



# Protokolle und Routing

Sebastian L. Hauer

16. Oktober 2015



## 1 Motivation

## 2 Architekturen und Modelle

- Erinnerung: OSI-Schichtenmodell
- Begriffsklärung
- IEEE 802.15.4
  - Anwendungsbereich
- ZigBee

## 3 Routing

- MANET Bewertungskriterien
- AODV Routing
  - Routenfindung
- OLS Routing
  - Datensätze
  - Nachrichtentypen
  - Routenfindung

## 4 Ausblick

- Bewertungsansätze



# Türschilder

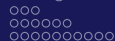
Situation:



# Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus



# Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?



# Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?



# Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?
- Ist das Ziel überhaupt erreichbar?



# Türschilder

## Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?
- Ist das Ziel überhaupt erreichbar?
- Wie viel Energie verbraucht der Versand der Nachricht?





# Türschilder

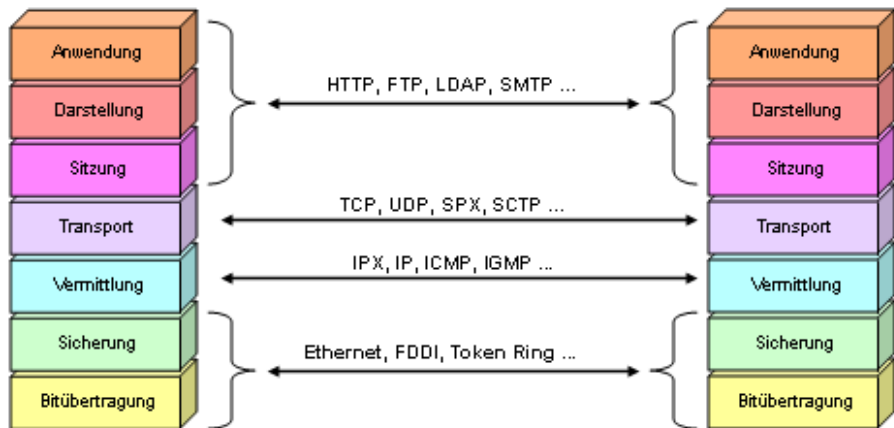
## Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?
- Ist das Ziel überhaupt erreichbar?
- Wie viel Energie verbraucht der Versand der Nachricht?
- Kann die Nachricht auch warten?



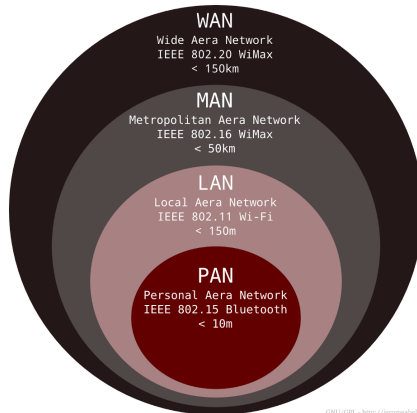
Erinnerung: OSI-Schichtenmodell

# OSI-Schichtenmodell





# Netzwerkgrößen



GNU/GPL - <http://jeromehal.net>



# Begriffe: Geräte



# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät



# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger



# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation



# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke





# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke
- RFD: Reduced Function Device



# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke
- RFD: Reduced Function Device
- FFD: Full Function Device



# Begriffe: Geräte

- Knoten  $\hat{=}$  Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke
- RFD: Reduced Function Device
- FFD: Full Function Device
- Gateway: Verbindungsknoten zwischen mehreren Netzwerken



# IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs ( 10m bis 30m)



# IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs ( 10m bis 30m)

Ziele:

- Energiesparend



# IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs ( 10m bis 30m)

Ziele:

- Energiesparend
- kostengünstige Entwicklung



# IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs ( 10m bis 30m)

Ziele:

- Energiesparend
- kostengünstige Entwicklung
- Nutzung von lizenzfreien ISM-Frequenzbändern

