«fastbeam», Messgerät zum messen von Mikrowellensignalen

100MHz-10GHz 8. 11.26 Christian Liechti



Was die neuen Mobilfunkantennen tun – und wo die Schwachstellen liegen

Wie funktioniert eine 5G Antenne?

Eine Mobilfunkantenne sendet unsichtbare Wellen aus, ähnlich wie eine Lampe Licht aussendet. Die alten Antennen leuchteten wie eine Strassenlampe gleichmässig in eine Richtung, immer gleich stark. Die neuen Antennen arbeiten eher wie ein Scheinwerfer. Sie bündeln ihre Energie in einen schmalen Strahl und richten ihn auf das Handy, das gerade Daten verlangt. Der Strahl wandert ständig hin und her. Wer nicht telefoniert, bekommt weniger ab. Wer in der Nähe eines aktiven Handys steht, bekommt kurzzeitig viel mehr. Auch wer hinter einem aktiven Hany steht, wird vom Strahl erfasst. Die Dichte der Strahlen können in der Nähe der 5G Antenne besonders stark sein. Sie Stärke ist in dem Fall abhängig von der Distanz zu einem Teilnehmer, der weit entfernt ist.

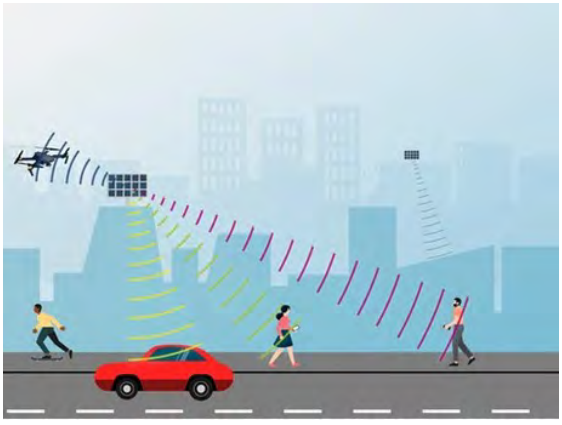

Bild 1: naive Darstellung vom Bundesamt

Was sicher gefährlich ist

Sehr starke Funkwellen erwärmen den Körper. 5G-Antennen sind vielfach auf Masten und Dächern angebracht. Damit wird die Distanz zu den Handies vergrössert und die Gefahr der Erwärmung reduziert.

«fastbeam», Messgerät zum messen von Mikrowellensignalen

100MHz-10GHz 8. 11.26 Christian Liechti

Was umstritten ist

Es ist weder «erwiesen gefährlich» noch «erwiesen harmlos». Die Wissenschaft argumentiert meistens nur mit Erwärmung. Das ist zu hinterfragen, denn ohne Schwingungsfelder kann der Mensch gar nicht überleben.

Ob die Wellen auch in viel schwächerer Form auf Dauer schaden, also ohne spürbare Erwärmung, ist wissenschaftlich nicht geklärt. Die Krebsforschungsstelle der Weltgesundheitsorganisation stuft sie als «möglicherweise krebserregend» ein. Das ist die gleiche Stufe wie für viele Alltagsstoffe und heisst: Es gibt Hinweise, aber keinen Beweis.

Messen mit Filter

Die METAS misst mit einem «Tiefpassfilter». Dieses unterdrückt Frequenzen die höher liegen als 5.8GHz (5`800`000`000 Schwingungen / Sekunde). Da der Mensch, die Tiere und die Natur keine solchen Filter haben, kann die Messung mit dem Tiefpassfilter der METAS nicht als vollständige Messung bezeichnet werden. Das Militär betreibt ebenfalls mobile Kommunikation, welche teilweise zwischen 6-11 GHz liegt. Damit wird die Strahlenbelastung vom Militär von Amtes wegen ebenfalls ausgeklammert.

