

Landnutzungsdaten für die Funknetzplanung bei E-Plus

S. Patzig, Dr. H. Kränzle

E-Plus Mobilfunk GmbH
Ulmenstr. 125, D-40476 Düsseldorf, Germany
Tel: 0049-211-4484140, Fax: 0049-211-4484939

ISPRS Commission IV, Working Group 1

Key Words: Remote Sensing, Land Use, Classification, Planning, GIS, Quality

Abstract

For the computer based radio network planning digital land use and terrain data of high quality are required. The land use classification based on Landsat-TM data was generated for the federal republic of germany and a 50 km wide area along the german border in 1994/95. The classification includes fifteen land use classes and was realized with a resolution of 25 * 25 m². For the planning the data were supplied in different resolutions. Extensive controls of the quality and detailed documentations were made to fulfil the high quality requests of the radio network planning.

Als Grundlage für die rechnergestützte Funknetzplanung werden qualitativ hochwertige digitale Landnutzungs- und Geländehöhendaten herangezogen. Die Landnutzungsklassifizierung wurde in den Jahren 1994/95 für die Bundesrepublik Deutschland und einen 50 km breiten Streifen um das Bundesgebiet aus Landsat-TM-Daten erstellt. Sie liegt in 15 Klassen vor und wurden in einer Auflösung von 25 * 25 m² erfaßt. Für die Planung werden diese Daten in unterschiedlichen Auflösungen bereitgestellt. Zur Gewährleistung der hohen Qualitätsanforderungen der Funknetzplanung erfolgten umfangreiche Qualitätskontrollen und es wurde Wert auf eine umfassende Dokumentation gelegt.

Die Mobilkommunikation ist in nur wenigen Jahren zu einem der größten Wachstumsmärkte der Welt geworden. Ausdruck dafür sind weltweit rapide ansteigende Teilnehmerzahlen.

So gab es in den siebziger Jahren in Deutschland nur einige tausend Mobilfunkteilnehmer, wohingegen es derzeit bereits über 3 Millionen sind. Detaillierte Marktanalysen gehen davon aus, daß es im Jahr 2000 über 10 Millionen Teilnehmer in der Bundesrepublik Deutschland geben wird.

Die E-Plus Mobilfunk GmbH baut als zweiter großer privater Netzbetreiber ein flächendeckendes, digitales Mobilfunknetz für die Bundesrepublik Deutschland auf. Der Netzstart erfolgte am 27. Mai 1994. Im Jahr 1997 werden 98% der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland durch E-Plus versorgt sein. Von den erschlossenen Regionen können E-Plus-Kunden weltweit jeden beliebigen Teilnehmer mit einem kleinen Handgerät anrufen und auch von jedem beliebigen Teilnehmer angerufen werden.

Die Funknetzplanung

Beim Aufbau eines Funknetzes muß gewährleistet werden, daß der Empfangspegel flächendeckend einen bestimmten Schwellenwert nicht unterschreitet. Um

wettbewerbsfähig zu sein, ist es dabei notwendig, daß der Aufbau der Funkfeststationen an optimalen Standorten durchgeführt wird.

Zur Durchführung einer effizienten Planung werden Modelle eingesetzt, mit denen die Funkausbreitung simuliert wird. Als Basisdaten für Makrozellenmodelle mit Zellradien von bis zu 25 km werden Landnutzungs- und Geländehöhendaten herangezogen. Nach Eingabe der Parameter Antennenhöhe, Sendeleistung und Antennencharakteristik wird das Ausbreitungsverhalten der Funkwellen berechnet. Der Ausbreitungsweg und die Dämpfung, die die Funkwellen auf dem Weg zwischen Funkfeststation und Mobilstation (Handy oder Autotelefon) erfahren, sind von der Geländeform und der Landnutzung abhängig.

Als Ergebnis liefert das Modell den Empfangspegel (dB) für jeden Punkt im Empfangsbereich der Station.

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung der dreidimensionalen Wellenausbreitung von einem Sender (Tx) zu drei Empfängern, die sich im Wald (Rx1), in der Stadt (Rx2) bzw. im offenen Gelände (Rx3) befinden.

Nach Aufbau der Basisstationen wird die Funkwellenausbreitung durch Meßfahrten validiert. Die Erkenntnisse der Meßfahrten werden zur Verbesserung der Funkwellenausbreitungsmodelle herangezogen.

