



Private Netzwerke für die Fertigung

Bewährte Methoden der Entwicklung privater Netzwerke für den
Innen- und Außenbereich.

Ein E-Book von Disruptive Analysis für Führungskräfte.

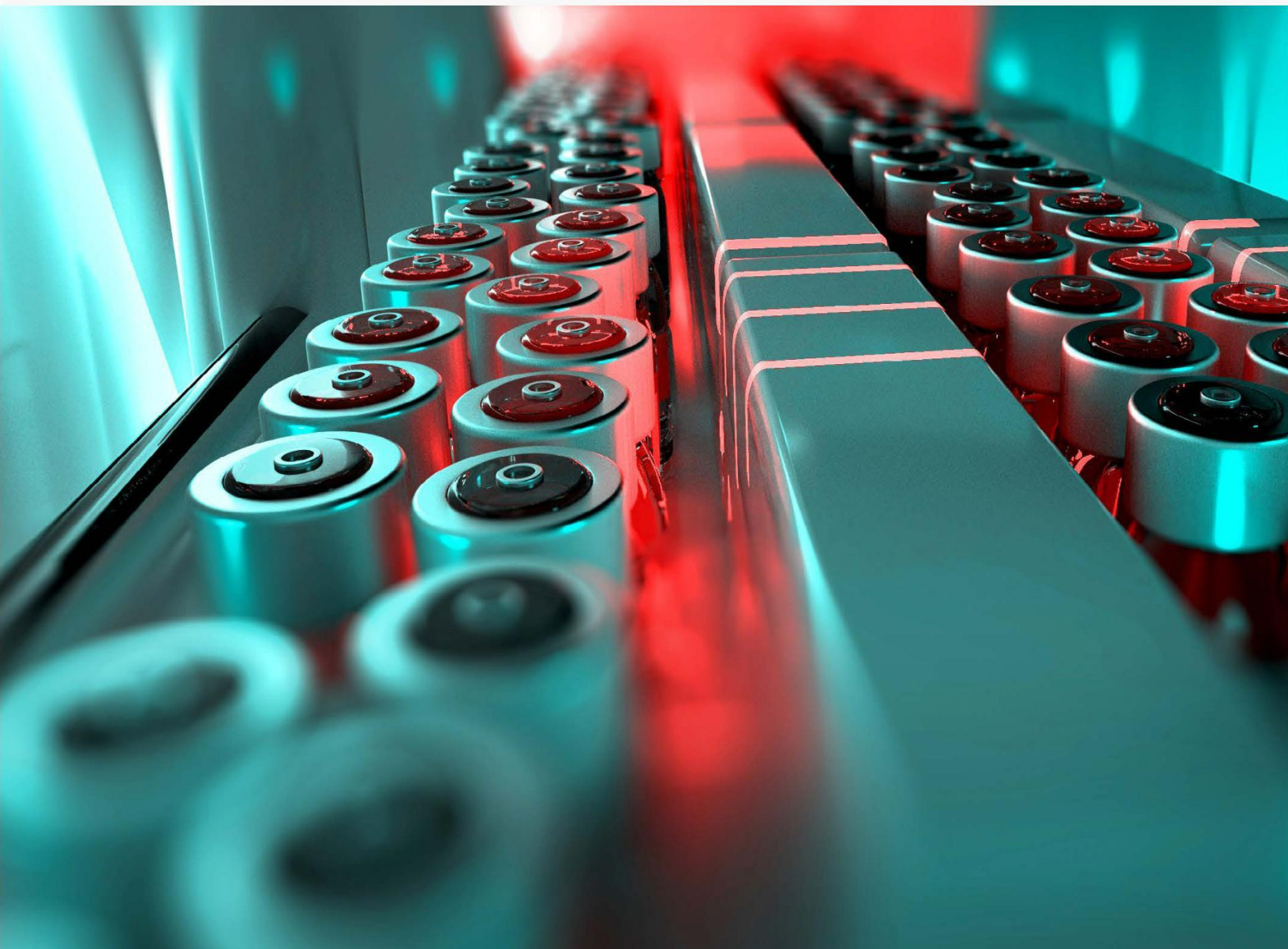


Disruptive Analysis



Inhalt

Überblick	3
Definition des Fertigungssektors.....	4
Zentrale Herausforderungen und Markttreiber.....	5
4G/5G-Anwendungsfälle in der Fertigung.....	8
Warum setzt man private Netzwerke ein?.....	14
Frequenz-Optionen und Trends.....	16
Fazit und langfristige Perspektiven	19



Übersicht

Der Fertigungssektor zählt zu den vielversprechendsten Branchen für die aufkommenden privaten LTE- und 5G-Netzwerke und für verwandte Technologien wie Edge Computing oder die neuen WiFi-Versionen 6E/7.

In diesem Bereich tätige Unternehmen nutzen Anwendungen mit extrem hohen Anforderungen an die drahtlose Vernetzung, was die Bandbreite, die voraussehbare Latenz, die Sicherheit und die verfügbare Betriebszeit angeht. Klar definierte Standorte und eine wachsende Zahl an Zulieferern: Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes werden zur Hauptzielgruppe von Anbietern privater Netzwerke und von Lösungsintegratoren.

Einige Teilsektoren, etwa große und hoch automatisierte Fahrzeug- oder Elektronikfabriken, scheinen am weitesten fortgeschritten zu sein. Bei Anlagen mit kontinuierlichen Prozessen, etwa in der Zement- und Stahlproduktion, ist die Verbreitung bislang geringer, aber sie haben mittelfristig großes Potenzial. Kleinere Betriebe oder Handwerksbetriebe werden vermutlich zurückbleiben. Anders als viele andere Branchen haben manche Fertigungsunternehmen schon lange eine gut ausgebaute Netzwerkinfrastruktur, oft integriert mit IoT- und Automationssystemen („BT“ oder „Betriebstechnologie“), und konventionellere Bedürfnisse bei IT und Telekommunikation. In der Vergangenheit waren Spezialtechnologien wie Industrial Ethernet und vielfältige Nischensysteme oder firmeneigene drahtlose Systeme weit verbreitet.

Andere Fertigungsunternehmen hingegen sind noch immer recht „analog“, haben manuelle Abläufe und nicht verbundene Systeme. Diese Unternehmen sind „im Wandel begriffen“, wobei der Fortschritt je nach Land und Sektor sehr unterschiedlich ist.

Strategische Schwerpunktbereiche sind die Verbesserung der Produktivität, der Leistung, der Flexibilität und der Qualität. All das erfordert bessere Daten, Entscheidungen und automatische Maßnahmen, die in einem geschlossenen Kreislauf und häufig in Echtzeit stattfinden. Im Wesentlichen findet eine Art Annäherung statt:

- Drahtlose Netzwerke werden auf Standardtechnologien umgestellt, vor allem auf Mobilfunk (4G und 5G). Diese werden durch Änderungen der Spektren und der Geräteverfügbarkeit über traditionelle MNO hinaus „demokratisiert“. Immer mehr Unternehmen, z. B. Fertigungsbetriebe, können und wollen eigene private Netze aufbauen oder bei Spezialisten in Auftrag geben.
- Fertigungsanlagen werden zunehmend vernetzt, mit Daten gesteuert und in breiten Lieferketten miteinander verbunden. Eine ganze Reihe von Programmen für den industriellen Wandel und allgemeine gesellschaftliche Trends verstärken den Bedarf an mehr und besserer Vernetzung.

So entsteht eine perfekte Übereinstimmung zwischen dem Angebot an und der Nachfrage nach privaten Mobilfunknetzen für OT, allgemeines IoT und betriebliche Anforderungen. Dieses E-Book beschreibt die wichtigsten Anwendungsfälle, Einsatzszenarien und Wege zum privaten 4G und 5G in Fabriken und ähnlichen Industriebetrieben. In diesem Bericht geht es vorrangig um die funktechnischen Aspekte von privatem 4G/5G, doch es ist wichtig zu beachten, dass sich parallel hierzu das größere Ökosystem (von den Kernnetzen über Edge Computing bis hin zu Planungs-, Entwurfs- und Testsystemen) und ein riesiges System von Systemintegratoren und vertikalen Spezialisten entwickeln. Im Fertigungssektor arbeiten Organisationen wie die 5G-ACIA (Alliance for Connected Industries and Automation) an bewährten Verfahren und einer standardisierten Terminologie.



Definition des Fertigungssektors

Dieser Bericht behandelt zahlreiche Teilsektoren und Standorttypen im Fertigungssektor. Diese haben zwar viele gemeinsame Merkmale und Markttreiber, vor allem ihre Einbeziehung in die Vision einer Industrie 4.0, aber auch deutliche Unterschiede hinsichtlich der Größe und Gestaltung des Standorts, der Maschinen und Anwendungsplattformen, der Regulierungsaufsicht und des technologischen Konservatismus.



Disruptive Analysis

Don't Assume

Viele Bereiche des Fertigungssektors



AUTOBAUER



FLUGZEUG-
PRODUKTION



ELEKTRONIK /
HALBLEITER



STAHL / METALL



BETON / ZEMENT



LEBENSMITTEL/
GETRÄNKE



CHEMIKALIEN



KLEIN /
MITTELGROSS

März 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

Die wichtigsten in diesem E-Book behandelten Bereiche:

- **Diskrete Fertigung:** Die Produktion einzelner Gegenstände, zum Beispiel von Autos und anderen Fahrzeugen, von Technologie-Hardware, Werkzeugen und Maschinen, Möbeln, elektrischen und elektronischen Geräten und zahlreichen anderen Gütern.
- **Prozessfertigung:** Anlagen, die kontinuierliche Produktströme erzeugen, z. B. Chemikalien, Düngemittel, Zement, Metall, Plastik, Beschichtungen, einige Lebensmittel- und Getränkesektoren.
- **Nebenleistungen für die Fertigung:** Z. B. Produktdesign, Spezialsoftware, Anlagenbau und -wartung.

