



ÜBERSICHTSARTIKEL

Beweise für einen Zusammenhang zwischen der Coronavirus-Krankheit-19 und der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung aus der drahtlosen Kommunikation einschließlich 5G

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8580522/>

Beverly Rubik^{1,2}, Robert R. Brown³

¹ Department of Mind-Body Medicine, College of Integrative Medicine and Health Sciences, Saybrook University, Pasadena CA, USA,

² Institute for Frontier Science, Oakland, CA, USA,

³ Department of Radiology, Hamot Hospital, University of Pittsburgh Medical Center, Erie, PA; Radiology Partners, Phoenix, AZ, USA

© 2021 Rubik und Brown. Dies ist ein OpenAccess-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/bync/4.0/>) verbreitet wird und jede nicht-kommerzielle Nutzung, Verbreitung und Vervielfältigung in jedem Medium erlaubt, sofern das Originalwerk ordnungsgemäß zitiert wird.

Übersetzt von Dipl.-Ing. Andreas M. B. Groß, Morgarten, Creative Commons 4.0

Schlüsselwörter: COVID-19; Coronavirus; Coronavirus 2; Coronavirus Disease-19; elektromagnetische Felder; elektromagnetischer Stress; Umweltfaktor; Mikrowelle; Millimeterwelle; Pandemie; öffentliche Gesundheit; Hochfrequenz; Hochfrequenz; schweres akutes respiratorisches Syndrom; drahtlos.

Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel: Die öffentliche Gesundheitspolitik im Zusammenhang mit Coronavirus-Erkrankungen (COVID-19) haben sich auf das Coronavirus 2 des schweren akuten respiratorischen Syndroms (SARS-CoV-2) und seine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit konzentriert, während Umweltfaktoren weitgehend außer Acht gelassen wurden. Unter Berücksichtigung des epidemiologischen Dreiklangs (Erreger-Wirt-Umwelt), der für alle Krankheiten gilt, haben wir einen möglichen Umweltfaktor bei der COVID-19-Pandemie untersucht: die hochfrequente Umgebungsstrahlung von drahtlosen Kommunikationssystemen einschließlich Mikrowellen und Millimeterwellen. SARS-CoV-2, das Virus, das die COVID-19-Pandemie auslöste, tauchte in Wuhan, China, kurz nach der Einführung der stadtweiten (fünften Generation [5G]) der drahtlosen Kommunikationsstrahlung [WCR]¹ auf und verbreitete sich rasch weltweit, wobei zunächst eine statistische Korrelation zu internationalen Gemeinden mit kürzlich eingerichteten 5G-Netzen festgestellt wurde. In dieser Studie untersuchten wir die von Experten begutachtete wissenschaftliche Literatur über die schädlichen Bioeffekte von Mobilfunk und identifizierten mehrere Mechanismen, durch die Mobilfunk als toxischer Umweltfaktor zur COVID-19-Pandemie beigetragen haben könnte. Indem wir die Grenzen zwischen den Disziplinen der Biophysik und der Pathophysiologie überschreiten, präsentieren wir Beweise dafür, dass Mobilfunk: (1) morphologische Veränderungen in Erythrozyten verursachen, einschließlich der Bildung von Echinozyten und Rouleaux („Geldrollen“), die zur Hyperkoagulation beitragen können; (2) die Mikrozirkulation beeinträchtigen und den Erythrozyten- und Hämoglobinspiegel senken, was die Hypoxie verschlimmert; (3) Funktionsstörungen des Immunsystems verstärken, einschließlich Immunsuppression, Autoimmunität und Hyperinflammation; (4) erhöhen den zellulären oxidativen Stress und die Produktion freier Radikale, was zu Gefäßverletzungen und Organschäden führt; (5) erhöhen das intrazelluläre Ca²⁺(Kalzium), das für das Eindringen, die Replikation und die Freisetzung von Viren unerlässlich ist, und fördern entzündungsfördernde Signalwege; und (6) verschlimmern Herzrhythmusstörungen und kardiale Störungen.

Relevanz für Patienten: Kurz gesagt, Mobilfunk ist zu einem allgegenwärtigen Umweltstressor geworden, der unserer Meinung nach zu den nachteiligen gesundheitlichen Folgen der SARS-CoV-2-Infektion beigetragen und den Schweregrad der COVID-19-Pandemie erhöht haben könnte. Daher empfehlen wir allen Menschen, insbesondere denjenigen, die an einer SARS-CoV-2-Infektion leiden, ihre Exposition gegenüber Mobilfunk so weit wie möglich zu reduzieren, bis weitere Forschungen die mit einer chronischen Mobilfunk-Exposition verbundenen systemischen Gesundheitseffekte besser klären.

¹ WCR steht hier für wireless communications radiation, im Folgenden als „Mobilfunk“ übersetzt. Anm. Übers.

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

Die Coronavirus-Erkrankung 2019 (COVID-19) steht seit 2020 im Mittelpunkt der internationalen öffentlichen Gesundheitspolitik. Trotz beispielloser öffentlicher Gesundheitsprotokolle zur Eindämmung der Pandemie steigt die Zahl der COVID-19-Fälle weiter an. Wir schlagen vor, unsere Strategien im Bereich der öffentlichen Gesundheit neu zu bewerten.

Nach Angaben des Center for Disease Control and Prevention (CDC) ist das einfachste Modell der Krankheitsverursachung die epidemiologische Triade, die aus drei interaktiven Faktoren besteht: dem Erreger (Pathogen), der Umwelt und dem Gesundheitszustand des Wirtes [1]. Der Erreger, das schwere akute respiratorische Syndrom Coronavirus 2 (SARS-CoV-2), ist Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeiten. Die Risikofaktoren, die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass ein Wirt an der Krankheit erkrankt, wurden bereits aufgeklärt. Umweltfaktoren wurden jedoch nicht ausreichend erforscht. In diesem Beitrag haben wir die Rolle der drahtlosen Kommunikationsstrahlung (Mobilfunk), eines weit verbreiteten Umweltstressors, untersucht.

Wir untersuchen die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die auf einen möglichen Zusammenhang zwischen COVID-19 und Hochfrequenzstrahlung im Zusammenhang mit drahtloser Kommunikationstechnologie, einschließlich der fünften Generation (5G) der drahtlosen Kommunikationstechnologie, im Folgenden als Mobilfunk bezeichnet, hinweisen. Mobilfunk wurde bereits als eine Form der Umweltverschmutzung und als physiologischer Stressor erkannt [2]. Die Bewertung der potenziell gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Mobilfunk kann entscheidend sein für die Entwicklung einer wirksamen, rationalen Richtlinie für die öffentliche Gesundheit, die dazu beitragen kann, die Ausrottung der COVID-19-Pandemie zu beschleunigen. Da wir kurz vor der weltweiten Einführung von 5G stehen, ist es darüber hinaus von entscheidender Bedeutung, die möglichen gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Mobilfunk zu berücksichtigen, bevor die Öffentlichkeit potenziell geschädigt wird.

5G ist ein Protokoll, das zusätzlich zu den derzeit genutzten Mikrowellenbändern der dritten Generation (3G) und der vierten Generation (4G) der Langzeitentwicklung (LTE) Hochfrequenzbänder und große Bandbreiten des elektromagnetischen Spektrums im riesigen Funkfrequenzbereich von 600 MHz bis fast 100 GHz nutzen wird, der auch Millimeterwellen (>20 GHz) umfasst. Die Zuweisung von 5G-Frequenzbändern ist von Land zu Land unterschiedlich. Wenn Personen auf das 5G-Netz zugreifen, werden von neuen Basisstationen und Phased-Array-Antennen, die in der Nähe von Gebäuden platziert sind, fokussierte, gepulste Strahlen ausgesendet. Da diese hohen Frequenzen von der Atmosphäre und insbesondere bei Regen stark absorbiert werden, ist die Reichweite eines Senders auf 300 Meter begrenzt. Daher müssen bei 5G die Basisstationen und Antennen viel enger beieinan-

der stehen als bei früheren Generationen. Außerdem werden Satelliten im Weltraum die 5G-Bänder global ausstrahlen, um ein drahtloses weltweites Netz zu schaffen. Das neue System erfordert daher eine erhebliche Verdichtung der 4G-Infrastruktur sowie neue 5G-Antennen, die die Mobilfunk-Exposition der Bevölkerung sowohl innerhalb von Gebäuden als auch im Freien drastisch erhöhen können. Es ist geplant, etwa 100.000 Satelliten in die Umlaufbahn zu bringen. Diese Infrastruktur wird die elektromagnetische Umgebung der Welt in einem noch nie dagewesenen Ausmaß verändern und könnte unbekannte Folgen für die gesamte Biosphäre, einschließlich des Menschen, haben. Die neue Infrastruktur wird die neuen 5G-Geräte versorgen, darunter 5G-Mobiltelefone, Router, Computer, Tablets, selbstfahrende Fahrzeuge, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation und das Internet der Dinge.

Der globale Industriestandard für 5G wird vom 3G Partnership Project (3GPP) festgelegt, das als Oberbegriff für mehrere Organisationen dient, die Standardprotokolle für die mobile Telekommunikation entwickeln. Die 5G-Norm legt alle wichtigen Aspekte der Technologie fest, darunter die Zuweisung des Frequenzspektrums, die Strahlformung, die Strahlsteuerung, das Multiplexing mit mehreren Eingängen und Ausgängen sowie die Modulationsverfahren, um nur einige zu nennen. 5G wird 64 bis 256 Antennen in kurzen Abständen nutzen, um eine große Anzahl von Geräten innerhalb einer Zelle praktisch gleichzeitig zu bedienen. Der neueste fertiggestellte 5G-Standard, Release 16, ist in dem von 3GPP veröffentlichten technischen Bericht TR 21.916 kodifiziert und kann vom 3GPP-Server unter <https://www.3gpp.org/specifications> heruntergeladen werden. Die Ingenieure behaupten, dass 5G eine bis zu 10-mal höhere Leistung als die aktuellen 4G-Netze bieten wird [3].

COVID-19 begann in Wuhan, China, im Dezember 2019, kurz nachdem das stadtweite 5G-Netz am 31. Oktober 2019 in Betrieb genommen worden war. COVID-19-Ausbrüche folgten bald in anderen Gebieten, in denen 5G zumindest teilweise eingeführt worden war, darunter Südkorea, Norditalien, New York City, Seattle und Südkalifornien. Im Mai 2020 berichtete Mordachev [4] über eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Intensität der Hochfrequenzstrahlung und der Sterblichkeit durch SARS-CoV-2 in 31 Ländern weltweit. Während der ersten Pandemiewelle in den Vereinigten Staaten waren die COVID-19 zugeschriebenen Fälle und Todesfälle in Bundesstaaten und Großstädten mit 5G-Infrastruktur statistisch höher als in Bundesstaaten und Städten, die noch nicht über diese Technologie verfügten [5].

Es gibt seit der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg eine umfangreiche, von Fachleuten geprüfte Literatur über die biologischen Auswirkungen von Mobilfunk, die sich auf viele Aspekte unserer Gesundheit auswirken. Bei der Untersuchung dieser Literatur fanden wir Überschneidungen zwischen der Pathophysiologie von SARS-CoV-2 und den schädlichen biologischen Auswirkungen der Mobilfunk-Exposition. Hier stel-

len wir die Beweise vor, die darauf hindeuten, dass Mobilfunk ein möglicher Faktor ist, der COVID-19 verschlimmert.

1.2. Überblick über COVID-19

Das klinische Erscheinungsbild von COVID-19 hat sich als sehr variabel erwiesen, mit einer großen Bandbreite an Symptomen und Schwankungen von Fall zu Fall. Nach Angaben der CDC können frühe Krankheitssymptome unter anderem Halsschmerzen, Kopfschmerzen, Fieber, Husten und Schüttelfrost umfassen. Schwerere Symptome wie Kurzatmigkeit, hohes Fieber und starke Müdigkeit können in einem späteren Stadium auftreten. Auch neurologische Folgen wie Geschmacks- und Geruchsverlust sind beschrieben worden.

Ing et al. [6] stellten fest, dass 80 % der Betroffenen nur leichte oder gar keine Symptome haben. Ältere Menschen und solche mit Begleiterkrankungen wie Bluthochdruck, Diabetes und Fettleibigkeit haben jedoch ein höheres Risiko für eine schwere Erkrankung [7]. Das akute Atemnotsyndrom (ARDS) kann rasch auftreten [8] und zu schwerer Atemnot führen, da die Endothelzellen, die die Blutgefäße auskleiden, und die Epithelzellen, die die Atemwege auskleiden, ihre Integrität verlieren und proteinreiche Flüssigkeit in die angrenzenden Lungenbläschen austritt. COVID-19 kann zu einer unzureichenden Sauerstoffversorgung (Hypoxie) führen, die bei bis zu 80 % der Patienten auf der Intensivstation (ICU) [9] beobachtet wurde, die unter Atemnot leiden. Es wurden eine verminderte Sauerstoffversorgung und erhöhte Kohlendioxidwerte im Blut der Patienten beobachtet, obwohl die Ursache für diese Befunde unklar bleibt.

Bei Patienten mit SARS-CoV-2-Pneumonie wurden massive oxidative Schäden in der Lunge in Form von Luftraumtrübungen beobachtet, die auf Röntgenbildern und Computertomographien (CT) dokumentiert wurden [10]. Dieser zelluläre Stress könnte eher auf eine biochemische als auf eine virale Ätiologie hinweisen [11].

Da sich das disseminierte Virus an Zellen anlagern kann, die einen Rezeptor für das Angiotensin-konvertierende Enzym 2 (ACE2) enthalten, kann es sich im ganzen Körper ausbreiten und Organe und Weichgewebe schädigen, unter anderem die Lunge, das Herz, den Darm, die Nieren, die Blutgefäße, das Fett, die Hoden und die Eierstöcke. Die Krankheit kann die systemische Entzündung verstärken und einen hyperkoagulierbaren Zustand hervorrufen. Ohne Antikoagulation können intravaskuläre Blutgerinnsel verheerende Folgen haben [12].

Bei COVID-19-Patienten, die als "Long-Covid" bezeichnet werden, können die Symptome über Monate hinweg zu- und abnehmen [13]. Kurzatmigkeit, Müdigkeit, Gelenkschmerzen und Brustschmerzen können zu anhaltenden Symptomen werden. Auch postinfektiöser Hirnnebel, Herzrhythmusstörungen und neu auftretender Bluthochdruck sind beschrieben worden. Langfristige chronische Komplikationen von COVID-19 werden derzeit anhand der im Laufe der Zeit gesammelten epidemiologischen Daten definiert.