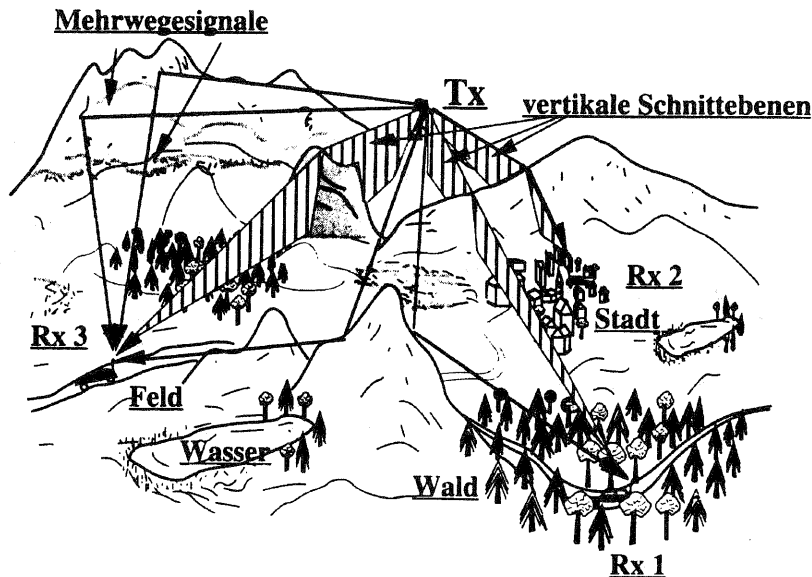


Abb. 1: Dreidimensionale Wellenausbreitung (Kürner, 1993)

Anforderungen an die raumbezogenen Daten für die Funknetzplanung

Als Grundlage für die rechnergestützte Funknetzplanung werden qualitativ hochwertige digitale Daten herangezogen. Es handelt sich dabei um Landnutzungs- und Höhendaten der Bundesrepublik Deutschland und einen 50 km breiten Streifen um das Bundesgebiet. Insgesamt hat das Planungsgebiet eine Ausdehnung von 450.000 km².

Zur Gewährleistung eines reibungslosen Netzaufbaus müssen die Daten folgende Hauptkriterien erfüllen:

- Die Daten müssen flächendeckend vorliegen und hinsichtlich ihrer Qualität und Auflösung homogen sein. Nur so sind Analysen mit einem einheitlichen Funkplanungstool möglich.
- Die Daten müssen den aktuellen Zustand der realen Welt wiedergeben. Da das Netz mit den steigenden Teilnehmerzahlen ständig verdichtet und modifiziert wird, ist es notwendig die Datengrundlage in bestimmten Zeitintervallen zu aktualisieren.
- Die Erfassungsverfahren müssen qualitativ hochwertige Ergebnisse liefern und nachvollziehbar sein, um so eine Verbesserung oder Aktualisierung der Daten zu ermöglichen.

Dabei muß berücksichtigt werden, daß die Daten den Planern kurzfristig bereitgestellt werden, damit die im Versorgungsauftrag festgelegten Termine für den Aufbau bzw. die Verdichtung des Netzes eingehalten werden können.

Landnutzungsdaten

Die Landnutzungsdaten sind von grundlegender Bedeutung für die Berechnung der Funkwellenausbreitung, da sie die Dämpfung zwischen der Basis- und der Mobilstation beeinflussen. So werden Funkwellen im städtischen Bereich in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe, der Straßenbreite und des Gebäudeabstandes reflektiert oder gebeugt.

Abgestimmt auf die Anforderungen der Funknetzplaner liegen die Landnutzungsdaten in 15 Klassen (Abb. 2) vor, die unter anderem 4 Stadtklassen, 2 Waldklassen und 3 Wasser- bzw. Feuchtklassen enthalten. Die Daten wurden in einer Auflösung von 25 * 25 m² erfaßt.

Die Datengrundlage für die Landnutzungsdaten bilden Landsat-TM-Szenen aus den Jahren 1991 bis 1994. Bei der Beschaffung der Daten wurden zum Großteil Szenen aus dem Zeitraum Ende August bis September herangezogen, da sich diese aufgrund des Sonnenstandes, der radiometrischen Bedingungen und der Vegetationsentwicklung besonders gut für die Abgrenzung der Stadtklassen eignen.

