



UNTERRICHTSMODUL MOBILFUNKNETZE LTE/5G

MOBILFUNKNETZE LTE/5G

ARBEITSBLATT UND LEHRERINFORMATION

Fachinhalte:

- ▶ **Technologische Neuerungen von 5G im Funkzugangsnetz und im Netz, wie z. B. das sogenannte „Network Slicing“, die logische Einteilung des physikalischen Netzes in anwendungsspezifische Teilnetze**
- ▶ **Typische Anwendungsszenarien und technische Kenngrößen für 5G**
- ▶ **Standardisierung und Datensicherheit**

MOBILFUNKNETZE LTE/5G

VORAUSSETZUNGEN

Die Schülerinnen und Schüler sind mit der Internet-Recherche vertraut. Sie haben Praxiserfahrungen mit der mobilen Datenübertragung per Smartphone. Aus der Unterrichtseinheit „Mobile Kommunikation“, die Sie im Vorfeld dieser Unterrichtseinheit durchgeführt haben müssen, sind ihnen die Grundlagen von Funkwellen und Antennen bekannt. Die Besonderheiten der Mobilfunksysteme 2G, 3G, LTE sowie die Dienste und Dienstmerkmale der verschiedenen Mobilfunkgenerationen sind den Schülerinnen und Schülern ein Begriff. Aus der Computertechnik haben die Schülerinnen und Schüler eine Vorstellung von Cloud-Technologien und Virtualisierung.

GESAMTZEIT: 90 MINUTEN

HINWEISE ZUM STUNDENABLAUF

PHASE	INHALT	ZEIT
1. Einstieg und Motivation	Im Klassengespräch diskutieren die Schülerinnen und Schüler das mobile Versenden von Daten z. B. auf Snapchat. Sie berichten von ihren Erfahrungen und formulieren Anforderungen an die neue Generation Mobilfunk.	5 Min.
2. Die Merkmale von 5G	Vor dem Hintergrund ihrer eigenen Erfahrungen mit aktuellen Mobilfunksystemen erschließen sich die Schülerinnen und Schüler in Einzelarbeit durch Textarbeit die Merkmale des 5G-Systems und arbeiten die Unterschiede zu den bekannten Vorgänger-Standards 2G, 3G und LTE heraus.	30 Min.
3. Diskussion der Vor- und Nachteile von 5G	Aus dem Einleitungstext erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler in Einzelarbeit sowohl die Vorteile des 5G-Standards, setzen sich aber auch mit den Nachteilen von 5G aus Sicht des Endnutzers und der Industrie auseinander.	25 Min.
4. Die Bedeutung von 5G für die Anwendungsbeispiele „Produktionsanlagen“ und „automatisiertes Fahren“	Zunächst machen sich die Schülerinnen und Schüler in Zweier-Gruppen an einer Grafik mit Unterstützung durch den Einleitungstext die technischen Merkmale von 5G klar. Hier liegt der Fokus auf den beiden Beispielanwendungen. Im zweiten Schritt erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler die besonderen Anforderungen für die Beispielanwendungen, indem sie die technische Umsetzung aus der Grafik zuordnen. Die Bedeutung der Datensicherheit und der Standardisierung wird zum Schluss diskutiert.	30 Min.

BINNENDIFFERENZIERUNG

- ▶ Die Basisaufgabe ist von allen Schülerinnen und Schülern zu lösen.
- ▶ Die Bonusaufgabe ist optional, sie dient als Reserve oder Ergänzung für leistungsstärkere Lernende.

HAUSAUFGABE:

Recherchiere im Internet drei aktuelle 5G-Testnetze und erläutere die wichtigsten Ergebnisse der Testläufe in Stichworten.

