



Technologische Souveränität und die Rolle der Kommunikationssysteme in einer digitalisierten Gesellschaft

Positionspapier | April 2021

Eine erfolgreiche Digitalisierung in Gesellschaft, Staat und Wirtschaft setzt leistungsfähige und zuverlässige Kommunikationssysteme voraus. Eine systematische Sicherstellung der technologischen Souveränität Deutschlands und Europas im Bereich der Kommunikationstechnologien garantiert die Verfügbarkeit dieser Kommunikationssysteme für Bürgerinnen, Bürger, Institutionen und Unternehmen.

Zusammenfassung

Technologische Souveränität wird gemeinhin als die Fähigkeit eines Staates, einer Gesellschaft oder Volkswirtschaft verstanden, seine politischen oder gesellschaftlichen Prioritäten umsetzen zu können, ohne dabei durch die unzureichende oder fehlende Kontrolle über Technologien gehindert zu werden¹. Technologische Souveränität erfordert nach allgemeinem Verständnis keine Autarkie, wohl aber ein Verständnis des gesamten Entwicklungsprozesses und zuverlässigen Zugang zu Produkten.

Besondere Bedeutung hat die Frage der technologischen Souveränität im Bereich der Kommunikationstechnologien. Die Covid-19-Pandemie hat gezeigt, wie viele Dienste hiervon abhängig sind und wie wichtig diese für die Resilienz einer Gesellschaft sind: Homeschooling, Lieferdienste, berührungsloses Bezahlen und vor allem der unverzichtbare Kontakt zu Familie und Freunden wären ohne stabile Kommunikationsnetze unmöglich gewesen. Kommunikationsnetze sind aber weit darüber hinaus ein zentraler Innovationstreiber und wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Digitalisierung. Die Anwendungsfelder Industrie 4.0, mobile KI-Dienste und vernetztes Fahren, in Zukunft aber auch Tele- und Präzisionsmedizin sind Beispiele hierfür. Die Durchsetzung wesentlicher gesellschaftlicher Prioritäten wie Schutz der Privatsphäre und geistigen Eigentums, Versorgungssicherheit, gleichwertige Lebensbedingungen

auch im ländlichen Raum und Digitalisierung als Beitrag zur Erreichung unserer klimapolitischen Ziele setzt Kontrolle über Kommunikationstechnologien voraus.

Die dargestellte zunehmende Bedeutung der Kommunikationstechnologien schlägt sich in einem zurzeit eskalierenden internationalen Wettlauf um Technologieteilhabe und -führerschaft nieder. Die stark wirtschaftsstrategisch getriebenen OpenRAN-Aktivitäten und das internationale Engagement im Bereich 6G – erstmals auch im Rahmen von US-Programmen – sind hierfür deutliche Indikatoren.

Aus technologischer Perspektive ist die Kommunikationstechnologie einerseits durch ein anspruchsvolles System-Knowhow geprägt, das vor allem in der Standardisierung benötigt wird. Andererseits gibt es eine enge Interaktion vieler Basistechnologien wie Mikroelektronik, Softwaretechnologien und in Zukunft auch Quantentechnologie, ohne deren Verständnis Kommunikationssysteme nicht souverän (weiter)entwickelt, aufgebaut, geprüft und betrieben werden können. In beiden Bereichen gibt es zurzeit ein schnell zunehmendes Innovationstempo.

Basierend auf dieser Situationsbeschreibung wird empfohlen, in regelmäßigen Reviews die technologische Souveränität Deutschlands in Bezug auf die Kommunikationstechnik zu analysieren und Handlungsbedarf zu identifizieren. Hierbei sollte die zentrale Rolle der Kommunikationstechnik für eine digitalisierte Gesellschaft und als Innovationsvoraussetzung in vielen wichtigen Branchen Berücksichtigung finden. Besondere Bedeutung kommt einer langfristig geplanten Kompetenz- und Fachkräfteentwicklung zu, was durch gemeinsame Forschungsprogramme von Forschung und Industrie sichergestellt werden kann. Die Standardisierung, in der wesentliche Systementscheidungen fallen, sollte eine deutlich größere Aufmerksamkeit finden. Neben einer

1 VDE-ITG, Technologische Souveränität: Vorschlag einer Methodik und Handlungsempfehlungen, 2020, online

systematischen Analyse neuer Trends in der internationalen Forschung und Standardisierung sowie neuer Bedarfe sollte eine quantitative Analyse der Position Deutschlands und Europas im diesbezüglichen internationalen Wettbewerb (Patente, Publikationen, Standardisierungsbeiträge) durchgeführt werden, um frühzeitig Handlungsbedarf zu erkennen.

1 Was ist „Technologische Souveränität“?

Die Diskussion über die Verfügbarkeit von medizinischen Masken und Covid-19-Impfstoffen oder über die Abhängigkeit unserer Mobilfunknetze von einem als möglicherweise nicht vertrauenswürdig geltenden, nicht-europäischen Ausrüstungshersteller hat die Frage der technologischen Souveränität unserer Gesellschaft in die breite Öffentlichkeit getragen. Die geopolitische Polarisierung und zunehmende Nutzung wirtschaftspolitischer Maßnahmen als Instrument zur Durchsetzung strategischer Interessen hat diese Diskussion auch international allgegenwärtig gemacht.

Die besondere Bedeutung der Kommunikationssysteme als Rückgrat jeder Digitalisierung wird hierbei auch international erkannt. Insbesondere im Bereich Mobilfunk haben China und die USA technologische Führerschaft und Unabhängigkeit von bestimmten externen Technologieanbietern als priorisiertes Ziel staatlichen Handelns definiert. Die USA setzen hierbei auf Open RAN, eine Implementierungsstrategie für Mobilfunksysteme, die neuen Anbietern – insbesondere amerikanischen IT- und Prozessorherstellern – den Einstieg in die Mobilfunkinfrastruktur erleichtern soll. China dagegen hat ein ehrgeiziges und langfristiges 6G-Programm initiiert. Im Rahmen des Konjunkturpakets hat auch Deutschland signifikante Investments in 6G und Open RAN angekündigt.

