

# SAUBERE LUFT IN DER STADT



## DIVA als Planungssystem optimiert die Einführung von neuen ÖPNV-Antrieben

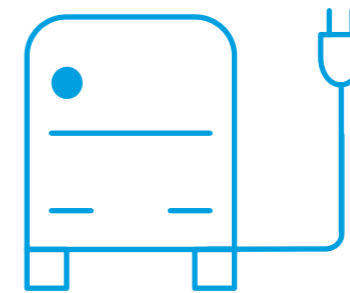
**Thema**  
Ein modernes Planungssystem  
für den Umweltschutz

**Auftraggeber**  
Mainzer Mobilität

**Produkte**  
DIVA R19 für die Fahr- Umlauf,  
Dienst und Turnusplanung,  
DIVA für die  
Fahrgastinformation,  
GENIOS Optimierung

**Ansprechpartner**  
Manuel Fritsch  
Jens Krotwaart

**D**ie Mainzer Verkehrs-  
gesellschaft, die mit ihren  
kompletten Mobilitätsangebo-  
ten unter dem Namen »Mainzer  
Mobilität« auftritt, hat im  
Rahmen einer Ausschreibung DIVA von  
MENTZ als neues Planungssystem für die  
Fahr-, Umlauf- und Dienstplanung beschafft.  
Damit profitiert das Unternehmen nun von  
optimalen Einsatzmöglichkeiten ihrer  
wachsenden E-Bus- und Wasserstoff-Bus-  
Flotte.



Die Belegung der Ladestellen wie auch  
notwendige Reserven werden berücksich-  
tigt, ebenso wie der nicht-lineare Ladever-  
lauf der Fahrzeuge.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, mit  
GENIOS Lade-Szenarien zu kalkulieren  
und durch die Zu- oder Wegnahme von La-  
demöglichkeiten an Endhaltestellen neue  
Möglichkeiten der Stickoxid-Reduktion zu  
berechnen.

Hierbei zielte die Mainzer Mobilität  
neben der Beschaffung einer zeitgemä-  
ßen Planungssoftware vor allem darauf,  
die vielfältigen Optimierungswerkzeuge  
innerhalb von DIVA zu nutzen. In einem  
ersten Schritt sollte hierfür von MENTZ  
nachgewiesen werden, dass mit DIVA  
eine automatisierte und optimierte Um-  
lauf- und Dienstplanung erreicht wird, die  
auch Maßnahmen zur Emissionsreduktion  
berücksichtigt. Denn das Ziel der Mainzer  
Mobilität ist die vollständige Dekarbonisie-  
rung des ÖPNVs.

Wenn eine Emissionsreduktion durch den  
Einsatz von emissionsarmen Fahrzeugen  
erreicht werden soll, dann kann die DIVA-  
Umlaufplanoptimierung so parametrier-  
t werden, dass Elektrobussen oder auch  
Wasserstofffahrzeugen gegenüber Diesel-  
bussen der Vorzug gegeben wird. Mög-  
lich macht das die Optimierungslösung  
GENIOS von MENTZ. Die Ladekapazitäten  
der Fahrzeuge sowie die Verwaltung der  
Lademöglichkeiten in den Depots bzw. auf  
der Strecke kann dabei im Hintergrundsys-  
tem der Optimierung parametrierbar werden.

Die Zielfunktion der Optimierung ist im  
Gegensatz zu einer »klassischen Umlauf-  
optimierung« nicht ausschließlich auf die  
Maximierung von Produktivkilometern und  
eine mögliche Reduktion des Fahrzeugein-  
satzes ausgerichtet, sondern sucht aus der  
Gesamtheit der möglichen Fahrplanmasse  
die optimale Lösung für den Anteil der  
Elektroflotte des Gesamtbetriebs. Hierbei  
muss aktuell gegebenenfalls für die resul-  
tierende Masse eine größere Leerfahrt-  
masse im Vergleich zu konventionellen  
Antrieben in Kauf genommen werden. Die  
möglichst geringe Leerfahrtmasse bleibt  
aber weiterhin ein Teilziel der GENIOS-Be-  
rechnung.

