



# Nachhaltigkeit im Gigabit-Mobilfunk

## Infrastruktur und Anwendungen zusammen gedacht

CO:DINA-Forschungslinie Transformative Resilienz

---

### **Autorin**

Nona Bledow

### **Kurz gesagt**

Durch die zahlreichen neue Anwendungsfelder, die 5G und 6G eröffnen, gestalten Gigabit-Mobilfunknetze die digitale Zukunft maßgeblich mit. Eine systematische Perspektive auf die Nachhaltigkeit von 5G und 6G umfasst sowohl die Anwendungen als auch die Infrastrukturen und muss neben den Potenzialen auch die Herausforderungen in den Blick nehmen. Drei Aspekte sind dabei besonders zentral: Die sich gegenseitig bedingende Entwicklung von Infrastrukturen und Anwendungen, das steigende Datenvolumen durch Rebound-Effekte und neue Anwendungsfelder sowie das Betrachten der Netto-Effekte von Anwendungen.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Potenziale von Gigabit- Mobilfunknetzen .....	1
2.	Technische Neuerungen und Möglichkeiten .....	2
3.	Nachhaltige Infrastrukturen.....	3
4.	5G/6G basierte Anwendungen für Nachhaltigkeit?.....	5
5.	Infrastrukturen und Anwendungen im Zusammenhang.....	8
6.	Fazit .....	10
	Literaturverzeichnis.....	11
	Über die Autorin.....	13

## 1. Potenziale von Gigabit- Mobilfunknetzen

Mobile Netzwerke verbinden via Funk tragbare Endgeräte mit umfassenden Kommunikationsnetzwerken und dem Internet und ermöglichen die Übertragung von Sprache und Daten. Während die drahtlose Übertragung von Sprache schon einige Jahrzehnte großflächig genutzt wird, hat sich die mobile Internetnutzung vor allem über Smartphones erst in den letzten 15 – 20 Jahren etabliert. Mit Gigabit-Mobilfunk, also 5G und 6G, vergrößert sich das Nutzungsfeld weiter.

5G und 6G stellen im Vergleich zu ihren Vorgängergenerationen im Mobilfunk einen Sprung dar: Die Verbesserungen in Parametern wie Latenz und Datenraten sowie neue Funktionalitäten verbessern nicht nur die herkömmliche Kommunikation, sondern eröffnen völlig neue Anwendungsfelder. Diese neuen Generationen sind damit nicht nur ein Upgrade der Geschwindigkeit und Effizienz, sondern gestalten die digitale Zukunft maßgeblich mit.

Digitale Technologien als Treiber für nachhaltige Transformation zu analysieren, bedeutet zum einen, die für Nachhaltigkeit relevanten Funktionen und Anwendungen der Technologien und zum anderen deren Energie- und Ressourcenverbrauch für Bau und Betrieb zu betrachten. Bei Gigabit-Mobilfunknetzen bedeutet das sowohl die mobilfunkgestützten Anwendungen als auch die Infrastruktur aus einer Nachhaltigkeitsperspektive in den Blick zu nehmen.

Besonders im Fokus der Nachhaltigkeitsdebatte um 5G und 6G stehen bisher die Potenziale der Anwendungen, die durch die neuen Mobilfunkgenerationen ermöglicht werden. Beim Blick auf Zukunftsbilder, die von öffentlichen sowie Industrie-Akteuren formuliert werden, ist die Vielfalt der identifizierten Potenziale, die zu unterschiedlichsten Nachhaltigkeitszielen beitragen, bemerkenswert. Was hier im Blick ist, kann als ‚5G und 6G für Nachhaltigkeit‘ zusammengefasst werden. Von Bedeutung ist aber auch ‚nachhaltiges 5G und 6G‘, bzw. die direkten nachhaltigkeitsrelevanten Effekte der neuen Mobilfunkgenerationen. Der Aus- und Umbau der Infrastrukturen hat Implikationen für Energie- sowie Rohstoffverbräuche. Weniger offensichtlich, aber durchaus relevant sind Konsequenzen für soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit.

