

Helmut Breunig, Cornelia Waldmann-Selsam

# 2G, 3G, 4G, 5G ... Was zeigen die Bäume?

## Seit einiger Zeit werden Befürchtungen laut, dass für 5G Bäume gefällt werden müssten.

Diese Fragen machen sich v.a. an den mobilfunktechnischen Voraussetzungen für das automatisierte Fahren fest. Man befürchtet, dass Bäume entfernt werden, weil sie Störungen der Funkverbindungen an Verkehrswegen verursachen.

## Worauf gründen sich die Bedenken?

Es wird auf ein Weißbuch des 5G Innovation Centre am Institut for Communication Systems der University of Surrey, GB, verwiesen: "5G Whitepaper: Meeting the challenge of "Universal" coverage, reach and reliabili-

ty in the coming 5G era.." (1) In Kapitel 3.1. wird dargestellt, dass Bäume ein Hindernis für die Ausbreitung der 5G-Funkfelder sind.

## Gibt es nähere Untersuchungen über mögliche Probleme bei 5G?

Im Auftrag der britischen Regierung wurde 2018 vom Nationalen Kartografischen Institut eine Studie zu Planungsgrundlagen für die Errichtung von 5G-Antennen veröffentlicht. Um die technischen Voraussetzungen einer störungsfreien Abdeckung mit höheren 5G-Frequenzen sicherzustellen, war zu klären, welche Umweltbedingungen bei der Platzierung der neuen Antennen



zu berücksichtigen sind. Untersucht wurde neben anderem der Einfluss der Vegetation, speziell die Bedeutung für die funktechnische Steuerung des vernetzten und autonomen Fahrens in einer Studie des britischen Department for Digital, Culture, Media&Sport: „The effect of the built and natural environment of millimetric radio waves“. (2) Man stellte fest, dass die Ausbreitung der untersuchten Frequenzbereiche 22-40 GHz und 50-67 GHz durch Laubwerk beeinträchtigt wird.

### **Weshalb wurden diese Frequenzen untersucht?**

Dämpfungseffekte im Frequenzbereich unter 6 GHz wurden als hinreichend bekannt vorausgesetzt. Daher hat man höherfrequente Bänder untersucht, die beim Umgebungsradar der autonomen Fahrzeuge und in späteren 5G-Ausbaustufen zunehmend Anwendungen finden sollen, und bei denen Störanfälligkeit und Latenzzeit sehr gering sein müssen.

### **Wofür sind geringe Latenzzeiten und hohe Zuverlässigkeit wichtig?**

Unter Latenzzeit versteht man die technisch bedingte Laufzeit für die Übertragung von Datenpaketen zwischen Sendern und Empfängern. Hindernisse wie Gehölze können diese begrenzen. Bei mit Leitsystemen und untereinander vielfach vernetzten (teil-)autonomen Fahrzeugen kann dies zu einem Problem für die Zuverlässigkeit und damit Verkehrssicherheit werden. Zuverlässigkeit ist auch bei der Erfassung der Umgebung durch Fahrzeugradar unabdingbar. Gängige Frequenzbänder liegen bei 24 GHz, 76 GHz oder 96 GHz. Laser und optische Kameras am Fahrzeug ergänzen das System. Kleine, in den definierten Umgebungsraum ragende Objekte wie Zweige, die sich bei (Fahr-)Wind bewegen und dabei ihre räumliche Gestalt verändern, stellen ein großes technisches Problem dar.

### **Wurden in der Untersuchung entsprechende Bewertungen getroffen?**

Messungen der Signalverbreitung an Hindernissen aus verschiedenen Gehölzarten ergaben, dass das Blattwerk erhebliche Probleme verursacht. Der Signalverlust variiert je nach Baumart und Jahreszeit und beträgt für belaubte Gehölze 90% über sämtliche untersuchten Frequenzen. Es wird gefolgert, dass auch bei kleineren räumlichen Abmessungen von Gehölzen wie Hecken auf Straßenebene entlang von Grundstücksgrenzen, Fußgängerzonen und Parks erhebliche Signaldämpfung auftreten wird.

