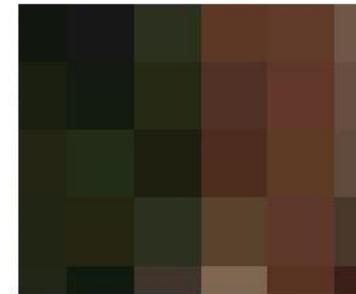
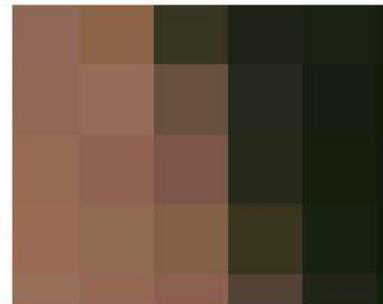


Multitemporale Klassifikation hochaufgelöster Fernerkundungsdaten mit Conditional Random Fields

Thorsten Hoberg, Sönke Müller, Franz Rottensteiner



Motivation I



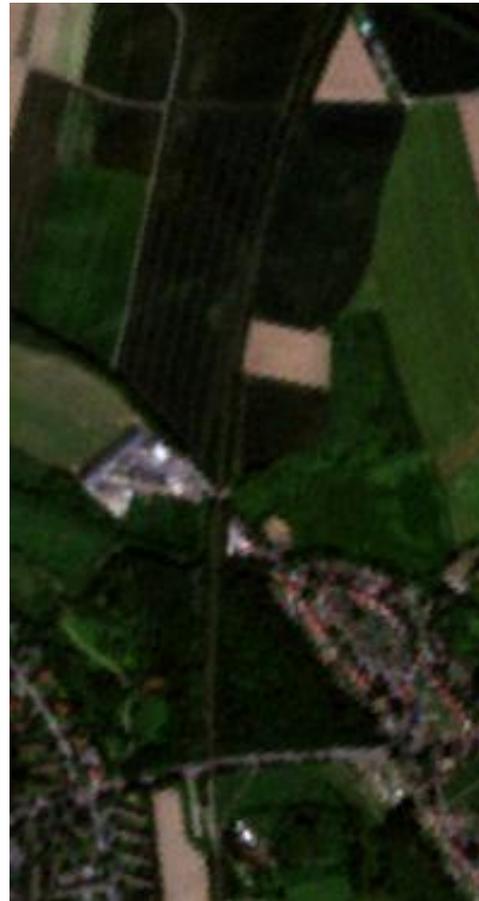
Motivation I



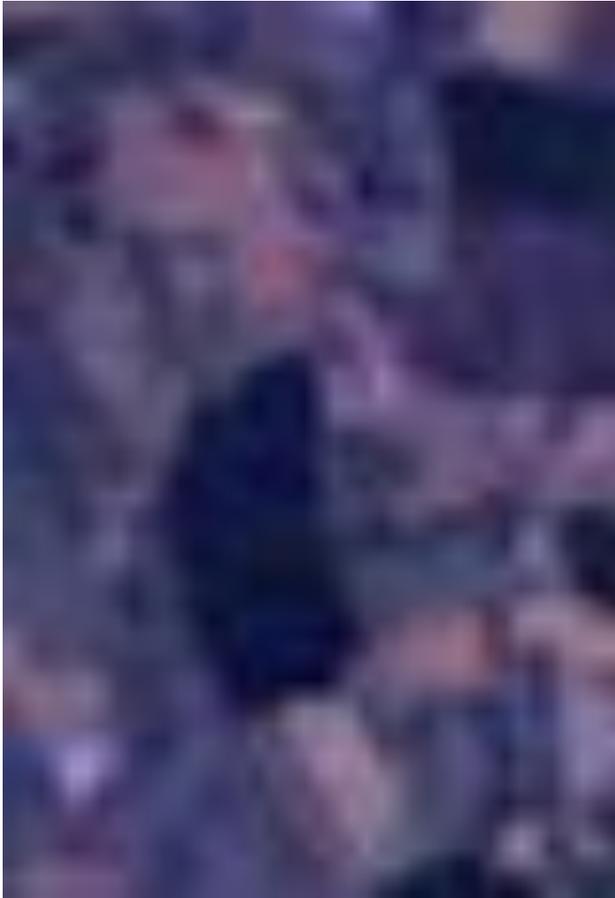
Motivation II



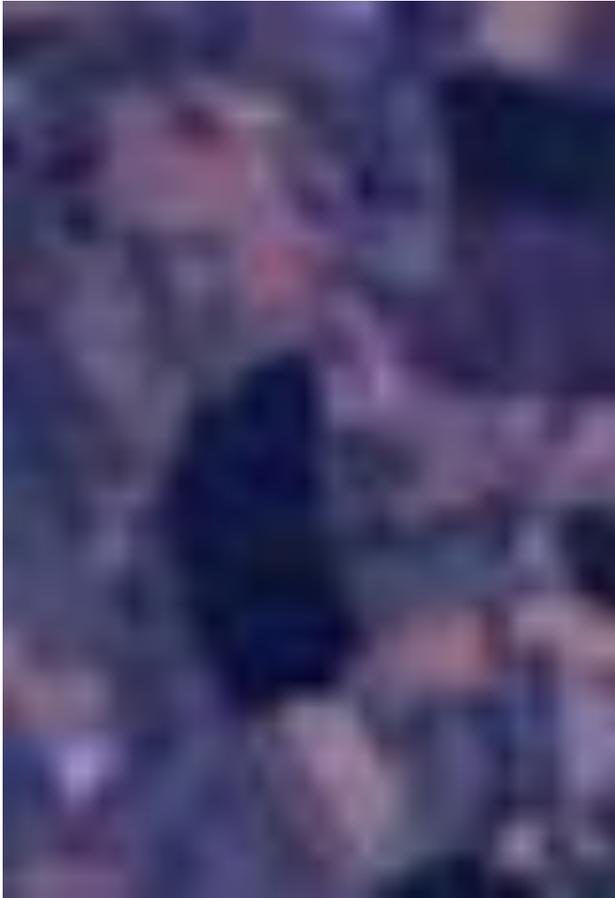
Motivation II



Motivation III



Motivation III



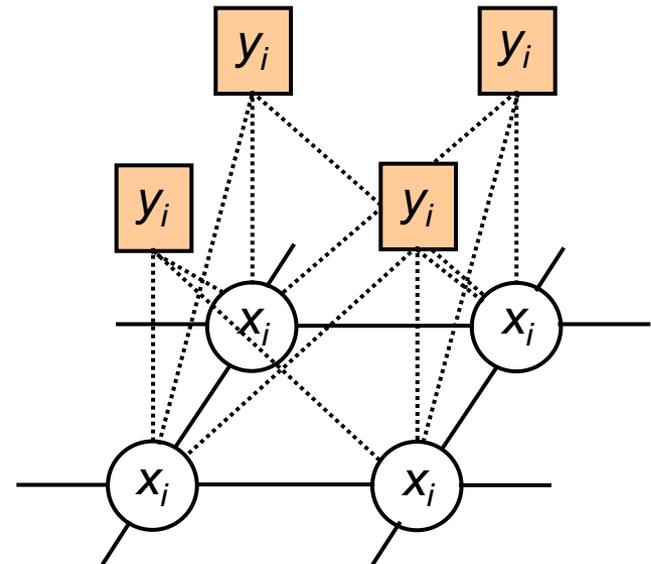
Gliederung

- Motivation
- Grundlagen: Conditional Random Fields
- Klassifikation
 - (1) Monotemporal
 - (2) Multitemporal ohne Nutzungsänderungen
 - (3) Multitemporal mit Nutzungsänderungen
 - (4) Multitemporal, multiskalar
- Zusammenfassung



Conditional Random Fields

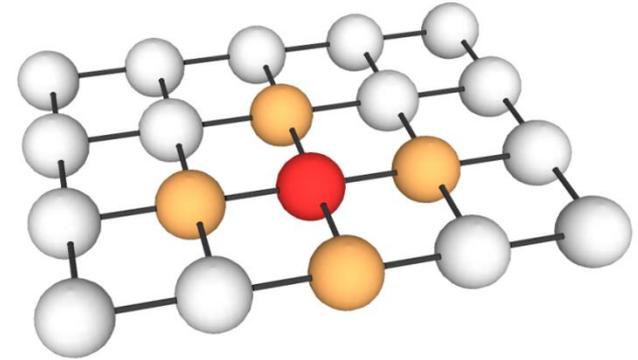
- Graphische Modelle
 - Knoten: Bildprimitive
 - Kanten: nachbarschaftliche Beziehungen
- Eigenschaften
 - Berücksichtigung von Kontextwissen
 - Zuweisung des Labels basiert auf Merkmalsinformationen des Primitives sowie interagierender Primitive
 - Label interagieren bi-direktional
- Ziel: Bestimmung des wahrscheinlichsten Labels für alle Bildprimitive



Bishop, 2006

Conditional Random Fields

$$P(\mathbf{x}|\mathbf{y}) = \frac{1}{Z} \exp \left(\sum_{i \in S} A_i(x_i, \mathbf{y}) + \sum_{i \in S} \sum_{j \in N_i} I_{ij}(x_i, x_j, \mathbf{y}) \right)$$



- A_i : Assoziationspotential
 - Maß für die Zugehörigkeit zu einer Klasse ohne Berücksichtigung anderer Primitive
 - Funktion aller Daten
 - Beliebige Klassifikatoren, deren Ergebnis als Likelihood interpretiert werden kann
- I_{ij} : Interaktionspotential
 - Modellierung des Kontexts von interagierenden Primitive
 - Funktion der Label und Daten

