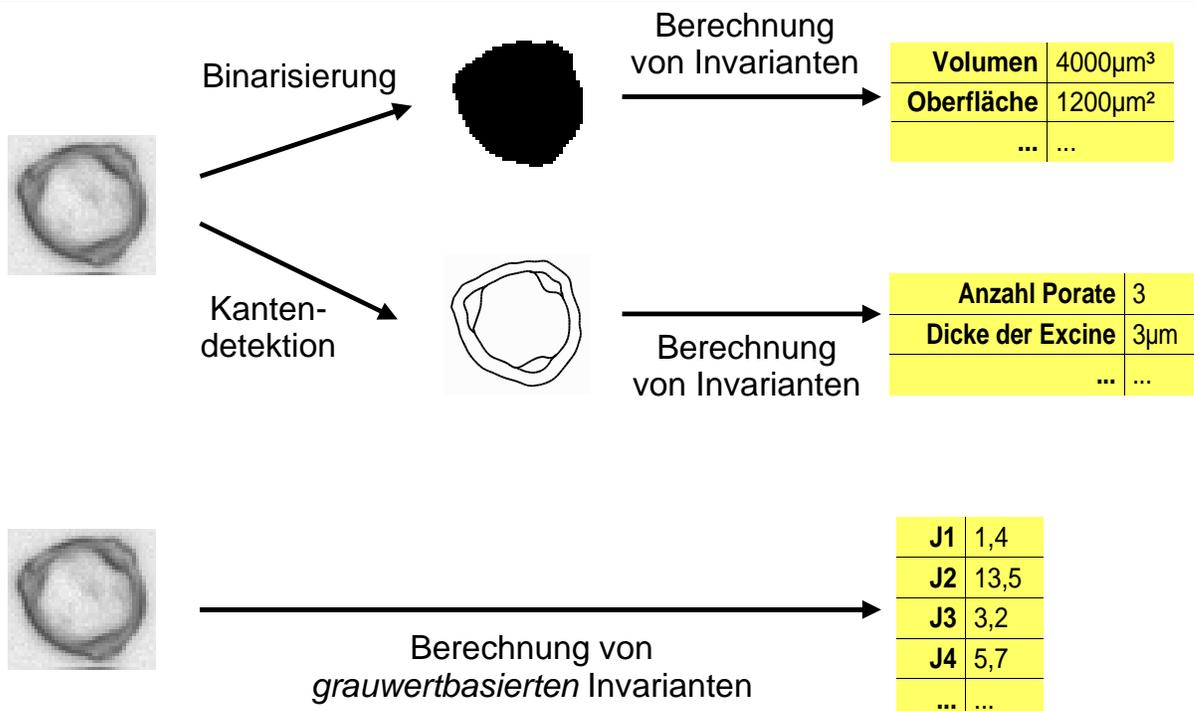
## (Berechnung eines »Fingerabdrucks«)



Der Versuch, den menschlichen Erkennungs-Prozeß nachzuahmen, führt oft nicht zum Erfolg!

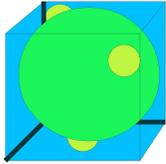
# Mustererkennung mit Invarianten

## (Berechnung eines »Fingerabdrucks«)

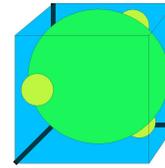


# Elimination der Transformationen, die analytisch beschrieben werden können

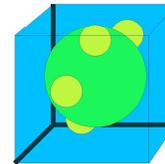
unbekanntes  
Flugobjekt



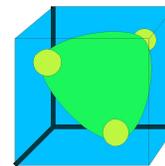
Referenz Datenbank



*Betula*



*Alnus*



*Corylus*

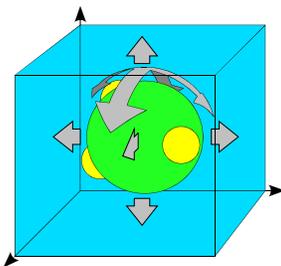
...

(23 weitere  
Arten)

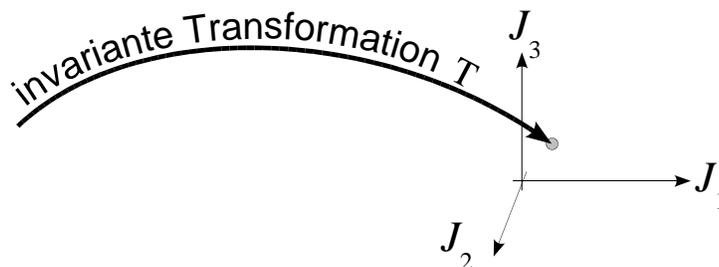
- Orientierung ?  
Position ?  
(aber Rotation, Translation können analytisch beschrieben werden)
- Intra-class variation ?  
Contamination ?
- ...

## Invariante Transformation: Definition

Volumen Datensatz  $\mathbf{X}$  (ca. 16.000.000-dim.)



Merkmalsraum  $J$  (n-dim.)