### **Wurden entsprechende Probleme schon öffentlich wahrgenommen?**

Der Bericht hat in GB zu kritischen Fragen in der Presse geführt. Der australische Mobilfunkanbieter Telstra hält Untersuchungen zu 5G für erforderlich, nachdem schon bei herkömmlichen Mobilfunkstandards ähnliche Erfahrungen gemacht worden waren. In Neuseeland hat das Oberste Gericht angeordnet, von einem Grundstück Bäume zu entfernen, die den WiFi-Empfang (WLAN) beim Nachbarn störten. Die Tatsache, dass Vegetation zu Beeinträchtigung des Empfangs führt, ist den Anbietern bekannt und rechtlich bedeutsam.

### **Spielt Signalverlust nur bei höheren 5G-Frequenzen eine Rolle?**

Auch bei niedrigeren Frequenzen kann Signalverlust durch Blattwerk auftreten. Grundsätzlich ist die Signaldämpfung umso größer je höher die Frequenz ist. Messtechnikern ist geläufig, dass ab ca. 3,0-3,5 GHz die Behinderung der Übertragung durch Gehölze deutlich ansteigt. WLAN im Bereich 5,9 GHz soll für die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander eingesetzt werden. Die 5G-Lizenzen für die 2,0 und 3,6 GHz-Bänder wurden 2019 bereits versteigert. Lückenlose Verfügbarkeit von 4G/LTE ist integraler Bestandteil des assistierten und autonomen Fahrens und bleibt zur allgemeinen Einbindung von Verkehrsmitteln und deren Nutzern in das Mobilfunknetz erforderlich. Um bei sehr hohem Datenaufkommen und geringer Latenzzeit hohe Systemverfügbarkeit, Verbindungsqualität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, darf im wörtlichen Sinn nichts dazwischenkommen.

### **Sind Bedenken, dass Störungen des Mobilfunks zu Baumfällungen führen könnten, demnach begründet?**

Aus siedlungsökologischer und landschaftsplanerischer Sicht ist es dringend erforderlich, den Fragen weiter nachzugehen und diese vor Ort an die zuständigen Stellen (Garten- u. Straßenbauämter, Friedhofsverwaltungen, Bahn, Umwelt- und Planungsbehörden etc.) sowie an Umweltverbände, Politik und Forschung heranzutragen:

- > 1. Gibt es einen Zielkonflikt zwischen funktechnischen Erfordernissen der Mobilfunkinfrastruktur und den ökologischen Funktionen von Gehölzen für Lebensraumqualität, Naherholung, Klima, Luftreinhaltung, Lärm-, Boden- und Lawinenschutz usw.?

- › 2. Müssten ggf. Gehölze in Siedlungen und entlang von Verkehrswegen etc. weichen, und in welchem Ausmaß könnte deren Anpflanzung und Pflege künftig Einschränkungen unterliegen?

### **Was weiß man über Gründe für Baumfällungen?**

Baumfällungen in Siedlungen und entlang von Straßen und Bahnstrecken nehmen seit einigen Jahren auffallend zu. Unfallverhütung und Verkehrssicherungspflicht fordern die Beseitigung von Gefahren durch geschädigte Bäume. Abstandsregulierung, Überalterung, Schäden durch Umwelteinflüsse (Abgase, Bodenversiegelung, Verletzungen usw.) und Dürre infolge des Klimawandels dürfen dafür nicht allein als Ursache verantwortlich gemacht werden, weil Schäden an Bäumen auch durch Mobilfunkstrahlung hervorgerufen werden.