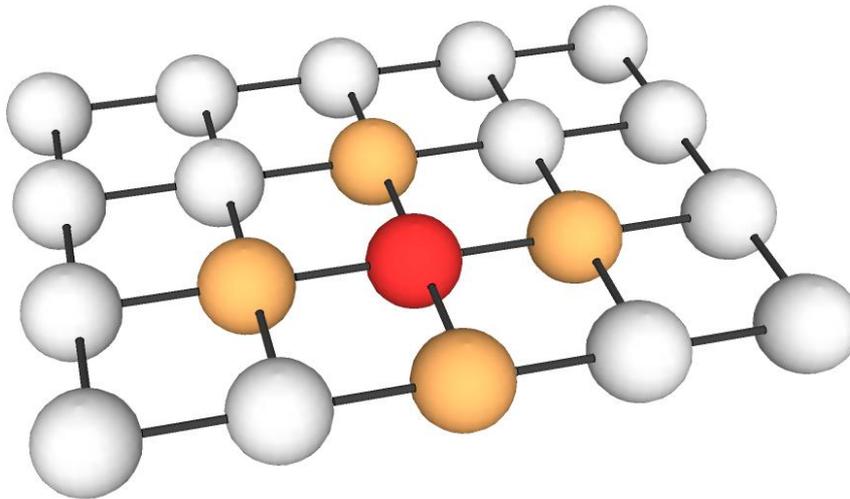
Gliederung

- Motivation
- Grundlagen: Conditional Random Fields
- **Klassifikation**
 - (1) **Monotemporal**
 - (2) Multitemporal ohne Nutzungsänderungen
 - (3) Multitemporal mit Nutzungsänderungen
 - (4) Multitemporal, multiskalar
- Zusammenfassung



Monotemporale Klassifikation von Siedlungsflächen

- Daten: Ikonos rgb, 4m Auflösung
- Bildprimitive: Blöcke, $s = 4$, $s = 10$
- Graphstruktur:



ML Ergebnis



CRF Ergebnis

Monotemporale Klassifikation von Siedlungsflächen



Referenz

ML, $s = 10$ CRF, $s = 10$

Blockgröße	Methode	Vollständigkeit	Korrektheit
4	ML	77,6 %	68,2 %
	CRF	89,6 %	90,3 %
10	ML	90,7 %	75,8 %
	CRF	92,9 %	90,0 %

Gliederung

- Motivation
- Grundlagen: Conditional Random Fields
- **Klassifikation**
 - (1) Monotemporal
 - (2) Multitemporal ohne Nutzungsänderungen**
 - (3) Multitemporal mit Nutzungsänderungen
 - (4) Multitemporal, multiskalar
- Zusammenfassung



Multitemporale Klassifikation von Feldfrüchten

- Daten: RapidEye, 5 Bänder, 5m Auflösung
- Klassen: Grünland, Mais, Wintergetreide, Raps, Hackfrüchte und sonstige
 - Referenz durch Feldbegehung
- Testgebiet: 121 separate Felder



