

---

# Selbstorganisierende Ressourcenvergabe in einem zellularen OFDM Mobilfunksystem

Christian Stimming, Hermann Rohling

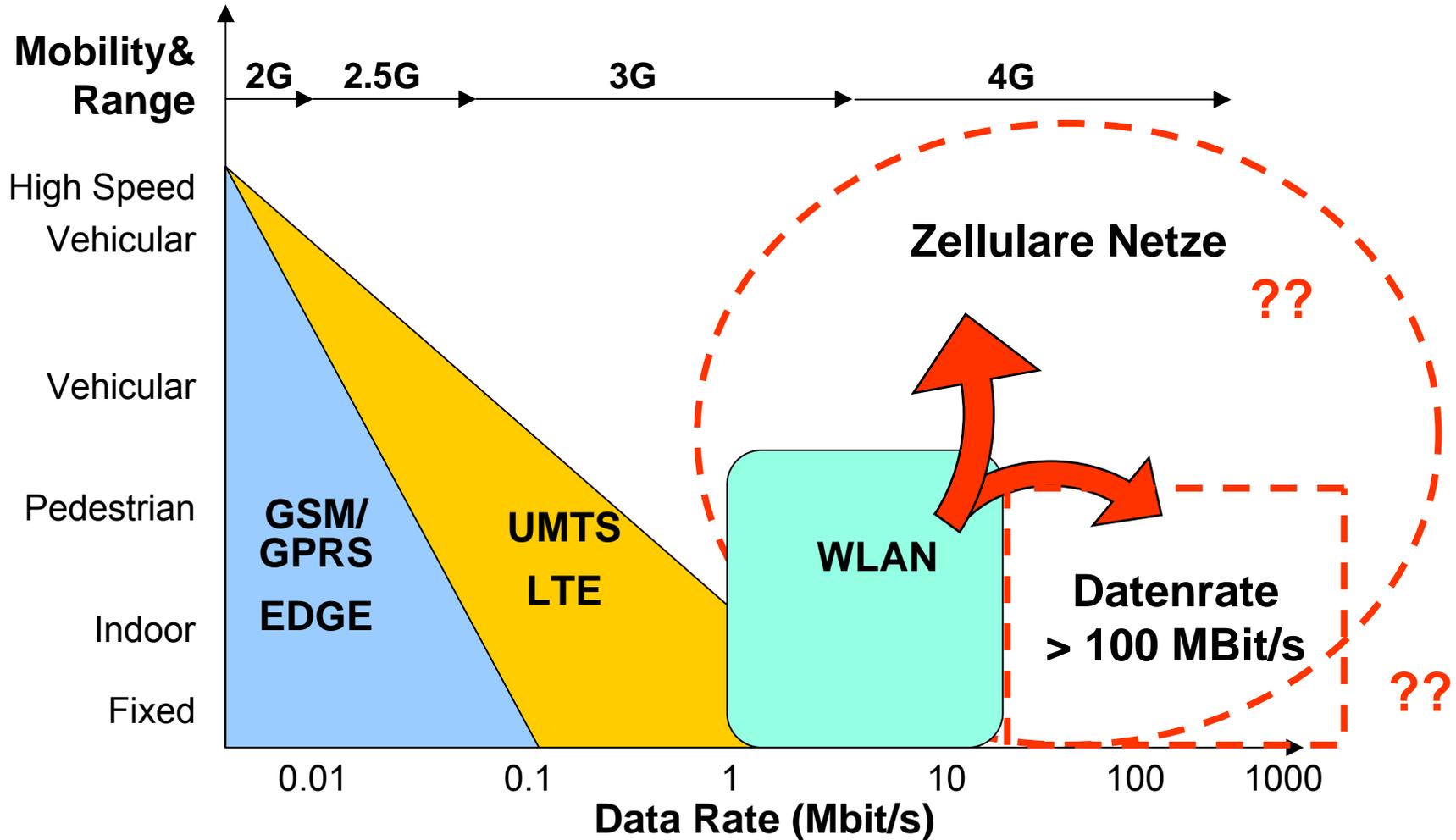
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für Nachrichtentechnik

---

**TUHH**

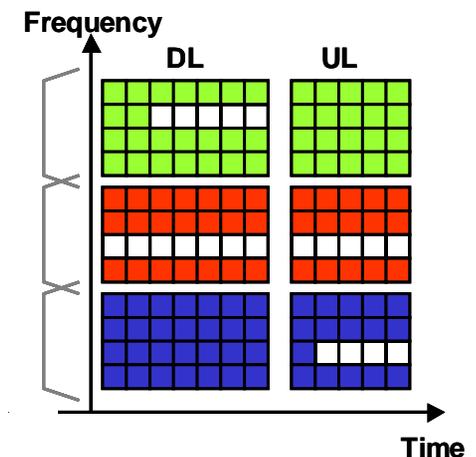
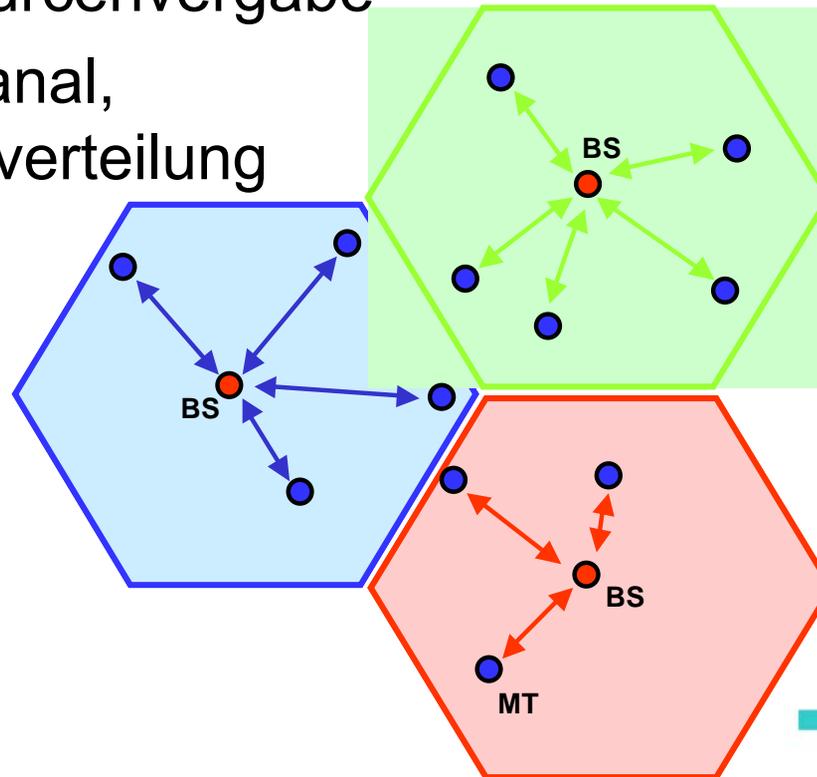
Technische Universität Hamburg-Harburg

# Ziel: Hohe Datenrate und spektrale Effizienz



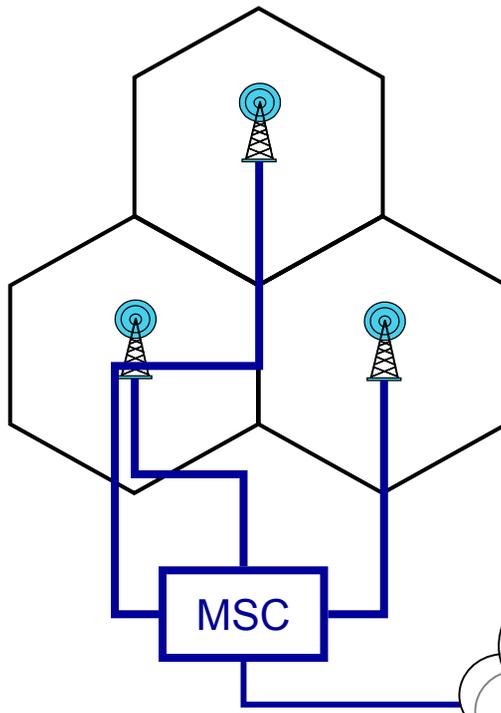
# Gliederung

- Wie kann die spektrale Effizienz optimiert werden?
- OFDM in zellularem Netz
  1. Netzstruktur
  2. Ressourcenvergabe
  3. Funkkanal, Nutzerverteilung

