

# BACHELORARBEIT

im Studiengang Arboristik

Lehrgebiet:

**Einwirkungen elektromagnetischer  
Strahlung auf Bäume**

**Eine Literaturrecherche**

vorgelegt von **Simon Maurer**

---

am **28.04.2014**

---

Erstprüfer **Prof. Dr. Hubert Merkel**

---

Zweitprüfer **Prof. Dr. Rolf Kehr**

---

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	3
<b>1. Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Methoden .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Geschichtliche Entwicklung der Übertragungstechnologie.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. Technische Grundlagen .....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Frequenz.....	9
1.3.2. Feldstärke .....	9
1.3.3. Leistungsflussdichte .....	9
1.3.4. Strahlungsgrenzwerte .....	10
<b>2. Hauptteil .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Oxidativer Stress in pflanzlichen Zellen.....</b>	<b>13</b>
2.1.1. Definition .....	13
2.1.2. Entstehung .....	13
2.1.3. Funktionen und Wirkungsweisen der ROS in den Zellen .....	14
2.1.4. Elektromagnetische Hochfrequenzwellen bewirken oxidativen Stress in Pflanzenzellen .....	15
2.1.5. Schlussfolgerungen.....	20
<b>2.2. Feldstudien an Bäumen.....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Einführung .....	23
2.2.2. Vorstellung der Studien .....	23
2.2.3. Schlussfolgerungen.....	28
<b>2.3. Theorien der Wirkungsweisen und phänomenolog. Beobachtungen an Bäumen.....</b>	<b>30</b>
2.3.1. Theorien .....	30
2.3.2. Phänomenologische Beobachtungen an Bäumen.....	35
2.3.3. Neuartige Schäden an Stadtbäumen.....	42
<b>3. Diskussion .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Wissenschaftstheoretische Bewertung .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. Wissenschaftlicher Wert der Phänomenologie.....</b>	<b>48</b>
<b>4. Fazit.....</b>	<b>50</b>
<b>5. Ausblick .....</b>	<b>52</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>54</b>
<b>7. Literatur.....</b>	<b>55</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Ausbreitung der Strahlungskeule und Abnahme der Leistungsflussdichte mit der Entfernung zum Sender .....	11
<b>Abbildung 2:</b> Ausbreitung der Haupt- und Nebenkeulen eines Mobilfunksenders.....	11
<b>Abbildung 3:</b> Schwankung der Feldstärke in untersch. Entfernungen zum Sender. ....	12
<b>Abbildung 4:</b> Die Chloroplasten der Mesophyllzellen von zweijährigen Kiefern-Samen.	16
<b>Abbildung 5:</b> Vergleiche von Blättern und Nadeln mit Antennen .....	30
<b>Abbildung 6:</b> Apparat zur Messung des elektrischen Widerstandes in Nadeln. ....	<b>Fehler!</b>
<b>Textmarke nicht definiert.</b>	
<b>Abbildung 7:</b> Luv- und Leeseite der Strahlenexposition.....	35
<b>Abbildung 8:</b> Zwei der drei Linden unter unterschiedlicher Strahlenexposition. ....	38
<b>Abbildung 9:</b> Sommerlinde ( <i>Tilia platyphyllos</i> ), Mitte Juni. ....	39
<b>Abbildung 10:</b> Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> ), Mitte Juli. ....	39
<b>Abbildung 11:</b> Rosskastanie ( <i>Aesculus hippocastanum</i> ), Mitte Juli .....	40
<b>Abbildung 12:</b> weiße Linien auf der Rinde von Kirsche ( <i>Prunus avium</i> ).....	42
<b>Abbildung 13:</b> Abplatzen der Rinde an Esche ( <i>Fraxinus sp.</i> ) .....	42
<b>Abbildung 14:</b> Rindenklumpen an Esche ( <i>Fraxinus sp.</i> ) .....	43
<b>Abbildung 15:</b> kugelförmige Strukturen im Phloem von Esche ( <i>Fraxinus sp.</i> ) .....	43
<b>Abbildung 16:</b> Rindenrisse an Linde ( <i>Tilia sp.</i> ) .....	43
<b>Abbildung 17:</b> Bastblutungen an Eiche ( <i>Quercus sp.</i> ) .....	44
<b>Abbildung 18:</b> Rindenverfärbungen an Esche ( <i>Fraxinus sp.</i> ) .....	44

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Funkstandards in Deutschland. ....	7
<b>Tabelle 2:</b> Grenzwerte für den Mobilfunkbetrieb. ....	10
<b>Tabelle 3:</b> Studien, die Pflanzen auf Stresssymptome durch Befeldung mit elektromagnetischen Hochfrequenzfeldern getestet haben. ....	18
<b>Tabelle 4:</b> Befunde der Studien bezüglich der Induktion von oxidativem Stress durch elektromagnetische Hochfrequenzfelder.....	20
<b>Tabelle 5:</b> Auflistung der Feldstudien an Bäumen, sortiert nach Erscheinungsjahr. ....	27
<b>Tabelle 6:</b> Ergebnisbezogener Vergleich der Feldstudien. ....	28

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Sinn und Zweck der Erstellung dieser Arbeit ist eine breite und detaillierte Betrachtung der wissenschaftlichen Diskussion bezüglich der möglichen Einwirkung elektromagnetischer Hochfrequenzstrahlung auf Bäume. Dabei soll möglichst umfangreich der aktuelle Stand des Wissens ermittelt werden. Dies ist sowohl der Status quo der wissenschaftlich belegten und von ihr vertretenen Tatsachen, als auch die aktuelle Situation in der öffentlichen Debatte, die seit den 1980er Jahren besteht und der sich Physiker, Ingenieure, Strahlenspezialisten, Biologen und einige weitere Experten angeschlossen haben, um mit eigenen Mitteln und Theorien die Frage zu lösen, ob elektromagnetische Hochfrequenzstrahlen eine Gefahr für biologische Organismen darstellen und wenn ja, auf welche Art und Weise und in welchem Ausmaß.

Während sich diese Forscher sicher sind, dass technisch erzeugte Hochfrequenzen schädlich sind, lehnt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) diese Behauptungen ab und beruft sich auf die Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK), die unter anderem mit dem Ziel gegründet wurde, für die Strahlenexposition des Menschen Grenzwerte aufzustellen, die eine schädigende Wirkung von elektromagnetischer Strahlung aufzeigen, oberhalb derer eine biologische Auswirkung nicht ausschließbar wäre, unterhalb derer aber nachgewiesener Weise keine Schädigungen eintreten könnten (s.u.). Die SSK hatte Anfang der 1990er Jahre Untersuchungen durchgeführt, die zum Ziel hatten, mögliche schädliche Auswirkungen der hochfrequenten Mobilfunkstrahlung auf Bäume zu finden. Diese Studien kamen aber samt und sonders zu dem Schluss, dass keinerlei schädigende Wirkung weder durch thermische, noch durch nichtthermische Effekte der Strahlung ausgeht und Bäume nicht durch die Exposition belastet seien (SSK 1990).

Die behandelte Thematik ist in der Wissenschaft also nicht neu, aber bis heute kontrovers diskutiert, da man bis dato keinen Mechanismus nachweisen konnte, über den eine direkte Schädigung von Gehölzen stattfinden könnte. So wurde im Laufe der Zeit eine Vielzahl an Theorien entwickelt, die solch einen Wirkmechanismus plausibel auch aufgrund äußerlich erkennbarer und messbarer Schäden erklären sollten. Gleichzeitig wurden Untersuchungen verschiedenster Art angestellt. Diese kommen zwar vereinzelt zu Ergebnissen, die eine schädigende Wirkung anthropogen erzeugter Hochfrequenzfelder nachweisen. Ebenso viele Studien finden jedoch keinerlei Auswirkungen und scheinen die Erkenntnisse der vorangegangenen Untersuchungen zu widerlegen.

Das BfS schreibt in seiner Stellungnahme vom 27.2.2013: „Für das Bundesamt für Strahlenschutz sind neben möglichen gesundheitlichen Risiken für den Menschen auch die Wirkungen auf die Umwelt von Bedeutung. Nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand gibt es keine wissenschaftlich belastbaren Hinweise auf eine Gefährdung von Tieren und Pflanzen durch elektromagnetische Felder unterhalb der Grenzwerte. Im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms wurden keine Vorhaben zur Auswirkung hochfrequenter Felder auf Nutztiere und Pflanzen durchgeführt, da das Programm primär auf Fragestellungen zu möglichen Wirkungen auf den Menschen ausgerichtet war.“ (BFS 2013)

So dementiert das Bundesamt bis heute, dass es Indizien gibt, die für eine Schädigung elektromagnetischer Strahlung auf biologische Organismen sprechen, gibt aber in seinen Leitlinien zum Strahlenschutz vom 1. Juni 2005 zu: „die Frage der Auswirkungen elektromagnetischer Emissionen auf die belebte Umwelt sind bislang nicht nur national, sondern auch international stark vernachlässigt worden.“ (BFS 2005)

## **1.1. Methoden**

Es sollen zunächst Studien aufgeführt werden, die sich in unterschiedlicher Weise mit der Frage nach möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Hochfrequenzstrahlung auf Bäume und generell pflanzliche Organismen beschäftigen. In drei Teilen werden verschiedene Forschungsmethoden aufgezeigt.

Der erste Teil beleuchtet Laboruntersuchungen, die an rasch wachsenden Pflanzen und teilungsfähigem isoliertem Gewebe erfolgten, die mit elektromagnetischen Wellen bestrahlt wurden. Das Ziel dieser Studien war, einen Nachweis für die Entstehung zellulären und in der Folge oxidativen Stresses in Pflanzenzellen zu erbringen. Die Ergebnisse werden direkt im Anschluss kurz bewertet.

Der zweite Teil behandelt Feldstudien, die seit den 1950er Jahren gemacht wurden und die Langzeitauswirkungen elektromagnetischer Felder auf Bäume untersuchten. Auch diese Studien werden kurz bewertet.

Im dritten Teil werden Theorien zu den möglichen Aufnahmemechanismen der Strahlung durch die Bäume und zu möglichen Wirkungsweisen der Hochfrequenzstrahlung im Holzgewebe aufgeführt. Auch neuzeitliche Beobachtungsreihen, die über mehrere Jahre an Bäumen gemacht werden, sollen hier angeführt und diskutiert werden.

In der Diskussion gibt es einen wissenschaftstheoretischen Teil, der die Studien in ihrer wissenschaftlichen Qualität prüft und kritisiert. Er soll aufzeigen, welche Erkenntnisse legitim sind und was bisher unbewiesene Behauptungen sind. Auch die phänomenologische Methode der Dokumentation von neuartigen Baumschäden durch Fotos kommt hier auf den Prüfstand. Im Diskussionsteil sollen die Ergebnisse auf Vergleichbarkeit mit anderen Forschungsergebnissen und auf Repräsentativität bezüglich der Diskussion um mögliche Auswirkungen anthropogen erzeugter elektromagnetischer Felder auf Bäume geprüft werden.

Es folgt ein Fazit mit Schlussfolgerungen und persönlichen Ansichten des Autors, die sich aus der Bearbeitung des vorliegenden Materials heraus ergeben haben.

Zum Schluss wird ein Ausblick formuliert, der Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für weitere in Zukunft folgende Untersuchungen aufgezeigt.

## 1.2. Geschichtliche Entwicklung der Übertragungstechnologie

Zu Beginn und zur Einstimmung in die Thematik wird im Folgenden ein kurzer Abriss der Entwicklung technisch erzeugter elektromagnetischer Strahlung zur Informationsübertragung gegeben und auf welche Weise sie in das Interesse der Forschung gerückt sind und mit Baumschäden in Verbindung gebracht wurden.

Danach wird der Leser über die nötigen technischen Begriffe aufgeklärt, die man für das Verständnis der Arbeit braucht. Wichtig sind in diesem Zusammenhang die technischen Größenordnungen der Feldkomponenten der EM-Strahlung, denn sie variieren stark in den untersuchten Studien und unterscheiden sich manchmal zwar nicht so sehr in der numerischen Angabe, sodass eine Ähnlichkeit vermutet werden kann. Die jeweils verwendete Einheit jedoch kann einen Wert mit der gleichen Zahl um bis zum 1 Million fachen kleiner oder größer werden lassen. Hier ist also genaues Hinsehen erforderlich, denn der Autor hat darauf verzichtet, eine Einheitsgröße festzulegen, in der sämtliche Angaben aller Studien gegeben werden. Vielmehr sind die originalen Angaben der Forscher verwendet worden und der Leser muss die gedankliche Umrechnung selbst zustande bekommen.

Schon vor rund 90 Jahren stellte man fest: „Eine hohe Pappel stellt eine wirksame Antenne dar und ermöglicht im Jahr 1924 mit Hilfe eines eingeschlagenen Nagels und Anschluss an einen Empfänger Radioempfang vom 300 km entfernten Eiffelturm“ (COUSTET & WEISS 1924). Heute weiß man, dass elektromagnetische Felder eine bedeutende Rolle bei der intrazellulären Informationsübertragung in lebendigen Organismen spielen. So basiert die Photosynthese in Pflanzen auf der Aufnahme der ultrahochfrequenten UV-Strahlung der Sonne und deren Umwandlung in chemische Energie in den Chloroplasten der grünen Pflanzenteile. Auch fand man heraus, dass eine große Anzahl chemischer Vorgänge in Pflanzen durch verschiedene Phytohormone gesteuert werden. Deren Synthese wird wiederum durch elektromagnetische Reize initiiert. Diese Reize sind ultraschwach und bedienen sich eines großen Frequenzspektrums (BERNATZKY 1994).

Mit der Weiterentwicklung der Funktechnologie in den 50er bis 70er Jahren des letzten Jahrhunderts stieg auch die Zahl der Studien, die sich mit möglichen Auswirkungen der elektromagnetischen Felder auf lebendige Organismen, allen voran dem Menschen, befassten. Damals gab es noch fast keine Forschungen mit Bäumen, anderen Pflanzen, oder Tieren. Diese ließ noch einige Jahre auf sich warten.

Als man in den 1980er Jahren in Deutschland vom Waldsterben sprach, welches laut den Medien abrupt ausbrach und sich schnell ausbreitete, fand man als Ursache die als dramatisch bezeichnete Luftverschmutzung, die durch den sauren Regen extrem erhöhte Gehalte an Schwefeldioxid und Stickoxiden in den Boden einbrachte, diesen versauern ließ und mit ihm die Bäume schädigte. Diese reagierten durch den vielerorts stark abfallenden Boden-pH-Wert mit Nährstoffmangel und Trockenstresssymptomen. Dies führte in der Folge zur massenhaften Vermehrung von Schadinsekten, allen voran die Borkenkäfer Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes intricatus*), die vornehmlich die Fichtenreinbestände befielen und diese hektarweise kahl fraßen.

Auf den hohen Schwefeldioxid-Ausstoß reagierte man in der Industrie mit Katalysatoren in Fabrikschornsteinen und Abgassystemen in den Autos, die dazu beitrugen, dass schon innerhalb von 10 Jahren die Emissionen auf ein Drittel abgesenkt werden konnten (VOLKRODT 1992). Dennoch stellte man in den Folgejahren keine Verbesserung der Waldgesundheit fest. Vielmehr wurde bei den nun vermehrt durchgeführten Sichtbeobachtungen der Baumkronen Schadensbilder festgestellt, die durch die Disposition durch Bodenversauerung nicht befriedigend erklärt werden konnten (HERTEL 1991).

Gleichzeitig fand in den 1980er Jahren ein beträchtlicher Fortschritt in der Übertragungstechnik statt. Dies führte zum massiven Ausbau der Radio-, Funk- (Eisenbahnfunk, Polizeifunk), Fernseh- und Mobilfunknetze. Alle derartigen Informationstechniken werden auf unterschiedlichen Frequenzen übertragen und es bedarf daher einer Vielzahl an unterschiedlichen Sendern und Senderstandorten.

### 1.3. Technische Grundlagen

Seit den 1990er Jahren baute man die Mobilfunktechnologie massiv aus: die erste Generation der digitalen Datenübertragung (D-Netz), wurde 1992 entwickelt. Ein Jahr später folgte das E-Netz. Im Jahre 2002 wurde der GSM-Standard als zweite und mit ihm der UMTS-Standard als dritte Generation eingeführt. 2010 folgte die vierte Generation, der LTE-Funkstandard. (wikipedia.org)

Hier eine Auflistung des technisch genutzten Frequenzspektrums in Deutschland:

**Tabelle 1:** Funkstandards in Deutschland. (verändert nach EMF-Handbuch, Kapitel 1)

16,7 Hz	Eisenbahnfunk
50 Hz	Stromversorgung
10 - 13 KHz	Marinefunk
148 - 255 KHz	LW-Radio
526 - 1607 KHz	MW-Radio
3,4 - 26 MHz	KW-Radio
87 - 108 MHz	UKW-Radio

174 - 223 MHz	TV
470 - 790 MHz	TV
780 - 860 MHz	Mobilfunk (LTE)
890 - 960 MHz	Mobilfunk, (GSM-900) (D-Netz)

---

1,71 - 1,88 GHz	Mobilfunk (DCS-1800) (LTE)
1,88 - 1,9 GHz	DECT-Telefone (E-Netz)
1,9 - 2,2 GHz	Mobilfunk (UMTS)
2,5 - 2,69 GHz	Mobilfunk (LTE)
2,4 - 5,72 GHz	WLAN
1 - 38 GHz	Radar

Während niedrige Frequenzen entsprechend längere Wellen haben, besitzen diese auch eine größere Reichweite im Raum als hohe Frequenzen, mit entsprechend kürzeren Wellen (GÜTTER 2013). Je höher daher die Frequenz, umso stärker ist die Streuung und umso größer ist auch der Leistungsverlust des Signals. So benötigt man für die Übertragung hoch- und ultrahochfrequenter Wellen (Mobilfunk) Sichtkontakt zum Empfänger, was ein weitaus dichteres Netz an Sendern erfordert, als dies z.B. für die Übertragung von Radiofrequenzen der Fall ist. Ursächlich dafür ist aber auch, dass Rundfunk- und Fernsehsender mit bis zu 100.000 Watt senden, während Mobilfunkbasisstationen mit lediglich etwa 50 Watt arbeiten. Wie aus Tab. 1 ersichtlich wird, sind heute die Frequenzspektren von 470 – 960 MHz und von 1,7 – 5,7 GHz lückenlos durch den Mobilfunk belegt, was zu einer enormen Strahlungsdichte, v.a. im urbanen Bereich führt, denn dort findet vornehmlich der Ausbau des Funknetzes statt, der zum Ziel hat, jedweden Punkt im besiedelten Bereich mit Netzempfang zu versorgen.

Zum Verständnis der in der Arbeit verwendeten Einheiten und Größenverhältnisse, sei im Folgenden eine Erklärung grundlegender Begriffe und Feldkomponenten elektromagnetischer Strahlung angeführt. Dabei dient als Vorlage das EMF-Handbuch vom ECOLOG-INSTITUT (2006) in Hannover, das als Informationsbroschüre bezüglich der Quellen und Risiken von elektromagnetischer Strahlung, sowie des Schutzes davor erarbeitet wurde und im Internet kostenlos erhältlich ist.

Elektromagnetische Strahlung besteht zunächst aus einer elektrischen und einer magnetischen Feldkomponente. Dabei bestehen sowohl die elektrischen, als auch die magnetischen Felder aus den drei Komponenten Frequenz, Feldstärke und Richtung. Die Richtung wird im Folgenden nicht erläutert, da sie durch die Funksender immer eindeutig gegeben ist. Vielmehr spielt eine weitere Größe bei der Charakterisierung der elektro-

magnetischen Strahlung eine wichtige Rolle: Dies ist die Leistungsflussdichte. Bei Messungen im Feld wird sie als Maßzahl der Intensität der Einstrahlung angegeben (s.u.).

### **1.3.1. Frequenz**

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder haben einen sinusförmigen Wellencharakter. Man spricht daher auch von Wellen. Die Frequenz ist eine Verhältniszahl, die die Ausbreitung einer Welle pro Zeiteinheit angibt. Sie wird in Hertz (Hz) gemessen. Dabei entspricht 1 Hz einer Wellenbewegung pro Sekunde.

Zur Vermeidung von großen Zahlen, verwendet man die Einheiten KHz (= 1.000 Hz), MHz (= 1.000 KHz) und GHz (= 1.000 MHz).

Man kann zusätzlich die Wellenlänge einer Frequenz berechnen. Als Ausgangswert sei die Wellenlänge von 1 m bei einer Frequenz von 300 MHz (=300 Mio. Hz) anzunehmen. Mit Verdoppelung der Frequenz halbiert sich jeweils die Wellenlänge und mit Halbierung der Frequenz, verdoppelt sich entsprechend die Wellenlänge. Eine Welle von 1 Hz hat also eine Länge von 3.000 km.

