

# Positionsbestimmung mittels Wireless LAN auf mobilen Endgeräten

Kolloquium von

Steve Frohmeyer

Referent: Prof. Dr. K. Chantelau

Korreferent: Prof. Dr. M. Golz

# Inhalt

1. Ziele der Arbeit
2. Positionsbestimmung mittels Wireless LAN
3. Analyse ausgewählter Algorithmen
4. Optimierung der Genauigkeit
5. Systemarchitektur des Prototypen
6. Zusammenfassung und Ausblick
7. Präsentation des Prototypen

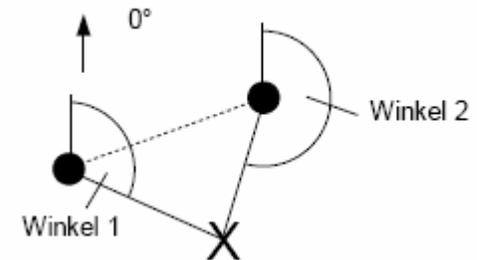
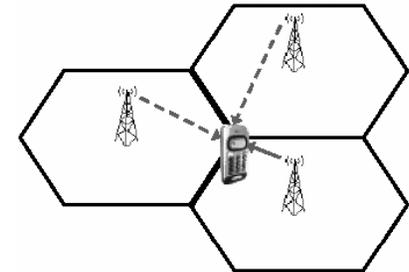
# 1. Ziele der Arbeit

1. Mögliche Umsetzung einer Positionsbestimmung mittels Wireless LAN an der FH-Schmalkalden
2. Ermittlung und Untersuchung von vorhandenen etablierten Positionierungsverfahren
3. Auswahl von geeigneten Verfahren (maximale Genauigkeit)
4. Entwicklung eines Prototypen → für Analyse
5. Vergleich der Ergebnisse mit den Originalresultaten

## 2. Positionsbestimmung mittels WLAN

### Techniken zur Positionsbestimmung:

- Cell of Origin - COO
  - Zellenreichweite eines Senders
- Time of Arrival – TOA
  - Messung der Signallaufzeit
- Time Difference of Arrival – TDOA
  - Messung Laufzeitdifferenz
- Angle of Arrival – AOA
  - Eingangswinkel eines Signals
- Received Signal Strength Indicator – RSSI
  - Messung der Signalstärke
- Signal to Noise Ratio – SNR
  - Rauschabstand eines Signals



## Voraussetzungen

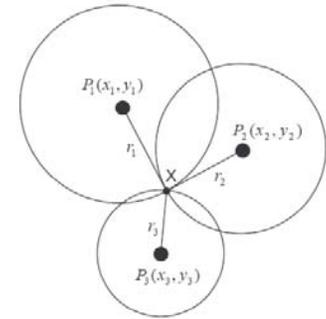
- Hardware:
  - Kompatible Komponenten mit dem IEEE 802.11 Standard
  - WLAN-Infrastruktur
    - » Bestehend aus mindestens drei Access Points
- Techniken:

	COO	TOA	TDOA	AOA	RSSI	SNR
Verwendbarkeit	✓	✗	✗	✗	✓	✓

- Einsetzbar sind COO, RSSI sowie SNR
- Kein Einsatz von TOA, TDOA und AOA → fehlende Spezifikationen von genauer Zeit- und Winkelmessung in IEEE 802.11

## Einteilung von Positionierungsverfahren:

1. Auf Signaldämpfung basierende Algorithmen
  - Signalstärkausbreitung → Streckenmessung
  - Positionen der Sender müssen bekannt sein
  - Genauigkeit ~ 15 m
  
2. Basierend auf mathematischen Modellen
  - Modellierung der Umgebung (Wellenausbreitungsmodell)
  - Positionen der Sender müssen bekannt sein
  - Genauigkeit ~ 3 m - 4 m
  - Hohes Hintergrundwissen über das Operationsgebiet
  
3. Auf Referenzmessung basierende Algorithmen
  - Nutzung der Signalstärke an bestimmten Punkten
  - Bekannt als tabellenbasierte Verfahren
  - Positionen der Sender müssen nicht bekannt sein
  - Ist gegenüber den Anderen am genauesten
  - Genauigkeit ~ 2 m



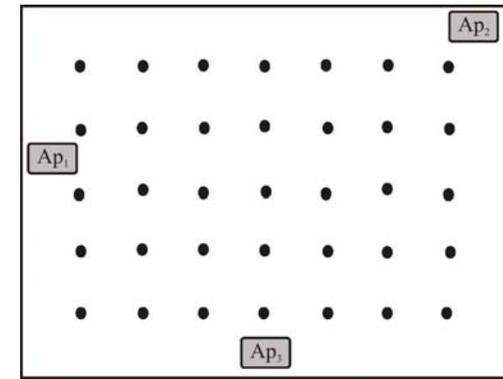
Trilateration (2D) [High2001]

# Auf Referenzmessung basierende Algorithmen

## Einteilung in zwei Phasen:

### 1. Trainingsphase (Offlinephase)

- Aufnahme von Referenzdaten an vorbestimmten Punkten
  - Signalstärkeprofil → Radio-Fingerprint
- Speicherung in Datenbank
  - $(ID; Pos_j; (AP_j, SS_j)_j)$
- Nachteil → hoher zeitlicher Aufwand