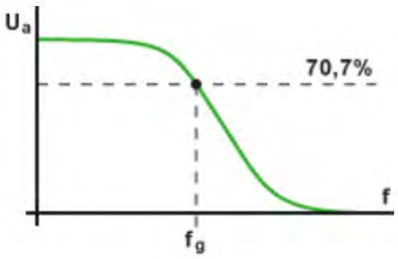

Bild 2: Tiefpassfilter

Unsicherheit belastet

Viele Menschen fühlen sich einer Technik ausgeliefert, die sie nicht sehen, nicht verstehen und nicht selbst überprüfen können. Diese Unsicherheit ist eine echte Belastung. Sie wird grösser, wenn Behörden und Betreiber Fragen nicht offen beantworten können oder wollen.

Wo die Zulassung Lücken hat

Für die alten Antennen galt: Sie dürfen eine bestimmte Stärke nie überschreiten. Für die neuen Antennen gilt eine Ausnahme. Sie dürfen kurzzeitig deutlich stärker senden, solange es im Durchschnitt über einige Minuten stimmt. Damit das eingehalten wird, bremst eine Software in der Antenne die Leistung.

Diese Bremse ist damit eine Sicherheitseinrichtung. Bei anderen gefährlichen Maschinen, etwa einem Baukran, muss der Hersteller nachweisen, was passiert, wenn so eine Sicherung versagt. Bei den Antennen wird bei der Abnahme nur geprüft, ob die Bremse im Normalfall funktioniert. Was geschieht bei einem Fehler, einem Softwareabsturz oder einer Manipulation? Dafür ist kein vergleichbarer Nachweis bekannt. Zudem kontrolliert die Überwachung, soweit bekannt, vor allem die eingestellten Werte und nicht laufend, was tatsächlich ausgestrahlt wird. Ausserdem können die meisten Messgeräte die schnellsten Signale von 5G gar nicht messen und werden somit bei Kontrollmessungen gar nicht erfasst.

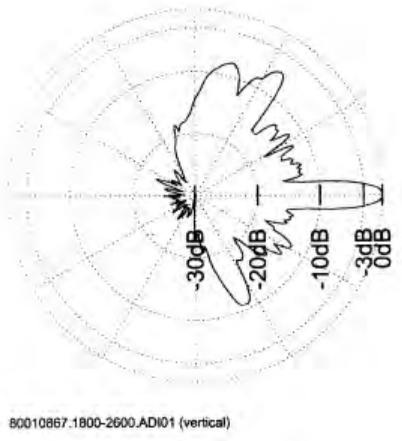

Bild 3: Antennendiagram

Die Antennen von Huawei für 5G haben eine Fokussierung von 1:230. Wenn durch irgend einen Fehler eine Antenne auf einen Punkt sendet, dann könnte auf einer kleinen Fläche eine Leistung von >75kW gestrahlt werden, dies bereits bei der minimalen Anschlussleistung von 300W. Das Amt für Umwelt und Energie hat diesbezüglich nur erwähnt, dass die Sicherheitsmassnahmen nur für gefährliche Maschinen gelten, nicht aber für Mobilkommunikation.

Nachmessen ist möglich, aber schwierig. Weil der Strahl wandert, hängt das Ergebnis stark davon ab, wann, wo und wie gemessen wird. Wie im nebenliegenden Bild ersichtlich, strahlt eine Antenne nicht nur in eine Richtung, sie hat Nebenkeulen, die auch ungewollt Bereiche bestrahlen können.

«fastbeam», Messgerät zum messen von Mikrowellensignalen

100MHz-10GHz 8. 11.26 Christian Liechti

Was wir konkret einfordern können

1. die Konformitätserklärung und den Expositionsbericht (EN 62232) des Herstellers mit dem angegebenen Sicherheitsabstand

2. die Beschreibung, wie die Leistungsbegrenzung technisch realisiert ist und was bei einem Fehler passiert: Fällt die Anlage in einen sicheren Zustand oder sendet sie weiter?

3. ob das QS-System die tatsächlich abgestrahlte Leistung misst oder nur die eingestellten Parameter ausliest. Das ist ein wesentlicher Unterschied: Ein Softwarefehler, der falsch rapportiert, würde sonst nicht erkannt.

