

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 67 (1989)

Heft: 12

Artikel: Felduntersuchung über eventuelle Schadenwirkungen von Mikrowellenfeldern auf den Wald = Essais en campagne concernant des dégâts éventuels aux forêts dus aux champs électromagnétiques à micro-ondes

Autor: Stäger, Christian

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874962>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 11.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Felduntersuchung über eventuelle Schadenwirkungen von Mikrowellenfeldern auf den Wald

Essais en campagne concernant des dégâts éventuels aux forêts dus aux champs électromagnétiques à micro-ondes

Christian STÄGER, Jegenstorf

Zusammenfassung. Nach der Publikation zweier Arbeiten im Zusammenhang mit eventuellen Schadenwirkungen von elektromagnetischen Feldern im UKW- und Fernsehfrequenzbereich auf den Wald wurde eine weitere Feldstudie über allfällige Wirkungen bei Mikrowellenfrequenzen durchgeführt. Wegen der guten Strahlenbündelung bei Richtfunkanlagen war es in dieser Untersuchung einfacher als in den früheren Arbeiten, Waldstandorte mit normaler Mikrowellenfeldstärke und praktisch mikrowellenfreie Kontrollstandorte zu bestimmen und deren Schadenverläufe miteinander zu vergleichen. Mit der Hilfe von Forstfachleuten aus dem Kanton Freiburg wurden beim Mt-Gibloux und bei Riaz 14 Doppelstandorte ausgeschieden, die waldbaulich und ökologisch einander möglichst ähnlich sind, sich jedoch paarweise in den jeweiligen lokalen Feldstärkewerten wesentlich unterscheiden. Die Mess- und Kontrollflächen umfassen etwas mehr als 60 000 Einzelbäume. Die Grob- und Feinauswertung wurde mit Hilfe der «Sana-silva»-Schadenkarte durchgeführt, die auf der optischen Beurteilung von Infrarot-Luft-Boden-Aufnahmen des Waldes beruht. Dank der grossen Probenzahl war es möglich, statistisch gesicherte Aussagen zu machen. Es zeigt sich klar, dass die Schadenverläufe in den mikrowellenbelasteten Messfeldern und in den feldfreien Kontrollfeldern praktisch identisch sind. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die in beiden Fällen vorhandenen Waldschäden durch andere Einflüsse verursacht werden müssen. Weil der Richtfunkstandort Mt-Gibloux für schweizerische Verhältnisse typisch ist, erübrigen sich zusätzliche Studien bei Richtfunkverbindungen.

Résumé. Après la publication de deux articles concernant d'éventuels dégâts aux forêts dus à des champs électromagnétiques OUC et TV, une nouvelle étude sur les dégâts prétendument imputables aux micro-ondes a été menée dans un site témoin. Vu que le rayonnement des installations hertziennes est fortement focalisé, il a été plus simple de trouver pour cette étude des emplacements forestiers présentant des champs à micro-ondes d'intensité normale ou pratiquement nulle et de comparer les dégâts aux deux endroits. Avec le concours de spécialistes forestiers du canton de Fribourg, 14 paires d'emplacements ont été déterminées au Mont-Gibloux et à Riaz, qui présentaient des analogies sur le plan forestier et écologique mais où l'intensité des champs locaux était sensiblement différente. En se servant de la carte des dégâts «Sana-silva», qui se fonde sur des prises de vues aériennes à l'infrarouge, les quelque 60 000 arbres des surfaces de mesure et de contrôle ont été examinés sommairement puis en détail. Grâce au grand nombre d'échantillons, les résultats statistiques ont une valeur sûre. Il apparaît clairement que l'aspect des dégâts dans les secteurs de mesure exposés aux micro-ondes et dans ceux qui en sont exempts est pratiquement identique. On peut en déduire que les dégâts aux forêts sont dus dans les deux cas à d'autres causes. L'emplacement à faisceaux hertziens du Mont-Gibloux reflétant typiquement les conditions suisses, d'autres études relatives aux effets des liaisons hertziennes sont superflues.

Indagine in campo sull'eventuale influsso dannoso delle microonde sul bosco

Riassunto. Dopo la pubblicazione di due studi sull'eventuale influsso dannoso sul bosco dei campi elettromagnetici relativi alle OUC e alle frequenze televisive, è stata effettuata un'indagine sull'eventuale influsso dannoso delle microonde. In questa indagine, la buona concentrazione dell'irradiazione nei ponti radio ha permesso di determinare, in modo più semplice rispetto agli studi precedenti, punti nel bosco con intensità di campo delle microonde normale e punti di controllo praticamente liberi da microonde e di confrontare quindi il progredire dei danni. Con l'aiuto di specialisti forestali del Canton Friburgo sono state scelte sul Mt-Gibloux e presso Riaz 28 ubicazioni comparabili, a coppie, dal punto di vista della silvicoltura e dell'ecologia, ma tali che per ogni coppia si registrasse una differenza notevole dei valori locali dell'intensità di campo. L'analisi generale e quella particolare degli oltre 60 000 alberi compresi nelle superfici di misura e di controllo sono state effettuate con l'aiuto della cartina dei danni «Sana-silva» basata sulla valutazione ottica di riprese aeree all'infrarosso del bosco. Grazie al gran numero di prove, è stato possibile formulare giudizi comprovati da dati statistici. Risulta chiaro che il progredire dei danni nei campi di misura carichi di microonde e nei campi di controllo liberi da tali onde è praticamente identico. Si può pertanto giungere alla conclusione che i danni al bosco presenti nei due casi devono essere provocati da altri influssi. Dato che il Mt-Gibloux, quale ubicazione di ponti radio, è un esempio tipico della situazione in Svizzera, si rendono superflui altri studi riguardo ai collegamenti su ponti radio.

1 Allgemeines

Die Abteilung Forschung und Entwicklung der PTT befasst sich schon seit Jahren mit der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Wellen und der Umwelt, einerseits, um Mensch und Natur vor möglichen Beeinträchtigungen zu schützen, andererseits um die gewünschte Ausbreitung der Wellen sicherzustellen. Nach der Publikation zweier Arbeiten im Zusammenhang mit allfälligen Wirkungen elektromagnetischer Felder im UKW- und Fernsehfrequenzbereich auf den Wald [1, 2, 3] wurden nun die Untersuchungen auf den Mikrowellenfrequenzbereich ausgedehnt.