Landnutzungsklassen
- städtische Kernzone
- städtische Bebauung
- lockere Bebauung
- Industrie
- versiegelte Fläche
- Nadelwald
- Laubwald
- abwechslungsreiche offene Landschaft
- Landwirtschaft
- Feuchtfläche
- Wasser
- Salzwasser
- Abraumfläche
- Fels
- Sand

Abb. 2 : Landnutzungsklassen

Das Auswertungsverfahren der Landnutzungsclassifizierung

Durchgeführt wurde die Landnutzungsclassifizierung von der Firma GAF aus München. Insgesamt waren 15 bis 20 Personen ein Jahr lang mit der Auswertung beschäftigt. Im Rahmen der automatischen Klassifizierung wurden

folgende Landbedeckungsklassen abgegrenzt:

- Siedlung
- Nadelwald, Laubwald
- Landwirtschaft
- abwechslungsreiche offene Landschaft
- Wasser.

Zur Unterteilung der Bebauung in 3 Subklassen wurde ein Vegetationsindex, der NDVI (Normalized Vegetationsindex) verwendet. Dieser bildet die Vegetationsdichte ab, die in engem Zusammenhang zur Bebauungsdichte steht. Herbstaufnahmen eignen sich besonders gut für diese Unterteilung, da sich die Subklassen aufgrund der Schattenbildung der Gebäudehöhe besser differenzieren lassen.

Im Rahmen der Nachbearbeitung wurden Fehlklassifikationen beseitigt und nicht berücksichtigte Klassen wie z. B. Sand, versiegelte Fläche, Industrie oder Weinbau nachträglich erfaßt. Die Reihenfolge der Nachbearbeitung der Klassen richtete sich dabei nach ihrer Fehleranfälligkeit und wurde immer nach dem gleichen Schema durchgeführt.

Zur Sicherung der hohen geforderten Datenqualität wurde ein System von Prüfungs- und Korrekturmaßnahmen entwickelt, dessen Ergebnisse in projektbegleitenden Formblättern festgehalten wurden. Die Größe und die Vielfältigkeit des zu untersuchenden Gebietes erforderte eine laufende Kontrolle und Anpassung des Interpretationsschlüssels, um eine möglichst konsistente Bearbeitung zu garantieren (GAF, 1994).