Um die Nachhaltigkeit von 5G und 6G zu diskutieren, müssen also Implikationen der Anwendungen aber auch der Infrastrukturen erfasst werden und zwar sowohl Potenziale als auch Herausforderungen. Eine systematische Perspektive auf Nachhaltigkeit von Gigabit-Mobilfunknetzen umfasst insgesamt vier Felder:

**Box 1: Vier Felder der Nachhaltigkeit von Gigabit-Mobilfunknetzen**

	<i>Herausforderungen</i>	<i>Potenziale</i>
<i>Infrastruktur</i>	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Insgesamt höherer Energieverbrauch</li> <li>• Konnektivität in ländlichen Regionen</li> <li>• ...</li> </ul>	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Energieeffizienz</li> <li>• Höhere Ressourceneffizienz</li> <li>• ..</li> </ul>
<i>Anwendungen</i>	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehr Energieverbrauch durch z. B. HD Streaming</li> <li>• Intensivierte Ressourcenbedarfe</li> <li>• ...</li> </ul>	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umstieg auf nicht-individualisierte Verkehrsmittel</li> <li>• Ressourceneinsparung in der Industrie</li> <li>• ...</li> </ul>

## 2. Technische Neuerungen und Möglichkeiten

Auf der technischen Seite stehen die Neuerungen, die 5G und in noch stärkerer Ausprägung 6G mit sich bringen – höhere Datenübertragungsraten, geringere Latenzzeiten, hohe Kapazitäten, die die gleichzeitige Konnektivität einer Vielzahl von Geräten und Sensoren möglich machen, und eine höhere Zuverlässigkeit. Diese Verbesserungen werden durch die Erschließung höherer Frequenzbereiche, die sowohl Sub-6 (Frequenzbänder bis 6 GHz) als auch mmWave (Frequenzen im Bereich von etwa 30GHz bis mehrere hundert GHz) umfassen und im Fall von 6G möglicherweise bis zur Nutzung von Terahertz-Frequenzbereichen reichen werden, ermöglicht. Weitere technologische Neuerungen, die zu einer verbesserten Performance der neuen Mobilfunkgenerationen beitragen, sind z. B. massive MIMO, eine Technologie für die gleichzeitige Nutzung einer großen Anzahl von Antennen und die Erhöhung der Netzwerkkapazität und Beamforming, eine Technologie die gerichtete Signale und damit einen präziseren Übertragung ermöglicht (Stobbe et al. 2023, Usama & Erol-Kantarci 2019).

Darüber hinaus spielen auch weitere Technologien im Zusammenhang mit den neuen Mobilfunkgenerationen eine Rolle, unter anderem:

- Network Slicing: ermöglicht die Aufteilung eines physikalischen Netzwerks in mehrere virtuelle Netzwerke, die jeweils unterschiedliche Anforderungen erfüllen.
- Edge Computing: bringt Datenverarbeitung näher an die Endgeräte, anstatt sie in entfernten Rechenzentren durchzuführen. Dies reduziert die Latenzzeit und ermöglicht Echtzeitreaktionen.
- KI in Netzwerken: die Nutzung von KI in Mobilfunknetzwerken kann zu einer Verbesserung der Verwaltung von Ressourcen, bei der Vorhersage von Netzwerkausfällen und bei der Optimierung der Netzwerkleistung führen (Stobbe et al. 2023, Usama & Erol-Kantarci 2019).

Durch diese Neuerungen können die Mobilfunknetze unterschiedliche Anforderungen flexibel und teils simultan bedienen und ermöglichen so eine große Vielfalt und Flexibilität in den angebotenen Dienstleistungen. Die unterschiedlichen Anforderungen werden in drei Anwendungsfamilien (Service-Klassen) zusammengefasst: Enhanced Mobile Broadband (eMBB) umfasst Anwendungen mit sehr hohen Anforderungen an Bandbreiten (z. B. VR Anwendungen), zu Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC) Anwendungen zählen solche mit Echtzeitkommunikationsanforderungen (z. B. kritisch Kommunikation im Bahn-Kontext) und unter Massive Machine Type Communications (mMTC) fallen Anwendungen, für die die Möglichkeit massiver Gerätevernetzung zentral ist (z. B. IOT Anwendungen).

### 3. Nachhaltige Infrastrukturen

Nachhaltigkeitsrelevante Aspekte von 5G und 6G Infrastrukturen betreffen besonders die ökologische Nachhaltigkeit: relevant sind Energieverbrauch in Betrieb und Herstellung sowie THG-Emissionen und Ressourcenbedarfe für Hardware.

Energieeffizienz ist in den Entwicklungen rund um 5G/6G ein zentrales Thema (NGMN Alliance 2021). Hier gibt es durch technologische Neuerungen, z. B. Virtualisierung, deutlich verbesserte Möglichkeiten des Energiemanagements und durch verstärkte Nutzung von Edge Computing das Potenzial von signifikanten Effizienzgewinnen. Allerdings beschäftigt sich ein Großteil der Forschung mit isolierten Energieeffizienzpotenzialen einzelner Netzwerkkomponenten. Zum

Energieverbrauch in einem realistischen Gesamt-Netzwerkszenario gibt es dagegen wenig Analysen (Williams et al. 2022). Die Mehrheit der Studien, die die (erwartete) Entwicklung des Energieverbrauchs beleuchten, kommen einerseits zum Ergebnis, dass der spezifische Energieverbrauch (pro übertragenem Bit) im Vergleich mit vorherigen Mobilfunkgenerationen deutlich sinkt (Stobbe et al. 2023, Williams et al. 2022, Kroll 2020). Andererseits erhöht sich der Energieverbrauch insgesamt, vor allem aufgrund eines stark steigenden Datenverkehrs (ebd.).

