



TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ  
Ingenieurgeodäsie und Messsysteme  
Univ. Prof. Dr. techn. Fritz K. Brunner  
Steyrergasse 30, A-8010 Graz  
Tel.: 873-6321, Fax: 873-6820

19.05.2008  
IGMS-2008-05

## TECHNISCHER BERICHT

### Bestimmung lokaler Koordinaten eines Lautsprecherfeldes im Akustiklabor Inffeldgasse 10, Institut für Elektrische Musik und Akustik (IEM)

Rundlauf: FKB – MKM  
Verteiler: Dipl.-Ing. Franz ZOTTER (IEM)  
von: MKM  
Datei: Technischer\_Bericht\_Akustiklabor.doc

### Inhalt

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Konzept .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Messung .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung.....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>4</b>
<b>A</b>	<b>Koordinatenverzeichnis.....</b>	<b>6</b>
<b>B</b>	<b>Berechnungsprotokolle .....</b>	<b>8</b>

# 1 Aufgabenstellung

Im Akustiklabor des Instituts für Elektronische Musik und Akustik (Abbildung 1.1) sind lokale Koordinaten von 24 Lautsprecherzentren mit einer Genauigkeit von 1 cm zu bestimmen.



Abbildung 1.1: Akustiklabor im Gebäude Inffeldgasse 10

# 2 Konzept

Die aus der Aufgabenstellung bekannte Genauigkeitsanforderung und die zu erwartenden Distanzen von maximal ca. 10 m ergeben keine besonderen Anforderungen an das auszuwählende Instrument und das zu verwendende Messverfahren.

Möchte man über die Aufgabenstellung hinausgehend die Rekonstruktion des Aufnahmestandpunktes bzw. der Aufnahmestandpunkte auf  $\pm 1$  mm durch im Raum zusätzlich anzubringende Zielmarken ermöglichen bzw. das Koordinatensystem durch die Zielmarken versichern, so ergibt sich für die Richtungsmessung eine erforderliche Genauigkeit von ca. 6 mgon und für die Streckenmessung eine Genauigkeit von in etwa 1 mm (6 mgon ergeben eine Querabweichung von 0.9 mm in 10 m Entfernung). Diese Anforderungen werden z.B. von den institutseigenen Totalstationen TC805L von Leica erfüllt:

- Präzision der Richtungsmessung: 1 mgon
- Präzision der Zenitwinkelmessung: 1 mgon
- Präzision der Distanzmessung: 5 mm + 5 ppm
- Wiederholbarkeit Distanzmessung: 1 mm

Eine Messung in zwei Kreislagen bei der Aufnahme der Punkte ist nicht erforderlich, da Ziellinien- und Indexfehler vorab bestimmt und im Instrument verspeichert werden können. Etwaige verbleibende Restfehler erreichen keinesfalls die Größenordnung der für die Aufgabe erforderlichen Präzision.

### 3 Messung

Für die Aufnahme der Lautsprecher wurden gemäß des Konzepts eine Totalstation Leica TC805L (S.-Nr. 503693, interne Institutsnummer „1“) und als Reflektor ein OMNI Miniprisma ohne Halterung verwendet. Die Spitze der Prismenhalterung (Abbildung 3.1) ist der Bezugspunkt für die Distanzmessung und wurde direkt an die aufzunehmenden Punkte angehalten.



Abbildung 3.1: OMNI Miniprisma ( $\varnothing$  31 mm). Der Bezugspunkt für die Distanzmessung ist die Spitze am Ende der Prismenhalterung

Im Vergleich zu den Leica Standard Prismen GPR1 ist bei Verwendung des OMNI Miniprismas eine Prismenkonstante von +34 mm zu berücksichtigen. Dieser Wert des Herstellers wurde vor Beginn der Aufnahme durch Messungen im geodätischen Messlabor des Instituts überprüft und bestätigt.

Die Aufnahme der Lautsprecherpunkte 1 bis 20 selbst erfolgte von einem Standpunkt aus (P1). Bei der Anzielung wurde zunächst das Lautsprecherzentrum bzw. die Zielmarke direkt angezielt (Richtung und Zenitwinkel). Anschließend erfolgten die Positionierung des Miniprismas und die Distanzmessung.

