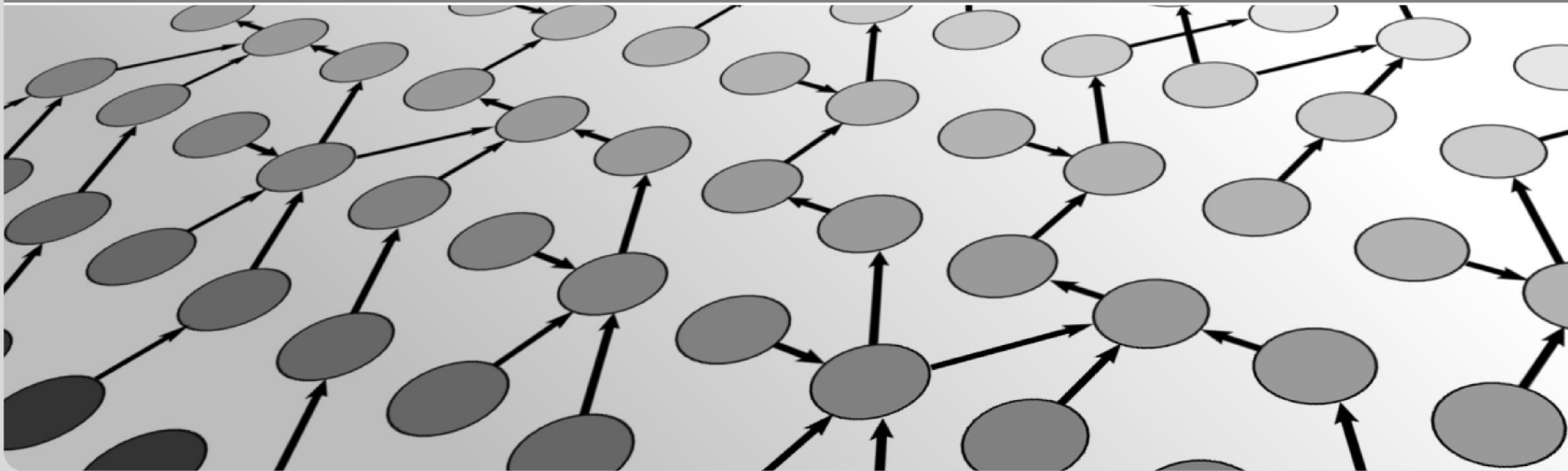


Energieeffiziente Concast-Kommunikation in drahtlosen Sensornetzen (DSN)

Vorstellung der Dissertation
Joachim Wilke

Institut für Telematik, Lehrstuhl Prof. Zitterbart



Energiebedarf der Kommunikation in DSN

Effizienter Umgang mit Energieressourcen in Sensornetzen zentrale Herausforderung!

Annahme: Einfache Sensornetzanwendung überträgt S Byte Nutzdaten

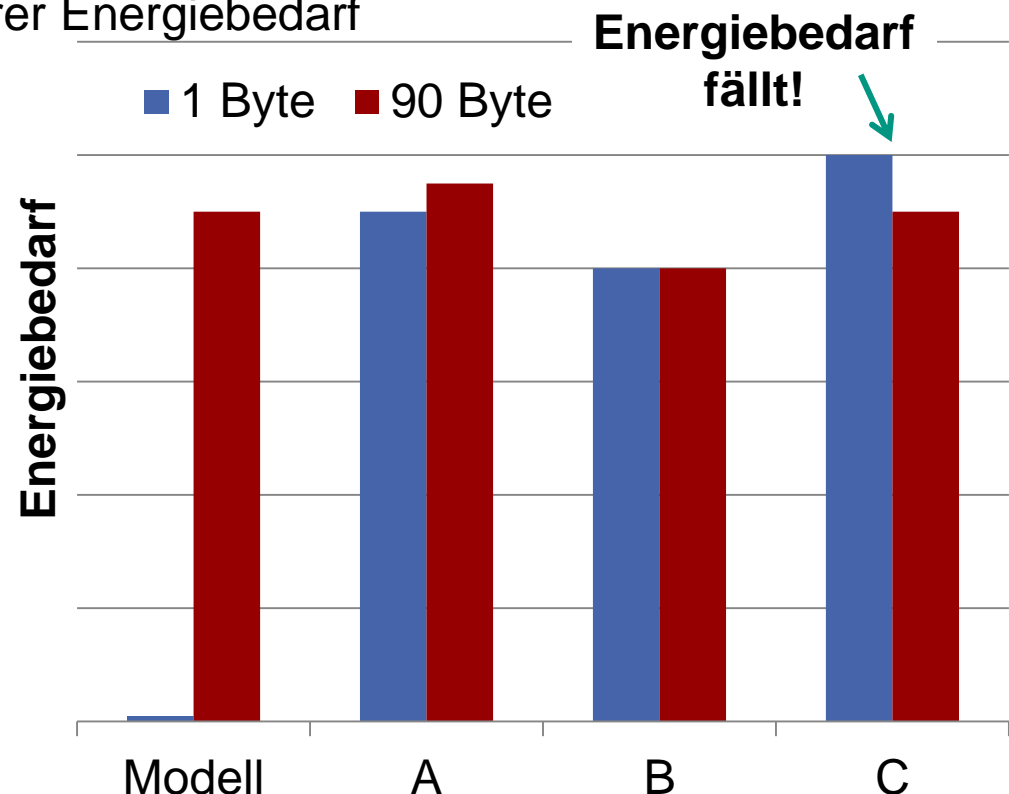
- Intuitiv: Mehr Daten → höherer Energiebedarf
- Gängiges Energiemodell: 1 Energieeinheit pro Byte

Überprüfung durch **Messung!**

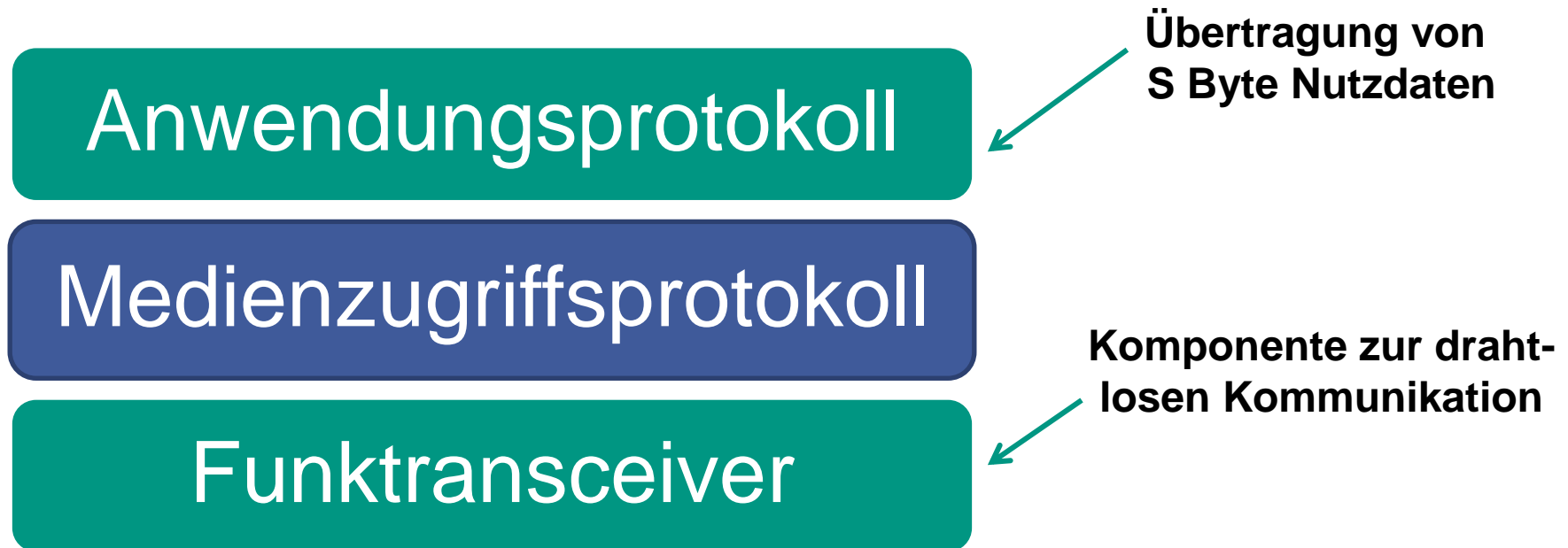
- 3 Testanwendungen A, B und C

Ergebnisse

- Energiebedarf steigt, fällt bzw. bleibt unverändert
- Weicht (auch qualitativ) vom Energiemodell ab



Worin unterscheiden sich die Anwendungen?