2010-04-18



2010-06-03



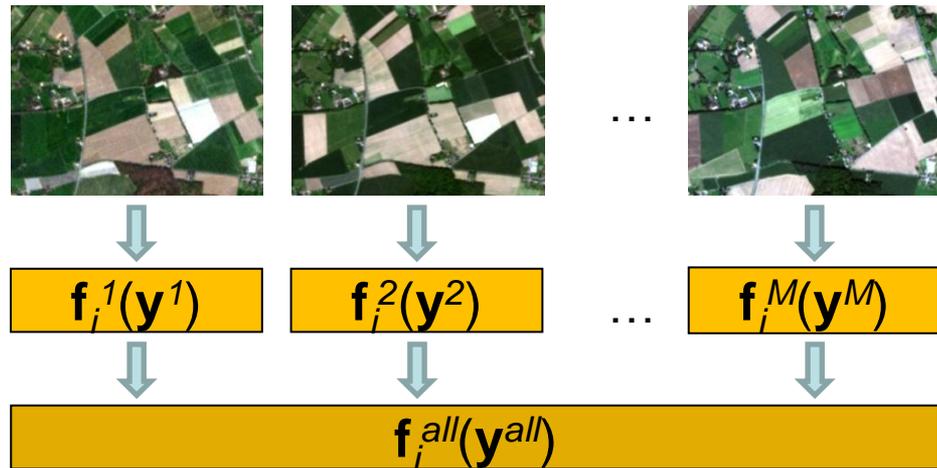
2010-08-12



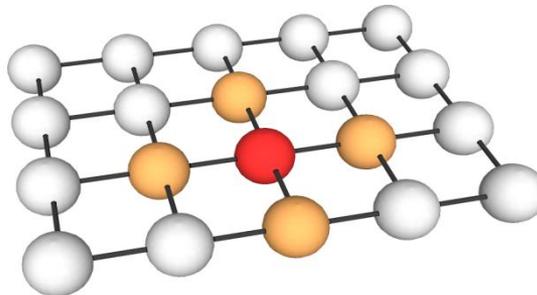
2010-10-10

Multitemporale Klassifikation von Feldfrüchten

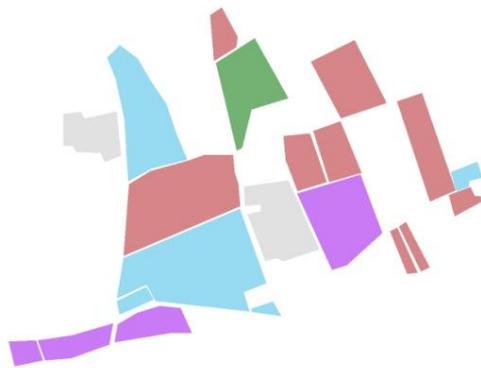
- Merkmalsextraktion



- Bildprimitive: Pixel
- Graphstruktur:



Multitemporale Klassifikation von Feldfrüchten



Referenz



CRF

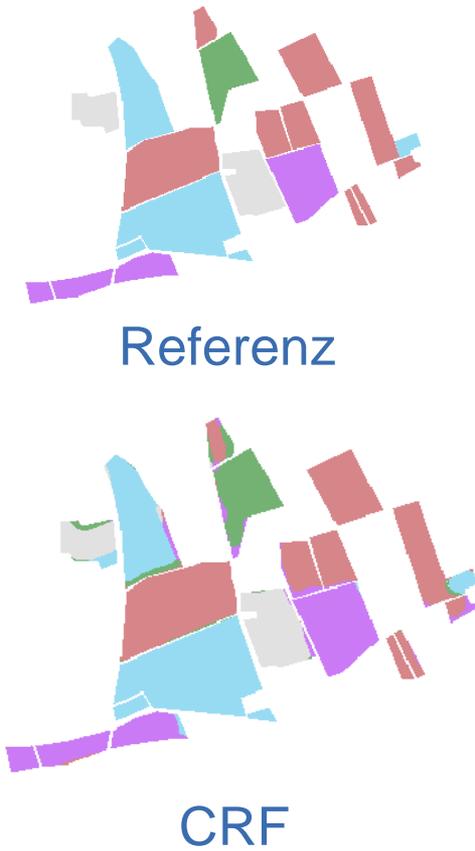
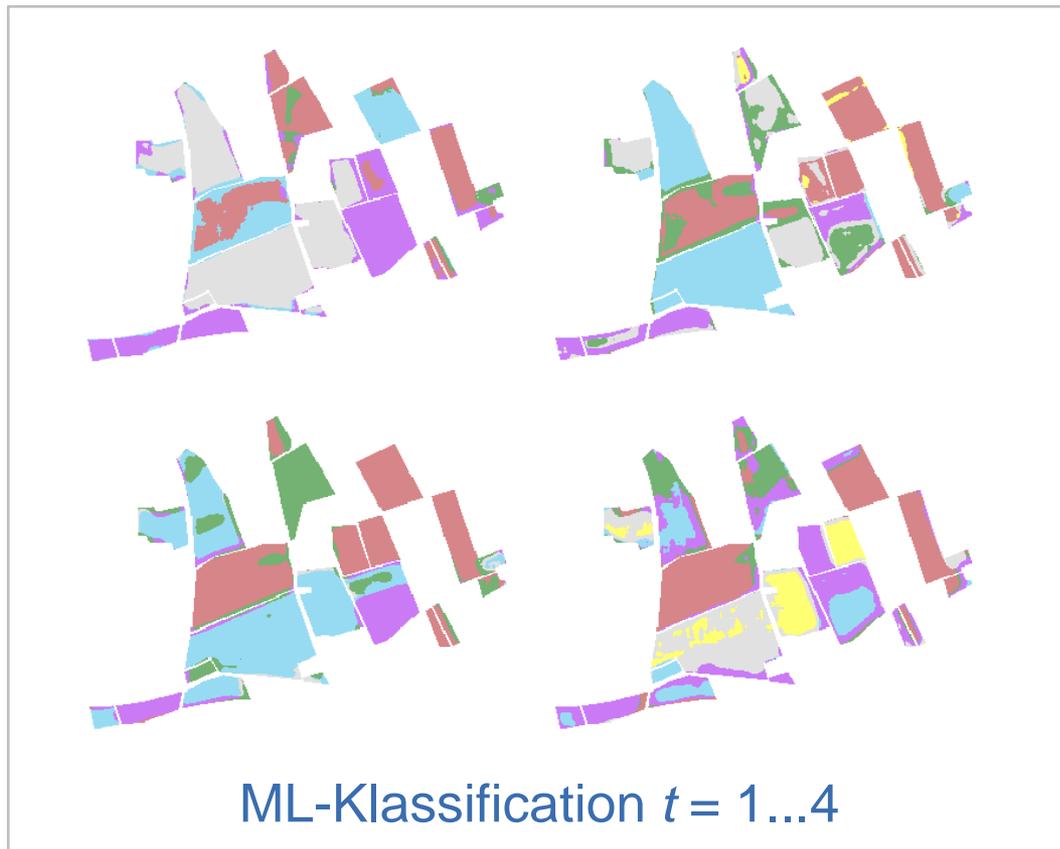