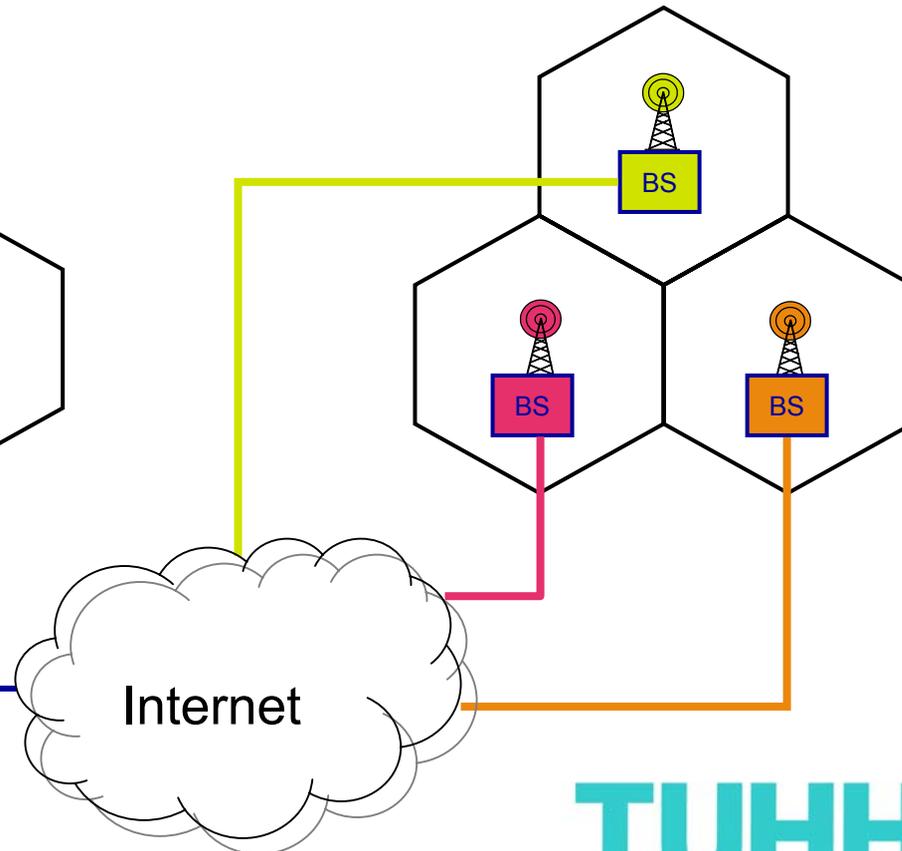


# Netzstruktur

**Konventionell:  
Zentrale Steuerung**

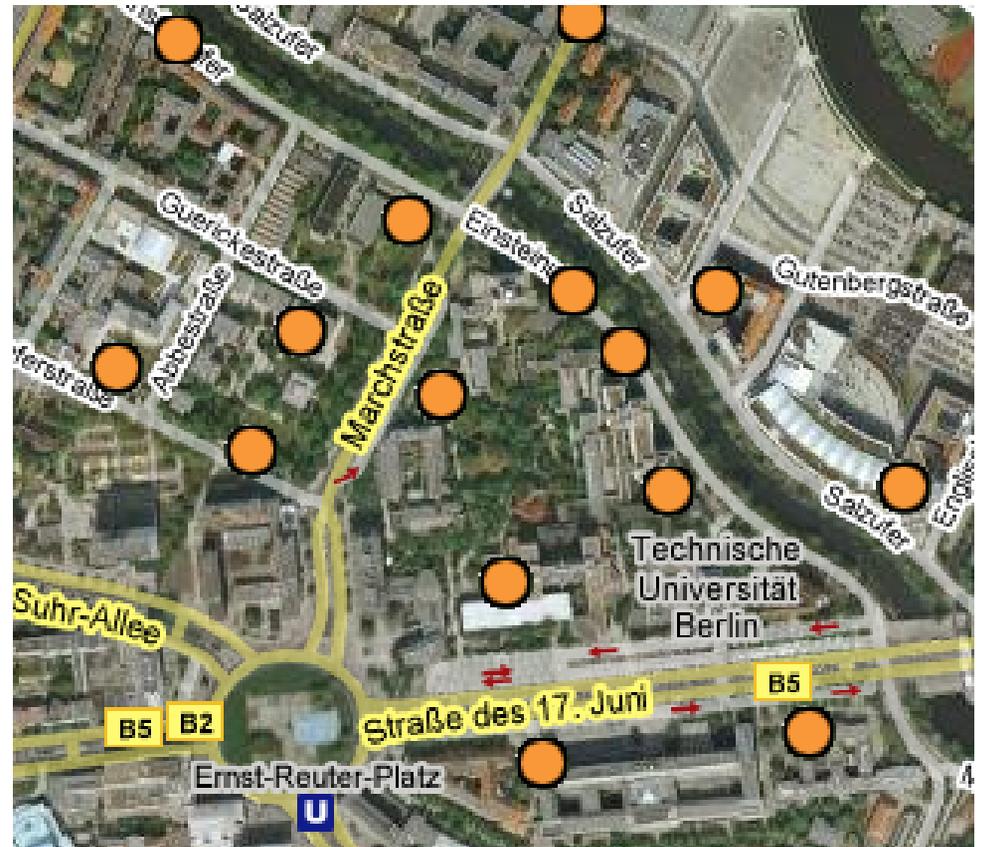


**Neu:  
Selbstorganisierende  
Koordination**



# Netzbetreiber und OFDM-Netz

- Konventionelle Netze
  - GSM, UMTS-LTE, WIMAX
  - z.B. T-Mobile
- Ad-hoc Netz:
  - 802.11g WLAN
  - z.B. Fon
- **Selbstorganisierende Koordination des PHY-Layer möglich?**



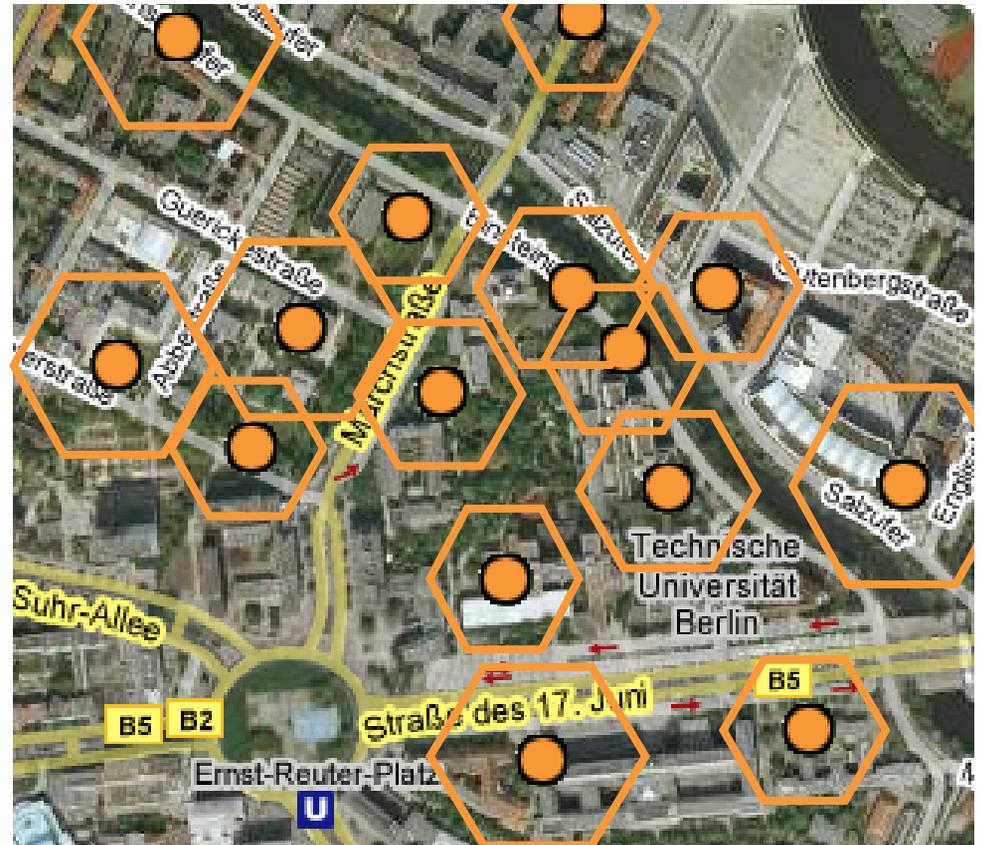
Quelle: maps.fon.com

**TUHH**

Technische Universität Hamburg-Harburg

# Netzbetreiber und OFDM-Netz

- Konventionelle Netze
  - GSM, UMTS-LTE, WIMAX
  - z.B. T-Mobile
- Ad-hoc Netz:
  - 802.11g WLAN
  - z.B. Fon
- **Selbstorganisierende Koordination des PHY-Layer möglich?**



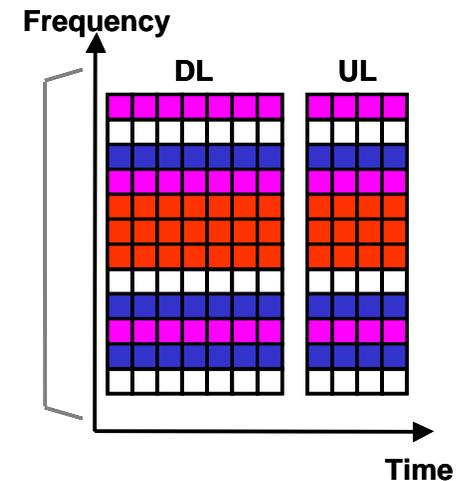
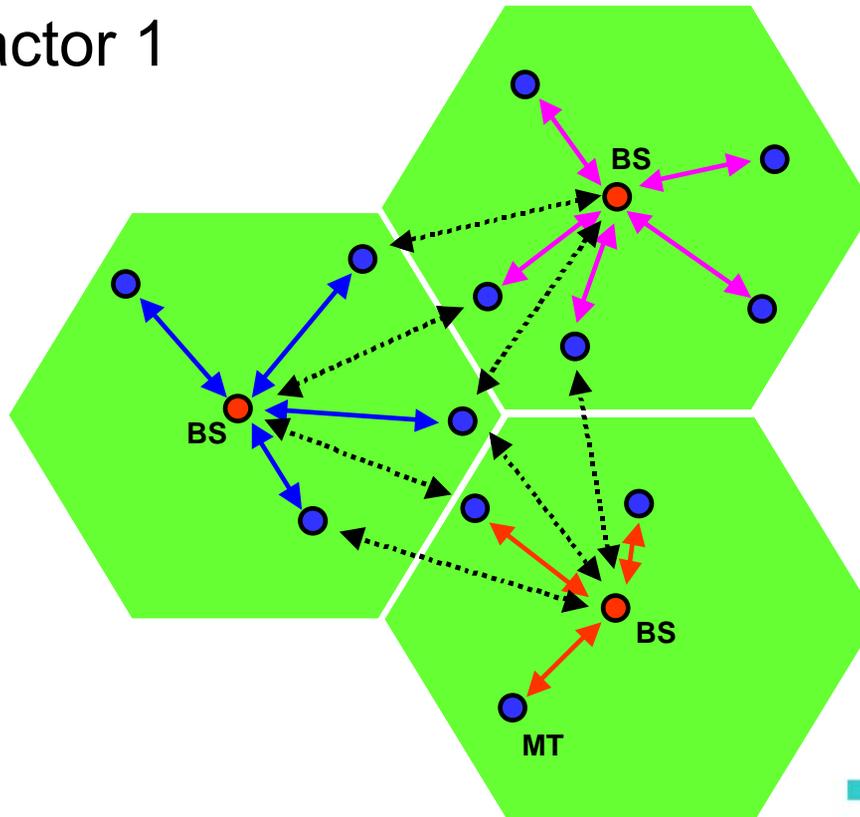
Quelle: maps.fon.com