### **Gibt es hierzu Erfahrungen aus der Praxis?**

Praktiker aus Gartenämtern, Baumpfleger, Landschafts- und Friedhofsgärtner berichten, dass sie wegen der Gründe für Schäden an Bäumen vielfach vor Rätseln stehen. Vermehrt passen die Schadbilder nicht in bekannte Muster. Verbreitet ist der Eindruck einer chronisch geschwächten Vitalität, Krankheiten und Schädlinge werden begünstigt. Irreguläre Blattfärbung und unzeitiger Laubfall ließen zuerst an Folgen von Trockenheit denken. Diese hat sicher ihren Anteil. Dokumentationen (3) zeigen jedoch, dass die Schäden nicht erst seit der jüngsten Dürreperiode, sondern schon viele Jahre zuvor verbreitet da auftraten, wo Mobilfunkeinstrahlung besteht. Davon sind auch Bäume auf gut wasserversorgten Standorten in Flussniederungen und Uferbereichen betroffen. Unter Funkbelastung gedeihen Neupflanzungen trotz aufwändiger Pflege schlecht, selbst bei klimaresistenten Baumarten. Daneben finden sich bei fehlender Funkbelastung unter sonst gleichen Standortbedingungen gesunde Bäume aller Altersstufen.

### **Welche Zeichen sprechen für Mobilfunkstrahlung als Ursache?**

In der Studie „Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations“ (Waldmann-Selam et al. 2016) (4), wird dargestellt, dass ein typisches Schadbild an solchen Baumkronen zu finden ist, die in Sichtverbindung zu einem Mobilfunksender stehen.

### **An welchen Merkmalen sind diese Schäden erkenntlich?**

Reduzierung der Belaubung und Verdorrung der Zwei-

ge setzen an der Seite der Krone ein, die dem Sender zugewandt ist. Der Schwund des Laubwerks entwickelt sich von dort in den folgenden Vegetationsperioden weiter in die Krone hinein. Zweige auf der Seite der Einstrahlung zeigen Wachstumsstörungen und Abweichungen von der natürlichen Ausrichtung, weg von der Einstrahlung.

### **Wie kam es zu dem Verdacht, dass solche Erscheinungen eine Folge von Mobilfunkstrahlung sind?**

Bei Hausbesuchen von Ärzten bei Erkrankten, die unter den Folgen von Mobilfunkstrahlung litten, fiel auf, dass im unmittelbarem Wohnumfeld Gehölze Schäden aufwiesen. Daraus folgten intensive fotografische Dokumentationen von geschädigten Bäumen. Die Analyse führte zu einer Typisierung des Schadbildes. Dessen Entstehung war bisher nicht wissenschaftlich untersucht worden. Um den Verdacht, dass dieses Schadbild an Einzelbäumen im Siedlungsbereich in Verbindung mit Mobilfunkstrahlung auftritt, zu überprüfen, wurde eine eigene Untersuchung angelegt.

### **Wie wurde dabei vorgegangen?**

Es war nur ein begrenzter Aufwand möglich. Es konnten und brauchten nicht sämtliche Bäume im definierten Untersuchungsgebiet begutachtet werden. Ein aussagekräftiges Ergebnis kann durch die Kombination unterschiedlicher Kriterien bei der Auswahl der Bäume erreicht werden.

### **Welche Kriterien wurden angewendet?**

Die Auswahl erfolgte auf drei verschiedene Weisen (s. Tab.). Es wurden 60 Bäume mit typischen einseitigen Schäden aufgesucht und geprüft, ob von der geschädigten Seite der Krone Sichtverbindung zu einem Mobilfunksender bestand (1. Gruppe). Die Kronen von 30 Bäumen ohne Sichtverbindung zu einem Sender wurden aufgesucht und begutachtet, ob das typische einseitige Schadbild bzw. überhaupt ein Schaden gegeben war (3. Gruppe). Weitere 30 Bäume wurden zufällig ausgewählt und danach bewertet, ob Sichtverbindung bestand, und ob das typische einseitige Schadbild auftrat (2. Gruppe).

### **Was waren die Ergebnisse?**

Bei sämtlichen Bäumen mit einseitigen Kronenschäden bestand auf der geschädigten Seite Sichtverbindung zu einem Sender (1. und ein Teil der 2. Gruppe). An keiner der Kronen ohne Schäden bestand Sichtverbindung zu einem Sender (3. und der übrige Teil der 2. Gruppe).

