

# Multitemporale GIS-basierte Reisezeitmodellierung und -kartierung des sächsischen Bahnverkehrs

Steffen Hild

Beak Consultants GmbH, Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg, Email: hild@beak.de

## 1 Zielstellung

Fahrtzeitanalysen verschiedener Verkehrssysteme stellen wesentliche Grundlagen für die Verkehrsplanung dar. Aus ihnen können, unter spezieller Berücksichtigung des Bedarfs der Nutzer, Aspekte für die Optimierung der Infrastruktur abgeleitet werden.

Das Ziel des Projektes war die Durchführung einer Reisezeitmodellierung in einem GIS für den sächsischen Bahnfernverkehr über einen mehrere Jahre umfassenden Zeitraum. Ausgehend von ausgewählten zentralen Orten des Freistaates sollte die Erreichbarkeit der übrigen Bahnhöfe des Landes zu verschiedenen Fahrplanperioden sowie deren Veränderung ermittelt und in geeigneten thematischen Karten dargestellt werden.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchung der Fahrtzeiten im Bahnstreckennetz beschränkt sich auf Sachsen und direkt erreichbare Zentren. Dem folgend werden in die thematische Untersuchung alle sächsischen sowie die auf den Bahnstrecken zu umliegenden Zentren liegenden Bahnhöfe einbezogen (vgl. Abbildung 1).

## 3 Ausgangsdaten

Als geometrische Ausgangsdaten standen die ATKIS-Daten des DLM 1000, als thematische die auf CD-ROM frei verfügbaren Fahrplan-CDs (Programm HAFAS) der Deutschen Bahn AG zur Verfügung.

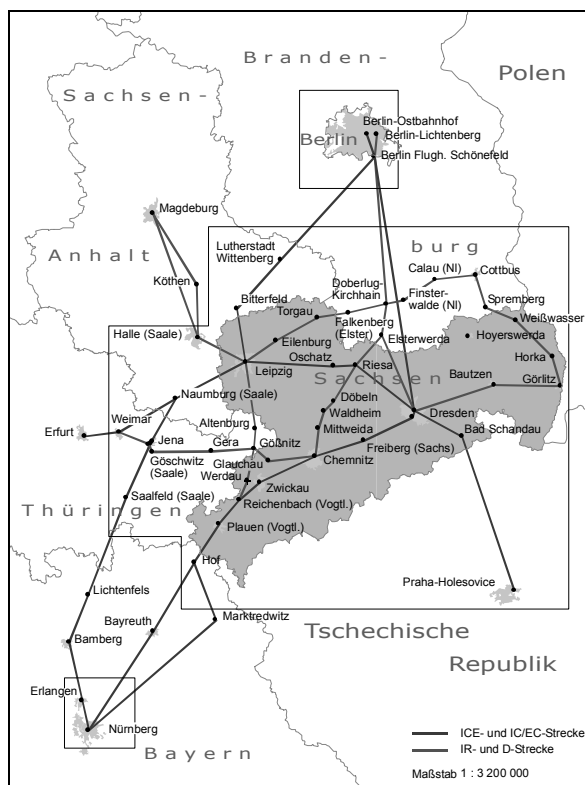


Abb. 1: Untersuchungsgebiet und Blattschnitt der Karten.

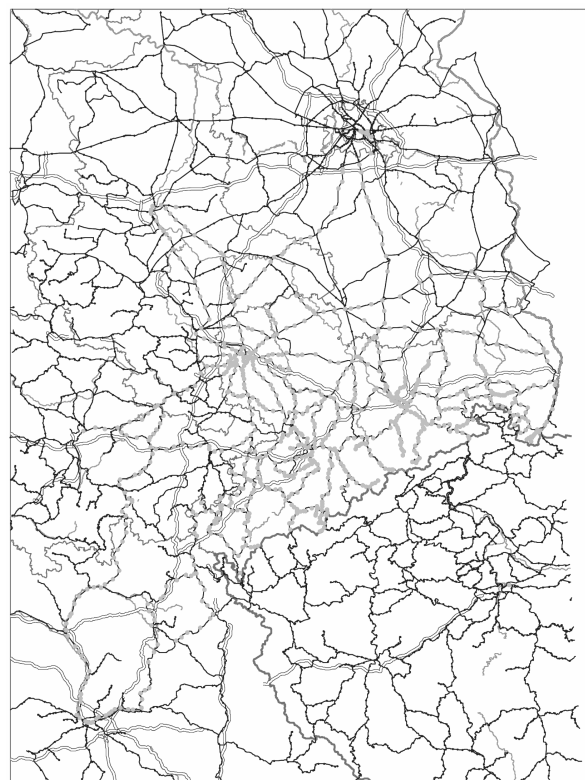


Abb. 2: ATKIS-Daten.