SVM

Legende: **Grünland** **Mais** **Wintergetreide** **Raps** **Hackfrüchte** **Sonstige**

	Overall accuracy	kappa
CRF	87.4	0.85
SVM	82.7	0.79

Multitemporale Klassifikation von Feldfrüchten



Legende: **Grünland** **Mais** **Wintergetreide** **Raps** **Hackfrüchte** **Sonstige**

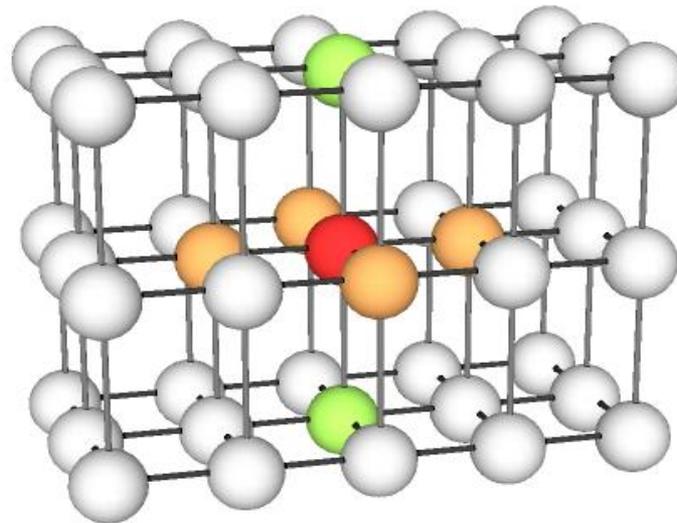
Gliederung

- Motivation
- Grundlagen: Conditional Random Fields
- **Klassifikation**
 - (1) Monotemporal
 - (2) Multitemporal ohne Nutzungsänderungen
 - (3) Multitemporal mit Nutzungsänderungen**
 - (4) Multitemporal, multiskalar
- Zusammenfassung



Multitemporale Klassifikation mit Nutzungsänderungen

- Daten: Ikonos 2005/2007; RapidEye 2009
- Klassen: Siedlung, Industrie, Wald, Acker-/Grünland
- Bildprimitive: Blöcke, $s = 6$
- Graphstruktur:



Multitemporale Klassifikation mit Nutzungsänderungen

- Einführung eines temporalen Interaktionspotentials

$$P(\mathbf{x}|\mathbf{y}) = \frac{1}{Z} \exp \left[\sum_{i \in S} \sum_{t \in T} A_i^t(x_i^t, \mathbf{y}^t) + \sum_{i \in S} \sum_{t \in T} \sum_{j \in N_i} IS_{ij}^t(x_i^t, x_j^t, \mathbf{y}^t) + \sum_{i \in S} \sum_{t \in T} \sum_{k \in C_i} IT_i^{tk}(x_i^t, x_i^k, \mathbf{y}^t, \mathbf{y}^k) \right]$$

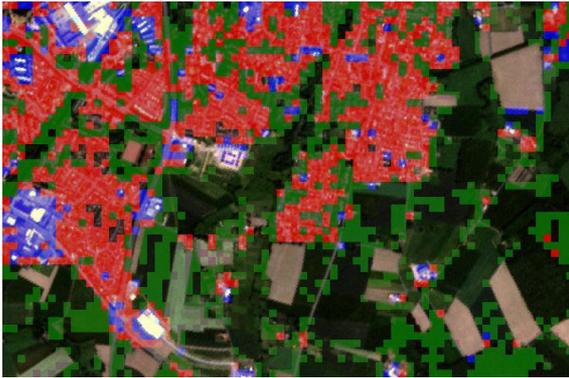
- Übergangsmatrix basierend auf Expertenwissen

$$IT_i^{tk}(x_i^t, x_i^k, \mathbf{y}^t, \mathbf{y}^k) = \gamma \cdot \mathbf{TM}(x_i^t, x_i^k)$$

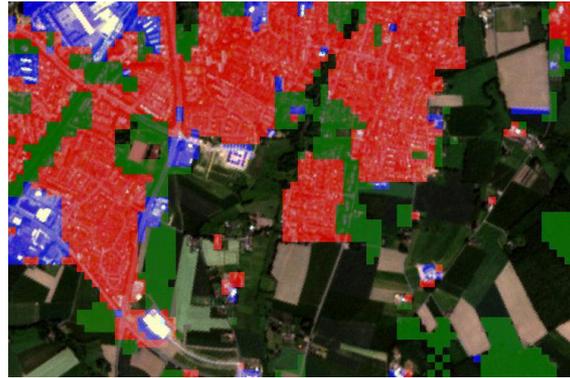
	$x_i^{t+1} = sied$	$x_i^{t+1} = ind$	$x_i^{t+1} = wald$	$x_i^{t+1} = ack$
$x_i^t = sied$	1	0.05	0.05	0.05
$x_i^t = ind$	0.05	1	0.05	0.05
$x_i^t = wald$	0.1	0.1	1	0.1
$x_i^t = ack$	0.2	0.2	0.05	1

