
Tempo 40 in Hohenheimer Straße - Begleituntersuchung

Ergebnisbericht

Juli 2013

Tempo 40 in Hohenheimer Straße

- Begleituntersuchung

Ergebnisbericht

Auftraggeber: **Regierungspräsidium Stuttgart**
Referat 54.1 - Industrie
Schwerpunkt Luftreinhaltung
Ruppmannstraße 21
70565 Stuttgart

Auftragnehmer: **SSP Consult**
Beratende Ingenieure GmbH
Schockenriedstraße 8c
70565 Stuttgart

Telefon: 0711 / 90 69 8-0
Telefax: 0711 / 90 69 8-88
E-Mail: mail@stgt.ssp-consult.de

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Norbert Anstett
Dipl.-Inform. Karin Langbein-Euchner

Inhalt des Berichtes	Seite
1. Zielsetzung	1
2. Datenerhebung	2
2.1 Durchführung von Messfahrten	2
2.2 Automatische Erhebungen	3
2.2.1 Verkehrsbelastung auf der Hohenheimer Straße	3
2.2.2 Automatische Erhebungen mit Messplatten	3
3. Auswertung der Messfahrten	5
3.1 Auswertungsverfahren	5
3.2 Ergebnisse	6
3.2.1 Visualisierung des Routenverlaufs in der Karte	6
3.2.2 Streckenbezogene Routenauswertungen	7
3.2.2.1 Geschwindigkeit-Weg Diagramme	7
3.2.2.2 Unterteilung in Gruppen	9
3.2.2.3 Ergebnisse mittlere Geschwindigkeiten	11
3.2.2.4 Ergebnisse Stauhäufigkeit	11
3.2.2.5 Ergebnisse Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge	12
4. Ergebnisse der automatischen Erhebungen	14
4.1 Automatische Erhebungen mit Messplatten in der Alexanderstraße, der Dobelstraße und auf der Neuen Weinsteige	14
4.1.1 Dienstag, 23.10.2016 , 16.04.2013 und 23.04.2013	15
4.1.2 Mittwoch, 24.10.2016 , 17.04.2013 und 24.04.2013	16
4.1.3 Donnerstag, 25.10.2016 , 18.04.2013 und 25.04.2013	17
4.1.4 Freitag, 26.10.2016 , 19.04.2013 und 26.04.2013	18
4.1.5 Samstag, 27.10.2016 , 20.04.2013 und 27.04.2013	19
4.1.6 Dienstag bis Samstag	20
4.2 Verkehrsbelastung auf der Hohenheimer Straße stadtauswärts	21
5. Zusammenfassung	24
6. Anhang	25
6.1 Bewertung der aufgezeichneten GPS-Geschwindigkeiten	25
6.2 Qualität der GPS- Datenaufzeichnungen	25

6.3 Herstellung des Streckenbezugs	28
6.4 Sensitivitätsbetrachtung	29
6.4.1 Ergebnisse Staugeschwindigkeit	29
6.4.2 Ergebnisse Beschleunigung/Verzögerung	31
6.5 Anlagen in elektronischer Form	33
6.5.1 Routen (gps_punkte.csv)	33
6.5.2 Kml-Dateien (Verzeichnis \kml)	33
6.5.3 Automatische Erhebungen mit Messplatten	33

1. Zielsetzung

Die Landeshauptstadt Stuttgart führt in Zusammenarbeit mit dem Regierungspräsidium für die stadtauswärtige Fahrtrichtung der Hohenheimer Straße die zulässige Geschwindigkeit von 40 km/h ein. Die Maßnahme hat die Zielsetzung, durch eine Verstetigung des Verkehrsflusses Verbesserungen insbesondere hinsichtlich der in diesem Bereich erhöhten Stickoxidbelastung und bestehenden Feinstaubproblematik zu bewirken. Das begleitende Monitoring ermittelt die Auswirkungen der geänderten zulässigen Geschwindigkeit hinsichtlich Ablauf und Verteilung des Straßenverkehrs.

Die Einführung von Tempo 40 ist auf die stadtauswärtige und damit auf die ansteigende Richtung der B27 - Hohenheimer Straße beschränkt. In der Gegenrichtung wird die bestehende Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h beibehalten, da aufgrund des Gefälles keine Erwartungen in eine signifikante emissionsreduzierende Wirkung einer schärferen Beschränkung bestehen.

Bereits vor Einführung von Tempo 40 wurde die bestehende Halteverbotsregelung in der Hohenheimer Straße geändert. Damit ist das Parken auf dem rechten Fahrstreifen erst nach der abendlichen Spitzenzeit erlaubt. Die Maßnahme soll zu einer Verstetigung des Verkehrsflusses beitragen, da die Verflechtung des stadtauswärtigen Verkehrs auf dem linken Fahrstreifen aufgrund parkender Fahrzeuge entfällt.

Die bestehende Koordinierung zwischen den Knotenpunkten 1.475 - Charlotten-/Alexander-/Hohenheimer Straße und 1.464 - Neue Weinsteige/Haus 66 wurde mit Einführung von Tempo 40 auf die reduzierte Progressionsgeschwindigkeit ausgerichtet. Durch die Geschwindigkeitsreduzierung erhöht sich rechnerisch die Fahrzeit auf der ca. 1,1 km langen Strecke um etwa 20 s. Damit wird die Attraktivität dieses Streckenzuges verringert und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich Verkehrsanteile auf alternative Routen verlagern.

Zur Bewertung der Auswirkungen und Veränderungen der Tempo 40 Regelung auf der Hohenheimer Straße stadtauswärts wurde zusätzlich zur Auswertung der Schadstoffsituation durch die Messstelle in der Hohenheimer Straße eine Vorher-Nachher-Betrachtung der Verkehrszustände durchgeführt.

Als erster Teilschritt wurde hierfür im Vorfeld der Änderung eine gezielte Dokumentation vorgenommen, die es erlaubt, ein möglichst objektives Bild des Verkehrszustandes der Hohenheimer Straße sowie des näheren Umfelds zu erstellen. Hierzu wurden Messfahrten in der Hohenheimer Straße sowie automatische Erhebungen in verschiedenen Nebenrichtungen der Hohenheimer Straße durchgeführt.

Das identische Messprogramm wurde nach Einführung der Tempo 40 Regelung wiederholt. Zur Einordnung der Rahmenbedingungen bzw. Umfeldbedingungen der jeweiligen Messfahrten wurden zusätzlich die Dauerzählwerte der Untersuchungsstrecke berücksichtigt.

Durch Querschnitterhebungen auf den Nebenstrecken wurde ergänzend überprüft, ob durch die Einführung von Tempo 40 Verkehrsverlagerungen auf das angrenzende untergeordnete Netz hervorgerufen werden. Es wird angenommen, dass nur der stadtauswärtige Verkehr einer Verlagerung unterworfen ist. Die Erhebungspunkte wurden in Abstimmung mit dem

Auftraggeber und weiteren Planungsbeteiligten festgelegt. Die Erhebung erfolgte mit Messplatten, die auf die Fahrbahn geschraubt wurden.

2. Datenerhebung

2.1 Durchführung von Messfahrten

Im Oktober 2012 und im April 2013 wurden jeweils an vier Tagen zwischen ca. 17:30 und 20:00 Uhr Messfahrten durchgeführt. Methodisch wurden die Reisezeitmessungen mit Fahrzeugen durchgeführt, die mit GPS-Ortungsgeräten ausgestattet waren. Aufgabe war es, im normalen Verkehrsfluss „mit zu schwimmen“ und dabei die zulässige Geschwindigkeit einzuhalten.

Die Befahrung der Untersuchungsstrecke erfolgte vom Ausgangspunkt Charlotten-/Alexander-/Hohenheimer Straße bis zur Einmündung Neue Weinsteige. Die Rückfahrt zum Ausgangspunkt erfolgte über die Olgastraße - Wilhelmstraße - Hauptstätter Straße. Am Charlottenplatz wurden unterschiedliche Routen gewählt, um verschiedene Situationen bei den Messfahrten abzudecken: Entweder Einreihung in den Hauptpulk durch Wenden am Gebhard-Müller-Platz, Einreihung am Ende des Hauptpulks durch Wenden am Schlossplatz oder Einreihung zu Beginn des Hauptpulks durch Rechtsabbiegen am Charlottenplatz. Mit der Einreihung des Messfahrzeugs in unterschiedliche Bereiche (Beginn, Mitte, Ende) des Hauptpulks, erfolgte die Abbildung eines möglichst breiten Spektrums.

Die Messfahrten wurden in den nachmittäglichen Spitzenverkehrszeiten durchgeführt. Dabei konnten pro Tag zwischen 7 und 10 GPS-Tracks aufgezeichnet werden. Diese Zahl liegt unter den Erwartungen. Verursacht wurde dies durch das hohe Verkehrsaufkommen insbesondere im Bereich der Rückfahrt. Die GPS-Tracks wurden als Routen fortlaufend nummeriert und in eine Datenbank übernommen.

Tabelle 1: Messfahrten „vorher“

Datum	Anzahl von Messfahrten	Routen Nummer
Mittwoch, 17.10.2012	10	6 - 15
Donnerstag, 18.10.2012	9	16 - 24
Dienstag, 23.10.2012	9	25 – 33
Mittwoch, 24.10.2012	10	34 – 43

Tabelle 2: Messfahrten mit Tempo 40 Regelung

Datum	Anzahl von Messfahrten	Routen Nummer
Dienstag, 16.04.2013	10	44 – 53
Donnerstag, 18.04.2013	7	54 – 60
Dienstag, 23.04.2013	8	61 – 68
Donnerstag, 25.04.2013	10	69 – 78

Die Routen beinhalten eine Aufzeichnung des Fahrtverlaufs im Sekundenabstand u.a. mit folgenden Angaben:

- Datum
- Uhrzeit [HH:MM:SS]
- Längengrad [in Dezimalgrad]
- Breitengrad [in Dezimalgrad]
- Geschwindigkeit [km/h]
- Anzahl der zur Positionsbestimmung verwendeten Satelliten

Für die weitere Auswertung wurde die in den Rohdaten enthaltene UTC-Zeit in Ortszeit (MEZ) umgerechnet.

2.2 Automatische Erhebungen

2.2.1 Verkehrsbelastung auf der Hohenheimer Straße

Der Verkehrsbelastung in der Hohenheimer Straße wird an den Zählstellen zwischen Schickstraße und Etzelstraße ständig erfasst. Aus halbstündlichen Werten für die Gruppen

- Pkw
- Leichte Nutzfahrzeuge (LN) und
- Schwere Nutzfahrzeuge einschl. Nutzfahrzeuge mit Anhänger (SN)

wurden die Belastungen in PKW-Einheiten wie folgt berechnet:

$$\text{PKW}_E = \text{Pkw} + 1,5 * \text{LN} + 2,5 * \text{SN}$$

Die Daten wurden vom Auftraggeber bereitgestellt.

2.2.2 Automatische Erhebungen mit Messplatten

Mittels automatischer Zählgeräte wurden in der Alexanderstraße (in Richtung Eugensplatz), in der Dobelstraße (in Richtung Sonnenberg) und in der Neuen Weinsteige zwischen Zellerstraße und Ernst-Sieglin-Platz die Verkehrsmengen unterschieden nach 5 Fahrzeugklassen erhoben. Dazu wurden Messplatten auf die Fahrbahn montiert.

Vorgesehen waren je eine Erhebung über 4 Tage vor und nach der Einführung von Tempo 40 in jeweils einer Fahrtrichtung. Während des Erhebungszeitraums „nachher“ vom 16. bis 20.04.2013 befand sich im Bereich Dobelstraße eine kleinere Baustelle der Fa. Kreder im Auftrag der EnBW, was fallweise Behinderungen in der Dobelstraße verursachte. Am 16. und 17.04.2013 wurde wegen Arbeiten im Gleisbereich der Stadtbahn zwischen 08:00 und 16:00 Uhr nach Angaben der bauausführenden Firma Leonhard Weiss zusätzlich die Abbiegespur von der Hohenheimer Straße in die Dobelstraße gesperrt. Aufgrund dessen wurde eine weitere Erhebungsserie vom 23.-27.04.2013 durchgeführt.