Während sich unser Verständnis von COVID-19 weiter entwickelt, bleiben Umweltfaktoren, insbesondere die elektromagnetischen Felder der drahtlosen Kommunikation, unerforschte Variablen, die möglicherweise zu der Krankheit und ihrem Schweregrad bei einigen Patienten beitragen. Nachfolgend fassen wir die Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition aus der über Jahrzehnte hinweg veröffentlichten, von Experten geprüften wissenschaftlichen Literatur zusammen.

1.3. Überblick über die Bioeffekte von Mobilfunk-Exposition

Organismen sind elektrochemische Lebewesen. Schwache elektromagnetische Strahlung von Geräten wie Mobilfunkantennen, drahtlosen Netzwerkprotokollen für die lokale Vernetzung von Geräten und den Internetzugang, die von der Wi-Fi-Allianz als Wi-Fi (offiziell IEEE 802.11b Direct Sequence Protocol; IEEE, Institute of Electrical and Electronic Engineers) bezeichnet werden, und Mobiltelefonen kann die Regulierung zahlreicher physiologischer Funktionen stören. Nicht-thermische Bioeffekte (unterhalb der Leistungsdichte, die zu einer Erwärmung des Gewebes führt) durch eine sehr schwache Mobilfunk-Exposition wurden in zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen mit Peer-Reviews bei Leistungsdichten unterhalb der Expositionsrichtlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) beschrieben [14]. Es hat sich gezeigt, dass schwacher Mobilfunk den Organismus auf allen Organisationsebenen beeinflusst, von der molekularen bis zur zellulären, physiologischen, verhaltensbezogenen und psychologischen Ebene. Darüber hinaus hat er nachweislich systemische Gesundheitsschäden verursacht, darunter ein erhöhtes Krebsrisiko [15], endokrine Veränderungen [16], eine erhöhte Produktion von freien Radikalen [17], Schäden an der Desoxyribonukleinsäure (DNS) [18], Veränderungen des Fortpflanzungssystems [19], Lern- und Gedächtnisstörungen [20] und neurologische Störungen [21]. Da sich die Organismen im extrem schwachen natürlichen Hochfrequenzhintergrund der Erde entwickelt haben, sind sie nicht in der Lage, sich an die erhöhten Werte der unnatürlichen Strahlung der drahtlosen Kommunikationstechnologie mit digitaler Modulation, die kurze, intensive Impulse (Bursts) enthält, anzupassen.

In der von Fachleuten überprüften wissenschaftlichen Weltliteratur wurden über mehrere Jahrzehnte hinweg Belege für schädliche biologische Wirkungen der Mobilfunk-Exposition, einschließlich 5G-Frequenzen, dokumentiert. Die sowjetische und osteuropäische Literatur aus den 1960er bis 1970er Jahren zeigt signifikante biologische Auswirkungen, selbst bei Expositionswerten, die mehr als 1000 Mal unter 1 mW/cm^2 , dem derzeitigen Richtwert für die maximale Exposition der Bevölkerung in den USA. Östliche Studien an Tieren und Menschen wurden bei niedrigen Expositionswerten ($<1 \text{ mW/cm}^2$) über lange Zeiträume (in der Regel Monate) durchgeführt. Nachteilige biologische Auswirkungen von Mobilfunk-Expositionswerten unter $0,001 \text{ mW/cm}^2$ wurden auch in der westlichen Literatur dokumentiert. Es wurde über eine Schä-

digung der Lebensfähigkeit menschlicher Spermien einschließlich DNA-Fragmentierung durch mit dem Internet verbundene Laptops bei Leistungsdichten von 0,0005 bis 0,001 mW/cm² berichtet [22]. Die chronische Exposition des Menschen bei 0,000006 - 0,00001 mW/cm² führte zu signifikanten Veränderungen der menschlichen Stresshormone nach der Installation einer Mobilfunkbasisstation [23]. Die Exposition von Menschen gegenüber einer Mobilfunkstrahlung von 0,00001 - 0,00005 mW/cm² führte zu Beschwerden über Kopfschmerzen, neurologische Probleme, Schlafstörungen und Konzentrationsprobleme, was der "Mikrowellenkrankheit" entspricht [24,25]. Die Auswirkungen von Mobilfunk auf die pränatale Entwicklung bei Mäusen, die in der Nähe eines "Antennenparks" mit Leistungsdichten von 0,000168 bis 0,001053 mW/cm² ausgesetzt waren, zeigten einen progressiven Rückgang der Zahl der Neugeborenen und endeten in irreversibler Unfruchtbarkeit [26]. Die meisten US-Forschungen wurden über kurze Zeiträume von Wochen oder weniger durchgeführt. In den letzten Jahren gab es nur wenige Langzeitstudien an Tieren oder Menschen.

Erkrankungen durch Funk-Exposition sind seit den Anfängen des Radars dokumentiert. Eine längere Exposition gegenüber Mikrowellen und Millimeterwellen aus dem Radar wurde vor Jahrzehnten von russischen Wissenschaftlern mit verschiedenen Erkrankungen in Verbindung gebracht, die als "Radiowellenkrankheit" bezeichnet wurden. Sowjetische Forschergruppen berichteten seit den 1960er Jahren über eine Vielzahl von biologischen Wirkungen, die von nichtthermischen Leistungsdichten von Mobilfunk ausgehen. Eine Bibliographie mit über 3700 Verweisen auf die in der wissenschaftlichen Weltliteratur berichteten biologischen Wirkungen wurde 1972 (überarbeitet 1976) vom US Naval Medical Research Institute veröffentlicht [27,28]. Einige relevante russische Studien werden im Folgenden zusammengefasst. Untersuchungen an *Escherichia coli*-Bakterienkulturen zeigen Leistungsdichtefenster für Mikrowellenresonanzeffekte bei 51,755 GHz zur Stimulierung des Bakterienwachstums, die bei extrem niedrigen Leistungsdichten von 10-13 mW/cm² beobachtet wurden [29], was eine extrem geringe biologische Wirkung veranschaulicht. Kürzlich bestätigten russische Studien frühere Ergebnisse sowjetischer Forschergruppen zu den Auswirkungen von 2,45 GHz bei 0,5 mW/cm² auf Ratten (30 Tage lang 7 Stunden/Tag) und zeigten die Bildung von Antikörpern im Gehirn (Autoimmunreaktion) und Stressreaktionen [30]. In einer Langzeitstudie (1 - 4 Jahre), in der Kinder, die Mobiltelefone benutzen, mit einer Kontrollgruppe verglichen wurden, wurden funktionelle Veränderungen, einschließlich größerer Müdigkeit, verminderter freiwilliger Aufmerksamkeit und Schwächung des semantischen Gedächtnisses, neben anderen negativen psychophysiologischen Veränderungen, berichtet [31]. Wichtige russische Forschungsberichte, die die wissenschaftliche Grundlage für sowjetische und russische Mobilfunk-Expositionsrichtlinien zum Schutz der Öffentlichkeit

bilden, die viel niedriger sind als die US-Richtlinien, wurden zusammengefasst [32].

Im Vergleich zu den in diesen Studien verwendeten Expositionswerten haben wir im Dezember 2020 in der Innenstadt von San Francisco, Kalifornien, den Umgebungspegel von Mobilfunk zwischen 100 MHz und 8 GHz gemessen und eine durchschnittliche Leistungsdichte von 0,0002 mW/cm² festgestellt. Dieser Wert ergibt sich aus der Überlagerung mehrerer Mobilfunk-Geräte. Er liegt etwa 2×10^{10} -mal über dem natürlichen Hintergrund.

Gepulste Hochfrequenzstrahlung wie Mobilfunk zeigt im Vergleich zu kontinuierlichen Wellen bei ähnlichen zeitlich gemittelten Leistungsdichten qualitativ und quantitativ wesentlich andere (im Allgemeinen ausgeprägtere) Bioeffekte [33-36]. Die spezifischen Wechselwirkungsmechanismen sind nicht gut verstanden. Bei allen Arten der drahtlosen Kommunikation werden extrem niedrige Frequenzen (ELF) zur Modulation der Hochfrequenzträgersignale verwendet, in der Regel in Form von Impulsen, um die Kapazität der übertragenen Informationen zu erhöhen. Diese Kombination von Hochfrequenzstrahlung mit ELF-Modulation(en) ist im Allgemeinen bioaktiver, da man davon ausgeht, dass sich Organismen nicht ohne Weiteres an solch schnell wechselnde Wellenformen anpassen können [37-40]. Daher muss das Vorhandensein von ELF-Komponenten von Hochfrequenzwellen durch Pulsieren oder andere Modulationen in Studien über die biologischen Auswirkungen von Mobilfunk berücksichtigt werden. Leider ist die Berichterstattung über solche Modulationen unzuverlässig, insbesondere in älteren Studien [41].

Der BioInitiative Report [42], der von 29 Experten aus zehn Ländern verfasst und 2020 aktualisiert wurde, bietet eine wissenschaftliche, aktuelle Zusammenfassung der Literatur zu den Bioeffekten und gesundheitlichen Folgen der Mobilfunk-Exposition, einschließlich eines Kompendiums der unterstützenden Forschung. In jüngster Zeit wurden Übersichten veröffentlicht [43-46]. Zwei umfassende Übersichten über die Bioeffekte von Millimeterwellen berichten, dass selbst kurzfristige Expositionen deutliche Bioeffekte hervorrufen [47,48].

2. Methoden

Es wurde eine laufende Literaturstudie über die sich entfaltende Pathophysiologie von SARS-CoV-2 durchgeführt. Zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zu Bioeffekten durch Mobilfunk-Exposition zu untersuchen, haben wir über 250 von Fachleuten begutachtete Forschungsberichte aus den Jahren 1969 bis 2021 untersucht, darunter Übersichtsarbeiten und Studien an Zellen, Tieren und Menschen. Wir berücksichtigten die englischsprachige Weltliteratur und ins Englische übersetzte russische Berichte über Funkfrequenzen von 600 MHz bis 90 GHz, das Trägerwellenspektrum von Mobilfunk (2G bis einschließlich 5G), mit besonderem Schwerpunkt auf nichtthermischen, niedrigen Leistungsdichten (<1 mW/cm²) und Langzeitexpositionen. Die folgenden

Suchbegriffe wurden in Abfragen in MEDLINE® und dem Defense Technical Information Center (<https://discover.dtic.mil>) verwendet, um relevante Studienberichte zu finden: Hochfrequenz-Strahlung, Mikrowelle, Millimeterwelle, Radar, MHz, GHz, Blut, rote Blutkörperchen, Erythrozyten, Hämoglobin, Hämodynamik, Sauerstoff, Hypoxie, vaskulär, Entzündung, pro-inflammatorisch, immun, Lymphozyten, T-Zellen, Zytokine, intrazelluläres Kalzium, Sympathikusfunktion, Arrhythmie, Herz, Herz-Kreislauf, oxidativer Stress, Glutathion, reaktive Sauerstoffspezies (ROS), COVID-19, Virus und SARS-CoV-2. Berufliche Studien über Mobilfunk-exponierte Arbeitnehmer wurden in die Studie einbezogen. Unser Ansatz

ähnelt der literaturbezogenen Entdeckung, bei der zwei Konzepte, die bisher nicht miteinander verknüpft waren, bei der Literatursuche untersucht werden, um nach Verknüpfungen zu suchen, die neue, interessante, plausible und verständliche Erkenntnisse hervorbringen, d. h. eine potenzielle Entdeckung [49]. Aus der Analyse dieser Studien im Vergleich zu den neuen Informationen über die Pathophysiologie von SARS-CoV-2 haben wir mehrere Wege identifiziert, auf denen sich die negativen Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition mit den COVID-19-Manifestationen überschneiden, und unsere Erkenntnisse in fünf Kategorien eingeteilt.

Tabelle 1 : Bioeffekte der Exposition gegenüber drahtloser Kommunikationsstrahlung (Mobilfunk) im Zusammenhang mit COVID-19-Manifestationen und deren Verlauf

Bioeffekte der Exposition gegenüber drahtloser Kommunikationsstrahlung (Mobilfunk)	COVID-19-Manifestationen
Blutveränderungen	Blutveränderungen
Kurzfristig: Rouleaux („Geldrollen“), Echinozyten	Rouleaux („Geldrollen“), Echinozyten
Langfristig: reduzierte Blutgerinnungszeit, reduziertes Hämoglobin,	Hämoglobinwirkungen; vaskuläre Wirkungen Vermindertes Hämoglobin bei schwerer Krankheit; autoimmunhämolytische Anämie; Hypoxämie und Hypoxie
hämodynamische Störungen	Endothelschäden; beeinträchtigte Mikrozirkulation; Hyperkoagulation; disseminierte intravasale Koagulopathie (DIC); Lungenembolie; Schlaganfall
Oxidativer Stress:	Oxidativer Stress
Abnahme des Glutathion-Spiegels; Zunahme der freien Radikale und des Lipidperoxids;	Abnahme des Glutathionspiegels; Zunahme und Schädigung durch freie Radikale; Apoptose
Abnahme der Superoxid-Dismutase-Aktivität; oxidative Schädigung von Geweben und Organen	Oxidative Schädigung; Organschäden bei schwerer Krankheit
Störung und Aktivierung des Immunsystems	Störung und Aktivierung des Immunsystems
Unterdrückung des Immunsystems in einigen Studien;	Verminderte Produktion von T-Lymphozyten; erhöhte entzündliche Biomarker. Hyperaktivierung und
Hyperaktivierung des Immunsystems in anderen Studien	Entzündung des Immunsystems; Zytokinsturm bei schwerer Erkrankung; zytokininduzierte Hypoperfusion mit daraus resultierender Hypoxie; Organschäden; Organversagen
Langfristig: Unterdrückung von T-Lymphozyten; erhöhte Entzündungsbiomarker; Autoimmunität; Organschäden	
Erhöhtes intrazelluläres Kalzium	Erhöhtes intrazelluläres Kalzium
Durch Aktivierung von spannungsgesteuerten Kalziumkanälen an Zellmembranen, mit zahlreichen Sekundäreffekten	Erhöhter Viruseintritt, -replikation und -freisetzung Erhöhter NF-kB, pro-inflammatorische Prozesse, Gerinnung und Thrombose
Auswirkungen auf das Herz	Auswirkungen auf das Herz
Hochregulierung des sympathischen Nervensystems; Herzklopfen und Herzrhythmusstörungen	Herzrhythmusstörungen, Myokarditis; Myokardischämie; Herzschäden; Herzversagen

Unterstützende Belege, einschließlich Studiendetails und Zitate, finden sich im Text unter jeder Themenüberschrift, d. h. Blutveränderungen, oxidativer Stress usw.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die für COVID-19 typischen Erscheinungsformen einschließlich des Krankheitsverlaufs und der entsprechenden negativen Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition aufgeführt. Obwohl diese Wirkungen in Kategorien eingeteilt sind - Blutveränderungen, oxidativer Stress, Störung und Aktivierung des Immunsystems, erhöhter intrazellulärer Kalziumspiegel (Ca²⁺) und Auswirkungen auf das Herz - muss betont werden, dass diese Wirkungen nicht unabhängig voneinander sind. So überschneiden sich beispielsweise die Mechanismen der Blutgerinnung und der Entzündung, und oxidativer Stress ist sowohl an morphologischen Veränderungen der Erythrozyten als auch an Hyperkoagulation, Entzündungen und Organschäden beteiligt.

