

Harald Thomas - Mensch - harald.thomas@in-genia.de

IN A GALAXY OF DEVICES...
CONNECTIVITY IS POWER.

SPECTRUM WARS

Zigbee, Thread & WLAN - three communication standards, one band



SPECTRUM PICTURES PRESENTS A CONNECTED FUTURE PRODUCTION A FILM BY IOT VISIONARY

"SPECTRUM WARS" ZIGBEE THREAD WLAN IOT DEVICES CLOUD SERVICES

MUSIC BY DATA STREAMS CINEMATOGRAPHY BY SIGNAL PATH EDITED BY PACKET FLOW

PRODUCTION DESIGN BY SMART SPACE VISUAL EFFECTS BY THE PROTOCOL FOUNDRY

EXECUTIVE PRODUCERS BANDWIDTH GUARDIANS NETWORK NEXUS CONNECTIVITY COUNCIL

STORY BY THE IOT COLLECTIVE SCREENPLAY BY IEEE 802 ALLIANCE

DIRECTED BY IOT VISIONARY

THREE STANDARDS. ONE BAND. ENDLESS POSSIBILITIES.

COMING SOON

TO A NETWORK NEAR YOU

ZIELBILD

Worum es in dieser Präsentation geht

- Kurzeinordnung von Zigbee, Thread und WLAN im IoT-Umfeld.
- Die Trennung von Netzwerklogik und Funkschicht (OSI-Layer).
- Visualisierung der Kanalverteilung im 2,4-GHz-Band.
- Technische Koexistenzprobleme und ihre Auswirkungen.
- Best Practices für Kanalwahl und Fehlerbehebung.




ZIGBEE
2.4 GHZ
IEEE 802.15.4

ZIGBEE

Kurzprofil

- Basiert physikalisch auf IEEE 802.15.4 (2,4-GHz-Band).

- 16 Kanäle (Kanal 11 bis 26) mit schmaler Bandbreite (ca. 2 MHz).

- Architektur: Proprietäres Mesh mit Coordinator, Routern und End Devices.

- Fokus: Niedrige Datenrate, minimaler Energieverbrauch, ideal für Sensorik.

- Schwäche: Sehr störanfällig gegen breitbandige 2,4-GHz-Signale.




THREAD
2.4 GHZ
IEEE 802.15.4

THREAD

Kurzprofil

- Nutzt exakt denselben IEEE 802.15.4 Funk-Unterbau wie Zigbee.
- Native IPv6- / 6LoWPAN-Basis (jedes Gerät hat eine IP-Adresse).
- Mesh-Struktur mit Border Routern statt proprietärem Gateway-Zwang.
- Standard-Transportschicht für 'Matter'.
- Koexistenz-Themen sind physikalisch identisch zu Zigbee.




WLAN
2.4 GHZ
IEEE 802.11 (b / g / n / ax / be)

WLAN

Der dominante Teilnehmer im Spektrum

- IEEE 802.11 (b/g/n/ax/be).
- Nutzt sehr breite Kanäle (meist 20 MHz).
- In der Praxis Fokus auf die überlappungsfreien Kanäle 1, 6 und 11.
- Hoher Airtime-Bedarf und hohe Sendeleistung (bis 100mW).
- Verdrängt leistungsschwächere Protokolle im selben Band.