4. eine Fehleranalyse für die Sicherheitsfunktion «Leistungsbegrenzung»

- Die von METAS geeichten Geräte messen nicht das was Mensch, Tier und Natur zu spüren bekommen. Die Messungen sind deshalb unvollständig und schützen den Menschen nicht. Ein Messgerät zum Schutz der Bevölkerung müsste den Status eines Medizinalgerätes haben.
- Die Behörden geben zu, dass die Auswirkungen unklar sind. Deshalb müsste das Vorsorgeprinzip gelten. Die Sicherheitsfunktion, welche den Schutz garantieren soll, müsste auch im Fehlerfall nachweisbar sein.

Was sind die häufigsten Störfelder?

Die stärksten elektromagnetischen Felder kommen meistens nicht von den Antennen der Mobil-kommunikation, sondern sind hausgemacht durch Unwissenheit. Ein WLAN ist zwar nicht besonders stark, aber direkt neben dem Bett ist es trotzdem nicht empfehlenswert. Ein Handy kann ebenfalls sehr stark senden, wenn wir uns damit weit weg von der nächsten Antenne aufhalten. Wir erkennen es oft nur daran, dass der Akku sehr schnell leer ist. Deshalb empfielt es sich, das Handy nur wenn notwendig einzuschalten.

Modems mit WLAN werden bereits mit konfiguriertem WLAN ausgeliefert. Dies nicht nur mit dem 2.4GHz Modus, sondern auch mit 5GHz Einstellung. Um dieselbe Reichweite zu erlangen, muss aber das Modem bei 5GHz vier mal so stark senden! Weil die höhere Übertragungsgeschwindigkeit für Heimanwender mit 2.4GHz völlig ausreichend ist, empfielt es sich dringend, den 5GHz Modus auszuschalten.

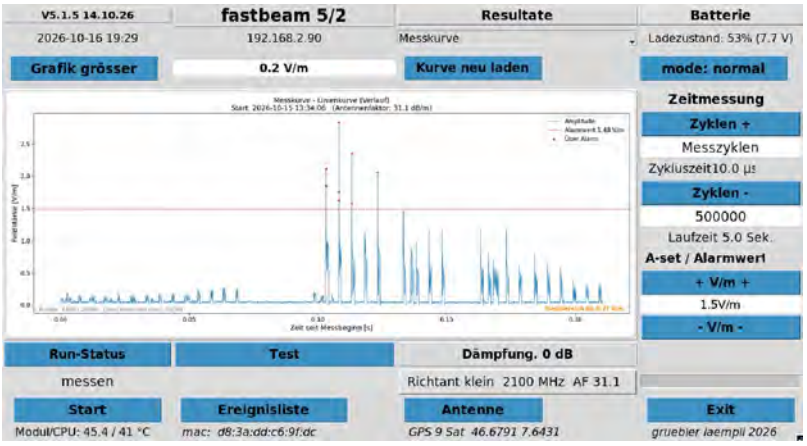

Bild 4: typischer Verlauf 'Handy einschalten'

Versteckte Sender stecken auch in Überwachungskameras und allen Geräten, welche eine Kommunikation gewährleisten (z.B. Küchengeeräte). Ebenfalls zu erwähnen sind Buetooth Kopfhörer.

«fastbeam», Messgerät zum messen von Mikrowellensignalen

100MHz-10GHz 8. 11.26 Christian Liechti

Was «fastbeam zur Problematik der Messung beitragen möchte

«fastbeam» ist vermutlich das einzige Gerät, das mit der notwendigen Geschwindigkeit misst, damit auch die kürzesten 5G-Signale erfasst werden. Es ist vermutlich auch das einzige, das über einen Zeitraum von 5-20 Sekunden eine lückenlose Aufzeichnung und Speicherung ermöglicht. Dabei sind die Daten so gespeichert, dass sie offen und ohne Verschlüsselung die Werte wiedergeben. Die so erfassten Daten werden offen dokumentiert. Damit können sie auch später auf verschiedene Kriterien hin ausgewertet werden. Damit wird eine nachträgliche Analyse eines Zwischenfalls möglich.