Zur Eingrenzung verschiedener Frequenzen, unterscheidet man in niederfrequente (0 – 30 KHz) und hochfrequente (30 KHz – 300 GHz) Felder (EMF-Handbuch). Radio, TV und Mobilfunk werden daher mittels hochfrequenter Signale gesendet (s. Tab. 1).

### **1.3.2. Feldstärke**

Die Feldstärke ist das Maß für die Stärke des Feldes. Diese wird bei elektrischen Feldern in Volt pro Meter (V/m) und bei magnetischen Feldern in Ampere pro Meter (A/m) angegeben. Leichter als die magnetische Feldstärke, lässt sich jedoch die magnetische Flussdichte messen. Diese berechnet man in der Einheit Tesla (T).

Bei elektromagnetischen Feldern wird lediglich die elektrische Feldstärke gemessen und angegeben. Auch hier gibt es größere (kV = Kilovolt) und kleinere (mV = Millivolt;  $\mu$ V = Mikrovolt) Einheiten.

### **1.3.3. Leistungsflussdichte**

Die Leistung einer elektromagnetischen Welle wird in Watt (Joule pro Sekunde) gemessen. Die Flussdichte bezieht sich auf eine festgelegte Fläche, auf der die Welle senkrecht auftrifft. Die verwendete Einheit ist also  $W/m^2$ . Üblicherweise rechnet man jedoch eher mit mW (Milliwatt), bzw.  $\mu$ W (Mikrowatt) pro  $m^2$ , bzw.  $cm^2$ .

Zur Einordnung der Größenverhältnisse von in der Natur auftretenden Leistungsflussdichten, sind hier zwei Beispiele angeführt:

- ◆ Leistungsflussdichte der Photosynthese in Nadelbäumen:
  - im Sommer: max.  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  Nadeloberfläche
  - in Herbst und Winter: max.  $20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  Nadeloberfläche.
  
- ◆ dagegen die Leistungsflussdichte der Sonnenstrahlung:
  - im Sommer: max.  $140 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ,
  - im Winter: max.  $40 \text{ mW}/\text{cm}^2$ . (HOMMEL 1987)

Die Leistungsflussdichte der Sonnenstrahlung ist dabei rund 1.400-mal höher als die in den Chloroplasten bei der Photosynthese.

### 1.3.4. Strahlungsgrenzwerte

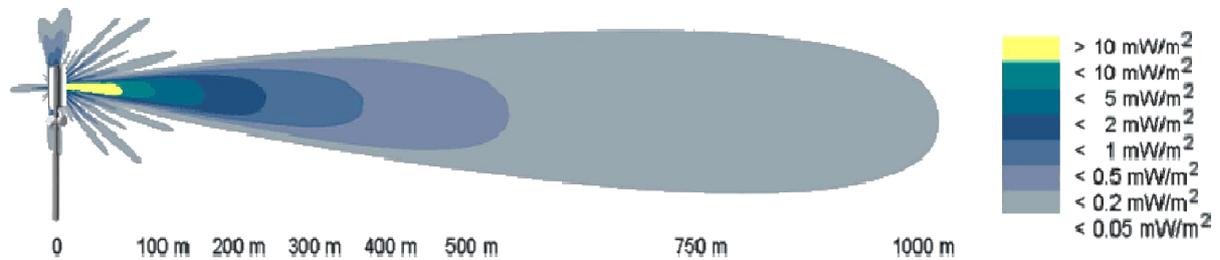
Für den Mobilfunkbetrieb der Sendemasten gibt es festgelegte Grenzwerte der Leistungsflussdichte. Diese basieren auf den Empfehlungen der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), wurden von der Strahlenschutzkommission (SSK) legitimiert und werden in der 26. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV) aufgeführt. Sie wurden im Jahre 1997 formuliert und gelten seitdem unverändert. Daraus leiten sich folgende Grenzwerte für Deutschland ab:

**Tabelle 2:** Grenzwerte für den Mobilfunkbetrieb. (verändert nach NOVA-INSTITUT, Juli 2001)

D-Netz (890 – 960 MHz)	<b>4,5 W/m<sup>2</sup></b> = 0,45 mW/cm <sup>2</sup> = 450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
E-Netz (DECT) (1,8 – 1,9 GHz)	<b>9 W/m<sup>2</sup></b> = 0,9 mW/cm <sup>2</sup> = 900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
UMTS (1,9 – 2,2 GHz)	<b>9,5 W/m<sup>2</sup></b> = 0,95 mW/cm <sup>2</sup> = 950 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

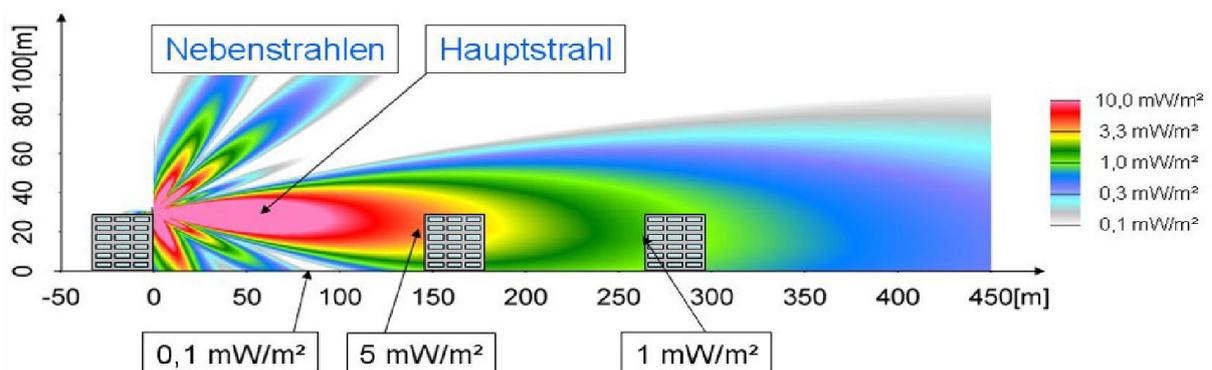
Somit liegen die Leistungsflussdichten der Mobilfunkanlagen weit unter denen der Sonnenstrahlung und über denen der Photosynthese. Das Spektrum des Mobilfunks erstreckt sich als zwischen 0 und den genannten Grenzwerten. Die Leistungsflussdichte nimmt überdies mit dem Quadrat der Entfernung zur Sendequelle ab. So beträgt sie in doppelter Entfernung zum Sender noch ein Viertel, in dreifacher Entfernung noch ein Neuntel, usw. (EMF-Handbuch).

Zur Veranschaulichung der räumlichen Ausbreitung der Strahlenkeulen von Mobilfunksendern und der exponentiellen Abnahme der Leistungsflussdichte, dienen die nachfolgenden Grafiken.



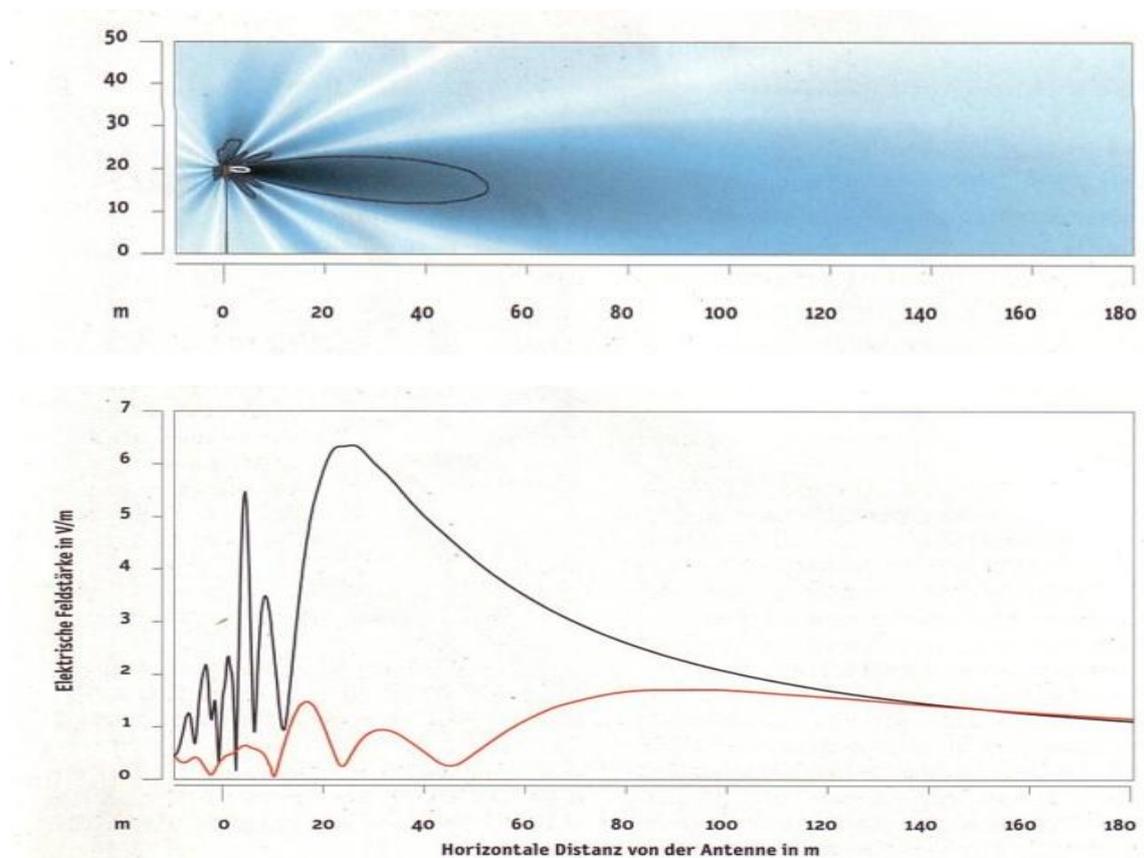
**Abbildung 1:** Ausbreitung der Strahlungskeule und Abnahme der Leistungsflussdichte mit der Entfernung zum Sender. (Quelle: ralf-woelfle.de)

Abhängig von der Höhe der Montage der Sender über dem Boden, ist die Einstrahlintensität der Nebenstrahlen (sog. Nebenkeulen), die durch Streuung des Signals entstehen, mehr oder weniger hoch. So erreichen bei freistehenden Masten und entsprechend hoch angebrachten Sendern die Strahlen der Nebenkeulen mit kaum messbaren Leistungsflussdichten den Boden. Bei Funkstationen, die dagegen nur auf Gebäuden befestigt sind, gibt es am Boden in Sendernähe deutlich erhöhte Leistungsflussdichten.



**Abbildung 2:** Ausbreitung der Haupt- und Nebenkeulen eines Mobilfunksenders auf einem Hausdach. (Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz)

Durch die Strahlung der Nebenkeulen, die in unterschiedlichen Entfernungen zum Sender auf dem Boden oder anderen Gegenständen auftreffen können, ergibt sich ein sehr inhomogener Verlauf der messbaren Feldstärken. Auch auf direkter Höhe des Senders nimmt sie nicht erwartungsgemäß gleichmäßig zu, sondern weist in zunehmender Sendernähe beträchtliche Schwankungen auf:



**Abbildung 3:** Schwankung der Feldstärke in unterschiedlichen Entfernungen zum Sender. Schwarze Linie: Auf Senderhöhe (Vogel), rote Linie: Auf Bodenniveau (Mensch). (Quelle: gigaherz.ch)

Aus der unteren Grafik wird deutlich, dass die Feldstärke auf Höhe des Senders mit abnehmender Entfernung deutlich ansteigt und bei ca. 30 m ihren Maximalwert hat. Dieser wird am Boden erst in einer Entfernung von ca. 80 m erreicht. Aus den Empfehlungen der SSK (2001) geht hervor, dass die in Deutschland geltenden Grenzwerte für elektromagnetische Felder auf Werten einer maximal zumutbaren Ganzkörperexposition der Bevölkerung beruhen, also auf Leistungsflussdichten, die in Bodennähe (ca. 1,50 m) gemessen werden.

## **2. Hauptteil**

### **2.1. Oxidativer Stress in pflanzlichen Zellen**

#### **2.1.1. Definition**

Bei der Suche nach Nachweisen biologischer Wirksamkeit elektromagnetischer Strahlung ist die Wissenschaft sehr uneinig, was die konkreten Auswirkungen sein und wie sich diese darstellen könnten. So fand man um die Jahrtausendwende ein neues Phänomen bei der Untersuchung kleiner und raschwüchsiger Pflanzen unter Mikrowellenbestrahlung, nämlich das des oxidativen Zellstress. Dieses Phänomen ist gut untersucht und beschrieben, weil es nicht nur in Pflanzen, sondern auch in Tieren und Menschen gleichermaßen in Erscheinung tritt. Es ist die Folge natürlicher Vorgänge im Stoffwechselprozess; jedoch kommt es natürlicherweise nicht oder nur selten zu einem Stresszustand, der bedeutet, dass ein bestimmter Einflussfaktor nicht mehr kontrolliert und reguliert werden kann, weil entweder die antagonistischen Kräfte fehlen oder der Einflussfaktor das Potential der Abwehrkräfte übersteigt. Elektromagnetische Wellen haben offenbar einen Mechanismus, der es ihnen ermöglicht, wirksam in das biologische System einzugreifen und dort das Gleichgewicht zwischen antagonistisch wirkenden Mechanismen, in diesem Fall das der Oxidantien und Antioxidantien, zu stören.

#### **2.1.2. Entstehung**

Bei der Zellatmung in den Organellen aerober Organismen, zu denen auch die pflanzlichen Mitochondrien und Chloroplasten zählen, wird molekularer Sauerstoff als Oxidans benutzt. In seiner reduzierten Form ist Sauerstoff nicht mehr reaktiv und daher harmlos. Er hat jedoch das Potential, nicht vollständig reduziert zu werden, sodass zytotoxische Zwischenprodukte entstehen (ZIMMERMANN & ZENTGRAF 2004). Diese werden freie Radikale, oder reaktive Sauerstoffspezies (reactive oxygen species, ROS) genannt. Sie entstehen als Nebenprodukte bei Stoffwechselfvorgängen in den Chloroplasten (bei der Photosynthese) und den Mitochondrien (bei der Zellatmung) und können für gewöhnlich durch das pflanzeneigene antioxidative System, welches direkt antagonistisch wirkt, reguliert und unter Kontrolle gehalten werden. Kommt es durch exogene Einflüsse zu einem Ungleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien, zugunsten der freien Sauerstoffradikale in der Zelle, spricht man zunächst von zellulärem Stress. Exogene Einflüsse können dabei sowohl in die Zelle gelangende Schwermetalle, redoxaktive Herbizide, UV-B-Strahlung, Ozon, oder ionisierende Strahlung (JONGEBLOED 2003), als

auch Trockenstress, Salzstress, mechanischer Stress, Nährstoffmangel, Pathogenbefall, sowie hohe Lichteinwirkungen sein (MITTLER 2002).

**Zu den ROS zählen:**

$^1O_2$ = Singulett-Sauerstoff	$O_2^-$ = Superoxidradikal	$HO_2^-$ = Hydroperoxidradikal
$H_2O_2$ = Wasserstoffperoxid	$\cdot OH$ = Hydroxylradikal	

**Antioxidantien sind:**

alpha-Liponsäure	Magnesium	natürl. Vitamin E
Phosphatidylcholin	Selen	Vitamin B12
Vitamin C (Ascorbat)	Zink	

*antioxidative Pflanzeninhaltsstoffe:*

Flavonoide	Polyphenole	Triterpene
------------	-------------	------------

(aus: JABS 2008)

*antioxidative Enzyme:*

Ascorbat-Peroxidase	Catalase	Superoxid-Dismutase
---------------------	----------	---------------------

(aus: ZIMMERMANN & ZENTGRAF 2004)

Verschärft sich das Ungleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien in der Zelle, woraufhin die in der Zelle gespeicherten Antioxidantien aufgebraucht sind und die Oxidantien weiterhin zunehmen können, kommt es zu oxidativem Stress in der Zelle.

**2.1.3. Funktionen und Wirkungsweisen der ROS in den Zellen**

Alle ROS sind hoch reaktiv und deshalb in der Lage, biologische Moleküle, wie z.B. Proteine, Lipide und sogar die DNA zu oxidieren (DAT et al. 2000). Sie reagieren mit

ungesättigten Fettsäuren der Membranen im Plasmalemma und intrazellulären Organellen. Diese werden dadurch oxidiert. Diese Reaktion nennt man Peroxidation. Die Peroxidation des Plasmalemmas führt zum „Auslaufen“ der Zelle, wodurch eine schnelle Austrocknung eintritt, die normalerweise irreversibel ist und zum Zelltod führt (ZIMMERMANN & ZENTGRAF 2004). Zerstörte Membranen in Zellen haben negativen Einfluss auf die Atmungskette in den Mitochondrien, auf die  $CO_2$ -Fixierung in den Chloroplasten und bedingen den Pigmentabbau in den Mitochondrien, was sich äußerlich durch Ausbleichen der Blätter zeigt (DAT et al. 2000).

Die verschiedenen Sauerstoffradikale haben dabei unterschiedliche Wirkungsweisen. So kann es aufgrund von oxidativem Stress in den Zellen zu metabolischen Fehlfunktionen, sprunghaften Mutationen, sowie dem sogenannten programmierten Zelltod kommen. Letzterer Effekt ist eine hoch regulative und aktive Reaktion von Pflanzen auf äußerliche Verwundungen und Pathogenbefall, die ein kontrolliertes Absterben von Zellen an den Wundrändern und in der Reaktionszone bewirkt („oxidative burst“) (FOYER & NOCTOR 2003). Der programmierte Zelltod ist aber auch ein Mechanismus der natürlichen Seneszenz von Pflanzenteilen (Blättern, Blüten, Ästen), der zum stückweisen Abbau alternder Zellen beiträgt. Oxidativer Stress kann also neben den Einschränkungen auf die Aktivität der Chloroplasten und der Mitochondrien auch zur beschleunigten Seneszenz beitragen. Im Falle der Seneszenz und der Peroxidase könnte man von einer Art „Teufelskreislauf“ sprechen, denn sowohl die Zerstörung der Lipidmembranen, als auch der in Folge eintretende Zelltod führen ihrerseits wiederum zu erhöhter Produktion von ROS. Zudem kommt es bei der Peroxidation zur Initiierung einer erhöhten Ethylen-Akkumulation. Dieses Phytohormon ist stark an der Alterung von pflanzlichem Gewebe beteiligt und beschleunigt daher die Seneszenz. (ARORA et al. 2002)

#### **2.1.4. Elektromagnetische Hochfrequenzwellen bewirken oxidativen Stress in Pflanzenzellen**

Dieser Behauptung wird seit einigen Jahren wissenschaftlich nachgegangen. Bisher wurden Zusammenhänge meist in kurzlebigen und nicht verholzenden Pflanzen gesucht. So z.B. in Mung-Bohnen (*Vigna radiata*) (HUANG & WANG 2008) und Wasserlinsen (*Lemna minor*) (TKALEC et al. 2005). Hierbei wurden häufig die Initialstadien der Pflanzen, also die Samenkeimung und das primäre Wachstum untersucht.

Zwei Studien befassen sich dagegen mit Bäumen, jedoch auch mit deren ersten Entwicklungsstadien. Es wurden mit elektromagnetischen Wellen befeldete Sämlinge der Robinie (*Robinia pseudoacacia L.*), sowie Samen und deren Keimlinge von Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) untersucht. Diese beiden Studien haben zwar nicht eindeutig oxidativen Stress als Befund. Trotzdem weisen die befeldeten Pflanzen Eigenarten auf, die auch durch

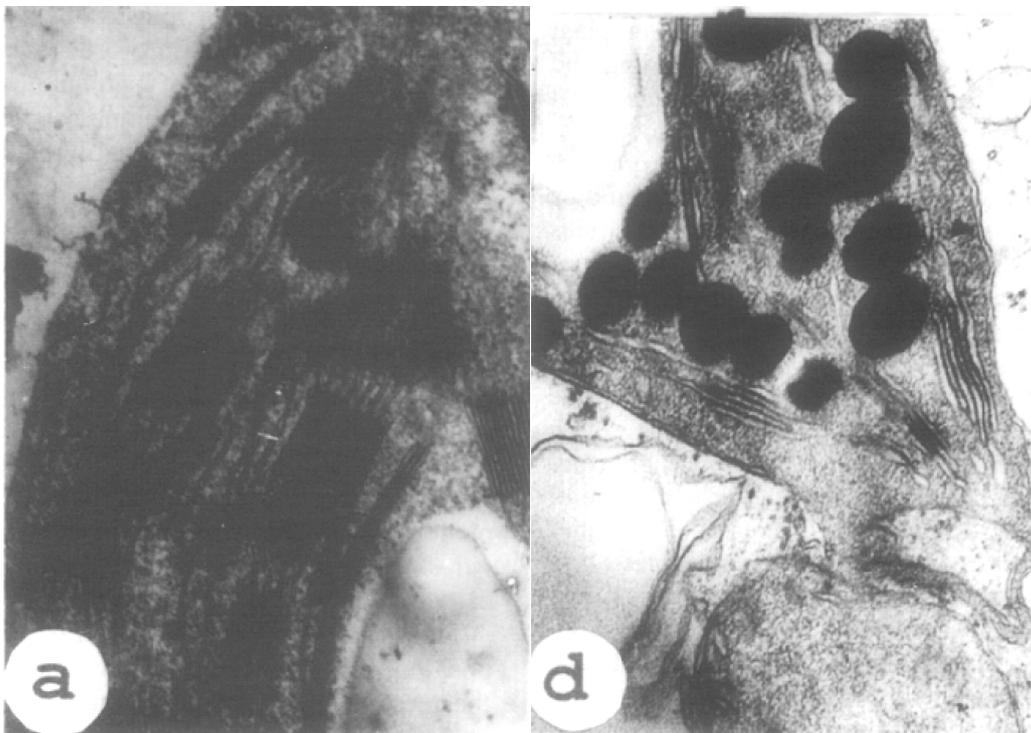
oxidativen Stress entstehen können. Alle folgenden Studien sind im Anschluss in zwei Tabellen zusammengefasst dargestellt.