Wie stark der Energieverbrauch steigt, unterscheidet sich allerdings deutlich, je nachdem wie die Netze ausgebaut bzw. auf 5G/6G umgerüstet werden (Stobbe et al. 2023, Williams et al. 2022). Ein Szenario, das Maßnahmen zur Energieverbrauchsreduktion realisiert, kann fast 50 % der Energie, die in der Betriebsphase in einem Referenzszenario benötigt wird, einsparen (Stobbe et al. 2023). Wichtige Stellschrauben sind:

- Technikmodernisierung, d. h. wie schnell und flächendenkend kommt die erhöhte Effizienz von Netzwerkkomponenten zur Geltung.
- Energiemanagement, z. B. durch Abschalten in Phasen mit niedriger Auslastung.
- Sowie grundlegende Überlegungen zum Ausbau, beispielsweise auf wie viel Fläche mmWave genutzt werden soll.

Für die CO<sub>2</sub> Bilanz von 5G/6G Infrastrukturen gilt Ähnliches wie für den Energiebedarf: selbst unter Annahmen eines höheren Anteils an erneuerbaren Energien zum Betrieb wird erwartet, dass die CO<sub>2</sub> Emissionen der Mobilfunkinfrastruktur in Deutschland deutlich steigen, von derzeit knapp 1 Mt auf fast 2,3 Mt (Stobbe et al. 2023). Nimmt man die gleiche Entwicklung des nachgefragten Datenvolumens an und vergleicht die Realisierung mit 4G oder 5G, verursacht die Realisierung mittels 5G niedrigere Emissionen (zwischen 45 % und 85 % Reduktion Williams et al. 2022, Bieser et al. 2020).

Zu Ressourcenbedarfen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase von 5G/6G Netzwerkbestandteilen gibt es wenige Studien, sowohl Energie als auch Rohstoffe betreffend (Williams et al. 2022). Existierende Analysen kommen zum Ergebnis, dass der Energiebedarf in der Nutzungsphase deutlich überwiegt und ca. 90 % ausmacht (Stobbe et al. 2023). Allerdings ist die Datenlage hier sehr lückenhaft, daher bieten diese Ergebnisse nur eine grobe Orientierung. Der Ressourcenbedarf hängt zudem stark von den Produkt- bzw. Komponentenlebensdauern ab. Wegen ihrer hohen Stückzahl haben Antennen-

und Funkmodule die höchste Umweltwirkung. Ein höherer Einsatz von Rezyklaten, z. B. bei Aluminium, kann die CO<sub>2</sub> Bilanz deutlich verbessern. Ein weiterer Faktor, der die Umweltwirkung der Herstellungsphase bestimmt, ist der Strommix an Fertigungsstandorten (Stobbe et al. 2023).

Um die vollständige Infrastruktur zu erfassen, die für die Bereitstellung von 5G/6G basierten Anwendungen nötig ist, müssen auch Endgeräte betrachtet werden. Stobbe et al. (2023) beziehen unterschiedliche Sensoren und Smartphones mit ein. Die Ergebnisse zeigen, dass Smartphones mit zwischen 30 und 60 kg CO<sub>2</sub> eine größere Umweltwirkung haben als Sensoren mit 3 bis 26 kg CO<sub>2</sub> und zudem auch weiterhin eine höhere Stückzahl zu erwarten ist. Smartphones benötigen darüber hinaus zusätzliche Komponenten um die z. T. von 5G/6G genutzte Millimeterwellentechnologie zu nutzen, was die CO<sub>2</sub>-Bilanz weiter erhöht.