3.1. Blutveränderungen

Eine Mobilfunk-Exposition kann morphologische Veränderungen im Blut verursachen, die durch Phasenkontrast- oder Dunkelfeldmikroskopie von lebenden peripheren Blutproben leicht erkennbar sind. Im Jahr 2013 beobachtete Havas in lebenden peripheren Blutproben nach 10-minütiger Exposition eines Menschen mit einem schnurlosen 2,4-GHz-Telefon eine Erythrozyten-Aggregation einschließlich Rouleaux (Rollen aus gestapelten roten Blutkörperchen) [50]. Obwohl nicht begutachtet, untersuchte einer von uns (Rubik) die Auswirkung von 4G-LTE-Mobilfunkstrahlung auf das periphere Blut von zehn menschlichen Probanden, von denen jeder in zwei aufeinanderfolgenden 45-minütigen Intervallen der Mobilfunkstrahlung ausgesetzt war [51]. Es wurden zwei Arten von Effekten beobachtet: erhöhte Klebrigkeit und Verklumpung der roten Blutkörperchen mit Rouleaux-Bildung und anschließender Bildung von Echinocyten (stachelige rote Blutkörperchen). Es ist bekannt, dass die Verklumpung und Aggregation von roten Blutkörperchen aktiv an der Blutgerinnung beteiligt ist [52]. Die Prävalenz dieses Phänomens bei der Exposition gegenüber Mobilfunk in der menschlichen Bevölkerung ist noch nicht ermittelt worden. Größere kontrollierte Studien sollten durchgeführt werden, um dieses Phänomen weiter zu untersuchen.

Ähnliche Veränderungen der roten Blutkörperchen sind im peripheren Blut von COVID-19-Patienten beschrieben worden [53]. Die Bildung von Rouleaux wurde bei 1/3 der COVID-19-Patienten beobachtet, während die Bildung von Sphärozyten und Echinozyten stärker variiert. Die Bindung des Spike-Proteins an die ACE2-Rezeptoren auf Zellen, die die Blutgefäße auskleiden, kann zu Endothelschäden führen, selbst wenn sie isoliert sind [54]. Die Bildung von Rouleaux, insbesondere bei zugrunde liegender Endothelschädigung, kann die Mikrozirkulation verstopfen, den Sauerstofftransport behindern, zu Hypoxie beitragen und das Thromboserisiko erhöhen [52]. Die Thrombogenese im Zusammenhang mit einer SARS-CoV-2-Infektion kann auch durch die direkte Bindung des Virus an ACE2-Rezeptoren auf Blutplättchen verursacht werden [55].

Weitere Auswirkungen auf das Blut wurden sowohl bei Menschen als auch bei Tieren beobachtet, die Mobilfunk ausgesetzt waren. Im Jahr 1977 berichtete eine russische Studie, dass Nagetiere, die mit 5 - 8 mm Wellen (60 - 37 GHz) bei 1 mW/cm² für 15 min/Tag über 60 Tage bestrahlt wurden, hämodynamische Störungen, eine unterdrückte Bildung roter Blutkörperchen, ein verringertes Hämoglobin und eine Hemmung der Sauerstoffverwertung (oxidative Phosphorylierung durch die Mitochondrien) entwickelten [56]. 1978 zeigte eine dreijährige russische Studie an 72 Ingenieuren, die Millimeterwellen-Generatoren mit einer Strahlung von 1 mW/cm² oder weniger ausgesetzt waren, einen Rückgang der Hämoglobinwerte und der Anzahl der roten Blutkörperchen sowie eine Tendenz zur Hyperkoagulation, während eine Kontrollgruppe keine Veränderungen aufwies [57]. Solche schädlichen hämatologischen Auswirkungen der Mobilfunk-Exposition könnten auch zur Entwicklung von Hypoxie und Blutgerinnung beitragen, die bei COVID-19-Patienten beobachtet wurden.

Es wurde vorgeschlagen, dass das SARS-CoV-2-Virus Erythrozyten angreift und den Abbau von Hämoglobin verursacht [11]. Virusproteine könnten die 1-beta-Kette des Hämoglobins angreifen und das Porphyrin einfangen, zusammen mit anderen Proteinen des Virus, die die Dissoziation von Eisen und Häm katalysieren [58]. Im Prinzip würde dies die Zahl der funktionsfähigen Erythrozyten verringern und die Freisetzung freier Eisenionen verursachen, die oxidativen Stress, Gewebeschäden und Hypoxie hervorrufen könnten. Bei teilweise zerstörtem Hämoglobin und entzündlich geschädigtem Lungengewebe wären die Patienten weniger in der Lage, Kohlendioxid (CO₂) und Sauerstoff (O₂) auszutauschen, und würden an Sauerstoffmangel leiden. Tatsächlich weisen einige COVID-19-Patienten reduzierte Hämoglobinwerte auf, die bei 7,1 g/L liegen und in schweren Fällen sogar bis auf 5,9 g/L sinken [59]. Klinische Studien an fast 100 Patienten aus Wuhan ergaben, dass die Hämoglobinwerte im Blut der meisten mit SARS-CoV-2 infizierten Patienten deutlich erniedrigt sind, was zu einer beeinträchtigten Sauerstoffversorgung von Gewebe und Organen führt [60]. In einer Meta-Analyse von vier Studien mit insgesamt 1210 Patienten und 224 mit schwerer Erkrankung waren die Hämoglobinwerte bei COVID-19-Patienten mit schwerer Erkrankung im Vergleich zu denen mit milderer Formen reduziert [59]. In einer anderen Studie mit 601 COVID-19-Patienten wiesen 14,7 % der anämischen COVID-19-Patienten auf der Intensivstation und 9 % der COVID-19-Patienten ohne Intensivstation eine autoimmunhämolytische Anämie auf [61]. Bei Patienten mit schwerer COVID-19-Erkrankung stützt ein vermindertes Hämoglobin zusammen mit erhöhter Erythrozytensedimentationsrate (ESR), C-reaktivem Protein, Laktatdehydrogenase, Albumin [62], Serumferritin [63] und niedriger Sauerstoffsättigung [64] diese Hypothese zusätzlich. Darüber hinaus kann die Transfusion von gepackten roten Blutkörperchen die Gene-

sung von COVID-19-Patienten mit akutem Atemversagen fördern [65].

Kurz gesagt, sowohl die Mobilfunk-Exposition als auch COVID-19 können schädliche Auswirkungen auf die roten Blutkörperchen und reduzierte Hämoglobinwerte haben, die zur Hypoxie bei COVID-19 beitragen. Endothelschäden können ebenfalls zu Hypoxie und vielen der bei COVID-19 beobachteten vaskulären Komplikationen beitragen [66], die im nächsten Abschnitt erörtert werden.

3.2. Oxidativer Stress

Oxidativer Stress ist ein unspezifischer pathologischer Zustand, der ein Ungleichgewicht zwischen einer erhöhten Produktion von ROS² und der Unfähigkeit des Organismus widerspiegelt, die ROS zu entgiften oder die Schäden zu reparieren, die sie an Biomolekülen und Geweben verursachen [67]. Oxidativer Stress kann die Zellsignalübertragung stören, die Bildung von Stressproteinen verursachen und hochreaktive freie Radikale erzeugen, die DNA- und Zellmembranschäden verursachen können.

SARS-CoV-2 hemmt intrinsische Signalwege zur Verringerung der ROS-Konzentration und erhöht dadurch die Morbidität. Eine Dysregulation des Immunsystems, d. h. die Hochregulierung von Interleukin (IL)-6 und Tumor-Nekrose-Faktor α (TNF- α) [68] und die Unterdrückung von Interferon (IFN) α und IFN β [69] wurden beim Zytokinsturm, der schwere COVID-19-Infektionen begleitet, festgestellt und erzeugen oxidativen Stress [10]. Oxidativer Stress und mitochondriale Dysfunktion können den Zytokinsturm weiter aufrechterhalten, die Gewebeschäden verschlimmern und das Risiko einer schweren Erkrankung und des Todes erhöhen.

In ähnlicher Weise erzeugt Mobilfunk auf niedrigem Niveau ROS in den Zellen, die oxidative Schäden verursachen. Tatsächlich wird oxidativer Stress als einer der Hauptmechanismen angesehen, durch den Mobilfunk-Exposition Zellschäden verursacht. Von den 100 derzeit verfügbaren, von Experten begutachteten Studien, die die oxidativen Wirkungen von Mobilfunk niedriger Intensität untersuchten, bestätigten 93, dass Mobilfunk oxidative Wirkungen in biologischen Systemen hervorruft [17]. Mobilfunk ist ein oxidatives Agens mit einem hohen pathogenen Potenzial, insbesondere wenn die Exposition kontinuierlich ist [70].

Oxidativer Stress ist auch ein anerkannter Mechanismus zur Schädigung des Endothels [71]. Dies kann sich bei Patienten mit schwerem COVID-19 manifestieren und erhöht das Risiko für die Bildung von Blutgerinnseln und die Verschlechterung der Hypoxämie [10]. Bei einer kleinen Gruppe von COVID-19-Patienten wurden niedrige Glutathionwerte, das wichtigste Antioxidans, beobachtet, wobei die niedrigsten Werte bei den schwersten Fällen gefunden wurden [72]. Die Feststellung niedriger Glutathionwerte bei diesen Patienten ist ein weiterer Beleg dafür, dass oxidativer Stress eine Kompo-

nente dieser Krankheit ist [72]. Tatsächlich könnte Glutathion, die Hauptquelle der antioxidativen Aktivität auf Sulfhydrylbasis im menschlichen Körper, bei COVID-19 eine zentrale Rolle spielen [73]. Ein Glutathionmangel wurde als wahrscheinlichste Ursache für die schweren Erscheinungsformen von COVID-19 vorgeschlagen [72]. Die häufigsten Begleiterkrankungen wie Bluthochdruck [74], Fettleibigkeit [75], Diabetes [76] und chronisch obstruktive Lungenerkrankung [74] unterstützen das Konzept, dass vorbestehende Erkrankungen, die niedrige Glutathionwerte verursachen, synergetisch zusammenwirken können, um den "perfekten Sturm" für die respiratorischen und vaskulären Komplikationen einer schweren Infektion zu erzeugen. Eine andere Arbeit, in der zwei Fälle von COVID-19-Pneumonie zitiert werden, die erfolgreich mit intravenösem Glutathion behandelt wurden, unterstützt diese Hypothese ebenfalls [77].

Viele Studien berichten über oxidativen Stress bei Menschen, die Mobilfunk ausgesetzt waren. Peraica et al. [78] fanden bei Arbeitern, die Mobilfunk von Radargeräten ausgesetzt waren (0,01 mW/cm² - 10 mW/cm²; 1,5 - 10,9 GHz), verringerte Glutathionwerte im Blut. Garaj-Vrhovac et al. [79] untersuchten die Bioeffekte nach Exposition mit nicht-thermischen gepulsten Mikrowellen von Schiffsradargeräten (3 GHz, 5,5 GHz und 9,4 GHz) und berichteten über verringerte Glutathion-Werte und erhöhtes Malondialdehyd (Marker für oxidativen Stress) in einer beruflich exponierten Gruppe [79]. Das Blutplasma von Personen, die sich in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen aufhielten, wies im Vergleich zu nicht exponierten Kontrollpersonen signifikant reduzierte Glutathion-, Katalase- und Superoxid-Dismutase-Werte auf [80]. In einer Studie über die Exposition von Menschen gegenüber Mobilfunk von Mobiltelefonen wurde über erhöhte Blutspiegel von Lipidperoxid berichtet, während die enzymatischen Aktivitäten von Superoxiddismutase und Glutathionperoxidase in den roten Blutkörperchen abnahmen, was auf oxidativen Stress hinweist [81].

In einer Studie an Ratten, die einer Frequenz von 2450 MHz (drahtlose Router) ausgesetzt waren, wurde oxidativer Stress als Ursache für die Lysis (Hämolyse) der roten Blutkörperchen festgestellt [82]. In einer anderen Studie wiesen Ratten, die 8 Tage lang 7 Stunden/Tag bei 945 MHz (Frequenz von Basisstationen) mit 0,367 mW/cm² exponiert wurden, niedrige Glutathionwerte und eine erhöhte Malondialdehyd- und Superoxiddismutase-Enzymaktivität auf, was auf oxidativen Stress hindeutet [83]. In einer kontrollierten Langzeitstudie an Ratten, die 10 Monate lang 2 Stunden/Tag bei 900 MHz (Mobilfunkfrequenz) mit 0,0782 mW/cm² exponiert wurden, kam es zu einem signifikanten Anstieg des Malondialdehyds und des Gesamtoxidationsstatus im Vergleich zu den Kontrollen [84]. In einer anderen kontrollierten Langzeitstudie an Ratten, die bei zwei Mobilfunkfrequenzen, 1800 MHz und 2100 MHz, bei Leistungsdichten von 0,04 - 0,127 mW/cm² für 2 h/Tag über 7 Monate ausgesetzt waren, wurden signifikante Veränderungen der oxidativ-antioxidativen Parameter, der

2 Übermaß reaktiver Sauerstoffverbindungen: ROS – reactive oxygen species.

DNA-Strangbrüche und der oxidativen DNA-Schäden festgestellt [85].