**TUHH**

Technische Universität Hamburg-Harburg

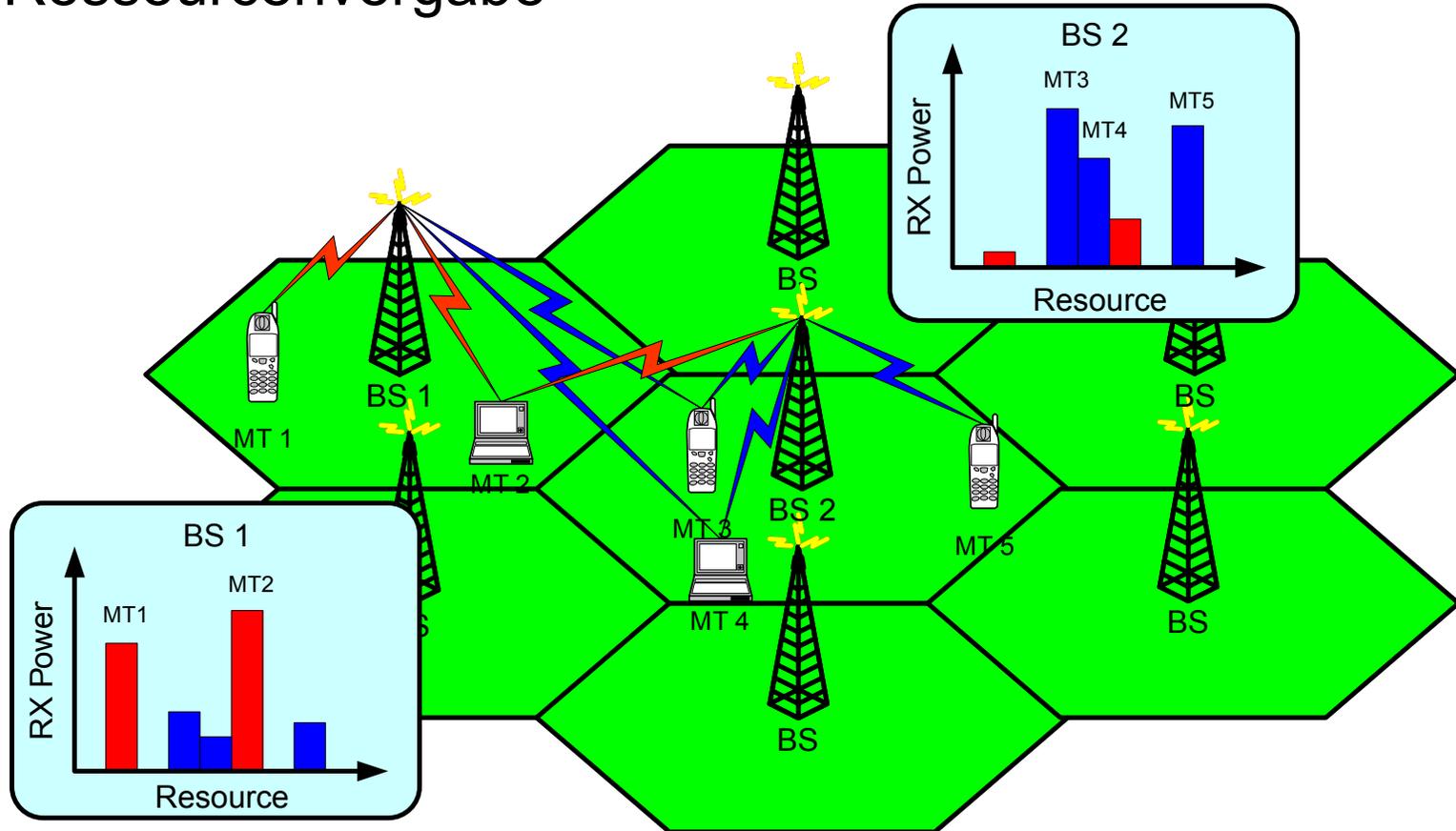
# Dezentrale PHY-Layer Koordination

- Teilergebnis: **Selbstorganisierende Synchronisation** zwischen den Zellen ist möglich
- Keine Frequenzplanung
- Re-use factor 1

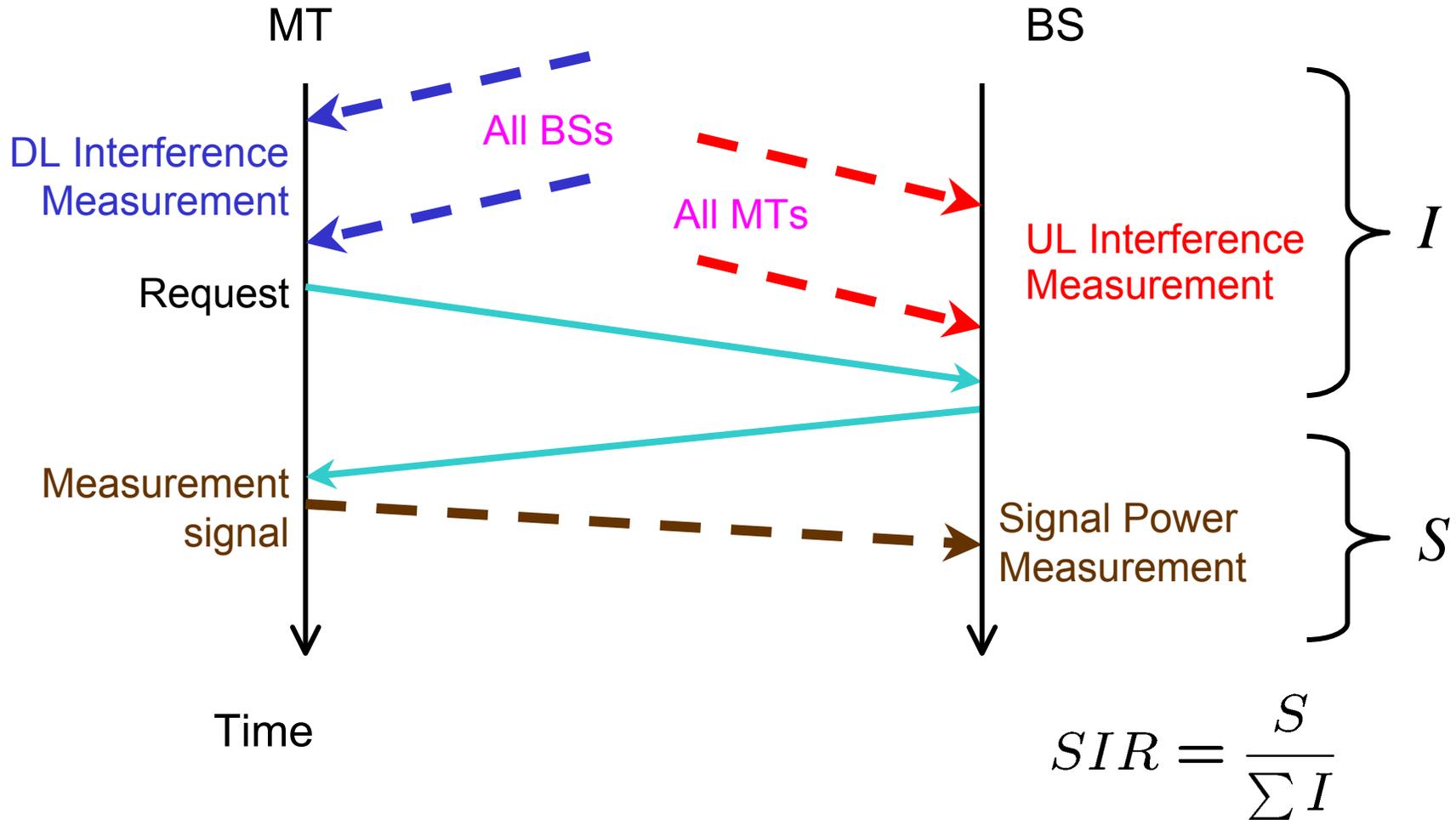


# Selbstorganisierende Ressourcenvergabe: Interferenzmessungen

- Messung der Interferenz als Kriterium der Ressourcenvergabe

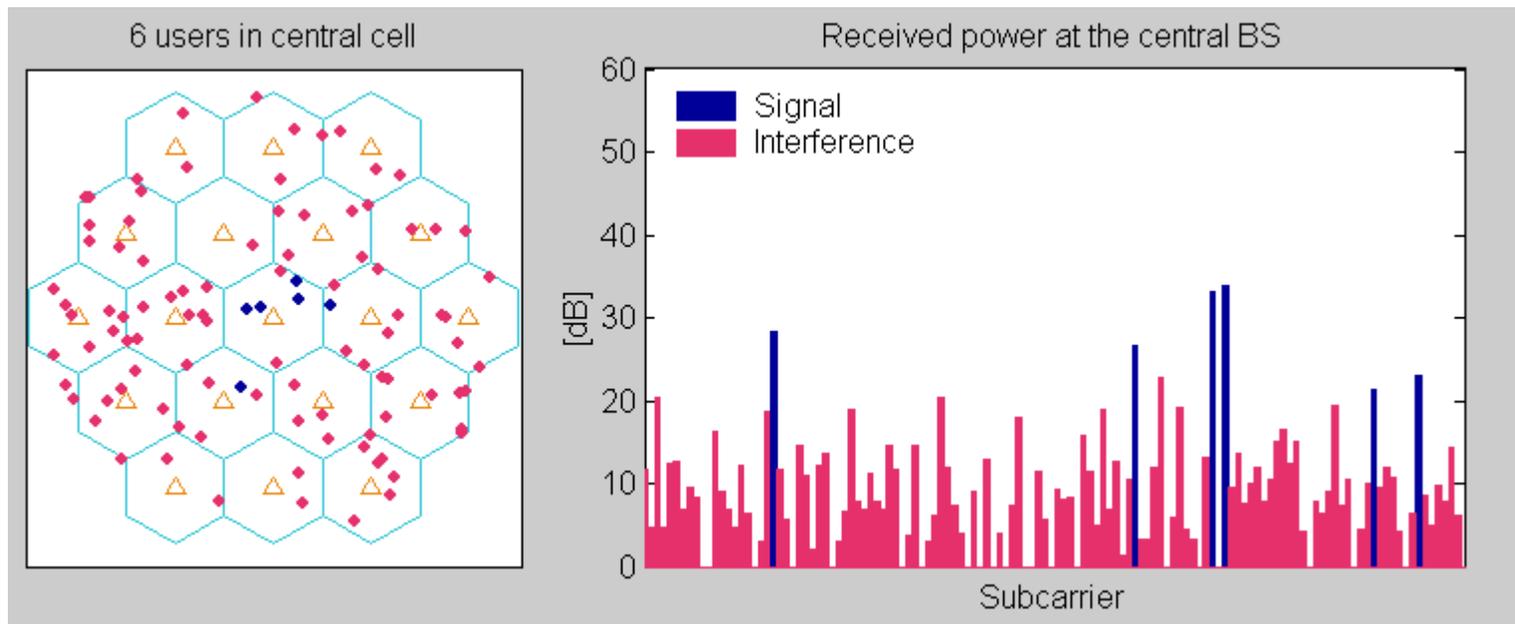


# Selbstorganisierende Ressourcenvergabe: Protokoll Verbindungsaufbau



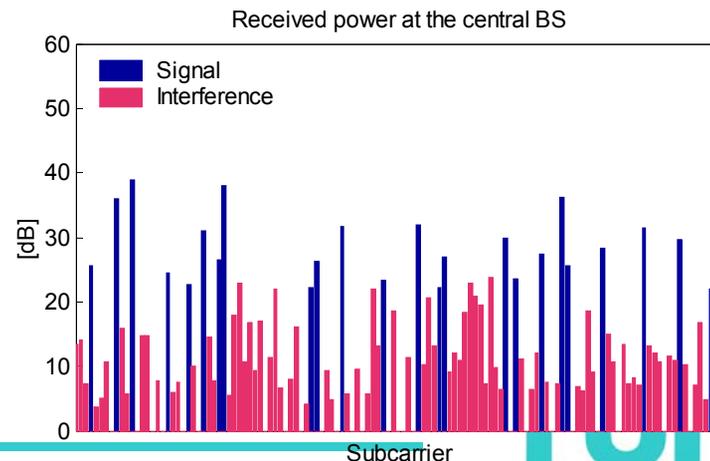
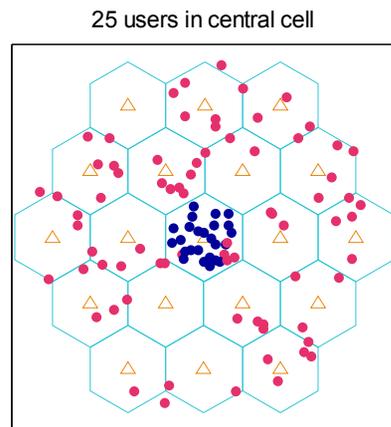
# Beispiel Ressourcenvergabe

- Dezentrales Netz, FDMA
- Vergleich: User gleichverteilt vs. Hotspot
- Hier: UL / DL symmetrisch



