



Großflächige Stammvolumenbestimmung mittels C-band SAR und InSAR Methoden

Oliver Cartus ⁽¹⁾, Maurizio Santoro ⁽²⁾,
Christiane Schmallius ⁽¹⁾

(1) Abteilung Fernerkundung, Friedrich-Schiller-Universität, Jena

(2) Gamma Remote Sensing, Gümligen, Schweiz

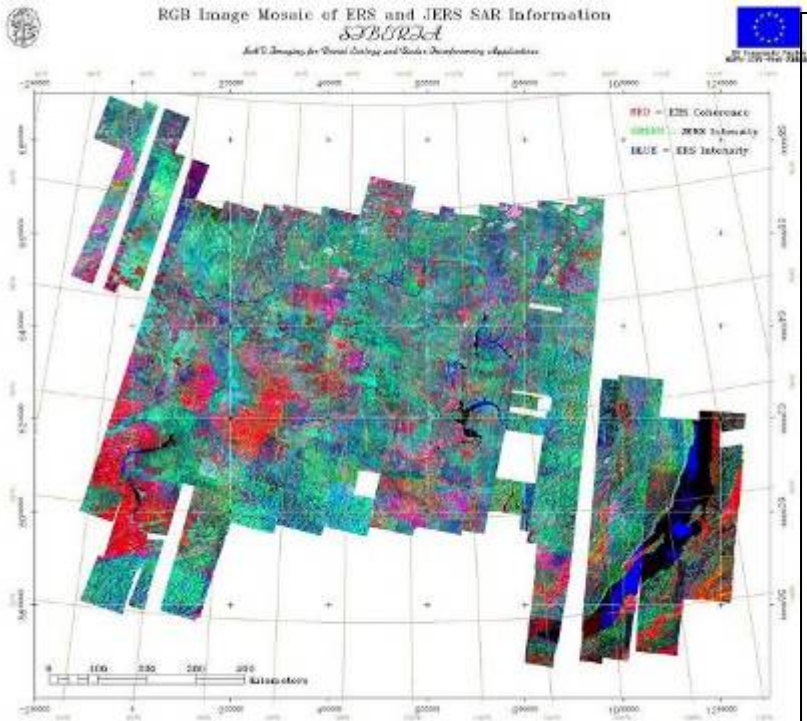


Hintergrund

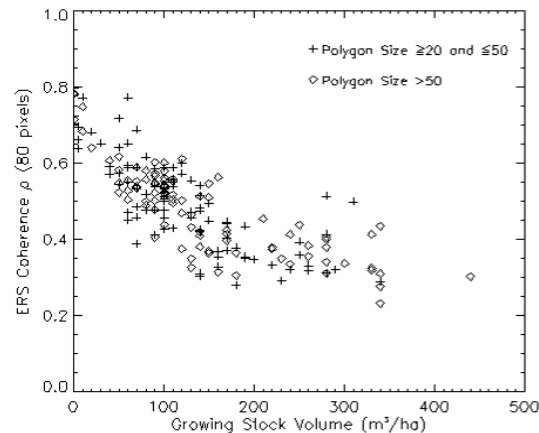
- Methoden für Stammvolumenbestimmung mittels C-band SAR und InSAR existieren
- Einschränkung: Methoden benötigen Bodenreferenzdaten (selten, ungenau)
- Die Archive der ERS1/2, ENVISAT Missionen enthalten C-band Zeitserien seit 1991
- Flächendeckende Archive für ENVISAT medium - low resolution WideSwath (100m) und Global Monitoring (1 km) → flächendeckende Karten für borealen Raum möglich
- C-band Zeitserie wird fortgesetzt durch Sentinel-1a&b (und ENVISAT)
- Benötigt werden jedoch automatisierte (multitemporale) Algorithmen



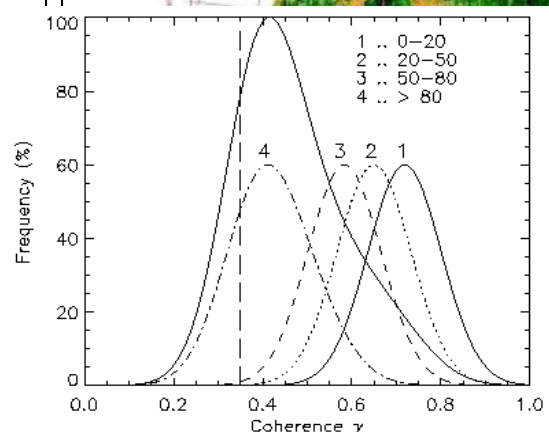
Erste großflächige Forstkarte, die aus ERS-1/2 Tandem Kohärenz erstellt wurde → SIBERIA Projekt (Wagner et al., RSE, 2003).



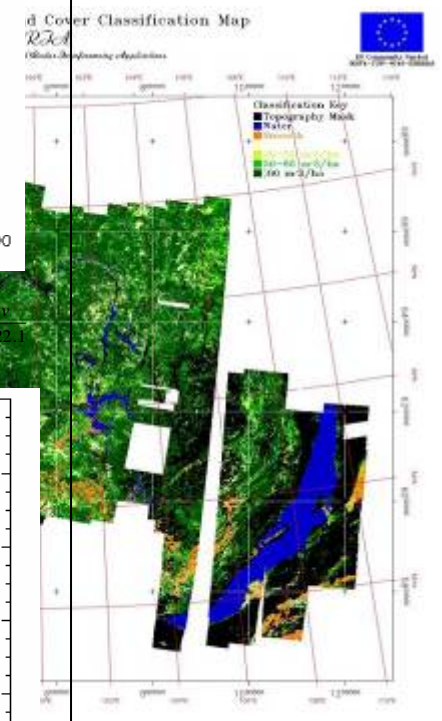
ERS-1/2 Tandem Kohärenz
JERS-1 SAR Intensität



$$\gamma(v) = \gamma_{75} + (0.330 + 0.581 \cdot \gamma_{75}^2) e^{-1.22v}$$



Forstkarte für Zentralsibirien, Jahre 1997-1998; Genauigkeit > 90%



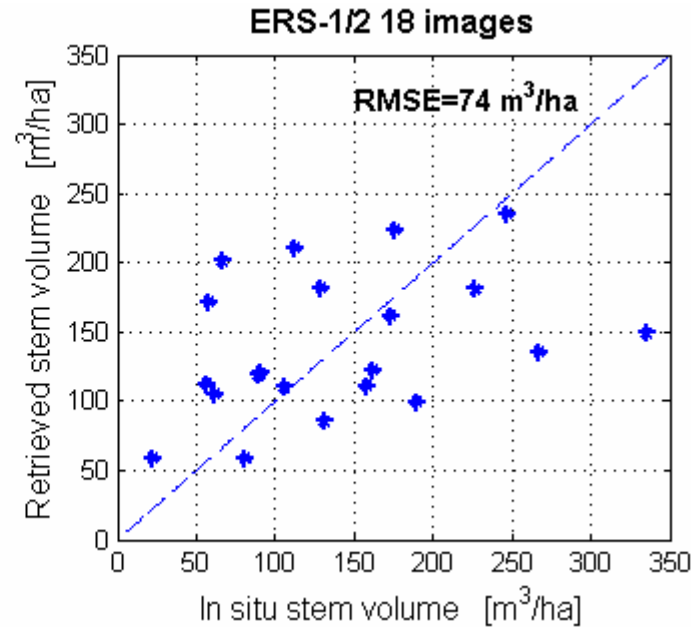
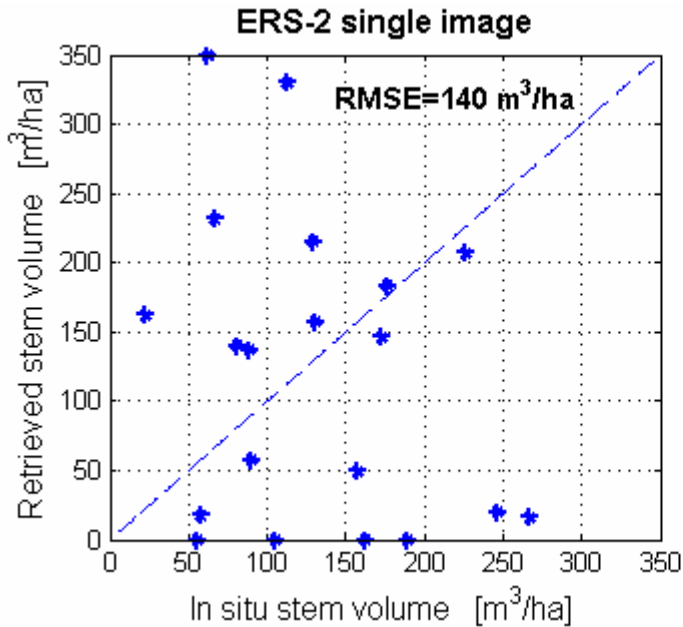


Präsentiert werden zwei Algorithmen zur Bestimmung des Stammvolumens

- Basierend auf multitemporalen Zeitreihen von C-band Intensität
- Basierend auf interferometrischer ERS-1/2 Kohärenz
- Automatisierung der Algorithmen wird durch MODIS Vegetation Continuous Field

Produkt erreicht

- Conclusions



*Kättböle,
Schweden*

- Mit nur einer Aufnahme ist die Stammvolumenbestimmung nicht möglich (hauptsächlich Bodenfeuchteeffekte)
- Die Genauigkeit verbessert sich, wenn viele Aufnahmen zur Verfügung stehen

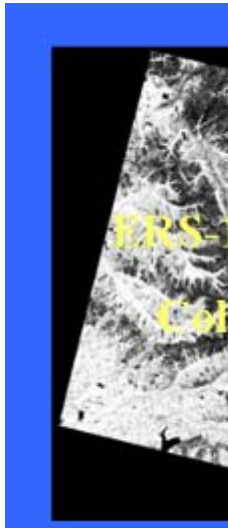
VCF?

Das Modis Vegetation Continuous Field product (VCF)

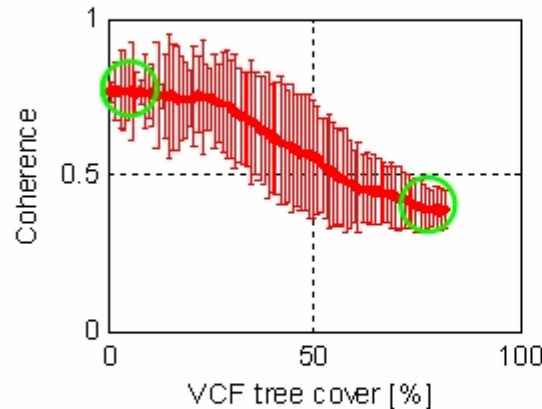
liefert globale sub-pixel Schätzungen der

Kronenbedeckung (2002).