1 Généralités

La Division des recherches et du développement des PTT s'occupe depuis de nombreuses années déjà de l'influence des ondes électromagnétiques sur l'environnement, d'une part, afin de protéger l'homme et la nature à l'égard de dégâts éventuels, tout en tenant compte de la nécessité d'assurer la diffusion désirée des ondes. Après la publication de deux travaux en relation avec les effets éventuels des champs électromagnétiques dans le domaine des OUC et de la télévision sur la forêt [1, 2, 3], des essais ont été étendus au domaine des micro-ondes.

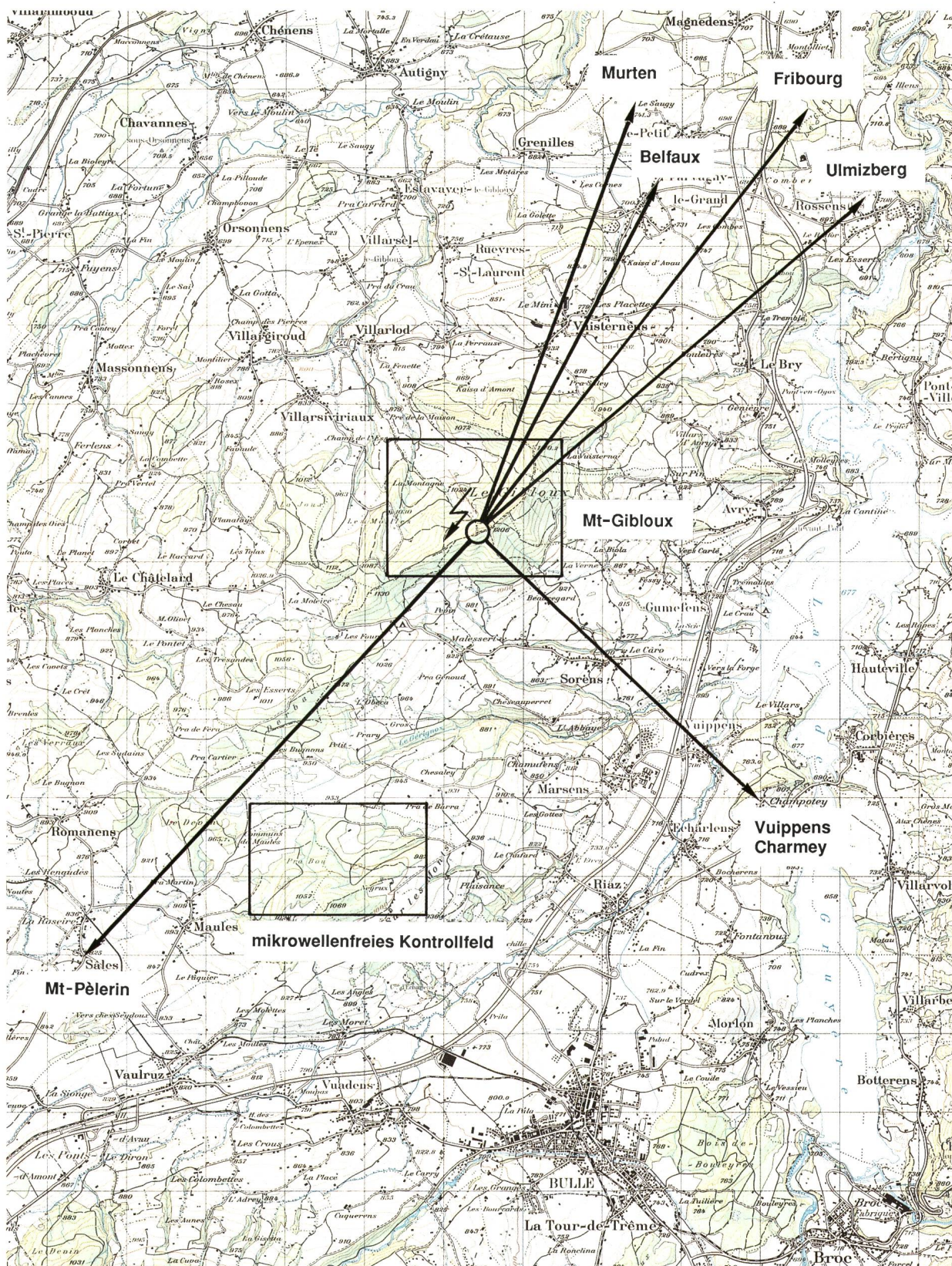


Fig. 1
Kartenausschnitt mit dem Richtfunkstandort Mt-Gibloux und Umgebung sowie Kontrollstandort in der Umgebung von Riaz. (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. Oktober 1989)
Extraits de cartes géographiques avec l'emplacement de l'émetteur à faisceaux hertziens du Mt-Gibloux et l'emplacement de contrôle de la région de Riaz. (Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 23 octobre 1989)
Mikrowellenfreies Kontrollfeld — Zone de contrôle non soumise aux micro-ondes

Um möglichst allgemeingültige Aussagen machen zu können, ist für diese Feldstudie ein für schweizerische Verhältnisse typischer Richtfunkstandort ausgewählt worden, der Verbindungen in verschiedenen Frequenzbändern [2, 6, 11 GHz] aufweist. Zusätzlich wurde, wie in der bisher angewendeten Versuchsmethode, ein weit-

Afin de pouvoir donner des indications valables de manière aussi générale que possible, on a choisi pour cette étude un emplacement d'émission typique pour les conditions rencontrées en Suisse, qui assure des liaisons à faisceaux hertziens dans différentes bandes de fréquences [2, 6, 11 GHz]. En outre, on a pris comme

gehend mikrowellenfreier Standort als Kontrollfläche bestimmt, der waldökologisch möglichst ähnlich der Messfläche am Richtfunkstandort ist.

Der vollständig bewaldete Richtfunkstandort Mt-Gibloux im Kanton Freiburg und eine praktisch mikrowellenfeldfreie Kontrollfläche bei Riaz, Kanton Freiburg, entsprechen diesen Anforderungen nahezu ideal.

2 Versuchsanordnung

Wie bei den früheren Arbeiten im UKW-Frequenzbereich werden in dieser Anordnung vergleichbare Bäume oder Baumgruppen, die grosse Feldstärkenunterschiede zueinander aufweisen, untersucht. Damit kann weitgehend vermieden werden, dass andere wichtige Einflussgrössen wie Klimaschwankungen, Luftverschmutzung, Forstbewirtschaftung usw. die Resultate verfälschen.

21 Standorte

Figur 1 zeigt als Kartenausschnitt die zwei gewählten Standorte, einerseits die im Mikrowellenfeld liegende Umgebung der Richtfunkanlage Mt-Gibloux und andererseits die weitgehend mikrowellenfreie Kontrollfläche bei Riaz.