Multitemporale Klassifikation mit Nutzungsänderungen

- Ergebnisse: RapidEye 2009



ML



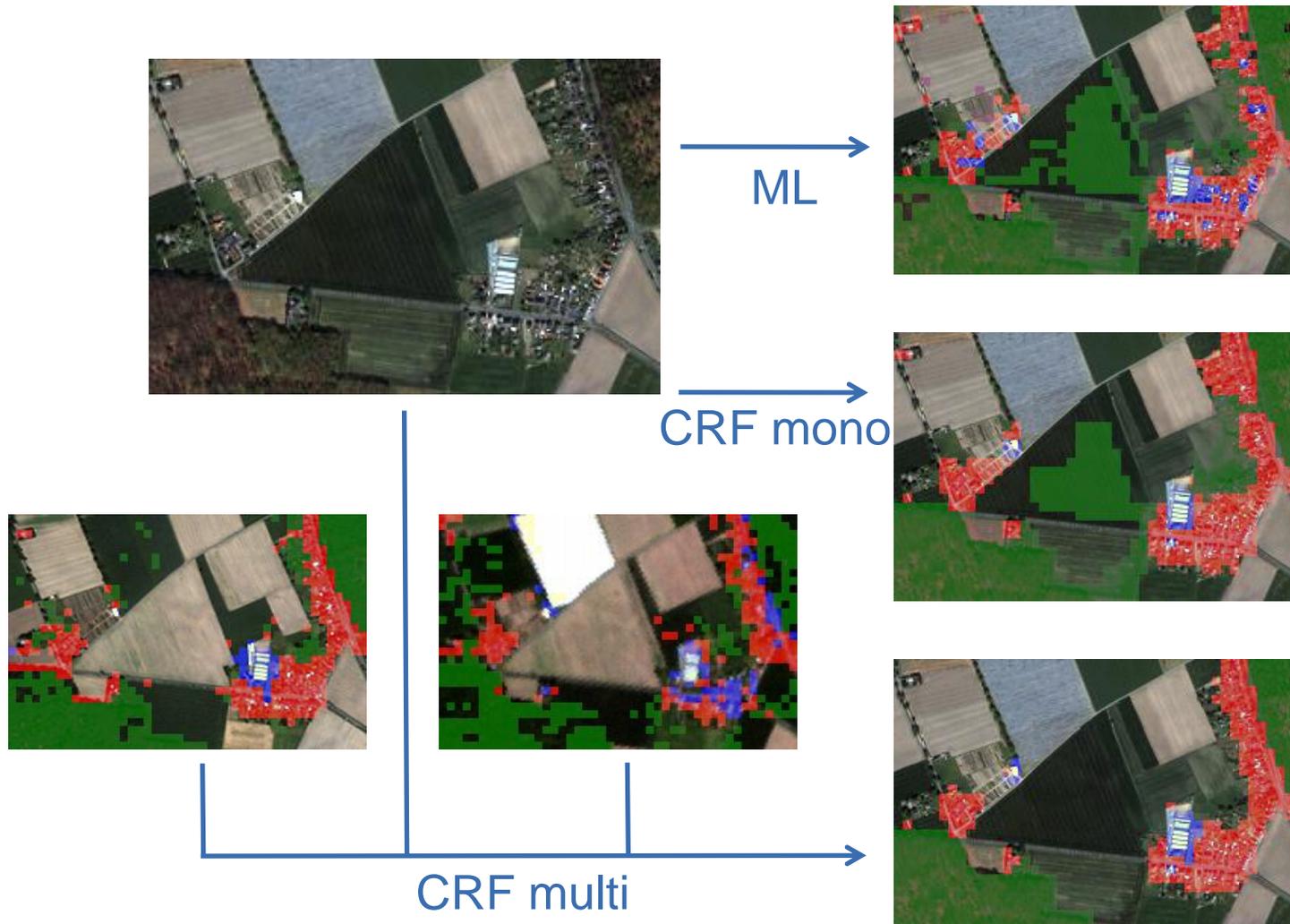
CRF mono



CRF multitemp

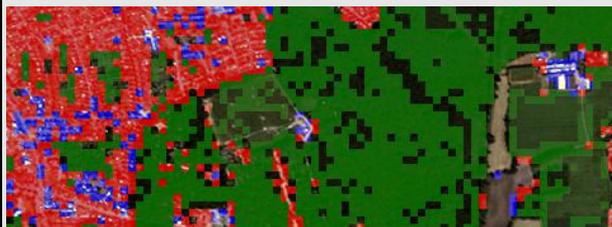
	ML	CRF monotemp	CRF multitemp
Ikonos 2005	73.6 % / 0.61	80.8 % / 0.71	82.7 % / 0.73
Ikonos 2007	75.8 % / 0.64	82.2 % / 0.72	83.2 % / 0.74
RapidEye 2009	67.4 % / 0.52	75.0 % / 0.62	79.6 % / 0.68

