# Bericht
# zur Bestimmung der Feldstärken niederfrequenter magnetischer Wechselfelder im Bereich der 110 kV Hochspannungsleitung im Siedlungsbereich der Gemeinde Kottingbrunn

**Auftraggeber:**
Marktgemeinde Kottingbrunn
Schloß 4
2542 Kottingbrunn

**Auftragnehmer:**
Dr. Moldan Umweltanalytik
Dr.-Ing. Dietrich Moldan
Nr. 281
5090 Lofer

Hinweis: Dieser Bericht ist für den Auftraggeber bestimmt und darf ohne unsere schriftliche Zustimmung nur vollständig vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung ist nur mit schriftlicher Zustimmung des Auftragnehmers gestattet.

Datum der Untersuchungen:
Langzeitmessungen vom 5. bis 12. Juli 2014

# Inhaltsverzeichnis

**1. Auftrag ..... 3**

**2. Zusammenfassung ..... 4**

**3. Messergebnisse ..... 5**
3.1. Profil der Hochspannungsleitung ..... 6
3.2. Langzeitmessungen ..... 7
3.3. Bewertungsgrundlagen ..... 10
3.4. Bewertung der Ergebnisse ..... 12
3.5. Allgemeine Hinweise ..... 13
3.6. Anmerkungen ..... 13

**4. Lageplan, Messwerte, und Fotodokumentation ..... 14**
4.1. Beschreibung der Messpunkte ..... 15
4.2. Lageplan ..... 17
4.3. Grafiken ..... 29
4.3.1. Profilmessung ..... 29
4.3.2. Messungen in Wohnungen ..... 31
4.4. Fotodokumentation ..... 52
4.4.1. Messpunkte für Profilmessung ..... 52
4.4.2. Messpunkte in Wohnungen ..... 53
4.4.3. Gebäude in Nähe der Leitungstrasse ..... 61

**5. Simulation und Berechnungen durch cfw ..... 62**

**6. Magnetische Wechselfelder ..... 67**

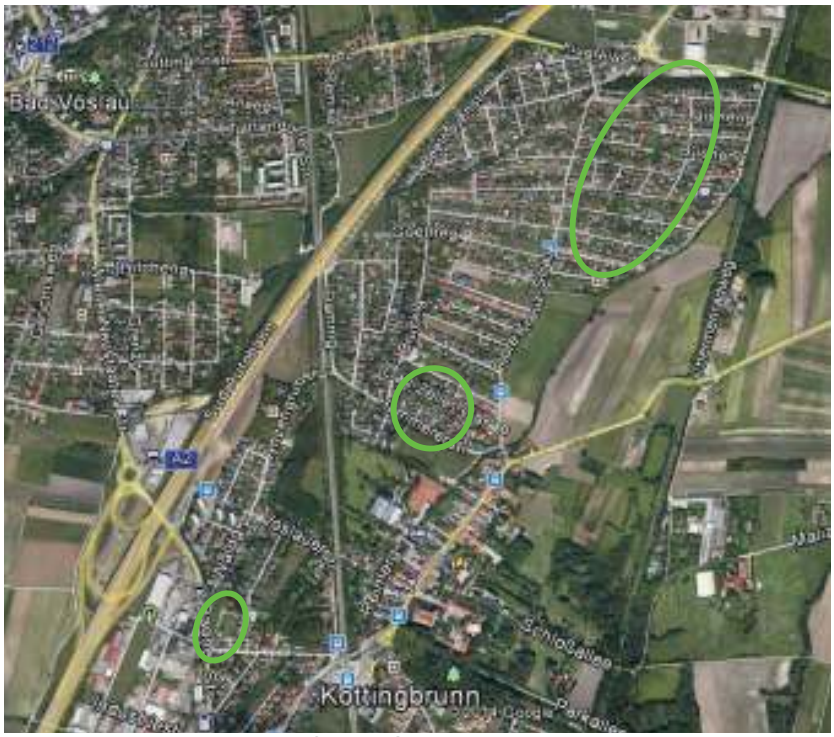
**7. Messgeräte, Messmethodik und Auswertung ..... 67**

**8. Umwelthygienische Bewertung 68**

Kapitel 8 wurde erstellt durch:
Ao. Univ. Prof. Dr. Michael Kundi
Assoz. Prof. DI. Dr. Hans-Peter Hutter
Institut für Umwelthygiene
Medizinische Universität Wien

## 1. Auftrag

| | |
|---|---|
| Auftraggeber: | Marktgemeinde Kottingbrunn<br>Schloß 4 in 2542 Kottingbrunn |
| Auftragserteilung am: | 02.07.2014 |
| Anlass der Auftragserteilung: | Vorsorge / geplante Baumaßnahmen in Form des Austausches der Leiterseile der 110 kV Hochspannungsleitung im Gemeindegebiet |
| Auftrag: | Ermitteln der vorhandenen magnetischen Wechselfelder im Zeitpunkt der Messung und Berechnen von Werten bei verschiedenen Auslastungsgraden der Hochspannungsleitung |
| Messort: | Verschiedene Wohngebäude in der Marktgemeinde Kottingbrunn unterhalb der Hochspannungsleitung und in einem Korridor von 50 m beidseitig der Trasse |
| Langzeitmessungen: | 05.-12.07.2014 |
| Messdurchführung vor Ort: | Herren Dipl.-Ing. Brannan Eric, Alexander Hunyadi<br>Peter Biffl |
| Protokollerstellung: | durch den Auftragnehmer persönlich |
| Datum des Berichtes: | 20.08.2014 / 07.11.2014 (Kapitel 8) |



Quelle: Google Earth

## 2. Zusammenfassung

Quer durch das Gemeindegebiet Kottingbrunn führt eine 110 kV Hochspannungsleitung, die gemäß Bewilligungsbescheid des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung vom 1. Juli 1959 errichtet worden ist. Es betrifft die Teilstrecke vom Umspannwerk Enzesfeld zum Umspannwerk Traiskirchen.

Die Leitung wurde mit 2 x 3 Leiterseilen auf Stahlgittermasten mit 3 Auslegern errichtet.

Die Wiener Netze GmbH beabsichtigen nun die Leitungstrasse zu ertüchtigen und mit neuen Leiterseilen auszustatten.

Die Gemeinde Kottingbrunn sowie die Bürgerinitiative *Aktion Himmelblau* sind in eine Verhandlung mit der Wiener Netze GmbH getreten, um eine Demontage der 55 Jahre alten Leitung und eine Erdverkabelung zu erreichen. In einem Korridor von 50 m rechts und links der Hochspannungstrasse liegen zwischen der Hammererstrasse im Südwesten und der Flugfeldstrasse im Norden 106 Häuser. Im südwestlichen Bereich der Gemeinde sind weitere Anwesen betroffen.

Aus Vorsorgegründen wurde von der Gemeinde Kottingbrunn am 2. Juli 2014 der Auftrag erteilt, an ausgewählten Messpunkten in diesem Korridor Langzeitmessungen der **magnetischen Wechselfelder** in Gebäuden durchzuführen, wo sich Menschen länger Zeit aufhalten, wie z. B. in Schlaf- und Kinderzimmern. Die Messungen erfolgten im Zeitraum vom 5 bis zum 12. Juli 2014.

Nachdem von der Wiener Netze GmbH mit dem Hinweis auf „Betriebsinterna“ keine Daten über die Auslastung der Stromleitung im Zeitpunkt der Messung zur Verfügung gestellt wurden, erfolgte der Auftrag der Gemeinde Kottingbrunn, eine Berechnung von thermischen Grenzstrom sowie bei einer Auslastung von 60 % bzw. 30 % durch die Schweizer Firma cfw EMV Consulting AG durchführen zu lassen. Diese berechneten Werte wurde mit den Messwerten verknüpft und somit Berechnungen für die 63 Messpunkte durchgeführt. Wie aus den Grafiken im Kapitel 5 erkennbar wird, können die magnetischen Flussdichten in Abständen von 5 bis 15 m zur Trassenmitte jedoch noch höher sein als hier in der Berechnung durch den Auftragnehmer angesetzt.

Die Werte der Vornorm ÖNORM E 8850 werden an keinem Messpunkt überschritten, weder bei Volllast (thermischer Grenzstrom) noch bei 60 % (n-1) oder 30 % Auslastung. Anders schaut es bei der Heranziehung der Vorsorgewerte aus. Hier kommt es bei nahezu allen Messpunkten zu Überschreitungen.

Die von Stromleitungen abgestrahlten **elektrischen Wechselfelder** sind auch dann vorhanden, wenn kein Strom in den unter Spannung stehenden Stromleitungen fließt. Sie durchdringen Baumaterialien nicht in der Weise, wie die magnetischen Wechselfelder. Im Bereich des massiven Mauerwerks werden sie durch dieses in das Erdreich abgeleitet und sind im Innenbereich des Gebäudes nicht mehr messbar. Im Bereich der Dachkonstruktionen koppeln die elektrischen Wechselfelder an das Holz und andere Baustoffe wie z. B. Aluminiumfolien der Dampfsperren oder Wärmedämmung an und werden durch diese verschleppt. Sie sind somit im Innenbereich des Dachgeschosses gut messbar und teilweise höher als die Felder der hausinternen Elektroinstallation.

## 3. Messergebnisse

Magnetische Wechselfelder werden durch Stromfluss verursacht, wobei dieser wiederum von der Anzahl der Stromabnehmer und von deren Mengenbedarf abhängig ist. Aus diesem Grunde unterliegen magnetische Wechselfelder in der Regel sehr starken zeitlichen und intensitätsmäßigen Schwankungen. Insofern ermöglichen Kurzzeitmessungen keine zuverlässigen Aussagen sondern stellen nur einen Momentanwert dar.

Erst mit Hilfe von Messungen an ggf. mehreren Stellen und über einen längeren Zeitraum ist es möglich, Aussagen über die variierenden Intensitäten und die zeitlichen Schwankungen zu machen und Beurteilungen durchzuführen sowie ggf. Reduzierungsmaßnahmen zu planen.

Im Vorfeld der Messungen wurde telefonisch eine Information über bevorstehende Langzeitmessungen durch den Bgm. Kieslich an die Wiener Netze GmbH gegeben. Die Wiener Netze GmbH hat auf diese Information und Einladung gemäß Gemeinde Kottingbrunn nicht reagiert.

Nach Abschluss der Arbeiten wurden am 22. Juli bei den Wiener Netze GmbH verschiedene Daten wie zur Auslastung der Stromleitung zu einem ausgewählten Zeitpunkt während der Messung, thermischer Grenzstrom sowie Jahresmittelwert angefragt. Am 25. Juli erfolgte die Absage durch Herrn Dr. Schuster mit der Begründung, dass es sich hier um interne betriebliche Daten handelt.

Aus diesem Grunde erfolgten durch den Auftragnehmer Berechnungen der Strommengen und dadurch bedingten magnetischen Wechselfelder an Hand des Bewilligungsbescheides vom 1. Juli 1959 durch das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung. Die Berechnungen wurden an die Firma CFW EMV-Consulting AG, Nordstrasse 24 in CH-9410 Heiden vergeben (www.cfw.ch). Diese Firma ist auf die Berechnung und Reduzierung magnetischer Wechselfelder spezialisiert.

Die Berechnungen erfolgten unter Zugrundelegung der Daten aus dem Bewilligungsbescheid vom 1. Juli 1959 sowie Abmessungen der Gittermasten.

Die Daten wurden für zwei verschiedene Höhen über Boden berechnet:

- 15,25 m Leiterseil im Bereich des Gittermastes
- 10,00 m Leiterseil im Bereich der Profilmessung

Des Weiteren wurden drei verschiedene Szenarien untersucht:

- 100 % thermischer Grenzstrom, 500 A je Stromleitung (= Summe 1.000 A)
- 60 % n-1 Situation; betrieblicher Dauerstrom bzw. 60 % des thermischen Grenzstroms
- 30 % 50 % der n-1 Situation bzw. des betrieblichen Dauerstroms bzw. 30 % des thermischen Grenzstroms

Mit Hilfe dieser Simulationen wurde die magnetische Flussdichte in der Mitte der Stromtrasse am Boden für den Messpunkt 6 der Profilmessung ermittelt. Auf Grund von Verknüpfungen / Normierungen mit den Messwerten der 63 einzelnen Messpunkte erfolgte die Berechnung der magnetischen Flussdichten für diese 63 Punkte.

In Folge der Auftragserteilung wurden 12 Datenlogger zur Erfassung magnetischer Wechselfelder an die *Aktion Himmelblau* versendet. Die Geräte waren in Kunststoffkästen integriert. Die Messpunkte wurden durch die Mitglieder der *Aktion Himmelblau* in Abstimmung mit der Gemeindeverwaltung ausgewählt. Die Positionierung in den verschiedenen Gebäuden

bzw. Räumen wurde schriftlich und fotografisch dokumentiert. Die Logger verblieben dort jeweils in der Zeit von 21 Uhr bis 20 Uhr am folgenden Tag, um anschließend am nächsten Messpunkt positioniert zu werden.

Parallel zu neun Datenloggern, die an insgesamt 63 Messpunkten eingesetzt waren, wurden drei Datenlogger unterhalb der Hochspannungsleitung während der gesamten sieben Tage vom 5. bis 12. Juli 2014 zur Datenerfassung positioniert.

## 3.1. Profil der Hochspannungsleitung

Magnetische Wechselfelder nehmen mit dem Abstand zur Quelle ab. Auf Grund der Art der stromführenden Leitungen, Ein- oder Mehrleiter oder Transformator, kann die Feldstärke mit 1 / r oder 1 / $r^2$ oder 1 / $r^3$ abnehmen (also linear oder 1 durch das Quadrat des Abstandes r oder mit 1 durch die Kubik des Abstandes r).

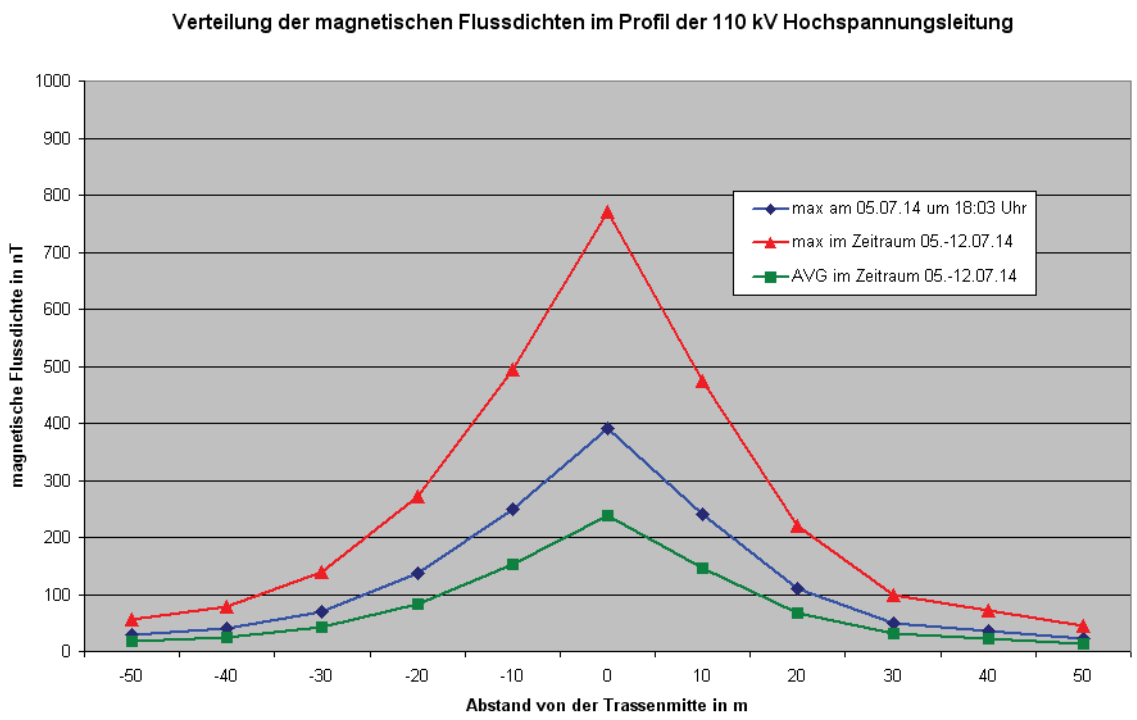
Zur Ermittlung der Verteilung der magnetischen Wechselfelder rechts und links der Stromtrasse wurde ein Profil erstellt. Dazu wurden quer zur Trasse 11 Messpunkte im Abstand von je 10 m festgelegt.

Am 5. Juli wurden in der Zeit von 17:15 bis 20:00 Uhr die Messwerte parallel an 11 Mess-punkten erfasst.

In der Grafik der folgenden Seite sind dargestellt:

- Höchster Messwert am 05.07.2014 um 18:03 Uhr (blaue Linie)
- Höchster Messwert am 06.07.2014 um 18:56 Uhr = höchster Wert vom 05.-12.07.14
- Mittelwert AVG in der Zeit vom 05.-12.07.14 (grüne Linie)

Eine Darstellung der Einzelergebnisse ist im Kapitel 4.3.1. zu finden.



## 3.2. Langzeitmessungen

Im Anschluss an die Profilmessungen wurden Langzeitaufzeichnungen vom 5. bis 12. Juli an 63 Messpunkten in Wohngebäuden, primär im Schlafbereich, für jeweils mindestens 22 Stunden durchgeführt. Zur Auswertung kam der Zeitraum von 22 bis 6 Uhr.

Ermittelt wurden

- der minimale Wert min
- der maximale Wert max
- der Durchschnittswert AVG
- die Standardabweichung Std
- der Effektivwert RMS

Auffälligkeiten waren an zwei Messpunkten aufgetreten:

**Messpunkt 33**
Die schwankenden Werte decken sich nicht mit den Werten der Hochspannungsleitung und werden vermutlich hausintern verursacht. Aus diesem Grunde wurden die Werte des Messpunktes 29, der in gleicher Entfernung lag und eine nahezu identische Grundlinie aufweist, ersatzweise genommen. Eine nachträgliche Überprüfung und Gespräche mit den Bewohnern durch die *BI Himmelblau* konnten keinen Hinweis auf den Verursacher liefern.

**Messpunkt 42**
Die konstant hohen Feldstärken von 440 nT bis Mitternacht decken sich nicht mit den Werten der Hochspannungsleitung und werden vermutlich hausintern verursacht. Daher wurden die Werte erst ab Mitternacht verwendet. Eine nachträgliche Überprüfung und Gespräche mit den Bewohnern durch die *BI Himmelblau* konnten keinen Hinweis auf den Verursacher liefern.

Auf der nächsten Seite sind die ermittelten Werte für die jeweiligen Nachtphasen der einzelnen Messpunkte dargestellt. Der zeitliche Einfluss des jeweiligen Tages kommt hier noch voll zum Tragen.

Die zunächst während den Nachtphasen von 22 bis 6 Uhr an 63 Messpunkten ermittelten Werte wurden anschließend auf den Messpunkt 6 der Profilmessung (Trassenmitte) **normiert**. So wird es möglich, dass für alle Messpunkte vergleichbare Werte dargestellt werden können.

Bei den weiteren Berechnungen unter Zugrundelegung der Daten der Firma cfw wurde die magnetische Flussdichte am Messpunkt 6 direkt unter der Hochspannungsleitung am Profilmesspunkt verwendet. Wie aus den Grafiken im Kapitel 5 erkennbar wird, können die magnetischen Flussdichten in Abständen von 5 bis 15 m zur Trassenmitte jedoch noch höher sein als hier in der Berechnung durch den Auftragnehmer angesetzt.

Eine Erläuterung, welche Werte der magnetischen Flussdichten in den folgenden Tabellen dargestellt ist, ist auf der rechten Seite neben der Tabelle zu finden.

| Datum | Tag | MP | Standort | Raum | Etage | Abstand | min | max | AVG | Std. | RMS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | m | nT | nT | nT | nT | nT |
| **Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr = 8 h** | | | | | | | | | | | |
| 05.07.2014 | Sa | 1 | Föhrengasse 7 | Kinderzimmer | EG | 9,00 | 40 | 240 | 135 | 40 | 141 |
| 05.07.2014 | Sa | 2 | Föhrengasse 7 | Küche | EG | 5,26 | 50 | 270 | 154 | 45 | 161 |
| 05.07.2014 | Sa | 3 | Föhrengasse 6 | Schlafzimmer | EG | 7,38 | 40 | 200 | 113 | 34 | 119 |
| 05.07.2014 | Sa | 4 | Föhrengasse 6 | Kinderzimmer | EG | 10,70 | 30 | 310 | 97 | 30 | 101 |
| 05.07.2014 | Sa | 5 | Föhrengasse 4 | Wohnzimmer | EG | 15,80 | 30 | 140 | 81 | 23 | 84 |
| 05.07.2014 | Sa | 6 | Föhrengasse 4 | Kinderzimmer Maxi | OG | 14,10 | 40 | 310 | 109 | 30 | 113 |
| 05.07.2014 | Sa | 7 | Fichtengasse 4 | Wintergarten | EG | 17,00 | 26 | 149 | 76 | 22 | 79 |
| 05.07.2014 | Sa | 8 | Fichtengasse 5 | Wohnzimmer | EG | 11,80 | 33 | 164 | 96 | 27 | 99 |
| 05.07.2014 | Sa | 9 | Föhrengasse 5 | Arbeitszimmer | EG | 11,30 | 49 | 207 | 126 | 33 | 130 |
| 06.07.2014 | So | 10 | Eschergasse 7 | Kinderzimmer 1 | OG | 11,50 | 90 | 490 | 227 | 99 | 248 |
| 06.07.2014 | So | 11 | Eschergasse 7 | Kinderzimmer 2 | OG | 14,00 | 70 | 400 | 184 | 82 | 202 |
| 06.07.2014 | So | 12 | Tannengasse 13 | Kinderzimmer | OG | 23,20 | 40 | 260 | 118 | 56 | 131 |
| 06.07.2014 | So | 13 | Heinrich Heinegasse 13 | Schlafzimmer | EG | 12,60 | 90 | 520 | 237 | 106 | 259 |
| 06.07.2014 | So | 14 | Heinrich Heinegasse 13 | Wohnzimmer | EG | 9,70 | 100 | 570 | 259 | 117 | 284 |
| 06.07.2014 | So | 15 | Heinrich Heinegasse 11 | Wohnzimmer | EG | 10,50 | 80 | 490 | 222 | 100 | 244 |
| 06.07.2014 | So | 16 | Heinrich Heinegasse 11 | Schlafzimmer | OG | 10,50 | 123 | 682 | 317 | 137 | 345 |
| 06.07.2014 | So | 17 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | Schlafzimmer | OG | 16,44 | 76 | 541 | 234 | 113 | 259 |
| 06.07.2014 | So | 18 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | Kinderzimmer | OG | 18,10 | 77 | 539 | 235 | 112 | 261 |
| 07.07.2014 | Mo | 19 | Dr Kreisky Strasse 38 | Schlafzimmer | OG | 2,11 | 20 | 180 | 91 | 37 | 98 |
| 07.07.2014 | Mo | 20 | Ing. Leopold Figl Gasse 5 | Wohnzimmer | EG | 19,20 | 60 | 130 | 95 | 16 | 96 |
| 07.07.2014 | Mo | 21 | Weidengasse 10 | Wohnzimmer | EG | 17,60 | 10 | 130 | 35 | 21 | 41 |
| 07.07.2014 | Mo | 22 | Weidengasse 10 | Therapieraum | EG | 22,50 | 0 | 80 | 23 | 14 | 27 |
| 07.07.2014 | Mo | 23 | Ulmengasse 8 | Schlafzimmer | EG | 17,37 | 10 | 180 | 66 | 31 | 73 |
| 07.07.2014 | Mo | 24 | Ulmengasse 8 | Kinderzimmer | EG | 18,70 | 10 | 130 | 55 | 24 | 60 |
| 07.07.2014 | Mo | 25 | Franz Grubergasse 13 | Büro | OG | 5,80 | 23 | 288 | 107 | 53 | 120 |
| 07.07.2014 | Mo | 26 | Franz Grubergasse 13 | Wohnzimmer | EG | 5,80 | 21 | 197 | 81 | 36 | 88 |
| 07.07.2014 | Mo | 27 | Franz Grubergasse 15 | Schlafzimmer | OG | 11,40 | 28 | 258 | 127 | 53 | 138 |
| 08.07.2014 | Di | 28 | Franz Grubergasse 11 | Schlafzimmer | OG | 15,10 | 10 | 100 | 28 | 17 | 33 |
| 08.07.2014 | Di | 29 | Franz Grubergasse 6 | Wohnzimmer | EG | 12,80 | 10 | 130 | 31 | 21 | 37 |
| 08.07.2014 | Di | 30 | Franz Grubergasse 6 | Schlafzimmer | OG | 12,80 | 10 | 160 | 41 | 28 | 49 |
| 08.07.2014 | Di | 31 | Franz Grubergasse 6 | Kinderzimmer | OG | 20,70 | 0 | 90 | 22 | 15 | 27 |
| 08.07.2014 | Di | 32 | Robert Stolzgasse 5 | Schlafzimmer | EG | 19,00 | 0 | 80 | 19 | 11 | 22 |
| 08.07.2014 | Di | 33 | Robert Stolzgasse 5 | Wohnzimmer | EG | 11,60 | 10 | 130 | 31 | 21 | 37 |
| 08.07.2014 | Di | 34 | Robert Stolzgasse 7 | Schlafzimmer | OG | 12,30 | 10 | 149 | 46 | 23 | 51 |
| 08.07.2014 | Di | 35 | Robert Stolzgasse 7 | Kinderzimmer | OG | 14,50 | 6 | 125 | 36 | 20 | 42 |
| 08.07.2014 | Di | 36 | Robert Stolzgasse 7 | Wohnzimmer | EG | 12,30 | 6 | 122 | 35 | 20 | 40 |
| 09.07.2014 | Mi | 37 | Franz Lehargasse 1 | Wohnzimmer | EG | 13,40 | 20 | 180 | 67 | 30 | 73 |
| 09.07.2014 | Mi | 38 | Emmerich Kallmangasse 4 | Wohnzimmer | EG | 15,40 | 10 | 160 | 60 | 25 | 65 |
| 09.07.2014 | Mi | 39 | Emmerich Kallmangasse 4 | Schlafzimmer | EG | 13,50 | 10 | 180 | 70 | 28 | 75 |
| 09.07.2014 | Mi | 40 | Emmerich Kallmangasse 5 | Wohnzimmer | EG | 7,80 | 30 | 220 | 83 | 32 | 89 |
| 09.07.2014 | Mi | 41 | Karl Zellergasse 9 | Wohnzimmer | EG | 13,50 | 10 | 190 | 73 | 25 | 78 |
| 09.07.2014 | Mi | 42 | Karl Zellergasse 9 | Erholungsraum | OG | 11,80 | 20 | 170 | 64 | 20 | 67 |
| 09.07.2014 | Mi | 43 | Karl Zellergasse 9 | Schlafzimmer | OG | 11,80 | 59 | 257 | 131 | 24 | 134 |
| 09.07.2014 | Mi | 44 | Karl Zellergasse 9 | Kino | UG | 11,30 | 27 | 388 | 126 | 49 | 135 |
| 09.07.2014 | Mi | 45 | Hammererstrasse 20/2 | Schalfzimmer | OG | 6,90 | 18 | 192 | 87 | 29 | 91 |
| 10.07.2014 | Do | 46 | Hammererstrasse 20/1 | Kinderzimmer | OG | 6,40 | 10 | 230 | 86 | 41 | 95 |
| 10.07.2014 | Do | 47 | Hammererstrasse 20/1 | Schlafzimmer | OG | 6,10 | 10 | 210 | 83 | 36 | 91 |
| 10.07.2014 | Do | 48 | Hammererstrasse 18/2 | Kinderzimmer | OG | 21,20 | 10 | 100 | 41 | 15 | 44 |
| 10.07.2014 | Do | 49 | Hammererstrasse 22 | Krankenzimmer | EG | 8,40 | 10 | 160 | 66 | 24 | 70 |
| 10.07.2014 | Do | 50 | Hammererstrasse 22 | Schlafzimmer | EG | 9,00 | 10 | 180 | 67 | 23 | 71 |
| 10.07.2014 | Do | 51 | Hammererstrasse 26 | Schlafzimmer | EG | 10,20 | 10 | 150 | 45 | 32 | 55 |
| 10.07.2014 | Do | 52 | Hammererstrasse 26 | Wohnzimmer | EG | 12,30 | 12 | 159 | 50 | 34 | 60 |
| 10.07.2014 | Do | 53 | Hammererstrasse 24 | Arbeitsraum | EG | 10,50 | 15 | 173 | 60 | 35 | 70 |
| 10.07.2014 | Do | 54 | Hammererstrasse 24 | Schlafzimmer | EG | 12,90 | 10 | 144 | 41 | 29 | 51 |
| 11.07.2014 | Fr | 55 | Hammererstrasse 20/2 | Wohnzimmer | EG | 7,10 | 20 | 170 | 106 | 37 | 112 |
| 11.07.2014 | Fr | 56 | Hammererstrasse 20/2 | Kinderzimmer | OG | 6,20 | 20 | 190 | 112 | 40 | 119 |
| 11.07.2014 | Fr | 57 | Gainfarnerstrasse 26 | Wohnzimmer | EG | 13,11 | 20 | 160 | 95 | 30 | 100 |
| 11.07.2014 | Fr | 58 | Gainfarnerstrasse 26 | Schlafzimmer | EG | 15,30 | 10 | 130 | 72 | 24 | 76 |
| 11.07.2014 | Fr | 59 | Gainfarnerstrasse 26 | Wohnküche | EG | 11,00 | 20 | 180 | 104 | 32 | 109 |
| 11.07.2014 | Fr | 60 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Wohnzimmer | EG | 22,50 | 20 | 100 | 55 | 14 | 57 |
| 11.07.2014 | Fr | 61 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Schlafzimmer | OG | 22,50 | 23 | 110 | 63 | 20 | 66 |
| 11.07.2014 | Fr | 62 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Wohnküche | EG | 20,00 | 24 | 128 | 60 | 14 | 62 |
| 11.07.2014 | Fr | 63 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Kinderzimmer | EG | 27,10 | 23 | 151 | 64 | 17 | 66 |

IST-Werte von 22 bis 6 Uhr an 63 Messpunkten zu den jeweiligen Messzeitpunkten (unnormiert)

| MP | Standort | Raum | Etage | Abstand m | 100% 500 A | 60% 300 A | 30% 150 A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| 1 | Föhrengasse 7 | Kinderzimmer | EG | 9,00 | 2.479 | 2.191 | 1.038 |
| 2 | Föhrengasse 7 | Küche | EG | 5,26 | 2.788 | 2.464 | 1.167 |
| 3 | Föhrengasse 6 | Schlafzimmer | EG | 7,38 | 2.099 | 1.855 | 878 |
| 4 | Föhrengasse 6 | Kinderzimmer | EG | 10,70 | 1.811 | 1.600 | 758 |
| 5 | Föhrengasse 4 | Wohnzimmer | EG | 15,80 | 1.420 | 1.255 | 594 |
| 6 | Föhrengasse 4 | Kinderzimmer M. | OG | 14,10 | 1.852 | 1.636 | 775 |
| 7 | Fichtengasse 4 | Wintergarten | EG | 17,00 | 1.348 | 1.191 | 564 |
| 8 | Fichtengasse 5 | Wohnzimmer | EG | 11,80 | 1.667 | 1.473 | 698 |
| 9 | Föhrengasse 5 | Arbeitszimmer | EG | 11,30 | 2.109 | 1.864 | 883 |
| 10 | Eschengasse 7 | Kinderzimmer 1 | OG | 11,50 | 3.317 | 2.931 | 1.388 |
| 11 | Eschengasse 7 | Kinderzimmer 2 | OG | 14,00 | 2.646 | 2.338 | 1.107 |
| 12 | Tannengasse 13 | Kinderzimmer | OG | 23,20 | 1.803 | 1.593 | 755 |
| 13 | Heinrich Heinegasse 13 | Schlafzimmer | EG | 12,60 | 3.434 | 3.034 | 1.437 |
| 14 | Heinrich Heinegasse 13 | Wohnzimmer | EG | 9,70 | 3.738 | 3.303 | 1.565 |
| 15 | Heinrich Heinegasse 11 | Wohnzimmer | EG | 10,50 | 3.270 | 2.890 | 1.369 |
| 16 | Heinrich Heinegasse 11 | Schlafzimmer | OG | 10,50 | 4.636 | 4.097 | 1.940 |
| 17 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | Schlafzimmer | OG | 16,44 | 3.317 | 2.931 | 1.388 |
| 18 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | Kinderzimmer | OG | 18,10 | 3.364 | 2.972 | 1.408 |
| 19 | Dr. Bruno Kreisky Str. 38 | Schlafzimmer | OG | 2,11 | 3.025 | 2.673 | 1.266 |
| 20 | Ing. Leopold Figl Gasse 5 | Wohnzimmer | EG | 19,20 | 1.330 | 1.176 | 557 |
| 21 | Weidengasse 10 | Wohnzimmer | EG | 17,60 | 1.655 | 1.463 | 693 |
| 22 | Weidengasse 10 | Therapieraum | EG | 22,50 | 1.022 | 903 | 428 |
| 23 | Ulmengasse 8 | Schlafzimmer | EG | 17,37 | 2.518 | 2.225 | 1.054 |
| 24 | Ulmengasse 8 | Kinderzimmer | EG | 18,70 | 1.980 | 1.750 | 829 |
| 25 | Franz Grubergasse 13 | Büro | OG | 5,80 | 4.807 | 4.248 | 2.012 |
| 26 | Franz Grubergasse 13 | Wohnzimmer | EG | 5,80 | 3.358 | 2.967 | 1.406 |
| 27 | Franz Grubergasse 15 | Schlafzimmer | OG | 11,40 | 4.039 | 3.569 | 1.691 |
| 28 | Franz Grubergasse 11 | Schlafzimmer | OG | 15,10 | 1.710 | 1.511 | 716 |
| 29 | Franz Grubergasse 6 | Wohnzimmer | EG | 12,80 | 1.880 | 1.661 | 787 |
| 30 | Franz Grubergasse 6 | Schlafzimmer | OG | 12,80 | 2.340 | 2.068 | 980 |
| 31 | Franz Grubergasse 6 | Kinderzimmer | OG | 20,70 | 1.310 | 1.158 | 548 |
| 32 | Robert Stolzgasse 5 | Schlafzimmer | EG | 19,00 | 1.070 | 946 | 448 |
| 33 | Robert Stolzgasse 5 | Wohnzimmer | EG | 11,60 | 1.480 | 1.308 | 620 |
| 34 | Robert Stolzgasse 7 | Schlafzimmer | OG | 12,30 | 2.450 | 2.165 | 1.026 |
| 35 | Robert Stolzgasse 7 | Kinderzimmer | OG | 14,50 | 1.980 | 1.750 | 829 |
| 36 | Robert Stolzgasse 7 | Wohnzimmer | EG | 12,30 | 1.940 | 1.714 | 812 |
| 37 | Franz Lehargasse 1 | Wohnzimmer | EG | 13,40 | 2.733 | 2.415 | 1.144 |
| 38 | Emmerich Kallmangasse 4 | Wohnzimmer | EG | 15,40 | 2.953 | 2.609 | 1.236 |
| 39 | Emmerich Kallmangasse 4 | Schlafzimmer | EG | 13,50 | 3.335 | 2.947 | 1.396 |
| 40 | Emmerich Kallmangasse 5 | Wohnzimmer | EG | 7,80 | 3.880 | 3.428 | 1.624 |
| 41 | Karl Zellergasse 9 | Wohnzimmer | EG | 13,50 | 2.379 | 2.103 | 996 |
| 42 | Karl Zellergasse 9 | Erholungsraum | OG | 11,80 | 2.188 | 1.934 | 916 |
| 43 | Karl Zellergasse 9 | Schlafzimmer | OG | 11,80 | 3.650 | 3.226 | 1.528 |
| 44 | Karl Zellergasse 9 | Kino | UG | 11,30 | 2.676 | 2.364 | 1.120 |
| 45 | Hammererstrasse 20/2 | Schlafzimmer | OG | 6,90 | 3.421 | 3.023 | 1.432 |
| 46 | Hammererstrasse 20/1 | Kinderzimmer | OG | 6,40 | 3.014 | 2.664 | 1.262 |
| 47 | Hammererstrasse 20/1 | Schlafzimmer | OG | 6,10 | 2.906 | 2.568 | 1.217 |
| 48 | Hammererstrasse 18/2 | Kinderzimmer | OG | 21,20 | 1.437 | 1.270 | 602 |
| 49 | Hammererstrasse 22 | Krankenzimmer | EG | 8,40 | 735 | 649 | 308 |
| 50 | Hammererstrasse 22 | Schlafzimmer | EG | 9,00 | 1.296 | 1.146 | 543 |
| 51 | Hammererstrasse 26 | Schlafzimmer | EG | 10,20 | 1.296 | 1.146 | 543 |
| 52 | Hammererstrasse 26 | Wohnzimmer | EG | 12,30 | 2.150 | 1.900 | 900 |
| 53 | Hammererstrasse 24 | Arbeitsraum | EG | 10,50 | 2.064 | 1.824 | 864 |
| 54 | Hammererstrasse 24 | Schlafzimmer | EG | 12,90 | 1.902 | 1.680 | 796 |
| 55 | Hammererstrasse 20/2 | Wohnzimmer | EG | 7,10 | 2.685 | 2.373 | 1.124 |
| 56 | Hammererstrasse 20/2 | Kinderzimmer | OG | 6,20 | 3.000 | 2.652 | 1.256 |
| 57 | Gainfarnerstrasse 26 | Wohnzimmer | EG | 13,11 | 2.446 | 2.162 | 1.024 |
| 58 | Gainfarnerstrasse 26 | Schlafzimmer | EG | 15,30 | 1.816 | 1.604 | 760 |
| 59 | Gainfarnerstrasse 26 | Wohnküche | EG | 11,00 | 2.876 | 2.542 | 1.204 |
| 60 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Wohnzimmer | EG | 22,50 | 1.634 | 1.444 | 684 |
| 61 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Schlafzimmer | OG | 22,50 | 1.749 | 1.545 | 732 |
| 62 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Wohnküche | EG | 20,00 | 1.825 | 1.613 | 764 |
| 63 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | Kinderzimmer | EG | 27,10 | 1.844 | 1.630 | 772 |

Berechnete Werte bei 100 %, 60 % und 30 % des thermischen Grenzstroms an 63 Messpunkten (normiert)

## 3.3. Bewertungsgrundlagen

Die Tabelle gibt eine Übersicht über die wichtigsten Grenz- und Vorsorgewerte. Im Anschluss daran sind einige detaillierte Erläuterungen zu finden.

| | | |
|---|---|---|
| 300.000 | nT | Österreich Vornorm ÖVE/ÖNORM E 8850 (2006) für die Bevölkerung; Deutschland 26. BImSchV (2013) für 16,7 Hz und ab 1.000 V Spannung |
| 200.000 | nT | ICNIRP Empfehlung 2010 für 50 Hz<br>Deutschland 26. BImSchV (2013) für 50 Hz und ab 1.000 V Spannung |
| 100.000 | nT | Österreich Vornorm ÖVE/ÖNORM E 8850 (2006) für die Bevölkerung; Deutschland 26. BImSchV (2013) für 50 Hz und ab 1.000 V Spannung; bei längerem Aufenthalt von Menschen |
| 1.000 | nT | Schweizer Anlagegrenzwert NISV (1999) für OMEN (Orte mit empfindlicher Nutzung) bei Volllast der Anlagen (Freileitungen, Transformatoren) Spitzenwert bei Langzeitexposition; UVP-Gutachten 380 kV Freileitung (G. Oberfeld, 2006) |
| 200 | nT | Computernorm TCO für strahlungsarme Monitore (5-2.000 Hz) |
| 200 | nT | NCRP Strahlenschutzkommission USA (Entwurf 1996) |
| 100 | nT | The BioInitiative Working Group für Langzeitaufenthalt von Kindern und schwangeren Frauen (2007 und 2012)<br>Mittelwert bei Langzeitexposition; UVP-Gutachten 380 kV Freileitung (G. Oberfeld, 2006) |

### A Vornorm ÖVE/ÖNORM E 8850 vom 1. Februar 2006

Für 50 Hz-Felder wird ein Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung von 100 µT entsprechend 100.000 nT angegeben und für 16,7 Hz Bahnstrom von 300.000 nT.