Alle Repräsentationen eines Objektes (in diesem Fall das Objekt mit beliebiger Orientierung und Position) werden an dieselbe Stelle im Merkmalsraum abgebildet

$$J_1 := T_1(\mathbf{X}) = T_1(g\mathbf{X}) \quad \forall g \in G$$

Operator zum Rotieren und  
Verschieben des Datensatzes

Transformations-  
Gruppe

# Gray Scale Invariants: Construction

---

$$T[f](\mathbf{X}) := \int_G f(g\mathbf{X}) dg$$

nichtlineare Funktion, die einen Skalar-Wert aus dem Bild/Volumen extrahiert

Wichtige Vorbedingung

- Wir müssen in der Lage sein, alle Repräsentationen des Objektes aus einer einfachen Aufnahme zu reproduzieren, ohne seine aktuelle Orientierung oder Position zu kennen. (In diesem Fall Rotation und Translation des Volumendatensatzes)

## Grauwertbasierte Invarianten: Einfaches 2D Beispiel (nur Rotation, keine Translation)

---

$$T(\text{☺}) = \frac{1}{N} \cdot \left( f(\text{☺}) + f(\text{☺}) + f(\text{☺}) + \dots + f(\text{☺}) \right) = 42$$

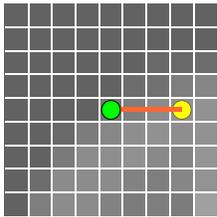
Anzahl der Winkel (hängt vom gewählten  $f$  ab)

Das Ergebnis dieser Summierung ist *invariant* gegenüber der aktuellen Orientierung des Objektes (Beweis: Umsortieren der Summanden)

$$T(\text{☹}) = \frac{1}{N} \cdot \left( f(\text{☹}) + f(\text{☹}) + f(\text{☹}) + \dots + f(\text{☹}) \right) = 42$$

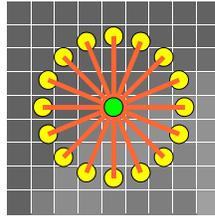
# Schnelle Berechnung für "kleine" Kernfunktionen

## (Rotation und Translation)



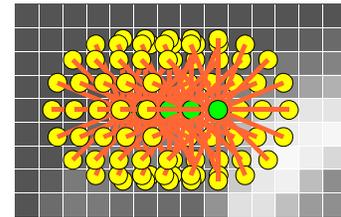
Kernfunktion zur Verknüpfung benachbarter Pixel

$$f(\mathbf{X}) = \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(3,0)$$



Integration über alle Winkel

$$J = \frac{1}{N} \cdot ( \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(3,0) + \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(2.7, 1.1) + \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(2.1, 2.1) + \dots )$$



Integration über alle Positionen:

$$J = \frac{1}{N} \cdot ( \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(3,0) + \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(2.7, 1.1) + \mathbf{X}(0,0) \cdot \mathbf{X}(2.1, 2.1) + \dots + \mathbf{X}(1,0) \cdot \mathbf{X}(4,0) + \mathbf{X}(1,0) \cdot \mathbf{X}(3.7, 1.1) + \mathbf{X}(1,0) \cdot \mathbf{X}(3.1, 2.1) + \dots )$$

## Noch schnellere Berechnung mittels Faltung via FFT

$$\Sigma \left( \text{Grid} \cdot \left( \text{Grid} * \text{Kernel} \right) \right)$$

- Die Integration der Grauwerte entlang des Kreises wird durch die Faltung mit dem Bild eines Kreises ersetzt
- Wir brauchen keine Schrittweite für die Winkel zu spezifizieren
- Die Faltung via FFT erlaubt es, 3D Volumen in annehmbarer Zeit zu verarbeiten

# Normierung der Grauwerte

---

Additive Fehler (Hintergrundhelligkeit): Subtraktion des Mittelwertes

$$A_m := A - \bar{A}$$

$$B_m := (A * K) - \overline{(A * K)}$$

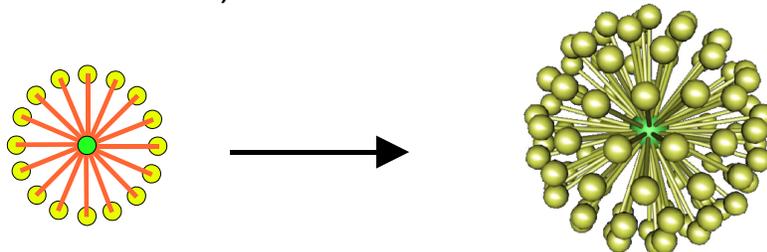
Multiplikative Fehler (durch Ausbleichen): Normierung mit der Varianz

