

## Bluetooth im Gebäude der Zukunft – Konkurrenz zum WLAN?

von Dr. Johannes Dams und Dipl.-Inform. Thomas Steil

Immer häufiger diskutieren wir Technologien für das Gebäude oder den Arbeitsplatz der Zukunft, für Industrie 4.0 etc. Dabei gehen viele der Anwendungen und Technologien über das althergebrachte, eigentliche IT-Netzwerk hinaus und erfordern neue Technologien und Denkweisen für neue Anwendungen.

Das Spektrum der verfügbaren und nutzbaren Standards erstreckt sich nun nicht mehr nur auf kabelgebundenes LAN und kabelloses WLAN, sondern umfasst auch Technologien wie Bluetooth, Zigbee, EnOcean etc. Hierbei kommt immer häufiger Bluetooth zum Einsatz. Auch wenn dieser Standard seit langem existiert und mittler-



weile in der fünften Evolutionsstufe ist, ist dies umso mehr ein Grund sich etwas tiefer mit dem Thema zu befassen.

Von immer zentralerer Rolle sind hierbei insbesondere Anwendungen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) bzw. Gebäudeleittechnik (GLT). Anwendungen, die in der Vergangenheit über klassische Bus-Systeme und in weitem Maße über proprietäre Protokolle gesteuert wurden, werden zunehmend IP-basiert. Damit rücken sie auch immer mehr in den Fokus der klassischen IT-Technik und des Netzwerks. Häufig werden hierbei Anwendungen mittels weiterer Protokolle (über Gateways) an das allgemeine Netz angebunden. weiter ab Seite 9

## Neue Prozessoren braucht das Land – Sicherheitsfeatures und -lücken in modernen Prozessor-Architekturen

von Dr. Markus Ermes

Im Januar wurden mit „Spectre“ und „Meltdown“ die Grundfesten der Informationstechnologie und -sicherheit erschüttert. Auf einmal war die Annahme, dass der Prozessor sicher und vertrauenswürdig ist und man sich nur um die Software kümmern muss, infrage gestellt. Darauf folgten erste Patches und wieder neue Sicherheitslücken. Die Auswirkungen waren und sind noch nicht endgültig absehbar. Dabei sind

auch neue Sicherheitsfunktionen moderner CPUs in den Hintergrund getreten, obwohl diese in vielen Bereichen sinnvoll eingesetzt werden können.

Im folgenden Artikel wird eine ausführliche Betrachtung moderner CPUs dargestellt. Diese Betrachtung beginnt bei den Funktionen, die einerseits die heutige Leistung ermöglicht haben, aber auch die Grundlage für Spectre und Meltdown dar-

stellen. Auch diese Lücken werden etwas detaillierter betrachtet. Anschließend wird auf einige Funktionen moderner CPUs eingegangen, die die Sicherheit in verschiedenen Umgebungen erhöhen sollen, die ihrerseits jedoch auch keine absolute Sicherheit ermöglichen. Aus der Betrachtung all dieser Funktionen und Sicherheitslücken ergeben sich dann diverse Konsequenzen, die ebenfalls angesprochen werden. weiter auf Seite 20

Geleit

## Warum Microsoft Teams und Cisco Spark Projekte scheitern

auf Seite 2

Standpunkt

## Fluch und Segen der Künstlichen Intelligenz für die Informationssicherheit

auf Seite 19

Neue Sonderveranstaltungen

**Herausforderung  
Cloud**

auf Seite 16

**Office 365  
in der Praxis**

auf Seite 17

**Kriterien und Erfolgs-  
Szenarien für den Ein-  
satz von UCC-Produkten**

ab Seite 4

Geleit

# Warum Microsoft Teams und Cisco Spark Projekte scheitern

Die Einführung von UCC-Produkten ist keineswegs ein Selbstläufer. Dabei sind Cisco Spark (jetzt Webex Teams) und Microsoft Teams nur Stellvertreter für alle Produkte in diesem Bereich. Unify Circuit, Slack und andere sind davon nicht ausgenommen. Das Risiko eines Scheiterns von UCC-Projekten speziell im Sinne fehlender Akzeptanz seitens der Benutzer ist generell hoch. Dies liegt an folgenden typischen Ursachen:

- Funktionale Fehlausrichtung
- Mängel der Produkte
- Schlechte Team- und Kanal-Strukturierung
- Organisatorische Einführung scheitert

Wir diskutieren die wichtigsten UCC-Produkte, ihre Schwächen und Stärken und die Projekt-Risiken auf unserer Sonderveranstaltung "Kriterien und Erfolgsszenarien für den Einsatz von UCC-Produkten: Cisco Spark/Webex Teams, Microsoft Teams und Unify Circuit in der Analyse" vom 27. bis 28.6. in Düsseldorf im Detail (<https://www.comconsult-akademie.de/einsatz-ucc-produkte/>). An dieser Stelle deshalb nur ein grober Überblick über die typischen Probleme.

## Funktionale Fehlausrichtung und Mängel der Produkte

UCC steht für Communication **AND** Collaboration. Der größte Fehler bei der Einführung besteht dann auch darin, das Produkt als neue Form der Videokonferenz einzuführen und darauf zu reduzieren. Zum einen würde das eine totale Funktionsüberlappung mit der existierenden UC-Installation erzeugen, zum anderen wird dies dem Kollaborations-Ziel solcher Projekte in keiner Weise gerecht. Jeder der Funktionsbereiche eines UCC-Tools erfordert eine saubere Positionierung sowohl in sich selbst als auch gegenüber der bereits existierenden IT.

Generell unterteilen wir die Funktionsbereiche von UCC in mindestens folgende Bereiche:

- Meeting / Desktop-Videokonferenz
- Dokumenten-Kollaboration
- Messaging / Persistent Chat
- Kollaboration mit Externen

Die meisten der im Markt angebotenen Produkte, darunter speziell Cisco Spark/Webex Teams und Unify Circuit, stammen aus dem Meeting-Bereich. Sie sind dort



absolut stark und Cisco und Unify bauen diesen Bereich immer weiter aus in Richtung der perfekten Meeting-Erfahrung und der Integration von White-Boards und sowohl Standard-Videokonferenz-Lösungen als auch Web-Meetings und Webinaren. Dies erklärt auch die Umbenennung von Spark zu Webex Teams und die Integration des Produkts in den privaten IP-Backbone von Cisco Webex. Cisco steht in diesem Meeting-Bereich unter einem starken Konkurrenzdruck im internationalen Markt. Anbieter wie Zoom können inzwischen signifikante Markterfolge verzeichnen. Dies ist auch einer der Gründe für die Neupositionierung von Spark als Webex Teams. Und zweifelsfrei ist Zoom als Konkurrent sehr ernst zu nehmen. Es ist funktional und qualitativ ein herausragendes Meeting-Produkt mit einer interessanten Lizenzstruktur. Wir benutzen in unseren Tests Zoom als qualitativen Maßstab für Bild- und Tonqualität.

Aber so toll und überzeugend Spark, Circuit und Co auch im Meeting-Bereich sind, darf das nicht davon ablenken, dass UCC einen klaren Kollaborations-Schwerpunkt hat. Und hier beginnen die Probleme und liegen mögliche Ursachen für das Scheitern dieser Projekte.

Dokumenten-Kollaboration ist ein Mega-Thema. Es sollte aus unserer Sicht die Bedeutung haben, die Email Anfang der 90er Jahre bei der Markteinführung hatte. Und wir sind überzeugt davon, dass hier ein großes Potenzial für Team-Effizienz und Ablauf-Verbesserungen liegt. Es würde komplett den Rahmen sprengen, dies hier im Detail zu erläutern, ich verweise deshalb auf die schon erwähnte Sonderveranstaltung Ende Juni in Düsseldorf.

Aber aus vielen wichtigen Punkten, sollen einige Punkte stellvertretend angesprochen werden:

- Ein UCC-Tool darf nicht auf der Basis von Uploads oder Downloads arbeiten. Es geht bei Dokumenten-Kollaboration ja genau darum, dass Kopien von Dokumenten vermieden werden und alle am gleichen Dokument zur gleichen Zeit arbeiten können
- Auf Grund der Komplexität eines guten Dokument-Management- und Kollaborations-Produkts sollte nur genau eine derartige Lösung im Unternehmen etabliert werden. Wenn also das UCC-Produkt die Lösung für Dokumenten-Kollaboration sein soll, dann muss es die zentral eingesetzte Lösung für diesen Funktionsbereich sein. Und hier liegt die Messlatte hoch mit Versionskontrolle, Historien-Log, Labels, Metadaten, Integration in lokale und bestehende Datei-Manager, umfassende Kollaborations- und Sharing-Möglichkeiten und vieles andere mehr
- Ein direktes Bearbeiten eines Dokuments aus dem Produkt muss möglich sein
- Es muss möglich sein, mit mehreren Personen zur gleichen Zeit am Dokument zu arbeiten
- Ein Dokument muss zeitgleich auf mehreren Geräten eines Benutzers offen sein können