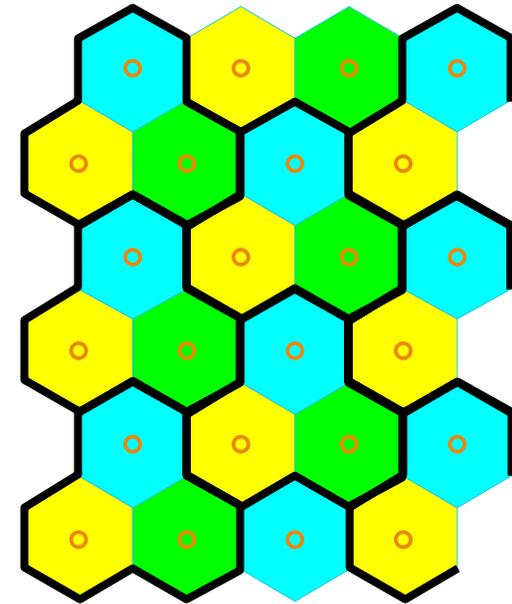
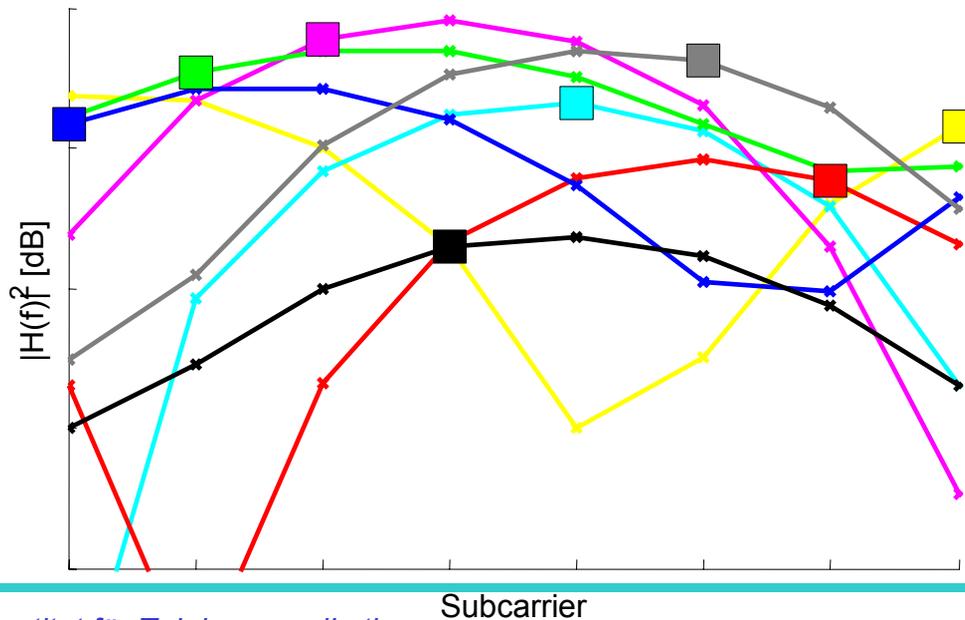
# Selbstorganisierende Ressourcenvergabe

- Vorteile
  - Keine Signalisierung nötig
- Nachteile
  - Lange *call duration* angenommen; bei  $N$  MTs:  $T_c > N \cdot 1/\lambda$
  - Circuit-switched statt packet-switched
  - Aber: Für viele Anwendungen realistisch
    - Voice, Real-time games, FTP download
  - Durch traffic shaping erreichbar



# Konventionell: Frequenzplanung

- Exklusive Ressourcennutzung durch Frequenzplanung
- Cluster size  $C$ , Reuse-faktor  $r=1/C$
- Durch exklusive Zuteilung schnelle Adaptivität möglich:
  - Optimale Ressourcenvergabe



# Optimierung der Ressourcenvergabe als "Assignment problem"

---

- Kriterium: Maximale Summenkapazität

$$\sum_i \sum_k x_{i,k} \log(1 + SNR_{i,k}) = \max_x$$

- Nebenbedingung  $\sum_i x_{i,k} \leq 1 \quad \forall k$

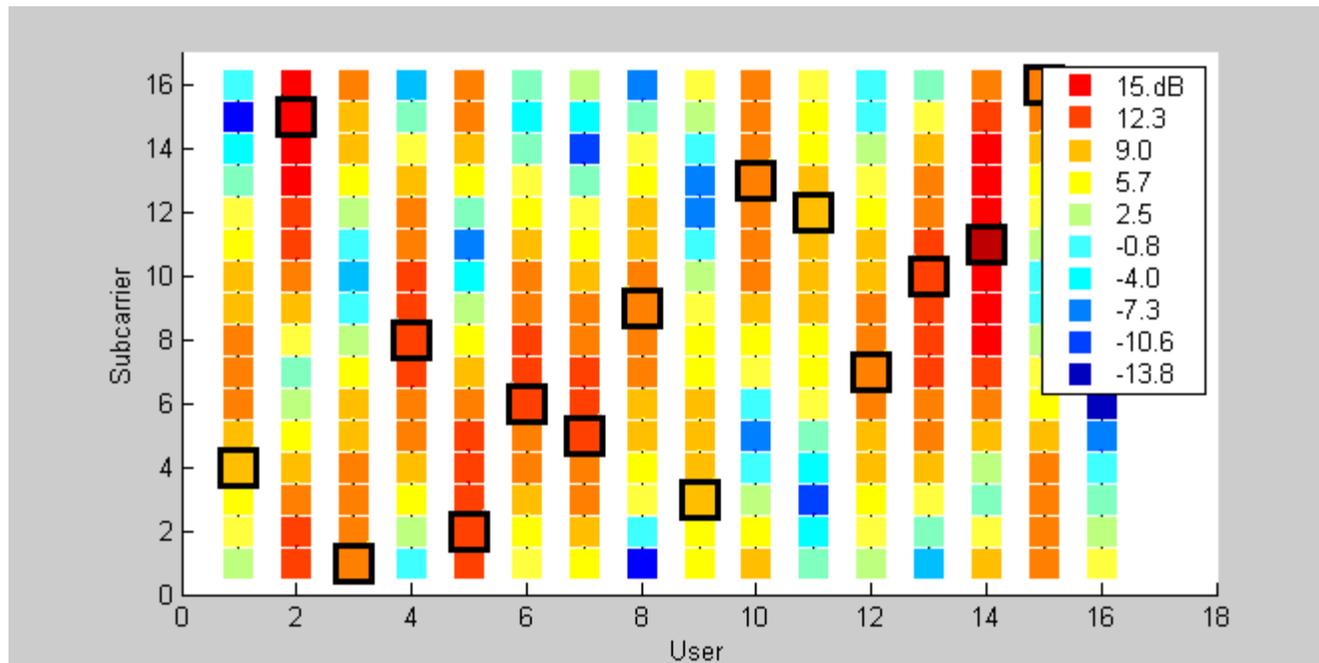
- mit  $x_{i,k} \in \{0, 1\}$  als assignment variables
- Lösungen in polynomialer Zeit existieren, z.B. Munkres/Ungarischer Algorithmus

- Suboptimales Kriterium: Maximales Summen-SNR

$$\sum_i \sum_k x_{i,k} SNR_{i,k} = \max_x$$

# Multi-User Diversity: Optimale Ressourcenzuweisung

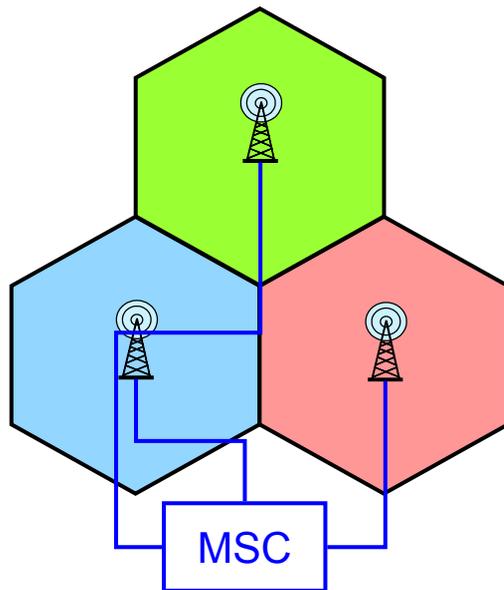
- Subträgerzuweisung gemäß Kapazität durch per-Subcarrier SNR
- Optimale Zuweisung durch Lösung des *assignment problem*: Maximale Summenkapazität