Beispiel Radio-Map

### 2. Positionierungsphase (Onlinephase)

- Momentanmessung an gesuchter Position
  - $(0; 0,0,0; (AP_j, SS_j)_j)$
- Vergleich mit den Daten aus Datenbank
- Positionierungsverfahren

Datensatz			
ID	Pos (x;y;z)	Access Point	
		AP	SS
1	320;200;0	00-12-DA-CB-81-D1	-65
		00-12-DA-CB-82-71	-55
		00-12-DA-CB-89-11	-73
		00-12-DA-CB-87-A1	-52

# Benutzte Verfahren

- $k$ -Nearest Neighbor in Signal Space ( $k$ -NNSS)
- History Monitoring Algorithmus (HMA)
- Multilayer Perzeptron (MLP)
  - Kombinationsmöglichkeit mit HMA

Auswahlkriterien → Genauigkeit, Latenzzeit, Skalierbarkeit

	<i>k</i> -NNSS	HMA	MLP o. HMA	MLP m. HMA
Institut	Microsoft Research	Duke University	Center of Scientific Research	Center of Scientific Research
Speicherverbrauch	o	o	+++	+
Skalierbarkeit	+	+	++	++
Latenzzeit (in sec)	1	2-6	1	1-2
Anzahl APs	mind. 3	mind. 3	1-5	3-5
Genauigkeit bei 50 % (in m)	2,55	2,37	2,09	1,87

# $k$ -Nearest Neighbor in Signal Space ( $k$ -NNSS) (1)

- Erstmals 2000 von *Microsoft Research* implementiert

- Basis:

- Trainingsdatenmenge aus Trainingsphase
- Einfache Metrik  $\rightarrow$  euklidisches Abstandsmaß

$$\longrightarrow T = \sum_{i=1}^M T_i$$

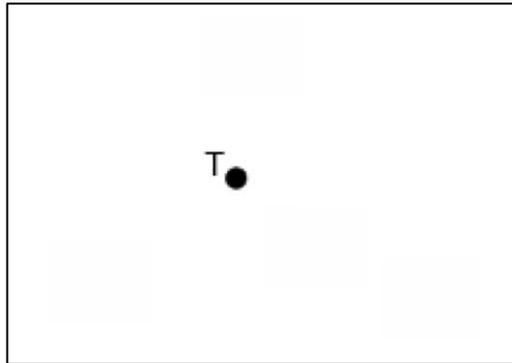
$$d(r, r_i) = \left( \sum_{n=1}^N |r_n - r_{i,n}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$r_n$  = Signalstärke von AP<sub>n</sub> aus Onlinephase  
 $r_{i,n}$  = Signalstärke von AP<sub>n</sub> aus Offlinephase

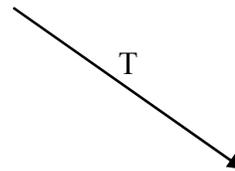
- Einfacher Nearest Neighbor in Signal Space
- Ziel:
  - Auswahl des Signalmusters aus  $T$  mit größter Ähnlichkeit der aktuellen Messung
  - Positionsdaten auslesen  $\rightarrow$  Ausgabe
- Aus Datenmenge  $T$  die  $k$  kleinsten Abstände ermitteln
  - Mittelung der Positionsdaten
  - Höhere Genauigkeit

# $k$ -Nearest Neighbor in Signal Space ( $k$ -NNSS) (2)

- Beispiel bei  $k = 3$  :



T = tatsächliche Position  
 $N_1, N_4, N_{17}$  = nächste Nachbarn  
 G = gemittelte Position



ID	Pos (x;y)	AP <sub>1</sub> -dBm	AP <sub>2</sub> -dBm	AP <sub>3</sub> -dBm	Eukl. Abstand
1	<b>120;280</b>	63	56	68	<b>5,4</b>
..	..	..	..	..	12,3
3	60;150	69	43	72	7,2
4	<b>170;200</b>	53	67	60	<b>2,4</b>
..	..	..	..	..	10,7
17	<b>220;280</b>	42	69	57	<b>4,5</b>
..	..	..	..	..	27
0	0;0	50	64	60	-

## Gesuchte Position

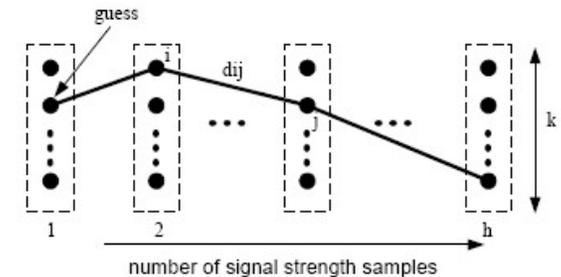
- Mittelung der Positionsdaten
- Ergebnis  $\rightarrow G = (170;253)$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