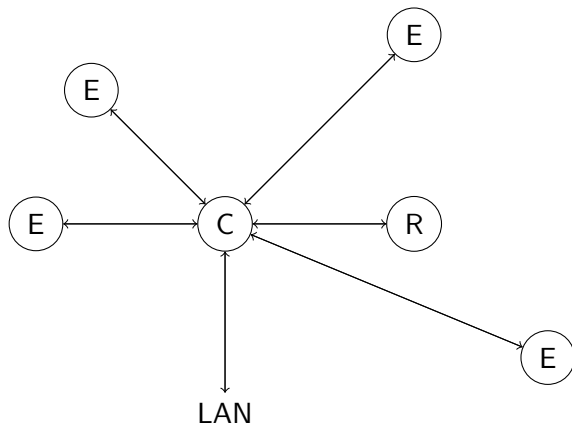
# Topologien

ⓔ : Endgeräte sind meist RFDs

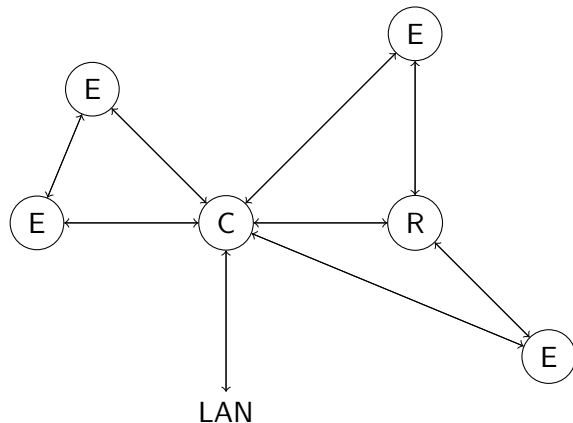
Ⓡ Ⓢ : FFDs können als Router verwendet werden und dürfen ein PAN koordinieren



# Topologien: Stern



# Topologien: Peer to Peer





# Technische Daten

Frequenzband	Bandbreite	Datenrate
868-868,6 MHz	300 kHz	20kBit/s
902-928 MHz	600 kHz	40kBit/s
2400-2483,5 MHz	2 MHz	250kBit/s



# Technische Daten

Frequenzband	Bandbreite	Datenrate
868-868,6 MHz	300 kHz	20kBit/s
902-928 MHz	600 kHz	40kBit/s
2400-2483,5 MHz	2 MHz	250kBit/s

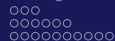
## Anmerkung:

WLAN	2412 - 2484 MHz
Bluetooth	2402 - 2480 MHz



# ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...



# ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht



# ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung



# ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung
- um ein Adressierungsverfahren über PAN-IDs





# ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung
- um ein Adressierungsverfahren über PAN-IDs

Wird hauptsächlich für den Gebrauch in intelligenten Wohnungen und Häusern vermarktet.



# ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung
- um ein Adressierungsverfahren über PAN-IDs

Wird hauptsächlich für den Gebrauch in intelligenten Wohnungen und Häusern vermarktet.



# Routing

Wir gehen davon aus:

# Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.

# Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.
- Das Gerät hat eine Adresse erhalten.

# Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.
- Das Gerät hat eine Adresse erhalten.
- Das Gerät kennt die Adresse, an die es eine Nachricht schicken will.



# Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.
- Das Gerät hat eine Adresse erhalten.
- Das Gerät kennt die Adresse, an die es eine Nachricht schicken will.

*Wie kommt die Nachricht am Ziel an?*



# Weitere Begriffe





## Weitere Begriffe

- Ad-Hoc Netzwerk: Spontanes Netzwerk ohne zentrale Verwaltung



## Weitere Begriffe

- Ad-Hoc Netzwerk: Spontanes Netzwerk ohne zentrale Verwaltung
- Link-State Routing: Jeder Knoten speichert seine Sicht auf das Netzwerk lokal



## Weitere Begriffe

- Ad-Hoc Netzwerk: Spontanes Netzwerk ohne zentrale Verwaltung
- Link-State Routing: Jeder Knoten speichert seine Sicht auf das Netzwerk lokal
- On-Demand Routing: Jeder Knoten ermittelt spontan eine Route zum Ziel



# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:



# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung



# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

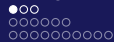
- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie



# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing



# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing
- Angriffsspielraum durch (blindes) Vertrauen





# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing
- Angriffsspielraum durch (blindes) Vertrauen
- Ruhezeiten stromsparender Geräte



# Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing
- Angriffsspielraum durch (blindes) Vertrauen
- Ruhezeiten stromsparender Geräte
- Unidirektionale Verbindungen



# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:



# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz



# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation



# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

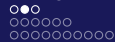
- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge



# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge
- Effizienz:



# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge
- Effizienz:
  - Größe der insgesamt übertragenen Daten





# Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge
- Effizienz:
  - Größe der insgesamt übertragenen Daten
  - Größe der übertragenen Metadaten



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen
- Bildung von Mustern





# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen
- Bildung von Mustern
- Anfälligkeit zu Ausfällen



# Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen
- Bildung von Mustern
- Anfälligkeit zu Ausfällen
- Anzahl energiesparender Knoten



# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]



# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke



# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung



# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
  - Route Request (RREQ)



# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
  - Route Request (RREQ)
  - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)



# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

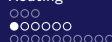
- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
  - Route Request (RREQ)
  - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)
  - Route Error (RERR)





# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
  - Route Request (RREQ)
  - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)
  - Route Error (RERR)
- Vermerkt mögliche Route in Tabelle

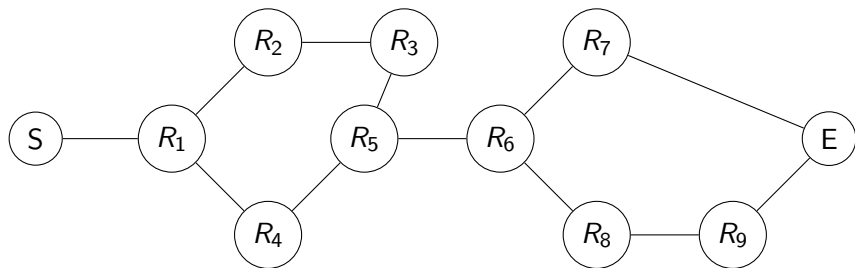


# Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
  - Route Request (RREQ)
  - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)
  - Route Error (RERR)
- Vermerkt mögliche Route in Tabelle
  - Aktualisiert diese nur bei Bedarf (On-Demand)

