

# Untersuchungen zur Wirkung elektromagnetischer Felder auf Waldbäume

B. Götz, G. Käs, R. Matyssek



Gaswechsel-Messstation mit den Messkuvetten



**Wenn von der Umweltverträglichkeit elektromagnetischer Felder die Rede ist, so steht meist der Mensch im Mittelpunkt der Betrachtung. Einen anderen Ansatz unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit elektromagnetischer Felder wählte unsere Arbeitsgruppe von der Universität der Bundeswehr in München in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Matyssek, LMU.**

Im Rahmen dieser Studie wollten wir Antworten auf die Frage erhalten, ob hochfrequente, gepulste elektromagnetische Felder einen Einfluss auf Pflanzen nehmen können. In der Öffentlichkeit werden besonders Radaranlagen, die mit gepulsten

Strahlungsquelle „Radar“

Hochfrequenzfeldern arbeiten, für Baumschäden verantwortlich gemacht. Grund genug, mögliche Wirkungen dieser Felder auf Bäume im Freilandversuch zu untersuchen.

Aber nicht nur die Tatsache, dass gepulsten Feldern besondere biologische Wirkungen nachgesagt werden, auch die teils widersprüchlichen Aussagen in der wissenschaftlichen Literatur ließen uns weitere Forschungen notwendig erscheinen. In verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten wird eine Beeinflussung von Pflanzen durch elektromagnetische Felder als möglich angenommen. Jedoch gibt es ebenso Studien, die diese Aussagen widerlegen. Auch werden einerseits wachstumsförder-

de und andererseits phytotoxische Wirkungen in Abhängigkeit von der eingebrachten Feldstärke diskutiert. Als Versuchsobjekte wurden von uns drei Exemplare zweier Baumarten ausgewählt. Dabei handelte es sich um zwei Fichten (*Picea abies*) und eine Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Die Bäume waren zu Beginn der Untersuchungen etwa 18 Jahre alt. Innerhalb der Systematik der Samenpflanzen wird die Fichte in die entwicklungsgeschichtlich ältere Unterabteilung der Coniferen (Coniferophytina) eingruppiert, während die Buche der höherentwickelten Unterabteilung der Bedecktsamer (Angiospermae) angehört. Diese systematische Differenzierung ist wichtig, da die Pflanzen erhebliche Unterschiede in bestimmten Merkmalen aufweisen und die Ergebnisse somit eine breitere Gültigkeit erlangen.

Die Bäume wurden über drei Jahre, jeweils während der Vegetationsperiode von Mai bis August, einem hochfrequenten, gepulsten elektromagnetischen Feld ausgesetzt. Im Verlauf und im Anschluss an die Vegetationsperiode erfolgten im September die Messungen zur Beurteilung möglicher Wirkungen der Feldexposition. Als Signalquelle wurde eine konventionelle Radarortungsanlage eingesetzt, die in der Überwachung von Schiffsverkehr weit verbreitet ist. Die Anlage sendete mit einer Frequenz von 9,445 GHz, einer Pulsfrequenz von 920 Hz und einer Pulsdauer von 0,5  $\mu$ s. Die Pulsleistung betrug 30 kW. Der horizontale Halbwerts-Öffnungswinkel des Antennendiagramms von 2,4° garantierte eine starke Bündelung des Signals in horizontaler Richtung. Dennoch wurde jeweils eine Baumhälfte mit Drahtgittern zusätzlich abgeschirmt, um sicher-

zustellen, dass nur ein ausgewählter Bereich der Pflanzen befeldet wurde. Der vertikale Halbwerts-Öffnungswinkel des Antennendiagramms betrug 30°. Die maximale Leistungsflussdichte während eines Pulses betrug 47 mW/cm<sup>2</sup>, die minimale 6 mW/cm<sup>2</sup>. Die mittleren Leistungsflussdichten betragen zwischen 21,6  $\mu$ W/cm<sup>2</sup> und 5,5  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>.

Um Rückschlüsse auf mögliche Wirkungen der eingestrahnten elektromagnetischen Felder ziehen zu können, wurden an bestrahlten und unbestrahlten Bereichen der Bäume die nachstehenden physiologischen und morphologischen Parameter untersucht und verglichen. Eine nähere Erläuterung zu den einzelnen Parametern erfolgt im Anschluss.