# History Monitoring Algorithmus (HMA) (1)

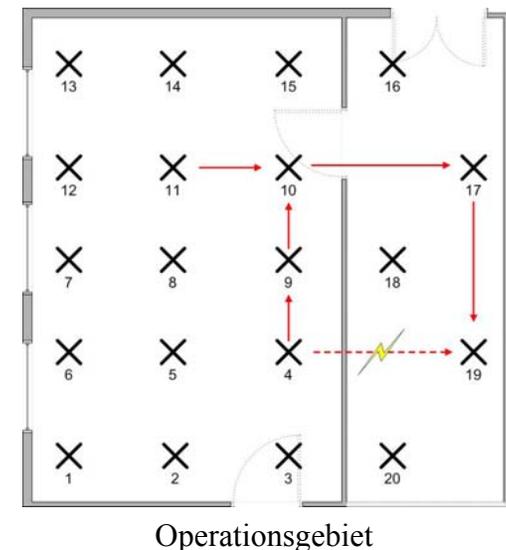
- Basiert auf der Grundlage der *Duke University*
- Grundgedanke:
  - Verbesserung des  $k$ -NNSS Algorithmus
  - Schaffung einer Tracking Möglichkeit
- Aufzeichnung von Positionsermittlungen (History Vektor)
- Ziel → Vermeidung von sprunghaften Positionsänderungen
  
- Fünf Teilschritte:
  1. Periodisch Signalstärken aufnehmen
    - zum Beispiel eine Sekunde
  2. Mit  $k$ -NNSS die nächsten Nachbarn bestimmen
    - $k$  muß konstant und vordefiniert
  3. History Vektor  $h$  mit Gruppe der  $k$  Nachbarn aktualisieren
    - Ältesten Eintrag löschen und Neusten an den Anfang einfügen
  4. Berechnung des kürzesten Pfades
    - Beginnend vom Ältesten Eintrag
    - Einfache Metrik (euklidisches Abstandsmaß)
  5. Startpunkt des Vektors ist die momentane Position



$d_{ij}$  = euklidische Abstand  
 $h$  = Größe des Vektors  
 $k$  = Anzahl Nachbarn

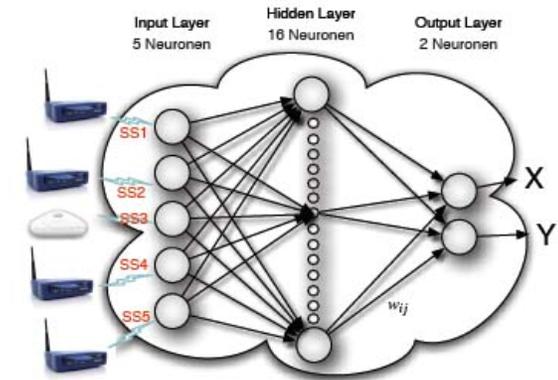
# History Monitoring Algorithmus (HMA) (2)

- Erhöhung der Genauigkeit
  - Verbindung zwischen einzelnen Referenzpunkten
  - Berücksichtigung des Operationsgebietes (Inventar, Wände, ...)
  - Speicherung pro Messpunkt dessen jeweilige Nachbarpositionen (Position 4 = 3, 5, 9)
- Erweiterung durch Neustartfunktion
  - In der Praxis Fehlmessungen
  - Verhinderung der Verschiebung des Suchfensters in falsche Richtung
  - Neustart nach  $n$  Versuchen ( $n = \text{Schwellwert}$ )
  - Ziel  $\rightarrow$  höhere Sicherheit



# Multilayer Perzeptron (MLP) (1)

- Aus Experimenten des *Centers of Scientific Research*
- Neuronales Netzwerk mit Error-Backpropagation-Algorithmus
- Besteht aus:
  - Fünf Input-Neuronen (max. fünf Access Points)
  - 16 Neuronen in der Hidden-Schicht
  - Zwei Output-Neuronen
    - Koordinaten (x;y) = 2 dimensional
- Trainieren des Netzes:
  - Übergabe von Trainingsdaten
    - Referenzdaten aus der Trainingsphase
    - Erforderliche Skalierung der Werte



$$y = \frac{0,9 - 0,1}{x_{max} - x_{min}}x + \left(0,9 - \frac{0,9 - 0,1}{x_{max} - x_{min}}x_{max}\right)$$

$x$  = Originalwert  
 $x_{max}$  = maximaler Merkmalswert  
 $x_{min}$  = minimaler Merkmalswert  
 $y$  = skaliertes Wert

# Multilayer Perzeptron (MLP) (2)

- Drei Teilschritte:

1. Forward-Pass

- Übergabe der Eingabemustervektoren
- Berechnung des Outputs des Netzes

2. Fehlerbestimmung

- Berechnung des mittleren quadratischen Fehlers
- Überschreitung des Schwellwertes → Backward-Pass

$$\longrightarrow E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (t_j - o_j)^2$$

3. Backward-Pass

- Anpassung der Gewichte
- Gradientenabstiegsverfahren (conjugate gradient descent)

$$\longrightarrow \Delta w_{ij}(n+1) = \eta(\delta_j o_i) + \alpha \Delta w_{ij}(n)$$

$\eta$  = bestimmte Lernrate

$\alpha$  = Schrittweite

$\Delta w_{ij}$  = minimaler Merkmalswert

- Vorteil:

- Einmal trainiert → geringer Speicherbedarf

- Nachteil:

- Hoher Ressourcenverbrauch beim trainieren

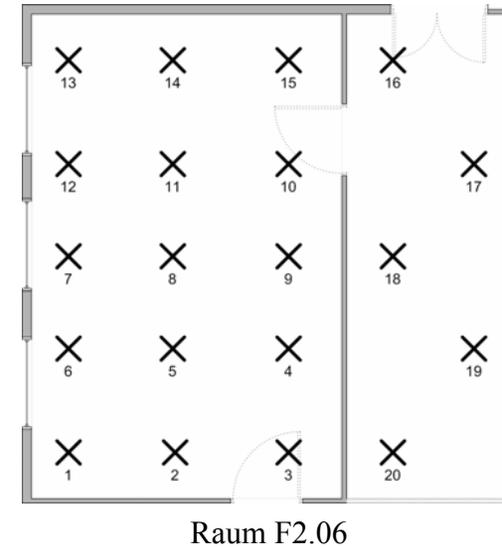
# 3. Analyse ausgewählter Algorithmen

## Verwendete Hardware:

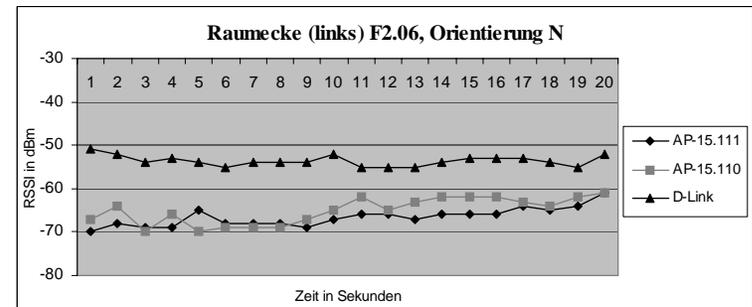
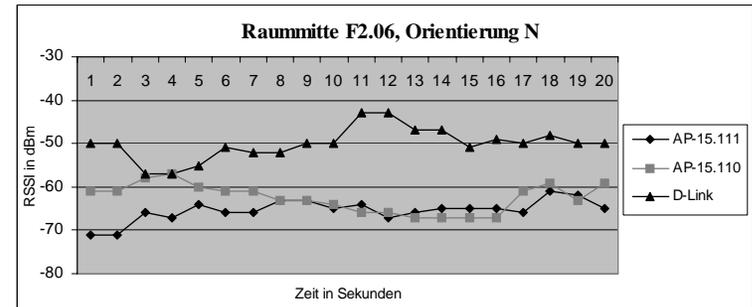
- sechs Access Points von CISCO
  - Aironet 1200 Series
  - zwei pro Etage
- PocketPC von Dell
  - X51v mit 624 MHz
  - Integrierte WLAN Karte (802.11b)
- USB Wireless-Client-Adapter
  - DWL-G122 von D-Link

## Umgebung:

- Raum F2.06 und Flur mit 93,21 m<sup>2</sup>
- 20 Referenzpunkte im Abstand von 2,50 m



- Testmessung
  - Ergebnis → unterschiedliches Signalprofil
- Aufnahme von Referenzmessungen
  - Jeder Punkt 30 Sekunden
  - Eine Sekunde = ein Sample
  - Je vier Himmelsrichtungen
- PocketPC in 1,20 m Höhe
  - Reproduzierbar
- Gesamtanzahl 2400 Samples
  - Trainingsphase ~ 40 Minuten



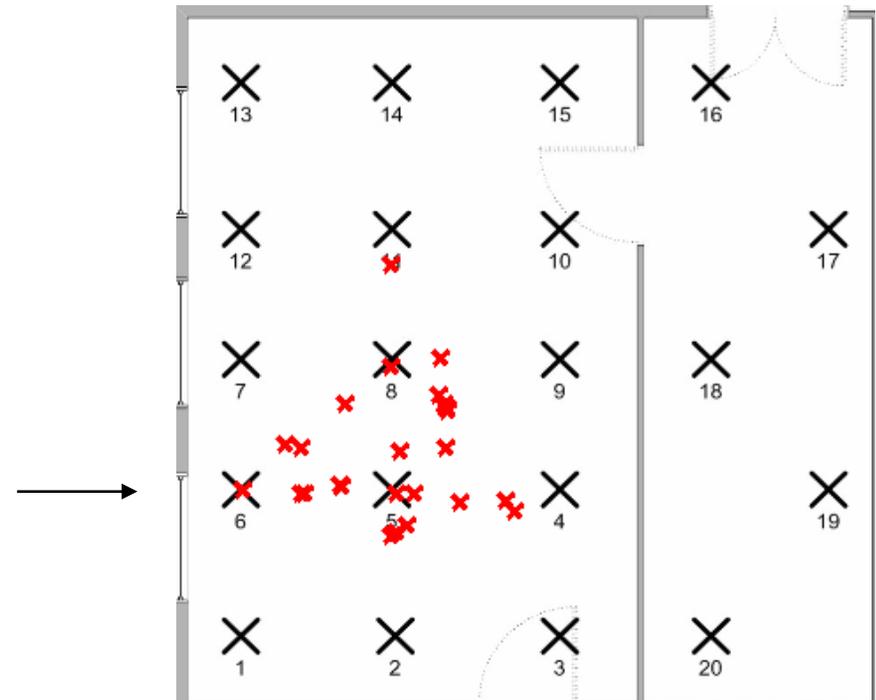
- Messergebnisse vergleichbar mit Prozentsätzen 25, 50 und 75
- Verwendung von jeweils drei Access Points
- Zusätzliche Betrachtung des Prozentsatzes von 95