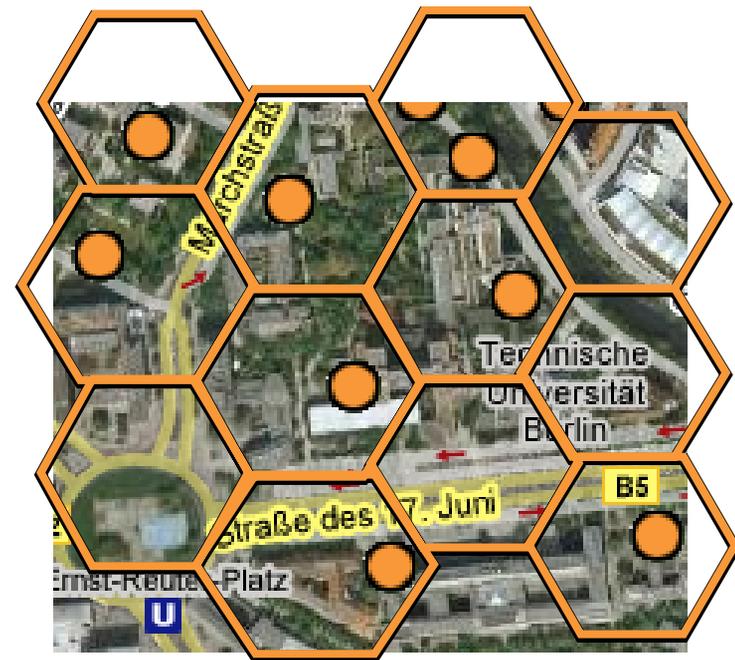
# Systemvergleich

- Wie viele Benutzer können pro Subträger versorgt werden: *Benutzerkapazität*

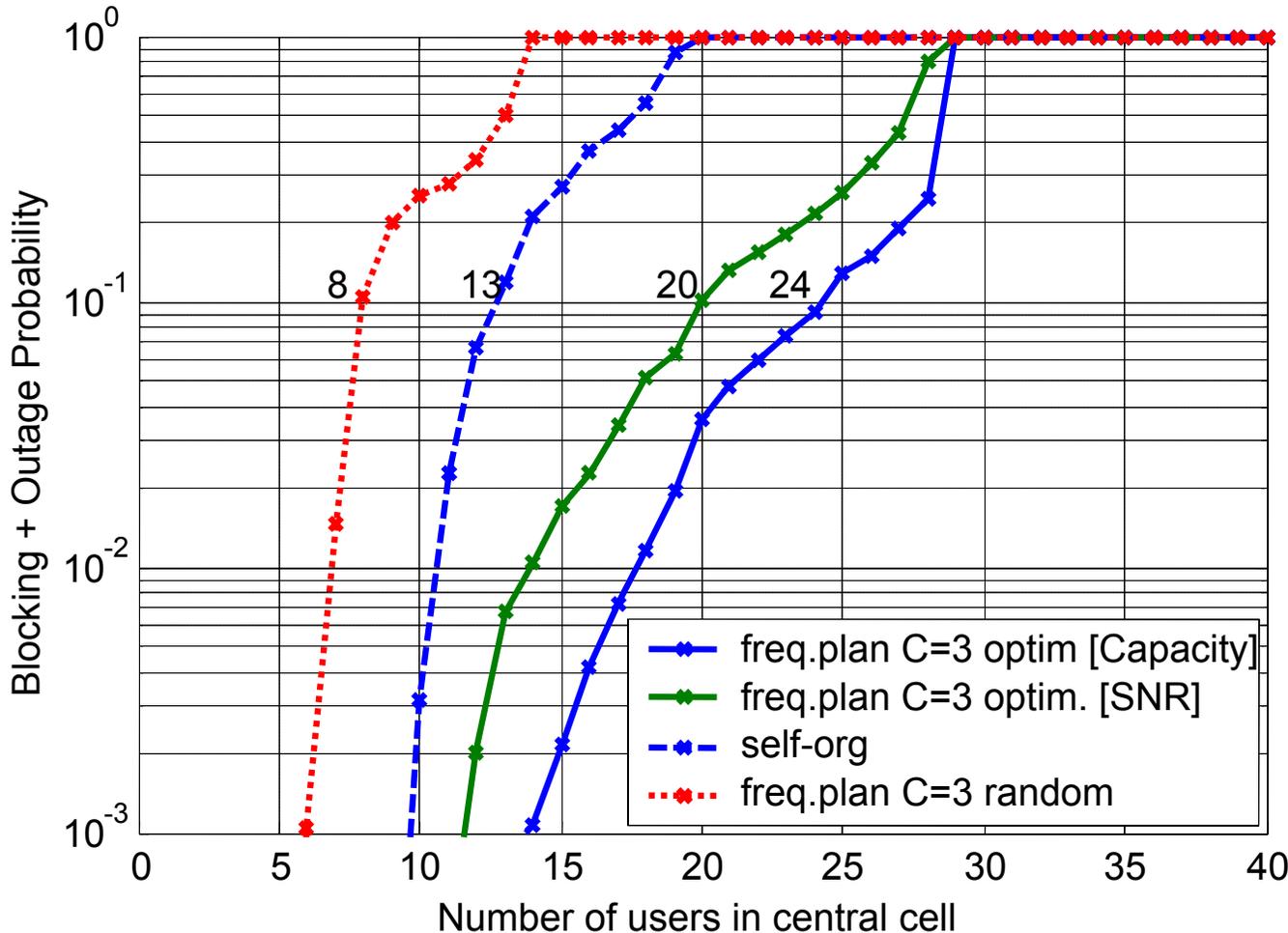
## Frequenzplanung



## Selbstorganisierend



# Ergebnis Benutzerkapazität



Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung C=3

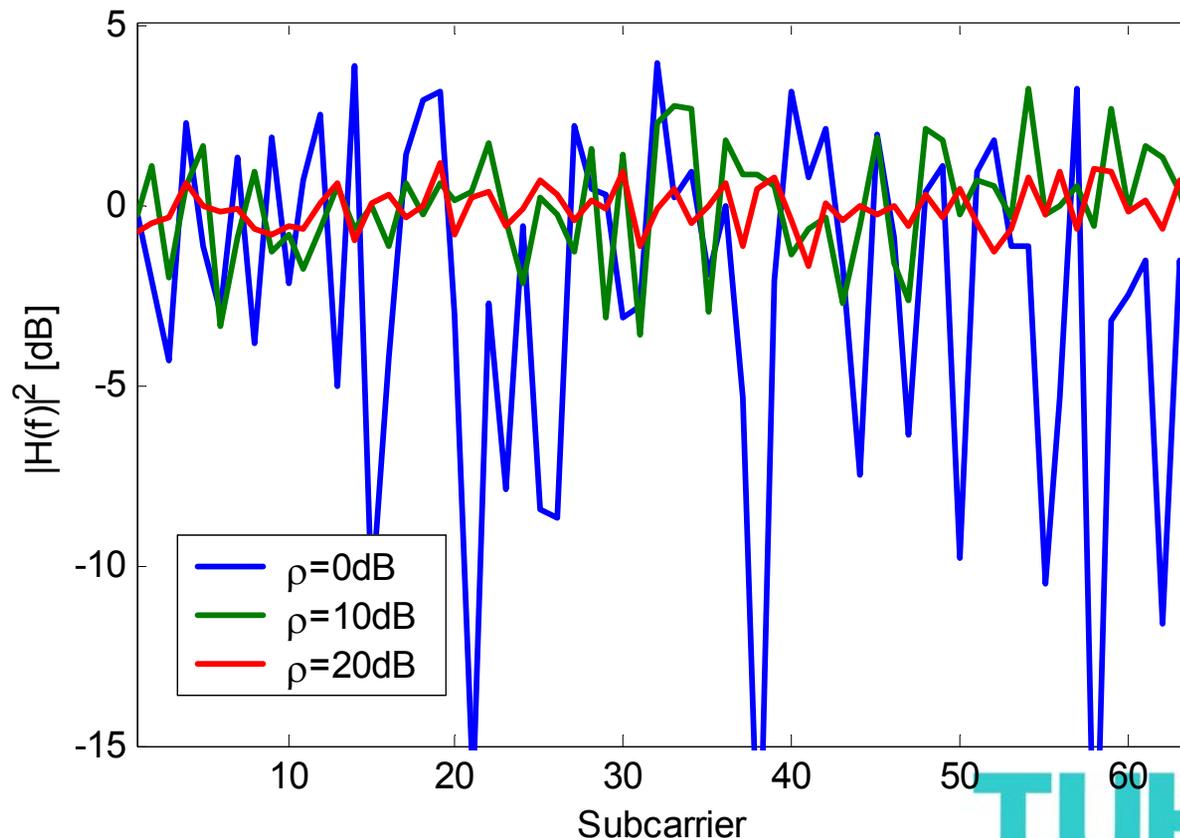
Gestrichelt:  
Selbstorg.

84 Subcarrier

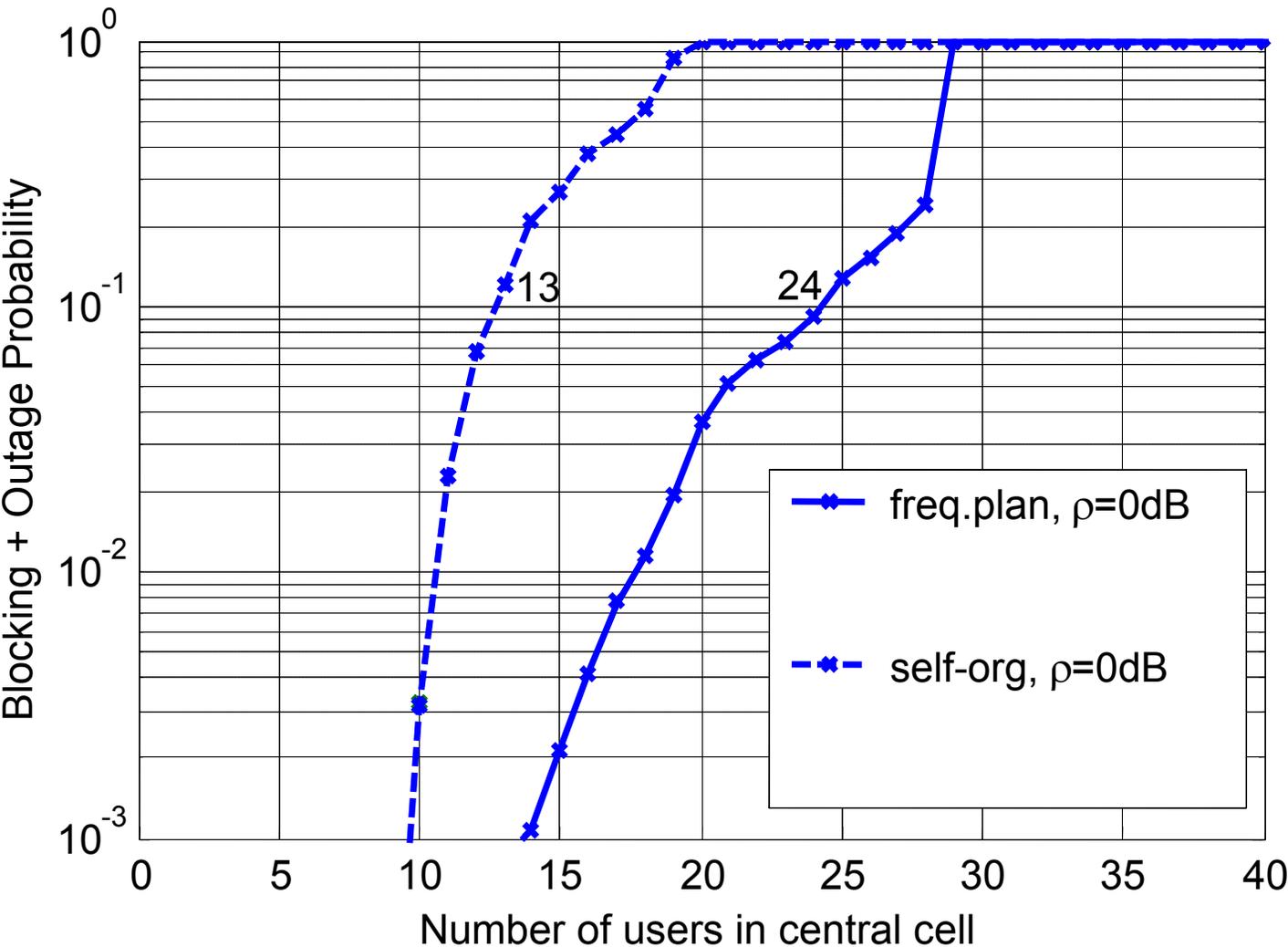
Frequenz-  
selektiver  
Kanal  $\rho=0$ dB,  
gleichverteilte  
MTs

# Wichtiger Faktor: Frequenzselektivität

- Path loss, Shadowing existiert; kein besonderer Einfluß
- Aber Frequenzselektivität
  - Rice-Faktor:  $\rho = \text{LOS} / \text{NLOS}$  Leistung