### 3.1 ATKIS-Daten des DLM1000

Auswahl der benötigten Daten nach Attributen:

- für die Routenmodellierung: Bahnstrecken und Bahnhöfe im Untersuchungsgebiet (hell)
- für die Darstellung in der Basiskarte: Flüsse, Grenzen und Autobahnen

### 3.2 Fahrplandaten von HAFAS-CD

Extraktion von PDF-Abfahrtstabellen aller Bahnhöfe im Untersuchungsgebiet aus der HAFAS-Programmoberfläche der Deutschen Bahn.

## 4 Bearbeitung der Ausgangsdaten

Für die Erstellung eines einheitlichen Datenmodells wurden zunächst die thematischen und topographischen Ausgangsdaten homogenisiert:

- Transformieren der HAFAS-Abfahrtstabellen von PDF- in ASCII-Dateien, Einlesen in INFO-Tabellen.
- Homogenisierung der ATKIS- und DB-Bahnhofsbenennungen durch Erstellen einer Referenztabelle, Einführen des eindeutigen Zuordnungsschlüssels IBNR (Internationale Bahnstationsnummer).

**Abfahrt Leipzig Hbf**

Zeit/Zug	In Richtung	Zeit/Zug	In Richtung
0:07	Leipzig-Sellerhausen 0:10 - Leipzig-Paunsdorf 0:13 - Leipzig-Industriegelände Ost 0:16 - Engelsdorf Ost 0:18 - Borsdorf (Sachse) 0:22 - Garthausen 0:25 - Mochern(Sachse) 0:29 - Altenbach 0:32 - Wurzen West 0:36 - Wurzen 0:39	4:16	Leipzig-Gohlis 4:19 - Leipzig-Cottbus 4:21 - Leipzig-Altenheim 4:23 - Leipzig-Leutzsch 4:26 - Leipzig-Industriegelände West 4:29 - Leipzig-Lindenau 4:30 - Leipzig-Flugplatz 4:32 - Leipzig-Grimmaer Allee 4:35 - Leipzig-Stuttgarter Allee 4:37 - Leipzig-Karl-Marx-Str. 4:39 - Leipzig-Militärer Allee 4:40
0:10	Leipzig Ost 0:14 - Leipzig-Sellerhausen 0:16 - Leipzig-Anger-Crottendorf 0:19 - Leipzig-Silberitz 0:20 - Leipzig-Wikenschacht/Leutzsch 0:22 - Leipzig-Merseburg 0:24 - Leipzig-Cottbus 0:26 - Markkleeberg 0:29 - Markkleeberg-Großdörsch 0:32 - GutsMuths 0:34	4:23	Neuadamsitz Leipzig/Wiese 4:28 - Rochwitz/Leipzig 4:32 - Zschoten 4:36 - Döllschütz am EF 4:40 - Palenke 4:46 - Bärwalde 4:50 - Ullrich 4:56 - Wollen (Bitterfeld) 4:59 - Jänschke 5:01 - Reuditz 5:06 - Maritz 5:08 - Dessau Süd 5:13 - Dessau Hbf 5:17
0:16	Leipzig-Gohlis 0:19 - Leipzig-Cottbus 0:21 - Leipzig-Möckern 0:22 - Leipzig-Leutzsch 0:26 - Leipzig-Industriegelände West 0:29 - Leipzig-Lindenau 0:30 - Leipzig-Flugplatz 0:32 - Leipzig-Grimmaer Allee 0:36 - Leipzig-Stuttgarter Allee 0:37 - Leipzig-Karl-Marx-Str. 0:39 - Leipzig-Militärer Allee 0:40	4:27	Leipzig-Sellerhausen 4:31 - Leipzig-Paunsdorf 4:33 - Leipzig-Industriegelände Ost 4:36 - Engelsdorf Ost 4:38 - Borsdorf (Sachse) 4:40 - Garthausen 4:43 - Mochern(Sachse) 4:46 - Altenbach 4:49 - Wurzen West 4:52 - Wurzen 4:55
0:40	Leipzig-Flugplatz 0:45 - Pöggendorf 1:03	4:30	Leipzig Ost 4:34 - Leipzig-Sellerhausen 4:36 - Leipzig-Anger-Crottendorf 4:38 - Leipzig-Silberitz 4:40 - Leipzig-Wikenschacht/Leutzsch 4:42 - Leipzig-