Bild 5: Empfangsgerät mit Batterie und Speicher

Jede Messdaten-Datei enthält die GPS-Zeit, die GPS Messposition, sowie den Landkartenauschnitt der Messposition für die Schweiz. Der GPS-Empfang ist jedoch in Innenräumen oft nicht möglich. Um die Signale räumlich zu erfassen, ist «fastbeam» auch mobil einsetzbar.

Die Empfangseinheit ist auf codeberg.org öffentlich freigegeben, mitsamt allen Produktionsunterlagen.

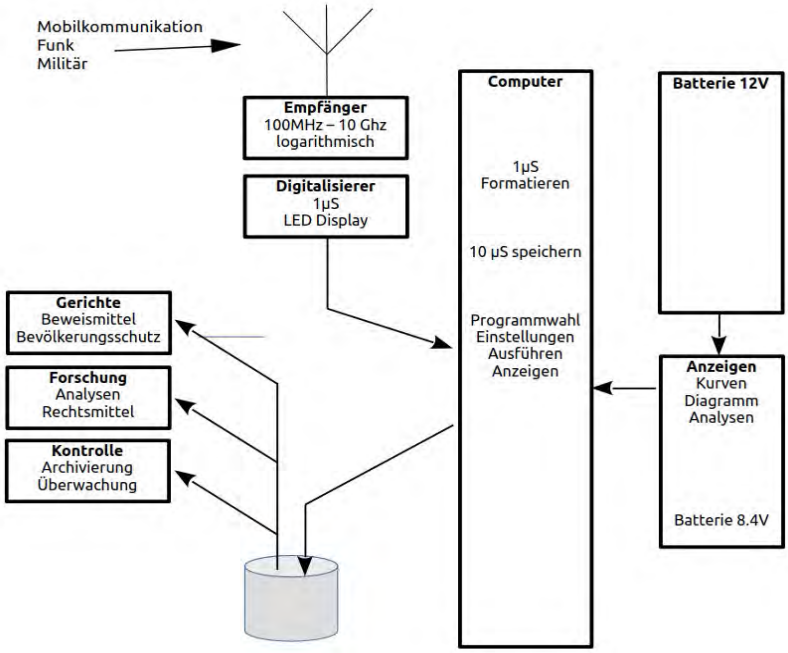

Bild 6: Blockschema einer fastbeam-Messeinheit

Das Herz von «fastbeam»

Im Zentrum steht die Entwicklung einer Empfangseinheit, welche auch die schnellsten 5G-Signale empfagen kann. Sie digitalisiert die Signaldaten damit sie auf einem Handeslüblichen Datenträger gespeichert werden können. Sie werden in einer einheitlichen Form gespeichert. Diese Empfangseinheit passt auf einen Raspberry Kleincomputer, so dass damit auch andere Messgeräte entwickelt werden könnnen. Der Knackpunkt ist die Software für den Kleincomputer, weil die geforderte Geschwindigkeit, nämlich, auch die schnellsten 5G-Signale messen und lückenlos zu speichern zentral ist. Dieses Ziel wurde eben erreicht.



Bild 7: Empfangsmodul

«fastbeam», Messgerät zum messen von Mikrowellensignalen

100MHz-10GHz 8. 11.26 Christian Liechti

Das Messprinzip

‹fastbeam› ist ein breitbandiges Feldstärke-Messgerät für Funksignale von etwa 100 MHz bis 10 GHz, das neben dem Pegel auch die Zeitstruktur der Signale erfasst. Ein logarithmischer HF-Detektor (AD8317) wandelt die empfangene Leistung in eine Spannung, die einem dBm-Wert entspricht. Ein schneller 8-Bit-Wandler digitalisiert sie, und ein Raspberry Pi (Kleinkomputer) tastet sie alle ab. Pro Messung entstehen 0.5 bis 2 Million Werte in 5 bis 20 Sekunden. Die empfangenen Daten werden pro Messung in Zahlenform in eine Datei gespeichert, die auch die verwendete Antenne, die GPS Position und die Messzeit in Mikrosekunden für jeden Messwert enthält. «fastbeam» erfasst die Empfangssignale im 10-Mikrosekundenraster und erfasst deshalb auch die schnellsten 5G-Signale sicher.