Technologische Souveränität wird gemeinhin als die Fähigkeit eines Staates, einer Gesellschaft oder Volkswirtschaft verstanden, seine politischen oder gesellschaftlichen Prioritäten umsetzen zu können, ohne dabei durch die unzureichende oder fehlende Kontrolle über Technologien gehindert zu werden? Hierbei werden regelmäßig auch alle zur Nutzung technischer Lösungen benötigten Rohstoffe, Komponenten und Technologien sowie der Zugang zu notwendigem Wissen und Rohdaten mit betrachtet. Die Technologische Souveränität umfasst dabei auch oft die digitale Souveränität und mediale Souveränität der Bürgerinnen und Bürger mit dem dafür benötigten Zugang zu Information, Daten, IT-Sicherheits- und Datenschutzlösungen, wobei dem Zugriff auf Daten als Rohstoff der Datenökonomie besondere Bedeutung zukommt. Weiterhin umfasst der Be-

griff der technologischen Souveränität alle Stufen der Wertschöpfungskette von der Ausbildung und Forschung bis zum Verfügbarmachen der Lösung für Bürgerinnen und Bürger, Verwaltung und Wirtschaft.

Technologische Souveränität wird von Autarkie einerseits und von Fremdbestimmung andererseits abgegrenzt. Souveränität setzt keine völlige Selbständigkeit voraus, sondern bedeutet lediglich, dass die zur Umsetzung von Zielen benötigten Mittel und Ressourcen selbstbestimmt eingesetzt werden können. Vom Streben nach technologischer Souveränität zu unterscheiden ist dagegen die Forderung nach Diversität von Lieferketten oder Technologieanbietern aus rein betriebswirtschaftlichen Gründen.

Auch die Akzeptanz für die Nutzung bestimmter Technologien in der Bevölkerung oder bei betroffenen Anwendergruppen kann die Einsetzbarkeit einer Technologie so einschränken, dass die Nutzung entsprechender Lösungen bei der Umsetzung gesellschaftlicher Prioritäten nicht möglich ist (siehe 5G-Diskussion). Dieser Effekt kann sich ebenso wie fehlender Zugriff auf die Technologie auswirken und muss daher als genauso relevant betrachtet werden; er wird aber nicht als Bestandteil der technologischen Souveränität gesehen.

2 Kommunikationstechnik als Voraussetzung für technologische Souveränität in der Digitalisierung

Die Bedeutung einer erfolgreichen Digitalisierung wird in der Covid-19-Pandemie deutlich demonstriert. Schule, Hochschule, öffentliche Verwaltung und Handel, aber vor allem die Aufrechterhaltung sozialer Kontakte, sind ganz wesentlich von der Verfügbarkeit einer leistungsstarken Kommunikationsinfrastruktur abhängig.

Aber auch unabhängig von dieser Sondersituation sind die Effizienz- und Kostengewinne, die Flexibilisierung und der Innovationsschub, die durch Digitalisierung erreichbar sind, für eine moderne Gesellschaft und Wirtschaft unverzichtbar. Der zuverlässige Zugriff auf Internetdienste, die Verknüpfung von Produkten mit Diensten, die Vernetzung von Maschinen und Anlagen sind essenziell für ein Hochtechnologieland und insbesondere deutsche Schlüsselindustrien wie die Automatisierungstechnik, den Anlagenbau und die Automobilindustrie. Die Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) als weiterer Schlüsseltechnologie einer datengetriebenen Ökonomie ist branchenunabhängig ebenfalls stark von Datenübertragung und Kommunikationsinfrastruktur

2 VDE-ITG, Technologische Souveränität: Vorschlag einer Methodik und Handlungsempfehlungen, 2020, online

abhängig. Auch in der Telemedizin oder der personalisierten Medizin werden zukünftige Innovationen ohne Kommunikationstechnik nicht möglich sein und hochsensible Daten sicher und zuverlässig transportiert werden müssen.

Die effiziente Umsetzung klimapolitischer Ziele, der Ausbau einer Kreislaufwirtschaft, moderne Mobilitätskonzepte und eine umfassende Inklusion, insbesondere des ländlichen Raumes, ist ebenfalls ohne Kommunikationssysteme der neusten Generation nur schwer denkbar.

Aus technischer Sicht kommt der technologischen Souveränität im Bereich der Kommunikationstechnik besondere Bedeutung zu, weil alle Daten und Informationen letztlich durch Kommunikationssysteme fließen und hier Angriffe, auch aus der Ferne, besonders einfach realisierbar sind. Auch der Datenschutz und die Sicherheit proprietärer Informationen sind kritisch von der Kontrolle über die Kommunikationstechnik abhängig. Da im geopolitischen Kontext hierzu unterschiedliche Vorstellungen existieren, wird die Frage der technologischen Souveränität in der Kommunikationstechnik unmittelbar relevant.

Da Kommunikationssysteme globale Netze bilden, haben Standardisierung und die Ausbildung von globalen Massenmärkten hier eine besondere Bedeutung. Entsprechend relevant und unausweichlich sind die internationale Konkurrenzsituation und die Notwendigkeit, hier geeignete Strategien zur Sicherstellung der technologischen Souveränität als Teil eines globalen Innovationsökosystems zu definieren.

Letztlich ist die Rolle der Kommunikationstechnik auch für die nationale Sicherheit unbestritten und eine der starken Motivationen anderer Länder, hier unbedingt eine Vormachtstellung aufbauen bzw. verteidigen zu wollen.

3 Souveränität erfordert keine Autarkie – die unterschiedlichen Level der Technologischen Souveränität

Betrachtet man die Wertschöpfungskette, so haben die Beteiligten je nach Position in der Wertschöpfungskette sehr unterschiedliche Anforderungen an den Zugang und den Umgang mit Technologien. Hinzu kommt, dass Staat, Bürgerinnen und Bürger sowie Marktteilnehmer je nach Rolle und Aufgabenstellung die Anforderungen an technologische Souveränität für einzelne Abschnitte der Wertschöpfungskette unterschiedlich bewerten. So wird in der Kommunikationstechnik ein Netzbetreiber andere Vorstellungen haben als ein Netzausrüster oder der Nutzende.

Als für die Souveränität relevante Rollen von Marktteilnehmern werden in einem einfachen Modell berücksichtigt:

- ▶ Endverbraucher
- ▶ Betreiber / Dienstleister / Händler
- ▶ Produktion
- ▶ Produktentwicklung
- ▶ Forschung / Ausbildung
- ▶ Gesetzgeber / Regulierer

Im Folgenden werden die Anforderungen und möglichen Erwartungen an eine „souveräne Handlungsfähigkeit“ entlang der Wertschöpfungskette diskutiert, wobei jede Stufe aus der Sicht der entsprechend relevanten, oben genannten Rollen diskutiert wird.