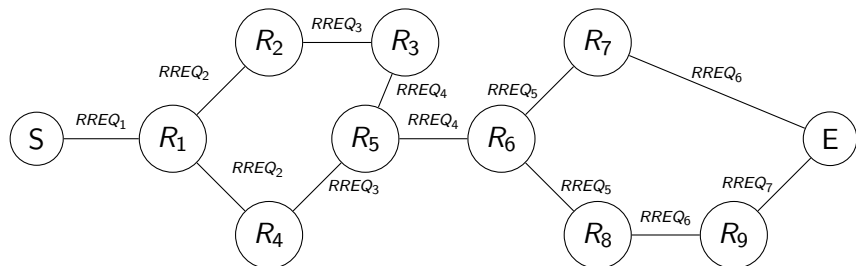


# RREQ



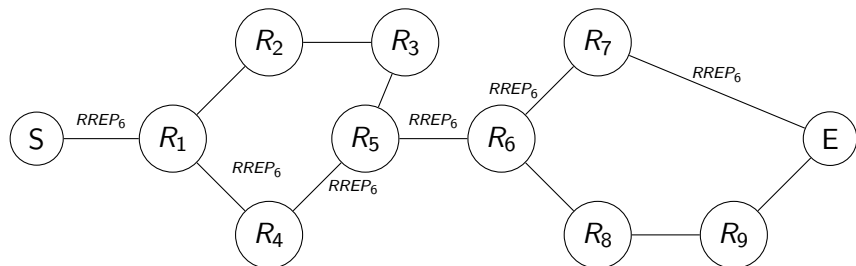


# RREQ

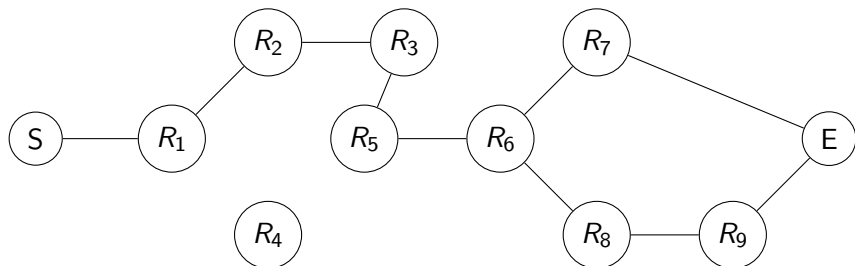




# RREP

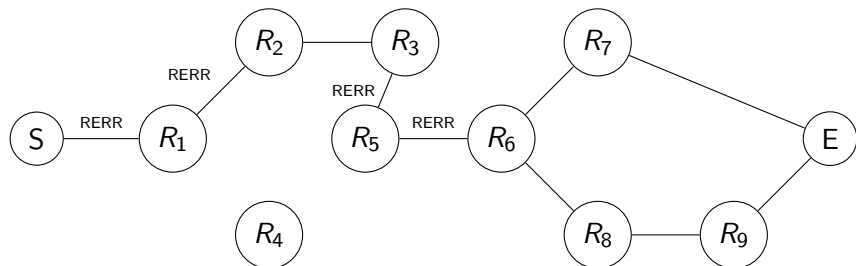


## RERR





# RERR





# Optimized Link-State Routing





# Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke



# Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Verwaltet nur eine lokale (2-Hops weite) Sicht auf das Netzwerk



# Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Verwaltet nur eine lokale (2-Hops weite) Sicht auf das Netzwerk
- Versucht Nachrichtenoverhead zu reduzieren durch Auswahl dedizierter Kommunikationsknoten



# Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Verwaltet nur eine lokale (2-Hops weite) Sicht auf das Netzwerk
- Versucht Nachrichtenoverhead zu reduzieren durch Auswahl dedizierter Kommunikationsknoten
- Generiert Anhand der Informationen über diese Wahl anderer Knoten eine lokale Routingtabelle



# Was wird gespeichert?



# Was wird gespeichert?

- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen



# Was wird gespeichert?

- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen
- Berechne ein möglichst minimales `DOMINATINGSET` auf diesen Knoten



# Was wird gespeichert?

- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen
- Berechne ein möglichst minimales `DOMINATINGSET` auf diesen Knoten
  - Diese Knoten heißen **Multipoint-Relay**.



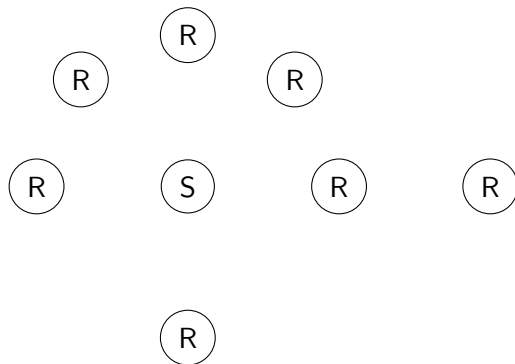


# Was wird gespeichert?

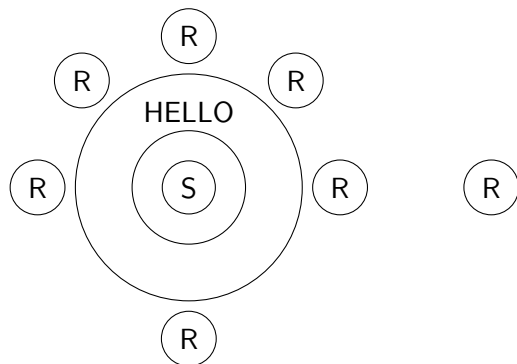
- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen
- Berechne ein möglichst minimales `DOMINATINGSET` auf diesen Knoten
  - Diese Knoten heißen **Multipoint-Relay**.
- Verwende zum broadcasten von Routinganfragen nur die Multipoint-Relays.