Speziell Spark/Webex Teams und Unify Circuit sind hier weit von einer akzeptablen Lösung entfernt. Beide Anbieter haben funktionale Erweiterungen in dieser Richtung angekündigt, aber zumindest im Moment existieren diese nicht. Dies ist auch nicht so einfach umzusetzen. Dokumenten-Kollaboration und Bearbeitung ist komplex. Es ist nicht ausgeschlossen, dass hier statt einer Eigenentwicklung eine Kooperation mit einem anderen Anbieter gesucht wird.

Microsoft Teams ist im Bereich der Dokumenten-Kollaboration der König gegenüber seinen Konkurrenten. Dies ist eine der Stärken und leider auch eine der zentralen Schwächen des Produkts. Jedes Team erzeugt einen Team-Bereich in Office 365 SharePoint Online. Wer Teams macht, der macht auch SharePoint Online. Dies wird zwar auf den ersten Blick nicht sichtbar, ist aber wichtig. So muss es in solchen Lösungen zwingend möglich sein, auf Dokumente eines Teams auch mit einem normalen Datei-Manager zugreifen zu können. Es kann und darf nicht sein, dass

## Bluetooth im Gebäude der Zukunft – Konkurrenz zum WLAN?

## Bluetooth im Gebäude der Zukunft – Konkurrenz zum WLAN?

Fortsetzung von Seite 1



Dr. Johannes Dams hat in den vergangenen Jahren zahlreiche wissenschaftliche Artikel im Bereich der theoretischen Informatik mit Bezug zu Algorithmen für Funknetzwerke veröffentlicht. Seit 2015 ist er als Berater bei der ComConsult Beratung und Planung GmbH im Competence Center Netze tätig. Der Fokus liegt hier unter anderem auf der Konzeption und Planung in den Bereichen WLAN, IPv6 und weiteren Aspekten aktiver Netzwerktechnik.



Dipl.-Inform. Thomas Steil ist bei der ComConsult Beratung und Planung GmbH für die konzeptionelle Planung in den Bereichen Netze und IT-Infrastruktur zuständig. Neben seiner Tätigkeit als Berater und Projektleiter ist er Autor diverser deutscher und englischsprachiger Artikel.

Dies erfolgt je nach Fall kabel- oder funkbasiert. Die genutzten Technologien sind entweder hersteller- und anwendungsspezifisch oder nutzen allgemeinere Protokolle, wie Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, etc.

Klassische Anwendungen in diesem Bereich sind Zutrittskontrollsysteme und Schließsysteme (z.B. von den Herstellern BlueID, Baimos) oder auch Überwachungs- oder Sensorsysteme und Beleuchtungssteuerungen (z.B. mit EnOcean als Kommunikationsprotokoll).

Neben Bluetooth sind einige weitere wichtige und relevante Technologien im Einsatz, die das klassische Netzwerk entsprechend ergänzen und erweitern. Da wir sicherlich nicht alle Punkte in gleicher Tiefe behandeln können, sei an dieser Stelle bereits auf einen Artikel der folgenden Netzwerk Insider verwiesen, wo Dr. Wetzlar eingehend weitere Funkstandards beleuchtet wird.

Bluetooth selbst kennen die meisten wohl als Grundlage für Smartphone-Verbindungen zur Freisprecheinrichtung bzw. dem Headset oder vom Laptop zu verschiedenen Peripheriegeräten. Darüber hinaus gibt es immer mehr Anwendungen, die auf Bluetooth-Basis in moderne Gebäude einzug halten.