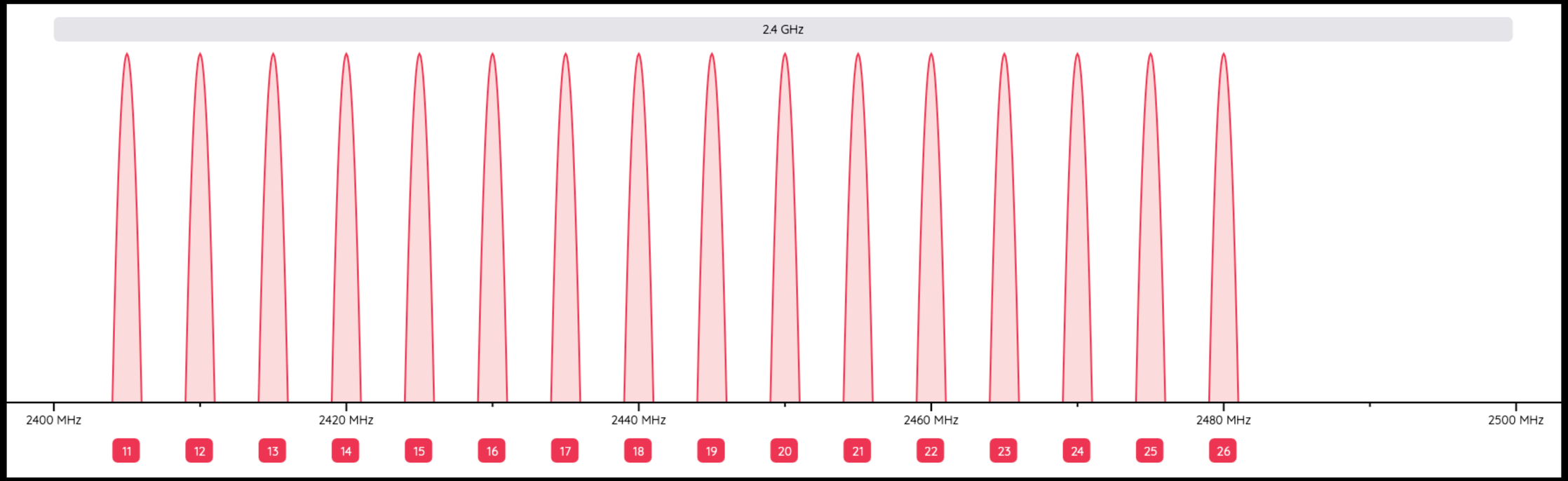
PROTOKOLL-ARCHITEKTUR

Warum sich Zigbee und Thread funktechnisch gleich verhalten

Standard	**Layer 1 & 2**	**Layer 3** (Network)	**Layer 4 – 7** (Transport - App)
Zigbee	IEEE 802.15.4	Zigbee NWK	Zigbee Cluster Library / APS
Thread	IEEE 802.15.4	IPv6 / 6LoWPAN	UDP, Matter, CoAP, HomeKit
WLAN	IEEE 802.11	IPv4 / IPv6	TCP / UDP / HTTP / MQTT