Logistik, Transport und Lagerwesen sind in der Lieferkette des Fertigungssektors zwar sehr wichtig, werden jedoch in einem separaten E-Book behandelt.

Vereinfacht gesagt: Für Prozessindustrien sind oft große Anlagen erforderlich, die häufig im Dauerbetrieb und vielleicht mit Gefahrstoffen wie entzündlichen Flüssigkeiten oder unter Druck stehenden Gasen laufen. Diskrete Fertigung findet in unterschiedlichen Größenordnungen statt – von kleinen, individuellen Handwerksbetrieben bis zu den größten Automobil- oder Halbleiterfabriken.

Wichtig zu beachten ist, dass in großen Fabriken und Fertigungsanlagen viele Arten von Maschinen und Geräten zu vernetzen sind – von Schweißmaschinen und Industrieöfen über Hallenkräne bis hin zu mobilen Robotern und Fließbandsystemen. Manche sind beweglich, andere sind statisch. Einige sind alte (veraltete) Geräte mit

nicht dem Standard entsprechenden Schnittstellen und minimalen eingebauten Rechen- und Datenfunktionen, andere sind brandneue Geräte mit KI und der Möglichkeit von Cloud- oder Edgesteuerung. In vielen Fällen haben die „Maschinen“ mehrere interne vernetzte Elemente, z. B. Kameras, Sensoren und Steuergeräte, und können extern mit anderen Maschinen oder mit externen IT-Systemen verbunden werden.

Mit anderen Worten: Der Fertigungssektor ist sehr heterogen. Zwar könnte eine neue Fabrik für Elektrofahrzeuge oder eine Halbleiterfabrik von Grund auf als „Greenfield“-Projekt gebaut werden, doch das ist eher die Ausnahme als die Regel. Viele Vernetzungsprojekte werden in vorhandenen Gebäuden durchgeführt, beispielsweise indem man eine neue Maschine oder einen neuen Prozess hinzufügt oder vorhandene Maschinen mit Sensoren und Analysesystemen nachrüstet.

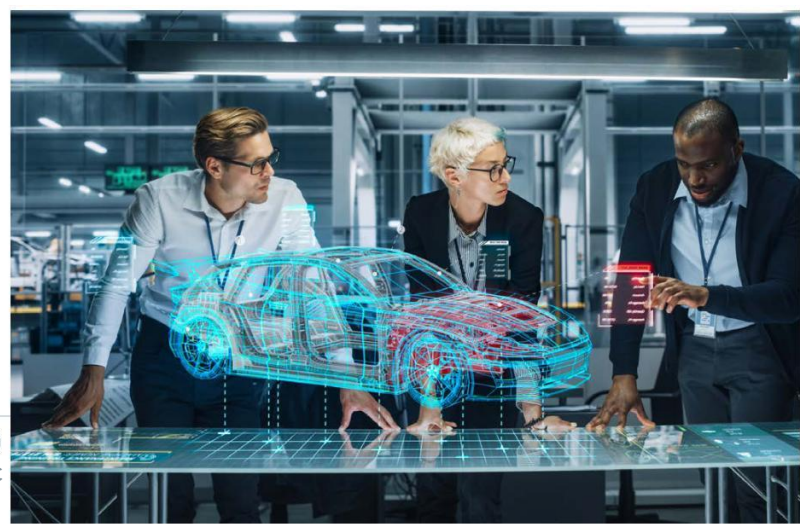
Zentrale Herausforderungen und Markttreiber

Die Nachfrage nach privaten Netzwerken für den Fertigungssektor speist sich letztlich aus einer Reihe von wichtigen Veränderungen auf nationaler und internationaler Ebene. Vereinfacht gesagt, entsteht hierdurch ein höherer Bedarf an Vernetzung, Kontrolle und Informationsfluss, der dann zu mehr 4G- und 5G-Netzen, WLAN-Netzen, Fasernetzen und Großraumnetzen führt.

Hinweis: „Industrie 4.0“ ist ein beliebter Oberbegriff für viele vernetzte, informationsgesteuerte Veränderungen im verarbeitenden Gewerbe und in anderen Industriezweigen. Manchmal spricht man auch von „Digitalisierung“. Gemeint sind ein flächendeckender Trend zur Automatisierung und zur Verknüpfung von IT mit OT („Betriebstechnologie“) sowie die immer bedeutendere Rolle von vernetzten Geräten und Sensoren (IoT, das Internet der Dinge).

Einige der wichtigsten „Megatrends“ im Fertigungssektor:

- **Automatisierung und Robotik:** Wie in diesem E-Book erwähnt, werden Fertigungsanlagen zunehmend automatisiert. Automatische Fertigungsstraßen und Roboter sind zwar nichts Neues, werden jedoch rasch verbessert und bekommen neue Fähigkeiten, z. B. additive Fertigung (3D-Druck), fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) oder Videokontrollsysteme, die Mängel erkennen und den Ertrag verbessern können.
- **Neue Produkte:** Es entstehen neue Fertigungsanlagen für neue Industrieprodukte. Ein gutes Beispiel ist die zunehmende Zahl von „Gigafabriken“ für Elektrofahrzeuge und deren Akkus oder von Anlagen zur Herstellung von Photovoltaik-Solarzellen und Windturbinen. Andere Anlagen werden nachgerüstet – etwa in den verschiedenen Branchen, die sich während der Pandemie auf die Produktion von PSA verlegt haben. Deshalb werden künftig flexible und rekonfigurierbare Anlagen benötigt.



- **Softwarebetriebene Produkte:** Ein weiterer Trend im Fertigungssektor ist die Verschmelzung physischer Produkte mit Software- oder Cloudmanagement und -Steuerung. Fahrzeuge sind stark von ihren integrierten Computern und Displays abhängig – und von der Fähigkeit, Updates herunterzuladen. Immer mehr Industrieprodukte, von Verbrauchergeräten bis zu Flugzeugen, werden mit Software betrieben sein. Sie müssen getestet, aktualisiert und konfiguriert werden, und zwar vor der Auslieferung aus der Fabrik und vor Ort dann erneut.
- **Bessere Mitarbeitersicherheit und Produktivität:** Die Toleranz bei Industrieunfällen ist heute viel geringer als früher. Anlagenbetreiber versuche, durch Automatisierung und bessere Information die Produktivität und Sicherheit ihrer Mitarbeiter verbessern. Sicherheit hat viele Facetten – von der richtigen Bedienung der Maschinen und Werkzeuge über schnelles Handeln bei Zwischenfällen bis hin zur verbesserten Dokumentation und Schulung. Verlässliche Kommunikation zwischen den Mitarbeitern, vor allem in gefährlichen Bereichen des Betriebs, ist unerlässlich – über



die Stimme, aber auch zunehmend über Videokommunikation und Unternehmensanwendungen.

- **Klimawandel und Entkarbonisierung:** Im nächsten Jahrzehnt werden viele Unternehmen des Fertigungssektors einen tiefgreifenden Wandel erleben, weil die Erde sich beim CO₂-Ausstoß in Richtung Netto-Null bewegt. Alte Anlagen werden schließen, neue werden gebaut und etliche neue Ansätze werden die industriellen Abläufe verändern. Branchen wie die Zement-, Stahl-, Düngemittel- und Aluminiumproduktion brauchen massive Veränderungen, da sie stark von fossilen Brennstoffen abhängig sind. Jede neue Anlage (und viele alte Systeme) braucht eine stärkere Vernetzung für die Messung des Energieverbrauchs, die Steuerung, die Datenerfassung und die Berichterstattung.
- **Geopolitik, Reshoring und robuste Lieferketten:** Aktuelle Ereignisse wie der Handelskrieg zwischen den USA und China, die Corona-Pandemie und der Ukrainekrieg haben gezeigt, wie anfällig die weltweiten Lieferketten gegen äußere Einflüsse und Importzölle sind. In den nächsten Jahren werden viele Länder mehr Möglichkeiten für die Fertigung von Produkten im Inland oder in der Region schaffen – von Halbleitern bis zu medizinischen Gütern.
- **Cybersicherheit:** Die Anforderungen an die Sicherheit werden vielschichtig und komplex. Alte IT- und Betriebssysteme werden verstärkt oder entfernt, wenn sie Schwächen haben. Netzwerke brauchen mehr Resilienz und Redundanz. Drahtlosnetze können als Reserve dienen, wenn Fasernetze oder andere Verbindungen ausfallen.
- **Daten und Analytik:** Fertigungsunternehmen bauen ihre alten, analogen Anlagen und Geräte in schnellem Tempo um. Besser vernetzte Anlagen, IoT-Sensoren und Videoeingabe können Anlagenwirtschaft, Fehlermanagement und -diagnose und die Wartung verbessern. Die Datenerfassung wird „kaskadenartig“ an fabrik- oder betriebsweite Dashboards übermittelt, damit die Manager den Gesamtbetrieb überwachen und Fehler oder Lieferkettenprobleme in Echtzeit beheben können.
- **Neue Geschäftsmodelle:** Fertigungsunternehmen suchen nach neuen Ertragsquellen, um die Kosten für die Modernisierung ihrer Infrastruktur auszugleichen. Viele potenzielle neue Unternehmen werden netzwerkbasierend arbeiten oder sich sogar auf die Entwicklung „halbprivater Netzwerke“ mit externen Kunden stützen.
- **Vorausschauende Wartung und Anlagenwirtschaft:** Die Kosten für den Ausfall einer Maschine oder einer ganzen Fertigungsanlage können gewaltig sein. Vernetzte Informationen und Sensoren bieten eine riesige Chance für eine „vorausschauende Wartung“, also die Behebung von Problemen, bevor diese kritisch werden, oder für die Planung einer regelmäßigen Wartung nach Bedarf statt nach einem allgemeinen Zeitplan. So können beispielsweise Vibrations- und Temperatursensoren frühzeitig vor Problemen warnen, wenn ungewöhnliche Werte gemessen werden.