Die Basis der Vornorm bilden die Empfehlungen der ICNIRP, die nur das Kurzzeitrisiko und nachgewiesene Reaktion berücksichtigen, in keinster Weise aber das Langzeitrisiko bei niedrigen Feldstärken.

### B Schweizer „Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)“ vom 23.12.1999 (Auszug)

**1. Kapitel: Allgemeine Bestimmungen**
Art. 3, 3
Als Orte mit empfindlicher Nutzung (**OMEN**) gelten
a) Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten
b) öffentliche oder private, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze
c) diejenigen Flächen von unüberbauten Grundstücken, auf deren Nutzungen nach den Buchstaben a und b zugelassen sind.

**Vorsorgliche Emissionsgrenzen**
1 Frei- und Kabelleitungen zur Übertragung von elektrischer Energie
11 Geltungsbereich
.. Nennspannung mindestens 1.000 Volt ..
14 Anlagegrenzwert
.. Effektivwert der magnetischen Flussdichte beträgt 1 µT = 1.000 nT
(= Spitzenwert bei Vollauslastung der Leitungen)

**Erläuternder Bericht zur NISV vom 23.12.1999**

3 Das Schutzkonzept der Verordnung
32 Schädliche oder lästige Einwirkungen verhindern
… Die ICNIRP-Grenzwerte sind somit Gefährdungswerte und nicht Vorsorgewerte. …
33 Vorsorge
Die Vorsorge deckt die erwähnten Lücken der ICNIRP-Grenzwerte ab und ist zukunftsgerichtet. Es geht darum, das Risiko für schädliche Wirkungen, die zum Teil erst vermutet werden oder noch nicht absehbar sind, möglichst gering zu halten.

## C International Agency for Research on Cancer IARC

Seit 2002 sind niederfrequente magnetische Felder von der „International Agency for Research on Cancer“ (IARC) in Klasse 2B "möglicherweise kanzerogen" eingestuft. Die IARC ist Teil der Weltgesundheitsorganisation WHO.
Ein Zusammenhang zwischen einer Belastung durch niederfrequente Magnetfelder und Leukämie im Kindesalter ist möglich. Ausschlaggebend für die Einstufung niederfrequenter magnetischer Felder als "möglicherweise kanzerogen" sind Ergebnisse epidemiologischer Studien. Dabei wurde ein statistischer Zusammenhang zwischen einer Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern oberhalb einer Schwelle von etwa 300 bis 400 nT (0,3 bis 0,4 Mikrotesla µT) (zeitlich gemittelt) und Leukämie im Kindesalter gefunden.

## D Nationales Strahlenschutzkomitee (NCRP) der USA von 1996

Im Entwurf der NCRP findet sich für den Frequenzbereich von nahezu 0 Hz bis 3 kHz als „Option 2“ ein Expositionsrichtwert von 0,2 µT bzw. 200 nT für magnetische Flussdichten (NCRP 1995). Bei neuen Büro- und Industriebauten sollte die Exposition unter 0,2 µT bzw. **200 nT** bleiben.

## E TCO-Vorschrift für Computermonitore – TCO 03

Die TCO-Vorschrift regelt, dass Monitore selbst in einem Abstand von 30 cm nicht mehr als 0,2 µT bzw. **200 nT** im Frequenzbereich 5 Hz bis 2 kHz erzeugen dürfen.

Diese Regelung wurde in Schweden zum Schutz des Menschen geschaffen und berücksichtigt Feldstärken im Niedrigdosisbereich. Sie ist inzwischen zum weltweiten Standard geworden.

## F The BioInitiative Working Group vom 31.08.2007 und 31.12.2012

Eine internationale Arbeitsgruppe renommierter Wissenschaftler, Forscher und Gesundheitspolitik-Experten äußerte schwere Bedenken zur Sicherheit von existierenden öffentlichen Grenzwerten, die regulieren, wie viel elektromagnetischer Felder (EMF) von Stromleitungen, Handys und vielen anderen Quellen der EMF-Belastung im täglichen Leben zulässig sind. Ihre Forderung, die auch von der Europäische Umweltagentur (EEA) getragen wird, beträgt 0,1 µT = **100 nT** für alle Bereiche, wo sich Kinder und schwangere Frauen aufhalten.

## G UVP-Gutachten zur 380 kV Freileitung von 2006

Im Rahmen eines Gutachtens zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) in 2006 zur 380 kV Freileitung unter Auswertung der aktuellen Literatur empfahl der Gutachter, Dr. G. Oberfeld von der Landessanitätsdirektion Salzburg, für Plätze mit Langzeitaufenthalt: wie Büros und Wohnungen:

- **1.000 nT** als Spitzenwert bei Langzeitexposition im zu betrachtenden Zeitraum
- **100 nT** als Mittelwert bei Langzeitexposition im zu betrachtenden Zeitraum

nicht zu überschreiten.

Basis hierfür sind u. a. Erkenntnisse aus epidemiologischen Untersuchungen, dass es bei schwangeren Frauen mit Spitzenwerten bis zu 1.600 nT bei magnetischen Wechselfeldern zu einer Erhöhung von Fehlgeburten (Aborten) gekommen war. Des Weiteren kam es bei Feldstärken über 200 nT zu einer deutlichen Erhöhung des Risikos für kindliche Leukämien.

In Österreich dürfen in UVP-Verfahren z. B. bei 380 kV-Leitungen an Orten mit Langzeitaufenthalten (Wohnungen, Büros, Schulen) bei max. betrieblichem Dauerstrom in der Spitze 1.000 nT nicht überschritten werden.

## 3.4. Bewertung der Ergebnisse

Die magnetischen Wechselfelder an den 63 Messpunkten wurden bei drei verschiedenen Auslastungszuständen der Stromtrasse

- 100 % = thermischer Grenzstrom mit 500 A
- 60 % = n-1 Situation mit 300 A
- 30 % = 50 % der n-1 Situation mit 150 A

mit der ÖNORM E 8850 und Vorsorgewerten verglichen.

In der Tabelle ist angegeben,

- an wie vielen der 63 Messpunkten es zu Überschreitungen dieser Werte kommt und
- wie viel Prozent dies entspricht.

| | Ampere bzw. % | Vornorm ÖVE / ÖNORM E 8850 | NISV - OMEN UVP (2006) | NISV OMEN | NISV OMEN | WHO IARC | TCO | UVP (2006) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 100.000 nT | 1.000 nT | 600 nT | 300 nT | 300 nT | 200 nT | 100 nT |
| | | peak | peak | peak | peak | | | AVG |
| | | | | | | | | |
| therm. Grenzstrom | 500 / 100 | | | | | | | |
| Überschreitung an x / 63 MP | | 0 / 63 | 62 / 63 | | | 63 / 63 | 63 / 63 | 63 / 63 |
| entspricht xx % | | 0 | 98 | | | 100 | 100 | 100 |
| | | | | | | | | |
| n-1 = 60 % vom therm. Grenzstrom | 300 / 60 | | | | | | | |
| Überschreitung an x / 63 MP | | 0 / 63 | | 63 / 63 | | 63 / 63 | 63 / 63 | 63 / 63 |
| entspricht xx % | | 0 | | 100 | | 100 | 100 | 100 |
| | | | | | | | | |
| 50 % der n-1 Situation | 150 / 30 | | | | | | | |
| (30 % vom therm. Grenzstrom) | | | | | | | | |
| Überschreitung an x / 63 MP | | 0 / 63 | | | 63 / 63 | 63 / 63 | 63 / 63 | 63 / 63 |
| entspricht xx % | | 0 | | | 100 | 100 | 100 | 100 |

peak = Spitzenwert AVG = Mittelwert

Die Werte der Vornorm ÖNORM E 8850 werden an keinem Messpunkt überschritten, weder bei Volllast (thermischer Grenzstrom) noch bei 60 % (n-1) oder 30 % Auslastung. Anders schaut es bei der Heranziehung der Vorsorgewerte aus. Hier kommt es bei nahezu allen Messpunkten zu Überschreitungen.

## 3.5. Allgemeine Hinweise

**Magnetische Wechselfelder** durchdringen praktisch alle Materialien – mit wenigen Ausnahmen – ungehindert. Eine Abschirmung ist nur auf regional eng begrenzte Feldverursacher und mit hohen Kosten möglich.

Die von Stromleitungen abgestrahlten **elektrischen Wechselfelder** sind auch dann vorhanden, wenn kein Strom in den unter Spannung stehenden Stromleitungen fließt. Sie durchdringen Baumaterialien nicht in der Weise, wie die magnetischen Wechselfelder. Im Bereich des massiven Mauerwerks werden sie durch dieses in das Erdreich abgeleitet und sind im Innenbereich des Gebäudes nicht mehr messbar. Im Bereich der Dachkonstruktionen koppeln die elektrischen Wechselfelder an das Holz und andere Baustoffe wie z. B. Aluminiumfolien der Dampfsperren oder Wärmedämmung an und werden durch diese verschleppt. Sie sind somit im Innenbereich des Dachgeschosses gut messbar und teilweise höher als die Felder der hausinternen Elektroinstallation.

## 3.6. Anmerkungen

Die gemessenen und errechneten Werte beziehen sich nur auf die zum Zeitpunkt der Messung vorhandenen Felder. Änderungen in den Messstandorten, wie Verschiebung des Messpunktes in verschiedene Himmelsrichtungen oder Messhöhen, können zu abweichenden Ergebnissen führen und können daher unter Umständen nicht mehr mit den hier ermittelten Daten verglichen werden.

Der Bericht ist für den Auftraggeber bestimmt und darf ohne unsere schriftliche Zustimmung nur vollständig vervielfältigt werden.

Dr.-Ing. Dietrich Moldan

## 4. Lageplan, Messwerte, und Fotodokumentation

In den folgenden Kapiteln werden dargestellt:

Pläne und Tabellen

- Lageplane zur Erfassung des Profils unter der Hochspannungsleitung
- Messpunkte mit Messzeitraum, Anschrift, Etage und Detail zum Raum
- Lagepläne mit Gesamtübersicht sowie Details im Auszug aus dem Kataster

Grafiken mit Ergebnissen zu

- Profilmessung
- Messungen in den Wohnungen

Fotodokumentation mit

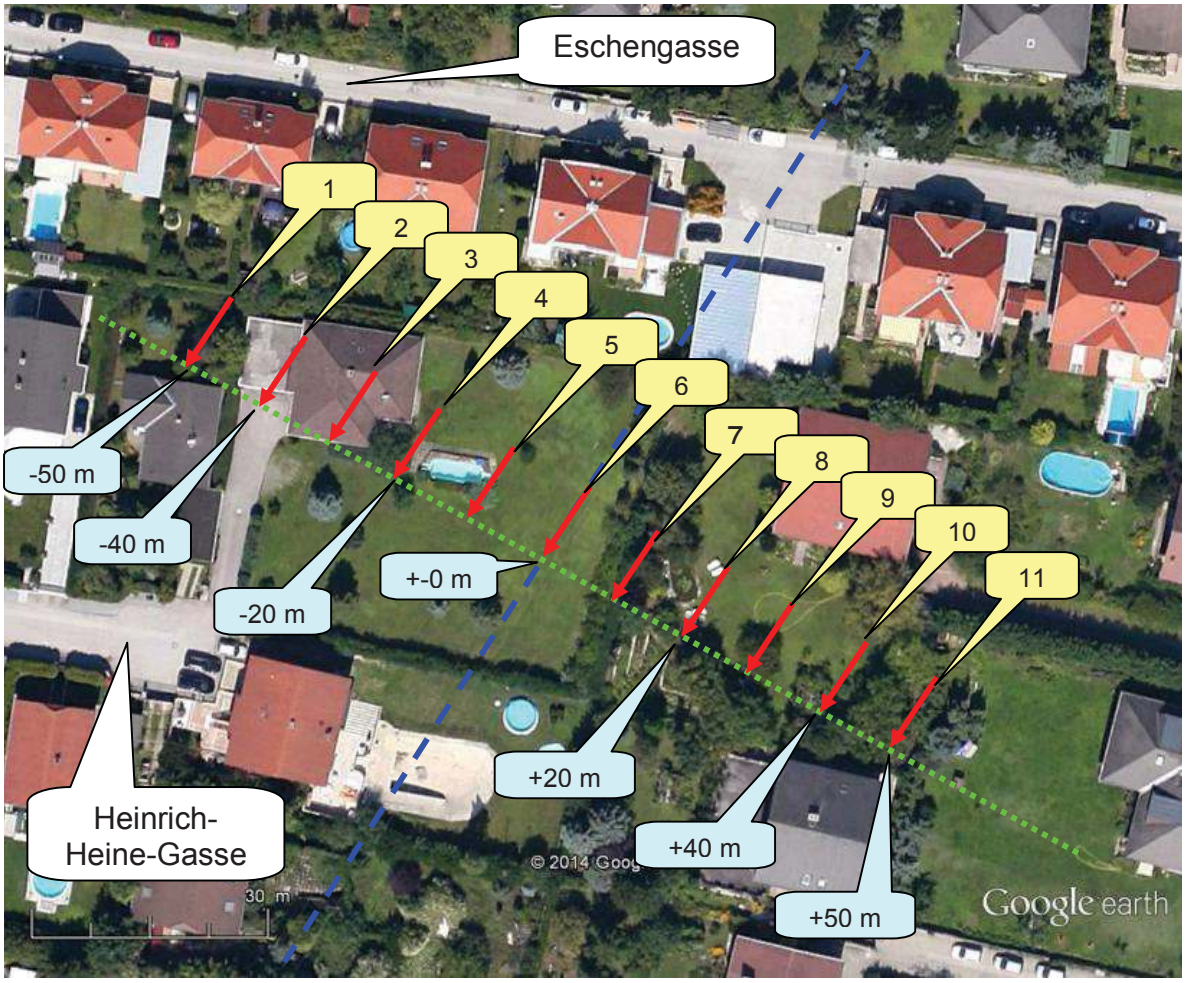
- Messpunkten für die Profilmessung
- Messpunkten in den Wohnungen für die Langzeitmessungen
- Gebäuden in der Nähe der Leitungstrasse

## 4.1. Beschreibung der Messpunkte

Es wurden 12 Datenlogger parallel eingesetzt, die mit den Nummern 1 bis 12 gekennzeichnet waren.

Für die **Erfassung des Profils der magnetischen Wechselfelder unter der Hochspannungs-trasse** wurden 11 Datenlogger für eine knapp 3-stündige Messung von 17:15 bis 20:00 Uhr am 5. Juli eingesetzt. Es wurde eine Strecke vermessen, die senkrecht zur Trasse liegt. Die Messpunkte waren direkt in der Trassenmitte sowie im 10 m Raster bis zu 50 m Entfernung rechts und links der Trasse.

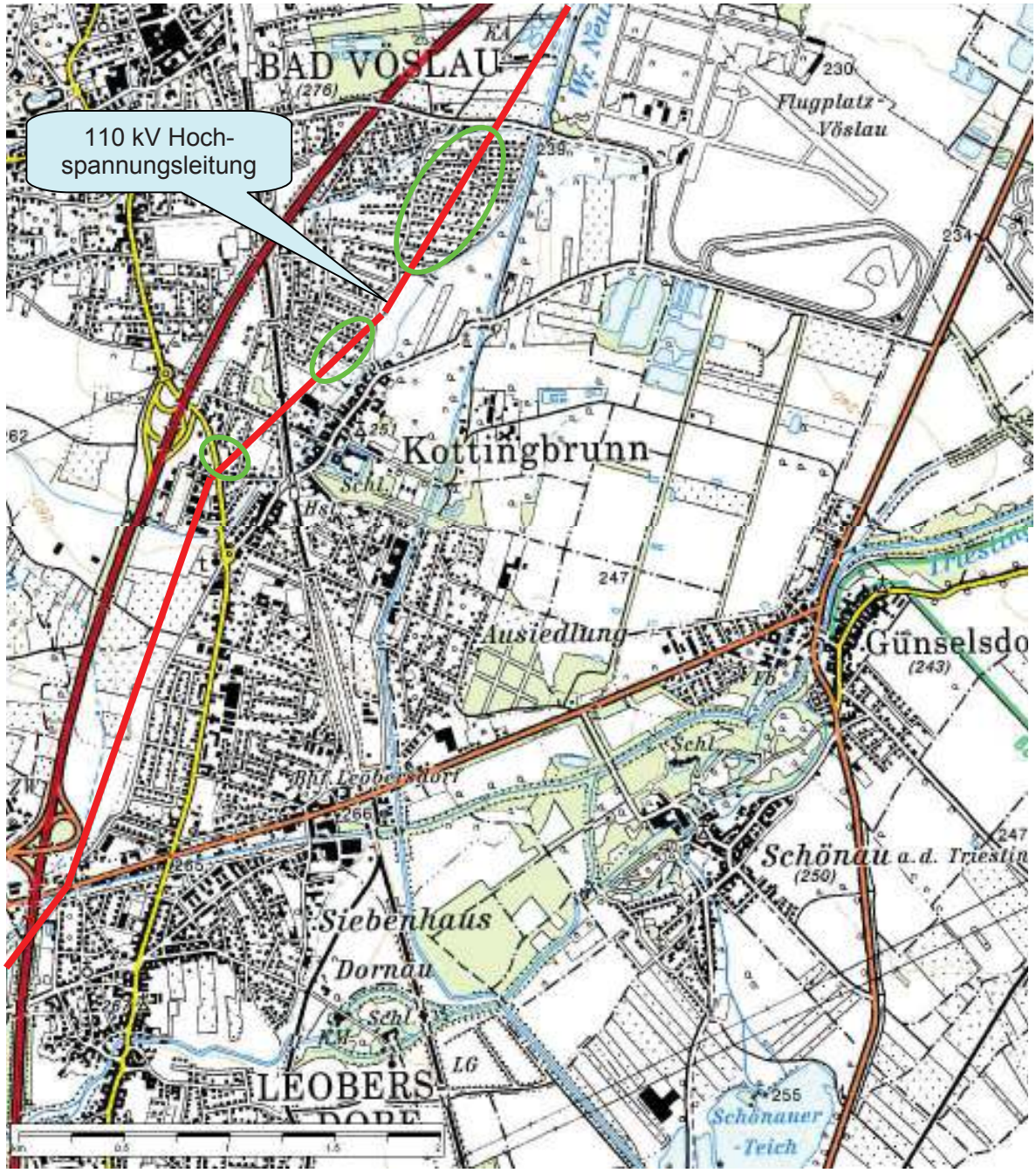
Im Anschluss daran verblieben 3 Datenlogger direkt unter der Leitung und je 10 m rechts und links der Trassenmitte (MP 5-7) bis zum Ende der Einzelmessungen am 12. Juli.




Für die **Langzeitmessungen** wurden 9 Datenlogger parallel eingesetzt. Sie wurden jeden Abend im Zeitraum von 20 bis 21 Uhr an ihrem bisherigen Standort eingesammelt und auf die neuen Standorte verteilt. Eine Übersicht der Messpunkte ist auf der folgenden Seite.
Der Abstand wird als waagrechte Entfernung zwischen der Trassenmitte und dem Messort definiert.

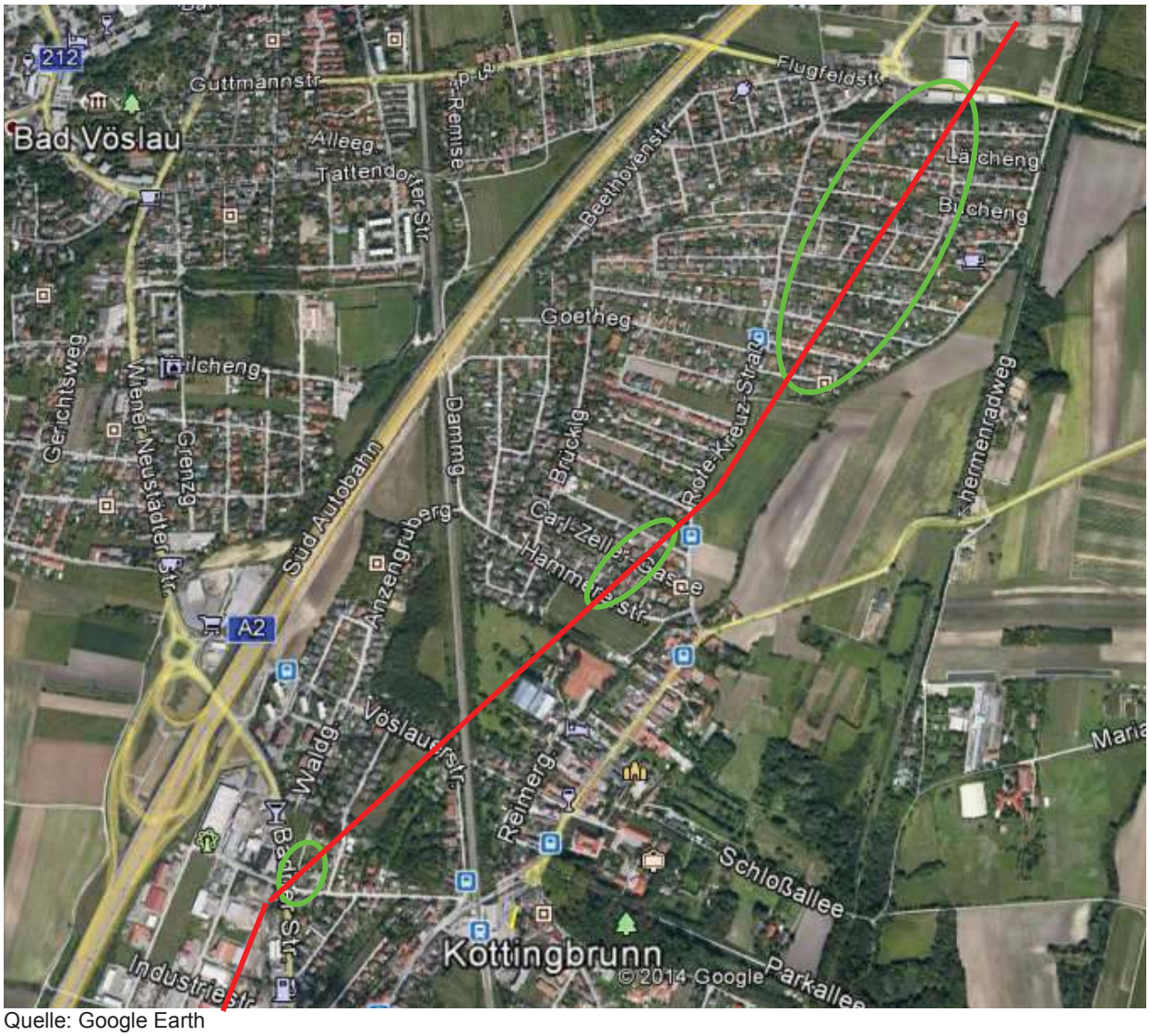
| Datum Jul 14 | Uhrzeit Beginn | Uhrzeit Ende | Anschrift | Abstand m | Etage | Raum | Mess-punkt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 05.07.2014 | 20:18 | 20:11 | Föhrengasse 7 | 9,00 | EG | Kinderzimmer | 1 |
| 05.07.2014 | 20:21 | 20:00 | Föhrengasse 7 | 5,26 | EG | Küche | 2 |
| 05.07.2014 | 20:26 | 20:04 | Föhrengasse 6 | 7,38 | EG | Schlafzimmer | 3 |
| 05.07.2014 | 20:28 | 20:04 | Föhrengasse 6 | 10,70 | EG | Kinderzimmer | 4 |
| 05.07.2014 | 20:34 | 20:00 | Föhrengasse 4 | 15,80 | EG | Wohnzimmer | 5 |
| 05.07.2014 | 20:36 | 20:00 | Föhrengasse 4 | 14,10 | OG | Kinderzimmer Maxi | 6 |
| 05.07.2014 | 20:43 | 20:04 | Fichtengasse 4 | 17,00 | EG | Wintergarten | 7 |
| 05.07.2014 | 20:47 | 20:06 | Fichtengasse 5 | 11,80 | EG | Wohnzimmer | 8 |
| 05.07.2014 | 20:57 | 20:00 | Föhrengasse 5 | 11,30 | EG | Arbeitszimmer | 9 |
| 06.07.2014 | 20:18 | 20:00 | Eschergasse 7 | 11,50 | OG | Kinderzimmer 1 | 10 |
| 06.07.2014 | 20:20 | 20:02 | Eschergasse 7 | 14,00 | OG | Kinderzimmer 2 | 11 |
| 06.07.2014 | 20:30 | 20:03 | Tannengasse 13 | 23,20 | OG | Kinderzimmer | 12 |
| 06.07.2014 | 20:37 | 20:05 | Heinrich Heinegasse 13 | 12,60 | EG | Schlafzimmer | 13 |
| 06.07.2014 | 20:39 | 20:07 | Heinrich Heinegasse 13 | 9,70 | EG | Wohnzimmer | 14 |
| 06.07.2014 | 20:46 | 20:07 | Heinrich Heinegasse 11 | 10,50 | EG | Wohnzimmer | 15 |
| 06.07.2014 | 20:50 | 20:09 | Heinrich Heinegasse 11 | 10,50 | OG | Schlafzimmer | 16 |
| 06.07.2014 | 20:58 | 20:09 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | 16,44 | OG | Schlafzimmer | 17 |
| 06.07.2014 | 21:00 | 20:10 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | 18,10 | OG | Kinderzimmer | 18 |
| 07.07.2014 | 20:12 | 20:00 | Dr. Bruno Kreisky Str. 38 | 2,11 | OG | Schlafzimmer | 19 |
| 07.07.2014 | 20:20 | 20:02 | Ing. Leopold Figl Gasse 5 | 19,20 | EG | Wohnzimmer | 20 |
| 07.07.2014 | 20:29 | 20:03 | Weidengasse 10 | 17,60 | EG | Wohnzimmer | 21 |
| 07.07.2014 | 20:31 | 20:04 | Weidengasse 10 | 22,50 | EG | Therapieraum | 22 |
| 07.07.2014 | 20:41 | 20:05 | Ulmengasse 8 | 17,37 | EG | Schlafzimmer | 23 |
| 07.07.2014 | 20:42 | 20:05 | Ulmengasse 8 | 18,70 | EG | Kinderzimmer | 24 |
| 07.07.2014 | 20:51 | 20:00 | Franz Grubergasse 13 | 5,80 | OG | Büro | 25 |
| 07.07.2014 | 20:52 | 20:00 | Franz Grubergasse 13 | 5,80 | EG | Wohnzimmer | 26 |
| 07.07.2014 | 20:59 | 20:00 | Franz Grubergasse 15 | 11,40 | OG | Schlafzimmer | 27 |
| 08.07.2014 | 20:11 | 20:02 | Franz Grubergasse 11 | 15,10 | OG | Schlafzimmer | 28 |
| 08.07.2014 | 20:15 | 20:02 | Franz Grubergasse 6 | 12,80 | EG | Wohnzimmer | 29 |
| 08.07.2014 | 20:16 | 20:02 | Franz Grubergasse 6 | 12,80 | OG | Schlafzimmer | 30 |
| 08.07.2014 | 20:18 | 20:02 | Franz Grubergasse 6 | 20,70 | OG | Kinderzimmer | 31 |
| 08.07.2014 | 20:25 | 20:04 | Robert Stolzgasse 5 | 19,00 | EG | Schlafzimmer | 32 |
| 08.07.2014 | 20:31 | 20:04 | Robert Stolzgasse 5 | 11,60 | EG | Wohnzimmer | 33 |
| 08.07.2014 | 20:36 | 20:04 | Robert Stolzgasse 7 | 12,30 | OG | Schlafzimmer | 34 |
| 08.07.2014 | 20:37 | 20:04 | Robert Stolzgasse 7 | 14,50 | OG | Kinderzimmer | 35 |
| 08.07.2014 | 20:41 | 20:04 | Robert Stolzgasse 7 | 12,30 | EG | Wohnzimmer | 36 |
| 09.07.2014 | 20:09 | 20:01 | Franz Lehargasse 1 | 13,40 | EG | Wohnzimmer | 37 |
| 09.07.2014 | 20:16 | 20:04 | Emmerich Kallmangasse 4 | 15,40 | EG | Wohnzimmer | 38 |
| 09.07.2014 | 20:19 | 20:04 | Emmerich Kallmangasse 4 | 13,50 | EG | Schlafzimmer | 39 |
| 09.07.2014 | 20:23 | 20:06 | Emmerich Kallmangasse 5 | 7,80 | EG | Wohnzimmer | 40 |
| 09.07.2014 | 20:31 | 20:09 | Karl Zellergasse 9 | 13,50 | EG | Wohnzimmer | 41 |
| 09.07.2014 | 20:33 | 20:09 | Karl Zellergasse 9 | 11,80 | OG | Erholungsraum | 42 |
| 09.07.2014 | 20:39 | 20:09 | Karl Zellergasse 9 | 11,80 | OG | Schlafzimmer | 43 |
| 09.07.2014 | 20:45 | 20:09 | Karl Zellergasse 9 | 11,30 | UG | Kino | 44 |
| 09.07.2014 | 20:55 | 20:12 | Hammererstrasse 20/2 | 6,90 | OG | Schlafzimmer | 45 |
| 10.07.2014 | 20:14 | 20:02 | Hammererstrasse 20/1 | 6,40 | OG | Kinderzimmer | 46 |
| 10.07.2014 | 20:17 | 20:02 | Hammererstrasse 20/1 | 6,10 | OG | Schlafzimmer | 47 |
| 10.07.2014 | 20:25 | 20:05 | Hammererstrasse 18/2 | 21,20 | OG | Kinderzimmer | 48 |
| 10.07.2014 | 20:29 | 20:05 | Hammererstrasse 22 | 8,40 | EG | Krankenzimmer | 49 |
| 10.07.2014 | 20:31 | 20:05 | Hammererstrasse 22 | 9,00 | EG | Schlafzimmer | 50 |
| 10.07.2014 | 20:38 | 20:17 | Hammererstrasse 26 | 10,20 | EG | Schlafzimmer | 51 |
| 10.07.2014 | 20:40 | 20:12 | Hammererstrasse 26 | 12,30 | EG | Wohnzimmer | 52 |
| 10.07.2014 | 20:45 | 20:13 | Hammererstrasse 24 | 10,50 | EG | Arbeitsraum | 53 |
| 10.07.2014 | 20:47 | 20:13 | Hammererstrasse 24 | 12,90 | EG | Schlafzimmer | 54 |
| 11.07.2014 | 20:05 | 20:04 | Hammererstrasse 20/2 | 7,10 | EG | Wohnzimmer | 55 |
| 11.07.2014 | 20:07 | 20:04 | Hammererstrasse 20/2 | 6,20 | OG | Kinderzimmer | 56 |
| 11.07.2014 | 20:26 | 19:58 | Gainfarnerstrasse 26 | 13,11 | EG | Wohnzimmer | 57 |
| 11.07.2014 | 20:28 | 19:58 | Gainfarnerstrasse 26 | 15,30 | EG | Schlafzimmer | 58 |
| 11.07.2014 | 20:32 | 19:58 | Gainfarnerstrasse 26 | 11,00 | EG | Wohnküche | 59 |
| 11.07.2014 | 20:43 | 20:10 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 22,50 | EG | Wohnzimmer | 60 |
| 11.07.2014 | 20:46 | 20:10 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 22,50 | OG | Schlafzimmer | 61 |
| 11.07.2014 | 20:48 | 20:10 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 20,00 | EG | Wohnküche | 62 |
| 11.07.2014 | 20:51 | 20:10 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 27,10 | EG | Kinderzimmer | 63 |

## 4.2. Lageplan




Quelle: BEV, Wien

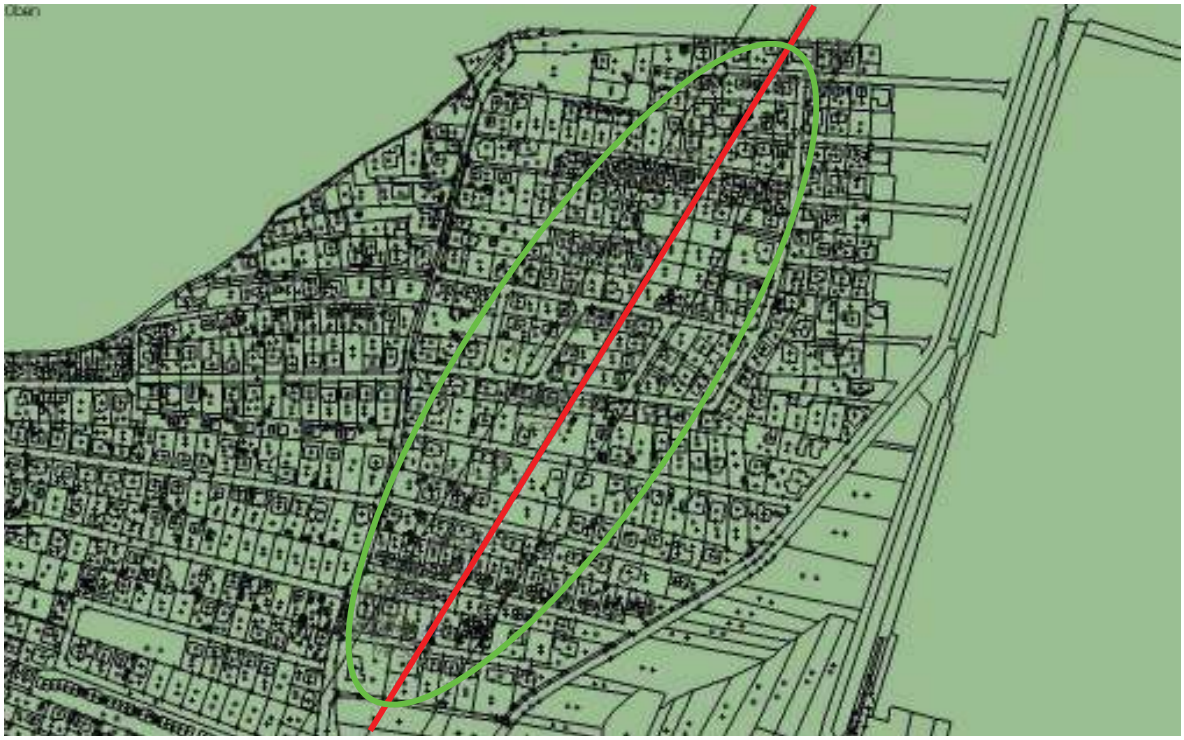
rote Linie: 110 kV Hochspannungsleitung
grüne Ellipsen: Bereiche mit Messpunkten



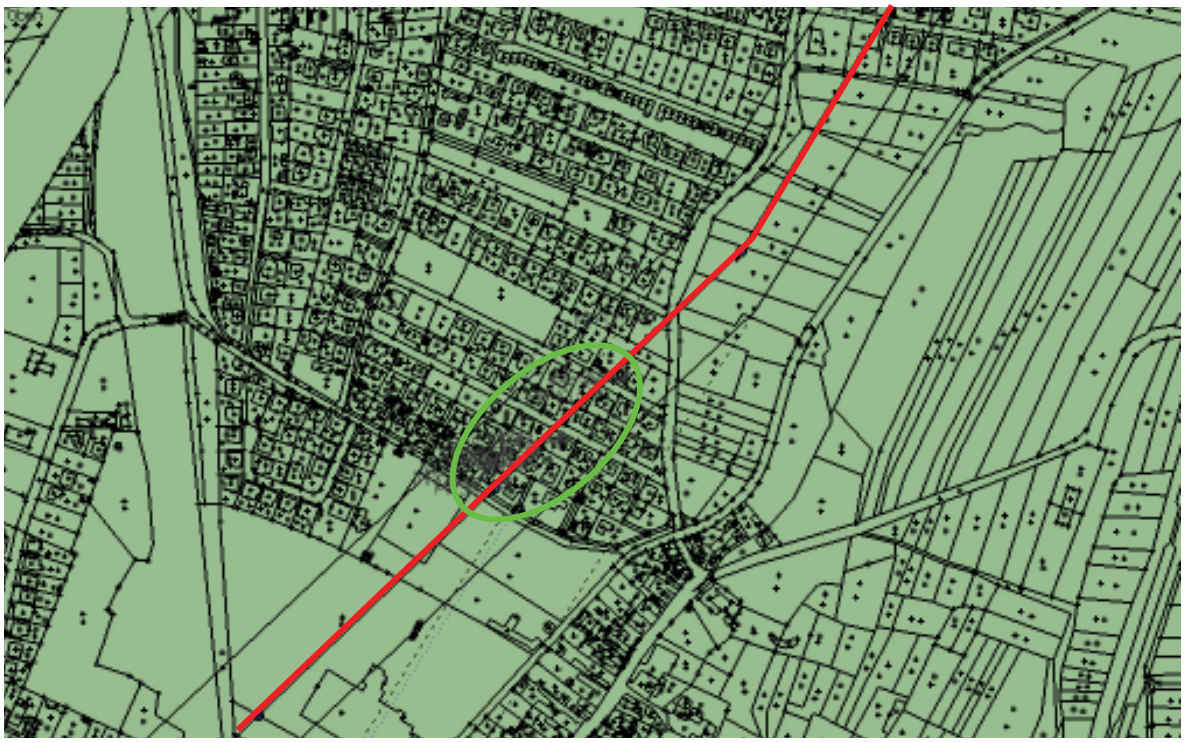
Quelle: Google Earth

rote Linie: 110 kV Hochspannungsleitung
grüne Ellipsen: Bereiche mit Messpunkten

Nordöstlicher Bereich



mittlerer Bereich



westlicher Bereich

## Die Messpunkte im Detail

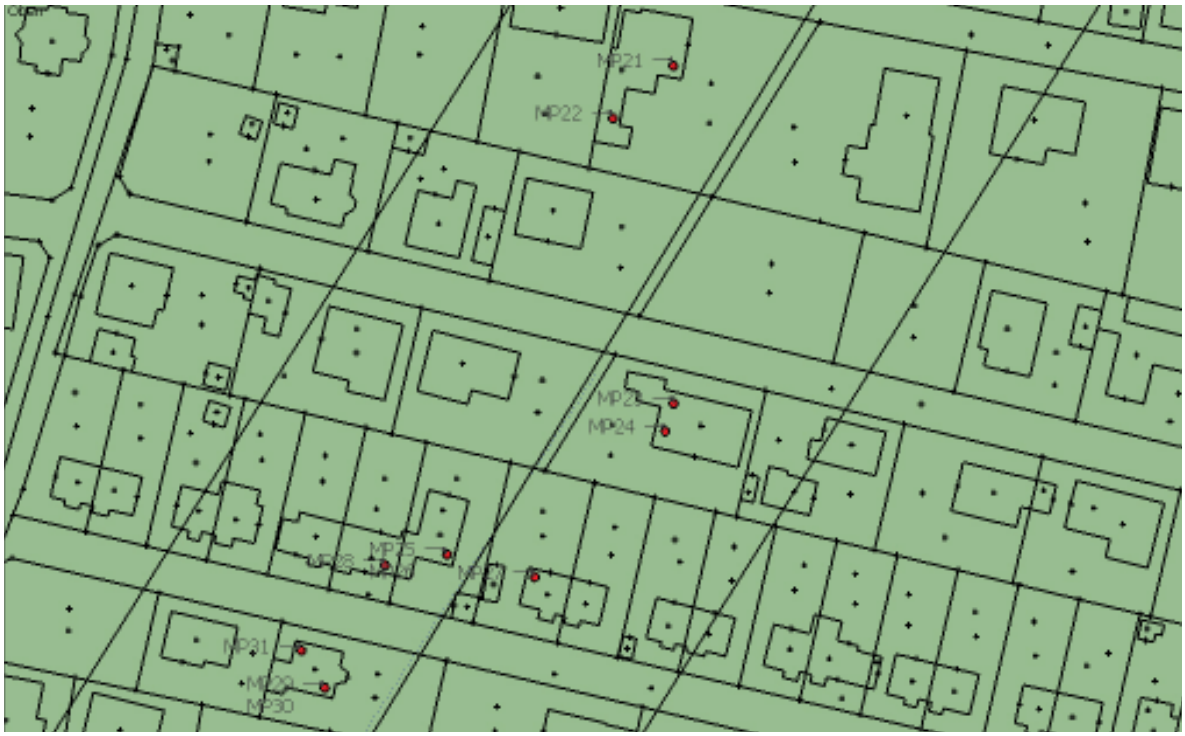
Blaue Punkte kennzeichnen die Standorte der Gittermasten.

| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Föhrengasse 7 | 9,00 | EG | Kinderzimmer | 1 |
| Föhrengasse 7 | 5,26 | EG | Küche | 2 |
| Föhrengasse 6 | 7,38 | EG | Schlafzimmer | 3 |
| Föhrengasse 6 | 10,70 | EG | Kinderzimmer | 4 |
| Föhrengasse 4 | 15,80 | EG | Wohnzimmer | 5 |
| Föhrengasse 4 | 14,10 | OG | Kinderzimmer Maxi | 6 |
| Fichtengasse 4 | 17,00 | EG | Wintergarten | 7 |
| Fichtengasse 5 | 11,80 | EG | Wohnzimmer | 8 |
| Föhrengasse 5 | 11,30 | EG | Arbeitszimmer | 9 |
| Eschergasse 7 | 11,50 | OG | Kinderzimmer 1 | 10 |
| Eschergasse 7 | 14,00 | OG | Kinderzimmer 2 | 11 |

| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Eschergasse 7 | 11,50 | OG | Kinderzimmer 1 | 10 |
| Eschergasse 7 | 14,00 | OG | Kinderzimmer 2 | 11 |
| Tannengasse 13 | 23,20 | OG | Kinderzimmer | 12 |
| Heinrich Heinegasse 13 | 12,60 | EG | Schlafzimmer | 13 |
| Heinrich Heinegasse 13 | 9,70 | EG | Wohnzimmer | 14 |
| Heinrich Heinegasse 11 | 10,50 | EG | Wohnzimmer | 15 |
| Heinrich Heinegasse 11 | 10,50 | OG | Schlafzimmer | 16 |

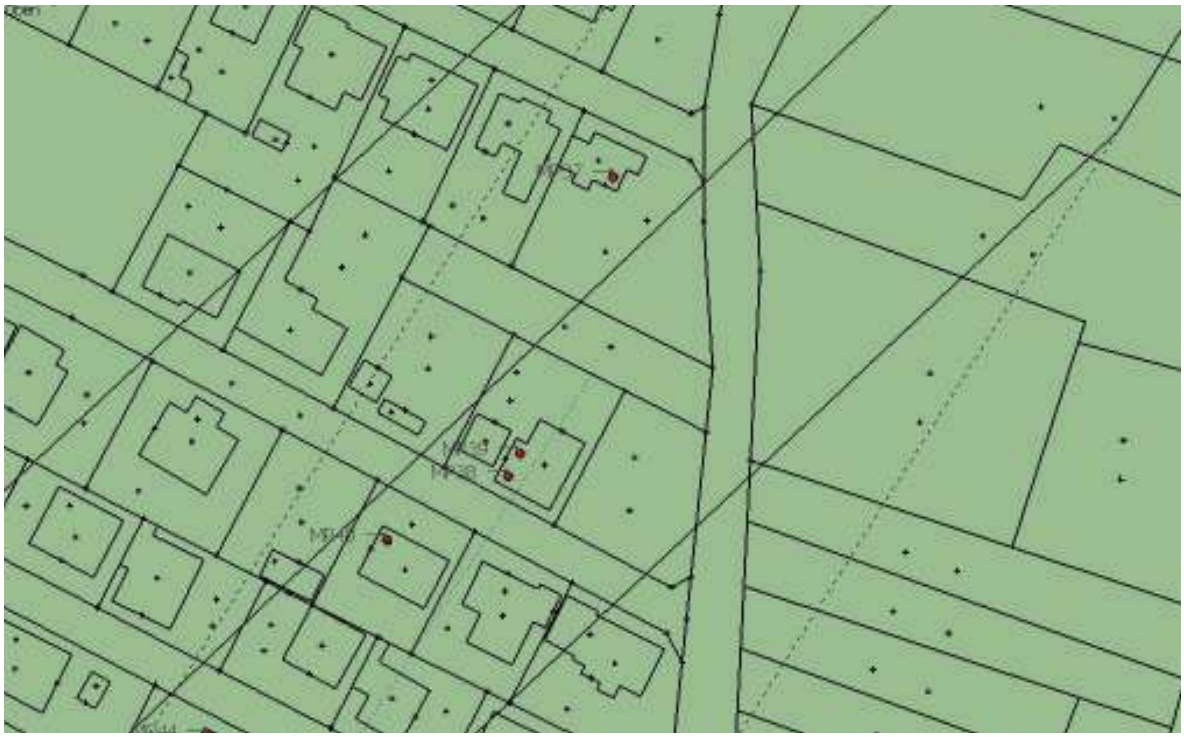
**blau punktierte Linie:** Messungen zum Profil der Verteilung der magnetischen Wechselfelder von westlich (-50 m) über die Trassenmitte (0 m) bis östlich (+50 m)

| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Ing. Leopold Figl Gasse 7 | 16,44 | OG | Schlafzimmer | 17 |
| Ing. Leopold Figl Gasse 7 | 18,10 | OG | Kinderzimmer | 18 |
| Dr. Bruno Kreisky Str. 38 | 2,11 | OG | Schlafzimmer | 19 |
| Ing. Leopold Figl Gasse 5 | 19,20 | EG | Wohnzimmer | 20 |
| Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 22,50 | EG | Wohnzimmer | 60 |
| Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 22,50 | OG | Schlafzimmer | 61 |
| Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 20,00 | EG | Wohnküche | 62 |
| Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 27,10 | EG | Kinderzimmer | 63 |

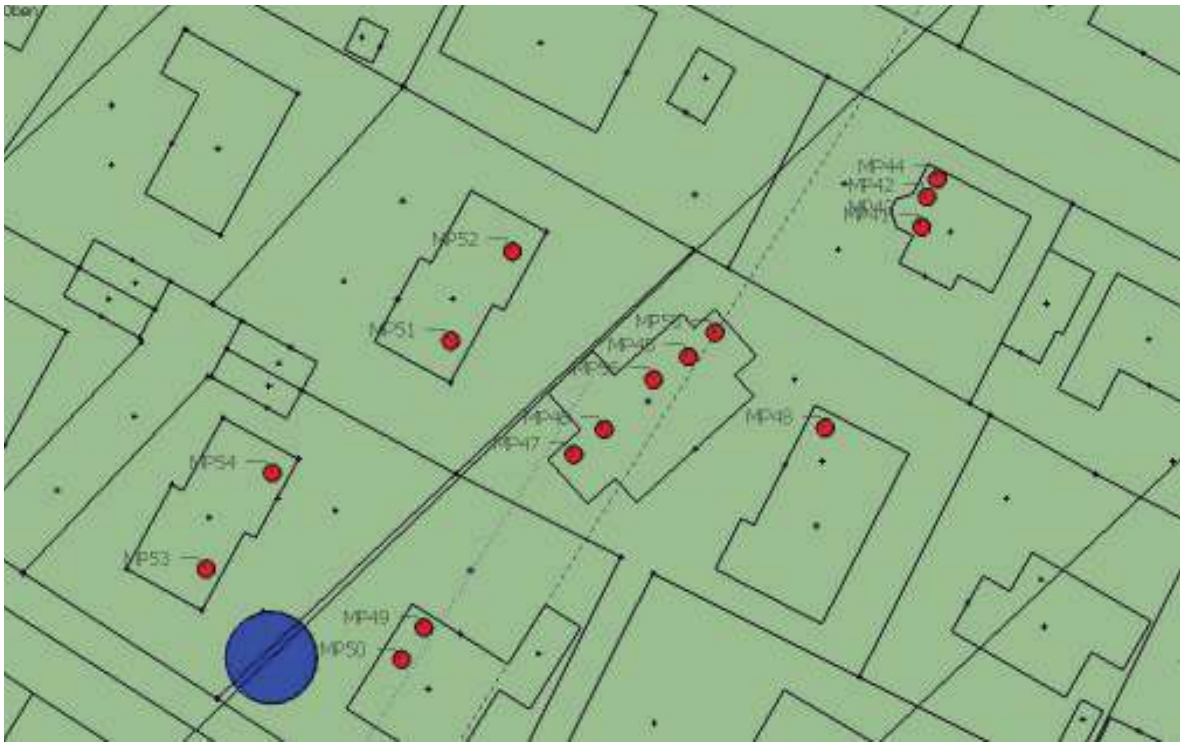



| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Weidengasse 10 | 17,60 | EG | Wohnzimmer | 21 |
| Weidengasse 10 | 22,50 | EG | Therapieraum | 22 |
| Ulmengasse 8 | 17,37 | EG | Schlafzimmer | 23 |
| Ulmengasse 8 | 18,70 | EG | Kinderzimmer | 24 |
| Franz Grubergasse 13 | 5,80 | OG | Büro | 25 |
| Franz Grubergasse 13 | 5,80 | EG | Wohnzimmer | 26 |
| Franz Grubergasse 15 | 11,40 | OG | Schlafzimmer | 27 |
| Franz Grubergasse 11 | 15,10 | OG | Schlafzimmer | 28 |
| Franz Grubergasse 6 | 12,80 | EG | Wohnzimmer | 29 |
| Franz Grubergasse 6 | 12,80 | OG | Schlafzimmer | 30 |
| Franz Grubergasse 6 | 20,70 | OG | Kinderzimmer | 31 |

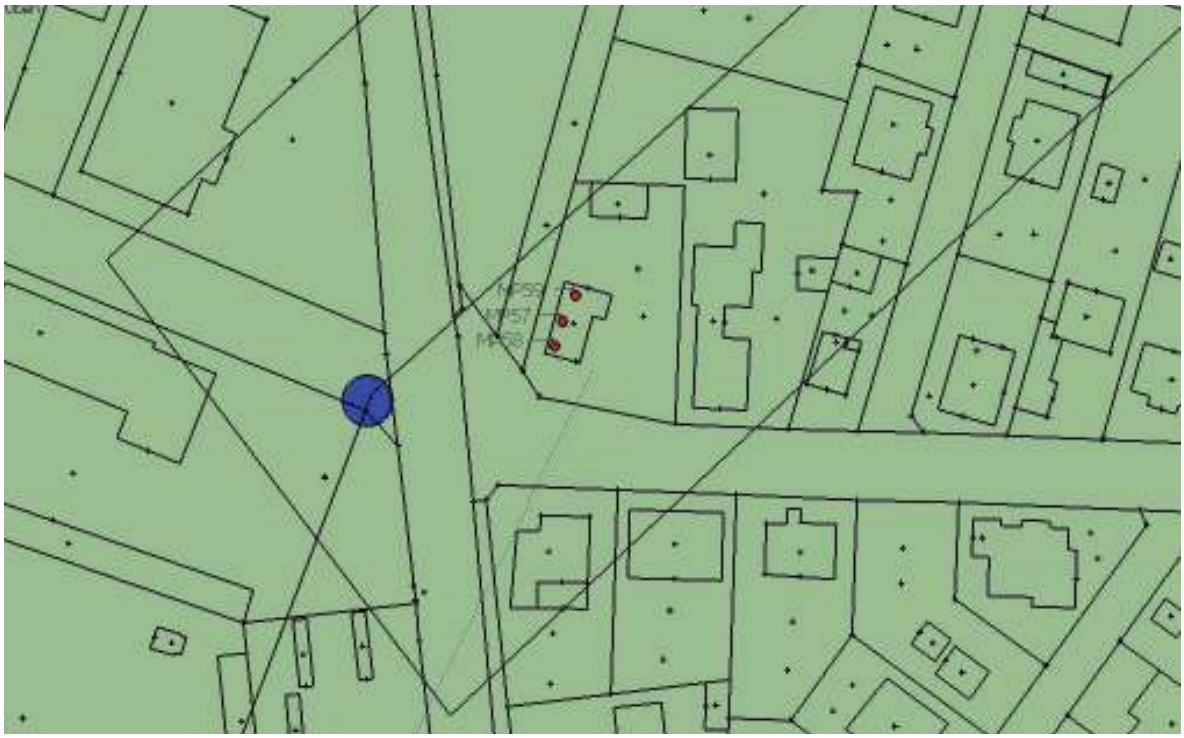
| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Ulmengasse 8 | 17,37 | EG | Schlafzimmer | 23 |
| Ulmengasse 8 | 18,70 | EG | Kinderzimmer | 24 |
| Franz Grubergasse 13 | 5,80 | OG | Büro | 25 |
| Franz Grubergasse 13 | 5,80 | EG | Wohnzimmer | 26 |
| Franz Grubergasse 15 | 11,40 | OG | Schlafzimmer | 27 |
| Franz Grubergasse 11 | 15,10 | OG | Schlafzimmer | 28 |
| Franz Grubergasse 6 | 12,80 | EG | Wohnzimmer | 29 |
| Franz Grubergasse 6 | 12,80 | OG | Schlafzimmer | 30 |
| Franz Grubergasse 6 | 20,70 | OG | Kinderzimmer | 31 |
| Robert Stolzgasse 5 | 19,00 | EG | Schlafzimmer | 32 |
| Robert Stolzgasse 5 | 11,60 | EG | Wohnzimmer | 33 |
| Robert Stolzgasse 7 | 12,30 | OG | Schlafzimmer | 34 |
| Robert Stolzgasse 7 | 14,50 | OG | Kinderzimmer | 35 |
| Robert Stolzgasse 7 | 12,30 | EG | Wohnzimmer | 36 |



| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Franz Lehargasse 1 | 13,40 | EG | Wohnzimmer | 37 |
| Emmerich Kallmangasse 4 | 15,40 | EG | Wohnzimmer | 38 |
| Emmerich Kallmangasse 4 | 13,50 | EG | Schlafzimmer | 39 |
| Emmerich Kallmangasse 5 | 7,80 | EG | Wohnzimmer | 40 |




| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Karl Zellergasse 9 | 13,50 | EG | Wohnzimmer | 41 |
| Karl Zellergasse 9 | 11,80 | OG | Erholungsraum | 42 |
| Karl Zellergasse 9 | 11,80 | OG | Schlafzimmer | 43 |
| Karl Zellergasse 9 | 11,30 | UG | Kino | 44 |
| Hammererstrasse 20/2 | 6,90 | OG | Schlafzimmer | 45 |
| Hammererstrasse 20/1 | 6,40 | OG | Kinderzimmer | 46 |
| Hammererstrasse 20/1 | 6,10 | OG | Schlafzimmer | 47 |
| Hammererstrasse 18/2 | 21,20 | OG | Kinderzimmer | 48 |
| Hammererstrasse 22 | 8,40 | EG | Krankenzimmer | 49 |
| Hammererstrasse 22 | 9,00 | EG | Schlafzimmer | 50 |
| Hammererstrasse 26 | 10,20 | EG | Schlafzimmer | 51 |
| Hammererstrasse 26 | 12,30 | EG | Wohnzimmer | 52 |
| Hammererstrasse 24 | 10,50 | EG | Arbeitsraum | 53 |
| Hammererstrasse 24 | 12,90 | EG | Schlafzimmer | 54 |
| Hammererstrasse 20/2 | 7,10 | EG | Wohnzimmer | 55 |
| Hammererstrasse 20/2 | 6,20 | OG | Kinderzimmer | 56 |

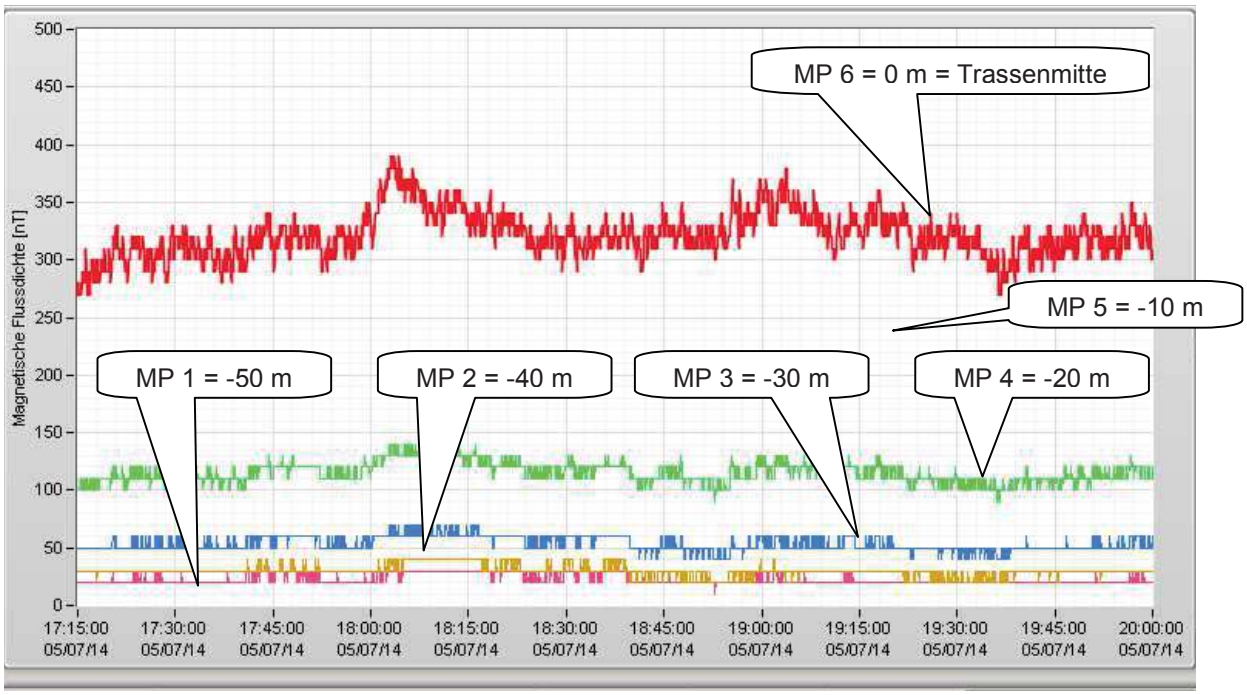


| Anschrift | Abstand in m | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Gainfarnerstrasse 26 | 13,11 | EG | Wohnzimmer | 57 |
| Gainfarnerstrasse 26 | 15,30 | EG | Schlafzimmer | 58 |
| Gainfarnerstrasse 26 | 11,00 | EG | Wohnküche | 59 |

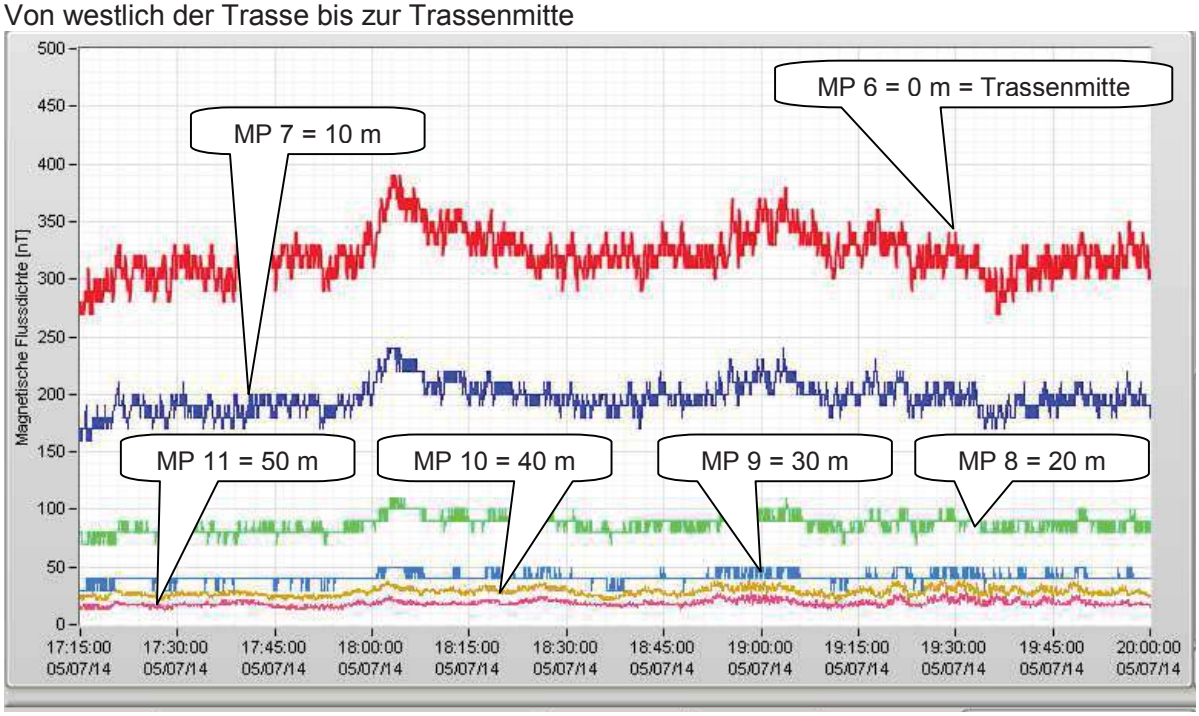
## 4.3. Grafiken

### 4.3.1. Profilmessung

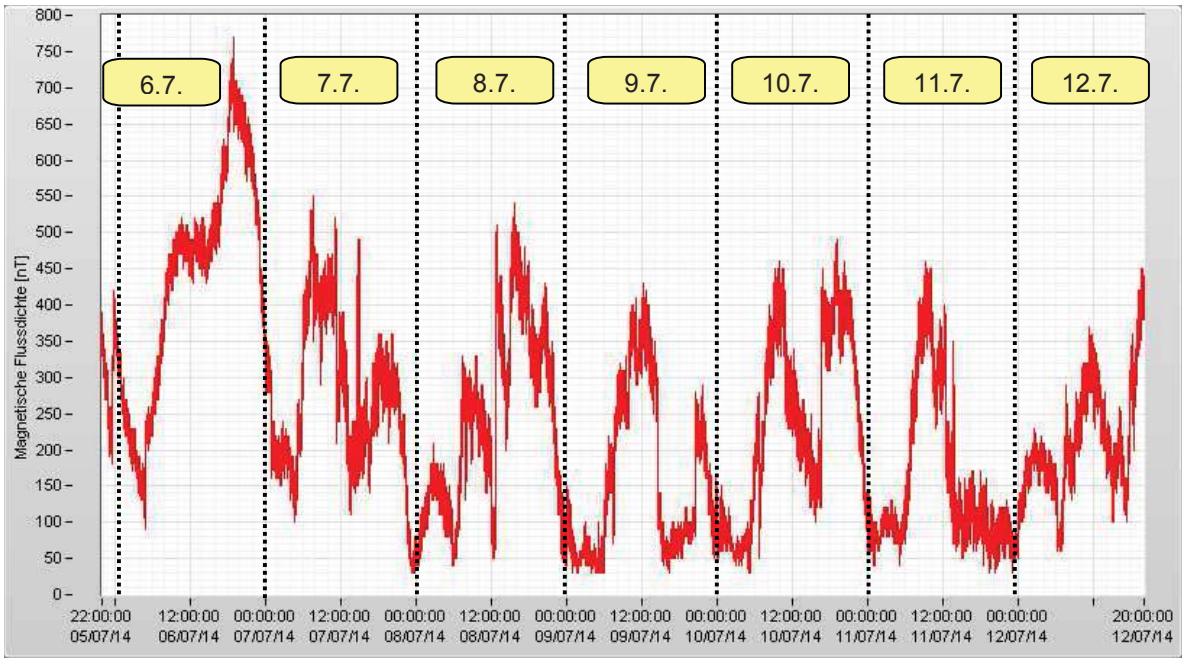
MP 1 bis MP 6 am 05.07.14 von 17:15 bis 20:00 Uhr
Von westlich der Trasse bis zur Trassenmitte, MP 5 ohne Daten



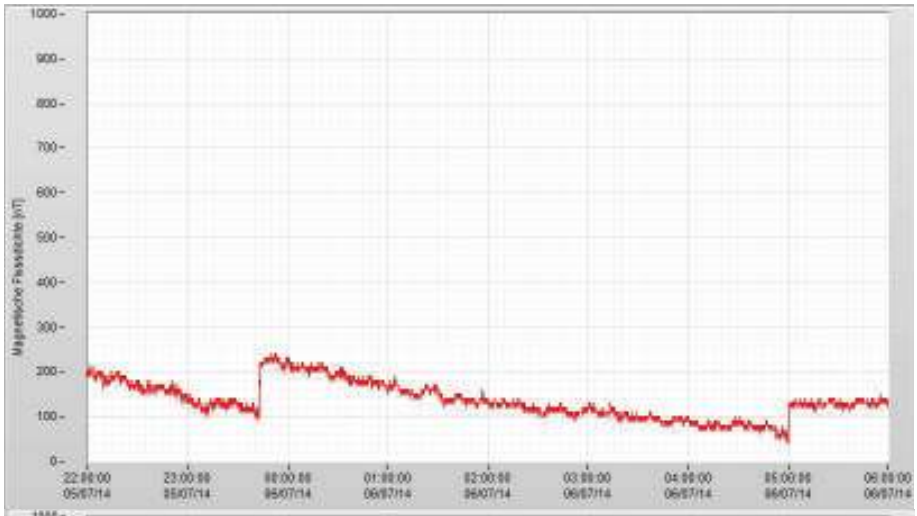

MP 6 bis MP 11 am 05.07.14 von 17:15 bis 20:00 Uhr
Von westlich der Trasse bis zur Trassenmitte



Der zeitliche Verlauf an **Messpunkt 6 in der Trassenmitte** während 7 Tagen vom 5. bis 12. Juli 2014 zeigt deutlich, dass während dieser Messdauer nachts mit etwa 50 nT die niedrigsten Werte waren, während tagsüber bis zu 750 nT (am Sonntag Abend) aufgetreten sind.
Zeitraum: 05.07. um 22 Uhr bis 12.07.14 um 20 Uhr.

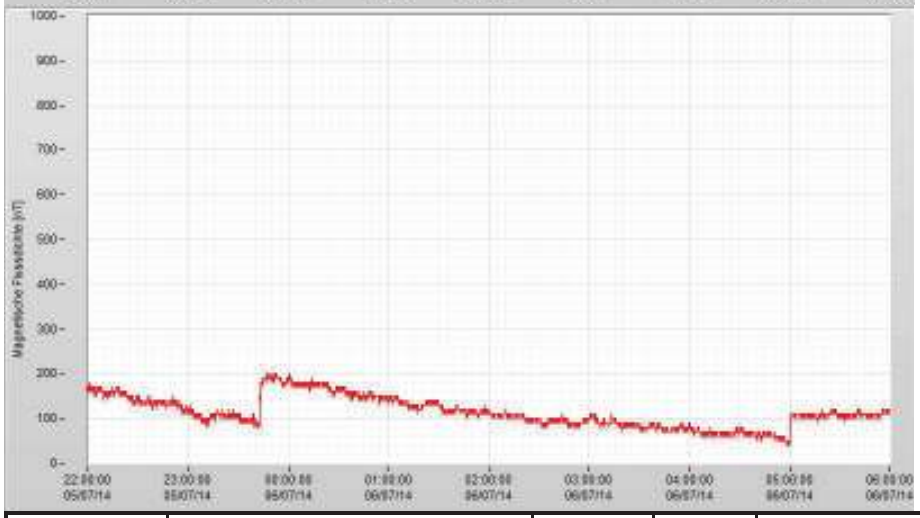


### 4.3.2. Messungen in Wohnungen



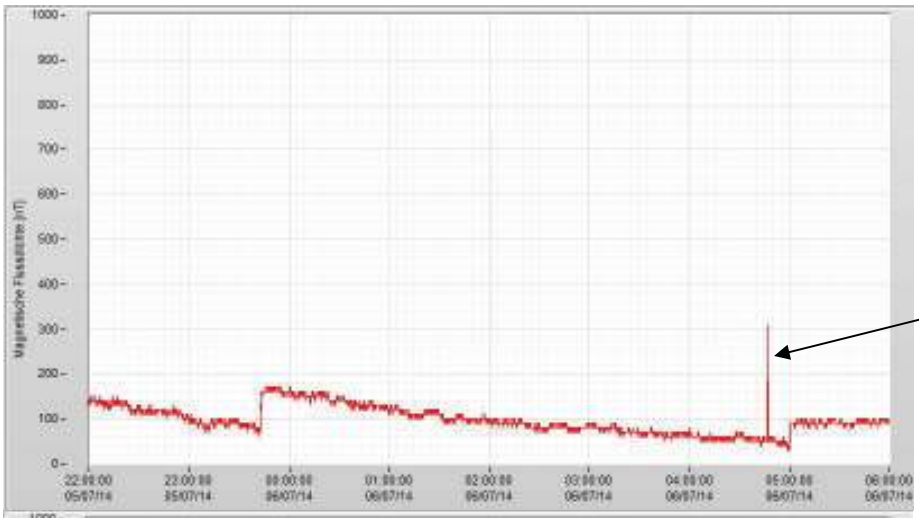
Messpunkt 1

Messpunkt 2



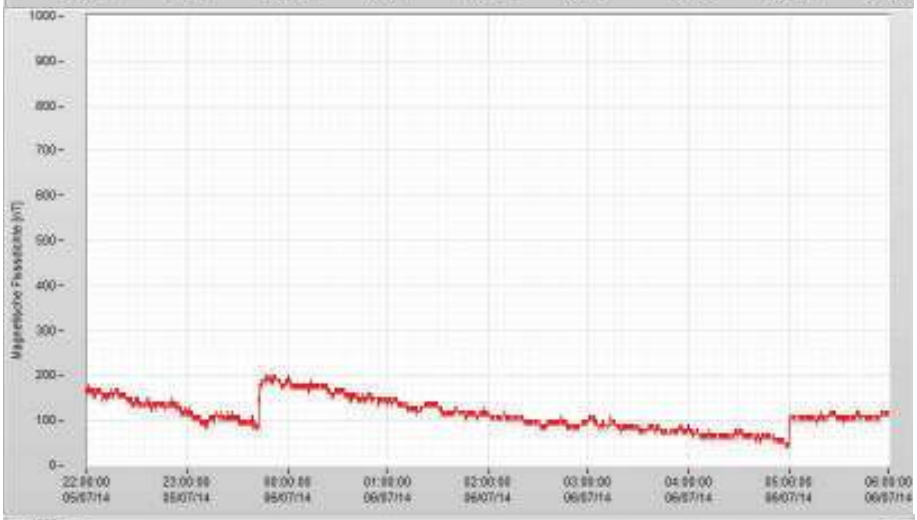
Messpunkt 3

| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 05.07.2014 | Föhrengasse 7 | 9,00 | EG | Kinderzimmer | 1 |
| 05.07.2014 | Föhrengasse 7 | 5,26 | EG | Küche | 2 |
| 05.07.2014 | Föhrengasse 6 | 7,38 | EG | Schlafzimmer | 3 |

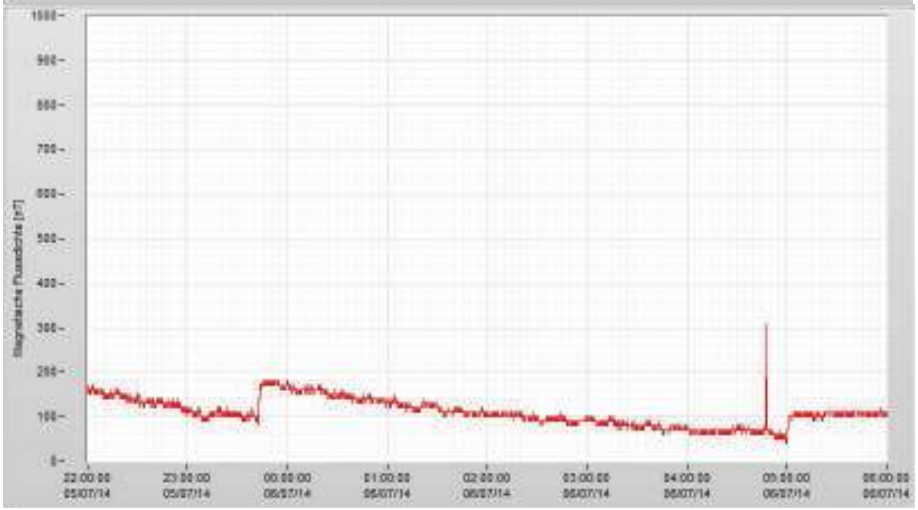


Messpunkt 4

Schaltvorgang beim Energieversorger

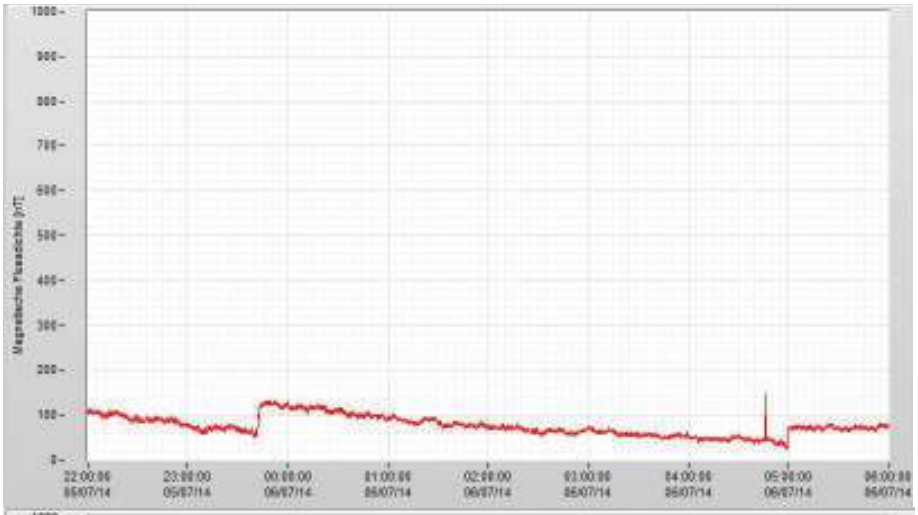


Messpunkt 5

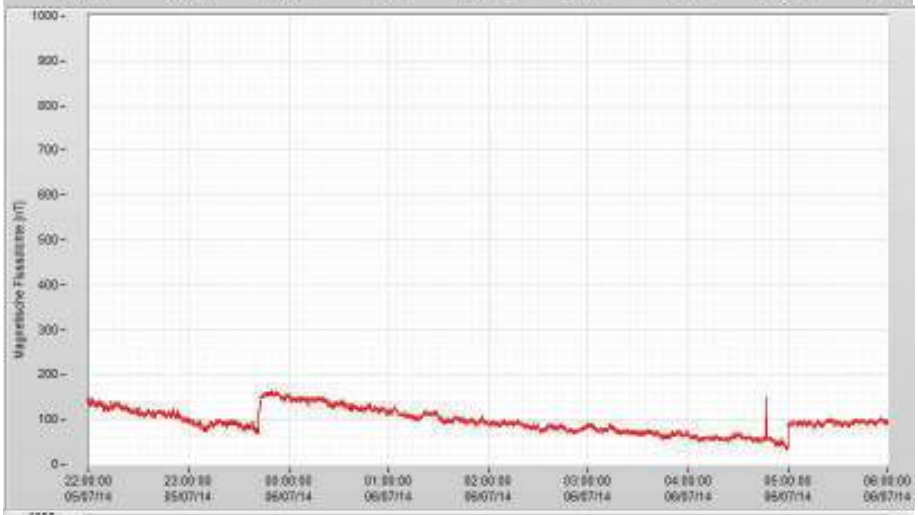


Messpunkt 6

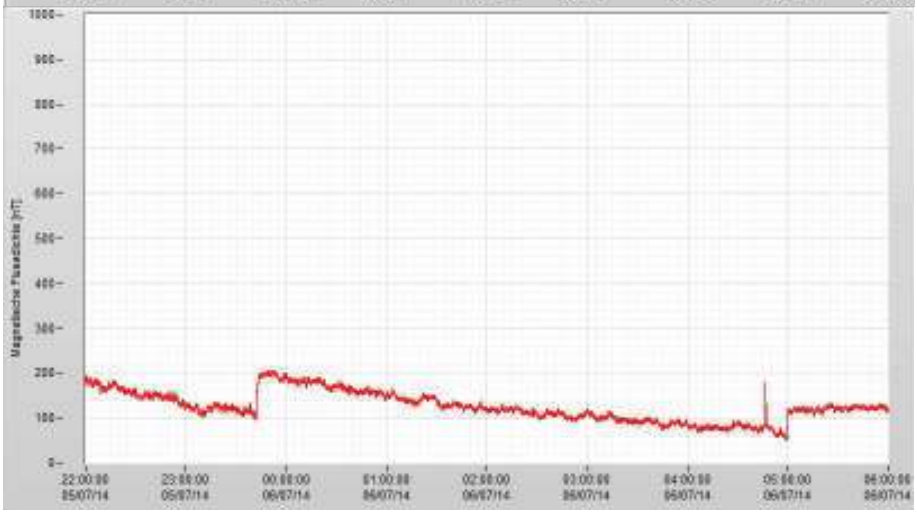
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 05.07.2014 | Föhrengasse 6 | 10,70 | EG | Kinderzimmer | 4 |
| 05.07.2014 | Föhrengasse 4 | 15,80 | EG | Wohnzimmer | 5 |
| 05.07.2014 | Föhrengasse 4 | 14,10 | OG | Kinderzimmer Maxi | 6 |



Messpunkt 7



Messpunkt 8

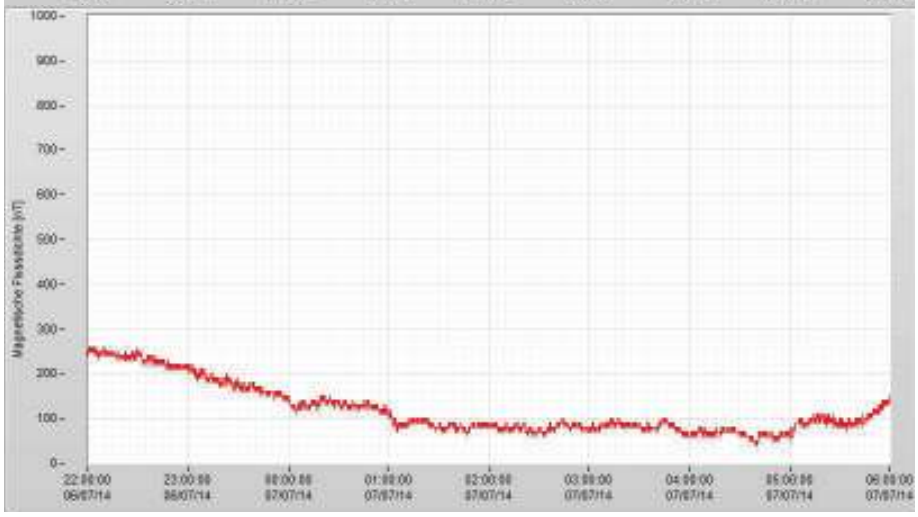


Messpunkt 9

| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 05.07.2014 | Fichtengasse 4 | 17,00 | EG | Wintergarten | 7 |
| 05.07.2014 | Fichtengasse 5 | 11,80 | EG | Wohnzimmer | 8 |
| 05.07.2014 | Föhrengasse 5 | 11,30 | EG | Arbeitszimmer | 9 |

Messpunkt 10

Messpunkt 11



Messpunkt 12

| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 06.07.2014 | Eschergasse 7 | 11,50 | OG | Kinderzimmer 1 | 10 |
| 06.07.2014 | Eschergasse 7 | 14,00 | OG | Kinderzimmer 2 | 11 |
| 06.07.2014 | Tannengasse 13 | 23,20 | OG | Kinderzimmer | 12 |

Messpunkt 13

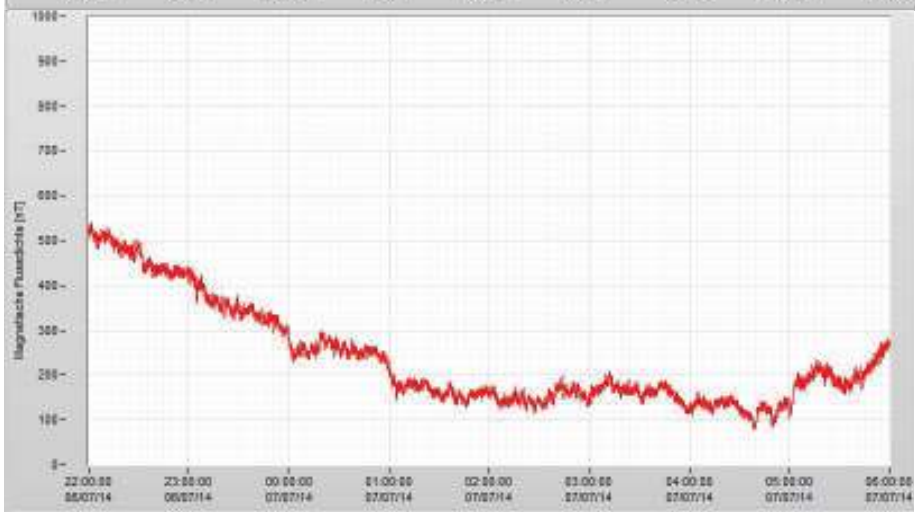
Messpunkt 14

Messpunkt 15

| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 06.07.2014 | Heinrich Heinegasse 13 | 12,60 | EG | Schlafzimmer | 13 |
| 06.07.2014 | Heinrich Heinegasse 13 | 9,70 | EG | Wohnzimmer | 14 |
| 06.07.2014 | Heinrich Heinegasse 11 | 10,50 | EG | Wohnzimmer | 15 |

