



*Future Ready*  
**HOCHGESCHWINDIGKEITS-  
ELEKTRONIK**

## ELEKTRONIK PRÄGT UNSER LEBEN



Das Angebot an Unterhaltungselektronik ist größer denn je.

Elektronische Systeme und Netzwerke sind eine Grundlage für unsere Unternehmen und begleiten uns ständig in fast allen Bereichen unseres Lebens. Zu Hause sind unsere mobilen Geräte, unsere Fernseher, Spielekonsolen und Musiksysteme mit Elektronik ausgestattet. Elektronik bildet zudem die Grundlage für unsere modernen Haushaltsgeräte, die Beleuchtung, die Heizung und das Internet. All diese vernetzten IoT-Geräte und intelligenten Systeme erhöhen unseren elektronischen Fußabdruck, woraus eine steigende Zahl an Rechenzentren resultiert, die unsere täglichen Anwendungen und Dienste sicherstellen.

Auch auf Reisen – unabhängig davon, welches Verkehrsmittel wir nutzen – spielen Elektronik und vernetzte Systeme eine immer wichtigere Rolle. Innovationen in den Autos von heute werden überwiegend von elektronischen Systemen angetrieben. Laut einer Prognose werden Elektronik und die zugehörigen Systeme bis 2030 50 Prozent der Kosten für ein Auto<sup>1</sup> ausmachen. Der Bedarf an Elektrofahrzeugen und einer nachhaltigeren Erzeugung erneuerbarer Energien werden den Bedarf an elektronischen Systemen in den nächsten zehn Jahren nur noch weiter erhöhen.



Rechenzentren, intelligente Fabriken und Elektronik in anderen Branchen erfordern riesige Mengen an zuverlässigen, leistungsstarken, miteinander verbundenen Geräten.

Insbesondere in der Industrie und in der Fertigung spielt Elektronik eine enorme Rolle und es ist schwer vorstellbar, wie Unternehmen ohne Computer oder Internetverbindung arbeiten sollten. Heutzutage verlassen sich alle Hersteller bei ihrer Produktion und Kommunikation zunehmend auf komplexe elektronische Systeme. Dabei nutzt die Industrie allgemein für die meisten Geschäftsanforderungen On-Premise sowie Cloud-Lösungen.

All diese Anwendungen und Systeme erfordern einen Datenaustausch in Hochgeschwindigkeit, wenn auch in unterschiedlichen Größenordnungen. **Vom Innenleben eines Smartphones, über Funktionen eines Heimnetzwerks oder einer Fabrik bis hin zu einer interkontinentalen Internetverbindung – Datenmenge und Übertragungsgeschwindigkeit nehmen rasch zu.** Und es kommt nicht nur auf die reine Geschwindigkeit an. Auch die Zuverlässigkeit und die inhärente Latenz (Verzögerung) gewinnen eine immer größere Bedeutung.

Die Welt setzt auf Daten, die mit hoher Geschwindigkeit und in großen Mengen übertragen werden. Elektronische Systeme müssen ständig auf dem Laufenden bleiben und sich an diesen Bedarf anpassen.

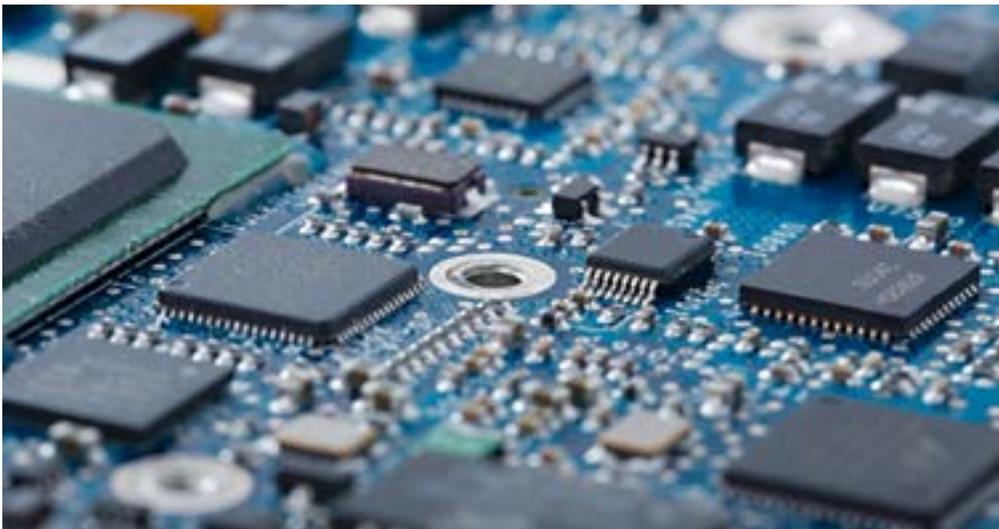
### WAS VERSTEHEN WIR UNTER ELEKTRONIK?