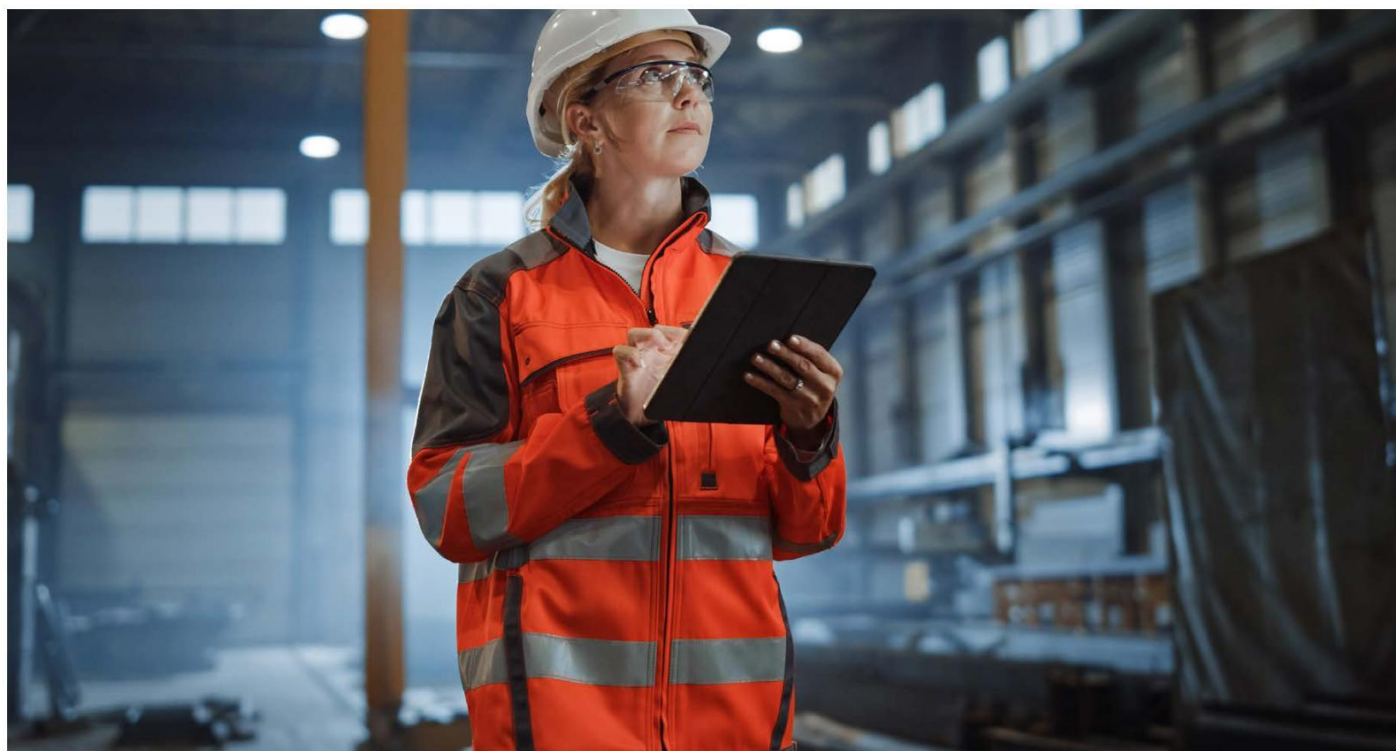
Nimmt man diese allgemeinen Faktoren und die länderspezifischen Faktoren zusammen, so ergibt sich, dass Netzwerke die folgenden Eigenschaften haben müssen:

- Hohe Kapazität, geringe Latenz – idealerweise mit vorhersehbarer („deterministischer“) Latenz bei Maschinen mit zeitkritischem Kommunikationserfordernis
- Nach Möglichkeit drahtlos (z. B. FTF) und mit größerer Flexibilität bei der Auslegung der Anlage im Vergleich zur Verlegung von Faserkabeln an bestimmten Stellen oder Maschinen
- Möglichst standardisiert, mit vielfältiger Lieferkette und breit gefächerten Fähigkeiten
- Fähigkeit zur Interoperabilität auf Netzebene und auch bezüglich der Protokolle für den Austausch von Nachrichten zwischen verschiedenen Industriesystemen, oft mit Einschränkungen wegen Veraltung
- Überall verfügbar, entweder als Dienst oder in Privatbesitz
- Sicher und resilient
- Sowohl für große Fertigungsunternehmen als auch für kleinere Zulieferer und Partner geeignet – und sogar für Verbraucher und „Prosumer“
- Geringere (oder zumindest vorhersagbare) Kosten pro Standort oder pro Gerät.

Es besteht auch Bedarf an neuen Netzwerksystemen (z. B. 5G oder WiFi 6/6E) für die Integration mit veralteten Konnektivitätstypen für die Integration mit veralteten Verbindungsarten. Dies umfasst viele verschiedene Arten von Netzwerken (kabelgebundene ebenso wie kabellose). Die Bezeichnungen vieler Verkabelungsarten und Kommunikationsprotokolle sind den Nutzern von Standard-WLAN oder herkömmlichen Fasernetzen unbekannt – z. B. ModBus und Profinet-Netze für Industriesysteme oder die Nachrichtenprotokolle MQTT und OPC UA. IP-basierte Netze sind keineswegs überall vorhanden. Außerdem gibt es viele Überlegungen und Vorschriften bezüglich der elektrischen Abschirmung, der Sicherheit usw. – man denke z. B. an mögliche Funkstörungen durch Schweißmaschinen oder Metallpartikel in der Luft.

Das bedeutet: Die Einführung neuer drahtloser Technologien wie 5G und WiFi 6E braucht Zeit – vor allem, weil diese Technologien selbst noch in der Entwicklung sind. Viele der „Industrie 4.0“-Merkmale von 5G werden erst in der Zukunft zur Verfügung stehen – mit den späteren 3GPP-Versionen 16, 17 und 18. Somit müssen oft mehrere Technologien kombiniert werden, was eine Vielzahl von Integrations- oder Gateway-Methoden erforderlich macht.

(Außerdem – doch dies würde den Rahmen dieses Dokuments sprengen – gibt es umfassende Veränderungen bei der Verwaltung und Steuerung von Netzwerken, auch von Cloud- und Edge-basierten Kernnetzen und Betriebssystemen.)



4G/5G-Anwendungsfälle

Aus der Branchenstruktur und den oben genannten Veränderungen ergeben sich für diesen Bericht zwei Fragen:

- Für welche Anwendungsfälle eignen sich 4G- und 5G-Funknetze?
- Wann ist ein privates 4G/5G-Netzwerk besser geeignet als ein öffentliches Mobilfunknetz?
[Hinweis: Manche Betreiber bieten ihren Firmenkunden jetzt komplett private Netzwerke an.]

In diesem Abschnitt zeigen wir einige Anwendungsfälle im Fertigungssektor, die an Bedeutung gewinnen und von Mobilfunknetzen profitieren können – vor allem Autobauer, Elektronik- und Chemieproduzenten, die derzeit wahrscheinlich die größten Kunden für privates 4G/5G sind.

Es gibt vermutlich hunderte Anwendungen und einige – etwa die allgemeine Büro-IT – wurden aus Platzmangel weggelassen. Die folgenden Anwendungen sind jedoch typisch für die Bestrebungen vieler Unternehmen in diesen Sektoren.

Arbeitsschutzsysteme

Eine zentrale Anwendung für private Netzwerke in Fabriken und anderen Industrieanlagen ist die Verbesserung der Sicherheit für die Mitarbeiter. Es gibt hier eine ganze Reihe von Elementen, für die eine gute Vernetzung erforderlich ist:

- Verlässliche, drahtlos vernetzte Notstopknöpfe, mit denen automatische Systeme angehalten werden können, wenn ein Mitarbeiter gefährdet ist.
- Videokameras und -analyse zur Einhaltung der Sicherheitsvorschriften (z. B. das Tragen von Schutzhelmen) oder zum aktiven Beobachten von Gefahrensituationen wie z. B. Lecks oder Rauchbildung.
- Näherungswarnsysteme und virtuelle Zäune, die Roboter oder Fahrzeuge auf Abstand von den Mitarbeitern halten.
- Echtzeitüberwachung der Gesundheit der Mitarbeiter (Herzfrequenz, Sturzerkennung usw.), vor allem in den gefährlichsten Bereichen einer Anlage oder für allein Arbeitende.

Je nach Anlage können werden diese Funktionen innerhalb oder auch außerhalb von Gebäuden benötigt, sogar unterirdisch oder in großen Anlagen, z. B. in Lagertanks.

Private 4G/5G-Netzwerke bieten verlässliche Konnektivität mit individuell angepasster Abdeckung und garantierter Verfügbarkeit – Eigenschaften, die man mit öffentlichen Netzen schwerlich bekommt.