Neben den einzumessenden Lautsprechern wurden Zielmarken im Akustiklabor aufgeklebt und ebenfalls eingemessen. Mit Hilfe dieser Zielmarken kann der Standpunkt der Aufnahme jederzeit rekonstruiert bzw. das im Zuge der Auswertung definierte lokale Koordinatensystem für eventuelle spätere Neu- und Ergänzungsaufnahmen weiter verwendet werden. Mit Hilfe der Zielmarken wurden auch die beiden zusätzlichen Standpunkte P2 und P3, die für die Aufnahme der Punkte 21 und 22 bzw. 23 und 24 notwendig waren, bestimmt (freie Stationierung).

Ein Beispiel eines Lautsprecherzentrums samt geometrischem Bezugspunkt und einer Zielmarke (Ausdruck auf Etikettenpapier) ist in Abbildung 3.2 gezeigt. Der Bezugspunkt für die Distanzmessung (Tiefe) liegt an der Vorderkante jenes Ringes (Horns), in welches das Miniprisma eingesetzt werden kann (die Durchmesser von Miniprisma und Lautsprecherherring ergeben zufällig eine gute Passung). Der Bezugspunkt für die Distanzmessung liegt beim derart eingesetzten Reflektor um 15 mm weiter vorne als die Spitze. Somit ergibt sich eine effektive Prismenkonstante von +19 mm.

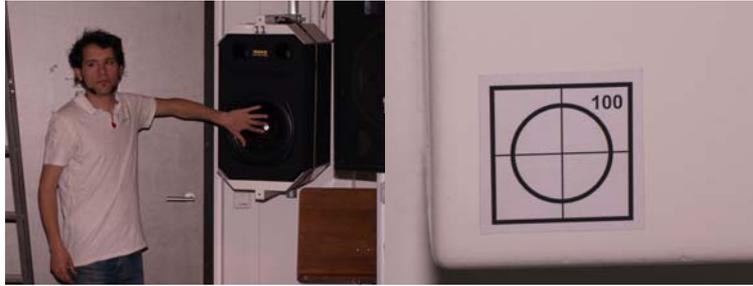


Abbildung 3.2: Lautsprecherzentrum mit Bezugspunkt (links) und Zielmarke (rechts)

Die Prismenkonstanten von +34 mm bzw. +19 mm (34 mm minus 15 mm) wurden bereits bei der Aufnahme im TC805L gespeichert. Somit beziehen sich alle gemessenen Distanzen auf den Anhaltepunkt (Spitze) des Miniprismas bzw. auf den Bezugspunkt des Lautsprechers.

## 4 Auswertung

Die Auswertung wurde im geodätischen Softwarepaket Geosi 6.0 durchgeführt. Als Koordinatensystem wurde ein lokales System definiert, dessen Ursprung im Standpunkt P1 liegt. Die Nullrichtung des Teilkreises definiert die Orientierung des Systems und zeigt vom Ursprung in Richtung Lautsprecher 1.

Um lokale kartesische Koordinaten für die Lautsprecherzentren und die Zielmarken zu berechnen, wurden sowohl die (standardmäßig eingeschaltete) geometrische als auch die projektive Reduktion deaktiviert. Die Berechnung der Koordinaten und Höhen erfolgte gemäß der Aufnahmekonfiguration über den Menüpunkt „Polarpunktberechnung“ und den Schalter „3D“ (Höhen). Die Berechnung der beiden zusätzlichen Standpunkte erfolgte mittels freier Stationierung.

## 5 Ergebnisse

Eine Übersicht der Lage der Punkte ist in Abbildung 5.1 gezeigt. Die Koordinaten der Punkte sind im Koordinatenverzeichnis im Anhang gelistet. Die Punktnummern 1 bis 24 entsprechen den Nummern der Lautsprecher (im Labor durch Aufkleber gekennzeichnet), die Zielmarken zur Stabilisierung des Bezugsrahmens weisen die Punktnummern 100 bis 800 auf. Die übrigen Punkte (50 bis 55) stellen den Umriss des Raumes dar.