Ein Blick auf die Covid-19-Impfkampagne als Beispiel für eine Wertschöpfungskette mit hoher gesellschaftlicher Priorität zeigt, dass nur die Betrachtung aller Stufen die Umsetzung gesellschaftlicher Ziele sicherstellt. Impfstoff muss erforscht werden, er muss zugelassen und produziert werden, eine Gesellschaft muss auf den produzierten Impfstoff in geeigneten Quantitäten Zugriff bekommen und letztlich



Abbildung: Vereinfachte Wertschöpfungskette

muss auch die Inbetriebnahme – hier Impfung – erfolgen, damit das Ziel der Immunisierung der Bevölkerung erreicht wird.

Ausbildung und Fachkräftemanagement

Technologische Souveränität beginnt und endet beim Menschen. Am Anfang wird Fachexpertise benötigt, die im Rahmen eines Ausbildungssystems für Fachkräfte, das Schule, Hochschule und Weiterbildung aber auch internationale Fachkräftewanderung betrachten muss, langfristig geplant und sichergestellt werden muss. Eine vorausschauende Bedarfserhebung und Planung – insbesondere unter Berücksichtigung des demographischen Wandels – der Ausbau der Attraktivität Deutschlands und Europas als Ausbildungs- und Beschäftigungsstandort und auch aktive Anwerbsmaßnahmen gehören hierzu. Die Verfügbarkeit geeigneter großer Fachkräftepopulationen sicherzustellen ist eine langfristige Aufgabe, die in ihrer Bedeutung oft unterschätzt wird. Zurzeit scheitert der Breitbandausbau aber unter anderem an Spezialistinnen und Spezialisten für den Glasfaserbau. Auch erfordert die Umsetzung ehrgeiziger Ziele im Bereich Kommunikationstechnik – hier sind 6G, Green ICT, Campusnetze und Open RAN einige der international besonders umkämpften Technologiefelder – eine Mobilisierung personeller Ressourcen und Expertise, die eine gute Abstimmung und Koordination aller möglicher Akteure in Industrie und Wissenschaft und auch in Europa erfordern.

Um Wissen über eine Technologie vermitteln zu können, ist ein tiefgehendes Verständnis der Technologie erforderlich. Zugang zu Informationen, Wissen, Daten, Publikationen, aber auch die Diskussion in internationalen Fachgremien und Standardisierungsgruppen sind hier zu betrachten.

Die besondere Herausforderung in Bezug auf Ausbildung und Fachkräftemanagement liegt in der Langfristigkeit. Relevante Kompetenzen müssen viele Jahre im Voraus erkannt und aufgebaut werden. Hierzu ist eine umfassende Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichsten Institutionen unabdingbar.

Forschung

Forschung macht aus vorhandenem Wissen neues Wissen und Verstehen. Dies ist nicht nur die Voraussetzung dafür, eigene Innovationen vorantreiben zu können, sondern auch dafür, die Innovationen anderer verstehen und souverän nutzen zu können. In einer globalen, arbeitsteiligen Welt werden wir immer Innovationen und Produkte anderer mitnutzen müssen. Um dies aber souverän tun zu können, ist eine Wissens- und Forschungsbasis notwendig, die weit über die

Themen und Technologien hinausgeht, die wir selbst vorantreiben können. **Ohne Forschung kann man nicht nur nicht selbst innovativ tätig sein, sondern auch die Innovationen anderer nicht verstehen und selbstbestimmt einsetzen. Die Forschung ist somit die umfassende und notwendige Voraussetzung für technologische Souveränität.**

Aufbau von Wissen und Kenntnissen, die Fähigkeit, aus Bekanntem neue Lösungen zu entwickeln und die Wirkmechanismen hinter verwendeter Technologie zu verstehen und beeinflussen zu können, setzt ein tiefes Verständnis von Technologie und die tiefe Integration in die internationale Forschungsgemeinschaft voraus. Die experimentelle Seite erfordert Zugang zu Hochtechnologie aus unterschiedlichsten Bereichen, unter anderem in Form von Mess- und Produktionseinrichtungen oder auch Materialien und Rohstoffen. Der Zugang zu Software und Algorithmen gehört ebenso dazu, wobei der Idee des „Open Source“ immer größere Bedeutung zukommt.

Produktentwicklung

Die Produktentwicklung macht aus Innovationen marktfähige Produkte. Daher sind in der Produktentwicklung neben technologischem Wissen auch Marktverständnis und Anwendungsexpertise erforderlich. **Aus Sicht der technologischen Souveränität ist dies vor allem relevant, wenn Wissen über kritische Branchen für die deutsche oder europäische Volkswirtschaft betroffen ist. Die Aufgaben liegen hier offensichtlich eher auf der Seite der Industrie und entwickelnden Betriebe.** Der Staat kann nur die benötigten Ressourcen und das organisatorische und regulatorische Umfeld sicherstellen. Hierzu gehört zum Beispiel die Förderung und Zurverfügungstellung der notwendigen Expertise – in der Kommunikationstechnik insbesondere auch im Bereich Standardisierung und Zertifizierung – und die Förderung der Zusammenarbeit von Forschung und Industrie zum Beispiel durch entsprechende Förderprogramme.

Natürlich werden in der Produktentwicklung auch spezifische Entwicklungstechnologien benötigt. Für diese ist die Verfügbarkeit nur in dem Umfang sicherzustellen, in dem sie zur Produktentwicklung benötigt werden.

Produktion

Für die Herstellung eines Produktes ist der Zugang zu Produktionsmaschinen, Materialien und Komponenten erforderlich. Zur Qualitätssicherung sind zum Teil umfangreiche Prüfeinrichtungen, Maschinen und ggf. auch weitere Materialien notwendig. Zu berücksichtigen ist auch, dass ohne eine ausgereifte Logistik heute kaum mehr erfolgreich produziert

werden kann. Schließlich müssen auch entsprechend qualifizierte Mitarbeitende verfügbar sein. Gerade bei komplexeren Produkten beschränken sich die Anforderungen an Infrastruktur, Material und Wissen nicht auf ein Technologiefeld.