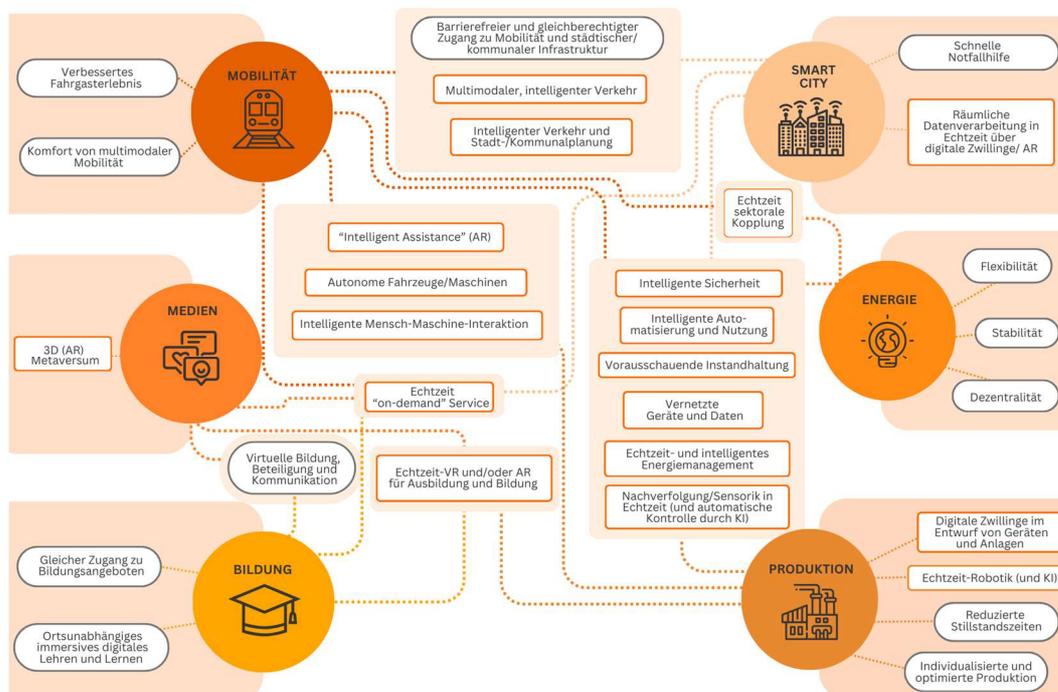
Ein Aspekt sozialer Nachhaltigkeit in der 5G/6G Infrastruktur ist die Versorgung mit Gigabit-Internet im ländlichen Raum. Während 5G/6G möglicherweise wirtschaftlicher im ruralen Ausbau ist als Glasfaser, ist die Frage, ob es wirtschaftlich genug ist, um den ‚Digital Divide‘ zu verkleinern, offen. Dass eine Infrastruktur dieselbe Verfügbarkeit und Leistung für unterschiedliche Gruppen (Urban/Rural) bereitstellt, wird mit der Menge und der Bedeutung der Dienstleistungen, die durch diese Infrastruktur ermöglicht werden, immer wichtiger. Wenn viele nützliche 5G/6G-Dienste entwickelt werden, diese jedoch ausschließlich auf städtische Umgebungen ausgerichtet sind und damit nur für städtische Bewohner\*innen verfügbar sind, wird die digitale Kluft verstärkt. Fördermaßnahmen zur Entwicklung von Gigabit-Anwendungen fokussieren bisher aber häufig auf den städtischen Raum (Großklaus et al. im Erscheinen). Ebenso werden die Unterschiede in der Zugänglichkeit vergrößert, wenn vorteilhafte industrielle Dienste durch 5G ermöglicht werden, diese jedoch nur für große Industrieunternehmen verfügbar sind und kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) nicht zugänglich sind.

#### 4. 5G/6G basierte Anwendungen für Nachhaltigkeit?

Wie oben beschrieben, unterstützen die neuen Mobilfunkgenerationen ein umfassendes Ökosystem von Diensten und Anwendungen, die eine Vernetzung von Menschen, Maschinen, Geräten und Systemen ermöglichen, das über Telefonieren und mobiles Internet auf Endgeräten wie Smartphones weit hinaus geht. Damit bietet 5G/6G Anwendungsmöglichkeiten in diversen Sektoren: Mobilität (z. B. Multimodalität, autonomes Fahren), Smart City (z. B. Intelligente Steuerung und

Planung), Energie (z. B. Flexibilisierung, dezentrale Netze), Industrie 4.0 (z. B. vorausschauende Wartung, digitale Zwillinge), Bildung (z. B. virtuelle Bildungsangebote, AR und VR), Medien und Unterhaltung (z. B. Streaming), Landwirtschaft (z. B. Präzisionslandwirtschaft durch Echtzeitdaten) und Gesundheit (z. B. Telemedizin).