Tabelle 3: Automatische Erhebungen mit Messplatten „vorher“ auf der Alexanderstraße, der Dobelstraße und der Neuen Weinsteige

Datum	Zeitbereich
Dienstag, 23.10.2012	00:00 – 24:00 Uhr
Mittwoch, 24.10.2012	00:00 – 24:00 Uhr
Donnerstag, 25.10.2012	00:00 – 24:00 Uhr
Freitag, 26.10.2012	00:00 – 24:00 Uhr
Samstag, 27.10.2012	00:00 – 24:00 Uhr

Tabelle 4: Automatische Erhebungen mit Messplatten mit Tempo 40 Regelung auf der Alexanderstraße, der Dobelstraße und der Neuen Weinsteige

Datum	Zeitbereich
Dienstag, 16.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Mittwoch, 17.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Donnerstag, 18.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Freitag, 19.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Samstag, 20.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Dienstag, 23.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr Alexanderstraße: 03:45 – 24:00 Uhr
Mittwoch, 24.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Donnerstag, 25.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Freitag, 26.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr
Samstag, 27.04.2013	00:00 – 24:00 Uhr

Die Daten wurden in 15-Minuten Intervallen aufgezeichnet.

Die vom Hersteller angegebene Zählgauigkeit beträgt mindestens 99% im freien Verkehr und 96% im Stop&Go-Verkehr.

In den Daten werden folgende Fahrzeugklassen unterschieden:

Tabelle 5: Unterscheidung von Fahrzeugklassen in den automatischen Erhebungen

Längenklasse	Fahrzeugart
L1: 0 bis 5,5 Meter	PKW und ähnliche
L2: 5,5 bis 6 Meter	Leichte Nutzfahrzeuge, Sprinter
L3: 6,0 bis 10,0 Meter	Große Lkw, Standardlinienbus und Ähnliche
L4: 10,0 bis 12,0 Meter	Sehr Große Lkw, Überlandbusse und Ähnliche
L5: 12,0 bis 25,0 Meter	Lastzüge, Sattelzüge, Gelenkbusse und Ähnliche

Die Genauigkeit bei der Unterscheidung der Fahrzeugklassen wird bei einer 95%-Wahrscheinlichkeit mit +/- 8% angegeben, vorausgesetzt die Geschwindigkeit ist größer als 24 km/h. Diese Geschwindigkeiten wurden sicher nicht immer erreicht, so dass von einem höheren Fehler bei der Klassifizierung der Fahrzeuge, insbesondere bei längeren Fahrzeugen auszugehen ist.

3. Auswertung der Messfahrten

3.1 Auswertungsverfahren

Die Auswirkungen und Veränderungen auf den individuellen Fahrtverlauf wurden über eine Vorher-Nachher-Betrachtung ermittelt.

Zunächst wurden zu den einzelnen Routen kml-Dateien erstellt, welche in GoogleEarth geöffnet werden können und in denen die an den Routenpunkten gemessenen Geschwindigkeiten über den Farbverlauf symbolisiert werden. In einer weiteren Variante der kml-Dateien wurden die aufgezeichneten Routenpunkte zusätzlich durch Pins markiert, welche Angaben zum Aufzeichnungspunkt und der Geschwindigkeit enthalten. Über die Visualisierung in GoogleEarth konnten die Routenaufzeichnungen hinsichtlich Plausibilität und Qualität bewertet werden.

Für die Auswertung wurde ein vom Anbieter selbst entwickeltes datenbankbasiertes Auswertungsprogramm verwendet. Dazu wurden die GPS-Daten der Routenaufzeichnungen in eine relationale Datenbank übernommen. Über eine PHP-basierte Benutzeroberfläche wurden flexible Auswertungs- und Visualisierungsmöglichkeiten implementiert. Insbesondere die Herstellung des Streckenbezugs als gemeinsame Vergleichsbasis war eine Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der verschiedenen GPS-Aufzeichnungen. Dies wurde erreicht, indem die Entfernungen zwischen den Routenverlaufspunkten berechnet und relativ zum Startpunkt aufsummiert wurden.

Folgende streckenbezogene Auswertungen wurden auf dem Abschnitt Charlotten-/Alexander-/Hohenheimer Straße bis Neue Weinsteige/Ernst-Sieglin-Platz durchgeführt:

- Erstellung von Diagrammen mit Geschwindigkeits-Weg-Profilen
- Berechnung von Fahrtdauer und Durchschnittsgeschwindigkeiten
- Ermittlung von Stauanzahl und Staudauer bezüglich einer Grenzgeschwindigkeit
- Ermittlung hoher Geschwindigkeitsdifferenzen (Beschleunigung oder Verzögerung) aufeinanderfolgender Routenpunkte

Bei der Interpretation der Auswertungen ist zu beachten, dass es sich bei den Geschwindigkeiten um die vom GPS-Gerät aufgezeichneten Werte handelt, welche von den realen Geschwindigkeiten etwas abweichen können. Eine Überprüfung der Geschwindigkeiten (siehe Anhang 6.1) ergab jedoch, dass die aufgezeichneten GPS-Geschwindigkeiten als Berechnungsgrundlage durchaus verwendet werden können.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Visualisierung des Routenverlaufs in der Karte

Für die aufgezeichneten und in das kml-Format übertragenen Routen wurde folgender Farbverlauf für die Geschwindigkeiten zugrunde gelegt:

Tabelle 6: Farbdarstellung in den Routen (kml-Dateien)

Farbe	Geschwindigkeit
Dunkelrot	< 15 km/h
Rot	15-25 km/h
Orange	25-35 km/h
Gelb	35-45 km/h
Grün	> 45 km/h

Die nachfolgenden Abbildungen enthalten ein Beispiel für die Visualisierung einer Route ohne und mit Markierung der aufgezeichneten Punkte durch Pins. Beim Anklicken eines Pins wird die Nummer (ix) und Geschwindigkeit (v) des Routenpunkts angezeigt.



Abbildung 1: Routenverlauf Nr. 34 mit Beginn und Ende der Auswertungstrecke (Darstellung in GoogleEarth)



Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Routenverlauf Nr. 34 bei der Einmündung Dobelstraße; die Pins markieren die aufgezeichneten Positionen. (Darstellung in GoogleEarth)

Alle kml-Dateien sind dem Bericht elektronisch beigefügt.

Die Qualität der Routenaufzeichnungen wird im Anhang (Kapitel 6.2) näher beschrieben. Aufgrund einer unterschiedlich großen Anzahl von Satelliten zur Positionsberechnung im Herbst 2012 und Frühjahr 2013 und der dadurch bedingten Genauigkeitsunterschiede konnten nicht gleich viele Routen vorher und nachher ausgewertet werden (siehe nachfolgendes Kapitel).

3.2.2 Streckenbezogene Routenauswertungen

Es konnten

- 38 Messfahrten vorher und
- 34 Messfahrten mit Tempo 40 Regelung

ausgewertet werden.

Für die streckenbezogenen Auswertungen musste die Untersuchungsstrecke über einen Start- und Zielpunkt festgelegt werden. Die Details bei der Herstellung des Streckenbezugs werden im Anhang in Kapitel 6.3 beschrieben.

3.2.2.1 Geschwindigkeit-Weg Diagramme

Die Geschwindigkeit-Weg-Diagramme befinden sich im Anhang. Die Fahrten wurden gruppiert nach Tag und Startzeit. Je Tag wurden ein oder zwei Diagramme erstellt, je nach Anzahl der verwertbaren Messfahrten.

Tabelle 7: Messfahrten „vorher“

Datum	Diagramm mit den Routen
Mittwoch, 17.10.2012	6, 7, 9, 10, 11
Mittwoch, 17.10.2012	8 ¹ , 12, 13, 14, 15
Donnerstag, 18.10.2012	16, 17, 18, 19, 20
Donnerstag, 18.10.2012	21, 22, 23, 24
Dienstag, 23.10.2012	25, 26, 27, 28, 29
Dienstag, 23.10.2012	30, 31, 32, 33
Mittwoch, 24.10.2012	34, 35, 36, 37, 38
Mittwoch, 24.10.2012	39, 40, 41, 42, 43

Tabelle 8: Messfahrten mit Tempo 40 Regelung

Datum	Diagramm mit den Routen
Dienstag, 16.04.2013	44, 45, 46, 47, 48
Dienstag, 16.04.2013	49, 50, 51, 52, 53
Donnerstag, 18.04.2013	54, 55, 56, 57, 58, 59, 60
Dienstag, 23.04.2013	61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68
Donnerstag, 25.04.2013	69, 70, 71, 73, 74
Donnerstag, 25.04.2013	75, 76, 77, 78

Bei der Interpretation der Diagramme ist zu berücksichtigen, dass jede Route geringfügig unterschiedlich verläuft und sich dadurch unterschiedliche Streckenlängen ergeben. In Summe über die gesamte Untersuchungsstrecke von rund 1000 Metern beträgt die Längendifferenz maximal 50 Meter. Zur Orientierung im Diagramm ist hier noch die Entfernung zu den relevanten Knotenpunkten angegeben:

Tabelle 9: Entfernungen auf der Untersuchungsstrecke

Knotenpunkt	Entfernung ab letzter Haltelinie Charlotten-/ Alexander-/Hohenheimer Straße
Danneckerstraße (FSA)	70 Meter
Dobelstraße (LSA)	360 Meter
Etzelstraße (LSA)	750 Meter
Neue Weinsteige (LSA)	1000 Meter

In den Diagrammen der Routen mit Tempo 40 Regelung ist eine Reduktion der maximalen Geschwindigkeiten gegenüber den „vorher“ aufgezeichneten Routen erkennbar. Bezüglich einer Verstetigung des Verkehrsflusses lässt sich aus den Geschwindigkeit-Weg-Diagrammen eine generelle Tendenz aber nicht ableiten. Sowohl vorher als auch mit Tempo 40 Regelung sind Stopps in den Routen enthalten. Jede Fahrt ist gekennzeichnet durch ein sehr individuelles

¹ abweichende Reihung

Profil. Zur objektiven Bewertung muss eine Vergleichbarkeit bezüglich der Umfeldbedingungen hergestellt sowie eine Bewertungsgröße in Ansatz gebracht werden.

3.2.2.2 Unterteilung in Gruppen

Zur Herstellung einer Vergleichbarkeit hinsichtlich der Umfeldbedingungen wurden die Messfahrten in drei Belastungsgruppen unterteilt. Dazu wurden die in PKW-Einheiten umgerechneten halbstündlichen Belastungswerte (siehe Kapitel 2.2.1) in Beziehung gesetzt zu den durchgeführten Messfahrten.

Zuerst wurden die Routen unter Berücksichtigung der Fahrtzeit nach Datum und Startzeit den entsprechenden Zeitbereichen zugeordnet. (Zum Beispiel wurde die Route Nr.12, welche um 18:58:02 Uhr in der Nähe des Charlottenplatzes beginnt, dem Belastungsintervall bis 19:30 Uhr zugeordnet.)

Anschließend wurde die Tabelle wie nachfolgend dargestellt aufsteigend nach dem Verkehrsfluss (PKW_E je 30 Minuten) sortiert. Aufgrund der farblichen Markierung ist leicht ersichtlich, ob die Routen „vorher“ (rote Markierung) oder mit der Tempo 40-Regelung (grüne Markierung) durchgeführt wurden.

**Tabelle 10: Verkehrsfluss und Messfahrten in bestimmten Zeitbereichen;
rot = „vorher“, grün = mit Tempo 40-Regelung**

Datum / Zeit	PKW_E je 30 Minuten	Routen Nr.
17.10.2012 20:00	277	14
23.04.2013 20:00	312	68
24.04.2013 20:00	341	78
24.10.2012 20:00	346	43
17.10.2012 19:30	348	12, 8, 15
16.04.2013 20:00	358	53
24.10.2012 19:30	374	41, 42
23.10.2012 19:30	377	32, 33
18.10.2012 19:30	401	23, 24
23.04.2013 19:30	407	66, 67
24.10.2012 19:00	419	39, 40
16.04.2013 19:30	420	51,52
18.10.2012 19:00	436	21,22
23.10.2012 19:00	448	29, 30, 31
18.04.2013 19:30	457	59, 60
24.04.2013 19:30	470	76, 77
17.10.2012 19:00	485	11, 13
24.04.2013 19:00	518	74, 75
16.04.2013 19:00	519	48,49,50
23.04.2013 19:00	523	64, 65
18.04.2013 19:00	532	57, 58
24.04.2013 18:30	544	73
18.10.2012 18:30	545	19, 20
24.10.2012 18:30	552	36, 37, 38

18.04.2013 18:30	557	54, 55, 56
23.10.2012 18:30	584	27, 28
16.04.2013 18:30	588	46, 47
17.10.2012 18:30	590	9, 10
23.04.2013 18:00	618	61, 62
17.10.2012 18:00	634	6, 7
23.10.2012 18:00	644	25, 26
18.10.2012 18:00	651	16, 17, 18
16.04.2013 18:00	662	44, 45
23.04.2013 18:30	672	63
24.04.2013 18:00	689	69, 70, 71
24.10.2012 18:00	706	34, 35

Es wurde eine möglichst ausgewogene Gruppengröße angestrebt, sowohl hinsichtlich vorher-nachher als auch bezüglich der Gesamtzahl innerhalb der einzelnen Gruppen. Bei 34 verfügbaren Fahrten mit Tempo 40 Regelung sollte also jede Gruppe 11 oder 12 dieser Fahrten enthalten. Da im mittleren Belastungsbereich (485 – 552 PKW_E/30Min) aber signifikant mehr „nachher“ als „vorher“-Fahrten zu finden sind, war eine komplett ausgewogene Unterteilung nicht möglich und es mussten Abstriche in Kauf genommen werden.