MOBILFUNKNETZE LTE/5G

Standardisierte Mobilfunknetze ermöglichen es, in vielen Ländern oder sogar weltweit mit einem entsprechenden Endgerät eine Sprach- oder Datenverbindung zwischen zwei mobilen Endgeräten herzustellen. Derzeit steht die neueste Netzgeneration „5G“ vor der kommerziellen Einführung, verspricht unbegrenzte Kommunikationsmöglichkeiten für Verbraucher und wird Türöffner für Industrie 4.0 und das Internet der Dinge sein.

► Basisaufgabe ► Bonusaufgabe

AUFGABEN

1. DAS IST 5G

- Lies den rechts stehenden Sachtext zu 5G und arbeite die Merkmale des 5G-Standards heraus. Ergänze diese Merkmale in der Tabelle (Abbildung 1). Überlege dir, welches die wesentlichen technischen Änderungen gegenüber den Vorgängersystemen sind.

► BERECHNE DIE ÜBERTRAGUNGSRATEN BEI 2G UND 5G

1a: Beim 2G-Mobilfunk werden funkseitig die 114 Nutz-Bits einschließlich der Steuerdaten, der Kodierung und der eigentlichen Infodaten auf einer Trägerfrequenz alle 4,615 Millisekunden in wiederkehrenden Zeitschlitzten übertragen. Welche Brutto-Übertragungsrate berechnet sich daraus? Was bedeutet das für die Infodatenrate?

1b: Beim 5G-Funksystem erhöht neben anderen Maßnahmen diese Technologie die Übertragungsrate: Ein breiteres Frequenzband bringt Faktor 40, größere Trägerfrequenzabstände Faktor 16 und eine verbesserte Kodierung bringt Faktor 1,6. Berechne die theoretische Übertragungsrate gegenüber LTE mit 51,5Mb/s pro 10MHz-Frequenzband.

MATERIAL

5G UND DIE VORGÄNGERSYSTEME

„Die Möglichkeiten des neuen Mobilfunkstandards der 5. Generation (5G) übertreffen alle Vorstellungen, sind zukunftsfähig und lassen keine Wünsche mehr offen. Für den Nutzer bringt 5G den Vorteil von sehr großen Übertragungsraten für Daten bis hin zu 10 Gigabits pro Sekunde, also quasi „Glasfaser per Funk“. Damit wird z.B. Virtual Reality per Mobilfunk lückenlos, flächendeckend und in Echtzeit möglich. Auf der Fanmeile „kein Netz“ – das ist Vergangenheit, denn die Zahl der Nutzer, die in einer Zelle gleichzeitig versorgt werden, steigert sich gegenüber dem Vorgängersystem um das 1000-Fache. Selbst die Funksteuerung von Millionen Sensoren auf engstem Raum im Verkehr und beim „Smart Home“ ist möglich. Durch die Standardisierung von 5G werden Verfahren eingeführt, die absolute Zuverlässigkeit und Datensicherheit für die sensiblen Daten garantieren.

Für Anwendungen in Industrie und Verkehr sind bei 5G besonders die extrem kurzen Reaktionszeiten des Netzes, die sogenannten Latenzzeiten, von rund 1 Millisekunde vorteilhaft. Dieser Datenfluss in Echtzeit ist wichtig für die Überwachung von automatisierten und globalisierten Produktionsabläufen in Industrie 4.0, also die Digitalisierung der Abläufe durch Verzahnung von Produktion und Informationstechnologie. Ein großes Plus von 5G für die Industrie ist die Möglichkeit der spontanen Vernetzung mobiler Endgeräte, beispielsweise von Produktionsanlagen untereinander, was auch mit zu den geringen Latenzzeiten beiträgt. Von Vorteil ist ebenso die Einrichtung von firmeneigenen Campus-Netzen mit eigenen Funkfrequenzen und mit Rechenzentren vor Ort, dem sogenannten Edge Computing. Beides, firmeneigenes Edge-Computing und das eigene Frequenzband, erhöhen Vertraulichkeit und Datensicherheit. Nachteilig ist, dass erst alle Funkstationen mit Glasfaser vernetzt sein müssen, um 5G voll nutzen zu können.

