

# Erhebungen nichtionisierender Strahlung von Hochspannungsleitungen im Kanton Schwyz

(Qualitätssicherung)

## Schlussbericht

05. November 2009

Marlies Jahn

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	.....	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b>	.....	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1	Ausgangslage.....	4
1.2	Anlagen im Kanton Schwyz.....	5
1.3	Gesetzliche Grundlagen und Vollzug.....	5
1.4	Aufgabenstellung.....	6
<b>2</b>	<b>Vorgehen</b> .....	<b>7</b>
2.1	Projektphasen.....	7
2.2	Anlagegrenzwert-Korridore.....	7
2.3	Messungen.....	8
<b>3</b>	<b>Resultate und Diskussion</b> .....	<b>10</b>
3.1	Anlagegrenzwert-Korridore.....	10
3.2	Messungen.....	11
3.3	Vergleich von Messung, Berechnung und Richtwert.....	14
3.4	Mögliche Massnahmen.....	16
<b>4</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>17</b>

## Zusammenfassung

Elektrizität ist ein Alltagsgut, das in der Schweiz zu einem grossen Teil aus Wasserkraftwerken stammt. Für den Transport des Stroms ist eine entsprechende Versorgungsinfrastruktur nötig, die Hochspannungsleitungen (HSL). Strom wird aber nicht nur zu Haushalten oder Gewerbe und Industrie transportiert, sondern auch entlang von Bahnlinien (BL). Als unvermeidliches Nebenprodukt entsteht dabei Elektrosmog, im Fachjargon nichtionisierende Strahlung genannt. Elektrosmog hat in letzter Zeit zu vermehrten Diskussionen geführt. Das vorliegende Projekt soll deshalb anhand von Berechnungsdaten und Messungen einen Überblick über die aktuelle Situation im Bezug auf HSL und Bahnleitungen im Kanton Schwyz geben.

Im Kanton Schwyz liegen schätzungsweise etwa 500 Gebäude mit Wohnnutzung oder ständigen Arbeitsplätzen in Korridoren entlang von HSL, in welchen der Anlagegrenzwert (AGW) für die magnetische Feldstärke von 1 Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) gemäss Berechnungsdaten bei maximaler Auslastung überschritten ist. Die tatsächliche Belastung liegt dabei aufgrund einer meist geringeren Auslastung der Anlagen aber deutlich geringer. Die Anzahl derjenigen Gebäude, bei welchen der AGW überschritten ist, nimmt mit einer verminderten Auslastung der Leitungen ab.

Die durchgeführten Kurzzeitmessungen ergaben nur wenige Messresultate über dem Anlagegrenzwert. Der höchste Messwert betrug  $2.71 \mu\text{T}$  direkt unter einer 220kV-Leitung. Bei den meisten Leitungen ist der AGW gar nicht oder nur in unmittelbarer Nähe der Leitung, in welcher sich aufgrund des geltenden Sicherheitsabstandes keine Orte mit empfindlichen Nutzungen (OMEN) befinden, überschritten. Mit zunehmendem Abstand nimmt die Belastung zudem sehr rasch ab.

Während die Auslastung – und damit auch die Messwerte – bei einer Hochspannungsleitung über einige Zeit konstant bleibt, unterliegen Bahnlinien aufgrund der sich bewegenden Züge ständigen zeitlichen Schwankungen. Die Messungen entlang einer Bahnlinie ergaben somit auch deutlich grössere zeitliche Schwankungen, mit einer höheren Belastung im unmittelbaren Nahfeld sowie einer rascheren Abnahme mit zunehmendem Abstand.

Im Vergleich mit den Berechnungsdaten und den Richtwerten des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) liegen die Messwerte meist deutlich tiefer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Messungen bei aktueller Auslastung, die Berechnungen und Richtwerte jedoch mit maximaler Auslastung erhoben werden. Es zeigte sich zudem, dass die Richtwerte nur bei Standardleitungen gute Schätzwerte für die Belastungen ergeben. Bei Spezialfällen wie parallel verlaufenden Leitungen, Kreuzungen, Hanglage oder dergleichen bilden sie die Situation zu ungenau ab und es muss auf Berechnungsdaten abgestützt werden.

Da die bestehenden Hochspannungsleitungen mit einer Nennspannung ab 220 kV alle saniert und die Immissionsgrenzwerte (IGW) überall eingehalten sind, werden die Anforderungen der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) erfüllt.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Ob für Geschirrspüler, Computer oder Licht - Elektrizität ist ein Alltagsgut. In der Schweiz stammt der grösste Teil des elektrischen Stroms aus Wasserkraftwerken. Diese liegen häufig weit weg von den grossen Zentren im Mittelland. Damit die Versorgung beim Endverbraucher gewährleistet werden kann, ist somit eine grossflächige Vernetzung durch Hochspannungsleitungen (HSL) notwendig. Um den Strom auf höhere und niederere Spannungen zu transformieren, sind zudem auch Unterwerke und Transformatorenstationen notwendig.

Wo immer jedoch Strom fliesst, entsteht als unvermeidliches Nebenprodukt Elektromog. Man unterscheidet zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Feld. Je näher zur Leitung und je grösser die Stromstärke, desto grösser sind diese Felder. Während sich das elektrische Feld bzw. die elektrische Strahlung jedoch relativ gut abschirmen lässt, durchdringt das magnetische Feld nahezu alle Materialien. Im Boden kann sich die Strahlung allerdings viel schlechter ausbreiten als in der Luft. In den letzten Jahren hat die Diskussion um in den Boden verlegte Hochspannungsleitungen deshalb zugenommen, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten sowie in touristisch wertvollen Landschaften.



**Abb. 1: Freileitungen.** Das Bild zeigt unterschiedliche Typen von Freileitungen: 220kV-Leitung mit Gittermasten (links), 220 kV-Leitung mit Betonmasten (rechts) sowie dazwischen auf den kleineren Holzmasten eine 16kV-Leitung.

Eine ähnliche Problemstellung wie für Hochspannungsleitungen gilt grundsätzlich auch für Bahnlinien (BL). Die Sachlage ist hier jedoch weit komplexer, da die BL – je nach aktueller Auslastung der Netze und Lage der Züge – ständigen und deutlich stärkeren zeitlichen Schwankungen unterliegen.