Wir alle haben eine Vorstellung davon, was Elektronik ist – von den Kabeln auf der Rückseite eines Fernsehers bis hin zum minimalistischen, modularen Aufbau eines modernen Smartphones. Wir erwarten vielleicht, dass Halbleiter oder integrierte Schaltkreise beinhaltet sind. Wir wissen, dass Elektronik einer Vielzahl von Funktionen wie Datenverarbeitung, Computing, Steuerung eines Displays, mechanische Steuerung, Verstärkung, Netzwerkkommunikation usw. zugrunde liegt.

Was macht also Elektronik aus und welche Aufgabe haben die verschiedenen Teile?

**Basiskomponenten:** Hierbei handelt es sich um die Bausteine einer funktionsfähigen elektronischen Schaltung. Aktive Komponenten wie Transistoren benötigen eine Stromquelle und bieten eine Schalt- oder Verstärkerfunktion. Passive Bauelemente wie Widerstände, Kondensatoren und Induktivitäten benötigen keine Stromquelle und können Strom nur ableiten oder speichern. Es gibt nur wenige Arten von Basiskomponenten, aber in Kombination und in großer Anzahl können sie erweiterte analoge (Verstärker) und digitale (Logik) Funktionen übernehmen.

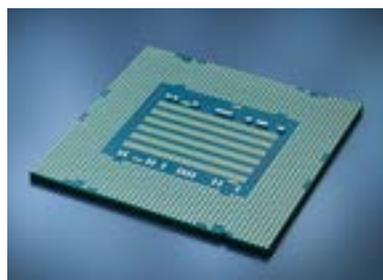
**Leiterplatte:** Hierbei handelt es sich um eine der ersten Innovationen, die eine einfache und wiederholbare Methode zur Montage und Verknüpfung von kleinen Elektronik-Komponenten wie Widerständen und Transistoren bot, womit eine elektronische Schaltung erstellt werden konnte. Die Metallverbindungen (oder Leiterbahnen) sind auf der Platine eingätzt und die Komponenten werden durch Bohrungen in der Platine montiert und auf die Blöcke gelötet, die mit den Leiterbahnen verbunden sind. Anschlüsse am Leiterplattenrand ermöglichen Verbindungen zum Rest des Systems.



Die zunehmende Dichte und die steigende Datenrate moderner Leiterplatten erfordern eine sorgfältige Kontrolle von Interferenz und Signalrauschen.

Leiterplatten unterstützen heutzutage mehrpolige integrierte Schaltungen. Die Verlegung über die Leiterplatte hinweg kann extrem komplex sein und erfordert oft mehrere Schichten und Durchkontaktierungen, um die erforderlichen Verbindungen zu ermöglichen. Signale und Stromverteilung können verschlungene Pfade über die Platine zurücklegen, um dorthin zu gelangen, wo sie benötigt werden. Die End-to-End-Signal- und Stromversorgungskanäle des Systems können noch komplexer sein, während sie durch Hauptplatinen und Tochterplatinen sowie über verschiedene Arten von Verbindungen führen.

**Halbleiter:** Halbleiter sind das Herzstück moderner Elektronik und erfüllen die Verarbeitungs-, Logik- und Speicherfunktionen, die moderne Anwendungen erfordern. Der Prozessorkern (oder Chip) wird aus einem Silizium-Wafer aufgebaut, um stark miniaturisierte Versionen der oben genannten Basiskomponenten zu erstellen. Ein moderner Prozessorkern besteht aus Milliarden von Transistoren und Komponenten im Nanometerbereich. Der Chip ist in ein Gehäuse



Ein Großteil eines Chipgehäuses wird an Hunderte von Pins und ein komplexes Netz von Drähten angeschlossen, die den Siliziumschaltkreis im Nanobereich mit dem Rest des Geräts verbinden.

eingeklebt und mit Kunststoff ummantelt, und das ist der typische flache schwarze Chip, den wir kennen. In jüngerer Zeit beginnen Halbleiter, die dritte Dimension zu nutzen, indem Chips vertikal in einem einzigen Gehäuse gestapelt werden. Das ermöglicht eine noch höhere Leistung und die Integration ehemaliger Peripheriefunktionen wie Speicherung und Grafikverarbeitung.