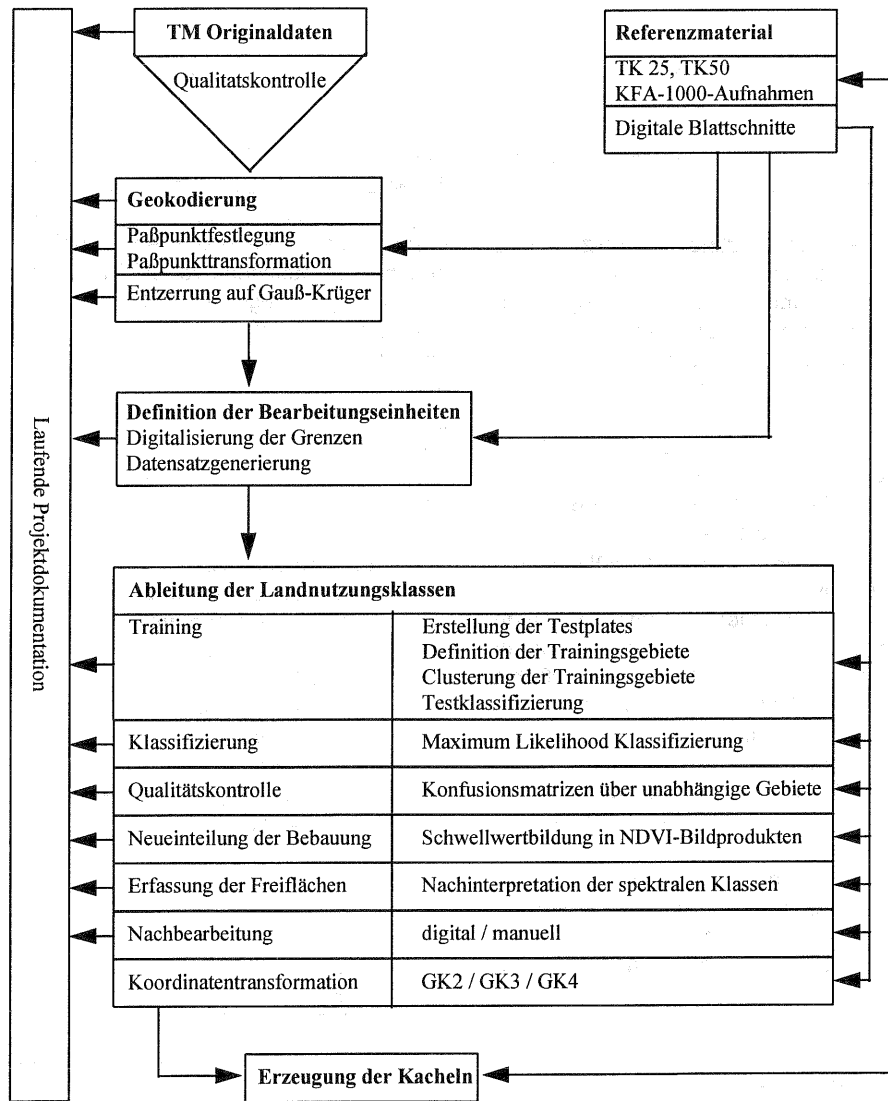


Abb. 3 : Flußdiagramm Arbeitsablauf der Landnutzungsklassifizierung (GAF, 1995)

Qualitätsprüfung

Neben der laufenden Qualitätskontrolle der Firma GAF erfolgte eine umfassende Prüfung durch den Auftraggeber. Dabei lagen die Anforderungen an die Richtigkeit der Klassifizierung bei über 90%.

Im Rahmen der Qualitätsprüfung wurden die Daten vor der Auslieferung an die Planer einer Übersichtskontrolle unterzogen. Zusätzlich erfolgte eine Überprüfung der Lagegenauigkeit anhand von Paßpunkten. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden ausgewählte Testgebiete einer eingehenden Kontrolle unterzogen, wobei Luftbilder, die verwendeten TM-Szenen und Topographischen Karten zur Verifizierung des Datensatzes herangezogen wurden.

Desweiteren wurden ausgewählte Teilbereiche der Klassifikation mit einer unabhängig durchgeführten Luftbildinterpretation verschnitten. Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurde die Klasseneinteilung verfeinert, so daß insgesamt 34 Klassen unterschieden werden. Anhand einer Matrix der Klassen der TM-Klassifikation und der Luftbildklassifikation werden einfache und grobe Fehler sowie Übergangsbereiche zwischen zwei Landnutzungsklassen abgegrenzt. Dieses Verfahren bietet viele Vorteile, da die Interpretation unabhängig von den zu prüfenden Daten erfolgt und die Verschneidung der Daten in jedem Punkt nachvollziehbare Ergebnisse liefert. Eine Untersuchung der Fehlerflächen basierend auf die Kartierergebnisse und unter Verwendung der Luftbilder und TM-Szenen liefert zusätzliche Erkenntnisse für die Modellierung. Desweiteren ermöglicht das Verfahren eine schnelle Prüfung der Daten.

Die Qualitätsprüfung hat ergeben, daß die geforderte Fehlerquote von unter 10% flächendeckend eingehalten wird, wobei der ländlichen Bereich mit einer Quote von unter 5% etwas besser abschneidet als der kleinräumig strukturierte städtische Bereich. Zur Erhöhung der Trefferquote im städtischen Bereich wäre es wünschenswert, daß die Systembetreiber mittelfristig räumlich höher auflösende Multispektralscanner operationell einsetzen. Eine Nutzung durch den Mobilfunk ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn diese Systeme langfristig Daten produzieren.

Datendokumentation

Im Rahmen der Dokumentation der Arbeitsergebnisse liegt eine umfassende Beschreibung des eingesetzten Verfahrens vor. Für jedes Bearbeitungsgebiet erfolgte außerdem eine Beschreibung der Klassifizierungsergebnisse und der aufgetretenen Besonderheiten. Neben den Paßpunktlisten lassen sich außerdem die verwendeten TM-Szenen bezogen auf die Einheit der Topographischen Karte 1:25.000 aus der Dokumentation entnehmen. Die Dokumentation wurde bei E-Plus in eine Datenbank aufgenommen, die derzeit in das Geographische Informationssystem (GIS) überführt wird.

Weiterverarbeitung der Daten

Für die Berechnungen in den Ausbreitungsmodellen werden die Daten in verschiedenen Auflösungen bereit-

gestellt. Zu diesem Zweck wurden in Zusammenarbeit mit den Planern Filter- und Aggregationsverfahren entwickelt, die auf die Ausbreitungsmodelle abgestimmt sind.