Vielen dieser Anwendungen werden große Nachhaltigkeitspotenziale zugeschrieben; sie sollen zu Energieeffizienz und der effizienten Verwendung anderer Ressourcen beitragen. Im Bereich Mobilität beispielsweise soll die Attraktivität von öffentlichen Verkehrsmitteln durch bessere Strecken- und Gleisplanung, durch multimodale Reiseplanung sowie durch erhöhten Comfort (stabiles WLAN) verbessert werden. Der Straßenverkehr soll durch neue datenbasierte Echtzeitanwendungen besser koordiniert und damit die Routenplanung und der Verkehrsfluss effizienter gestaltet werden können. 5G und 6G Anwendungen sind außerdem zentral für die Umsetzung von autonomem und vernetztem Fahren, sowohl an Land als auch auf dem Wasser (Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2022, Telefonica o. J.). Smart City und Industrie-Anwendungen können durch intelligente Energie- und Beleuchtungslösungen Energie einsparen und Produktionsprozesse über vorausschauende Wartung und Modellierung optimieren und planen, was den Materialverbrauch reduzieren kann (Europäische Kommission 2021, Vodafone o. J.).



Quelle: Eigene Darstellung IZT, 5G-VICTORI Deliverable D5.4

Während der 5G-Rollout in Deutschland voranschreitet – ca. 90 % der Bevölkerung werden mittlerweile erreicht (vgl. 5G-Anbieter o. J.) –, sind viele der oben genannten Anwendungen noch in Entwicklung und ihr tatsächlicher Impact wird sich erst in den kommenden Jahren zeigen. Zunächst bleiben die positiven Effekte der Anwendungen ihre Potenziale. Daher gilt es zum einen abzuschätzen, wie groß die nutzbaren Potenziale tatsächlich sind, welche Anwendungen besonders große Potenziale bieten und was deren Herausforderungen, z. B. hinsichtlich Energieverbrauch, Materialbedarfen und Datenschutz sind.

Es gibt wenig Studien, welche die tatsächlich zu erwartende Größe der Potenziale von 5G/6G Anwendungen abzuschätzen versuchen. Eine von Analysys Mason und Huawei durchgeführte Analyse auf Basis von Fallstudien und Modellierung findet für Anwendungsfälle in den Bereichen Gesundheit, Energie und Industrie, Reduktionen von THG-Emissionen zwischen 39 % und 99 %, je nach Bereich (Gabriel et al. 2020). Bieser et al. (2020) schätzen, für die Schweiz, das Potenzial zur Reduktion von THG-Emissionen von Use Cases aus unterschiedlichen Bereichen: flexibles Arbeiten bzw. Home-Office (304 kt CO<sub>2</sub> Reduktion im mittleren Szenario), Smart Grids (191 kt CO<sub>2</sub> Reduktion im mittleren Szenario), autonomes Fahren und Präzisionslandwirtschaft. Für autonomes Fahren und Präzisionslandwirtschaft fallen die Potenziale für den betrachteten Zeithorizont 2030 geringer aus, auch weil bis dahin keine etablierte Nutzung der Anwendungen zu erwarten ist. Neben den Potenzialen beziehen sie auch mögliche negative Effekte (Herausforderungen hinsichtlich Energieverbrauch wie Rebounds) und zum Teil Materialbedarfe für benötigte Endgeräte mit ein. In Summe kommt die Studie zum Ergebnis, dass die Potenziale der betrachteten Anwendungsfelder auch unter Einbeziehung von negativen Effekten klar positiv seien. Zudem schätzen die Autoren auch die erwarteten Anstiege an Energieverbrauch und THG-Emissionen, die vom Ausbau der 5G Infrastruktur zu erwarten sind und kommen zu dem Ergebnis, dass diese deutlich niedriger sind als die Einsparungspotenziale durch die Anwendungen.

Die Einschätzung von 5G/6G Potenzialen wird dadurch erschwert, dass 5G/6G gestützte Anwendungen auf Kombinationen unterschiedlicher Technologien basieren und teilweise auch anders realisiert werden könnten. Es ist daher schwierig, den spezifischen Beitrag zur Verwirklichung von Nachhaltigkeitspotenzialen von 5G/6G zu isolieren. Solche Zusammenhänge sollten in Studien über Anwendungspotenziale explizit diskutiert werden (Williams et al. 2022).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durchaus große Nachhaltigkeitspotenziale für 5G/6G Anwendungen auszumachen sind. Neben mehr Analyse darüber, wie groß diese Potenziale tatsächlich sind, ist es wichtig, auch negative Effekte, wie beispielsweise Rebounds sowie Zusammenhänge mit Materialbedarfen und dem Energiebedarf der Infrastrukturen zu analysieren. Darüber hinaus sollten soziale Nachhaltigkeitseffekte inklusive Herausforderungen stärker in Betracht gezogen werden.