Temporale Interaktion



Veränderungsdetektion

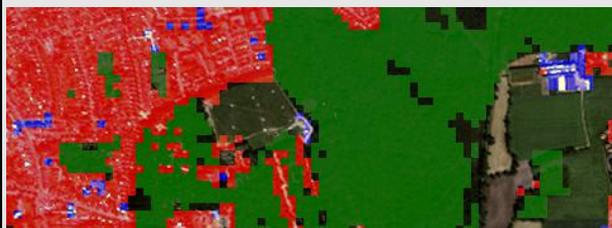
2005



ML



CRF monotemp



CRF multitemp

2007



ML

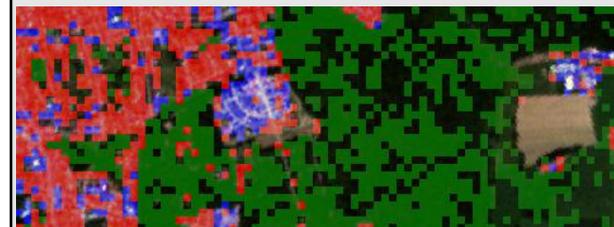


CRF monotemp



CRF multitemp

2009



ML



CRF monotemp



CRF multitemp

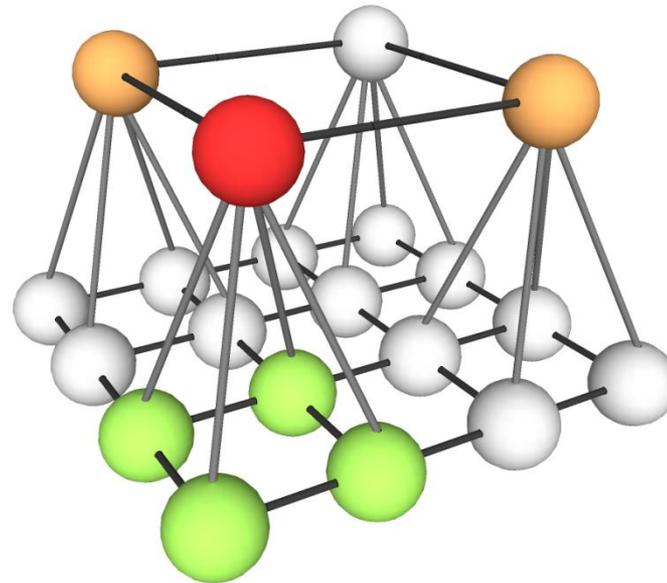
Gliederung

- Motivation
- Grundlagen: Conditional Random Fields
- **Klassifikation**
 - (1) Monotemporal
 - (2) Multitemporal ohne Nutzungsänderungen
 - (3) Multitemporal mit Nutzungsänderungen
 - (4) Multitemporal, multiskalar**
- Zusammenfassung



Multitemporale, multiskalare Klassifikation mit Nutzungsänderungen

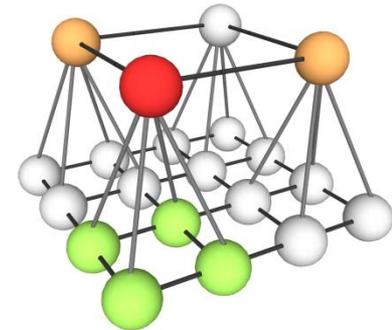
- Daten: (1) Ikonos 2005; (2) Landsat 2010
- Klassen: (1) Siedlung, Industrie → (2) bebaute Geb.
(1)+(2) Wald, Acker-/Grünflächen
- Bildprimitive: Pixel
- Graphstruktur:



Multitemporale, multiskalare Klassifikation mit Nutzungsänderungen

- Temporales Interaktionspotential
 - Abhängig von der Anzahl Nachbarn

$$IT_i^{tk} \quad x_i^t, x_i^k, \mathbf{y}^t, \mathbf{y}^k = \gamma \cdot \mathbf{TM} \quad x_i^t, x_i^k / Q_i^k$$