Die Corona-Krise zeigt, wie abhängig unsere gesamten Lieferketten von asiatischen Zulieferern sind. Ein signifikanter Anteil elektronischer Bauteile, Leiterplatten, Gehäuse, Lüfter und Stromversorgungen kommen heute praktisch alle aus Fernost, und viele Auftragsfertiger sind ebenfalls dort ansässig. Globale Lieferketten müssen deshalb bezüglich der Versorgungssicherheit hinterfragt und auch zwingend einer Souveränitätsanalyse unterzogen werden.

In der Produktion ist neben der Sicherstellung der Produktionskapazitäten der Zugriff auf die Produktionstechnologie und die Rohstoffe aber auch die Vermeidung des Abflusses kritischer Expertise von besonderer Relevanz.

Betrieb und Inverkehrbringen sowie Endnutzer

Technologische Souveränität als Voraussetzung für die unbehinderte Umsetzung gesellschaftlicher Prioritäten setzt am Endnutzer an. Er muss die Technologie nutzen können, bei ihm muss der Nutzen ankommen. Endnutzer sind in erster Linie die Bürgerinnen und Bürger, es können aber auch Institutionen wie Firmen oder Versorgungsunternehmen sein.

Der Betrieb einer technischen Einrichtung oder Infrastruktur erfordert umfangreiches Wissen über das Betriebsverhalten der eingesetzten Geräte bzw. der Infrastruktur. Das Wissen hierüber und geeignet qualifiziertes Personal müssen vorhanden sein. Störungen, Defekte oder Angriffe müssen erkannt und abgewehrt werden können.

Alle Bürgerinnen und Bürger sollten über eine gewisse Souveränität im Umgang mit Produkten, Diensten, Infrastrukturen und Daten verfügen. Dies setzt entsprechende Kenntnisse bei den Menschen voraus. Um souverän handeln zu können, müssen sie die Kontrolle über ihre Daten haben und verstehen, wozu, wo und wie die Daten genutzt werden (Transparenz). Auch professionelle Nutzer benötigen souveräne Handlungsfähigkeit zur Umsetzung ihrer Geschäftsmodelle bzw. zur Erreichung ihrer Aufgaben in der Verwaltung. Die öffentliche Hand, insbesondere Sicherheitsbehörden, haben ein vitales Interesse an hochsicherer Datenkommunikation. IT-Geräte müssen ebenfalls mit höchstmöglicher Sicherheit betrieben werden können.

Gesellschaft, Gesetzgebung, Regulierung und Standardisierung

Begleitend zur Wertschöpfungskette muss der Einfluss des staatlich definierten Rahmens berücksichtigt werden. Hierzu gehören die Regulierung (zum Beispiel der Spektrumszugang für Forschung und Betriebe), der Rechtsrahmen für geistiges Eigentum, die Standardisierung, die Regulierung zur Erprobung neuer Produkte und Ähnliches. **Die Wettbewerbsfähigkeit von Standorten aber auch die technologische Souveränität sind hiervon stark abhängig und ein geeigneter Rahmen staatlichen Handelns kann erheblichen Einfluss auf die langfristige Sicherung technologischer Unabhängigkeit haben.**

Obwohl wirtschaftliche Interessen einzelner Unternehmen alleine noch kein Argument für Maßnahmen sein können, die auf technologische Souveränität zielen, **ist eine vitale, nachfragestarke und technologisch leistungsfähige Industriebasis doch offensichtlich eine wichtige Voraussetzung für die Aufrechterhaltung technologischer Souveränität.** Neben den oben genannten Randbedingungen kann dazu dann auch die Sicherstellung eines zuverlässigen Lieferantenecosystems gehören.

4 Beispiele für Kommunikationssysteme aus Sicht der technologischen Souveränität

Im Folgenden werden vier Beispiele für Kommunikationssysteme bzw. Basistechnologien diskutiert, bei denen technologische Souveränität zurzeit – auch international – große Aufmerksamkeit genießt. **Sie zeigen eindrucksvoll, dass die Kommunikationstechnik nicht nur heute und morgen, sondern auch übermorgen – siehe „Quantenkommunikation“ – ein erhebliches disruptives Innovationspotential entwickeln wird, weshalb eine langfristige und nachhaltige Strategie zur Sicherstellung der technologischen Souveränität in diesem für unsere Gesellschaft zentralen Themenfeld notwendig ist.** Dies gilt – wie oben beschrieben – in besonderer Weise für die Zurverfügungstellung der notwendigen Fachexpertise und damit die Bereiche Ausbildung und Wissenschaft, da es hier nicht mehr kurzfristig nachgesteuert werden kann.

In der gesamten Kommunikationstechnik ist seit geraumer Zeit ein Trend zur weitgehenden Softwarisierung und Virtualisierung von Netzwerkfunktionalität sowie zu einer zunehmenden Entkopplung von Hardware und Software zu beobachten. Dieser Trend findet zurzeit in der Diskussion über Open RAN seinen Niederschlag in der Mobilfunkentwicklung, hat dort aber schon eine viel längere Historie. **Diese**

Entkopplung von Hardware und Software bietet aus Sicht der technologischen Souveränität die Möglichkeit, Produktmärkte stärker zu segmentieren und damit gezielter und effizienter die zur Sicherstellung der technologischen Souveränität notwendigen Teilmärkte zu adressieren. Dieser Trend könnte auch geeignet sein, die Abhängigkeit von anwendungsspezifischer Mikroelektronik zu reduzieren und auf Großserienprodukte zurückgreifen zu können.

Aus Sicht des Endnutzers (siehe oben) ist es wichtig, dass die Gesamtsysteme und Ende-zu-Ende-Lösungen betrachtet werden, was entsprechend Einfluss auf die Breite der vorzuhaltenden Kompetenzen hat.