Insbesondere ist hier die Nutzung von

Bluetooth-Beacons zur Ortung und Navigation in Gebäuden zu nennen. Ebenso ist das Thema des Tracking und Tracings zu nennen, also der Nachverfolgung von Gegenständen und Personen. Dies spielt in wichtigen Anwendungsfällen eine immer größere Rolle und stellt einen essentiellen Bestandteil der Logistik im Gebäude dar. Dies geht von Patientenüberwachung oder Bettenverfolgung im Krankenhaus bis hin zu klassischer Logistik mit der Überwachung von Gabelstaplern etc. Auch die Integration in Smartphone-Apps spielt immer häufiger eine Rolle, um eine Navigation im Bürogebäude und dem Campus mittels Bluetooth zu ermöglichen. Ein virtueller Pfortner, der den Weg zur Besprechung weist oder eine Museums-App sind nur grundlegende Beispiele für die Nutzung der Technologie.

Darüber hinaus werden in der Gebäudeleittechnik Sensorik an IP-Dienste angebunden, Fenster-Motoren gesteuert, das Licht ein- und ausgeschaltet oder gedimmt und so weiter. Es existiert eine ganze Reihe verschiedener Techniken, die derartige Anwendungen ermöglichen. Viele dieser Lösungen basieren nicht auf Bluetooth. Dennoch tut ein Blick auf diese Technik Not, wenn man zukünftig mit dem Betrieb und der Planung damit befasst sein wird.

Neben den in diesem Artikel erläuterten

technischen Hintergründen von Bluetooth, gehen wir im zweiten Teil des Artikels in einem der nächsten Netzwerk-Insider genauer auf planerische Aspekte und die Anwendungen ein, bei denen Bluetooth und insbesondere Bluetooth-Beacons genutzt werden.

### Der Bluetooth-Standard

Bluetooth hat sich aus einem Teil des offenen IEEE Standards 802.15 entwickelt, der zum Beispiel auch ZigBee beschreibt. Mittlerweile liegt die Entwicklung ausschließlich bei der Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). In ihr treibt eine große Zahl von Herstellern aus der Industrie den Standard in seiner offenen Form weiter voran. Damit steht Bluetooth herstellerunabhängig als Industriestandard für ein lizenzfreies Nahbereichsfunkverfahren zur kabellosen Sprach- und Datenkommunikation zur Verfügung.

Hierzu wird das 2,4-GHz-Band genutzt, so dass Bluetooth in direkter Konkurrenz zu WLAN steht. Vielleicht ist es aufgrund des oft verrufenen Störeinflusses zwischen Bluetooth und WLAN bezeichnend, dass der Standard seinen Namen dem durchaus kriegerischen Wikinger-Führer und dänischem König Harald Blauzahn verdankt. Tatsächlich wurde der Name als Metapher bzw. als Verweis auf die Einigung der Dänen und Norweger unter Ha-

## Bluetooth im Gebäude der Zukunft – Konkurrenz zum WLAN?



Abbildung 1: Bluetooth-Logo  
(Marke der Bluetooth SIG)

rald Blauzahn gewählt. Bluetooth soll in diesem Sinne die IT-Geräte mittels Nahbereichsfunk „vereinen“. Das Bluetooth-Logo (siehe Abbildung 1) stellt daher die Runen der Initialen von Harald Blauzahn dar.

Es ist also durchaus im Sinne des Bluetooth-Standards verschiedenste Arten und Typen von Endgeräten zu verbinden und damit auch recht flexibel verschiedene Anwendungen zu ermöglichen. Daher ist eine entsprechende Weiterentwicklung des Standards notwendig, um auch zukünftige Anwendungen zu unterstützen und zu ermöglichen.

Seit dem Beginn der Bluetooth-Entwicklung gibt es eine Reihe von Fortschritten und Änderungen. Heute liegt der Standard in der 2016 verabschiedeten Version 5.0 vor.

Die in Abbildung 2 aufgeführten Ausbaustufen des Bluetooth-Standards zeigen, die Entwicklung der Funktionen. Die Datenraten entwickelten sich von maximal 768 kBit/s zu möglichen Bluetooth-Übertragungen über WLAN mit 24 Mbit/s. Darüber hinaus sind weitere Key-Features, wie Bluetooth Low Energy (BLE) und IPv6-Unterstützung zu nennen.