Gruppe 1 enthält mit einer Belastung von 277 – 470 PKW_E je 30 Minuten die größten Belastungsunterschiede. Gleichzeitig sind darin die meisten „vorher“-Routen enthalten. Da ein Ausgleich bei der vorgegebenen Konstellation nicht möglich war, ist es sinnvoll, die größten Unterschiede im am geringsten belasteten Bereich anzusiedeln. Es kann hier von freiem Verkehrsfluss ausgegangen werden.

In Gruppe 2 mit der mittleren Belastung befinden sich mehr „nachher“- als „vorher“- Fälle. Eine Erweiterung bzw. Verschiebung der Gruppe sowohl nach oben als auch nach unten würde aber nur dazu führen, das noch mehr „nachher“- Routen hinzukommen. Die Gruppe kann als teilgebundener Verkehr verstanden werden.

Gruppe 3 als verkehrsstärkster Bereich mit gebundenem Verkehr fällt mit 13 „vorher“ und 13 „nachher“-Routen optimal aus.

Tabelle 11: Anzahl von Messfahrten in den drei Gruppen

Anzahl der Fahrten	vorher	nachher
Gruppe 1	18	11
Gruppe 2	7	10
Gruppe 3	13	13
Summe	38	34

3.2.2.3 Ergebnisse mittlere Geschwindigkeiten

Die mittleren Geschwindigkeiten wurden aus den Fahrtzeiten und der Streckenlänge berechnet. Die Ergebnisse für die einzelnen Routen befinden sich in der Anlage (Anlagen 3 und 4). Für jede Route wurden aufgrund der GPS-aufzeichnungsbedingten Ungenauigkeiten unterschiedliche Streckenlängen errechnet. Dennoch wurde letztlich dieselbe Strecke zurückgelegt. Aus diesem Grund wurde zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeiten dann eine einheitliche Streckenlänge von 1000 Metern angesetzt.

Tabelle 12: Ergebnistabelle mittlere Geschwindigkeiten

Mittlere Geschwindigkeiten auf der Strecke			
		vorher	nachher
Gruppe 1	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	30,0	27,2
Gruppe 2	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	28,7	31,5
Gruppe 3	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	32,0	28,0
Summe	mittlere Geschwindigkeit [km/h]	30,4	28,7

Wie zu erwarten war, sind bei der Geschwindigkeitsbeschränkung auf 40 km/h auch die mittleren Geschwindigkeiten in Summe über alle Fahrten gesunken. In der mittleren Belastungsgruppe kann allerdings eine gegenläufige Tendenz konstatiert werden, hier ist die mittlere Geschwindigkeit gestiegen.

3.2.2.4 Ergebnisse Stauhäufigkeit

Die Auswertung wurde sowohl hinsichtlich der Anzahl von Staus als auch der im Stau verbrachten Zeit vorgenommen. Als Stau wird gewertet, wenn die Geschwindigkeit unter die Grenzggeschwindigkeit von 10 km/h fällt. Steigt die Geschwindigkeit wieder über die Staugeschwindigkeit an, so gilt der Stau als beendet. Fällt sie erneut, so wird dies als ein weiterer Stau betrachtet. Unabhängig von der Stauanzahl wird die im Stau verbrachte Zeit (Geschwindigkeit < 10 km/h) summiert. Zur Definition des Grenzwertes wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt (vgl. Anhang 6.4).

Nicht zu große Bedeutung sollte der Stauanzahl beigemessen werden, da dieser Wert stark ansteigt, wenn ein Pendeln um den Grenzwert erfolgt, da nur der Eintritt in den Staubereich, also das Überschreiten selbst ausgewertet wird. Die Zahl der Zustandspunkte unterhalb der Grenzggeschwindigkeit wird dagegen als Zeit im Stau angegeben.

Die Ergebnisse für die einzelnen Routen befinden sich in der Anlage (Anlagen 5 und 6).

Tabelle 13: Ergebnistabelle Stauhäufigkeit

Mittlere Anzahl und Zeit im Stau (Geschwindigkeit < 10 km/h)			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Stauanzahl	1,2	1,5
	Zeit im Stau [s]	17,4	25,0
Gruppe 2	Stauanzahl	1,1	1,4
	Zeit im Stau [s]	26,4	12,7
Gruppe 3	Stauanzahl	0,9	1,4
	Zeit im Stau [s]	16,6	24,9
Summe	Stauanzahl	1,1	1,4
	Zeit im Stau [s]	18,8	21,4

Weder hinsichtlich der Anzahl der Stauzustände noch der im Stau verbrachten Zeit konnten Verbesserungen in der Summe über alle Gruppen verzeichnet werden. Deutliche Verbesserungen, sogar eine Halbierung der im Stau verbrachten Zeit, konnten jedoch in der mittleren Gruppe erreicht werden. Zu beachten ist, dass die Wartezeit an Lichtsignalanlagen hier ebenfalls miteingerechnet wurde.

3.2.2.5 Ergebnisse Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge

Signifikante Geschwindigkeitsänderungen innerhalb kürzester Zeit, besonders Bremsvorgänge, können als Maß für Unruhe im Verkehr herangezogen werden.

So wurden die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen zwei nacheinander im Abstand von 1 Sekunde aufgezeichneten Geschwindigkeiten betrachtet. Ist die Differenz größer als 5 km/h, so wird dies als „Beschleunigung“ gewertet. Ist die Differenz kleiner als -5 km/h, so wird dies als „Verzögerung“ gezählt. Zur Definition des Grenzwertes wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt (vgl. Anhang 6.4).

Während einer Fahrt traten bis zu 10 Situationen mit entsprechender Beschleunigung und/oder Verzögerung auf. Auch aufeinander folgende Beschleunigungs- oder Verzögerungsvorgänge werden jeweils gezählt. Die Ergebnisse für die einzelnen Routen finden sich in der Anlage (Anlagen 7 und 8). Je Gruppe wurde die Anzahl für Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge gemittelt.

Tabelle 14: Ergebnistabelle Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge

Mittlere Anzahl von Geschwindigkeitsdifferenzen >5km/h in 1 Sekunde			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Beschleunigung:	3,8	3,4
	Verzögerung:	4,1	2,1
Gruppe 2	Beschleunigung:	4,4	2,7
	Verzögerung:	3,3	2,7
Gruppe 3	Beschleunigung:	2,8	2,7
	Verzögerung:	3,2	3,3
Summe	Beschleunigung:	3,6	2,9
	Verzögerung:	3,7	2,7

In Gruppe 1 und 2 sowie im Mittel über alle Fahrten konnte die mittlere Anzahl der Beschleunigungen und Verzögerungen reduziert werden.

Während Beschleunigungsvorgänge auch vom individuellen Fahrstil und der Motorisierung abhängen, sind Verzögerungsvorgänge meist fremdbestimmt und treten in Zusammenhang mit Störungen im Verkehrsfluss auf.

Mit der Tempo 40 Regelung ist die absolute mittlere Anzahl der Verzögerungen umso geringer, je geringer die Belastung ist. Diese Reihung war im Fall „vorher“ nicht gegeben, hier trat die höchste Anzahl an signifikanten Verzögerungen in der unteren Belastungsgruppe auf. Daher konnten auch in der unteren und mittleren Belastungsgruppe die deutlichsten Verbesserungen verzeichnet werden.

In der zweiten Gruppe ist neben einer deutlichen Verstetigung des Verkehrs sogar eine gleichzeitige Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit trotz Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit zu beobachten.

In Gruppe 3 sind die Verbesserungen am geringsten. Die Veränderungen im Bereich Beschleunigung und Verzögerung liegen in dieser Gruppe im Bereich von ca. 3 % und können daher als eher zufällig eingestuft werden. Die deutlichen Verbesserungen, wie in Gruppe 1 und 2 beobachtbar, traten hier nicht auf. Als Erklärung wäre anzuführen, dass die Untersuchungsstrecke so überlastet ist, dass die der Koordinierung der Lichtsignalanlagen zugrunde gelegten Geschwindigkeiten nicht mehr erreicht werden können. Der Rückstau vor den Lichtsignalanlagen kann nicht rechtzeitig abgebaut werden, so dass der nachfolgende Hauptpulk auf den verbleibenden Reststau aufläuft. Zur Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit wurde im Entwurf der Grünen Welle für Tempo 40 auf ein großzügiges Vorgrün verzichtet, sodass die Wahrscheinlichkeit für diesen Effekt im Fall einer hohen Verkehrsbelastung etwas erhöht wurde, insbesondere wenn die Fahrzeuge der Pulkspitze die zulässige Geschwindigkeit überschreiten.

4. Ergebnisse der automatischen Erhebungen

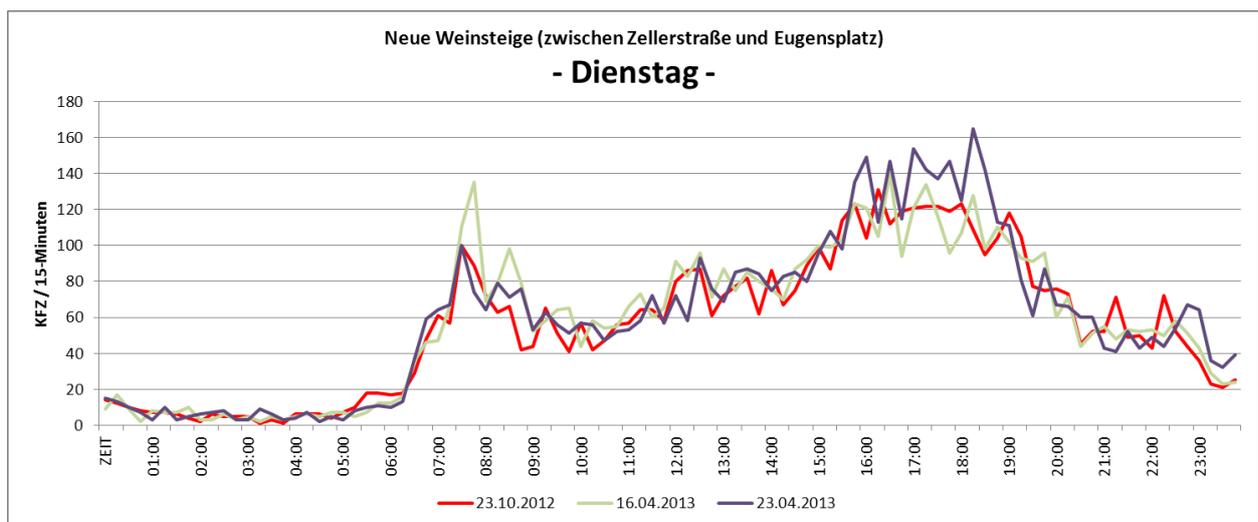
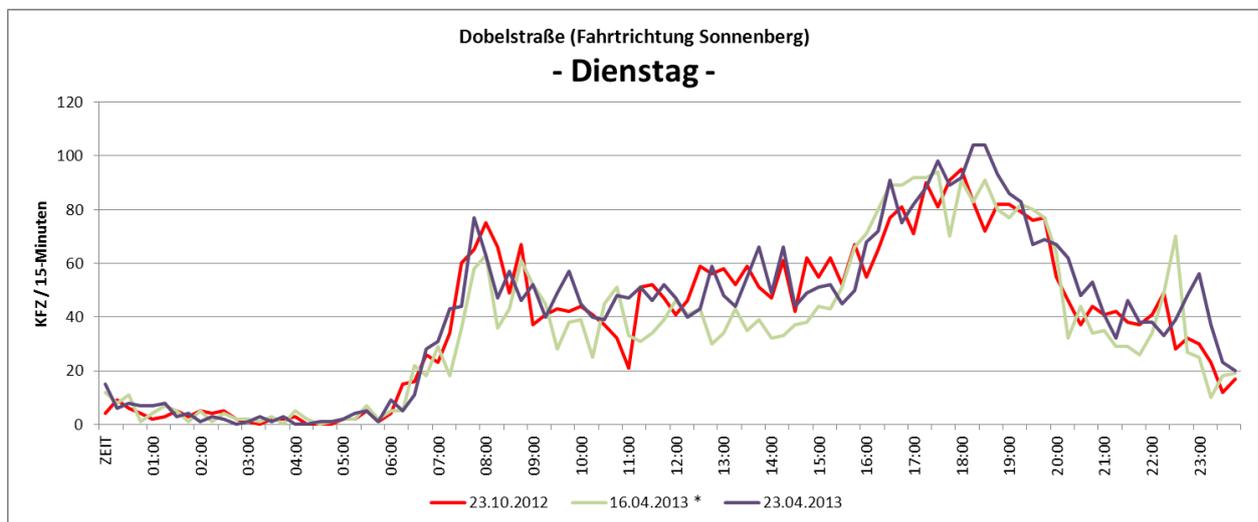
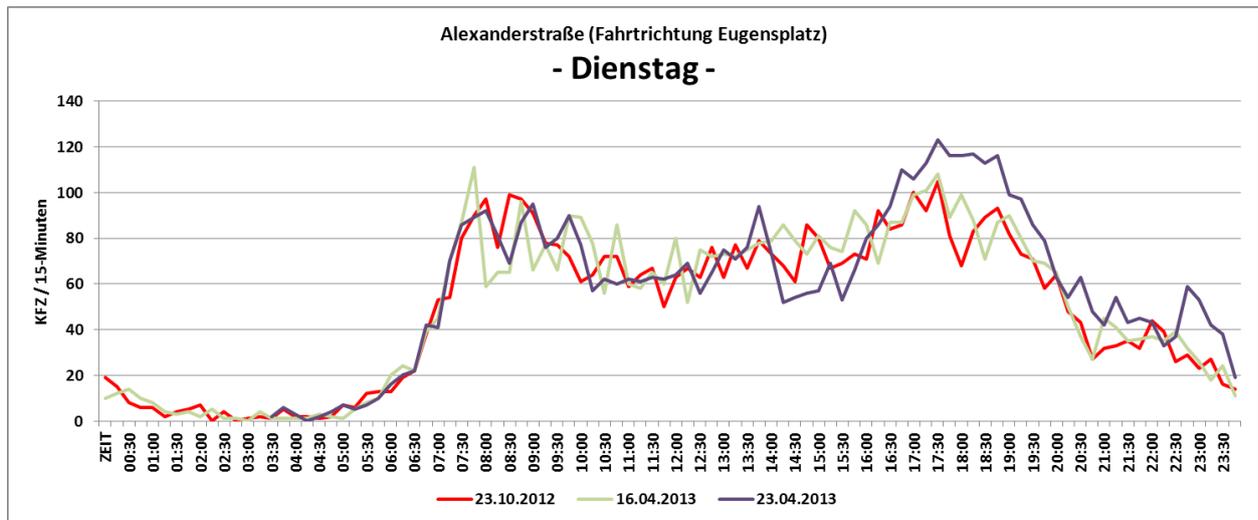
4.1 Automatische Erhebungen mit Messplatten in der Alexanderstraße, der Dobelstraße und auf der Neuen Weinsteige