# Ergebnisse des $k$ -NNSS im Vergleich

## Statisches Nutzerprofil an Position 5

- Genauigkeit 2,59 m bei 95 %
  - Bei drei Nachbarn
- Signifikante Unterschied um 63 %
- Konzentration um den Messpunkt

Anzahl der Nachbarn	Fehlerdistanz in Metern							
	25 %		50 %		75 %		95 %	
	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.
1	1,53	1,92	1,57	2,94	4,33	4,69	4,83	-
2	1,61	-	2,58	-	2,82	-	3,30	-
3	0,80	1,05	1,67	2,55	1,99	3,56	2,59	-
4	1,85	-	2,01	-	2,94	-	4,03	-
5	0,92	1,55	1,25	2,75	2,06	4,03	3,44	-

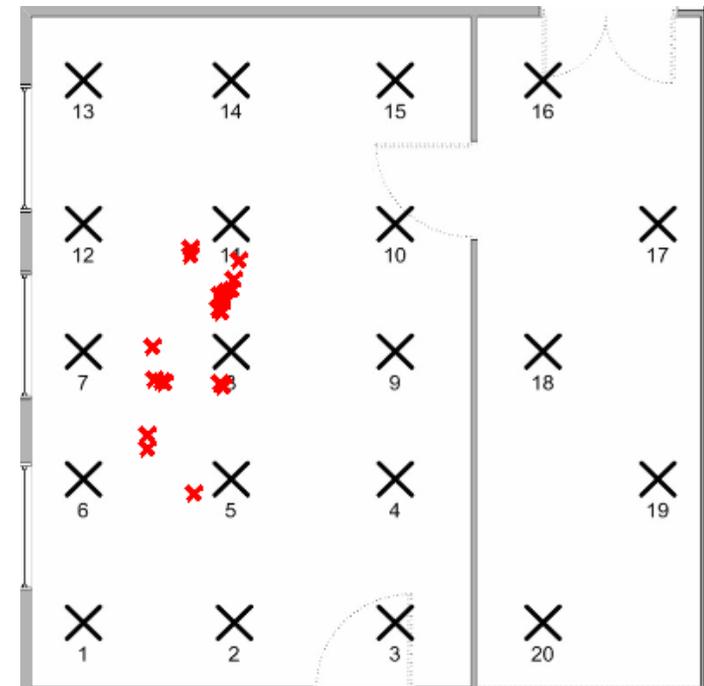


# Ergebnisse des HMA im Vergleich

## Statisches Nutzerprofil an Position 8

- History Vektor Größe von  $h = 6$
- Genauigkeit 2,55 m bei 95 %
  - Bei sechs Nachbarn
- Geringere Sprünge, höhere Konzentration der ermittelten Positionen

Anzahl der Nachbarn	Fehlerdistanz in Metern							
	25 %		50 %		75 %		95 %	
	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.
3	0,79	1,92	1,95	2,37	4,09	3,29	4,48	-
4	1,37	-	1,73	-	2,69	-	3,09	-
5	1,30	-	2,38	-	2,83	-	3,20	-
6	1,01	-	1,31	-	1,46	-	2,55	-

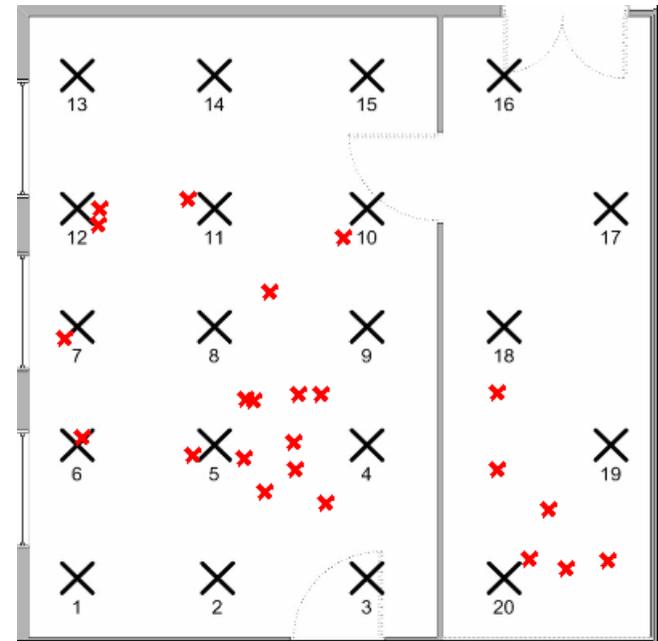
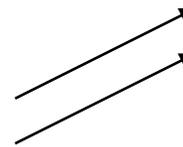


# Ergebnisse des MLP im Vergleich (1)

## Statisches Nutzerprofil an Position 8

- Ohne Kombination mit dem HMA Algorithmus
- Genauigkeit 6,27 m bei 95 %
  - Bei vier Access Points
- Verschlechterung um 18 % zu Originalresultaten