Auf Basis dieser Parametrierung hilft  
das DIVA-System mit unserem Optimie-  
rungsframework GENIOS direkt bei der  
Einsparung von Stickoxiden. Denn die  
resultierenden Planungen sind realistisch  
und fahrbar und darüber hinaus durch die  
direkte Integration in den vollständigen  
Planungskreislauf kurzfristig umsetzbar.  
Langfristig hilft das Versionsmanagement  
von DIVA ebenfalls bei der Einsparung von  
Stickoxiden.

Die Netzversionstechnik erlaubt es, eigenständige Planungsstände zu erstellen, in denen die grundlegende Netzarchitektur verändert werden kann und beispielsweise die Inbetriebnahme weiterer schadstoffarmer Verkehrsmittel, wie zusätzlicher Straßenbahnlinien oder anderer Fahrzeuggrößen (s.o.), simuliert werden kann.

Auch bei solchen Planungsnetzversionen steht die komplette Produktpalette der betrieblichen Planung - einschließlich Optimierung - zur Verfügung und es können neben den Einsparmöglichkeiten bei Schadstoffen auch die generellen Kosten der Planung, basierend auf einer vollständigen Umlauf- und Dienstplanung, für das Netz ermittelt werden.

Konkret stand die Mainzer Mobilität vor der Aufgabe, die ihrerseits beschafften ersten vier Elektrofahrzeuge in die Flotte und in den täglichen Betrieb zu integrieren. Die Ausgangslage bezüglich Reichweiten, Batteriekapazitäten und Ladeinfrastruktur (Depot-Charging) waren bekannt. Hier ging es nicht nur um eine Lösung für die Umlaufplanung, sondern auch um eine optimierte Umlaufplanung der Gesamtflotte und die dazugehörige optimierte Dienstplanung. Das Ergebnis war eine Punktlandung: Diese sehr konkrete Aufgabenstellung wurde mit Hilfe der DIVA-Software und dem DIVA-Optimierungsmodul GENIOS optimal gelöst.

#### Unsere Lösung für die Mainzer Mobilität im Detail

Die Fahrwege und mögliche Leerfahrtoptionen der für die Bedienung mit Elektrobusen in Frage kommenden Linien wurden, unter Zuhilfenahme eines Wegenetz-Graphen (Import aus aktuellen OSM-Daten), auf den tatsächlichen Straßenzügen geroutet. Längenangaben und Fahrzeiten beziehen sich daher auf geroutete (georeferenzierte) Teilstrecken und nicht auf Luftlinien. Die WGS84-Koordinaten wurden für die Darstellung auf einer OSM-Hintergrundkarte in den DIVA-Fahrplanungsmodulen, in eine Web Mercator Projektion (MRCV = EPSG:3857) umgerechnet.

Aufgrund der unterschiedlichen Priorisierung wurde eine 3-stufige Optimierung durchgeführt. Das heißt, wir haben zunächst die Aufgaben der E-Busse, dann die der restlichen Umlaufplanung gelöst und basierend darauf die Dienstplanoptimierung durchgeführt.

Neben den durch die Mainzer Verkehrsgesellschaft zur Verfügung gestellten Eingangsdaten hat das DIVA System die notwendigen Leerfahrten zum konsistenten Aufbau der Umlaufplanung berechnet.

Das System ist in der Lage, die Leerfahrten hinsichtlich Distanz und Zeit geroutet zu berechnen und dadurch exakte und noch realistischer Resultate zu liefern.

Die Wichtigkeit der exakten Berechnung von Leerfahrten im Vergleich zur Nutzung der Luftlinie, die über einen Faktor eine möglichst gute Näherung an die Realität erreichen sollte, wird in der Rheinstadt Mainz und der anspruchsvollen Topografie durch Abbildung 1 besonders deutlich.