- Außerdem: Gleiches Betriebssystem (TinyOS)
- Unterschied liegt im Medienzugriffsprotokoll (MAC-Protokoll)
 - Das Medienzugriffsprotokoll wird im zuvor betrachteten Energiemodell nicht berücksichtigt!

Beiträge und Ergebnisse der Dissertation

Sind gängige Energiemodelle zu **abstrakt**?

- Energiemodelle zur Verwendung in Simulatoren und theoretischen Analysen notwendig!
- Beitrag: **Überprüfung** gängiger Energiemodelle durch **Messungen** in einem realen Sensornetz
- Ergebnis: **Identifikation** des Medienzugriffprotokolls als relevanter Einflussfaktor auf den Energiebedarf einer Sensornetzanwendung

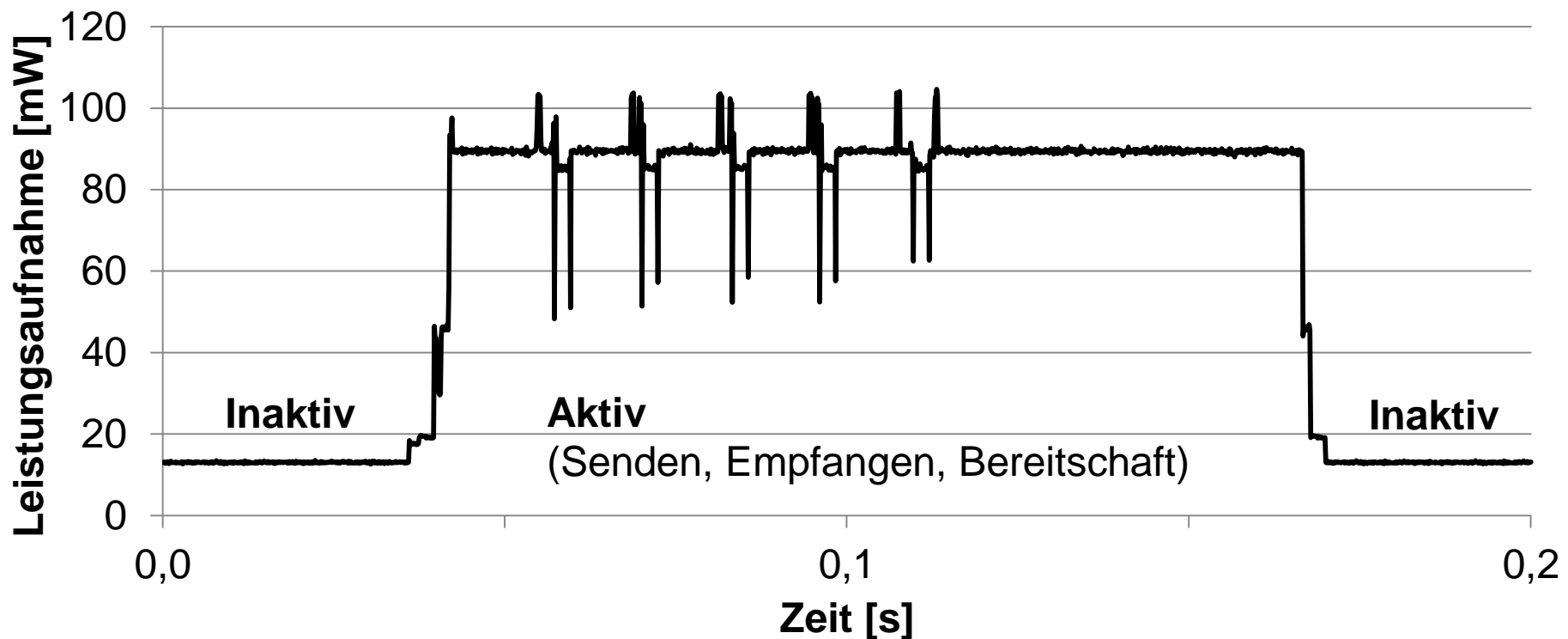
Welche Auswirkungen hat die Berücksichtigung von Medienzugriffsprotokollen auf den Entwurf energieeffizienter Kommunikationsprotokolle?

- Viele energieeffiziente Protokolle wurden mit vergleichsweise abstrakten Energiemodellen evaluiert
- Beitrag: Überprüfung von energieeffizienten Protokollen zur Concast-Kommunikation
- Ergebnis: Messungen und simulative Untersuchung zeigt auf, dass Medienzugriffsprotokoll entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz des Kommunikationsprotokolls hat

Medienzugriffsprotokolle für DSN

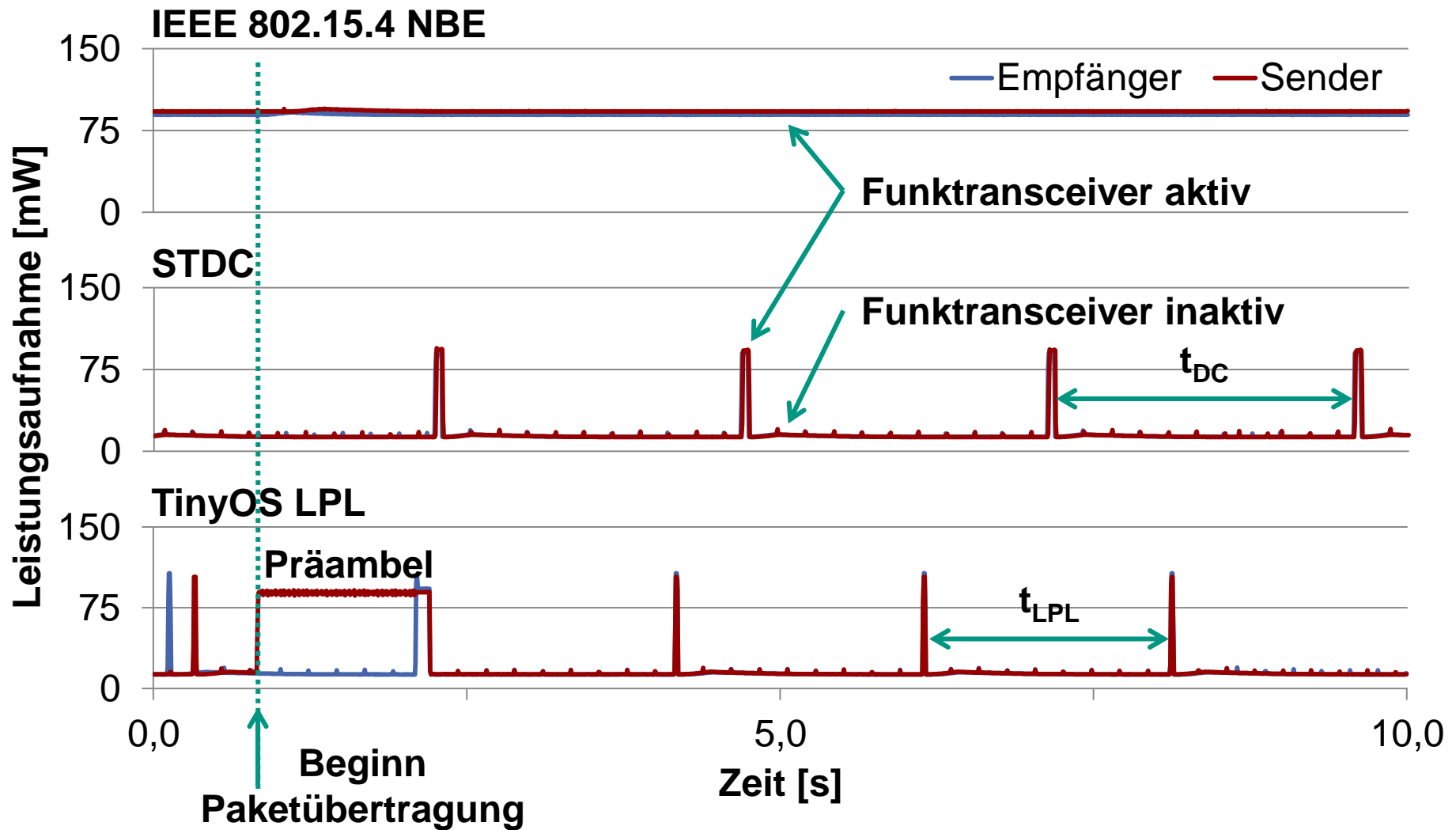
Vergleichbar mit klassischer drahtloser Kommunikation