## 5. Infrastrukturen und Anwendungen im Zusammenhang

Wie oben diskutiert, müssen beide Aspekte - nachhaltige 5G/6G Infrastrukturen und 5G/6G Anwendungen für Nachhaltigkeit - in eine umfassende Perspektive auf 5G/6G im Nachhaltigkeitskontext einfließen. Darüber hinaus hängen Anwendungen und Infrastrukturen - und damit auch deren Nachhaltigkeitseffekte - eng zusammen, so dass auch deren Interaktion betrachtet werden muss. Die folgenden drei Punkte dieses Zusammenhangs sind besonders wichtig: sich gegenseitig bedingende Entwicklung von Infrastruktur und Anwendungen, ein steigendes Datenvolumen durch Rebound-Effekte und neue Anwendungsfelder sowie Netto-Effekte von Anwendungen.

Die Entwicklung sowie die nachhaltigkeitsrelevanten Auswirkungen von Infrastruktur und Anwendungen bedingen sich gegenseitig. Wie oben diskutiert, wird die gleiche Zugänglichkeit zu 5G/6G Netzen umso wichtiger, je mehr Anwendungen darauf basieren. Die Zugänglichkeit hängt beispielsweise im ländlichen Raum stark vom Ausbau der Infrastruktur ab. Auch mit Blick auf ökologische Nachhaltigkeit hängt der Energieverbrauch der Infrastruktur, neben anderen Faktoren, eng mit dem Ausbaugrad des Netzes und mit dem bereitgestellten Datenvolumen zusammen. Das bereitgestellte Datenvolumen wiederum hängt einerseits von technischen Möglichkeiten, andererseits aber auch davon ab, welches Datenvolumen für Anwendungen nachgefragt wird. Vereinfachend kann gesagt werden, dass unterschiedliche Anwendungen unterschiedliche Infrastrukturleistungen erfordern und damit auch über die Infrastrukturen Nachhaltigkeitseffekte haben können. Relevant für den Ausbau der Infrastruktur ist dieser Zusammenhang z. B. dann, wenn es um Anwendungen geht, die mmWave Technologie benötigen. Diese ist zwar sehr energieeffizient, denn es wird weniger Energie pro Bit benötigt, führt aber dennoch zu höherem absoluten Energieverbrauch, wenn das nunmehr mögliche sehr hohe Datenvolumen auch genutzt

wird. Derzeit ist zu erwarten, dass mmWave Infrastruktur nur begrenzt an einzelnen, strategisch wichtigen Orten installiert wird, beispielsweise als Campus Netze, also geschlossene Netze, z. B. auf einem Fabrikgelände. Es sollte gut überlegt werden, welche Anwendungen die technischen Leistungen, die mmWave bereitstellt, benötigen und was deren Nachhaltigkeitspotenziale sind, so dass die Technologie für aus Nachhaltigkeitsperspektive sinnvolle Anwendungen genutzt werden kann, ohne Überkapazitäten aufzubauen.

Studien zum Energieverbrauch von Mobilfunknetzen wird häufig die (implizite) Annahme zugrunde gelegt, dass der Anstieg des nachgefragte Datenvolumens eine externe, vom technischen Fortschritt und Effizienzsteigerungen unabhängige Entwicklung ist (Williams et al. 2022). Wenn dem so ist, können die Umwelteffekte von 5G/6G Infrastrukturen mit vorherigen Generationen für ein gestiegenes, in beiden Fällen gleiches Datenvolumen verglichen werden. Dies erscheint jedoch wenig plausibel. Einerseits sind durch die Effizienzsteigerungen in hohem Maße Rebounds zu erwarten: wer beispielsweise viel schneller, mit geringerem Energieverbrauch und geringeren Kosten in HD streamen kann wird dies voraussichtlich häufiger nutzen. Darüber hinaus ist es ja, wie eingangs beschrieben, gerade das explizite Anliegen von 5G und 6G Technologien, neue Möglichkeiten zur Mobilfunknutzung zu erschließen und Anwendungen in ganz neuen Bereichen zu ermöglichen. Damit wird natürlich das nachgefragte Datenvolumen erhöht. Eine Nachhaltigkeitsperspektive auf 5G/6G muss steigenden Ressourcenverbrauch durch Rebounds und neue Anwendungsfelder mitberücksichtigen.