4.1 Mobilfunk und Campusnetze

Der Mobilfunk hat sich in den letzten Jahrzehnten von einem reinen mobilen Telefoniedienst zu einem zentralen Baustein und Treiber der digitalen Transformation unserer Gesellschaft und Wirtschaft entwickelt. Insbesondere der Mobilfunk der fünften Generation (5G) wird Industrien nachhaltig verändern und disruptive Änderungen mit sich bringen, die signifikante Auswirkungen auf ganze Märkte und Wertschöpfungsnetzwerke haben werden. 5G ermöglicht unter anderem durch seine hohe Zuverlässigkeit und kurzen Latenzen vernetztes automatisiertes Fahren, die hochflexible und wandelbare Fabrik der Zukunft, intelligente Städte, ein effizienteres Gesundheitswesen und vieles mehr. Damit einher geht ein immenses wirtschaftliches Potenzial. So rechnet IHS Market beispielsweise damit, dass 5G bis zum Jahr 2035 einen Beitrag von mehr als 13 Billionen Dollar zur weltweiten Wirtschaftsleistung beisteuern wird.

5G ist dabei mehr als nur eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle. Vielmehr umfassen und integrieren heutige und zukünftige Mobilfunknetze eine Vielzahl von Technologiebausteinen wie Edge Computing, Gerätelekalisierung, und künstliche Intelligenz, die gerade im Zusammenspiel miteinander ganz neue Möglichkeiten eröffnen. Aus der drahtlosen Konnektivitätslösung wird somit eine leistungsfähige, effiziente und flexible Plattform für viele der sogenannten vertikalen (Anwendungs-)Industrien entwickelt, in denen Deutschland klassischerweise eine sehr starke Position im internationalen Wettbewerb einnimmt. **In Hinblick auf das Thema technologische Souveränität kommt dem Thema 5G daher eine Schlüsselrolle zu, da mittelfristig eine so enge Verzahnung mit den vertikalen Industrien zu erwarten ist, dass die Nutzbarkeit von 5G zu einem geschäftskritischen Faktor wird.** Es muss insbesondere zu jedem Zeitpunkt ein hohes Maß an Sicherheit, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit garantiert sein, befördert durch einen

gut funktionierenden Markt mit einem gesunden Wettbewerb zwischen einer hinreichend großen Anzahl von Anbietern. Dies ist Voraussetzung für eine hohe Kosteneffizienz sowie einen hohen Innovationsdruck.

Die große nationale und gesamtwirtschaftliche Bedeutung von 5G wurde in jüngster Zeit unter anderem durch die Sicherheitsbedenken hinsichtlich eines asiatischen Netzausrüsters deutlich, was in vielen Ländern zu einem staatlich verordneten Ausschluss dieses Anbieters geführt hat. Während sich die Sicherheitsbedenken auf diese Weise zu einem gewissen Grad adressieren lassen, führt dies allerdings gleichzeitig zu einem signifikanten Eingriff in das Marktgeschehen, was bei einer geringen Anzahl von Anbietern zu höheren Preisen und aufgrund der Hebelwirkung von 5G somit indirekt im internationalen Vergleich auch zu beträchtlichen Wettbewerbsnachteilen der Anwendungsindustrien der betroffenen Länder führen kann. **Größere außereuropäische Abhängigkeiten gibt es darüber hinaus insbesondere bei den Chipsätzen. Dieser Markt wird klar von einem amerikanischen Unternehmen dominiert, mit weiteren Anbietern insbesondere aus Fernost.**

Mit 5G und der bereits gestarteten Weiterentwicklung in Richtung 6G gehen aber auch zahlreiche technische und nicht-technische Neuerungen einher, die große Chancen mit sich bringen, den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken und die technologische Souveränität langfristig zu verbessern. **Insbesondere im Bereich der 5G- und perspektivisch 6G-Campusnetze, bei denen Deutschland gut aufgestellt ist, wird es Möglichkeiten geben, den Einfluss Deutschlands im wichtigen Mobilfunkmarkt für vertikale Industrien weiter auszubauen.**

Die Bedeutung des Mobilfunks für die technologische Souveränität und sogar nationale Sicherheit schlägt sich zum Beispiel in einem 22 Milliarden Euro 6G Programm in China und der parteiübergreifenden Open-RAN-Initiative der USA nieder. Da es keinen rein amerikanischen Hersteller für Mobilfunkinfrastruktur gibt, unterstützen die USA Open-RAN-Aktivitäten, die zum Ziel haben, die Funkzugangsnetze in mehrere Module zu zerlegen und dazwischen überprüfbare Schnittstellen zu definieren. Zusätzlich wird eine möglichst weitgehende Verwendung von Standard-Hardware insbesondere Prozessoren angestrebt. So soll ein Multi-Vendor Ecosystem aufgebaut werden, das neuen Herstellern den Eintritt in den Mobilfunkmarkt ermöglicht. Tatsächlich wird der Open-RAN-Markt zurzeit von US-Unternehmen dominiert. Auch wenn Europa über zwei eigene Hersteller für Mobilfunkinfrastruktur verfügt, so stößt die Open-RAN-Ini-

tiative bei Netzbetreibern und Industrieanwendern in Europa doch ebenfalls auf Interesse, da sie verspricht, Innovationen schneller in den Markt einzuführen und den Wettbewerb zu fördern. **Dies ist ein nicht untypischer möglicher Konflikt zwischen technologischer Souveränität einerseits und wirtschaftlichen Überlegungen bzw. Innovationsförderung andererseits, der besonders hohe Anforderungen an die Zielgenauigkeit und Feinjustierung staatlichen Handelns stellt.**

4.2 Optische Netztechnik

Nach einer VATM-Studie³ betrug der Breitband-Internetverkehr in Deutschland in 2019 15 Tb/s im Festnetz und 1 Tb/s im Mobilnetz. Der Festnetz- und Mobilfunkverkehr steigen jährlich mit einer Wachstumsrate von 30% bzw. 60%. Der Breitbandverkehr wird aggregiert und über optische Metro- und Kernnetze weitertransportiert. Das zusätzliche Verkehrsaufkommen für die glasfasergebundene Firmenstandort- und Datencentervernetzung ist mit mehr als 60 Tb/s⁴ sogar etwa viermal so groß wie der gesamte deutsche Breitbandverkehr. An diesen Zahlen wird eindrucksvoll deutlich, **wie unverzichtbar zuverlässige und sichere optische Netze schon heute für unsere Wirtschaft und Gesellschaft sind. Auch der flächendeckende Glasfaserausbau und die Mobilfunkversorgung mit 5G sowie die Vernetzung kritischer Infrastrukturen und Einrichtungen mit Sicherheitsaufgaben sind ohne vertrauenswürdige optische Netztechnik nicht realisierbar.** Eine Bandbreite von mehreren THz, niedrige Streckenverluste und die Immunität gegenüber elektromagnetischen Störungen machen die Glasfaser für viele Anwendungen zum Übertragungsmedium der Wahl. Die hohen transportierten Datenmengen und die große Störwirksamkeit bei einem Netzausfall machen optische Netze jedoch zu einem attraktiven Ziel für Spionage und Sabotage; sie erfordern geeignete Schutzmaßnahmen, um die Abhör- und Ausfallsicherheit zu gewährleisten.