Kohärenz und VCF zeigen vergleichbare Information



Relationship between VCF and ERS coherence

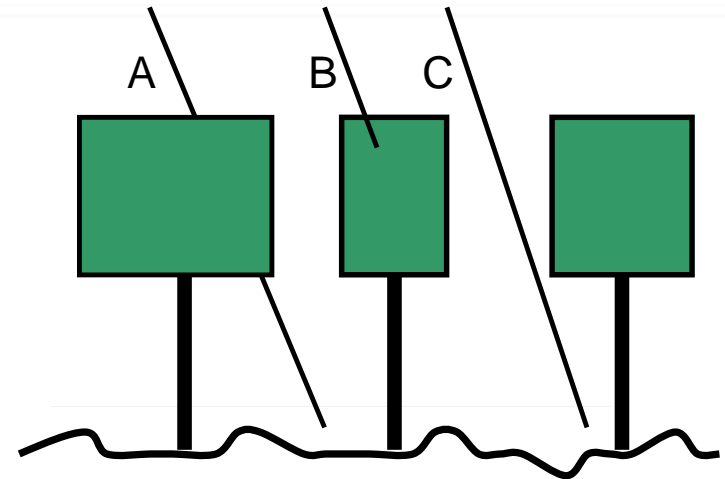


- Areas with VCF tree cover $\leq 10\%$ \rightarrow estimate γ_{gr} and σ_{gr}^0
- Areas with VCF max tree cover \rightarrow estimate γ_{veg} and σ_{veg}^0



Water-Cloud basiertes Modell

$$\sigma_{for}^o = (1 - \eta)\sigma_{gr}^o + \eta\sigma_{gr}^o T_{tree} + \eta\sigma_{veg}^o (1 - T_{tree})$$



Wasserwolke mit Lücken

Das Modell betrachtet Waldrückstreuung im C-band als Summe aus Boden und Kronenrückstreuung, gewichtet über die Transmissivität der Baumkronen.

Transmissivität und Stammvolumen sind eng korreliert.

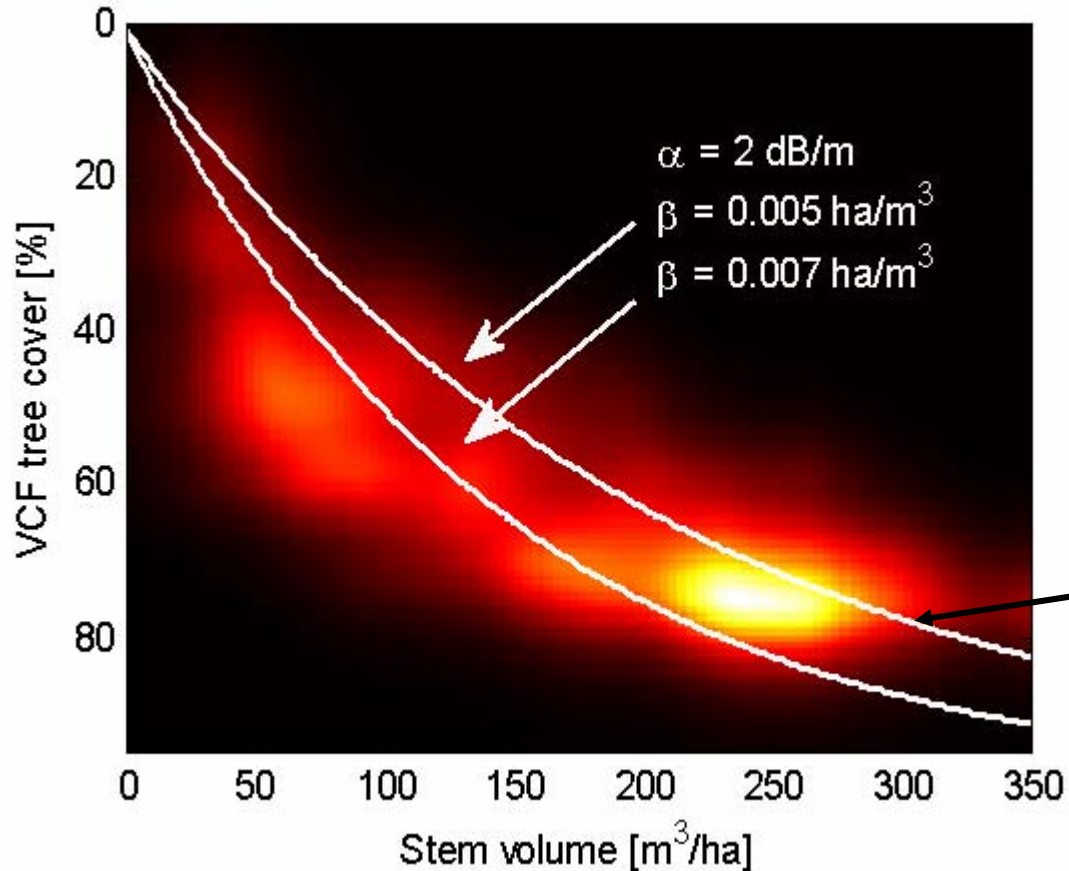
$$\sigma_{for}^o = \underbrace{\sigma_{veg}^o}_{\text{Unknown}} (1 - e^{-\beta V}) + \underbrace{\sigma_{gr}^o}_{\text{Unknown}} e^{-\beta V}$$

$$T_{for} = (1 - \eta) + \eta T_{tree} = e^{-\beta V}$$

Lücken Signalabschwächung in der Krone



Enger Zusammenhang von Kronenbedeckung und Stammvolumen (aus Inventur):



Im Modell
angenommener
Zusammenhang



Modelltraining nutzt

MODIS Vegetation Continuous Fields (VCF) tree canopy cover

MODIS VCF liefert globale der Kronenbedeckung bei 500 m Pixelgröße

Die Abbildung zeigt, dass ein Zusammenhang zwischen VCF und SAR Intensität besteht

Schätzung der Modellparameter

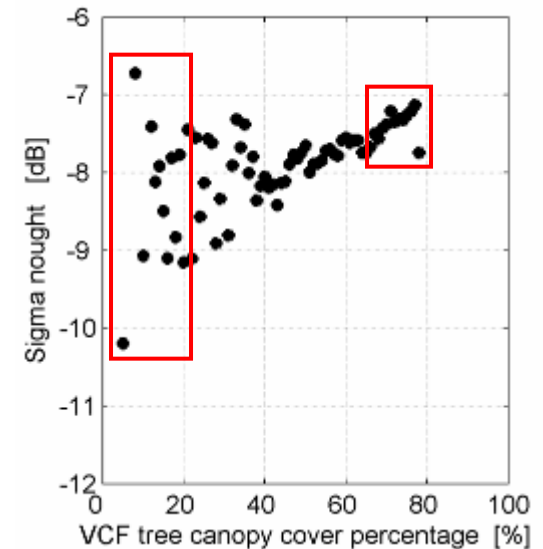
- Flächen mit niedriger Kronenbedeckung (z.B. VCF < 25%) →

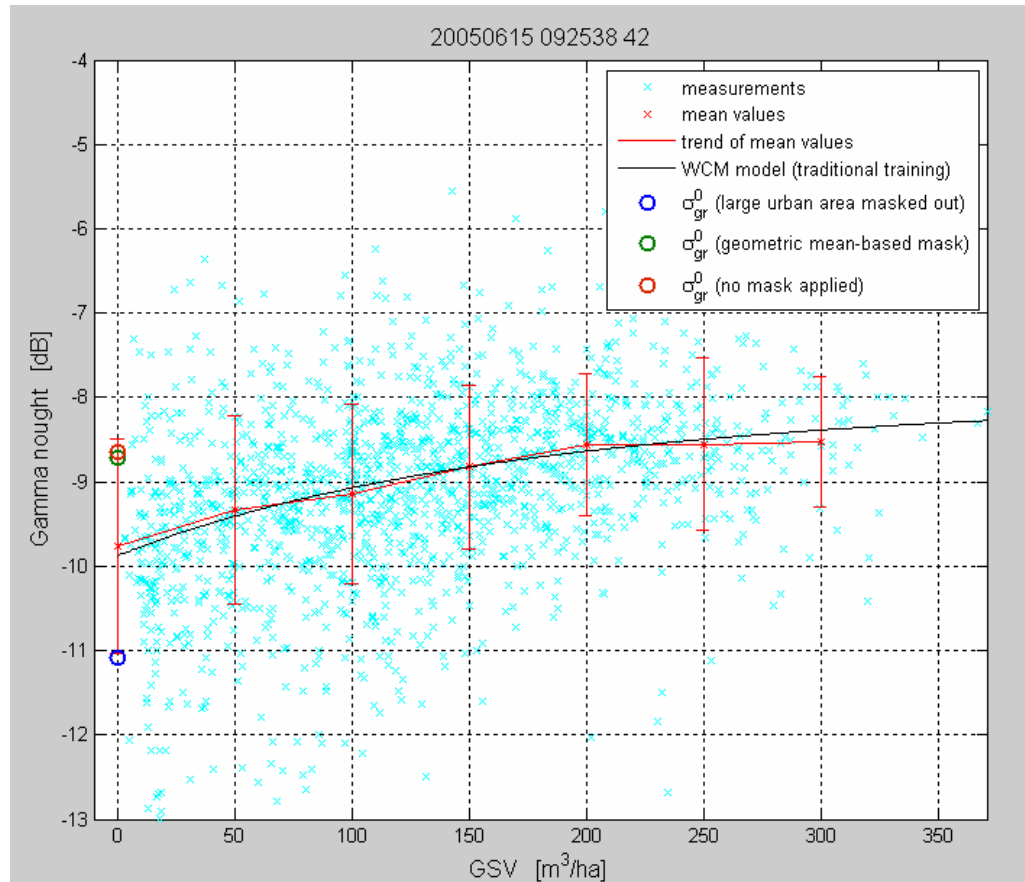
σ_{gr}^0

- Flächen mit hoher Kronenbedeckung → σ_{veg}^0
- Stammvolumen der Wälder mit maximaler Kronenbedeckung in

VCF muss bekannt sein

- β wird als konstant angenommen (0.006 ha/m³)