KANALVERTEILUNG: ZIGBEE UND THREAD

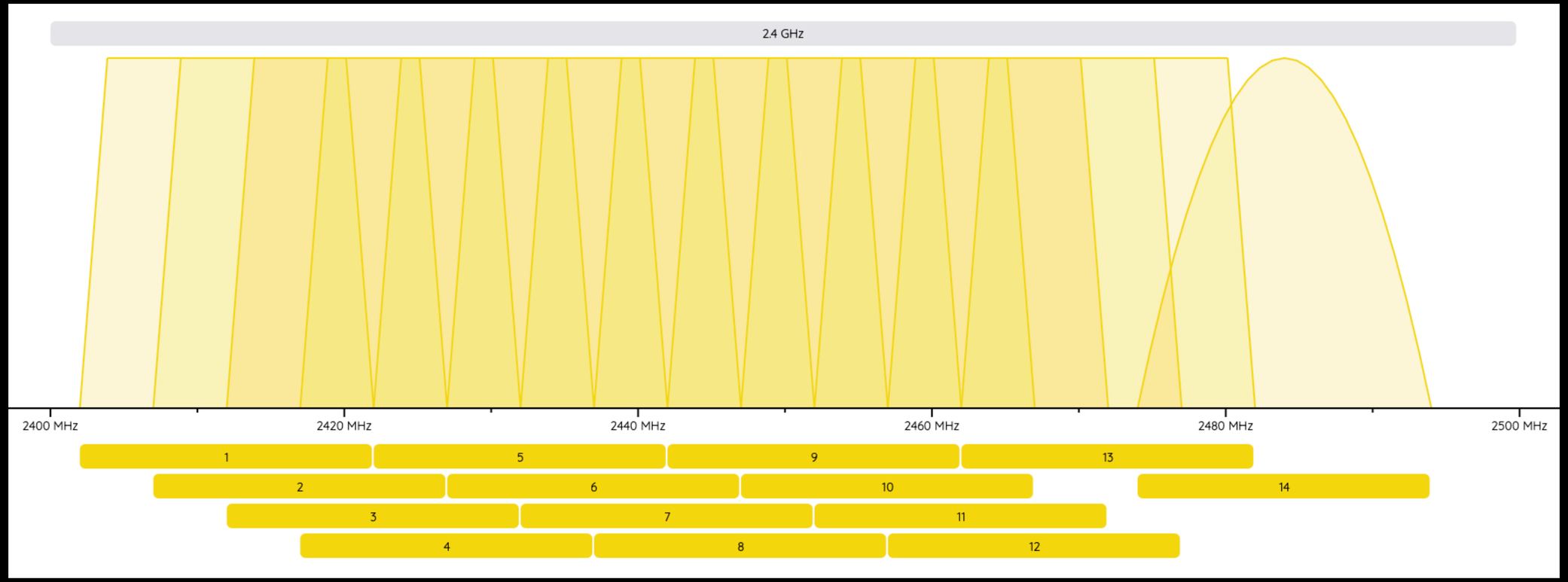
16 Kanäle im 2.4-GHz-Band



- Kanäle 11 bis 26 (2405 MHz bis 2480 MHz).
- 5 MHz Abstand zwischen den Mittenfrequenzen (tatsächliche Bandbreite ca. 2 MHz).
- Klare spektrale Trennung untereinander.