22 Feldstärke- bzw. Leistungsflussdichtesituation der Standorte

In Figur 2 sind die Strahlwinkelverhältnisse und die maximalen Summenleistungsdichten (Summen bei ver-

point de comparaison, à l'instar de ce qui s'est fait avec la méthode d'essai utilisée jusqu'ici, un emplacement aussi libre que possible de l'influence des micro-ondes en tant que surface de contrôle, dont les caractéristiques du point de vue de l'écologie forestière étaient semblables à celles de la surface de mesure au point d'émission.

Le point d'émission entièrement boisé du Mt-Gibloux dans le canton de Fribourg et une surface de contrôle près de Riaz, également dans le canton de Fribourg, pratiquement libre de l'influence de champs à micro-ondes correspondent de manière presque idéale à ces conditions.

2 Dispositif d'essai

Comme pour les travaux réalisés précédemment dans les domaines des OUC on a examiné dans le dispositif retenu des arbres ou des groupes d'arbres pouvant être comparés entre eux et soumis à l'influence de champs magnétiques d'intensité très différente. On a pu ainsi éviter que d'autres grandeurs d'influence importantes, telles que les variations de climat, la pollution de l'air, les facteurs de l'économie forestière influencent les résultats.

21 Emplacements

La figure 1 montre sur des extraits de cartes géographiques, les deux emplacements choisis, d'une part, la

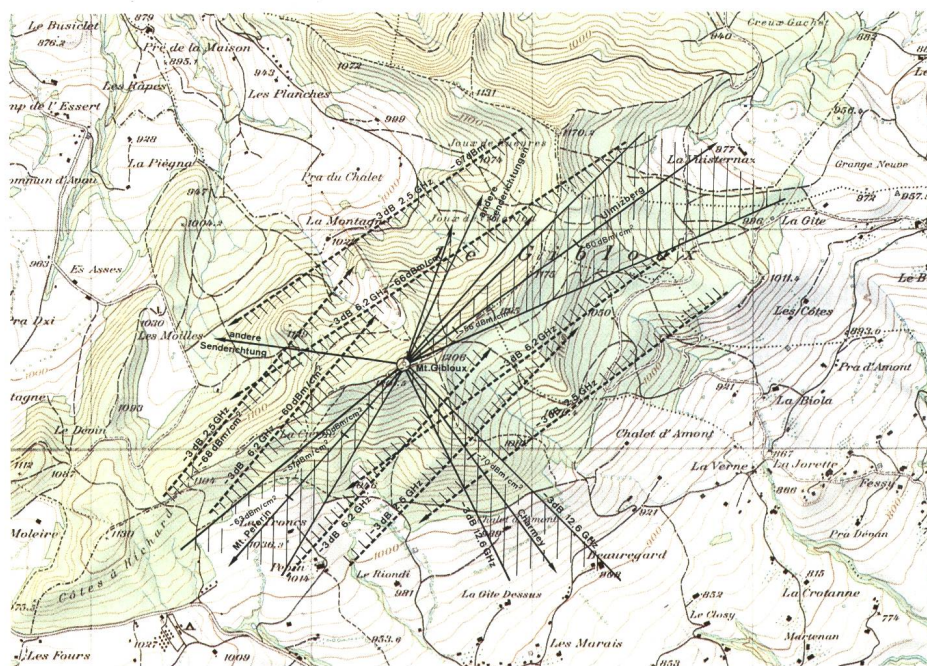


Fig. 2

Situation der elektromagnetischen Felder am Mt-Gibloux (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. Oktober 1989). Die ausgezogenen Linien entsprechen den Senderstrahlungskeulen beim Mt-Gibloux, die Pfeile markieren die Senderichtung. Situation des champs électromagnétiques du Mt-Gibloux (reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 23 octobre 1989). Les lignes en traits pleins correspondent aux lobes de rayonnement des émetteurs du Mt-Gibloux, les flèches indiquent la direction d'émission. Les secteurs hachurés correspondent au Bereich des Leistungsmaximums bis zum Abfall auf die Hälfte (3 dB) der auf dem Erdboden aufliegenden Strahlungsnebenkeulen der Sendeantennen.

Les secteurs hachurés correspondent à la zone du maximum de puissance, jusqu'à sa diminution à la moitié (3 dB), des lobes des antennes d'émission rayonnant en direction du sol.

Die gestrichelten Linien entsprechen den Empfangssignalen von den Gegenstationen Ulmizberg und Mt-Pélerin, die schraffierten Sektoren begrenzen wiederum den Abfall um 3 dB der empfangenen Hauptkeulenmaxima. Diese sind wegen der unterschiedlichen Frequenzen und Antennen verschieden breit.

Les lignes pointillées correspondent aux signaux reçus des stations opposées de l'Ulmizberg et du Mt-Pélerin, les secteurs hachurés limitent à nouveau la zone du maximum de puissance jusqu'à sa réduction à 3 dB des signaux reçus du lobe d'antenne principal. La largeur de ses derniers est différente, étant donné les différentes fréquences utilisées.

schiedenen Frequenzen von allen Sender- sowie Empfangsfeldern) in der nahen Umgebung des Richtfunkstandortes aufgetragen. Die Leistungsdichten wurden berechnet und an Kontrollpunkten im Feld gemessen.

Es zeigte sich, dass die Empfangssignale der von den fernen Gegenstationen Ulmizberg und Mt-Pèlerin Richtung Mt-Gibloux gesendeten Kanäle in der Umgebung des Mt-Gibloux Empfangsfeldstärken bzw. Leistungsflussdichten auf den Wald erzeugen, die in der gleichen Grössenordnung liegen wie die Antennenstreufelder der Sender auf dem Mt-Gibloux selber.

Auch wenn die Richtfunkstrahlungshauptkeulen sehr kleine Öffnungswinkel ($\sim 1^\circ$) aufweisen, beträgt die Öffnungsweite am fernen Empfangsort (in unserem Fall die Ausstrahlungen von den Gegenstationen Ulmizberg und Mt-Pèlerin im Empfangsstandort Mt-Gibloux) einige hundert Meter. Die Öffnungswinkel der Sendeantennenausstrahlung am Mt-Gibloux sind für die Strahlungsnebenkeulen, die allein auf den Wald wirksam sind, mindestens 30° breit, so dass auch hier eine grosse Seitenstreuung der Strahlung vorhanden ist. Es können deshalb keinesfalls Schneisenwirkungen der Richtfunkstrahlung auf den Wald entstehen, wie in gewissen, meist ausländischen Zeitungsartikeln behauptet worden ist. Die Umgebung des Mt-Gibloux ist deshalb in einem Radiusbereich von ungefähr 500 m ziemlich gleichmässig einer Leistungsflussdichte der Mikrowellenstrahlung von $D \leq -50 \text{ dBm/cm}^2$ ($D \leq 1/100\,000 \text{ Milliwatt/cm}^2$) ausgesetzt.