Anzahl der Access Points	Fehlerdistanz in Metern							
	25 %		50 %		75 %		95 %	
	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.
3	1,48	-	1,60	-	3,01	-	7,19	-
4	2,57	-	4,53	-	5,96	-	6,27	-
5	2,57	-	2,83	2,09	3,92	3,54	6,73	-

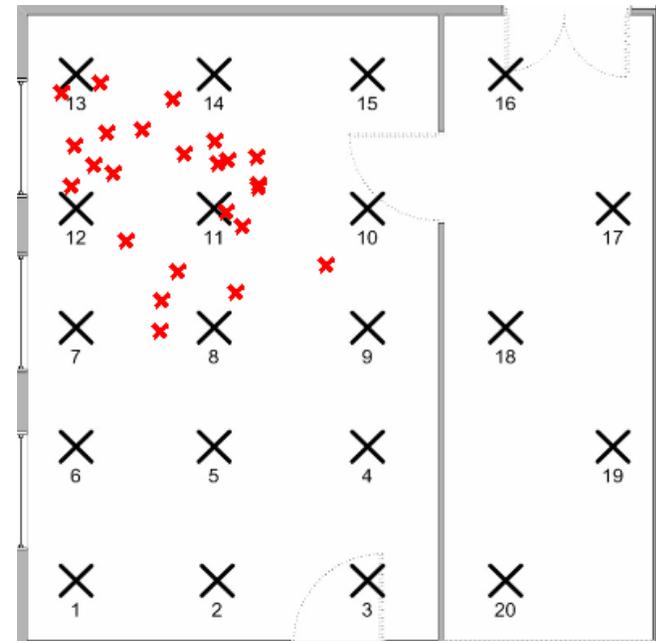


# Ergebnisse des MLP im Vergleich (2)

## Statisches Nutzerprofil an Position 8

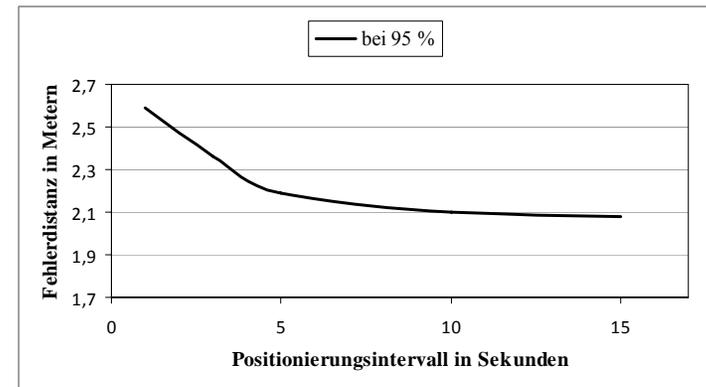
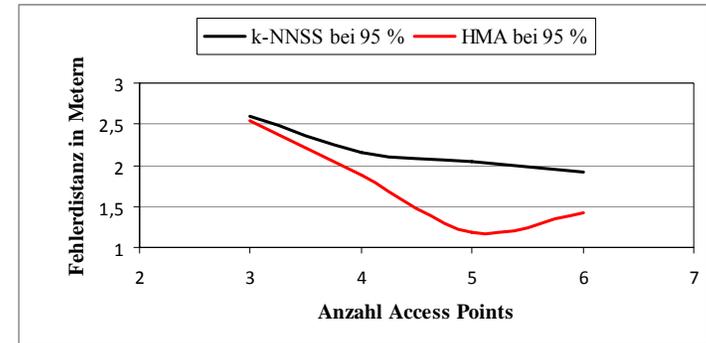
- Mit Kombination des HMA Algorithmus
- Genauigkeit 4,94 m bei 95 %
  - Bei fünf Access Points
- Verbesserung um etwa 26 % zum MLP ohne HMA bei 95 %
- Verschlechterung um 22 % zu Originalresultaten

Anzahl der Access Points	Fehlerdistanz in Metern							
	25 %		50 %		75 %		95 %	
	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.	akt.	org.
3	2,01	-	2,19	-	2,39	-	5,28	-
4	2,69	-	3,49	-	4,65	-	7,34	-
5	2,39	-	3,51	1,87	4,06	3,18	4,94	-