### Technische Grundlagen

Technisch basiert Bluetooth auf dem Funk im 2,4-GHz-ISM-Band (Industrial, Scientific, Medical). Es ist also klar, dass ein wichtiger Aspekt der Planung und Betrachtung von Bluetooth als Technologie damit zu tun hat, dass es in Konkurrenz zu WLAN funkt.

In Projekten und insbesondere bei Kunden, bei denen WLAN oder Bluetooth wichtige Funktionen (z.B. mit Produktionsrelevanz) erfüllen, hat die Erfahrung gezeigt, dass eine detaillierte Planung unumgänglich ist. Eine Abstimmung und Koordination der Funktechnologien, wie weiter unten beschrieben, wird damit häufig unumgänglich.

Bluetooth bietet zwei Betriebsmodi: Ad-hoc-Netzwerk und Infrastruktur-Netzwerk. Darüber hinaus wird mit BLE sogenannte Generic Attributes (GATT) als Modus unterstützt, in dem beispielsweise Beacons senden. Damit lassen sich BLE-Dienste in der Umgebung finden und so Information (z.B. Beacon-IDs zur Ortung) abrufen.

Bluetooth unterteilt das verfügbare Spektrum in 79 Kanäle zwischen 2400 und 2483,5 MHz. Die Übertragung der Daten erfolgt zeitschlitzgesteuert (Time Division Duplex). Zusätzlich wird Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) mit bis zu 1600 Sprüngen pro Sekunde über die verschiedenen Kanäle eingesetzt um robuster gegenüber Störungen zu sein. Hierdurch ergeben sich bei Messungen auch die typischen Bilder und scheinbar zufällige Abfolge von Frequenzen bei der Übertragung.

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, zeigt sich dies unter anderem dadurch, dass die Bluetooth-Übertragung das Spektrum recht umfassend belegt (stärkeres sichtbares Signal). Diese weitreichende Beeinträchtigung des verfügbaren Spektrums führt also gelegentlich zu Problemen. Im vorliegenden Mitschnitt zeigt sich aber auch, dass die Bluetooth-Übertragung den WLAN-Kanal ausspart. Zu sehen ist dies auf der Grafik im mittleren Bereich zwischen 2425 und 2450 MHz. Das WLAN-Signal ist hier weiterhin sichtbar. Das am Messpunkt (aufgrund der räumlichen Nähe) stärkere Bluetooth-Signal ist aber lediglich außerhalb dieses Bereichs dargestellt.

Durchaus von besonderer Bedeutung ist diese Sprungsequenz in Hinblick auf WLAN und andere Konkurrenten, die das 2,4-GHz-Band nutzen. Durch die Sprungsequenz werden gelegentlich auch Kanäle gewählt, auf denen andere Protokolle und Geräte senden. Durch den Kanalwechsel soll aber sichergestellt werden, dass dennoch eine ausreichende Erfolgswahrscheinlichkeit für die Übertragungen der Bluetooth-Daten besteht. Mittels Adaptive Frequency Hopping (AFH) versucht Bluetooth zusätzlich die durch andere Technologien genutzten Frequenzen auszusparen. Wenn ein fremdes Signal (z.B. WLAN) auf einem Kanal erkannt wird, wird