Es besteht eine Korrelation zwischen oxidativem Stress und Thrombogenese [86]. ROS können eine endotheliale Dysfunktion und zelluläre Schäden verursachen. Die endotheliale Auskleidung des Gefäßsystems enthält ACE2-Rezeptoren, die von SARS-CoV-2 angegriffen werden. Die daraus resultierende Endotheliitis kann zu einer Verengung der Lumen und zu einem verminderten Blutfluss zu den nachgeschalteten Strukturen führen. Thromben in arteriellen Strukturen können den Blutfluss weiter behindern und Ischämie und/oder Infarkte in den betroffenen Organen verursachen, einschließlich Lungenembolien und Schlaganfällen. Eine abnorme Blutgerinnung, die zu Mikroembolien führt, war eine anerkannte Komplikation in der frühen Geschichte von COVID-19 [87]. Von 184 COVID-19-Patienten auf der Intensivstation wiesen 31 % thrombotische Komplikationen auf [88]. Kardiovaskuläre Gerinnungsereignisse sind eine häufige Ursache für COVID-19-Todesfälle [12]. Lungenembolie, disseminierte intravasale Gerinnung (DIC), Leber-, Herz- und Nierenversagen wurden bei COVID-19-Patienten beobachtet [89].

Zu den Patienten mit den höchsten kardiovaskulären Risikofaktoren bei COVID-19 gehören Männer, ältere Menschen, Diabetiker sowie übergewichtige und hypertensive Patienten. Es wurde jedoch auch ein erhöhtes Auftreten von Schlaganfällen bei jüngeren Patienten mit COVID-19 beschrieben [90].

Oxidativer Stress wird durch Mobilfunk-Exposition verursacht und ist bekanntermaßen an Herz-Kreislauf-Erkrankungen beteiligt. Die allgegenwärtige Umweltexposition gegenüber Mobilfunk kann zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen beitragen, indem sie einen chronischen Zustand von oxidativem Stress schafft [91]. Dies würde zu oxidativen Schäden an zellulären Bestandteilen führen und die Signaltransduktionswege verändern. Darüber hinaus kann pulsmodierte Mobilfunk oxidative Schäden in Leber, Lunge, Hoden und Herzgewebe verursachen, die durch Lipidperoxidation, erhöhte Stickoxidkonzentrationen und die Unterdrückung des antioxidativen Abwehrmechanismus vermittelt werden [92].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass oxidativer Stress eine Hauptkomponente der Pathophysiologie von COVID-19 sowie der durch Mobilfunk-Exposition verursachten zellulären Schäden ist.

3.3. Störung und Aktivierung des Immunsystems

Wenn SARS-CoV-2 den menschlichen Körper zum ersten Mal infiziert, greift es Zellen an, die die Nase, den Rachen und die oberen Atemwege auskleiden und ACE2-Rezeptoren beherbergen. Sobald das Virus über eines seiner Spike-Proteine, d. h. die aus der Virushülle herausragenden Ausstülpungen, die an die ACE2-Rezeptoren binden, Zugang zu einer Wirtszelle erhält, verwandelt es die Zelle in eine sich selbst vermehrende Viruseinheit.

Als Reaktion auf eine COVID-19-Infektion kommt es nachweislich sowohl zu einer sofortigen systemischen angeborenen Immunreaktion als auch zu einer verzögerten adaptiven Reaktion [93]. Das Virus kann auch zu einer Dysregulation der Immunantwort führen, insbesondere zu einer verminderten Produktion von T-Lymphozyten. [94]. Schwere Fälle weisen tendenziell niedrigere Lymphozytenzahlen, höhere Leukozytenzahlen und Neutrophilen-Lymphozyten-Verhältnisse sowie einen geringeren Anteil an Monozyten, Eosinophilen und Basophilen auf [94]. Schwere Fälle von COVID-19 zeigen die größte Beeinträchtigung der T-Lymphozyten.

Im Vergleich dazu zeigen Studien an Labortieren mit geringer Mobilfunk-Belastung ebenfalls eine Beeinträchtigung der Immunfunktion [95]. Befunde umfassen physikalische Veränderungen der Immunzellen, eine Verschlechterung der immunologischen Reaktionen, Entzündungen und Gewebeschäden. Baranski [96] exponierte Meerschweinchen und Kaninchen 3 Monate lang kontinuierlich oder pulsmoduliert mit 3000 MHz-Mikrowellen mit einer durchschnittlichen Leistungsdichte von 3,5 mW/cm² und fand nicht-thermische Veränderungen der Lymphozytenzahl, Anomalien in der Kernstruktur und Mitose in der erythroblastischen Zellreihe im Knochenmark und in lymphatischen Zellen in Lymphknoten und Milz. Andere Forscher haben bei Tieren, die Mobilfunk ausgesetzt waren, eine verminderte Anzahl von T-Lymphozyten oder eine unterdrückte Immunfunktion festgestellt. Kaninchen, die 3 Monate lang 3 Stunden/Tag, 6 Tage/Woche bei 2,1 GHz mit 5 W/cm² exponiert wurden, zeigten eine Unterdrückung der T-Lymphozyten [97]. Ratten, die 21 Monate lang bei 2,45 GHz und 9,7 GHz für 2 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche exponiert wurden, zeigten eine signifikante Abnahme der Lymphozyten und eine erhöhte Sterblichkeit nach 25 Monaten in der bestrahlten Gruppe [98]. Lymphozyten von Kaninchen, die 6 Monate lang mit 2,45 GHz für 23 Stunden/Tag bestrahlt wurden, zeigten eine signifikante Unterdrückung der Immunantwort auf ein Mitogen [99].

Im Jahr 2009 führte Johansson eine Literaturübersicht durch, die auch den Bioinitiative-Bericht von 2007 einschloss. Er kam zu dem Schluss, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF), einschließlich Mobilfunk, das Immunsystem stören und allergische und entzündliche Reaktionen bei Expositionsniveaus hervorrufen kann, die deutlich unter den derzeitigen nationalen und internationalen Sicherheitsgrenzwerten liegen und das Risiko für systemische Erkrankungen erhöhen [100]. Eine 2013 von Szmigielski durchgeführte Untersuchung kam zu dem Schluss, dass schwache Hochfrequenz-/Mikrowellenfelder, wie sie von Mobiltelefonen ausgehen, verschiedene Immunfunktionen sowohl in vitro als auch in vivo beeinträchtigen können [101]. Obwohl die Auswirkungen historisch gesehen etwas uneinheitlich sind, dokumentieren die meisten Forschungsstudien Veränderungen in der Anzahl und Aktivität von Immunzellen durch HF-Exposition. Im Allgemeinen kann eine kurzzeitige Exposition gegenüber schwacher Mikrowellenstrahlung vorübergehend

eine angeborene oder adaptive Immunantwort stimulieren, aber eine längere Bestrahlung hemmt dieselben Funktionen.

In der akuten Phase einer COVID-19-Infektion zeigen Bluttests erhöhte ESR, C-reaktives Protein und andere erhöhte Entzündungsmarker [102], die typisch für eine angeborene Immunreaktion sind. Die rasche Virusreplikation kann zum Absterben von Epithel- und Endothelzellen führen und undichte Blutgefäße und die Freisetzung entzündungsfördernder Zytokine zur Folge haben [103]. Zytokine, Proteine, Peptide und Proteoglykane, die die körpereigene Immunantwort modulieren, sind bei Patienten mit leichtem bis mittelschwerem Krankheitsverlauf leicht erhöht [104]. Bei Patienten mit schwerer Erkrankung kann es zu einer unkontrollierten Freisetzung von entzündungsfördernden Zytokinen - einem Zytokinsturm - kommen. Zytokinstürme entstehen durch ein Ungleichgewicht in der T-Zell-Aktivierung mit dysregulierter Freisetzung von IL-6, IL-17 und anderen Zytokinen. Programmierter Zelltod (Apoptose), ARDS, DIC und Multiorganversagen können die Folge eines Zytokinsturms sein und erhöhen das Sterberisiko.

Im Vergleich dazu fanden sowjetische Forscher in den 1970er Jahren heraus, dass hochfrequente Strahlung das Immunsystem von Tieren schädigen kann. Shandala [105] setzte Ratten einen Monat lang 7 Stunden pro Tag 0,5 mW/cm² Mikrowellen aus und stellte eine Beeinträchtigung der Immunkompetenz und eine Induktion von Autoimmunerkrankungen fest. Ratten, die 30 Tage lang täglich 7 Stunden lang mit 2,45 GHz bei 0,5 mW/cm² bestrahlt wurden, zeigten Autoimmunreaktionen, und 0,1 - 0,5 mW/cm² führten zu anhaltenden pathologischen

Immunreaktionen [106]. Die Exposition gegenüber Mikrowellenstrahlung, selbst bei niedrigen Werten (0,1 - 0,5 mW/cm²), kann die Immunfunktion beeinträchtigen, indem sie physikalische Veränderungen in den wesentlichen Zellen des Immunsystems und eine Verschlechterung der immunologischen Reaktionen verursacht [107]. Szabo et al. [108] untersuchten die Auswirkungen einer 61,2-GHz-Exposition auf epidermale Keratinozyten und fanden einen Anstieg von IL-1b, einem proinflammatorischen Zytokin. Makar et al. [109] fanden heraus, dass immunsupprimierte Mäuse, die 3 Tage lang 30 Minuten/Tag mit 42,2 GHz bestrahlt wurden, erhöhte Werte von TNF- α aufwiesen, einem Zytokin, das von Makrophagen produziert wird.

Kurz gesagt, COVID-19 kann zu einer Dysregulation des Immunsystems und zu Zytokinstürmen führen. Im Vergleich dazu kann eine Exposition mit schwacher Mobilfunk, wie sie in Tierversuchen beobachtet wurde, das Immunsystem ebenfalls beeinträchtigen, wobei eine chronische tägliche Exposition zu einer Immunsuppression oder einer Dysregulation des Immunsystems einschließlich Hyperaktivierung führt.

3.4. Erhöhtes intrazelluläres Kalzium

1992 wies Walleczek erstmals darauf hin, dass elektromagnetische ELF-Felder (<3000 Hz) die membranvermittelte Ca²⁺-

Signalübertragung beeinträchtigen und zu erhöhtem intrazellulärem Ca²⁺ führen könnten [110]. Der Mechanismus der unregelmäßigen Steuerung von spannungsgesteuerten Ionenkanälen in Zellmembranen durch polarisierte und kohärente, oszillierende elektrische oder magnetische Felder wurde erstmals in den Jahren 2000 und 2002 vorgestellt [40,111]. Pall [112] stellte in seiner Übersicht über Mobilfunk-induzierte Bioeffekte in Verbindung mit dem Einsatz von Kalziumkanalblockern (CCB) fest, dass spannungsabhängige Kalziumkanäle eine wichtige Rolle bei den Bioeffekten von Mobilfunk spielen. Die Aktivierung der spannungsabhängigen Kalziumkanäle führt zu einer Erhöhung des intrazellulären Ca²⁺, und dies ist möglicherweise einer der wichtigsten Wirkmechanismen von Mobilfunk auf Organismen.

Intrazelluläres Ca²⁺ ist für den Eintritt, die Replikation und die Freisetzung von Viren unerlässlich. Es wurde berichtet, dass einige Viren spannungsabhängige Kalziumkanäle manipulieren können, um das intrazelluläre Ca²⁺ zu erhöhen und so den Eintritt und die Replikation des Virus zu erleichtern [113]. Forschungen haben gezeigt, dass die Interaktion zwischen einem Virus und spannungsabhängigen Kalziumkanälen den Eintritt des Virus in die Wirtszelle beim Schritt der Fusion zwischen Virus und Wirtszelle fördert [113]. Nachdem das Virus an seinen Rezeptor auf einer Wirtszelle gebunden hat und durch Endozytose in die Zelle gelangt ist, übernimmt das Virus die Wirtszelle, um seine Bestandteile zu fabrizieren. Bestimmte virale Proteine manipulieren dann Kalziumkanäle und erhöhen dadurch das intrazelluläre Ca²⁺, was die weitere virale Replikation erleichtert.

Auch wenn keine direkten Beweise vorliegen, gibt es indirekte Hinweise darauf, dass eine erhöhte intrazelluläre Ca²⁺-Konzentration bei COVID-19 eine Rolle spielen könnte. In einer kürzlich durchgeführten Studie überlebten ältere hospitalisierte COVID-19-Patienten, die mit CCBs, Amlodipin oder Nifedipin, behandelt wurden, eher und mussten seltener intubiert oder mechanisch beatmet werden als Kontrollpersonen [114]. Darüber hinaus schränken CCBs das Eindringen von SARS-CoV-2 und die Infektion in kultivierten epithelialen Lungenzellen stark ein [115]. CCBs blockieren auch den Anstieg des intrazellulären Ca²⁺, der durch die Exposition mit Mobilfunk und anderen elektromagnetischen Feldern verursacht wird [112].

Intrazelluläres Ca²⁺ ist ein ubiquitärer zweiter Bote, der Signale, die von Zelloberflächenrezeptoren empfangen werden, an Effektorproteine weiterleitet, die an zahlreichen biochemischen Prozessen beteiligt sind. Erhöhtes intrazelluläres Ca²⁺ ist ein wesentlicher Faktor für die Hochregulierung des Transkriptionskernfaktors KB (NF- κ B) [116], eines wichtigen Regulator der pro-inflammatorischen Zytokinproduktion sowie der Gerinnungs- und thrombotischen Kaskaden. Es wird angenommen, dass NF- κ B ein Schlüsselfaktor für die schweren klinischen Manifestationen von COVID-19 ist [117].

Kurz gesagt, die Exposition gegenüber Mobilfunk kann daher die Infektiosität des Virus durch Erhöhung des intrazellulären

Ca²⁺ erhöhen, was indirekt auch zu Entzündungsprozessen und Thrombose beitragen kann.

3.5. Kardiale Auswirkungen

Herzrhythmusstörungen treten häufiger bei schwerkranken Patienten mit COVID-19 auf [118]. Die Ursache für Herzrhythmusstörungen bei COVID-19-Patienten ist multifaktoriell und umfasst kardiale und extrakardiale Prozesse [119]. Eine direkte Infektion des Herzmuskels durch SARS-CoV-19, die eine Myokarditis verursacht, eine myokardiale Ischämie, die durch eine Vielzahl von Ursachen verursacht wird, und eine Belastung des Herzens infolge einer pulmonalen oder systemischen Hypertonie können zu Herzrhythmusstörungen führen. Hypoxämie durch diffuse Lungenentzündung, ARDS oder ausgedehnte Lungenembolien stellen extrakardiale Ursachen für Herzrhythmusstörungen dar. Elektrolytstörungen, ein Ungleichgewicht der intravaskulären Flüssigkeit und Nebenwirkungen von Medikamenten können bei COVID-19-Patienten ebenfalls zu Herzrhythmusstörungen führen. Bei Patienten, die auf Intensivstationen aufgenommen werden, wurde eine höhere Rate an Herzrhythmusstörungen festgestellt, die in einer Studie 16,5 % betrug [120]. Obwohl in der Literatur kein Zusammenhang zwischen EMF und Herzrhythmusstörungen bei COVID-19-Patienten beschrieben wurde, sind viele Intensivstationen mit drahtlosen Patientenüberwachungs- und Kommunikationsgeräten ausgestattet, die ein breites Spektrum an EMF-Belastung erzeugen [121].