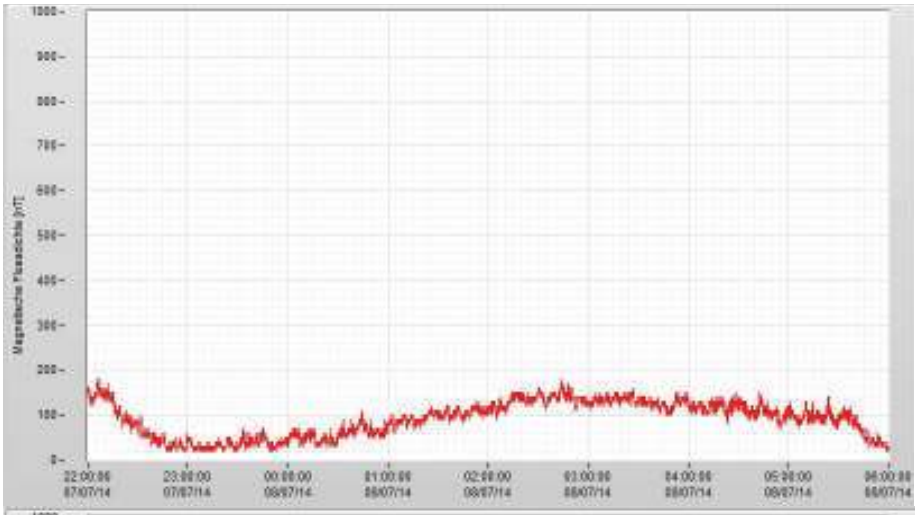
Messpunkt 16

Messpunkt 17

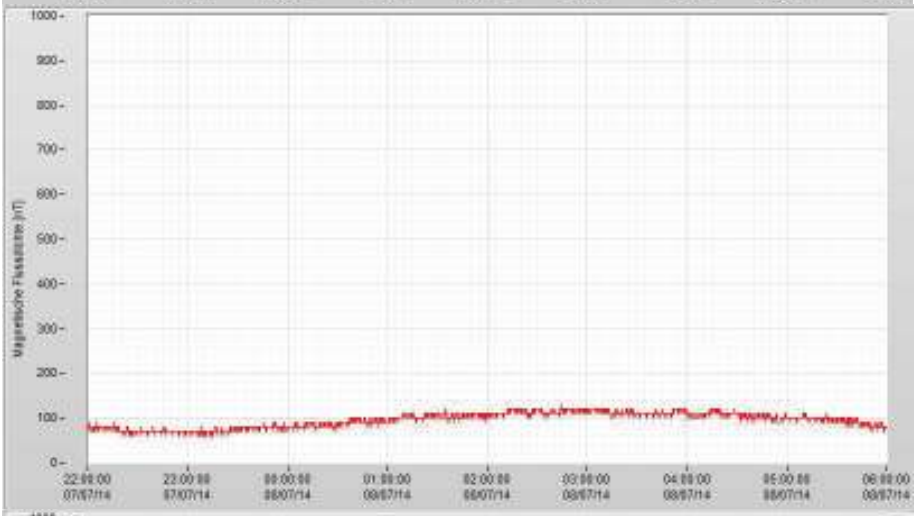


Messpunkt 18

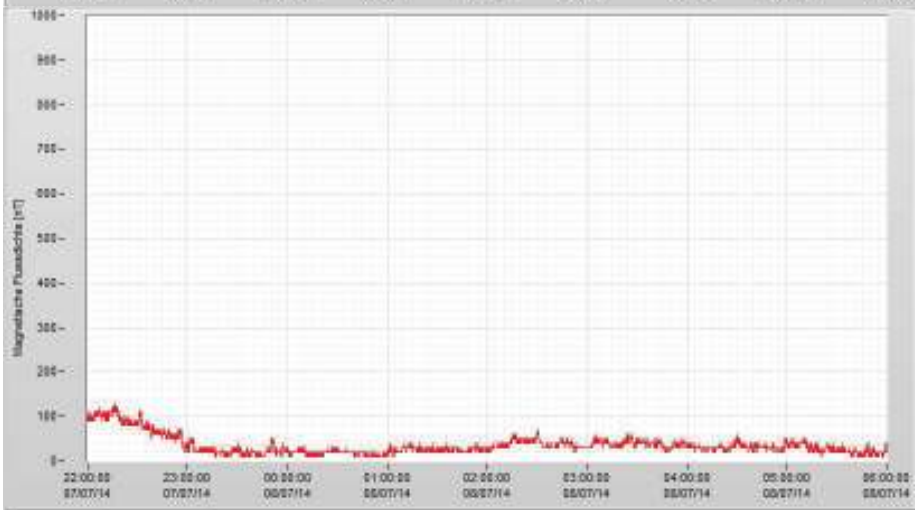
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 06.07.2014 | Heinrich Heinegasse 11 | 10,50 | OG | Schlafzimmer | 16 |
| 06.07.2014 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | 16,44 | OG | Schlafzimmer | 17 |
| 06.07.2014 | Ing. Leopold Figl Gasse 7 | 18,10 | OG | Kinderzimmer | 18 |



Messpunkt 19

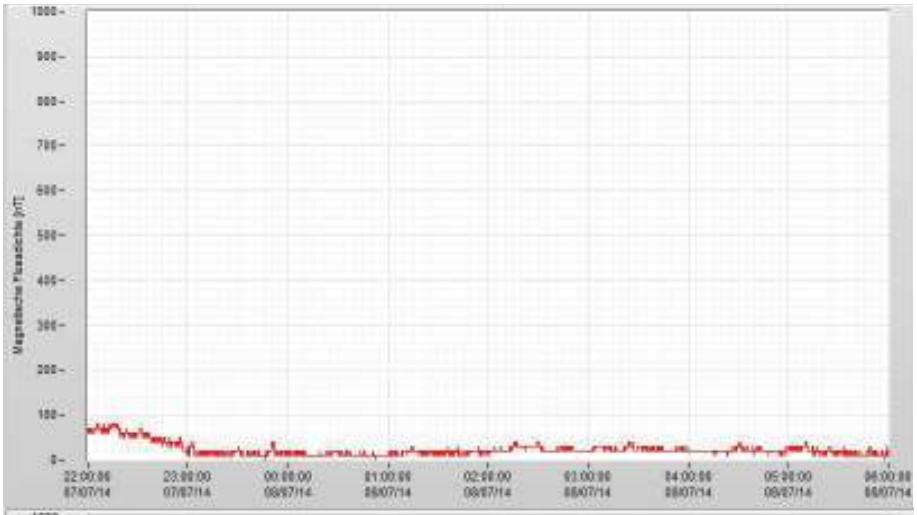


Messpunkt 20

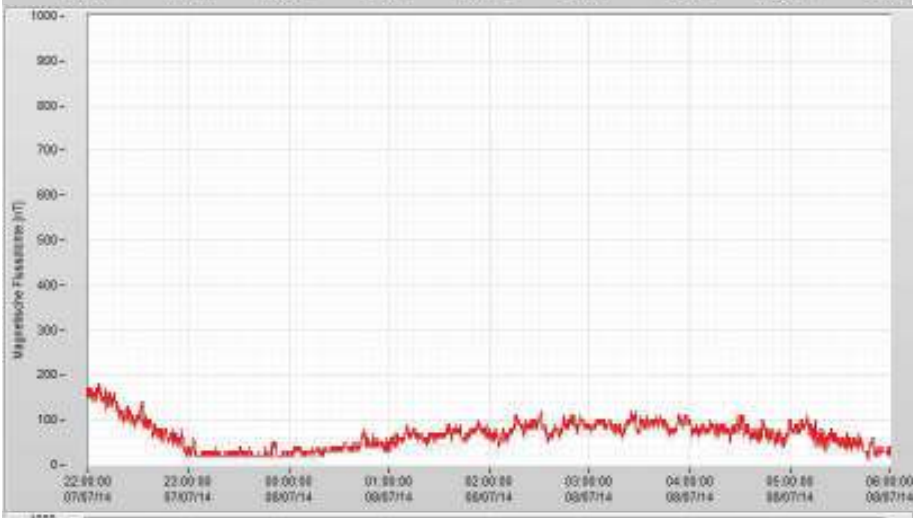


Messpunkt 21

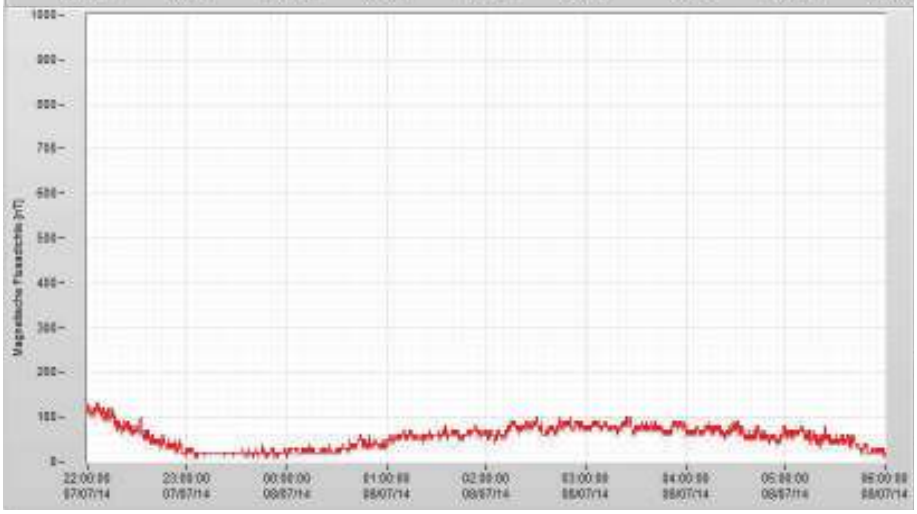
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 07.07.2014 | Dr. Bruno Kreisky Str. 38 | 2,11 | OG | Schlafzimmer | 19 |
| 07.07.2014 | Ing. Leopold Figl Gasse 5 | 19,20 | EG | Wohnzimmer | 20 |
| 07.07.2014 | Weidengasse 10 | 17,60 | EG | Wohnzimmer | 21 |



Messpunkt 22

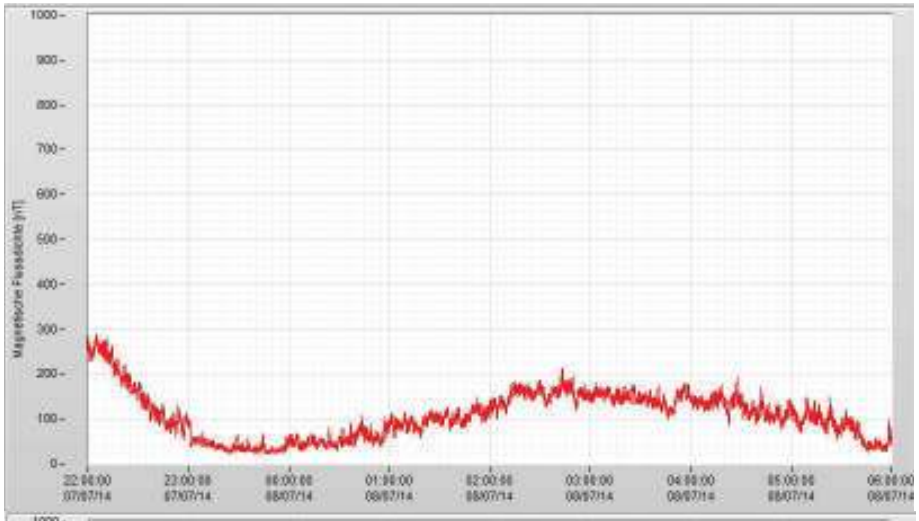


Messpunkt 23

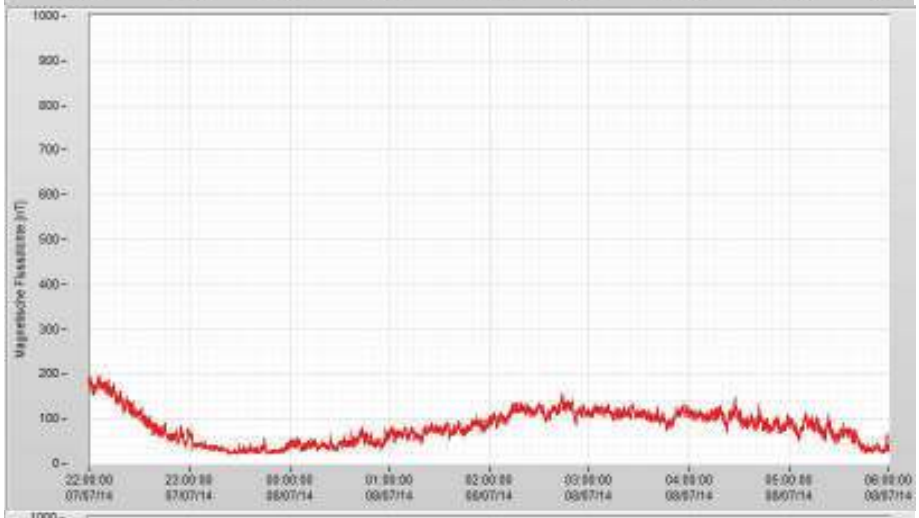


Messpunkt 24

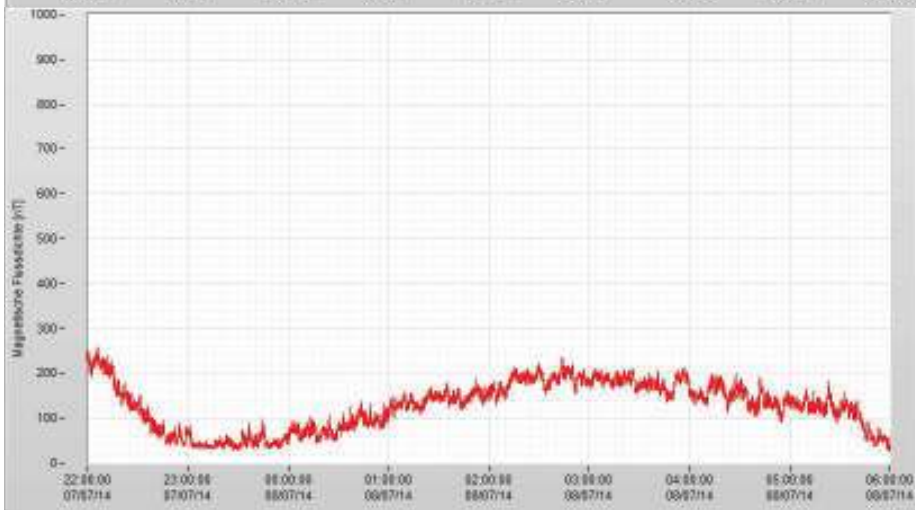
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 07.07.2014 | Weidengasse 10 | 22,50 | EG | Therapieraum | 22 |
| 07.07.2014 | Ulmengasse 8 | 17,37 | EG | Schlafzimmer | 23 |
| 07.07.2014 | Ulmengasse 8 | 18,70 | EG | Kinderzimmer | 24 |



Messpunkt 25

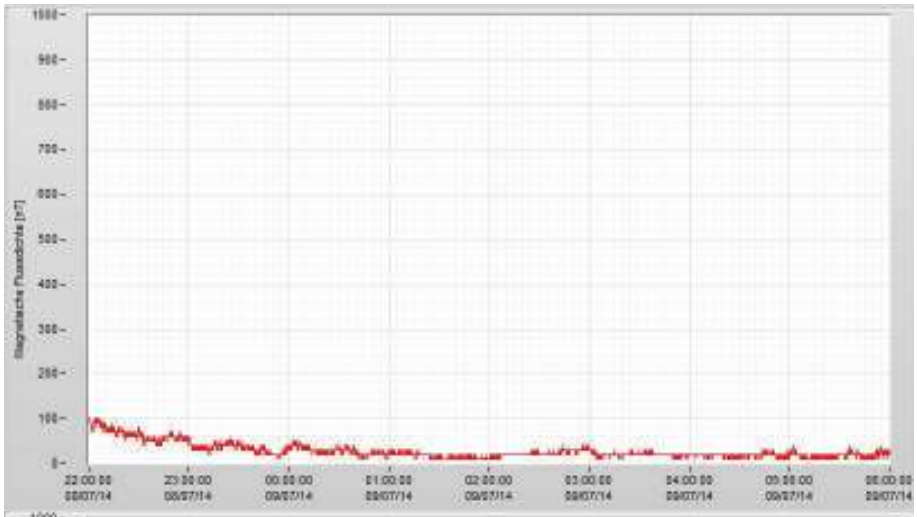


Messpunkt 26

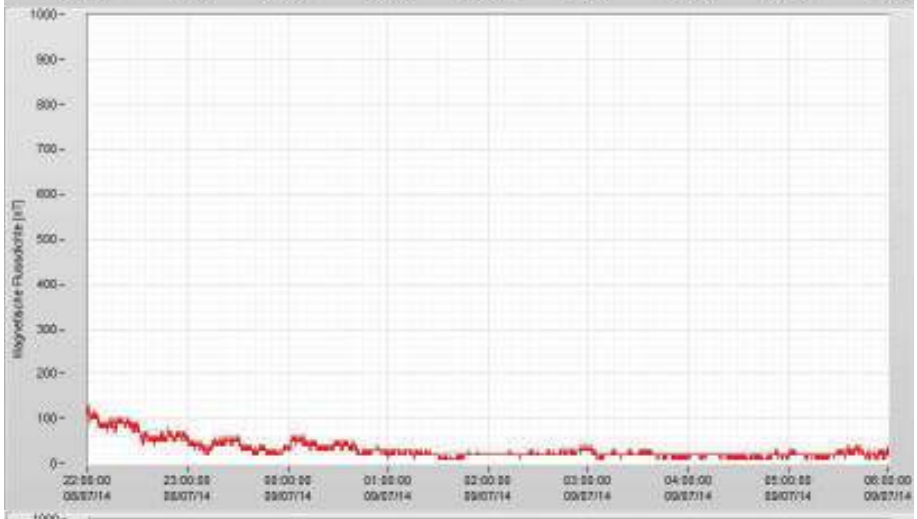


Messpunkt 27

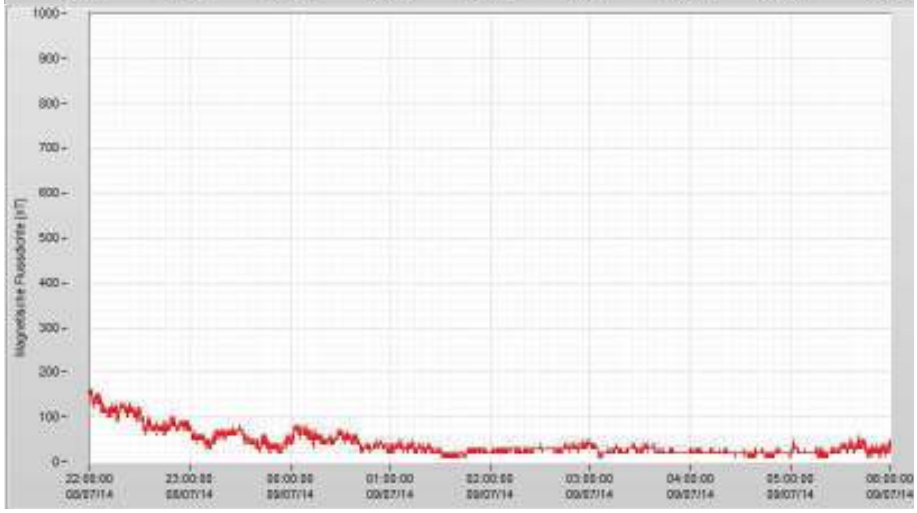
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 07.07.2014 | Franz Grubergasse 13 | 5,80 | OG | Büro | 25 |
| 07.07.2014 | Franz Grubergasse 13 | 5,80 | EG | Wohnzimmer | 26 |
| 07.07.2014 | Franz Grubergasse 15 | 11,40 | OG | Schlafzimmer | 27 |



Messpunkt 28

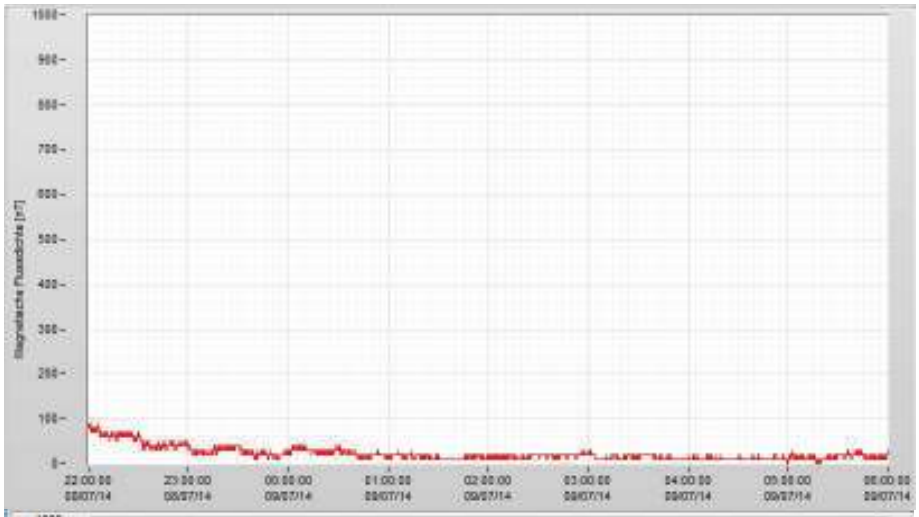


Messpunkt 29

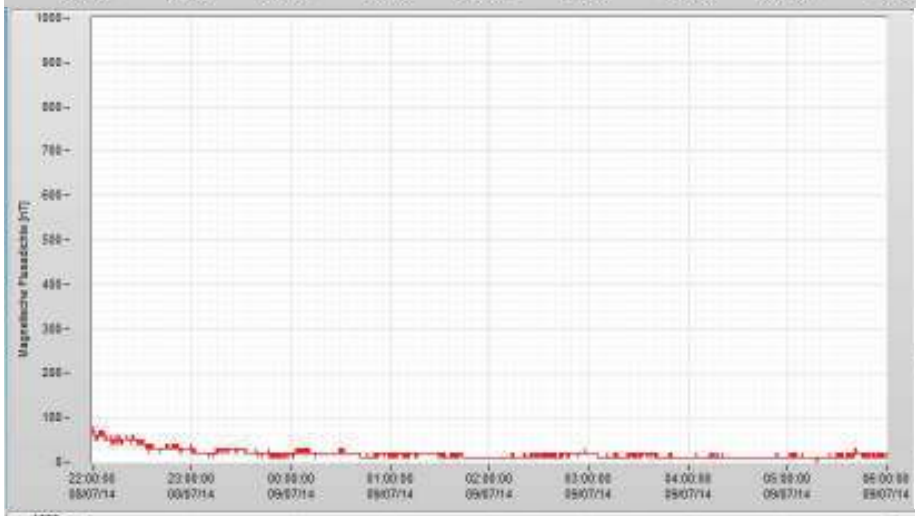


Messpunkt 30

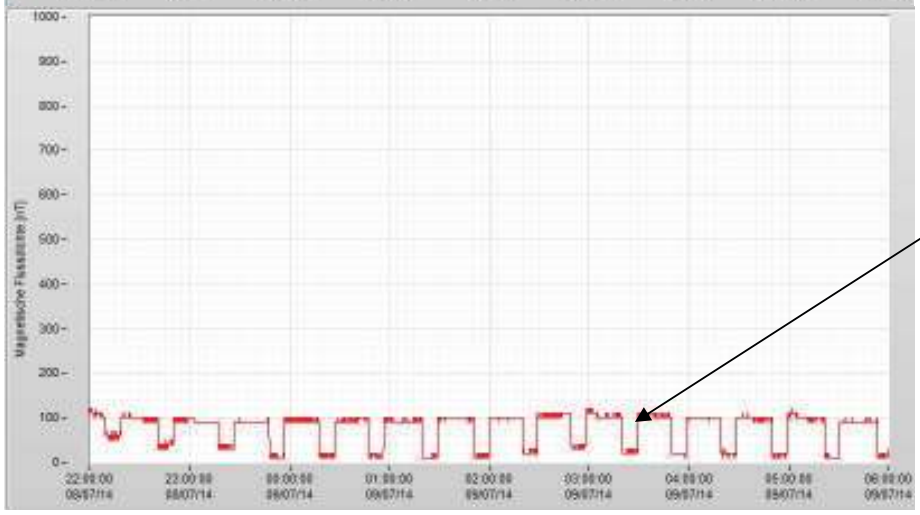
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 08.07.2014 | Franz Grubergasse 11 | 15,10 | OG | Schlafzimmer | 28 |
| 08.07.2014 | Franz Grubergasse 6 | 12,80 | EG | Wohnzimmer | 29 |
| 08.07.2014 | Franz Grubergasse 6 | 12,80 | OG | Schlafzimmer | 30 |



Messpunkt 31



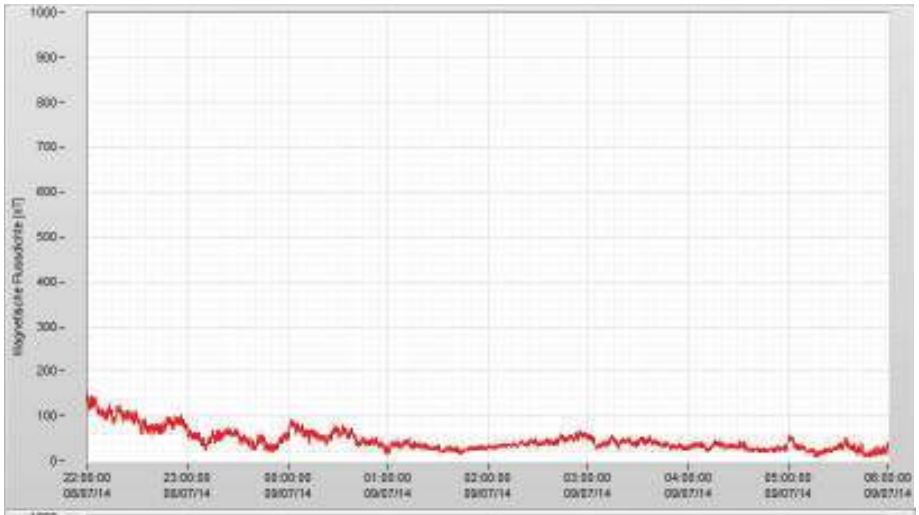
Messpunkt 32



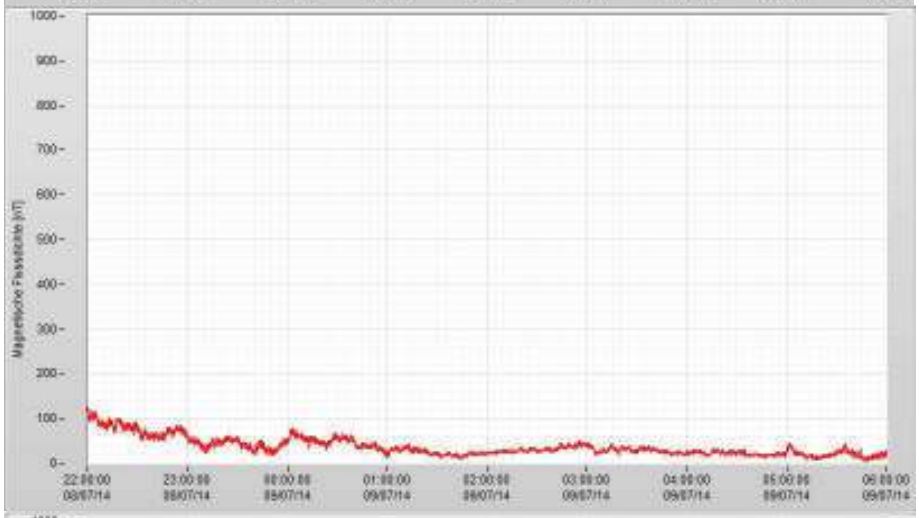
Messpunkt 33

Die schwankenden Werte decken sich nicht mit den Werten der Hochspannungsleitung und werden vermutlich hausintern verursacht.

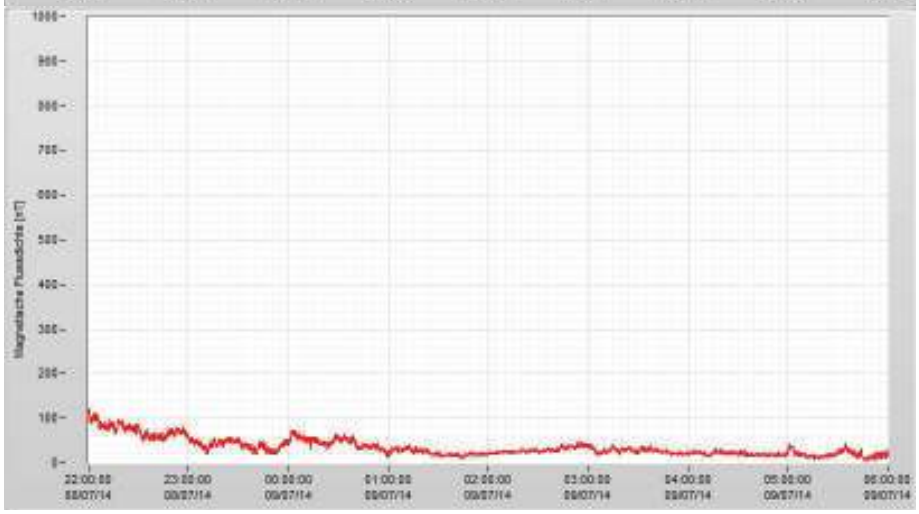
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 08.07.2014 | Franz Grubergasse 6 | 20,70 | OG | Kinderzimmer | 31 |
| 08.07.2014 | Robert Stolzgasse 5 | 19,00 | EG | Schlafzimmer | 32 |
| 08.07.2014 | Robert Stolzgasse 5 | 11,60 | EG | Wohnzimmer | 33 |



Messpunkt 34

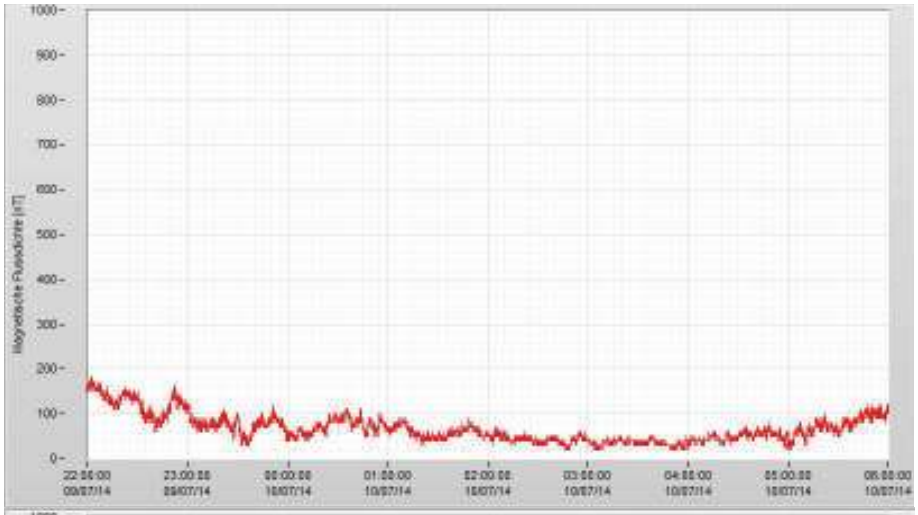


Messpunkt 35

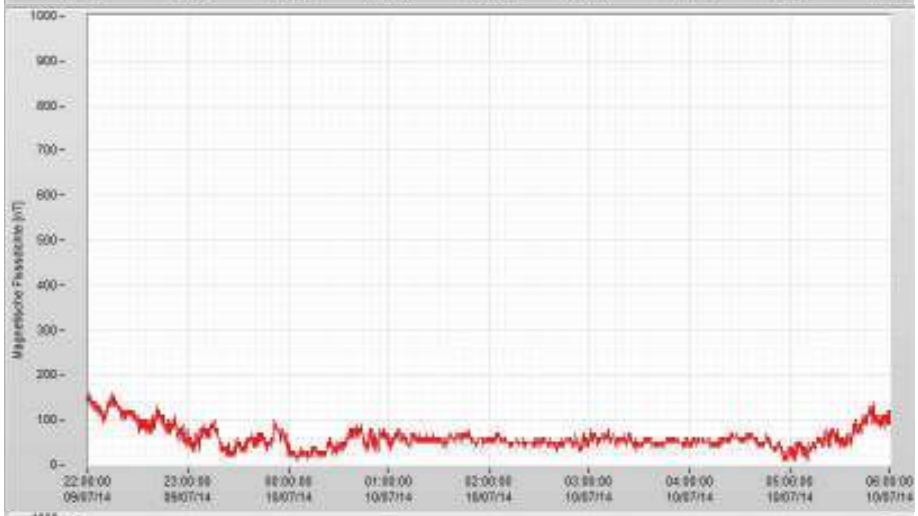


Messpunkt 36

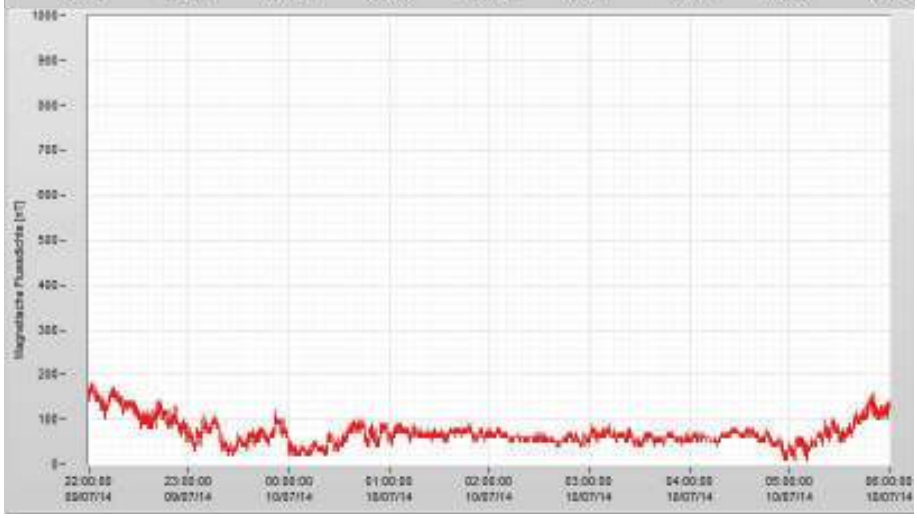
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 08.07.2014 | Robert Stolzgasse 7 | 12,30 | OG | Schlafzimmer | 34 |
| 08.07.2014 | Robert Stolzgasse 7 | 14,50 | OG | Kinderzimmer | 35 |
| 08.07.2014 | Robert Stolzgasse 7 | 12,30 | EG | Wohnzimmer | 36 |



Messpunkt 37

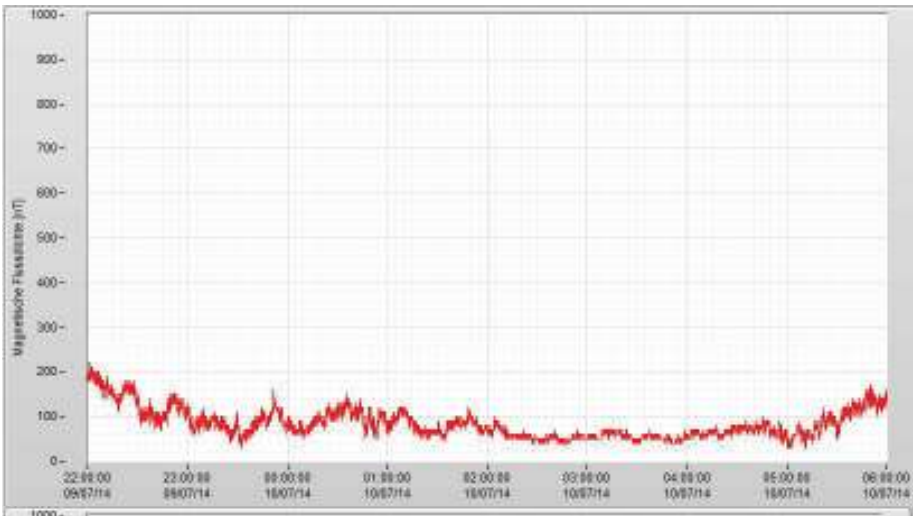


Messpunkt 38

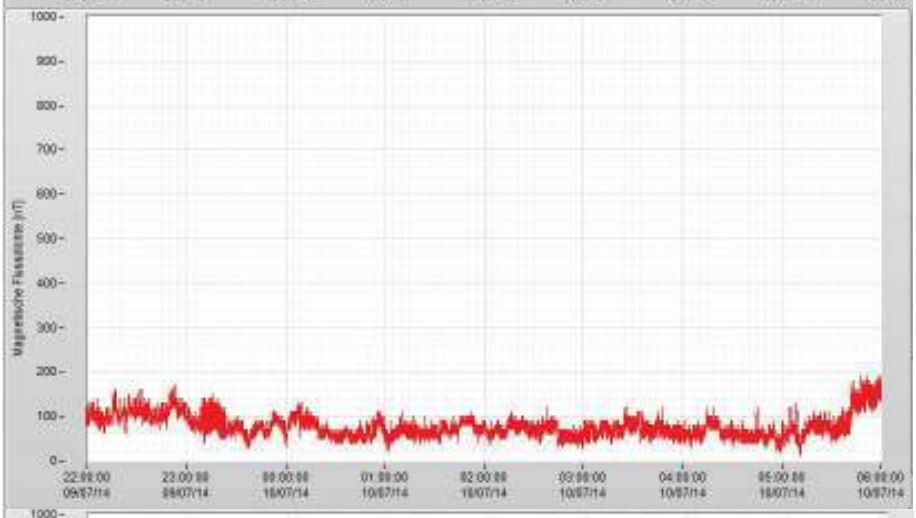


Messpunkt 39

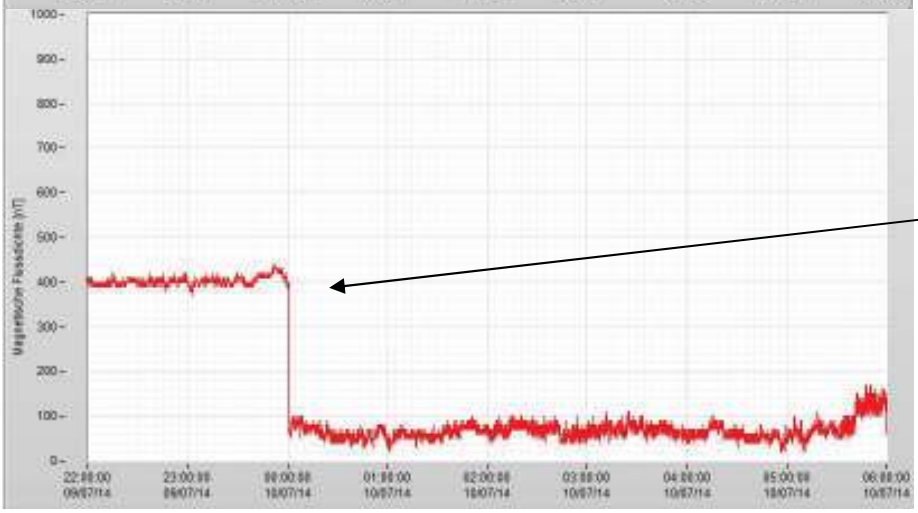
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 09.07.2014 | Franz Lehargasse 1 | 13,40 | EG | Wohnzimmer | 37 |
| 09.07.2014 | Emmerich Kallmangasse 4 | 15,40 | EG | Wohnzimmer | 38 |
| 09.07.2014 | Emmerich Kallmangasse 4 | 13,50 | EG | Schlafzimmer | 39 |



Messpunkt 40



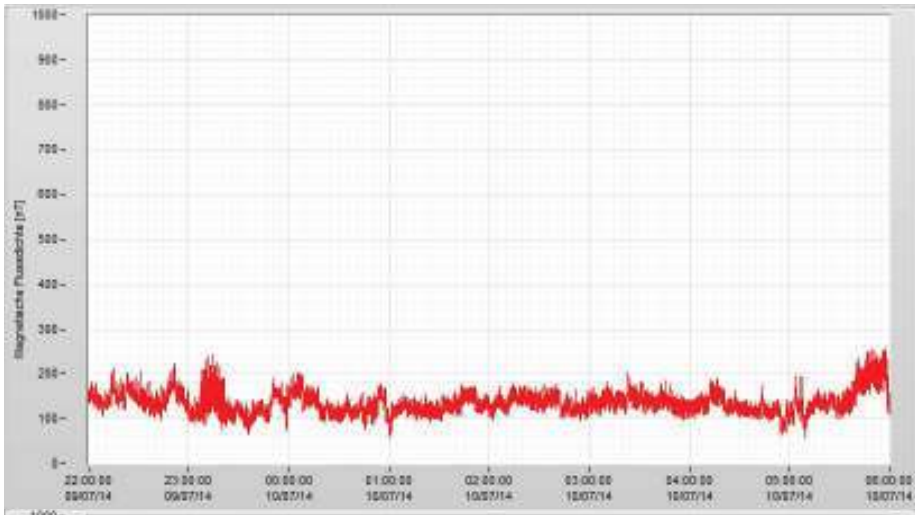
Messpunkt 41



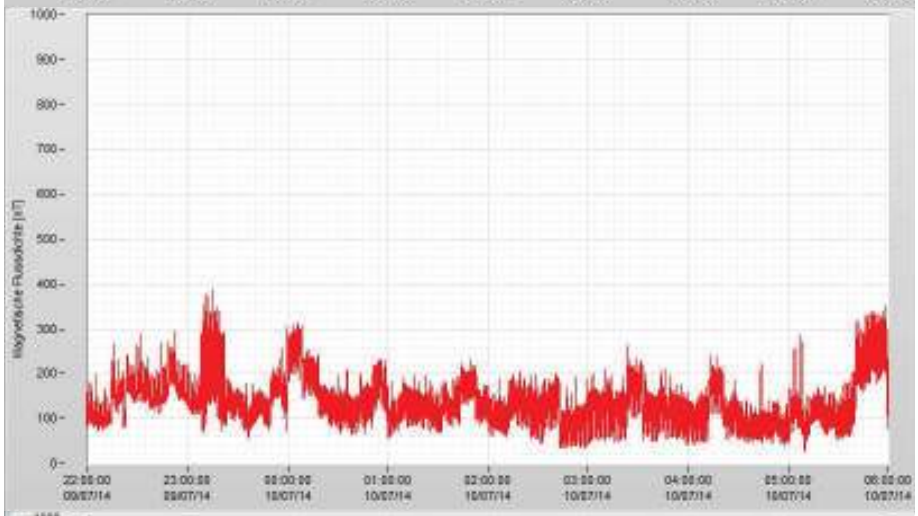
Messpunkt 42

Das hohe Feld bis Mitternacht deckt sich nicht mit den Werten der Hochspannungsleitung und ist vermutlich hausintern verursacht.