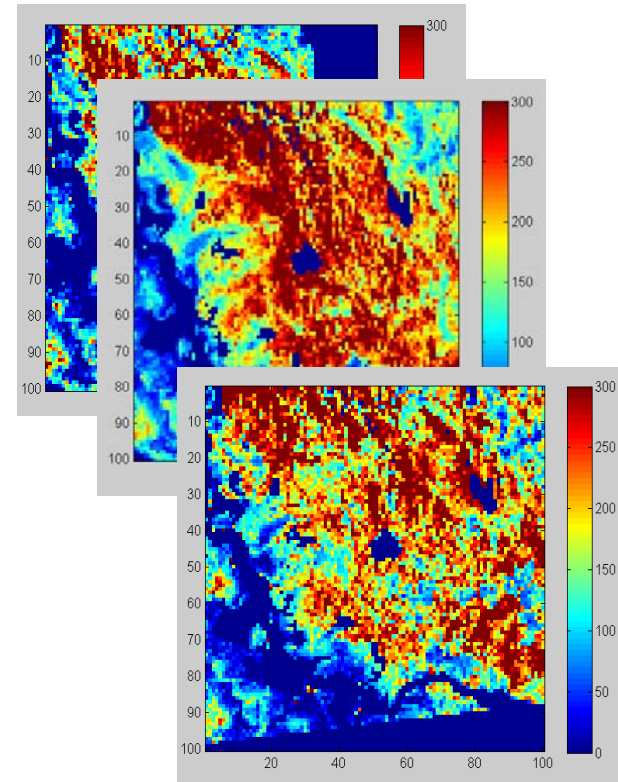
- Modelltraining und inversion auf Pixelbasis
- Für N SAR-Bilder erhalten wir N Stammvolumenschätzungen

Für jedes Pixel

$$\sigma_{for}^o = f\sigma(\hat{\sigma}_{veg}^o, \hat{\sigma}_{gr}^o, \hat{\beta}, V)$$

Modellierung

Inversion



- gewichtete multitemporale Kombination der Einzelschätzungen



Prince George
British Columbia
Inventurdaten



Zentralsibirien
Inventurdaten



Lac Mistassini,
Quebec



1) kNN
2) BioSF

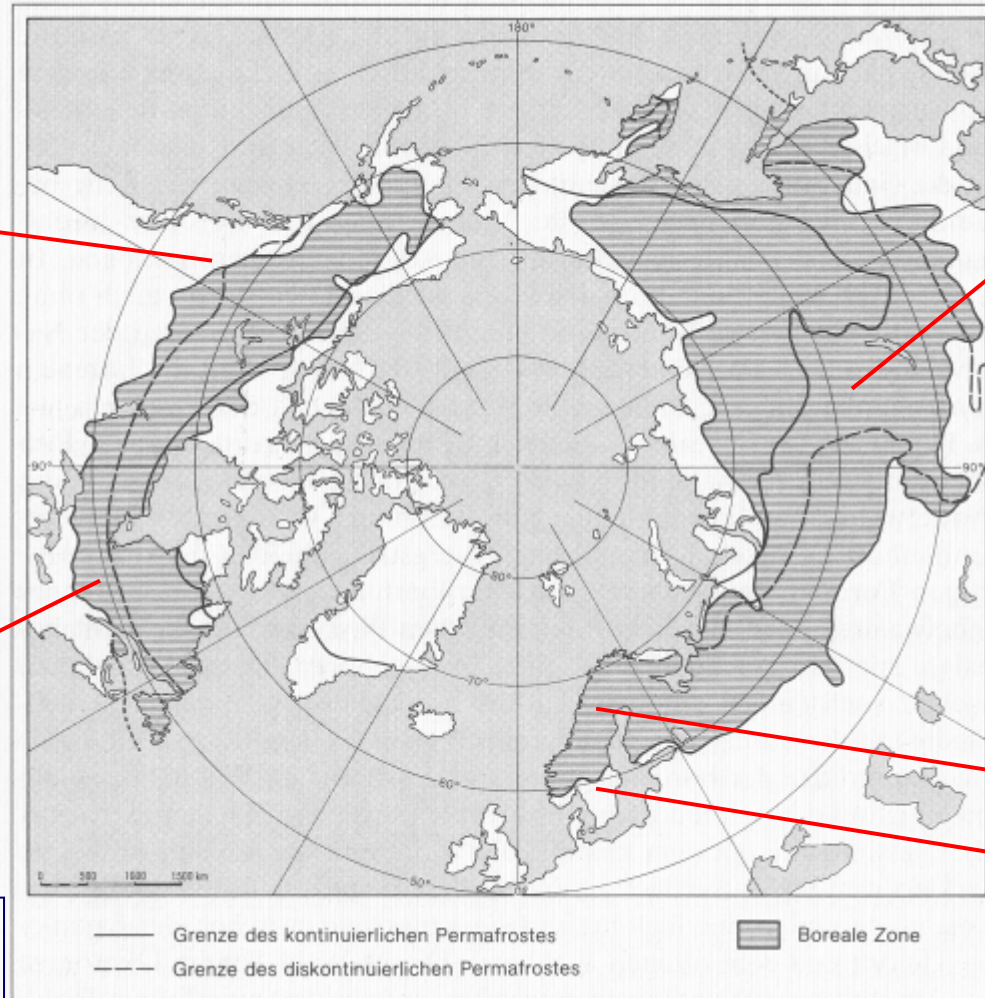
Västerbotten &
Västra Götaland



1) kNN

2) Inventurdaten

3) NFI Plots



Wide Swath, WSM,
@ 100 m

Global Monitoring,
GMM, @ 1 km



Test site: Västerbotten, Sweden

Pixel size: 1 km

ASAR dataset: GMM & WSM aggregated to 1 km

Retrieval statistics

Original

Corrected

Relative RMSE

59.4%

47.7%

Bias

17.9 m³/ha

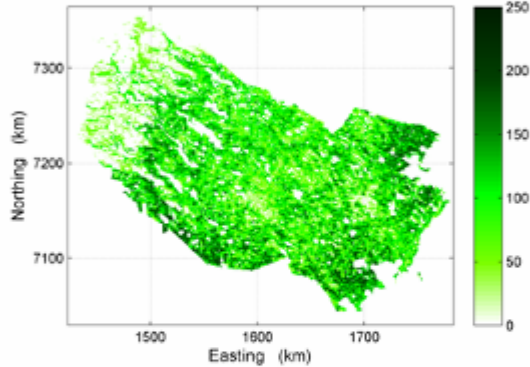
4.7 m³/ha

Correlation

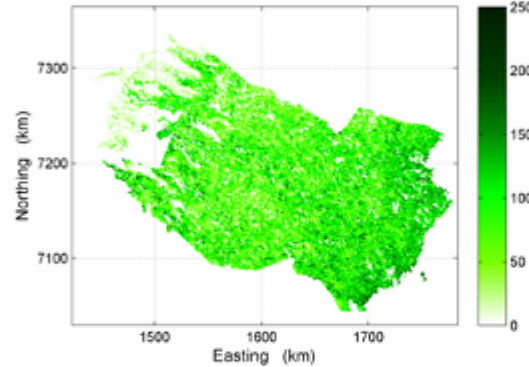
0.34

0.34

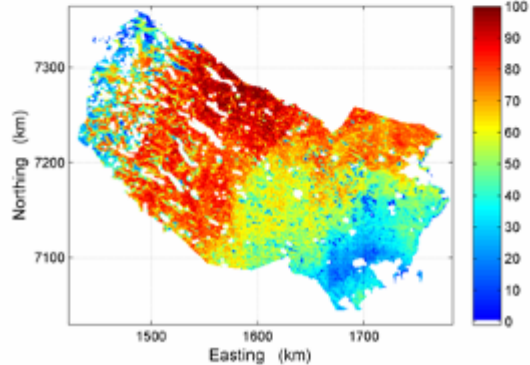
Västerbotten - Pixel size: 1 km - BIOMASAR GSV



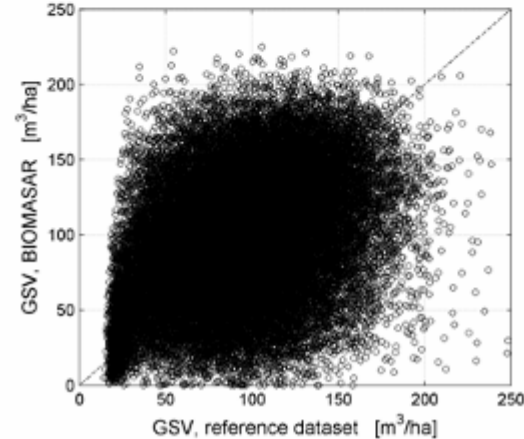
Västerbotten - Pixel size: 1 km - kNN GSV



Västerbotten - Pixel size: 1 km - Number of observations



Västerbotten - Pixel size: 1 km



Interpretation

- Starke Streuung aber ...
- ...übereinstimmende Trends
- kNN auch nicht sehr genau



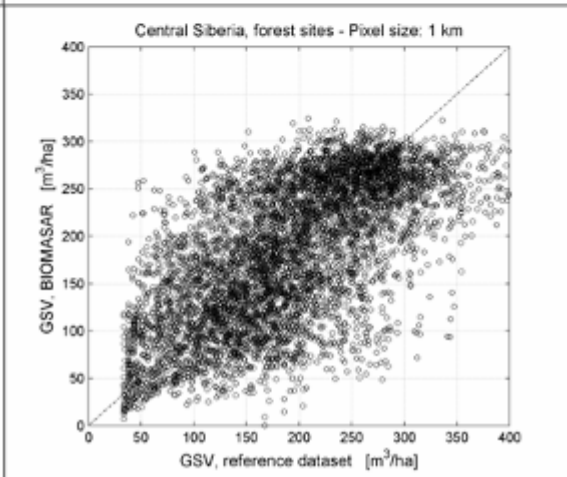
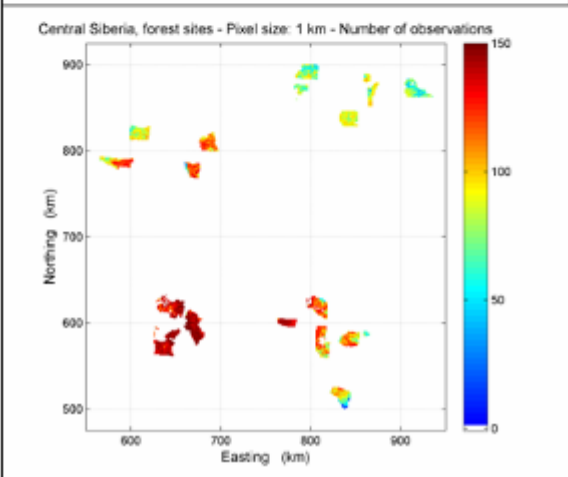
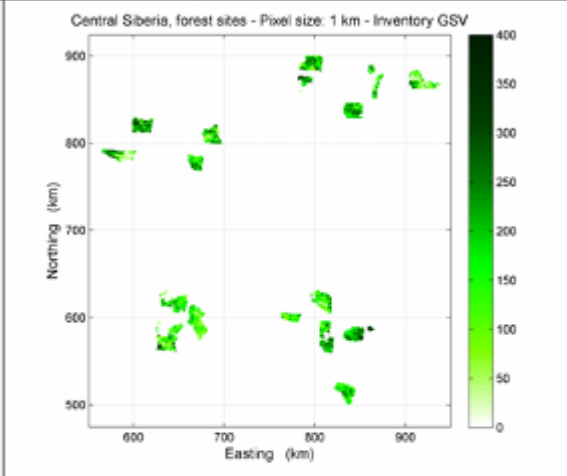
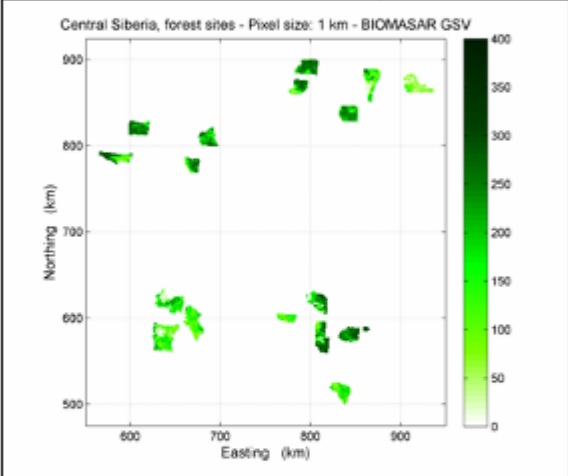
Test site: Central Siberia, forest sites