# Benutzerkapazität und Rice-Faktor

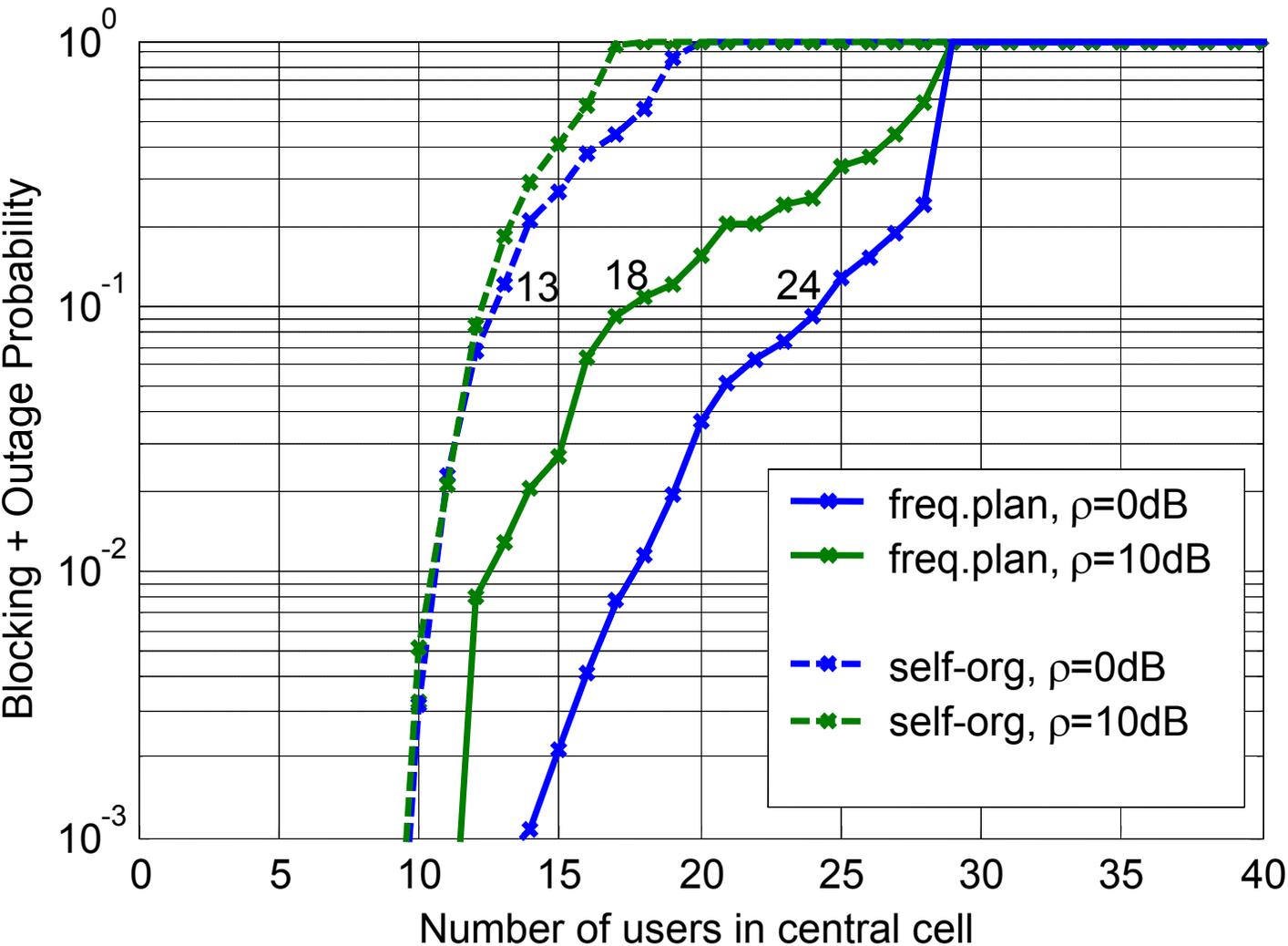


Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

Gleichverteilte  
MTs

# Benutzerkapazität und Rice-Faktor

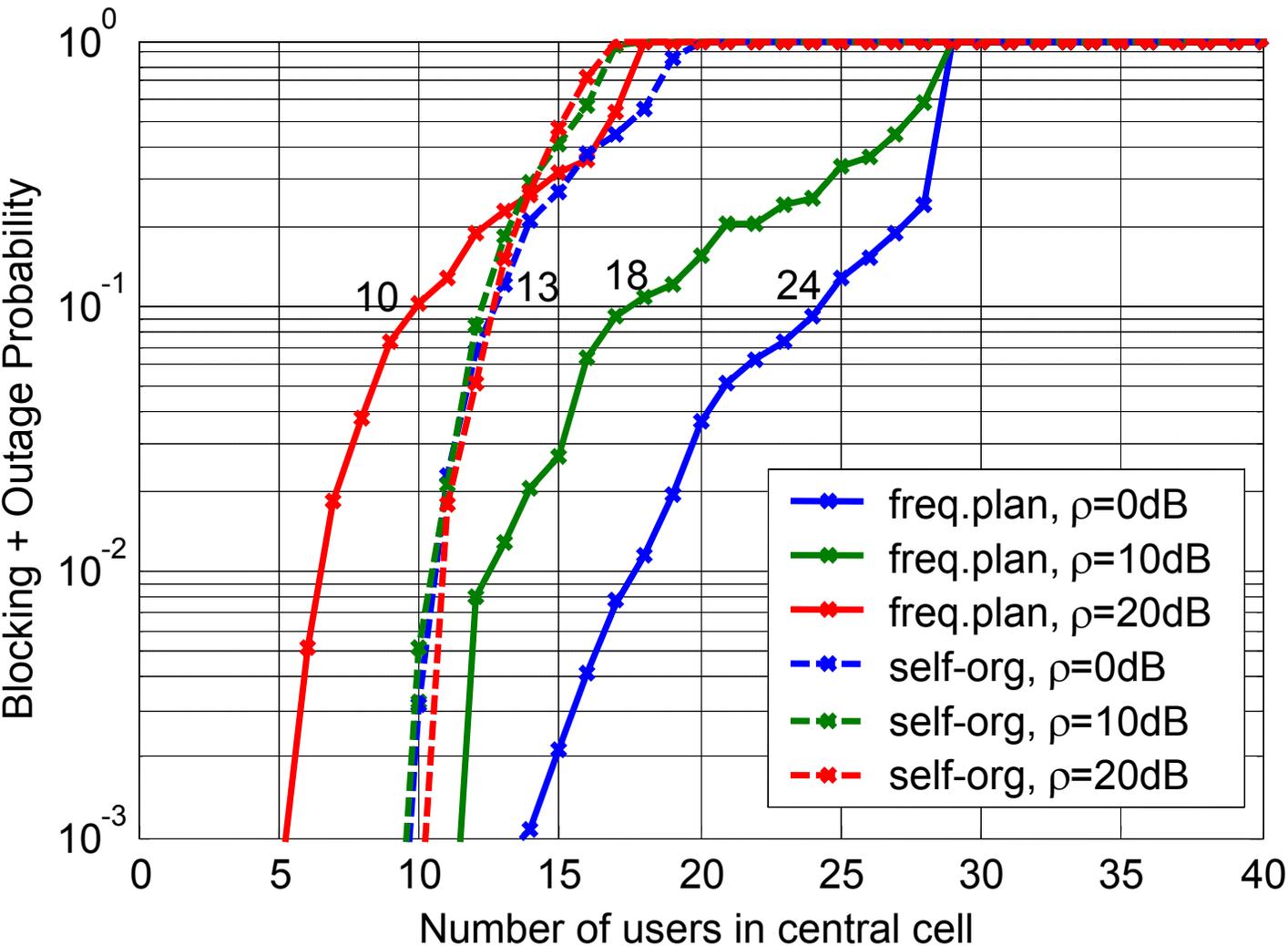


Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

Gleichverteilte  
MTs

# Benutzerkapazität und Rice-Faktor



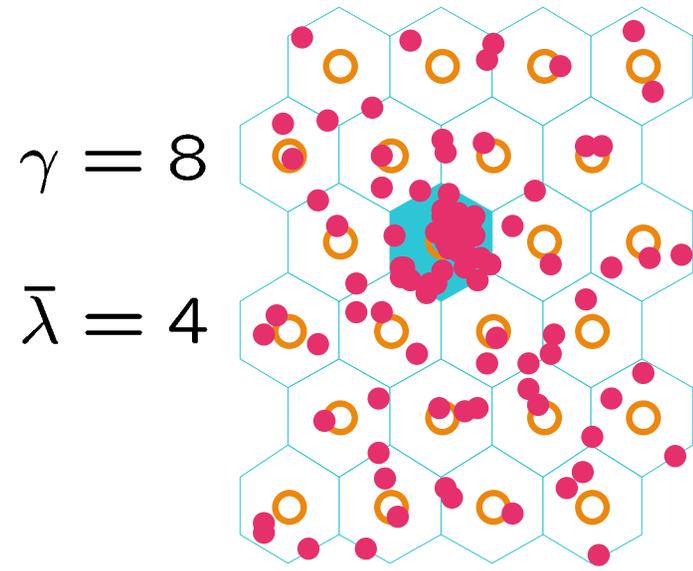
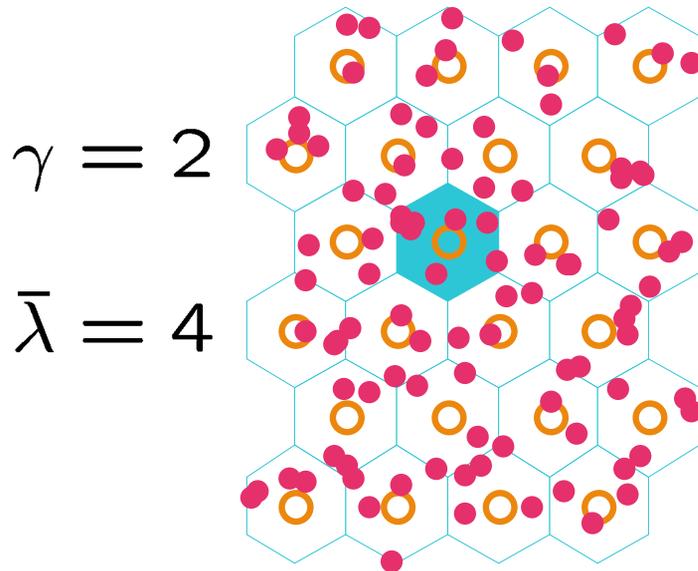
Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