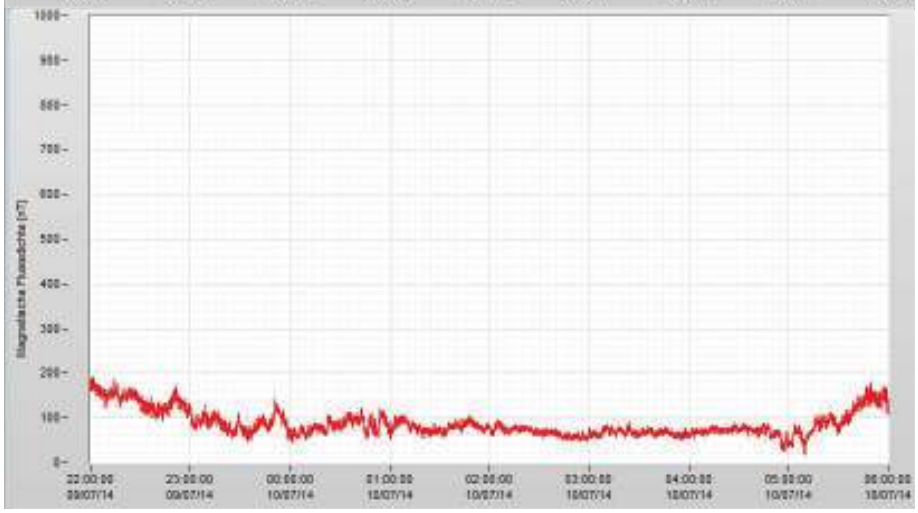
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 09.07.2014 | Emmerich Kallmangasse 5 | 7,80 | EG | Wohnzimmer | 40 |
| 09.07.2014 | Karl Zellergasse 9 | 13,50 | EG | Wohnzimmer | 41 |
| 09.07.2014 | Karl Zellergasse 9 | 11,80 | OG | Erholungsraum | 42 |



Messpunkt 43

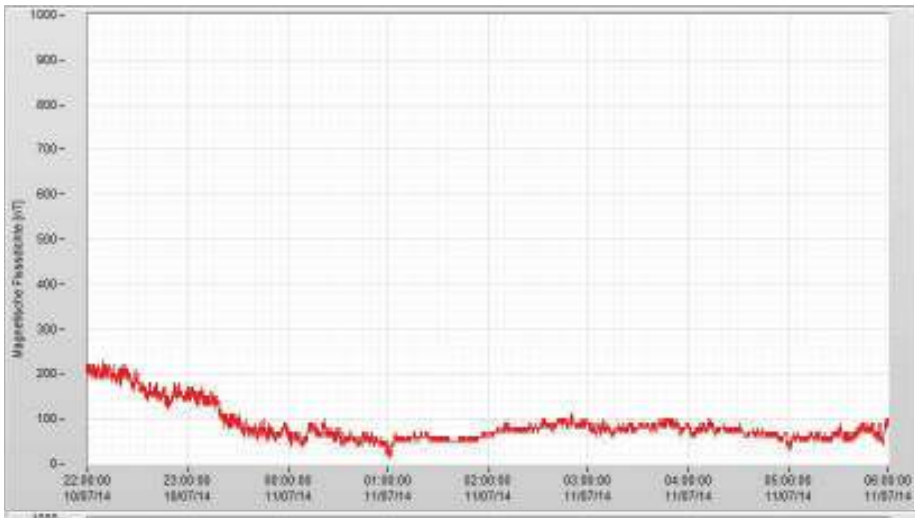


Messpunkt 44

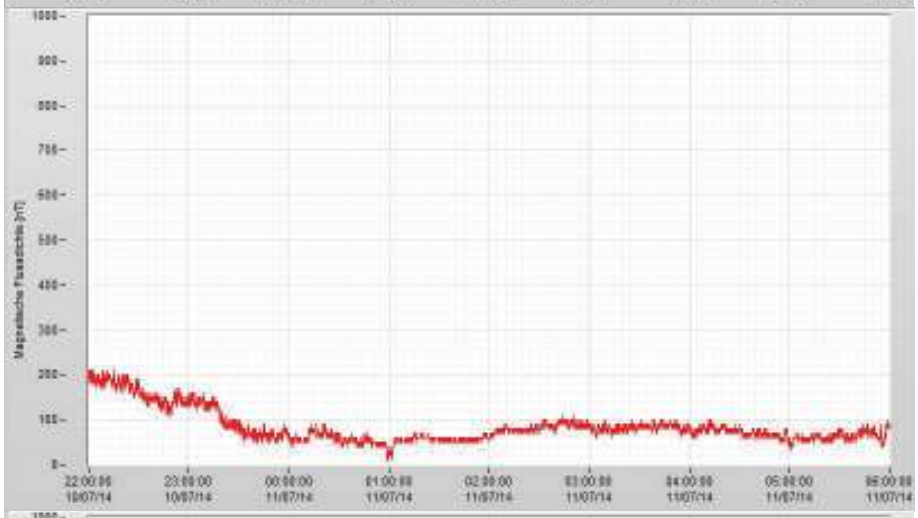


Messpunkt 45

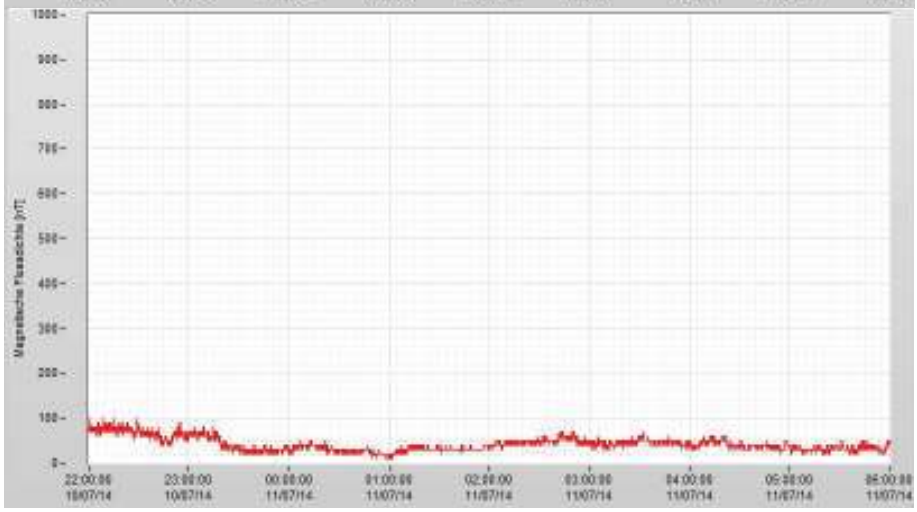
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 09.07.2014 | Karl Zellergasse 9 | 11,80 | OG | Schlafzimmer | 43 |
| 09.07.2014 | Karl Zellergasse 9 | 11,30 | UG | Kino | 44 |
| 09.07.2014 | Hammererstrasse 20/2 | 6,90 | OG | Schlafzimmer | 45 |



Messpunkt 46

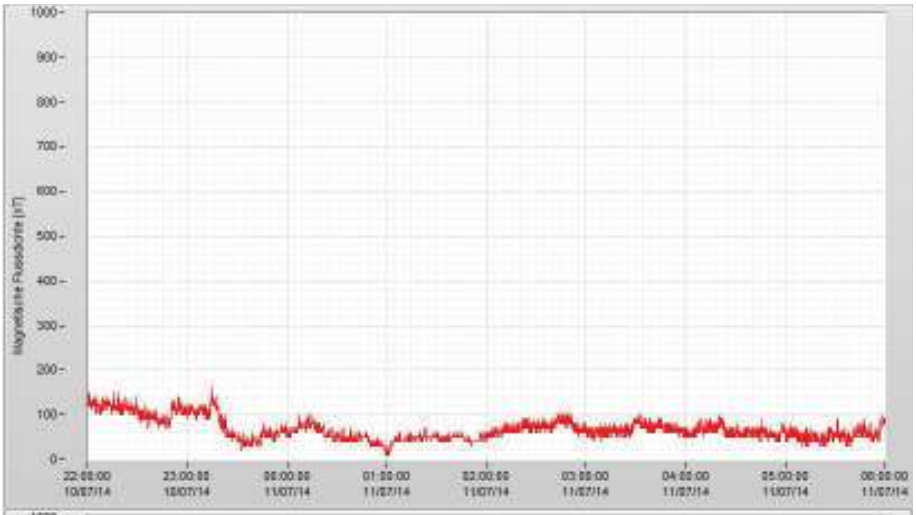


Messpunkt 47

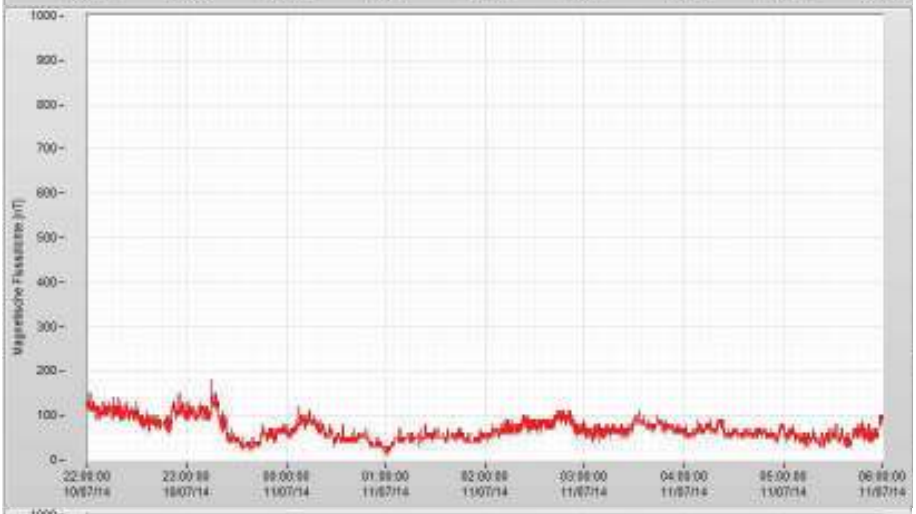


Messpunkt 48

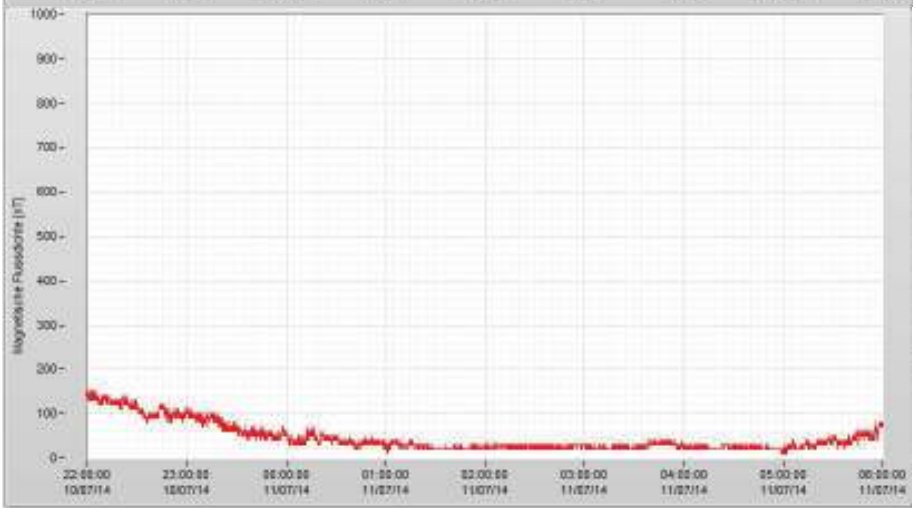
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 20/1 | 6,40 | OG | Kinderzimmer | 46 |
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 20/1 | 6,10 | OG | Schlafzimmer | 47 |
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 18/2 | 21,20 | OG | Kinderzimmer | 48 |




Messpunkt 49

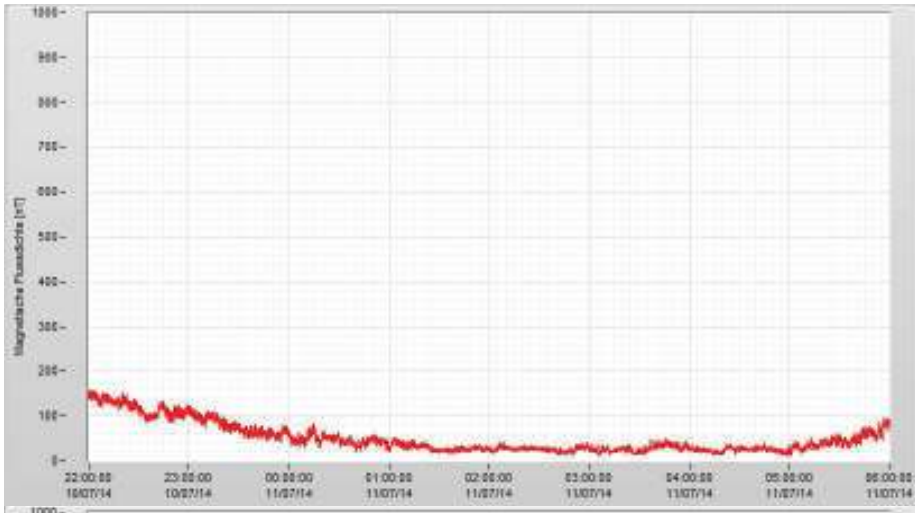



Messpunkt 50

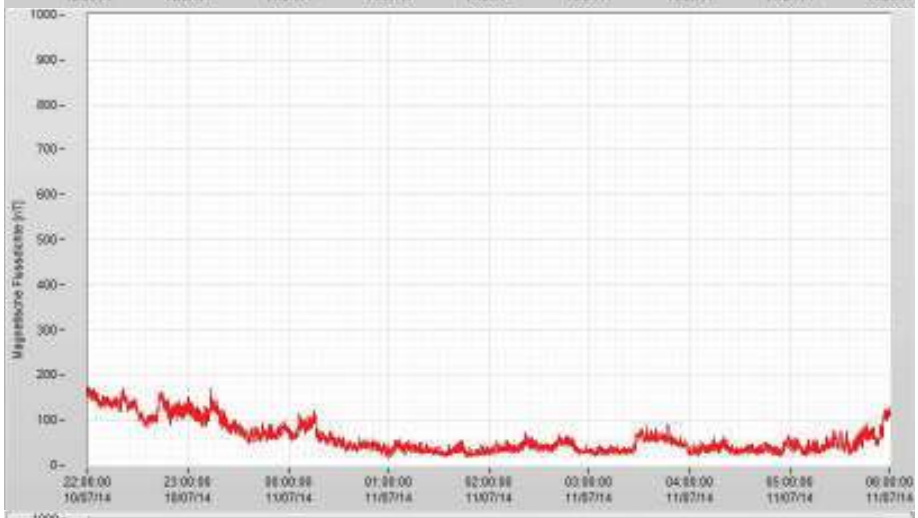



Messpunkt 51

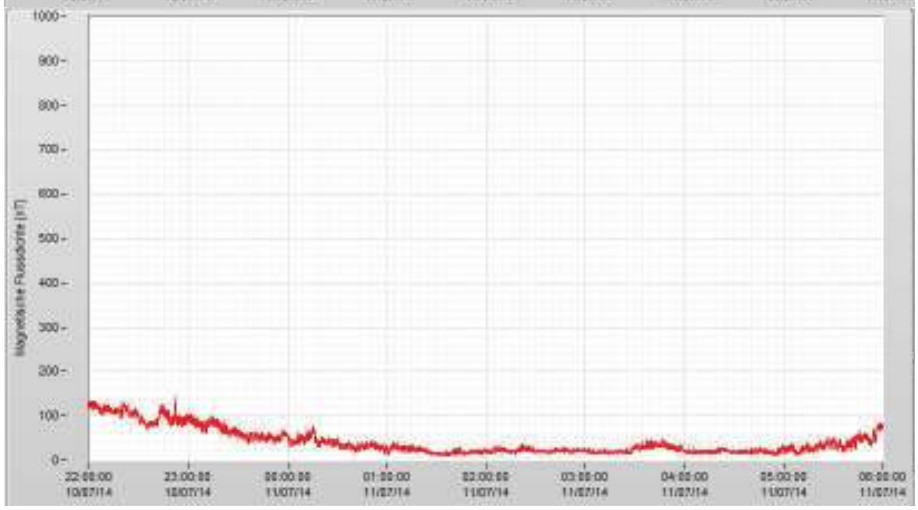
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 22 | 8,40 | EG | Krankenzimmer | 49 |
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 22 | 9,00 | EG | Schlafzimmer | 50 |
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 26 | 10,20 | EG | Schlafzimmer | 51 |



Messpunkt 52

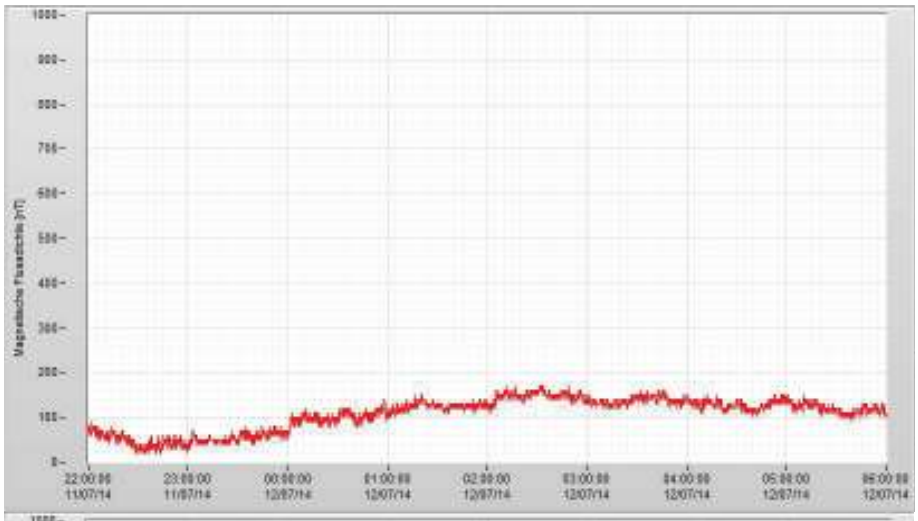


Messpunkt 53

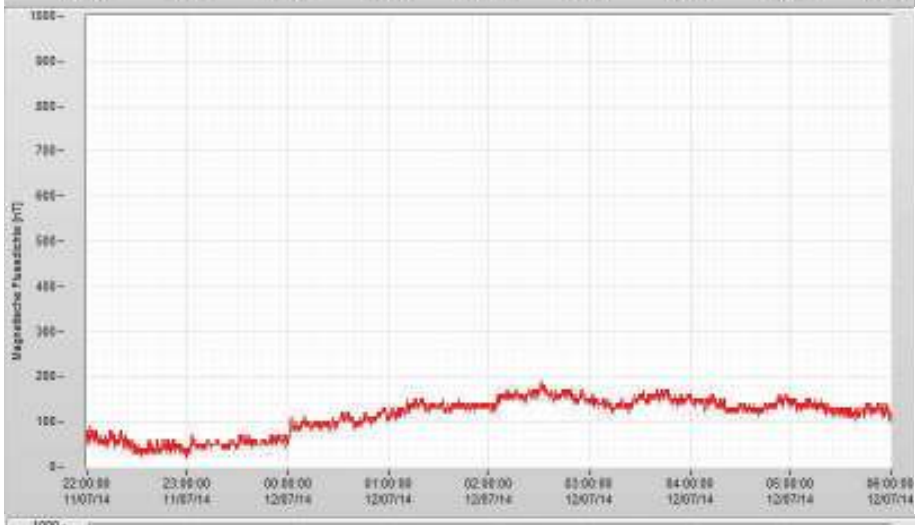


Messpunkt 54

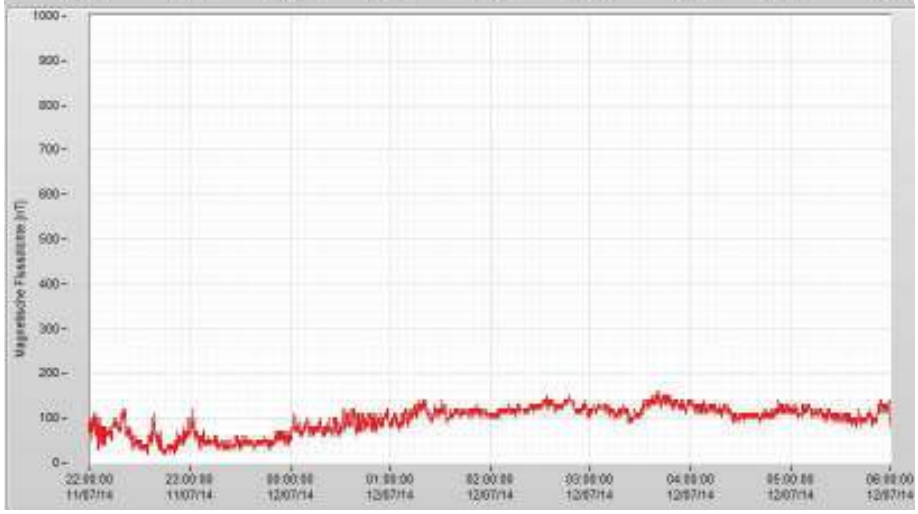
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 26 | 12,30 | EG | Wohnzimmer | 52 |
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 24 | 10,50 | EG | Arbeitsraum | 53 |
| 10.07.2014 | Hammererstrasse 24 | 12,90 | EG | Schlafzimmer | 54 |



Messpunkt 55

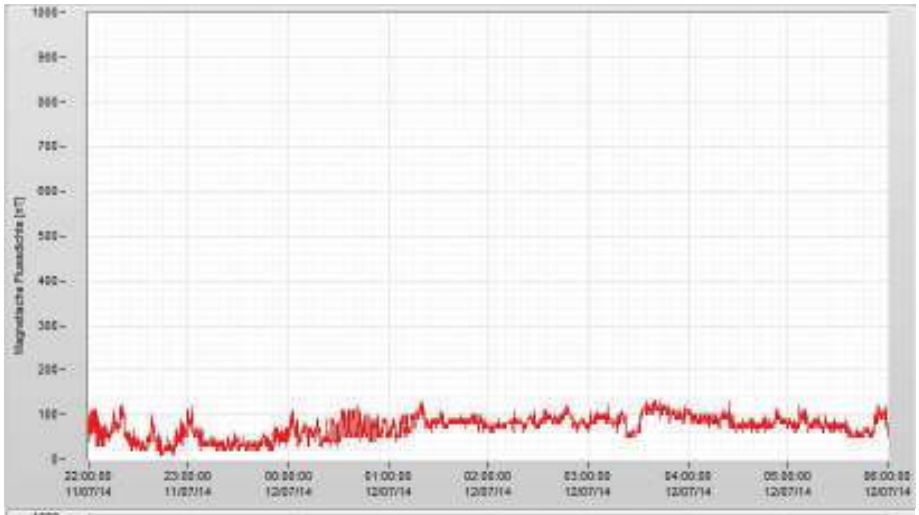


Messpunkt 56

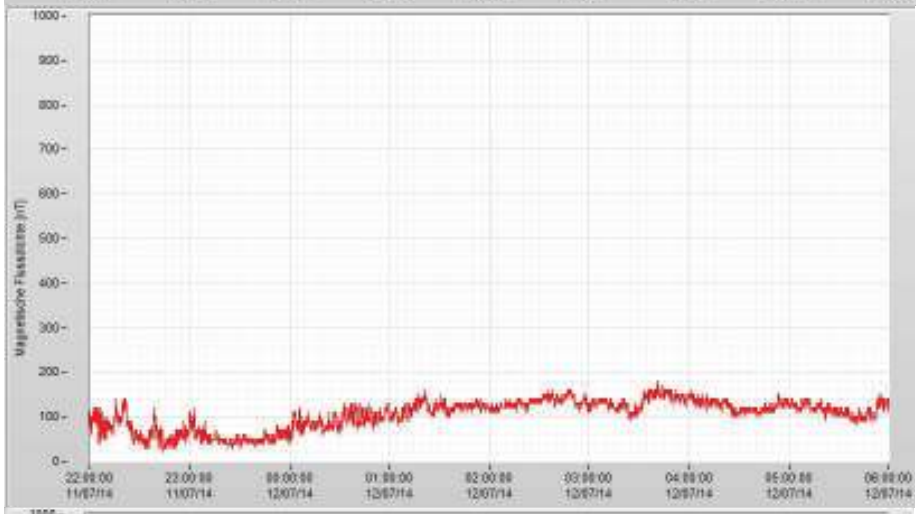


Messpunkt 57

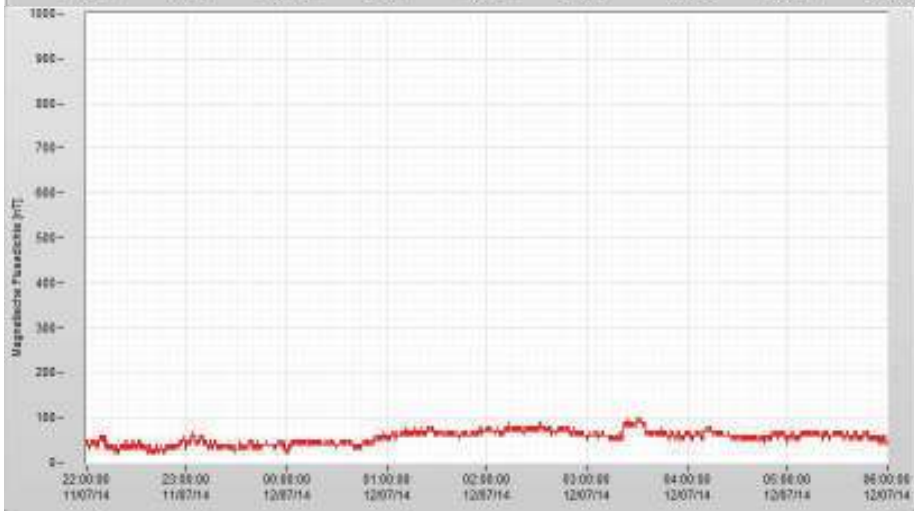
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 11.07.2014 | Hammererstrasse 20/2 | 7,10 | EG | Wohnzimmer | 55 |
| 11.07.2014 | Hammererstrasse 20/2 | 6,20 | OG | Kinderzimmer | 56 |
| 11.07.2014 | Gainfarnerstrasse 26 | 13,11 | EG | Wohnzimmer | 57 |



Messpunkt 58

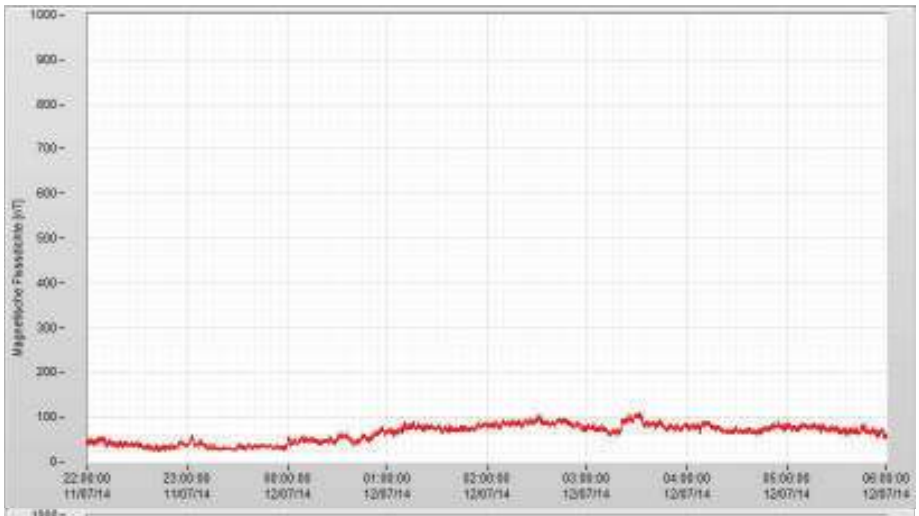


Messpunkt 59

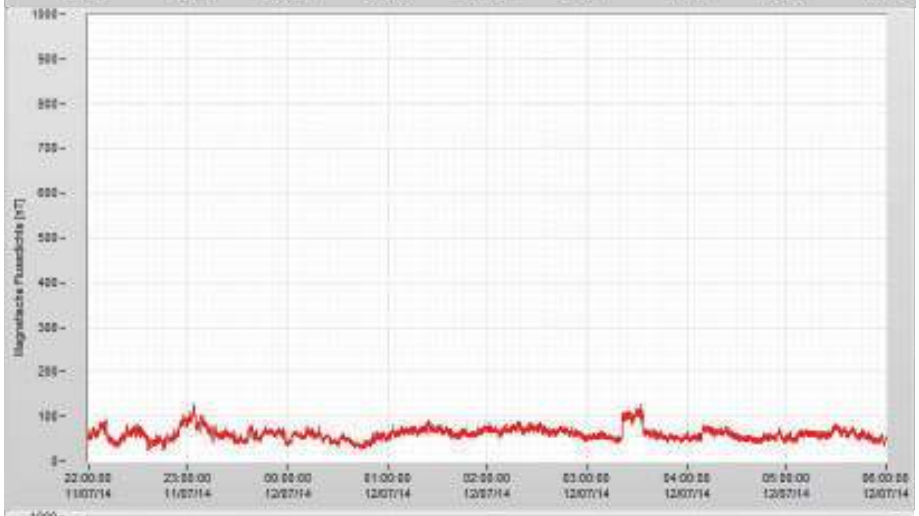


Messpunkt 60

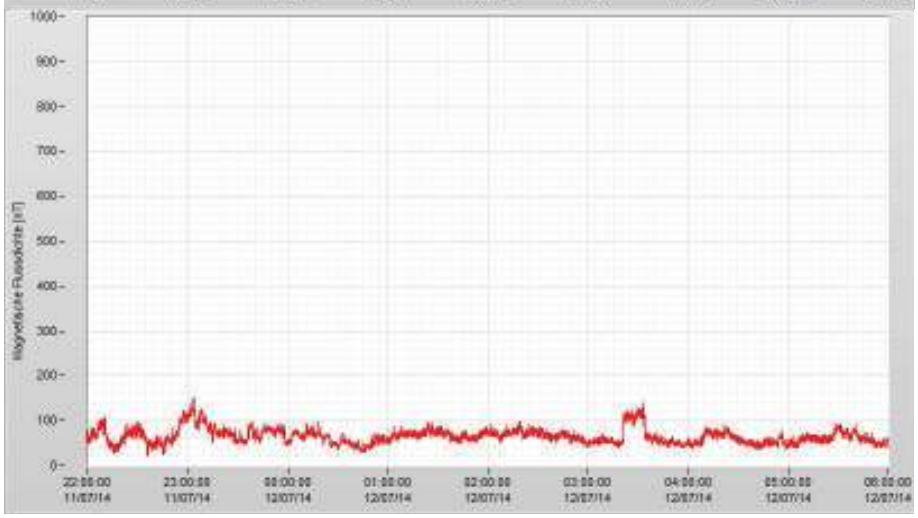
| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 11.07.2014 | Gainfarnerstrasse 26 | 15,30 | EG | Schlafzimmer | 58 |
| 11.07.2014 | Gainfarnerstrasse 26 | 11,00 | EG | Wohnküche | 59 |
| 11.07.2014 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 22,50 | EG | Wohnzimmer | 60 |



Messpunkt 61



Messpunkt 62



Messpunkt 63

| Datum | Anschrift | Abstand | Etage | Raum | Messpunkt |
|---|---|---|---|---|---|
| 11.07.2014 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 22,50 | OG | Schlafzimmer | 61 |
| 11.07.2014 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 20,00 | EG | Wohnküche | 62 |
| 11.07.2014 | Dr. Bruno Kreisky Str. 12 | 27,10 | EG | Kinderzimmer | 63 |

## 4.4. Fotodokumentation

### 4.4.1. Messpunkte für Profilmessung

Profilmessung unterhalb der Hochspannungsleitung, quer zur Leitungstrasse

MP 1 bis 3

MP 3 bis 6

MP 7 bis 9

MP 10 bis 11

### 4.4.2. Messpunkte in Wohnungen

MP 1

MP 2

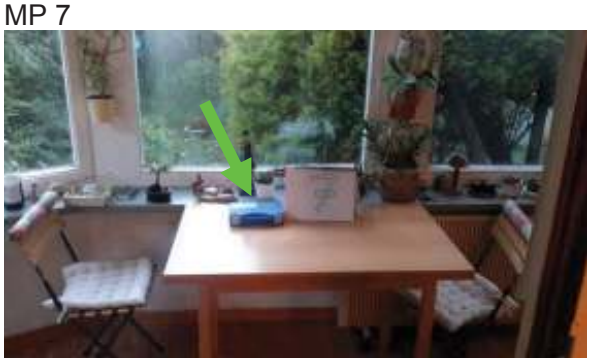
MP 3

MP 4

MP 5

MP 6

MP 7



MP 8

MP 9

MP 10

MP 11

MP 12

MP 13

MP 14

MP 15

MP 16

MP 17

MP 18

MP 19

MP 20

MP 21

MP 22

MP 23

MP 24

MP 25

MP 26

MP 27

MP 28

MP 29

MP 30

MP 31

MP 32

MP 33

MP 34

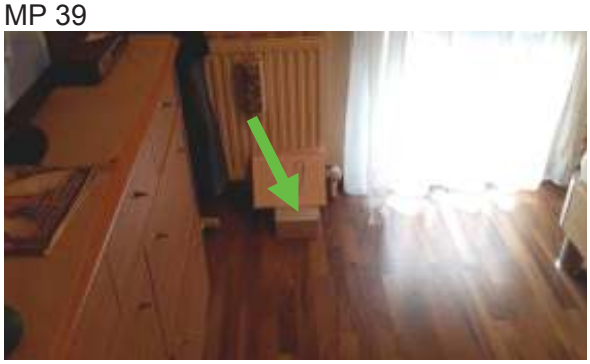
MP 35

MP 36

MP 37

MP 38

MP 39



MP 40

MP 41

MP 42

MP 43

MP 44

MP 45

MP 46

MP 47

MP 48

MP 49

MP 50

MP 51

MP 52

MP 53

MP 54

MP 55

MP 56

MP 57

MP 58

MP 59

MP 60

MP 61

MP 62

MP 63

### 4.4.3. Gebäude in Nähe der Leitungstrasse

Exemplarisch ausgewählte Gebäude unter und in nächster Nähe zur Stromtrasse

## 5. Simulation und Berechnungen durch cfw

Nachdem seitens der Wiener Netze GmbH die angefragten Daten für die Auslastung der Stromtrasse im Zeitpunkt der Messungen und Angaben über thermischen Grenzstrom bzw. n-1 Auslastung verweigert wurden, erteilte die Gemeinde Kottingbrunn den Auftrag, Simulationsrechnungen durch die Firma CFW EMV-Consulting AG in 9411 Reute AR, Schweiz durchführen zu lassen. Dieses Unternehmen hat sich auf Berechungen und Simulationen zum Thema magnetische Wechselfelder und Reduzierungsmaßnahmen spezialisiert. Das angewandte Berechnungsprogramm ist gemäß VDE 0848.

Die Berechnungen erfolgten unter Zugrundelegung der Daten aus dem Bewilligungsbescheid vom 1. Juli 1959 sowie Abmessungen der Gittermasten.

Die Daten wurden für zwei verschiedene Höhen über Boden berechnet:

- 15,25 m Leiterseil im Bereich des Gittermastes
- 10,00 m Leiterseil im Bereich der Profilmessung

Des Weiteren wurden drei verschiedene Szenarien untersucht:

- 100 % thermischer Grenzstrom, 500 A
- 60 % n-1 Situation; betrieblicher Dauerstrom bzw. 60 % des thermischen Grenzstroms
- 30 % 50 % der n-1 Situation bzw. des betrieblichen Dauerstroms bzw. 30 % des thermischen Grenzstroms

Mit Hilfe dieser Simulationen wurde die magnetische Flussdichte in der Mitte der Stromtrasse am Boden für den Messpunkt 6 der Profilmessung ermittelt. Auf Grund von Verknüpfungen / Normierungen mit den Messwerten der 63 einzelnen Messpunkte erfolgte die Berechnung der magnetischen Flussdichten für diese 63 Punkte.