Die Kapazität, Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit optischer Netze kontinuierlich zu steigern und gleichzeitig die Kosten- und Energieeffizienz stetig zu verbessern, ist eine anspruchsvolle Herausforderung für die nächste Dekade⁵. Für eine erfolgreiche Umsetzung müssen Innovationen auf der Netz-, System- und Komponentenebene Hand-in-Hand gehen. Der Einsatz intelligenter Netzautomatisierung und die Verwendung künstlicher Intelligenz haben das Potential, die Dienstbereitstellung agiler und sicherer zu machen und die Betriebskosten, die in Kommu-

nikationsnetzen typischerweise fünffach höher sind als die Investitionskosten, nachhaltig zu senken.

2017 hatte der weltweit adressierbare Markt für optische Netztechnik und die zugehörigen optischen Komponenten zusammen eine Größe von 42 Milliarden USD⁶. Die Forschungs- und Entwicklungsintensität ist in der optischen Kommunikationstechnik mit mehr als 10% des Umsatzes⁷ deutlich höher als in anderen Bereichen und charakteristisch für Hochtechnologiemärkte mit schnellen Innovationszyklen. Fünf der zehn größten optischen Netzwerkausrüster, die zusammen mehr als 50% des Marktes repräsentieren, unterhalten Forschungs- und Entwicklungsstandorte in Deutschland, darunter zwei Firmen mit europäischem Hauptsitz. Zwei der größten Komponentenhersteller haben sowohl Forschung und Entwicklung als auch eigene Halbleiterfabriken für optoelektronische Komponenten in Europa. Mit zusätzlich mehr als hundert KMU, Universitäten und Forschungseinrichtungen sind Deutschland und Europa insgesamt exzellent aufgestellt, was die Forschungs- und Entwicklungskompetenz für optische Netz-, System- und Komponententechnik angeht. Der schnelle technologische Fortschritt erfordert jedoch eine kontinuierliche Anstrengung, um den erreichten Wissensvorsprung zu halten und weiter auszubauen.

Ein hohes Maß an technologischer Souveränität existiert in Deutschland bei der Hard- und Softwareentwicklung sowie der System- und Netzintegration auf der Ebene der Netzausrüster. Eine lokale Produktentwicklung ist nicht nur notwendig, wenn es um sicherheitsrelevante Komponenten gilt, sondern bringt auch einen erheblichen Vorteil, wenn die Mobilität von Personal und Waren eingeschränkt und Fachkompetenz vor Ort vonnöten ist. Eine technologische Abhängigkeit besteht auf dem Gebiet optischer, optoelektronischer und mikroelektronischer Komponenten, die heute bis auf wenige Ausnahmen praktisch alle von nordamerikanischen oder asiatischen Zulieferern bezogen werden müssen. Verringert werden kann diese Abhängigkeit durch eine geeignete Beschaffungsstrategie. Darüber hinaus ist bei den optischen Netzausrüstern in den letzten Jahren der Trend zu beobachten, dass sie kritische Komponenten wieder zunehmend selbst entwickeln und eine stärkere vertikale Integration der Wertschöpfungskette anstreben.

3 Dialog Consult/VATM, „21. TK-Marktanalyse Deutschland 2019“, 2019, online

4 Eigene Analyse auf Basis von Netzbetreiberinformationen

5 Networld2020, „Strategic Research and Innovation Agenda 2021-27: Smart Networks in the Context of NGI“, 2018, online

6 Photonics21, „Europe’s age of light! - How photonics will power growth and innovation. Strategic Roadmap 2021–2027“, 2019, online

7 Aggregierte Information aus Firmen- und Analystenberichten

4.3 Softwarisierte Netze für die hochvernetzte Gesellschaft

Das Internet hat sich zu einer allgegenwärtigen globalen Kommunikationsinfrastruktur entwickelt, deren herausragende Bedeutung für die Entwicklung von Gesellschaft und Wirtschaft weiter wächst. Gerade die aktuelle Covid-19-Pandemie hat uns allen die Bedeutung funktionierender und verfügbarer Kommunikationssysteme sehr deutlich vergegenwärtigt und deren Rolle als Schlüsseltechnologie für die Bereitstellung vernetzter Anwendungsdienste unterstrichen. Sie hat auch gezeigt, dass eine Ende-zu-Ende-Gesamtbetrachtung inklusive der Anwendungssysteme letztendlich das ist, was für die Nutzer von Bedeutung ist. **Mit der zunehmenden Vernetzung von Dingen, Maschinen, Fahrzeugen und auch autonomen Robotern wird die Rolle des Internets als universelles Vernetzungsmedium nochmal steigen.** Es bedarf somit einer integrierten Betrachtung des Internets und dessen zugrundeliegenden Kommunikationstechnologien (inkl. 5G und künftig 6G, Internet of Things/Everything/Industry). Die Visionen für die 6. Mobilfunkgeneration sehen den Menschen, personalisierte Medizin und neue Formen der Interaktion zwischen Mensch und Umwelt als wichtiges Innovationsfeld. Hierbei werden Sicherheit, transparenter Datenschutz und die Souveränität des Menschen in einer hochvernetzten Welt im Mittelpunkt stehen.