Die detaillierten Datenaufzeichnungen mit einer Klassifizierung der Fahrzeuge sind als Excel-Datei auf der beiliegenden DVD enthalten.

In den nachfolgenden Diagrammen sind die gezählten KFZ je 15 Minuten-Intervall eingetragen. Auf einer Seite ist jeweils ein Wochentag dargestellt, mit den Messorten Alexanderstraße, Dobelstraße und Neue Weinsteige. In einem Diagramm ist die Anzahl der gezählten KFZ für einen Tag vorher und zwei Tage nachher aufgetragen.

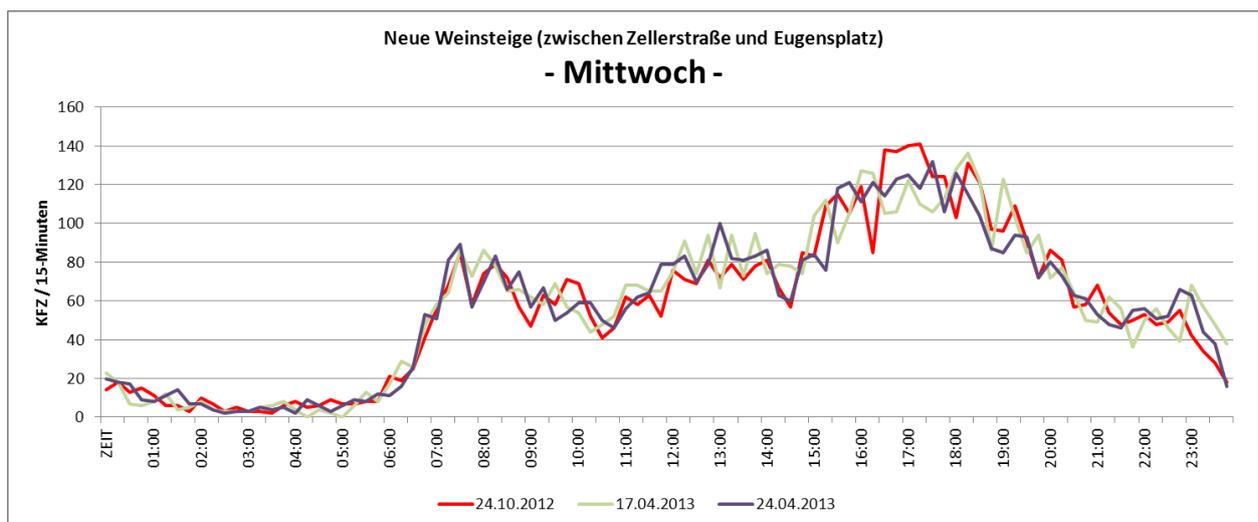
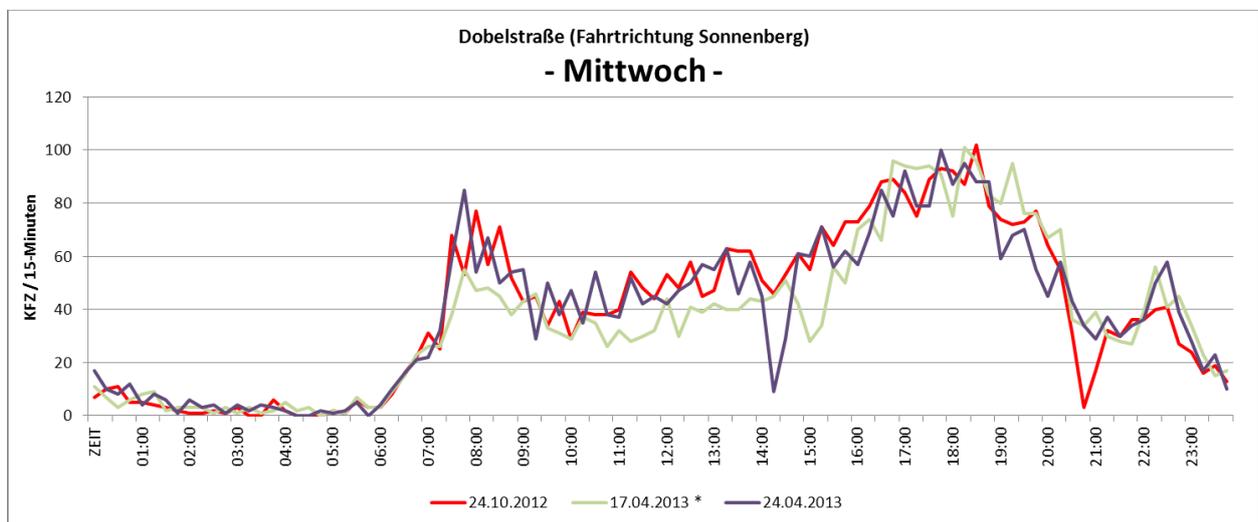
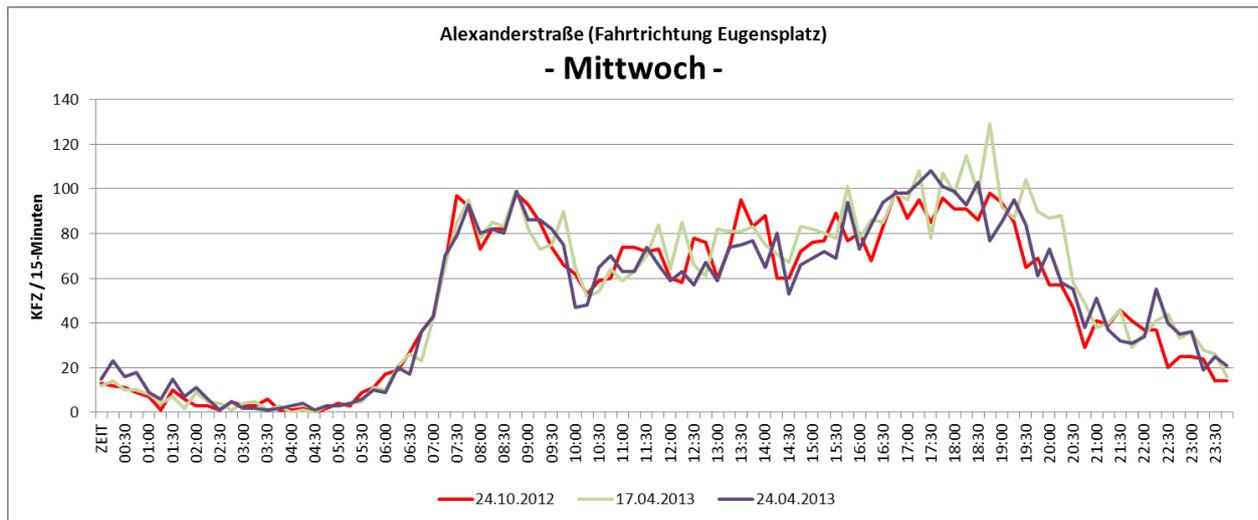
Da im Zeitbereich vom 16.-21.04.2013 Bauarbeiten in der Dobelstraße stattfanden und insbesondere am 16. und 17.04.2013 die Abbiegespur auf der Hohenheimer Straße in die Dobelstraße zwischen 08:00 und 16:00 Uhr gesperrt war (Quelle: Firma Leonhard Weiss), wurde für die Darstellung dieser Werte ein dezente Darstellung (grün) gewählt.