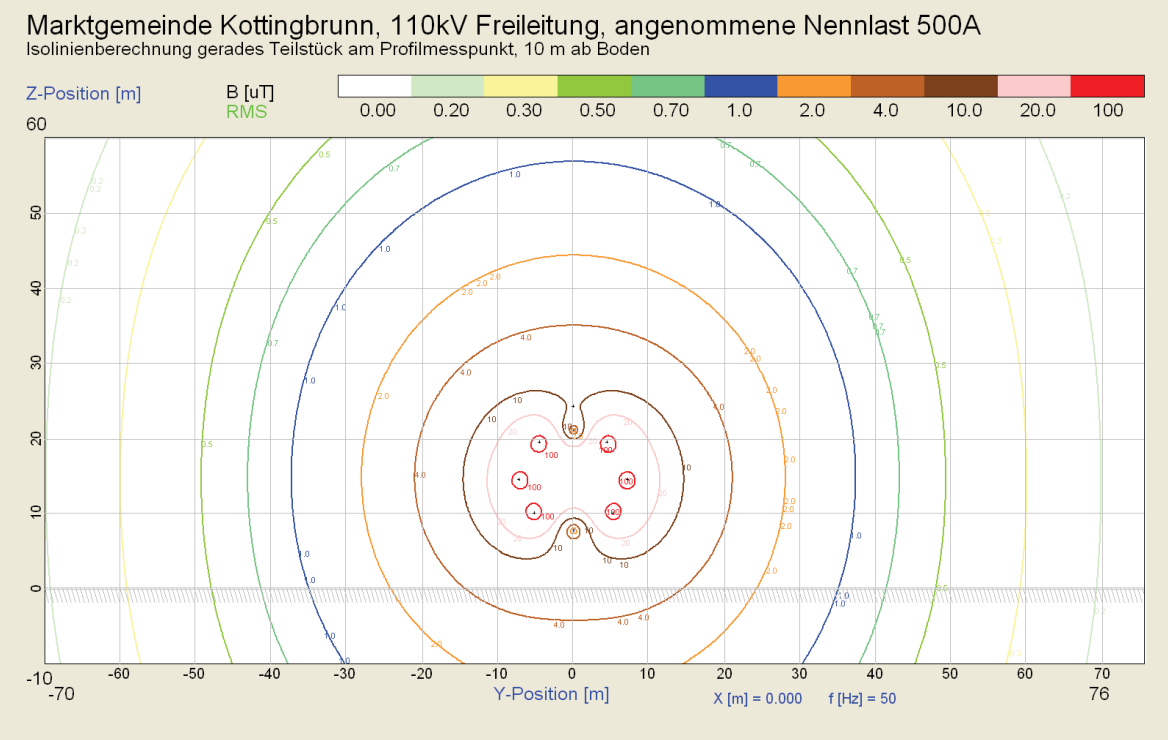
Erstellt mit Winfield®/EFC400LF V.2007, gemäss VDE 0848 Berechnung, 12.08.2014/ PH, ©

**Berechnungsparameter**

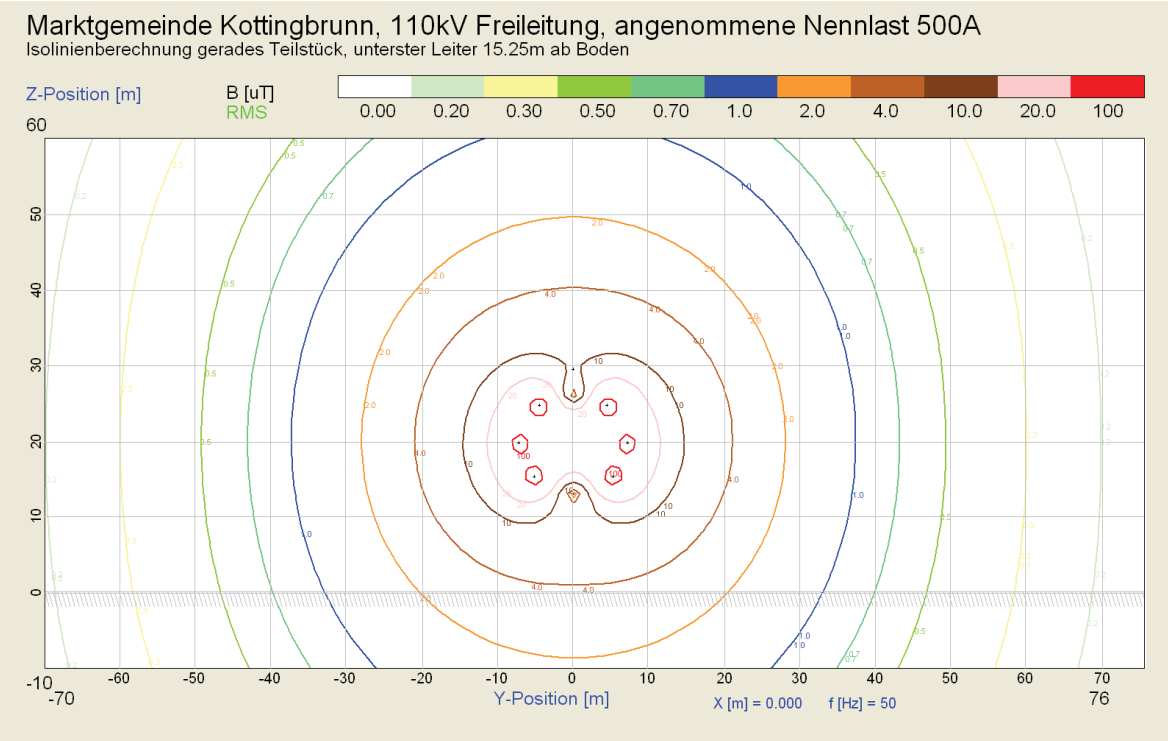
**Mastbild Tonne**

| | |
|---|---|
| Mast: | Stahlgittermast |
| | Genaue Mastbilder nicht vorhanden |
| | (Masse gemäss Beilage Tonnenmastbild) |
| | 2 Systeme |
| | unterster Leiter h=15.25m, (gemessen) |
| | Durchhang am Profilmesspunkt 5.20m, (gemessen) |
| Leiterseil: | 185mm², Stahl- Aluminium Ad |
| Phasenfolge: | nicht optimiert |
| Lastfluss: | gleichläufig |
| Strom: | System 1 = 500A, (max. Strombelastung) |
| | System 2 = 500A, (max. Strombelastung) |

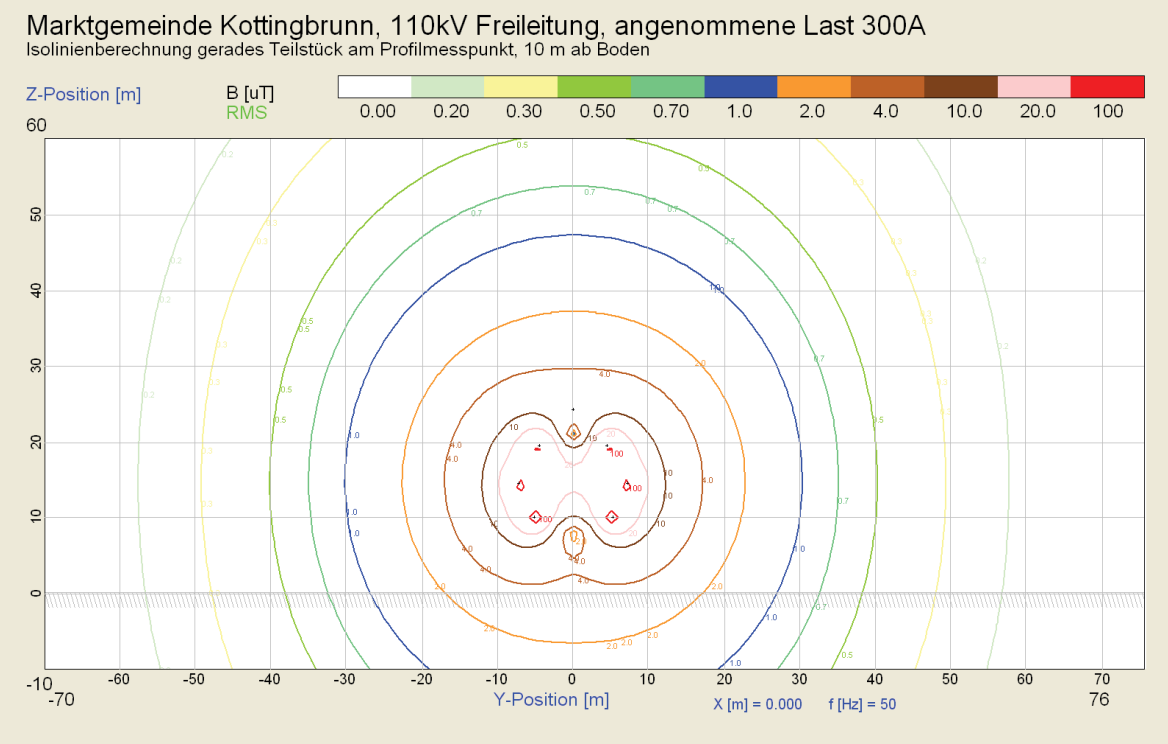
**Nennlast 500 Ampere** **10 m** über Boden = Profilmesspunkt Nr. 6



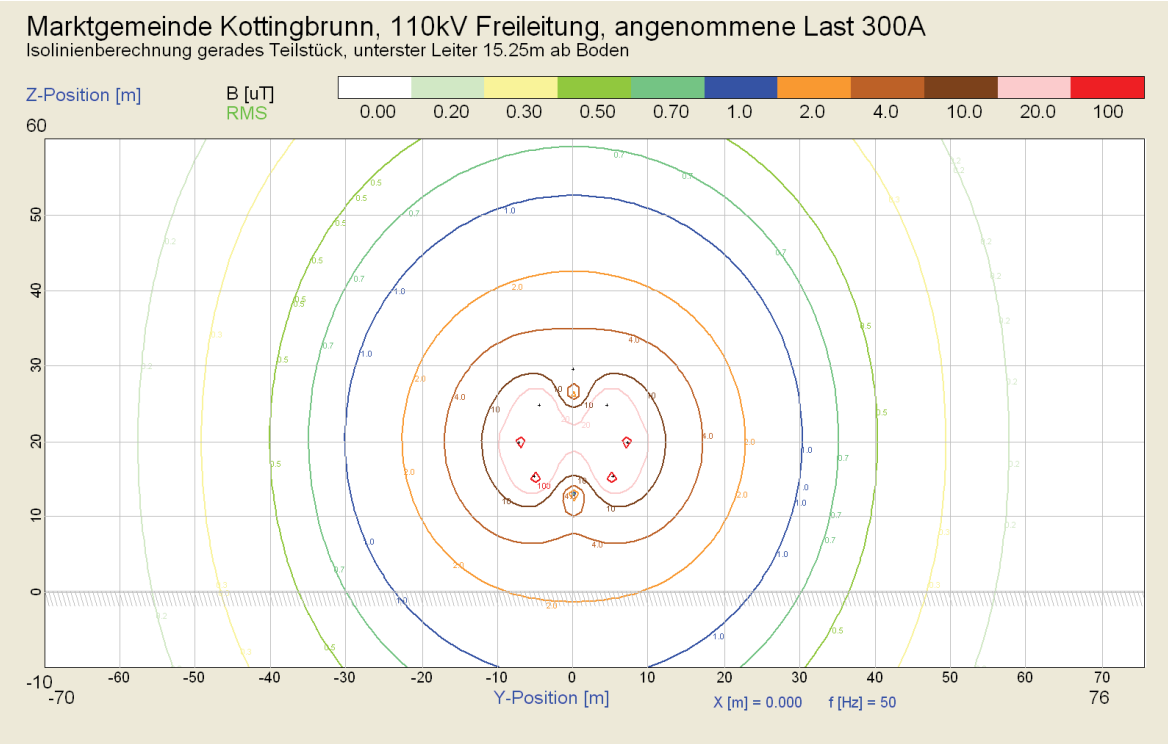

**Nennlast 500 Ampere** **15,25 m** über Boden = Bereich Gittermast



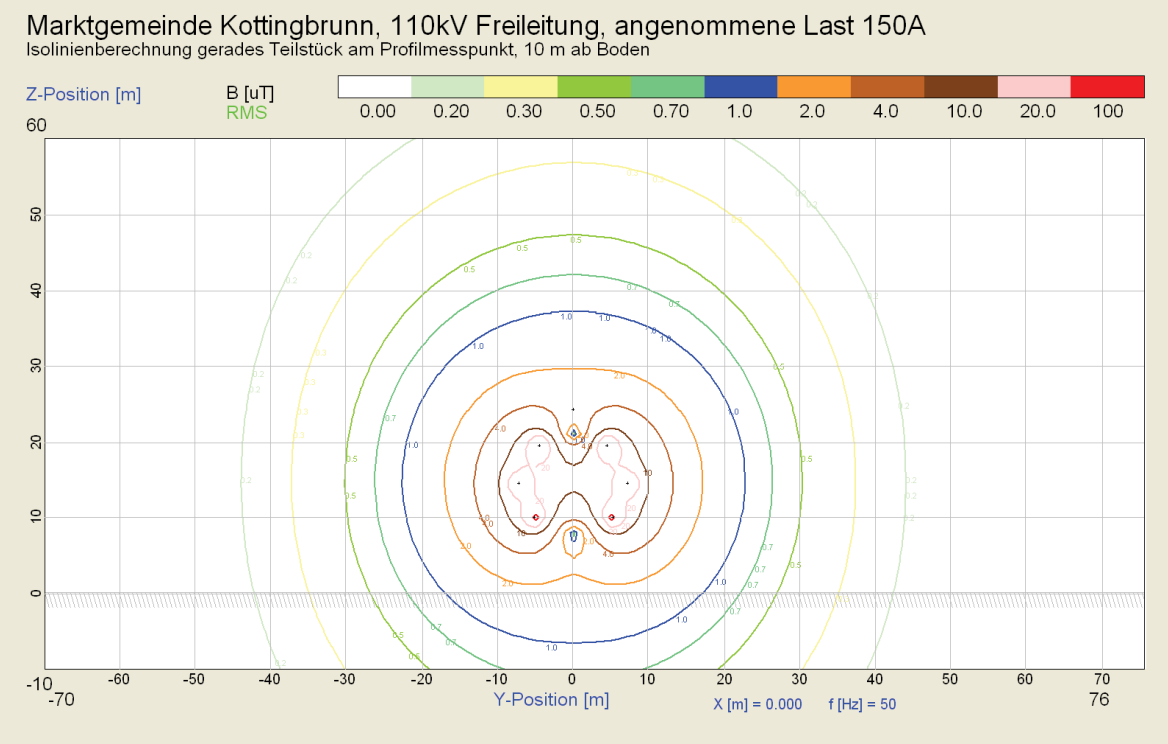
**Betrieblicher Dauerstrom 300 Ampere** **10 m** über Boden = Profilmesspunkt Nr. 6



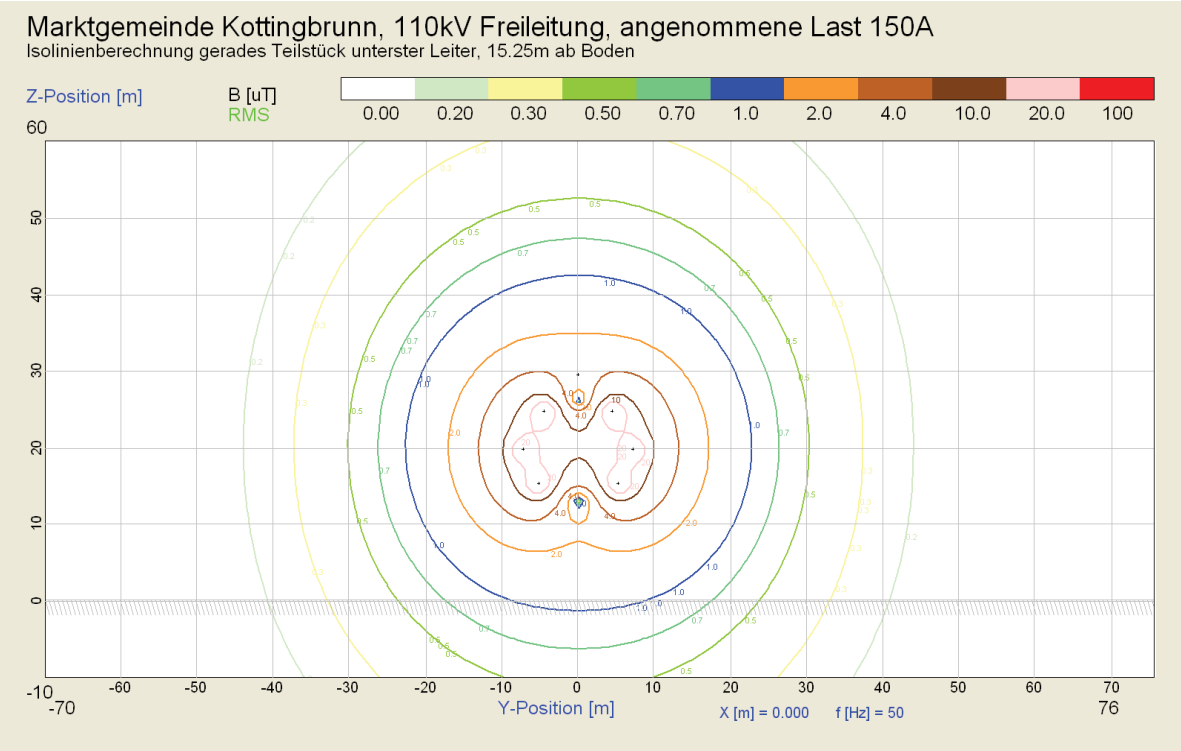

**Betrieblicher Dauerstrom 300 Ampere** **15,25 m** über Boden = Bereich Gittermast



**50 % des betriebl. Dauerstroms 150 Ampere** **10 m** über Boden = Profilmesspunkt Nr. 6

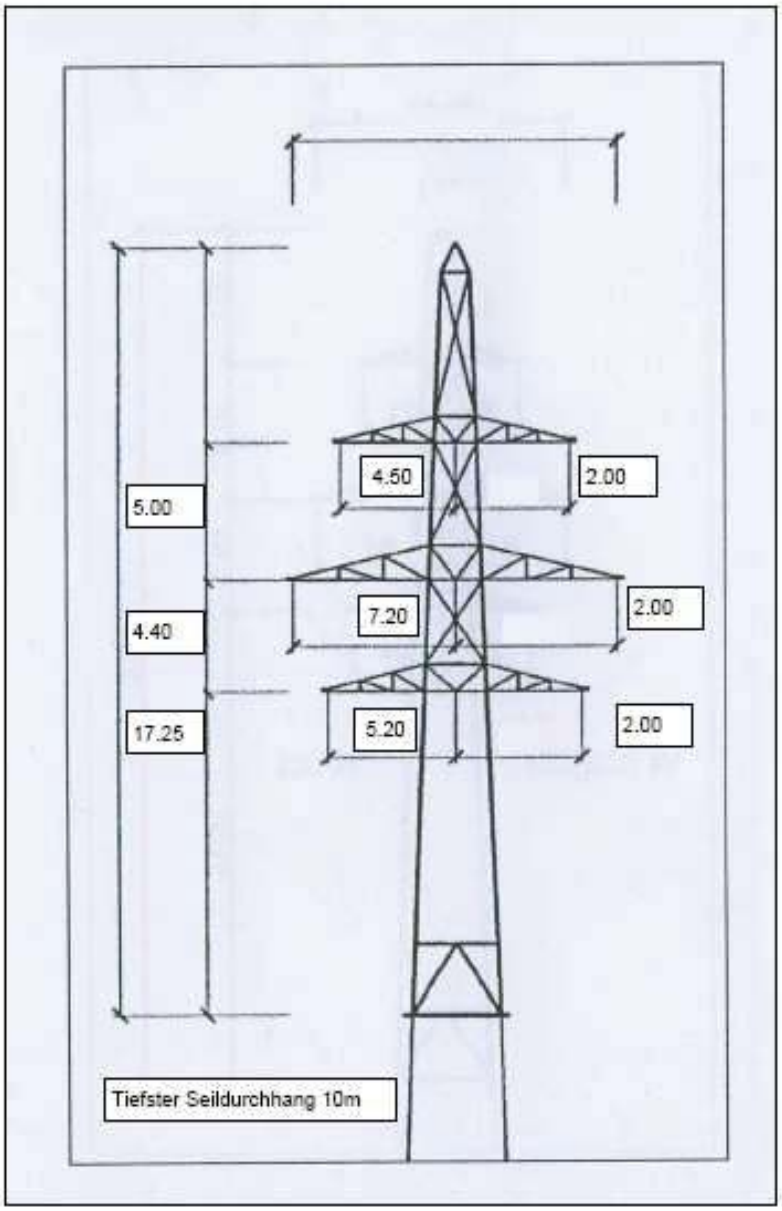



**50 % des betriebl. Dauerstroms 150 Ampere** **15,25 m** über Boden = Bereich Gittermast



Mastbild und Abmessungen

| CFW | Tonnen Mastbild 110kV Leitung Kottingbrunn | © |
|---|---|---|



## 6. Magnetische Wechselfelder

Sobald Geräte mit Wechselspannung in Betrieb genommen werden, fließt Wechselstrom. Dabei entsteht ein magnetisches Wechselfeld – Einheit Tesla oder ein Bruchteil hiervon, Nanotesla nT (Milliardster Teil) – das aber nur dann auftritt, wenn Energie verbraucht wird. Magnetische Wechselfelder sind im direkten Bereich von Energieleitungen zu finden. Sie können aber auch durch mangelhafte Elektroinstallationen oder durch im Erdreich und dort auf verlegten Versorgungsleitungen rückfließende Ströme von Eisenbahnlinien (16,7 Hz) verursacht werden. In der Medizin ist bekannt, dass auch diese Felder bereits bei sehr niedrigen Feldstärken Einflüsse auf biologische Systeme haben. Abhilfe kann unter anderem durch ordentlich ausgeführte Elektroinstallationen, gezielte Kabelführung und Abstand geschaffen werden.

Eine Eigenart der magnetischen Feldlinien ist, dass sie alles durchdringen und nur mit ganz bestimmten Materialien regional eng begrenzt abgeschirmt werden können.

Bei erhöhten magnetischen Feldstärken, die nur einen Bruchteil der gesetzlich erlaubten Grenzwerte betragen, ist bei Röhren-Computermonitoren mit deutlichen Störungen in der Farbgebung und Linientreue zu rechnen.

## 7. Messgeräte, Messmethodik und Auswertung

Für die Langzeitaufzeichnungen wurden 3-dimensional messende Geräte verwendet:

Die Abtastrate ist auf 2 Sekunden eingestellt. Es werden die magnetischen Flussdichten in den Frequenzbereichen 16,7 Hz und 50-2000 Hz erfasst. Bei der Auswertung ist es möglich, nach Bedarf einen der beiden Frequenzbereiche auszublenden.
Mlog 3D, Merkel Messtechnik; Seriennummern 222 (#1), 224 (#2), 371 (#3), 423 (#4), 013 (#5), 030 (#6), 066 (#7), 243 (#8), 422 (#9).

Die Abtastrate ist auf 1 Sekunde eingestellt. Es werden die magnetischen Flussdichten in den Frequenzbereichen 5-30 Hz und 50-2000 Hz erfasst. Bei der Auswertung ist es möglich, nach Bedarf einen der beiden Frequenzbereiche auszublenden bzw. die 3 Achsen x, y und z einzeln aus- und einzublenden und zu analysieren.
Messungen mit dem 3D-Messgerät EMLog2e der Firma ESTEC; Seriennummern 60062, 60063 und 60064.

Die Datenlogger sind kalibriert und die Prüfmittel werden seitens der DAkkS (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, früher DKD Deutscher Kalibrierdienst) bzw. durch die PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig) überwacht. Alle technischen Daten sind beim Auftragnehmer hinterlegt.

Die Auswertung der Daten erfolgt durch ein spezielles Programm, wobei für einen ausgewählten Zeitbereich jeweils

- minimaler Wert
- maximaler Wert
- Mittelwert
- Standardabweichung
- Effektivwert RMS

ermittelt und angezeigt werden.

## 8. Umwelthygienische Bewertung

Der vorliegende Bericht mit den Seiten 1 bis 68 wurde zur umwelthygienischen Bewertung an

Ao. Univ. Prof. Dr. Michael Kundi
Assoz. Prof. DI. Dr. Hans-Peter Hutter
Institut für Umwelthygiene
Medizinische Universität Wien

weitergeleitet. Die umwelthygienische Bewertung ist auf den folgenden Seiten dargestellt.

# *Umwelthygienische Bewertung des Berichtes zur Bestimmung der Feldstärken niederfrequenter magnetischer Wechselfelder im Bereich der 110 kV Hochspannungsleitung im Siedlungsbereich der Gemeinde Kottingbrunn von Dr.-Ing. Dietrich Moldan vom 20.08.2014*

**Auftraggeber:**
Bürgermeister und Gemeinderat Kottingbrunn
2542 Kottingbrunn

**Auftragnehmer:**
Ao. Univ. Prof. Dr. Michael Kundi
Assoz. Prof. DI. Dr. Hans-Peter Hutter
Institut für Umwelthygiene
Medizinische Universität Wien

## Inhalt

**1 Fragestellung ..... 71**

**2 Befund ..... 71**

**3 Grundlagen der umwelthygienischen Beurteilung von netzfrequenten Magnetfeldern ..... 72**

3.1 Einleitung ..... 72

3.2 Kindliche Leukämie ..... 73

3.3 Neurodegenerative Erkrankungen ..... 82

3.4 Wechselwirkung mit Luftschadstoffen ..... 93

**4 Umwelthygienische und medizinische Bewertung ..... 95**

**5 Literatur ..... 99**

# 1 Fragestellung

Seitens der Marktgemeinde Kottingbrunn wurde am 02.07.2014 Dr. Moldan Umweltanalytik aus Anlass eines geplanten Austausches der Leiterseile einer bestehenden 110 kV Hochspannungsleitung beauftragt, die magnetischen Wechselfelder entlang dieser Hochspannungsleitung in einem Korridor von 50 m beidseits der Leitertrasse zu ermitteln.

Weiters wurde der Wunsch geäußert, dass die Messergebnisse einer umwelthygienischen Beurteilung unterzogen werden.

# 2 Befund

Messungen der magnetischen Wechselfelder erfolgten an 63 Standorten in Gebäuden an Orten, an denen sich Menschen längere Zeit aufhalten (z.B. Schlafzimmer, Kinderzimmer), für den Zeitraum von 21 Uhr bis 20 Uhr des folgenden Tages und parallel an drei Standorten unterhalb der Leitertrasse. Darüber hinaus wurde an 11 Messorten mit zunehmendem Abstand von der Leitermitte bis 50 m beidseits der Trasse eine Profilmessung im Zeitraum 05.-12.07.2014 vorgenommen.

Da die Wiener Netze keine Lastdaten der Leitung geliefert haben, wurde seitens der Firma CFW EMV-Consulting AG, CH-9410 Heiden, eine Berechnung der magnetischen Flussdichten auf Basis der Daten des Bewilligungsbescheids von 1959 vorgenommen. Dabei wurden drei Szenarien untersucht: Belastung beim thermischen Grenzstrom sowie bei 60% und 30% des thermischen Grenzstroms.

Die Mittelwerte der Langzeitmessungen an den 63 Messorten überschritten 0,1 µT an 21 Punkten, 0,2 µT an 6 Punkten und 0,3 µT an einem Punkt. Die für die Neuerrichtung oder den Umbau von Hochspannungsleitungen zu berücksichtigenden Werte beim thermischen Grenzstrom überschritten an allen Messpunkten bis auf einen 1 µT, an 36 Messorten wurde ein Wert von 2 µT und an 16 Messorten ein Wert von 3 µT überschritten.

# 3 Grundlagen der umwelthygienischen Beurteilung von netzfrequenten Magnetfeldern

## *3.1 Einleitung*

Zur Frage der gesundheitlichen Auswirkungen von netzfrequenten Magnetfeldern (NF-MF) haben in den letzten etwa 15 Jahren mehrere wissenschaftliche und Public Health Gruppierungen Bewertungen der vorliegenden Evidenz vorgenommen. Dabei wurde hinsichtlich der Frage eines Zusammenhangs eine Abstimmung oder eine andere Form der Konsensfindung vorgenommen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse dieser Bewertungen.

**Tabelle 1: Bewertung der Evidenz zum Zusammenhang zwischen netzfrequenten Magnetfeldern und verschiedenen Krankheiten und Störungen durch wissenschaftliche Gruppen seit 1999**

| Krankheit | NIEHS 1998 | IARC 2002 | CDHS 2002 | SCENIHR 2009 |
|---|---|---|---|---|
| Kindliche Leukämie | möglich (2B) | möglich (2B) | >50% | möglich |
| Leukämie Erwachsene | möglich (2B)[3)] | inadäquate Ev. | >10->50% | nb. |
| Hirntumore | inadäquate Ev. | inadäquate Ev. | >50% | nb. |
| Alzheimer Krankheit | inadäquate Ev. | nb. | 10-50% | möglich |
| Motoneuronerkrg. | inadäquate Ev. | nb. | >50% | nb. |
| Fehlgeburtlichkeit[1)] | inadäquate Ev. | nb. | >50% | nb. |
| Reproduktionsstörg.[2)] | inadäquate Ev. | nb. | sehr unw. | nb. |

**NIEHS…US National Institute of Environmental Health Sciences**
**IARC…International Agency for Research on Cancer (der WHO)**
**CDHS…California Department of Health Services**
**SCENIHR…EU Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks**

nb…nicht beurteilt; sehr unw…sehr unwahrscheinlich; inadäquate Ev…inadäquate Evidenz
[1)] bei Exposition am Arbeitsplatz; [2)] bei Exposition des Vaters am Arbeitsplatz; [3)] für CLL

Andere Gruppierungen wie z.B. die BioInitiative (2006, 2012), ICNIRP (2003), WHO (2007) haben ebenfalls Reviews der vorliegenden Forschung vorgelegt, aber keine formale Abstimmung vorgenommen.

Die höchste Übereinstimmung in den Beurteilungen der Panels kann für die kindliche Leukämie konstatiert werden. Alle Gruppen geben eine Beurteilung im Sinne eines möglichen kausalen Zusammenhangs mit netzfrequenten Magnetfeldern ab. Diese Einstufung basiert auf epidemiologischen Untersuchungen, während Tierversuche und mechanistische Untersuchungen zwar etwas unterschiedlich eingeschätzt wurden, aber insgesamt als weder für noch gegen einen Zusammenhang sprechend beurteilt wurden.

Ein Zusammenhang mit der Alzheimer Erkrankung wurde von zwei der drei Gruppen, die diese Thematik behandelt haben, ebenfalls als möglich eingestuft. Auch diese Beurteilung beruht auf epidemiologischen Untersuchungen zur Exposition gegenüber Magnetfeldern im Haushalt oder am Arbeitsplatz. Da wichtige Untersuchungen zu Alzheimer und anderen neurodegenerativen Erkrankungen erst nach 2006 veröffentlicht wurden, sind die davor vorgenommenen Beurteilungen nicht auf dem heutigen Stand der Forschung.

Im Folgenden werden die vorliegenden Befunde zu einem Zusammenhang mit kindlicher Leukämie und neurodegenerativen Erkrankungen im Überblick dargestellt, da diese Erkrankungen nach Einschätzung mehrerer unabhängiger wissenschaftlicher Panels den höchsten Evidenzgrad hinsichtlich eines Zusammenhangs mit NF-MF aufweisen.

### *3.2 Kindliche Leukämie*

Im Jahr 2000 veröffentlichten Ahlbom et al. Ergebnisse einer gepoolten Analyse epidemiologischer Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen NF-MF und kindlicher Leukämie unter Anwendung strenger Einschlusskriterien. Eine andere ähnliche Analyse wurden von Greenland et al. (2000) publiziert. Diese Untersuchungen haben eine jahrzehntelange Auseinandersetzung über die Frage eines Zusammenhangs zwischen NF-MF und kindlicher Leukämie beendet. Beide Untersuchungen fanden einen Anstieg des Risikos mit zunehmender mittlerer Exposition gegenüber NF-MF, der bei der höchsten Expositionskategorie von >0,4 µT bzw. >0,3 µT statistisch signifikant war. Umfangreiche Sensitivitätsanalysen ergaben, dass dieser Zusammenhang robust ist. Die Analyse von Greenland et al. (2000) und Ahlbom et al. (2000) ergab darüber hinaus, dass das sogenannte Wire-code Paradoxon, d.h. dass Ergebnisse mit Wire-codes als Basis für die Expositionsbeurteilung stärkere Zusammenhänge ergeben als

solche, die auf Messungen beruhen, nicht existiert, sondern dass beide Methoden in etwa die gleichen Ergebnisse erbringen. Eine umfangreiche Metaanalyse von Wartenberg (2001) fandkeinen Hinweis für systematische Fehler, die auf methodologischen Unterschieden zwischen den Studien beruhen.

Auf Basis der gepoolten Datenanalysen hat die IARC (International Agency for Research on Cancer) NF-MF in die Gruppe 2B als mögliches humanes Kanzerogen eingestuft (IARC 2002). Nach Auffassung der IARC Arbeitsgruppe erlaubt der beobachtete Zusammenhang zwischen NF-MF und kindlicher Leukämie eine kausale Interpretation, aber Fehler und Störeinflüsse in den Untersuchungen könnten nicht ausgeschlossen werden, weshalb keine Einstufung in Gruppe 1 oder 2A vorgenommen wurde.

Inzwischen wurde eine weitere gepoolte Analyse von sechs Untersuchungen, die nach 2000 veröffentlicht wurden, durchgeführt (Kheifets et al. 2010). Diese Analyse ergab nahezu dieselben Risikoschätzer wie die Untersuchungen von Ahlbom et al. (2000), wenn eine Studie aus Brasilien, die methodisch anders vorgegangen war, weggelassen wird (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Ergebnisse einer gepoolten Analyse von 6 (5) Untersuchungen zur häuslichen Exposition gegenüber NF-MF und dem Risiko einer kindlichen Leukämie (Kheifets et al. 2010) und einer früheren Analyse von 9 anderen Untersuchungen (Ahlbom et al. 2000). In der Tabelle sind Odds-Ratios und deren 95% Konfidenzintervalle angegeben (die Schätzwerte sind bzgl. Alter, Geschlecht, sozioökonomischen Status und Studie adjustiert).**

| Exposition | Kheifets et al, 2010 | Kheifets et al, 2010 ohne Brasilien | Ahlbom et al, 2000 |
|---|---|---|---|
| **<0,1 µT (Referenz)** | 1,0 | | |
| **0,1-0,2 µT** | 1,07 (0,81 – 1,41) | 1,15 (0,83 – 1,61) | 1,08 (0,89 – 1,31) |
| **0,2-0,4 µT** | 1,22 (0,78 – 1,89) | 1,20 (0,67 – 2,17) | 1,11 (0,84 – 1,47) |
| **≥0,4 µT** | 1,46 (0,80 – 2,68) | 2,02 (0,87 – 4,69) | 2,00 (1,27 – 3,13) |

Sechs weitere, von Kheifets et al. (2010) aus verschiedenen Gründen ausgeschlossene Untersuchungen ergaben z.T. sogar weit höhere Risikoschätzer. Eine Untersuchung (Does et al. 2011), die für die gepoolte Analyse nicht rechtzeitig fertig geworden war, widmete sich in erster Linie der Hypothese, dass nicht die Magnetfeldexposition, sondern Kontaktströme für das erhöhte Risiko verantwortlich wären (eine Hypothese, die bereits von Wertheimer & Leeper 1979 vorgebracht wurde). Es wurde allerdings kein Hinweis gefunden, dass das der Fall ist, während die Magnetfeldexposition Risikoschätzer erbrachte, die mit den anderen Studien

vereinbar waren (OR=1,2 für >0,02 µT gegen <0,01 µT), obwohl die Zahl der im Bereich von 0,4 µT exponierten zu klein war, um dazu eine genauere Überprüfung vorzunehmen.

Eine Untersuchung aus Großbritannien, die den Zusammenhang zwischen der Distanz zu Hochspannungsleitungen bei der Geburt mit dem Risiko für kindliche Krebserkrankungen über den Zeitraum 1962 bis 2008 analysierte, ergab, dass dieses Risiko mit den Jahren geringer wurde (Bunch et al. 2014). Die Autoren vermuten, dass dieser Trend mit Unterschieden in der Population, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen lebt, zusammen hängt.

Eine Untersuchung aus der Tschechoslowakei, die erst nach der gepoolten Analyse von Kheifets et al. (2010) erschienen ist (Jirik et al. 2011, 2012) berichtete, dass mehr als 20% der Bevölkerung in der Wohnung durchschnittlichen Expositionen von über 0,4 µT ausgesetzt wären, was sehr ungewöhnlich ist, weil dieser Anteil bei anderen Untersuchungen deutlich unter 1% lag. Möglicherweise liegt dieser Unterschied an der Messmethode, die mit derjenigen anderer Untersuchungen nicht vergleichbar ist. Die Fall-Kontrollstudie zu kindlicher Leukämie dieser Autoren ergab zwar kein erhöhtes Risiko bei einer Exposition über 0,4 µT, aber das Konfidenzintervall schließt eine Verdopplung des Risikos, wie es sich aus den gepoolten Analysen ergibt, nicht aus.

Insgesamt zeigt also die seit der Beurteilung durch die IARC hinzugekommene Evidenz, die nunmehr alle Kontinente außer Afrika umfasst, dass die kindliche Leukämie eine Assoziation mit der Exposition gegenüber NF-MF aufweist, die nicht durch methodische Eigenheiten einzelner Untersuchungen erklärt werden kann. Die Unterschiede zwischen den Studienergebnissen sind allein durch Zufallsvariationen erklärbar. Allerdings wurde durchwegs die durchschnittliche magnetische Flussdichte als Expositionsparameter herangezogen (entweder auf Basis von Messungen oder von Schätzungen aufgrund der Art, Konfiguration und Lastangaben der in der Nähe verlaufenden Hochspannungsleitungen), was unter Umständen, wie wir weiter unten diskutieren werden, eine Fehlklassifikation der Exposition hervorrufen könnte.

Die Beobachtung eines abnehmenden Trends des Risikos kindlicher Leukämie in Großbritannien über die letzten Jahrzehnte könnte darauf zurückgehen, dass die Menschen es in zunehmendem Maße meiden, sich in der Nähe von Hochspannungsleitungen anzusiedeln. Ein solches Verhalten würde in erster Linie einkommensstärkere Gruppen betreffen, bei denen – aus bisher

unbekannten Gründen – ein erhöhtes Risiko für kindliche Leukämie vorliegt (Kroll et al. 2011). Auch Änderungen der Gebäudetypen (z.B. Stahlbetonbauten) können zu einer Veränderung der häuslichen Exposition beitragen. Änderungen in der Zusammensetzung der Population in der Umgebung von Hochspannungsleitungen könnten aber noch weit größere Auswirkungen auf das beobachtete Risiko haben, wenn man die Hinweise auf eine Gen-Umwelt Interaktion berücksichtigt (Yang et al. 2008). Wegen der Seltenheit der kindlichen Leukämie würde eine Änderung der Population mit einer nur geringen Abnahme des Anteils von Kindern mit einer entsprechenden genetischen Disposition (z.B. bestimmte Polymorphismen in DNA Reparaturgenen, wie sie von Yang et al. 2008 untersucht wurden) enorme Auswirkungen auf das beobachtete Risiko haben, wenn die Wechselwirkung zwischen dieser Disposition und der Exposition in der Größenordnung ist, die sich aus der ersten Untersuchung dieser Art ergibt.

Gleich nach Veröffentlichung der Studie von Wertheimer und Leeper im Jahr 1979, die erstmals einen Zusammenhang zwischen Magnetfeldern der Stromversorgung und kindlichen Krebserkrankungen herstellte, wurde behauptet, dass dieser Zusammenhang auf Störfaktoren zurückgehen müsse, weil es keinen Mechanismus gäbe, der erklären würde, warum das Risiko bei Magnetfeldexposition erhöht ist. Trotz jahrzehntelanger Suche nach solchen Störfaktoren wurde bislang kein solcher Faktor identifiziert. Ein Störfaktor ist dadurch charakterisiert, dass er sowohl mit der Exposition als auch mit der Erkrankung assoziiert ist. So kann z.B. ein genetischer Faktor, wie oben angedeutet, zu einem Störfaktor werden, wenn entweder die Exposition die Expression oder Transkription des Gens beeinflusst oder wenn die genetische Variation mit der Exposition zusammenhängt. Ein solcher Störfaktor war allerdings nicht gemeint, als man diese Hypothese in den Raum stellte. Man dachte etwa an Exposition gegenüber Schadstoffen, die entlang von Hochspannungsleitungen höher wäre und ähnliche Einflüsse. Da ein solcher Störfaktor einen sehr starken Zusammenhang mit der kindlichen Leukämie haben müsste, ist es sehr unwahrscheinlich, dass er bisher unentdeckt geblieben wäre, wenn er existiert. Langholz (2001) hat für eine Reihe solcher möglicher Störfaktoren die untere Grenze für deren Zusammenhang mit der kindlichen Leukämie angegeben und damit gezeigt, dass sie als Störfaktoren nicht in Frage kommen. Da die Widerlegung einer Existenzbehauptung nicht in einer endlichen Serie von Tests möglich ist, kann die Hypothese, dass ein oder mehrere solche Störfaktoren existieren, nicht als wissenschaftlich gelten.