Pixel size: 1 km

ING

ASAR dataset: GMM & WSM aggregated to 1 km

Retrieval statistics	Original	Corrected
Relative RMSE	43.2%	34.2%
Bias	18.0 m ³ /ha	-8.3 m ³ /ha
Correlation	0.58	0.65

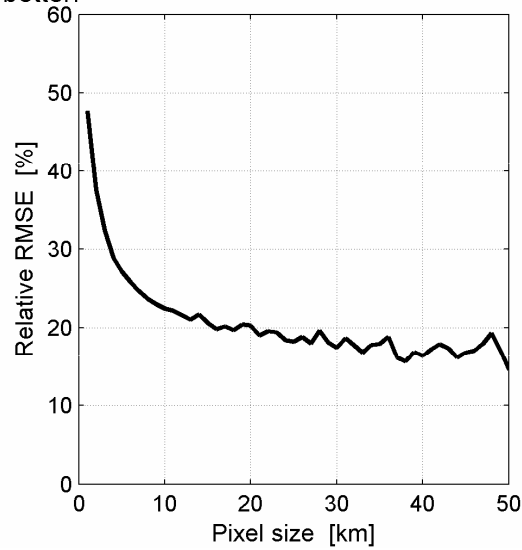
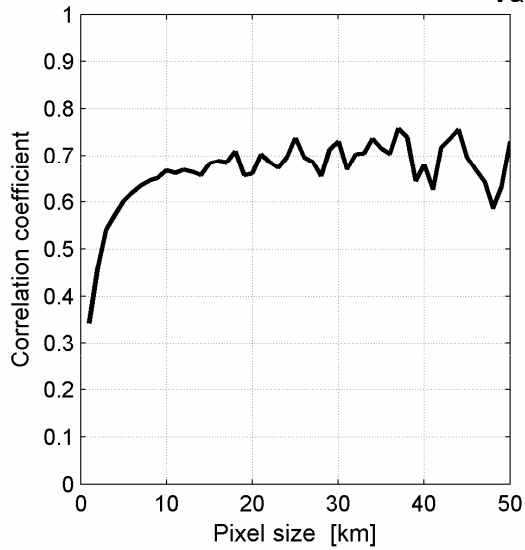


Interpretation

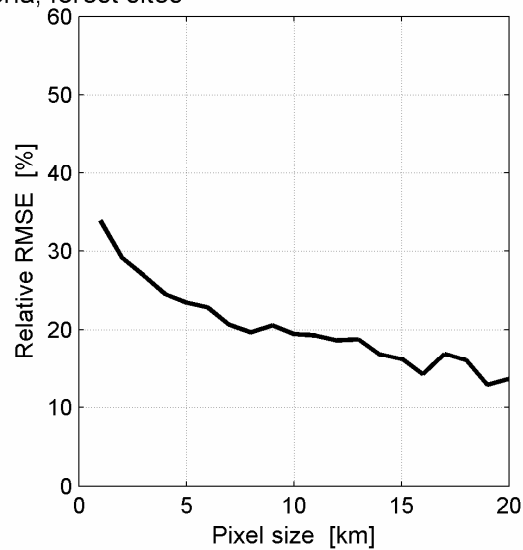
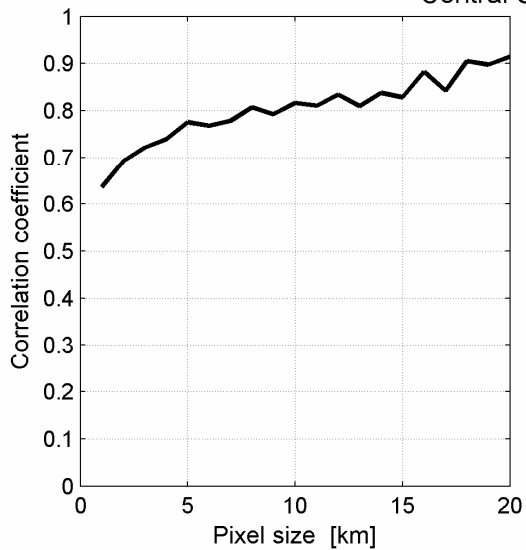
- Gute Übereinstimmung
- 'outlier' bedingt durch Kahlschlag



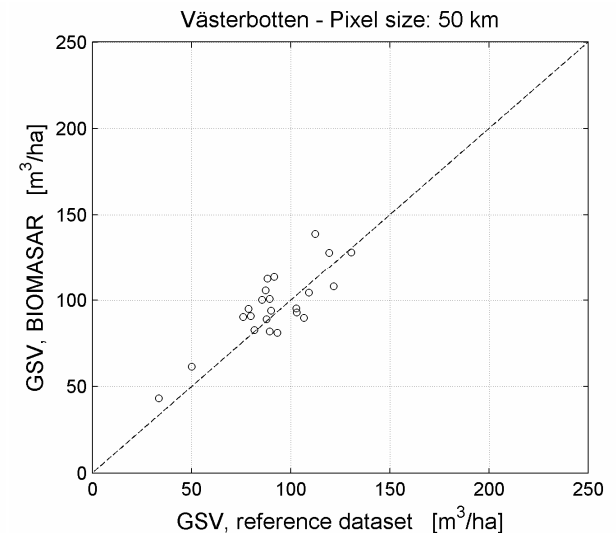
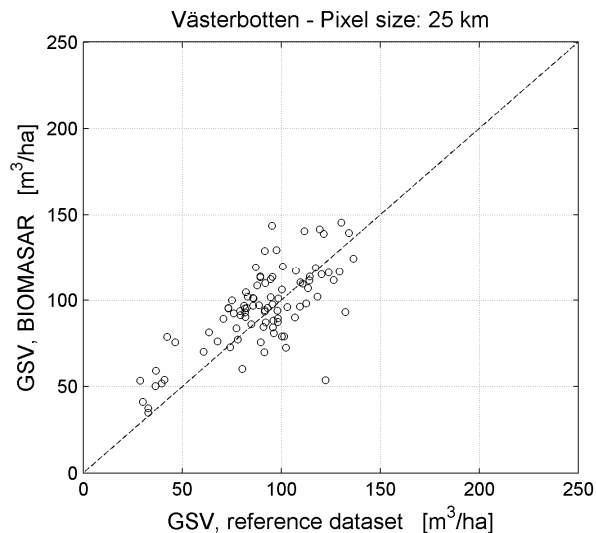
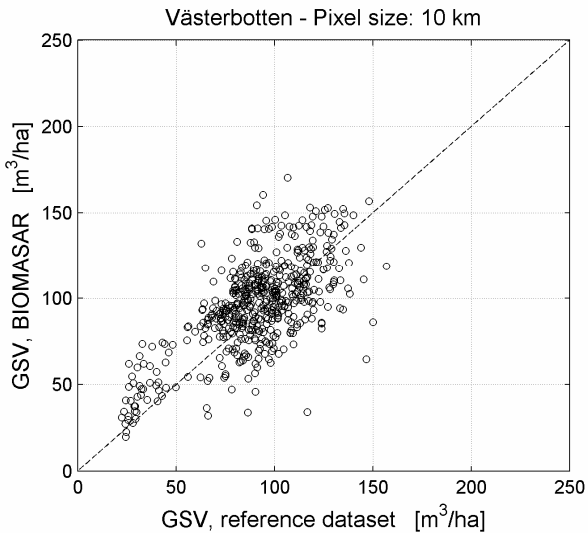
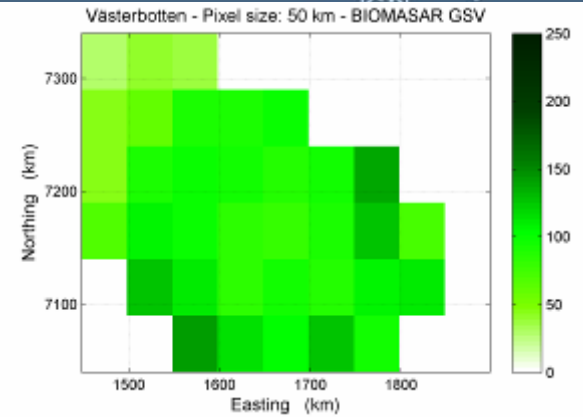
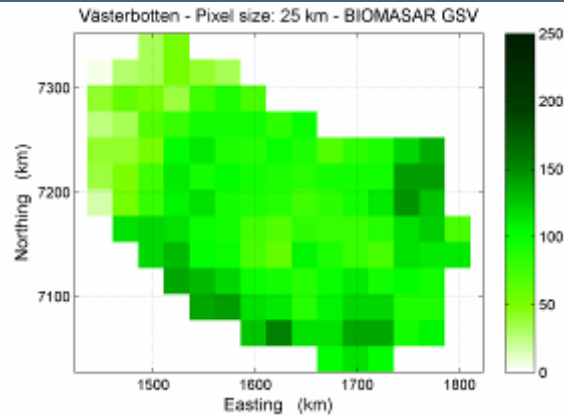
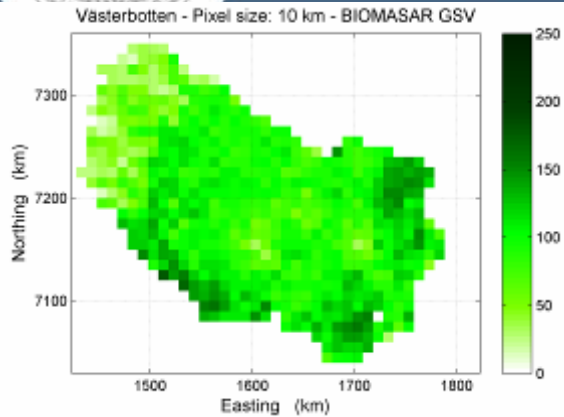
Västerbotten