Der erste Schritt zu 5G ist die offizielle Einführung in 2020, aber nachteilig ist, dass die Hauptfrequenzbereiche für 5G im 3,4-3,8- und 2 Giga-Hertz-Frequenzbereich erst ab 2021 schrittweise frei werden.

Überlagerte Funkzellen von Kleinst-(Pico-) bis hin zu Makrozellen sowie Funkversorgung eines Geräts von mehreren Stationen gleichzeitig versorgen eine Höchst-

MATERIAL

5G UND DIE VORGÄNGERSYSTEME

zahl von Nutzern oder Endgeräten pro Zelle gleichzeitig und bieten höchste Übertragungsraten bei großer Zuverlässigkeit. Beide Merkmale öffnen dem Internet der Dinge und dem automatisierten Fahren die Tür. Bei beiden Anwendungen ersetzt zunehmend die Informationstechnik menschliches Lenken oder die Steuerung von Maschinen. Die lückenlose Versorgung mit hohen Frequenzen im Mikrowellenbereich birgt andererseits für Nutzer den Nachteil, dieser Strahlung in erhöhtem Maß und überall ausgesetzt zu sein. Dank des weltweiten 5G-Standards „sprechen“ alle Endgeräte weltweit in derselben „Sprache“. Das ist vorteilhaft für den Nutzer, denn das Endgerät ist auf Fernreisen kompatibel, aber auch für die Industrie, denn globale Produktionsketten sind weltweit möglich. Nachteilig für Endnutzer und Industrie ist allerdings, dass hohe Investitionen in neue Endgeräte und Netzelemente nötig sind und erst wenige kompatible Geräte einer kleinen Zahl von Herstellern auf dem Markt sind. Negativ bei der weltweit standardisierten 5G-Funkverbindung mit einer Vielzahl von unterschiedlichen vernetzten Endgeräten ist die mögliche Anfälligkeit gegenüber Hackern und Cyberattacken.

Das 5G-System ist hochflexibel und lässt sich per Software auf die jeweiligen Anwendungen zuschneiden. Der Trick: 5G definiert flexibel auf die Nutzergruppe angepasste virtuelle Netze, teilt das reale Netz in gedachte „Scheiben“ ein, daher „network slicing“, und schaltet per Softwaresteuerung die zugrunde liegenden physikalischen Netze zusammen. Das ist kostensparend, flexibel und vor allem ausbaufähig für zukünftige Anforderungen.“

(Quelle: W. Arps, 2019)

	Weltweiter Standard	Hauptanwendung	Einführung in Deutschland	Typische Übertragungsraten	Frequenzbereich	Technologie-Merkmal	Latenzzeit d. h. Reaktionszeit im Netz	Größe der Funkzellen	Gleichzeitige Nutzer pro Zelle/Sektor
2G GSM (Global System for Mobile Communication)	Ja, aber unterschiedliche Frequenzen in USA, Asien und Europa	Sprache, Textnachricht, SMS	1990	9,6 kB/s bis 14,4 kB/s	900 MHz und 1800 MHz	Vermittlung von festen Kanälen für die Sprachübertragung	> 500 ms	Starr, feste Größe, bis max. 35 km	30
3G UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	Nein, mehrere Einzelstandards	Sprache, Daten, Videos	2000er	384 kB/s bis 42 Mbit/s	1,9 GHz und 2,1 GHz	Vermittlung von festen Kanälen und Datenpaketen	200 bis 300 ms	10 m bis einige Kilometer, „atmend“ je nach Auslastung	60
4G LTE (Long Term Evolution)	Ja, für SW und HW	Surfen im Internet, Videos	2010er	50 Mbit/s bis 1 Gbit/s	1,8 GHz, 2,6 GHz, 2,1 GHz, 800 MHz	Nur Internet-Protokoll für Datenpakete	50 ms	< 10 m bis einige Kilometer, je nach Auslastung und Übertragungsraten	200
5G (5. Generation)									

Abbildung 1

2. VOR- UND NACHTEILE VON 5G

► Arbeite aus dem Sachtext zu 5G die wesentlichen Vor- und die Nachteile von 5G für dich als Nutzer und für die Industrie heraus und trage sie in die Tabelle (Abbildung 2) ein.