## WAS MEINEN WIR MIT HOCHGESCHWINDIGKEIT?

Beginnen wir mit einem Vergleich von analoger und digitaler Elektronik.

Bei der analogen Elektronik haben wir es mit einem schwankenden Signalpegel zu tun und sprechen oft von einer Betriebsfrequenz. Analoge Elektronik kommt beispielsweise in einem Signalverstärker oder RFIC (integrierter Schaltkreis für die Funkdatenübertragung) im Frontend eines Smartphones zum Einsatz.

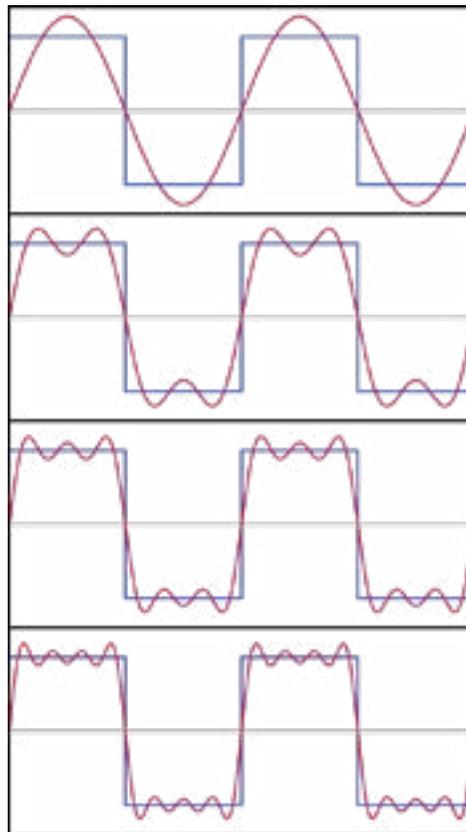
Bei der digitalen Elektronik handelt es sich um diskrete Ein- oder Aus-Zustände, Einsen oder Nullen, wie sie in einem Computer oder dem Backend-System eines Smartphones verwendet werden. Digitale Elektronik ist einfach eine diskrete 2-stufige Form der analogen Elektronik, hat aber viele Vorteile in Bezug auf Rauschunterdrückung, logische Operationen, Sicherheit, Übertragung und Codierung. Denn selbst dann, wenn das Signal teilweise beeinträchtigt ist, kann man immer noch den Unterschied zwischen einer 0 und einer 1 erkennen. Analoge Funksignale werden als drahtloses Trägersystem für digitale Informationen für Systeme wie WLAN oder moderne Mobilfunkgeräte verwendet.

Da es sich bei digitalen Signalen im Kern um analoge Signale handelt, haben sie einen Ein- und einen Aus-Zustand und, was besonders wichtig ist, eine Anstiegs- und Abfallzeit zwischen diesen beiden Zuständen. Je schneller wir Daten übertragen möchten, desto kürzer müssen die Anstiegs- und Abfallzeit sein. Bei der Fourier-Serie bestehen diese Übergänge aus einer Reihe diskreter analoger Frequenzen und je kürzer die Anstiegszeit, desto höher sind die erforderlichen Frequenzen. Eine kabelgebundene Ethernet-Datenübertragung mit 10 Gbit/s umfasst beispielsweise Frequenzen bis zu 25 GHz, wenn wir die Anstiegszeit überwinden und das digitale Signal intakt halten möchten. Dies bedeutet, dass der Verbindungs- oder Datenkanal eine große Bandbreite unterstützen und übertragen muss, die sich auf diese Frequenz erstreckt.

Hochgeschwindigkeits-Elektronik oder Elektronik für hohe Datenraten ist also de facto Breitband-Hochfrequenz-Elektronik. Diese hohen Frequenzen können zahlreiche Herausforderungen in puncto Design verursachen. Die gute Nachricht ist jedoch, dass Sie Hochfrequenz-Elektromagnetik simulieren und dadurch bereits im frühen Entwurfsprozess Lösungen finden können.