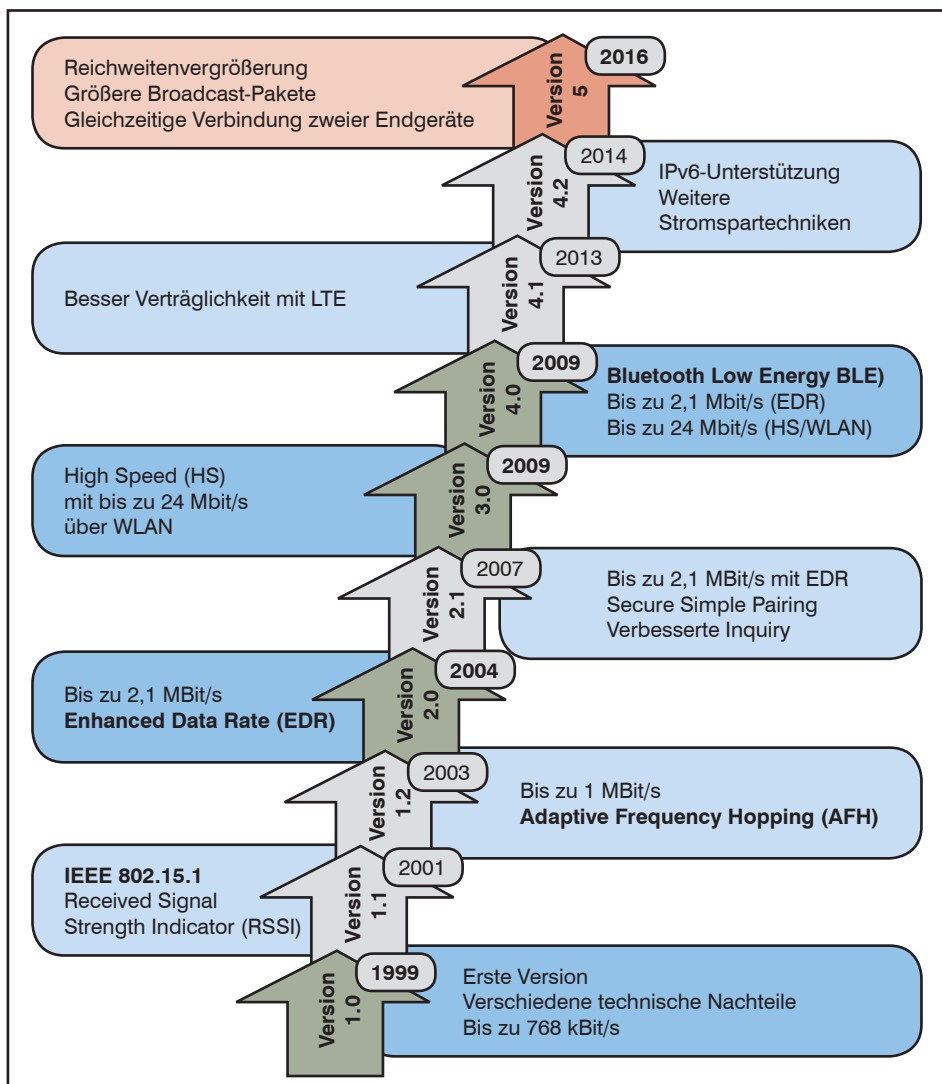


Abbildung 2: Bluetooth-Versionen und die wichtigsten Neuerungen

Neue Prozessoren braucht das Land – Sicherheitsfeatures und -lücken in modernen Prozessor-Architekturen

# Neue Prozessoren braucht das Land – Sicherheitsfeatures und -lücken in modernen Prozessor-Architekturen

Fortsetzung von Seite 1



Dr. Markus Ermes hat im Bereich der optischen Simulationen promoviert und Artikel in verschiedenen Fachzeitschriften veröffentlicht. Teil seiner Promotion waren Planung, Aufbau und Nutzung von verteilten und Höchstleistungs-Rechenclustern (HPC). Bei der ComConsult Beratung und Planung GmbH berät er Kunden im Bereich Rechenzentren, wobei seine Hauptaufgaben bei Netzwerken, Storage und Cloud-basierten Diensten liegen. Seine Kenntnisse im HPC-Bereich geben zusätzlich Einblicke in modernste Hochleistungstechnologien (CPU, Storage, Netzwerke), die in Zukunft auch im Rechenzentrum Einzug erhalten können.

Prozessoren – das Herz unserer modernen Informationsgesellschaft – werden seit Jahrzehnten immer schneller. In den letzten vier Jahrzehnten hat sich die Performance pro Prozessor um einen Faktor 100.000 gesteigert. Die Steigerung der Leistung eines einzelnen Prozessorkerns sowie die Anzahl der Prozessorkerne ist in Abbildung 1 dargestellt ([1]). Dabei gelten als Prozessor einer oder mehrere

verbundene „Dies“ mit einem oder mehreren Prozessorkernen, die auf einem einzelnen Prozessorsockel verbaut sind. Hierbei haben verschiedene Ansätze zur Steigerung der Leistung beigetragen. In einigen Bereichen ist die Grenze des physikalisch und ökonomisch Sinnvollen bereits erreicht, in anderen Bereichen sehen Experten noch viel Potential.

Ein Nebeneffekt der vielen verschiedenen Ansätze zur Performancesteigerung ist die steigende architektonische Komplexität der CPUs. CPUs bestehen heute aus wesentlich mehr Komponenten als noch vor 20 Jahren. Diese gesteigerte Komplexität führt aber unausweichlich auch zu einer höheren Fehleranfälligkeit. So wurden Fehler bereits 1994 in den ersten Intel Pentium Prozessoren gefunden (FDIV- und F00F-Bugs).