- I.** Im Falle der **Robiniensämlinge (SANDU et al. 2005)** ist ein signifikant sinkender Chlorophyllgehalt gemessen worden (außer bei einer Expositionszeit von 2 Stunden, wo ein beträchtlicher Anstieg zu verzeichnen war).

Chlorophyllabbau ist auch ein Teilvorgang der Seneszenz, und ist unter anderem auf ein Vorhandensein von Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) zurückzuführen, welches ausbleichend auf die Pigmente des Chlorophylls wirkt und zu den Sauerstoffradikalen zählt.

- II.** Auch die Studie mit den **Kiefernämlingen (SELGA & SELGA 1996)** zeigte Einwirkungen von hochfrequenter Strahlung: Zunächst war die Keimfähigkeit der Samen gehemmt.

Die Zapfen wurden in einem bestrahlten Gebiet (Skrunda, Lettland) gesammelt und nicht künstlich befodet. Die zweijährigen Nadeln der Keimlinge wiesen in den Chloroplasten kugelförmige Lipidstrukturen (Plastoglobuli) auf, die einen Marker für unspezifischen Stress darstellen. Samen und Keimlinge aus der gleichen Gegend, aber ohne die Exposition der hochfrequenten Strahlung, hatten normale Keimraten und zeigten keine Veränderungen in den Chloroplasten.



**Abbildung 4:** Die Chloroplasten der Mesophyllzellen von zweijährigen Kiefern-Samen. (a) keine elektromagnetische Exposition; (d) hohe EM-Exposition. (Quelle: SELGA & SELGA 1996)

Die Forscher kommen zu dem Schluss, dass sich die HF-Exposition der Zapfen bis auf die Folgegeneration auswirkt und diese mit einem erhöhten Stress vorbelastet ist.

Studien mit raschwüchsigen, nicht dauerhaften Pflanzen ergaben deutlichere Ergebnisse. Dabei wurden meist experimentell verschiedene Frequenzen, Feldstärken und Expositionszeiträume gewählt und untersucht. Entgegen der Vermutung, dass elektromagnetische Hochfrequenzstrahlung immer gleich auf einen Organismus wirke, d.h. entweder schädigend (stressauslösend) oder nicht beeinträchtigend, ergaben sich hier höchst unterschiedliche Werte.

**III.** So fanden **TKALEC et al. (2005)** bei **Wasserlinsen**, dass hohe Feldstärken (390 V/m) das Wachstum hemmten. Dabei spielte Frequenz und Expositionszeit keine Rolle.

Außerdem wurden bei hoher Expositionsdauer (14 Std.), sowie niedriger (400 MHz) und hoher Frequenz (1900 MHz) signifikant vermindertes Wachstum festgestellt. Befeldungen über 2 und 4 Stunden, auf 900 MHz und mit Feldstärken von 10, 23 und 41 V/m blieben dabei ohne Befund.

**IV.** Zwei Jahre später wurde die Studie von denselben Wissenschaftlern wiederholt.

Diesmal untersuchte man die **Wasserlinsen** auf Induktion von oxidativem Stress. Diese wurden in erhöhter Lipidperoxidation und angestiegenen Wasserstoffperoxid-Gehalten bei 400 und 900 MHz und Feldstärken von 23 und 120 V/m zweifelsfrei gefunden. Jedoch ist das Ausmaß der Reaktionen stark abhängig von Frequenz, Feldstärke und Expositionsdauer und dabei nicht deckungsgleich mit den Ergebnissen der ersten Studie.

**V.** **MONSELISE et al. (2011)** untersuchten die **Wasserlinse** bei einer vergleichsweise geringen Frequenz von 1,287 MHz, in der Nähe von einem Mittelwellen-Sender. Die Feldstärken lagen zwischen 1,8 und 7,8 V/m ebenfalls auf geringer Intensität und die Expositionszeit belief sich auf 24 Stunden kontinuierlicher Bestrahlung. Sie führte bei allen Pflanzen zu Zellstress durch freie Sauerstoffradikale.

**VI.** Auch **Mung-Bohnen** wurden auf oxidativen Stress unter Einfluss elektromagnetischer Strahlung untersucht.

**SINGH et al. (2009)** testeten die Keimung bei einer Frequenz von 900 MHz (gepulst), einer Feldstärke von 5,7 V/m, einer Leistungsflussdichte von 5,5  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  und Expositionszeiträumen von 0,5 – 4 Stunden. Die Bestrahlung hemmte sowohl die Keimung, als auch das Wurzel- und Blattknospenwachstum der Keimlinge. Außerdem trat oxidativer Stress auf (hervorgerufen durch erhöhte Wasserstoffperoxid-Akkumulation und Lipidperoxidation), gefolgt von signifikant ansteigenden antioxidativen Reaktionen von Enzymen in der Wurzel.

**VII.** Drei Jahre später (2012) wurde diese Studie wiederholt. Man erhöhte lediglich die Leistungsflussdichte auf  $8,46 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

Wieder wurden Anzeichen von oxidativem Stress festgestellt. Die Anzahl und Längen der Wurzeln waren signifikant erniedrigt. Die hemmende Wirkung nahm mit der Dauer der Exposition zu.

**VIII. JINAPENG et al. (2010)** bestrahlten **Mung-Bohnsamen** 1 – 4 Stunden lang mit 425 MHz, um die Keimungsraten zu untersuchen.

Dabei zeigte sich, dass eine Befeldung *vor* der Keimung zu verbesserten Wachstumseigenschaften führte, während die Befeldung *nach* der Keimung keinen Effekt hatte.

**IX.** Eine Studie befasste sich mit möglichen Auswirkungen von magnetischen Feldern verschiedener Frequenzen und Flussdichten auf die Keimung der **Mung-Bohne (HUANG & WANG 2008)**.

Sie hatte zum Ergebnis, dass unabhängig zur Expositionsdauer, die unterschiedlichen Frequenzen ausschlaggebend für Auswirkungen waren: So konnten Frequenzen von 20 und 60 Hz eine wachstumssteigernde und die Frequenzen von 30, 40 und 50 Hz eine wachstumshemmende Wirkung verzeichnen. Die Frequenz von 10 Hz hingegen erbrachte keine signifikante Wirkung auf die Keimfähigkeit der Mung-Bohnen.

**Tabelle 3:** Studien, die Pflanzen auf Stresssymptome durch Befeldung mit elektromagnetischen Hochfrequenzfeldern getestet haben.

Nr.	Autoren, Titel	Pflanzengattung	Expositionsdauer	Frequenz	Feldstärke	Leistungsflussdichte
I	SANDU et al.: 2005 "A preliminary study on ultra-high frequency electromagnetic fields effect on black locust chlorophylls."	Robinie ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)  3 Monate alte Sämlinge	täglich über drei Wochen je 1, 2, 3 und 8 Stunden	400 MHz	60 V/m	
II	SELGA & SELGA: 1996 "Response of <i>Pinus sylvestris</i> L. needles to electromagnetic fields."	Wald-Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)  Nadeln, Samen und die Keimlinge	vorher kontinuierlich	154 und 162 MHz	0.04, 9.5, 79.4 und 250 mV/m	

III	<b>TKALEC et al.:</b> 2005 "Influence of 400, 900 and 1900 MHz electromagnetic fields on <i>Lemna minor</i> L. growth and peroxidase activity."	Wasserlinse ( <i>Lemna minor</i> L.)  Ganze Pflanzen	2, 4 und 14 h	400, 900 und 1900 MHz	10, 23, 41 und 390 V/m	
IV	<b>TKALEC et al.:</b> 2007 "Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed <i>Lemna minor</i> L.."	Wasserlinse ( <i>Lemna minor</i> L.)  Ganze Pflanzen	2 und 4 h	400 und 900 MHz	10, 23 41 und 120 V/m	
V	<b>MONSELISE et al.:</b> 2011 "Bioassay for assessing cell stress in the vicinity of radio frequency irradiating antennas."	Wasserlinse ( <i>Lemna minor</i> L.)  Ganze Pflanzen	24 h	1,287 MHz	1.8, 3.3 und 7.8 V/m	
VI	<b>SINGH et al.:</b> 2009 "Mobile phone radiation inhibits mung beans root growth by inducing oxidative stress."	Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)  Samen, Keimlinge, Pflanzen	0.5, 1, 2 und 4 h	900 MHz (gepulst)	5.7 V/m	5.55 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
VII	<b>SINGH et al.:</b> 2012 "Mobile phone EM-fields radiations affect rhizogenesis through impairment of biochemical processes."	Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)  Hypokotyle	0.5, 1 und 2 h	900 MHz	5.7 V/m	8.459 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
VIII	<b>JINAPANG et al.:</b> 2010 "Growth characteristics of mung beans and water convolvuluses exposed to 425 MHz EM-fields."	Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)  Samen	1, 2 und 4 h	425 MHz		0.015 $\text{mW}/\text{m}^2$
IX	<b>HUANG &amp; WANG:</b> 2008 "The effects of inverter magnetic fields on early seed germination of mung beans."	Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)  Samen und die Keimlinge	8, 12 und 24 h	10, 20, 30, 40, 50 und 60 Hz		magnetische Flussdichte: 6.38, 13.1, 16.55, 18.7, 19.33 und 16.2 $\mu\text{T}$

## 2.1.5. Schlussfolgerungen

Elektromagnetische Strahlung hat nachgewiesene Auswirkungen auf pflanzliche Gewebe. Dabei sind die Auswirkungen nicht in jedem Fall hemmender und zerstörender Natur, sondern können in einigen Fällen zur Stimulation des Wachstums, also den Zellteilungs- und Zellstreckungsvorgängen, beitragen. Auch sind sie scheinbar wahllos verteilt, das heißt, dass Studien, die eine zunehmende Expositionsdauer als schädigend für Pflanzenzellen erachten, diesen Faktor nicht als Sollwert für andere Studien geltend machen können, da sie bislang nicht als ausschlaggebend für die Stärke der Schädigung festgemacht werden konnte. Gleiches gilt für die Feldstärken, die Leistungsflussdichten und die Frequenzen.

Ebenso ist es zwar möglich, Symptome oxidativen Stresses in Folge von elektromagnetischer Hochfrequenz-Befeldung auszumachen. Jedoch gibt es auch hier keine einzelne Frequenz, Feldstärke oder Expositionsdauer, oder einen eingrenzenden Werterahmen, in dem sich eine erhöhte Akkumulation von ROS mit hoher Wahrscheinlichkeit einstellt. Dies zeigt Tab. 4:

**Tabelle 4:** Befunde der Studien bezüglich der Induktion von oxidativem Stress durch elektromagnetische Hochfrequenz-Felder.

Nr.	Autor, Jahr, Material	hemmende / schädigende Wirkung	keine Wirkung	stimulierende Wirkung	Auswirkungsort und -art
I	SANDU et al. 2005 Robinie ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	Sinken der Chlorophyll-Gehalte bei 400 MHz und 60 V/m			Chloroplasten
II	SELGA & SELGA 1996 Wald-Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	154 und 162 MHz Keimung bei 79.4 und 250 mV/m Plastoglobuli bei 9.5, 79.4 und 250 mV/m		Keimung bei 0.04 mV/m	Keimung. Plastoglobuli in den Chloroplasten.
III	TKALEC et al. 2005 Wasserlinse ( <i>Lemna minor</i> L.)	2 h, 900 MHz, 23 V/m. 390 V/m (bei 400 und 900 MHz). 14 h, 400 und 1900 MHz, 10 V/m. 2 h, 900 MHz, 41 V/m.	400 MHz, 23 V/m. 14 h, 900 MHz, 10 V/m.		Wachstum allgemein. Oxidativer Stress.

<b>IV</b>	TKALEC et al. 2007 Wasserlinse ( <i>Lemna minor</i> L.)	400 MHz, 23 und 120 V/m.  900 MHz, alle Feldstärken.	400 MHz, 10 und 41 V/m		Symptome von oxidativem Stress.  unspezifische Stressreaktionen.
<b>V</b>	HUANG & WANG 2008 Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)	30, 40 und 50 Hz Magnetisches Feld	10 Hz Magnetisches Feld	20 und 60 Hz Magnetisches Feld	Keimung.  Wurzel- und Hypokotylwachstum.
<b>VI</b>	SINGH et al. 2009 Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> )	zunehmende Expositionsdauer			Keimung.  Wurzel- und Blattknospenwachstum.  Oxidativer Stress.  zellulärer Schaden in den Wurzeln.
<b>VII</b>	JINAPANG et al. 2010 Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)		425 MHz nach der Keimung	425 MHz , 1 h vor der Keimung	verstärktes Wachstum.
<b>VIII</b>	MONSELISE et al. 2011 Wasserlinse ( <i>Lemna minor</i> L.)	alle Expositionen, alle Frequenzen, alle Feldstärken			Alanin-Akkumulierung als Signal von universellem Zellstress.
<b>IX</b>	SINGH et al. 2012 Mungbohne ( <i>Vigna radiata</i> L.)	zunehmende Expositionsdauer			Wurzelwachstum.  Wurzelbildung.  Oxidativer Stress.  Oxidativer Schaden in den Wurzeln.

So kommen einige Studien zu dem Schluss, dass oxidativer Stress infolge von elektromagnetischer Bestrahlung mit zunehmender Bestrahlungsdauer entsteht (SINGH et al. 2009 und 2012). Dieser geht z.B. einher mit vermindertem Wurzelwachstum. Andere Autoren finden keinen derartigen Zusammenhang und die Expositionsdauer hat keinen erkennbaren Einfluss auf das Wuchsverhalten. Eher sind bestimmte Kombinationen der drei Faktoren (Frequenz, Feldstärke und Expositionsdauer) ausschlaggebend für das Entstehen von oxidativem Stress in den Zellen (TKALEC et al. 2005 und 2007). Rein magnetische Befeldung von Mungbohnen ergab einen zusammenhängenden Bereich von Frequenzen,

welche sich hemmend auf das Wachstum ausübten. Die nächst kleinere und die nächst größere Frequenz zeigten dagegen stimulierende, also das Wachstum anregende Wirkung. Anzunehmen ist daher auch, dass raschwüchsige und kurzlebige Pflanzen wie Wasserlinse und Mungbohne zwar schneller und stärker schon auf geringe Einflüsse reagieren, was einen Nachweis der Entstehung oxidativen Stresses durch Hochfrequenzfelder erleichtern könnte. Sie reagieren aber offenbar nicht einheitlich, sondern höchst unterschiedlich und nicht prognostizierbar. Dem Nichtzustandekommen einer konkreten Aussage diesbezüglich, ist auch die Tatsache geschuldet, dass kaum eine Studie direkt mit einer anderen vergleichbar ist, weil jeder Autor unterschiedliche Einflussparameter verwendet hat. So tauchen zwar z.B. die Frequenzen von 400 und 900 MHz mehrfach auf. Jedoch sind die Begleitfaktoren nicht dieselben und es bräuchte ein Vielfaches der bereits erfolgten Studien, die die übrigen Faktorenkombinationen erschöpfend austesten müssten, um zu beweisbaren und aussagekräftigen Schlüssen zu gelangen.

Im Bereich der Entstehung oxidativen Stresses durch elektromagnetische Felder in Bäumen gibt es bislang keine Untersuchungen. Die 1995 am Standort der Skruna Radar-Station in Lettland untersuchten Nadeln aus Keimlingen von vorher der Strahlung ausgesetzten Zapfen, zeigten lediglich Reaktionen in den Chloroplasten, die auf unspezifischen Zellstress hindeuten. Dies ist kein Beweis für das Vorhandensein von oxidativem Stress. Immerhin ist dies aber ein Anzeichen dafür, dass elektromagnetische Strahlung fähig ist, Veränderungen im pflanzlichen Gewebe zu verursachen, die erst zwei Jahre später in Erscheinung treten. Diese Veränderungen könnten also auf eine Beeinflussung des Erbmaterials zurückgeführt werden. Aufgrund dieser Ergebnisse sollten weitere Untersuchungen mit Samen von Bäumen erfolgen. Überhaupt scheint das Stadium der Samenbildung, der Keimung und des anfänglichen Wachstums stärker auf Strahlungseinflüsse von außen zu reagieren, als dies der Baum in späteren Entwicklungsstadien tut.

Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, dass das Sonnenlicht in seinem Spektrum eine Frequenz beinhaltet, die zu Schäden an organischem Gewebe führen kann. Dies ist die UV-B-Strahlung, welche gewöhnlich in der Atmosphäre abgeschwächt wird und zusätzlich in der Epidermis durch das antioxidative System abgehalten werden kann. Sie ist fähig, zellulären und in der Folge oxidativen Stress auszulösen, da sie freie Sauerstoffradikale aktiviert. So führt sie zu sichtbaren äußeren Schäden, wie Nekrosen und Chlorosen und zu inneren Beeinträchtigungen physiologischer und biochemischer Prozesse. Dabei absorbieren die Nucleinsäuren (Bestandteile der DNA), Proteine und die Phytohormone die UV-B-Strahlung, was in der Folge zu spontanen Mutationen führen kann. Dies kann die Inaktivierung einzelner Enzyme führen und die gesamte Entwicklung der Pflanze beeinträchtigen. Auch sind Blütenteile, die Samen vieler Arten und die Kotyledonen der Keimlinge im Gegensatz zu verholztem Gewebe sehr dünnhäutig und fragil in ihrer Struktur und reagieren darum sensitiv auf UV-B-Strahlung. (BRUNOLD et al. 1996) Jegliche Einwirkung einer zusätzlichen und unnatürlichen hochfrequenten Strahlung ist daher fähig, die Prozesse der Samenausbildung und der Keimung zu stören und zu verändern (vergl. BERNATZKY 1994).

## 2.2. Feldstudien an Bäumen

### 2.2.1. Einführung

Im Zuge des als Waldsterben in den 1980er Jahren bekannt gewordene auffällige Absterben von Waldbeständen in Deutschland, suchten einige Wissenschaftler, sowie auch einige Physiker und Ingenieure, diese negative Entwicklung durch einen weiteren Einflussfaktor zu erklären: Bäume leiden unter der Bestrahlung mit elektromagnetischen Hochfrequenzwellen, hieß die Arbeitshypothese, dessen Beweisführung auf unterschiedlichen Wegen erfolgte:

Der Dipl. Forstwirt **C.E.E. SCHULTE-UEBBING (1984)** führte einfache Versuche mit einem **Faraday'schen Käfig** durch, mit dem er geschädigte Fichten abschirmte. Innerhalb von 2 Monaten erholten sich 11 der 15 abgeschirmten Bäume (WALDMANN-SELSAM 2010). (Diese Studie diene nur der Kenntnisnahme. Sie taucht aufgrund fehlender Kenntnis der Einflussgrößen nicht in der unten stehenden Tabelle auf.)

### 2.2.2. Vorstellung der Studien

Die folgenden Studien werden im Anschluss in Tabelle 5 zusammengefasst dargestellt.