## STAND DER TECHNIK

Um den Stand der Technik in der Elektronik zu verstehen, können Sie ein modernes Smartphone öffnen oder sich einen Online-Teardown ansehen. Sie werden wenige bis gar keine durchkontaktierten Komponenten sehen. Was Sie sehen werden sind dicht bestückte Leiterplatten mit sauber montierten Halbleitergehäusen, SMD-Chipwiderständen und Kondensatoren, die eine Vielzahl von Funktionen bieten. Möglicherweise sehen Sie ein flexibles Kabel, das den Bildschirm oder Peripheriekomponenten wie Kamera, Antennen und Akku verbindet. Obwohl dies wie eine Übung zur Systemintegration aussehen kann, sind viele der Herausforderungen bei der Entwicklung eines solchen Geräts auf die hohe Packungsdichte, die hohen Datenraten und den Platzmangel zurückzuführen. Diese Kombination kann nämlich zu Interferenzen, thermischen Problemen und zu Schwierigkeiten bei der effektiven Übertragung von Strom sowie von Daten in Hochgeschwindigkeit führen. Wird dies nicht berücksichtigt, können dadurch Betrieb und Benutzerfreundlichkeit beeinträchtigt werden.



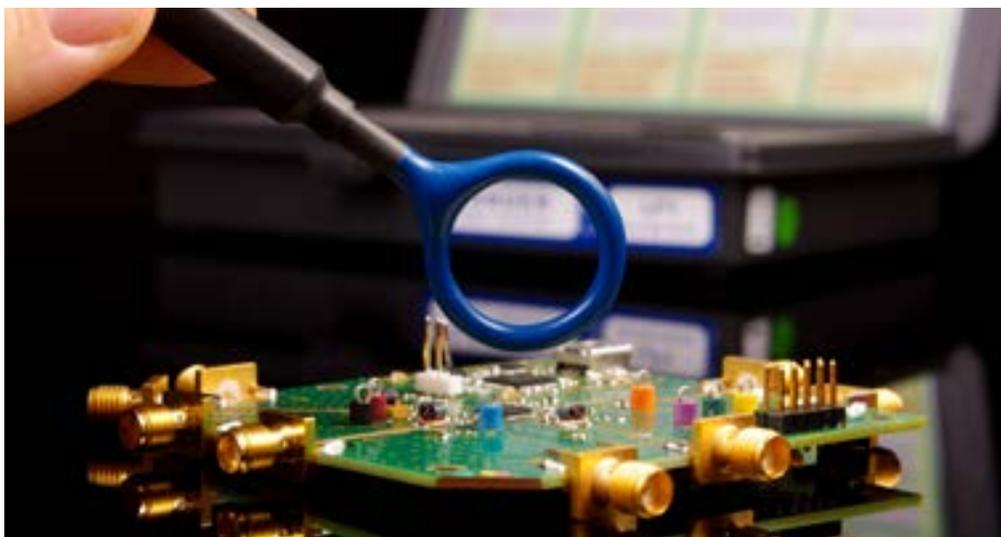
Digitale Impulse in Form einer Rechteckwelle, die durch Hinzufügen von Sinuswellen bei verschiedenen Frequenzen erzeugt werden. Die Einbeziehung höherer Frequenz-Komponenten verkürzt die Anstiegszeit und verbessert Bandbreite und Signalintegrität.<sup>2</sup>

## DESIGN-HERAUSFORDERUNGEN VON HEUTE

Neben komplexen Computer-Aufgaben wie Simulation, maschinellem Lernen oder autonomem Fahren geht es bei den Herausforderungen nur selten um mangelnde Rechenleistung. Die meisten PC- und Smartphone-Besitzer nutzen nur einen kleinen Bruchteil der verfügbaren Prozessorleistung.

Die heutigen Herausforderungen rühren von der frühen Designphase eines elektronischen Systems her, in der sichergestellt werden muss, dass eine langfristige Zuverlässigkeit, Robustheit und Leistungsspezifikationen erfüllt werden. Außerdem müssen die regionalen Compliance-Richtlinien erreicht und Zertifizierungen erfolgreich durchlaufen werden. In den nächsten Abschnitten werfen wir einen Blick auf diese Herausforderungen und bieten eine Lösung an.

## HERAUSFORDERUNG – ELEKTROMAGNETISCHE KOMPATIBILITÄT UND INTERFERENZEN



EMV-Tests zur Erkennung elektromagnetischer Emissionen, die von einer Leiterplatte ausgehen.