## 1.2 Anlagen im Kanton Schwyz

Im Kanton Schwyz gibt es zwei Hauptachsen mit 380kV- oder 220kV-Hochspannungsleitungen, welche im Besitz von mehreren Netzbetreibern sind. Von Norden nach Süden führen die Leitungen von Küssnacht nach Morschach, von Osten nach Westen führen die Leitungen von Tuggen nach Wollerau. Daneben gibt es mehrere kleinere „Nebenachsen“ (100 bis 150 kV). Davon führen zwei Leitungen von Altendorf nach Arth-Goldau und Steinen. Einige unterschiedliche Freileitungstypen sind in Abbildung 1 zu sehen.

Ebenso sind bei den Bahnlinien die Hauptachsen in Richtung Nord-Süd (Küssnacht – Arth-Goldau – Brunnen) und West-Ost (Wollerau – Reichenburg) orientiert. Die Nebenachse führt von Arth-Goldau nach Pfäffikon.

## 1.3 Gesetzliche Grundlagen und Vollzug

Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 1. Februar 2000 regelt die Emissionen von elektrischen und magnetischen Feldern von 0 Hz bis 3 GHz. Gemäss NISV muss von Hochspannungsleitungen, Unterwerken und Transformatorstationen im Rahmen der Vorsorge an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) der Anlagegrenzwert (AGW) von 1 Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) eingehalten werden. Entlang von Hochspannungsleitungen muss zudem ein Korridor bis zum AGW ausgedehnt werden, innerhalb dessen kein neues Bauland eingezont werden kann. Ist bei einem bestehenden OMEN der Anlagegrenzwert überschritten, muss die Anlage saniert werden. Kann nach dieser Sanierung, welche eine Phasenoptimierung der Leiterstränge beinhaltet, der Grenzwert allerdings immer noch nicht eingehalten werden, besteht keine Pflicht für weitere Massnahmen. In jedem Fall ist aber an den Orten für den kurzfristigen Aufenthalt (OKA) der Immissionsgrenzwert (IGW) von 100  $\mu\text{T}$  einzuhalten.

Auch entlang von Bahnlinien muss der Anlagegrenzwert an OMEN und der Immissionsgrenzwert an OKA eingehalten werden. Als Sanierung gilt die Installation eines Rückleiters. Ist dieser erstellt, sind keine weiteren Massnahmen notwendig.

Bei der Festlegung der Leitungskorridore bei Neueinzonungen liegen jeweils Berechnungen des Betreibers zugrunde. Zur einfacheren Handhabung hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) jedoch Richtwerte für Hochspannungsleitungen aufgrund der jeweiligen Nennspannung definiert, in deren Abstand die AGW im Normalfall eingehalten sind. Diese sind in der Broschüre „Elektrosmog in der Umwelt“ des Bundesamtes für Umwelt (BAFU, ehemals BUWAL) aus dem Jahr 2005 publiziert. Im Vollzug bleibt in vielen Fällen nur die Möglichkeit, auf diese Richtwerte abzustützen.

Keine Aussagen macht die NISV über Bauland in der Nähe von Hochspannungsleitungen oder Bahnlinien, welches bei Inkrafttreten der NISV bereits eingezont war, sowie bei Liegenschaften ausserhalb der Bauzone. In diesen Gebieten dürfen Neubauten auch erstellt werden, wenn der AGW überschritten ist, sofern die Anlage bereits saniert wurde oder gleichzeitig saniert wird.

Bei Liegenschaften in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen oder Bahnlinien, welche vor Inkrafttreten der NISV gebaut wurden, sowie bei Bauland, welches zu diesem Zeitpunkt bereits eingezont war, können somit Grenzwertüberschreitungen auch nach Sanierungen auftreten. Zudem gibt es ausserhalb der Bauzone ebenfalls Liegenschaften bei welchen die AGW möglicherweise überschritten sind.

Die Möglichkeiten, diese Bewohner vor der Strahlung zu schützen, sind – jedenfalls in einem kurz- und mittelfristigen Zeithorizont – sehr beschränkt. Änderungen an einem Leitungsverlauf sind meist nur im Rahmen einer baulichen Sanierung realisierbar. Das Problem wird zudem insofern noch verschärft, als dass bereits vor Inkrafttreten der NISV eingezontes Bauland noch immer überbaut wird.

## 1.4 Aufgabenstellung

Das vorliegende Projekt gibt Aufschluss darüber, inwiefern die Bevölkerung im Kanton Schwyz durch Immissionen von Hochspannungsleitungen und Bahnanlagen betroffen ist. Es schafft einen Überblick über die Anzahl der Liegenschaften mit einer möglichen Anlagegrenzwert-Überschreitung und klärt anhand von Berechnungs- sowie Messdaten die Nützlichkeit der definierten Richtwerte ab. Ein Vergleich mit Messungen an Bahnlinien macht zudem die Komplexität in diesem Bereich anschaulicher.

Die folgenden Fragestellungen werden im Rahmen dieses Projektes behandelt:

- Korridore mit möglicher Anlagegrenzwert-Überschreitung:  
Wie viele Gebäude liegen innerhalb eines Korridors mit möglicher Anlagegrenzwert-Überschreitung? Wie viele dieser Gebäude sind OMEN? Wie viele OMEN sind tatsächlich von einer Überschreitung des Anlagegrenzwertes betroffen? Ist auch bei Gebäuden ausserhalb dieses Gebietes mit Grenzwert-Überschreitungen zu rechnen?
- Analyse, Statistische Aussagen zu Messwerten:  
Wie sieht eine Analyse und statistische Auswertung der Messwerte aus? Gibt es spezielle Unterschiede, Gleichmässigkeiten oder andere Auffälligkeiten entlang von einzelnen Hochspannungsleitungen oder Bahnlinien? Gibt es „Hot Spots“, d.h. Orte mit besonders hohen Strahlungswerten?
- Raumplanerische Aussagen:  
Kann man generelle Aussagen bezüglich Belastungen machen, beispielsweise für einen bestimmten Leitungsabschnitt oder einen bestimmten Siedlungstyp? Sind Gebiete mit einer starken Siedlungsentwicklung (z.B. Rothenturm, Galgenen, Küssnacht) in besonderem Masse betroffen?
- Massnahmen:  
Welchen Handlungsspielraum bzw. welche Möglichkeiten zur Verbesserung gibt es? In welchem Zeithorizont sind diese realisierbar?