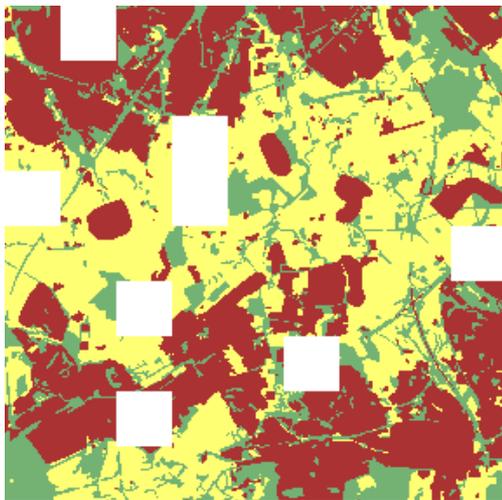


- Unterschiedliche Anzahl und Struktur von Klassen zu den jeweiligen Zeitpunkten (hier 1:N Relation)

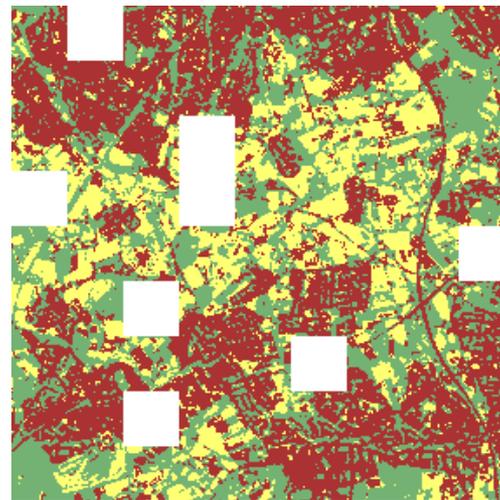
	$x_i^{t+1} = \text{bau}$	$x_i^{t+1} = \text{wald}$	$x_i^{t+1} = \text{ack}$
$x_i^t = \text{sied}$	1	0.05	0.05
$x_i^t = \text{ind}$	1	0.05	0.05
$x_i^t = \text{wald}$	0.2	1	0.1
$x_i^t = \text{ack}$	0.2	0.1	1

Multitemporale, multiskalare Klassifikation mit Nutzungsänderungen

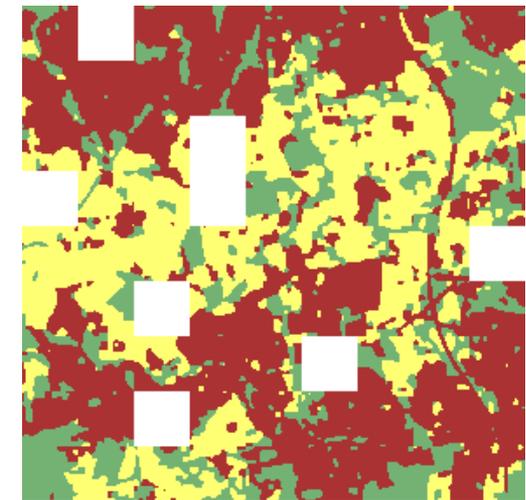
- Ergebnisse: Landsat 2010



Referenz



ML



CRF multitemp

	ML	CRF monotemp	CRF multitemp
Ikonos 2005	74.3 % / 0.63	-	77.6 % / 0.68
Landsat 2010	64.4 % / 0.49	72.2 % / 0.58	79.4 % / 0.68

Multitemporale, multiskalare Klassifikation mit Nutzungsänderungen

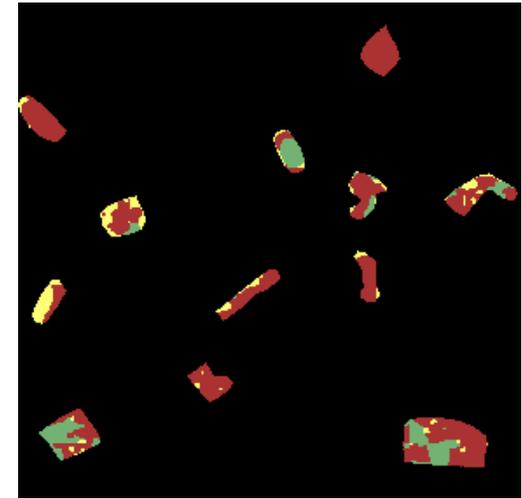
- Veränderungsdetektion



Manipulierte Szene



Veränderungsmaske



CRF multitemp

- 70 % korrekt erkannte Veränderungen
- Majorität der Pixel in 10 der 12 Segmente korrekt (83%)

Gliederung

- Motivation
- Grundlagen: Conditional Random Fields
- Klassifikation
 - (1) Monotemporal
 - (2) Multitemporal ohne Nutzungsänderungen
 - (3) Multitemporal mit Nutzungsänderungen
 - (4) Multitemporal, multiskalar
- Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Berücksichtigung räumlichen sowie zeitlichen Kontextwissens mit Conditional Random Fields
- Integrierte Analyse aller Daten
 - Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit und Veränderungsdetektion in einem Schritt
- Zukünftige Modifikationen
 - Lernen von Parametern
 - Verbesserte Nutzung von Modellwissen mittels Interaktionspotentialen