- X.** Von 1984 bis 1992 untersuchten Forscher in Michigan, USA, den Einfluss von ELF- (extremly low frequency) Feldern auf Bäume. Eine Sendestation, die weltweit U-Boot-Funk übermittelt und mit einer Frequenz von 76 Hz sendet, wurde ausgewählt, da diese über weite Strecken den Wald befeldete. Untersucht wurden die Zuwächse (Dicken- und Höhenzuwachs) von **Rot-Eiche** (*Quercus rubra*), **Rot-Ahorn** (*Acer rubrum*), **Papier-Birke** (*Betula papyrifera*), **Pappel** (*Populus sp.*) und **Rot-Kiefer** (*Pinus resinosa*). Nach sieben Jahren kontinuierlicher Strahlenexposition der Bäume, konnten bei Rot-Eiche und Papier-Birke keine Abweichungen im Zuwachs zu den Kontrollbäumen in 50 km Entfernung zum Sender festgestellt werden. Pappel und Rot-Ahorn zeigten dagegen einen erhöhten Dickenzuwachs und die Rot-Kiefern einen verstärkten Höhenzuwachs. Zwar waren alle Abweichungen statistisch signifikant ( $P < 0.05$ ). Jedoch konnte nicht von einer besonders starken Ausprägung und auch nicht von einer Abhängigkeit der Abweichungen zur Expositionsdauer gesprochen werden (**REED et al. 1993**).

**XI.** SCHMUTZ et al. (1996) untersuchten ebenfalls das Wachstum junger Bäume unter dem Einfluss von EM-Feldern. Jedoch wurde dieser Versuch künstlich angelegt und die Strahlenquelle war ein Radargerät, welches mit 2450 MHz, horizontal polarisierte Wellen sendete.

Vier Jahre alte **Fichtensämlinge** (*Picea abies* L.) und drei Jahre alte **Buchensämlinge** (*Fagus sylvatica* L.) wurden in vier Gruppen gepflanzt. Jede Gruppe bestand aus 135 Bäumen. Die Erste wurde als ovale Fläche direkt vor die Hauptstrahlrichtung der Radarantenne gepflanzt. Die Zweite als lang gezogenes Halboval mit etwas Abstand da herum. Die dritte Gruppe wurde in Form einer Halbkreisfläche in einiger Entfernung zum Sender, aber auch in der Hauptstrahlrichtung, angelegt und die vierte Baumgruppe wurde als Referenzgruppe hinter den Sender gepflanzt und mit einer Metallplatte von der Strahlung abgeschirmt. Aus den Anordnungen der Gehölzgruppen ergaben sich folgende Leistungsflussdichten bei eingeschaltetem Radargerät: Gruppe 1 mit 10 - 30 mW/cm<sup>2</sup>; Gruppe 2 mit 1 – 3 mW/cm<sup>2</sup>; Gruppe 3 mit 0,1 – 0,3 mW/cm<sup>2</sup> und Gruppe 4 mit <0,001 mW/cm<sup>2</sup>. Die Expositionsdauer erstreckte sich kontinuierlich über 3,5 Jahre. Ein thermischer Effekt aufgrund der Strahlungsdichte entstand bei Gruppe 1. Diese Bäume wurden permanent leicht erwärmt.

Die Mikrowellen-Exposition hatte keinen Effekt auf die Konzentrationen der Hauptnährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Schwefel) in den Fichtennadeln. Auch auf das Höhenwachstum beider Baumarten hatten weder die Frequenz, noch die Leistungsflussdichte einen erkennbaren Einfluss, da die Zuwachsunterschiede scheinbar zufällig verteilt lagen. Auch die Vitalität, die jedes Jahr im Sommer mittels der Chlorophyll-Fluoreszenz in den Buchenblättern gemessen wurde, zeigte in allen Jahren keine erkennbaren Veränderungen. Lediglich die Calcium- und Schwefelwerte in den Buchenblättern waren in den ersten beiden Jahren signifikant (um bis zu 33 %) erniedrigt. Dabei stieg die Erniedrigung parallel zur steigenden Leistungsflussdichte. Im dritten Jahr waren diese Werte nicht mehr signifikant voneinander verschieden und waren wieder leicht gestiegen. Die Calcium-Werte sanken dabei jedoch nicht unter den Suffizienz-Gehalt von 300-15.000 ppm Trockengewicht. Auch die erniedrigten Schwefel-Gehalte waren im Hinblick auf das Schwefel-Stickstoffverhältnis (von 0,032 – 0,044) nicht signifikant verschieden von dem gesunder Bäume (0,028 – 0,036). Somit sind diese beiden Veränderungen, die mutmaßlich durch die Radarbestrahlung hervorgerufen vermutet wurden, nicht signifikant ausgeprägt und daher bei der Suche nach Auswirkungen der HF-Strahlung auf Bäume zu vernachlässigen, so die Forscher.

**XII.** Ein weiterer langjähriger Feldversuch wurde in Lettland an **Kiefern** unternommen. Dort steht die Skruna-Radarstation, die in den 1960er Jahren von Russland erbaut wurde und der Fernortung von Raketen diente.

Von 1959 bis 1988 wurden die Kiefern im Strahlungsbereich (1 – 5 km Entfernung zum Sender) auf ihre Dickenzuwächse untersucht, da man diese als repräsentative Reaktionen der Bäume auf Umwelteinflüsse sah. Dabei zeigte sich eine signifikant abnehmende Jahrringbreite nach 3-5 Jahren nach Inbetriebnahme der Senderstation, im Gegensatz zu

Kontrollgebieten ohne Strahlungsexposition, wo verringerte Jahrringbreiten nur punktuell auftraten und keinen Trend erkennen ließen (**BALODIS et al. 1996**).

**XIII.** Wie schon vier Jahre zuvor, wurden auch hier mögliche Einflüsse hochfrequenter Radarstrahlung auf Bäume untersucht: **GÖTZ et al. (2000)** führten an zwei **Fichten** (*Picea abies L.*) und einer **Buche** (*Fagus sylvatica L.*) Kronenbestrahlungen durch. Eine Radarortungsanlage, die mit der extrem hohen Frequenz von 9,44 GHz, einer Pulsfolgefrequenz von 920 Hz und einer Pulsdauer von 0,5 µs sendete, wurde in unmittelbarer Nähe zu den Bäumen installiert. Es wurde dann gezielt jeweils eine Kronenhälfte mit Mikrowellen bestrahlt, während die andere Hälfte mit einem engmaschigen Drahtgeflecht abgeschirmt wurde und als Vergleichsfläche diente. Innerhalb des vertikalen ellipsenförmigen Strahlenkegels wurden Leistungsflussdichten von max. 47,1 mW/cm<sup>2</sup> gemessen, welche nach außen hin bis auf 6 mW/cm<sup>2</sup> abfielen. Die Bestrahlung erfolgte drei Jahre lang, jeweils im Sommer drei Monate am Stück.

Hinterher wurden verschiedene Untersuchungen an den bestrahlten Bereichen gemacht und mit den unbestrahlten Kronenteilen verglichen. So ermittelte man Längenzuwächse von neu gebildeten Ästen, sowie von Blättern und Nadeln. Auch wurde die Blatttrockenmasse bestimmt. Des Weiteren wurden CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O - Gaswechsellmessungen, sowie Saftflussmessungen mit quantitativen Xylemflussmessern durchgeführt. Sämtliche dieser Versuchsergebnisse waren annähernd identisch mit den Messungen aus den abgeschirmten Kronenteilen. Es zeichnete sich also in keiner Weise eine sicht- oder messbare Auswirkung der Radarbestrahlung auf die Bäume ab.

**XIV.** Eine weitere Studie befasst sich mit der HF-Bestrahlung auf Waldbäume. **LERCHL et al. (2000)** untersuchen die möglichen Auswirkungen an einjährigen Sämlingen von **Zwerg-Kiefer** (*Pinus pumila*), **Weiß-Tanne** (*Abies alba*) und **Riesen-Tanne** (*Abies grandis*).

Insgesamt rund 450 Bäumchen wurden in zwei Gruppen geteilt und die eine wurde bestrahlt. Beide Gruppen wuchsen unter ansonsten selben Bedingungen; gewässert wurde nach Bedarf. Bestrahlt wurden die Bäumchen kontinuierlich über 222 Tage mit einer gepulsten Frequenz von 383 MHz, dessen elektrischer Vektor vertikal polarisiert wurde und sich damit parallel zur Stammachse ausbreiten konnte. Es wurden regelmäßig die Längen- bzw. Höhenzuwächse gemessen, sowie die Chlorophyllgehalte und die Verhältnisse von Chlorophyll-a zu Chlorophyll-b ermittelt.

Es konnten bei keiner Baumart signifikante Abweichungen in den Längenzuwächsen festgestellt werden. Bei *Pinus pumila* wurden verringerte Chlorophyll-Gehalte nach der Exposition festgestellt. Sie waren bei *Abies alba* nicht aufgenommen worden und bei *Abies grandis* nicht verschieden zu denen der Kontrollpflanzen. Das auffälligste Ergebnis der Studie war eine signifikant erhöhte Sterberate bei allen Koniferenarten unter Strahlungsexposition. Bei *Pinus pumila* starben während der 222 Tage 6 % der Kontrollpflanzen und 20,4 % der exponierten Individuen. Bei *Abies alba* waren es 17,9 % der Kontrollen und 38,4 % der exponierten Pflanzen und bei *Abies grandis* gingen 6,7 % der Kontrollen und

16,3 % der befeldeten Bäumchen ein. Die Autoren schließen aus dieser Studie, dass die elektromagnetische Frequenz von 383 MHz einen negativen Einfluss auf die Physiologie exponierter Koniferen habe. Auch sei die stärkste Ausprägung der Einflüsse bei *Pinus pumila* möglicherweise dadurch zu erklären, dass diese Baumart in der Jugendphase ihre Nadeln annähernd vertikal ausrichtet (im deutlichen Gegensatz zu *Abies grandis*) und somit für vertikal polarisierte Mikrowellen eher empfänglich und anfällig sein könnte.

**XV.** Besondere Bedeutung kommt einer Feldstudie aus neuerer Zeit zu. Es ist eine Bachelor-Arbeit einer Forstwissenschafts-Studentin: **KRETZSCHMAR (2010)** untersucht den Einfluss hochfrequenter Strahlung von Mobilfunkbasisstationen auf **Waldbäume**.

Diese senden im GSM- und GSM-R (Bahnfunk)-Standard, also sowohl im Frequenzbereich zwischen 876 und 960 MHz, als auch zwischen 1,71 und 1,88 GHz in Deutschland. Somit haben Mobilfunksendemasten nicht eine Frequenz, auf der sie senden, sondern ein sog. Frequenzband, welches sich über einen mehr oder weniger großen Frequenzbereich erstreckt. Im Einzelfall kann so individuell auf verschiedenen Frequenzen gesendet werden. Bei der Installation mehrerer Sender an einem Mast, besteht dabei auch die Möglichkeit der gleichzeitigen Aussendung elektromagnetischer Felder verschiedener Frequenzen und Feldstärken. Dies wiederum bedeutet auch das Auftreffen verschieden starker Wellen in unterschiedlicher zeitlicher Ausprägung (aufgrund der Pulsung der Signale) auf die Wipfel von Bäumen im Sendebereich der Antennen. (Anm. d. Verf.)

Zunächst wäre aufgrund dessen anzunehmen, dass dies einen erhöhten Stress für Bäume bedeutet und physiologische Folgen eher sichtbar sein würden.

Gemessen wurden die jeweiligen Feldstärken der Wellen in verschiedenen Entfernungen zum Sender und an den aufgenommenen Bäumen in ca. 1,30 m Höhe über dem Boden. Dabei wurden winzigste Werte zwischen 0 und 140  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  ermittelt. Beurteilt wurden die Kronen der Bäume auf Grundlage der Vitalitätsstufen nach ROLOFF (2001). Zwar zeigte sich in den vier aufgenommenen Beständen, dass es Schwankungen in den Vitalitätsstufen gibt (von ca. 0,5 – 2,5), also dass in allen Beständen sehr vitale bis mittelmäßig vitale Bäume stehen. Ein plausibler Zusammenhang zwischen den Kronenvitalitäten und den Entfernungen zu den Sendern, sowie den am Baum gemessenen Feldstärken, konnte jedoch nicht gefunden werden. Somit schließt die Autorin, dass hochfrequente Mobilfunkwellen keine signifikanten Auswirkungen auf die Vitalität von Waldbäumen haben.

**Tabelle 5:** Auflistung der Feldstudien an Bäumen, sortiert nach Erscheinungsjahr.

Nr.	Autoren, Titel	Pflanzenart	Expositions- dauer	Frequenz	Leistungs- flussdichte
X	<b>REED et al. (1993)</b> "Effects of 76 Hz EM-fields on forest ecosystems in northern michigan: tree growth."	Rot-Eiche ( <i>Quercus rubra</i> ), Rot-Ahorn ( <i>Acer rubrum</i> ), Papier-Birke ( <i>Betula papyrifera</i> ), Pappel ( <i>Populus sp.</i> ) und Rot-Kiefer ( <i>Pinus resinosa</i> )	kontinuierlich von 1985 - 1992	76 Hz	magnetische Flussdichte: 0.5 - 8.5 Gs  (1 Gs (Gauß) = 10 <sup>-4</sup> Tesla)
XI	<b>SCHMUTZ et al. (1996)</b> "Long-term exposure on young spruce and beech trees to 2450-MHz microwave radiation."	Fichte ( <i>Picea abies L.</i> ) (4 jährig) und Buche ( <i>Fagus sylvatica L.</i> ) (3 jährig)	kontinuierlich über 3.5 Jahre	2.45 GHz	0.007 - 300 W/m <sup>2</sup>
XII	<b>BALODIS et al. (1996)</b> "Does the Skruna Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees?"	Wald-Kiefer ( <i>Pinus sylvestris L.</i> )  (50 – 90 Jahre)	kontinuierlich von 1959 - 1988	154 - 162 MHz	4 Sender a 1.25 mW/m <sup>2</sup>
XIII	<b>GÖTZ et al. (2000)</b> „Fichte und Buche unter dem Einfluss von Radarbestrahlung.“	Fichte ( <i>Picea abies L.</i> ), Buche ( <i>Fagus sylvatica L.</i> )  (17 und 18 jährige Bäume, Höhen 7 – 8 m)	(1995, 1996, 1997) jeweils Mai - August	9,445 GHz	6 – 47,1 mW/cm <sup>2</sup>
XIV	<b>LERCHL et al. (2000)</b> "Studies on the effect of radio-frequency fields on Conifers."	Zwerg-Kiefer ( <i>Pinus pumila</i> ), Weiß-Tanne ( <i>Abies alba</i> ), Riesen-Tanne ( <i>Abies grandis</i> )  (einjährige Sämlinge)	Oktober 1999 - Mai 2000 (222 Tage)	383 MHz (gepulst)	50 W
XV	<b>KRETZSCHMAR (2010)</b> "Strahlungsschäden an Bäumen durch Funkmasten?"	Waldbestände mit unterschiedlichen Arten und Altersstufen	kontinuierlich über 5 Jahre	876 - 960 und 1710 - 1880 MHz	0 - 140 µW/m <sup>2</sup>

### 2.2.3. Schlussfolgerungen

Alle o.g. Studien sind höchst unterschiedlich in ihren Herangehensweisen und der Wahl von Einflussparametern, sodass es unmöglich ist, aufgrund dessen zu einer klaren Aussage bezüglich der Strahlungsschäden auf Bäume zu kommen. Dies kann also hier nicht das Ziel der Bewertung sein. Vielmehr muss versucht werden, sich durch den Vergleich einzelner Parameter, die in den Studien verwendet wurden und mit anderen ähnlich sind, versuchsweise Prognosen anzunähern. Doch auch dies will nicht gelingen, wenn man nicht sehr große Klassen definieren möchte. So würde nämlich jede Studie zum einzigen Vertreter ihrer Klasse und auf dieser Grundlage ist kein statistischer Vergleich möglich.

Lediglich die Ergebnisse der Studien lassen sich grob unterteilen in a): „Auswirkungen gefunden“ und b): „keine Auswirkungen gefunden“. Dies verdeutlicht Tabelle 6:

**Tabelle 6:** Ergebnisbezogener Vergleich der Feldstudien.

<b>a) „Auswirkungen gefunden“</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>D.D. REED et al., 1993:</b> "Effects of 76 Hz EM-fields on forest ecosystems in northern michigan: tree growth."	Erhöhter Durchmesserzuwachs von Pappel und Rot-Ahorn. Verstärkter Höhenzuwachs der jungen Rot-Kiefern. (Alle Abweichungen zu den Kontrollbäumen waren zwar statistisch signifikant, aber nicht besonders stark und eindeutig ausgeprägt).
<b>V. BALODIS et al., 1996:</b> "Does the Skruna Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees?"	Dauerbefeldung der Kiefern führte nach 3-5 Jahren nach Inbetriebnahme der Sendestation zu signifikant abnehmendem Dickenzuwachs, also schmalere Jahresringen.
<b>D. LERCHL et al., 2000:</b> "Studies on the effect of radio-frequency Fields on Conifers."	1. Wachstum nicht unterschiedlich, 2. Chlorophyllgehalt in <i>P. pumila</i> gesenkt, 3. Sterberate signifikant erhöht bei exponierten Pflanzen.

## b.) „keine Auswirkung gefunden“

## Ergebnis

---

<b>D.D. REED et al., 1993:</b> "Effects of 76 Hz EM-fields on forest ecosystems in northern michigan: tree growth."	keine Auswirkungen bei Rot-Eiche und Papier-Birke feststellbar.
<b>P. SCHMUTZ et al., 1996:</b> "Long-term exposure on young spruce and beech trees to 2450-MHz microwave radiation."	Keine Wirkungen nachweisbar. Bestrahlte Bäume entwickelten sich nicht signifikant anders zu den Kontrollbäumen, Nährstoffgehalte waren normal, keine Ausfälle.
<b>B. GÖTZ et al., 2000:</b> „Fichte und Buche unter dem Einfluss von Radarbestrahlung.“	Keine erkennbaren Unterschiede zwischen exponierten und Kontrollbäumen feststellbar
<b>S. KRETZSCHMAR, 2010:</b> "Strahlungsschäden an Bäumen durch Funkmasten?"	Keine erkennbaren Unterschiede zwischen exponierten und Kontrollbäumen feststellbar

Hier wiederum gibt es zwei Studien unter a), die Auswirkungen auf das Dickenwachstum der Bäume festgestellt haben. So scheint eine langjährige Befeldung mit 76 Hz das Dickenwachstum (leicht) zu beschleunigen, Hochfrequenzen von 154 – 162 MHz dagegen haben offensichtlich eine Verringerung des Durchmesserzuwachses zur Folge.

Die Hälfte der Studien kommt jedoch (mehr oder weniger) eindeutig zu dem Schluss, dass technisch erzeugte Mikrowellen in keiner Hinsicht schädigenden oder stimulierenden Einfluss auf die Vitalität von Bäumen nehmen. Dies wurde zum einen laut der Forscher für die Radarstrahlung hinreichend bewiesen (SCHMUTZ et al. 1996; GÖTZ et al. 2000). Auch scheinen die Frequenzen um 900 MHz und 1,8 GHz keinen Einfluss zu haben (KRETZSCHMAR 2010), die heute vielfach durch die Mobilfunktechnik genutzt werden.

Um zu einer statistisch verwertbaren und damit wissenschaftlich brauchbaren Datensammlung zu kommen, müssen weitere derartige Studien wie sie hier vorgestellt wurden, folgen.