COVID-19-Patienten weisen häufig erhöhte Werte von kardialen Troponin auf, was auf eine Schädigung des Herzmuskels hinweist [122]. Herzschäden werden mit Herzrhythmusstörungen und erhöhter Sterblichkeit in Verbindung gebracht. Man geht davon aus, dass Herzschäden häufiger als Folge von Lungenembolien und viraler Sepsis auftreten, aber eine direkte Infektion des Herzens, d. h. eine Myokarditis, kann durch eine direkte virale Bindung an ACE2-Rezeptoren auf Herzperizyten auftreten und den lokalen und regionalen Herzblutfluss beeinträchtigen [60].

Die Aktivierung des Immunsystems zusammen mit Veränderungen im Immunsystem kann zu einer Instabilität und Anfälligkeit der atherosklerotischen Plaque führen, d. h. ein erhöhtes Risiko für die Bildung von Thromben darstellen und zur Entwicklung akuter koronarer Ereignisse und kardiovaskulärer Erkrankungen bei COVID-19 beitragen.

Bezüglich der Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition überprüfte Christopher Dodge von der Biosciences Division, U.S. Naval Observatory in Washington DC, im Jahr 1969 54 Arbeiten und berichtete, dass hochfrequente Strahlung alle wichtigen Systeme des Körpers beeinträchtigen kann, einschließlich der Behinderung der Blutzirkulation, der Veränderung des Blutdrucks und der Herzfrequenz, der Beeinflussung der Anzeigen des Elektrokardiographen und der Verursachung von Brustschmerzen und Herzklopfen [123]. In den 1970er Jahren überprüfte Glaser mehr als 2000 Veröffentlichungen über die biologischen Auswirkungen hochfrequenter Strahlenbelastung

und kam zu dem Schluss, dass Mikrowellenstrahlung das Elektrokardiogramm verändern, Brustschmerzen, Hyperkoagulation, Thrombose und Bluthochdruck sowie Herzinfarkte verursachen kann [27,28]. Auch Krampfanfälle, Konvulsionen und eine Veränderung der Reaktion des autonomen Nervensystems (erhöhte sympathische Stressreaktion) wurden beobachtet.

Seither sind viele andere Forscher zu dem Schluss gekommen, dass eine Mobilfunk-Exposition das Herz-Kreislauf-System beeinträchtigen kann. Obwohl die Art der primären Reaktion auf Millimeterwellen und die sich daraus ergebenden Ereignisse nur unzureichend verstanden sind, wurde eine mögliche Rolle von Rezeptorstrukturen und neuronalen Bahnen bei der Entwicklung von durch kontinuierliche Millimeterwellen induzierten Arrhythmien vorgeschlagen [47]. 1997 wurde in einer Übersichtsarbeit berichtet, dass einige Forscher kardiovaskuläre Veränderungen, einschließlich Arrhythmien, beim Menschen durch langfristige schwache Exposition mit Mobilfunk, einschließlich Mikrowellen, entdeckt haben [124]. Die Literatur zeigt jedoch auch einige unbestätigte und widersprüchliche Befunde [125]. Havas et al. [126] berichteten, dass menschliche Probanden in einer kontrollierten, doppelt verblindeten Studie hyperreagierten, wenn sie digital gepulster (100 Hz) 2,45 GHz-Mikrowellenstrahlung ausgesetzt waren, und entweder eine Arrhythmie oder Tachykardie und eine Hochregulierung des sympathischen Nervensystems entwickelten, das mit der Stressreaktion in Verbindung gebracht wird. Saili et al. [127] fanden heraus, dass die Exposition gegenüber Wi-Fi (2,45 GHz gepulst bei 10 Hz) den Herzrhythmus, den Blutdruck und die Wirksamkeit von Katecholaminen auf das Herz-Kreislauf-System beeinflusst, was darauf hindeutet, dass Mobilfunk direkt und/oder indirekt auf das Herz-Kreislauf-System wirken kann. Erst kürzlich haben Bandara und Weller [91] nachgewiesen, dass Menschen, die in der Nähe von Radaranlagen (Millimeterwellen: 5G-Frequenzen) leben, ein höheres Risiko haben, an Krebs zu erkranken und Herzinfarkte zu erleiden. Ebenso haben Menschen, die beruflich exponiert sind, ein höheres Risiko für koronare Herzkrankheiten. Mikrowellenstrahlung wirkt sich auf das Herz aus, und manche Menschen sind anfälliger, wenn sie eine zugrunde liegende Herzanomalie haben [128]. Neuere Forschungen deuten darauf hin, dass Millimeterwellen direkt auf die Schrittmacherzellen des sinoatrialen Knotens des Herzens einwirken können, um die Schlagfrequenz zu verändern, was Herzrhythmusstörungen und anderen Herzproblemen zugrunde liegen kann [47].

Kurz gesagt, sowohl COVID-19 als auch Mobilfunk-Exposition können das Herz und das kardiovaskuläre System direkt und/oder indirekt beeinflussen.

4. Diskussion

Epidemiologen, einschließlich derjenigen der CDC, berücksichtigen mehrere kausale Faktoren, wenn sie die Virulenz ei-

nes Erregers bewerten und seine Fähigkeit zur Verbreitung und Verursachung von Krankheiten verstehen. Zu diesen Variablen gehören vor allem Umweltfaktoren und der Gesundheitszustand des Wirtes. Die hier zusammengefasste Literatur deutet auf einen möglichen Zusammenhang zwischen mehreren negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Mobilfunk-Exposition und dem klinischen Verlauf von COVID-19 hin, wonach Mobilfunk die COVID-19-Pandemie durch Schwächung des Wirts und Verschlimmerung der COVID-19-Krankheit verschlimmern könnte. Keine der hier diskutierten Beobachtungen beweist jedoch diesen Zusammenhang. Insbesondere lässt sich die Kausalität nicht nachweisen. Offensichtlich tritt COVID-19 in Regionen mit wenig drahtloser Kommunikation auf. Außerdem ist die relative Morbidität, die durch die Mobilfunk-Exposition bei COVID-19 verursacht wird, unbekannt.

Wir erkennen an, dass viele Faktoren den Verlauf der Pandemie beeinflusst haben. Bevor Beschränkungen verhängt wurden, erleichterten die Reisemuster die Ausbreitung des Virus und führten zu einer raschen globalen Ausbreitung. Die Bevölkerungsdichte, das höhere Durchschnittsalter der Bevölkerung und sozioökonomische Faktoren haben sicherlich die frühe Ausbreitung des Virus beeinflusst. Die Luftverschmutzung, insbesondere der Feinstaub PM_{2,5} (2,5 Mikropartikel), verstärken wahrscheinlich die Symptome bei Patienten mit COVID-19-Lungenerkrankung [129].

Wir vermuten, dass Mobilfunk möglicherweise zur frühen Verbreitung und zum Schweregrad von COVID-19 beigetragen hat. Sobald sich ein Erreger in einer Gemeinschaft etabliert hat, nimmt seine Virulenz zu [130]. Diese Annahme lässt sich auf die COVID-19-Pandemie anwenden. Wir vermuten, dass die "Hot Spots" der Krankheit, die sich zunächst weltweit ausbreiteten, möglicherweise durch Flugreisen entstanden sind, die in einigen Gebieten mit der Einführung von 5G verbunden waren. Sobald sich die Krankheit jedoch in diesen Gemeinden etabliert hatte, konnte sie sich leichter in benachbarte Regionen ausbreiten, in denen die Bevölkerung weniger stark der Mobilfunk ausgesetzt war. Die zweite und dritte Welle der Pandemie verbreitete sich, wie zu erwarten, in Gemeinden mit und ohne Mobilfunk.

Die COVID-19-Pandemie bot uns die Gelegenheit, die möglichen negativen Auswirkungen der Mobilfunk-Exposition auf die menschliche Gesundheit genauer zu untersuchen. Die Exposition der Menschen gegenüber Mobilfunk in der Umgebung hat im Jahr 2020 als "Nebeneffekt" der Pandemie erheblich zugenommen. Die Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung von COVID-19 führten unbeabsichtigt zu einer höheren Exposition der Bevölkerung gegenüber Mobilfunk, da die Menschen mehr geschäftliche und schulische Aktivitäten über drahtlose Kommunikation abwickelten. Die Telemedizin schuf eine weitere Quelle der Mobilfunk-Exposition. Sogar stationäre Krankenhauspatienten, insbesondere Patienten auf der Intensivstation, waren einer erhöhten Mobilfunk-Exposition ausgesetzt, da neue Überwachungsgeräte drahtlose

Kommunikationssysteme nutzten, die Gesundheitsstörungen verschlimmern können. Die Messung der Mobilfunk-Leistungsdichte im Wohn- und Arbeitsumfeld könnte wertvolle Informationen liefern, wenn man den Schweregrad von Krankheiten bei Patientenpopulationen mit ähnlichen Risikofaktoren vergleicht.

Die Frage der Verursachung könnte in künftigen Studien untersucht werden. Beispielsweise könnte eine klinische Studie bei COVID-19-Patienten mit ähnlichen Risikofaktoren durchgeführt werden, um die tägliche Mobilfunk-Dosis bei COVID-19-Patienten zu messen und nach einer Korrelation mit dem Schweregrad der Erkrankung und dem zeitlichen Verlauf zu suchen. Da die Trägerfrequenzen und Modulationen drahtloser Geräte unterschiedlich sein können und die Leistungsdichten von Mobilfunk an einem bestimmten Ort ständig schwanken, müssten die Patienten bei dieser Studie persönliche Mikrowellendosimeter (Überwachungsplaketten) tragen. Darüber hinaus könnten kontrollierte Laborstudien an Tieren durchgeführt werden, z. B. an humanisierten Mäusen, die mit SARS-CoV-2 infiziert sind, wobei Tiergruppen, die minimaler Mobilfunk (Kontrollgruppe) sowie mittleren und hohen Leistungsdichten von Mobilfunk ausgesetzt waren, hinsichtlich der Schwere und des Fortschreitens der Erkrankung verglichen werden könnten.

Eine große Stärke dieses Papiers ist, dass die Beweise auf einer umfangreichen wissenschaftlichen Literatur beruhen, die von vielen Wissenschaftlern weltweit und über mehrere Jahrzehnte hinweg berichtet wurde - experimentelle Beweise für schädliche Bioeffekte von Mobilfunk-Exposition bei nichtthermischen Werten auf Menschen, Tiere und Zellen. Der Bioinitiative Report [42], der 2020 aktualisiert wurde, fasst Hunderte von wissenschaftlichen Arbeiten mit Peer-Review zusammen, die Beweise für nichtthermische Wirkungen von Expositionen $<1 \text{ mW/cm}^2$ dokumentieren. Dennoch wurden in einigen Laborstudien über die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Mobilfunk manchmal Leistungsdichten von über 1 mW/cm^2 verwendet. In der vorliegenden Studie wurden fast ausschließlich experimentelle Daten mit Leistungsdichten $<1 \text{ mW/cm}^2$ untersucht.

Ein möglicher Kritikpunkt an dieser Arbeit ist, dass schädliche Bioeffekte durch nichtthermische Exposition in der Wissenschaft noch nicht allgemein anerkannt sind. Außerdem werden sie bei der Festlegung der Richtlinien für die öffentliche Gesundheit in vielen Ländern noch nicht berücksichtigt. Vor Jahrzehnten haben die Russen und die Osteuropäer beträchtliche Daten über nichtthermische Bioeffekte zusammengetragen und daraufhin Richtlinien mit niedrigeren Grenzwerten für Hochfrequenzstrahlung als in den USA und Kanada festgelegt, d. h. unterhalb der Werte, bei denen nichtthermische Effekte beobachtet werden. Die Richtlinien der Federal Communications Commission (FCC, eine US-Regierungsbehörde) und der ICNIRP basieren jedoch auf thermischen Grenzwerten, die auf veralteten Daten von vor Jahrzehnten beruhen, so dass die Öffentlichkeit wesentlich höheren Leis-

tungsdichten hochfrequenter Strahlung ausgesetzt sein kann. Die Telekommunikationsindustrie behauptet, dass 5G sicher ist, weil es die aktuellen Richtlinien der FCC und der ICNIRP zur Strahlenbelastung durch Hochfrequenzstrahlung erfüllt. Diese Richtlinien stammen aus dem Jahr 1996 [131], sind veraltet und stellen keine Sicherheitsstandards dar. Daher gibt es keine allgemein anerkannten Sicherheitsstandards für die Strahlenbelastung durch drahtlose Kommunikation. In jüngster Zeit haben internationale Gremien, wie die EMF-Arbeitsgruppe der Europäischen Akademie für Umweltmedizin, wesentlich niedrigere Richtlinien vorgeschlagen, die auch nicht-thermische Bioeffekte durch die Exposition gegenüber Mobilfunk in verschiedenen Quellen berücksichtigen [132].

Ein weiterer Schwachpunkt dieses Papiers ist, dass einige der Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition in der Literatur uneinheitlich dargestellt werden. Wiederholte Studien sind oft keine echten Wiederholungen. Kleine Unterschiede in der Methode, einschließlich nicht berichteter Details, wie z. B. die Vorgeschichte der Exposition der Organismen, uneinheitliche Exposition des Körpers und andere Variablen können zu unbeabsichtigter Inkonsistenz führen. Darüber hinaus ist es nicht überraschend, dass von der Industrie gesponserte Studien tendenziell weniger negative biologische Auswirkungen zeigen als Studien, die von unabhängigen Forschern durchgeführt wurden, was auf eine Voreingenommenheit der Industrie schließen lässt [133]. Einige experimentelle Studien, die nicht von der Industrie gesponsert wurden, haben ebenfalls keine Hinweise auf schädliche Auswirkungen der Mobilfunk-Exposition gezeigt. Es ist jedoch erwähnenswert, dass Studien, in denen reale Mobilfunk-Expositionen mit handelsüblichen Geräten verwendet wurden, mit großer Übereinstimmung schädliche Wirkungen gezeigt haben [134].

