

2. Fachsymposium „Stadtgrün“  
11. - 12. Dezember 2013 in Berlin-Dahlem

# Stadtbäume als Kohlenstoffspeicher

Dr. Gerald Kändler,  
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt  
Baden-Württemberg, Freiburg i. Br.

# Stadtbäume als Kohlenstoffspeicher

Gerald Kändler

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg  
Freiburg i. Br.

Einführung: Hintergrund, Problemstellung, Ziele

Fallstudie Karlsruhe:

- Methodisches Vorgehen
- Datenerhebung, Analysen und Ergebnisse

Vergleich mit anderen Studien

Diskussion und Ausblick

## Expertise der FVA:

- Inventuren
- Biomasse von Waldbäumen

## Treibhausgasinventar

- Wald (Bäume, Totholz, Boden)
- Bäume außerhalb Wald „TOF“

## Stadtbäume und Klima - Stadtbäume als C-Speicher

- *USA:* zahlreiche Studien („Urban Forestry“)
- *DE:*
  - Fallstudie **Karlsruhe** (Kändler et al. 2011)
  - Fallstudie **Leipzig** (Strohbach & Haase 2011)

## **In Deutschland**

- Unzureichende Datenlage
- Keine Standard-Inventurverfahren
- Bedarf an kosten-effizienten Methoden

## Methodische Grundlagen und Konzepte für C-Inventare

- Fernerkundungs-gestütztes Inventurverfahren
- Stadtbaum-spezifische Biomassefunktionen

# Fallstudie Karlsruhe

„Konzept zur Erfassung der Kohlenstoff-Speicherleistung von Stadtbäumen am Beispiel der Stadt Karlsruhe“

Gefördert vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz

## **Biomasse, Kohlenstoffvorrat**

- Biomasse = Trockensubstanz [kg, t, Mg]
- Kohlenstoff ca. 50% der Trockensubstanz

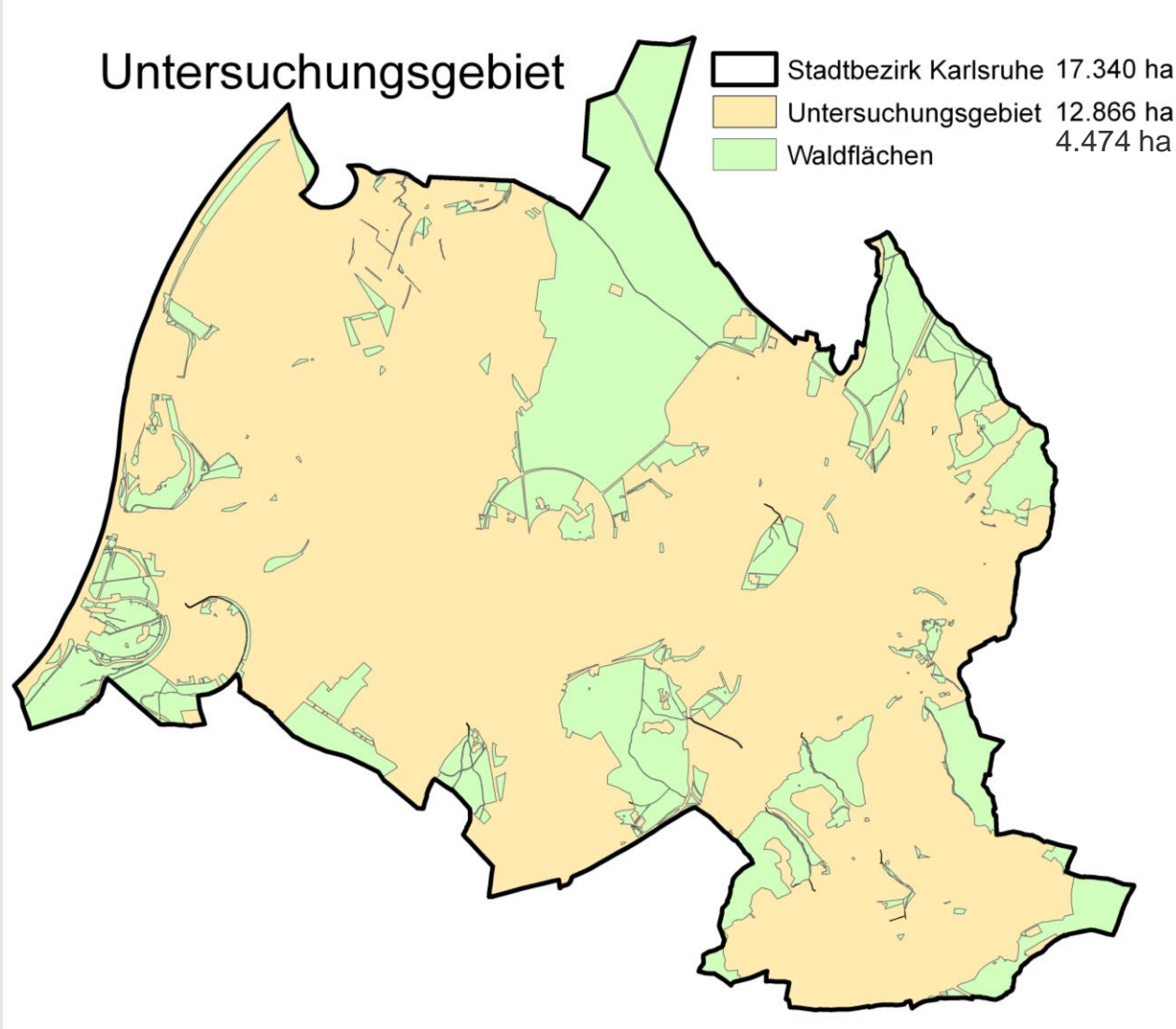
Beschränkung auf **oberirdische** Biomasse



## **Biomasse** hängt ab von:

- Baumart
- Dimension (Durchmesser, Höhe, Kronenlänge, ...)