Disruptive Analysis
Über 1.000 Kunden

Neue IT/OT-Anwendungen, die Vernetzung brauchen

Arbeitsschutz Nähe u. Notstopp-Funktionen	FTF Fahrerlose Transportfahrz.	ER/VR Erweiterte u. virtuelle Realität
Automationssysteme Steuerung industrieller Fertigungsanlagen	Robotik Roboter-Fertigung, Roboterschweißen...	Maschinelles Sehen Bildbasierte KI für Echtzeit- Qualitätskontrolle
Prozessüberwachung Aufsicht u. geschl. Kreis	Standort Genaue Anlagenverfolgung u. -Positionierung	HMI Mensch-Maschine-Schnittstellen (Bedienteile)
Betriebsweite Netzwerke Mitarbeiterkommun. u. Internet-/Cloud-Zugang	Digitale Zwillinge Sensordaten u. virtuelle Anlagenmodelle	Videoüberwachung Objektschutz

+ Fahrzeuge, Drohnen + 100te mehr

März 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF)

In vielen Industrieanlagen werden mobile Roboter benutzt, um Material, Equipment oder Bauteile zu transportieren – innerhalb desselben Werks oder Lagers oder zwischen verschiedenen Gebäuden. Diese automatischen Fahrzeuge, auch FTF genannt, fahren in der Regel aus Sicherheitsgründen auf bestimmten Wegen und sind recht langsam und getrennt von den Mitarbeitern unterwegs. Sie können jedoch immer öfter mit vernetzten Sensoren oder Kameras die Umgebung analysieren und somit dieselben Bereiche wie das Bedienpersonal nutzen.

Dank 5G-basierter Führung und Steuerung können sich FTF schnell und sicher durch den Betrieb bewegen und präzise mit anderen Maschinen (z. B. Fließbändern, Hebeanlagen oder elektrischen Ladestationen) interagieren. URLLC-Fähigkeit (Ultra Reliable Low Latency) und integrierte Kameras ermöglichen die Integration, Beaufsichtigung und Fernsteuerung mit Edge Cloud.

ER-/VR-Prozesse und -schulung

In Fertigungsanlagen hat man schon früh mit der Nutzung von Technologien der Erweiterten bzw. Virtuellen Realität begonnen. Dieser Bereich wird auch „Metaverse“ genannt. Die Bediener können mit ER-Headsets und anderen Geräten freihändig komplexe Aufgaben ausführen, während die Montage- oder Wartungsanweisungen und weitere Daten in ihrem Sichtfeld angezeigt werden. Auch wenn in diesen

Anwendungsfällen vorwiegend WLAN verwendet wird, werden 4G und 5G immer wichtiger, wenn es um den Außenbereich oder um Anlagen mit Netzüberlastung oder Funkstörung geht.

Entwickler können die VR nutzen, um neue Produktkonzepte zu visualisieren oder durch eine virtuelle Fabrik zu „gehen“ und mögliche neue Prozesse und Maschinenpläne zu sehen und zu gestalten. Simulationen können das Verhalten von Arbeitern in Industrieprozessen identifizieren oder Entwicklern helfen, die Ergonomie neuer Produkte zu verstehen, bevor physische Prototypen gebaut werden. ER- und VR-Techniken sind auch für vielfältige Schulungsaufgaben geeignet.

Die 4G/5G-Vernetzung ermöglicht außerdem – ebenso wie Wi-Fi 6/6E – ER-Streaming in Echtzeit, wobei ein Teil der Grafikaufgaben in Edge-Computing-Ressourcen ausgelagert wird. Das reduziert die am Headset oder Tablet benötigte Rechenleistung, verlängert die Akkulaufzeit oder verringert das erforderliche Gewicht. Auch wenn erst wenige Headsets direkt 5G-fähig sind, können sie mit einem drahtlosen Modem oder mit einem WLAN-Zugangspunkt verbunden werden.

Automationssysteme

Die Automatisierung ist das Herzstück vieler Fertigungsanlagen (vor allem in der Auto- und Hightech-Produktion). Hier gibt es mehrere Rechen- und Kommuni-



kationsebenen, von der Steuerung einzelner Maschinen über SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) bis zu breit angelegten, mehrstufigen Prozessen entlang einer Fertigungslinie.

All das erfordert eine gute Vernetzung. Vor allem bestimmte Maschinen oder Prozesse benötigen oft eine äußerst hohe Verlässlichkeit sowie geringe (und deterministische) Latenz. Während man in der Vergangenheit oft Faserverbindungen und firmeneigene Lösungen verwendete, bietet 5G künftig potenziell mehr Flexibilität und/oder geringere Kosten. Es muss jedoch betont werden, dass „reine“ 5G-Fabriken sehr unwahrscheinlich sind. Die meisten Anbieter von Automatisierungssystemen arbeiten mit mehreren Netzwerktypen und integrieren das Netzwerk, das sich für die jeweilige Maschine und Anwendung am besten eignet.

Angesichts hoher Kosten für Ausfallzeiten braucht man jedoch strenge Tests und Einsatzpläne, damit die Verlässlichkeit gegeben ist. Vermutlich werden die fortschrittlichen Fertigungsunternehmen deshalb für ihre Automatisierung zu privaten, dezidierten Netzwerken tendieren.

Darüber hinaus geht die Entwicklung fortschrittlicher Fertigungsanlagen weiter. Man strebt nach flexibleren Fabriken, in denen Fertigungsmaschinen verlegt oder modernisiert werden können, ohne dass neue Faserkabel nötig wären. Man sammelt mehr Daten über Sensoren, um die Produktivität und die präventive Wartung zu verbessern. All das deutet darauf hin, dass die drahtlose Infrastruktur schneller und besser wird.

Prozessüberwachung u. Lieferkettenmanagement

Auf einer höheren Ebene als die einzelnen Fertigungssysteme wollen größere Unternehmen einen Überblick über ihren gesamten Betrieb haben, der mehrere (und vielleicht im Ausland verteilte) Standorte und Partner umfassen kann.

Unternehmen, die Betriebsdaten „von Grund auf“ erfassen und in Dashboards vergleichen, welche mehrere Standorte und Lieferkettenelemente umfassen, können ihre Just-in-time-Produktion oder andere Techniken des Bestandsmanagements und der Leistungsoptimierung verbessern.

Das geht klar über die 4G/5G-Vernetzung hinaus. Es erfordert eine bessere Datenerfassung über alle vor Ort vorhandenen Netzwerkressourcen sowie flächendeckende Verknüpfungen zwischen den verschiedenen Fertigungsanlagen.

Einige CSP und Cloud-Anbieter versuchen bereits, solche Lösungen zu realisieren.

Es gibt bereits eine enge Integration von privaten Mobilfunknetzen mit diversen Formen von Cloud- oder Edge Computing. Dies wird sich wohl noch ausweiten – durch eine flächendeckendere Nutzung von IoT-Analytik, ERP-Systemen (Enterprise Resource Planning) und weiteren Plattformen, die letztlich private Netzwerke, Sensoren und Echtzeitdaten nutzen.

Robotik

Während in manchen Industriezweigen, etwa im Autobau, schon lange und flächendeckend Robotersysteme zum Einsatz kommen, sind viele andere Teilsektoren deutlich geringer automatisiert.

Derzeit gibt es verschiedene Trends:

- Die „Demokratisierung“ von Robotern im Fertigungssektor nimmt zu, weil die Kosten sinken und der Automatisierungsbedarf steigt.
- Industrieroboter werden stärker vernetzt und mit Instrumenten wie Sensoren, Kameras und Feedback-Systemen sowie großen Daten- und Telemetrie-Feeds ausgestattet. Dies erfordert Konnektivität in Echtzeit.
- Die Fertigungsprozesse in einigen Branchen verändern sich – z. B. durch neue Präzisions-Schweißroboter, die für den Bau von Elektrofahrzeugen gebraucht werden.
- Die Roboter werden mobiler und ihre Aufgaben verschmelzen mit den Aufgaben der FTF.

All das verstärkt den Bedarf an mehr und besserer drahtloser Vernetzung von Robotern. 5G gilt auch hier in vielen Fällen als bedeutender Wegbereiter.



Zudem kann 5G dank verbesserter Ortungs- und Positionierungsfähigkeiten den Abstand zwischen Menschen und mobilen Robotern genauer erkennen. Künftig könnte es auch „Zentauren“ geben, wenn Roboter und Menschen gemeinsam an bestimmten Aufgaben arbeiten.

Qualitätsprüfung durch maschinelles Sehen

Zunehmend kommt in Fertigungsprozessen Videotechnik zum Einsatz: Kameras führen Inspektionen an Fließbändern durch, was die Vergeudung reduziert, die Qualität des Endprodukts verbessert und den Ertrag steigert.

Mit KI-gestützten Methoden lassen sich Muster analysieren oder Mängel wie z. B. Risse feststellen, die das menschliche Auge unmöglich erkennen könnte. Systeme für maschinelles Sehen vor Ort oder in einer anderen Edge-Computing-Anlage untersuchen Bilder auf falsch geformte Schweißnähte, Infrarot-Signaturen und andere Probleme.

Bei Techniken wie additiver Fertigung (3D-Druck) oder Präzisionsschweißen ist während des Prozesses eine genaue Qualitätsüberwachung nötig. So kann man Fehler unverzüglich korrigieren oder teilweise fertiggestellte Produkte aussortieren,

ohne weitere Zeit oder teure Materialien zu vergeuden. Allerdings müssen hierfür gewaltige Datenmengen übertragen und schnell verarbeitet werden, denn die Korrektur von Problemen muss in Millisekunden erfolgen.