Während ein modernes Gerät oft über verschiedene Antennen verfügt, um Daten mit Hochgeschwindigkeit zu übertragen, ist weniger bekannt, dass es unerwünschte elektromagnetische Störungen nach außen und zwischen den Systemen im Inneren abstrahlen kann. Dieses unerwünschte Rauschen kann durch höhere Oberschwingungen oder Intermodulationsprodukte von den beabsichtigten Sendern oder durch Hochgeschwindigkeitsdaten, die durch Leiterbahnen oder flexible Schaltkreise fließen, verursacht werden, die sich aufgrund ihrer Hochfrequenznatur unabsichtlich wie Antennen verhalten.

Externe oder „Strahlungsemissionen“ müssen ausreichend kontrolliert werden, um die lokalen Geo-Anforderungen zu erfüllen. Zudem kann ein Gerät die Zertifizierung nicht bestehen, wenn die Compliance-Vorschriften nicht erfüllt werden.

Interne Systeme können sich auf ähnliche Weise gegenseitig stören (bekannt als „De-sense“), insbesondere dann, wenn sich empfindliche Systeme in unmittelbarer Nähe von Systemen mit höherer Leistung oder von Hochgeschwindigkeits-Systemen befinden. Beispielsweise sind GPS-Antennen aufgrund der geringeren Leistungsaufnahme in der Regel sehr empfindlich. Wenn die Verbindung zu dieser Antenne ohne Abschirmung in der Nähe einer Hochgeschwindigkeits-Datenleitung, z. B. von einer 4K-Kamera, platziert wird, kann das GPS an Empfindlichkeit verlieren und nicht mehr richtig funktionieren.

Letztendlich können Geräte auch anfällig für Störungen von außen sein, die dann die ordnungsgemäße Funktion der Elektronik beeinträchtigen. Dies kann in der Nähe von anderen Geräten oder anderen elektromagnetisch lauten Umgebungen ein Problem darstellen und zu einer schlechten Leistung eines Geräts oder Systems führen. Das elektromagnetische Spektrum wird stark ausgenutzt und es können eine Abschirmung und eine hochwertige Filterung erforderlich sein, um die Unterdrückung dieser externen Störungen zu gewährleisten.

## HERAUSFORDERUNG – SIGNAL- UND NETZINTEGRITÄT

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit der externen Kommunikation nehmen ständig zu. Die Einführung von 5G hat zu einer deutlichen Erhöhung der Anforderungen an die Datenübertragungsgeschwindigkeit geführt. Weiterhin müssen die Daten einen Kanal ohne Beeinträchtigung durchlaufen können, damit sie am empfangenden Ende erkannt werden.

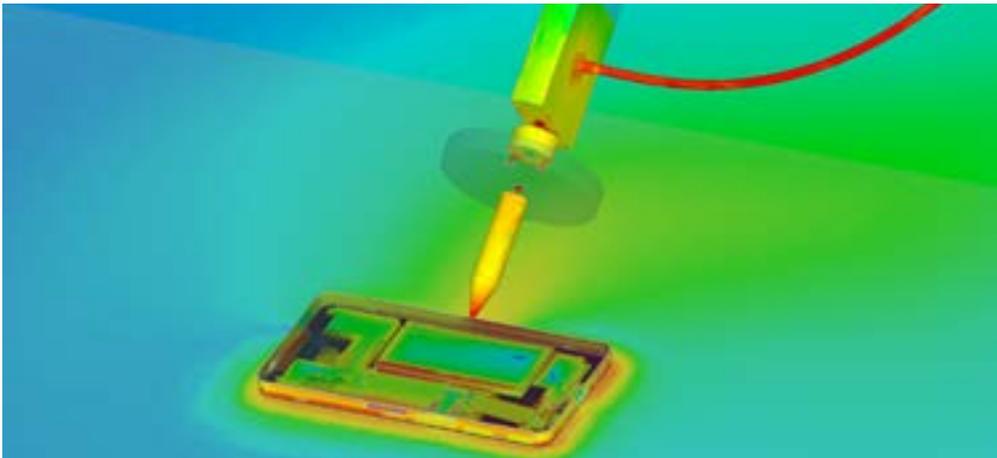
Ein Kanal kann einen Konnektor oder eine Antenne, eine flexible Schaltung, eine oder mehrere Leiterplatten und zugehörige Verbindungen sowie eine integrierte Schaltung umfassen. Innerhalb der Leiterplatte können die Daten horizontal über verschiedene Winkel und vertikal um 90 Grad zwischen den Schichten übertragen werden. Jeder der Übergangspunkte in einem Kanal kann Reflexionen und Strahlung verursachen, wodurch das Signal beeinträchtigt oder verzerrt wird. Der kumulative Effekt kann so stark sein, dass das Signal beim Empfänger nicht mehr erkennbar ist. Je höher die Datenrate des Kanals, desto höher der Frequenzinhalt und desto negativer der potenzielle Effekt. Die Nähe zu anderen Betriebsdatenleitungen oder Stromleitungen kann ebenfalls Auswirkungen haben.