KANALVERTEILUNG: WLAN

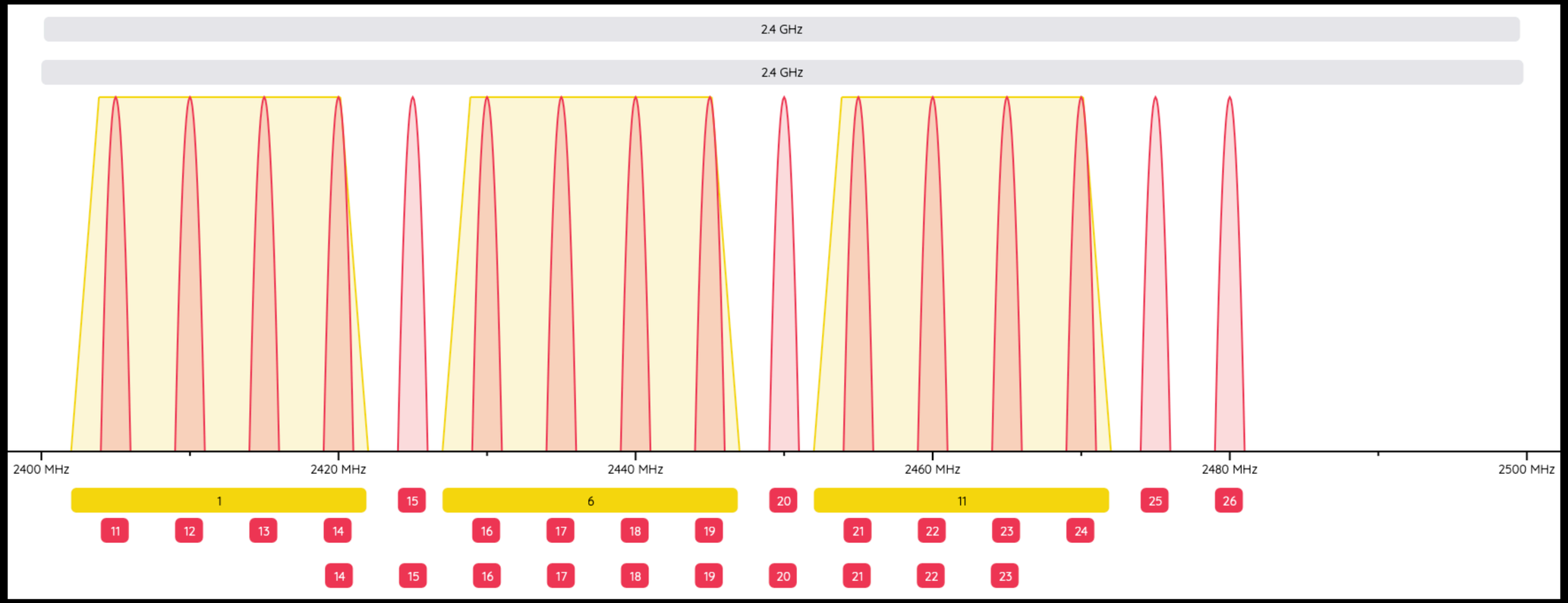
Breite Kanäle mit starker Überdeckung



- 20-MHz-Kanäle überdecken das Spektrum massiv.
- Nur die Kanäle 1, 6 und 11 sind untereinander störungsfrei.
- Ein einzelner Access Point belegt fast ein Drittel des gesamten Bandes.

SPEKTRALE ÜBERLAPPUNG

Warum das 2,4-GHz-Band schnell zum Konfliktfeld wird



- Ein einziger WLAN-Kanal überdeckt vier 802.15.4-Kanäle.
- WLAN auf Kanal 1 "plättet" z.B. die Zigbee-Kanäle 11 bis 14.
- Bewährte Ausweichkanäle für Zigbee/Thread liegen oft am Rand (z.B. 15, 20, 25, 26).

KOEXISTENZPROBLEME

Was passiert auf Protokollebene?

- **Kanalüberdeckung:** WLAN agiert als massiver Jammer für 802.15.4.
- **Near-Far-Problem:** Ein sendendes Smartphone direkt neben einem Thread-Sensor macht diesen für den Border-Router "taub".
- Asymmetrie: WLAN sendet mit bis zu 100mW, IoT-Geräte oft nur mit 10mW.
- Folgen: Retransmissions, CSMA/CA Backoffs, verworfene Pakete.

SYMPTOME IM BETRIEB

Wie sich schlechte Koexistenz bemerkbar macht

- **Hohe Latenz:** Licht geht erst 2-3 Sekunden nach dem Tastendruck an.
- **Dropouts:** Batterien von Sensoren entladen sich rasant (wegen Dauer-Retries).
- **Pairing-Fails:** Neue Geräte lassen sich nur schwer ins Netzwerk einbinden.
- **Tageszeitabhängigkeit:** Alles läuft super, bis der Streamingabend oder der große Update-Download beginnt.

PRAXISMAßNAHMEN

Best Practices für Infrastruktur-Design

- **WLAN disziplinieren:** Feste Kanäle (1, 6 oder 11), strikt 20 MHz Bandbreite bei 2,4 GHz, kein 'Auto-Channel'.

- **IoT-Kanäle fixieren:** Zigbee/Thread fest auf Lücken-Kanäle legen (z.B. 15, 20, 25).

- **Band-Steering:** Laptops, TVs und Smartphones aggressiv ins 5-GHz- oder 6-GHz-Band zwingen.

- **Räumliche Trennung:** WLAN-Access-Points und Zigbee/Thread-Gateways nie physisch nebeneinander stellen (min. 1-2 Meter Abstand).

QUELLEN UND REFERENZEN

Weiterführende technische Dokumentationen

- **NXP Semiconductors – Application Note: Co-existence of IEEE 802.15.4 at 2.4 GHz**

- **Digi International – Zigbee / IEEE 802.15.4 Channel Reference**

- **ZigbeeGuru – Zigbee Channels in EU Homes & Wi-Fi Coexistence**

- **Thread Group – Thread Protocol Overview**

- spectrum.potatofi.com

EINE SACHE NOCH

DANKE