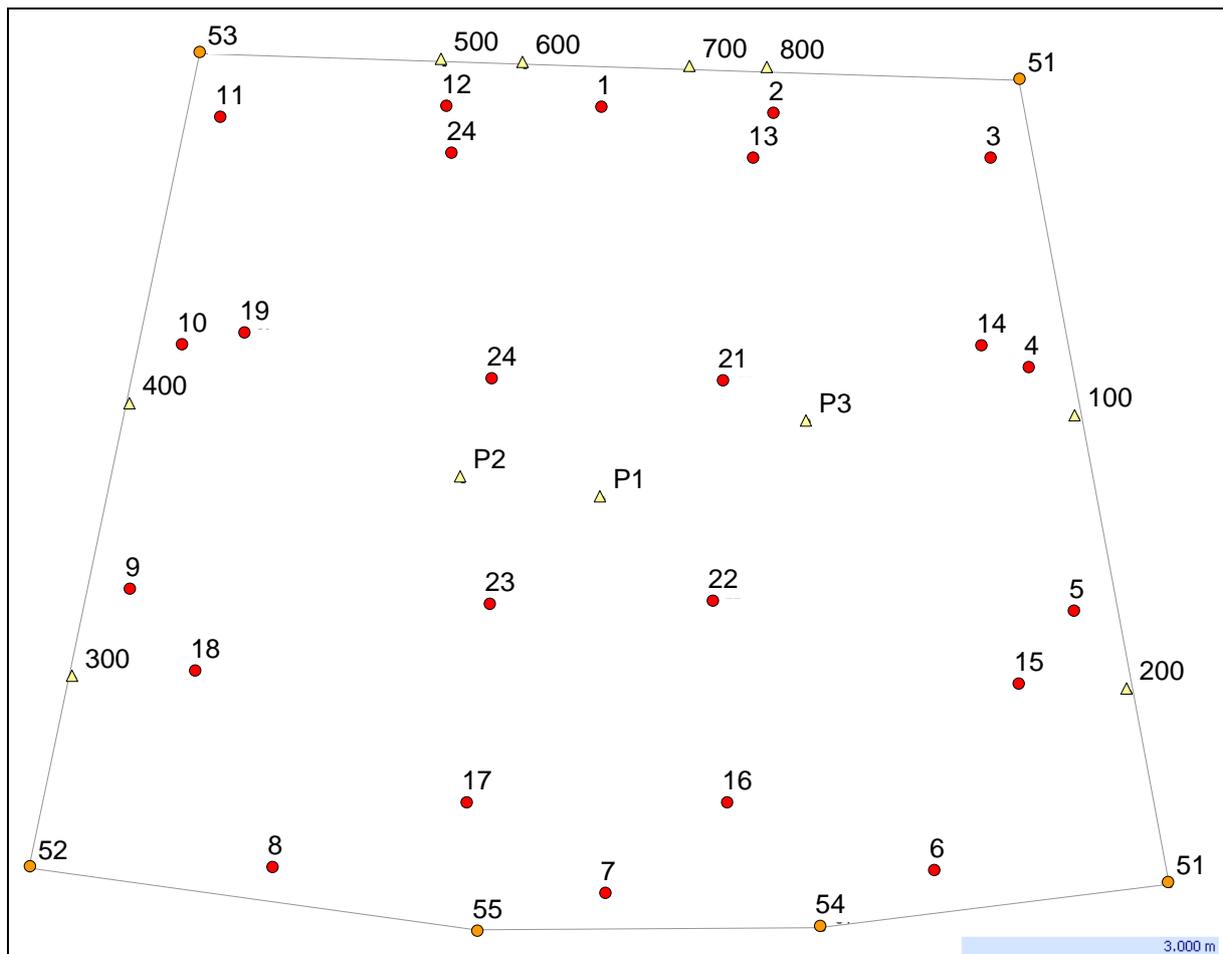


Abbildung 5.1: Punktübersicht (Geosi Screenshot)

Die lokalen kartesischen Koordinaten der Lautsprecher (Bezugspunkt siehe Abbildung 3.2) und Zielmarken sind im nachfolgenden Koordinatenverzeichnis angeführt. Gemäß den in der Geodäsie bzw. Vermessungskunde üblichen Konventionen entspricht die y-Achse dem Rechtswert (mathematische x-Achse), die x-Achse dem Hochwert (mathematische y-Achse).

## A Koordinatenverzeichnis

Die berechneten lokalen kartesischen Koordinaten der aufgenommenen Punkte sind in Tabelle A.1 gelistet. Aus der Spalte „Anmerkung“ ist die Art des jeweiligen Punktes ersichtlich.

