

---

## Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunk- immissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele



### - Abschlussbericht -

**Auftraggeber:** Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich Str. 160  
86179 Augsburg

**Auftragnehmer:** EM-Institut GmbH  
Carlstr. 5  
D-93049 Regensburg

**Ort und Datum:** Regensburg, Dezember 2004

---

# Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunk- immissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele

## - Abschlussbericht -

**Projektleitung:** EM-Institut GmbH  
Carlstr. 5  
D-93049 Regensburg  
Tel: 0941-2983651  
Fax: 0941-2983652  
E-Mail: info@em-institut.de

**Projektpartner:** IMST GmbH  
Carl-Friedrich Gauß-Str. 2  
D-47475 Kamp-Lintfort  
Tel: 02842-981383  
Fax: 02842-981399  
E-Mail: bornkessel@imst.de

**Autoren:** Prof. Dr.-Ing. M. Wuschek  
Dr.-Ing. Ch. Bornkessel  
Dr.-Ing. D. Manteuffel  
Dipl.-Ing. M. Schubert  
Dipl.-Ing. (FH) P. Schmidt

**Projektnummer:** 03/095

**Ort und Datum:** Regensburg, Dezember 2004

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einführung</b> <span style="float: right;"><b>6</b></span>
1.1	Projektbeschreibung <span style="float: right;">6</span>
1.2	Gliederung des Berichtes <span style="float: right;">6</span>
	9
<b>2</b>	<b>Aspekte der Funkversorgung</b> <span style="float: right;"><b>9</b></span>
<b>3</b>	<b>Immissionsvergleich Basisstation - Mobiltelefon</b> <span style="float: right;"><b>22</b></span>
<b>3.1</b>	<b>Vergleich der ortsbezogenen Immissionen</b> <span style="float: right;"><b>22</b></span>
3.1.1	Vergleich Basisstation mit Mobiltelefon bei maximaler Sendeleistung <span style="float: right;">22</span>
3.1.2	Einfluss der Leistungsregelung des Mobiltelefons <span style="float: right;">23</span>
3.1.3	Exposition Unbeteiligter durch Mobiltelefone im Innenraum <span style="float: right;">26</span>
<b>3.2</b>	<b>Vergleich der Gesamtimmission</b> <span style="float: right;"><b>36</b></span>
3.2.1	Gesamtimmission durch alle Basisstationen <span style="float: right;">36</span>
3.2.2	Gesamtimmission durch alle Mobiltelefone <span style="float: right;">39</span>
<b>4</b>	<b>Minimierungskonzepte auf Seiten von Basisstation und Mobiltelefon</b> <span style="float: right;"><b>42</b></span>
<b>4.1</b>	<b>Minimierungstechniken auf Seiten der Basisstation</b> <span style="float: right;"><b>42</b></span>
4.1.1	Engmaschige Sendernetze <span style="float: right;">42</span>
4.1.2	Erhöhung der Senderstandorte <span style="float: right;">48</span>
4.1.3	Antennen mit optimierter Abstrahlcharakteristik im Nebenkeulenbereich <span style="float: right;">52</span>
4.1.4	Mehrantennenanordnungen und adaptive Antennen <span style="float: right;">52</span>
4.1.5	Repeater zur Versorgung von funktechnisch abgeschatteten Bereichen <span style="float: right;">64</span>
4.1.6	Empfängerempfindlichkeit <span style="float: right;">64</span>
<b>4.2</b>	<b>Minimierungstechniken auf Seiten des Mobiltelefons</b> <span style="float: right;"><b>64</b></span>
4.2.1	Optimierung der Antenne und der Gerätetopologie <span style="float: right;">64</span>
4.2.2	Erhöhung der Empfängerempfindlichkeit <span style="float: right;">70</span>
4.2.3	Interferenzreduktion <span style="float: right;">70</span>
<b>4.3</b>	<b>Sonstige Maßnahmen</b> <span style="float: right;"><b>70</b></span>
4.3.1	Alternative Frequenzbereiche <span style="float: right;">70</span>
4.3.2	Alternative Übertragungstechniken <span style="float: right;">71</span>
<b>5</b>	<b>Auswertung der Immissionsdatenbank</b> <span style="float: right;"><b>73</b></span>
<b>5.1</b>	<b>Grundsätzliches zur Datenbank</b> <span style="float: right;"><b>73</b></span>
<b>5.2</b>	<b>Aufbau der Datenbank</b> <span style="float: right;"><b>80</b></span>
<b>5.3</b>	<b>Allgemeine Ergebnisse der Datenbankauswertung</b> <span style="float: right;"><b>82</b></span>
5.3.1	Charakterisierung der Messpunkte <span style="float: right;">82</span>