- Aber: **Duty-Cycling (DC)** des Funktransceivers oft zusätzliche Aufgabe
- Duty-Cycling = Funktransceiver nicht dauerhaft aktiviert lassen

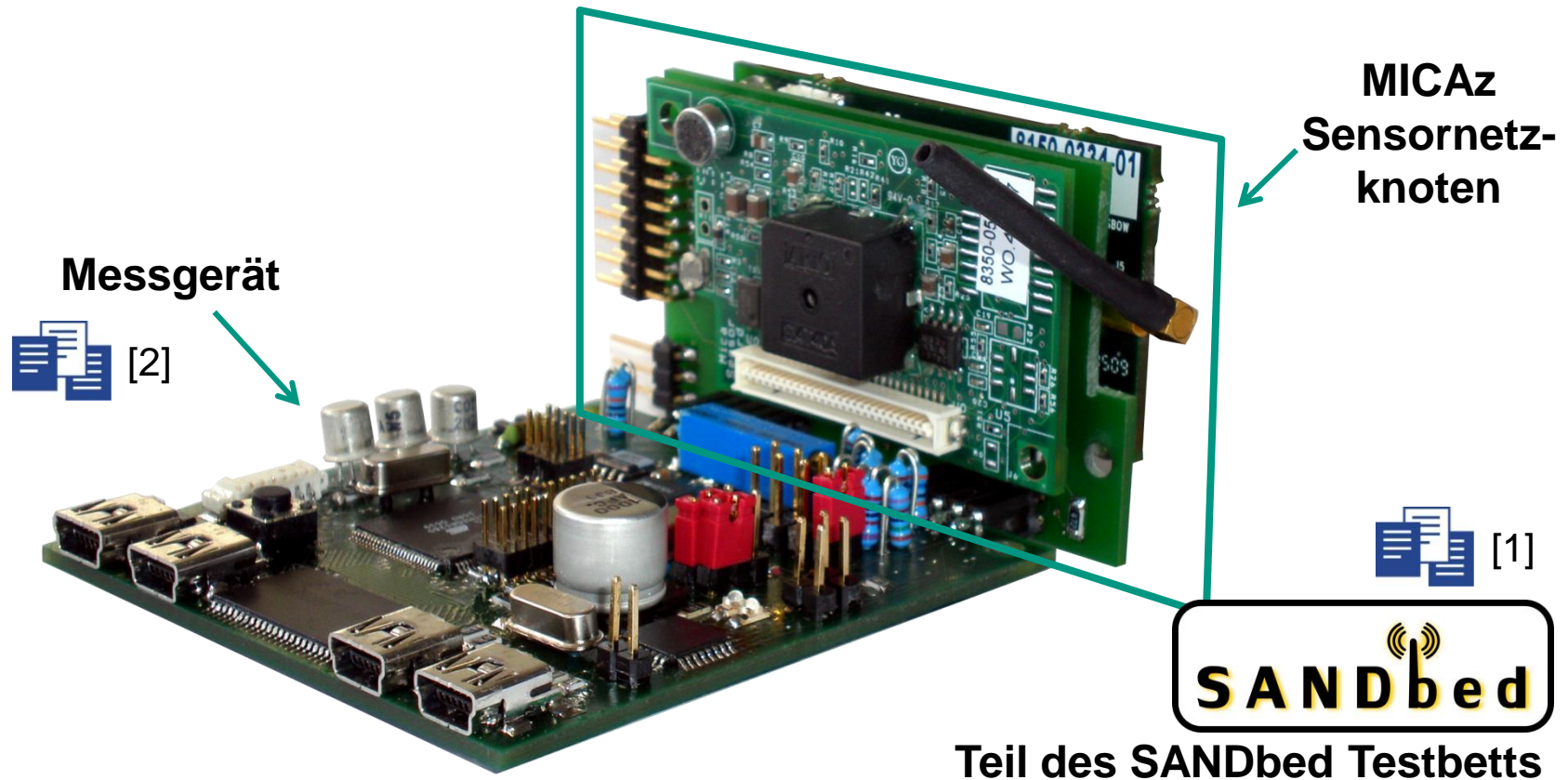


- Duty-Cycle = In aktiven Zuständen verbrachter Zeitanteil

Vergleich DC-MAC-Protokolle



Messung des Energiebedarfs in DSN



- [1] A. Hergenröder, J. Horneber und **J. Wilke**. SANDbed: A WSN Testbed for Network Management and Energy Monitoring. In Proc. of KuVS FG DSN 2008, S. 71–73, Hamburg.
- [2] A. Hergenröder, **J. Wilke** und D. Meier. Distributed Energy Measurements in WSN Testbeds with a SNMD. In Proceedings of ARCS 2010, S. 341–438, Hannover.

Simulative Bestimmung des Energiebedarfs

Testbett **skaliert** nur eingeschränkt

- Experimente laufen in **Echtzeit**
- Hohe **Datenmengen** steigen linear mit Netzgröße

→ Netze mit mehr als 6 Sensornetzknoten **simulativ** untersucht

AVRORA+ Sensornetzsimulator

- **Emuliert** den Microcontroller des Sensornetzknotens
- Verbesserte Version des Avrora Simulators
- Liefert in den untersuchten Szenarien mit dem Testbett **vergleichbare Ergebnisse** hinsichtlich des Energiebedarf



[3] C. Haas, V. Stöhr und **J. Wilke**. **Realistic Simulation of Energy Consumption in Wireless Sensor Networks**. In Proceedings of EWSN 2012, S. 82–97, Trento, Italien.

Experiment

Parameter

- Zahl der Datenpakete N
- Größe der Nutzdaten S
- Sendezeitpunkte

Medienzugriff

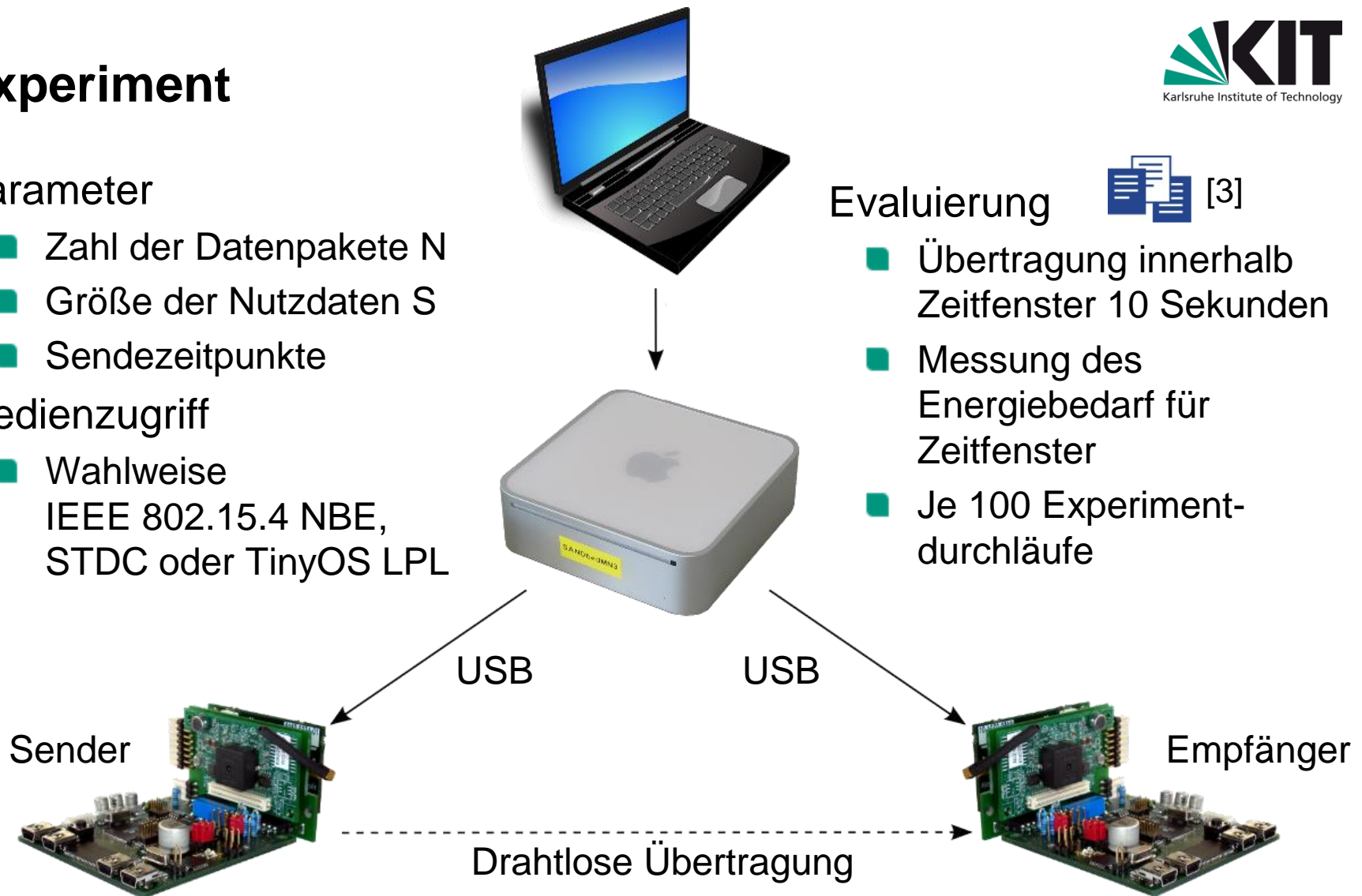
- Wahlweise IEEE 802.15.4 NBE, STDC oder TinyOS LPL