Um möglichst nachhaltige Anwendungen zu realisieren und zu fördern, müssen deren Nettoeffekte betrachtet werden, d. h. sowohl ihr Potenzial über die Nutzung der Anwendung ‚5G/6G für Nachhaltigkeit‘ als auch die Nachhaltigkeitsimplikationen der benötigten Infrastruktur. Gibt es beispielweise Anwendungen, die keinen oder einen sehr geringen positiven Beitrag zu Nachhaltigkeitszielen erwarten lassen aber dennoch hohe Datenraten erfordern und damit den Energieverbrauch der Infrastruktur erhöhen, sollten diese aus der Nachhaltigkeitsperspektive entsprechend nicht gefördert und ggf. ganz von ihnen abgesehen werden.

## 6. Fazit

In Summe werden die Herausforderungen von *nachhaltigem 5G/6G*, vor allem der insgesamt steigende Bedarf an Energie und die steigenden CO<sub>2</sub> Emissionen durch den Um- und Ausbau des Mobilfunknetzes, als kleiner angesehen als die Chancen der ökologischen Nachhaltigkeitsverbesserungen durch *5G/6G für Nachhaltigkeit* – insbesondere durch die ermöglichten Reduktionen in Ressourcenverbrauch und THG-Emissionen durch 5G/6G basierte Anwendungen. Dennoch ist es essenziell, die Nachhaltigkeitsimplikationen der Infrastruktur nicht zu vernachlässigen: Erstens unterscheiden sich die Nachhaltigkeitsimplikationen je nach Art des Um- und Ausbaus der Mobilfunknetze und dieses Gestaltungspotenzial gilt es zu realisieren. Zweitens muss, auch unter der optimistischen Annahme einer absehbaren Dekarbonisierung unserer Stromversorgung, der Energiebedarf so weit wie möglich in Zaum gehalten werden, um das Energiesystem nicht zu überlasten. Prognosen zeigen, dass sowohl der Energiebedarf als auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen von digitalen Technologien bis 2030 deutlich steigen werden (vgl. Heise 2023). Daher sollten Möglichkeiten, diesen Anstieg zu reduzieren, in Betracht gezogen werden.

Zudem gilt es, die Nachhaltigkeitspotenziale von 5G/6G gestützten Anwendungen zu prüfen und aktiv deren Realisierung voranzutreiben. Hierbei ist vor allem der Nettoeffekt der Anwendungen auf Nachhaltigkeitsziele relevant. Er sollte so weit wie möglich ermittelt und explizit diskutiert werden.

Für eine Erhöhung der Ressourceneffizienz sollte auch das Thema Recyclingquoten stärker diskutiert werden, sowohl was Endgeräte als auch Infrastrukturkomponenten betrifft. Während Energieeffizienz derzeit auch über Marktpreise Beachtung findet, sind Recyclingquoten in der Hardwareproduktion noch kein breit genug diskutiertes Thema und die Datenlage ist z. T. sehr dünn (Stobbe et al. 2023).

Insgesamt tragen die technologischen Neuerungen von 5G und die zukünftigen Aussichten von 6G dazu bei, die Digitalisierung inklusive ihrer Nachhaltigkeitspotenziale zu beschleunigen, neue Innovationen zu fördern und die Grundlagen für eine vernetzte und intelligente Gesellschaft zu schaffen. Gleichzeitig müssen diese Potenziale für eine umfassende Nachhaltigkeitsperspektive, stärker im Zusammenhang mit den bestehenden Herausforderungen betrachtet werden, um die Entwicklungen aktiv in Richtung Nachhaltigkeit gestalten zu können.