Central Siberia, forest sites



Genauigkeitsgewinn
mit Pixelaggregation

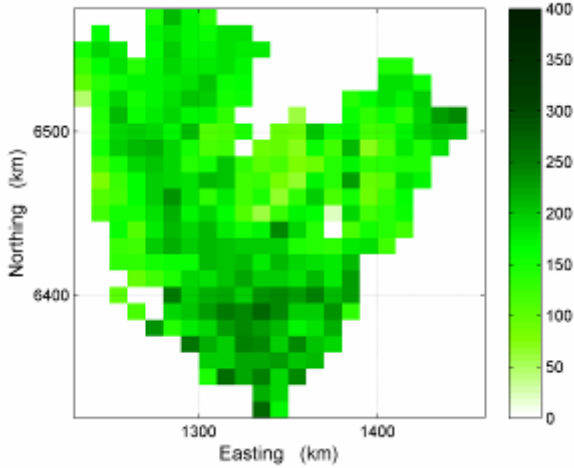


Genauigkeitsgewinn mit Aggregation:

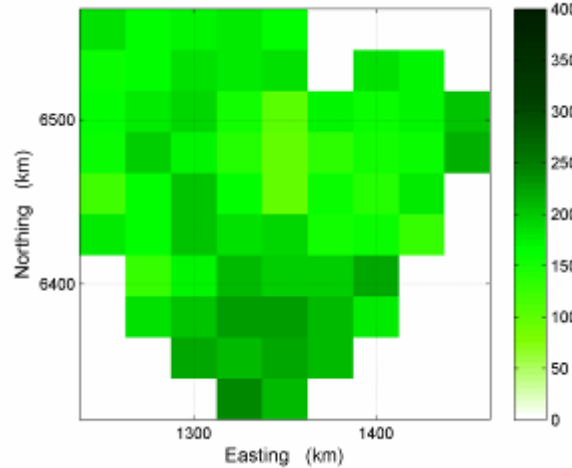
Relative RMSE: 23.6 → 20.7 → 14.8%



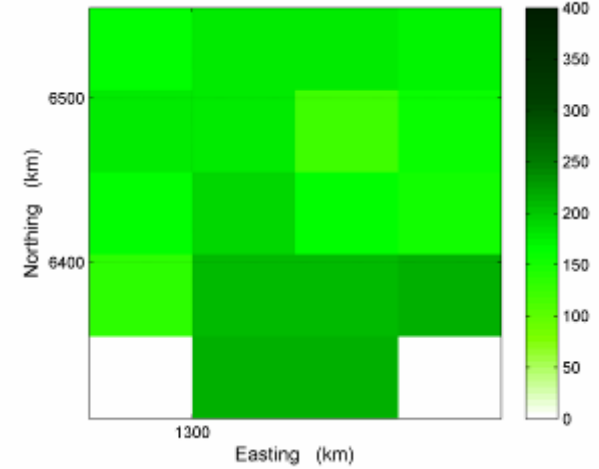
Västra Götaland - Pixel size: 10 km - BIOMASAR GSV



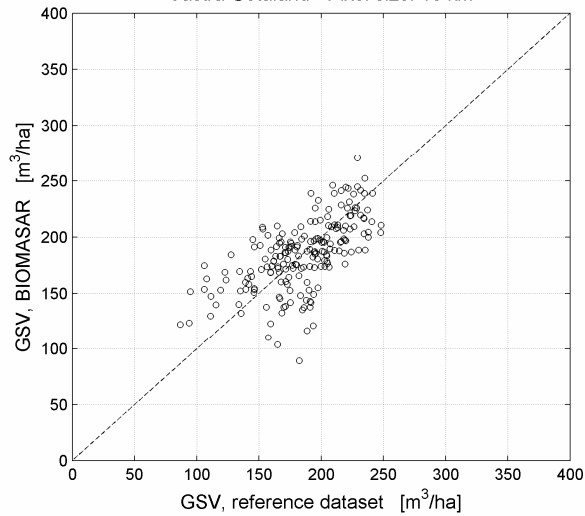
Västra Götaland - Pixel size: 25 km - BIOMASAR GSV



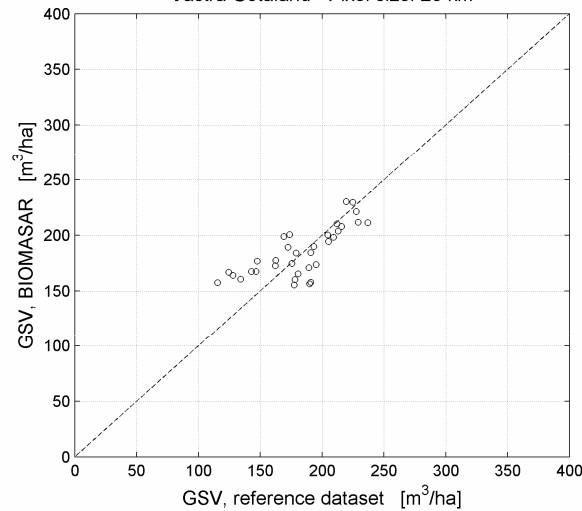
Västra Götaland - Pixel size: 50 km - BIOMASAR GSV



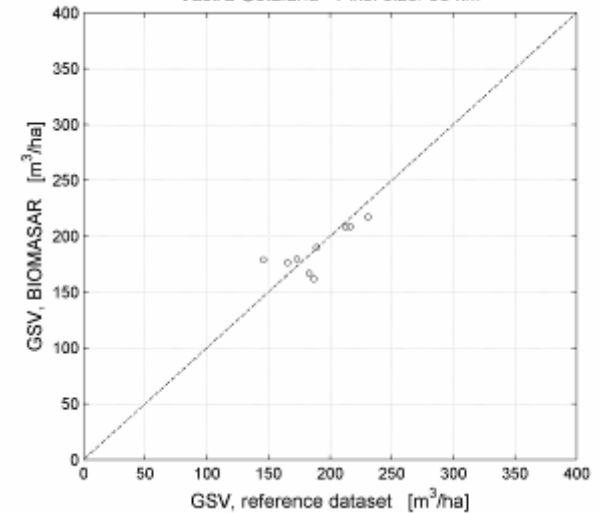
Västra Götaland - Pixel size: 10 km



Västra Götaland - Pixel size: 25 km

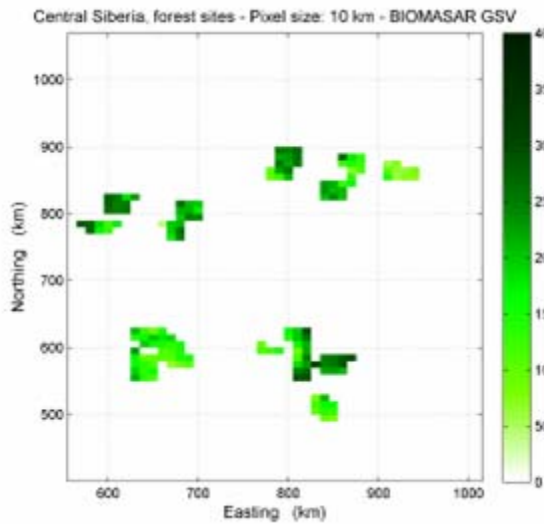


Västra Götaland - Pixel size: 50 km

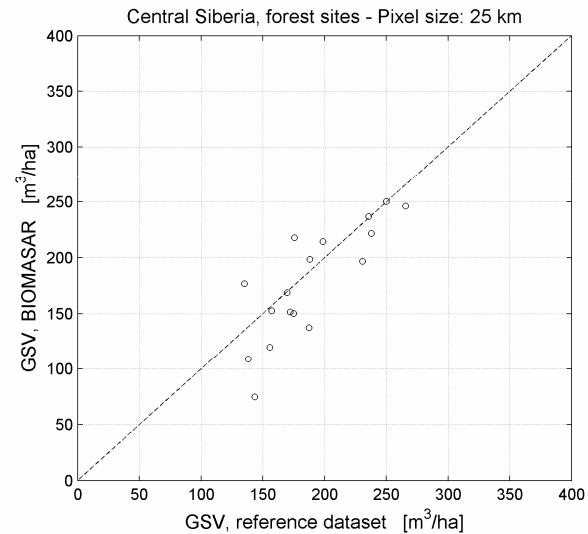
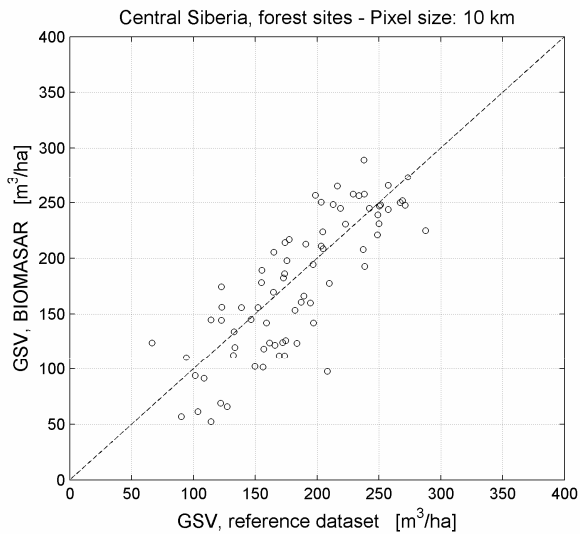
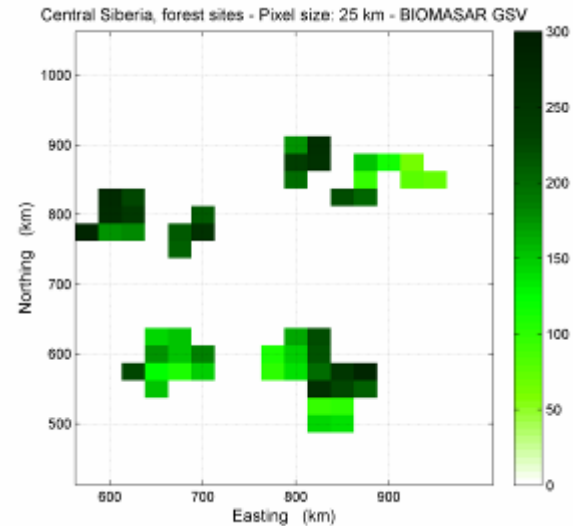
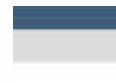