«fastbeam» berechnet nach erfolgter Messung die Signaldaten und wertet sie aus, bringt sie in verschiedenen Arten zur Anzeige und speichert je nach Messmodus Grenzwertübertretungen. Mit den Funktionen «trigger» und «dyntrigger» sind Langzeitüberwachungen möglich, dessen Urdaten vom Gerät nie gelöscht werden und für späteres Auswerten zur Verfügung stehen. Geplant ist auch eine «Streaming-Funktion», mit der die Daten auf einen Netzwerkserver übertragen werden, um sie dort zu sichern und nach Bedarf auszuwerten.

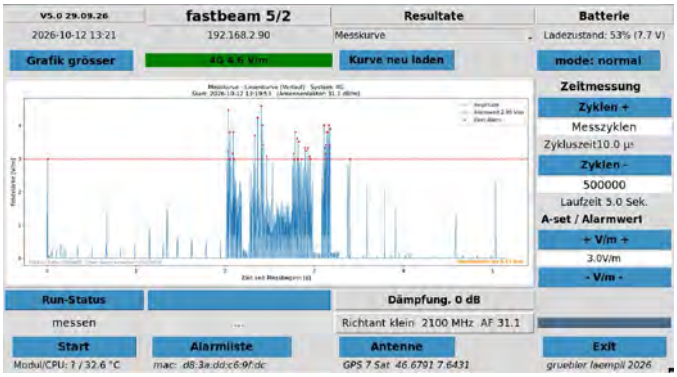

Bild 8: Beispiel einer 4G Handykommunikation

Der Betrieb

Das Gerät wird mit einem Akku von ca. 6 Stunden Speicherkapazität betrieben. Mit zusätzlichem externem Akku lässt sich die ununterbrochene Betriebszeit beliebig verlängern, die von der Messung unabhängig nachgeladen werden können.
Das Gerät ist als Prototyp in Betrieb, die Entwicklung ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

Die Eichung

erfolgt nach einem definierten Verfahren gemäss dem Datenblatt des geeichten Messempfängers AD8317 (Analog Devices). Wichtig dabei ist, dass der Messbereich von 50dBm nicht überschritten wird. Zum messen von zu starken Signalen werden Dämpfungsglieder in die Antennenleitung geschraubt. Die integrierte Software warnt jedoch vor Messbereichsübertretungen, entschlüsselt die Daten nach bekannten Kommunikationssystemen und führt eine Alarmliste mit den wichtigsten Messdaten. Geplant ist zur späteren Analyse auch das auswerten der Messdaten auf zentralem Server. Die Rohdaten sind in einem Datenblatt beschrieben und sind mit einfachen Mitteln verarbeitbar.

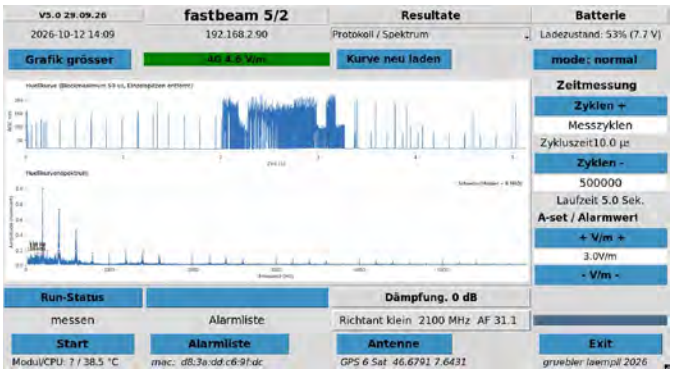

Bild 9: Hüllkurve und Hüllkurvenspektrum

Die Freigabe als Opensourceprojekt

Das Projekt ist eine völlige Neuentwicklung in Hard- und Software und ist unter der Projektbezeichnung «fastbeam» auf *codeberg.org* als opensource-Projekt für jedermann zugänglich, Software und Hardware mit den Produktionsdaten des Empfangsmoduls.