Auch Stromverteilungsnetze (PDNs) müssen so ausgelegt sein, dass Strom mit der richtigen Stärke und zur richtigen Zeit zu den erforderlichen Komponenten geleitet wird. Ein Abfall des Spannungspegels oder ein schlechtes Timing kann zu einer Fehlfunktion führen. PDNs können aufgrund von Schalteffekten an der Stromquelle und am Ziel verrauscht sein. Diese Transienten müssen minimiert werden – oft durch Reduzierung der PDN-Impedanz mit Entkopplungskondensatoren. Die verwendeten Kondensatoren dienen auch als lokale Ladungsreservoirs, die die erforderlichen Spannungspegel auch unter Schaltbedingungen aufrechterhalten. Die Einführung zu vieler separater Komponenten kann jedoch teuer werden, sodass eine Optimierung erforderlich ist.

### **HERAUSFORDERUNG – ELEKTROSTATISCHE ENTLADUNG (ESD)**

ESD ist ein alltägliches Phänomen und wird typischerweise durch eine Kombination aus trockener Luft, einem Nylont Teppich und einem Türgriff verursacht. Ein Mensch lädt sich statisch auf, indem er auf dem Teppich läuft, was eine schnelle Entladung mit einem Funken zur Folge haben kann, wenn der Finger sich einer Türklinke aus Metall nähert. Dies ist im Allgemeinen harmlos, aber Elektronik kann sehr anfällig für diese Art von Hochspannungsentladung sein. Wenn Ihr Telefon beispielsweise in Ihrer Hand liegt, kann es bei der Annäherung an eine Türklinke zu einem Funkenüberschlag kommen.

Elektronikhersteller achten sehr auf diesen Effekt und bauen Schutzmaßnahmen ein, deren Einhaltung sie mit laborüblichen Entladevorrichtungen prüfen. ESD kann mit einem ESD-Generatormodell simuliert werden, sodass die Leistung vor der Fertigung und Konformitätsprüfung bewertet werden kann.



Durch die virtuelle Replikation einer ESD-Prüfung können potenzielle Probleme lange vor der Fertigung eines physischen Prototyps erkannt werden.

### **LÖSUNG – FRÜHE DESIGNPHASE UND SIMULATION**

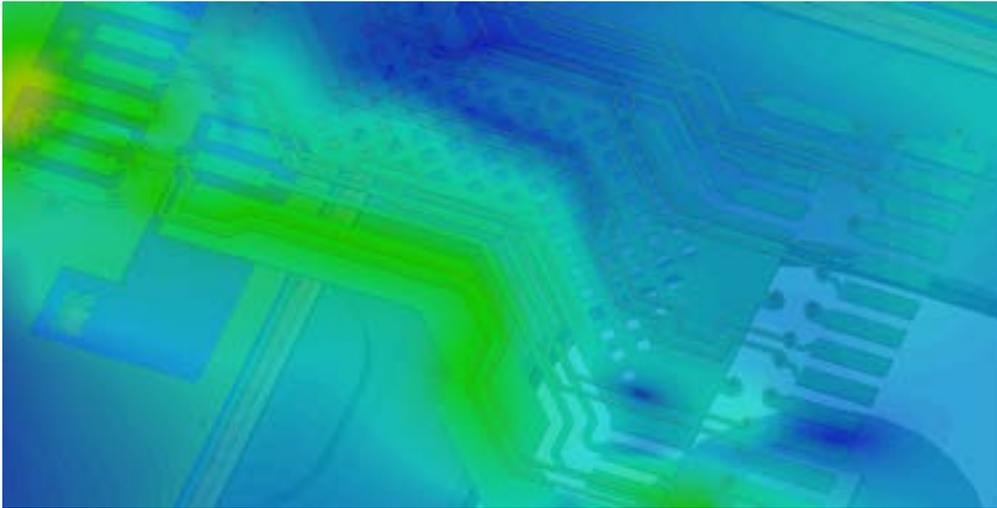
Für die Produktentwicklung kann das Verständnis aller oben erwähnten Effekte erst in der späten Designphase oder gar für ein in der Fertigung befindliches Produkt verheerend sein. Sie sind dann oft nur sehr schwer zu lösen. Selbst wenn das Problem behoben werden kann, können mehr Gewicht, ein höherer Materialeinsatz und höhere Stückkosten die Folge sein.