### Wertetabelle zu statistischen Ergebnissen der Studie „Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations“ (Mobilfunkstrahlung schädigt Bäume an Basisstationen)

120 Bäume wurden nach 3 Auswahlkriterien untersucht:

1. Auswahl nach Bestimmung eines definierten senderseitigen Kronenschadens mit Sichtverbindung

60 Kronen mit einseitiger Sichtverbindung	Senderseite Ø 2000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$		Gegenseite Ø 200 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	60 einseitige Schäden
---	--	---	--	-----------------------

2. Zufällige Auswahl

30 Kronen				
13 Kronen mit ein- oder mehrseitiger Sichtverbindung	Senderseite Ø 1600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$		Gegenseite Ø 600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	6 einseitige Schäden 5 mehrseitige Schäden 1 Spitze kümmernd 1 Kronenteile entfernt
17 Kronen ohne Sichtverbindung	ungerichtet min 8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	Messwertspanne* min 0 - max 20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	ungerichtet max 50 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	keine Schäden sichtbar

3. Auswahl an Standorten mit niedriger Mobilfunkbelastung ohne Sichtverbindung

30 Kronen ohne Sichtverbindung	ungerichtet min 3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	Messwertspanne* min 0 - max 10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	ungerichtet max 40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	keine Schäden sichtbar
--------------------------------	---	--	--	------------------------

\*Die Differenz zwischen den Messwerten an der dem Sender zugewandten und der gegenüberliegenden Seite desselben Baumes wird als Messwertspanne bezeichnet.

#### Welche Schlussfolgerungen ergeben sich daraus?

Da das Auftreten der Schäden stets mit einer Sichtverbindung und die Abwesenheit von Schäden stets mit dem Fehlen einer Sichtverbindung verbunden ist, ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei den untersuchten Bäumen andere Gründe für die spezifischen Schäden verantwortlich sind, sehr gering. Dies wird bestärkt durch die kombinatorische Logik des Auswahlverfahrens.

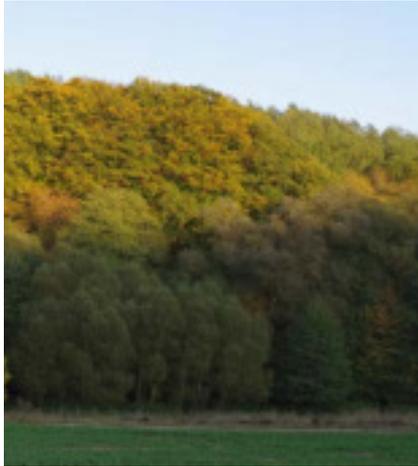
#### Was ergibt sich aus den Messungen der Einstrahlung an den Baumkronen?

Die Schäden treten weit unter den Grenzwerten für Mobilfunkstrahlung auf. Der Unterschied zwischen der dem Sender zugewandten Seite und der abgewandten

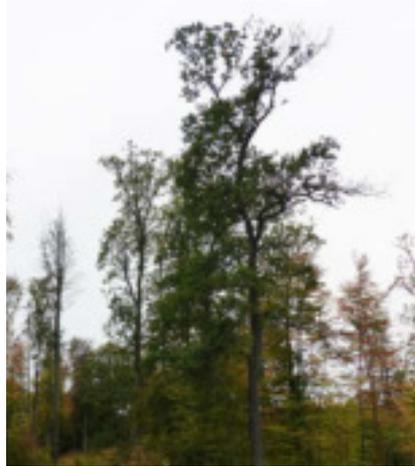
ergibt sich aus der Abdämpfung der Strahlung durch das Blattwerk. Das Laub auf der dem Sender zugewandten Kronenseite dämpft die Einstrahlung auf den übrigen Bereich der Krone, sodass sich im Anfangsstadium die Schädigung in der Krone verläuft.

Dies belegt auch, dass die Kronen ein nicht unbeträchtliches Hindernis für die Ausbreitung der Strahlung sind. Wenn die Strahlung insgesamt zunimmt, werden auch mehr Schäden auftreten. Wenn Bäume vermehrt Schaden nehmen und deswegen, oder weil sie als Hindernis wirken, entfernt werden, wird die Strahlenbelastung in der Umgebung und die Einstrahlung in Gebäude ansteigen.