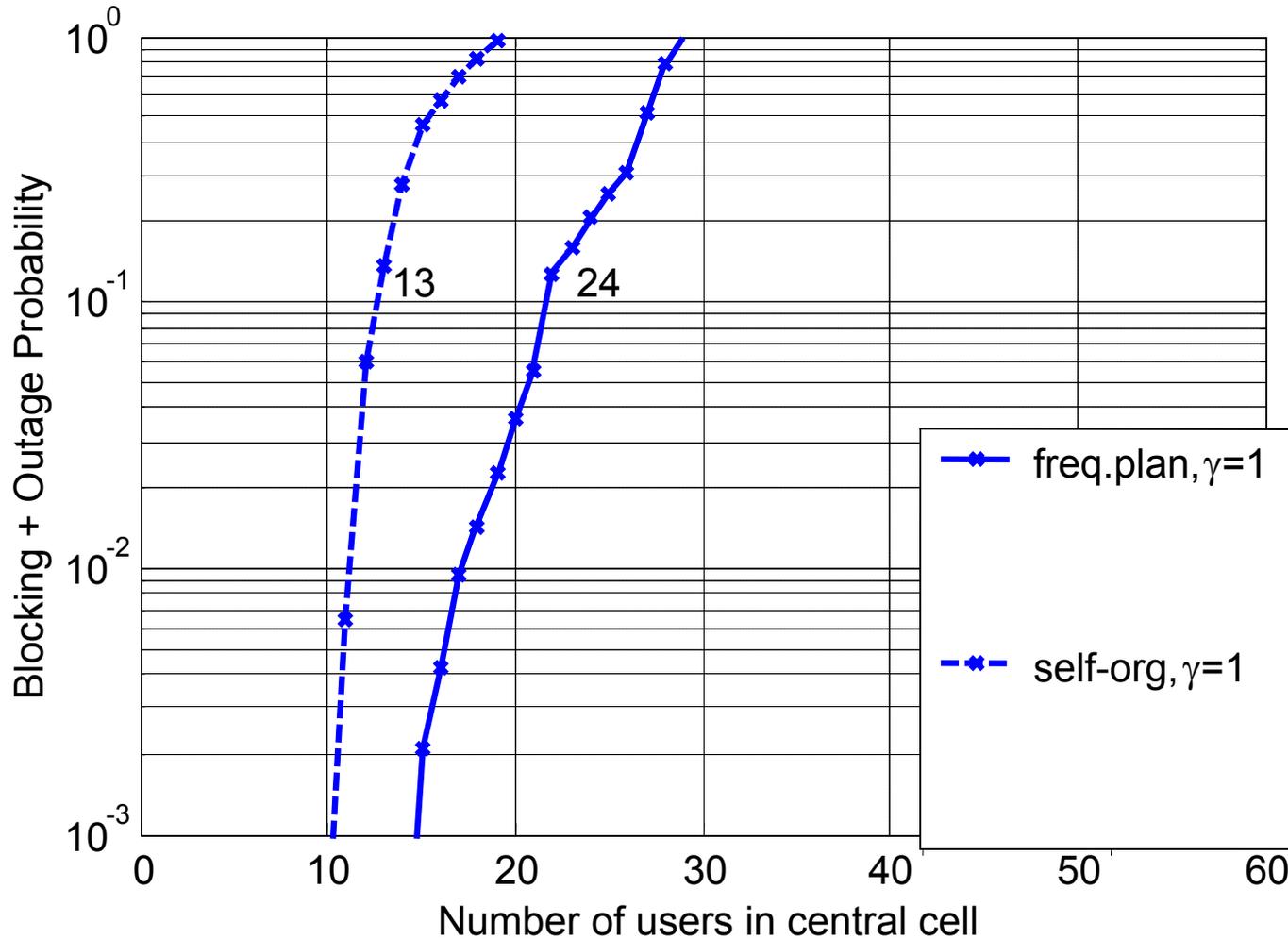
Gleichverteilte  
MTs

# Räumliche Nutzerverteilung: Uniform vs. Hotspot

- Quantifizierung von *Hot Spot* Situationen
- Definition: **Hotspot-Factor**  $\gamma = \lambda_c / \bar{\lambda}$
- $\lambda_c$  Zentrale Benutzerd.;  $\bar{\lambda}$  Durchschnittl. Benutzerdichte



# Ergebnis Benutzerkapazität



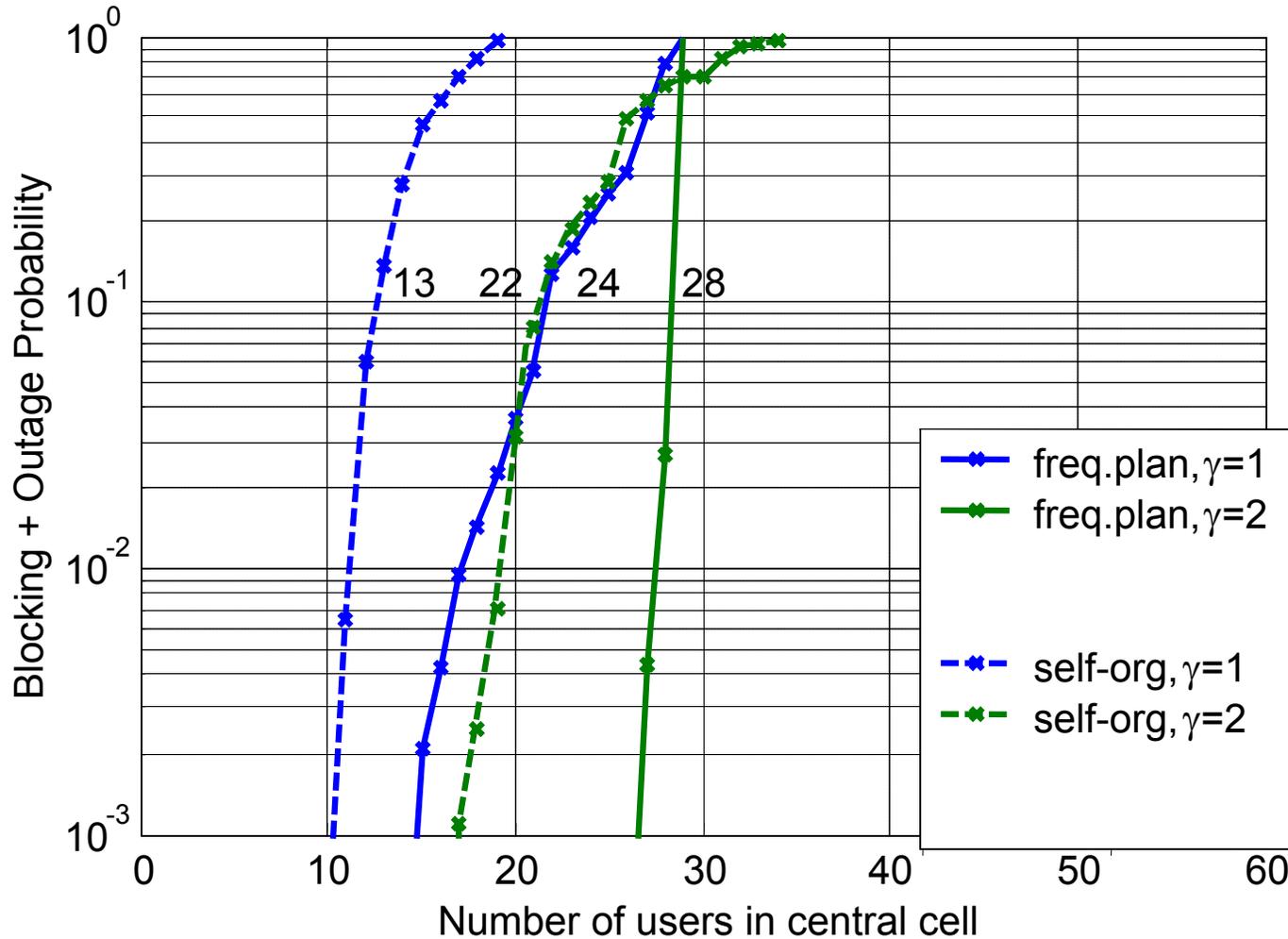
Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

84 Subcarrier

Frequenz-  
selektiver  
Kanal  $\rho=0\text{dB}$

# Ergebnis Benutzerkapazität



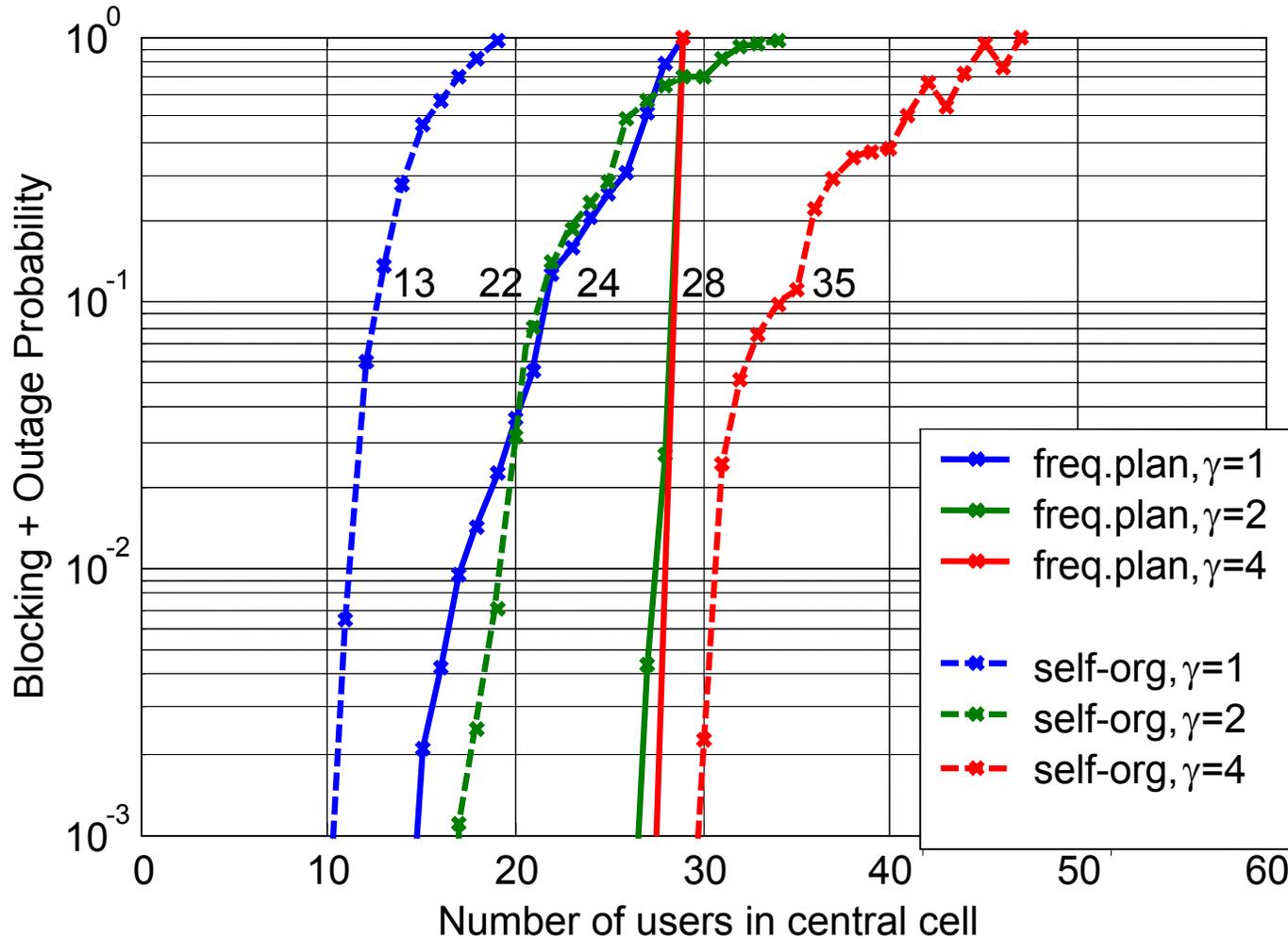
Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