Weiterhin haben wir die vorgegebenen Ladestellen modelliert und hierbei folgende technische Annahmen getroffen: Geladen wird nur am Betriebshof, mit einem Handling von einer Minute, d.h. mit der Zeit, die neben dem eigentlichen Laden beim Ladevorgang verloren geht. Die Ladegeschwindigkeit haben wir anhand der Vorgaben als konstant angenommen. Eine Mindestreichweite der Fahrzeuge vor Beginn des Ladevorgangs wird sichergestellt.

Bei der Reichweitenprüfung ist es wichtig, nicht nur den Betriebstag für sich zu betrachten. Wir müssen sicherstellen, dass die Elektrobusse die Umläufe auch am Folgetag bedienen können.

Um eine möglichst hohe Produktivkilometerleistung für die E-Busse zu erzielen, nutzen wir die Variante, bei der die Fahrzeuge am Folgetag den gleichen Umlauf bedienen, aber keine hundertprozentige Aufladung am Anfang des Tages sicherstellen müssen.

DIVA unterstützt hier verschiedene Varianten, unter anderem die Anforderung, dass jeder E-Bus am Ende des Betriebstages voll geladen sein muss, oder, dass jedes Fahrzeug am Start des gleichen Umlaufs am Folgetag voll geladen sein muss.

Auffällig bei der Lösungsfindung von GENIOS für die vier Elektro-Umläufe sind die langen Ausfahrten. Der Algorithmus sucht auf Basis der Zielfunktion »möglichst viele Produktivkilometer« die längsten Linienfahrwege aus, die aus dem Umland durch die Stadt führen und die dann bei Erreichen der Kapazitätsgrenze möglichst kurze Wege ins Depot haben.

Wie geschildert, wurde die Zielparametrierung der Umlaufoptimierung für die E-Busse so optimiert, dass diese zum Zwischenladen in den Betriebshof einrücken, um die Batterien entsprechend aufzuladen. Das Laden kann wahlweise linear oder gestuft eingestellt werden.

Mit dieser Technik kann nicht nur eine mehrmals tägliche Verwendung von E-Bussen erreicht werden. Es sind auch

Simulationen zur Installation von Ladevorrichtungen an den Endpunkten möglich. Der Optimierer berücksichtigt dabei die Belegung der Ladestellen in der Umlaufbildung. Eine Doppelbelegung einer Ladestelle wird nicht zugelassen.

Die GENIOS Optimierung berücksichtigt dabei natürlich auch den Fahrplan und hält keine festen Ladezeiten oder bestimmte zu erreichende Ladezustände vor. Sie errechnet auf Basis von Fahrplan und der zum nächsten Ladepunkt zurückzulegenden Strecke die notwendige Ladung, die an diesem Punkt erbracht werden muss. Die Mainzer Mobilität hat das DIVA Planungssystem 2023 erfolgreich eingeführt. Aktuell werden mehrere Konfigurationen von GENIOS gemeinsam von MENTZ und Mainzer Mobilität erstellt und im Livebetrieb getestet. So können wir unseren Beitrag dazu leisten, die Mainzer Mobilität bei ihrem Weg zur Klimaneutralität zu unterstützen. Zuletzt hat die Mainzer Mobilität 23 neue E-Busse in ihre Flotte integriert. Sie leisten einen wichtigen Beitrag zu sauberer Luft, weniger Lärm und sparen CO<sub>2</sub>, indem jedes Jahr ca. 500.000 Liter Diesel eingespart werden. Das entspricht der Vermeidung von rund 1.250 Tonnen Kohlendioxid jährlich.