## 2 Vorgehen

### 2.1 Projektphasen

Das Projekt gliederte sich in vier unterschiedliche Teile, wobei die ersten beiden Teile für die Datenerhebung und die nachfolgenden zwei Teile für die Analyse und den Bericht vorgesehen waren:

- Teil I: Erhebung und Auswertung der Berechnungsdaten und Richtwerte (s. Kap. 2.2 / 3.1)
- Teil II: Durchführung der Messungen (s. Kap. 2.3 / 3.2)
- Teil III: Auswertung der Resultate
- Teil IV: Schlussbericht

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Vorgehensweisen während den Phasen I und II detailliert erläutert.

### 2.2 Anlagegrenzwert-Korridore

In einem ersten Teil wurden die Korridore mit einer möglichen Überschreitung des Anlagegrenzwertes für die verschiedenen Hochspannungsleitungen ermittelt. Hierfür wurden die Betreiber um entsprechende Berechnungsdaten angefragt. Wurden die Berechnungsdaten vorgelegt, so wurden diese verwendet. Ansonsten wurde auf den BAFU-Richtwert abgestützt.



**Abb. 2: Hochspannungsleitung in dicht besiedeltem Gebiet.** Die Hochspannungsleitung zieht eine Schneise durch ein Dorf. Vor Inkrafttreten der NISV eingezontes Land darf auch bei Überschreitung des Anlagegrenzwertes bebaut werden.

Die Berechnungsdaten wurden im Geomedia eingetragen und dargestellt. Die Bestimmung der Korridore geschah ungeachtet des Terrains (mit horizontalem Abstand). Daraufhin wurde anhand dieser Daten die Anzahl Liegenschaften mit einer potentiellen Belastung über dem Anlagegrenzwert ermittelt.

Die Anzahl Liegenschaften wurden für die vorhandenen Korridore mit Hilfe einer GIS-Applikation ausgezählt. Mit einer Abschätzung zum Verhältnis OMEN/OKA an verschiedenen Standorten in drei Gemeinden wurde der Anteil der OMEN an den Gebäuden bestimmt. Zudem wurde diese Zahl mit einer weiteren Abschätzung (Anteil Berechnungsdaten an Leitungstrassees) auf den Kanton hochgerechnet.

### 2.3 Messungen

Am 20. Juli sowie am 5. und 12. August 2009 wurden Messungen mit dem Messgerät „PMM 8053A“ und der Antenne „EHP 50“ durchgeführt (s. Abb. 3). Dieses Messgerät misst die magnetische Feldstärke niederfrequenter Strahlung.

Es wurden Kontrollmessungen zum Vergleich der BAFU-Richtwerte, Berechnungsdaten sowie den Messwerten sowie Vergleichsmessungen in Bezug auf Bahnlinien durchgeführt. Langzeitmessungen konnten keine durchgeführt werden, da keine geeigneten Standorte vorlagen.

Die Messstandorte wurden aufgrund der folgenden Kriterien ausgewählt:

- Leitungen mit unterschiedlichen Nennspannungen sowie Bahnlinien
- Leitungen verschiedener Betreiber
- Leitungsabschnitte, für welche Berechnungsdaten vorliegen
- Zugänglichkeit der Messorte



**Abb. 3: Messequipment.** Das Messgerät PMM 8053A mit der Antenne EHP 50.

Bei den Kontrollmessungen fanden pro Leitung an zwei bis drei Standorten entlang dieser Leitung Messungen statt. Dabei wurden in verschiedenen Abständen zur Leitung entlang einer Geraden (Transekte) mehrere Einzelmessungen durchgeführt. Die Anzahl dieser Messungen sowie der jeweilige Abstand zur Leitungsmittelpunkt wurden aufgrund der Nennspannung der Leitung gewählt. Bei Leitungen mit geringer Nennspannung wurden weniger Messungen in einem geringeren Abstand durchge-

führt. Dies ist auf die raschere Abnahme der Belastung durch nichtionisierende Strahlung bei kleineren Leitungen zurückzuführen.

Bei den Einzelmessungen wurde jeweils so lange gemessen, bis sich ein stabiler Mittelwert (root mean square, RMS) einstellte, in der Regel dauerte dies einige Minuten. Der RMS wurde jeweils im Gerät gespeichert sowie auf einem Messprotokoll pro Transekte festgehalten.

Am Bahntrasse wurden jeweils nur auf einer Seite Messungen durchgeführt, zudem konnten natürlich beim Abstand 0 m keine Messungen durchgeführt werden. Aufgrund der hohen zeitlichen Schwankungen dauerten die Einzelmessungen länger und der mittlere Wert (RMS) musste abgeschätzt werden. Zudem wurde auch der Maximal- und Minimalwert festgehalten. Dieses Vorgehen unterscheidet sich deutlich vom Vorgehen, welches von der NISV zur Überprüfung der Grenzwerte vorgesehen ist (Langzeitmessung über 24 Stunden).



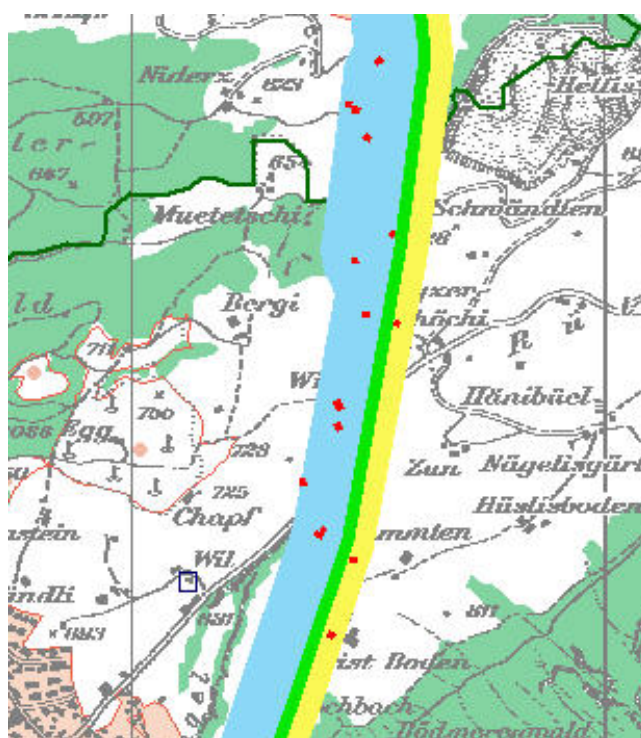
**Abb. 4: Leitung auf Betonmasten.** Eine 220kV-Leitung auf Betonmasten.