Die biologischen Auswirkungen von Mobilfunk hängen von den spezifischen Werten der Wellenparameter ab, einschließlich der Frequenz, der Leistungsdichte, der Polarisation, der Expositionsdauer, den Modulationseigenschaften sowie der kumulativen Expositionsgeschichte und den Hintergrundwerten der elektromagnetischen, elektrischen und magnetischen Felder. In Laborstudien hängen die beobachteten Bioeffekte auch von genetischen Parametern und physiologischen Parametern wie der Sauerstoffkonzentration ab [135]. Die Reproduzierbarkeit von Bioeffekten der Mobilfunk-Exposition war manchmal schwierig, weil nicht alle diese Parameter erfasst und/oder kontrolliert wurden. Ähnlich wie bei ionisierender Strahlung lassen sich die Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition in deterministische, d. h. dosisabhängige Effekte und stochastische Effekte, die scheinbar zufällig sind, unterteilen. Wichtig ist, dass die Bioeffekte von Mobilfunk auch "Reaktionsfenster" spezifischer Parameter beinhalten können, wobei extrem schwache Felder unverhältnismäßig schädliche Auswirkungen haben können [136]. Diese Nichtlinearität von Mobilfunk-Bioeffekten kann zu biphasischen Reaktionen führen, wie z. B. Immunsuppression bei einem Bereich von Parametern und Immunhyperaktivierung bei einem anderen Be-

reich von Parametern, was zu Variationen führen kann, die widersprüchlich erscheinen.

Bei der Zusammenstellung von Berichten und der Prüfung vorhandener Daten für dieses Papier haben wir nach Ergebnissen gesucht, die eine vorgeschlagene Verbindung zwischen den Bioeffekten von Mobilfunk-Exposition und COVID-19. Wir haben keinen Versuch unternommen, die Beweise zu gewichten. Die Literatur zur hochfrequenten Strahlenexposition ist umfangreich und enthält derzeit über 30.000 Forschungsberichte, die mehrere Jahrzehnte zurückreichen. Unstimmigkeiten in der Nomenklatur, der Angabe von Details und der Katalogisierung von Schlüsselwörtern machen es schwierig, sich in dieser enormen Literatur zurechtzufinden.

Ein weiteres Manko dieser Arbeit ist, dass wir keinen Zugang zu experimentellen Daten über 5G-Expositionen haben. In der Tat ist nur wenig über die Exposition der Bevölkerung durch reale Mobilfunk bekannt, einschließlich der Exposition durch die Mobilfunk-Infrastruktur und die Vielzahl der Mobilfunk-emittierenden Geräte. In diesem Zusammenhang ist es schwierig, die durchschnittliche Leistungsdichte an einem bestimmten Ort genau zu quantifizieren, die je nach Zeit, spezifischem Ort, Zeit-Mittelungsintervall, Frequenz und Modulationsschema stark variiert. Für eine bestimmte Gemeinde hängt es von der Antennendichte ab, welche Netzprotokolle verwendet werden, wie z. B. 2G, 3G, 4G, 5G, Wi-Fi, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), DECT (Digitally Enhanced Cordless Telecommunications) und RADAR (Radio Detection and Ranging). Es gibt auch Mobilfunk von allgegenwärtigen Funkwellensendern, einschließlich Antennen, Basisstationen, intelligenten Zählern, Mobiltelefonen, Routern, Satelliten und anderen drahtlosen Geräten, die derzeit verwendet werden. Alle diese Signale überlagern sich und ergeben die durchschnittliche Gesamtleistungsdichte an einem bestimmten Ort, die in der Regel im Laufe der Zeit stark schwankt. Es wurden keine experimentellen Studien zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit 5G durchgeführt, und die Industrie plant derzeit auch keine, obwohl dies dringend erforderlich wäre.

Schließlich ist es aufgrund der inhärenten Komplexität von Mobilfunk sehr schwierig, drahtlose Signale in der realen Welt vollständig zu charakterisieren, die mit schädlichen biologischen Wirkungen in Verbindung gebracht werden können. Digitale Kommunikationssignale in der realen Welt, selbst von einzelnen drahtlosen Geräten, haben hochgradig variable Signale: variable Leistungsdichte, Frequenz, Modulation, Phase und andere Parameter, die sich ständig und unvorhersehbar in jedem Moment ändern, was mit den kurzen, schnellen Pulsationen in der digitalen drahtlosen Kommunikation zusammenhängt [137]. Bei der Benutzung eines Mobiltelefons während eines typischen Telefongesprächs beispielsweise schwankt die Intensität der ausgesandten Strahlung in jedem Moment erheblich, abhängig vom Signalempfang, der Anzahl der Teilnehmer, die sich das Frequenzband teilen, dem Standort innerhalb der drahtlosen Infrastruktur, dem Vorhan-

densein von Gegenständen und metallischen Oberflächen sowie dem Modus "Sprechen" oder "Nicht-Sprechen". Solche Schwankungen können bis zu 100 % der durchschnittlichen Signalintensität betragen. Die Träger-Hochfrequenz wechselt ständig zwischen verschiedenen Werten innerhalb des verfügbaren Frequenzbandes. Je größer die Informationsmenge (Text, Sprache, Internet, Video usw.), desto komplexer werden die Kommunikationssignale. Daher können wir die Werte dieser Signalparameter, einschließlich der ELF-Komponenten, nicht genau abschätzen oder ihre zeitliche Variabilität vorhersagen. Daher können Studien über die biologischen Auswirkungen von Mobilfunk im Labor nur repräsentativ für reale Expositionen sein [137].

Diese Arbeit weist auf die Notwendigkeit weiterer Forschung zur nichtthermischen Mobilfunk-Exposition und ihrer möglichen Rolle bei COVID-19 hin. Darüber hinaus existieren einige der hier diskutierten Bioeffekte der Mobilfunk-Exposition - oxidativer Stress, Entzündungen und Störungen des Immunsystems – auch bei vielen chronischen Krankheiten, einschließlich Autoimmunerkrankungen und Diabetes. Daher stellen wir die Hypothese auf, dass die Mobilfunk-Belastung auch ein potenzieller Faktor für viele chronische Krankheiten sein kann.

Wenn eine Maßnahme die Gefahr einer Schädigung der menschlichen Gesundheit birgt, sollten Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden, auch wenn klare Kausalzusammenhänge noch nicht vollständig nachgewiesen sind. Daher müssen wir das Vorsorgeprinzip [138] in Bezug auf den 5G-Mobilfunk anwenden. Die Autoren fordern die politischen Entscheidungsträger dringend auf, ein sofortiges weltweites Moratorium für die drahtlose 5G-Infrastruktur zu verhängen, bis deren Sicherheit gewährleistet werden kann.

Mehrere ungelöste Sicherheitsfragen sollten geklärt werden, bevor die drahtlose 5G-Technologie weiter eingeführt wird. Es wurden Fragen zu 60 GHz aufgeworfen, einer für eine umfassende Nutzung geplanten 5G-Schlüsselfrequenz, die eine Resonanzfrequenz des Sauerstoffmoleküls ist [139]. Es ist möglich, dass die Absorption von Sauerstoff bei 60 GHz negative biologische Auswirkungen haben könnte. Darüber hinaus zeigt Wasser eine breite Absorption im GHz-Spektralbereich zusammen mit Resonanzspitzen, zum Beispiel eine starke Absorption bei 2,45 GHz, die in 4G-Wi-Fi-Routern verwendet wird. Dies wirft Sicherheitsprobleme in Bezug auf die GHz-Exposition der Biosphäre auf, da Organismen größtenteils aus Wasser bestehen und Veränderungen in der Struktur des Wassers aufgrund der GHz-Absorption berichtet wurden, die sich auf Organismen auswirken [140]. Die Bioeffekte einer längeren Mobilfunk-Exposition des gesamten Körpers müssen in Tier- und Humanstudien untersucht werden, und es müssen Richtlinien für die Langzeitexposition in Betracht gezogen werden. Vor allem unabhängige Wissenschaftler sollten konzertierte Forschungsarbeiten durchführen, um die biologischen Auswirkungen einer realen Exposition gegenüber Mobilfunk-Frequenzen mit digitaler Modulation durch die Viel-

zahl drahtloser Kommunikationsgeräte zu ermitteln. Die Tests könnten auch reale Expositionen gegenüber mehreren (chemischen und biologischen) Toxinen umfassen [141], da mehrere Toxine zu synergistischen Effekten führen können. Auch Umweltverträglichkeitsprüfungen sind erforderlich. Sobald die langfristigen biologischen Auswirkungen der drahtlosen 5G-Kommunikation bekannt sind, können wir klare Sicherheitsstandards für die Expositionsgrenzen der Bevölkerung festlegen und eine geeignete Strategie für eine sichere Einführung entwickeln.

5. Schlussfolgerung

In der Pathobiologie gibt es erhebliche Überschneidungen zwischen COVID-19 und Mobilfunk-Exposition. Die hier vorgestellten Erkenntnisse deuten darauf hin, dass Mechanismen, die am klinischen Verlauf von COVID-19 beteiligt sind, experimentellen Daten zufolge auch durch Mobilfunk-Exposition ausgelöst werden könnten. Daher vermuten wir einen Zusammenhang zwischen den schädlichen Bioeffekten der Mobilfunk-Exposition durch drahtlose Geräte und COVID-19.

Insbesondere unterstützen die hier präsentierten Beweise die Annahme, dass Mobilfunk und insbesondere 5G, das eine Verdichtung von 4G beinhaltet, die COVID-19-Pandemie durch Schwächung der Wirtsimmunität und Erhöhung der SARS-CoV-2-Virulenz verschlimmert haben könnten, indem sie (1) morphologische Veränderungen in Erythrozyten, einschließlich der Bildung von Echinozyten und Rouleaux, verursachen, die möglicherweise zur Hyperkoagulation beitragen; (2) Beeinträchtigung der Mikrozirkulation und Verringerung der Erythrozyten- und Hämoglobinwerte, was die Hypoxie verschlimmert; (3) Verstärkung der Immundysfunktion, einschließlich Immunsuppression, Autoimmunität und Hyperinflammation; (4) Erhöhung des zellulären oxidativen Stresses und der Produktion freier Radikale, was Gefäßverletzungen und Organschäden verschlimmert; (5) Erhöhung des intrazellulären Ca²⁺, das für das Eindringen, die Replikation und die Freisetzung von Viren unerlässlich ist, sowie Förderung entzündungsfördernder Signalwege; und (6) Verschlimmerung von Herzrhythmusstörungen und kardialen Störungen.

Die Exposition gegenüber Mobilfunk ist ein weit verbreiteter, aber oft vernachlässigter Umweltstressor, der eine Vielzahl von negativen biologischen Auswirkungen haben kann. Seit Jahrzehnten betonen unabhängige Wissenschaftler weltweit die Gesundheitsrisiken und kumulativen Schäden, die durch Mobilfunk verursacht werden [42,45]. Die hier vorgestellten Beweise stehen im Einklang mit einer Vielzahl von Forschungsergebnissen. Beschäftigte im Gesundheitswesen und politische Entscheidungsträger sollten Mobilfunk als einen potenziell toxischen Umweltstressor betrachten. Methoden zur Verringerung der Mobilfunk-Exposition sollten allen Patienten und der allgemeinen Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden.

Danksagung

Die Autoren danken Magda Havas und Lyn Patrick für ihre kleinen Beiträge zu frühen Versionen dieses Artikels. Wir danken Susan Clarke für hilfreiche Diskussionen und Änderungsvorschläge zu frühen Entwürfen des Manuskripts.

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass sie bei der Erstellung und Veröffentlichung dieses Manuskripts keine Interessenkonflikte haben. Es bestehen keine konkurrierenden finanziellen Interessen.

Referenzen

- [1] Zentren für Krankheitskontrolle und Prävention. Epidemiologische Triade. Atlanta, Georgia: Zentren für Seuchenkontrolle und -prävention; 2020.
- [2] Balmori A. Elektromagnetische Verschmutzung durch Telefonmasten. Auswirkungen auf Wildtiere. Pathophysiologie 2009;16:191-9.
- [3] Lin JC. 5G Communications Technology and Coronavirus Disease. IEEE Microw Mag 2020;21:16-9.
- [4] Mordachev VI. Korrelation zwischen dem potenziellen elektromagnetischen Verschmutzungsgrad und der Gefahr von COVID-19. 4G/5G/6G kann für Menschen sicher sein. Doklady BGUIR 2020;18:96-112.
- [5] Tsiang A, Havas M. COVID-19 attributed cases and deaths are statistically higher in States and Counties with 5th Generation Millimeter Wave Wireless Telecommunications in the United States. Med Res Arch 2021;9:2371.
- [6] Ing AJ, Cocks C, Green JP. COVID-19: In the Footsteps of Ernest Shackleton. Thorax 2020;75:693-4.
- [7] Garg S, Kim L, Whitaker M, O'Halloran A, Cummings C, Holstein R, et al. Hospitalization Rates and Characteristics of Patients Hospitalized with Laboratory-Confirmed Coronavirus Disease 2019 COVID-NET, 14 States, March 1-30, 2020. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 69:458-64.
- [8] Wu C, Chen X, Cai Y, Xia J, Zhou X, Xu S, et al. Risk Factors Associated with Acute Respiratory Distress Syndrome and Death in Patients with Coronavirus Disease. JAMA Intern Med 2020;180:934-43.
- [9] Gattinoni L, Chiumello D, Caironi P, Busana M, Romitti F, Brazzi L, et al. COVID-19 Pneumonia: Unterschiedliche respiratorische Behandlungen für unterschiedliche Phänotypen: Intensive Care Med 2020;46:1099-102.
- [10] Cecchini R, Cecchini AL. SARS-CoV-2 Infection Pathogenesis is Related to Oxidative Stress as a Response to Aggression. Med Hypotheses 2020;143:110102.
- [11] Cavezzi A, Troiani E, Corrao S. COVID-19: Hämoglobin, Eisen und Hypoxie jenseits von Entzündungen, ein narrativer Überblick. Clin Pract 2020;10:1271.

[12] Bikdeli B, Madhavan MV, Jimenez D, Chuich T, Dreyfus I, Driggin E, Nigoghossian C, et al. Global COVID-19 Thrombosis Collaborative Group, Endorsed by the ISTH, NATEF, ESVM, and the IUA, Supported by the ESC Working Group on Pulmonary Circulation and Right Ventricular Function. COVID-19 und thrombotische oder thromboembolische Erkrankungen: Implikationen für Prävention, antithrombotische Therapie und Nachsorge: JACC State-of-the-Art Review. JACC 2020;75:2950-73.

[13] Carfi A, Bernabei R, Landi F. Persistierende Symptome bei Patienten nach akutem COVID-19. JAMA 2020;324:603-5.

[14] ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys 2020;118:483-524.