MATERIAL	VOR- UND NACHTEILE	
	VORTEILE	NACHTEILE
Ich als Nutzer
Industrie

Abbildung 2

3. VERNETZTE PRODUKTIONSANLAGEN UND AUTOMATISIERTES FAHREN MIT 5G

ARBEITET IN ZWEIER-GRUPPEN HERAUS: WARUM KANN 5G DER TÜRÖFFNER FÜR INDUSTRIE 4.0 UND AUTOMATISIERTES FAHREN SEIN?

► Analysiert den Sachtext zu 5G aus Aufgabe 1 nochmals im Hinblick auf technische Neuerungen und vergleicht die Aussagen mit der Grafik in Abbildung 3. Ordnet den Ziffern in den Kreisen die passenden Fachbegriffe zu. Dazu könnt ihr die Begriffe aus dem Kasten verwenden.

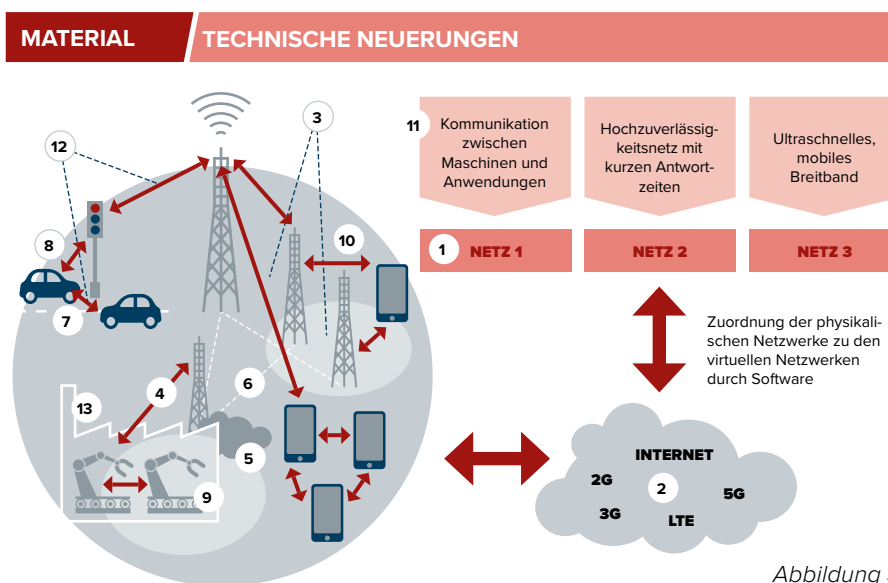


Abbildung 3

A. ALLGEMEINE 5G MERKMALE		
a. Virtuelle Netze durch Software auf die Nutzergruppen bzw. -anwendungen zugeschnitten b. Reale, physikalische Netze c. Die wichtigsten Nutzeranwendungen (use cases) d. Sichere, standardisierte Funkverbindung e. Glasfaservernetzung der Funkstationen f. Überlagerte Funkzellen g. Funkversorgung von mehreren Funkstationen gleichzeitig		
B. 5G UND „INDUSTRIE 4.0“	C. 5G UND „AUTOMATISIERTES FAHREN“	
a. Firmeneigenes Campus-Netz b. Rechenzentrum im Campus-Netz, d. h. Edge Computing c. Eigene Funk-Frequenzen d. spontane Vernetzung der Produktionsanlage untereinander	a. Kommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug b. Kommunikation von Fahrzeug zu Infrastruktur	



- ▶ Erarbeitet aus dem Sachtext zu 5G und aus der Grafik (Abbildung 3) Anforderungen an ein zukunftsfähiges Mobilkommunikationssystem 5G für die Beispiele „Produktion in Industrie 4.0“ und „automatisiertes Fahren“. Nutzt dazu die Tabelle.