Zusätzliche Nutzungen der Landnutzungsdaten im GIS

Neben den oben beschriebenen, aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Datenbeständen wurden unter anderem folgende Datensätze zur Netzanalyse und Visualisierung in das Geographische Informationssystem der Firma Smallworld integriert (Kränzle, 1995):

- Bevölkerungsdichtedaten (Rasterdaten)
 - Straßendaten
 - Administrative Grenzen und
 - gescannte Topographische Karten
- Zusätzlich werden im GIS Datensätze zur aktuellen und zukünftigen Funkversorgung gehalten. Diese Datensätze ermöglichen die zum Aufbau eines Mobilfunknetzes notwendigen Analysen. So läßt sich z. B. aus der Weiterverarbeitung und der anschließenden Verschneidung der Landnutzungs- und der Höhendaten ableiten, wieviel Basisstationen zum Aufbau des Mobilfunknetzes benötigt werden. Weitere Auswertmöglichkeiten ergeben sich aus der Verschneidung mit den administrativen Grenzen und den Bevölkerungsdichtedaten oder mit den Straßendaten.

Verkauf der Landnutzungsdaten

Die Integration von Landnutzungsdaten in ein Geographisches Informationssystem bietet nicht nur für die Mobilfunkplanung vielfältige Anwendungen im Bereich der Analyse oder der Modellierung. So können Landnutzungsdaten in anderen Bereichen als Grundlage für die großräumige hydrologische Modellierung herangezogen werden. In der Regel ist die Neuerfassung qualitativ hochwertiger Landnutzungsdaten aber verhältnismäßig kostenintensiv. Aus diesem Grund plant die E-Plus Mobilfunk GmbH den Verkauf der Landnutzungsdaten in verschiedenen Auflösungen und auf Wunsch in nutzer-spezifisch zusammengefaßten Klassen.

Schlußdiskussion

Die Landnutzungsdaten bilden zusammen mit den Geländehöhendaten die Basis für die Simulation der Funkausbreitung. Desweiteren werden sie mit anderen Datensätzen im GIS verschnitten, um Aussagen über den aktuellen und den geplanten Zustand des Netzes zu erhalten.

Die Datengrundlage für die Landnutzung bilden Landsat-TM-Daten. Entsprechend der Anforderung der Funknetzplanung wird die Landnutzung in 15 Klassen in einer Auflösung von 25 * 25 m² erfaßt. Für die Planung werden die Daten in unterschiedlichen Auflösungen bereitgestellt. Zu diesem Zweck werden Filter- und Aggregationsverfahren eingesetzt, die auf die Ausbreitungsmodelle abgestimmt sind.

Zur Sicherung der Datenqualität werden die Daten einer umfangreichen Qualitätskontrolle unterzogen. Desweiteren liegt eine umfangreiche Dokumentation in analoger und digitaler Form vor, um eine sinnvolle Weiterverarbeitung zu gewährleisten.

Der Einsatz von Fernerkundungsmethoden zur Gewinnung der Landnutzungsdaten erfüllt die geforderten Kriterien der Funknetzplanung mit gewissen Einschränkungen. So ermöglicht der Einsatz von Satelliten-Scannerdaten zwar eine verhältnismäßig kurzfristige, kostengünstige Bereitstellung der Daten, die aber in bezug auf die Aktualität nur bedingt den Anforderungen entspricht. Die Qualitätsprüfung der Daten hat gezeigt, daß das von der Firma GAF eingesetzte Verfahren den Anforderungen der Modellierung voll entspricht. Mit der technischen Weiterentwicklung im Mobilfunk werden sich allerdings auch die Anforderungen an die Landnutzungsdaten ändern, so daß mittelfristig höhere Anforderungen an die räumliche Auflösung und die Verfügbarkeit der Multispektraldaten gestellt werden. Aus diesem Grund ist eine Zusammenarbeit zwischen den Systembetreibern und den privaten Großabnehmern wünschenswert.

Literatur

- 1) GAF., 1994. Landnutzungsklassifizierung verschiedener Regionen der Bundesrepublik Deutschland auf Basis von Landsat-TM-Daten, Projektnr. 7111.403 (unveröffentlicht)
- 2) GAF., 1995. Landnutzungsklassifizierung der Bundesrepublik Deutschland auf Basis von Landsat-TM-Daten, Projektnr. 7111.403 (unveröffentlicht)
- 3) Kränzle, H., 1995. Fernerkundungsdaten und GIS bei der Planung eines Mobilfunknetzes. GIS, Jg. 8, Heft 3, S. 13-18
- 4) Kürner, T., 1993. Charakterisierung digitaler Funk-systeme mit einem breitbandigen Wellenausbreitungsmodell. Forschungsberichte aus dem Institut für Hochfrequenztechnik und Elektrotechnik der Universität Karlsruhe, Bd. 3.