#### Morphologische Parameter:

mittlere Trieblänge	[cm]
mittlerer Triebdurchmesser	[cm]
mittlere Nadellänge (Fichte)	[mm]
Nadelmasse von 2000 Nadeln	[g]
mittlere Blattfläche (Buche)	[cm <sup>2</sup> ]
spezifische Blattfläche	[m <sup>2</sup> /kg]
mittlere Blattmasse	[g]

#### Physiologische Parameter:

CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O-Gaswechsellmessungen
carboxylation efficiency
stomatäre Wasserdampfleitfähigkeit
Transpirationsrate
Xylemflussmessungen

Die morphologischen Größen lassen Rückschlüsse auf das Wachstum der Pflanzen bzw. einzelner Pflanzenteile zu. Wenn elektromagnetische Felder einen Einfluss auf das Wachstum haben, so würden die morphologischen Parameter Abweichungen

zwischen bestrahlten und nicht bestrahlten Pflanzenbereichen aufweisen. Abweichungen können jedoch auch durch andere Parameter, insbesondere Licht, zustande kommen. Daher erfolgte die Betrachtung von Sonnen- und Schattenkrone der Buche getrennt voneinander. Für stärker belichtete und schwächer belichtete Baumbereiche wurden jeweils eigene Befeldungs- und Kontrollreihen durchgeführt.

Die physiologischen Parameter geben Auskunft über primäre Vorgänge der Stoffproduktion, des Stoffwechsels sowie über weitere stoffwechselrelevante Prozesse. Sie erlauben eine frühzeitige Erkennung von Veränderungen in der Pflanze, ohne auf sichtbare Änderungen, wie bei der Morphologie, warten zu müssen.

Anhand des CO<sub>2</sub>-Gaswechsels kann bestimmt werden, ob die Photosyntheseleistung beeinträchtigt ist. Die Photosyntheseleistung wird durch die Aufnahme von CO<sub>2</sub> aus der Umgebungsluft und durch die Fixierung und Weiterverwertung des CO<sub>2</sub> bestimmt. Wird die CO<sub>2</sub>-Aufnahme beeinträchtigt, sinkt die Photosyntheseleistung. Die „carboxylation efficiency“ (CE) gibt Auskunft über die Aktivität der Enzyme, die an der Fixierung und Verwertung von aufgenommenem CO<sub>2</sub> beteiligt sind. Eine Beeinträchtigung oder gar Schädigung dieser Enzyme führt zu einem verminderten CE-Wert. Störungen im Bereich der Photosynthese können auch durch den Vergleich von maximaler und apparanter Photosyntheseleistung erfasst werden. Bei identischen Standorten und gleichen Bedingungen sollte der Anteil der apparanten Photosynthese an der maximalen Photosynthese von befeldeten und nicht befeldeten Pflanzenteilen vergleichbar sein.



Abschirmgitter und Messgestell

Die Aufnahme von  $\text{CO}_2$  aus der Luft erfolgt über die sogenannten Spaltöffnungen (Stomata). Diese liegen bei den betrachteten Pflanzen an den Unterseiten der Blattspreiten bzw. in den Nadeln. Die Spaltöffnungen können durch einen bestimmten Mechanismus gezielt geöffnet und geschlossen werden. Geschlossene Spaltöffnungen ziehen eine geringere  $\text{CO}_2$ -Aufnahme nach sich.

Die Spaltöffnungen beeinflussen auch den Wasserhaushalt einer Pflanze. Um Austrocknung vorzubeugen, kann eine Pflanze die Spaltöffnungen schließen, zu Lasten der  $\text{CO}_2$ -Aufnahme. Bei den betrachteten Pflanzen sind die Regulierung des Wasserhaushalts und die Aufnahme von  $\text{CO}_2$  aneinander gekoppelt. Die Funktionstüchtigkeit der Spaltöffnungen kann über die Wasserabgabe (Transpiration) an den Blattspreiten und Nadeln registriert werden.