$$J = \frac{\sum A_m \cdot B_m}{\sqrt{\sum A_m^2} \cdot \sqrt{\sum B_m^2}}$$

## Grauwertbasierte Invarianten für 3D Volumen-Daten

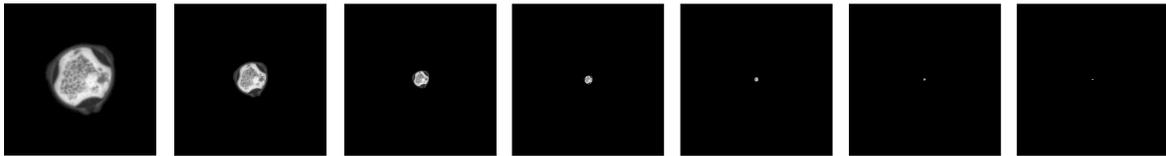
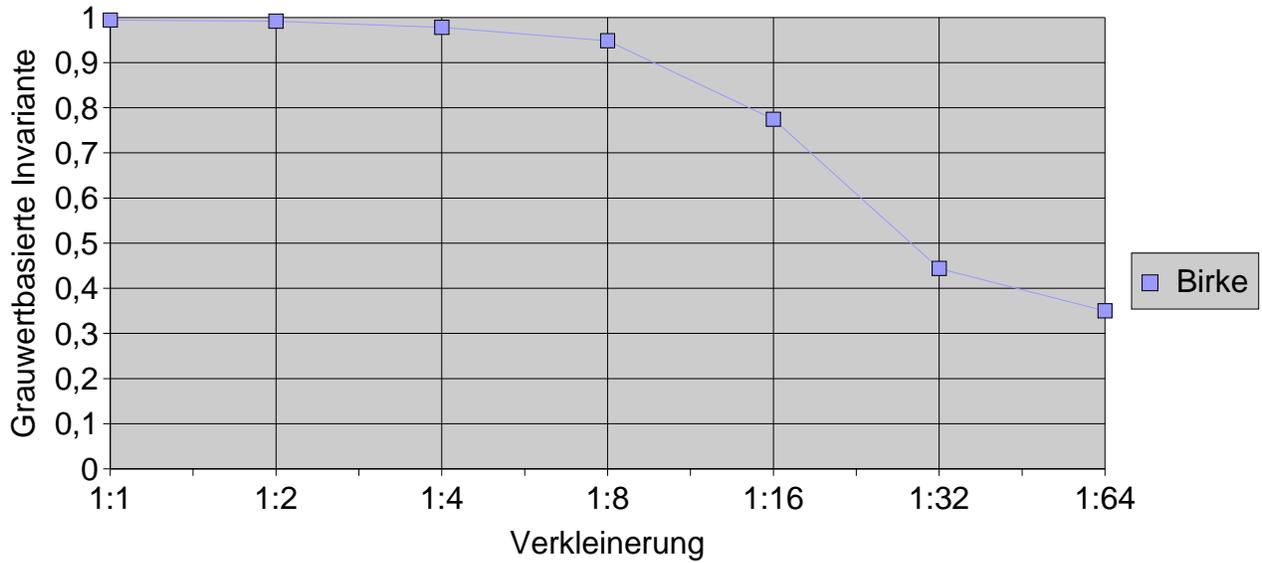
---

- 2D-Rotation der Kernfunktion (Abtast-Punkte liegen auf einem Kreis) wird zu 3D-Rotation (Abtast-Punkte liegen auf einer Kugeloberfläche)

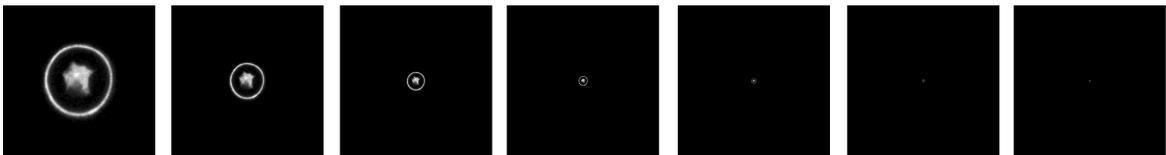
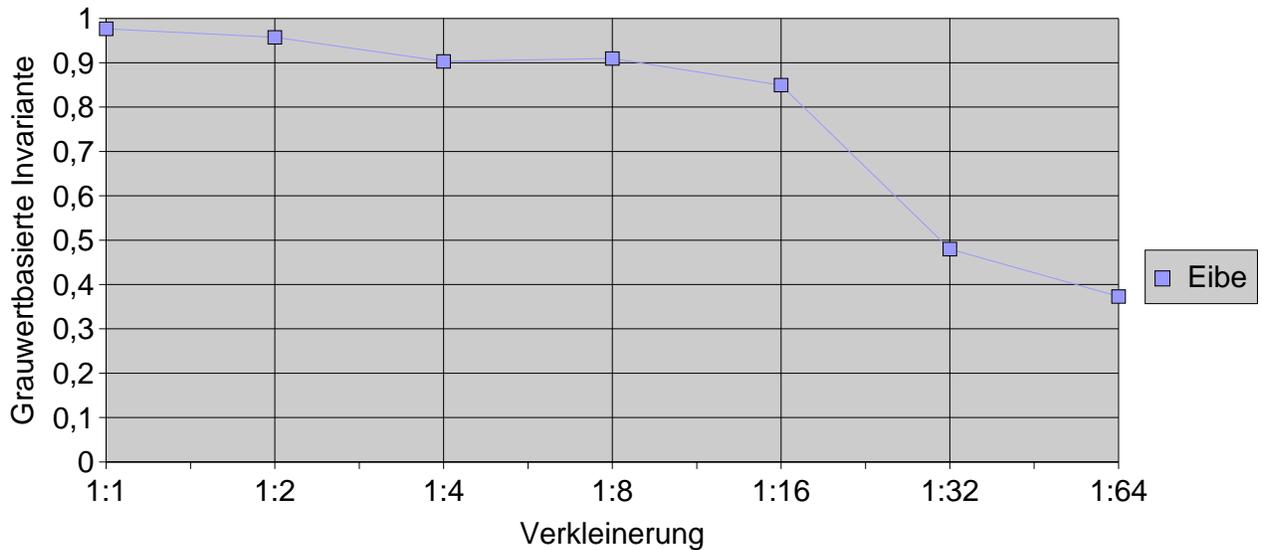