### 3 Resultate und Diskussion

#### 3.1 Anlagegrenzwert-Korridore

Von den grösseren Leitungen ab einer Nennspannung von 110 kV sind ca. bei 30 % Berechnungsdaten vorhanden. Diese Daten befinden sich sowohl in dicht wie auch in weniger dicht besiedelten Gebieten. Innerhalb dieser  $1\mu\text{T}$ -Berechnungskorridore befinden sich insgesamt 240 Gebäude. Es handelt sich fast ausschliesslich um Gebäude von Landwirtschaftsbetrieben.

Die Abschätzungen in drei verschiedenen Gemeinden bezüglich des Anteils von OMEN (in der Regel Wohngebäude) an allen Gebäuden entlang einer Hochspannungsleitung ergaben 50 %, 60 % sowie 80 %. Nimmt man einen mittleren OMEN-Anteil an, so ist in den Bereichen der Berechnungsdaten von etwa 150 OMEN auszugehen, bei welchen der Anlagegrenzwert möglicherweise, d.h. bei maximaler Auslastung, überschritten ist. Auf den ganzen Kanton Schwyz hochgerechnet, ergibt dies somit ca. 500 Gebäude (OMEN), bei welchen man von Überschreitungen des Anlagegrenzwertes ausgehen muss. Ein Ausschnitt eines Leitungskorridors aus der GIS-Anwendung ist in Abbildung 5 zu sehen.



**Abb. 5: Ausschnitt eines  $1\mu\text{T}$ -Berechnungskorridors.** Dargestellt sind der Leitungsverlauf (grün) und die seitlichen Abstände mit einer magnetischen Feldstärke  $> 1\mu\text{T}$  sowie die OMEN und OKA innerhalb dieses Korridors (rot). Die unterschiedlichen Abstände der  $1\mu\text{T}$ -Linie von der Leitungsmittle zu einer linksseitig parallel verlaufende zweite Leitung zurückzuführen.

Wesentliche Unterschiede zwischen dicht und weniger dicht besiedeltem Gebiet sind nicht auszumachen, wobei auch festzuhalten ist, dass an ganz wenigen Standorten die Leitung tatsächlich durch eine Siedlung verläuft (z.B. Siebnen). Viel häufiger sind die Leitungen am Rande einer Siedlung anzutreffen (z.B. Küssnacht), weshalb die Entwicklungsmöglichkeiten für diese Siedlungen eingeschränkt sind.

Der Abstand der OMEN und OKA von der Leitungsmittle ist nicht bekannt. Aufgrund des Sicherheitsabstandes gemäss Leitungsverordnung ist jedoch nicht davon auszugehen, dass sich die Gebäude unter oder direkt neben den Leitungen befinden. Betrachtet man die Berechnungskorridore, so befinden sich nicht wesentlich mehr Gebäude im Randbereich dieser Korridore, sondern diese sind innerhalb des Korridors in etwa gleichmässig verteilt. Somit ist anzunehmen, dass sich die Anzahl Gebäude im tatsächlichen  $1\mu\text{T}$ -Korridor – welcher gemäss den nachfolgenden Messresultaten in der Regel deutlich kleiner ist als gemäss maximaler Auslastung – ungefähr entsprechend der Abnahme

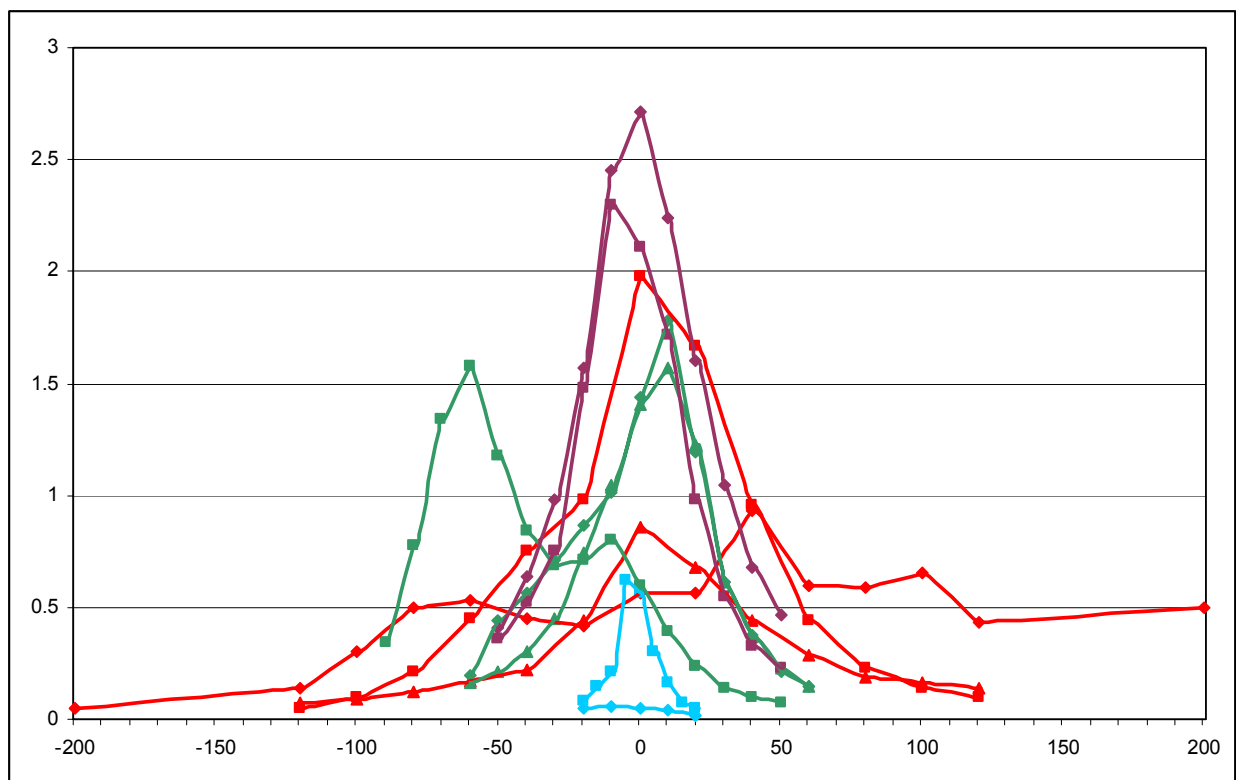
des Korridors verringern würde. Liegt der Anlagegrenzwert beispielsweise in etwa um 20% geringem Abstand zur Leitung, so wäre von ca. 400 Gebäuden mit einer Überschreitung des Anlagegrenzwertes auszugehen.