Evaluierung



[3]

- Übertragung innerhalb Zeitfenster 10 Sekunden
- Messung des Energiebedarf für Zeitfenster
- Je 100 Experimentdurchläufe

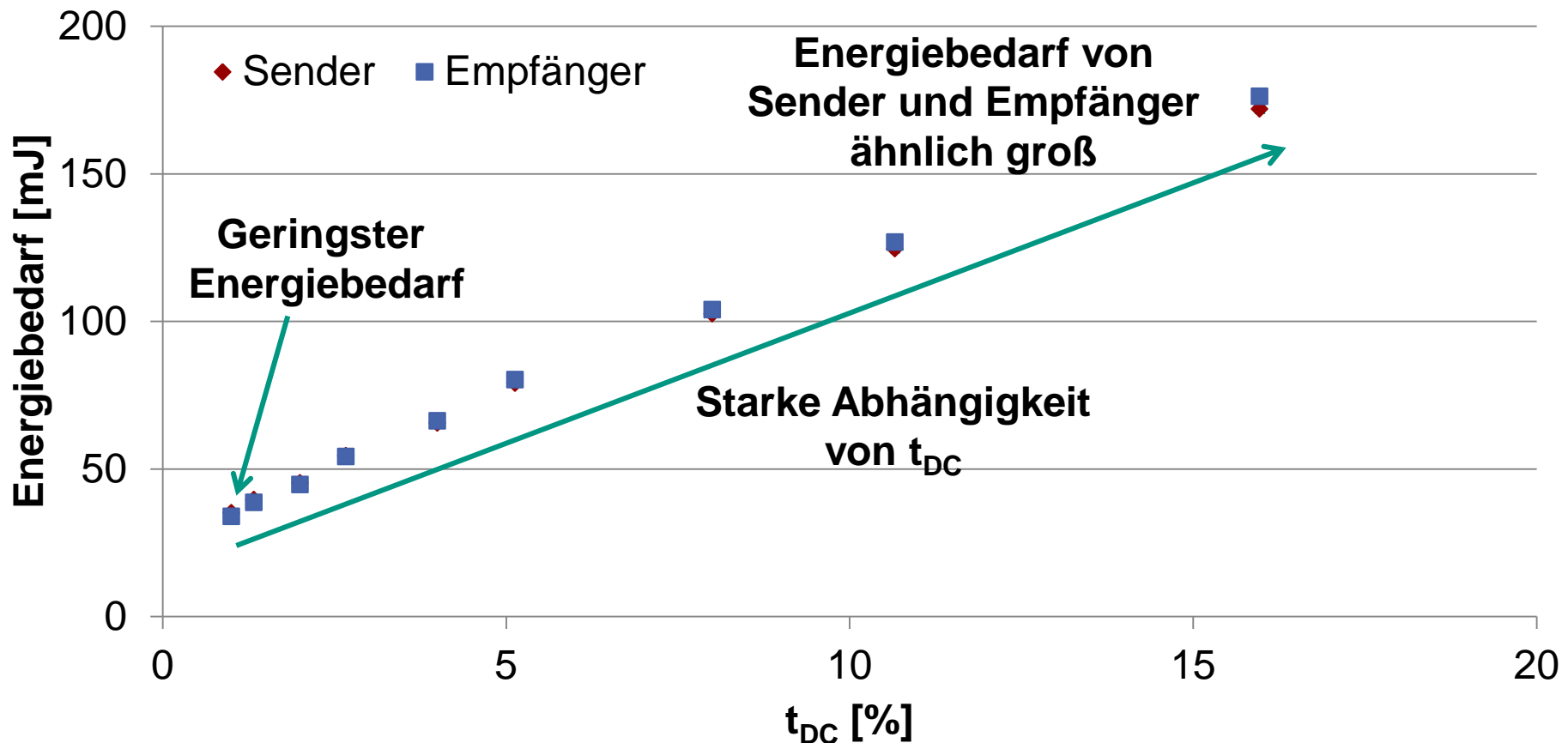


[3] C. Haas und J. Wilke. **Energy Evaluations in Wireless Sensor Networks – A Reality Check.** In Proceedings of MSWiM 2011, S. 27–30, Miami Beach, Florida, USA

Einfluss des Duty-Cycles bei STDC

Szenario: N=1 Paket, S=1 Byte

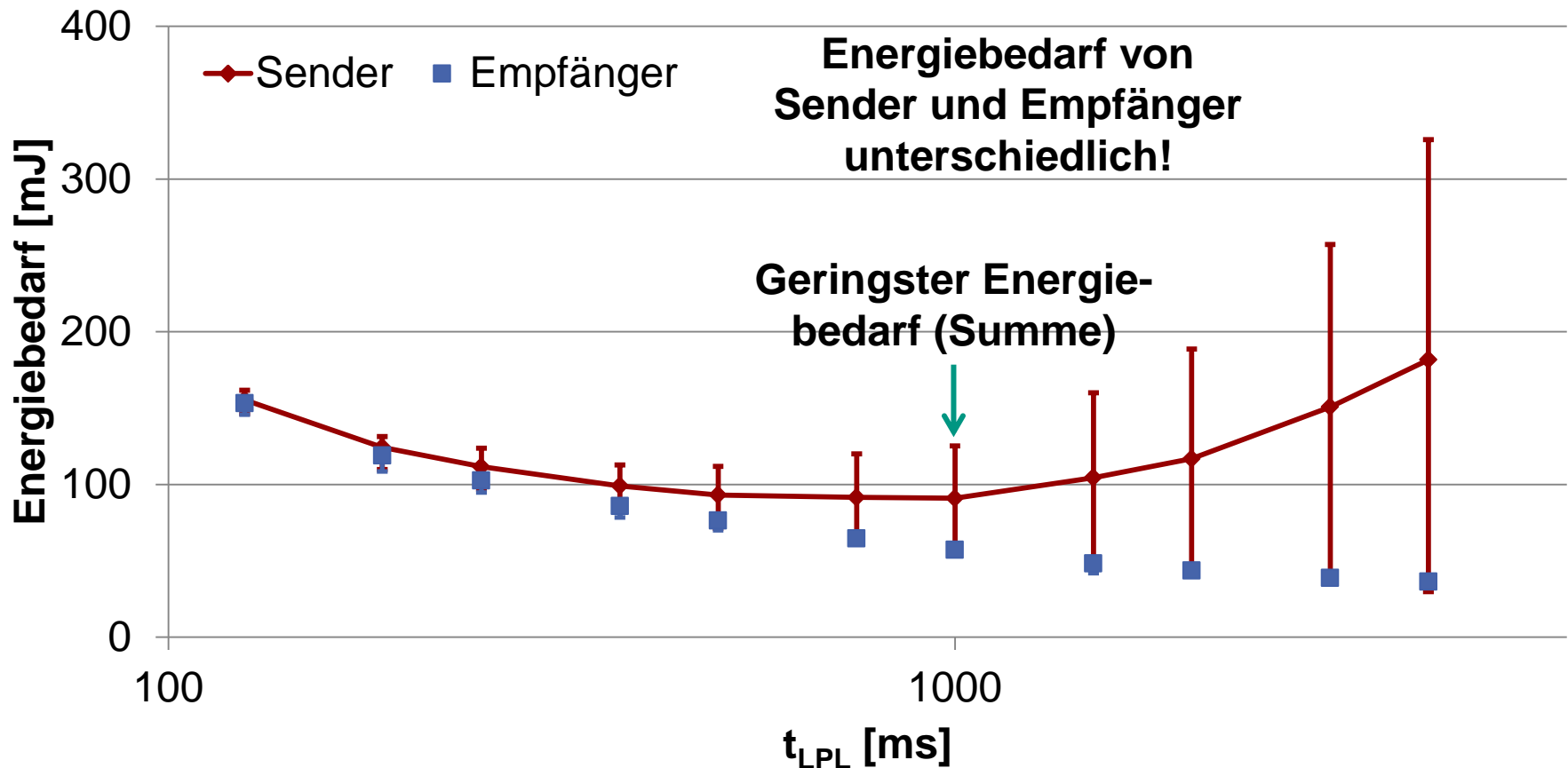
Metrik: Energiebedarf für die Übertragung inkl. 10 Sekunden Betrieb