4.1.1 Dienstag, 23.10.2016 , 16.04.2013 und 23.04.2013



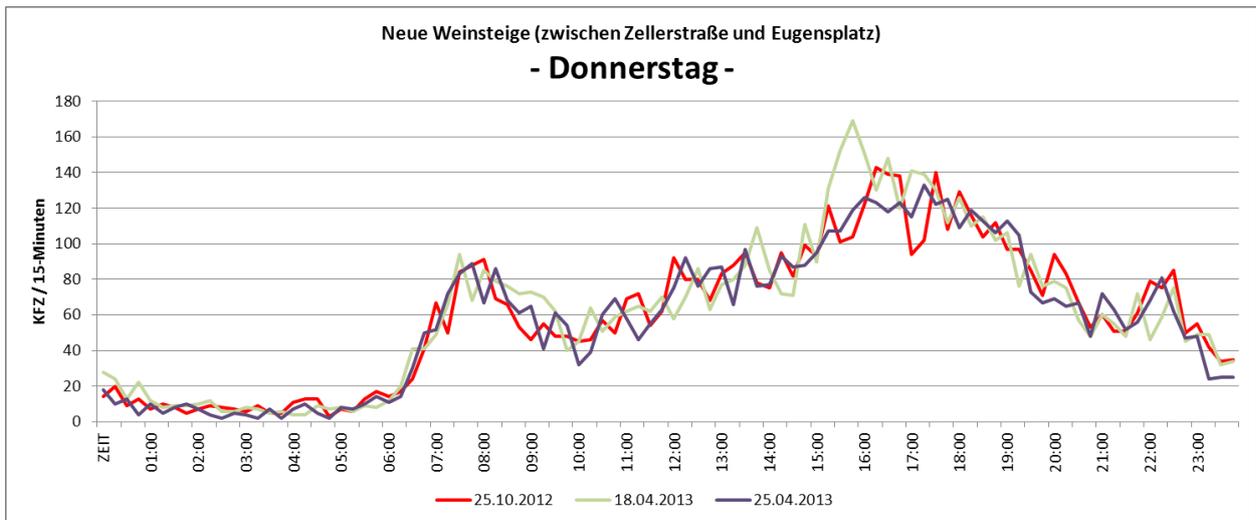
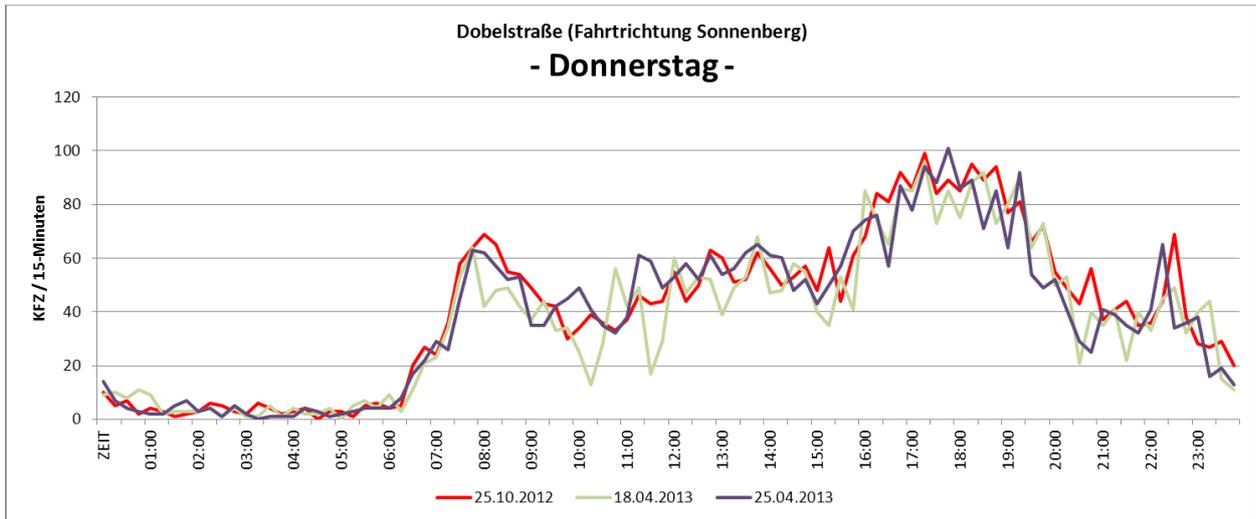
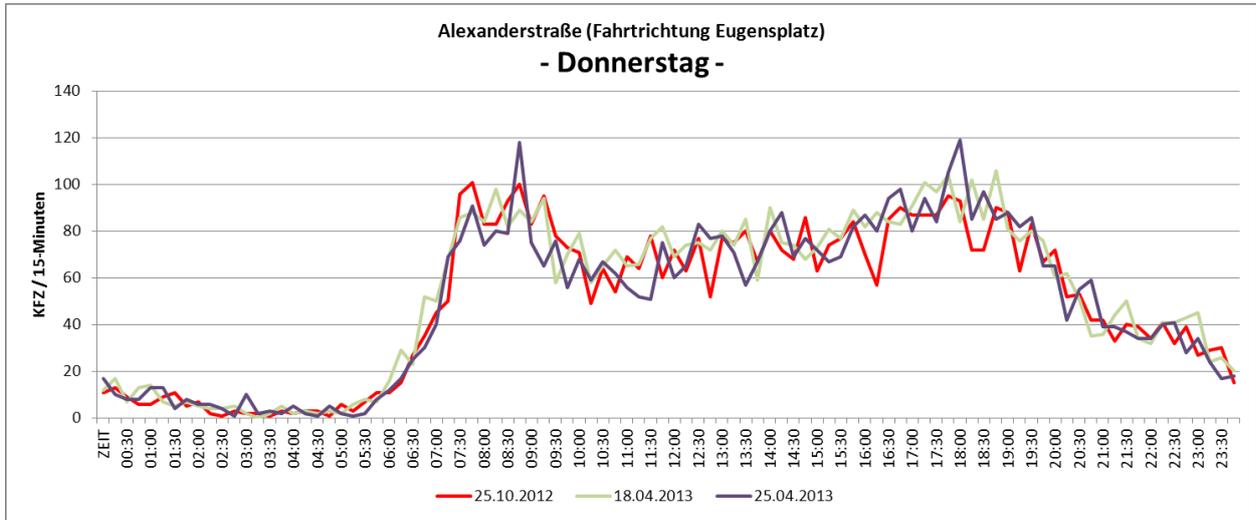
*) Am 16.04.2013 war zwischen 08:00 und 16:00 Uhr war die Abbiegespur von der Hohenheimer Straße in die Dobelstraße gesperrt.

4.1.2 Mittwoch, 24.10.2016 , 17.04.2013 und 24.04.2013

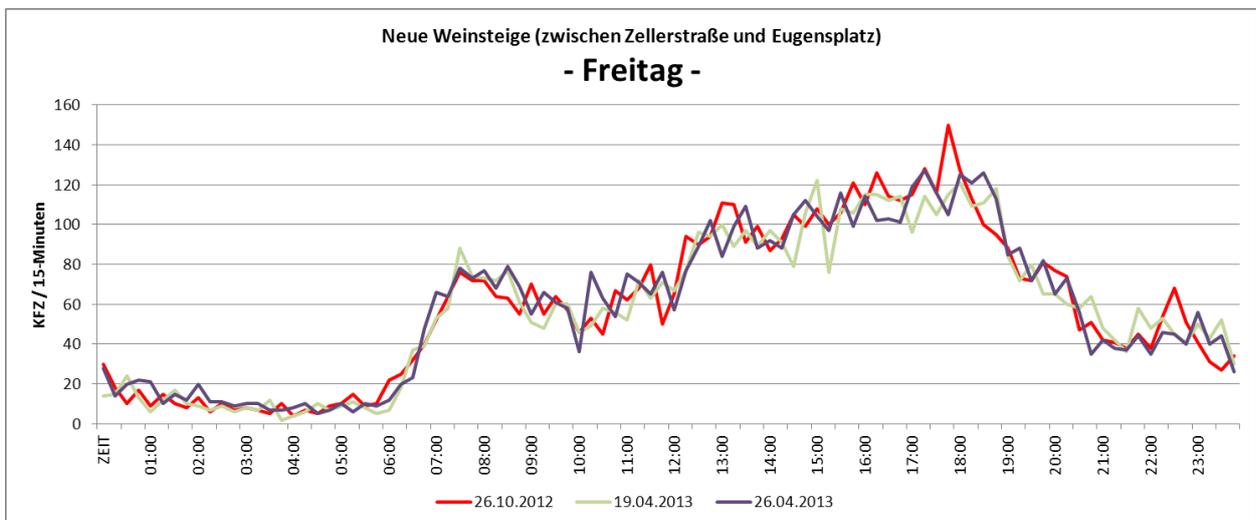
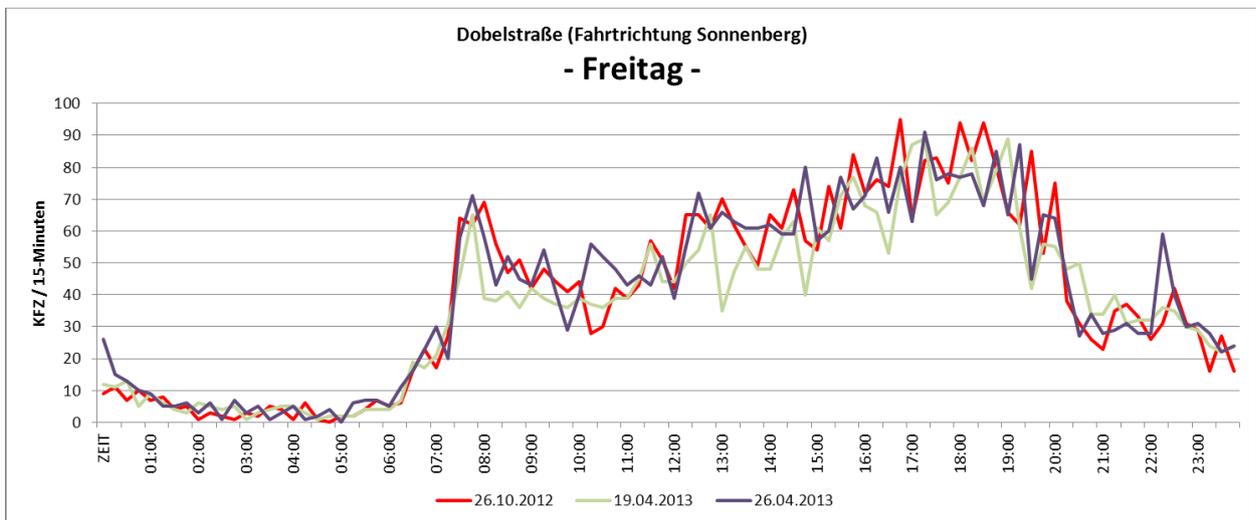
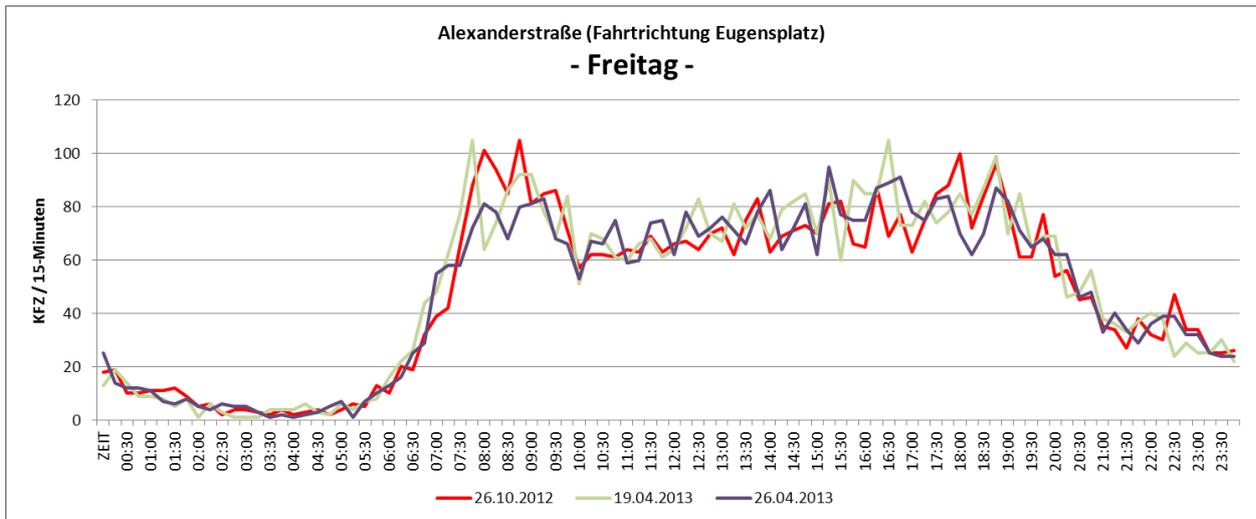


*) Am 17.04.2013 war zwischen 08:00 und 16:00 Uhr war die Abbiegespur von der Hohenheimer Straße in die Dobelstraße gesperrt.