In der Kontrollfläche bei Riaz ist auch mit den empfindlichsten Messgeräten kein Kommunikations-Mikrowellenfeld mehr nachzuweisen. Die Leistungsflussdichten sind hier mit Sicherheit kleiner als $D \leq -120 \text{ dBm/cm}^2$ ($D < 1/1\,000\,000\,000\,000 \text{ Milliwatt/cm}^2$).

3 Messbedingungen

Es ging nun darum, am Standort mit nachweisbarem Mikrowellenfeld (Mt-Gibloux und Umgebung) und am mikrowellenfeldfreien Kontrollstandort bei Riaz eine Gruppe von Waldparzellen als Gegensatzpaare so auszuscheiden, dass sich immer ökologisch und waldbaulich vergleichbare Waldparzellen gegenüberstehen, die sich nur in den Feldstärken wesentlich unterscheiden. Diese konnten dann waldschadenmässig miteinander verglichen werden.

Wegen der überaus grossen Probenzahl – Mess- und Kontrollflächen enthalten mehr als 60 000 Einzelbäume – wurde in dieser Arbeit auf die aufwendige Jahrringanalyse verzichtet und nur die Kronenanalyse mit Infrarotbildauswertung angewendet, die immerhin das Vitalitätsverhalten der Bäume über mehrere Jahre erkennen lässt.

Das kantonale Forstamt in Freiburg führte entsprechende Vorarbeiten durch und stellte in einem ausführlichen Bericht [4] 16 Gegensatz-Waldparzellenpaare zusammen.

Die für jedes Paar angewendeten Ähnlichkeitsbedingungen sind nachstehend aufgeführt:

- Baumalter
- Baumart

zone soumise aux effets du champ à micro-ondes de l'installation d'émission du Mt-Gibloux et, d'autre part, la surface de contrôle pratiquement libre de toutes influences de champs à micro-ondes, près de Riaz.

22 Indications concernant les champs et la densité de puissance aux emplacements de comparaison

La figure 2 indique les conditions ayant trait à l'angle de rayonnement et aux sommes des densités de puissance (sommes pour diverses fréquences de tous les champs d'émission et de réception) à proximité de l'emplacement d'émission. Les densités de puissance ont été calculées et mesurées sur place.

On s'est aperçu que les signaux reçus sur les canaux émis par les stations opposées éloignées de l'Ulmizberg et du Mt-Pèlerin en direction du Mt-Gibloux engendraient dans la région du Mt-Gibloux des champs et des densités de puissance qui, pour la forêt, étaient du même ordre de grandeur que les champs de dispersion des antennes des émetteurs sur le Mt-Gibloux même.

Même si l'angle d'ouverture du lobe principal de rayonnement des antennes à faisceaux dirigé est très petit ($\sim 1^\circ$), le champ balayé au point de réception éloigné (dans notre cas les rayonnements des stations opposées de l'Ulmizberg et du Mt-Pèlerin au point de réception du Mt-Gibloux) couvrent une zone de quelque centaines de mètres. Les angles d'ouverture du rayonnement des antennes d'émission du Mt-Gibloux sont, en ce qui concerne les lobes de rayonnement latéraux, qui seuls ont un effet sur la forêt, sont au moins de 30° , si bien qu'ici aussi on a affaire à une grande dispersion latérale du rayonnement. De ce fait, il n'est donc pas possible que ces rayonnements aient un effet de tranchée sur la forêt, tel que cela a été prétendu dans certaines publications, la plupart étrangères. La région du Mt-Gibloux est donc, dans un rayon d'environ 500 m, soumise de façon relativement régulière à une densité de puissance en micro-ondes de $D \leq -50 \text{ dBm/cm}^2$ ($D \leq 1/100\,000 \text{ de mW/cm}^2$).

Dans la zone de contrôle de Riaz il n'est pas possible de déterminer la présence de champs de micro-ondes de télécommunications, même avec les appareils de mesure les plus sensibles. Les densités de puissance sont ici certainement inférieures à $D \leq -120 \text{ dBm/cm}^2$ ($D < 1/1\,000\,000\,000\,000 \text{ de mW/cm}^2$).

3 Conditions de mesure

Il s'est donc agi de déterminer un groupe de parcelles de forêt à l'emplacement où un champ de micro-ondes pouvait être mesuré (Mt-Gibloux et son environnement), ainsi qu'à l'emplacement de contrôle près de Riaz, non soumis à l'influence de champs de micro-ondes. Le choix devait se faire de façon qu'il soit possible de mettre en regard des parcelles de forêt comparables tant du point de vue écologique que de celui de l'économie forestière. Ces parcelles ne devaient donc se différencier que du point de vue de l'influence des champs auxquels elles étaient soumises. Ces conditions étant remplies, ces parcelles pouvaient ensuite être comparées du point de vue des dégâts.

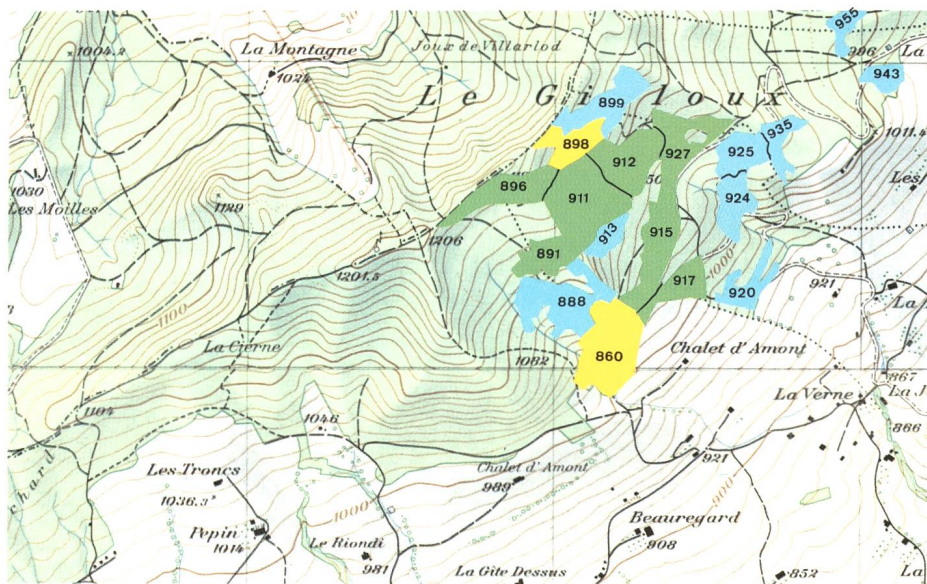


Fig. 3
 Lage der Gegensatzpaare mit Parzellennummern am Richtfunkstandort Mt-Gibloux (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. Oktober 1989)
 Situation des paires comparées avec numéro de parcelle au lieu d'émission du Mt-Gibloux (reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 23 octobre 1989)