# Untersuchungsgebiet Stadt Karlsruhe



# Untersuchungsgebiet Stadt Karlsruhe

Stadtgebiet	Gesamtfläche [ha]	Inventurverfahren
Waldfläche	4.474 (25,8 %)	Forstliche Betriebsinventur
<b>Stadtfläche i.e.S.</b>	<b>12.866 (74,2 %)</b>	<b>Stadtbauminventur</b>
Insgesamt	<b>17.340</b>	

Zielgröße:

- **Gesamter (oberirdischer) Biomassevorrat** der Stadtbäume
- Schätzung der
  - Gesamtzahl der Baumpopulation
  - Ermittlung der mittleren Baumbiomasse

## **Baumkataster (Stand Juni 2008)**

- 80.280 Einträge
  - 76.586 Einzelbäume
  - 3.694 Baumgruppen
- Informationen
  - Baumpflege, Verkehrssicherungsarbeiten
  - **Baumartenspektrum**
  - **Dimensionen**
- **Aber: Kein vollständiges Inventar**

## Baumartenspektrum

- 203 Arten (z. T. Zuchtformen)
- 14 Arten 80 % des Bestands

## Dimension

- Mindeststammumfang: 15 cm (~ 4,6 cm BHD)
- Mindesthöhe: ~ 2 m

# Die 14 häufigsten Baumarten im Baumkataster

<b>Spitzahorn</b>	<b>16%</b>
<b>Stieleiche</b>	<b>8%</b>
<b>Winterlinde</b>	<b>7%</b>
<b>Vogelkirsche</b>	<b>7%</b>
<b>Hainbuche</b>	<b>6%</b>
<b>Gemeine Esche</b>	<b>5%</b>
Rosskastanie	5%
Platane	5%
<b>Feldahorn</b>	<b>5%</b>
<b>Bergahorn</b>	<b>4%</b>
Robinie	3%
Roteiche	3%
Krimlinde	3%
<b>Birke</b>	<b>3%</b>

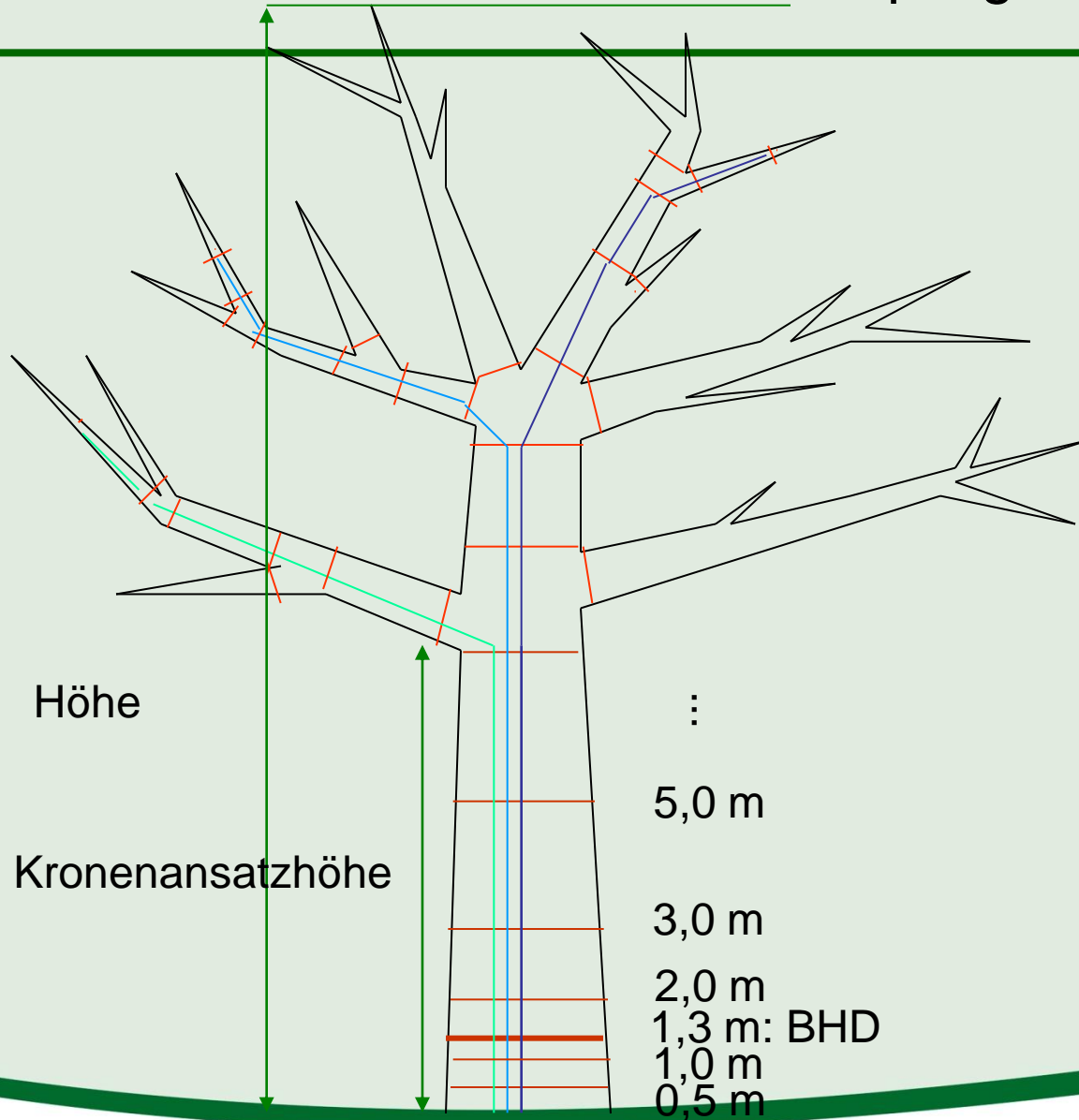
- Vorgehen: Herleitung von Biomassefunktionen für Stadtbäume
- Beziehung Biomasse – einfach zu messende Baumattribute
- Durchführung einer Biomasse-Messkampagne



## „**Messung**“ der **oberirdischen** Baumbiomasse

- zerstörungsfrei
- Stichprobenverfahren an stehenden Bäumen: RBS („Randomized Branch Sampling“)
- Durchführung Dez. 2009 bis Febr. 2010
- Zusätzliche Gewinnung von Probematerial
  - Holzdichte, C-Gehalt
  - Jahrringmessungen

# Methodik: Randomized Branch Sampling an Stadtbäumen



Höhe

Kronenansatzhöhe

- ⋮
- 5,0 m
- 3,0 m
- 2,0 m
- 1,3 m: BHD
- 1,0 m
- 0,5 m

# Methodik: Randomized Branch Sampling an Stadtbäumen



# Methodik: **R**andomized **B**ran**S**ampling an Stadtbäumen

- Nur Volumenermittlung!
- Umrechnung in Biomasse: Raumdichte aus anderen Erhebungen

- 163 Bäume (14 Arten)
- Attribute:
  - oberirdische Biomasse
  - BHD, Höhe, ...
  - Kronenschirmfläche, photogrammetrische Höhe, Kronenvolumen, ...