Neben dem Einfluss von Störfaktoren wurden auch andere mögliche Fehler diskutiert, die zu einer Verzerrung der Risikoschätzer führen würden. Da die Zahl der Kinder, die hohen Expositionen von NF-MF ausgesetzt sind, klein ist, könnten bereits kleine Unterschiede in der Auswahl und Teilnahme von Fällen und Kontrollen große Auswirkungen haben. Da jedoch auch Untersuchungen, die allein auf Basis von Registerdaten durchgeführt wurden, erhöhte Risiken für kindliche Leukämie ergaben, ist es unwahrscheinlich, dass ein solcher Fehler den Zusammenhang erklären kann (Schüz 2007).

Eine andere Ursache von Verzerrungen kann in der Expositionsfehlklassifikation liegen. Man muss bedenken, dass in den Untersuchungen mit Messungen, diese erst erfolgten, nachdem die Erkrankung diagnostiziert worden war. Die Messung soll allerdings die Exposition zur ätiologisch relevanten Zeitperiode abschätzen. Diese Periode ist die Zeit während der Schwangerschaft der Mutter bis etwa ein bis zwei Jahre vor Diagnose. Expositionsschätzungen wurden auf Basis historischer Daten vorgenommen, deren Genauigkeit nicht immer befriedigend war. Dazu kommt, dass man mangels einer präzisen mechanistischen Hypothese weder die genaue Zeitperiode, für die die Expositionsschätzung erfolgen soll, angeben kann, noch den Aspekt der Exposition benennen kann, der für das Risiko relevant ist. Man hat mangels einer theoretisch fundierten Messgröße pragmatisch die mittlere magnetische Flussdichte (das arithmetische oder geometrische Mittel über 24 h) herangezogen. Wenn die für das Leukämierisiko eigentlich relevante Metrik oder die Zeitperiode jedoch andere sind, dann resultiert daraus eine Expositionsfehlklassifikation. Allein aufgrund der gewählten Cutoffs und der begrenzten Messgenauigkeit müssen wir eine nicht-differentielle Fehlklassifikation annehmen, die – sieht man von Zufallseffekten ab – immer zu einer Unterschätzung des Risikos führt. Das muss man vor dem Hintergrund bedenken, dass es eine nicht-exponierte Gruppe in unserer Bevölkerung nicht gibt und dass daher willkürlich eine Expositionsgrenze definiert werden muss. Es hat sich in den letzten Jahren eingebürgert, diese Grenze bei einer durchschnittlichen magnetischen Flussdichte von 0,1 µT anzusetzen.

Wenn die mittlere magnetische Flussdichte nicht die für das Risiko relevante Metrik ist, aber mit dieser Metrik positiv korreliert, dann lässt sich zeigen, dass wesentlich höhere Risiken mit der Exposition gegenüber Magnetfeldern aus der Stromversorgung verbunden sein können. Wegen des kleinen Anteils der Bevölkerung, der durchschnittlichen Flussdichten über 0,3 oder 0,4 µT

ausgesetzt ist, hat man das attribuierbare Risiko als sehr klein eingestuft (Kheifets et al. 2006; WHO 2007). Wie die Gleichung (1) zeigt, ist das der Population zuordenbare Risiko vom Anteil der Bevölkerung in den Kategorien oberhalb des Cutoffs (hier 0,1 µT) abhängig.

$$\mathrm{PAF} = \frac{\sum_i \pi_i (\Psi_i - 1)}{1 + \sum_i \pi_i (\Psi_i - 1)} \qquad (1)$$

In Gleichung (1) bezeichnet $\pi_i$ den Anteil der Population in Expositionskategorie i und $\psi_i$ das relative Risiko in dieser Kategorie. Legt man die Daten aus der gepoolten Analyse von Ahlbom et al. (2000) zugrunde, dann ergibt sich ein der Population attribuierbarer Anteil (PAF) an den Fällen kindlicher Leukämie von 1,6%. Vereinfacht man die Betrachtung durch eine Aufteilung bei 0,1 µT, dann ergeben sich ein Risikoschätzer von 1,56 für die Exposition über 0,1 µT und ein attribuierbarer Anteil an der Leukämieinzidenz im Kindesalter von 5,8%.

Die kumulative Inzidenz der Leukämie bis zum Alter von 15 Jahren beträgt etwa 70 von 100.000 Kindern. Daraus folgt, dass etwa 1 bis 4 Kinder pro 100.000 aufgrund der Exposition gegenüber netzfrequenten Magnetfeldern bis zum 15. Lebensjahr an Leukämie erkranken. Daraus ergibt sich für Österreich, dass jährlich weniger als ein Kind aufgrund der Exposition erkranken würde, falls dieser Ansatz korrekt ist.

Es gibt allerdings begründete Zweifel, dass diese Berechnungen das tatsächliche Risiko widerspiegeln. Es existiert eine starke ökologische Korrelation zwischen der Nutzung elektrischer Energie und der Leukämieinzidenz. Der Anstieg der kindlichen Leukämie im Anschluss an die Elektrifizierung in unterschiedlichen Regionen der USA (Milham & Ossiander 2001) spricht ebenfalls für eine größere Bedeutung, als sich aus obigen Berechnungen ergibt, auch wenn mit der Elektrifizierung eine Vielzahl von Änderungen der Lebensführung verbunden ist. Das Grundproblem liegt darin, dass weder die Faktoren, die für die Entwicklung einer kindlichen Leukämie (und hier besonders der akuten lymphatischen Leukämie) verantwortlich sind, noch die Mechanismen einer möglichen Beteiligung von NF-MF geklärt sind.

Es gibt zahlreiche vielversprechende Ansätze zur Ätiologie der kindlichen Leukämie, aber keiner hat bisher mehr als nur einen kleinen Anteil der Fälle erklären können. Was die Untersuchung der Wirkung von NF-MF anlangt, so ergaben sich zwar bei Tierversuchen erhöhte Risiken (Löscher & Mevissen 1995; Thun-Battersby et al. 1999; Löscher 2001), aber nicht bei Tiermodellen, die relevant für die Frage der kindlichen Leukämie sind. Solche Modelle wurden bisher nicht eingesetzt, wenn man von einem Versuch mit dem WKAH/Hkm Rattenmodell absieht, das jedoch wegen der eingesetzten chemischen Induktion und anderer experimenteller Details nicht unproblematisch ist (Bernard et al. 2008). Es existieren daher keine Untersuchungen, die als Basis für die Aufklärung des Mechanismus der Wirkung von NF-MF hinsichtlich der kindlichen Leukämie verwendet werden könnten.

Wie wir oben gezeigt haben, ist das attribuierbare Risiko deswegen so klein, weil die Anzahl der als exponiert klassifizierten Kinder sehr klein ist. Auf Basis von Messungen ergibt sich ein Anteil von nur 11% der Kinder, die über einem Wert von 0,1 µT exponiert sind, Berechnungen ergeben gar nur einen Anteil von 2%. Ist diese Aufteilung, unter 0,1 µT nicht exponiert und darüber exponiert, fehlerbehaftet, d.h. stellt diese bezogen auf die unbekannte, korrekte Aufteilung eine Fehlklassifikation dar, dann könnten der attribuierbare Anteil und das Risiko weit höher sein.

Dieser Umstand lässt sich systematisch untersuchen, indem man den Effekt der Fehlklassifikation, sei sie nicht-differenziell (d.h. gleichermaßen bei Leukämie-Fällen wie bei Kontrollkindern vorhanden) oder differenziell (d.h. bei Fällen und Kontrollen unterschiedlich), überprüft.

Die Beziehung zwischen den wahren relativen Kategorienhäufigkeiten (d.h. jene Kategorisierung, die die wahre Exposition widerspiegelt) $\pi_i$, i=0,1,…,k und den fehlerbehafteten $\pi_i^*$, i=0,1,…,k, wird durch die Fehlklassifikationsmatrix **M** beschrieben (Gleichung 2).

$$\boldsymbol{\pi}^* = \mathbf{M} \cdot \boldsymbol{\pi} \qquad (2)$$

Wenn diese Matrix **M** invertierbar ist, dann ergibt $\mathbf{M}^{-1}\boldsymbol{\pi}^*$ die wahren Häufigkeiten als Funktion der fehlerbehafteten. Verwendet man den Index 0 für Kontrollen und 1 für die Fälle, dann bedeutet $\mathbf{M}_0=\mathbf{M}_1$ nicht-differenzielle Fehlklassifikation und $\mathbf{M}_0\neq\mathbf{M}_1$ differenzielle Fehlklassifikation.

Da die Summe der $\pi_i$ und der $\pi_i^*$ gleich 1 ist, ist die Zahl der unabhängigen Elemente von M k*(k-1). Unter Berücksichtigung der differenziellen Fehlklassifikation sind daher 2*k*(k-1) Parameter zu berücksichtigen. Bei vier Kategorien in der gepoolten Analyse von Ahlbom et al. (2000) wäre die Zahl der Parameter 24, die bei einer Fehlklassifikationsanalyse zu berücksichtigen sind. Um diese Analyse zu vereinfachen, haben wir die Betrachtung auf zwei Kategorien (unter und über 0,1 µT) beschränkt, für die dann 4 Parameter einzubeziehen sind. Diese Parameter kann man als Sensitivität und Spezifität der Klassifikation bzgl. der wahren Exposition identifizieren.

Löst man die Gleichung 2 für diesen Fall einer dichotomen Kategorienbildung (0…nicht exponiert, 1…exponiert), dann ergibt sich:

$$\pi_{1y} = 1 - \pi_{0y} = \frac{\pi_{1y}^* + SP_y - 1}{SE_y + SP_y - 1} \quad y = 0,1 \qquad (3)$$

Den zweiten Index y=0,1 verwenden wir zur Bezeichnung von Kontrollen (y=0) und Fällen (y=1). SP bezeichnet die Spezifität und SE die Sensitivität.

Aus Gleichung 3 folgt die Formel (4) für die unverzerrte Odds-Ratio $\psi$ als Schätzer des relativen Risikos:

$$\Psi = \frac{\pi_{11}^* + SP_1 - 1}{\pi_{01}^* + SE_1 - 1} \frac{\pi_{00}^* + SE_0 - 1}{\pi_{10}^* + SP_0 - 1} \qquad (4)$$

Die Formeln (3) begrenzen auch die Werte der Sensitivität und Spezifität nach unten, weil die Häufigkeiten $\pi_{iy}$ natürlich größer als Null sein müssen. Berechnet man das Integral über alle möglichen Werte, die die ‚wahre' Odds-Ratio annehmen könnte, wenn die Sensitivität und Spezifität (differenziell oder nicht-differenziell) Werte im erlaubten Bereich annehmen, dann kann man den durchschnittlichen Fehlerfaktor ermitteln. Dieser beträgt 2,25. Das bedeutet, dass es deutlich wahrscheinlicher ist, dass eine Fehlklassifikation das Risiko unterschätzt hat, als dass eine Überschätzung aufgetreten ist. In Tabelle 3 sind für einige Kombinationen von Sensitivität und Spezifität die Auswirkungen auf den Risikoschätzer und das attribuierbare Risiko dargestellt. Es gibt nur sehr extreme Umstände, unter denen aufgrund einer differenziellen Fehlklassifikation der Risikoschätzer abnehmen würde: Das tritt auf, wenn die Spezifität bei den

Kontrollen höher und die Sensitivität gleichzeitig niedriger ist. Die Tabelle zeigt aber insbesondere, dass bei starken Fehlklassifikationen das Risiko stark ansteigen und mehr als die Hälfte der Fälle kindlicher Leukämie expositionsbedingt sein können, wenn man nur annimmt, dass unter den Personen, die im Durchschnitt geringeren Werten als 0,1 µT ausgesetzt sind, in Wahrheit ein hoher Anteil exponierter (gegenüber dem relevanten Aspekt des Magnetfelds) verborgen ist.

**Tabelle 3: Schätzung der wahren Odds-Ratio (OR) und 95% Konfidenzintervall (KI) und des attribuierbaren Populationsanteil (PAF), falls der Cutoff und die Messung der durchschnittlichen magnetischen Flussdichte eine Fehlklassifikation mit bestimmter Sensitivität und Spezifität bezogen auf die wahre Exposition darstellt. Zugrunde gelegt wurden die Daten der gepoolten Analyse von Ahlbom et al. (2000)**

| Fälle | | Kontrollen | | Sensitivität | | Spezifität | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| + | - | + | - | Fälle | Kontr, | Fälle | Kontr, | OR | 95% KI | PAF (%) |
| Nicht-differenziell | | | | | | | | | | |
| 359 | 1842 | 395 | 3152 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,56 | 1,33 - 1,81 | 5,8 |
| 174 | 2027 | 50 | 3497 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 5,94 | 4,32 - 8,17 | 6,6 |
| 232 | 1970 | 67 | 3480 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 6,09 | 4,62 - 8,04 | 8,8 |
| 347 | 1854 | 101 | 3446 | 0,5 | 0,5 | 0,9 | 0,9 | 6,41 | 5,10 - 8,06 | 13,3 |
| 695 | 1507 | 202 | 3346 | 0,3 | 0,3 | 0,9 | 0,9 | 7,65 | 6,47 - 9,06 | 27,4 |
| 1389 | 812 | 403 | 3144 | 0,2 | 0,2 | 0,9 | 0,9 | 13,35 | 11,66 - 15,28 | 58,4 |
| Differenziell | | | | | | | | | | |
| 399 | 1802 | 395 | 3152 | 0,9 | 1 | 1 | 1 | 1,77 | 1,52 - 2,05 | 7,9 |
| 513 | 1688 | 395 | 3152 | 0,7 | 1 | 1 | 1 | 2,42 | 2,10 - 2,80 | 13,7 |
| 359 | 1842 | 202 | 3346 | 1 | 0,3 | 1 | 0,9 | 3,24 | 2,70 - 3,88 | 11,3 |
| 695 | 1507 | 395 | 3152 | 0,3 | 1 | 0,9 | 1 | 3,68 | 3,20 - 4,22 | 23,0 |
| 718 | 1483 | 395 | 3152 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 3,86 | 3,37 - 4,43 | 24,2 |
| 359 | 1842 | 101 | 3446 | 1 | 0,5 | 1 | 0,9 | 6,67 | 5,31 - 8,37 | 13,9 |
| 232 | 1970 | 50 | 3497 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 8,16 | 5,99 - 11,12 | 9,2 |
| 1197 | 1004 | 395 | 3152 | 0,3 | 1 | 1 | 1 | 9,51 | 8,31 - 10,87 | 48,7 |
| 347 | 1854 | 67 | 3480 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 9,71 | 7,43 - 12,68 | 14,2 |
| 359 | 1842 | 67 | 3480 | 1 | 0,7 | 1 | 0,9 | 10,10 | 7,73 - 13,18 | 14,7 |
| 347 | 1854 | 50 | 3497 | 0,5 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 13,00 | 9,62 - 17,57 | 14,6 |
| 359 | 1842 | 50 | 3497 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | 13,53 | 10,02 - 18,27 | 15,1 |
| 1389 | 812 | 395 | 3152 | 0,2 | 1 | 0,9 | 1 | 13,65 | 11,92 - 15,64 | 58,5 |
| 359 | 1842 | 45 | 3502 | 1 | 1 | 1 | 0,9 | 15,24 | 11,12 - 20,90 | 15,2 |
| 1389 | 812 | 202 | 3346 | 0,2 | 0,3 | 0,9 | 0,9 | 28,40 | 24,05 - 33,54 | 60,9 |
| 695 | 1507 | 50 | 3497 | 0,3 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 32,00 | 23,89 - 42,86 | 30,6 |
| 1795 | 406 | 395 | 3152 | 0,2 | 1 | 1 | 1 | 35,28 | 30,36 - 41,00 | 79,2 |
| 1389 | 812 | 101 | 3446 | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 0,9 | 58,51 | 47,14 - 72,63 | 62,0 |
| 1389 | 812 | 67 | 3480 | 0,2 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 88,62 | 68,57 - 114,54 | 62,4 |
| 1389 | 812 | 50 | 3497 | 0,2 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 118,74 | 88,73 - 158,89 | 62,6 |

Betrachtet man die epidemiologische Evidenz, dann ergibt sich, dass ein Zusammenhang zwischen kindlicher Leukämie und NF-MF besteht, der eher bisher unterschätzt wurde und wegen der Beobachtung, dass dieser Effekt nicht auf einzelne Regionen und methodische Ansätze beschränkt ist, kausal interpretiert werden kann. Da die Diskussion möglicher Fehler und Störfaktoren ergibt, dass diese den beobachteten Zusammenhang nicht erklären können, sondern eher eine Unterschätzung des Risikos auftrat, ist diese kausale Interpretation uneingeschränkt möglich. Obwohl in vitro Untersuchungen und Tierversuche bislang keine eindeutige Unterstützung der epidemiologischen Befunde ergeben haben, schränkt das die Aussagekraft der epidemiologischen Untersuchungen nicht ein. Die außerordentlichen Schwierigkeiten solcher Untersuchungen lassen es unwahrscheinlich erscheinen, dass in absehbarer Zukunft eine solche Unterstützung vorhanden sein wird.

### *3.3 Neurodegenerative Erkrankungen*

Im Folgenden werden die im Zusammenhang mit EMF am gründlichsten untersuchten neurodegenerativen Erkrankungen dargestellt: Das sind die Demenzerkrankungen und speziell die Alzheimer Krankheit (AK) sowie die Motoneuronerkrankungen und dabei speziell die amyotrophe Lateralsklerose (ALS).

Die erste Veröffentlichung, die einen Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Elektrizität diskutiert hat, berichtete von einer Untersuchung aus der Schweiz (Haynal & Regli 1964), in der unter ALS Patienten eine etwa viermal so hohe Zahl von Personen ermittelt wurde, die beruflich Kontakt mit Elektrizität hatten wie bei Kontrollpersonen mit anderen neurologischen Erkrankungen. Diese Beobachtung wurde lange nicht weiter beachtet, bis 17 Jahre später eine japanische Studie einen Aspekt der Schweizer Studie wieder aufgriff: Haynal und Regli (1964) hatten vermutet, dass das erhöhte Risiko mit dem Auftreten von Elektrotraumata („Elektrisierungen“) in Verbindung steht, weshalb in den Untersuchungen aus Japan vorrangig elektrische Schocks behandelt wurden (Kondo & Tsubaki 1981). In den zwei von Kondo und Tsubaki (1981) berichteten Untersuchungen, wurde nur bei einer ein für die allgemeinere Frage eines Zusammenhangs mit der Exposition gegenüber NF-MF relevante

Methode verwendet. Beruflicher Kontakt mit Elektrizität war bei ALS Patienten geringfügig häufiger, insgesamt aber nur bei 3 von 458 Männern aufgetreten. Erst ab der Mitte der 1980er Jahre wurde die Frage eines Zusammenhangs neurodegenerativer Erkrankungen mit der Exposition gegenüber NF-MF unter Anwendung angemessener epidemiologischer Methoden behandelt, wobei allerdings einige Untersuchungen noch eher explorativen Charakter hatten. Die große Mehrheit der Untersuchungen ist der Exposition am Arbeitsplatz gewidmet, wobei teilweise umfangreiche Messserien zugrunde gelegt wurden und mittels sogenannter Job-Expositions-Matrizen (JEM) eine Zuordnung zwischen Beruf bzw. Tätigkeitsbereich und durchschnittlichen Expositionen über eine Arbeitsschicht hergestellt wird, und so Angaben über durchschnittliche oder kumulative Expositionen in Einheiten der magnetischen Flussdichte gemacht werden können. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die vorliegenden Untersuchungen.

Eine Meta-Analyse zum Zusammenhang zwischen ALS und NF-EMF bei beruflicher Exposition wurde von Zhou et al. (2012) vorgelegt. Die Autoren kommen zum Schluss: „Although there are potential limitations from study selection bias, exposure misclassification, and the confounding effect of individual studies in this meta-analysis, our data suggest a slight but significant ALS risk increase among those with job titles related to relatively high levels of ELF-EMF exposure. Since the magnitude of estimated RR was relatively small, we cannot deny the possibility of potential biases at work." (Obwohl es mögliche Einschränkungen durch Selektionsfehler, Expositionsfehlqualifikation und Störfaktoren in einzelnen Studien dieser Meta-Analyse gibt, weisen unsere Daten auf ein leicht aber signifikant erhöhtes ALS Risiko bei Personen mit Berufstätigkeiten, die mit relativ hohen NF-EMF Expositionen einhergehen, hin. Da die Höhe des geschätzten relativen Risikos relativ klein war, können wir die Möglichkeit von Fehlern nicht leugnen). Tatsächlich zeigen genauere Analysen, dass es Unterschiede in Abhängigkeit von der Art der Expositionsermittlung, der Diagnosequelle und anderen Studienkenndaten gibt. Manche dieser Fehlerquellen, wie etwa die Expositionsfehlklassifikation, sind mit einer Unterschätzung des Risikos verbunden, andere, z.B. bestimmte Selektionsfehler, mit einer Überschätzung.

Eine weitere Metanalyse wurde von Vergara et al. 2013 veröffentlicht, sie ist dem Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber NF-EMF und neurodegenerativen Erkrankungen gewidmet. Unter berücksichtigen von 42 Publikationen fassen die Autoren ihr Ergebnis wie folgt zusammen:

**Tabelle 4: Übersicht über Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und neurodegenerativen Erkrankungen. Die Spalte ‚Fallzahl' gibt die Zahl der Fälle und Kontrollen bei Fall-Kontroll Studien und die Zahl der Erkrankungs- bzw. Todesfälle bei Kohortenstudien an.**

| Studie | Jahr | Diagnose | Land | Studientyp | Expositionsermittlung | Ergebnistyp | Kontrollen | Fallzahl | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Deapen & Henderson** | 1986 | ALS | USA | Fall-Kontroll | Berufsbezeichnung | Prävalenz | Bekannte/Kollegen etc. | 518/518 | Beruflich |
| **Gunnarsson et al** | 1991 | ALS | Schweden | Fall-Kontroll | Berufsbezeichnung | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 1961/2245 | Elektriker |
| **Gunnarsson et al** | 1992 | MNE | Schweden | Fall-Kontroll | Berufsbezeichnung | Prävalenz | Pers.ohne neurol.E. | 92/372 | Beruflich |
| **Sobel et al** | 1995 | Alzh. | Finnland | Fall-Kontroll | Expertenrating | Prävalenz | VAD | 52/70 | mittel und hoch |
| | | Alzh. | Finnland | Fall-Kontroll | Expertenrating | Prävalenz | Spitalpatienten | 198/289 | mittel und hoch |
| | | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | Expertenrating | Prävalenz | Gesunde | 126/106 | mittel und hoch |
| **Sobel et al** | 1996 | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | Expertenrating | Prävalenz | nonVAD | 326/152 | mittel und hoch |
| **Strickland et al** | 1996 | ALS | USA | Fall-Kontroll | Berufsbezeichnung | Prävalenz | Gesunde/Pat. | 25/50 | Schweißen und Galvanisieren |
| **Davanipour et al** | 1997 | ALS | USA | Fall-Kontroll | JEM | Prävalenz | Gesunde Verwandte | 28/32 | ≥20 Jahre Summe >Md |
| **Feychting et al** | 1998 | Demenz | Schweden | Fall-Kontroll | JEM | Prävalenz | Zwillinge | 77/466 | ≥0,2 µT <75 Jahre |
| | | Alzh. | Schweden | Fall-Kontroll | JEM | Prävalenz | Zwillinge | 55/466 | ≥0,2 µT <75 Jahre |
| **Savitz et al** | 1998a | Alzh. | USA | Kohorte | Arbeitsplatzmessungen | Mortalität | - | 24 | ≥20 Jahre tätig |
| | | ALS | USA | Kohorte | Arbeitsplatzmessungen | Mortalität | - | 28 | ≥20 Jahre tätig |
| **Savitz et al** | 1998b | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | Berufsbezeichnung | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 256/768 | Elektr.Beruf |
| | | ALS | USA | Fall-Kontroll | Berufsbezeichnung | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 114/342 | Elektr.Beruf |
| **Graves et al** | 1999 | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | JEM | Inzidenz | Gesunde | 89/89 | >Md |
| **Johansen** | 2000 | sen.Demenz | Dänemark | Kohorte | JEM | Inzidenz | - | 122 | ≥1 µT |
| | | MNE | Dänemark | Kohorte | JEM | Inzidenz | - | 20 | ≥1 µT |
| **Noonan et al** | 2002 | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | JEM | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 1556/1556 | wahrsch. od sicher |
| | | ALS | USA | Fall-Kontroll | JEM | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 312/1248 | wahrsch. od sicher |
| **Feychting et al** | 2003 | Alzh. | Schweden | Kohorte | JEM | Mortalität | - | 178 | ≥0,5 µT |
| | | ALS | Schweden | Kohorte | JEM | Mortalität | - | 227 | ≥0,5 µT |
| **Hakansson et al** | 2003 | Alzh. | Schweden | Kohorte | JEM | Mortalität | - | 40 | ≥0,53 µT |
| | | ALS | Schweden | Kohorte | JEM | Mortalität | - | 97 | ≥0,53 µT |
| **Harmanci et al** | 2003 | Alzh. | Türkei | Fall-Kontroll | JEM | Inzidenz | Gesunde | 57/127 | hoch |

| Studie | Jahr | Diagnose | Land | Studientyp | Expositionsermittlung | Ergebnistyp | Kontrollen | Fallzahl | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Alzh. | Türkei | Fall-Kontroll | Elektr-Heizung | Inzidenz | Gesunde | 57/127 | elektr.Heizung |
| **Qiu et al** | 2004 | Alzh. | Schweden | Kohorte | JEM | Inzidenz | - | 202 | ≥0,2 µT |
| **Park et al** | 2005 | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | JEM | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 47783/2392040 | ≥0,9 µT |
| | | Präsen. Demenz | USA | Fall-Kontroll | JEM | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 27374/2392040 | ≥0,9 µT |
| | | MNE | USA | Fall-Kontroll | JEM | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 6347/2392040 | ≥0,9 µT |
| | | MNE <65 a | USA | Fall-Kontroll | JEM | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 2120/626683 | ≥0,9 µT |
| **Weisskopf et al** | 2005 | ALS | USA | Kohorte | Berufsbezeichnung | Mortalität | - | 10 | Techniker männlich |
| | | ALS | USA | Kohorte | Berufsbezeichnung | Mortalität | - | 8 | Elektriker |
| **Davanipour et al** | 2007 | Alzh. | USA | Fall-Kontroll | JEM | Prävalenz | nonVAD | 1763/404 | mittel und hoch |
| **Röösli et al** | 2007 | Alzh. | Schweiz | Kohorte | Arbeitsplatzmessungen | Mortalität | - | 25 | >Md µT-Jahre |
| | | Demenz | Schweiz | Kohorte | Arbeitsplatzmessungen | Mortalität | . | 61 | >Md µT-Jahre |
| | | ALS | Schweiz | Kohorte | Arbeitsplatzmessungen | Mortalität | . | 15 | >Md µT-Jahre |
| **Seidler et al** | 2007 | Alzh. | BRD | Fall-Kontroll | Expertenrating | Prävalenz | Gesunde und Patienten ohne Demenz | 108/222 | >1 µT |
| | | Demenz | BRD | Fall-Kontroll | Expertenrating | Prävalenz | Gesunde und Patienten ohne Demenz | 195/222 | >1 µT |
| **Sorahan & Kheifets** | 2007 | Alzh. | England, Wales | Kohorte | Messungen | Mortalität | - | 47 | >20µT-Jahre, 10 Jahre Lag1) |
| | | MNE | England, Wales | Kohorte | Messungen | Mortalität | - | 62 | >20µT-Jahre, 10 Jahre Lag1) |
| **Huss et al** | 2009 | Alzh. | Schweiz | Kohorte | Entfernung zu HSL | Mortalität | - | 9228 | <50 m mind. 15 Jahre |
| | | ALS | Schweiz | Kohorte | Entfernung zu HSL | Mortalität | - | 744 | 50-200 m mind. 15 Jahre |
| **Fang et al** | 2009 | ALS | USA | Fall-Kontroll | Arbeitsplatzexposition | Prävalenz | Gesunde | 109/253 | Arbeit mit elektrischem/ elektronischem Gerät |
| **Andel et al** | 2010 | Alzh. | Schweden | Fall-Kontroll | JEM | Prävalenz | Gesunde | 141/9292 | >0,2 µT |
| | | Präsen. Demenz | Schweden | Fall-Kontroll | JEM | Prävalenz | Gesunde | 87/9292 | >0,2 µT |
| **Marcilio et al** | 2011 | ALS | Brasilien | Fall-Kontroll | Berechnungen | Mortalität | TF ohne neurol.E. | 367 | 50-100 m Entfernung |
| **Parlett et al** | 2011 | MNE | USA | Kohorte | Messungen | Mortalität | - | 60 | ≥0,155 µT |
| **Frei et al** | 2013 | Alzh. | Dänemark | Fall-Kontroll | Entfernung zu HSL | Inzidenz | Andere Erkrankungen | 20575/113217 | <50 m |

| Studie | Jahr | Diagnose | Land | Studientyp | Expositionsermittlung | Ergebnistyp | Kontrollen | Fallzahl | Exposition |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ALS | Dänemark | Fall-Kontroll | Entfernung zu HSL | Inzidenz | Andere Erkrankungen | 2990/14996 | <50 m |
| **Huss et al** | 2014 | ALS | Schweiz | Kohorte | JEM | Mortalität | - | | mittel und hoch |
| **Sorahan & Mohammed** | 2014 | Alzh. | England, Wales | Kohorte | Messungen | Mortalität | - | 170 | >20µT-Jahre, 10 Jahre Lag[1)] |
| | | MNE | England, Wales | Kohorte | Messungen | Mortalität | - | 86 | >20µT-Jahre, 10 Jahre Lag[1)] |

Alzh…Alzheimer Krankheit; ALS…Amyotrophe Lateralsklerose; MNE…Motoneuronerkrankungen; JEM…Job-Exposition-Matrix; HSL…Hochspannungsleitung; TF…Todesfall; VAD…vaskuläre Demenz; nonVAD…nicht-vaskuläre Demenz

[1)] Lag=Zeitverschiebung, um die lange Entwicklungsdauer der Krankheit zu berücksichtigen (d.h. Expositionen werden nur bis zu dem Lag vor der Exposition herangezogen, um die kumulative Exposition zu berechnen)

“Our results do not support MF as the explanation for observed associations between occupational titles and MND. Disease misclassification, particularly for AD, and imprecise exposure assessment affected most studies.” (Unsere Ergebnisse unterstützen die Annahme nicht, dass Magnetfelder die Erklärung für die beobachtete Beziehung zwischen Berufstätigkeiten und Motoneuronerkrankungen darstellen. Diagnosefehler, insbesondere bei der Alzheimer Erkrankung, und ungenaue Expositionsermittlung beeinträchtigten die meisten Untersuchungen). Diese Einschätzung geht teilweise darauf zurück, dass die Autoren Studien eingeschlossen haben, die kaum oder gar keine Einschätzung der Exposition gegenüber NF-EMF aufgrund der Berufsklassifikation erlauben. Es ist aber richtig, dass Expositions- und Krankheitsfehlklassifikation bei vielen Untersuchungen vorliegen. Allerdings ist aufgrund des Ursprungs der Fehlklassifikation eine Überschätzung des Risikos praktisch auszuschließen. Insbesondere bei der Expositionsfehlklassifikation ist aufgrund der vollkommen gleichartigen Anwendung der Zuordnung für Fälle und Kontrollen davon auszugehen, dass eine nicht-differenzielle Fehlklassifikation vorliegt, die zu einer Unterschätzung des Risikos führt.

Wir haben die vorliegenden Untersuchungen neuerlich einer Metaanalyse unterzogen. Dabei haben wir Untersuchungen ausgeschlossen, bei denen aufgrund der Berufsbezeichnung alleine keine Annahme über die Exposition gegenüber NF-EMF möglich ist. Obwohl die größte Zahl der Untersuchungen zu beruflicher Exposition vorliegt, haben wir auch Untersuchungen zur Exposition in der Nähe von Hochspannungsleitungen eingeschlossen. Berufliche Expositionen waren in vielen Untersuchungen durchaus im Bereich der Expositionen, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen auftreten können (z.B. Werte über 0,2 µT, wie sie in etlichen Untersuchungen als Cut-off für höhere berufliche Exposition verwendet wurden). Bei den Untersuchungen haben wir jeweils jene Expositionskategorie(n) ausgewählt (falls mehrere vorlagen), die der höchsten Exposition entspricht und falls vorhanden eine Lag-Periode zwischen Exposition und Diagnose berücksichtigt (Details sind Tabelle 4 zu entnehmen). Bei Aufgliederungen nach beruflichen Tätigkeiten oder Berufsbezeichnungen haben wir jene ausgewählt, die bei Arbeitsplatzmessungen überdurchschnittlich hohe Expositionen ergeben haben, sofern von den Autoren nicht bereits eine solche Einschätzung vorgenommen worden war. Die Metaanalyse wurde mittels Stata12 durchgeführt, wobei wir sowohl das Modell mit fixen Effekten als auch mit Zufallseffekten nach DerSimonian-Laird angewendet haben. Die Analyse wurde stratifiziert

nach der Erkrankung (Demenz oder Alzheimer sowie MNE oder ALS) vorgenommen. Eine weitere Stratifizierung erfolgte nach der Art des Endpunkts in Prävalenz, Inzidenz oder Mortalität.

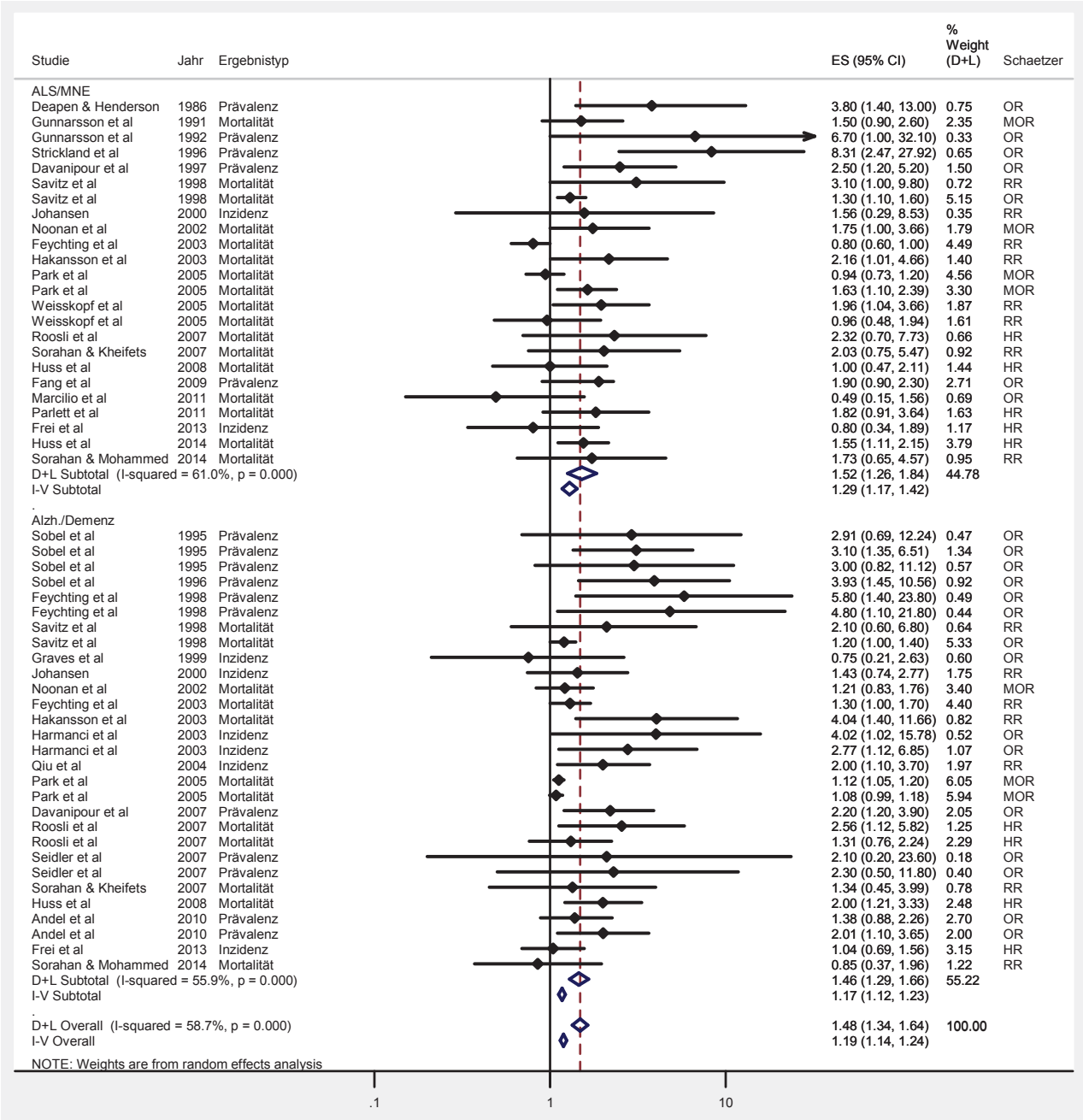



**Abb. 1: Forrest Plot der Studien zum Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber NF-EMF und Alzheimer/Demenz sowie MNE/ALS. Effektschätzer des relativen Risikos nach dem Modell fixer und zufälliger Effekte sind jeweils am Ende angegeben.**

Die Stratifizierung der Ergebnisse nach dem Typ des Endpunkts zeigt Abb. 2.