Abb. 3: aus HAFAS exportierte Abfahrtstabelle.

## 5 Routenmodellierung

Es wurden geeignete Verfahren zur Routenbestimmung untersucht, die alle Verbindungen eines repräsentativen Zeitraums von einem Startbahnhof zu allen im Untersuchungsgebiet erreichbaren Bahnhöfen ermitteln können. Auf Grundlage des Dijkstra-Algorithmus wurde ein Verfahren entwickelt, das diese Aufgabe auf topologischer Ebene löst (vgl. Abbildung 5). Die Fahrzeiten der in ArcInfo eingelesenen Abfahrtstabellen dienen als Impedanzwerte der Routenberechnung, die Bahnhöfe stellen die Knoten des Berechnungsgraphen dar.

Ausgehend von einem Startbahnhof und einer Startzeit werden die nächstmöglichen Verbindungen zu allen anderen Bahnhöfen des Untersuchungsgebietes gesucht, die mit den ausgewählten Zugtypen erreichbar sind.

Um alle Verbindungen eines Tages zu ermitteln, wird die Berechnung mit verschiedenen Startzeiten wiederholt. Entsprechend des Bahn-Grundtaktes von 60 bzw. 120 Minuten wird ein Suchintervall von 60 Minuten gewählt, so dass die Berechnung zu jeder vollen Stunde eines Tages durchgeführt wird.

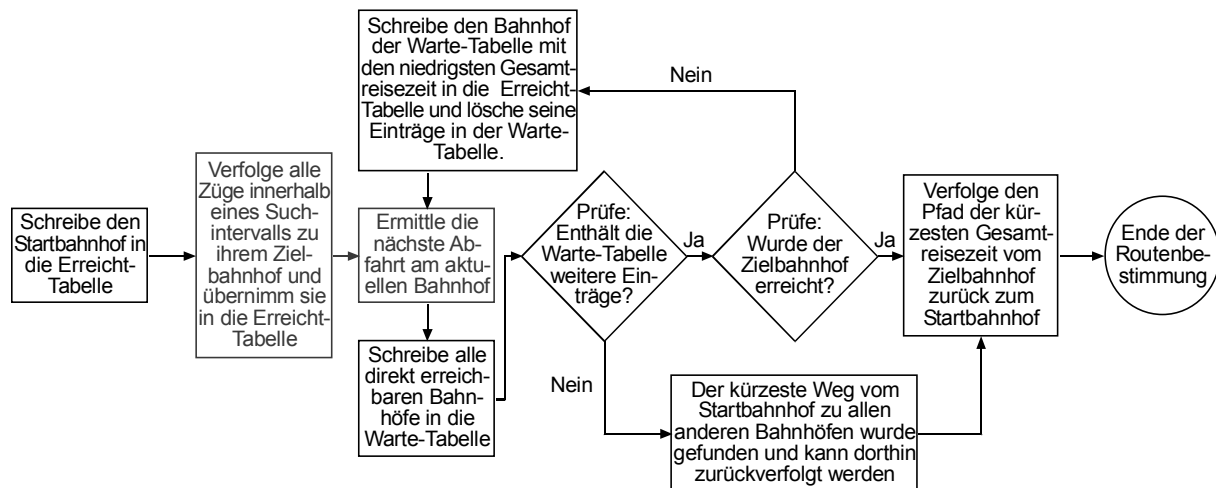
## 6 Analyse

An Hand der Ergebnisse der Routenbestimmung werden verschiedene Analysewerte berechnet, die die Qualität für jede Relation zwischen dem Startbahnhof und allen Zielbahnhöfen ausdrü-