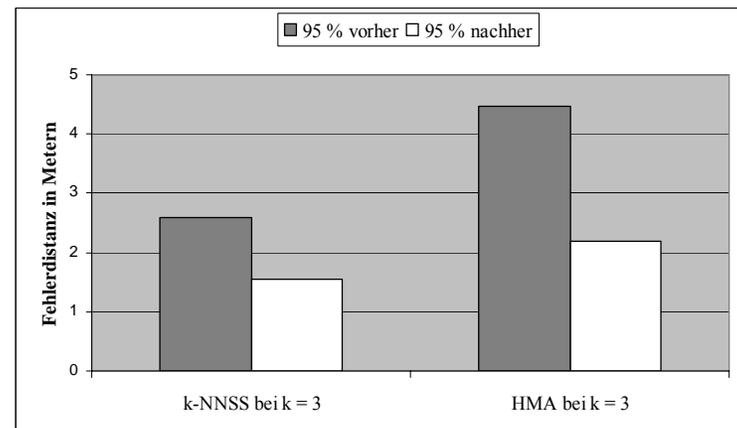
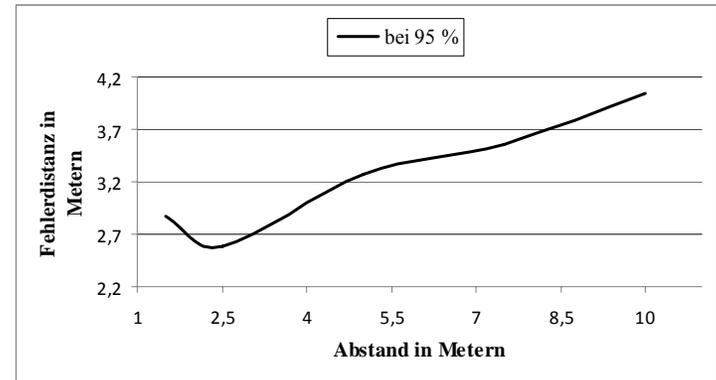


## 4. Optimierung der Genauigkeit

- Veränderung der Anzahl von Access Points
  - Ausgangswerte → beste Ergebnisse aus der Analyse
  - Effekt bei  $k$ -NNSS ( $k=3$ ) und bei HMA ( $k=6$ )
  - $k$ -NNSS → **1,92 m** bei 6 APs
  - HMA → **1,18 m** bei 5 APs
- Positionierungsintervall in der Onlinephase
  - Standardmessung → Intervall von einer Sekunde
  - Erhöhung auf fünf Sekunden → Bildung des Median
    - Ausgleich von Schwankungen
  - Verbesserung um etwa **21 %**

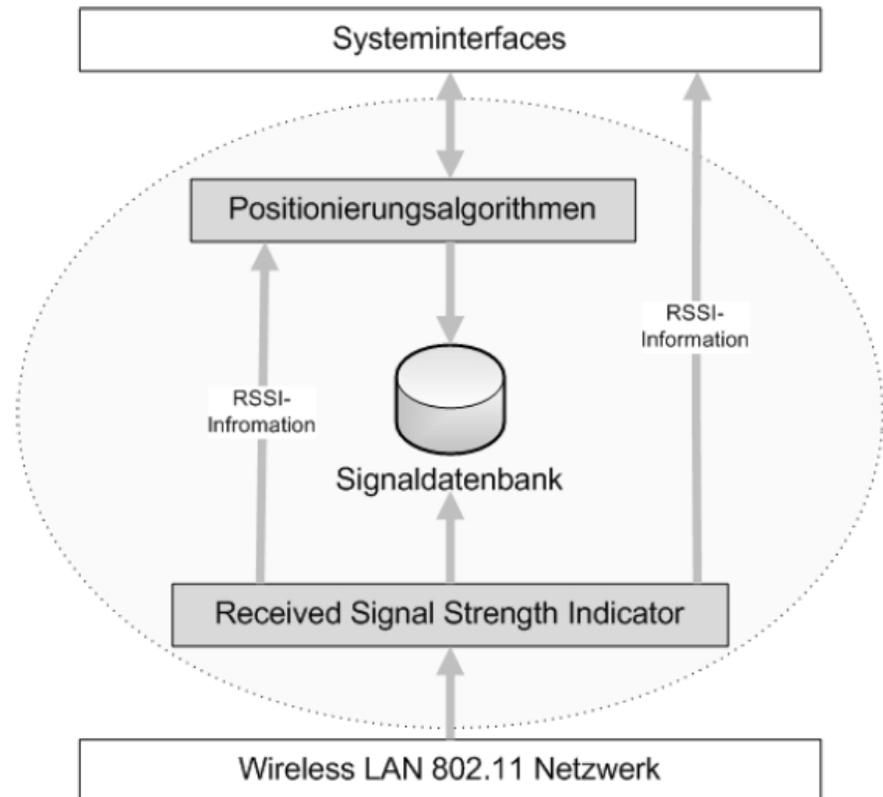


- Veränderung der Messpunkte
  - Änderung der Abstände zw. den Referenzpunkten
  - Beste Resultate im Bereich von zwei bis drei Metern
  - Gewählter Abstand von zweieinhalb Metern bestätigt
- Verbesserung des  $k$ -NNSS und des HMA
  - Begrenzung durch euklidische Abstandmaß
    - Grundgedanke → Ausschluss von weit entfernten Referenzpunkten
  - Gewichtete Interpolation
    - Kleinstes Maß = größtes Gewicht
  - Verbesserung um etwa **45 %**