- 2D-Translation wird zu 3D-Translation
- Rechenzeit nimmt stark zu.

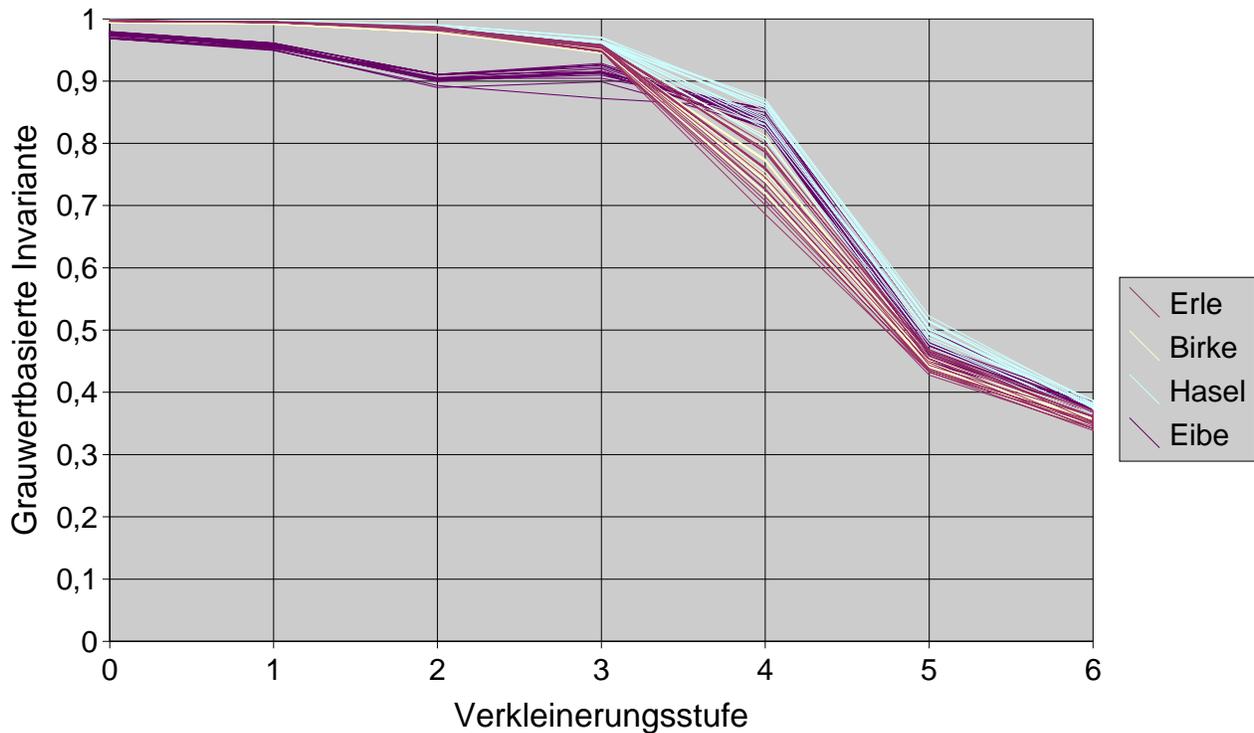
# Mehrere Invarianten durch Multi-Skalen-Ansatz



# Mehrere Invarianten durch Multi-Skalen-Ansatz



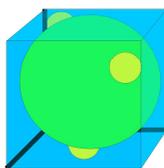
# "Fingerabdrücke" der verschiedenen Pollen-Arten



## Mustererkennung mit Invarianten (Klassifikation)

Unbekanntes  
Flug-Objekt

»Finger-  
Abdruck«

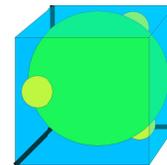


J1	1,4
J2	13,5
J3	3,2
J4	5,7
...	...