Einfluss des Duty-Cycles bei LPL

Szenario: N=1 Paket, S=1 Byte

Metrik: Energiebedarf für die Übertragung inkl. 10 Sekunden Betrieb



Überprüfung von Energiemodellen

Verbreitete Energiemodelle (Auszug)

- Energiebedarf aus **Datenvolumen** ableiten
„1 Energieeinheit pro übertragenem Byte“
- Energiebedarf aus **Zahl der Pakete** ableiten
„1 Energieeinheit pro übertragenem Pakete“
- **Kombinationen** hieraus
„10 Energieeinheiten pro Paket + 1 Einheit pro Byte“

Abhängig auf welcher Schicht die Kommunikation erfasst wird

- Oft wird nur das **isolierte** Protokoll evaluiert

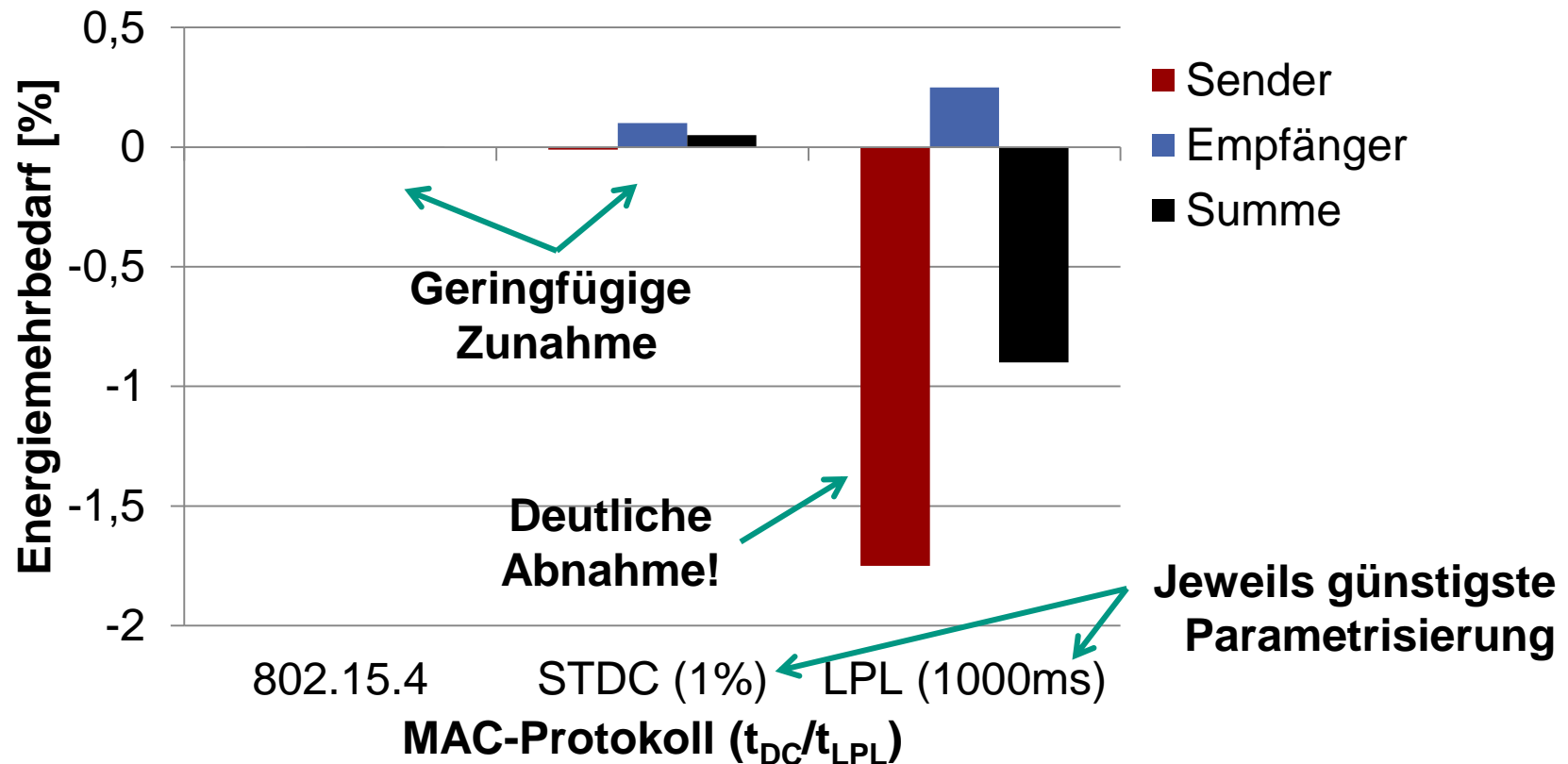
Überprüfung durch Veränderung des Verkehrsmusters im Experiment

- Veränderung der **Nutzdatengröße S**
- Veränderung der **Zahl der Pakete N**
- Veränderung der **Sendezeitpunkte**