84 Subcarrier

Frequenz-  
selektiver  
Kanal  $\rho=0\text{dB}$

# Ergebnis Benutzerkapazität



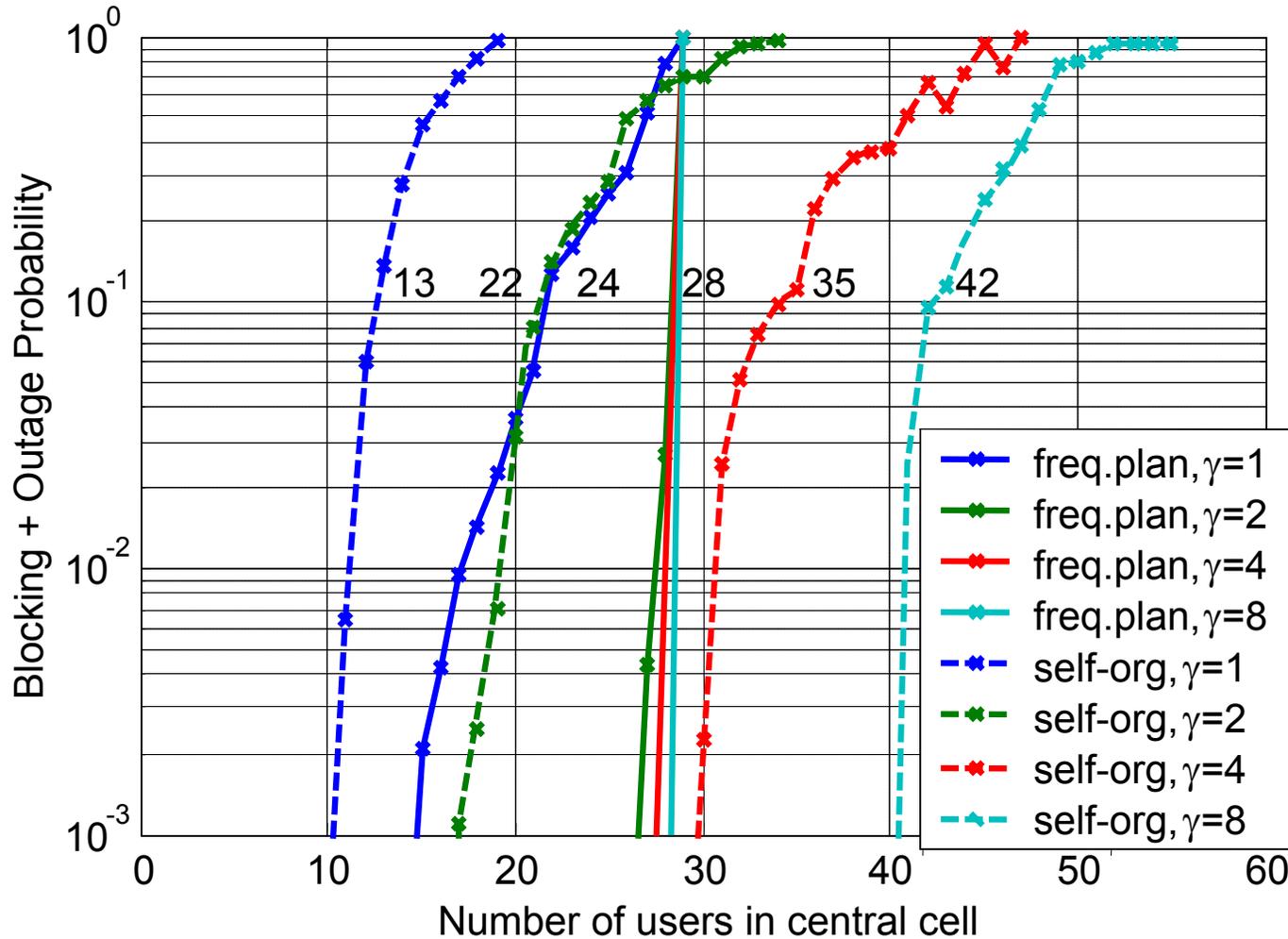
Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

84 Subcarrier

Frequenz-  
selektiver  
Kanal  $\rho=0\text{dB}$

# Ergebnis Benutzerkapazität



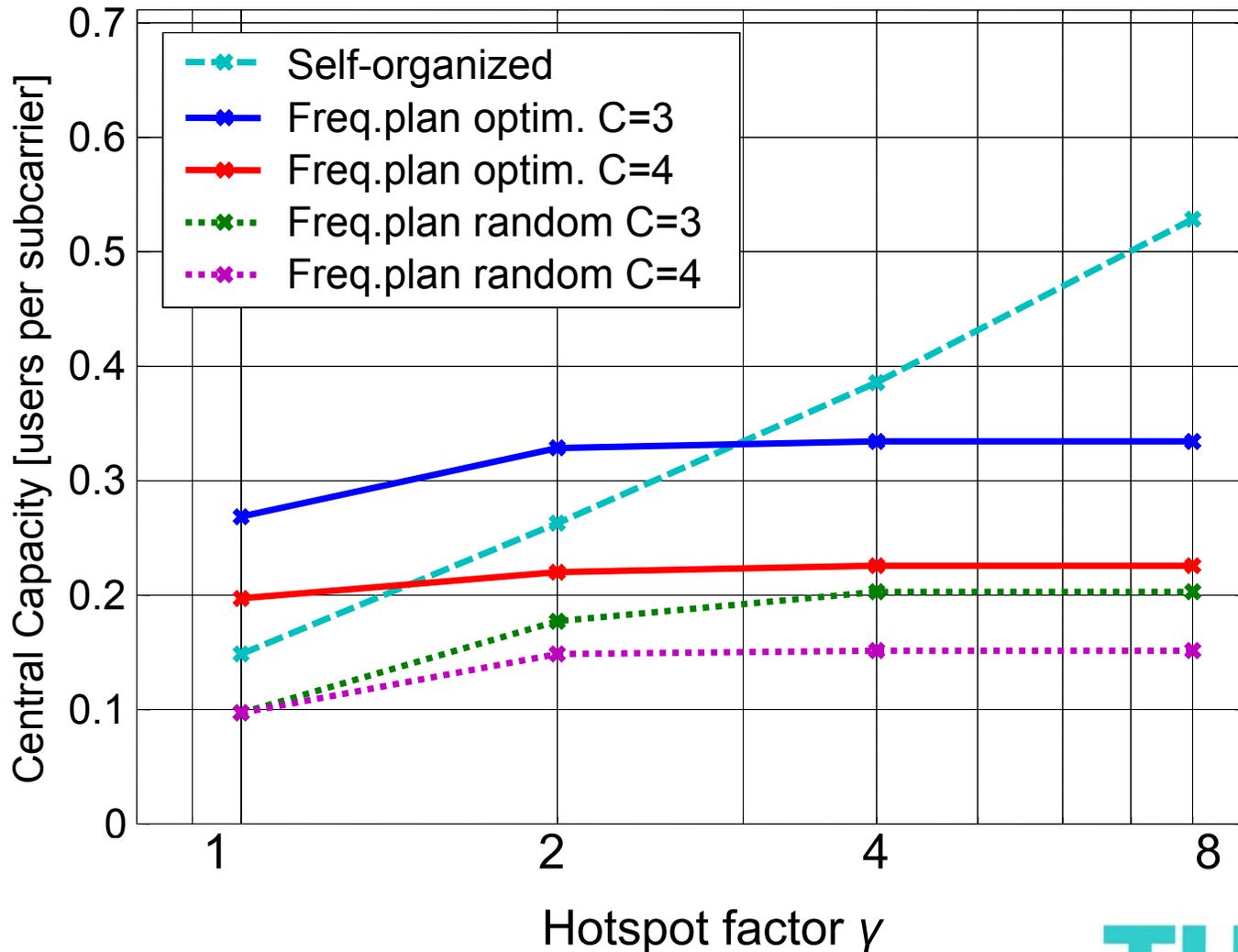
Durchgezogen:  
Frequenz-  
planung  $C=3$

Gestrichelt:  
Selbstorg.

84 Subcarrier

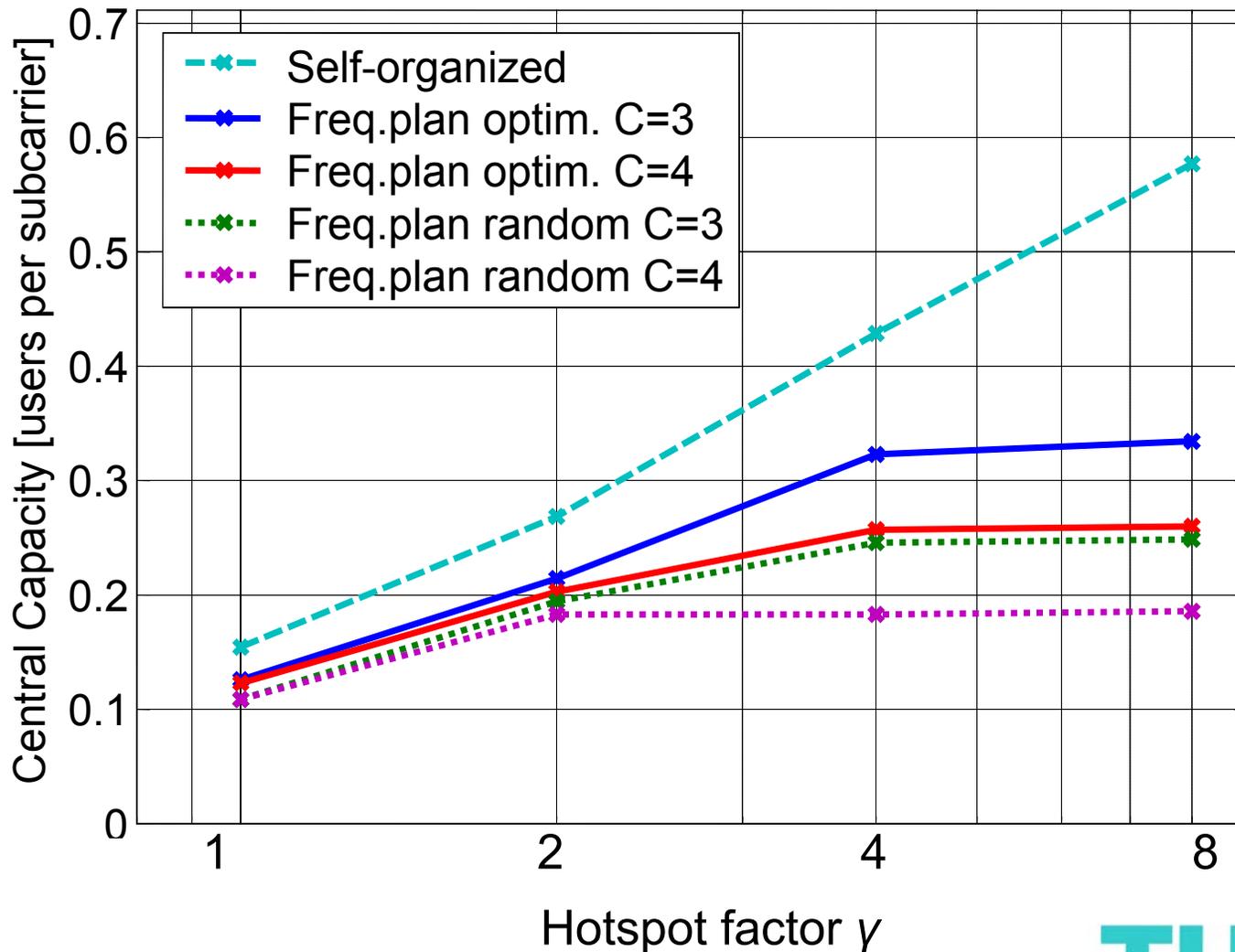
Frequenz-  
selektiver  
Kanal  $\rho=0\text{dB}$

# Kapazität für frequenzselektiven Kanal



Starke  
Frequenz-  
selektivität  
( $\rho=0\text{dB}$ )

# Kapazität für flat fading



Keine  
Frequenz-  
selektivität,  
flacher  
Kanal  
( $\rho=20\text{dB}$ )

# Zusammenfassung

- Dezentrales Netz mit Selbstorganisierender Ressourcenvergabe erreicht hohe Kapazität
- Flexibilität bei verschiedenen Nutzerverteilungen
- Kapazität:

	Frequenzplanung, optimale Zuteilung	Selbstorganisierende Vergabe
Gleichverteilte MTs, Frequenzselektivität	++	+
Gleichverteilte MTs, flat fading	+	+
Hotspot	-	++