Umgebung des Richtstrahlstandortes Mt-Gibloux

Gesundheitszustand:

- Gesund
- Sehr kleine Schäden
- Kleine Schäden

Région de l'émetteur à faisceaux hertziens du Mt-Gibloux

Etat de santé:

- Sain
- Très peu de dégâts
- Peu de dégâts

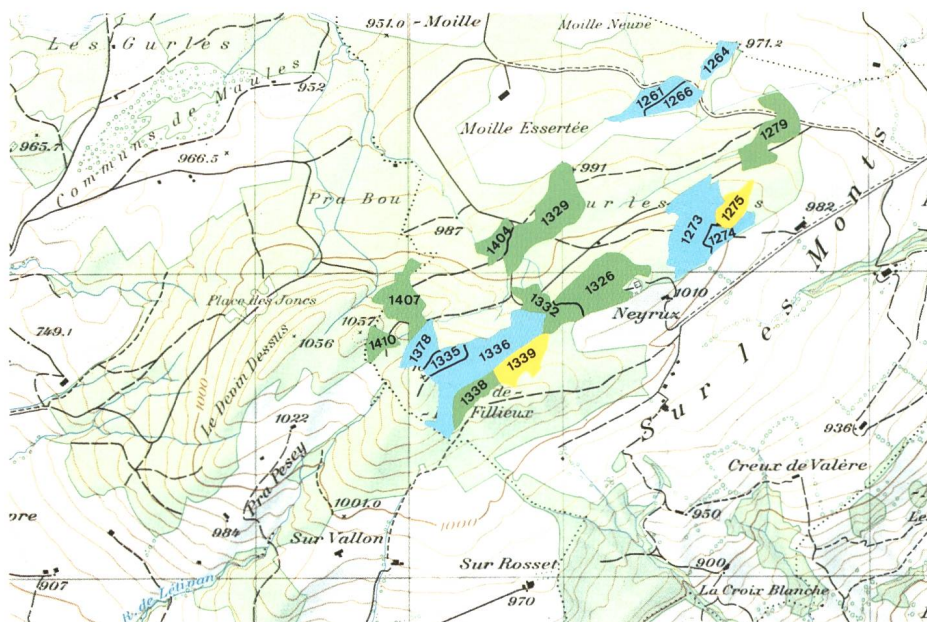


Fig. 4
 Lage der Gegensatzpaare mit Parzellennummern in der Kontrollfläche bei Riaz (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. Oktober 1989)
 Situation des paires comparées avec les numéros de parcelles dans la zone de contrôle près de Riaz (reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 23 octobre 1989)

Kontrollflächen bei Riaz

Gesundheitszustand:

- Gesund
- Sehr kleine Schäden
- Kleine Schäden

Surfaces de contrôle près de Riaz

Etat de santé:

- Sain
- Très peu de dégâts
- Peu de dégâts

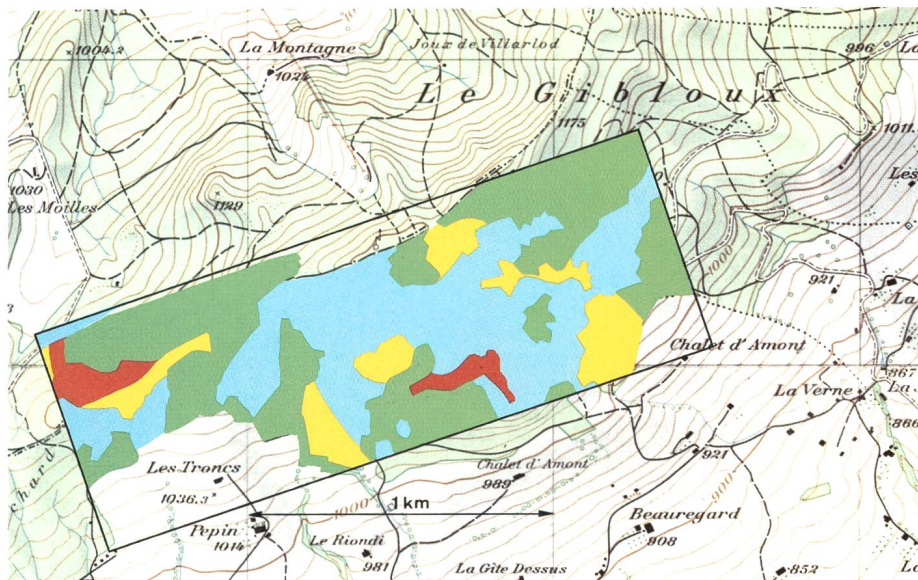


Fig. 5
Ausschnitt aus der Sanasilva-Schadenkarte beim Richtfunkstandort Mt-Gibloux, ~1,5 km² gross (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. Oktober 1989)
Extrait de la carte de l'état de santé Sanasilva au lieu d'émission du Mt-Gibloux, surface ~1,5 km² (reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 23 octobre 1989)

Umgebung des Richtstrahlstandortes Mt-Gibloux

Gesundheitszustand:

- Gesund
- Sehr kleine Schäden
- Kleine Schäden
- Mittlere Schäden

Région de l'émetteur faisceaux hertziens du Mt-Gibloux

Etat de santé:

- Sain
- Très peu de dégâts
- Peu de dégâts
- Dégâts moyens

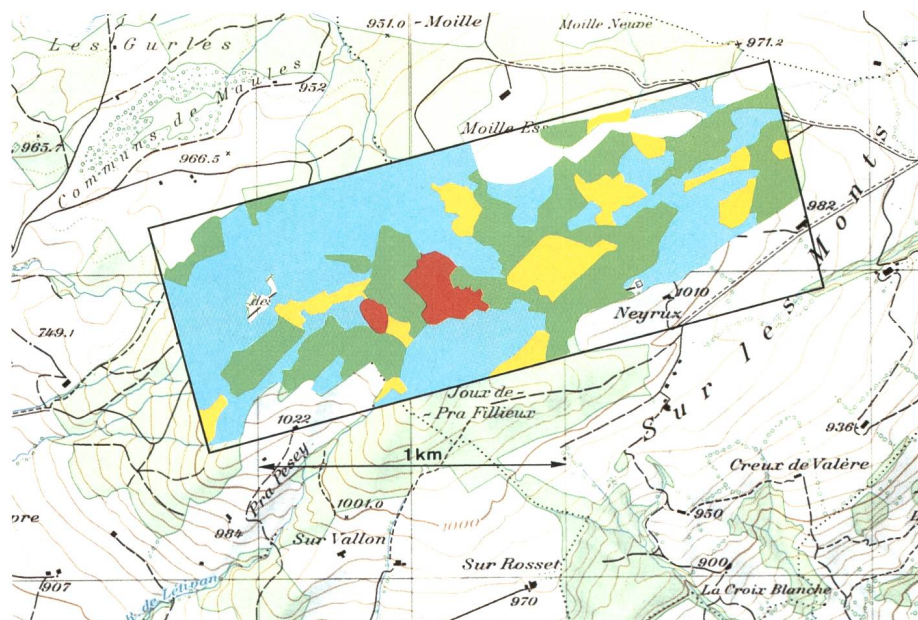


Fig. 6
Ausschnitt aus der Sanasilva-Schadenkarte der Kontrollfläche bei Riaz, ~1,5 km² gross (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23. Oktober 1989)
Extrait de la carte de l'état de santé Sanasilva pour la surface de contrôle près de Riaz, ~1,5 km² (reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 23 octobre 1989)

Kontrollflächen bei Riaz

Gesundheitszustand:

- Gesund
- Sehr kleine Schäden
- Kleine Schäden
- Mittlere Schäden

Surfaces de contrôle près de Riaz

Etat de santé:

- Sain
- Très peu de dégâts
- Peu de dégâts
- Dégâts moyens

- Bepflanzungsdichte
- Untergrund
- Bodenfeuchtigkeit
- Topographie
- Durchforstung

Der einzige signifikante Unterschied im jeweiligen Gegensatzpaar ist die auf die Baumkronenregion wirkende Mikrowellenleistungsflussdichte mit einem Mindestunterschied von 1:10 000 000 ($D \sim -50 \text{ dBm/cm}^2$ beim Richtfunkstandort, $D \sim -120 \text{ dBm/cm}^2$ bei Riaz).

In Bodennähe innerhalb des Waldes ist jeweils die berechnete *und auch* die gemessene Leistungsflussdichte wegen der Transmissionsdämpfung durch das Geäst 20...30 dB (Faktor 100 bis 1000) kleiner.

Insgesamt ist eine Waldfläche von 168 ha mit 130 Einzelparzellen in diese Untersuchung einbezogen worden. Dies entspricht bei einem mittleren Abstand von 5 m von Baum zu Baum einer Gesamtzahl von 67 000 Bäumen.

Ein Vergleich der Schadenhöhe in den Gegensatzpaaren anhand der Waldschadenkartierung des Sanasilva-Projekts 1985 (Schadenerkennung mit Infrarot-Luft-Boden-Aufnahmen) ermöglicht es nun, *allfällige Korrelationen zwischen Waldschadenhöhe und Mikrowellen-Leistungsflussdichteunterschieden zu erkennen*. Seit 1985 sind im Untersuchungsgebiet keine neuen Infrarotaufnahmen gemacht worden. Die Schäden haben jedoch gemäss den Angaben des kantonalen Forstamtes in Freiburg seither allgemein etwas abgenommen, so dass die Auswertung der Infrarot-Luftbildresultate aus dem Jahre 1985 immer noch Gültigkeit hat.

Die Lage der Gegensatzpaare ist aus den *Figuren 3 und 4* ersichtlich. *Figuren 5 und 6* zeigen Ausschnitte aus der Schadenkarte der Untersuchungsgebiete.

4 Auswertung der Resultate gemäss Figuren 5 und 6 sowie 3 und 4

41 Grobvergleich

Bereits die Gegenüberstellung einer ungefähr flächengleichen Sanasilva-Schadenkartierung ohne Berücksichtigung der feineren Unterteilung in Gegensatzpaare zeigt deutlich, dass die Schadenverläufe zwischen Mt. Gibloux und Umgebung und dem Kontrollstandort bei Riaz *keine wesentlichen Unterschiede aufweisen* (Tab. I).

(Die Schadenbewertungsskala ist den Sanasilvakarten entnommen.)

Figur 7 zeigt eine grafische Darstellung der obenstehenden Tabelle.

42 Auswertung nach Gegensatzpaaren

Die Gegenüberstellung in *Figur 8* der 16 Gegensatzpaare gemäss *Figuren 3 und 4* zeigt deutlich, dass auch bei *möglichst ähnlichen Waldverhältnissen* die Schadenvariationen zwischen mikrowellenbelasteten Bäumen und den Bäumen im mikrowellenfreien Gebiet fast identisch verlaufen. Daraus geht klar hervor, dass die im Mikrowellenfrequenzbereich arbeitenden Kommunikationsanlagen im typischen Leistungsbereich von einigen

Etant donné le nombre énorme d'échantillons – les surfaces de mesure et de contrôle comprennent plus de 60 000 arbres isolés – on a renoncé dans cette campagne de mesure à l'analyse des cernes annuels nécessitant un énorme travail et on s'est limité à l'analyse des cimes fondée sur l'interprétation de photos à l'infrarouge, qui donne des indications sur la vitalité des arbres pendant de plusieurs années.

L'Office cantonal des forêts de Fribourg s'est occupé des travaux préliminaires nécessaires et a défini dans un rapport très complet 16 paires de parcelles pouvant entrer en ligne de compte pour les essais.

Les conditions de comparaison fixées pour chaque paire sont indiquées ci-après:

- Age des arbres
- Genre d'arbres
- Densité des peuplements
- Sous-sol
- Humidité du sol
- Topographie
- Mesures d'éclaircissement.

La seule différence significative pour chaque paire entrant dans la comparaison et la densité de puissance de micro-ondes avec une différence minimale de 1:10 000 000 ($D \sim -50 \text{ dBm/cm}^2$ à l'emplacement d'émission, $D \sim -120 \text{ dBm/cm}^2$ à Riaz).

A proximité du sol à l'intérieur de la forêt la densité de puissance calculée *et aussi* mesurée est de 20...30 dB inférieure (facteur 100 à 1000), étant donné l'affaiblissement de transmission dû aux branchages.