Verlässlichkeit, Latenz und Durchsatzgeschwindigkeit sind ideal, um Videobilder von hochauflösenden Kameras in Echtzeit zu streamen – vor allem an Orten, die nur schwer mit Faserkabeln vernetzt werden können.

Dies ist ein zentraler Anwendungsfall für private 5G-Netze – vor allem deshalb, weil diese Funktionen drinnen und in Bereichen verwendet werden, wo die Netzabdeckung aufgrund von Maschinen, Beton und anderen strukturellen Gebäudeteilen angepasst werden muss.

Präzise Anlagenortung und -positionierung

Es gibt viele Gründe für die Echtzeit-Ortung und Positionierung von Anlagen in Fertigungsbetrieben. Roboter und FTF müssen Materialien von bestimmten Stellen auf Lagerregalen oder von anderen Orten zu bestimmten Maschinen oder Fließbändern bringen. Sie müssen punktgenau an Ladestationen andocken, präzise jeden Fehler lokalisieren und einen sicheren Abstand zu Menschen und empfindlichen Maschinen einhalten. Werkzeuge müssen ebenso verfolgt und geortet werden wie andere Anlagegüter, z. B. Wagen, die häufig bewegt werden.

Auf diese Weise kann man die Produktivität der Fertigung und die Nutzung der Anlagen verbessern oder Diebstahl mithilfe von Geofencing innerhalb bestimmter Grenzen verhindern. Tracking-Technik unterstützt außerdem die präventive Wartung, indem sie gewährleistet, dass Gegenstände an den richtigen Orten aufbewahrt werden. Es ist schon jetzt möglich, eine Reihe von drahtlosen Technologien (einschließlich der privaten Nutzung von 4G NB-IoT) für die Anlagenortung zu verwenden – aber die Ortung in Echtzeit, vor allem im Innenbereich, ist schwierig.

Spätere 5G-Versionen, vor allem 3GPP Version 17 und höher, werden eine äußerst präzise, zentimetergenaue Ortung ermöglichen. In einem gut entwickelten privaten Netzwerk wäre dies im Fertigungssektor in vielen Fällen nützlich.

Mobile Bedienfelder

Bedienfelder (auch MMS – Mensch-Maschine-Schnittstellen genannt) in Industrieanlagen sind elektronische Anzeigen, mit denen das Bedienpersonal Automationssysteme überwachen und steuern kann – einzelne Maschinen ebenso wie ganze Fertigungslinien. Oft unterstützen sie auch Notstopppknöpfe, damit das Personal in Gefahrensituationen unverzüglich eingreifen kann.



In vielen Fällen sind die MMS direkt mit den Systemen verkabelt, doch es wächst der Wunsch nach kabelloser Bedienung, wobei die Geräte mit drahtlosen Verbindungen wie herkömmliche, robuste Tablets wirken.

Solche Bedienfelder können zwar auch WLAN nutzen, aber in manchen Fällen kann die Verlässlichkeit und niedrige Latenz von 5G von Vorteil sein – zudem können die Mitarbeiter sie auch aus der Ferne oder im Freien bedienen.

Wie bei mehreren der in diesem Abschnitt genannten Anwendungsfälle macht der sicherheitskritische Aspekt solcher Bedienfelder das private 5G (wo es möglich ist) wünschenswerter als öffentliche Netzwerke.

Betriebsweite Netzwerke und Mitarbeiterkommunikation

Derzeit werden viele private 4G- und 5G-Netzwerke in der Fertigungsindustrie nur in bestimmten Gebäuden oder nur für einzelne Prozesse bzw. Maschinen verwendet. Mit der Zeit werden jedoch – wie in anderen Sektoren wie z. B. Häfen – ganze Anlagen mit betriebsweiten Netzwerken (auch „Campusnetze“ genannt) ausgestattet, die sowohl Innen- als auch Außenbereiche abdecken können. Solche Netze haben vielfältige Anwendungsmöglichkeiten und Servicefunktionen, aber mit besserer Netzabdeckung. Einige Beispiele:

- Operationen wie Überwachung/Ortung von Anlagen; „Situationsbewusstsein“ für die Umgebung, z. B. die Wetterlage; betriebsweite Fahrzeugsteuerung
- Sicherheit: Kameras, Einbruchmeldung, Brand- u. Rauchmelder usw.
- Allgemeine IT wie z. B. Internet- und Cloud-Zugang für die Mitarbeiter im Innen- und Außenbereich; Lieferketten-Management (Teile und Materialien)
- Kommunikation zwischen Mitarbeitern, etwa Sprache oder Video per Push-to-Talk (PTT), Alarmsysteme und verschiedene Formen der Zusammenarbeit; „einheitliche Kommunikation“

Für diese und andere Zwecke ist eine großflächige Netzabdeckung erforderlich (die größten Fertigungsanlagen erstrecken sich über mehrere Kilometer), aber auch in Lagern, in Fahrzeugen und in Fabriken. 4G- und 5G-Mobilfunknetze sind traditioneller als herkömmliche UKW-Funkgeräte mit betriebsweiter Abdeckung oder PMR-Systeme (Personal Mobile Radio) und unterstützen Datenanwendungen mit deutlich höherer Kapazität. In kleinen Anlagen kann WLAN verwendet werden, aber für größere Betriebe ist WLAN weniger geeignet.

Intelligente Sensoren, digitale Zwillinge

Digitale Zwillinge sind virtuelle Partner realer Maschinen oder ganzer Anlagen. Indem man Automationssysteme oder andere Fertigungsanlagen mit Sensoren ausstattet und die Daten direkt über die Steuerung erfasst, kann man simulierte Versionen realer Geräte erstellen.

Diese „Zwillinge“ können z. B. genutzt werden, um die Leistung und die Produktionsmenge zu optimieren, Probleme rechtzeitig zu erkennen und präventive Wartung durchzuführen oder den Energieverbrauch zu senken. Indem man die Daten mehrerer ähnlicher Geräte vergleicht, kann man Bedienfehler oder Konstruktionsmängel erkennen, beheben oder nachbessern.

Solche Systeme haben vielfältige Anforderungen, was die Vernetzung betrifft – und natürlich ist dies von Faktoren wie Mobilität abhängig. Überraschenderweise verwenden einige ältere Maschinen drahtlos verbundene externe Sensoren (z. B. zur Temperatur- oder Vibrationsüberwachung), während diese Funktionen bei neueren Systemen kabelgebunden sind.

Obwohl es für Anwendungsfälle dieser Art viele drahtlose Optionen gibt, bietet 5G potenzielle Vorteile, was die Sensorkapazität, die Verlässlichkeit und die Dichte der pro Basisstation unterstützten Messgeräte angeht. 5G unterstützt auch Eingaben mit hoher Bandbreite, z. B. Video oder LiDAR-Sensoren.



Videoüberwachungssysteme

Fertigungsunternehmen haben erheblichen Bedarf an Videoüberwachung, videogestützten Produktionssystemen und videogestützter Qualitätskontrolle. Diese Systeme achten auf Sicherheitsrisiken wie Brand, Einbruch und Diebstahl oder andere illegale Handlungen, und zwar bei Bedarf großflächig und sowohl im Innen- als auch im Außenbereich.

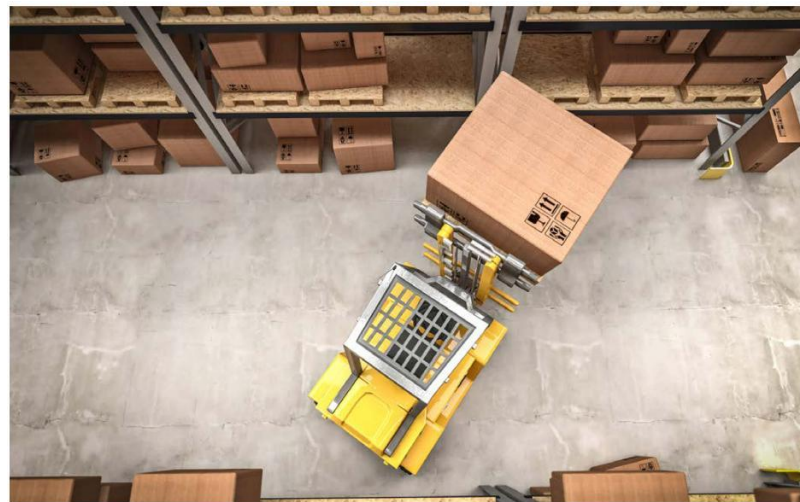
Viele Fertigungsunternehmen haben zum Beispiel große Bereiche zum Abstellen von Fahrzeugen oder wertvollen Materialien. In einigen Branchen, etwa im Flugzeug- und Schiffbau, gibt es offensichtliche Sicherheitsbedenken, andere sind zusätzlich durch geopolitische Akteure oder Spione gefährdet.

Die drahtlose Vernetzung mit 4G/5G schafft zusätzliche Kapazität für hochauflösende Bilder und geringere Latenz. Immer öfter werden Kameras an mobile Geräte montiert, z. B. an Fahrzeuge, Roboter oder Drohnen, wofür natürlich ein drahtloser Zugang nötig ist. Künftig wird Edge-Computing mit maschinellem Sehen weitere Automatisierungen ermöglichen.