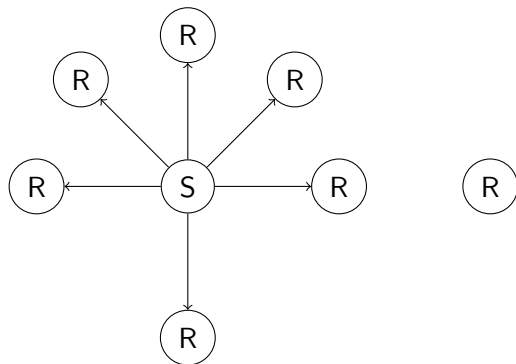
# HELLO - Nachrichten



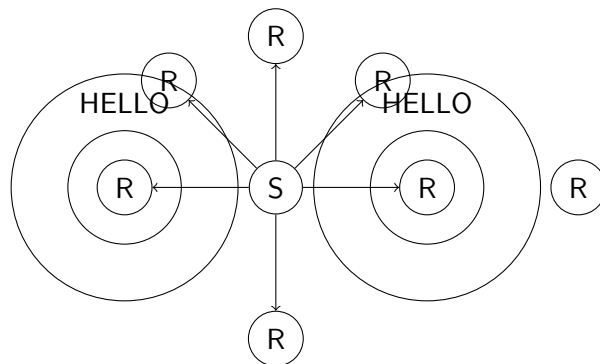
# HELLO - Nachrichten



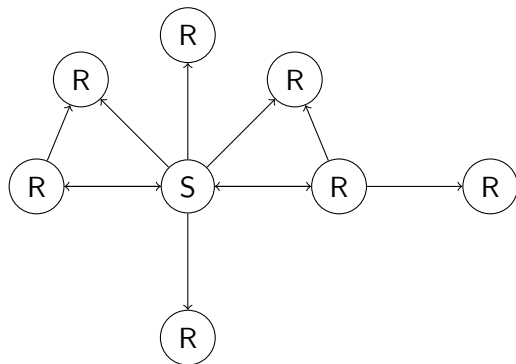
# HELLO - Nachrichten



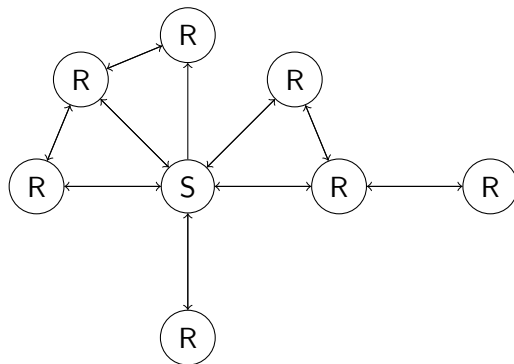
# HELLO - Nachrichten



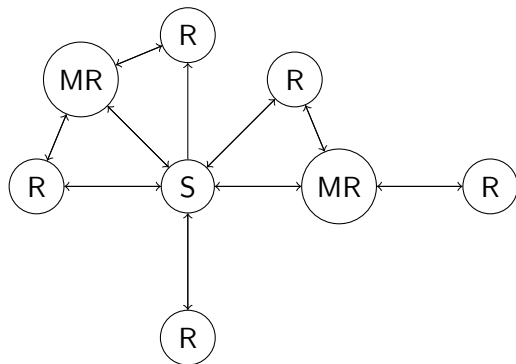
# HELLO - Nachrichten



# HELLO - Nachrichten



# HELLO - Nachrichten







# Topology Control (TC) - Nachrichten



# Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie



# Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie
- Werden *nur* über **Multipoint Relays** weiter verteilt



# Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie
- Werden *nur* über **Multipoint Relays** weiter verteilt
- Helfen andere Knoten ein Bild vom gesamten Netzwerk aufzubauen



# Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie
- Werden *nur* über **Multipoint Relays** weiter verteilt
- Helfen andere Knoten ein Bild vom gesamten Netzwerk aufzubauen
- Routenfindung über paarweise verbundene Pfade in eigener Liste



# Einschätzungen



# Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte



# Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern





# Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen



# Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen
- Routenanfragen werden seltener ausgeführt



# Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen
- Routenanfragen werden seltener ausgeführt
- Verwendung von dedizierten Verteilerstationen könnte einen hybriden ermöglichen



# Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen
- Routenanfragen werden seltener ausgeführt
- Verwendung von dedizierten Verteilerstationen könnte einen hybriden ermöglichen
- Genaue Implementierung ist schließlich gänzlich uns überlassen



# Noch fragen ... ?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



# Referenzen

**Bild** <http://jeromeabel.net/files/ressources/xbee-arduino/images/large/network-scales.png>

**Bild** <http://www.der-wirtschaftsingenieur.de/bilder/it/OSI-Modell3.PNG>

**IEEE:** <https://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

**RFC3561:** <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>

**RFC2501:** <https://tools.ietf.org/html/rfc2501>

**OLSR:** <http://www.cs.jhu.edu/~dholmer/600.647/papers/OLSR.pdf>