## 2.3. Theorien der Wirkungsweisen und phänomenologische Beobachtungen an Bäumen

### 2.3.1. Theorien

Im Laufe der Debatte um das Waldsterben in den 1980er Jahren, entwickelte sich in einem Kreis deutscher Forscher eine neue Theorie bezüglich der Wirkungsweise elektromagnetischer Strahlung im pflanzlichen und speziell im Blattgewebe von Bäumen. So zitiert BERNATZKY (1994) VOLKRODT: „Die Wirkung von EM-Wellen erfolgt durch Resonanz. Koniferennadeln und Laubblätter wirken als Antennen, und zwar die Nadeln als Stab-Dipol (Yagi-Antenne), der mit einem Viertel der auf ihn eintreffenden Wellenlänge in Resonanz gerät. Ein Laubblatt (Buche) aber entspricht einer logarithmisch gestuften Antenne:

Die gestuften Dipole ermöglichen den Empfang weiterer Hochfrequenzbereiche (Breitbandantenne). Mittels der Blattadern nehmen die Bäume die EM-Wellen, besonders im Bereich 2-24 cm<sup>1</sup> auf. Eine alte große Buche, die in einer Richtfunkstrecke steht, kann bis zu 3 Watt elektrische Leistung einfangen. Das ergibt in 10 Jahren 263 Kilowattstunden an elektrischer Energie, mit der Baum und Erdreich (über die Wurzeln) fertig werden müssen.“

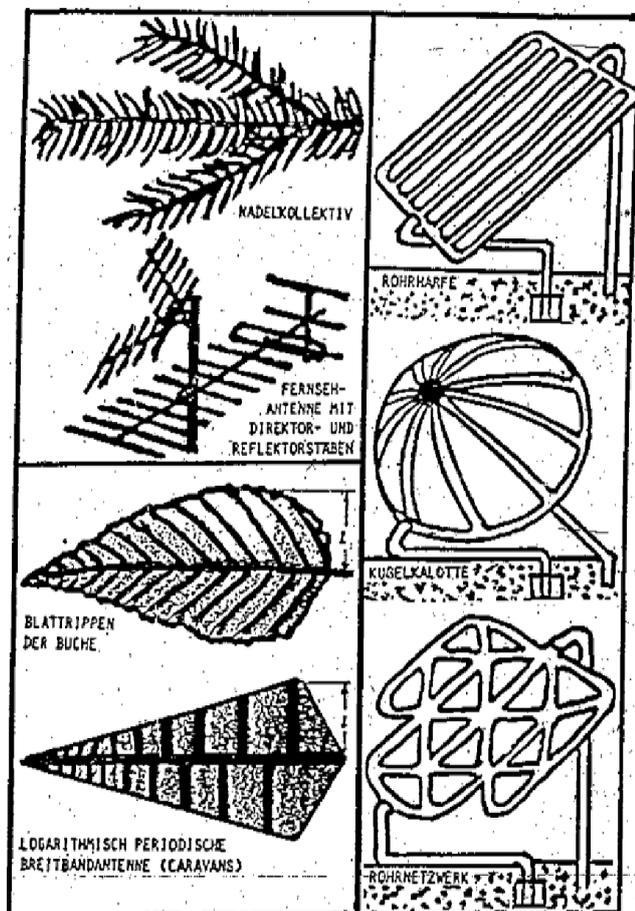


Abbildung 5: Vergleiche von Blättern und Nadeln mit Antennen.  
(Quelle: VOLKRODT 1992)

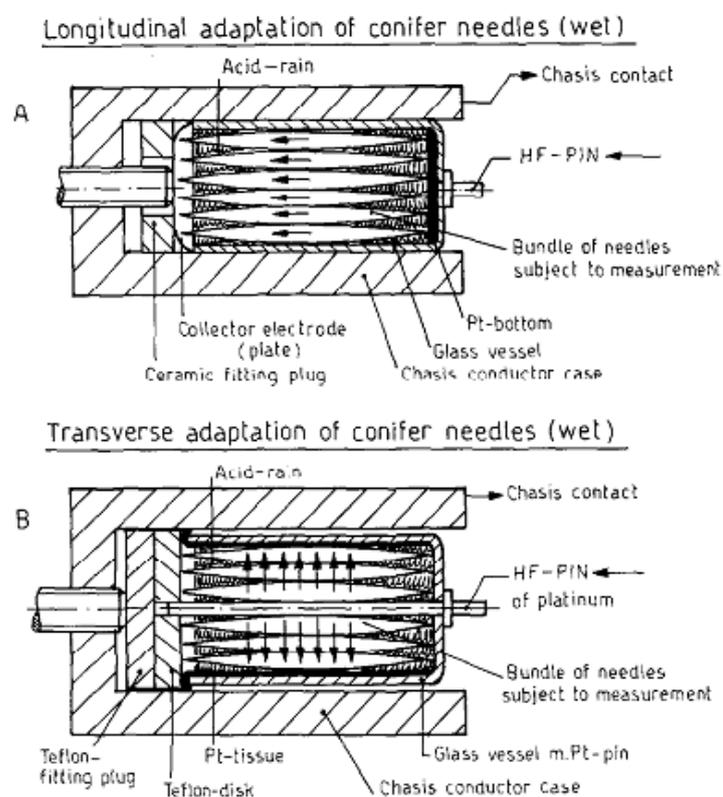
Ausführlicher geht VOLKRODT (1992) darauf ein: Die vom Baum aufgenommenen elektromagnetischen Wellen würden im elektrisch leitfähigen Saftstrom in mitwandernde elektrische Ladungen umgewandelt und führten dort zur Ionisierung der Mineralien. Diese könnten aufgrund des permanenten Einfalls weiterer Ionen nur mit den gelösten Assimilaten nach unten in die Wurzeln und von dort ins Erdreich abwandern. Das Erdreich

<sup>1</sup> ca. 1,2 – 12 GHz

werde daraufhin ionisiert, sodass in der Bodenlösung befindliche Mineralien von den Wurzeln nicht mehr aufgeschlossen werden könnten. Auch verändere sich das biologische Bodenleben negativ. Dieser Mechanismus sei ähnlich dem der Elektrolyse, so der Physiker. Diese bedeute eine Abspaltung von Wasserstoff-Ionen, die als Protonen in die Bodenlösung gelangen und zu einem Abfall des Boden-pH-Wertes beitragen würden. Diese Versauerung gehe dabei so lange stetig weiter, wie Ionen durch die elektromagnetische Strahlung nachgeschoben würden.

Dieser Theorie ging auch **HOMMEL (1987)** nach: Er untersuchte die elektrischen Feldstärken in Höhenlagen (dort, wo das Waldsterben als erstes beobachtet wurde) bei Pforzheim und bei Rastatt zwischen Karlsruhe und Baden-Baden. Auch maß er dort die **elektrische Leitfähigkeit von Tannennadeln** mittels einer speziellen Apparatur.

Diese waren je nach vor Ort gemessener Feldstärke, sowie des Alters der Nadeln unterschiedlich. Diesjährige Nadeln zeigten im Sommer stark ansteigende Leitfähigkeiten mit ansteigenden Frequenzen. Einjährige Nadeln wiesen dagegen im Sommer zunächst ein exponentielles Ansteigen der Leitfähigkeit bis zu einer Frequenz um 900 MHz auf. Bei weiter steigender Frequenz sank die Leitfähigkeit jedoch wieder exponentiell ab. Aufgrund unterschiedlicher Polarisation anthropogen erzeugter HF-Wellen, nämlich sowohl horizontal (die meisten VHF-Radio und TV-Transmitter), als auch vertikal (selten genutzt), wurde angenommen, dass sich die Wellen auch in den Nadeln auf zwei verschiedene Arten ausbreiten können: Längs der Nadel (longitudinal) und senkrecht, also quer (transversal), dazu (Abb. 6).



**Abbildung 6:** Apparat zur Messung des elektrischen Widerstandes in Nadeln. A: Longitudinale Adaption eines Nadelbündels. B: transversale Adaption der Nadeln. (Quelle: HOMMEL 1987)

Physiologische Auswirkungen des elektromagnetischen Stresses in den Nadeln wären zuerst während der Aushärtung im Herbst durch die ersten Fröste und ebenfalls während der Enthärtung im Frühjahr zu beobachten, wo die Nadeln durch die mögliche Frosttrocknis durch Spätfröste erhöht empfindlich wären, so der Wissenschaftler.

Die Wirksamkeit von VHF- (very-high frequency) und UHF- (ultra-high frequency) Wellen in Nadeln ist nach HOMMEL (1987) ebenfalls vom Wassergehalt und der Temperatur in den Zellen abhängig. Vom Wassergehalt sei die Schwingungsrate der Nadel abhängig. So hätten Eiskristalle (im Winter) eine weitaus niedrigere Schwingungsrate (1 - 10 KHz) als Wasser, welches mit bis zu 20 GHz (also 20 Mrd. Schwingungen pro Sekunde) in Resonanz treten könne. Phospholipid-Membranen in den Zellen könnten ebenfalls in Schwingung versetzt werden (zw. 10 KHz und 20 GHz).

Transversaler Stress durch UHF-Wellen führe zu einem Anstieg der Aufnahmefähigkeit dieser Wellen; im Gegensatz zu longitudinalem Stress, durch den die Aufnahmefähigkeit nicht erhöht werde. Dies bedeutet nach HOMMEL (1987), dass alle Nadeln, die der Polarisations Ebene von UHF-Wellen ausgesetzt wären, einem höheren Stress unterliegen würden, wobei in jedem Fall nur ein Teil der Nadeln eines jeden Baumes betroffen sei, nämlich nur diejenigen, die exakt in den Polarisations Ebenen ausgerichtet wären. Dies würden bei Fichten mehr Nadeln bedeuten, als bei Kiefern, da neben den Zweigen auch die Nadeln zu einem großen Teil annähernd horizontal ausgerichtet seien.

Infolge der Aufnahmefähigkeit des Wassers würden dann die Mikrowellen in alle Teile des Baumes transportiert (HOMMEL 1987). Dort bewirkten sie Änderungen der jeweiligen Ladungszustände an den Zellmembranen und in den Membranumgebungen. Des Weiteren würden deren Permeabilitäten (Durchlässigkeit) negativ verändert werden, periphere Proteine würden abdissoziiert, Membranlipide entsättigt (desaturiert) und es trete eine bleibende Hyper- bzw. Depolarisation in den Membranen ein. (BERNATZKY 1994, nach HOMMEL 1987)

Diese Annahmen decken sich in gewisser Weise mit den Symptomen, die durch oxidativen Stress hervorgerufen werden: Zunächst reagieren die Sauerstoffradikale mit Bestandteilen der Zellmembranen und oxidieren diese. Dies entspricht einer Änderung von Ladungszuständen (s.o.). Die daraufhin veränderten Durchlässigkeiten der Membranen, werden von ZIMMERMANN & ZENTGRAF (2004) als „Auslaufen“ der Zelle beschrieben, was durch die Peroxidation des Plasmalemmas herbeigeführt wird. Die Folge davon ist eine Depolarisierung in den Membranen (s.o.).

Weitere Forscher behaupten, dass durch ins pflanzliche Gewebe eindringende HF-Wellen neben der Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit und der abnehmenden Durchlässigkeit der Zellwände (HOMMEL 1987), auch die Wasserleitbahnen verengt würden. Dies ist bislang nicht belegt. Der Effekt des Trockenstresses könnte vielmehr durch das Austrocknen der Zellen durch oxidativen Stress eintreten. Andernorts wurde er durch die extreme Versauerung des Bodens und der daraus resultierenden Unfähigkeit des Baumes, den Transpirationssog aufrecht zu erhalten, erklärt (s. HERTEL 1991).

Wie natürliche elektromagnetische Strahlung, die chemische Reaktionen im Organismus auslöse und dadurch einen Informationsaustausch der einzelnen Körperzellen ermögliche (BISCHOF 2000), würden auch die anthropogen erzeugten Mikrowellen in dieses System eingreifen und es empfindlich stören. Phytohormone, deren Produktion eng mit dem elektromagnetischen Informationsaustausch zwischen den Zellen in Verbindung stehe,

würden gehemmt. Dies zeige sich, laut der Forscher, an Wachstumsstörungen und anderen aus Stress resultierenden Reaktionen der Bäume. Alles in Allem wären die physiologischen Prozesse im Baum in Form einer Dekodierung durcheinandergebracht (BERNATZKY (1994), nach PRESMAN (1970), KÖNIG (1986), KÄS (1986) und ENDRÖS (1981)).

**VOLKRODT (1987)**, Elektrotechniker, Physiker und Erfinder, befasste sich mit Bäumen in den deutschen Mittelgebirgen. Am Ochsenkopf und Schneeberg im Fichtelgebirge, am Wurmberg im Harz und an der Wasserkuppe in der Rhön dokumentierte er starke Schädigungen an geografisch exponierten Nadelholzbeständen.

Aus Sicht des Physikers besteht aufgrund des rasanten Ausbaus neuer Fernsehfunk-, Richtfunk- und Radaranlagen während des kalten Krieges und der zeitgleich auftretenden Waldschäden, ein direkter Zusammenhang. Würde man oben genannte Waldstandorte besuchen, so könne man immer im Sichtbereich Sendeanlagen finden, die elektromagnetische Hochfrequenzen versenden. So wären bei an den Hängen exponierten Bäumen die meisten kranken und sterbenden Exemplare zu verzeichnen, während Bäume, die im Funkschatten stünden, überwiegend gesund wären. Darüber hinaus sei auch der Boden an strahlenexponierten Standorten saurer als der in nahe gelegenen, aber abgeschirmten Bereichen. Dieses Phänomen könne nicht durch den sauren Regen verursacht werden, so VOLKRODT (1997), denn dieser würde zu einer ungerichteten und flächendeckenden Versauerung des Bodens führen.

Das Entstehen der lokal begrenzten Bodenversauerung hat er im Jahre 1987 mit seiner Theorie der Antennenwirkung versucht zu erklären (s.o.). Eine Antenne wandelt nämlich die einfallende Feldenergie in Leiterelektronen um, die dann wie bei einem Blitzableiter der Masse folgend, in den Erdboden geleitet werden, wo sie durch eine Ionenverschiebung den Boden-pH absenken.

Dies ist jedoch offenbar nicht direkt der Fall, denn es lässt sich keine elektrische Spannung im Boden messen! Also muss die von den Bäumen aufgenommene Energie auf andere Weise in den Erdboden gelangen. 10 Jahre später hat der Forscher eine Antwort darauf: Dies geschehe auf folgende Art und Weise über das Wasser:

**VOLKRODT (1997)** geht hier von der Koexistenz zweier „Zustände“ des Wassers aus: Das „Wasser des Lebens“ sei ein Ionen-Dipolkomplex ( $H^+ - OH^-$ ), der zwar die gleiche Summenformel ( $H_2O$ ) habe wie sein Gegenpart, das „Naturwasser“-Molekül (HOH), jedoch genau die diametral entgegengesetzten Eigenschaften aufweise. Beide Formen würden dabei im flüssigen Wasser ständig ineinander übergehen. Eine Spaltung des „Naturwassers“ in den Ionen-Dipolkomplex erfolge bei steigender Temperatur. So sei dann besonders in lebenden Zellen das „lebendige“ Wasser zu finden, welches dort direkt aufgenommen, gespeichert und genutzt werden könne. Jedoch sei diese Form des Wassers sehr empfindlich, da sie sich als Membran in den Zellen aufspanne. So könnten kleinste, kaum messbare Störungen, hervorgerufen durch Schall, Impulse, oder ungewohnte EM-

Wellen ausreichen, um fast energiefreie Fehlinformationen in der Membran zu verursachen. Das Auftreffen der EM-Wellen könne die Membran überdies zerstören und bewirke eine Rückführung des Ionen-Dipolkomplexes in die „tote“ Form (HOH) des „Naturwassers“. Zwar sei diese Rückführung ein natürlicher Vorgang in Pflanzen; jedoch finde sie normalerweise außerhalb der Zellen statt. Durch das Aufschlagen der Mikrowellen komme es schon *in* der Zelle zu der Umwandlung. Dies führe zu Einlagerung von „totem“ Wasser in der Zelle und in der Folge zur Bildung ödematischen und deshalb großporigen Gewebes. Gleichzeitig erfolge die Abspaltung des  $H^+$  vom  $OH^-$ -Ion (Elektrolyse), welcher als Wasserstoff entfliehe. Die Folge sei eine beginnende Austrocknung, die in einen Trockenstress übergehen könne. Der Baum reagiere darauf mit verstärktem Holzzuwachs; jedoch ödematischem und großporigem Holz.

Die Bodenversauerung sei nach Auffassung des Physikers einfach damit zu erklären, dass jede Erregung eines Lebewesens (z.B. durch ungewohnte EM-Wellen) mit einer Ansäuerung einhergeht. So also auch bei den Bäumen, bei denen es die Wurzeln sind, die sauer würden.

Außer den Messungen, die HOMMEL (1987) an Nadeln exponierter Bäume gemacht hat, sind die Aussagen bezüglich der Wirkungsweise der Strahlung in den Bäumen jedoch lediglich Behauptungen. Zwar stammen sie von renommierten Wissenschaftlern und erfahrenen Physikern im Bereich der hochfrequenten EM-Strahlung, lassen sich mit neueren Erkenntnissen vergleichen und klingen daher schlüssig und plausibel; wissenschaftlich belegt ist davon jedoch bislang (v.a. für Bäume) nichts. So müsste man z.B. ödematisches und großporiges Holz in langjährig exponierten Bäumen und eine deutliche Grenze zu gesundem Holz im Stammquerschnitt finden, wenn man der Behauptung von VOLKRODT (1997) glauben soll. Er selbst hat bis heute keine Belege dafür vorgelegt.

Die Parallelen der Behauptungen aus den 1990er Jahren zu den Erkenntnissen aus den Studien des oxidativen Stresses im pflanzlichen Gewebe, wären zu überprüfen. Immerhin ist dies ein erkenntnistheoretischer Ansatz, der mit technisch vorhandenen Mitteln und in vielerlei Weisen weiter untersucht werden kann.

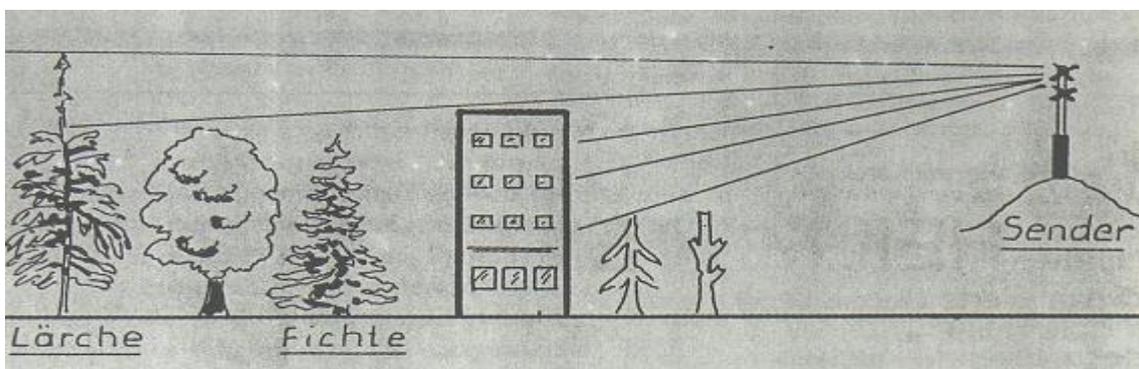
### 2.3.2. Phänomenologische Beobachtungen an Bäumen

Der Fragestellung nach möglichen Einwirkungen von anthropogen erzeugter elektromagnetischer Hochfrequenzstrahlung auf Bäume wurde nicht nur mit Hilfe von Feld- und Laborstudien nachgegangen, sondern in jüngerer Zeit vermehrt durch Beobachtungen über längere Zeitabstände hinweg.

In seinem 1994 erschienenen Buch „Baumkunde und Baumpflege“, beschreibt Dipl. hort. Dr. nat. **A. BERNATZKY** (Pionier der Stadtökologie) eine deutlich erkennbare Schädigung von Bäumen durch Strahlung:

Diese zeige sich durch **Krebsbildung**, sowie durch **Drehwuchs**, **Neigungswuchs**, **Zwieselbildung** (kodominate Vergabelungen), **Wassertriebe** und **Nasskerne**. Diese Phänomene wären zurückzuführen auf sog. „Störzonen“, zu denen Gesteinsspalten, Erzvorkommen und vor allem im Erdreich verlaufende Wasserzüge zählen. Diese „Störzonen“ bewirken eine Änderung im statischen Magnetfeld, sowie in der elektrischen Bodenleitfähigkeit, so BERNATZKY (1994). Zwieselbildung sei dabei als ein „Ausweichen“ des Baumes zu verstehen, nachdem der Haupttrieb durch die aus dem Boden kommenden Wellen abgestorben sei. Drehwuchs würde oft bei Obstbäumen und Rosskastanie auftreten. Ebenfalls häufig bei Obstbäumen käme der Neigungswuchs (Galvanotaxis) vor, der bedeute, dass der Baum der Strömungsrichtung des unterirdischen Wasserlaufes entgegen wachse. Dies sei auch durch Stützen nicht zu unterbinden. Auch Wassertriebe an Stamm und besonders Stammfuß, sowie Nasskerne und v.a. die sog. **Rotfäule** bei Fichte wären Anzeichen für „Störzonen“ im Erdreich. Ebenfalls eine Folge von elektromagnetischen Einflüssen sei die Krebsbildung an Astknoten in der Krone, die mitunter massenhaft ausfallen könne.