Weitere Anwendungsfälle

Es sind viele weitere Anwendungsfälle für private Netzwerke denkbar. Manche werden sehr sektorspezifisch sein. Einige Beispiele:

- Drohnengestützte Inspektion von Anlagen, z. B. um Lecks und Korrosion in Chemieanlagen zu finden.
- Drahtloser Software-Download auf fertige Fahrzeuge, die die Produktionslinie verlassen.
- Tragbare private Netzwerke in Tanks und Reaktorbehältern während der Reinigung und Wartung.
- Allgemeine drahtlose Verbindung für Mitarbeiter und Gäste auf Basis eines „neutralen Hosts“, vor allem in Fertigungsanlagen, die außerhalb der Reichweite normaler öffentlicher Mobilfunknetze liegen.
- Fester drahtloser Zugang von zentralen Gebäuden zu abgelegenen Standorten auf dem Betriebsgelände, etwa zu Wachhäusern oder Lagergebäuden.



Warum setzt man private Netzwerke ein?

Diese zweite Frage ist der Kern dieses Berichts: Warum eignen sich diese Anwendungsfälle besser für 4G/5G als öffentliche Netzwerkdienste von Mobilfunknetzbetreibern?

Betrachtet man die Industrie insgesamt, so gibt es viele unternehmens- und anlagenspezifische Gründe, warum Unternehmen nach privaten Drahtloslösungen suchen. Es sind jedoch grobe Muster zu erkennen.

Disruptive Analysis stützt sich bei der Diskussion über privates 5G auf diese fünf Hauptaspekte:

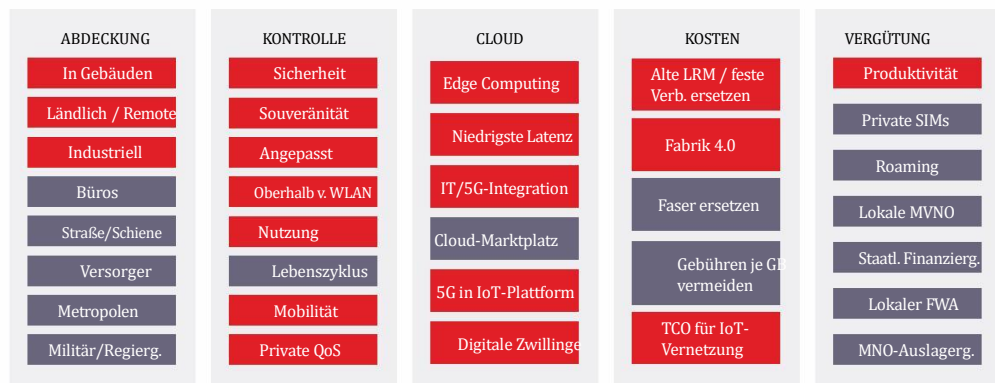
- › Abdeckung
- › Kontrolle
- › Kosten
- › Cloud-Integration
- › Vergütung (Monetarisierung)

In den folgenden Abschnitten werden diese Aspekte näher erläutert.



Disruptive Analysis
Don't Assume

Nachfrage: Die 5 Säulen privater Netzwerke



■ Primärer Grund für den Fertigungssektor

März 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

ABDECKUNG

Ein Hauptgrund, warum man privates 4G/5G statt öffentlicher MNO-Dienste nutzt, ist die begrenzte Netzabdeckung: MNO stellen ihre Netzwerkanlagen oft in dicht besiedelten Gebieten oder an Hauptverkehrsstraßen auf.

In den Anlagen von Fertigungsanlagen ist die Netzabdeckung oft relativ schlecht, weil Industriegebiete meist weitab von dicht besiedelten Gebieten und Wohn- oder Geschäftsvierteln liegen.

Zudem ist die Abdeckung im Innenbereich von Fabriken besonders schlecht, weil dort oft Metall und Beton verwendet werden, weniger Fenster als anderswo vorhanden sind und es verschiedene Abschirmungen und Rohrleitungen gibt.

Kontrolle

Dies ist der wichtigste Aspekt privater Netzwerke für Fertigungsunternehmen. Viele Firmen, vor allem große Unternehmen oder Hightech-Unternehmen (z. B. in den Bereichen Automobil und Elektronik) haben extrem hohe Kosten bei Ausfallzeiten und sind sehr auf den Schutz ihrer Daten bedacht.

Firmen, die 4G/5G-Mobilfunksysteme haben und betreiben, können viele Netzwerkparameter selbst festlegen und optimieren und direkte Verantwortung für die Sicherheit, Verlässlichkeit, Leistungsfähigkeit und Berichterstattung übernehmen. Sie können diese Netze auch direkt in andere IT/OT und Netzwerksysteme integrieren, vor allem wenn ältere Protokolle vorhanden sind, für die den Telekommunikationsfirmen Wissen und Erfahrung fehlen. Sie können eigene Mechanismen für die Redundanz und Cybersicherheit wählen, indem sie sich an den bewährten Methoden der Branche und an den Vorschriften orientieren. Bei anspruchsvollen Anwendungsfällen, z. B. Videostreaming oder Gittersteuerung mit geringer Latenz, können sie die Funkressourcen/die Redundanz selbst verwalten und optimieren.

Auf lange Sicht könnte es für Unternehmen möglich sein, ein „Stück vom Kuchen“ der öffentlichen MNO-5G-Netzwerke, bessere Kontrolle und bessere Service-Level-Agreements zu erhalten. Dieses Modell ist jedoch noch nicht erprobt und hängt davon ab, welche Versionen der 5G-Technik es künftig gibt. Auch fragt sich, ob es attraktiv ist, private und öffentliche Netze über „Roaming“ zu verknüpfen – Roboter verlassen das Betriebsgelände nicht, während LKW und Mitarbeiter-Smartphones wahrscheinlich mehrere SIM-Karten nutzen können.

Kosten (und Risikovermeidung)

Viele Fertigungsunternehmen nutzen öffentliche 4G/5G-Netze auf ihrem Gelände nur begrenzt. Sie haben zwar normale Mobilfunkverträge für ihre Mitarbeiter-Smartphones und ihren Fuhrpark, doch es gibt relativ wenig Spielraum für den Wechsel von öffentlichen zu privaten Netzwerken für die betriebsinterne Automation oder ähnliche Anwendungsfälle.

Vielmehr hängen potenzielle Kosteneinsparungen durch private Mobilfunknetze eher mit der Abschaffung von Faserleitungen zusammen – vor allem bei Maschinen, die bewegt werden können, oder bei Remote-Verbindungen, z. B. Perimeter-Sicherheitskameras.

Zwar sollen die allgemeinen Industrie-4.0-Modelle auch die Wirtschaftlichkeit für die Fertigungsunternehmen verbessern, aber es werden nur wenige Dinge ausschließlich über privaten Mobilfunk gesteuert. Die meisten Systeme können auch per WLAN oder über andere Verbindungen aktiviert werden, wenn auch in einigen Fällen mit geringerer Verlässlichkeit.

Cloud

Im ganzen Fertigungssektor wird die Verbindung zwischen privaten drahtlosen und Cloud-

Plattformen stärker – insbesondere bei der Nutzung von Edge Computing am Standort oder in der Nähe des Standorts.

Hier gibt es zwei Trends, die miteinander verknüpft sind:

Private Netzwerke werden direkt durch Edge-Server ermöglicht. Diese hosten Softwareelemente wie z. B. Netzwerkkerne, die über Virtualisierung u. Container bereitgestellt werden. Viele der Anwendungen, die wir oben als 4G/5G-Anwendungsfälle besprochen haben, könnten selbst Edge-Server, Hyperscale-Cloud-gestützte IoT und KI-Tools verwenden. IoT-Überwachung, präventive Wartung und „digitale Zwillinge“ sind hierfür gute Beispiele.

In den vergangenen Monaten haben etliche der größten Cloud-Anbieter Initiativen im Bereich privater 4G/5G-Netze angekündigt. Sie wollen sie entweder direkt an die Unternehmen verkaufen oder gemeinsam mit Systemintegratoren und Mobilfunkanbietern hybride Lösungen anbieten.

Vergütung / Monetarisierung

Anders als in Branchen wie Flughäfen oder Immobilienunternehmen, die z. B. Konnektivität für Mieter oder Neutral-Host-Dienste für öffentliche MNO anbieten können, haben Fertigungsunternehmen nur begrenzten Spielraum, um mit privaten 4G/5G-Netzen direkt Geld zu verdienen.

Einige sehr große Fertigungsunternehmen, z. B. Anbieter von Anlagen für die industrielle Automation oder von Systemen für Bau und Bergbau, könnten private Mobilfunknetze direkt in die Lösungen integrieren, die sie an ihre Kunden im Fertigungssektor verkaufen, oder sie könnten auf Märkten mit verfügbaren Frequenzen als „industrielle Mobilfunkanbieter“ agieren.



Frequenz- Optionen und Trends

Übersicht

Ein Schlüsselement für private Netzwerke im Fertigungssektor ist der Zugang zu Frequenzen für 4G/5G. Dieser Bereich erfordert viele Kompromisse in Sachen Netzabdeckung, Kapazität, Kosten und Geräteverfügbarkeit. Politik und Regulierung spielen ebenfalls eine Rolle.

Es gibt auch einen direkten Zusammenhang mit der Bedeutung und dem Potenzial für „rein“ private Netzwerke, die von Unternehmen oder Spezialisten betrieben werden – im Gegensatz zu Netzen, die ein großes Telekommunikationsunternehmen, welches primär öffentliche 4G/5G-Netze betreibt, als verwalteten Dienst bereitstellt.