Da keine Berechnungsdaten von Bahnlinien vorliegen und auch die Richtwerte des BAFU aufgrund der starken Unterschiede zwischen einzelnen Bahnlinien sehr ungenau sind, wurden für Bahnlinien keine Korridore in der GIS-Applikation dargestellt. Anders als bei den Hochspannungsleitungen verlaufen Bahnlinien allerdings immer wieder mitten durch Siedlungen hindurch. Auch hier können jedoch aufgrund des notwendigen Sicherheitsabstandes keine Gebäude direkt an die Trassees gebaut werden. Da die Belastung zudem rascher abnimmt (s. Kap. 3.2), kann wohl davon ausgegangen werden, dass – ausgenommen von Situationen mit erheblichem Schleichstrom – nur wenige Gebäude von einer Überschreitung der Anlagegrenzwerte seitens Bahn betroffen sind.

### 3.2 Messungen

Die Messungen zeigen bei den aktuellen Auslastungen der Leitungen nur Werte über dem Anlagegrenzwert in relativ geringem Abstand zur Leitung. Die Messwerte nehmen dabei mit zunehmendem Abstand rasch ab. Die für OKA gültigen Immissionsgrenzwerte sind an allen Messorten eingehalten.

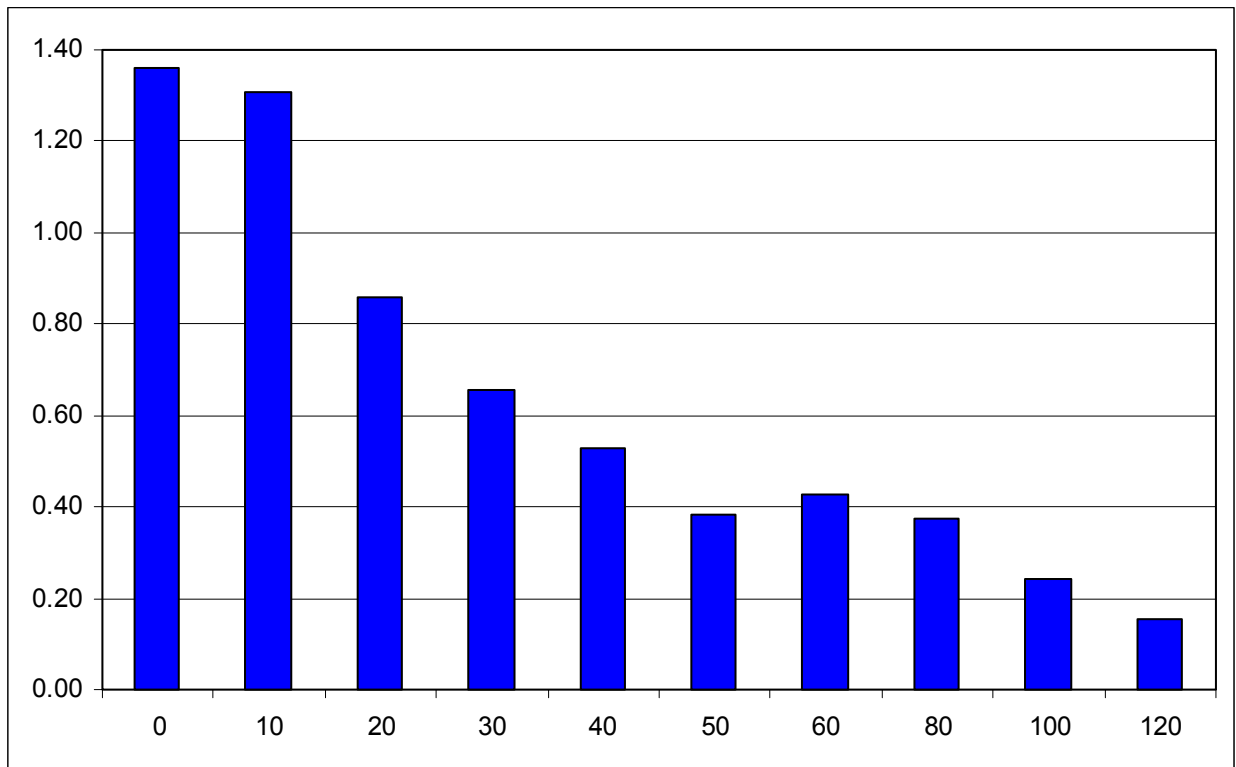
Die Messwerte zwischen den einzelnen Leitungen fielen sehr unterschiedlich aus, was sicherlich zum grössten Teil auf die unterschiedliche Nennspannung sowie die Auslastung der Leitungen zurückzuführen ist. Aber auch die Messwerte an verschiedenen Standorten derselben Leitung sind teilweise sehr unterschiedlich. Die Messwerte sind in Abbildung 6 dargestellt.



**Abb. 6: Messreihen.** Dargestellt sind die unterschiedlichen Messwerte der magnetischen Feldstärke (y-Achse) in einem bestimmten Abstand von der Leitung (x-Achse), also „Leitungs-Querschnitte“ an den einzelnen Messstandorten. Die verschiedenen Messstandorte an derselben Leitung sind in denselben Farben aber mit unterschiedlichen Symbolen (Raute, Quadrat, Dreieck) dargestellt.

In der Regel wurden die maximalen Messwerte direkt unter der Leitung erfasst. Dies ist auch in Abbildung 7, in welcher die Mittelwerte aller Messungen in einem bestimmten Abstand aufgezeichnet sind, zu sehen. Der Verlauf der Trendlinie zeigt eine deutliche Abnahme mit zunehmendem Abstand. An einigen Messstandorten liegen die Maxima aber auch neben der Leitungsmittle, meist aufgrund

von parallel verlaufenden Leitungen mit höherer Nennspannung, durchhängenden Leiterseilen (s. Abb. 8) oder der Topographie (Hanglage). Weiter können auch kreuzende Leitungen zu kleineren Spitzen führen.



**Abb. 7: Abnahme der Messwerte mit dem Abstand zur Leitung.** Dargestellt sind die Mittelwerte der Messwerte in  $\mu\text{T}$  (y-Achse) bei einem bestimmten Abstand zur Leitung (x-Achse). Verwendet wurden nur Abstände mit mehr als einem Messwert.