Tabelle A.1: Koordinatenverzeichnis (Koordinatensystem: lokal kartesisch)

Pkt.-Nr.	y [m]	x [m]	H [m]	Anmerkung
P1	0.000	0.000	0.000	Standpunkt 1, Ursprung
P2	-1.620	0.205	1.625	Standpunkt 2
P3	2.388	0.907	1.629	Standpunkt 3
1	0.000	4.635	1.341	Lautsprecher
2	2.023	4.600	1.381	
3	4.596	4.113	1.401	
4	5.028	1.574	1.405	
5	5.553	-1.289	1.406	
6	3.873	-4.376	1.358	
7	0.016	-4.636	1.371	
8	-3.860	-4.331	1.353	
9	-5.533	-1.068	1.400	
10	-4.943	1.821	1.376	
11	-4.456	4.481	1.387	
12	-1.850	4.711	1.385	
13	1.766	4.230	3.828	
14	4.441	1.806	3.938	
15	4.873	-2.189	4.173	
16	1.476	-3.624	3.478	
17	-1.577	-3.602	3.493	
18	-4.782	-2.055	4.160	
19	-4.210	1.925	3.854	
20	-1.767	4.223	3.771	
21	1.456	1.368	4.423	
22	1.324	-1.252	4.153	
23	-1.342	-1.267	4.142	
24	-1.325	1.399	4.392	
50	4.867	4.916	-0.002	Raumecke
51	6.616	-4.556	-0.003	
52	-6.685	-4.363	-0.006	
53	-4.703	5.223	-0.002	
54	2.584	-5.081	-0.001	
55	-1.469	-5.117	-0.005	

(Fortsetzung)

Pkt.-Nr.	y [m]	x [m]	H [m]	Anmerkung
100	5.568	0.935	1.385	Zielmarke
200	6.163	-2.284	2.332	
300	-6.180	-2.118	1.381	
400	-5.519	1.083	2.319	
500	-1.853	5.107	0.510	
600	-0.910	5.083	1.783	
700	1.052	5.045	1.762	
800	1.966	5.029	0.690	

## B Berechnungsprotokolle

Die folgenden Berechnungsprotokolle stammen aus dem geodätischen Programmpaket Geosi 6.0. Aus der Berechnung der Standpunkte P2 und P3 (freie Stationierung) mit Hilfe der zuvor von P1 aus berechneten Koordinaten der Zielmarken lässt sich ableiten, dass die Genauigkeitsanforderungen für die Realisierung des Koordinatensystems erreicht wurden (Betrag der Klaffungen in den Identpunkten: max. 1 mm).

### Polarpunktberechnung manuell

Atmosphärische Korrektur: Ja  
 Seitenhorizontierung und Höhenreduktion: deaktiviert  
 Mittlere Projekthöhe: 0.000 m  
 Projektive Verzerrung: Nein  
 Trigonometrische Höhendifferenzen: einseitige Zenitwinkel  
 Berechnung: 3D

Standpunkt: P1		Satz: 1				
Ori: 0.0004 gon	Ih: 1.630 m			0.000	0.000	0.000
Druck: 970 mb	Temp: 20 °C					
Zielpunkt	Az [gon]	Sh [m]	Dh [m]	Y [m]	X [m]	H [m]
	Druck [mb]	Temp [°C]	Zh [m]			
1	0.0000	4.635	1.341	0.000	4.635	1.341
	---	---	0.000			
2	26.3760	5.025	1.381	2.023	4.600	1.381
	---	---	0.000			
3	53.5320	6.168	1.401	4.596	4.113	1.401
	---	---	0.000			
4	80.6790	5.268	1.405	5.028	1.574	1.405
	---	---	0.000			
5	114.5208	5.701	1.406	5.553	-1.289	1.406
	---	---	0.000			
6	153.8724	5.844	1.358	3.873	-4.376	1.358
	---	---	0.000			
7	199.7786	4.636	1.371	0.016	-4.636	1.371
	---	---	0.000			
8	246.3462	5.802	1.353	-3.860	-4.331	1.353
	---	---	0.000			
9	287.8572	5.635	1.400	-5.533	-1.068	1.400
	---	---	0.000			
10	322.4654	5.268	1.376	-4.943	1.821	1.376
	---	---	0.000			
11	350.1738	6.319	1.387	-4.456	4.481	1.387
	---	---	0.000			
12	376.1758	5.061	1.385	-1.850	4.711	1.385
	---	---	0.000			
13	25.1748	4.583	3.828	1.766	4.230	3.828
	---	---	0.000			