[15] Bortkiewicz A, Gadzicka E, Szymczak W. Mobile Phone Use and Risk for Intracranial Tumors and Salivary Gland Tumors A Meta-analysis. Int J Occup Med Environ Health 2017;30:27-43.

[16] Sangün Ö, Dündar B, Çömlekçi S, Büyükgebiz A. The Effects of Electromagnetic Field on the Endocrine System in Children and Adolescents. Pediatr Endocrinol Rev 2016;13:531-45.

[17] Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. Oxidative Mechanismen der biologischen Aktivität von hochfrequenter Strahlung niedriger Intensität. Electromagn Biol Med 2016;35:186-202.

[18] Ruediger HW. Genotoxische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Pathophysiologie 2009;16:89-102.

[19] Asghari A, Khaki AA, Rajabzadeh A, Khaki A. A Review on Electromagnetic Fields (EMFs) and the Reproductive System. Electron Physician 2016;8:2655-62.

[20] Zhang J, Sumich A, Wang GY. Akute Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, die von Mobiltelefonen emittiert werden, auf die Gehirnfunktion. Bioelectromagnetics 2017;38:329-38.

[21] Pall ML. Hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) erzeugen weit verbreitete neuropsychiatrische Wirkungen, einschließlich Depressionen. J Chem Neuroanat 2016;75:43-51.

[22] Avendano C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA, Doncei GF. Use of Laptop Computers Connected to Internet through Wi-Fi Decreases Human Sperm Motility and Increases Sperm DNA Fragmentation. Fertil Steril 2012;97:39-45.

[23] Buchner K, Eger H. Veränderungen klinisch wichtiger Neurotransmitter unter dem Einfluss modulierter HF-Felder eine Langzeitstudie unter Realbedingungen Umwelt Medizin Gesellschaft 2011;24:44-57.

- [24] Navarro EA, Segura J, Portoles M, Gomez-Perretta C. The Microwave Syndrome: A Preliminary Study in Spain. *Electromagn Biol Med* 2003;22:161-9.
- [25] Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Subjektive Symptome, Schlafprobleme und kognitive Leistungen bei Personen, die in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen leben. *Occup Environ Med* 2006;63:307-13.
- [26] Magras IN, Xenos TD. RF-Strahlung-induzierte Veränderungen in der pränatalen Entwicklung von Mäusen. *Bioelectromagnetics* 1997;18:455-61.
- [27] Glaser ZR. Bibliography of Reported Biological Phenomena ('Effects') and Clinical Manifestations Attributed to Microwave and Radio-Frequency Radiation, Forschungsbericht. Projekt MF12.524.015-00043, Bericht Nr. 2. Bethesda, MD: Naval Medical Research Institute; 1972. p. 1-103.
- [28] Glaser ZR, Brown PF, Brown MS. Bibliography of Reported Biological Phenomena (Effects) and Clinical Manifestations Attributed to Microwave and RadioFrequency Radiation: Compilation and Integration of Report and Seven Supplements. Bethesda, MD: Naval Medical Research Institute; 1976. p. 1-178.
- [29] Belyaev IY, Shcheglov VS, Alipov YD, Polunin VA. Resonanzwirkung von Millimeterwellen im Leistungsbereich von 10(-19) bis $3 \times 10(-3)$ W/cm² auf Escherichia coli-Zellen in verschiedenen Konzentrationen. *Bioelectromagnetics* 1996;17:312-21.
- [30] Grigoriev YG, Grigoriev OA, Ivanov AA, Lyaginskaya AM, Merkulov AV, Shagina NB, et al. Confirmation Studies of Soviet Research on Immunological Effects of Microwaves: Russian Immunology Results. *Bioelectromagnetics* 2010;31:589-602.
- [31] Grigoriev Y. Mobile Communications and Health of Population: Die Risikobewertung, soziale und ethische Probleme. *Environmentalist* 2012;32:193-200.
- [32] Repacholi M, Grigoriev Y, Buschmann J, Pioli C. Scientific Basis for the Soviet and Russian Radiofrequency Standards for the General Public. *Bioelectromagnetics* 2012;33:623-33.
- [33] Pakhomov A, Murphy M. A Comprehensive Review of the Research on Biological Effects of Pulsed Radiofrequency Radiation in Russia and the Former Soviet Union; 2011.
- [34] Belyaev IY. Abhängigkeit der nicht-thermischen biologischen Wirkungen von Mikrowellen von physikalischen und biologischen Variablen: Implikationen für Reproduzierbarkeit und Sicherheitsstandards. *Eur J Oncol* 2010;5:187-218.
- [35] Franzen J. Wideband Pulse Propagation in Linear Dispersive Bio-Dielectrics Using Fourier Transforms. United States Air Force Research Laboratory, Bericht Nr. AFRL-HEBR-TR-1999-0149, Februar; 1999.
- [36] Albanese R, Penn J, Medina R. Short-rise-time Microwave Pulse Propagation through Dispersive Biological Media. *J Opt Soc Am A* 1989;6:1441-6.
- [37] Lin-Liu S, Adey WR. Low Frequency Amplitude Modulated Microwave Fields Change Calcium Efflux Rates from Synaptosomes. *Bioelectromagnetics* 1982;3:309-22.
- [38] Penafiel LM, Litovitz T, Krause D, Desta A, Mullins MJ. Die Rolle der Modulation bei der Wirkung von Mikrowellen auf die Aktivität der Ornithindecaboxylase in L929-Zellen. *Bioelectromagnetics* 1997;18:132-41.
- [39] Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, et al. Electromagnetic Fields, Such as Those from Mobile Phones, Alter Regional Cerebral Blood Flow and Sleep and Waking EEG. *J Sleep Res* 2002;11:289-95.
- [40] Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Margaritis LH. Mechanismus der Wirkung von elektromagnetischen Feldern auf Zellen. *Biochem Biophys Res Commun* 2002;298:95-102.
- [41] Panagopoulos DJ. Kommentare zu Pall's Millimeter (MM) Wave and Microwave Frequency Radiation Produce Deeply Penetrating Effects: The Biology and the Physics. *Rev Environ Health* 2021;2021:165.
- [42] Sage C, Carpenter DO. BioInitiative Working Group, BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Radiation. Updated 2014-2020; 2012. <http://www.bioinitiative.org>
- [43] Belpomme D, Hardell L, Belyaev I, Burgio E, Carpenter DO. Thermische und nicht-thermische Gesundheitseffekte von nicht-ionisierender Strahlung niedriger Intensität: An International Perspective (Review). *Environ Pollut* 2018;242:643-58.
- [44] Di Ciaula A. Towards 5G Communication Systems: Are there Health Implications? *Int J Hyg Environ Health* 2018;221:367-75.
- [45] Russell CL. 5G Wireless Telecommunications Expansion: Public Health and Environmental Implications. *Environ Res* 2018;165:484-95.
- [46] Miller AB, Sears ME, Morgan LL, Davis DL, Hardell L, Oremus M, et al. Risks to Health and Well-being from Radiofrequency Radiation Emitted by Cell Phones and Other Wireless Devices. *Public Health Front* 2019;7:223.
- [47] Pakhomov AG, Akyel Y, Pakhomova ON, Stuck BE, Murphy MR. Current State and Implications of Research on the Biological Effects of Millimeter Waves. *Bioelectromagnetics* 1998;19:393-413.
- [48] Betskii OV, Lebedeva NN. Low-intensity Millimeter Waves in Biology and Medicine. In: *Klinische Anwendung der bioelektromagnetischen Medizin*. New York: Marcel Decker; 2004. p. 30-61.
- [49] Kostoff RN, Block JA, Solka JL, Briggs MB, Rushenberger RL, Stump JA, et al. Literature-Related Discovery: A Review. Bericht an das Office of Naval Research; 2007. S. 1-58.

- [50] Havas M. Radiation from Wireless Technology Affects the Blood, Heart, and the Autonomic Nervous System. *Rev Environ Health* 2013;28:75-84.
- [51] Rubik B. Does Short-term Exposure to Cell Phone Radiation Affect the Blood? *Wise Trad Food Farm Heal Arts* 2014;15:19-28.
- [52] Wagner C, Steffen P, Svetina S. Aggregation of Red Blood Cells: From Rouleaux to Clot Formation. *Comput Rendus Phys* 2013;14:459-69.
- [53] Lakhdari N, Tabet B, Boudraham L, Laoussati M, Aissanou S, Beddou L, et al. Red Blood Cells Injuries and Hypersegmented Neutrophils in COVID-19 Peripheral. *medRxiv* 2020;2020:20160101.
- [54] Lei Y, Zhang J, Schiavon CR, He M, Chen L, Shen H, et al. SARS-CoV-2 Spike Protein Impairs Endothelial Function Via Downregulation of ACE2. *Circ Res* 2021;128:1323-6.
- [55] Zhang S, Liu Y, Wang X, Yang L, Li H, Wang Y, et al. SARS-CoV-2 Binds Platelet ACE2 to Enhance Thrombosis in COVID-19. *J Hematol Oncol* 2020;13:120.
- [56] Zalyubovskaya NP. Biologische Wirkung von Millimeter-Radiowellen. *Vrachebnoye Delo* 1977;3:116-9.
- [57] Zalyubovskaya NP, Kiselev RI. Wirkungen von Radiowellen im Millimeterfrequenzbereich auf den Körper von Menschen und Tieren. *Gigiyana I Sanitaria* 1978;8:35-9.
- [58] Wenzhong L, Li H. COVID-19 greift die 1-beta-Kette von Hämoglobin an und fängt das Porphyrin ein, um den Häm-Stoffwechsel zu hemmen. *ChemRxiv* 2020;2020:26434.
- [59] Lippi G, Mattiuzzi C. Hemoglobin Value May be Decreased in Patients with Severe Coronavirus Disease 2019. *Hematol Transfus Cell Ther* 2020;42:116-7.
- [60] Chen L, Li X, Chen M, Feng Y, Xiong C. The ACE2 Expression in Human Heart Indicates New Potential Mechanism of Heart Injury among Patients Infected with SARS-CoV-2. *Cardiovasc Res* 2020;116:1097-100.
- [61] Algassim, AA, Elghazaly AA, Alnahdi AS, Mohammed-Rahim OM, Alanazi AG, Aldhuwayhi NA, et al. Prognostic Significance of Hemoglobin Level and Autoimmune Hemolytic Anemia in SARS-CoV-2 Infection. *Ann Hematol* 2021;100:37-43.
- [62] Ghahramani S, Tabrizi R, Lankarani KB, Kashani SMA, Rezaei S, Zeidi N, et al. Laboratory Features of Severe vs. Non-severe COVID-19 Patients in Asian Populations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Eur J Med Res* 2020;25:30.
- [63] Cheng L, Li HL, Li C, Liu C, Yan S, Chen H, et al. Ferritin in the Coronavirus Disease 2019 (COVIDvirus A Systematic Review and Meta-etaemati. *J Clin Lab Anal* 2020;34:e23618.
- [64] Tobin MJ, Laghi F, Jubran A. Why COVID-19 Silent Hypoxemia is Baffling to Physicians. *Am J Respir* 2020;202:356-60.
- [65] Ejigu T, Patel N, Sharma A, Vanjarapu JMR, Nookala V. Gepackte Erythrozytentransfusion als mögliche Behandlungsoption bei COVID-19-Patienten mit hypoxämischer Ateminsuffizienz: A Case Report. *Cureus* 2020;12:e8398.
- [66] Varga Z, Flammer AJ, Steiger P, Haberecker M, Andermatt R, Zinkernagel AS, et al. Endothelial Cell Infection and Endotheliitis in COVID-19. *Lancet* 2020;395:1417-8.
- [67] Betteridge DJ. Was ist oxidativer Stress? *Metabolism* 2000;49 2 Suppl 1:3-8.
- [68] Giamarellos-Bourboulis E, Netea MG, Rovina N, Akino-soglou K, Antoniadou A, Antonakos N, et al. Complex Immune Dysregulation in COVID-19 Patients with Severe Respiratory Failure. *Cell Host Microbe* 2020;27:992-1000.
- [69] Hadjadj J, Yatim N, Barnabei L, Corneau A, Boussier J, Smith N, et al. Impaired Type 1 Interferon Activity and Inflammatory Responses in Severe COVID-19 Patients. *Science* 2020;369:718-24.
- [70] Dasdag S, Akdag MZ. The Link between Radiofrequencies Emitted from Wireless Technologies and Oxidative Stress. *J Chem Neuroanat* 2016;75:85-93.
- [71] Higashi Y, Noma K, Yoshizumi M, Kihara Y. Endothelial Function and Oxidative Stress in Cardiovascular Diseases. *Circ J* 2009;73:411-8.
- [72] Polonikov A. Endogenous Deficiency of Glutathione as the Most Likely Cause of Serious Manifestations and Death in COVID-19 Patients. *ACS Infect Dis* 2020;6:1558-62.
- [73] Guloyan V, Oganessian B, Baghdasaryan N, Yeh C, Singh M, Guilford F, et al. Glutathione Supplementation as an Adjunctive Therapy in COVID-19. *Antioxidantien (Basel, Schweiz)* 2020;9:914.
- [74] Marushchak M, Maksiv K, Krynytska I, Dutchak O, Behosh N. The Severity of Oxidative Stress in Comorbid Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) and Hypertension: Does it Depend on ACE and AGT Gene Polymorphisms? *J Med Life* 2019;12:426-34.
- [75] Choromanska B, Mysliwicz P, Luba M, Wojskowitz P, Mysliwicz H, Choromanska K, et al. The Impact of Hypertension and Metabolic Syndrome on Nitrosative Stress and Glutathione Metabolism in Patients with Morbid Obesity. *Oxid Med Cell Longev* 2020;2020:1057570.
- [76] Lutchmansingh FK, Hsu JW, Bennett FI, Badaloo AV, Mcfarlane-Anderson N, Gordon-Strachan GM, et al. Glutathione Metabolism in Type 2 Diabetes and its Relationship with Microvascular Complications and Glycemia. *PLoS One* 2018;13:e0198626.
- [77] Horowitz RI, Freeman PR, Bruzzese J. Efficacy of Glutathione Therapy in Relieving Dyspnea Associated with COVID-19 Pneumonia: A Report of 2 Cases. *Respir Med* 2020;30:101063.
- [78] Peraica M, Marijanovic AM, Flajs D, Domijan AM, Gajski G, Garaj-Vrhovac G. Oxidative Stress in Workers die be-

ruflich Mikrowellenstrahlung ausgesetzt sind. *Toxicol Lett* 2008;180:38-9.