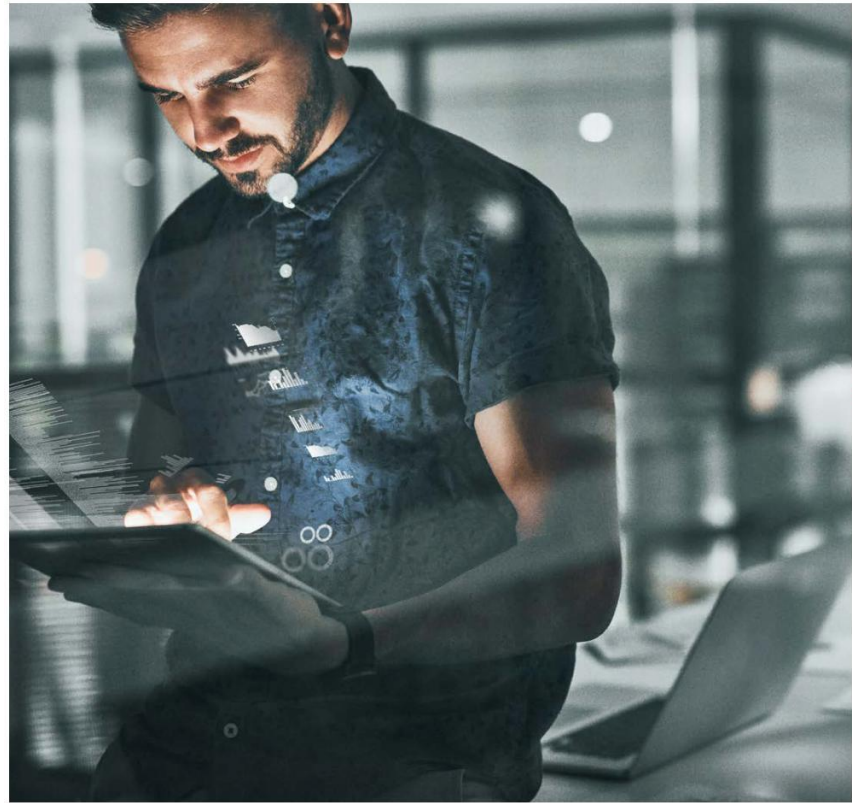
Bisher wurden die meisten für Mobilfunknetze geeigneten Frequenzen ausschließlich auf regionaler/nationaler Basis an öffentliche Mobilfunkanbieter vergeben (häufig über Auktionen).

Bisher hatten nur wenige Fertigungsunternehmen ohne seltene und komplexe Leasingverträge Zugang zu diesen gängigen Frequenzbändern; für andere Frequenzen standen nur wenige Funk- oder sonstige Geräte zur Verfügung. Das ändert sich jetzt aber rapide, weil staatliche Regulierungsbehörden lokale Lizenzen oder verschiedene Formen von gemeinsamen Frequenzen vergeben. Die Geräte- und Chiphersteller unterstützen diese Frequenzen mittlerweile auch.

Zugleich werden die MNO offener für eine ganze Reihe neuer Geschäftsmodelle, zum Beispiel für die Schaffung privater Campus-Netzwerke, die nicht an ihre allgemeine Makro-Infrastruktur angebunden sind. So sind die MNO im Grunde Systemintegratoren für individuelle Projekte.

Für private Netzwerke gibt es im Wesentlichen 3 Frequenzoptionen:

- **Niedrigfrequenz:** Manchmal sind dünne Frequenzen unter 1 GHz verfügbar, die gut für große Flächen geeignet sind, aber eine geringe Kapazität haben. Sie eignen sich in der Regel am besten für kritische Kommunikation (wie Push-to-Talk) oder für schmalbandige Sensordaten und Kontrollsysteme.



- **Mittelfrequenz:** Für Innenbereiche und betriebsweite Netzabdeckung in Fabriken und Fertigungsstätten ist der mittlere Bereich zwischen 2 und 6 GHz in der Regel optimal. Die meisten 4G/5G-Netze liegen heutzutage in diesem Bereich.
- **Millimeterwelle:** Höhere Frequenzen liegen meist im Bereich zwischen 26–60 GHz und werden für 5G zwar oft diskutiert, sind aber noch selten. Dabei könnten sie sich künftig als besonders nützlich für hoch konzentrierte Anwendungen mit großem Bandbreitenbedarf erweisen. Durch den zusätzlichen „Spielraum“ lassen sich auch leichter Netzwerke mit extrem niedrigen Latenzen entwickeln.

In den folgenden Abschnitten erläutern wir einige der spezifischen Frequenzen, die weltweit bereitgestellt werden.

CBRS + andere Mittelfrequenz-Optionen

Um eine ortsspezifische oder regionale Netzabdeckung zu gewährleisten, stellen immer mehr Länder Abschnitte des Mittelfrequenzspektrums für Fertigungs- und andere Unternehmen zur Verfügung. In der Regel erfolgt dies auf der Basis einer gemeinsamen Frequenznutzung, und zwar entweder mit manueller oder mit datenbankgestützter Lizenzvergabe für bestimmte Bereiche und Bandrechte. Befürworter der „Industrie 4.0“ gehören zu den stärksten Unterstützern, wenn es darum geht, Regierungen und Regulierungsbehörden vom potenziellen wirtschaftlichen Nutzen zu überzeugen.



Zu den wichtigsten Beispielen zählen:

- **USA:** In den USA wurde das CBRS-Band zwischen 3,55 u. 3,7 GHz auf gemeinsamer u. mehrstufiger Basis zur Verfügung gestellt. Der dynamische Zugriff wird von einer Reihe automatisierter SAS-Anbieter (Spectrum Access System) verwaltet. Die oberste Schicht der aktuellen Nutzer (vor allem die Marine) hat das Vorkaufsrecht, aber zahlreiche Unternehmen – insbesondere John Deere – haben PAL-Lizenzen (Priority Access Licenses) erworben, die nahezu garantierten Zugriff auf Teile des Frequenzbereichs in einem Bezirk bieten. Das ist gut für private Netzwerke geeignet und kann durch Nutzung von On-Demand-GAA (General Authorised Access) ergänzt werden. Derzeit stehen nur 4G-LTE-Geräte für CBRS zur Verfügung, aber das wird vermutlich in den nächsten 1 bis 2 Jahren auf 5G-Produkte ausgeweitet. Dieser Frequenzbereich hat bereits zahlreiche Nutzer und kommt dem Prinzip des „bedarfsgesteuerten Frequenzbereichs“ und der breiten Demokratisierung privater Netzwerke am nächsten.
- **Deutschland:** Der Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 GHz ist für die Lizenzierung lokaler privater Netzwerke mit 4G- oder 5G-Infrastruktur reserviert. Lizenznehmer können bei der staatlichen Regulierungsbehörde die Rechte für bestimmte Standorte beantragen, in der Regel für Anlagen in Campusgröße. Fertigungsunternehmen, vor allem im Auto- u. Maschinenbau, gehören zu den begeistertsten Nutzern.
- **Frankreich:** Ein 40 MHz großer Abschnitt des 2,6-GHz-Bands wurde für kritische Kommunikation und industrielle Breitbandnutzung bereitgestellt. Während die ersten Nutzer vor allem Infrastruktur-Organisationen waren (z. B. Flughäfen und Eisenbahnunternehmen), hat sich die Nutzung 2021 und Anfang 2022 auf den Fertigungssektor verlagert. Zudem gibt es bei einigen 5G-Mittelfrequenzen der MNO behördliche Vorschriften bei 3,8 GHz für die Zusammenarbeit mit Unternehmen in privaten Netzen.
- **UK:** Der Bereich von 3,8 bis 4,2 GHz steht für die lokale 5G-Nutzung zur Verfügung, wenn vorhandene Lizenznehmer geschützt sind. Es gibt auch kleine Zuweisungen bei 1,8 GHz (das ursprüngliche DECT-Schutzband) und bei 2,3 GHz.

Öffentliche Mobilfunkanbieter wie EE und Vodafone arbeiten auch an der Nutzung lokaler privater Netzwerke (auch für die Industrie).

- **Japan:** Es sind Frequenzen zwischen 4,6 und 4,9 GHz für lokale 5G-Netze verfügbar.
- **Taiwan:** Es sind Frequenzen im 4,8-GHz-Bereich für private 5G-Netze verfügbar.

Eine Reihe weiterer EU- und anderer europäischer Länder und das Beratergremium RSPG haben auch den Bereich 3,8 bis 4,2 GHz für die künftige gemeinsame oder unternehmerische Nutzung vorgeschlagen. In zahlreichen weiteren Ländern, u. a. in Spanien, Indien und Saudi-Arabien, gibt es zurzeit Regulierungsbestrebungen oder Beratungen über geeignete Mittelfrequenz-Optionen für die Industrie.

Andere Märkte bieten die Möglichkeit, die den Mobilfunkanbietern zugewiesenen staatlichen Frequenzen zu leasen (z. B. in Australien, Schweden und Dänemark) oder regionalen Anbietern, die auf Industrienetzwerke spezialisiert sind, gewöhnliche Lizenzen in schwach besiedelten Gegenden zu erteilen (zum Beispiel in Teilen Kanadas).

Die wichtigste Ausnahme ist wohl China, das nach wie vor zur staatlichen Lizenzvergabe an Mobilfunkanbieter tendiert.

Erwähnt werden sollte auch das Potenzial für die Verwendung nicht lizenzierter Frequenzen bei 2,4 GHz, 5 GHz und zunehmend auch bei 6 GHz für privates 4G/5G, obwohl der fehlende Interferenz-Schutz den Spielraum für betriebskritische Anwendungen begrenzen könnte.

Optionen unterhalb von 1 GHz

Der Niedrigfrequenzbereich ist im Fertigungssektor nur von begrenzter Relevanz, weil er sich am besten für die Kommunikation auf großen Flächen eignet, z. B. für Push-to-Talk-Netze in Versorgungsunternehmen. Für sehr große Fertigungsanlagen oder Anlagen mit mehreren, über ein

großes Gebiet verteilten Standorten kann dieser Bereich jedoch geeignet sein. Durch seine gute Ausbreitung in Gebäuden und unterirdisch ist er in manchen Fällen auch für das IoT nützlich.