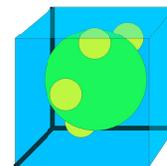
Referenz-Datenbank

J1	1,5
J2	13,4
J3	3,3
J4	5,7
...	...



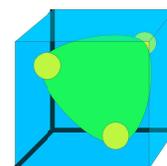
Birke

J1	2
J2	14,2
J3	3,2
J4	5,7
...	...



Erle

J1	3,2
J2	9,7
J3	0,5
J4	5,7
...	...



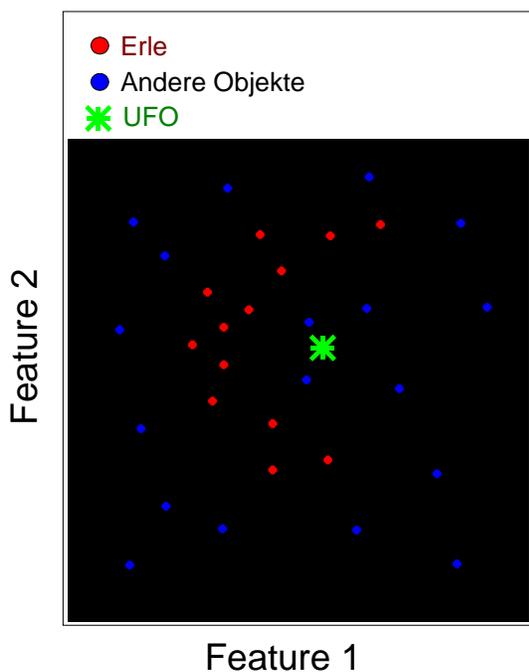
Hasel

(23 weitere  
Arten)

- Lage & Orientierung
- Ausbleichung
- Deformation ?
- Kontamination ?

Demonstration mit "feaplot"

## Klassifikation

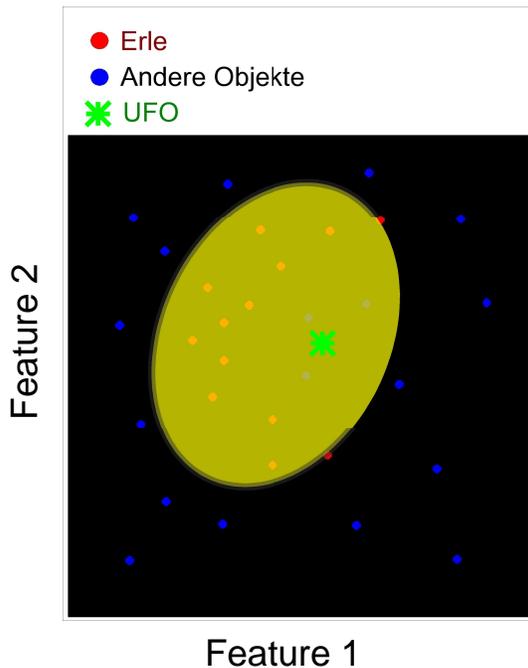


- Die verschiedenen Objekte einer Klasse bilden eine „Wolke“ im Feature-Space
- In erster Näherung ließe sich diese Wolke durch eine Gaußverteilung beschreiben.
- Für ein unbekanntes Objekt kann dann die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der es zu dieser Klasse gehört