## Allometrisches Modell mit den Prädiktoren

- KSF: Kronenschirmfläche
- H: Höhe (photogrammetrisch ermittelt)

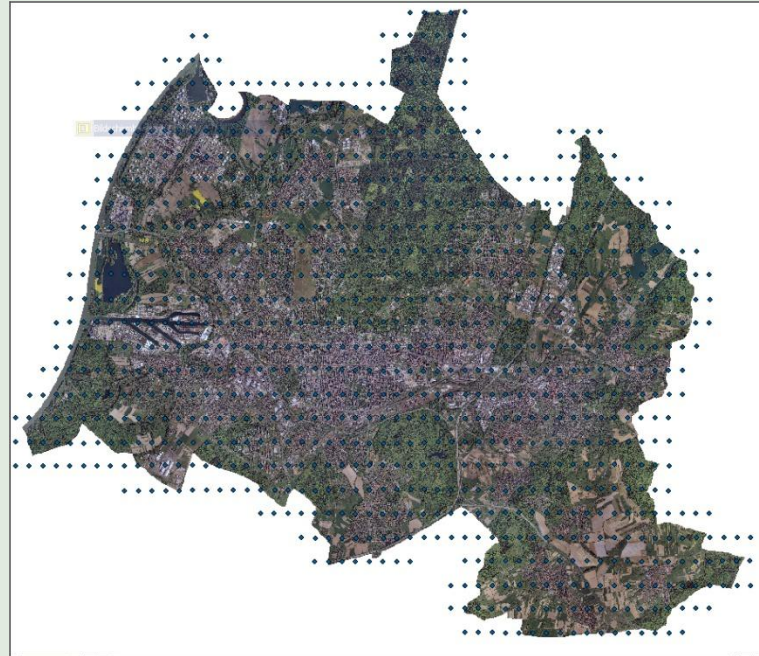
$$B = b_0 KSF^{b_1} H^{b_2}$$

## **Grundgesamtheit:**

- GIS-Elemente: Linien- bzw. Flächenobjekte (ATKIS, ALK)
- **Nutzungsklassen (Straten):**  
Straßen, Bahnlinien, Betriebs-, Erholungs-, Gebäude-/Freiflächen, ...  
**außer Wald!**

# Inventur: Messungen mit Fernerkundungsmethoden

- Baumzählung im Orthophoto
- Kronenvermessung im Stereoluftbild
- Berechnung potentieller Baumflächen





# Baumzählung im Orthophoto



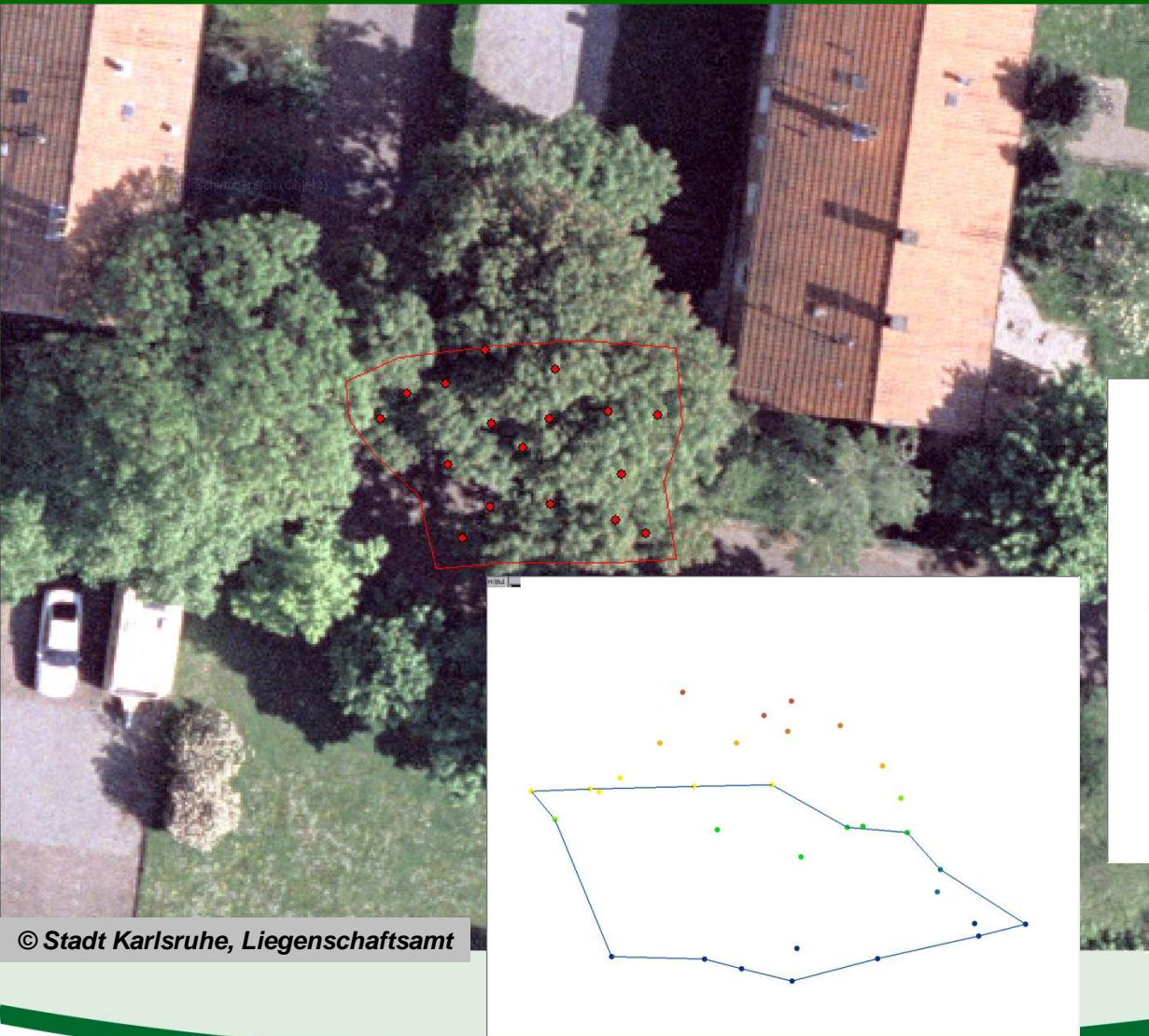
**Bodenauflösung < 5 cm**

**1.279 ALK und ATKIS-Objekte**

**21.266 Bäume**

Software: ArcGIS

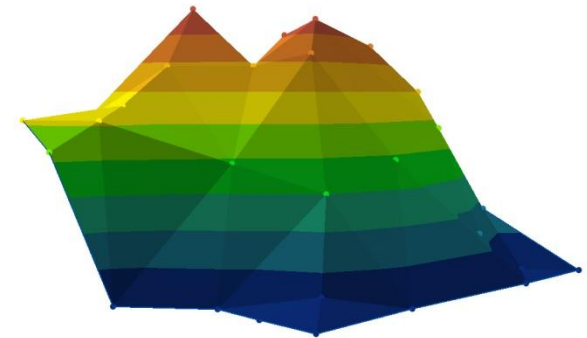
# Vermessung von Baumkronen im Stereobild