Die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte sowie die entsprechende Standardabweichung aller Messstandorte sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die höchsten Messwerte wurden bei einer 220kV-Leitung mit Betonmasten (s. Abb. 4) erreicht. Das Maximum bei dieser Leitung betrug  $2.71 \mu\text{T}$  direkt unter der Leitung, in 30 m Abstand lagen die Messwerte um  $1 \mu\text{T}$  und in 50 m Abstand noch bei  $0.47 \mu\text{T}$ . Die magnetische Feldstärke nahm bei dieser Leitung somit sehr rasch ab, was auch die Standardabweichung der Messwerte von  $0.82 \mu\text{T}$  bestätigt.

**Tabelle 1: Messwerte.** Die Darstellung zeigt die Messwerte für die verschiedenen Messorte, mit maximalem, mittlerem und minimalem Messwert sowie der Standardabweichung.

Nr.	Leitungstyp [kV]	Messort	Maximum [ $\mu\text{T}$ ]	Mittelwert [ $\mu\text{T}$ ]	Minimum [ $\mu\text{T}$ ]	Abweichung [ $\mu\text{T}$ ]
1	380 / 220 / 132	Ingenbohl, Schränggige	0.93	0.48	0.05	0.21
2		Arth, Schindlenbach	1.98	0.62	0.05	0.63
3		Küssnacht, Talgüetli	0.86	0.30	0.07	0.24
4	380 / 220	Feusisberg, Milten	1.58	0.65	0.07	0.46
5		Siebnen, Blumenweg	1.78	0.73	0.15	0.50
6		Siebnen, Feldhof	1.57	0.65	0.15	0.50
7	220	Schübelbach, Dürrbachboden	2.30	1.03	0.23	0.75
8		Schübelbach, Mülimoos	2.71	1.35	0.41	0.82
9	132	Sattel, Feldmoos	0.62	0.24	0.05	0.21

Die geringste Belastung wurde mit Messwerten zwischen  $0.02 \mu\text{T}$  und  $0.06 \mu\text{T}$  (0 m bis 20 m Abstand) bei der 132kV-Leitung auf Betonmasten gemessen. Da diese Leitung in sehr hoher Höhe über dem Messort verlief, sind die Messresultate dieser Leitung mit den übrigen nicht vergleichbar und es handelt sich wohl eher um „Hintergrundrauschen“. Diese Resultate wurden deshalb für die weiteren

Auswertungen weggelassen. An einem anderen Messstandort derselben Leitung lagen die Messresultate zwischen  $0.08 \mu\text{T}$  (20 m) und  $0.62 \mu\text{T}$  (5 m).

Tendenziell trägt eine grössere Nennspannung zu einer höheren Belastung bei, die jeweils aktuelle Auslastung der Leitungen ist jedoch unbekannt, womit die Messresultate nur unter Vorbehalt miteinander verglichen werden können. Ebenso sind die Einflüsse des Masttyps und der Anordnung der Leiterseile auf die Messresultate nicht bekannt.

Hot Spots im Sinne von Orten mit erhöhter Belastung liegen in unmittelbarer Nähe von jeder Leitung vor, insbesondere aber bei Kreuzungen oder bei parallelem Verlauf von Leitungen mit einer hohen Nennspannung. Je nach Auslastung der Leitungen sowie dem Abstand zwischen zwei Leitungen können sich die Felder aber unterschiedlich beeinflussen. Es ist daher nicht möglich, eine abschliessende Aussage über Hot Spots zu machen.



**Abb. 8: Durchhängende Leiterseile.** Je nach Entfernung zu den Masten ist die Distanz der Leiterseile zum Boden unterschiedlich. Ebenso kann aufgrund einer Hanglage die Distanz zu den Leiterseilen seitlich viel geringer sein als nach unten.

Da keine Langzeitmessungen durchgeführt werden konnten, sind keine Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Belastungen oder allfällige Muster möglich. Aus diesem Grund können auch die Einflüsse von Temperatur, Wetterbedingungen oder dergleichen nicht eingeschätzt werden. Bei allen Messungen war es sonnig, warm und leicht windig.

An zwei Standorten wurden auch Messungen an einer Bahnlinie durchgeführt (s. Abb. 9). Es zeigte sich dabei sehr schnell, dass die zeitlichen Schwankungen entlang von Bahnlinien deutlich grösser sind als bei Hochspannungsleitungen. So ist die Auslastung unter anderem von der Anzahl auf einem Streckenabschnitt fahrender Züge abhängig. Ein stabiler Wert stellte sich somit nie ein und nur schon die Erfassung einer Grössenordnung der magnetischen Feldstärke bzw. die Abschätzung des mittleren Wertes (RMS) bot erhebliche Schwierigkeiten.



**Abb. 9: Bahntrasse mit Fahrleitung.** Entlang der Bahntrassees sind die Schwankungen der magnetischen Feldstärke sehr viel grösser als entlang von Hochspannungsleitungen.

Die Messungen an den zwei Standorten an der Bahnlinie fielen sehr unterschiedlich aus. Während am ersten Standort in 5 m Abstand Messwerte zwischen  $7.2 \mu\text{T}$  und  $1.1 \mu\text{T}$  mit einem RMS von etwa  $3.4 \mu\text{T}$  ermittelt wurden, lagen die Werte beim zweiten Standort deutlich niedriger (Max:  $1.7 \mu\text{T}$ ; Min:  $0.8 \mu\text{T}$ ; RMS:  $1.1 \mu\text{T}$ ).

Auch hier nahm die magnetische Feldstärke mit zunehmendem Abstand aber stark ab. Bereits in 20 m Abstand lagen die Werte für den ersten Standort bei  $1.3 \mu\text{T}$  (Max),  $0.9 \mu\text{T}$  (Min) und  $1.1 \mu\text{T}$  (RMS). Beim zweiten Standort lag der Maximalwert in 20 m Abstand bereits nur noch bei  $0.1 \mu\text{T}$ .

### 3.3 Vergleich von Messung, Berechnung und Richtwert

Ein Vergleich der Messresultate, der Berechnungs-Korridore sowie der Richtwerte des BAFU zeigen sehr unterschiedliche Ergebnisse. Insbesondere bei geringem Abstand waren die Messwerte deutlich geringer als die berechneten Daten oder die Richtwerte. Oftmals war der Anlagegrenzwert nicht einmal direkt unterhalb der Leitung überschritten. Dies ist allerdings sicherlich auch darauf zurückzuführen, dass die Messwerte bei aktueller Auslastung erhoben wurden, während sich die Berechnungen und Richtwerte auf die maximal mögliche Auslastung beziehen.