Eine Reihe von Märkten haben diese Frequenzen zur Verfügung gestellt.

- **USA:** Gemäß einer Entscheidung der FCC von 2020 haben mehrere Lizenznehmer Zugang zum 900-MHz-Bereich, wobei 6 MHz für die Breitband- und 4 MHz für die Schmalband-Verwendung bestimmt ist. Vor allem ein wichtiger Frequenzinhaber (Anterix) arbeitet mit mehreren lokalen Versorgungsunternehmen an der Entwicklung einer geeigneten Infrastruktur. Es ist unklar, ob dies auf den Fertigungssektor ausgeweitet wird.
- **Norwegen:** Mehrere Öl- und Versorgungsfirmen haben 700MHz- und 900-MHz-Frequenzen für private Offshore-Netze – aber auch das kann für bestimmte spezialisierte Fertigungsunternehmen, die den Energiesektor beliefern, relevant sein.

Es gibt auch die Möglichkeit, schmalbandige IoT-Versionen von 4G (NB-IoT u. LTE Cat-M) in den verschiedenen Zuweisungen unterhalb des GHz-Bereichs zu nutzen (lizenziert oder unlizenziert).

Millimeterwelle

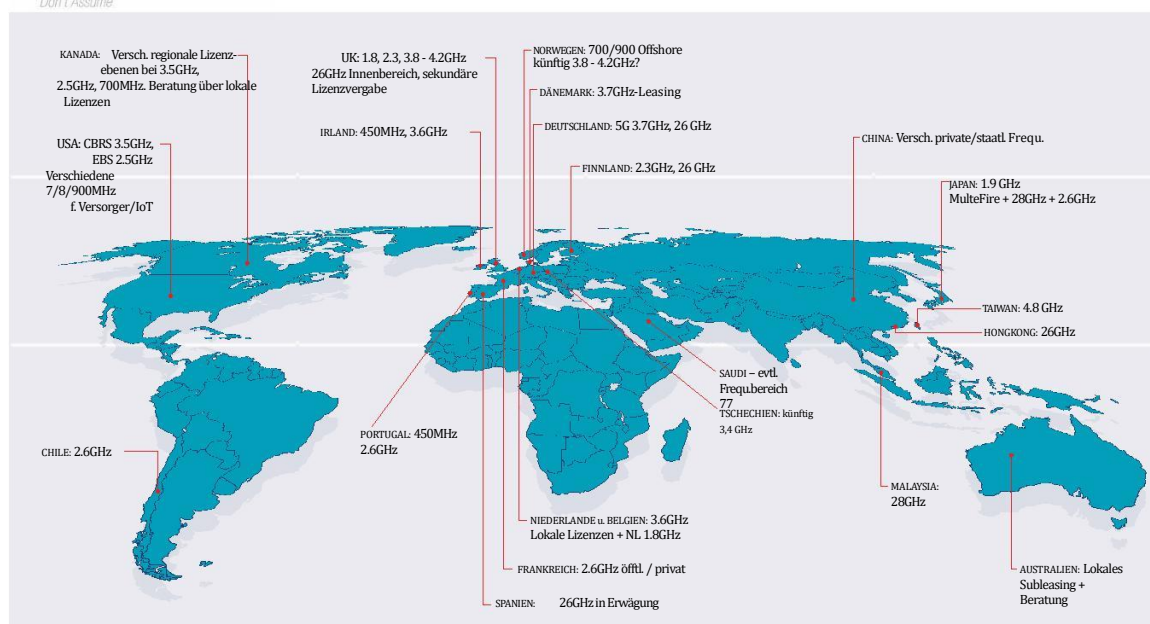
Mehrere Länder, u. a. Deutschland, Großbritannien, Finnland, Malaysia und Japan, haben 26 GHz, 28 GHz oder andere Hochfrequenzbereiche zur lokalen Nutzung verfügbar gemacht. In den USA, in Italien und in Südkorea prüfen einige Mobilfunkanbieter außerdem die Möglichkeit privater Millimeterwellen-Netze. Diese Netze sind vor allem für Innenbereiche oder Campusse gedacht, z. B. Fabriken, Lager und Bergwerke. Zentrale Anwendungsfälle sind die lokale Nutzung mit hoher Kapazität, z. B. für ferngesteuerte Fahrzeuge oder hochauflösende Kameras (vor allem, wenn diese an Fahrzeugen oder Robotern montiert sind).



Disruptive Analysis

Don't Assume

Einführung neuer Frequenzbereiche für nicht öfftl. 4G/5G



März 2022 |
Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

4G 5G

Drahtlosnetzwerke werden auf Standardtechnologien umgestellt, vor allem 4G- und 5G-Mobilfunk.

Fazit und langfristige Perspektiven

Der Fertigungssektor wird vermutlich eine führende Rolle bei der flächendeckenden Einführung privater Mobilfunknetze spielen. Privates 4G/5G ist nicht mehr nur für die ersten Nutzer bestimmt, die „kritische Kommunikation“ brauchen, sondern auch für IoT- und OT-Vernetzung (Betriebstechnik) und für konventionellere IT-Anwendungen, die mit der derzeitigen WLAN-Nutzung vergleichbar sind.

Auch wenn in diesem Bericht der Schwerpunkt auf den funkttechnischen Aspekten von privatem 4G/5G liegt, ist zu beachten, dass sich parallel dazu das allgemeinere System (von Kernnetzwerken bis zu Edge Computing und Planungs-, Entwurfs- u. Testsystemen) und eine große Zahl von Systemintegratoren und vertikalen Spezialisten entwickeln. Im Fertigungssektor entwickeln Organisationen wie die 5G-ACIA (Alliance for Connected Industries) bewährte Methoden und eine standardisierte Terminologie.

Die zunehmend ausgereifte, unternehmenstaugliche 5G-Technologie sowie die breitere Verfügbarkeit lokaler und dezidierter Frequenzen für Unternehmen deuten auf eine gesunde Dynamik in den nächsten Jahren hin. Bis 2025 könnte es tausende oder sogar zehntausende private Netzwerke im Fertigungssektor geben.

Allerdings werden trotz der Ähnlichkeiten zwischen den Teilsektoren und Ländern die spezifischen Anwendungsfälle und Nutzungsszenarien wahrscheinlich sehr unterschiedlich sein. Einige Länder geben primär Mittelband- und Niedrigbandfrequenzen für Unternehmen frei, andere konzentrieren sich mehr auf Millimeterwelle oder neue lizenzfreie Möglichkeiten. Zu beachten ist jedoch, dass viele größere Fertigungsbetriebe private Mobilfunknetze vorsichtiger und schrittweise einführen werden, indem sie nach und nach Tests durchführen und mittelgroße Anlagen installieren. Viele Betriebe nutzen derzeit private Mobilfunknetze nur in bestimmten Gebäuden oder sogar nur für einzelne Maschinen oder Anwendungen. Außerdem: Auch wenn Greenfield-Fertigungsanlagen „primär 5G“ sind, gibt es meistens noch weitere Netzwerktechnologien in erheblichem Umfang. Das umfasst verschiedene Versionen von festem Ethernet und WLAN und reicht bis zu einer breiten Palette spezieller Industriesysteme. Zudem wird es viele etablierte Anbieter geben (z. B. Unternehmen für Industrieautomation), die oft als Kanal oder Integratoren für (häufig eigene) Vernetzungssysteme agieren. Die 5G-Branche muss sich diesen etablierten Unternehmen anpassen.

Tabelle: Bsp. für private 4G/5G-Nutzung/Probetrieb durch Fertigungsunternehmen

Unternehmen	Land	Branche/Zweck	Frequenz/Eigentümer
John Deere	USA	Traktoren u. Baumaschinen	CBRS PAL für 4G/5G
Worcester Bosch	UK	Unterhaltungselektronik (Sensoren u. Roboter)	Tests auf 2.6GHz / 3.4GHz
Ford	UK	Autos (Tests neuer Schweißverfahren usw.)	Vodafone-lizenzierte Frequ.
Ford	USA	Autos (mehrere Anwendungsfälle im EV-Werk)	AT&T-Frequenz
Inventec	Taiwan	IT-Hardware (optische Inspektion, FTF)	Vorauss. 4.8GHz lokales 5G
Volkswagen	Deutschland	Autos (intelligente Fabriktests)	3.7-3.8GHz lokale Lizenz
Haier	China	Unterhaltungselektronik (opt. Inspektion)	Unklar - China Mobile
Nokia	Polen	Telek.-Ausstattg. (FTF, Sensoren, Kommun.)	Frequenz v. Orange Polen
Butachimie	Frankreich	Chemikalien (Anlagenverfolg. u. Komm., 4G)	2.6GHz
Foxconn	USA	Elektronik (FTF, Roboter usw.)	CBRS
BMW	Deutschland	Autos (mehrere Werke u. Anwendungen)	Vorauss. 3.4-3.8GHz
Konecranes	Finnland	Kräne (Test für Häfen, z. B. mobile Kameras)	Unklar. Vorauss. 3.4GHz
AS Plastik	Kroatien	Fahrzeugbauteile (Fabrikautomation)	Unklar
ArcelorMittal	Frankreich	Stahl (mehrere Standorte/Anwendungsfälle)	Unklar, vorauss. 2.6 + 3.4Ghz

Quelle: *Disruptive Analysis*
Private Netzwerke für die Fertigung | E-Book



www.ibwave.com