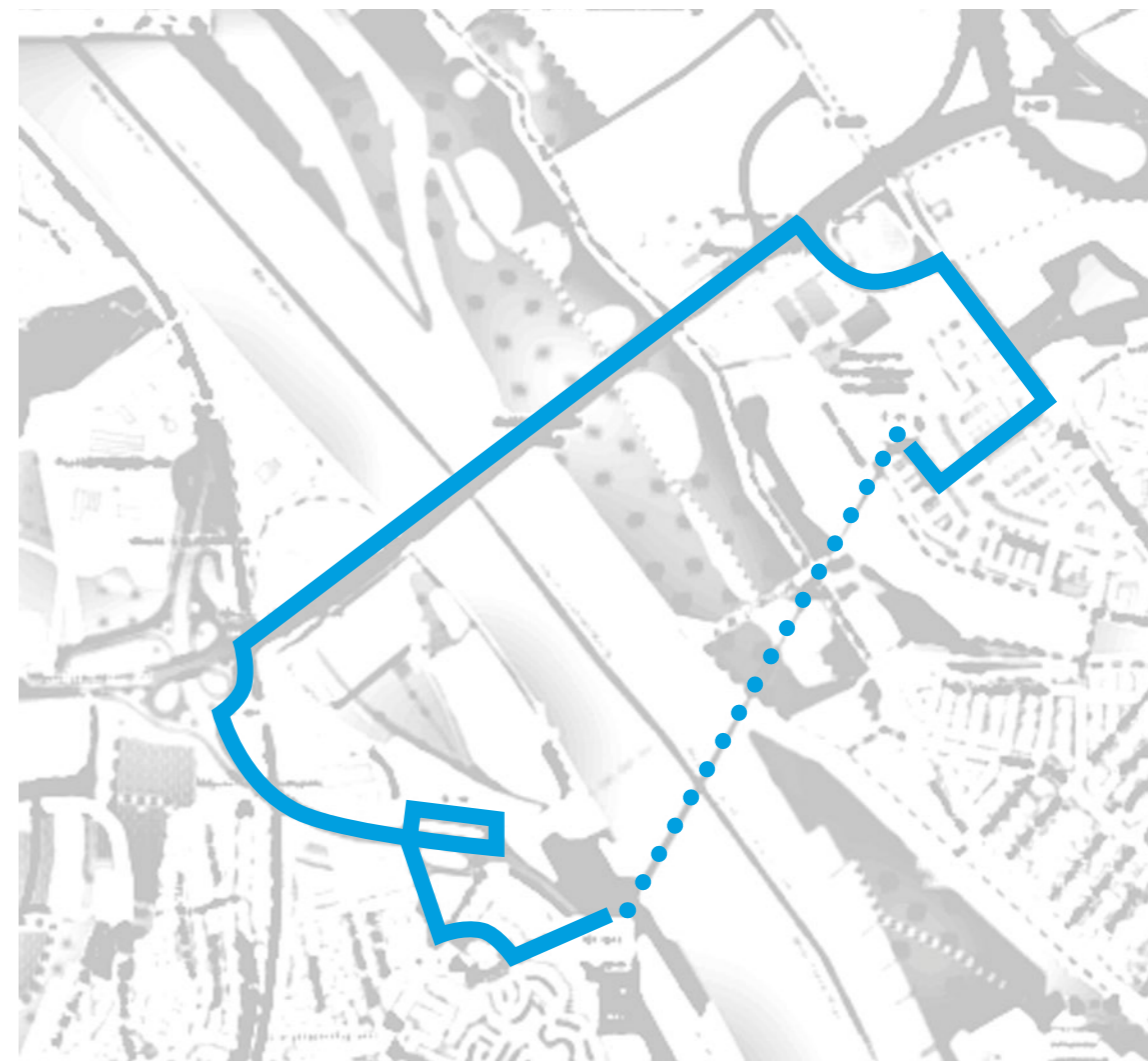


Abbildung 1 DIVA Web geroutete Leerfahrt (ganze Linie: 4,7km) zwischen Rüsselsheimer Allee und IGS Mainspitze im Vergleich zur Luftlinie (gepunktete Linie: 1,4km)



Abbildung 2 Kartendarstellung eines E-Bus Umlaufs in der Karte des DIVA Clients