**Bodenauflösung < 5 cm**

**1.277 Bäume**

Software:  
StereoAnalyst für ArcGIS



# Klassifizierung der Vegetationsflächen: Vegetationsindex

Orthophoto mit < 5 cm  
Auflösung

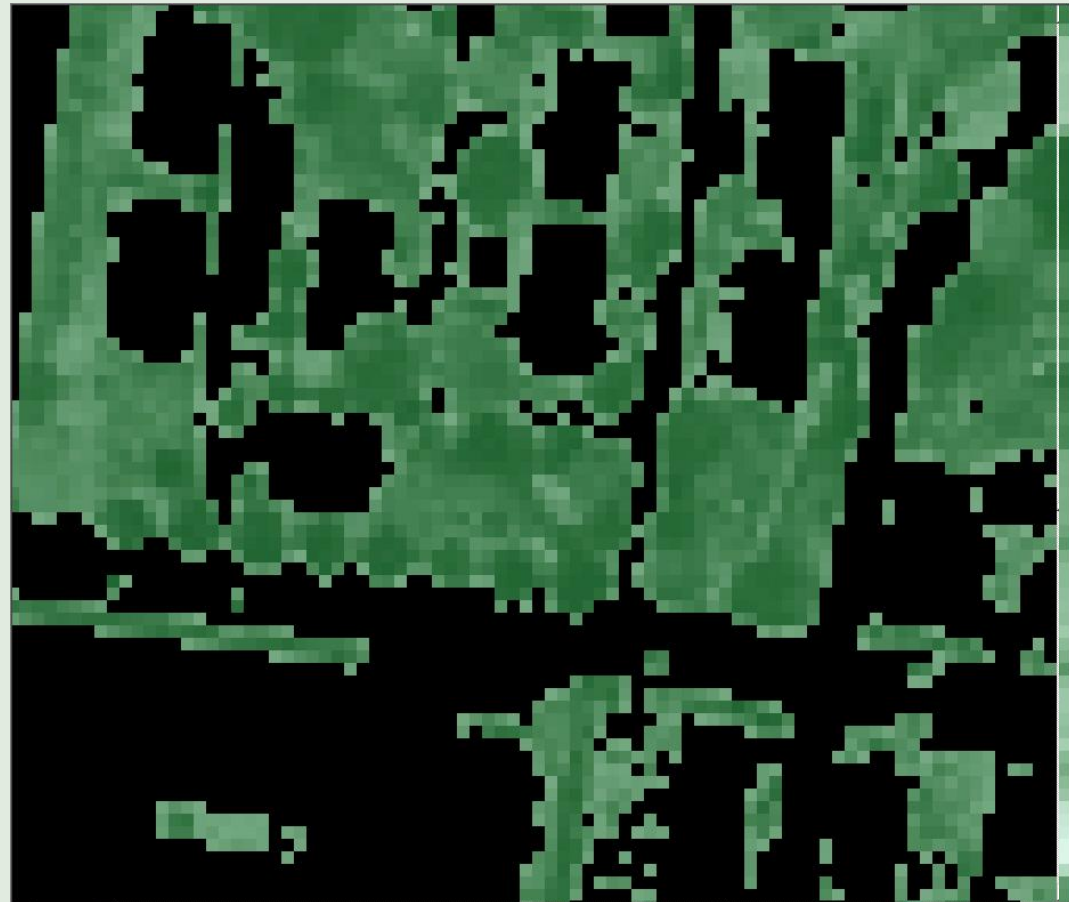
Orthophoto mit 2 m  
Auflösung

Berechnung eines inversen  
Vegetationsindex *iVI*

$$iVI = \frac{blau^2 + rot^2}{grün^2}$$

Klassifizierung des *iVI*

Software: Erdas Imagine 9.3



# Oberflächenmodell aus Laserscannerdaten

## **LVA-Laserscannerbefliegung**

**1999** (Punktdichte  $< 1/m^2$ )

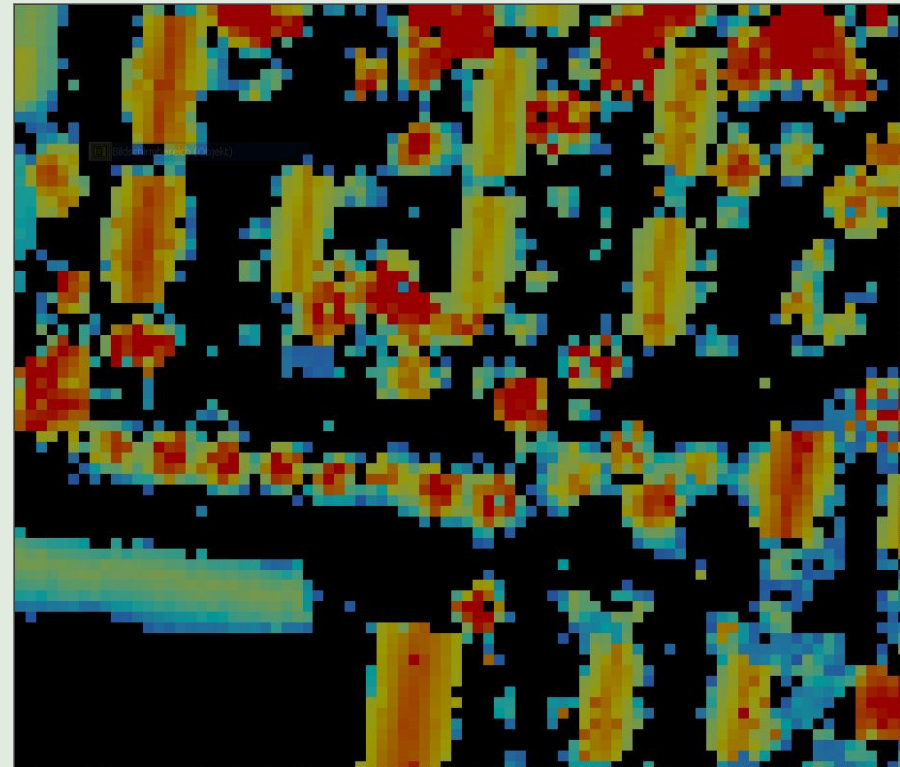
Digitales **Geländemodell** (5 m)