## Waldschäden entlang der Fulda zwischen Ihringshausen und Hann. Münden



14.10.19, Wald A (Westhang), nördlich von Knickhagen (Blick von NW)



15.10.19, Wald B (Nordhang), südöstlich von Bonaforth (Blick von N)

Seit mehreren Jahren waren im Fuldatal zwischen Ihringshausen und Hannoversch Münden unregelmäßig verteilte, schwere Waldschäden aufgetreten – auf bewaldeten Hängen und auch in Tallagen. Nadel-, Laub- und Ufergehölze waren betroffen. Daraufhin wurden sämtliche Mobilfunksendeanlagen einschließlich Hauptstrahlrichtungen der Sektorantennen in die Karte des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation eingetragen. An Hand dieser Karten wurden Begehungen durchgeführt. Hierbei wurde festgestellt, dass hochfrequenzbelastete Bäume und Wälder Schäden zeigten. Gesunde Bäume wurden nur in funkfreen Bereichen angetroffen.

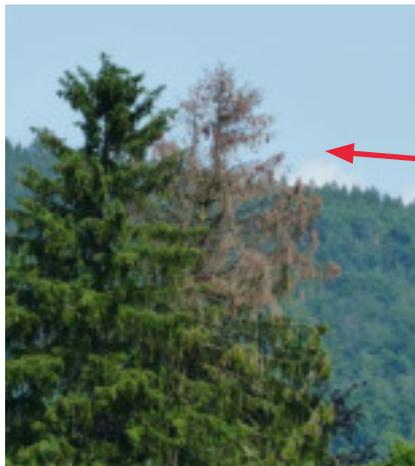
Bildbeschreibung: Auf den Westhang nördlich von Knickhagen treffen keine Hochfrequenzimmissionen. Auf den Nordhang südöstlich von Bonaforth trifft der Hauptstrahl der 190°-Sektorantenne der Sendeanlage Tillyschanze bei Hann. Münden (Entfernung 2,5 km). Dort ist eine große Lücke im Wald entstanden.

## Senderseitig beginnende Kronenschäden – im fortgeschrittenen Stadium gefährlich

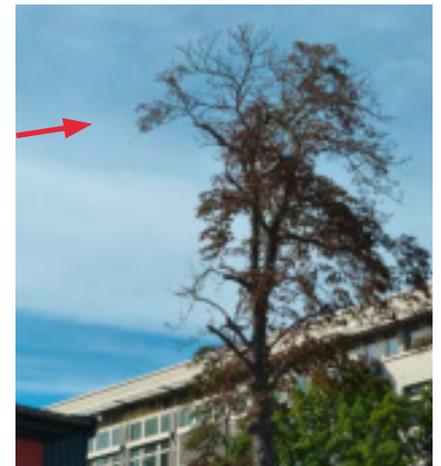
Wichtig für das Verständnis: die Abstrahlung der Sektorantennen erfolgt gebündelt in Haupt- und Nebenstrahlen. Unter dem Hauptstrahl und zwischen den Nebenstrahlen gibt es Bereiche geringer Hochfrequenzbelastung. In der Regel deckt eine Sektorantenne einen Sektor von 120° ab. Gebündelte Abstrahlung, Reflexion, Beugung, Streuung, Interferenzen sowie Dämpfung durch Gebäude und Bäume führen zu einer inhomogenen Hochfrequenz-Feldverteilung.