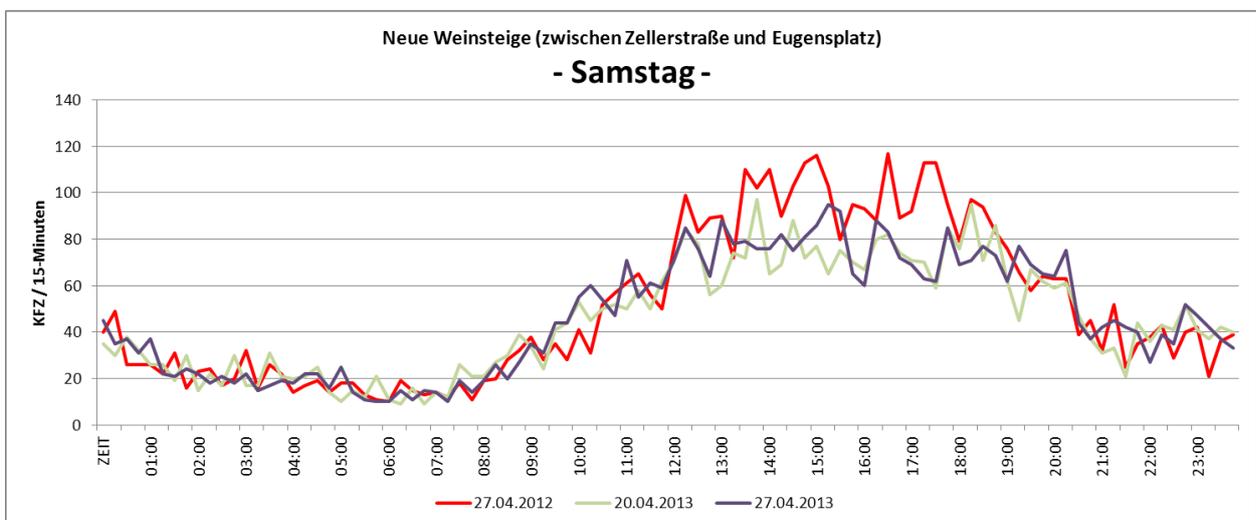
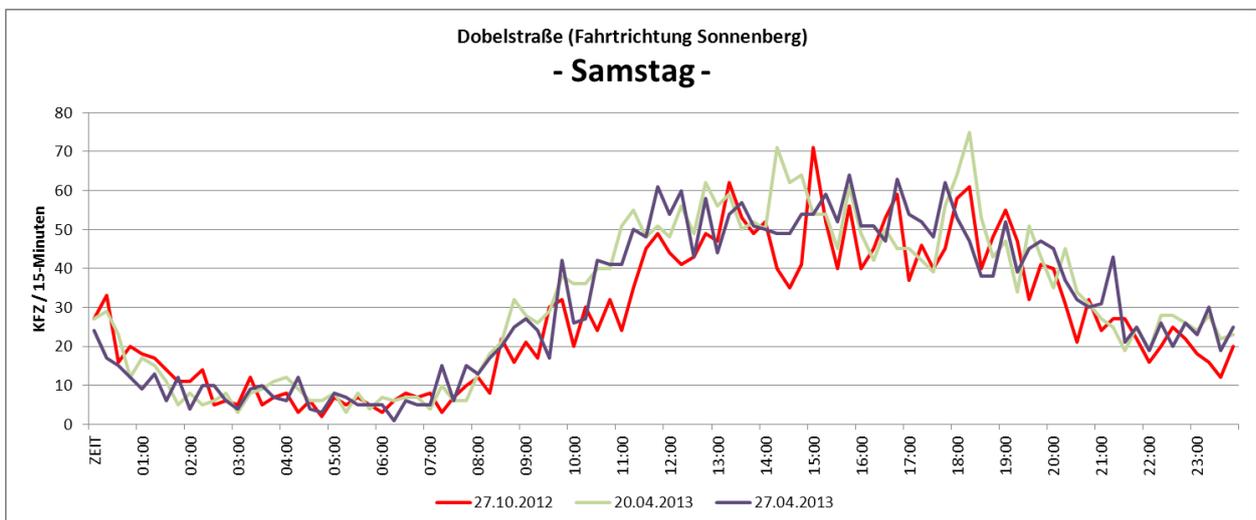
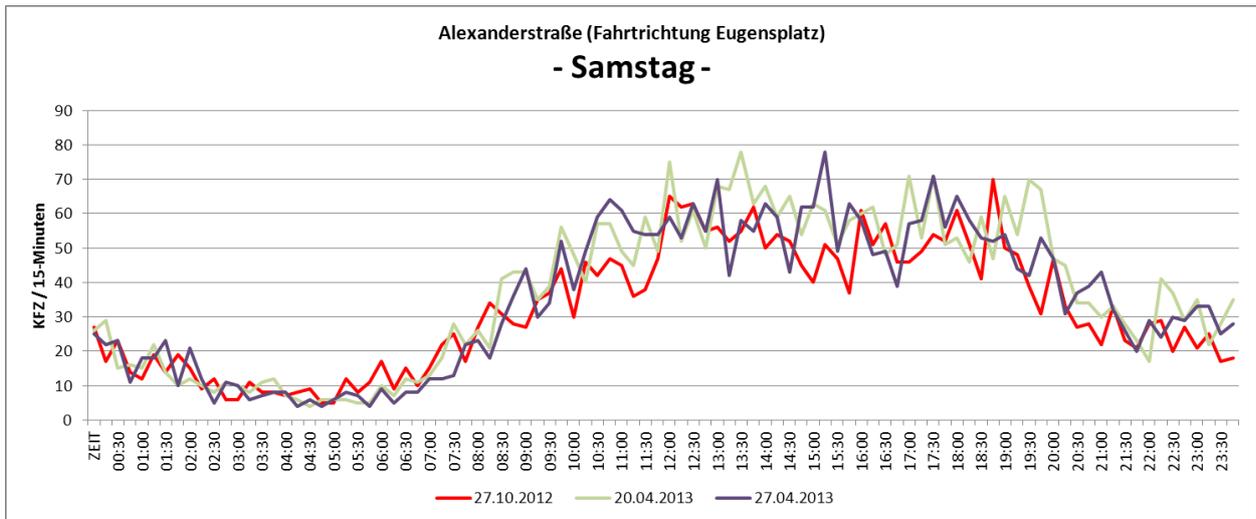
4.1.3 Donnerstag, 25.10.2016 , 18.04.2013 und 25.04.2013



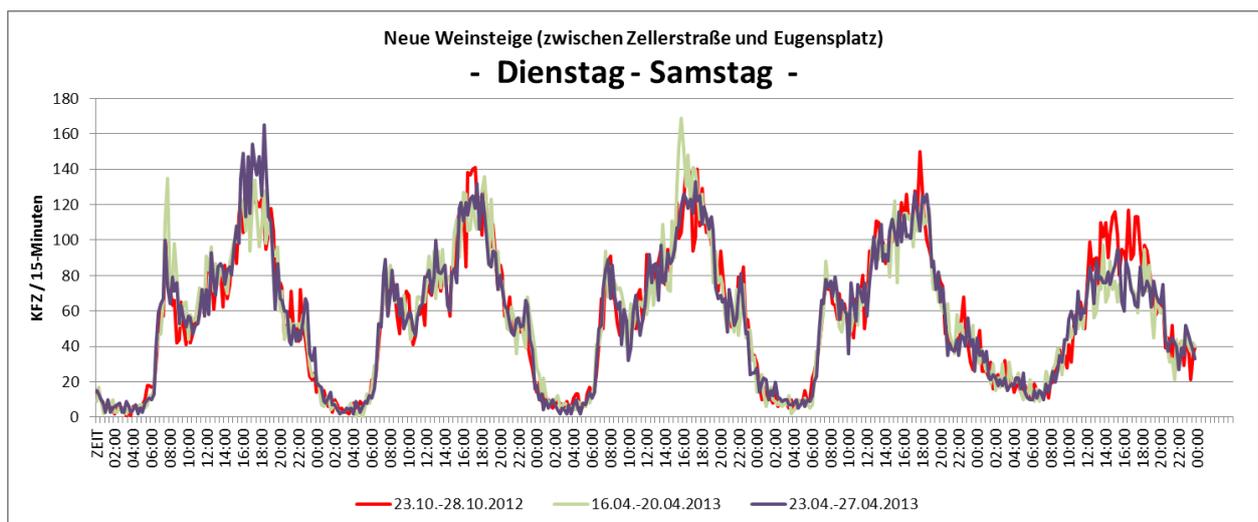
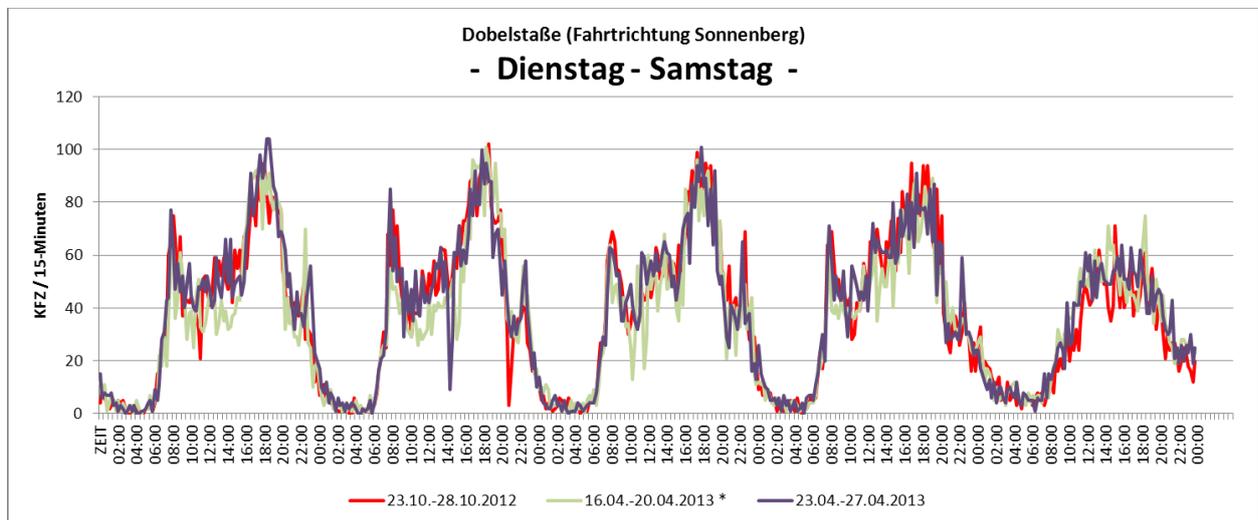
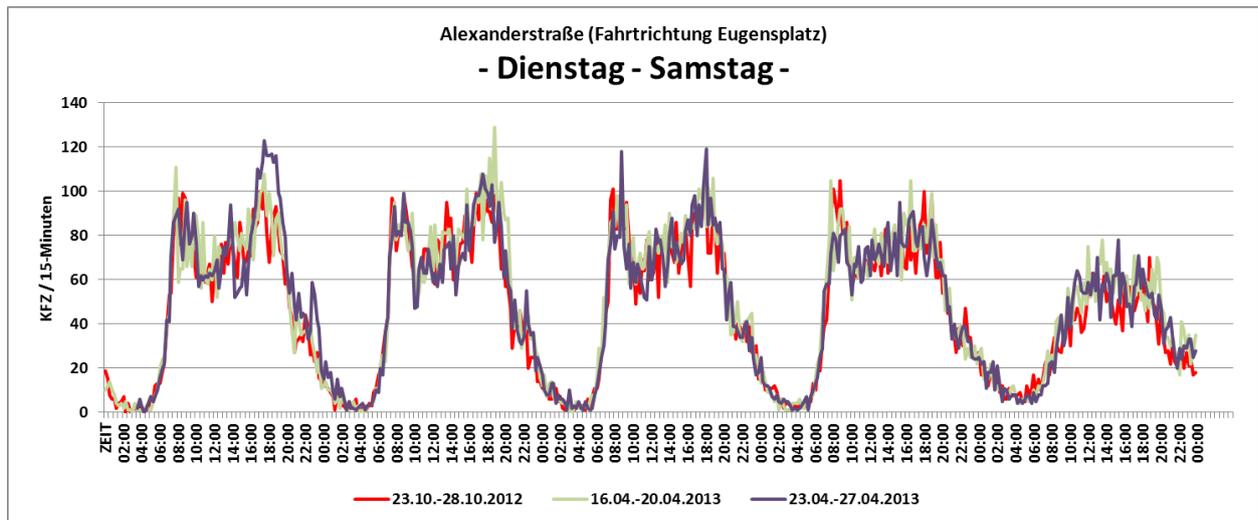
4.1.4 Freitag, 26.10.2016 , 19.04.2013 und 26.04.2013