[79] Garaj-Vrhovac V, Gajski G, Pazanin S, Sarolic A, Domijan D,

Flajs D, et al. Assessment of Cytogenetic Damage and Oxidative Stress in Personnel Occupational Exposed to the Pulsed Microwave Radiation of Marine Radar Equipment. *Int J Hyg Environ Health* 2011;214:59-65.

[80] Zothansiana, Zosangzuali M, Lalramdinpuii M, Jagetia GC. Impact of Radiofrequency Radiation on DNA Damage and Antioxidants in Peripheral Blood Lymphocytes of Humans Residing in the Vicinity of Mobile Phone Base Stations. *Electromagn Biol Med* 2017;36:295-305.

[81] Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM. Effects of Acute Exposure to the Radiofrequency Fields of Cellular Phones on Plasma Lipid Peroxide and Antioxidase Activities in Human Erythrocytes. *J Pharm Biomed Anal* 2001;26:605-8.

[82] Hassan NS, Rafaat BM, Aziz SW. Modulierende Rolle von Traubenkernextrakt auf Erythrozyten-Hämolyse und oxidativen Stress, induziert durch Mikrowellenstrahlung bei Ratten. *Int J Integr Biol* 2010;10:106-11.

[83] Yurekli AI, Ozkan M, Kalkan T, Saybasili H, Tuncel H, Atukeren P, et al. GSM Base Station Electromagnetic Radiation and Oxidative Stress in Rats. *Electromagn Biol Med* 2006;25:177-88.

[84] Dasdag S, Bilgin HM, Akdag MZ, Celik H, Aksen F. Effect of Long-term Mobile Phone Exposure on Oxidative-antioxidative Processes and Nitric Oxide in Rats. *Biotechnol Bio-technol Equip* 2008;22:992-7.

[85] Alkis ME, Akdag MZ, Dasdag S. Effects of low-intensity Microwave Radiation on Oxidant-antioxidant Parameters and DNA Damage in the Liver of rats. *Bioelectromagnetics* 2021;42:76-85.

[86] Loscalzo J. Oxidant Stress: Eine Schlüsseldeterminante der Atherothrombose. *Biochem Soc Trans* 2003;31:1059-61.

[87] Tang N, Li D, Wang X, Sun Z. Abnormal Coagulation Parameters are Associated with Poor Prognosis in Patients with Novel Coronavirus Pneumonia. *J Thromb Haemost* 2020;18:844-7.

[88] Klok FA, Kruip MJ, Van der Meer NJ, Arbous MS, Gommers DA, Kant KM, et al. Incidence of Thrombotic Complications in Critically ill ICU Patients with COVID-19. *Thromb Res* 2020;191:145-7.

[89] Zaim S, Chong JH, Sankaranarayanan V, Harky A. COVID-19 and Multi-Organ Response. *Curr Probl Cardiol* 2020;2020:100618.

[90] Yaghi S, Ishida K, Torres J, Mac Grory B, Raz E, Humbert K, et al. SARS-CoV-2 and Stroke in a New York Healthcare System. *Stroke* 2020;51:2002-11.

[91] Bandara P, Weller S. Cardiovascular Disease: Time to Identify Emerging Environmental Risk Factors. *Eur J Prev Cardiol* 2017;24:1819-23.

[92] Esmekaya MA, Ozer C, Seyhan N. 900 MHz Pulse-modulated Radiofrequency Radiation Induces Oxidative Stress on Heart, Lung, Testis, and Liver Tissues. *Gen Physiol Biophys* 2011;30:84-9.

[93] Cao X. COVID-19: Immunpathologie und ihre Auswirkungen auf die Therapie. *Nat Rev Immunol* 2020;20:269-70.

[94] Qin C, Zhou L, Hu Z, Zhang S, Yang S, Tao Y, et al. Dysregulation of Immune Response in Patients with Coronavirus 2019 (COVID-19) in Wuhan, China. *Clin Infect Dis* 2020;71:762-8.

[95] McRee DI. Sowjetische und osteuropäische Forschung zu biologischen Auswirkungen von Mikrowellenstrahlung. *Proc IEEE* 1980;68:84-91.

[96] Baranski S. Effect of Chronic Microwave Irradiation on the Blood Forming System of Guinea Pigs and Rabbits. *Aerosp Med* 1971;42:1196-9.

[97] Nageswari KS, Sarma KR, Rajvanshi VS, Sharan R, Sharma M, Barathwal V, et al. Effect of Chronic Microwave Radiation on T Cell-mediated Immunity in the Rabbit. *Int* 1991;35:92-7.

[98] Adang D, Remacle C, Vander Vorst A. Results of a Long-term Low-level Microwave Exposure of Rats. *IEEE Trans Microw Theory Tech* 2009;57:2488-97.

[99] McRee DI, Faith R, McConnell EE, Guy AW. Langfristige 2450-MHz cw-Mikrowellen-Befeldung von Kaninchen: Bewertung der hämatologischen und immunologischen Wirkungen. *J Microw Power Electromagn Energy* 1980;15:45-52.

[100] Johansson O. Disturbance of the Immune System by Electromagnetic Fields a Potentially Underlying Cause for Cellular Damage and Tissue Repair Reduction which Could Lead to Disease and Impairment. *Pathophysiology* 2009;16:157-77.

[101] Szmigielski S. Reaktion des Immunsystems auf schwache RF/MW-Expositionen. *Sci Total Environ* 2013;454-455:393-400.

[102] Zhou F, Ting Y, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, et al. Clinical Course and Risk Factors for Mortality of Adult Inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: A Retrospective Cohort Study. *Lancet* 2020;395:1054-62.

[103] Yang M. Cell Pyroptosis, a Potential Pathogenic Mechanism of 2019-nCoV Infection. *ScienceOpen*; 2020.

[104] Upadhyay J, Tiwari N, Ansari MN. Die Rolle von Entzündungsmarkern bei Patienten mit Corona-Virus-Krankheit (COVID-19): A Review. *Exp Biol Med* 2020;245:1368-75.

[105] Shandala MG, Rudnev MI, Vinogradov GK, Belonoshko NC, Goncharova NM. Immunologische und hämatologische Wirkungen von Mikrowellen bei niedrigen Leistungsdichten. In: *Proceedings of International Union of Radio Sci-*

ence Symposium on Biological Effects of Electromagnetic Waves Vol. 84. Airlie, VA; 1977.

[106] Grigoriev YG, Ivanov AA, Lyaginskaya AM, Merkulov AV, Stepanov VS, Shagina NB. Autoimmunprozesse nach Langfristiger schwacher Exposition bei elektromagnetischen Feldern (Experimentelle Ergebnisse). Teil I. Mobile Kommunikation und Veränderungen der elektromagnetischen Bedingungen für die Bevölkerung. Notwendigkeit einer zusätzlichen Konkretisierung bestehender Hygienestandards. *Biophysics* 2010;55:1041-5.

[107] Grigoriev YG. Beweise für Auswirkungen auf das Immunsystem. *Immune System and EMF RF. Bioinitiative Rep* 2012;8:1-24.

[108] Szabo I, Rojavin MA, Rogers, TJ, Ziskin MC. Reactions of Keratinocytes to In Vitro Millimeter Wave Exposure. *Bioelectromagnetics* 2001;22:358-64.

[109] Makar V, Logani M, Szabo I, Ziskin M. Wirkung von Millimeterwellen auf die Cyclophosphamid-induzierte Unterdrückung von T-Zellfunktionen. *Bioelectromagnetics* 2003;24:356-65.

[110] Walleczek J. Elektromagnetische Feldwirkungen auf Zellen des Immunsystems: Die Rolle der Calcium-Signalübertragung. *FASEB J* 1992;6:3177-85.

[111] Panagopoulos DJ, Messini N, Karabarbounis A, Filippidis AL, Margaritis LH. Ein Mechanismus für die Wirkung von oszillierenden elektrischen Feldern auf Zellen. *Biochem Biophys Res Commun* 2000;272:634-40.

[112] Pall ML. Electromagnetic Fields Act Via Activation of Voltage-gated Calcium Channels to Produce Beneficial or Adverse Effects. *J Cell Mol Med* 2013;17:958-65.

[113] Chen X, Cao R, Zhong W. Host Calcium Channels and Pumps in Viral Infections. *Cells* 2019;9:94.

[114] Solaimanzadeh I. Nifedipine and Amlodipine are Associated with Improved Mortality and Decreased Risk for Intubation and Mechanical Ventilation in Elderly Patients Hospitalized for COVID-19. *Cureus* 2020;12:e8069.

[115] Straus MR, Bidon M, Tang T, Whittaker GR, Daniel S. FDA Approved Calcium Channel Blockers Inhibit SARS-CoV-2 Infectivity in Epithelial Lung Cells. *BioRxiv* 2020;2020:214577.

[116] Sen CK, Roy S, Packer L. Involvement of Intracellular Ca²⁺ in Oxidant-Induced NF-κB Activation. *FEBS Lett* 1996;385:58-62.

[117] Do LA, Anderson J, Mulholland EK, Licciardi PV. Can Data from Paediatric Cohorts Solve the COVID-19 Puzzle? *PLoS Pathog* 2020;16:e1008798.

[118] Atri D, Siddiqi HK, Lang JP, Nauffal V, Morrow DA, Bohula EA. COVID-19 for the Cardiologist: Basic Virology, Epidemiology, Cardiac Manifestations, and Potential Therapeutic Strategies. *JACC Back Transl Sci* 2020;5:518-36.

[119] Dherange P, Lang J, Qian P, Oberfeld B, Sauer WH, Koplan B, et al. Arrhythmias and COVID-19: A Review. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:1193-204.

[120] Colon CM, Barrios JG, Chiles JW, McElwee SK, Russell DW, Maddox WR, et al. Atrial Arrhythmias in COVID-19 Patients. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:1189-90.

[121] Gökmen N, Erdem S, Toker KA, Ocmen E, Ozkure A. Analyzing Exposures to Electromagnetic Fields in einer Intensivstation. *Turk J Anaesthesiol Reanim* 2016;44:236-40.

[122] Sandoval Y, Januzzi JL, Jaffe AS. Cardiac Troponin for Assessment of Myocardial Injury in COVID-19. *J Am Coll Cardiol* 2020;76:1244-58.

[123] Dodge CH. Klinische und hygienische Aspekte der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Biologische Effekte und gesundheitliche Auswirkungen von Mikrowellenstrahlung. A Review of the Soviet and Eastern European Literature. In: *Symposium Proceedings, Richmond, VA 1969 Sep 17.*

[124] Jauchem JR. Exposition gegenüber extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern und hochfrequenter Strahlung: Cardiovascular Effects in Humans. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;70:9-21.

[125] Black DR, Heynick LN. Hochfrequente Wirkungen auf Blutzellen, kardiale, endokrine und immunologische Funktionen. *Bioelectromagnetics* 2003;6:S187-95.

[126] Havas M, Marrongelle J, Pollner B, Kelley E, Rees CRG, Tully L. Provocation Study Using Heart Rate Variability Shows Microwave Radiation from 2.4GHz Cordless Phone Affects Autonomic Nervous System. *Eur J Oncol Library* 2010;5:271-98.

[127] Saili L, Hanini A, Smirani C, Azzouz I, Sakly M, Abdelmelek H, et al. Effects of Acute Exposure to WIFI Signals (2.45GHz) on Heart Variability and Blood Pressure in Albino Rabbits. *Environ Toxicol Pharmacol* 2015;40:600-5.

[128] Cleary SF. Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation. A Review of the Soviet and Eastern European Literature. In: *Symposium Proceedings, Richmond, VA 1969 Sep 17. BRH/DBE Bericht Nr. 70-2; 1970.*

[129] Fiasca F, Minelli M, Maio D, Minelli M, Vergallo I, Necozone S, et al. Associations between COVID-19 Incidence Rates and the Exposure to PM_{2.5} and NO₂: A Nationwide Observational Study in Italy. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:9318.

[130] Hoyt JR, Langwig KE, Sun K, Parise KL, Li A, Wang Y, et al. Environmental Reservoir Dynamics Predict Global Infection Patterns and Population Impacts for the Fungal Disease White-nose Syndrome. *PNAS* 2020;117:7255-62.

[131] Federal Communications Commission (FCC). Richtlinien für die Bewertung der Umweltauswirkungen hochfrequenter Strahlung. FCC96-326; ET Docket No. 93-62; 1996.

- [132] Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the Prevention, Diagnosis and Treatment of EMF-related Health Problems and Illnesses. *Rev Environ Health* 2016;31:363-97.
- [133] Huss A, Egger M, Hug K, Huwiler-Muntener K, Roosli M. Source of Funding and Results of Studies of Health Effects of Mobile Phone Use: Systematic Review of Experimental Studies. *Environ Health Perspect* 2007;115:14.
- [134] Panagopoulos DJ. Comparing DNA Damage Induced by Mobile Telephony and Other Types of Man-made Electromagnetic Fields. *Mutat Res* 2019;781:53-62.
- [135] Belyaev IY, Shcheglov VS, Alipov ED, Ushalov VD. Nonthermal Effects of Extremely High-frequency Microwaves on Chromatin Conformation in cells In Vitro Dependence on Physical, Physiological, and Genetic Factors. *IEEE Trans Microw Theory Techn* 2000;48:2172-9.
- [136] Blackman CF, Kinney LS, Houyse DE, Joines WT. Multiple Power-density Windows and their Possible Origin. *Bioelectromagnetics* 1989;10:115-28.
- [137] Panagopoulos DJ, Cammaerts MC, Favre D, Balmori A. Comments on Environmental Impact of Radiofrequency Fields from Mobile Phone Base Stations. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2016;46:885-903.
- [138] Kriebel D, Tickne J, Epstein P, Lemons PJ, Levins R, Loechler EL, et al. The Precautionary Principle in Environmental Science. *Environ Health Perspect* 2001;109:871-6.
- [139] Tretyakov MY, Koshelev MA, Dorovskikh VV, Makarov DS, Rosenkranz PW. 60-GHz-Sauerstoffband: Precise Broadening and Central Frequencies of Fine-Structure Lines, Absolute Absorption Profile at Atmospheric Pressure, and Revision of Mixing Coefficients. *J Mol Spectrosc* 2005;231:1-14.
- [140] Torgomyan H, Kalantaryan V, Trchounian A. Low Intensity Electromagnetic Irradiation with 70.6 and 73 GHz Frequencies Affects Escherichia coli Growth and Changes Water Properties. *Cell Biochem Biophys* 2011;60:275-81.
- [141] Kostoff RN, Heroux P, Aschner M, Tsatsakis A. Adverse Health Effects of 5G Mobile Networking Technology Under Real-life Conditions. *Toxicol Lett* 2020;323:35-40.