14	75.4120 ---	4.795 ---	3.938 0.000	4.441	1.806	3.938
15	126.8828 ---	5.342 ---	4.173 0.000	4.873	-2.189	4.173
16	175.3758 ---	3.913 ---	3.478 0.000	1.476	-3.624	3.478
17	226.2808 ---	3.932 ---	3.493 0.000	-1.577	-3.602	3.493
18	274.1652 ---	5.205 ---	4.160 0.000	-4.782	-2.055	4.160
19	327.3060 ---	4.630 ---	3.854 0.000	-4.210	1.925	3.854
20	374.7712 ---	4.578 ---	3.771 0.000	-1.767	4.223	3.771
50	49.6790 ---	6.917 ---	-0.002 1.000	4.867	4.916	-0.002
51	138.3936 ---	8.033 ---	-0.003 0.600	6.616	-4.556	-0.003
52	263.1898 ---	7.983 ---	-0.006 1.000	-6.685	-4.363	-0.006
53	353.3294 ---	7.029 ---	-0.002 0.500	-4.703	5.223	-0.002
54	170.0506 ---	5.700 ---	-0.001 1.000	2.584	-5.081	-0.001
55	217.7946 ---	5.323 ---	-0.005 1.000	-1.469	-5.117	-0.005
100	89.4080 ---	5.646 ---	1.385 0.000	5.568	0.935	1.385
200	122.5984 ---	6.573 ---	2.332 0.000	6.163	-2.284	2.332
300	278.9772 ---	6.533 ---	1.381 0.000	-6.180	-2.118	1.381
400	312.3396 ---	5.624 ---	2.319 0.000	-5.519	1.083	2.319
500	377.8380 ---	5.433 ---	0.510 0.000	-1.853	5.107	0.510
600	388.7176 ---	5.164 ---	1.783 0.000	-0.910	5.083	1.783
700	13.0896 ---	5.153 ---	1.762 0.000	1.052	5.045	1.762
800	23.7274 ---	5.400 ---	0.690 0.000	1.966	5.029	0.690

**Freie Stationierung in Standpunkt: P2****Koordinatendifferenzen und mittlere Fehler der Identpunkte**

Lokaler Punkt	dY/mY [m]	dX/mX [m]	dH/mH [m]	Identpunkt
100	0.000 0.000	0.000 0.000	--- ---	100
200	-0.001 0.000	0.000 0.000	--- ---	200
300	0.000 0.000	0.000 0.000	--- ---	300
400	0.001 0.000	0.000 0.000	--- ---	400

Orientierung 358.1118 gon      Standardabweichung Ori. 0.0021 gon  
Maßstab wird nicht berücksichtigt

Höhenableitung	Höhe Zp[m]	Zd[gon]	ZH[m]	IH[m]	Höhe SPkt[m]
100	1.385	102.1190	0.000	0.000	1.625
200	2.332	94.5080	0.000	0.000	1.625
300	1.381	103.0354	0.000	0.000	1.626
400	2.319	89.0638	0.000	0.000	1.625
Mittel					1.625 m
Standpunkt: P2		-1.620 m		0.205 m	1.625 m

**Freie Stationierung in Standpunkt: P3****Koordinatendifferenzen und mittlere Fehler der Identpunkte**

Lokaler Punkt	dY/mY [m]	dX/mX [m]	dH/mH [m]	Identpunkt
100	0.000 0.000	0.000 0.000	--- ---	100
200	0.000 0.001	0.001 0.001	--- ---	200
300	-0.001 0.000	0.000 0.000	--- ---	300
400	0.001 0.001	0.000 0.001	--- ---	400

Orientierung 6.3398 gon      Standardabweichung Ori. 0.0042 gon  
Maßstab wird nicht berücksichtigt

Höhenableitung	Höhe Zp[m]	Zd[gon]	ZH[m]	IH[m]	Höhe SPkt[m]
100	1.385	104.8894	0.000	0.000	1.630
200	2.332	91.0110	0.000	0.000	1.629
300	1.381	101.7386	0.000	0.000	1.630
400	2.319	94.4642	0.000	0.000	1.629
Mittel					1.629 m
Standpunkt: P3		2.388 m		0.907 m	1.629 m

**Polarpunktberechnung manuell**

Atmosphärische Korrektur: Ja  
 Seitenhorizontierung und Höhenreduktion: deaktiviert  
 Mittlere Projekthöhe: 0.000 m  
 Projektive Verzerrung: Nein  
 Trigonometrische Höhendifferenzen: einseitige Zenitwinkel  
 Berechnung: 3D