4.1.5 Samstag, 27.10.2016 , 20.04.2013 und 27.04.2013



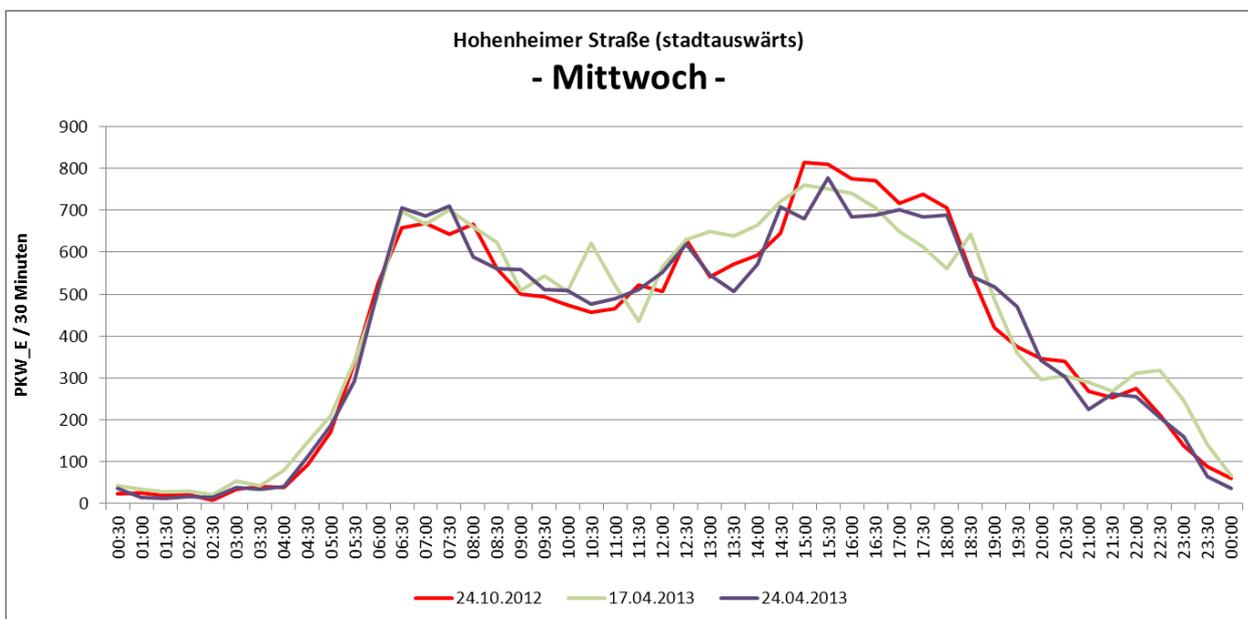
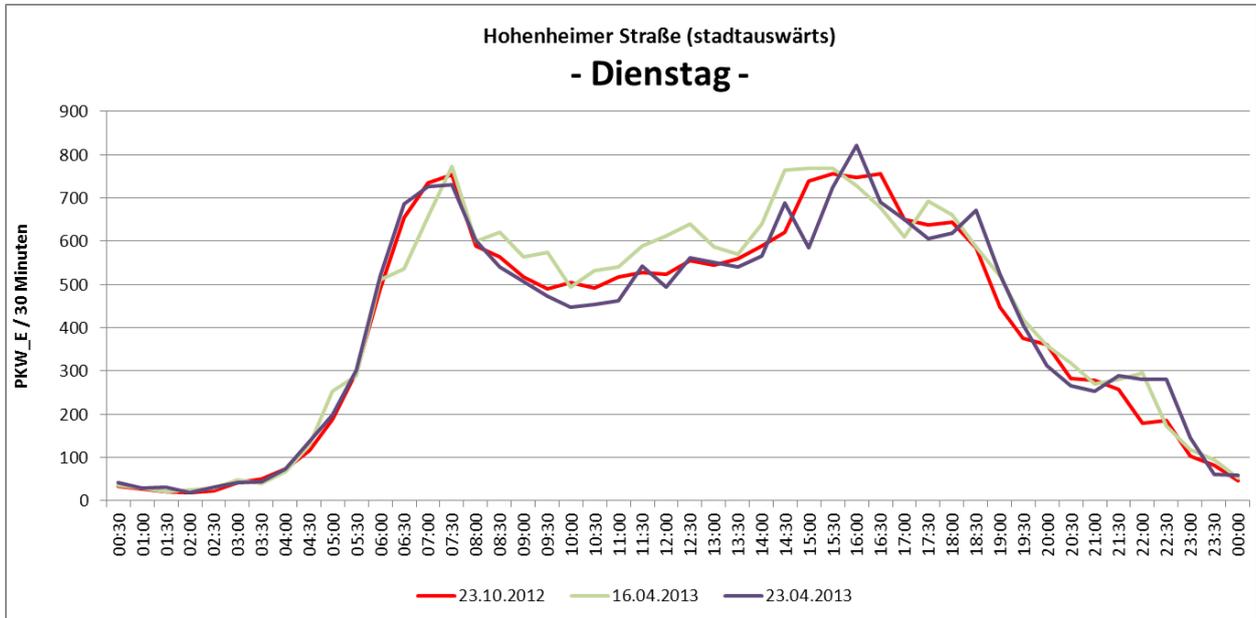
4.1.6 Dienstag bis Samstag

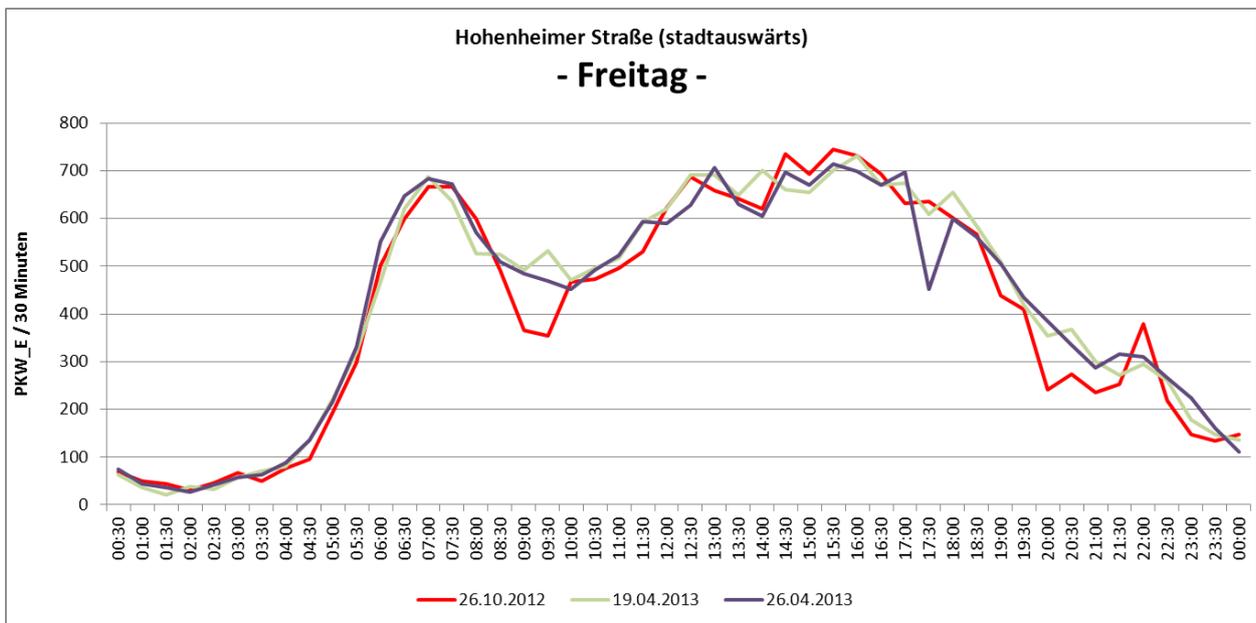
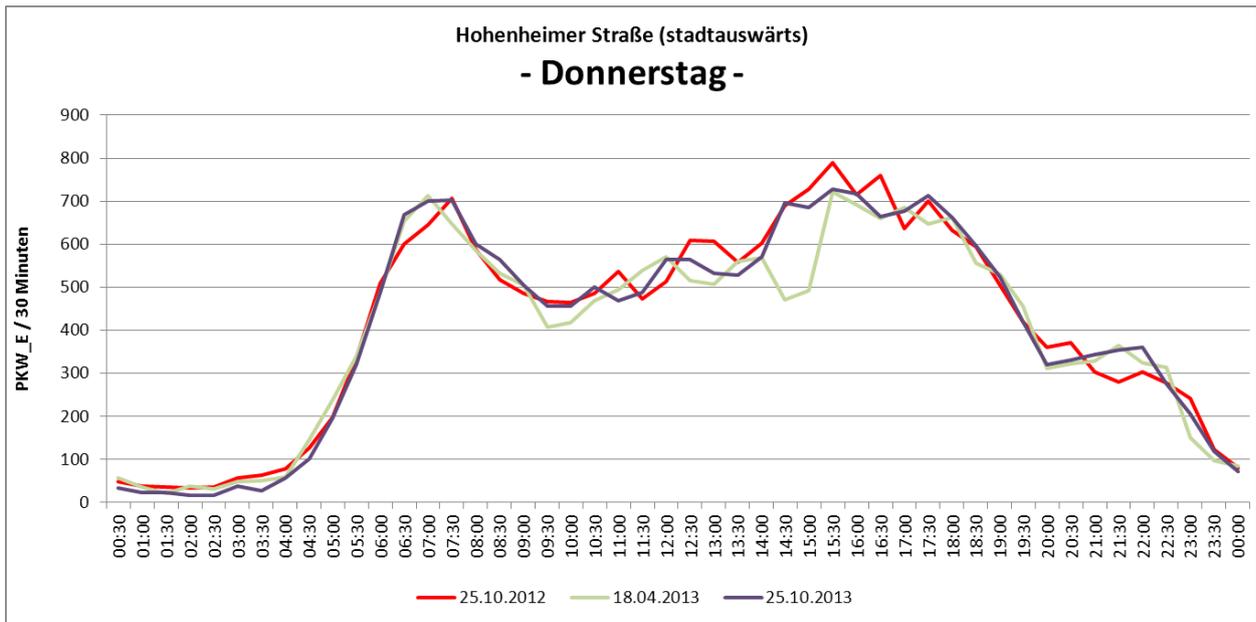


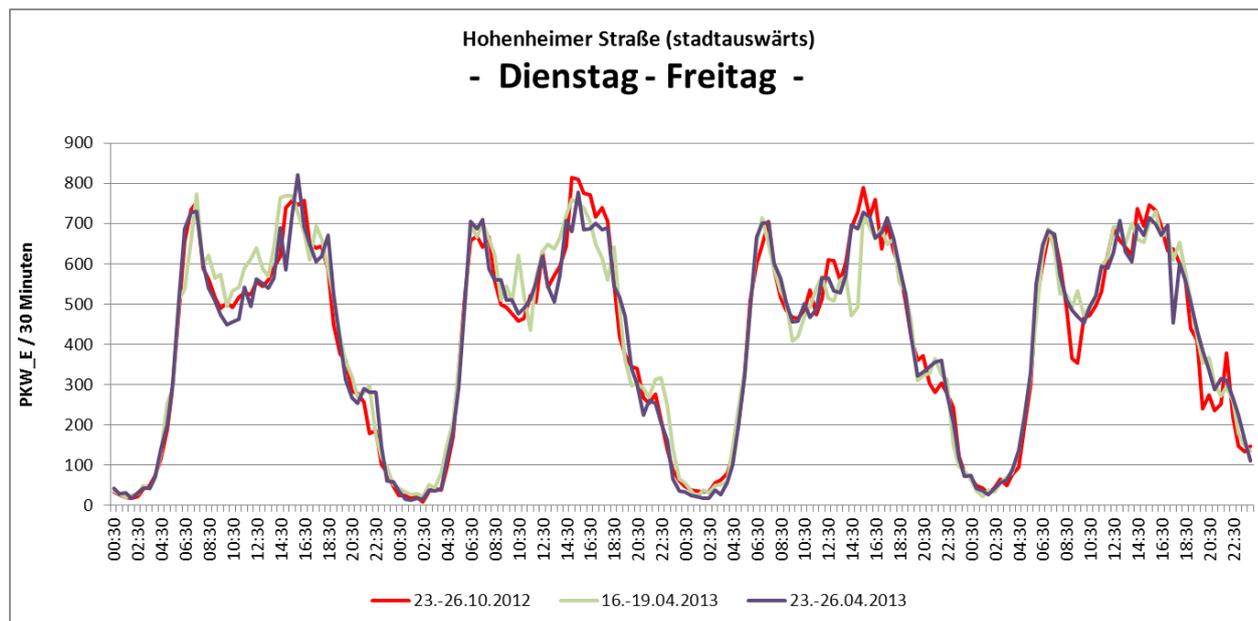
*) Am 16. Und 17.04.2013 war zwischen 08:00 und 16:00 Uhr war die Abbiegespur von der Hohenheimer Straße in die Dobelstraße gesperrt.

4.2 Verkehrsbelastung auf der Hohenheimer Straße stadtauswärts

Die Daten wurden an der Messstelle in der Hohenheimer Straße zwischen Schickstraße und Hohenheimer Straße stadtauswärts erfasst. Aufgetragen sind PKW-Einheiten je 30 Minuten Intervall, unterschieden nach Wochentag.







In der Alexanderstraße liegt die Verkehrsbelastung „nachher“ meist über den entsprechenden „vorher“-Werten, insbesondere in den abendlichen Spitzenstunden und besonders signifikant am Dienstag. An den Erhebungsorten auf der Neuen Weinsteige und in der Dobelstraße sind Erhöhungen der Belastung ausschließlich am Dienstagnachmittag/-abend festzustellen. Dagegen unterscheidet sich der Dienstag nach Einführung der Tempo 40 Regelung an der Messstelle Hohenheimer Straße auf der Untersuchungsstrecke nicht signifikant von dem Dienstag „vorher“ im Oktober 2012. Eine insgesamt höhere Verkehrsbelastung auf allen Strecken ist nicht ersichtlich.