MATERIAL

ANFORDERUNGEN AN 5G

PRODUKTION IN INDUSTRIE 4.0

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

AUTOMATISIERTES FAHREN

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ▶ Erläutert mit Hilfe des Sachtexts und der Grafik (Abbildung 3) in Stichworten die Bedeutung der Datensicherheit und der Standardisierung für 5G.

MATERIAL

DATENSICHERHEIT/STANDARDISIERUNG 5G

DATENSICHERHEIT

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

STANDARDISIERUNG 5G

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

HINWEISE UND LÖSUNGEN ZU DEN AUFGABEN

LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN ZU DEM EINSTIEGSGESPRÄCH

Mögliche Erfahrungen beim Versenden von Snaps:

- ▶ In Großstädten funktioniert das meistens schon sehr gut
- ▶ Keine ausreichende Funkverbindung: „kein Netz“
- ▶ Die Übertragungsgeschwindigkeit der Verbindung reicht nicht aus, um Bilder zu übertragen
- ▶ Die Übertragung reißt während der Bewegung ab

Anforderungen an die neue Mobilfunkgeneration:

- ▶ Lückenlose Verfügbarkeit, auch auf dem Land
- ▶ Verlässliche Verbindung, kein Datenabbruch
- ▶ Geringere Latenzzeiten (Reaktionszeiten) für Online-Spiele

1. DAS IST 5G

Lösungsvorschlag:

	5G (5. Generation)
Weltweiter Standard	Ja
Hauptanwendung	Virtual Reality, Internet der Dinge, Industrieproduktion, Autonomes Fahren
Einführung in Deutschland	2020
Typische Übertragungsrate	1–10Gb/s
Frequenzbereich	2 GHz und 3,4–3,8 GHz
Technologie-Merkmal	Virtuelles Netz wird per Software definiert
Latenzzeit, d. h. Reaktionszeit im Netz	Etwa 1 ms
Größe der Funkzellen	Überlagerung von Femto- bis Makrozellen
Gleichzeitige Nutzer pro Zelle/Sektor	1000x LTE Kapazität

Lassen Sie Ihre Schülerinnen und Schüler die wesentlichen technischen Änderungen gegenüber den Vorgängersystemen in eigenen Worten wiedergeben. Diese sind:

- ▶ die sehr kurze Antwortzeit des Netzes mit Datenverbindung in Echtzeit
- ▶ die sehr hohe Datenübertragungsrate
- ▶ absolute Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- ▶ die große Zahl von Endgeräten mit gleichzeitiger Verbindung in einer Funkzelle
- ▶ die Zuteilung von Netz je nach Bedarf durch Softwaresteuerung

BONUSAUFGABE: BERECHNE DIE ÜBERTRAGUNGSRATEN BEI 2G UND 5G

Lösungsvorschlag:

1a: Die theoretische Bruttodatenrate beträgt $114\text{Bits}/4,615\text{ms} = 24,7\text{kb/s}$. Davon werden Kodierung, Fehlerschutzmechanismen, Steuer- und die Kontrolldaten abgezogen. Für die eigentliche Nutzdatenübertragung bleiben theoretisch maximal 13kb/s übrig.

1b: Die theoretische Übertragungsrate bei 5G berechnet sich zu mindestens $51,5\text{Mb/s} \cdot 40 \cdot 16 \cdot 1,6 = 5,27\text{ Gb/s}$.