Genauigkeitsgewinn mit Aggregation:

Relative RMSE: 15.1 → 11.6 → 8.6%



GAMMA R



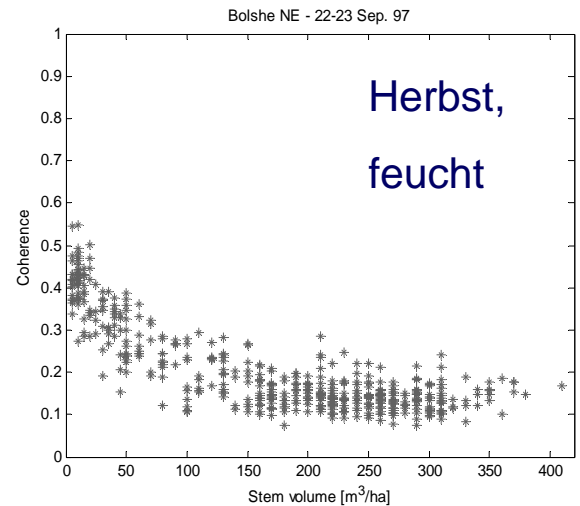
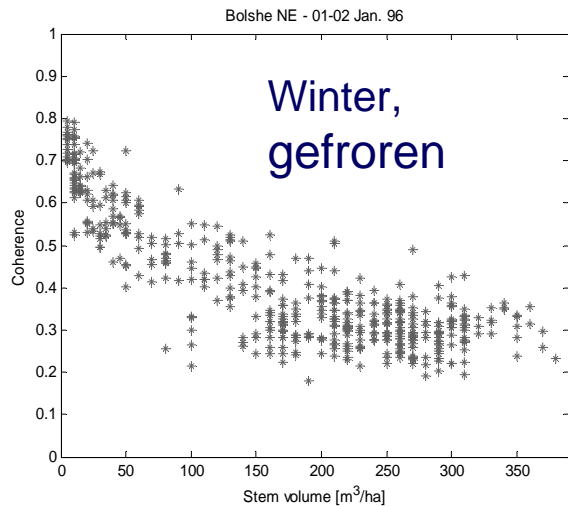
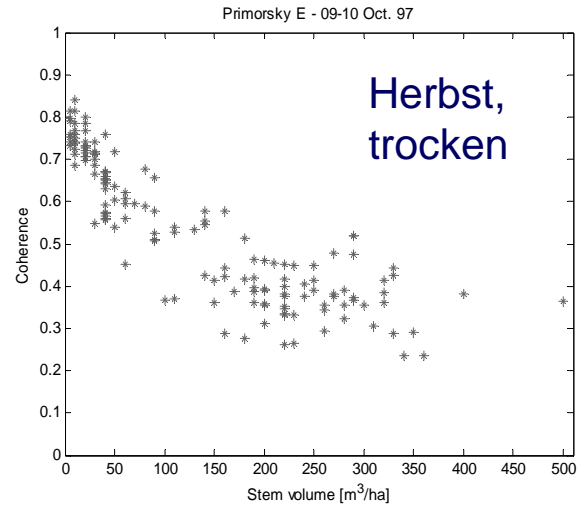
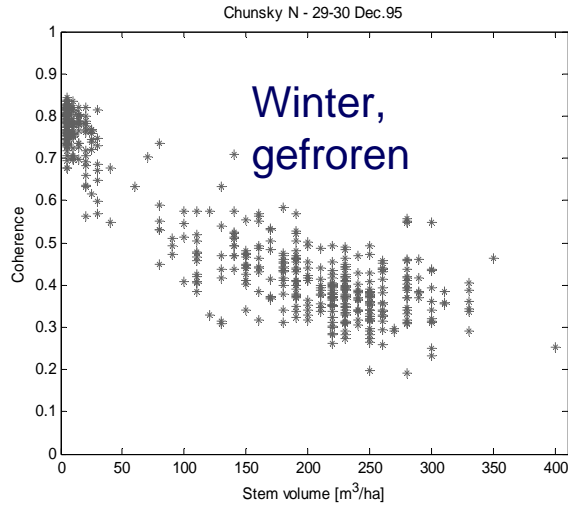
Genauigkeitsgewinn mit Aggregation:

Relative RMSE: 19.7 → 16.2%

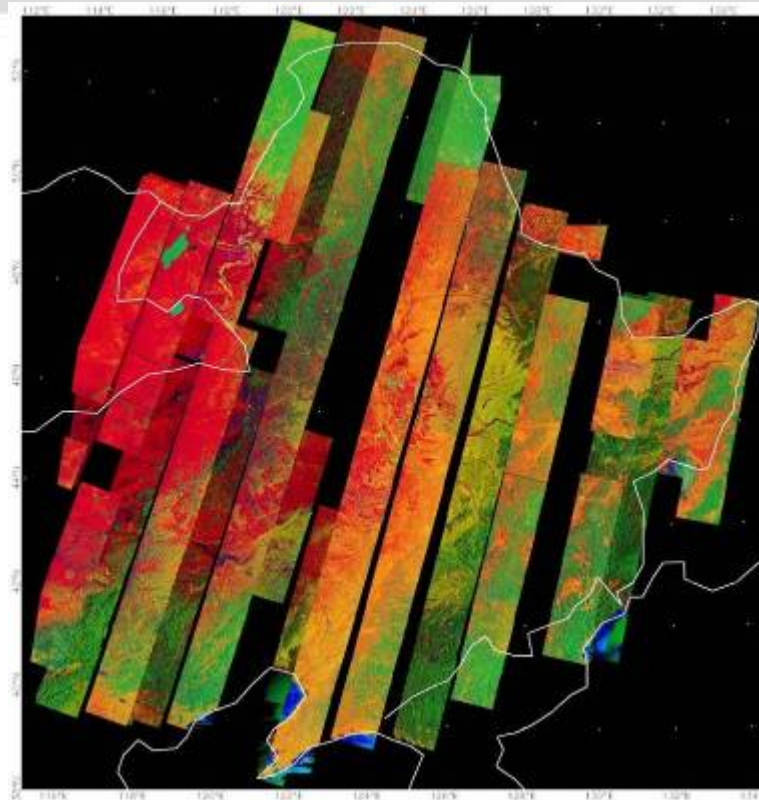


ERS-1/2 Kohärenz

- Die über Wald gemessene Kohärenz ergibt sich aus hoher Bodenkohärenz und niedriger Kohärenz über Baumkronen (ständige Bewegung der Äste) → Gewichtung über Kronenbedeckungsgrad
 - Volumendekorrelation hängt von der Baumhöhe ab
 - Stammvolumenbestimmung kann schon mit Einzelszenen Genauigkeiten von Vor-Ort Messungen erreichen
- Kohärenz enthält Information über vertikales und horizontales Waldwachstum
- Problem: Abhängigkeit von den Aufnahmebedingungen



How to deal with this issue in an automatic retrieval approach?



Prozessierung:

Koregistrierung, 2x10 multi-looking, common-band filtering, adaptive Kohärenzschätzung (3x3 to 9x9), Geokodierung mittels SRTM-C DGM, Pixelgröße = 50x50 m

ERS-1/2 Mosaic for Northeast China

R: Kohärenz

G: Sigma nought (ERS-1)