## Literaturverzeichnis

- Bieser, J., Salieri, B., Hischier, R., & Hilty, L. (2020). Next generation mobile networks: Problem or opportunity for climate protection? Verfügbar unter: [https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/191299/1/5G%20and%20climate%20protection\\_University%20of%20Zurich\\_Empa.pdf](https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/191299/1/5G%20and%20climate%20protection_University%20of%20Zurich_Empa.pdf)
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022. Digitalstrategie - Gemeinsam digitale Werte schöpfen. 31.08.2022. [https://bmdv.bund.de/Shared-Docs/DE/Anlage/K/presse/063-digitalstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/Shared-Docs/DE/Anlage/K/presse/063-digitalstrategie.pdf?__blob=publicationFile)
- Europäische Kommission (2021). 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade. Brüssel, 9.3.2021 COM (2021) 118 final. [https://commission.europa.eu/system/files/2023-01/cellar\\_12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0001.02\\_DOC\\_1.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2023-01/cellar_12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0001.02_DOC_1.pdf)
- Gabriel, C., He, A., & Chern, A. (2020). Green 5G: Building a sustainable world. Verfügbar unter: [https://www.analysismason.com/content-assets/bb742b22fb434cf8a055291c20331dfe/analysys\\_mason\\_green\\_5g\\_sustainability\\_jul2020\\_rma18\\_rdns0.pdf](https://www.analysismason.com/content-assets/bb742b22fb434cf8a055291c20331dfe/analysys_mason_green_5g_sustainability_jul2020_rma18_rdns0.pdf)
- Heise (2023). Studie: CO<sub>2</sub>-Emissionen digitaler Technologien steigen bis 2030 um 50 Prozent. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/news/Studie-CO-Emissionen-digitaler-Technologien-steigen-bis-2030-um-50-Prozent-9347909.html>
- Kroll, M. (2020). Die Auswirkungen des 5G Netz-Ausbaus auf Energieverbrauch, Klimaschutz und die Einführung weiterer Überwachungstechniken. Published by Stiftung World Future Council. Verfügbar unter: <https://www.worldfuturecouncil.org/wp-content/uploads/2020/10/5G-Klimaschutz-Studie-Matthias-Kroll.pdf>
- NGMN Alliance (2021). Green Future Networks Sustainability Challenges and Initiatives in Mobile Networks. Verfügbar unter: [https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/210719\\_NGMN\\_GFN\\_Sustainability-Challenges-and-Initiatives\\_v1.0.pdf](https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/210719_NGMN_GFN_Sustainability-Challenges-and-Initiatives_v1.0.pdf)
- Stobbe, L., Richter, N., Quaeck, M., Knüfermann, K., Druschke, J., Fahland, M., Höller, V., Wahry, N., Zedel, H., Kaiser, M., Hoffmann, S., Töpfer, M., & Nissen, N.

(2023). Umweltbezogene Technikfolgenabschätzung Mobilfunk in Deutschland Projekt UTAMO. Ed.: Umweltbundesamt.

Telefónica (o. J.). Smart City: 5G meistert urbane Herausforderungen der Zukunft. <https://www.telefonica.de/5g/smart-city-5g-meistert-urbane-herausforderungen-der-zukunft.html>

Usama, M., & Erol-Kantarci, M. (2019). A survey on recent trends and open issues in energy efficiency of 5G. *Sensors*, 19(14), 3126.

Vodafone (o. J.). 5G-Anwendungen. <https://www.vodafone.de/business/loesungen/5g-anwendungen/>. Zuletzt abgerufen am 15.10.2023.

Williams, L., Sovacool, B. K., & Foxon, T. J. (2022). The energy use implications of 5G: Reviewing whole network operational energy, embodied energy, and indirect effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112033.

5G-Anbieter (o. J.). 5G Ausbau Regionen, Pläne, Fortschritte, Probleme & Hürden. <https://www.5g-anbieter.info/5g-ausbau/> Zuletzt abgerufen am 15.10.2023.

## Über die Autorin

### **Nona Bledow**

*IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung*

Dr. Nona Bledow ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsfeld „Energie, Klima, Infrastruktur“, mit den aktuellen Forschungsschwerpunkten Technikfolgenabschätzung, transformative Resilienz und Energiewende. Zudem forscht sie zu Ungleichheit und sozialer Nachhaltigkeit.

## Über CO:DINA

Das Verbundvorhaben Das Verbundvorhaben CO:DINA – Transformationsroadmap Digitalisierung und Nachhaltigkeit vernetzt Wissenschaft, Politik, Zivilgesellschaft und Wirtschaft, um neue strategische Stoßrichtungen für eine sozial-ökologische Digitalisierung zu identifizieren. Vielfalt in Denkweisen, Perspektiven und Erfahrungen ist die Voraussetzung, um die Komplexität der Digitalisierung besser zu verstehen und grundlegenden Fragen insbesondere zur Künstlichen Intelligenz mit tragfähigen Lösungsansätzen zu begegnen. Dabei entstehen Netzwerke zwischen Akteursgruppen, die bislang unzureichend verbunden waren. So wird die politische und gesellschaftliche Handlungsfähigkeit für einen sozial-ökologisch-digitalen Wandel gestärkt.

Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen der KI-Leuchtturminitiative gefördert und gemeinsam vom IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie umgesetzt.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Impressum



IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH  
Schopenhauerstr. 26, 14129 Berlin  
Tel.: +49 (0) 30 803088-0  
Fax: +49 (0) 30 803088-88  
E-Mail: [info@izt.de](mailto:info@izt.de)  
Internet: [www.izt.de](http://www.izt.de)



Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gemeinnützige GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal  
Tel.: +49 (0) 202-2492-101  
Fax: +49 (0) 202-2492-108  
E-Mail: [info@wupperinst.org](mailto:info@wupperinst.org)  
Internet: [www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)



Weitere Veröffentlichungen unter

[www.codina-transformation.de](http://www.codina-transformation.de)