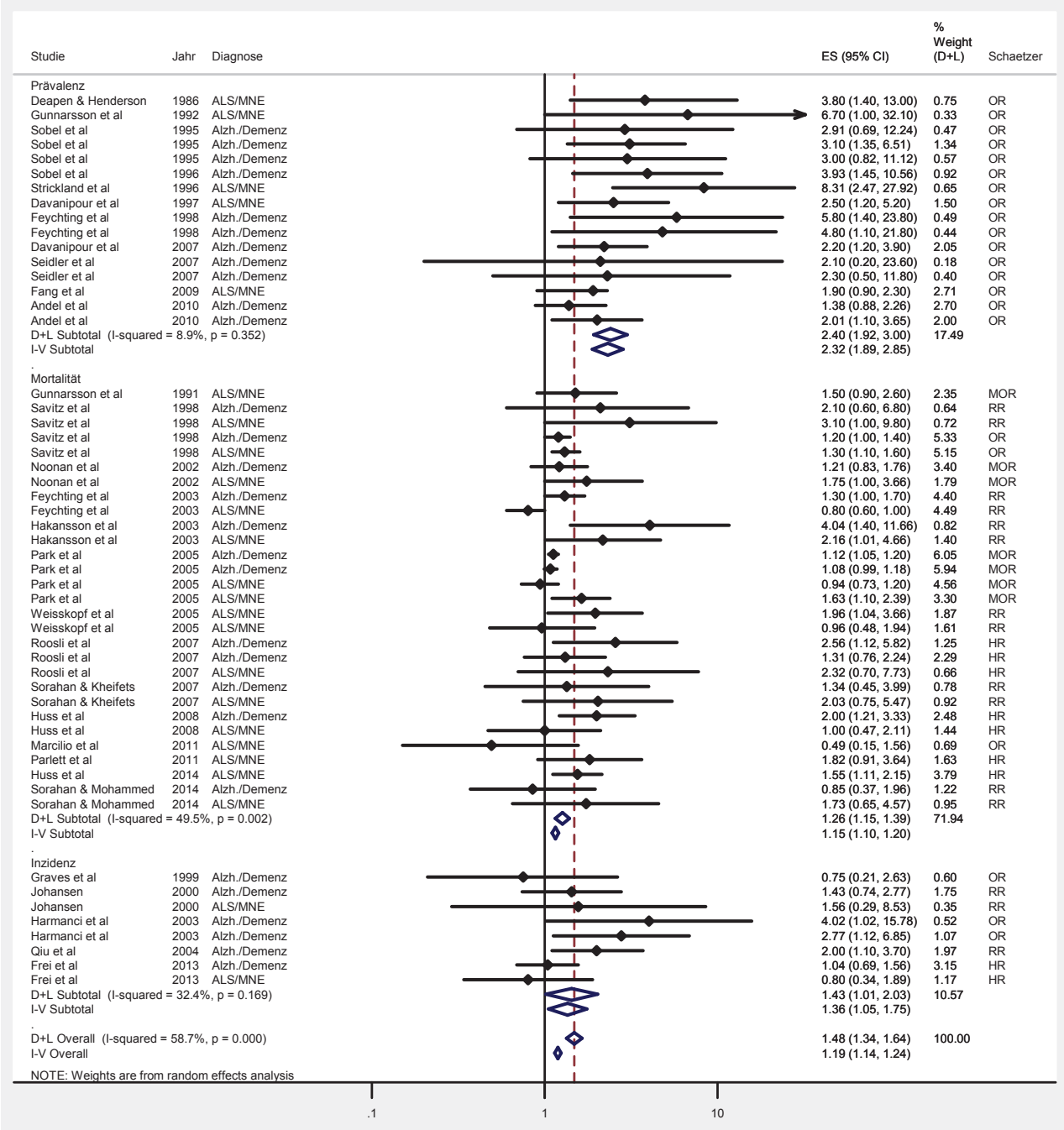



**Abb. 2: Forrest Plot der Studien zum Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber NF-EMF und Alzheimer/Demenz und MNE/ALS nach Art des Endpunkts (Prävalenz, Mortalität, Inzidenz). Effektschätzer des relativen Risikos nach dem Modell fixer und zufälliger Effekte sind jeweils am Ende angegeben.**

Abb. 1 zeigt, dass die Gesamtschätzungen des relativen Risikos für Alzheimer/Demenz und MNE/ALS praktisch identisch sind: Alzheimer/Demenz 1,46 [1,29 – 1,66] und MNE/ALS 1,52 [1,26 – 1,84]. Das heißt, eine hohe Exposition gegenüber NF-EMF ist mit einer etwa 50%-igen Erhöhung des Risikos verbunden. Die Untersuchung der Homogenität des Effektes zeigt, dass mit $I^2$ von 56% bzw. 61% eine Heterogenität der Ergebnisse zwischen den Studien zu verzeichnen ist, die man als mäßig ausgeprägt bezeichnen kann.

Die praktisch identischen meta-analytischen Effektschätzer für die Endpunkte Alzheimer/Demenz und MNE/ALS erlaubt es, eine Stratifizierung nach dem Typ des Endpunkts (d.h. ob es sich um prävalente, inzidente oder verstorbene Fälle handelt, die untersucht wurden) ungeachtet der Erkrankung vorzunehmen. Diese Stratifizierung zeigt, dass die wesentliche Quelle der Heterogenität in der Selektion der Fälle liegt. Während bei der Selektion von inzidenten und prävalenten Fällen keine signifikante Heterogenität zu verzeichnen ist, treten bei der Wahl verstorbener Fälle deutliche Ergebnisunterschiede auf. Tatsächlich wurde sehr unterschiedlich vorgegangen, um verstorbene Fälle zu selektieren. Es wurde teilweise die Haupttodesursache, teilweise die Haupt- und Nebentodesursache und teilweise jede Erwähnung der Zielerkrankung auf dem Totenschein herangezogen. Weitere Unterschiede betreffen die Untersuchungspopulation und den Untersuchungstyp (Fall-Kontroll-, Kohorten- und Zwillingsstudien).

Zur Exposition in der Nähe von Hochspannungsleitungen gibt es nur zwei Untersuchungen zur Alzheimer Krankheit (Huss et al. 2009; Frei et al. 2013). Sie ergaben für Entfernungen von <50 m von >200 kV Hochspannungsleitungen nahezu identische Risikoschätzer: Huss et al. 1,24 [0,80 – 1,92]; Frei et al. 1,31 [0,50 – 3,46], obwohl Huss et al. Mortalitätsdaten und Frei et al. Inzidenzdaten analysierten. Eine Subgruppenanalyse zeigte, dass im Falle der Schweizer Studie von Huss et al. ein signifikant erhöhtes Risiko bei Wohndauern ≥15 Jahren auftrat: 2,00 [1,21 -3,33]. Ein solcher Trend war in der dänischen Untersuchung von Frei et al. nicht zu erkennen, aber es wurden auch nur Wohndauern ≥10 Jahre differenziert. Allerdings fand sich in der dänischen Studie ein erhöhtes Risiko für eine Diagnose in jüngerem Alter (65-75 Jahre) und nach 2003 (also mit bereits besserer Abgrenzung von anderen Formen der Demenz): 2,59 [1,17- 5,76].

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Metaanalyse aller Studien im Überblick. Sowohl für Alzheimer/Demenz als auch für ALS/MNE ergab sich ein hoch-signifikant erhöhtes Risiko. Allerdings trat auch eine moderate Heterogenität zwischen den Studien auf. In Tabelle 6 wird das Ergebnis der Heterogenitätsprüfung nach Ergebnistyp dargestellt, woraus hervorgeht, dass die Heterogenität im Wesentlichen auf den Mortalitätsstudien beruht. Wie oben dargestellt, wurden diese Untersuchungen mit unterschiedlichen Definitionen der Fälle und sehr unterschiedlichen Designs durchgeführt. Außerdem gab es bei diesen Untersuchungen auch deutliche Hinweise auf einen Publikationsbias. Es fehlen Untersuchungen mit kleinen Fallzahlen, die kein erhöhtes Risiko finden (siehe Abb. 3).

**Tabelle 5: Zusammenfassung der Metaanalyse aller Untersuchungen zur Exposition gegenüber NF-EMF am Arbeitsplatz und im Wohnbereich aufgegliedert nach Erkrankung**

| Erkrankung | Modell | RR | 95% Konf.interv. | p-Wert | $I^2$ | Heterogenität p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALS/MNE** | D-L | 1,52 | 1,26 – 1,84 | <0,001 | 61,0% | <0,001 |
| | F | 1,29 | 1,17 – 1,42 | | | |
| **Alzheimer/Demenz** | D-L | 1,46 | 1,29 – 1,66 | <0,001 | 55,9% | <0,001 |
| | F | 1,17 | 1,12 – 1,23 | | | |

RR…Schätzer des relativen Risikos, D-L…Schätzung nach DerSimonian-Laird, F…Schätzung nach Modell fixer Effekte, $I^2$…Heterogenität in %, ALS…Amyotrophe Lateralsklerose, MNE…Motoneuronerkrankung

**Tabelle 6: Zusammenfassung der Metaanalyse aller Untersuchungen zur Exposition gegenüber NF-EMF am Arbeitsplatz und im Wohnbereich aufgegliedert nach Typ des Endpunkts**

| Typ des Endpunkts | Modell | RR | 95% Konf.interv. | p-Wert | $I^2$ | Heterogenität p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Inzidenz** | D-L | 1,48 | 1,34 – 1,64 | 0,043 | 32,4% | 0,169 |
| | F | 1,19 | 1,14 – 1,24 | | | |
| **Prävalenz** | D-L | 2,40 | 1,92 – 3,00 | <0,001 | 8,9% | 0,352 |
| | F | 2,32 | 1,89 – 2,85 | | | |
| **Mortalität** | D-L | 1,26 | 1,15 – 1,39 | <0,001 | 49.5% | 0,002 |
| | F | 1,15 | 1,10 – 1,20 | | | |

RR…Schätzer des relativen Risikos, D-L…Schätzung nach DerSimonian-Laird, F…Schätzung nach Modell fixer Effekte, $I^2$…Heterogenität in %

Bei der Betrachtung der Gesamtheit der vorliegenden Untersuchungen ergibt sich, dass trotz der unleugbaren methodischen Mängel und z.B. der Schwierigkeiten allein aufgrund von Angaben zum Beruf auf dem Totenschein oder ähnlicher Registerdaten die Exposition abzuschätzen, tatsächlich ein Zusammenhang zwischen Demenzerkrankungen und Motoneuronerkrankungen mit NF-EMF vorliegt. Die Vielzahl der Untersuchungen mit unterschiedlichen methodischen Vorgangsweisen, aus unterschiedlichen Regionen und über nahezu drei Jahrzehnte, die für ein erhöhtes Risiko sprechen, können nicht bloß durch Zufall oder Fehler erklärt werden, zumal die meisten der auszumachenden Fehler eher zu einer Unterschätzung des Risikos führen. Wir kommen daher zum Schluss, dass Zufall, Fehler und Störfaktoren den beobachteten Zusammenhang nicht erklären können. Da der Zusammenhang aber schwach ist, sollten andere Evidenzquellen vorhanden sein, um eine kausale Interpretation zu rechtfertigen.

Ein plausibler Mechanismus für den beobachteten Zusammenhang ist zumindest in Ansätzen vorhanden. Eine Schlüsselfunktion könnte spannungsgesteuerten Kalzium-Ionenkanälen in den Zellmembranen zukommen (Pall 2013). Einflüsse auf die Kalziumhomöostase durch NF-

MF sind seit langem bekannt (Bawin & Adey 1976; Blackman et al. 1985), diese Befunde bekommen durch neuere Forschung über den Einfluss von EMF insbesondere auf Kanäle des L-Typs eine neue Bedeutung.

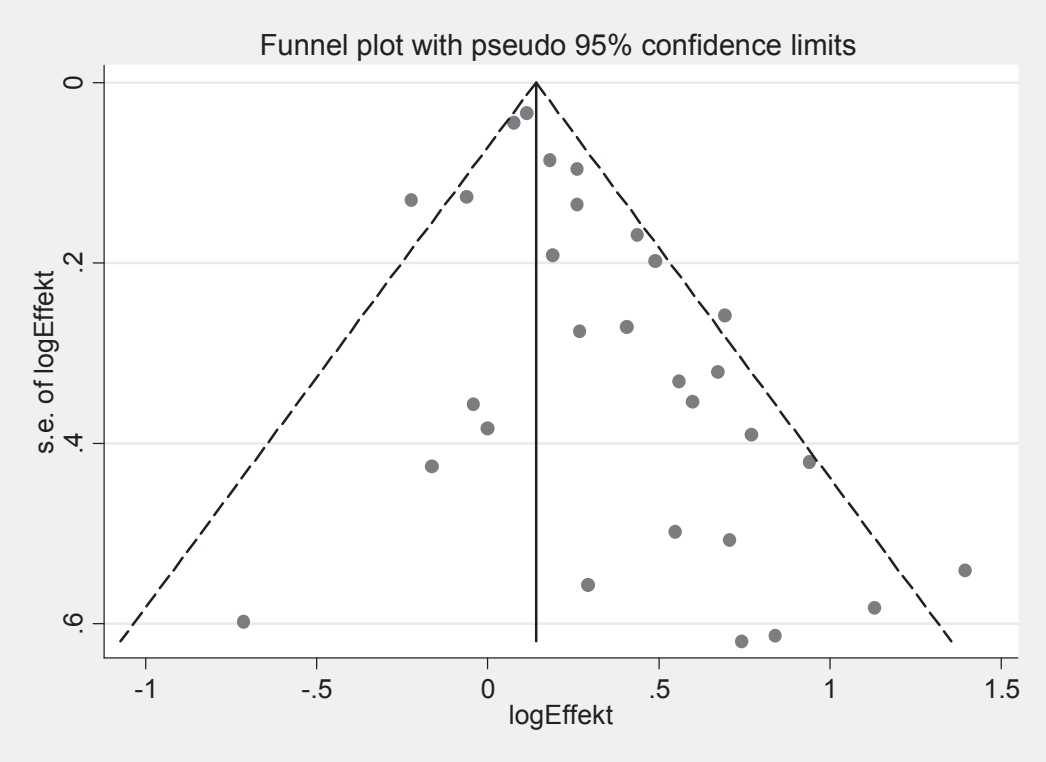



**Abb. 3: Funnel Plot der Studien zu neurodegenerativen Erkrankungen mit Mortalitätsdaten**

Eine Konsequenz der Beeinflussung von Kalzium-Kanälen könnte in der vermehrten Produktion von Peroxinitriten bestehen. Oxidativer Stress ist bei einer Vielzahl von pathologischen Prozessen beteiligt und insofern für eine spezifische, auf neurodegenerative Erkrankungen bezogene Hypothese nicht befriedigend. Allerdings zeigen Untersuchungen bei Arbeitnehmern von Elektrizitätswerken, die Expositionen unterschiedlicher Höhe ausgesetzt waren, dass in Abhängigkeit von der Höhe der Exposition (<0,05 µT als niedrigste Kategorie bis >0,2 µT als höchste Kategorie) das Verhältnis von Amyloid ß-42 zu -40 ansteigt (Noonan et al. 2002). In dieser Untersuchung wurde auch eine negative Korrelation der Aß-Ratio zur Konzentration des Melatoninmetaboliten 6-OH-Melatoninsulfat im Harn gefunden. Diese Resultate bieten einen brauchbaren Ansatz für eine mechanistische Hypothese zum Zusammenhang zwischen NF-MF und der Alzheimer Erkrankung. Bei Motoneuronerkrankungen gibt es zwar auch Hinweise, dass oxidativer Stress eine Rolle bei

der Entstehung oder Entwicklung spielt, aber die Ätiologie ist nicht genau genug erforscht, um die mögliche Rolle von NF-MF gezielt abklären zu können. In vitro Untersuchungen belegen, dass Zellen mit neuronaler Charakteristik (SH-SY5Y) bei Exposition gegenüber NF-MF rasch eine Genexpressionsänderung durchmachen und die NO-Synthase exprimiert wird sowie in der Folge Sauerstoffradikale ansteigen (Reale et al. 2014). Diese Befunde sprechen für eine Beteiligung von reaktiven Sauerstoffspezies bei NF-MF-bedingten Erkrankungen. Bei der Pathogenese könnte es darauf ankommen, in welchem Areal diese Reaktionen zuerst gesetzt wurden.

Trotz der noch vorliegenden Erkenntnislücken ergibt sich aus den epidemiologischen Untersuchungen unter Berücksichtigung der Evidenz aus Zelluntersuchungen und Biomonitoring eine kausale Interpretation. Chronische Exposition gegenüber NF-MF verschiebt das zelluläre Gleichgewicht in Richtung einer höheren Wahrscheinlichkeit des Auftretens von reaktiven Sauerstoffspezies. In Abhängigkeit vom betroffenen Zelltyp hat das Auswirkungen auf die Pathogenese unterschiedlicher neurodegenerativer Erkrankungen. Es gibt Hinweise, dass mit zunehmender Expositionsdauer die Expression von Antioxidantien in den Zellen zunimmt (Reale et al. 2014). Diese Befunde zusammen mit der Beobachtung von Intensitätsfenstern (Blackman et al. 1989) lassen erwarten, dass ein komplexer Zusammenhang zwischen ‚Dosis' (=Einwirkdauer * Intensität) und Wirkung besteht. Manche der Widersprüche in epidemiologischen und experimentellen Befunden könnten auf diese nicht-monotonen Beziehungen zurückgehen.

### *3.4 Wechselwirkung mit Luftschadstoffen*

Henshaw et al. (1996) und Fews et al. (1999a,b; 2002) haben die Hypothese vorgebracht, dass durch das elektrische Feld von Hochspannungsleitungen luftgetragene Schadstoffpartikel so verändert werden, dass ihre pathogene Wirkung verstärkt wird. Solche Schadstoffpartikel können biologischen Ursprungs sein, Erosionsprodukte darstellen, aus dem Untergrund stammen (z.B. Radon-Töchter), aus industriellen oder Verkehrsemissionen stammen usw. Partikel können eingeatmet werden, wobei ihre Deposition in den Atemwegen unter anderem von ihrer Ladung abhängt. Fews et al. (1999b) haben gezeigt, dass durch die Bildung von Korona-Ionen der Anteil geladener atembarer Partikel zunehmen kann. Es ist seit langem bekannt, dass bei elektrischen Potentialen von einigen 1000 V

Koronaentladungen auftreten, bei denen es zur Produktion von positiven und negativen Ionen kommt. Dazu kommt, dass diese geladenen Partikel im elektrischen Feld mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Schleimhaut impaktieren (Henshaw et al. 1996). Wolken von Korona-Ionen werden stetig vom Wind vertragen, und falls sich Lee-seitig Menschen aufhalten, können diese stärker von inhalativen Schadstoffpartikeln betroffen sein.

Wegen Schmutzablagerungen auf den Leitungen und unter feuchten Umgebungsbedingungen können solche Koronaentladungen kaum verhindert werden. Dementsprechend wurden Lee-seitig von Hochspannungsleitungen höhere Konzentrationen von Luftionen bis zu einigen Kilometern Abstand gefunden (Fews et al. 1999a, 2002; Swanson & Jeffers 1999; Bracken et al. 2005).

Die vom Wind abgewehten Korona-Ionen können ihre Ladung auf andere Luftpartikel abgeben, bzw. können zu größeren Partikeln kondensieren. Im Inneren von Gebäuden werden diese Partikel rasch an Oberflächen adsorbieren (insbesondere Kunststoffflächen). Trotzdem ist bei einer Kombination von hohen Feinstaub- und Luftschadstoffkonzentrationen mit Ionen aus Koronaentladungen eine Zunahme der Deposition in den Atemwegen und damit eine Verstärkung des pathologischen Effektes von Luftschadstoffen möglich. Besonders die Feinstaubfraktion < 1 µ ($PM_1$) könnte bis zu einem theoretischen Faktor des 10-fachen in den Atemwegen deponiert werden (AGNIR 2004). Beim Aufenthalt im Freien wird die Deposition etwas höher sein als in Innenräumen, aber da die Feinstaubpartikel nahezu ungehindert in Innenräume diffundieren, ist der Unterschied vermutlich nicht sehr groß.

Die Physik der Korona-Ionen und der Aerosolbildung und –verfrachtung ist so kompliziert, dass es derzeit nicht möglich ist, die Auswirkungen in der Nähe von Hochspannungsleitungen exakt abzuschätzen. Die bisherigen theoretischen Erwägungen und Messungen legen aber nahe, dass ein Anstieg der im Atemtrakt deponierten Schadstoffe Lee-seitig von Hochspannungsleitungen auftritt. Dabei ist es nicht möglich anzugeben, bis zu welcher Entfernung ein solcher Anstieg auftreten kann. Leider wurde bislang keine epidemiologische Untersuchung zur Prüfung dieser Hypothese der Wechselwirkung mit Luftschadstoffen publiziert. Eine von Preece und Hanshaw begonnene Untersuchung wurde leider nicht zu Ende geführt (persönliche Mitteilung Prof.Henshaw 30.5.2014).

# 4 Umwelthygienische und medizinische Bewertung

Die durchschnittlichen magnetischen Flussdichten an den 63 Messorten in den Wohnungen der Anrainer müssen im Kontext der im Messzeitraum vorhanden Belastung der 110 kV Leitung gesehen werden. Die Berechnungen der Flussdichten bei 100%, 60% und 30% des thermischen Grenzstroms legen nahe, dass die Leitung während des Messzeitraums bei weniger als 5% des thermischen Grenzstroms betrieben wurde.

Da die Messsituation offenbar nicht die typische Situation in der Umgebung der Hochspannungsleitung widerspiegelt, und da für Neuerrichtungen und Umbauten gemäß der Schweizer NISV (Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung), die auch in Österreich als Grundlage herangezogen wird (UBA 2012), als maßgeblicher Betriebszustand der Betrieb aller Leiterstränge mit ihrem thermische Grenzstrom bei 40 °C in der häufigsten Flussrichtung gilt, legen wir die Berechnungen der Immissionen in diesem Betriebszustand zugrunde. Für diesen Betriebszustand ist als Grenzwert für die magnetische Flussdichte 1 µT an Orten sensitiver Nutzung heranzuziehen.

Es besteht kein Zweifel, dass die gewählten Messpunkte Orte sensitiver Nutzung darstellen. Die Berechnungen ergaben, dass an allen Messorten außer einem der Grenzwert von 1 µT überschritten wird.

Die Überlegung bei der Einführung des Grenzwerts von 1 µT waren einerseits die technische Machbarkeit und andererseits die klaren Hinweise auf langfristige gesundheitliche Auswirkungen von NF-MF, die eine vorsorgeorientierte Vorgangsweise nicht nur rechtfertigen, sondern nach der Rechtslage in der Schweiz sogar verpflichtend machen. Dabei war die Ableitung dieses Wertes nicht direkt auf Basis von wissenschaftlichen Erkenntnissen vorgenommen worden, sondern beruhte pragmatisch auf der Anwendung eines Unsicherheitsfaktors von 100, der auf den Richtwert der ICNIRP (1998) für die Allgemeinbevölkerung angewandt wurde.

Wie wir dargestellt haben, ist bei einer Überschreitung der mittleren Leistungsflussdichte von 0,1 µT ein signifikant erhöhtes Risiko für die kindliche Leukämie anzunehmen. Die Auswirkungen einer Expositionsfehlklassifikation sind gegenüber dem sehr unwahrscheinlichen Auftreten von Störfaktoren sowie Verzerrungen durch Selektionsfehler so dominant, dass man von einer **Unterschätzung** des Risikos ausgehen muss. Dies bedeutet, dass eine durchschnittliche magnetische Flussdichte (nicht zu verwechseln mit der

Flussdichte beim thermischen Grenzstrom) von 0,1 µT nicht einen Grenzwert im Sinne einer formalen Ableitung darstellen kann, sondern pragmatisch als Beurteilungswert herangezogen wird.

Wegen der niedrigen Inzidenz der kindlichen Leukämie mit etwa 45 Fällen im Alter bis 15 Jahren pro Jahr in Österreich ist in dem gegenständlichen Bereich in Kottingbrunn, wenn man von einer Population von 100 Kindern im Alter unter 15 Jahre ausgeht, nur mit einem Fall etwa alle 270 Jahre zu rechnen. Daher ist unabhängig davon, wie hoch das Risiko ist, das Auftreten eines Falles durch Auswirkungen der Hochspannungsleitung mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit verbunden. Man kann jedoch eine solche Argumentation nicht gegen die Forderung nach Vorsorgemaßnahmen ins Treffen führen, weil die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Erkrankungsfalles einer seltenen Erkrankung an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt immer, also bei Betrachtung allen Schadfaktoren, gegen Null geht. Diese Art der Risikobetrachtung dient nur zu Vergleichszwecken bzw. zur orientierenden Veranschaulichung.

In der EU wird die Anwendung von Vorsorgemaßnahmen zumindest dann für notwendig angesehen, wenn mehr als 1 zusätzlicher Fall pro 100.000 oder 1.000.000 Exponierte über die Lebenszeit angenommen werden kann, je nachdem, ob es sich um eine heilbare oder nicht-heilbare Erkrankung handelt. Daher sind unabhängig davon, wie viele Personen exponiert sind, im Falle der Exposition gegenüber Hochspannungsleitungen Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen. Diese haben zum Ziel, dass durch diese Leitungen die Bevölkerung nicht über dem derzeit unvermeidbaren, bereits vorhandenen „elektromagnetischen Hintergrund“ exponiert wird. Das kann dadurch erreicht werden, dass entsprechende Korridore bei den Trassen eingehalten werden. Diese Korridore können bei Verlegung als Erdkabel schmäler sein, weil die magnetischen Flussdichten entlang der Erdkabelstränge deutlich niedriger sind.

Im Vergleich zur kindlichen Leukämie sind neurodegenerative und speziell Demenzerkrankungen sehr häufig. Tabelle 7 zeigt die mittlere Prävalenz (Häufigkeit von vorhandenen Erkrankungsfällen) nach Geschlecht und Altersgruppen. Etwa 50% bis 60% dieser Erkrankungen können als Alzheimer Demenzerkrankungen angenommen werden.

**Tabelle 7: Mittlere Prävalenz von Demenzerkrankungen nach EuroCoDe (2013) in % nach Geschlecht und Alter**

| Altersgruppe | Männer | Frauen | Insgesamt |
|---|---|---|---|
| **65-69** | 1,79 | 1,43 | 1,60 |
| **70-74** | 3,23 | 3,74 | 3,60 |
| **75-79** | 6,89 | 7,63 | 7,31 |
| **80-84** | 14,35 | 16,39 | 15,60 |
| **85-89** | 20,85 | 28,35 | 26,11 |
| **90+** | 29,18 | 44,17 | 40,95 |

Die jährliche Inzidenzrate (Anzahl von Neuerkrankungen) beträgt etwa 2% bei den über 65-jährigen Personen.

Wenn wir vom Ergebnis der von uns durchgeführten Metaanalyse ausgehen, dann ist mit einer etwa 50%igen Erhöhung des Risikos für die Alzheimer Demenz zu rechnen, wenn eine langfristige Exposition gegenüber höheren Niveaus von NF-MF erfolgt. Obwohl die Daten überwiegend aus beruflicher Exposition stammen, zeigen einerseits der Vergleich mit den Expositionswerten am Arbeitsplatz (z.B. häufig Werte von 0,2 µT als Cutoff) und andererseits die Ergebnisse von Untersuchungen der häuslichen Exposition, dass auch für die Situation in der Nähe von Hochspannungsleitungen von einer Risikoerhöhung in dieser Größenordnung auszugehen ist. Bei einer jährlichen Inzidenz von 1% bei den über 65-jährigen Personen bedeutet eine 50%ige Erhöhung der Inzidenz, dass bei 100 exponierten Personen durchschnittlich alle 2 Jahre eine zusätzliche Erkrankung auftreten wird.

Bei der Belastung der Bevölkerung im betroffenen Gebiet von Kottingbrunn ist neben der Exposition gegenüber NF-MF durch die Hochspannungsleitung auch die Nähe der Südautobahn zu berücksichtigen. Die lokalen Verkehrsemissionen können, wie wir dargestellt haben, durch die Korona-Ionen in ihrer Schadwirkung verstärkt werden. Obwohl diese Hypothese bisher nicht epidemiologisch geprüft ist, sind die Aerosol-physikalischen Daten ausreichend, um Vorsorgemaßnahmen zu unterstützen.

In der medizinischen Gesamtschau der vorgelegten Mess- und Berechnungsergebnisse kommen wir zum Schluss, dass selbst bei der offensichtlich nur geringen Auslastung der 110 kV Leitung durchschnittliche Expositionen auftreten, die mit einer Erhöhung gesundheitlicher Risiken verbunden sind. Bei einer stärkeren Nutzung ist mit Belastungen zu

rechnen, die den auch in Österreich für Beurteilungen maßgeblichen anlagenbezogenen Grenzwert der NISV bei weitem überschreiten.

Aus ärztlicher Sicht sind daher Maßnahmen zu ergreifen, die sicherstellen, dass der Grenzwert der NISV eingehalten wird und durchschnittliche Flussdichten unter 0,1 µT bleiben.

Assoz. Prof. DI. Dr. Hans-Peter Hutter

Ao. Univ. Prof. Dr. Michael Kundi

# 5 Literatur


Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 83:692– 698.

Andel R, Crowe M, Feychting M, et al. 2010. Work-related exposure to extremely low-frequency magnetic fields and dementia: results from the populationbased study of dementia in Swedish twins. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 65:1220–1227.

Bawin SM, Adey WR. 1976. Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency. Proc Natl Acad Sci USA. 73:1999–2003.

Bernard N, Alberdi AJ, Tanguy ML, Brugere H, Helissey P, Hubert C, Gendrey N, Guillosson JJ, Nafziger J. 2008. Assessing the potential leukemogenic effects of 50 Hz magnetic fields and their harmonics using an animal leukemia model. J Radiat Res.49(6):565-577.

BioInitiative (Sage C, Carpenter DO, Eds) 2007. A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation. BioInitiative Working Group 2007

BioInitiative (Sage C, Carpenter DO, Eds) 2012. A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation. BioInitiative Working Group 2012.

Blackman CF, Benane SG, House DE, Joines WT. 1985. Effects of ELF (1–120 Hz) and modulated (50 Hz) RF fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro Bioelectromagnetics. 6:1–11.

Blackman CF, Kinney LS, House DE, Joines WT. 1989. Multiple power density windows and their possible origin, Bioelectromagnetics 10:115-128.

Bracken TD, Senior RS, Bailey WH. 2005. DC electric fields from corona-generated space charge near AC transmission lines. IEEE Trans Power Delivery 20(2):1692-1702.

Bunch KJ, Keegan TJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. 2014.Residential distance at birth from overhead high-voltage powerlines: childhood cancer risk in Britain 1962-2008. Br J Cancer.110(5):1402-1408.

CDHS (California Department of Health Services). 2002. Evaluation of the Possible Risks from Electric and Magnetic Fields (EMFs) from Power Lines, Internal Wiring, Electrical Occupations and Appliances.

Davanipour Z, Sobel E, Bowman JD, Qian Z, Will AD. 1997. Amyotrophic lateral sclerosis and occupational exposure to electromagnetic fields. Bioelectromagnetics 18: 28–35.

Davanipour Z, Tseng CC, Lee PJ, Sobel E. 2007. A case-control study of occupational magnetic field exposure and Alzheimer's disease: results from the California Alzheimer's Disease Diagnosis and Treatment Centers. BMC Neurol. 7:13.

Deapen DM, Henderson BE. 1986. A case-control study of amyotrophic lateral sclerosis. Am J Epidemiol 123: 790–799.

Does M, Scélo G, Metayer C, Selvin S, Kavet R, Buffler P. 2011. Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia. Radiat Res 175(3):390-396

Fang F, Quinlan P, Ye W, et al. 2009. Workplace exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. Environ Health Perspect. 117(9):1387–1392.

Fews AP, Henshaw DL, Keitch PA, Close JJ, Wilding RJ. 1999a. Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines. Int J Radiat Biol.75(12):1505-1521.

Fews AP, Henshaw DL, Wilding RJ, Keitch PA. 1999b. Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols. Int J Radiat Biol. 75(12):1523-1531.

Fews AP, Wilding RJ, Keitch PA, Holden NK, Henshaw DL, 2002. Modification of atmospheric DC fields by space charge from high-voltage power lines, Atmosph Res. 63(3–4):271-289.

Feychting M, Jonsson F, Pedersen NL, Ahlbom A. 2003. Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. Epidemiology 14: 413–419; discussion 427–418.

Feychting M, Pedersen NL, Svedberg P, Floderus B, Gatz M. 1998. Dementia and occupational exposure to magnetic fields. Scand J Work Environ Health. 24:46–53.

Frei P, Poulsen AH, Mezei G, Pedersen C, Cronberg Salem L, Johansen C, Röösli M, Schüz J. 2013. Residential distance to high-voltage power lines and risk of neurodegenerative diseases: a Danish population-based case-control study. Am J Epidemiol. 177(9):970-978.

Graves AB, Rosner D, Echeverria D, Yost M, Larson EB. 1999. Occupational exposure to electromagnetic fields and Alzheimer disease. Alzheimer Dis Assoc Disord. 13:165–170.

Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood Leukemia–EMF Study Group. Epidemiol 11:624–634.

Gunnarsson LG, Bodin L, Soderfeldt B, Axelson O. 1992. A case-control study of motor neurone disease: its relation to heritability, and occupational exposures, particularly to solvents. Br J Ind Med 49: 791–798.

Gunnarsson LG, Lindberg G, Soderfeldt B, Axelson O. 1991. Amyotrophic lateral sclerosis in Sweden in relation to occupation. Acta Neurol Scand 83: 394– 398.

Hakansson N, Gustavsson P, Johansen C, Floderus B. 2003. Neurodegenerative diseases in welders and other workers exposed to high levels of magnetic fields. Epidemiology 14: 420–426.

Harmanci H, Emre M, Gurvit H, et al. 2003. Risk factors for Alzheimer disease: a population-based case-control study in Istanbul, Turkey. Alzheimer Dis Assoc Disord. 17:139–145.

Haynal A, Regli F. 1964. Zusammenhang der amyothrophischen Lateralsklerose mit gehäuften Elektrotraumata. Confin neurol. 24:189-198.

Henshaw DL, Ross AN, Fews AP, Preece AW. 1996a. Enhanced deposition of radon daughter nuclei in the vicinity of power frequency electromagnetic fields. Int J Radiat Biol. 69(1):25-38.

Huss A, Spoerri A, Egger M, Kromhout H, Vermeulen R; For The Swiss National Cohort. 2014. Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: The Swiss National Cohort. Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener.17:1-6.

Huss A, Spoerri A, Egger M, Röösli M. 2009. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. Am J Epidemiol. 169:167–175.

IARC (International Agency for Research on Cancer) 2002. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Volume 80. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely lowfrequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, France: IARC Press.

ICNIRP (International Commission on Non.Ionizing Radiation Protection) 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 74(4):494-522.

ICNIRP (International Commission on Non.Ionizing Radiation Protection) 2003. Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich

Jirik V, Pekarek L, Janout V, Tomaskova H. 2012 Association between childhood leukaemia and exposure to power-frequency magnetic fields in Middle Europe. Biomed Environ Sci. 25(5):597-601.

Jirik V, Pekarek L, Janout V. 2011. Assessment of population exposure to extremely low frequency magnetic fields and its possible childhood health risk in the Czech Republic. Indoor Built Environ. 20:362-368.

Johansen C, Olsen JH. 1998. Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders, and electric shocks among utility workers. Am J Epidemiol 148: 362–368.

Johansen C. 2000. Exposure to electromagnetic fields and risk of central nervous system disease in utility workers. Epidemiology 11: 539–543.

Kheifets L, Afifi AA, Shimkhada R. 2006. Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. Environ Health Perspect.114(10):1532-1537.

Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM, Mezei G, Oksuzyan S, Schüz J, Swanson J, Tittarelli A, Vinceti M, Wünsch-Filho V. 2010. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 103(7):1128-1135.

Kondo K, Tsubaki T. 1981. Case-control studies of motor neuron disease: association with mechanical injuries. Arch Neurol. 38(4):220-226.

Kroll ME, Stiller CA, Murphy MFG, Carpenter LM. 2011. Childhood leukaemia and socioeconomic status in England and Wales 1976-2005: evidence of higher incidence in relatively affluent communities persists over time. Br J Cancer 105(11):1783–1787.

Langholz B. 2001. Factors that explain the power line configuration wiring code-childhood leukemia association: what would they look like? Bioelectromagnetics Suppl.5:S19 – S31.

Löscher W, Mevissen M. 1995. Linear relationship between flux-density and tumor co-promoting effect of prolonged magnetic-field exposure in a breast-cancer model. Cancer Lett. 96(2):175-180.

Löscher W. 2001. Do cocarcinogenic effects of ELF electromagnetic fields require repeated long-term interaction with carcinogens? Characteristics of positive studies using the DMBA breast cancer model in rats. Bioelectromagnetics 22(8):603-614.

Marcilio I, Gouveia N, Pereira Filho ML, Kheifets L. 2011. Adult mortality from leukemia, brain cancer, amyotrophic lateral sclerosis and magnetic fields from power lines: a case-control study in Brazil. Rev Bras Epidemiol. 14(4):580-588.

Milham S, Ossiander EM. 2001. Historical evidence that residential electrification caused the emergence of the childhood leukemia peak. Medical Hypoth 56: 290–295.

NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) (Portier CJ, Wolfe MS, Eds), 1998. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. NHI Publications No 98-3981

Noonan CW, Reif JS, Burch JB, Ichinose TY, Yost MG, Magnusson K. 2002. Relationship between amyloid beta protein and melatonin metabolite in a study of electric utility workers. J Occup Environ Med. 44(8):769-775.

Noonan CW, Reif JS, Yost M, Touchstone J. 2002. Occupational exposure to magnetic fields in case-referent studies of neurodegenerative diseases. Scand J Work Environ Health 28: 42–48.

Pall ML. 2013. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. J Cell Mol Med.17(8):958-965.

Park RM, Schulte PA, Bowman JD, Walker JT, Bondy SC, et al.. 2005. Potential occupational risks for neurodegenerative diseases. Am J Ind Med 48: 63–77.

Parlett LE, Bowman JD, van Wijngaarden E. 2011. Evaluation of occupational exposure to magnetic fields and motor neuron disease mortality in a populationbased cohort. J Occup Environ Med 53: 1447–1451.

Qiu C, Fratiglioni L, Karp A, Winblad B, Bellander T. 2004. Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. Epidemiology.15:687–694.

Reale M, Kamal MA, Patruno A, Costantini E, D'Angelo C, Pesce M, Greig NH. 2014. Neuronal cellular responses to extremely low frequency electromagnetic field exposure: implications regarding oxidative stress and neurodegeneration. PLoS One. 9(8):e104973.

Röösli M, Lortscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, et al.. 2007. Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. Neuroepidemiology 28: 197–206.

Savitz DA, Checkoway H, Loomis DP. 1998b. Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. Epidemiology 9: 398–404.

Savitz DA, Loomis DP, Tse CK. 1998a. Electrical occupations and neurodegenerative disease: analysis of U.S. mortality data. Arch Environ Health 53: 71– 74.

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). 2009. Health Effects of Exposure to EMF. European Commission 2009.

Schüz J. 2007. Implications from epidemiologic studies on magnetic fields and the risk of childhood leukemia on protection guidelines. Health Phys 92: 642-648.

Seidler A, Geller P,Nienhaus A, et al. 2007. Occupational exposure to lowfrequency magnetic fields and dementia: a case-control study. Occup Environ Med. 64:108–114.

Sobel E, Davanipour Z, Sulkava R, et al. 1995. Occupations with exposure to electromagnetic fields: a possible risk factor forAlzheimer's disease.AmJ Epidemiol.142:515–524.

Sobel E, Dunn M, Davanipour Z, Qian Z, Chui HC. 1996. Elevated risk of Alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure. Neurology. 47:1477–1481.

Sorahan T, Kheifets L. 2007. Mortality from Alzheimer's, motor neurone and Parkinson's disease in relation to magnetic field exposure: findings from the study of UK electricity generation and transmission workers, 1973–2004. Occup Environ Med 64: 820–826.

Sorahan T, Mohammed N. 2014. Neurodegenerative disease and magnetic field exposure in UK electricity supply workers. Occup Med (Lond). 64(6):454-460.

Strickland D, Smith SA, Dolliff G, Goldman L, Roelofs RI. 1996. Amyotrophic lateral sclerosis and occupational history. A pilot case-control study. Arch Neurol 53: 730–733.

Swanson J, Jeffers D. 1999. Possible mechanisms by which electric fields from power lines might affect airborne particles harmful to health. J Radiol Prot. 19(3):213-229.

Thun-Battersby S, Mevissen M, Löscher W. 1999. Exposure of Sprague-Dawley rats to a 50 Hz, 100 microTesla magnetic field for 27 weeks facilitates mammary tumorigenesis in the 7,12-dimethylbenz[a]-anthracene model of breast cancer. Cancer Res, 59(15):3627-3633.

UBA (Umweltbundesamt) 2012: UVE-Leitfaden. Eine Information zur Umweltverträglichkeits-erklärung. Überarbeitete Fassung 2012. Report 0396.

Vergara X, Kheifets L, Greenland S, Oksuzyan S, Cho YS, Mezei G. 2013. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. J Occup Environ Med. 55(2):135-146.

Wartenberg D. 2001. Residential EMF exposure and childhood leukemia: meta-analysis and population attributable risk. Bioelectromagnetics Suppl.5: S86-S104.

Weisskopf MG, McCullough ML, Morozova N, Calle EE, Thun MJ, et al.. 2005. Prospective Study of Occupation and Amyotrophic Lateral Sclerosis Mortality. American Journal of Epidemiology 162: 1146–1152.

Wertheimer N, Leeper E. 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am J Epidemiol 109:273-284.

WHO (World Health Organization). 2007. Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency Fields.

Yang Y, Jin X, Yan C, Tian Y, Tang J, Shen X. 2008. Case-only study of interactions between DNA repair genes (hMLH1, APEX1, MGMT, XRCC1 and XPD) and low-frequency

electromagnetic fields in childhood acute leukemia. Leuk Lymphoma 49(12): 2344 – 2350

Zhou H, Chen G, Chen C, Yu Y, Xu Z. 2012. Association between extremely low-frequency electromagnetic fields occupations and amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. PLoS One. 7(11):e48354.