**Bahnhofsinformation**

Startbahnhof:	Leipzig Hbf
Zielbahnhof:	Chemnitz Hbf
IBNR:	8010184
Verbindungen pro Tag:	12
Direktverbindungen pro Tag:	0
Durchschn. Geschw.:	65.5976181 km/h
Kürzeste Fahrtstrecke:	133.061 km
Längste Fahrtstrecke:	197.464 km
Zahl entlang d. kürzesten:	5
Schnellste Verbindung:	138 min / 2:18
Langsamste Verbindung:	168 min / 2:48
Durchschn. Umsteigezahl:	1.00000000
Durchschn. Wartezeit:	24.5833340 min
Früheste Abfahrt:	9:25
Letzte Ankunft:	21:57
Benutzte Zugtypen:	IR ICE D
Zugtypen, die Ziel bedienen:	IR ICE D

Abb. 4: Analysewerte für Fernverkehrsverbindungen von Leipzig Hbf nach Chemnitz Hbf im Sommer 2000.



**Abb. 5: Basis-Algorithmus der Routenmodellierung: erweiterter Dijkstra-Algorithmus.**

cken. Die tatsächliche Qualität einer Verbindung lässt sich nur schwer objektiv beurteilen, da eine Vielzahl von Faktoren wie Gesamtfahrtzeit, Streckenlänge, Preis, Zahl der Umsteigevorgänge oder die nutzbaren Zugtypen eine Rolle spielen, die zudem von jedem Fahrgast unterschiedlich bewertet werden. Die ermittelten Einzelwerte für jede Fahrtrelation werden deshalb nicht zu einem gemeinsamen Qualitätsindex verschmolzen, sondern bleiben für eine individuelle Analyse erhalten. Abbildung 4 zeigt die möglichen Analysewerte am Beispiel aller Fernverkehrsverbindungen von Leipzig Hbf nach Chemnitz Hbf für den Sommerfahrplan 2000 an.

Für die Darstellung der Ergebnisse in thematischen Karten werden die für eine Qualitätsaussage wichtigsten Analysewerte ausgewählt und nebeneinander abgebildet. Dies sind:

- die Zahl der Verbindungen pro Tag sowie
- die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit, die die Gesamtreisezeit inklusive aller Wartezeiten an Umsteigebahnhöfen zu der Streckenlänge in Relation setzt.

Diese Werte können in fünf verschiedenen thematischen Karten, die je nach den vom Nutzer gemachten Vorgaben direkt aus den Analyseergebnissen generiert werden, zur Anzeige gebracht werden:

- Zustandskarten einer Fahrplanperiode
  - alle Verbindungen (vgl. Abbildung 6)
  - nur Direktverbindungen
- Vergleichskarten: Vergleich zweier Fahrplanperioden