In allen diesen Beispielen werden unterschiedlichste Übertragungstechnologien zum Einsatz kommen. Mobilfunk und optische Netze (siehe oben) sind hierfür zwei Beispiele. Die Bandbreite der Anwendungsanforderungen wird immer größer werden, einige Anwendungsbeispiele werden sehr speziell sein und nur kleine aber gesellschaftlich wichtige Märkte ergeben. Gleichzeitig werden die Ansprüche an Performanz und Kosteneffizienz aber weiter steigen. **Nur durch eine konsequente Softwarisierung kann die nötige Flexibilität und Universalität sichergestellt sein, um hier alle Anforderungen abdecken zu können und auch kleine Nachfragenvolumen bedienen zu können.** Ende-zu-Ende-Performanz, Sicherheit und Systemeffizienz werden über komplexe Kontroll- und Regelsoftware sichergestellt. Zukunftsweisende Kommunikationssysteme müssen in der Lage sein, hierzu automatisiert Ressourcen der Kommunikationsinfrastruktur entsprechend den Anwendungsanforderungen zu kombinieren. So ist es zum Beispiel vorstellbar, dass es für gewisse Anwendungen virtuelle Ende-zu-Ende Netze geben kann, die sich je nach Bedarf automatisch skalieren und Cloud und Netzressourcen kombinieren. Die Effizienz des in 5G-Netzen eingesetzten Netzwerkslicing scheitert zurzeit oft noch am mangelnden Verständnis einer Optimierung der Gesamtsystemeffizienz unter gleichzeitiger Sicherstellung

vieler und sehr unterschiedlich definierter Ende-zu-Ende-Anforderungen.

Im Hinblick auf das Thema technologische Souveränität spielen flexible und automatisierte Kommunikationssysteme als Infrastrukturgrundlage des Internets eine Schlüsselrolle für den Erfolg von Anwendungsdiensten und -industrien. Dabei ist es wesentlich, hier nicht nur die „großen Internet-Player“ wie etwa Google, Amazon und Microsoft zu sehen. Vielmehr ist technologische Souveränität im Bereich der Kommunikationssysteme essenziell für eine zukunftsweisende Weiterentwicklung des Wirtschaftsstandortes Deutschland und seinen inhärent wichtigen Anwendungsindustrien (inkl. Automobilindustrie, Maschinenbau, Produktion). Die Trennung von Software und Hardware begünstigt die Entstehung von Innovationen unabhängig von spezialisierter Hardware hin zu Software und dies über alle Schichten des Protokollstacks hinweg. **Für den Standort Deutschland sollte dies als eine Chance verstanden werden, die technologische Souveränität zu verbessern und an der Weiterentwicklung des Internets im Sinne der eigenen Normen und Werte eventuell stärker zu partizipieren als dies bisher der Fall war.**

Die steigende Komplexität von Kommunikationssystemen muss im Sinne der technologischen Souveränität beherrscht werden, egal, ob die dort verwendeten Komponenten selbst gebaut wurden oder nicht. In Summe sind diese Anforderungen durch menschliche Netzadministratoren kaum mehr zu bewältigen. Es ist ein zunehmend autonomer Betrieb der Kommunikationssysteme erforderlich, durch Software gesteuert. Software ermöglicht auf der einen Seite eine zunehmende Automatisierung, gestaltet die Beherrschbarkeit solcher Infrastrukturen allerdings auch als Herausforderung, da die Vorgänge und das Zusammenspiel der involvierten Komponenten deutlich komplexer werden. Hier gilt es, das vorhandene Know-how weiter auszubauen und an der Gestaltung der Software zu partizipieren und in den dafür zuständigen Gremien mitzuarbeiten, beispielsweise der IETF.

4.4 Quantenkommunikation

Die Möglichkeiten der Quantentechnologie in den Bereichen Sensorik, Kryptographie, Kommunikation und Computing sind inzwischen verstanden. Die prinzipielle Nutzbarkeit der Quantentechnologie in diesen Bereichen ist nachgewiesen. Die Quantentechnologie hat das Potential, in der Kommunikationstechnik in Bezug auf Energieeffizienz und Sicherheit disruptive Fortschritte zu bewirken. Die mögliche Bedeutung der Quantentechnologie wird noch größer, wenn

man beachtet, dass zurzeit eine Konvergenz der vier oben genannten Felder erwartet wird. Zukünftige Quanteninformationsnetze werden Quantencomputer und Quantensensoren sicher miteinander verbinden können. Es ist somit offensichtlich, dass die Quantentechnologie mit Blick auf die technische Souveränität im Bereich der Kommunikationstechnologien trotz ihres noch sehr frühen Entwicklungsstadiums Beachtung und Berücksichtigung finden muss. Die Notwendigkeit einer langfristigen Planung im Bereich Fachkräftebereitstellung und Wissenschaft erfordert somit unmittelbares Engagement.

Deutschland hat im Bereich der Erforschung der physikalischen Grundlagen der Quantentechnologie eine gute Position in der Forschung und in diesem Bereich international eines der umfangreichsten Forschungsprogramme. Damit ist wie oben beschrieben eine notwendige Voraussetzung für technologische Souveränität in diesem Bereich gelegt. Eine umfassende Sicherstellung der Nutzung des Potentials der Quantentechnologie setzt allerdings ein Verständnis der Integration von Quantentechnologie in Systemlösungen voraus. Hier gibt es international erste Ergebnisse und sogar Produkte. **Aus Sicht der technologischen Souveränität werden somit der Aufbau entsprechender Fachexpertise und die Erforschung der Systemaspekte der Quantentechnologie jetzt zum vordringlichen Problem.** Darüber hinaus sind alle Maßnahmen wichtig, die eine Umsetzung der Quantentechnologie in marktfähige Systemlösungen befördern. **Hierbei kann Deutschland die besondere Stärke seiner Forschungsförderung nutzen, um Grundlagenforschung und Anwendungsentwicklung enger zusammenzubringen.**

5 Technologische Souveränität als langfristige Zukunftsaufgabe

Leistungsstarke Kommunikationsnetze sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Digitalisierung von Gesellschaft und Wirtschaft. Viele gesellschaftliche Prioritäten wie die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung, der Green Deal der EU und die UN Nachhaltigkeitsziele sind ohne eine erfolgreiche Digitalisierung und Vernetzung nur schwer erreichbar. Kreislaufwirtschaft, Mobilitätswende, dezentrale Energieerzeugung, Telemedizin, Heimarbeitsplätze, Industrie 4.0, ressourcenschonende Landwirtschaft sind Konzepte, die von der Verfügbarkeit sehr guter und zuverlässiger Datennetze abhängig sind. Auch eine KI-basierte Datenökonomie ist von einem sicheren und in einigen Anwendungen auch echtzeitfähigen Datentransport abhängig. Um diese Prioritäten erreichen zu können und um diese Konzepte erfolgreich umsetzen zu können, benötigt eine Gesellschaft Zugang zu den bestgeeigneten Kommunikationstechniken. **Hierbei haben im Bereich Datenschutz, Transparenz und Schutz geistigen Eigentums nicht alle Regionen der Welt**

gleiche Vorstellungen. Dies verleiht dem Aspekt der technologischen Souveränität im Bereich Kommunikationstechnik besondere Bedeutung, da Daten der meisten Anwendungen auch transportiert werden müssen und somit fast immer durch Kommunikationsnetze fließen.