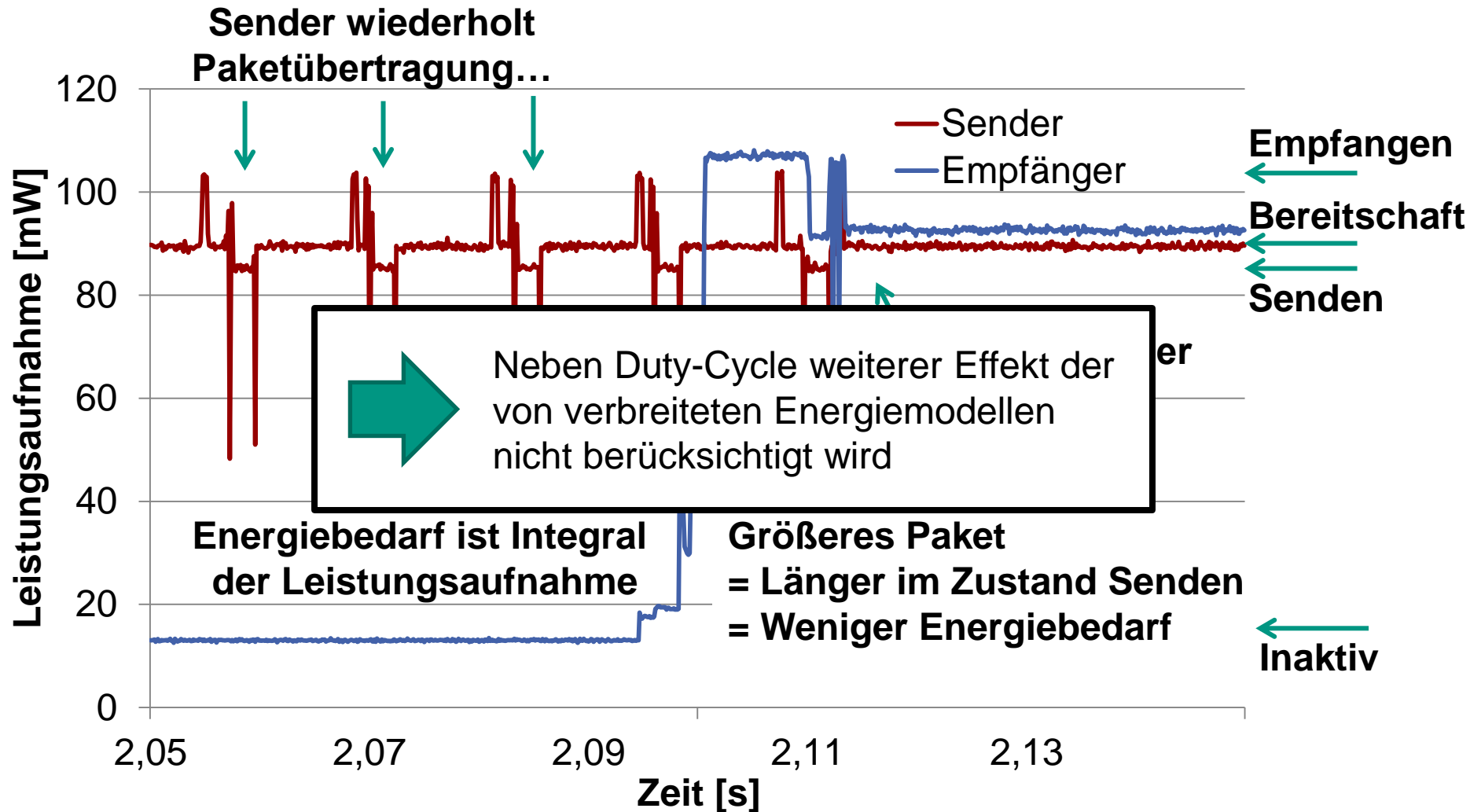
Einfluss der Nutzdatengröße S

Szenario: N=1 Paket

Metrik: **Energiemehrbedarf** für die Übertragung S=90 Byte vs. S=1 Byte.



TinyOS LPL – Detail der Übertragung (S=1)



Beiträge und Ergebnisse der Dissertation

Sind bisherige Energiemodelle zu abstrakt?

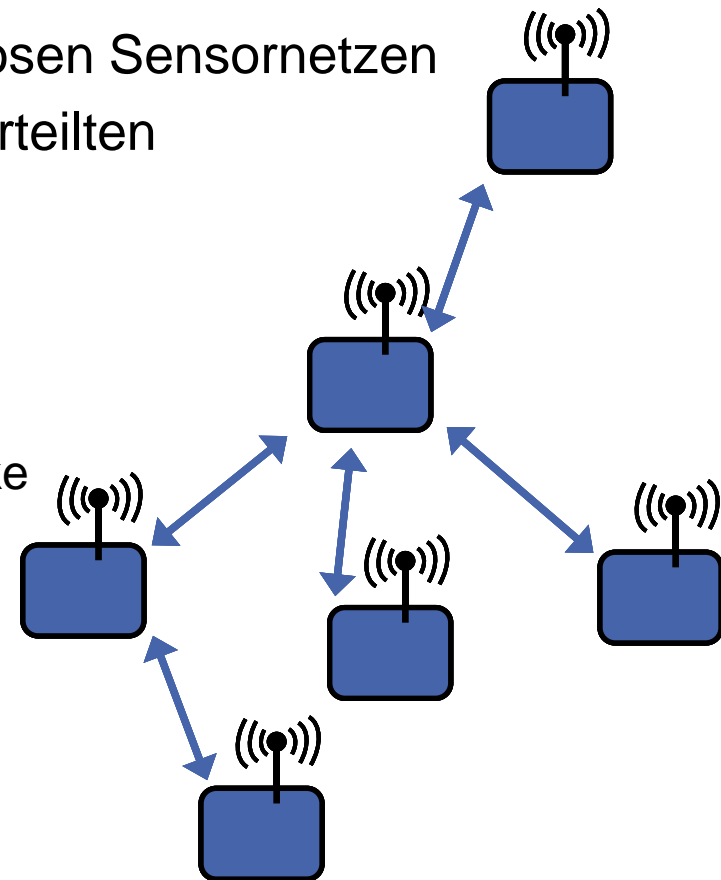
- Energiemodelle zur Verwendung in Simulatoren und theoretischen Analysen notwendig!
- Beitrag: Überprüfung gängiger Energiemodelle durch Messungen in einem realen Sensornetz
- Ergebnis: Identifikation des Medienzugriffprotokolls als relevanter Einflussfaktor auf den Energiebedarf einer Sensornetzanwendung

Welche Auswirkungen hat die Berücksichtigung von Medienzugriffsprotokollen auf den Entwurf **energieeffizienter Kommunikationsprotokolle**?

- Viele energieeffiziente Protokolle wurden mit vergleichsweise abstrakten Energiemodellen evaluiert
- Beitrag: Überprüfung von energieeffizienten Protokollen am Beispiel **Concast-Kommunikation**
- Ergebnis: **Messungen** und **simulative** Untersuchung zeigt auf, dass Medienzugriffsprotokoll entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz des Kommunikationsprotokolls hat

Concast-Kommunikation

- Verbreitete Kommunikationsform in drahtlosen Sensornetzen
- Notwendig in fast jeder Anwendung zur verteilten Erfassung und zentralen Auswertung von Umweltparametern
- (Periodischer) Transport der Sensormessdaten notwendig
 - Concast = N Datenquellen \rightarrow 1 Datensenke



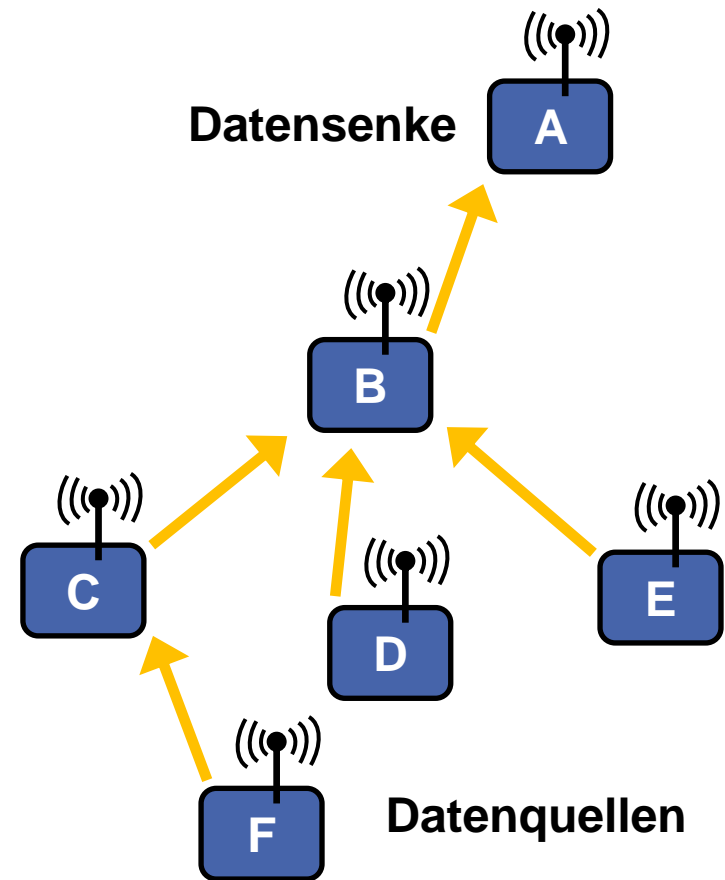
Herausforderungen

Probleme

- Hohe Laufzeit für langfristig Überwachung notwendig
- Geringe Kommunikationsreichweite → Multi-Hop-Kommunikation
- Knoten nahe der Senke haben **höheren Kommunikationsaufwand**
- **Ungleiche Belastung** der Energieressourcen der Sensornetzknoten

Lösungsvorschläge

- **Platzierung** der Sensornetzknoten
- Optimierung der **Routing-Topologie**
- **Daten- oder Paketaggregation**