→ **MLE-Klassifikator**

# Klassifikation

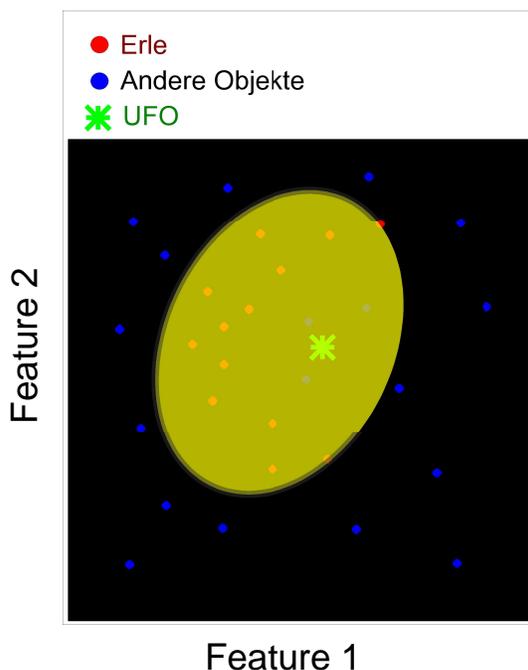
## MLE Klassifikator



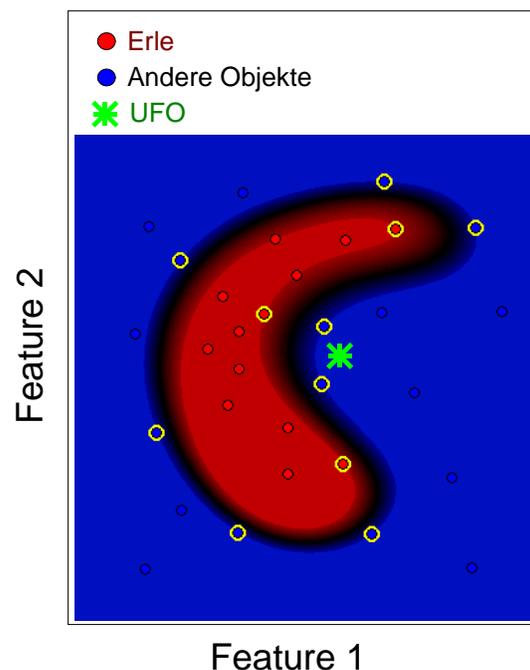
- Klassifikator versagt in diesem Beispiel
  - Die „Erlen-Wolke“ ist nicht gaußförmig
  - Ein entscheidender Teil der Information ist in den anderen Objekten enthalten. (Begrenzung für „Erlen-Wolke“)
- **Support Vektor Maschine**

# Klassifikation

## MLE Klassifikator



## Support Vektor Maschine



# Multiklassen-Ansätze für SVM

1 1 1 1  
1 1 1 1  
1 1 1

2 2 2  
2 2 2  
2 2 2

3 3  
3 3 3  
3 3

4 4 4  
4 4 4  
4 4

- Eine SVM kann nur zwei Klassen trennen
- Ein Multi-Klassen-Problem (hier 4 Klassen) muß daher geeignet in Zwei-Klassen-Teilprobleme zerlegt werden

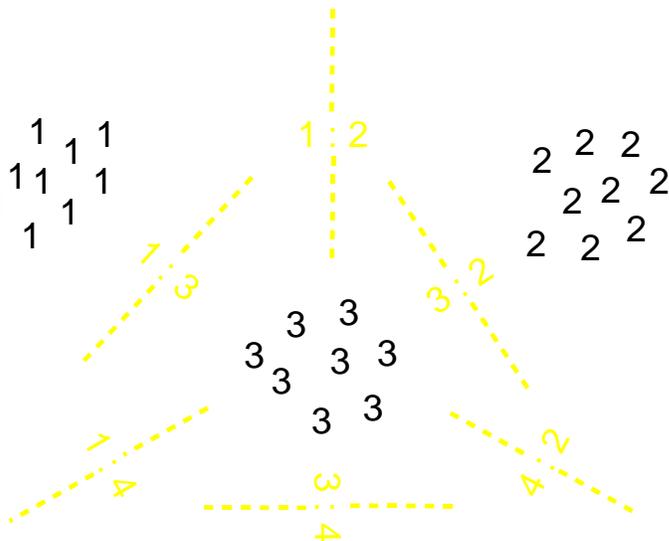
## "One versus One"