25.07.19, Darmstadt, Pauluskirche, Robinie



04.06.19, Hann. Münden, Bahnhofstr., Fichten

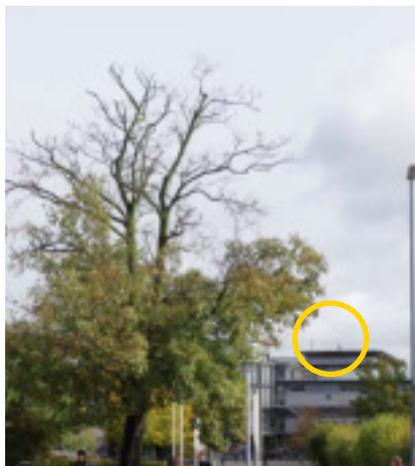


06.09.19, Kassel, Bosestr., Kastanie

## Gebündelte Abstrahlung schädigt Wipfel – Kiefernwipfel meidet Höhenwachstum in den Hauptstrahl



25.07.19, Darmstadt, Landskronstr., Nadelbäume



16.10.19, Göttingen, Campus, Institut für Demokratie, Bergahorn

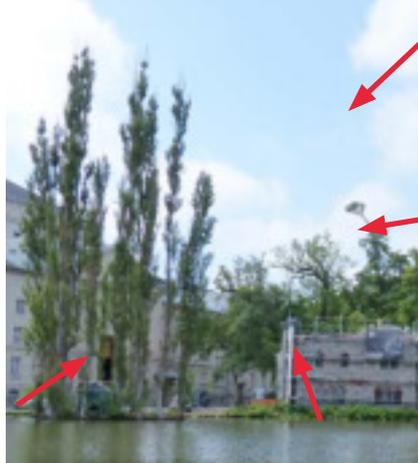


16.10.19, Göttingen, Campus, Sender auf Verfügungsgebäude, Kiefer

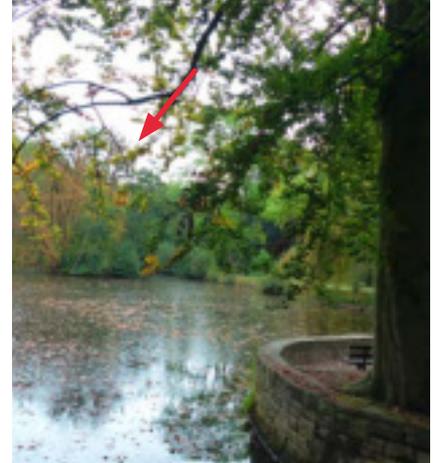
## Auch an Gewässern sterben hochfrequenzexponierte Bäume langsam ab



14.06.19 Bad Kissingen, Luitpoldpark, Blutbuche



17.07.19, Meiningen, Englischer Garten, Pappeln u.a.



26.09.19, Kassel, Park Schönfeld, Buche

Der Luitpoldpark in Bad Kissingen und der Englische Garten in Meiningen befinden sich jeweils im Strahlungsfeld von je vier Sendeantennen. Auf die Buche und weitere Bäume am See im Park Schönfeld trifft die 300°-Sektorantenne der Sendeanlage Frankfurter Straße.

## Junge Bäume gedeihen nicht - selbst bei guter Pflege und ausreichender Wässerung



24.07.19, Ingelheim, Polizeiinspektion



25.07.19, Darmstadt, Friedensplatz, Hainbuchen



04.06.19, Metzingen-Neugreuth, Städt. Obstanlagen, Apfelbaum

## Auch Baumarten, die Trockenheit und Hitze tolerieren, sind betroffen



02.09.19, Darmstadt, Mathildenhöhe, Platanenhain



10.09.19, Frankfurt, Wilhelm-Hauff-Str., Baumhasel



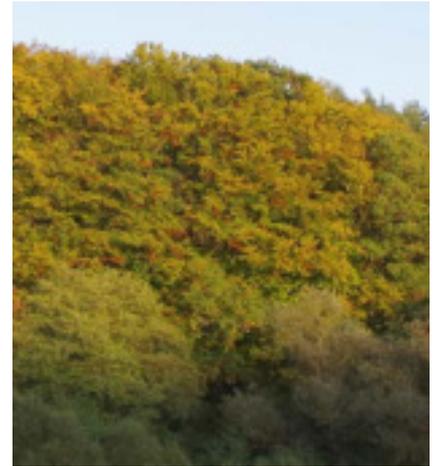
16.10.19, Göttingen, Maschmühlenweg, Ginkgo (links)