- absolute Vergleichswerte
- relative Vergleichswerte

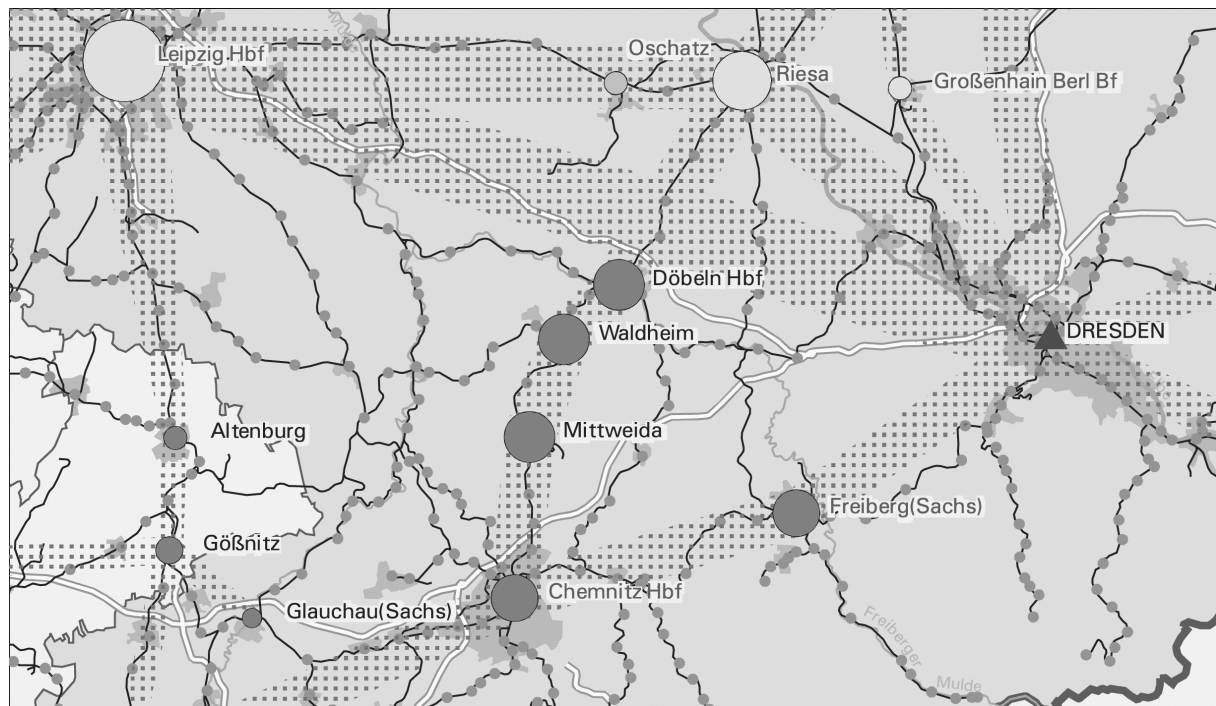
- Reisezeitkarten (geometrisch verzerrte Darstellung, Entfernung entspricht der Reisezeit)

Neben der ausschließlichen Betrachtung der Züge des Fernverkehrs wurden in einem weiteren Berechnungsschritt auch die Züge des Regionalverkehrs in die Betrachtung einbezogen. Dies erlaubt eine differenzierte Betrachtung der Veränderung des Verkehrsangebots im untersuchten Zeitraum.

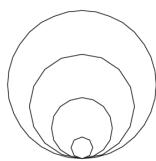
## 7 Ergebnisse

Es wurde eine auf Arc Macro Language (AML) basierende Programmoberfläche MEAS („Multi-temporale Erreichbarkeits-Analyse Sachsen“) entwickelt, die eine detaillierte interaktive Kartenausgabe aller Analyseergebnisse auf dem Bildschirm bzw. in EPS-Dateien ermöglicht. Außerdem sind alle für das Einlesen und Berechnen neuer Fahrplandaten benötigten Funktionen über Menüs zugänglich, so dass das Programm beliebig durch zusätzliche Daten erweitert werden kann.

Mit dem entwickelten Produkt wird ein voll funktionsfähiges Werkzeug zur Analyse der sächsischen Bahnverbindungen von ausgewählten Startbahnhöfen zur Verfügung gestellt. Die Ausgabemöglichkeit der Einzelwerte in Tabellenform sowie die Darstellung ausgewählter Werte in fünf verschiedenen Kartenarten bieten eine analytische Aufbereitung der Fahrplandaten zur weiteren Verwendung im Planungsbereich.



Verbindungen pro Tag



30 Verbindungen pro Tag  
 20 Verbindungen pro Tag  
 10 Verbindungen pro Tag  
 1 Verbindung pro Tag

Durchschnittsgeschwindigkeit

● bis 20 km/h  
 ● > 20 bis 40 km/h  
 ● > 40 bis 60 km/h  
 ● > 60 bis 80 km/h  
 ● > 80 bis 100 km/h  
 ● > 100 km/h

**Abb. 6:** Der Kartenausschnitt stellt die Erreichbarkeit der abgebildeten Bahnhöfe vom Startbahnhof DRESDEN (Vereinigung von Dresden Hbf und Dresden-Neustadt) im Sommerfahrplan 2000 mit Zügen des Fernverkehrs dar. Neben den Bahnhofssignaturen werden die befahrenen Verkehrskorridore als direkte Verbindungslinien der benachbarten Bahnhöfe dargestellt. Ihre Breite an den Endpunkten entspricht der Zahl der Verbindungen, die zu den verbundenen Bahnhöfen existieren.