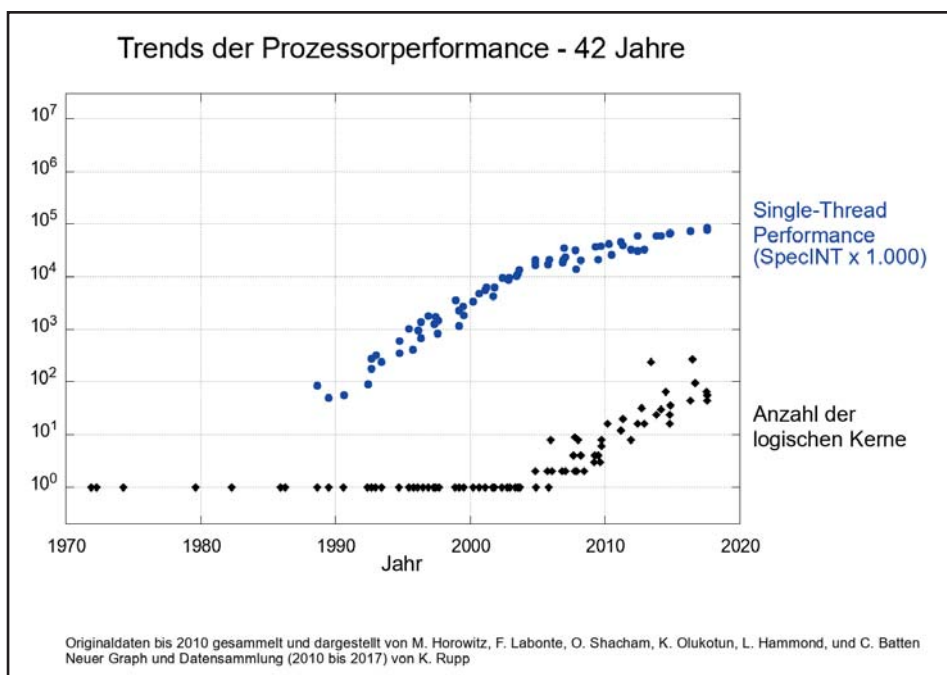


Abbildung 1: Prozessorleistung seit 1970; Quelle der Daten: [1], unter Lizenz „Creative Commons Attribution 4.0 International Public License“

Im Januar hat das Bekanntwerden der Sicherheitslücken „Spectre“ und „Meltdown“ für großes Aufsehen gesorgt und uns allen schmerzlich klargemacht, welche Konsequenzen ein Fehler in modernen Prozessorarchitekturen haben kann. Das grundlegende Problem betrifft nicht einen einzelnen Hersteller oder ein einzelnes Produkt, sondern einen Kernbestandteil moderner CPUs, ob in Desktop-Systemen, Servern, Netzwerkkomponenten, Tablets oder Smartphones.

Auf der anderen Seite bemühen sich die Prozessorhersteller darum, zusätzliche Funktionen in ihre Prozessoren einzubauen, um die Nutzung auch in wenig vertrauenswürdigen Umgebungen wie der Cloud abzusichern.

Dieser Artikel beschäftigt sich mit den beiden Seiten moderner CPU-Architekturen: Probleme durch komplexe Architekturen und integrierte Sicherheitsmaßnahmen sowie den möglichen Interaktionen zwischen beiden Seiten.

Neue Prozessoren braucht das Land – Sicherheitsfeatures und -lücken in modernen Prozessor-Architekturen

1. Grundlagen moderner CPUs

Um zu verstehen, was genau Spectre und Meltdown so gefährlich macht, müssen wir zunächst die Grundlagen aktueller CPUs betrachten. Dieser Abschnitt wird sowohl die allgemein bekannten Grundlagen moderner Prozessorperformance als auch die weniger bekannten betrachten. Insbesondere letztere haben weitreichenden Einfluss auf die Funktionsweise eines Prozessors und bilden die Grundlage für Spectre und Meltdown.