Auch für die Digitalisierung in der Industrie und vor allem für die deutschen Schlüsselindustrien wie Automotive mit dem hohen Innovationsdruck im Bereich vernetztes Fahren sowie Automatisierung, Maschinen- und Anlagenbau ist Vernetzung eine Schlüsselvoraussetzung für Innovationen. Chemie- und die Nutzfahrzeugindustrie sehen in der Vernetzung von Sensoren und Künstlicher Intelligenz ein großes Potential für Innovationen. **Deutschland hat sich bei der Nutzung von Mobilfunk in diesen sogenannten vertikalen Industrien eine hervorragende Position erarbeitet.** Aufbauend auf BMBF-Forschungsprogrammen, die Kommunikationstechnologieexpertise und Anwender in diesen Bereichen zusammengebracht haben, wurde die 5G-ACIA in Frankfurt gegründet, die inzwischen das global führende Forum in diesem Bereich ist. Aufgrund der Historie sind deutsche Partner dort weit überproportional vertreten und konnten deutsche Unternehmen sich in diesem Bereich eine erkennbare Führungsrolle erarbeiten.

Unstrittig gibt es im Bereich der Kommunikationstechnik Chancen aber auch Herausforderungen. Europa ist im Bereich der Mobilfunktechnologien mit zwei der führenden Hersteller sehr gut aufgestellt. Die Photonik und Sensorik sind ebenfalls sehr gut abgedeckt. Die Industriebasis im Bereich der Anwender ist hervorragend. Zusätzlich haben sich diese Player durch die oben beschriebenen Prozesse, Forschungsprogramme und ihre Arbeit in Industrieforen schon früh sehr gut vernetzen können. Die Abhängigkeit von außereuropäischen Lieferanten im Bereich der Radiomodems, der Prozessoren, der Internethardware und teilweise auch -software macht sich aber immer wieder negativ bemerkbar. **Weiterhin ist die Kommunikationstechnik in allen Regionen der Welt als Schlüssel für eine innovationsstarke Industrie und gesellschaftliche wie technologische Souveränität erkannt worden.** Entsprechend werden global unter der Fahne 6G, in den USA auch Open RAN, massive Bemühungen gestartet, in diesen Bereichen technologische Souveränität oder gar Führerschaft aufzubauen. Hier ist also mit einem zunehmend heftigeren Wettbewerb zu rechnen.

Aus dieser Situationsbeschreibung ergeben sich die folgenden Empfehlungen:

- **In regelmäßigen Reviews sollte die technologische Souveränität Deutschlands in Bezug auf die Kommunikationstechnik analysiert werden.** Hierbei sollten ihre

zentrale Rolle für eine digitalisierte Gesellschaft und als Innovationsvoraussetzung in vielen wichtigen Bereichen Berücksichtigung finden, alle Technologiereifegrade betrachtet werden und die Wechselwirkung der Kommunikationstechnik mit anderen Technologiefeldern sowie ihre Rolle im immer breiter werdenden Anwendungsportfolio betrachtet werden.

- ▶ Das wachsende Anwendungspotential der Kommunikationstechnik in verschiedenen Branchen und Anwendungsfeldern sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen müssen systematisch erfasst werden.
- ▶ Wesentliche wissenschaftliche und technologische Trends müssen regelmäßig auf ihre Relevanz für die als kritisch erkannten Kommunikationssysteme analysiert werden.
- ▶ Als Frühindikatoren sollte regelmäßig der Publikation-, Patentanmelde- und Standardisierungsbeitrag deutscher und europäischer Parteien im internationalen Vergleich ausgewertet und bewertet werden.
- ▶ Der besonderen Rolle in der Kommunikationstechnik entsprechend sollte die Standardisierung in diesem Bereich regelmäßig auf Verschiebungen von Bedeutung, Einflussnahme und Führungspositionen deutscher und europäischer Teilnehmer untersucht werden.
- ▶ Ressortübergreifend sollten regelmäßig die Lieferketten und Innovationszyklen im Bereich Kommunikationstechnik (und anderer als relevant identifizierter Technologiefelder) identifiziert und auf Schwachstellen und Chancen untersucht werden.
- ▶ **Die starke wechselseitige Verflechtung von Technologiefeldern** (hier Mikroelektronik, Kommunikationstechnik, Quantentechnik, vernetztes Fahren, Automatisierung, Autonome Systeme) muss berücksichtigt werden.
- ▶ Neben unabhängiger Fachexpertise sollten hierbei unbedingt **die zur Sicherstellung der technologischen Souveränität relevanten Unternehmen** mit einbezogen werden.
- ▶ Eine besonders langfristige Analyse und Handlungsstrategie erfordert die **Sicherstellung einer qualitativ und quantitativ ausreichenden Fachkräftepopulation.**
- ▶ **Die sicherste Methode heute die Grundlagen für die Technologische Souveränität von morgen zu legen, ist in Forschung und Ausbildung zu investieren.**

Fachkreis Kommunikationstechnologien

Die Expertinnen und Experten beraten das Referat „Vernetzung und Sicherheit digitaler Systeme“ im Bundesministerium und Bildung und Forschung in Fragen der Erforschung und künftigen Gestaltung von Kommunikationssystemen. Im Fachkreis kommen wissenschaftliche und wirtschaftliche Kompetenz zusammen.

Mitglieder des Fachkreises Kommunikationstechnologien sind: Prof. Dr.-Ing. Hans D. Schotten (Hauptautor dieses Positionspapiers), Prof. Dr.-Ing. Holger Boche, Dr. Jörg-Peter Elbers, Prof. Dr. Anja Feldmann, Prof. Dr.-Ing. Frank H. P. Fitzek, Dr.-Ing. Andreas Müller, Prof. Dr.-Ing. Slawomir Stanczak, Prof. Dr. Martina Zitterbart.