Glücklicherweise gibt es bereits für frühe Entwicklungsphasen Lösungen mittels der Überprüfung von Design-Regeln und der physikbasierten 2D- und 3D-Simulation. Sie können einen virtuellen Zwilling des elektronischen Geräts dazu nutzen alle oben erwähnten Auswirkungen durch eine Reihe virtueller Tests zu überprüfen. Für jeden virtuellen Test können dabei Kennzahlen erfasst und mit zugrundeliegenden Branchenstandards verglichen werden.

Die Technologie der SIMULIA CST Studio Suite bietet effektive Lösungen für vorbereitende Compliance-Tests in der frühen Phase. Sie wurde über viele Jahre validiert und nutzt die direkte

transiente Simulation, um all diese transienten elektronischen Effekte zu simulieren. Eine fortschrittliche Vor- und Nachbearbeitung wird durch eine unkomplizierte CAD- und ECAD-Integration sowie die KPI-Generierung ermöglicht. Vollständig validierte Generatoren für die Entladung mit und ohne Kontakt stehen für virtuelle ESD-Tests zur Verfügung.

Die vollständige Integration in die **3DEXPERIENCE®** Plattform von Dassault Systèmes ermöglicht ein vollumfängliches Datenmanagement und die Nachverfolgbarkeit von CAD-Daten und -Ergebnissen sowie eine problemlose abteilungsübergreifende Zusammenarbeit.



Die Simulation modelliert und visualisiert den Fluss elektrischer Ströme und Felder durch die Elektronik und hilft Anwendern dabei, Probleme nicht nur zu finden, sondern diese auch zu verstehen und zu lösen.

1 <https://www.statista.com/statistics/277931/automotive-electronics-cost-as-a-share-of-total-car-cost-worldwide/>

2 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourier\\_Series.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourier_Series.svg) (gemeinfrei)

## Die 3DEXPERIENCE® Plattform bildet die Grundlage für unsere Markenapplikationen, die in zwölf Branchen verwendet werden und ein breites Spektrum an Industry Solution Experiences bieten.

Dassault Systèmes versteht sich als Impulsgeber für menschlichen Fortschritt. Wir stellen Unternehmen und Menschen virtuelle Arbeitsumgebungen für eine gemeinsame Entwicklung nachhaltiger Innovationen bereit. Mit der 3DEXPERIENCE Plattform und ihren Anwendungen erstellen unsere Kunden virtuelle Zwillinge der realen Welt, um die Gestaltung, die Fertigung und das Lebenszyklusmanagement ihres Angebots neu zu definieren und so einen bedeutenden Beitrag zu einer nachhaltigeren Welt zu leisten. In der Experience Economy steht der Mensch im Mittelpunkt, was allen zugutekommt - sei es im Bereich der Lösungen für Verbraucher, Patienten oder Bürger.

Mehr als 300.000 Kunden aller Größen und Branchen in über 150 Ländern setzen auf die innovativen Produkte und Dienstleistungen von Dassault Systèmes. Weitere Informationen **finden Sie unter [www.3ds.com/de](http://www.3ds.com/de)**.



**3DEXPERIENCE®**



### Europa/Naher Osten/Afrika

Dassault Systèmes  
10, rue Marcel Dassault  
CS 40501  
78946 Vélizy-Villacoublay Cedex  
Frankreich

### Nord-, Mittel- und Südamerika

Dassault Systèmes  
175 Wyman Street  
Waltham, Massachusetts  
02451-1223  
USA

### Asien-Pazifik-Raum

Dassault Systèmes  
17F, Foxconn Building,  
No. 1366, Lujiazui Ring Road  
Pilot Free Trade Zone,  
Shanghai 200120  
China