**Belaubte Bäume im Funkschatten von Gebäuden, Bäumen oder Bergen**

12.10.19, Darmstadt, Olbrichweg, Spitzahorn



12.10.19, Kassel, Gerstäckerstr., Birke, Linde



14.10.19, Lkr. Kassel, nördlich von Knickhagen, Buchen

**Können auch Bäume, deren Schädigung nicht einseitig ist, durch die Strahlung geschädigt sein?**

Die in der Studie beschriebene einseitig ansetzende Kronenschädigung ist ein eingrenzendes Alleinstellungsmerkmal, mit dessen Hilfe der Zusammenhang mit der Einstrahlung durch Mobilfunksender in Sichtweite identifiziert werden konnte. Unter mehrseitiger wie auch andauernder Bestrahlung entwickeln sich Kronenschäden anders und weiter fort. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass weitere Erscheinungsbilder von Baumschäden mit der Einwirkung von Mobilfunkstrahlung zusammenhängen. Insgesamt kommt es zu einer generellen Beeinträchtigung der Vitalität und damit der Stabilität.

**Mit welchen Folgen?**

Cucurachi et al. (2012) zeigen in dem Studienüberblick „A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF)“ (4), dass vielfache negative Einwirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf die natürliche Umwelt bestehen. Das wurde bei der Festlegung der geltenden Grenzwerte nicht berücksichtigt. Bei keinem Mobilfunkstandard wurde vor der Einführung eine Technologiefolgebewertung unter Realbedingungen an Pflanzen vorgenommen. Nichtbeachtung von Schadwirkungen an Bäumen durch Mobilfunk kann zu Fehleinschätzungen der Ursachen von Baumschäden

führen, mit gravierenden Auswirkungen. Die gesamten ökologischen und wirtschaftlichen Funktionen, die von Bäumen und Baumbeständen erfüllt werden, und technische Bereiche wie z.B. Lawinenschutz, Verkehrssicherheit an Straßen und Bahnlinien sind davon betroffen. Dies ist nicht verantwortbar.

**Welche Forderungen ergeben sich daraus?**

Zu fordern ist daher die Aussetzung von 5G und eine sofortige eingehende Untersuchung der Gefährdung der belebten Umwelt durch Funkanwendungen.

**Können Bürger durch Baumbeobachtungen hierzu beitragen?**

Um die typischen Baumschäden zu erkennen, muss niemand Baumexperte sein. Anhand des Beobachtungsleitfadens und Fotodokumentationen, eingestellt auf der Website von diagnose:funk ([www.diagnose-funk.org/themen/mobilfunk-versorgung/umwelt-landwirtschaft/baumschaeden-mobilfunkantennen](http://www.diagnose-funk.org/themen/mobilfunk-versorgung/umwelt-landwirtschaft/baumschaeden-mobilfunkantennen)) können Bürger leicht selbst einen Blick dafür entwickeln und untereinander, in Umweltgruppen, mit Praktikern und Gartenämtern den Austausch suchen. Die allgemeine Bewusstseins-schärfung ist eine sehr wichtige Voraussetzung für die Formulierung und Kraft der Forderungen, die an die Verantwortlichen in Behörden und Politik zu richten sind.

**Quellen:**

(1) Tim Brown (5G IC), Michael Fitch (BT), David Owens (Telefonica), Simon Saunders (RealWireless), Andy Sutton (EE), Stephen Temple (5G IC) (o.D.): „5G Whitepaper: Meeting the challenge of “Universal” coverage, reach and reliability in the coming 5G era.“ <https://www.surrey.ac.uk/sites/default/files/2018-03/white-paper-rural-5g-vision.pdf>

(2) [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/684421/OS\\_Final\\_report\\_\\_5g-report-environment.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/684421/OS_Final_report__5g-report-environment.pdf)

(3) <https://kompetenzinitiative.com/wissenschaft/neue-baum-dokus-zu-bamberg-und-ganz-bayern/>

(4) Cornelia Waldmann-Selsam, Alfonso Balmori-de la Puente, Helmut Breunig, Alfonso Balmori (2016): Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations; Science of the Total Environment 572 (2016) 554-569; [https://www.researchgate.net/publication/306435017\\_Radiofrequency\\_radiation\\_injures\\_trees\\_around\\_mobile\\_phone\\_base\\_stations](https://www.researchgate.net/publication/306435017_Radiofrequency_radiation_injures_trees_around_mobile_phone_base_stations)

(5) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412012002334>