Doch auch die anthropogen erzeugten elektromagnetischen Hochfrequenzwellen könnten zu oben genannten Symptomen führen. Daneben sei zu beobachten, dass Bäume, die einer direkten Bestrahlung von Funksendern ausgesetzt seien, **senderseitige Kronenschäden** aufwiesen, die sich durch **Verlichtung** und **frühzeitiges Welken der Blätter** zeigen würden. Dazu gab der Wissenschaftler folgende Zeichnung zur Veranschaulichung:



**Abbildung 7:** „Bäume vor dem Haus sterben ab, da sie von den EM-Wellen der Sender (rechts) getroffen werden. Im Schatten des Hauses wachsen sie ungestört; jedoch darüber hinaus wachsende Äste sterben dort ab, wo die Schutzwirkung des Hauses aufhört“. (BERNATZKY 1994)

Dieses Phänomen der einseitigen Fehlentwicklung und/oder Entlaubung von Baumkronen wird weiterhin beobachtet und an etlichen Stellen vorgefunden. So wurden zunächst Waldbäume untersucht, die augenfällige Schädigungen aufwiesen:

**HERTEL (1991)** untersucht die Auswirkungen von niederfrequenten Kurzwellensendern in den Schweizer Alpen auf **Fichtenbestände** an den Berghängen. Zwei große Sender stellen dort den Funkverkehr nach Süd- und Westafrika her. Sie senden niederfrequente, enorm leistungsstarke Wellen (170.000 und 250.000 Watt), die mit etwa 7 – 9 Grad nach oben gerichtet gegen die Ionosphäre gesendet und von dort reflektiert werden. So können sie die Alpen überwinden, treffen jedoch auch durch die Streuung zu einem Teil auf ihnen auf, was laut HERTEL (1991) am Wald dort deutlich sichtbar sei. Er zeigt, dass die **Jahrringe gefällter Bäume auf der Seite der Strahlenexposition deutlich dünner seien**, als auf der gegenüberliegenden Seite. Die Bäume leiden unter starkem **Trockenstress**, obwohl einige Bestände deutlich feucht wären, was sich durch rasche Schimmelbildung auf Baumstubben zeige. Auch sei ein Bestand abrutschgefährdet, was durch den ständigen Einschuss der Mikrowellen zu erklären sei. Er bewirke eine **Depolarisierung der Substanzen im Boden**, sodass diese energetisch und chemisch verändert und so die Bodenstruktur zerstört würde; (diese These wurde von VOLKRODT (1997) revidiert!).

Säuregradmessungen im Boden und in Baumkronen ergaben eindeutige Abweichungen: Während in Kronen ein ungewöhnlich hoher pH-Wert von im Durchschnitt 8,5 gemessen wurde, fand man im Boden extrem niedrige Werte von durchschnittlich 2,7. Beide Werte befänden sich nach HERTEL (1991) außerhalb eines Bereiches, der ungefährlich für Bäume sei. Nun werde jedoch die Wasserphase optisch aktiv, was zu einer Linksdrehung der Polarisation des Lichtes führe. Solches Licht sei für Pflanzen unbrauchbar und sie würden keine Photosynthese mehr betreiben können, heißt es von einem Dendro-Ökologen, der hinzugezogen wurde und die Messungen durchgeführt hat. Auch zeigte sich an ausgegrabenen Baumstubben, dass die Wurzeln sehr zurückgeblieben und kaum Feinwurzeln gebildet worden waren. Viele der Bäume wurden aufgrund von Markfäule (Rotfäule) gefällt, die besonders bei Staunässe entstände. Offenbar wären die Bäume nicht mehr in der Lage den Transpirationssog aufrecht zu erhalten, denn sie trockneten von oben herab, die Nadeln würden sich grau bis rötlich verfärben und abfallen. Die Bäume verlichteten in der Krone durch Trockenstress und der Stamm faule von innen nach außen durch Stauwasser. In einigen Jahren würde das Gebiet waldfrei sein, prognostiziert der Forscher.

Zwar forste man Kahlschlagflächen wieder auf; das habe jedoch keinen Sinn, da der Boden derart devitalisiert und zerstört sei, dass kein Baum dort lange leben könne; heißt es abschließend.

In jüngerer Zeit wird das Thema vor allen Dingen von Menschen weiter behandelt, die sich nicht zu dem Kreis der Wissenschaftler zählen, die genaue Laboruntersuchungen oder experimentelle Feldstudien durchführen. Es sind Menschen, die einfach beobachten, dass

sich Bäume in ihrer nahen Umgebung, die sie schon viele Jahre kennen, etwa in den letzten 10 Jahren merkwürdig und abnormal verhalten. Diese Auffälligkeiten sind in den Kronen zu erkennen. Dabei reichen die Beobachtungen von unzeitigem Welken und räumlich inhomogenem Laubfall, über verminderten und verzögerten Austrieb, bis zu ausbleibendem Austrieb und verkümmerten Kronenspitzen.

Zur Dokumentation werden Zeitreihen mit Bildern erstellt, die die Belaubungszustände in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen dokumentieren und so Abnormalitäten im Jahresrhythmus aufzeigen können (u.a. SCHORPP 2007). Häufig werden im Vorfeld Messungen der elektrischen Leistungsflussdichte in der Nähe, sowie direkt vor und hinter den Bäumen durchgeführt. Jedoch nicht immer. Dabei zeige sich an den Bäumen, dass diese **eine enorm abschirmende, bzw. strahlungshemmende Wirkung** haben, denn die Leistungsflussdichten sind auf der Leeseite der Bäume um ein Vielfaches geringer, als auf der Luvseite. SCHORPP (2007) vermutet auch eine **Beteiligung von Wasser** in der Nähe oder feuchtem Boden an der Verstärkung einer Einwirkung hochfrequenter Felder. Er zeigt Bäume in der Stadt, die sehr untypische Erscheinungen aufweisen.

Da gäbe es Bäume, die **dürre Triebspitzen** in der Oberkrone aufweisen, während der Rest der Krone in sattem Grün stehe. Auch **unzureichende Blattentwicklung** und **unzeitig früher Laubfall**, meist in oberen Kronenbereichen, seien neue Symptome. Aber auch **einseitig verkahlende Bäume** fänden sich vermehrt in der Stadt. Der Forscher weist in diesen Fällen auf Sendestationen hin, die in kurzer bis weiter Entfernung stehen, jedoch in direkter Sichtlinie zu dem Baum und seiner verkahlenden Kronenseite aufzufinden sind.

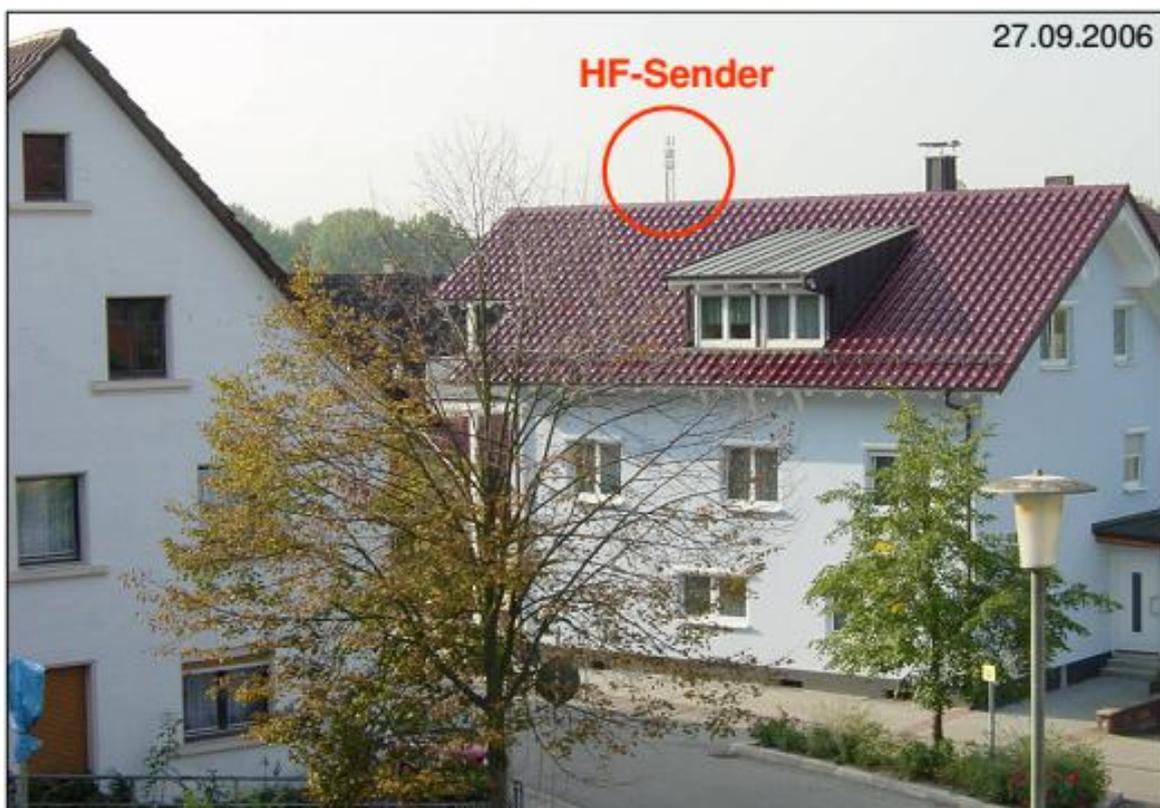
Generell ist laut SCHORPP (2007) der **inhomogene Welkvorgang**, bzw. der räumlich ungleichmäßig verteilte Laubabwurf eines Baumes ein gutes Indiz dafür, dass dieser Baum unter der Exposition hochfrequenter Strahlung stehe, denn keine bekannte andere Schadursache würde solch ein Schadbild verursachen.

Als Beweis für die Annahme, dass unzeitiger Laubfall und Triebspitzendürre nicht die Folge von Trockenstress sein kann, zeigt der Karlsruher Physiker devitalisierte Weiden, die die beschriebenen Kronenschäden aufweisen, jedoch mit den Wurzeln im Wasser stehen.

Auch direkte Vergleiche exponierter und abgeschirmter Bäume finden sich in der Stadt:

So zeigt eine Fotostrecke über zwei Monate drei Linden in einer Siedlung, von denen zwei durch direkten Funkkontakt einer Mobilfunkbasisstation exponiert sind und eine, die geschützt hinter einem Haus steht und keiner (zumindest keiner direkten) Strahlung ausgesetzt ist. Interessant ist dann zu sehen, wie die Entlaubungsvorgänge eines jeden Baumes vonstatten gehen. Während die geschützte Linde (Höhe ca. 5 m, Alter ca. 10 Jahre, Anm. d. Verf.) während der Dokumentation bis Anfang November in nicht nennenswertem Umfang Blätter verliert und erst dann eine Herbstfärbung annimmt, hat eine der exponierten Linden (Höhe ca. 8-9 m, Alter ca. 20-25 Jahre, Anm. d. Verf.) bereits Anfang September die Blattmasse deutlich reduziert, zum Hauptteil in der strahlenexponierten Kronenhälfte (s. Abb. 8). Die Entlaubung verläuft rasch, sodass schon ein Monat später,

Anfang Oktober, nur noch ein paar wenige verfärbte Blätter in der unteren senderabgewandten Kronenseite hängen. Diese sind Anfang November verschwunden und der Baum ist kahl. Die kleine geschützte Linde auf der anderen Straßenseite beginnt jetzt mit der Laubfärbung. Die dritte dokumentierte Linde steht unweit der beiden anderen und verhält sich zunächst wie der geschützte Baum. Anfang November tritt eine rasche Welke ein, die sich zuerst in der Kronenspitze zeigt und von dort über die Oberkrone ausbreitet. Nach nicht einmal einer Woche ist die obere Kronenhälfte annähernd kahl, während es in der unteren Hälfte noch vereinzelt grüne Blätter gibt. Laut dem Forscher stehe diese Linde nicht unter direktem Einfluss eines Mobilfunksenders, sondern werde von Wellen getroffen, die über das Hausdach zwischen Baum und Sender strahlen und dort durch den First abgelenkt (Beugungsinterferenz) und nach unten umgeleitet würden.



**Abbildung 8:** Zwei der drei Linden unter unterschiedlicher Strahlenexposition. (Quelle: SCHORPP 2007)

Somit sei in anschaulicher Weise gezeigt, wie Mobilfunkstrahlung auf die Bäume einwirke und wie zeitnah Auswirkungen sichtbar würden, so der Physiker, der im Anschluss an diese Fotostrecke eine indizienbasierte Differentialdiagnose betreibt, die feststellen soll, ob die beobachteten Schäden und Schadverläufe durch andere Einflüsse wie Trockenheit, sauren Regen, Luftschadstoffe oder Schädlinge hervorgerufen werden oder bewirkt worden sein könnten. Das eindeutige Ergebnis ist „nein“, denn mit keiner der aufgeführten Störgrößen können Symptome wie z.B. senderseitige Schädigungsgradienten oder Schutzwirkung durch Gebäude erklärt werden.

Der Forscher kommt hier zu dem Schluss: „Die "HF-hochkausalen" drei Linden indizieren einen frühzeitigen, krankhaften HF-Welkvorgang“ (SCHORPP, 2007).

Doch es finden sich noch weitere merkwürdige Schadsymptome an Stadtbäumen. Einige haben in der senderseitigen Kronenhälfte (auf den Bildern jeweils links) Blätter mit starken **Blattrandnekrosen**, die Chlorosen durch Streusalz ähneln. Die Blätter der senderabgewandten Seite (rechts) dieser Bäume sind dagegen unbeschadet und vital:



Abbildung 9: Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*), Mitte Juni.

(Quelle: SCHORPP 2007)



Abbildung 10: Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Mitte Juli.

(Quelle: SCHORPP 2007)



**Abbildung 11:** Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), Mitte Juli.

(Quelle: SCHORPP 2007)

Solche Blattrandnekrosen können sehr früh, kurze Zeit nach dem Austrieb im Frühjahr, eintreten. Dies führe zu vorzeitigem Laubfall, der schon im Juni einsetzen könne, so der Physiker aus seinen Beobachtungen heraus, die sich jährlich in ähnlicher Weise wiederholen. Zu diesen im Jahresverlauf rhythmisch wiederkehrenden Phänomenen, zählen auch die Schädigungsmuster von Bäumen unter prognostizierter HF-Exposition. Diese seien individuell bei jedem Baum verschieden ausgeprägt, da jeder Baum unter einer anders gearteten Exposition stehe. Reflexionen der Strahlen z.B. an Gebäudewänden, Beugung der Strahlen z.B. durch halb im Strahlenkegel liegender Dachfirste (Beugung nach unten), Kanalisierung durch Straßenschluchten und/oder Interferenzen von aufeinander treffenden Wellen und daraus resultierender Verstärkung einzelner Komponenten der Wellen (Frequenz, Flussdichte, Feldstärke) würden zu hoch komplexen Einstrahlcharakteristiken führen und so bei jedem Baum andere Ausprägungen des selben Schadens hervorrufen. Dies sei laut SCHORPP (2007) unter Anderem dadurch begründet, dass exakt dieselben Schadensbilder im nächsten Jahr wieder aufträten, insofern sich an der Expositionscharakteristik nichts geändert habe. Lediglich das Ausmaß des Schadens werde von Jahr zu Jahr größer, denn die Bäume würden stetig devitalisiert, da auch die Exposition stetig vorhanden sei.

Der gewissenhafte Forscher hat im Laufe seiner Beobachtungen eine Liste von Annahmen zusammengestellt, die eine starke Kausalität der vermuteten Wirkungsweisen mit den beobachteten Schadbildern von HF-Strahlung an Bäumen aufzeigen:

- ◆ räumlich und zeitlich wiederkehrend auftretende Schäden, weisen (bei Laubbäumen) auf eine von außen einwirkende Störung hin.

- ◆ Kronenschäden zeigen sich am Anfang auf einer Seite des Baumes und breiten sich mit der Zeit in der Richtung im Baum aus, aus der sie anfänglich kamen.
- ◆ ein Schädigungsgradient wird dadurch sichtbar.
- ◆ Baumkronen bieten sich gegenseitig Schutz, sodass Bäume, die hinter geschädigten Exemplaren stehen, keine oder nur sehr geringe Schadsymptome aufweisen.
- ◆ entstehende Blattrandnekrosen, die sich bis zur Blattspreite ausbreiten.
- ◆ daraus resultierende vorzeitige Welke (schon ab Juni).
- ◆ in der Folge Laubfall, dem Schädigungsgradienten räumlich und zeitlich entsprechend.
- ◆ inhomogene Kronenschäden, die nicht durch bekannte Schadfaktoren erklärt werden können.
- ◆ individuelles Schadbild bei jedem einzelnen Baum, das jährlich wiederkehrt.
- ◆ Trockenstresssymptome an Bäumen mit guter Wasserversorgung.
- ◆ abknickende Terminaltriebe von Nadelbäumen

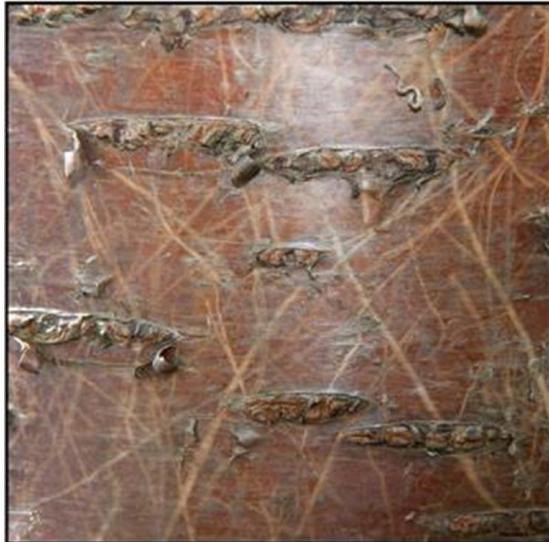
(verändert nach SCHORPP 2007, siehe <http://www.puls-schlag.org/>)

Im Gegensatz zu den klar erkennbaren Schäden und ihren zeitlichen Verläufen, ist es jedoch schwierig, klare Aussagen bezüglich einer bestimmten Strahlungsexposition zu machen. So geht der Physiker nicht davon aus, dass es bestimmte einzelne Feldcharakteristiken gibt, die schädigend wirken und andere, die keinen Einfluss auf biologisches Gewebe haben, sondern er rechnet mit der Summe an Strahlung, die durch oben erwähnte Multiplikatoren als chaotische Strahlenpakete auf die Baumkronen treffen. Diese wiederum treffen jeden Baum etwas anders, sodass jeder Baum auch etwas anders reagiert. Sicher ist sich SCHORPP aber, dass es jedes Gehölz trifft, unabhängig von der Art, Sorte, Herkunft, dem Alter, der Standortverhältnisse, oder anderer Faktoren, die im Falle von biotischen Schaderregern zu einer deutlichen Unterscheidung zwischen anfällig über weniger anfällig bis zu resistent führen würden.

Diese Schlussfolgerung könnte eine deutliche Zuteilung der Mobilfunkstrahlung zu den abiotischen Einflussfaktoren bedeuten, was heißen würde, dass eine Differentialdiagnose bezüglich der beobachteten Schäden nur im Bereich der abiotischen Einflüsse erfolgen müsste.

### 2.3.3. Neuartige Schäden an Stadtbäumen

Im Februar 2011 fand in Baarn in Holland ein Symposium zum Thema der Wirkung elektromagnetischer Strahlung auf Bäume statt ([boomaantastingen.nl](http://www.boomaantastingen.nl)). Es waren unter Anderem Baumexperten vertreten, die von neuartigen Schadsymptomen auf und in der Rinde von Stadtbäumen sprachen. Hier sind einige dieser Symptome aufgeführt:



#### 1. Linien auf der Rinde

Oberflächlich kreuz und quer verlaufende helle Streifen rings um den Stamm an verschiedenen Laubgehölzen.

**Abbildung 12:** weiße Linien auf der Rinde von Kirsche (*Prunus avium*)  
(Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)



#### 2. Abplatzen der Rinde

Flächiges Auf- und Abplatzen von Rindenpartien am Stamm unterschiedlicher Laubgehölze.

**Abbildung 13:** Abplatzen der Rinde an Esche (*Fraxinus sp.*)  
(Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)



**Abbildung 14:** Rindenklumpen an Esche (*Fraxinus sp.*) (Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)



**Abbildung 15:** kugelförmige Strukturen im Phloem von Esche (*Fraxinus sp.*) (Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)

### 3. Beulen in der Rinde

Verstreut auftretende rundliche Vorwölbungen am Stamm, die sich als nekrotische Zellen und lokale Wucherungen im Bast erweisen. An vielen Laub- aber auch einigen Nadelgehölzen gefunden.



### 4. Rindenrisse

Hauptsächlich vertikale lange Rindenrisse, die ähnlich wie Sonnenbrandrisse oder Frostrisse aussehen, jedoch nicht tief reichen, sondern in der Borke lokalisiert sind und eher an Wachstumsrisse erinnern. Sie treten ebenfalls sehr unspezifisch an verschiedenen Laubgehölzen auf.

**Abbildung 16:** Rindenrisse an Linde (*Tilia sp.*) (Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)



## 5. Schleimfluss aus der Rinde

Punktuelle Öffnungen in der Rinde, aus denen schwärzliches Sekret läuft; ähnlich der Symptome bei *Phytophthora*-Befall oder aus Nisthöhlungen auslaufendes Sekret von Fledermäusen. Ebenfalls an vielen Laubgehölzen gefunden.