1.1 Die bekannten Performance-Grundlagen – Taktrate und Multi-Core

Die wohl bekanntesten Techniken zur Erhöhung der Performance sind die Taktrate und die Anzahl der CPU-Kerne. Diese sind auch daher so bekannt, da sie in Produktwerbungen und technischen Spezifikationen sehr prominent platziert sind.

Dabei ist gerade die Taktrate ein schon recht lange ausgereizter Bereich. Bereits mit dem Intel Pentium IV von 2004 wurden Taktraten von 4 GHz erreicht, und selbst die am höchsten getakteten heutigen CPUs erreichen nur bis zu 4,5 GHz. Bei höheren Taktraten wird der Energieverbrauch der CPUs bei der momentan eingesetzten Silizium-basierten Technologie zu hoch und die Leistung pro Watt nimmt stark ab.

Als sich abzeichnete, dass eine Erhöhung der Taktrate nicht mehr möglich ist, kam der zweite bekannte Faktor ins Spiel: Es wurden mehrere CPU-Kerne auf einem Sockel betrieben und die Multi-Core-CPU's waren geboren. Die Steigerung der Kernanzahl schreitet bis heute fort und 32-Kern-CPU's sind im Server-Bereich verfügbar. Zwar sind auch hier bei steigender Zahl der Kerne Anpassungen an der Architektur notwendig, speziell um die Kommunikation zwischen Kernen effizienter zu gestalten, aber das Potential ist hier noch nicht ausgeschöpft. So gibt es im Bereich der Forschung und Entwicklung bereits Tests mit mehr als 100 Kernen pro Sockel.

1.2 Die weniger bekannten Funktionen: Fortgeschrittene Funktionsblöcke, Out-of-Order-Execution und Speculative Execution

Die weniger bekannten, aber für moderne CPUs mindestens genauso wichtigen Funktionen betreffen die Architektur jedes einzelnen CPU-Kerns. So gibt es in modernen CPUs diverse Funktionsblöcke, die für Spezialoperationen notwendig sind. Neben den schon lange vorhandenen Blöcken, beispielsweise für Ganzzahl- und Gleitkomma-Operationen, gibt es für einige häufige (Software-)Funktionen mittlerweile eigene Blöcke innerhalb der CPU; darunter fallen beispielsweise:

- Verschlüsselungsoperationen, z. B. für Festplattenverschlüsselung
- Vektoroperationen, die identische Operationen auf mehrere Datensätze gleichzeitig anwenden können
- Speichercontroller, die den Zugriff auf den RAM beschleunigen

Ebenso befindet sich heutzutage die Anbindung an externe Anschlüsse, wie PCI Express, Ethernet oder USB direkt in der CPU.

Ein schon in den 1980er Jahren absehbares Problem war, dass die Prozessorperformance viel schneller wuchs als die Geschwindigkeit des angebotenen Arbeitsspeichers. So steht dem Performance-Gewinn der CPUs um einen Faktor 100.000 eine Geschwindigkeitserhöhung des Arbeitsspeichers um einen Faktor 10 entgegen. Ohne Tricks würde eine CPU bei Operationen mit Speicherzugriff also mehr als 99% der Zeit darauf warten, Daten aus dem Arbeitsspeicher zu laden.

Hierzu wurden und werden immer größere Caches in die CPUs eingebaut, die einen Teil der geladenen Daten aus dem Arbeitsspeicher vorhalten. Diese verfügen über verschiedene Größen und Geschwindigkeiten, wobei schnellerer Cache aufgrund der höheren Kosten kleiner ausfällt als langsamer Cache.

Ein weiterer Performance-Gewinn ist möglich, indem die CPU-Instruktionen nicht in der vorgegebenen Reihenfolge abgearbeitet werden, sondern so, dass möglichst keine Taktzyklen verschwendet werden und alle Funktionsblöcke ausgelastet werden. Dabei muss aber sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der Instruktionen auch in veränderter Reihenfolge identisch sind. Auch muss der ursprüngliche Zustand vor der Ausführung wiederhergestellt werden, falls ein Fehler (sog. Exception) auftritt. Hierzu wurde bereits Mitte der 1990er Jahre die „Out-of-Order Execution“ eingeführt. Das Prinzip ist in Abbildung 2 dargestellt. Es können in die



Abbildung 2: Funktionsprinzip "Out-of-Order-Execution" und "Speculative Execution"