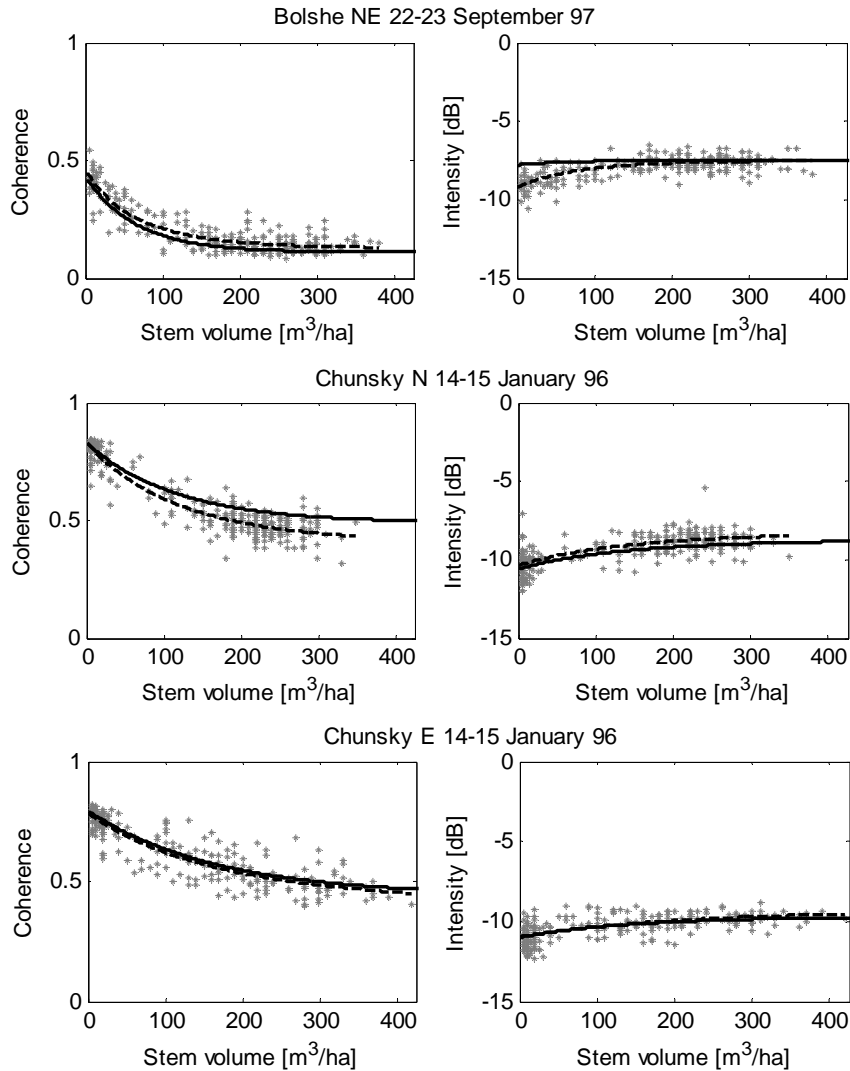
B: Sigma nought Ratio

223 Kohärenzbilder

Basislinien: 0 - 400 m



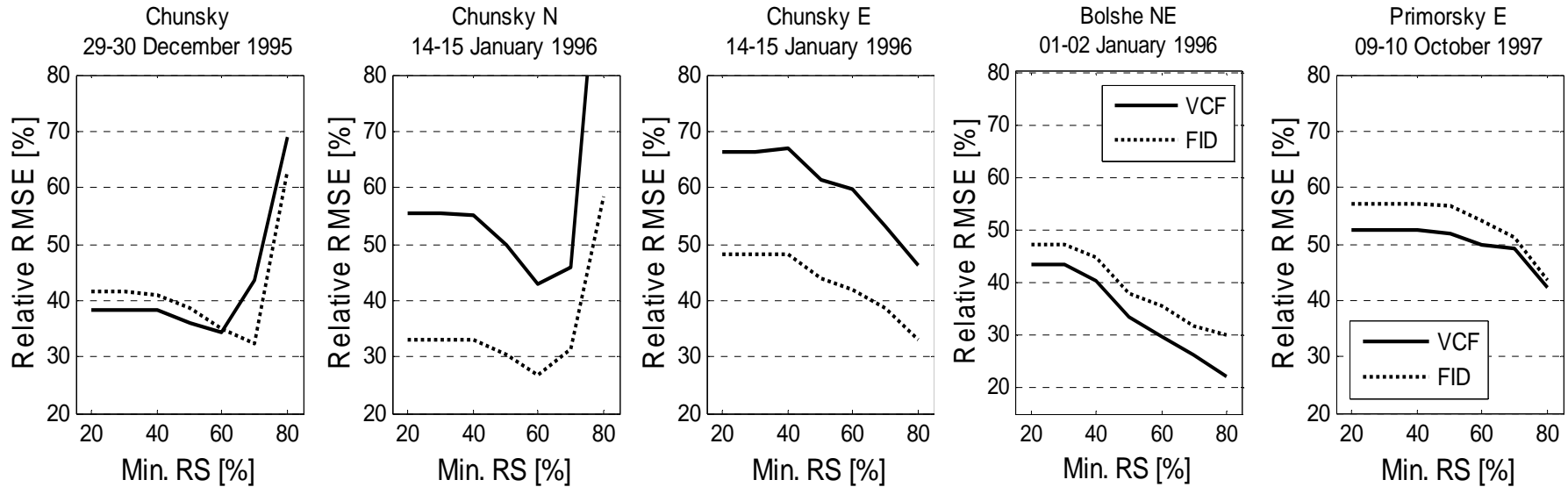
VCF-basiertes Modelltraining



Dashed line- in situ Daten
Solid line - VCF

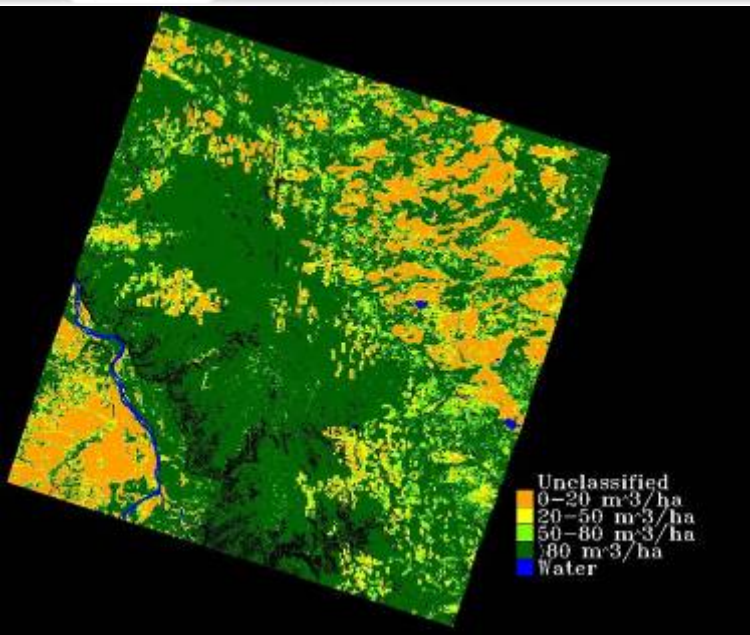


Stammvolumenbestimmung



RS – Bestockungsgrad
(engl. relative stocking)

→ Für genaue Stammvolumenbestimmung
wären mehrere Winterkohärenzen nötig



- Beispiel für Stammvolumenkarte(100 x 100 km²)

- Klassen:

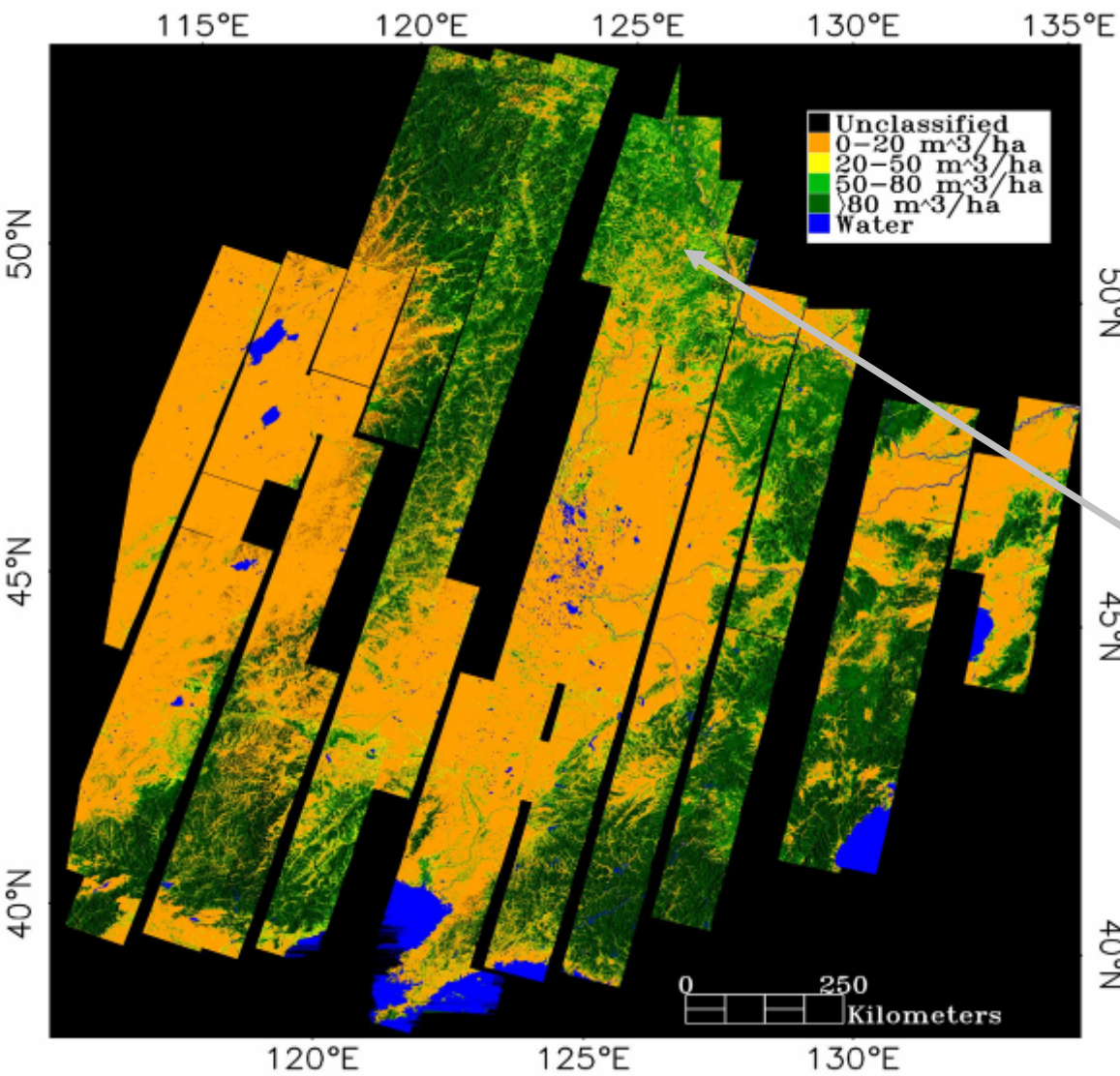
0-20, 20-50, 50-80, >80 m³/ha

Modell trainiert mit:

VCF

in situ Daten

Testgebiet & Bild	0-20	20-50	50-80	>80 [m ³ /ha]	Overall Acc. [%]	kappa
Chunsky N 29-30 Dec.95	78.6	38.8	12.4	93.9	81.1	0.69
	80.4	26.4	8.0	97.2	82.1	0.68
Chunsky E 14-15 Jan.96	65.6	39.8	29.2	87.4	70.5	0.54
	73.3	26.9	31.4	84.9	72.5	0.54
Bolshe NE 22-23 Sep.97	8.1	14.1	51.1	92.8	37.0	0.22
	72.3	28.7	30.0	84.6	69.0	0.52
Bolshe NW 25-26 Sep.97	81.0	67.8	34.1	78.1	75.6	0.62
	82.0	67.8	30.9	76.8	75.0	0.62