← **Verbindung in Routing-Topologie**

Aggregationsstrategien

Ohne Aggregation

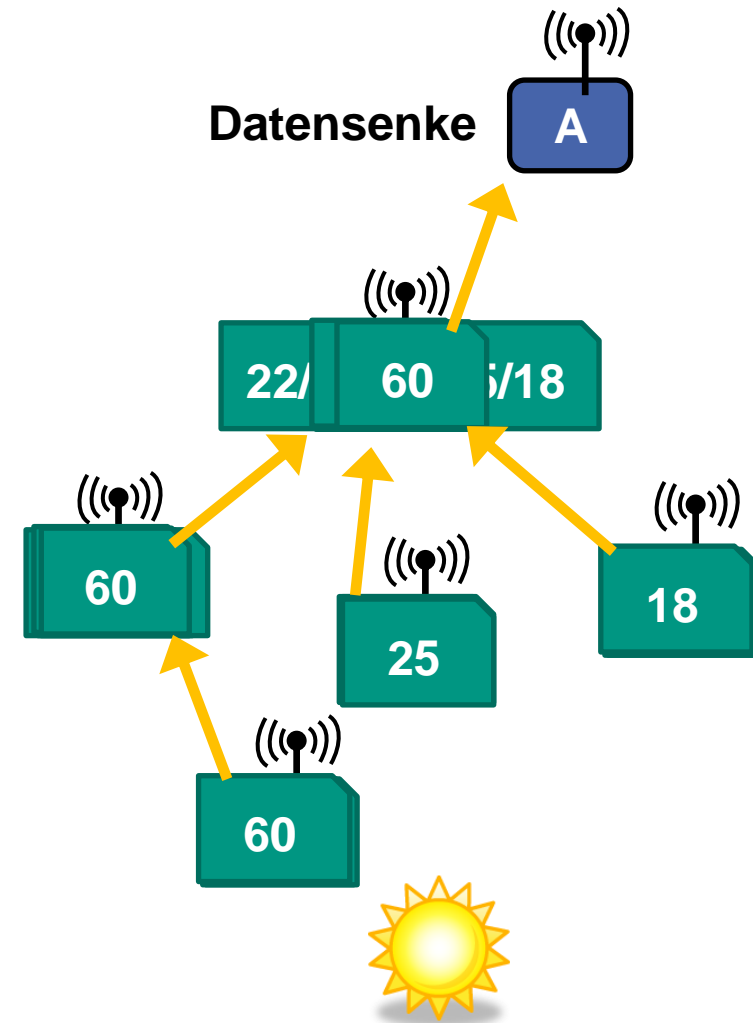
- Knoten B muss alle Sensormessdaten weiterleiten
- Hohes Paketaufkommen und hohes Datenvolumen

Paketaggregation

- Knoten B muss nur ein Paket versenden
- Geringes Paketaufkommen aber hohes Datenvolumen

Datenaggregation (Beispiel: Maximum)

- Knoten B muss nur ein kleines Paket versenden
- Geringes Paketaufkommen und geringes Datenvolumen



Evaluierung der Energieeffizienz [4]

Ablauf

- 25 Knoten platzieren, einschalten und Routing-Topologie etablieren
- Periodisch, alle T_P Sekunden Sensormessdaten (8 Byte) generieren und concasten

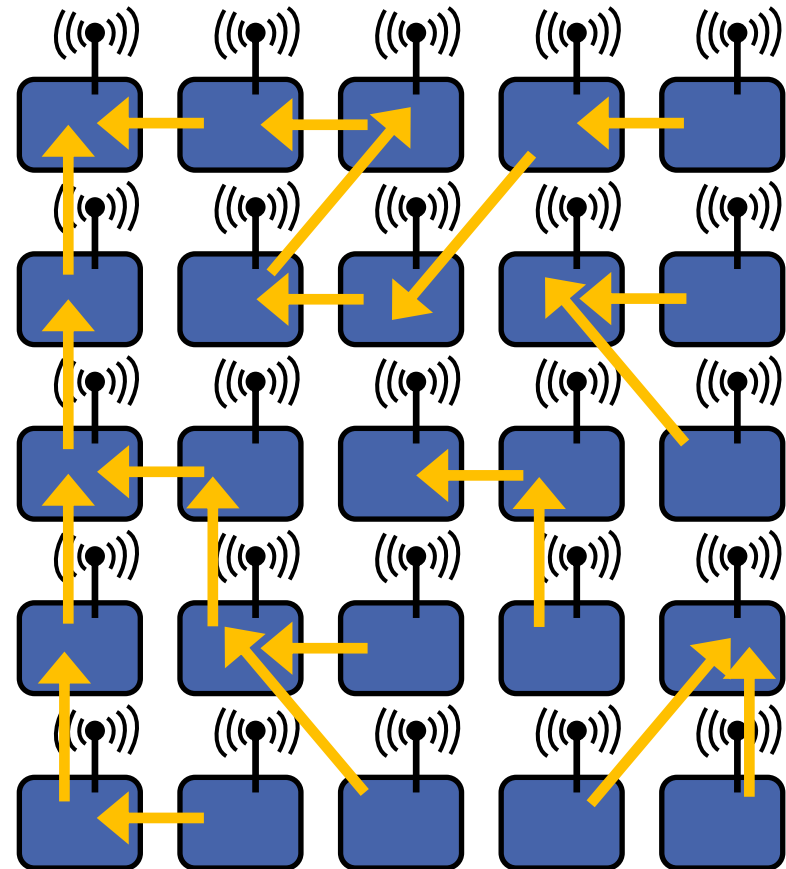
Evaluierung

- Jedem Knoten stehen **50 Joule Energie** zur Verfügung
- 100 Experimentdurchläufe mit Avrora+

Metrik

- Anzahl der **Sensormessdaten die an der Senke ankommen** (MRS)

Datensenke



[4] J. Wilke und C. Haas. **Energy-Efficiency of Concast Communication in Wireless Sensor Networks**. In Proceedings of WONS 2013, S. 34–38, Banff, Alberta, Kanada.

Erwartungshaltung

Im Folgenden betrachtet

- Knoten im Gitter platziert
- Routing-Topologie durch Fluten erzeugt („Directed Diffusion“)

Beobachtung aus Simulationsdaten

- Im Durchschnitt werden auf jedem Sensornetzknoten pro Periode durch Aggregation 1,65 Sensormessdaten zusammengefasst

Schlussfolgerungen

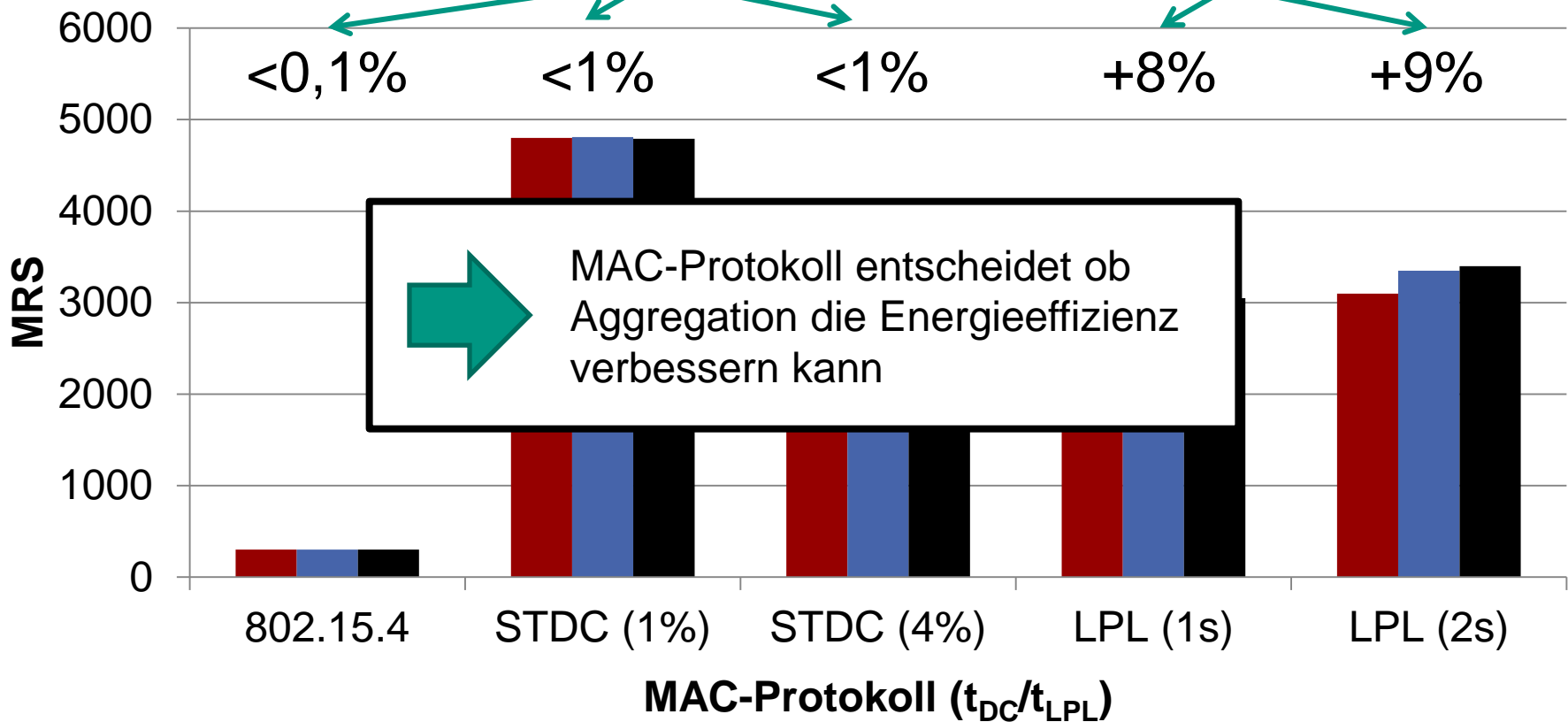
- Bei Daten- und Paketaggregation:
Reduktion des **Paketaufkommens** um ca. 40%
- Nur bei Datenaggregation:
Zusätzlich Reduktion des **Datenvolumens** um ca. 40%
- Gemäß vorheriger Energiemodelle:
Abnahme des **Energiebedarfs** um bis zu 40%
- Hinsichtlich der hier betrachteten Metrik:
Signifikante Erhöhung der MRS