1 1 1 1  
1 1 1 1  
1 1 1

2 2 2  
2 2 2  
2 2 2

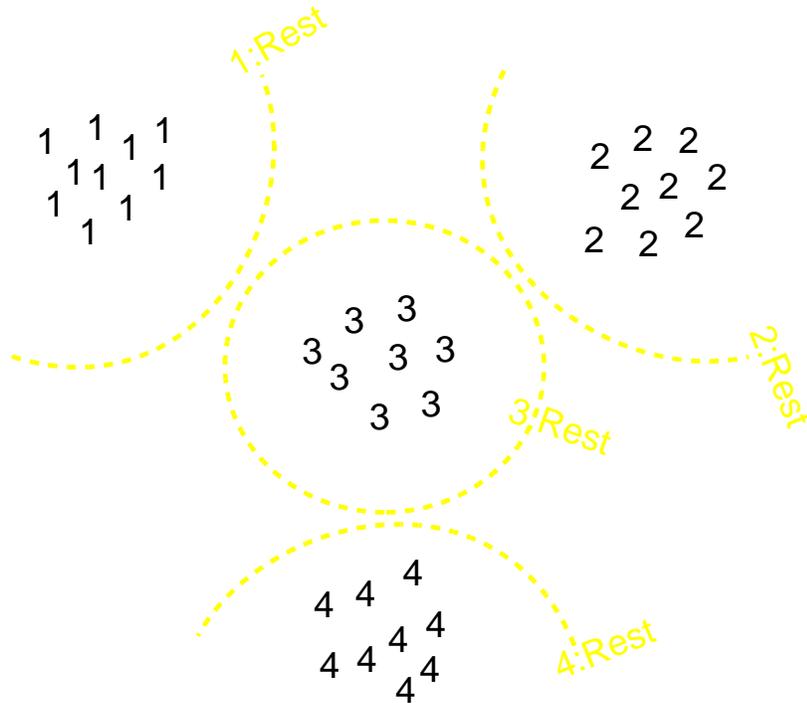
3 3  
3 3 3  
3 3

4 4 4  
4 4 4  
4 4



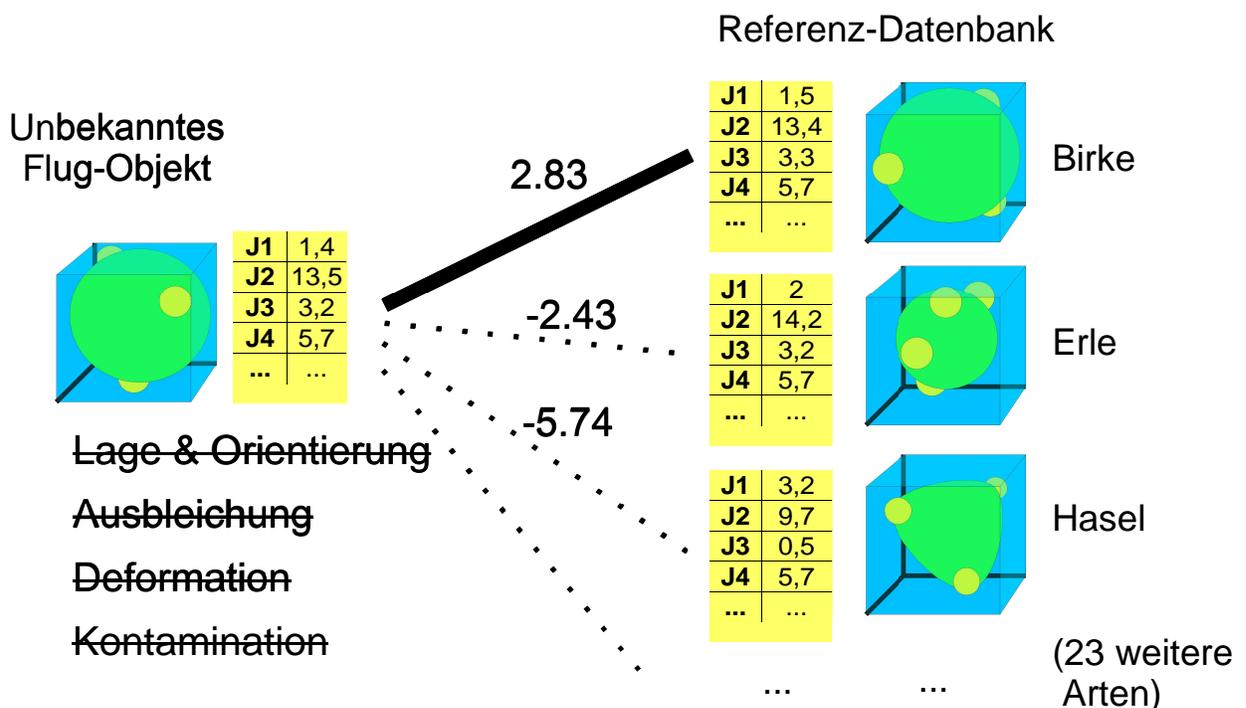
- Benötigt  $n \cdot (n-1) / 2$  SVM's (hier 6)
- schnelle Trainings- und Klassifikations-Zeiten durch geringe Anzahl der Trainings-Vektoren, bzw. Support-Vektoren

# "One versus Rest"



- Benötigt nur  $n$  SVM's (hier 4)
- längere Trainings- und Klassifikationszeiten
- Was passiert, wenn 2 SVM's gewinnen, oder alle verlieren?