**Abbildung 17:** Bastblutungen an Eiche (*Quercus* sp.)  
(Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)



## 6. Flecken auf der Rinde

Punktuelle und mitunter merkwürdig geformte und seltsam strukturierte Aufhellungen auf der Rinde, die die Rindenstruktur unterbrechen und ringförmige Rindenmuster bilden.

**Abbildung 18:** Rindenverfärbungen an Esche (*Fraxinus* sp.)  
(Quelle: <http://www.boomaantastingen.nl>)

Sämtliche aufgezeigten Symptome sind offenbar nicht baumartenspezifisch. Dies könnte den Einfluss biotischer Schadfaktoren ausschließen, welche für gewöhnlich auf eine bis wenige Baumarten beschränkt sind. Abiotische Faktoren wie Klima- und Standortgegeben-

heiten sind dagegen nicht beschränkt auf eine Anzahl Baumarten, jedoch in ihrer topografischen Ausdehnung begrenzt. So sind Bodensubstrate in Städten höchst unterschiedlich beschaffen und auch klimatische Einflüsse wie z.B. Temperatur oder Wind erfahren im urbanen Bereich eine gewisse Differenzierung durch die Bebauungsstruktur und wirken kleinräumiger als in der freien Natur außerhalb der Stadt. (vergl. BERNATZKY 1994)

Hinzu kommt, dass die oben gezeigten Symptome zum Großteil in allerjüngster Zeit aufgetreten sind und bislang nicht mit bekannten Ursachen erklärt werden können. So weist der BUND in seinem Positionspapier Nr. 46 (BUND 2008) auf neuartige Baum-schäden hin, die seit einigen Jahren in Holland, Deutschland und der Schweiz beobachtet worden seien.

Auch bei den Dresdner Stadtbaumtagen im vergangenen Jahr wurden ungeklärte Welke-Erscheinungen an Baumhasel, ungeklärte Rindennekrosen und vertikale Streifen an der Rinde von jungen Linden, sowie ungeklärte Rinden- und Kambiumschäden mit starkem Gummifluss nach trocken-heißen Sommern beim Amberbaum erwähnt (KEHR 2013).

Ob solch neuartige Schadsymptome an Bäumen durch den Einfluss der Mikrowellen herbeigeführt werden (können), ist völlig unklar. So lange die Wirkungsweisen der Strahlung im Holzgewebe nicht erforscht sind, so lange man also von der Art der Einwirkung nicht genügend weiß, kann man auch die Art der Auswirkung nicht mit Gewissheit bestimmen. Trotzdem kann sich differentialdiagnostisch dem Problem genähert werden (s. Kap.5 „Ausblick“), um das Feld möglicher Einflussfaktoren einzugrenzen. Des Weiteren können die Schadsymptome systematisch aufgenommen, kartiert und analysiert werden. Dies könnte weiteren Aufschluss geben über das Auftreten, die Häufigkeiten des Auftretens und die geografische Ausbreitung und Lokalisation der Stammschäden.

### **3. Diskussion**

#### **3.1. Wissenschaftstheoretische Bewertung**

Im Folgenden sollen die vorgestellten Studien und Beobachtungen im Feld auf geeignete Weise gegenübergestellt und mithilfe einiger wissenschaftstheoretischer Überlegungen bewertet werden. Dafür ist es notwendig, zunächst die einzelnen Studien kritisch auf eine Vollständigkeit zu überprüfen, die für eine inhaltlich lohnenswerte Gegenüberstellung Voraussetzung sind.

Der nächste Schritt ist dann, die Studien auf Vergleichbarkeit und ihren Repräsentationsgehalt innerhalb der Debatte um mögliche Einwirkungen elektromagnetischer Strahlung auf pflanzliche Organismen und speziell auf Bäume zu prüfen. Vergleichbar ist in diesem Sinne dasjenige, was auf gleichen (Mess-)Methoden beruht, was gleiche Einflussfaktoren verwendet und/oder was zu gleichen Ergebnissen kommt.

Es wird sich dabei zeigen, dass die Vergleichbarkeit derart gering ist (abgesehen von den Versuchsergebnissen), dass deshalb sehr großzügige und wohlwollende Maßstäbe angelegt werden müssen, die weniger einen kritischen Wert ermitteln wollen, der sich als unvergleichbar erweist und dadurch der Vergleich nicht haltbar wird; sondern dass eher in der großen Masse an Unvergleichbarem eine kleine Menge gesucht werden muss, die nach naturwissenschaftlichen Maßstäben vergleichbar ist und mit dieser Eigenschaft eine gewisse Repräsentation in der Debatte erlangen kann.

Zuerst werden die Laborstudien genannt, die sich mit der Entstehung oxidativen Stresses in Zellen durch elektromagnetische Befeldung beschäftigen. Sie haben einen klar definierten Begriffs- und Methodenrahmen und laufen unter kontrollierten Bedingungen ab. Dadurch ist es möglich, andere Einflussfaktoren annähernd vollständig zu eliminieren und man hat als Ergebnis der Studie, bzw. als Erklärung irgendeiner Veränderung in oder an den Zellen die reine Auswirkung der hochfrequenten Befeldung. Ist das Ergebnis dann noch signifikant verschieden zu dem der Kontrollstudie und hat man eine ausreichende Zahl gleicher und ähnlicher Versuchsreihen gemacht, ist nach naturwissenschaftlichen Kriterien ein sauberer Nachweis einer Sache oder eines Umstandes gelungen. So weit so einleuchtend. Jedoch erweist es sich als schwierig, den Nachweis eines ursächlichen Zusammenhanges zwischen elektromagnetischen Hochfrequenzen und oxidativem Zellstress in der Folge zu erbringen, da bislang nicht klar ist, unter welchen Umständen die Strahlung Wirkung zeigt und unter welchen nicht.

Die Feldstudien an Bäumen sind weniger definiert als die Laboruntersuchungen, denn es gibt keine festgelegten Rahmenbedingungen, unter denen die Einwirkungen elektromagnetischer Strahlung auf Bäume im Feld untersucht werden müssen. So wurden unterschiedlichste Frequenzen, Feldstärken und Expositionszeiträume gewählt und vorgefunden, die damit zwar ein breites Spektrum möglicher Auswirkungen abbilden. Jedoch steht jede Studie für sich selbst, da keine Andere gleiche oder auch nur ähnliche Einflussfaktoren verwendet hat. Sie können daher nicht inhaltlich verglichen werden. Dennoch ist jede

Studie in ihrer Materialwahl und Methodik so vollständig, dass ihr Ergebnis als wissenschaftlich korrekt herbeigeführt bezeichnet werden kann. Aber darf man aufgrund dessen eine biologische Wirksamkeit einer Frequenz von 2,45 GHz mit extrem geringen bis extrem hohen Leistungsflussdichten und einer Exposition über 3,5 Jahre auf junge Fichten und Buchen ausschließen, bloß weil SCHMUTZ et al. (1996) dies nachgewiesen haben? Zu klären wäre in diesem Falle, welche Kriterien erfüllt sein müssen, damit eine Studie (bzw. eine Erkenntnis) als repräsentativ für die Lösung eines bestimmten Sachverhaltes angesehen werden darf. In der Statistik gibt es dafür den Begriff des Signifikanzniveaus, der als prozentualer Wert festgelegt wird und bei Überschreitung durch den Erwartungswert auf einen deutlich erkennbaren Trend hinweist, dessen Aussage z.B. der der Arbeitshypothese entspricht.

Führt man *eine* Studie durch, so liegt die Wahrscheinlichkeit für das Aufzeigen einer Einwirkung bei 50% (also „ja“ oder „nein“ als Ergebnis). Kann die Einwirkung gezeigt und mit der Studie nachgewiesen werden, liegt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der Einwirkung unter den in der Studie angewendeten Einflussfaktoren bei 100%. Genauso kann umgekehrt mit einer Studie das Gegenteil belegt werden. Wissenschaftlich betrachtet ist aufgrund *einer* erfolgten Studie daher keine Aussage bezüglich eines Nachweises möglich und zulässig, denn als Tatsache und erwiesener Umstand gilt der Wissenschaft erst das, was sich *überwiegend* zeigt, also was erwartungsgemäß eintritt, wenn dieser oder jener Umstand gegeben ist. Dafür muss jedoch der Zufall ausgeschlossen sein. Dieser wird entsprechend kleiner mit der steigenden Zahl an Studien, die zum gleichen Ergebnis kommen wie die erste Studie. So kann der Zufallswert zum Erwartungswert werden. Dieser Wert wird wesentlich eher akzeptiert, da er weitestgehend befreit von Zweifeln angenommen werden kann, selbst wenn er einem dann noch suspekt ist. So zeigt sich die Statistik als eine Art Grundgesetz der Wissenschaft (LINDLEY 1994), welchem von jeder aufgestellten Behauptung erst entsprochen werden muss, damit sie sich in ein Indiz und dann in einen wissenschaftlichen Nachweis umwandeln kann. Diese Anforderung der Wissenschaft an die Debatte um die Auswirkungen anthropogen erzeugter elektromagnetischer Strahlung auf lebende Organismen kann jedoch von den Forschern bislang so nicht erbracht werden. Zumindest nicht in dem Sinne, dass aus einer ausreichenden Anzahl gleicher oder ähnlicher Studien eine statistisch gesicherte Aussage gemacht werden könnte.

In einem anderen Sinne sind jedoch gerade die Feldstudien, sehr wohl aussagekräftig: Eine Beobachtung eines unveränderten und daher permanenten Umstandes über mehrere Jahre hinweg, wird umso aussagekräftiger, je länger die Beobachtung anhält. Denn jede Vegetationszeit ist eine eigene Beobachtungsreihe und somit eine eigene Studie, die im nächsten Jahr unter den gleichen Umständen fortgesetzt wird und so direkt und perfekt verglichen werden kann. Zwar untersucht man so immer den gleichen Umstand am gleichen Standort an den gleichen Bäumen, dies aber über eine lange Zeit hinweg, die es ermöglicht, statistisch belegte Aussagen zu treffen und ein „ja, es gibt Auswirkungen“ mit einem „nein, es sind keine Auswirkungen nachweisbar“ in einen prozentualen Zusammenhang zu bringen.

Bezüglich der Feldstudien an Bäumen kommt der Autor daher zu dem Schluss, dass es keine (echte) Vergleichbarkeit mit den Studien gibt, die im Labor gemacht wurden, da die Umstände, die Einflussfaktoren, wie auch letztlich die Zielsetzungen zu verschiedenen waren, um befriedigende Gemeinsamkeiten aufzeigen zu können.

Der wissenschaftliche Wert der Laborstudien liegt im zweifelsfreien Nachweis eines Umstandes, der unter kontrollierten und isolierten Bedingungen erbracht wird, bzw. werden kann. Hier ist für den wissenschaftlichen Beweis das Kriterium der statistischen Signifikanz anzuwenden. Das bedeutet, dass die Anzahl an Ergebnissen und der prozentuale Anteil eines jeden Ergebnisses den Ausschlag für die Ernennung des wissenschaftlichen Nachweises geben.

Der wissenschaftliche Wert der Feldstudien liegt dagegen in ihrem zeitlichen Umfang, der keine Momentaufnahme, sondern eine Entwicklung darstellt. So kann nicht vom Anfang der Untersuchungszeit an von einer ursächlichen Einwirkung elektromagnetischer Strahlung ausgegangen werden, da sämtliche anderen Einflüsse der Natur mitwirken und ebenfalls Veränderungen in den Bäumen hervorrufen. Erst mit der Zeit, bzw. mit den Jahren können biotische und sonstige abiotische Einflüsse erkannt und in den Statistiken ausgeblendet werden, sodass die Veränderungen zu Tage treten, die nur noch von den elektromagnetischen Hochfrequenzwellen stammen können. Untersuchungen wie die an der Sendestation bei Skrunda in Lettland sind daher sehr wertvoll, weil sie die Entwicklung von Bäumen im Einstrahlungsgebiet über annähernd 30 Jahre begleiten und regelmäßig untersuchen (vergl. BALODIS et al. 1996). Solch eine Studie darf für sich alleine stehen und ist durch ihre zeitliche Länge repräsentativ für die Einwirkung elektromagnetischer Felder (der dort gemessenen Feldkomponenten) auf das Dickenwachstum (und somit die Vitalität) von Kiefern. Eine Studie dagegen, die lediglich den Zustand der Bäume bonitiert, die seit nunmehr fünf Jahren unter dem Einfluss der Strahlung von Mobilfunksendern stehen (vergl. KRETZSCHMAR 2010), kann unter den genannten Gesichtspunkten nicht als repräsentativ angesehen werden, da die Vitalitätszustände der Bäume aus der Zeit vor dem Errichten der Funktürme nicht bekannt sind.

### **3.2. Wissenschaftlicher Wert der Phänomenologie**

Die Phänomenologie ist eine anerkannte wissenschaftliche Forschungsmethode, die durch die Beobachtung von Umständen über eine gewisse Zeit zu Erkenntnissen gelangt. Es ist jedoch eine schwierige Methode, denn die Erkenntnisse müssen mit Ergebnissen vergleichbar sein, die aufgrund von Messungen, Simulationen und/oder statistischen Berechnungen zustande kommen. Was die Phänomenologie aufzeigen kann, sind Veränderungen von Umständen über eine bestimmte Zeit hinweg. Sie kann Vermutungen bezüglich einer Ursache der beobachteten Veränderungen formulieren und diese durch eine ausreichende Anzahl verschiedener Beobachtungsreihen ver härten. Werden dabei aber lediglich

Beobachtungsreihen gemacht, die von vorneherein den Anschein haben, dass sie die anfänglichen Vermutungen bestätigen könnten, kann das Ergebnis jedoch nicht wissenschaftlich anerkannt sein, da ihm subjektive Befangenheit unterstellt werden muss. Wie bei einem Gerichtsverfahren, wo zwischen Kläger und Angeklagtem aus den jeweiligen Beschreibungen des Tatherganges heraus, sachlich und objektiv durch den Richter vermittelt werden muss, bedarf es auch bei der Phänomenologie einer Antithese, deren Existenz und Ursache gezeigt werden muss. Erst dadurch kann diese Wissenschaftsmethode ihre Berechtigung erfahren, denn nur dann kann These und Antithese in ein prozentuales Verhältnis gebracht, verglichen und eine Synthese formuliert werden. Ein Laborexperiment, welches ein bestimmtes vorher definiertes Ergebnis zum Ziel hat und durch die entsprechende Wahl an Einflussfaktoren eine Wirkung auf ein Untersuchungsobjekt herausfinden will, kann vom Menschen so weit gesteuert und kontrolliert werden, wie es die Technik zulässt. Die Untersuchung selbst, also die Art und Weise der Interaktion von Einflussfaktoren und Untersuchungsobjekt, kann jedoch nur von außen beobachtet werden und ist nicht beeinflussbar. Somit ist ein großer Teil einer Studie vom Menschen kontrollierbar und daher von Zweifeln weitestgehend befreit. Bei der Phänomenologie ist fast nichts beeinflussbar was man untersucht. Lediglich *wie* und *was* man beobachtet, kann frei gewählt werden. So ist man einer Vielzahl von Unwägbarkeiten unterworfen, die in der Natur auftreten und die im Labor eliminiert werden können. Aus diesem Grunde bedarf es bei reinen Beobachtungen im Feld, die nicht durch Messungen ergänzt werden, einer ungleich größeren Anzahl exakter und statistisch verwertbarer Daten (Fotos), die neben der zeitlichen Darstellung der Entwicklung auch zweifelsfrei die mögliche bzw. angenommene Herkunft und Ursache der Veränderung dokumentieren.

Dies versucht SCHORPP in seiner umfangreichen fotografischen Dokumentation. Er zeigt Bilder von Bäumen im Strahlungskegel von Mobilfunkmasten, die seltsame Erscheinungsbilder aufweisen. Vereinzelt vergleicht er sie mit völlig gesunden Bäumen, die in kurzer Entfernung zu den geschädigten Exemplaren stehen, aber *nicht* der direkten elektromagnetischen Strahlung ausgesetzt sind. Hier ist unklar, was die Antithese ist. Eher werden zwei Thesen dargestellt:

1. Elektromagnetische Hochfrequenzwellen haben bei direktem Kontakt mit Baumkronen schädigende Auswirkungen auf die Bäume,
- und
2. bei Abwesenheit direkter Einstrahlung entwickeln sich die Bäume normal und sind gesund.

Die für eine statistische Auswertung notwendige Antithese wäre in diesem Falle: ‚Elektromagnetische Hochfrequenzwellen haben bei direktem Kontakt mit Baumkronen *keine* schädigende Auswirkung auf die Bäume‘.

(Auch aus der zweiten These könnte man eine Antithese formulieren, jedoch benötigt man hierfür fundierte baumbiologische Fachkenntnisse.)

Hier ergibt sich nun folgende Schwierigkeit: Die Debatte um die hochfrequenten Strahlungen und ihre möglichen Auswirkungen auf lebendige Organismen wird heftig kontrovers diskutiert. Es gibt bislang keinen bekannten Wirkungsmechanismus und die vermuteten Schäden, die auftreten, sind (noch) zu selten. Bei einer statistischen Auswertung der Beobachtungen unter Einbezug der oben formulierten Antithese, würde die These von SCHORPP und anderen Forschern gnadenlos untergehen und sich als nicht signifikant erweisen. Auf diesen Sachverhalt machen die SSK (1986) und das BFS (2013) seit den 1980er Jahren aufmerksam und verteidigen ihn bis heute.

Der Verzicht von SCHORPP, oben genannte Antithese zu formulieren und in die Diskussion zu stellen ist also m.E. als strategisch zu bewerten und resultiert nicht aus wissenschaftlicher Unzulänglichkeit.

Der wissenschaftliche Wert der Phänomenologie ist hier somit anders interpretiert worden, als es die Naturwissenschaft vorgesehen hat. Das verschärft die Kontroverse, die heute zwischen den Lagern herrscht und hemmt gleichzeitig die Forschung, die objektiv und sachlich mit den Werkzeugen der Naturwissenschaft arbeiten und unbefangen die vorliegenden Umstände untersuchen müsste.

#### **4. Fazit**

Entgegen der Überzeugung des BFS in seiner Stellungnahme im Juli 2013, dass sämtliche an Pflanzen vorgenommenen Studien nicht repräsentativ, nicht reproduzierbar und nicht ausführlich genug durchgeführt wurden und dass Fotodokumentationen von im Sendebereich stehender Bäume ebenfalls ohne wissenschaftlich überzeugende Aussagekraft seien (vergl. BFS 2013), ist der Autor der festen Ansicht, dass es nicht die pauschale Wirkungsweise von elektromagnetischer Strahlung gibt, so wie sie das BFS für einen wissenschaftlichen Nachweis annimmt, finden zu müssen, weshalb es sämtliche Studien und Beobachtungen als nichtig erklärt. Vielmehr gibt es offenbar Kombinationen von Faktoren und einzelne oder sehr kleine zusammenhängende Bereiche von Frequenzen, Feldstärken, Leistungsflussdichten u.Ä., die nicht nur die generellen physiologischen Auswirkungen auf Pflanzen haben (und diese Annahme teilt auch das BFS), sondern dass es auch eine Auswirkung gibt, die sich hemmend, schädigend oder auch stimulierend auf

das Wachstum und somit auf die Vitalität, die Blatt-, Blüten-, Frucht- und Holzbildung, die Reproduktion und die Keimung auswirkt.

Alleine die Tatsache, *dass* die elektromagnetische Einstrahlung etwas im lebendigen Organismus bewirkt, sollte die Wissenschaft an ihr Vorsorgeprinzip aus dem Maastrichter Vertrag (EU-RAT 1992) erinnern und bei ihr zumindest eine gesunde Skepsis hervorrufen. Denn in der Naturwissenschaft und besonders auch in der Humanmedizin weiß man schon seit geraumer Zeit, das jeder lebendige Organismus für elektromagnetische Wellen empfänglich ist, diese auch aussendet und dass sie permanent in ihm gebildet werden und für die Übertragung vielerlei lebenswichtiger Informationen notwendig sind. Dass das für gewöhnlich ultraschwache Felder sind, ist auch bekannt. Jedoch sind sie deshalb so schwach (z.B. bei der Photosynthese in Nadelbäumen (siehe BERNATZKY 1994)), damit sie nicht mit anderen Feldern interferieren können, die in sehr naher Umgebung (z.B. in der benachbarten Nadel) wirken.

Anthropogen erzeugte elektromagnetische Wellen sind um ein Vielfaches stärker und kommen vielleicht deswegen nicht in den Verdacht biologisch wirksam zu sein. Jedoch sind es in den Organismen ganz bestimmte Kombinationen von Frequenzen, Flussdichten und Intervallen, die zu einem biologischen Effekt führen. Genauso sind es auch ganz bestimmte Kombinationen der Wellencharakteristik, die durch ihre multiplizierende Wirkung die der natürlichen Felder stark erhöhen und einen daraus resultierenden erhöhten Effekt erzielen können. Dieser kann sich dann hemmend, schädigend, oder auch stimulierend auswirken, je nach vorgesehenem Effekt der jeweiligen natürlichen Felder im Organismus. Darüber hinaus vermutet der Autor zahlreiche Feldkombinationen, die *keinen* Effekt haben, weil sie sich nicht in die natürlichen Felder „einkoppeln“ können um diese zu verstärken (vergl. SCHORPP 2007).