5.3.2	Immissionsauswertung über alle 1.229 Messpunkte	87
5.3.3	Immissionsvergleich GSM - UMTS	92
<b>5.4</b>	<b>Auswertung nach Kriterien, die für Minimierungsüberlegungen bedeutsam sein könnten</b>	<b>94</b>
5.4.1	Vergleich mit Grenzwerten bzw. Empfehlungen unterhalb der Vorgaben der 26. BImSchV	94
5.4.2	Abhängigkeit der Immission von Sichtverbindung und Entfernung	105
5.4.3	Abhängigkeit der Immission von der Zahl der installierten Systeme	109
5.4.4	Abhängigkeit der Immission von der Stockwerkshöhe	111
5.4.5	Abhängigkeit der Immission vom Vertikalwinkel	112
<b>5.5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>114</b>
<b>6</b>	<b>Einfluss wichtiger anlagenbezogener Faktoren auf die entstehende mittlere Immission</b>	<b>116</b>
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>116</b>
<b>6.2</b>	<b>Verwendetes Ausbreitungsmodell</b>	<b>120</b>
<b>6.3</b>	<b>Einfluss der Montagehöhe der Antennen</b>	<b>122</b>
<b>6.4</b>	<b>Einfluss des vertikalen Bündelungsvermögens der Antenne</b>	<b>128</b>
6.4.1	Vergleich zweier Antennen mit gleicher Bauhöhe bei GSM900 bzw. UMTS	128
6.4.2	Vergleich von Antennen mit unterschiedlicher Bauhöhe im gleichen Frequenzband	133
<b>6.5</b>	<b>Einfluss der vertikalen Strahlabsenkung (Downtilt)</b>	<b>140</b>
<b>6.6</b>	<b>Einfluss unterschiedlich ausgeprägter Nebenkeulen im Vertikal-diagramm</b>	<b>145</b>
<b>6.7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>149</b>
<b>7</b>	<b>Diskussion möglicher Minimierungsmaßnahmen</b>	<b>150</b>
<b>7.1</b>	<b>Einführung</b>	<b>150</b>
<b>7.2</b>	<b>Minimierungsmöglichkeiten bei der Standortsuche</b>	<b>153</b>
7.2.1	Standorte im Außenbereich	153
7.2.2	Freihaltebereiche	156
7.2.3	Bewusstes Ausnutzen des Nahbereichsschattens	158
7.2.4	Hohe Standorte	162
7.2.5	Konzentration mehrerer Anlagen auf wenigen Standorten	164
7.2.6	Verteiltes Senderkonzept	166
7.2.7	Keine Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen	170
7.2.8	Optimierungen durch eigene Planungen	171
<b>7.3</b>	<b>Minimierungsmöglichkeiten bei vorhandenen Standorten</b>	<b>173</b>
7.3.1	Verringerung des Einflusses von vertikalen Nebenkeulen	174
7.3.2	Veränderung der horizontalen Antennenausrichtung sowie der vertikalen Strahlabsenkung (Downtilt)	176
7.3.3	Verwendung von Antennen mit kleinem vertikalen Öffnungswinkel	178

---

7.3.4	Erhöhung des Antennenträgers	179
<b>7.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>181</b>
<b>7.5</b>	<b>Beispiel für ein Verfahren zur Standortbewertung unter Minimierungsgesichtspunkten</b>	<b>184</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>193</b>
<b>9</b>	<b>Anlagen</b>	<b>197</b>
9.1	Datenbank: Herkunftsorte der Datensätze	197
9.2	Datenbank: Screenshots der Eingabemasken	200