«fastbeam», Messgerät zum messen von Mikrowellensignalen

100MHz-10GHz 8. 11.26 Christian Liechti

Neue Überwachungsfunktion

Mit dieser Neuentwicklung ist es nun möglich, neue Messprogramme zu programmieren, die aktuellen Bedürfnissen entgegenkommen. Das erste Beispiel ist das neue Programm, welches einerseits überwacht, ob der Alarmwert überschritten wurde, anderseits einen berechneten Alarmwert ständig nachführt und jede Minute protokolliert, was in der letzten Minute an Strahlungswerten empfangen wurden. Auf diese Art wird sichtbar wann und wie hoch die Werte waren. Die Tabelle liegt dann auch als Excel Tabelle bereit, um auf einem PC weiter zu verwenden.

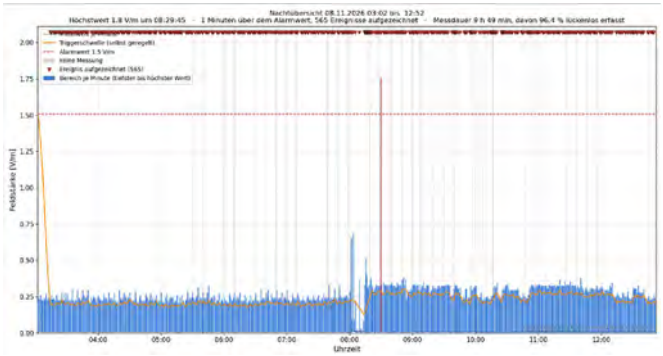

Bild 10: Eine Nachtmessung

Das Bild 10 zeigt, wie morgends vor 7 die Signale stärker wurden. Aber es trat nur eine Alarmpegel Überschreitung auf. Der Alarmpegel wird vom Benutzer eingestellt. In den Messdaten steht die exakte Zeit und sogar der Standort, wo in der Schweiz gemessen wurde. (im Moment ist nur die Schweizerkarte hinterlegt)

Aktueller Stand

Aktuell sind 2 Geräte in Betrieb. Die Entwicklung hat das einst gesteckte Ziel sogar übertroffen, was nicht heisst, dass die Messung der dynamischen Sendestrahlen von 5G einfacher geworden ist. Aber einige Parameter wie die Maximalleistung lassen sich mit «fastbeam» von einem anderen Standpunkt aus besser abschätzen als mit der METAS-Methode. Ausserdem misst «fastbeam» breitbandig.

Ein Serienprodukt ist das Gerät noch nicht, aber es lassen sich einzelne Exemplare in kurzer Zeit nachbauen, bevor ein grösserer Redesign ansteht, weil der verwendete schnelle AD-Wander nicht mehr erhältlich ist. Der Redesign ist bereits in den Startlöchern, was aber nicht heisst, dass das Nachfolgemodel den jetzigen Stand übertreffen würde.

Geplant ist ein Weiterausbau, um das Gerät nicht lokal, sondern im Netz speichern zu lassen. Im Netz wird sich dann ein Rechner befinden, mit dem sich die Messdaten weiter auswerten lassen, so dass auch illegal gesendete Signale identifiziert werden können, die aktuell in den Protokollen nur als «unbekannt» markiert sind.

«fastbeam» ist eine vollständige Neuentwicklung vom Entwickler und Author Christian Liechti. Dies betrifft das Empfangsmodul, die Kontruktion und den Bau der Messgeräte, den Bau der Geräte für Fernzugriff, sowie die Software-Architektur und die Programmierung des Raspberry-Kleinkomputers.