## Mustererkennung mit Invarianten (Klassifikation)



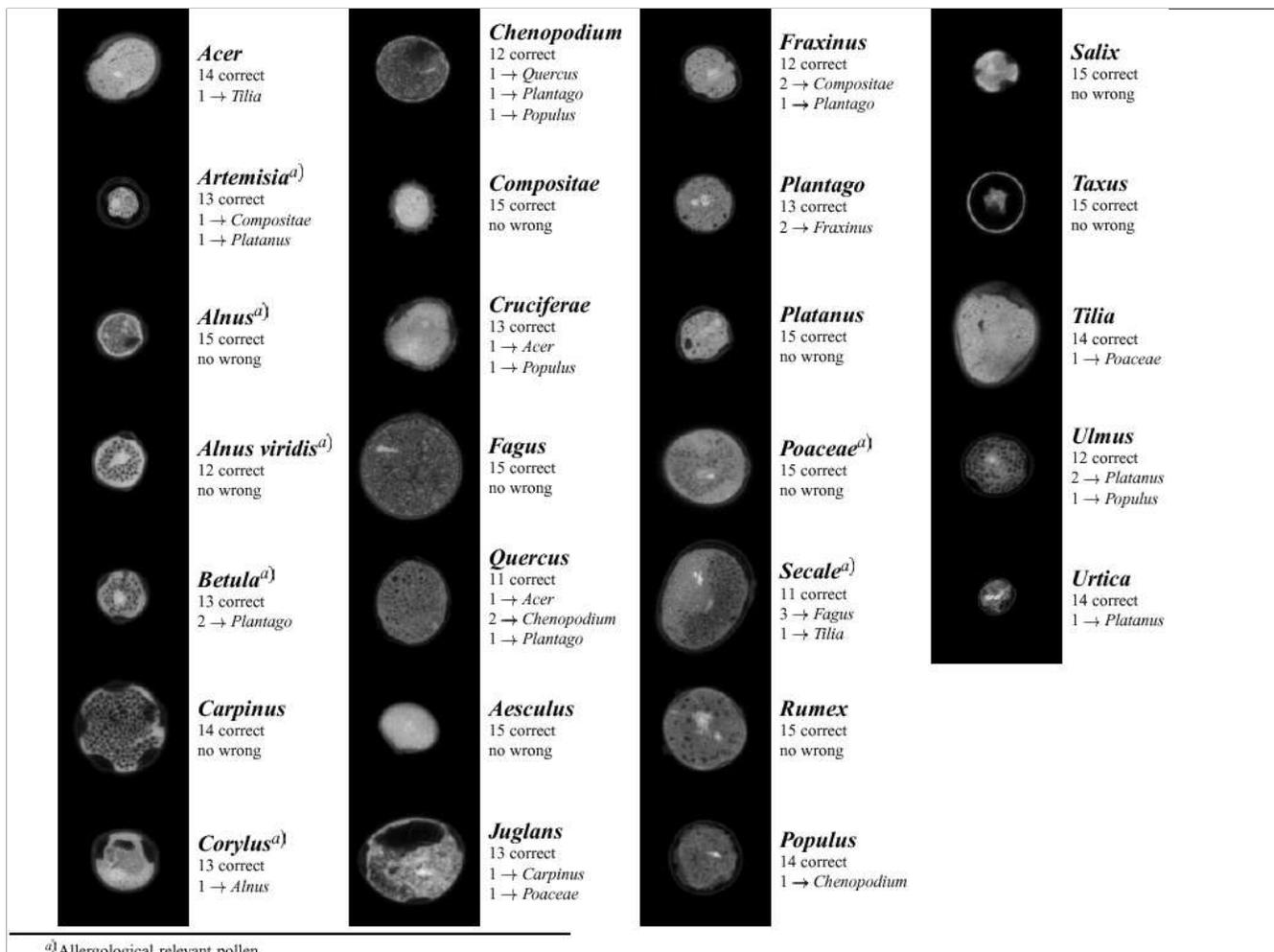
# Messung der Erkennungsrate

- 26 Klassen mit je ca. 15 Objekten
- 14 Features (2 Kernfunktionen bei je 7 versch. Skalierungen)

$$f_1(\mathbf{X}) = \mathbf{X}(0, 0, 0) \cdot \mathbf{X}(0, 0, 2)$$

$$f_2(\mathbf{X}) = \sqrt{\mathbf{X}(0, 0, 0)} \cdot \sqrt{\mathbf{X}(0, 0, 2)}$$

- Multi-Klassen-Ansatz: "One versus Rest":  
26 SVM's mit Gauss-Kernel
- Leave-One-Out Klassifikation



<sup>a)</sup>Allergological relevant pollen

# Klassifikations-Ergebnisse mit LSM-Daten

(»leave-one-out« Klassifikation)

	Korrekte	Falsche Klassifikation
<i>Beifuß:</i>	13	1 -> <i>Korbblüter</i> , 1 -> <i>Platane</i>
<i>Erle:</i>	15	-
<i>Grün-Erle:</i>	12	-
<i>Birke:</i>	13	2 -> <i>Wegerich</i>
<i>Hasel:</i>	13	1 -> <i>Erle</i>
<i>Süßgräser:</i>	15	-
<i>Roggen:</i>	11	3 -> <i>Rotbuche</i> , 1 -> <i>Linde</i>
Allergologisch irrelevant*:	282	2 -> <i>Süßgräser</i>
<b>Gesamt:</b>	<b>97.4%</b>	<b>2.6%</b>

\* *Ahorn, Hainbuche, Gänsefuß, Korbblüter, Kreuzblütengewächse, Rotbuche, Eiche, Roßkastanie, Walnuß, Esche, Wegerich, Platane, Ampfer, Pappel, Weide, Eibe, Linde, Ulme, Brennesel*

## Zusammenfassung

- Zur eindeutigen Erkennung der Pollen sind tomographische 3D-Verfahren notwendig.
- Die Merkmals-Extraktion wurde für den Computer optimiert. Es wurde nicht versucht, den menschlichen Erkennungsvorgang nachzuahmen.
- In den Programmen ist bisher kein Pollen-spezifischer Code enthalten
- Mit Support Vektor Maschinen steht ein einfach zu bedienender aber sehr leistungsfähiger Klassifikator zur Verfügung

# Ausblick

---

- 2D Vorerkennung mit Mehrkanal-Bildern
- Beschleunigung der Invarianten für andere Kernfunktionen (on-the-fly source-code-generation)
- Nutzen der Jahreszeit-Information
- Entwicklung eines vollautomatischen Pollen-Monitors
- Adaption des Systems an andere Partikel (Sporen Bakterien), Kombination der Bild-Information mit Raman-Spektroskopie