Interessant scheint die Tatsache, dass bei den Berechnungen im Vergleich mit den Messungen manchmal auch das Verhältnis der Ausdehnung des magnetischen Feldes auf der linken und rechten Leitungsseite nicht übereinstimmend ist. Dies ist wohl auf eine unterschiedliche Auslastung der parallelen Leitungen zurückzuführen. So ist es möglich, dass beispielsweise die links verlaufende Leitung zwar eine geringere maximale Auslastung zulässt, jedoch eine deutlich höhere tatsächliche Auslastung aufweist als die rechts verlaufende Leitung, welche theoretisch eine höhere maximale Auslastung zulassen würde. In einem solchen Fall muss auch die magnetische Feldstärke auf der Seite der linken Leitung deutlich höher gemessen werden, während die Berechnung eine höhere Feldstärke auf der rechten Seite schliessen lässt.

**Tabelle 2: Vergleich von Messung, Berechnung und Richtwert.** Aufgeführt sind die Abstände in Metern von der Leitungsmittle, bei welchem der Anlagegrenzwert von  $1\mu\text{T}$  eingehalten ist. Die negativen Abstände beziehen sich auf die linke, die positiven Abstände auf die rechte Leitungsseite (jeweils in Leitungsrichtung gemäss Berechnung), 0 m bezeichnet den Messort direkt unter der Leitung.

Nr.	Leitungstyp [kV]	Messort	Messung [m]	Berechnung [m]	Richtwert <sup>1</sup> [m]
1	380 / 220 / 132	Ingenbohl, Schränggige	0 <sup>2</sup>	-178 / 60	60 – 80
2		Arth, Schindlenbach	-20 / 40	-116 / 58	60 – 80
3		Küssnacht, Talgüetli	0 <sup>2</sup>	-118 / 58	60 – 80
4	380 / 220	Feusisberg, Milten	-75 / -35	-80 / 50	60 – 80
5		Siebnen, Blumenweg	-10 / 25	-65 / 55	60 – 80
6		Siebnen, Feldhof	-10 / 25	-65 / 55	60 – 80
7	220	Schübelbach, Dürrbachboden	-30 / 20	-55 / 55	40 – 55
8		Schübelbach, Mülimoos	-30 / 30	-55 / 55	40 – 55
9	132	Sattel, Feldmoos	0 <sup>2</sup>	n.a. <sup>3</sup>	20 – 30 <sup>4</sup>

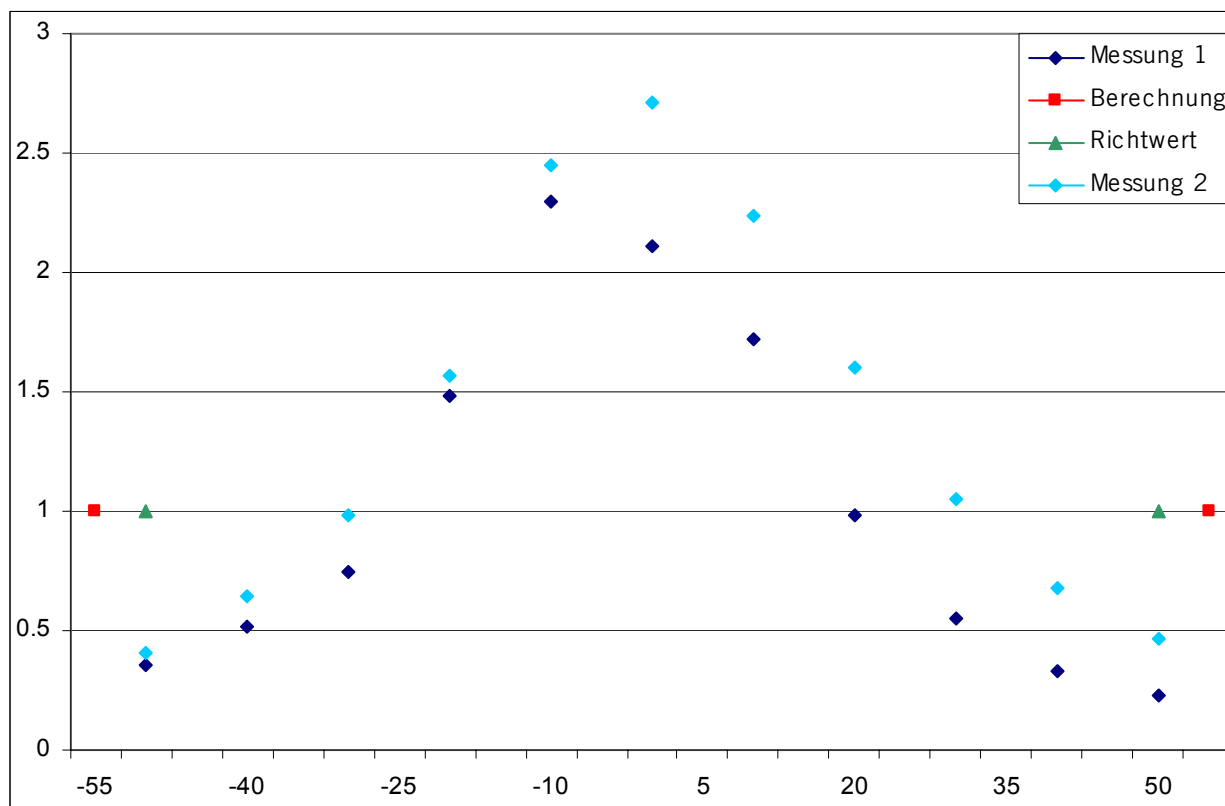
<sup>1</sup> Die Richtwerte des BAFU wurden der Broschüre „Elektrosmog in der Umwelt“ (S. 27) entnommen.

<sup>2</sup> Bei diesen Standorten wurde der Anlagegrenzwert nirgends überschritten, der höchste Messwert liegt aber nicht zwingend bei 0 m.

<sup>3</sup> Für die 132kV-Leitung liegen keine Berechnungsdaten vor.

<sup>4</sup> Dieser Richtwert bezieht sich auf eine 110kV-Leitung. Es gibt keinen Richtwert für 132kV-Leitungen.