2. VOR- UND NACHTEILE VON 5G

Lösungsvorschlag:

	VORTEILE	NACHTEILE
Ich als Nutzer	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Übertragungsrate in Echtzeit für mobiles Virtual Reality ▶ Lückenlos und flächendeckend überall verfügbar ▶ Funkversorgung für sehr viele Nutzer in einer Zelle (z. B. Events) ▶ Smartphone weltweit nutzbar 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Neues Endgerät notwendig ▶ Die Frequenzen für 5G stehen erst langsam zur Verfügung ▶ Überall Funkstrahlung mit sehr hohen Frequenzen im Mikrowellenbereich
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Übertragungsrate für Daten in Echtzeit (kleine Latenz, d. h. geringe Reaktionszeit im Netz) ▶ Spontane Vernetzung von Produktionsanlagen mit mobilen Endgeräten untereinander ▶ Einrichtungen von firmeneigenen, vertraulichen und absolut sicheren Campus-Netzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Die Frequenzen für 5G stehen erst langsam zur Verfügung ▶ Funkstationen müssen erst mit Glasfaser vernetzt sein für vollen Funktionsumfang von 5G ▶ Investitionen für kompatible Endgeräte und Netzteilente

3. VERNETZTE PRODUKTIONSANLAGEN UND AUTOMATISIERTES FAHREN MIT 5G

TECHNISCHE NEUERUNGEN BEI 5G

Lösungsvorschlag:

- 1 = Aa) 4 = Bc) 7 = Ca) 10 = Ag) 13 = Ba)
- 2 = Ab) 5 = Bb) 8 = Cb) 11 = Ac)
- 3 = Af) 6 = Ae) 9 = Bd) 12 = Ad)

ANFORDERUNGEN AN EIN ZUKUNFTSFÄHIGES MOBILKOMMUNIKATIONSSYSTEM 5G

Lösungsvorschlag:

PRODUKTION IN INDUSTRIE 4.0

- ▶ Höchstzahl von gleichzeitigen Nutzern oder Endgeräten pro Zelle
- ▶ Absolut zuverlässige Funkversorgung
- ▶ Hohe Übertragungsraten für Daten
- ▶ Datenfluss in Echtzeit (keine Latenzzeiten) für die Überwachung von automatisierten Produktionsabläufen
- ▶ Möglichkeit von eigenen Rechenzentren (Edge Computing) für kleine Reaktionszeiten im Netz
- ▶ Verfahren im Standard, die absolute Zuverlässigkeit und Datensicherheit garantieren
- ▶ Eigene Netze für zusätzliche Vertraulichkeit und Datensicherheit

AUTOMATISIERTES FAHREN

- ▶ Zuverlässige Funkversorgung zwischen Fahrzeugen und Umgebung
- ▶ Höchstzahl von gleichzeitigen Nutzern oder Endgeräten pro Zelle
- ▶ Extrem kurze Reaktionszeiten des Netzes
- ▶ Verfahren im Standard, die absolute Zuverlässigkeit und Datensicherheit garantieren

BEDEUTUNG DER DATENSICHERHEIT UND DER STANDARDISIERUNG FÜR 5G

Lösungsvorschlag:

Datensicherheit:

- ▶ Die Vielzahl von unterschiedlichen vernetzten Endgeräten weltweit bietet eine breite Angriffsfläche für Hacker und Cyberattacken.
- ▶ In Industrie 4.0 und im Verkehr werden große Mengen von sensiblen Daten auf standardisierten Funkverbindungen ausgetauscht.
- ▶ Verfahren im Standard für 5G für absolute Zuverlässigkeit und Datensicherheit sind deshalb wichtig.
- ▶ Eigene Campus-Netze mit eigenen Rechenzentren und eigenen Frequenzen sind ein zusätzlicher Schutz gegen Cyber-Angriffe.

Standardisierung 5G:

- ▶ Die Endgeräte der Nutzer und Endgeräte an Produktionsanlagen sind weltweit kompatibel.
- ▶ Globale Produktion und Vernetzung der Produktionsanlagen ist kompatibel möglich.
- ▶ Endgeräte verschiedener Hersteller können kompatibel eingesetzt werden.
- ▶ Standardisierung sorgt für hohen Sicherheitsstandard weltweit.