→ Normalisiertes digitales

**Oberflächenmodell**

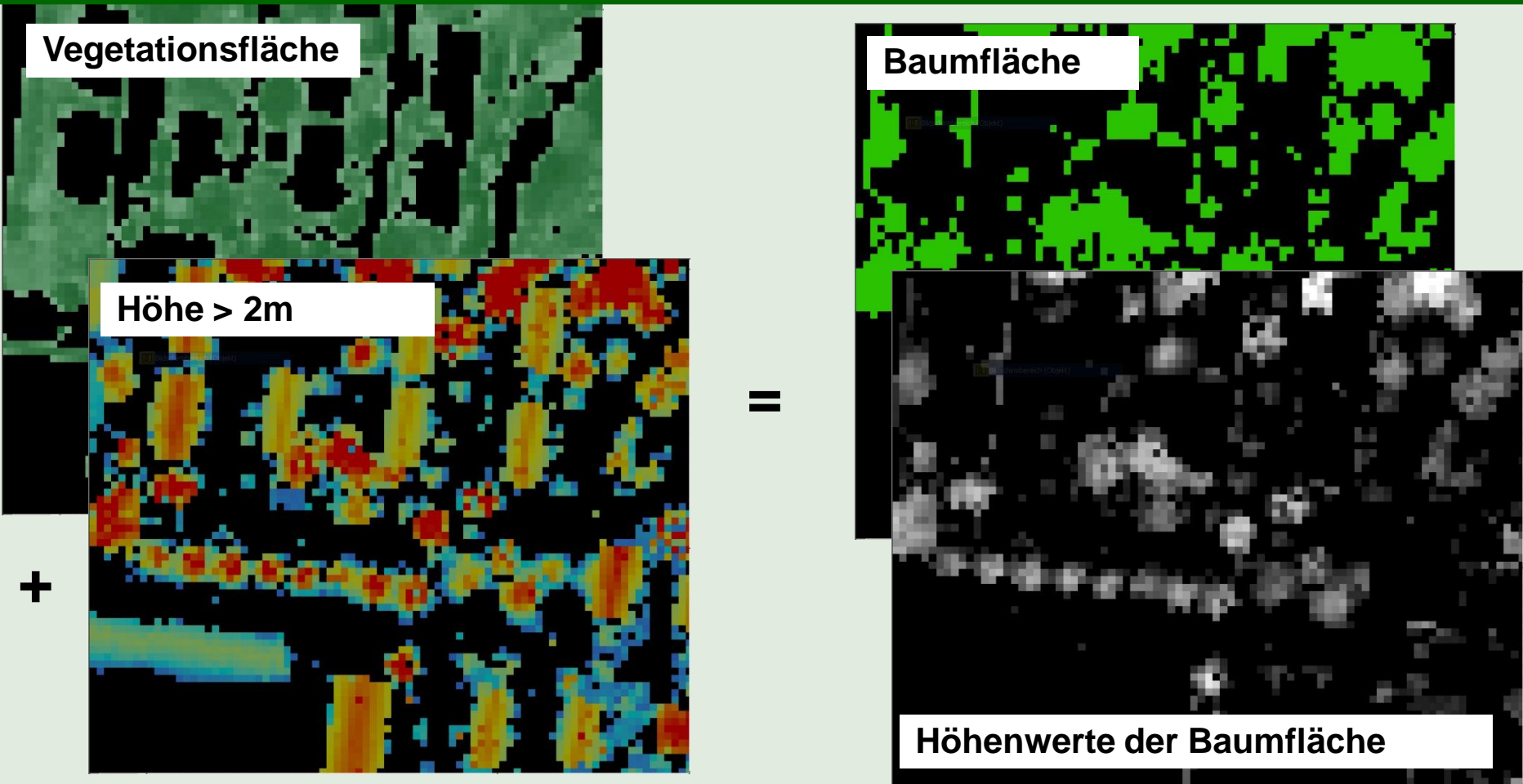
**Klassifizierung** aller

Rasterpunkte  $> 2$  m



Software: Fusion, Erdas Imagine 9.3

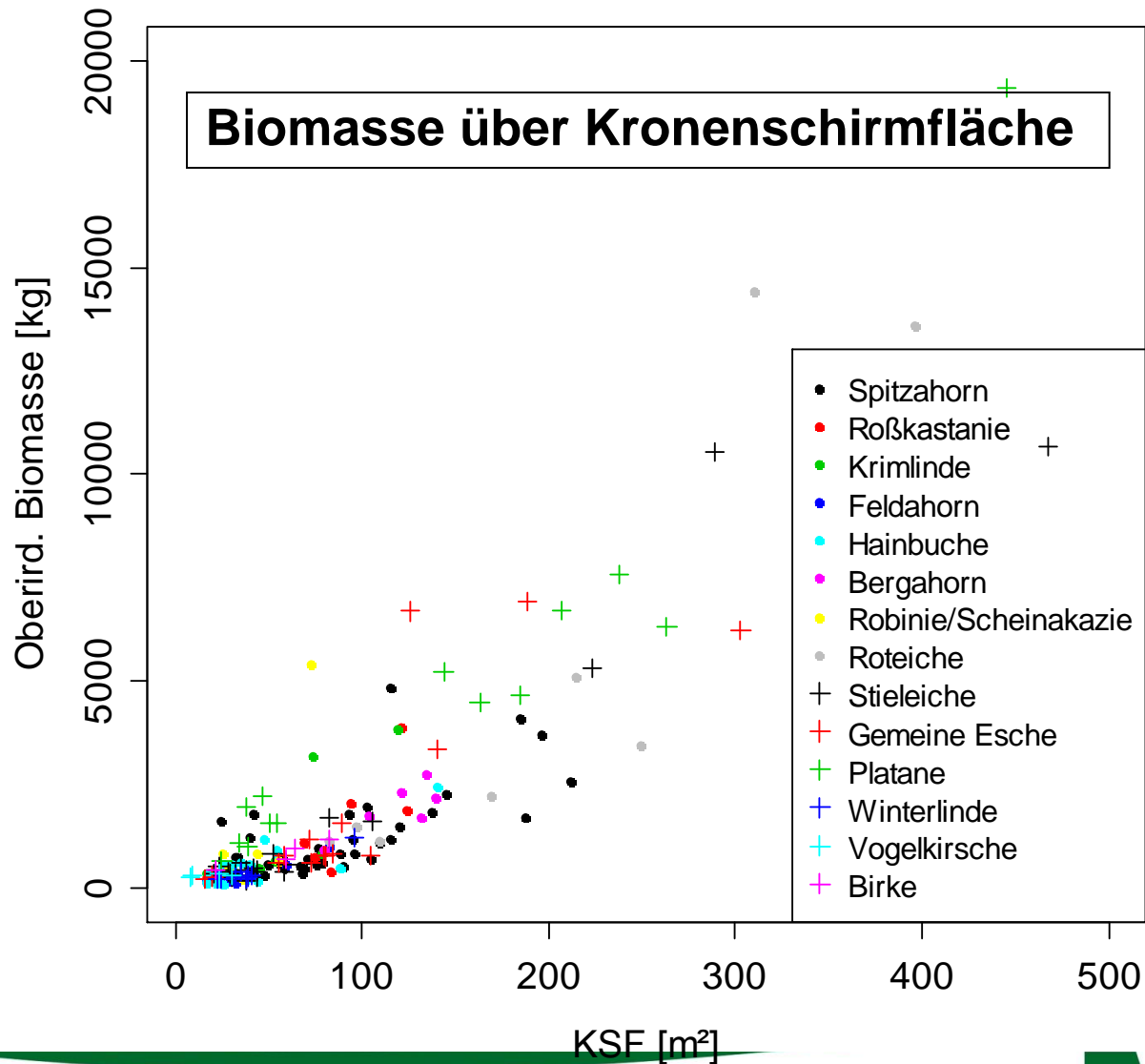
# Klassifizierung potentieller Baumflächen