In Standardsituationen mit nur einem Leitungstrassee entspricht der Richtwert in etwa den Berechnungsdaten. Die Werte in Tabelle 2 zeigen jedoch auch deutlich, dass der Richtwert bei mehreren parallel verlaufenden Leitungen zu ungenügenden Abschätzungen führt, weil die Situation hier weit komplexer ist als bei Einzeltrassees. Betrachtet man jedoch nur diejenige Seite der Leitung, auf welcher keine weitere parallele Leitung mehr folgt, so liegen die Berechnungen im unteren Bereich des Richtwertes. Nur bei einer 220kV-Leitung lag die Berechnung im oberen Bereich des Richtwertes. Somit kann auch in diesem Fall eine genügende Abschätzung des  $1\mu\text{T}$ -Korridors erstellt werden. Die Messwerte, Berechnungsdaten und der Richtwert dieser Leitung sind in Abbildung 10 dargestellt, wobei aus dem Spektrum für den Richtwert ein Abstand von 50 m angenommen wurde.



**Abb. 10: Messwerte im Vergleich mit den Berechnungsdaten und dem Richtwert.** Dargestellt sind die Messwerte (y-Achse [ $\mu\text{T}$ ]) in einem bestimmten Abstand (x-Achse [m]) bei einer 220kV-Leitung an zwei Standorten (hell- und dunkelblaue Raute), die  $1\mu\text{T}$ -Berechnungslinie (rote Quadrate) sowie der BAFU-Richtwert für 220kV-Leitungen (grüne Dreiecke).

Ein Vergleich zwischen den Messungen entlang der Hochspannungsleitungen mit jenen entlang der Bahnlinie ist aufgrund der erwähnten starken Schwankungen sehr schwierig. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass die Messwerte entlang der Bahnlinie sicherlich höhere Spitzenwerte aufweisen, die magnetische Feldstärke mit zunehmendem Abstand aber auch rascher abnimmt.

### **3.4 Mögliche Massnahmen**

Gemäss Aussagen der Betreiber wurden die grösseren Leitungen alle bereits saniert. Rechtlich gesehen ist der Sachverhalt somit als erledigt zu betrachten und es gibt in diesem Sinne auch keine Möglichkeit, die betroffenen Personen vor der Belastung weiter zu schützen. Trotzdem gibt es – zumindest längerfristig – Möglichkeiten, die bei Maximalauslastung ermittelten rund 500 Gebäude in der Nähe von Hochspannungsleitungen zahlenmässig zu verringern.

Durch eine Erdverlegung bzw. Verkabelung der Leitungen, welche heute auch bei 380kV-Leitungen möglich ist und bei kleineren Leitungen bis 110 kV schon häufig vorgenommen wird, kann die magnetische Feldstärke in der Umgebung drastisch reduziert werden. Im Rahmen dieser Verkabelungen können problemlos auch Abschirmungselemente mit eingebaut werden, welche die magnetische Feldstärke nochmals drastisch reduzieren, so dass die Belastung auch im nächsten Umfeld der Leitungen vernachlässigbar wird. Weiterer bedeutender Vorteil dieser Lösung ist, dass das Landschaftsbild nicht mehr beeinträchtigt wird.

Eine solche Erdverlegung ist hingegen immer wesentlich teurer als eine Freileitung, in extremeren Fällen kostet sie in etwa das Zehnfache, bei Nutzung einer bestehenden Infrastruktur (z.B. Strassenschächte) liegen die Kosten in etwa zwei- bis dreimal höher. Zudem müssen die Boden- und Grundwasserverhältnisse eine Erdverlegung zulassen. Im Bereich Bodenschutz ist aufgrund der Erwärmung in der Umgebung von verkabelten Hochspannungsleitungen mit Bodenzerstörungen zu rechnen.

Die grösste Chance für eine Erdverlegung besteht im Rahmen einer Leitungssanierung bzw. einer Änderung, welche der Umweltverträglichkeit untersteht. Die Kriterien für eine entsprechende Interessenabwägung zwischen Kabel- und Freileitungen werden dabei vom Beurteilungsschema des Bundesamtes für Energie (BFE) vorgegeben. Dieses Papier steht aber noch in der Testphase und soll 2011 nochmals angepasst und überarbeitet werden.

## 4 Fazit

Im Kanton Schwyz liegen etwa 500 Gebäude in Korridoren entlang von Hochspannungsleitungen, in welchen der Anlagegrenzwert von 1  $\mu\text{T}$  überschritten werden kann. Die tatsächliche Belastung ist dabei aufgrund der tatsächlichen (d.h. nicht maximalen) Auslastung der Anlagen aber meist deutlich geringer. Die Anzahl der betroffenen Gebäude nimmt bei einer geringeren Auslastung der Leitungen ab.

Der höchste Messwert betrug 2.71  $\mu\text{T}$  direkt unter einer 220kV-Leitung. Bei den meisten Leitungen ist der Anlagegrenzwert jedoch gar nicht oder nur in unmittelbarer Nähe der Leitung, in welcher sich aufgrund des geltenden Sicherheitsabstandes keine OMEN befinden, überschritten. Mit zunehmendem Abstand nimmt die Belastung zudem sehr rasch ab. Die Messungen entlang einer Bahnleitung ergaben deutlich grössere Schwankungen, mit einer höheren Belastung im unmittelbaren Nahfeld sowie einer rascheren Abnahme mit zunehmendem Abstand.

Im Vergleich mit den Berechnungsdaten und den Richtwerten des BAFU liegen die Messwerte meist deutlich tiefer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Messungen bei aktueller Auslastung, die Berechnungen und Richtwerte jedoch mit maximaler Auslastung erhoben werden. Es zeigte sich zudem, dass die Richtwerte nur bei Standardleitungen praktikabel sind. Bei Spezialfällen wie parallel verlaufenden Leitungen, Kreuzungen, Hanglage oder dergleichen bilden sie die Situation zu ungenau ab. In diesen Fällen ist eine Berechnung unumgänglich.

Da die bestehenden grösseren Hochspannungsleitungen alle saniert und die Immissionsgrenzwerte überall eingehalten sind, werden die Anforderungen der NISV erfüllt. Mögliche weitergehende Massnahmen beschränken sich auf die Verkabelung von Leitungen im Rahmen von Änderungen oder Sanierungen, wobei dafür jedoch eine umfassende Interessenabwägung notwendig ist. Diese Massnahme ist somit nur langfristig realisierbar.

Weitergehende Aussagen sind aufgrund der vielen verschiedenen und unbekannteren Einflussgrössen und lokalen Gegebenheiten (Nennspannung, Topographie, Auslastung, etc.) nicht möglich. Hierfür wäre eine gross angelegte Messkampagne über den gesamten Kanton, allenfalls in Zusammenarbeit mit den Stromkonzernen, notwendig. Dies ist momentan nicht vorgesehen.