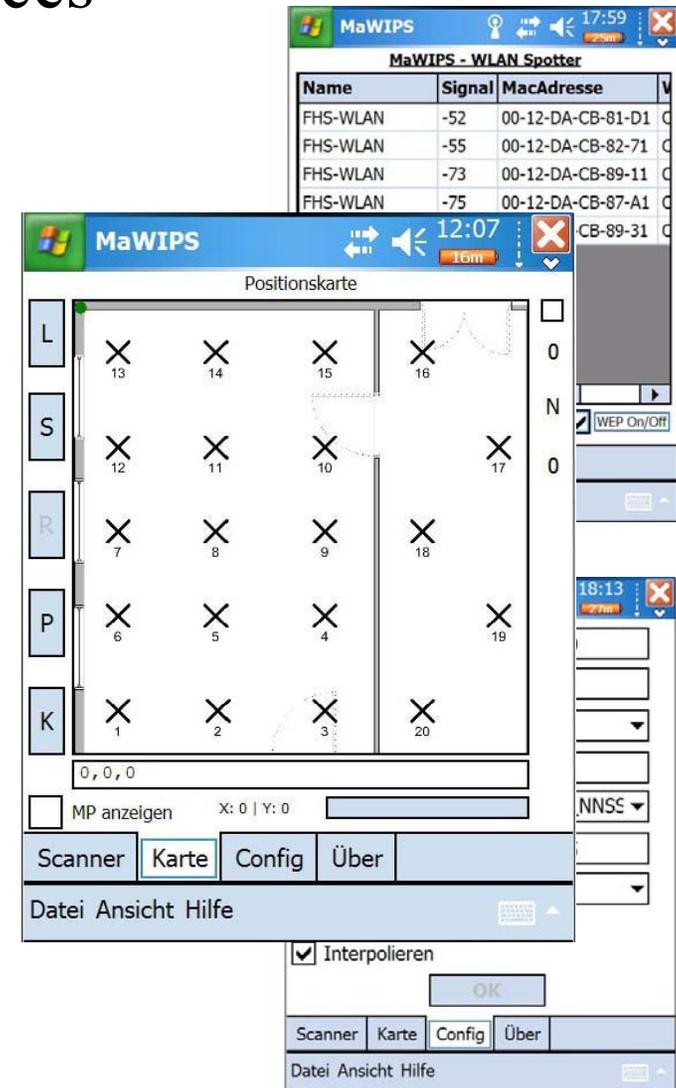
## 5. Systemarchitektur des Prototyps

- fünf wesentliche Schichten
  1. Wireless LAN 802.11 Netzwerk
  2. Received Signal Strength Indicator
  3. Datenbank
  4. Positionierungsalgorithmen
  5. Systeminterfaces
- Realisierung mittels C# und dem .NET Compact Framework von OpenNETCF
- Mobiles Endgerät „X51v 624“ von Dell
- Standalone-Modus (Eigenortung)



# Systeminterfaces

- PPC-Software besteht aus drei Fenstern
  1. Wireless LAN Spotter
    - Überprüfung der Umgebung auf Tauglichkeit
  2. Konfigurationsfenster
    - Wichtige Systemeinstellungen
  3. Positionierungsfenster
    - Hauptkomponente
    - Trainingsdatenaufnahme
    - Visualisierung der Referenzpunkte im Layout
    - Anzeige der aktuell berechneten Position im Operationsgebiet

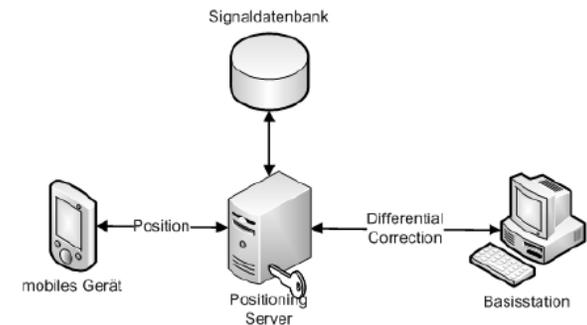
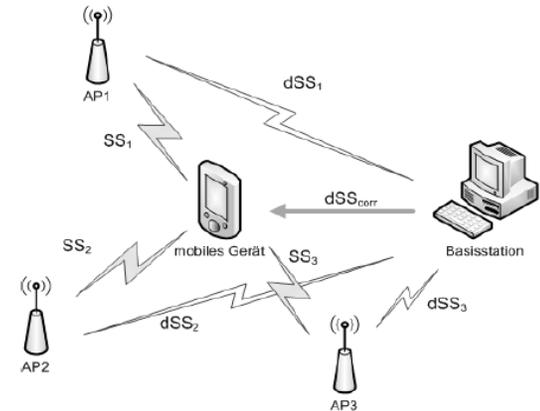


## 6. Zusammenfassung und Ausblick

- Positionsbestimmung an der FH-Schmalkalden möglich
  - Erreichbare Genauigkeit von 1,18 m in 95 % aller Messungen
  - $k$ -NNSS und HMA → gute Ergebnisse erzielt
  - Multilayer Perzeptron → kein zufrieden stellendes Ergebnis
- Probleme bei der Implementation → Abfrageintervall
- Positionsgenauigkeit abhängig
  - Unterschiedliche Tageszeit
  - Personenanzahl → starke Dämpfung
  - Sonstige Einflüsse
- Untersuchung eines mobilen Nutzerprofil
  - Verschlechterung um Faktor 2

## Ausblick

- Verbesserung der Genauigkeit
  - Abfrageintervall kleiner eine Sekunde
  - Kombination und weitere Profile
  - Anwendung von Differential Correction
  
- Client Server Modus
  
- Nutzung weiterer Technologie
  - Bluetooth
  - RFID



# 7. Präsentation des Prototypen