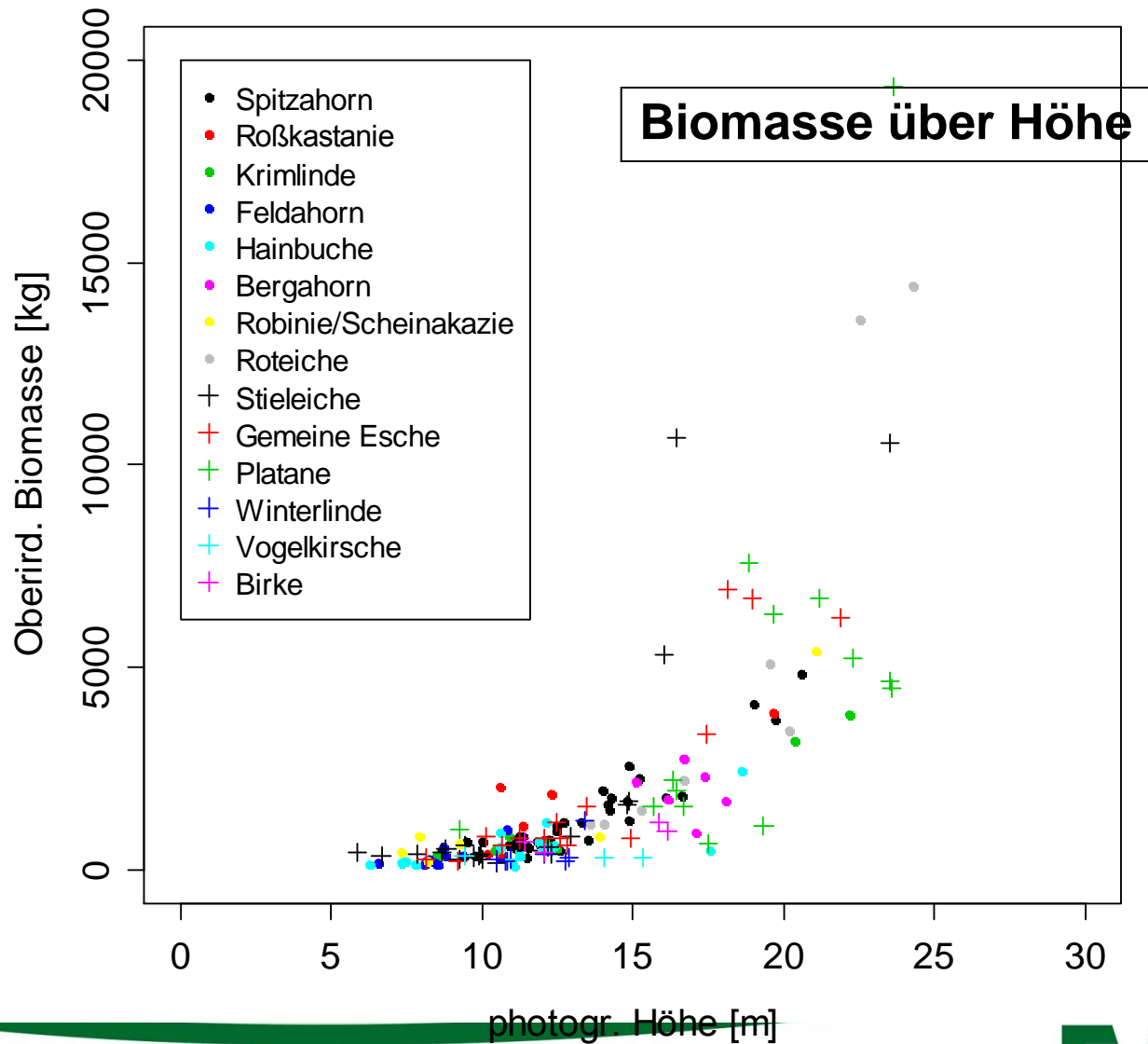
Software: ArcGIS, Erdas Imagine 9.3

- Biomassefunktion für Stadtbäume
- Gesamter Stadtbaumbestand
- Biomasse- /Kohlenstoffvorrat
  - der Stadtbäume
  - im Wald

# Biomassefunktion



# Biomassefunktion





Datengrundlagen: Betriebsinventur 2006

Stadt- und Staatswald

Fläche:

**4.474** ha forstliche Betriebsfläche insgesamt (25,8 %  
der Gemarkungsfläche)

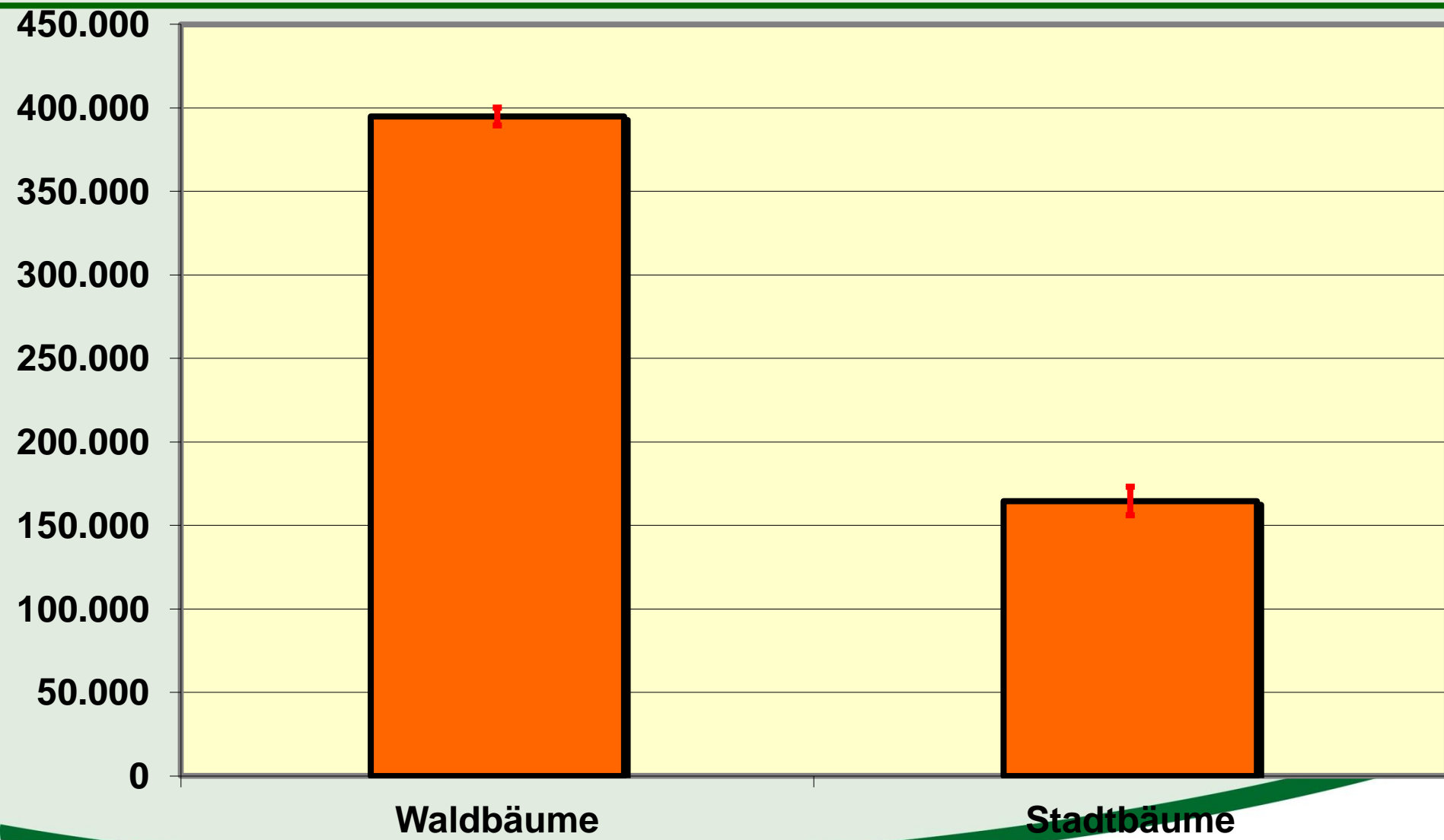
# Ergebnisse: **Gesamtzahl** der Wald- und Stadtbäume