Wenn man davon ausgeht, dass die Annahmen richtig sind und es wirklich starke Schädigungen durch HF-Strahlung an Bäumen gibt, dann würden diese und in Zukunft geschädigte Bäume eine Art der Sichtbarmachung der immateriellen elektromagnetischen Wellen bedeuten. Man könnte aufgrund der Schadbilder auf die erhöhte und schädliche Anwesenheit von Strahlung schließen und diese zum Wohl der Bäume systematisch reduzieren. Aufschlussreich wären im Zuge dessen Studien, die solch geschädigte Bäume über einige Jahre mittels einem Faraday'schen Käfig abschirmen und die Reaktionen des Baumes untersuchen würden. Stimmen indes die Theorien, die eine Versauerung des Bodens durch die HF-Strahlung postulieren, sollte es einige Jahre länger dauern, bis sich ein über lange Zeit exponierter Baum erholen würde. Es wäre dann sogar nicht auszuschließen, dass sich solch ein Baum in einem stark versauerten, denaturierten Boden überhaupt nicht erholen kann.

## 5. Ausblick

Es gilt der Ansatz für die nachfolgende Forschung, dass man von beiden Seiten der Argumentation nach Aussagen bezüglich einer elektromagnetischen Wirksamkeit im lebendigen Organismus suchen muss. Das bedeutet, dass die natürlichen elektromagnetischen Felder zur Informationsübertragung in den Zellen gefunden, bestimmt und charakterisiert werden und gleichzeitig die Feldkombinationen ermittelt werden müssen, die anthropogen erzeugt sind und sich in den vorangegangenen Studien als deutliche (signifikante) Ergebnisse bezüglich sowohl der generellen Wirkung als auch der hemmenden, schädigenden und stimulierenden Wirkung erwiesen haben. Denn diese Kombinationen sind nach Auffassung des Autors einige derjenigen, die den oben beschriebenen Multiplikationseffekt ausüben und biologisch wirksam sein können. Es müssen dafür etliche weitere Studien erfolgen, die diese folgenden Punkte in ihren möglichen Kombinationen erschöpfend untersuchen:

### **technische Faktoren:**

- Frequenz
- Leistungsflussdichte
- Feldstärke
- Expositionsdauer
- Pulsung
- Entfernung zur Strahlenquelle
- Einstrahlwinkel
- Überlagerung mit anderen elektromagnetischen Feldern

### **biotische Faktoren:**

- Vitalität
- Pathogene
- physiologisches Alter
- Baumart (/Sorte)

### **abiotische Faktoren:**

- Jahreszeit
- Temperatur
- Standort
- Lichtverhältnisse
- Nährstoffangebot
- Wasserversorgung
- Bodenverhältnisse
- Konkurrenz
- urban oder am Naturstandort
- Exposition

Dies ist eine klassische Differentialdiagnose, die sich aufgrund der unwägbaren Ansatzpunkte als sehr umfangreich darstellt und daher sicherlich einige Jahre der Forschung in Anspruch nehmen wird.

Zusätzlich müssen die Bäume wissenschaftlich differentialdiagnostisch untersucht werden, die in letzter Zeit beobachtet und fotografisch dokumentiert werden. Das BfS tut dies bislang nicht, da es ebendiese Art des Nachweises oder des Aufzeigens von Indizien nicht für wissenschaftlich hält und deshalb keine Veranlassung sieht, einem möglichen Wahr-

heitsgehalt dieser Meldungen auf den Grund zu gehen. Dennoch sind in jüngster Zeit neuartige Schäden an Bäumen aufgetreten, die mit den bekannten Ursache-Wirkungsprinzipien nicht hinreichend erklärt werden können. Auch deshalb sollte man in der Wissenschaft verstärkt offen sein für Erklärungsansätze aus neuen Einflussbereichen, die vorher keine Rolle spielten, weil sie nicht existiert haben.

Eine einfache Methode zur Verifizierung von Strahlungsschäden an Baumkronen, wäre diejenige, die der Dipl. Forstwirt C.E.E. SCHULTE-UEBBING (1984) vorgenommen hat. Neuartig geschädigte Bäume, die mit einem Faraday'schen Käfig abgeschirmt werden, müssten sich innerhalb einiger Jahre (mehr oder weniger) erholen! Trifft dies zu, wäre man ein großes Stück weiter in der Diskussion um die biologische Wirksamkeit anthropogener Hochfrequenzfelder.

Letztlich sind die „alten“ Studien aus den 1980er Jahren heute nicht mehr unbedingt repräsentativ, da sich durch die rasante Entwicklung der Mobilfunktechnik die Einflussfaktoren sehr schnell ändern und dadurch die Stresssituation für die Bäume eine Andere wird. Zum Beispiel kommen in der Stadt fast täglich neue Mobilfunksender dazu, die das Strahlennetz ein wenig enger machen und so etliche Bäume mehr Strahlung aussetzen. Hinzu kommt der Effekt der Überlagerung von Wellen (SCHORPP 2007). Dieser ist in der Stadt unbedingt zu berücksichtigen, da er und weitere wie die Reflektion, die Kanalisierung und die Krümmung (Umlenkung) inhomogen wirken und eine Prognose hinsichtlich der Wirkungsweise sehr erschweren. Hier ist es daher auch möglich, dass verschiedene Feldkombinationen, die jeweils keinen biologischen Effekt haben, interferieren und zu einer empfindlichen Störung des Baumes führen könnten, die äußerlich sichtbar wird, jedoch nicht erklärt werden kann, da man eine derartige Schädigungsweise bislang nicht kennt.

Dass man im Umkreis von Mobilfunkbasisstationen sowohl gesunde, als auch geschädigte Bäume findet, kann auch den Grund haben, dass Überlagerungen verschiedener Wellen nur an einzelnen, verstreut liegenden Punkten zustande kommen. An einem Punkt ist sie dabei wirksamer als bei einem anderen. Die gesunden Bäume stehen dabei zwar vielleicht im direkten Strahlenkegel. Jedoch sind diese Strahlen nicht biologisch aktiv und daher unschädlich für den einzelnen Baum. Auch dies müsste in der Zukunft vermehrt v.a. im urbanen Bereich untersucht werden, da dort die größte Strahlendichte herrscht.

## 6. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Frage nach möglichen Auswirkungen anthropogen erzeugter elektromagnetischer Strahlung auf Bäume behandelt. Es ist eine bis heute spekulativ geführte Debatte, da bislang keine wissenschaftlich haltbaren Beweise für eine biologische Wirksamkeit dieser Strahlung erbracht werden konnten. Zwar gibt es seit rund 30 Jahren etliche Studien und Feldbeobachtungen. Diese erlauben jedoch keine klaren Aussagen, welche für oder gegen eine messbare Einwirkung elektromagnetischer Felder auf Bäume sprechen. Diese Arbeit hat zur Aufgabe, die Erforschung dieser Fragestellung zu beleuchten und zu bewerten. Etliche Studien, sowie Theorien und Feldbeobachtungen aus den letzten 30 Jahren werden aufgeführt und versuchsweise verglichen. Dabei stellt sich heraus, dass zu viele unterschiedliche Einflussparameter in den Studien vorherrschen und gezielt verwendet wurden und so keine richtige Vergleichbarkeit möglich ist.

Interessant sind jedoch die verschiedenen Theorien der einzelnen Wissenschaftler, denn in der Tat könnten die elektromagnetischen Felder alle möglichen Auswirkungen bei Bäumen haben. So wurden rasch wachsende Pflanzen auf oxidativen Zellstress untersucht, der durch eine Strahlenexposition auftreten kann. Etliche Forscher sind der Ansicht, dass Blätter und vor Allem Nadeln wie Antennen wirken und so die elektromagnetischen Wellen ähnlich einer Fernsehantenne aufzunehmen in der Lage sind. Die Strahlung würde dann wie bei einem Blitzableiter in den Boden gelangen und dort zu einer Bodenversauerung beitragen. Jedoch konnten weder Messungen der elektrischen Leitfähigkeit in Nadeln, noch im Boden einen kausalen Zusammenhang ergeben, sodass derartige Theorien bis heute nur Vermutungen sind, die laut Bundesamt für Strahlenschutz und der Strahlenschutzkommission wissenschaftlich nicht haltbar und daher zu vernachlässigen sind.

Neuere Forschungsansätze kommen aus dem Bereich der fotografischen Dokumentation geschädigter Bäume. Es werden Zeitreihen erstellt, die Bäume mit auffälligen Schäden zeigen, die laut der verantwortlichen Forscher nicht durch herkömmliche und bekannte Einflüsse herrühren könnten, sondern neuartig seien und daher durch eine neuartige Schadquelle hervorgerufen würden. Auch könne man ähnliche Schadsymptome an völlig unterschiedlichen Gehölzen antreffen und an scheinbar zufälligen Standorten beobachten. Diese Tatsachen würden deutlich gegen bekannte abiotische und biotische Schadeinflüsse sprechen und ein starkes Indiz dafür sein, dass es die technisch erzeugte Hochfrequenzstrahlung sei, die vielerorts von z.B. Mobilfunkbasisstationen emittiert würde und sowohl unspezifisch, wie auch scheinbar zufällig geografisch exponierte Bäume schädige.

Die Arbeit hat zum Ergebnis, dass die generelle biologische Wirksamkeit von elektromagnetischer Strahlung nicht in Frage gestellt werden kann. Jedoch ist vermutlich nicht das gesamte Frequenzspektrum der heute permanent versendeten Strahlung in der Lage, biologische Organismen zu beeinflussen, sondern ganz bestimmte Kombinationen aus verschiedenen Feldkomponenten greifen in lebendige Vorgänge von Organismen ein und schädigen diese auf vielerlei, bisher kaum erforschte Weise.

## 7. Literatur

### I. Zeitschriften

- ARORA, A., SAIRAM, R.K., SRIVASTAVA, G.C., 2002: Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science* (2002); **82** (10): 1227–1238.
- BALODIS, V., BRŪMELIS, G., KALVIŠKIS, K., NIKODEMUS, O., TJARVE D., ZNOTIŅA, V., 1996: Does the Skrunda Radio Location Station diminish the radial growth of pine trees? *The Science of the Total Environment* (1996); **180**: 57-64.
- BISCHOF, M., 2000: Energiemedizin – Ein neues Paradigma in der Medizin? *Esotera* (2000); **8**: 16-21.
- COUSTET, E., WEISS, E.-H., 1924: *La T.S.F. pratique, Telegraphie, Telephonie*, Librairie Hachette.
- DAT, J.F., VANDENABEELE, S., VRANOV, E., MONTAGU, M.V., INZ, D., BREUSEGEM, F.V., 2000: Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences* (2000); **57**: 779–795.
- FOYER, C.H., NOCTOR, G., 2003: Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiol Plant* (2003); **119**: 355–364.
- GÖTZ, B., MATYSSEK, R., KÄS, G., 2000: Fichte und Buche unter dem Einfluss von Radarbestrahlung. *Allg. Forst- u. Jagd-Zeitung* (2001); **172** (4): 74-79.
- HERTEL, H., 1991: Der Wald stirbt und Politiker sehen zu. *Raum & Zeit* (1991); **51**: 3-12.
- HOMMEL, H., 1987: Electromagnetic smog – a damage and stress factor? *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* (1987); **17**: 441-456.
- HUANG, H.H., WANG, S.R., 2008: The effects of inverter magnetic fields on early seed germination of mung beans. *Bioelectromagnetics* (2008); **29** (8): 649-657.
- JABS, H. U. 2008: Entzündliche Hauterkrankungen durch oxidativen und nitrosativen Stress? *Ästhetische Dermatologie* (2008); **3**: 28-36.
- JINAPANG, P., PRAKOB, P., WONGWATTANANARD, P., ISLAM, N.E., KIRAWANICH, P., 2010: Growth characteristics of mung beans and water convolvulses exposed to 425-MHz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* (2010); **31** (7): 519-527.
- JONGEBLOED U. 2003: Alterung und Seneszenz des Phloems und des Blattes von *Ricinus communis* L.; Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth, S. 95.

- KEHR, R., 2013: Baumarten der Zukunft: Bedeutung von Krankheiten. Tagungsband Dresdner Stadtbaumtage 2013: Aktuelle Fragen der Stadtbaumplanung, -pflege und -verwendung. Beiheft **14**: 188-205.
- KRETZSCHMAR, S., 2010: Strahlungsschäden an Bäumen durch Funkmasten? Bachelorarbeit. Tagungsband Dresdner Stadtbaumtage 2013: Aktuelle Fragen der Stadtbaumplanung, -pflege und -verwendung. Beiheft **14**: 64-78.
- MITTLER, R., 2002: Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science (2002); **7** (9): 405-410.
- MONSELISE, E.B., LEVKOVITZ, A., H.E. GOTTLIEB, KOST, D., 2011: Bioassay for assessing cell stress in the vicinity of radio-frequency irradiating antennas. Journal of Environmental Monitoring (2011); **13** (7): 1890-1896.
- NOVA-INSTITUT, 2001: Leistungsflussdichten in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen. Elektrosmog-Report 2001, 7 (7): 3-4.
- REED, D.D., JONES, E.A., MROZ, G.D., LIECHTY, H.O., CATTELINO, P.J., JÜRGENSEN, M.F., 1993: Effects of 76 Hz em-fields on forest ecosystems in northern michigan: tree growth. International Journal of Biometeorology (1993); **37**: 229-234.
- SANDU, D.D., GOICEANU, I.C., ISPAS, A., CREANGA, I., MICLAUS, S., CREANGA, D.E., 2005: A preliminary study on ultra-high frequency electromagnetic fields effect on black locust chlorophylls. Acta Biologica Hungarica (2005); **56** (1-2): 109-117.
- SCHMUTZ, P., SIEGENTHALER, J., STÄGER, CH., TARJAN, D., BUCHER, J.B., 1996: Long-term exposure on young spruce and beech trees to 2450-MHz microwave radiation. The Science of the Total Environment (1996); **180**: 43-48.
- SCHULTE-UEBBING, C., 1984: Patophysiologische Arbeitshypothesen zum Waldsterben: Stress- und Resistenzmangelsyndrom durch technische Mikrowellen? Vorgelegt zum wissenschaftl. Symposium „Neue Ursachen-Hypothesen“ des Umweltbundesamtes Berlin am 16./17.12.1985 im Berliner Reichstag.
- SELGA, T. & M. SELGA, 1996: Response of *Pinus sylvestris* L. needles to electromagnetic fields. Cytological and ultrastructural aspects. Science of the Total Environment (1996); **180** (1): 65-73.
- SINGH, H.P., SHARMA, V.P., BATISH, D.R., KOHLI, R.K., 2009: Mobile phone radiation inhibits *Vigna radiata* (mung bean) root growth by inducing oxidative stress. Science of the Total Environment (2009); **407** (21): 5543-5547.
- SINGH, H.P., SHARMA, V.P., BATISH, D.R., KOHLI, R.K., 2012: Cell phone electromagnetic field radiations affect rhizogenesis through impairment of biochemical processes. Environmental Monitoring and Assessment (2012); **184** (4): 1813-1821.

- TKALEC, M., MALARIC, K., PEVALEK-KOZLINA, B., 2005: Influence of 400, 900 and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. *Bioelectromagnetics* (2005); **26** (3): 185-193.
- TKALEC, M., MALARIC, K., PEVALEK-KOZLINA, B., 2007: Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L.. *Science of the Total Environment* (2007); **388** (1-3): 78-89.
- VOLKRODT, W., 1985: Wer ist am Waldsterben schuld? *Raum & Zeit* (1985); **26**: 53-56.
- VOLKRODT, W., 1992: Der Wald stirbt ungebremst weiter... *Der Gesundheitsberater*, März 1992: 17-21.
- ZIMMERMANN, P., ZENTGRAF, U., 2004: Der Zusammenhang zwischen oxidativem Stress und Blattseneszenz während der Entwicklung von Pflanzen. Springer-Verlag, *Gesunde Pflanzen* (2004); **56**: 208-217.

## **II. Monographien**

- BERNATZKY, A., 1994: *Baumkunde und Baumpflege*. 5. erweiterte Auflage. Thalacker. ISBN-10: 3-87815-056-3, ISBN-13: 978-3-87815-056-5, 232 S.
- BRUNOLD, CH., RÜEGSEGG, A. & R. BRÄNDLE (Hrsg.), 1996: *Stress bei Pflanzen*. Verlag Paul Haupt. Bern, ISBN: 3-8252-8125-6, 407 S.
- LINDLEY, D., 1994: *Das Ende der Physik: Vom Mythos der Großen vereinheitlichten Theorie*. Birkhäuser. ISBN-10: 3764329939, 296 S.

## **III. Behördliche Mitteilungen/Broschüren**

- BfS, Bundesamt für Strahlenschutz 2005: *Positionsbestimmung des BfS zu Grundsatzfragen des Strahlenschutzes („Leitlinien Strahlenschutz“)*, 55 S.
- BfS, Bundesamt für Strahlenschutz 2013: *Stellungnahme (vom BfS) zur Frage möglicher Wirkungen hochfrequenter und niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf Tiere und Pflanzen*, 15 S.
- SSK, Strahlenschutzkommission 1986: *Radioaktivität und Waldschäden. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bundesanzeiger Nr. 73 vom 18. April 1986, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 6*. 25 S.

SSK, Strahlenschutzkommission 1990: Richtfunk- und Radarwellen rufen keine Waldschäden hervor. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Bundesanzeiger Nr. 1 vom 03. Januar 1991, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 24. 7 S.

SSK, Strahlenschutzkommission 2001: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, 56 S.

#### IV. Internet

BUND, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, 2008: Positionspapier Nr. 46: Für zukunftsfähige Funktechnologien. Begründungen und Forderungen zur Begrenzung der Gefahren und Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder. Berlin.

[http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/sonstiges/20081028\\_sonstiges\\_funktechnologien\\_position.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/sonstiges/20081028_sonstiges_funktechnologien_position.pdf) (Zugriff am 01.04.2014)

ECOLOG-INSTITUT, 2006: EMF-Handbuch. Elektromagnetische Felder: Quellen, Risiken, Schutz. Hannover. [http://www.ecolog-institut.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Handbuch/00\\_EMF-Handbuch\\_Komplett.pdf](http://www.ecolog-institut.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Handbuch/00_EMF-Handbuch_Komplett.pdf) (Zugriff am 26.3.2014).

EUA, Europäisches Umweltamt, 2002: Späte Lehren aus frühen Warnungen: Das Vorsorgeprinzip 1896 – 2000. Kopenhagen. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2697.pdf> (Zugriff am 27.3.2014).

GÜTTER D., 2013: Ausbreitung elektromagnetischer Wellen. Dresden. [http://www.guetter-web.de/education/rnp/rnp\\_4.pdf](http://www.guetter-web.de/education/rnp/rnp_4.pdf) (Zugriff am 31.3.2014).

LERCHL, D., LERCHL, A., HANTSCH, P., BITZ, A., STRECKERT, J., HANSEN, V., 2000: Studies on the effect of radio-frequency Fields on Conifers. Wuppertal. <http://www.iddd.de/umtsno/lebewesen/lebewesen6.htm> (Zugriff am 12.3.2014).

SCHORPP, V., 2007: Hochfrequenzsender verursachen Baumschäden. Eine Beweisführung. Karlsruhe. <http://www.puls-schlag.org/download/Schorpp-StPeter-20070929-online200dpi.pdf> (Zugriff am 18.10.2013).

VOLKRODT, W., 1997: Elektromagnetische Felder – Mikrowellen und Waldsterben. Sind die bisherigen Elektrosmog-Theorien falsch? <http://www.kailer.at/kraeuterbaer/Elektromagnetische%20Felder%20-%20Mikrowellen%20und%20Waldsterben.htm> (Zugriff am 21.02.2014).

WALDMANN-SELSAM, C., 2010: Wirkungen elektromagnetischer Felder auf Pflanzen. Beobachtungen und Studien aus 80 Jahren. Internet-Publikation der Kompetenzinitiative e.V. <http://www.kompetenzinitiative.net> (Zugriff am 19.11.2013).

## **V. Webseiten**

<http://www.boomantaastingen.nl>

<http://www.bundesregierung.de>

<http://www.gigahertz.ch>

<http://www.puls-schlag.org>

<http://www.ralf-woelfle.de>

<http://www.vis.bayern.de>

<http://www.wikipedia.org>