Auch die Messung des Wassertransports durch eine Pflanze ermöglicht eine Aussage über den physiologischen Status der Pflanze. Wasser wird in Pflanzen in einer

Art Kanalsystem transportiert. Dieses Kanalsystem lässt sich in zwei Bereiche unterteilen: das Phloem, welches gelöste Nährstoffe transportiert, und das Xylem, durch das nur Wasser geleitet wird. Der passive Wassertransport durch die Pflanze funktioniert nur dann, wenn über die Spaltöffnungen ein Wasserverlust auftritt. Die Transpiration erzeugt eine Saugspannung, die Wasser von unten nach oben fördert. Fehlfunktionen im Spaltöffnungsapparat zeigen sich somit in Veränderungen im Wassertransport durch das Xylem.

Die Vergleiche zwischen den Nadel- und Triebblängen von befeldeten und nicht befeldeten Pflanzenteilen lassen keine signifikanten Abweichungen feststellen. Betrachtet man die grafische Darstellung der morphologischen Parameter bei der Buche, so sind auf den ersten Blick Veränderungen erkennbar. Diese gelten jedoch nur für den Vergleich von Sonnen- und Schattenseite der Pflanzen und haben ihre Ursache nicht in der Befeldung. Die höheren mittleren Triebblängen auf der Sonnenseite des Baumes sowie die höhere Blattfläche auf der Schattenseite sind photomorphogenetische Effekte, also Reaktionen der Pflanze auf unterschiedliche Lichtintensitäten. Eine höhere Photosyntheseaktivität auf der Sonnenseite ermöglicht ein schnelleres Wachstum der Triebe. Auf der Schattenseite reagiert die Pflanze auf das geringere Lichtangebot mit der Ausbildung größerer Blattflächen, um mehr Licht für die Photosynthese aufnehmen zu können. Vergleicht man hingegen die Auftragungen für befeldete und nicht-befeldete Pflanzenteile des gleichen Baumabschnitts sind keine signifikanten Veränderungen, die auf die Befeldung zurückzuführen wären, erkennbar.

Auch die Auswertungen der Daten aus den physiologischen Messungen geben keinen Hinweis auf einen Einfluss von hochfrequenten, gepulsten elektromagnetischen

Feldern auf Bäume. Es kann weder eine Veränderung der  $\text{CO}_2$ -Aufnahme, noch eine Veränderung in der Fixierung und Verwertung von  $\text{CO}_2$  festgestellt werden. Auch der Xylemfluss und die Transpirationsrate bleiben von der Befeldung unbeeinflusst. Daraus kann geschlossen werden, dass sowohl die beteiligten Enzyme als auch der Mechanismus des Spaltöffnungsapparates in ihrer Funktionalität ohne Beeinträchtigung bleiben und eine Störung oder Veränderung durch die elektromagnetischen Felder nicht gegeben sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch die von der Radaranlage ausgesandten elektromagnetischen Felder kein Einfluss auf die betrachteten Parameter festgestellt wurde und daher kein schädigender Einfluss dieser Felder auf die befeldeten Bäume erkannt wurde.

Radarsignale gelten unter den elektromagnetischen Feldern als besonders kritisch, da sie eine hohe Ausgangsleistung besitzen und mit gepulsten Feldern arbeiten. Gepulsten Signalen wird eine höhere biologische Wirksamkeit unterstellt, da hier Effekte wie elektrische Durchschläge durch kurzzeitige, sehr hohe Feldstärken auftreten können.

Die vorliegende Studie ist als weiterer Hinweis darauf zu verstehen, dass eine Umweltverträglichkeit elektromagnetischer Felder nicht festgestellt wurde. Sie bestätigt damit Ergebnisse zahlreicher anderer Arbeiten.

*Die Studie wurde von der „Stiftung Wald in Not“ finanziell unterstützt.*

*Dr. B. Götz war Mitarbeiter am Lehrstuhl für Forstbotanik der Ludwigs-Maximilians-Universität München und arbeitet zur Zeit im Forstbotanischen Garten der FH Eberswalde. Prof. G. Käs ist Mitglied der Universität der Bundeswehr in München.*

*Prof. Dr. R. Matyssek lehrt am Lehrstuhl für Forstbotanik der Ludwigs-Maximilians-Universität München.*