	Anzahl Bäume		
	Insgesamt	pro Kopf	je ha Stadtfläche
Waldbäume	2.220.550	7,6	128,1
<b>Stadtbäume</b>	<b>394.700</b>	<b>1,4</b>	<b>22,8</b>
Summe	2.615.250	9,0	150,8
Einwohnerzahl	291.959		
Stadtfläche [ha]	17.340		

# Ergebnisse: **C-Vorrat** der Wald- und Stadtbäume

	Kohlenstoff- Vorrat [t]	<i>Fehler</i>	<i>Fehler %</i>
Waldbäume	394.850	5.331	1,4%
<b>Stadtbäume</b>	<b>164.700</b>	8.540	5,2%
Summe	<b>559.550</b>	10.068	1,8%

# Ergebnisse: **C-Vorrat** der Wald- und Stadtbäume



# Ergebnisse: **C-Vorrat** der Wald- und Stadtbäume

	Holzboden bzw. Baumfläche „Tree Cover“ [ha]	Gesamt- fläche [ha]	C-Vorrat je HB bzw. BF	<b>C-Vorrat je ha Gesamt- fläche</b>
Wald- bäume	4.162	4.474	94,9	<b>88,3</b>
Stadt- bäume	2.816	12.866	58,5	<b>12,8</b>
<b>Summe</b>	<b>6.978</b>	<b>17.340</b>	<b>80,3</b>	<b>32,3</b>

# Ergebnisvergleich

Eigene Studie: Karlsruhe vs. Freiburg-Wiehre  
Studie Leipzig (Strohbach & Haase, 2011)  
Studien aus USA, CND, UK

# Verfahrens-Test Freiburg-Wiehre: Stadtbäume

	Baumfläche „Tree Cover“ [ha]	Gesamt- fläche [ha]	C-Vorrat je ha BF	<b>C-Vorrat je ha Gesamt- fläche</b>
FR- Wiehre	111	391	118,2	<b>33,6</b>
Karlsruhe	2.816	12.866	58,5	<b>12,8</b>

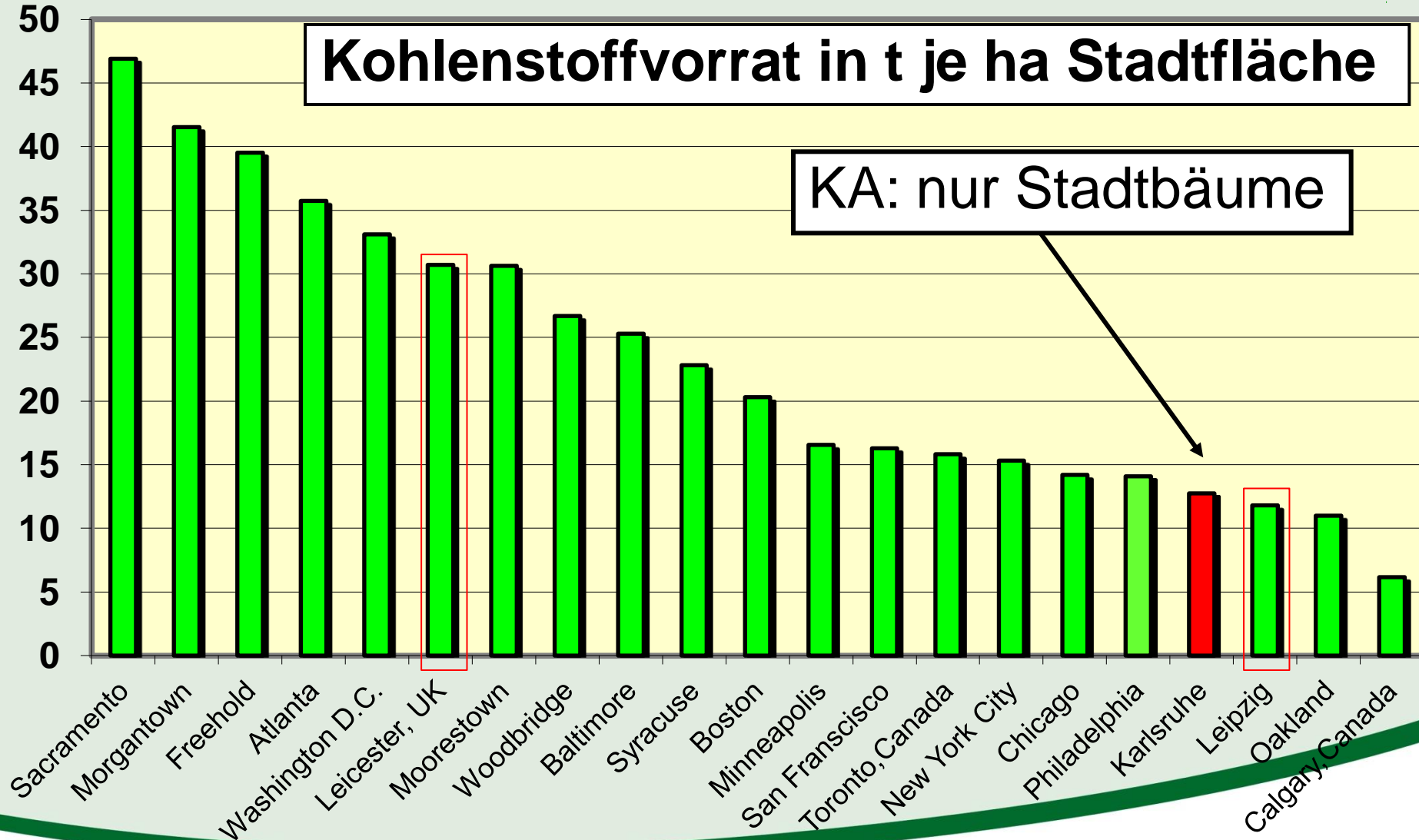
## Vergleich mit Studie Leipzig (Strohbach & Haase, 2011)