On a pris en considération dans cet essai une surface de forêt de 168 ha avec 130 parcelles. Cela correspond pour une distance moyenne de 5 m d'un arbre à l'autre, à un total de 67 000 arbres.

Une comparaison du degré des dégâts dans les paires d'essai se fondant sur la cartographie des dégâts aux forêts du projet Sanasilva 1985 (détection des dégâts à l'aide de photos aériennes à l'infrarouge) permet maintenant de détecter *l'éventuelle corrélation entre le degré des dégâts aux forêts et les différences de densité de champ à micro-ondes*. Depuis 1985, aucune prise de vue à l'infrarouge n'a été faite dans la zone d'essai. Les dégâts ont cependant, selon les indications de l'Office cantonal de forêts de Fribourg, quelque peu diminué depuis lors, si bien que l'interprétation des résultats donnés par les vues aériennes prises en 1985 sont encore valables.

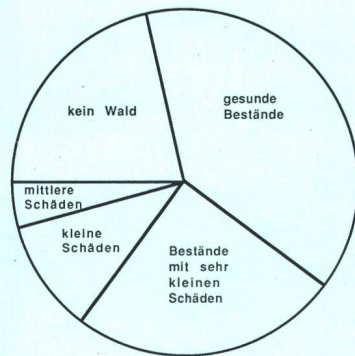
La situation des paires prises pour la comparaison ressort des *figures 3 et 4*. Les *figures 5 et 6* montrent des extraits de la carte des dégâts se rapportant aux zones examinées.

4 Interprétation des résultats selon les figures 5 et 6 ainsi que 3 et 4

41 Comparaison grossière

La mise en regard de dégâts cartographiés selon le projet Sanasilva portant sur une surface à peu près égale et sans tenir compte de la répartition plus fine relative aux paires comparées montre de manière sûre que l'évolu-

Kontrollstandort bei Riaz
Lieu de contrôle près de Riaz



Mt-Gibloux Richtstrahlstandort
Emplacement de l'émetteur à faisceaux hertziens du Mt-Gibloux

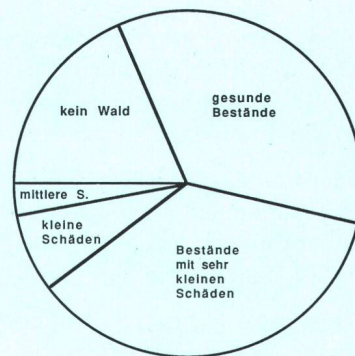


Fig. 7

Schadendarstellung in Prozenten der Waldflächen von je 1,5 km² gemäss Figuren 5 und 6
Représentation des dégâts en pour cent de la surface de forêts de 1,5 km² selon les figures 5 et 6

kein Wald – pas de forêt
mittlere Schäden – dégâts moyens
kleine Schäden – dégâts peu importants

Bestände mit sehr kleinen Schäden – populations avec très peu de dégâts
gesunde Bestände – populations saines

Watt je Einzelkanal auf den Wald *keinen nachweisbaren Schadeneinfluss haben*.

Weil der Standort Mt-Gibloux für schweizerische Verhältnisse typisch ist, kann dieser Schluss allgemein für alle Richtfunkstandorte in der Schweiz gelten.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Nach den Untersuchungen im UKW- und Fernsehfrequenzbereich [1, 2, 3] zeigt sich nun auch im Mikrowellenbereich, dass bei den im Gelände auftretenden elektromagnetischen Feldern mit lokaler auf den Wald (mit Maximum im Kronenbereich) wirkender Leistungsdichte $D \leq -50 \text{ dBm/cm}^2$ ($\leq 10 \text{ nanowatt/cm}^2$) *keine nachweis-*

tion des dégâts entre le Mt-Gibloux et sa proximité et l'emplacement de contrôle de Riaz ne présente *pas de différences remarquables* (tab. I).

(L'échelle d'interprétation des dégâts est tirée des cartes Sanasilva.)

La *figure 7* montre une représentation graphique du tableau ci-dessus.

42 Interprétation des résultats fondés sur les paires comparées

La mise en regard des 16 paires comparées selon les figures 3 et 4 est illustrée par la *figure 8*. Elle montre de manière certaine que *pour des conditions de forêt aussi semblables que possible* la variation des dégâts entre les arbres soumis à l'influence de champs à micro-ondes et les arbres dans la zone libre de cette influence est presque pareille. Il découle clairement de cette constatation que les installations de communication travaillant dans le domaine des micro-ondes à des puissances typiques de quelques watts par canal *n'ont aucune influence démontrable* sur les dégâts encourus par la forêt.

Etant donné que le Mt-Gibloux est typique pour les conditions rencontrées en Suisse, cette conclusion est valable en général pour tous les emplacements d'émission à faisceaux hertziens en Suisse.

5 Conclusion et perspective d'avenir

Après les essais effectués dans le domaine des OUC et de la télévision [1, 2, 3] ceux effectués dans le domaine des micro-ondes montrent que les champs électromagnétiques apparaissant en campagne et qui agissent lo-

Tabelle I. Grobvergleich der Gegensatzpaare.
Befund in Prozenten der betrachteten Waldflächen (je 1,5 km²).
Tableau I. Comparaison grossière des paires.
Indication en pourcentage des surfaces de forêts considérées (pour 1,5 km²).

	Mt-Gibloux Leistungsdichte Densité de rayonnement $D \leq -50 \text{ dBm/cm}^2$	Riaz Leistungsdichte Densité de rayonnement $D < -120 \text{ dBm/cm}^2$
ohne Wald sans forêt	18,5	21
gesund sain	35,3	38,4
sehr kleine Schäden très faiblement endommagé	35,8	25,4
kleine Schäden faiblement endommagé	7,9	11
mittlere Schäden moyennement endommagé	2,4	4,2
starke Schäden fortement endommagé	0	0