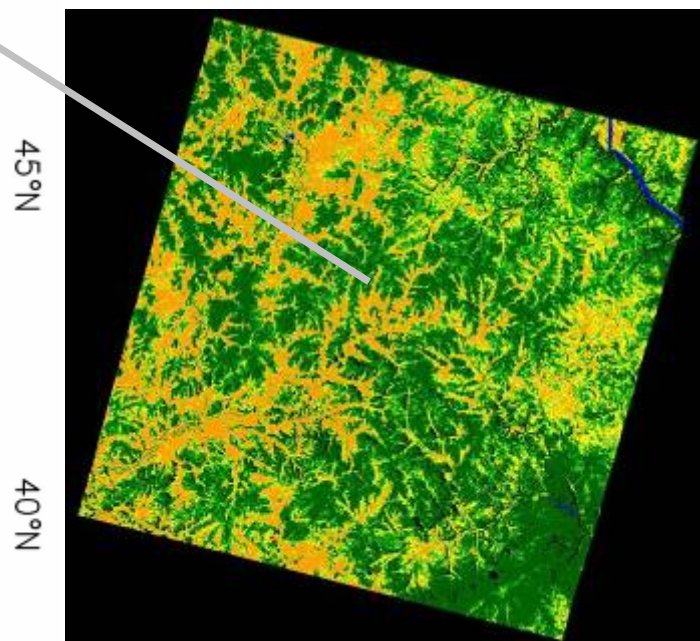
Stammvolumenkarte für Nordostchina

ESA-MOST DRAGON Programm

Fläche: 1.5 Million km²

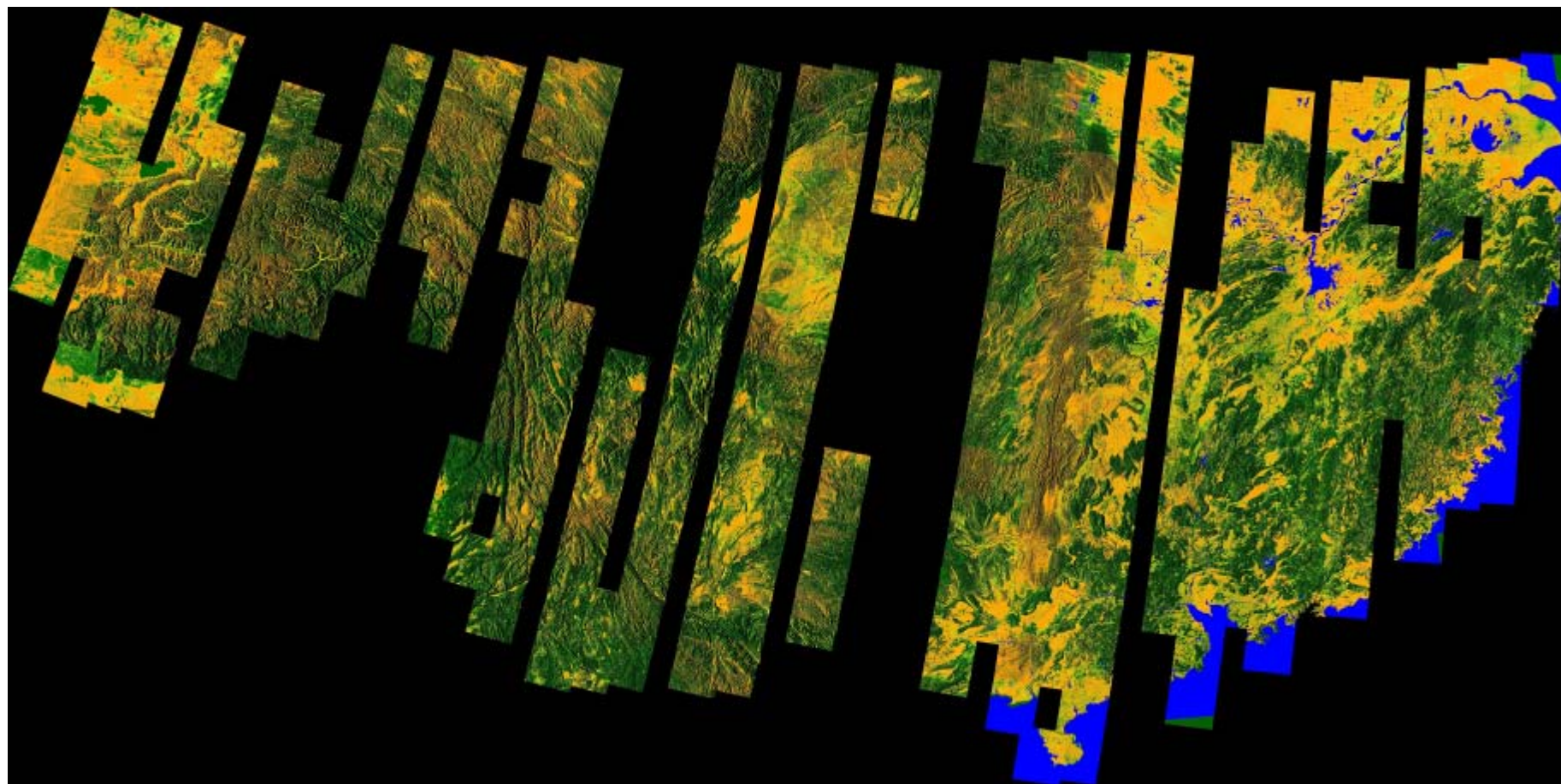
223 ERS Tandempaare

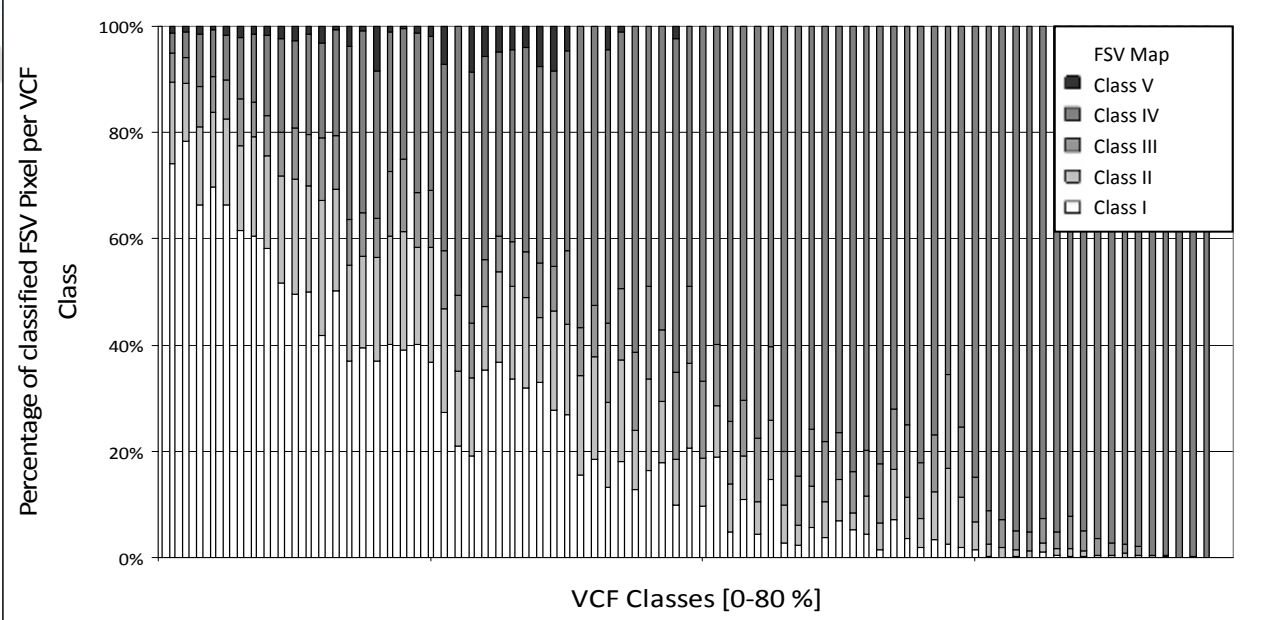
Kohärenz von 1995 bis 1997





Südchina: 407 ERS-1/2 Tandempaare



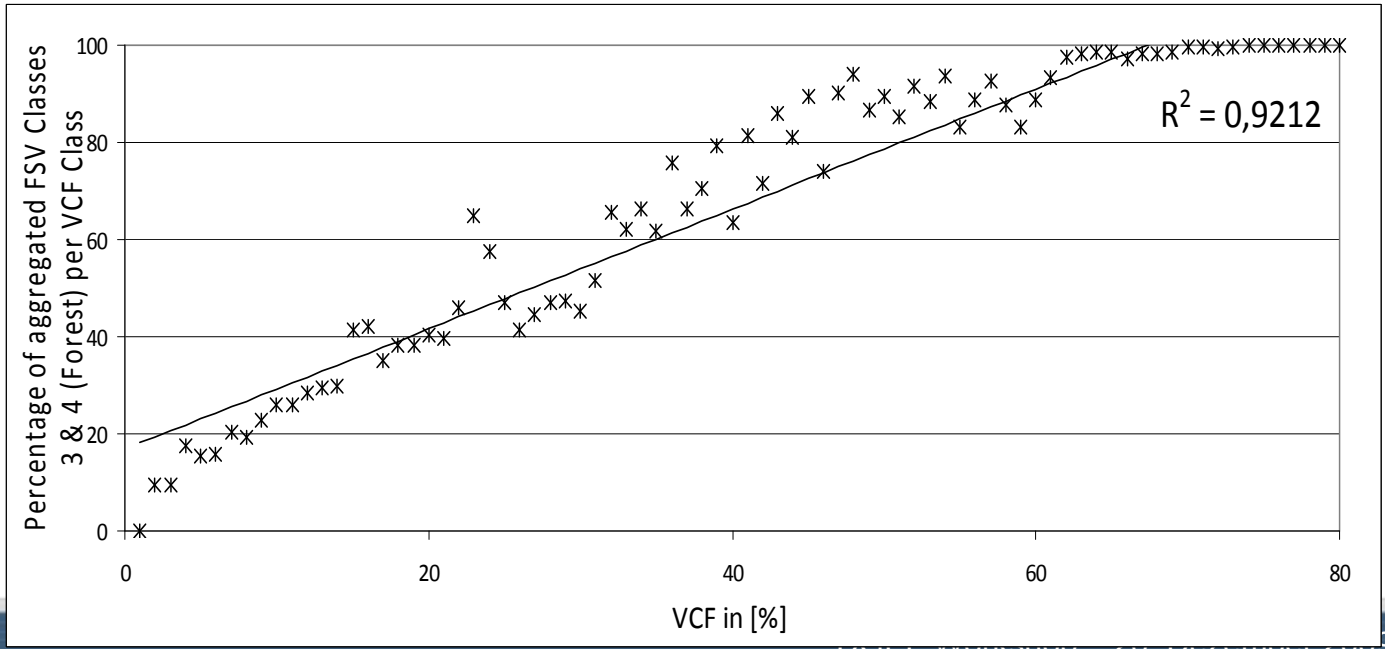


Example: Correlation of VCF Product and (aggregated) FSV Classes

Distribution of FSV-Classes per VCF Class

- I (0-20 m³/ha)
- II (20-50 m³/ha)
- III (50-80 m³/ha)
- IV (> 80 m³/ha)
- V (Water)

Forest/ NonForest –
Comparison: VCF vs. FSV-Map





Gemeinsamkeiten der Ansätze

- Beide Methoden basieren auf synergetischer Nutzung von SAR und optischen Daten und semi-empirischen Modellen (Water Cloud-like model oder Interferometric Water Cloud Model)
- Die unbekannten Modellparameter werden bestimmt indem die Intensitäts- und Kohärenzstatistik in offenen und dicht bewaldeten Gebieten betrachtet wird (laut MODIS VCF)
- Beide Methoden sind voll automatisiert



Schlussfolgerungen

- (i) Synergie aus Radar und optischer Fernerkundung ermöglicht automatisierte Algorithmen für die Stammvolumen/Biomassebestimmung ohne weiteren Bedarf an in situ Daten.
- (ii) Multitemporale Winterkohärenz wäre optimal für Stammvolumenbestimmung (bisher kaum verfügbar)
- (iii) ENVISAT ASAR ScanSAR-Daten sind derzeit die einzige verlässliche Quelle für grossflächige Stammvolumenbestimmung (PALSAR L-band ScanSAR noch nicht untersucht)