	Baumfläche „Tree Cover“ [ha]	Gesamt- fläche [ha]	C-Vorrat je ha BF	<b>C-Vorrat je ha Gesamt- fläche</b>
Leipzig	5.824	29.700	60,4	<b>11,8</b>
Karlsruhe	2.816	12.866	58,5	<b>12,8</b>
FR- Wiehre	111	391	118,2	<b>33,6</b>

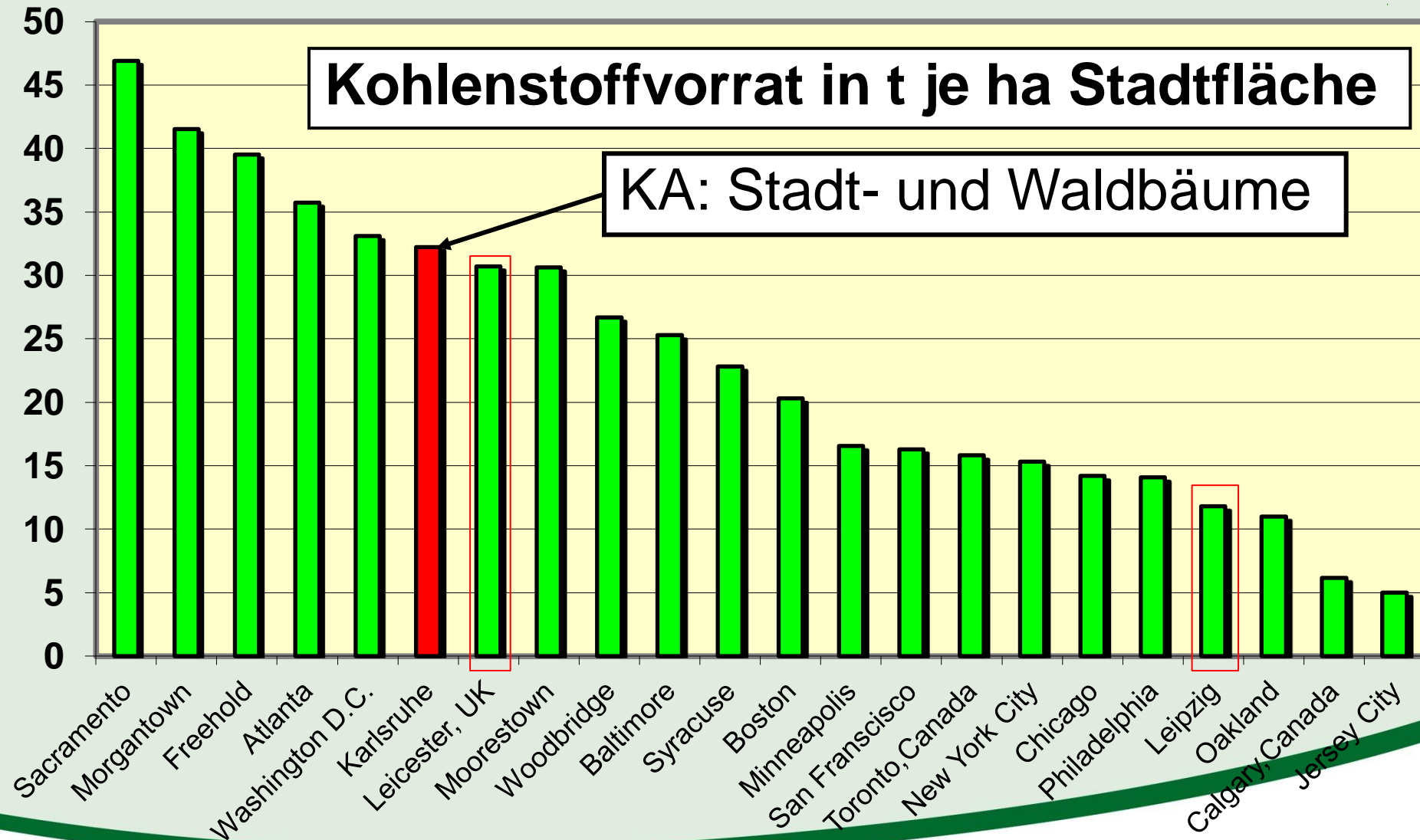


# Ergebnisse: Vergleich mit anderen Studien

## Kohlenstoffvorrat in t je ha Stadtfläche



# Ergebnisse: Vergleich mit anderen Städten



# Abschätzung der jährlichen C-Bindung in Stadtbäumen

In DE keine genauen Zahlen

Vorläufige Abschätzung für Karlsruhe:

~ **1,4 t** C/ha Baumfläche/Jahr

0,3 t C/ha Stadtfläche/ Jahr

USA (Nowak et al, 2013):

**2,8 t** C/ha Baumfläche/Jahr

# Abschätzung der Größenordnung für Deutschland

Annahme **13 t C/ha**:

76 Großstädte mit Gesamtfläche von 1.322.500 ha

~ **17,2** Mio. t C

Gesamte Siedlungsfläche von 4.770.200 ha

~ **62,0** Mio. t C

Wald (2002) mit Gesamtfläche von 10.567.660 ha

94,3 t C/ha ~ **997** Mio. t C

## Vergleich mit **CO<sub>2</sub>-Emissionen**

2012 ~ **814** Mio. t CO<sub>2</sub>

Speicher:

Großstädte ~ 17,2 Mio. t C = ~ **63** Mio. t CO<sub>2</sub>

Wald ~ 997 Mio. t C = **3.656** Mio. t CO<sub>2</sub>

## Methodik:

- Einfaches Konzept
- Reduktion des terrestrischen Messaufwands
- Nutzung vorhandener Fernerkundungsdaten

## Ergebnisse

- Verallgemeinerbarkeit?
- Plausibel im Vergleich mit anderen Studien
- Relevanz der C-Speicher?

- Datenlage noch unzureichend
- Anwendung der entwickelten Methodik auf andere Städte
- C-Bindungsrate

## Weitere Aspekte und Fragen:

- Wert von Stadtbäumen?
  - Grundstückspreise
  - Energiespareffekt („Klimaanlage“)
  - Nutzung als Biomasse
- Rolle einer „Stadtbaumwirtschaft“ („Urban Forestry“) in DE?