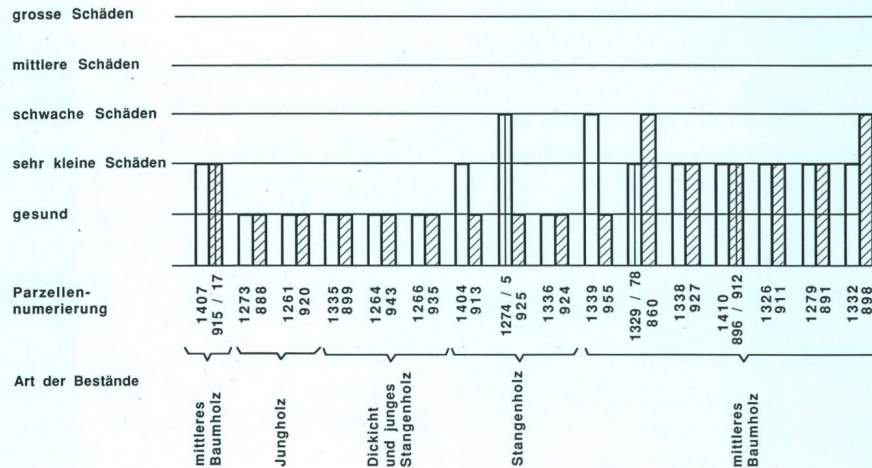


Fig. 8

Gegenüberstellung der Schadenssituation der 16 waldökologisch ausgewählten Gegensatzpaare, gegliedert nach Baumgrössen gemäss Angaben des kantonalen Forstamtes in Freiburg

Comparaison de la situation relative aux dégâts des 16 paires choisies, semblables du point de vue de l'écologie forestière, réparties selon la grandeur des arbres conformément aux indications de l'Office cantonal des forêts du canton de Fribourg

Die schraffierten Balken entsprechen den Beständen des Richtfunkstandortes. Die weissen Balken sind dem Schadenverhalten der Waldparzellen der mikrowellenfreien Kontrollfläche bei Riaz zugeordnet

Les colonnes hachurées correspondent aux effectifs du lieu d'émission. Les colonnes blanches sont celles représentant les dégâts dans les parcelles de forêt de la zone de contrôle non soumise à l'influence de micro-ondes de Riaz

□ mikrowellenfreie Kontrollfläche bei Riaz – surface de contrôle exempte de micro-ondes près de Riaz

▨ mikrowellenbelasteter Standort Mt-Gibloux – emplacement soumis l'influence des micro-ondes du Mt-Gibloux

grosse Schäden – dégâts importants

mittlere Schäden – dégâts moyennes

schwache Schäden – dégâts faibles

sehr kleine Schäden – dégâts très faibles

gesund – sain

Parzellennummerierung – numérotation des parcelles

Art der Bestände – genre des populations

mittleres Baumholz – bois d'arbres moyens

Jungholz – jeune bois

Dickicht und junges Stangenholz – broussailles et jeune bois de perches

Stangenholz – bois de perches

mittleres Baumholz – bois d'arbres moyens

in den 16 Gegensatzpaaren
hat es keine Bestände
mit mittleren und grossen Schäden

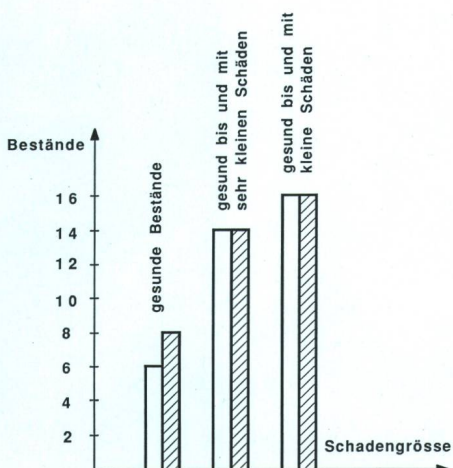


Fig. 9

Schadenintegrierte Darstellung der Grafik Figur 8

Représentation intégrée des dégâts du graphique de la figure 8

□ mikrowellenfreie Kontrollfläche – surface de contrôle exempte de micro-ondes

▨ mit Mikrowellen belastete Fläche – surface soumise l'influence des micro-ondes

In den 16 Gegensatzpaaren hat es keine Bestände mit mittleren und grossen Schäden – Dans les 16 paires de comparaison il n'y a pas de population présentant des dégâts moyens et importants

Bestände – populations

gesunde Bestände – populations saines

gesund bis und mit sehr kleine Schäden – saines et avec des dégâts très peu importants

gesund bis und mit kleine Schäden – saines et avec des dégâts peu importants

Schadengrösse – Importance des dégâts

baren Schadenwirkungen auftreten. Eine weitere Untersuchung ist in der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen im Gange, bei der Fichten- und Buchenjungpflanzen mit extrem hohen Leistungsdichten bis 40 mW/cm² bei einer Frequenz von 2,5 GHz seit Mai 1988 bestrahlt werden.

Bis heute sind auch hier *keinerlei schädigende Wirkungen festgestellt worden*. Genauere Untersuchungsergebnisse sind jedoch noch nicht verfügbar. Dieser Bestrahlungsversuch wird noch einige Jahre weitergeführt.

Zusätzlich sind in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Zivilluftfahrt Messungen in der Nähe einer leistungsstarken Radarstation in Vorbereitung, um weitere in der Schweiz bestehende elektromagnetische Einflussgrößen zu erfassen.

Bibliographie

- [1] Stäger Ch. Felduntersuchung über die Wahrscheinlichkeit von schädigenden Einflüssen elektromagnetischer Wellen auf den Wald. PTT-Bericht Bern 1986. VD 31.1045.
- [2] Joos K., Masumy S.A., Schweingruber F.H. und Stäger Ch. Untersuchung über mögliche Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf den Wald. Techn. Mitt. PTT Bern 66 (1988) 1, S. 2.
- [3] Joos K. Untersuchung über mögliche Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf den Wald (Teil 2) Techn. Mitt. PTT Bern 67 (1989) 4, S. 136.
- [4] Singy J.-M. Choix de peuplements forestiers comparables dans la région du Mt-Gibloux et des monts de Riaz. Rapport non publié 1988.

calement sur la forêt avec des densités de puissances $D \leq -50$ dBm/cm² (≤ 10 nW/cm²) avec un maximum d'effet dans la zone des cimes *n'ont aucun effet démontrable en ce qui concerne des dégâts*. D'autres essais sont en cours à l'Institut fédéral des forêts dans lesquels des jeunes plantes de mélèze et de sapin sont soumises à des densités extrêmement élevées de rayonnement pouvant aller jusqu'à 40 mW/cm² à une fréquence de 2,5 GHz, depuis mai 1988.

Jusqu'à aujourd'hui, aucun effet conduisant à des dégâts n'a pu être constaté. Cependant, les résultats plus précis de ces essais ne sont pas encore disponibles. Ces essais de rayonnement seront prolongés pendant encore quelques années.

En outre, des mesures effectuées à proximité d'une station radar de puissance sont en préparation avec la collaboration de l'Office fédéral pour l'aviation civile, afin que l'on puisse prendre connaissance des valeurs des champs magnétiques existants en Suisse, pouvant avoir une influence.