<b>Standpunkt: P2</b>		<b>Satz: 1</b>				
Ori: 358.1118 gon	Ih: 0.000 m			-1.620	0.205	1.625
Druck: 970 mb	Temp: 20 °C					
Zielpunkt	Az [gon]	Sh [m]	Dh [m]	Y [m]	X [m]	H [m]
	Druck [mb]	Temp [°C]	Zh[m]			
21	76.9924	3.288	2.798	1.456	1.368	4.423
	---	---	0.000			
22	129.2606	3.285	2.528	1.324	-1.252	4.153
	---	---	0.000			

**Polarpunktberechnung manuell**

Atmosphärische Korrektur: Ja  
 Seitenhorizontierung und Höhenreduktion: deaktiviert  
 Mittlere Projekthöhe: 0.000 m  
 Projektive Verzerrung: Nein  
 Trigonometrische Höhendifferenzen: einseitige Zenitwinkel  
 Berechnung: 3D

<b>Standpunkt: P3</b>		<b>Satz: 1</b>				
Ori: 6.3398 gon	Ih: 0.000 m			2.388	0.907	1.629
Druck: 970 mb	Temp: 20 °C					
Zielpunkt	Az [gon]	Sh [m]	Dh [m]	Y [m]	X [m]	H [m]
	Druck [mb]	Temp [°C]	Zh[m]			
23	266.4126	4.317	2.512	-1.342	-1.267	4.142
	---	---	0.000			
24	308.3986	3.745	2.763	-1.325	1.399	4.392
	---	---	0.000			

**Speichern des Projektes**

Projektdatei:  
 D:\IGMS\Projekte\Akustiklabor\_Inffeld\Auswertung\Akustiklabor\_Inffeld.pro  
 gespeichert am: 19.05.08 um: 12:38:26 Uhr von: Administrator

**Export ASCII, Koordinaten**

File: D:\IGMS\Projekte\Akustiklabor\_Inffeld\Auswertung\KVZ.txt  
 Methode: netz  
 Steuerfile: C:\Programme\Geosi60\GeosiPRO\Daten\Konvertierung\netz.str  
 Umsetzer: C:\Programme\Geosi60\GeosiPRO\Daten\Konvertierung\geo\_mem.ums

**Ausgewählte Koordinaten**

Punkt	Y [m]	X [m]	H [m]	Code	MS
P1	0.000	0.000	0.000		Lokal
P2	-1.620	0.205	1.625		Lokal
P3	2.388	0.907	1.629		Lokal
1	0.000	4.635	1.341		Lokal
2	2.023	4.600	1.381		Lokal
3	4.596	4.113	1.401		Lokal
4	5.028	1.574	1.405		Lokal
5	5.553	-1.289	1.406		Lokal
6	3.873	-4.376	1.358		Lokal
7	0.016	-4.636	1.371		Lokal
8	-3.860	-4.331	1.353		Lokal
9	-5.533	-1.068	1.400		Lokal
10	-4.943	1.821	1.376		Lokal
11	-4.456	4.481	1.387		Lokal
12	-1.850	4.711	1.385		Lokal
13	1.766	4.230	3.828		Lokal
14	4.441	1.806	3.938		Lokal
15	4.873	-2.189	4.173		Lokal
16	1.476	-3.624	3.478		Lokal
17	-1.577	-3.602	3.493		Lokal
18	-4.782	-2.055	4.160		Lokal
19	-4.210	1.925	3.854		Lokal
20	-1.767	4.223	3.771		Lokal
21	1.456	1.368	4.423		Lokal
22	1.324	-1.252	4.153		Lokal
23	-1.342	-1.267	4.142		Lokal
24	-1.325	1.399	4.392		Lokal
50	4.867	4.916	-0.002		Lokal
51	6.616	-4.556	-0.003		Lokal
52	-6.685	-4.363	-0.006		Lokal
53	-4.703	5.223	-0.002		Lokal
54	2.584	-5.081	-0.001		Lokal
55	-1.469	-5.117	-0.005		Lokal
100	5.568	0.935	1.385		Lokal
200	6.163	-2.284	2.332		Lokal
300	-6.180	-2.118	1.381		Lokal
400	-5.519	1.083	2.319		Lokal
500	-1.853	5.107	0.510		Lokal
600	-0.910	5.083	1.783		Lokal
700	1.052	5.045	1.762		Lokal
800	1.966	5.029	0.690		Lokal