Resultat (Gitter, Fluten, $T_p=60s$)

■ Ohne Aggregation
 ■ Paketaggregation
 ■ Datenaggregation

Kein signifikanter Einfluss

Egal ob Paket- oder Datenaggregation



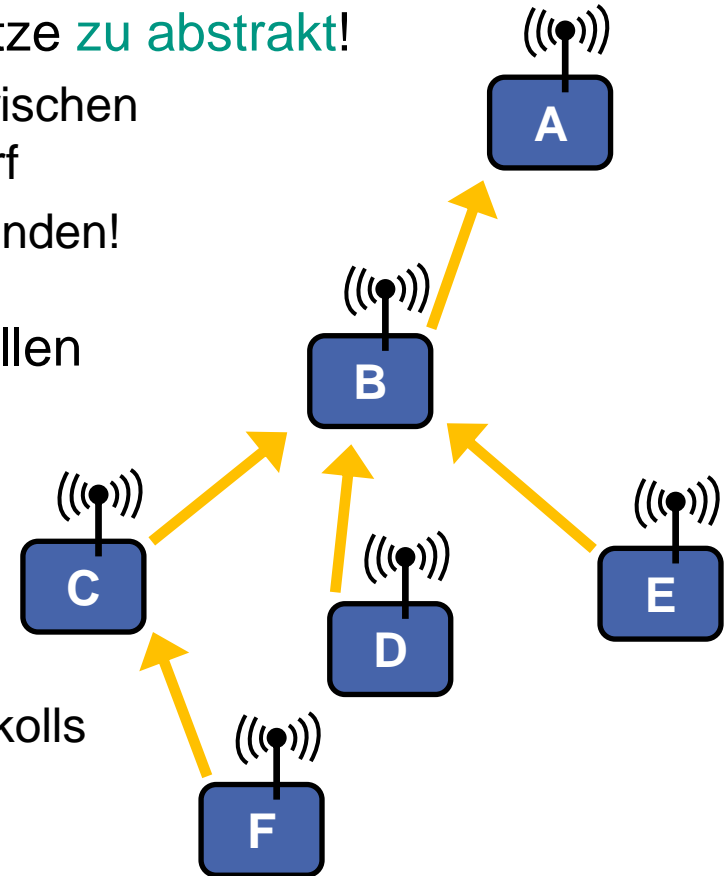
Zusammenfassung

Viele **Energiemodelle** für drahtlose Sensornetze **zu abstrakt!**

- Kein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen Paketzahl und -volumen und Energiebedarf
- **MAC-Protokolle** sollten Berücksichtigung finden!

Energieeffizienz von Kommunikationsprotokollen hängt vom **MAC-Protokoll** ab!

- Aggregation verbessert Energieeffizienz von Concast-Kommunikation nicht in jedem Fall
- Energieeffizienz von Protokollen kann nur mit Kenntnis des verwendeten MAC-Protokolls evaluiert werden



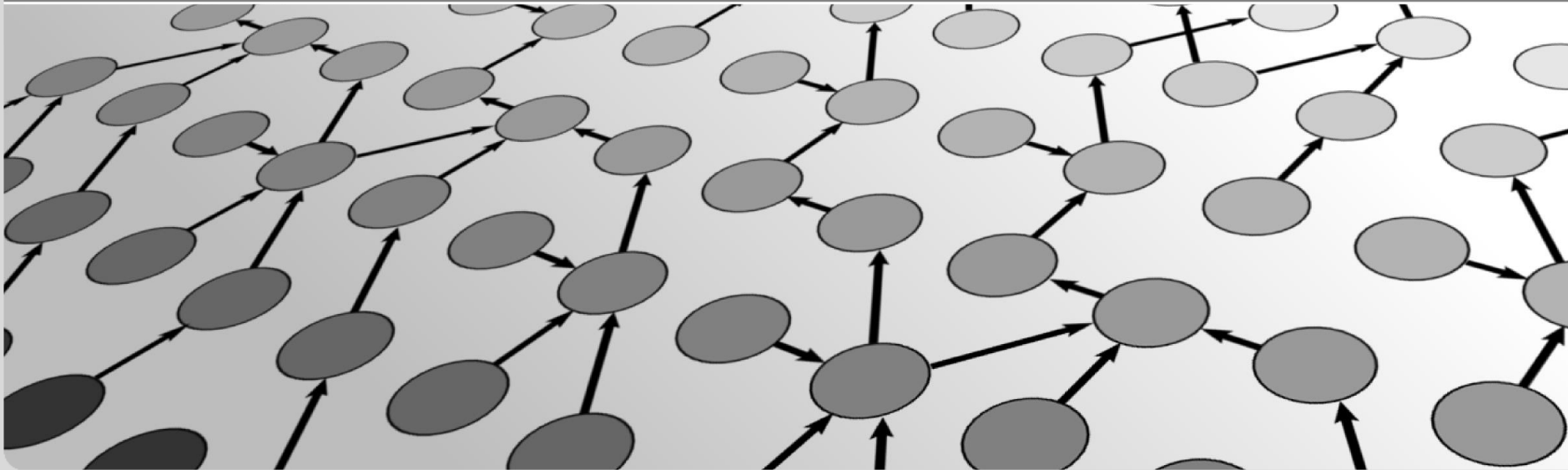
Ausblick

- Energieeffizienz von Protokollen durch Abstimmung mit MAC-Protokoll verbessern

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Vorstellung der Dissertation
Joachim Wilke

Institut für Telematik, Lehrstuhl Prof. Zitterbart



Zugrundeliegende Veröffentlichungen

■ Energiebedarf von Medienzugriffsprotokollen

C. Haas und **J. Wilke**. **Energy Evaluations in Wireless Sensor Networks – A Reality Check**. In Proceedings of MSWiM 2011, S. 27–30, Miami Beach, Florida, USA

■ Energieeffiziente Concast-Kommunikation

J. Wilke. **Energy-Efficiency of Aggregation in Wireless Sensor Networks – A Practical Evaluation**. In Proceedings of INSS 2010, S. 336–337, Kassel, Deutschland.

J. Wilke und C. Haas. **Poster: Energy-Efficiency of WSN Concast Communication – A Reality-Check**. In Proceedings of SenSys 2011, S. 351–352, Seattle, Washington, US.

J. Wilke und C. Haas. **Energy-Efficiency of Concast Communication in Wireless Sensor Networks**. In Proceedings of WONS 2013, S. 34–38, Banff, Alberta, Kanada.

■ AVRORA+ Simulator

C. Haas, V. Stöhr und **J. Wilke**. **Realistic Simulation of Energy Consumption in Wireless Sensor Networks**. In Proceedings of EWSN 2012, S. 82–97, Trento, Italien.

■ SANDbed Testbett

A. Hergenröder, J. Horneber und **J. Wilke**. **SANDbed: A WSN Testbed for Network Management and Energy Monitoring**. In Proc. of KuVS FG DSN 2008, S. 71–73, HH.

A. Hergenröder, **J. Wilke** und D. Meier. **Distributed Energy Measurements in WSN Test-beds with a SNMD**. In Proceedings of ARCS 2010, S. 341–438, Hannover.