Die erhöhte Belastung am Dienstag, 23.04.2013 ist sehr wahrscheinlich auf einen Stau auf der B14 in Fahrtrichtung Cannstatt zurückzuführen, welcher auch in den Verkehrsmeldungen im Radio erwähnt wurde. Die Behinderungen reichten vom Charlottenplatz bis zum Schwanenplatztunnel. Für ortskundige Fahrer, welche auf der Hohenheimer Straße stadteinwärts unterwegs sind und deren Fahrtziel im Stuttgarter Osten liegt, stellt die Umfahrung über die Alexanderstraße in dieser Situation eine günstige Alternative dar. Dies ist aber vollkommen unabhängig von der Tempo 40 Regelung auf der Hohenheimer Straße stadtauswärts zu sehen.

Abgesehen von dem erwähnten Dienstag konnten signifikante Verkehrsverlagerungen auf die Nebenstrecken nicht nachgewiesen werden. Lediglich in der Alexanderstraße liegt die Verkehrsbelastung in den abendlichen Spitzenstunden am Mittwoch und Donnerstag etwas höher. Die Ursachen dafür lassen sich mit den gesammelten Daten nicht ausreichend belegen, auch jahreszeitliche Einflüsse können nicht ausgeschlossen werden.

5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Messfahrten zeigen eine Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit im Erhebungsabschnitt von 30,4 auf 28,7 km/h. Interessant ist die Unterscheidung nach Verkehrsstärkegruppen. Entgegen der Erwartung steigt die mittlere Geschwindigkeit bei Tempo 40 in Gruppe 2 mit teilgebundenem Verkehr. Es wurde bei den Messfahrten auch beobachtet, dass die zulässige Geschwindigkeit von vielen Verkehrsteilnehmern nicht eingehalten wird. In Gruppe 1, dem Zustand des freien Verkehrs, erfolgt die Geschwindigkeitswahl unabhängig von anderen Fahrzeugen. In Gruppe 3, dem gebundenen Verkehr, ist keine freie Geschwindigkeitswahl möglich. Dagegen sind in Gruppe 2 starke Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern vorhanden. Dennoch wurde eine Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit festgestellt. Die Ursache kann in der angestrebten und in dieser Gruppe am deutlichsten sichtbaren Verstetigung des Verkehrsflusses liegen. Dies wird auch durch eine Halbierung der Zeit mit Geschwindigkeiten unter 10 km/h bestätigt.

In Zuge der Umstellung der Koordinierungsgeschwindigkeit auf Tempo 40 wurde die Gestaltung der Welle so geändert, dass eine stärkere Restriktion am Freigabebeginn in Form eines geringeren Vorgrüns die Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit unterstützt.

Die Konsequenz wird in der Unterscheidung der Gruppen deutlich. Im freien Verkehr (Gruppe 1) sowie im teilgebundenen Verkehr (Gruppe 2) führt die Tempo 40-Regelung zu einer Verbesserung hinsichtlich der Verzögerungsvorgänge. Verzögerungsvorgänge können im Gegensatz zu Beschleunigungsvorgängen als fremdbestimmt eingestuft werden. Daher lässt sich anhand dieser Größe ein Qualitätsmaß für die Stetigkeit im Verkehrsfluss ablesen.

Keine wesentlichen Verbesserungen ergaben sich für die Gruppe des gebundenen Verkehrs. Durch ein geringeres Vorgrün kann der Reststau nicht vor Eintreffen des Folgepulses räumen. Das größere Vorgrün zur Zeit der Tempo 50-Regelung weist in dieser Verkehrszustandsklasse Vorteile auf. Eine Änderung der Versatzzeiten in Richtung der ursprünglichen Gestaltung würde jedoch gleichzeitig eine höhere Progressionsgeschwindigkeit zulassen und damit eine Missachtung des Tempolimits insbesondere zu verkehrsarmen Zeiten fördern.

Betrachtet man die Belastungsverläufe der Hohenheimer Straße einer typischen Woche (KW16 2013), so lässt sich feststellen, dass über die Hälfte (etwa 54 %) der wöchentlichen Fahrten den Belastungsgruppen 1 und 2 zuzuordnen ist. In Anbetracht der positiven Ergebnisse dieser Gruppen bedeutet dies, dass die Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit insgesamt zu einer deutlichen Verstetigung der Mehrzahl der Fahrten führt.

6. Anhang

6.1 Bewertung der aufgezeichneten GPS-Geschwindigkeiten

Die aufgezeichneten GPS Geschwindigkeiten werden fortlaufend aus den letzten ermittelten Positionen extrapoliert. Bei einem plötzlichen Stopp z.B. sinkt die Geschwindigkeit nicht sofort auf null, sondern erst mit etwas Verzögerung. Um die Qualität der aufgezeichneten GPS-Geschwindigkeiten zu prüfen und systematische Fehler in der Auswertung zu vermeiden, wurden exemplarisch Geschwindigkeiten unter Einbeziehung des nachfolgenden Routenpunktes nachgerechnet. Die Geschwindigkeit an einem Punkt P wurde aus den Positionen vor und nach dem Punkt P, den Entfernungen der beiden Punkte zu P und der Zeit (2 Sekunden, da im Sekundentakt aufgezeichnet wird) bestimmt. Dieser Ansatz mittelt auch, aber bei einer kurzen Intervalllänge von 1 Sekunde.

In der nachfolgenden Abbildung wurden die aufgezeichneten und die berechneten Geschwindigkeiten eingetragen. Es zeigte sich, dass die Unterschiede gering sind und starke Geschwindigkeitsdifferenzen in der GPS-Aufzeichnung eher geglättet werden. Für die weiteren Auswertungen wurden deshalb die aufgezeichneten GPS-Geschwindigkeiten verwendet.

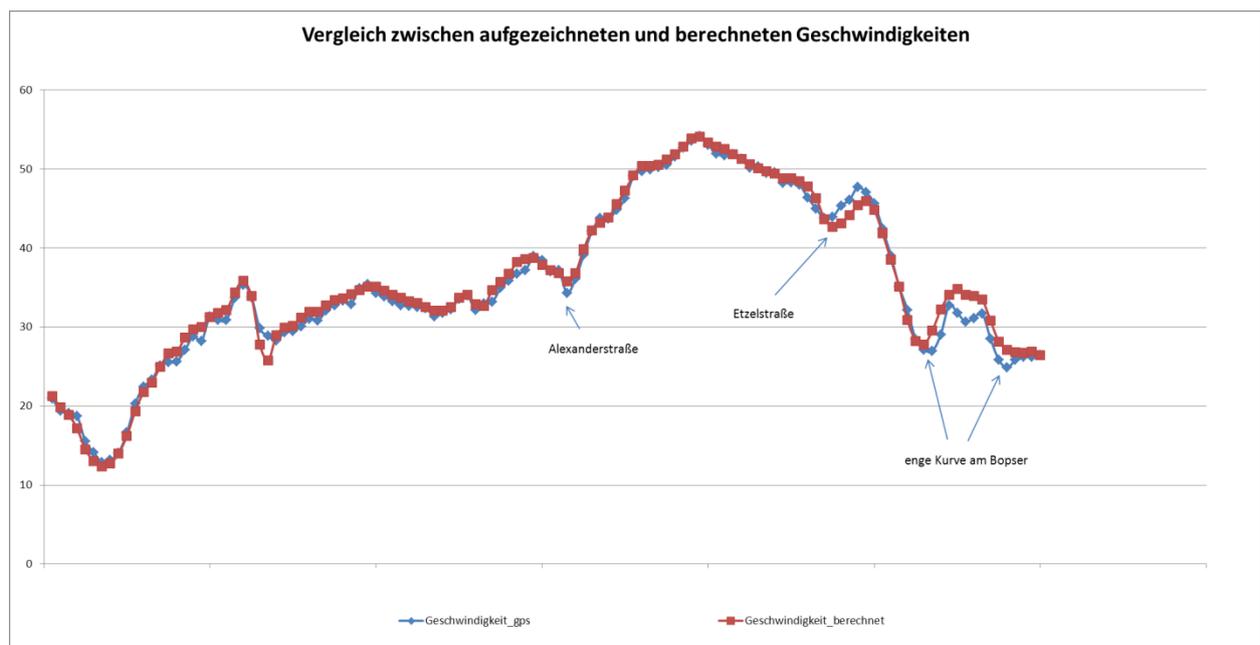


Abbildung 3: Vergleich zwischen aufgezeichneten und berechneten Geschwindigkeiten

6.2 Qualität der GPS- Datenaufzeichnungen

Bei der Visualisierung der Fahrten in der Karte (Google Earth) werden die GPS bedingten Ungenauigkeiten schnell ersichtlich:

Häufig liegen die Fahrlinien nicht genau auf der Fahrbahn, sondern einige Meter davon entfernt. Insbesondere Kurven werden aufgrund der Extrapolation der Bewegungsrichtung nicht exakt abgebildet.

Bei einigen Fahrten treten Fahrtverläufe auf, bei denen innerhalb kürzester Zeit ein fahrzeugtechnisch bzw. physikalisch nicht realisierbarer Positionswechsel aufgezeichnet wird. Dieses Verhalten soll als „Sprung“ bezeichnet werden. Sprünge treten meist im Stand (Geschwindigkeit = 0 km/h) auf. Eine manuelle Korrektur der Daten ist nicht erforderlich bzw. nicht ohne größere Eingriffe möglich.

Die beiden nachfolgenden Abbildungen enthalten einen Ausschnitt der Route 44, wobei die Fahrt von oben nach unten verläuft. Nach der Rechtskurve entfernt sich die aufgezeichnete Fahrlinie zuerst von der Fahrbahn und wird dann bei einem Halt vor Einmündung der Dobelstraße durch einen Sprung korrigiert.

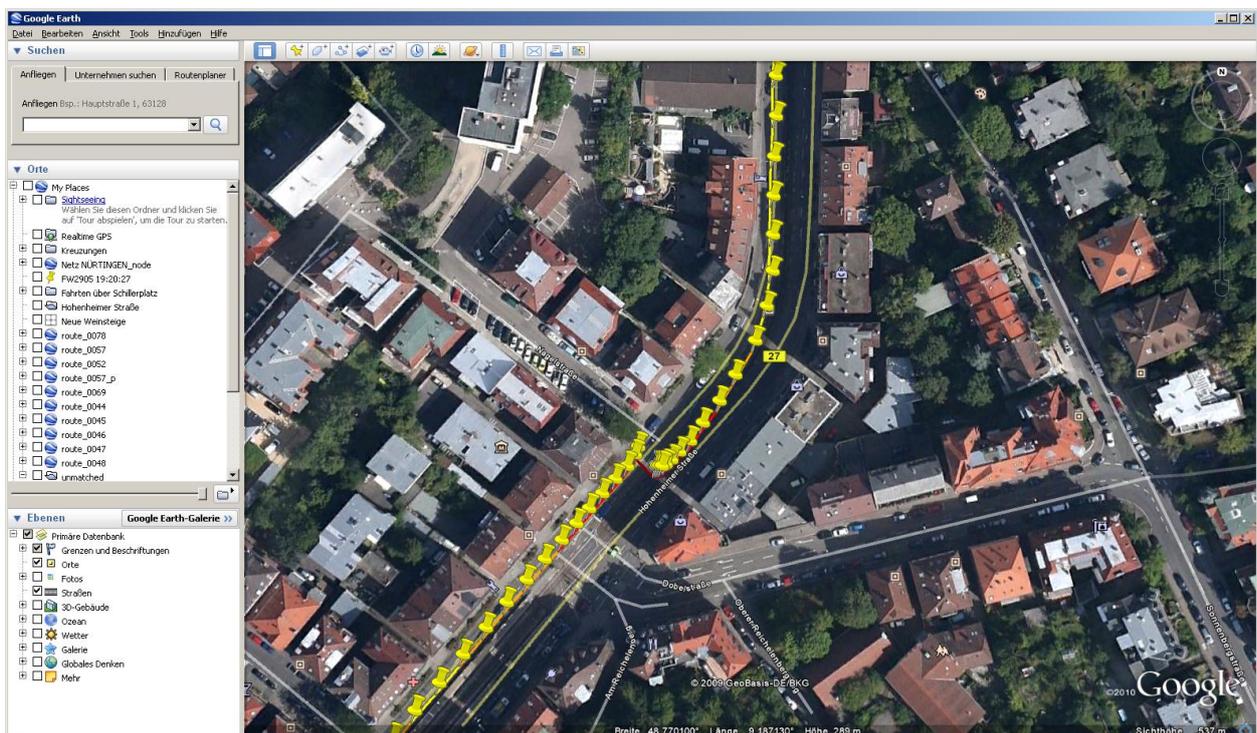


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Routenverlauf Nr. 44; die Pins markieren die GPS-Messpunkte.
(Darstellung in GoogleEarth)

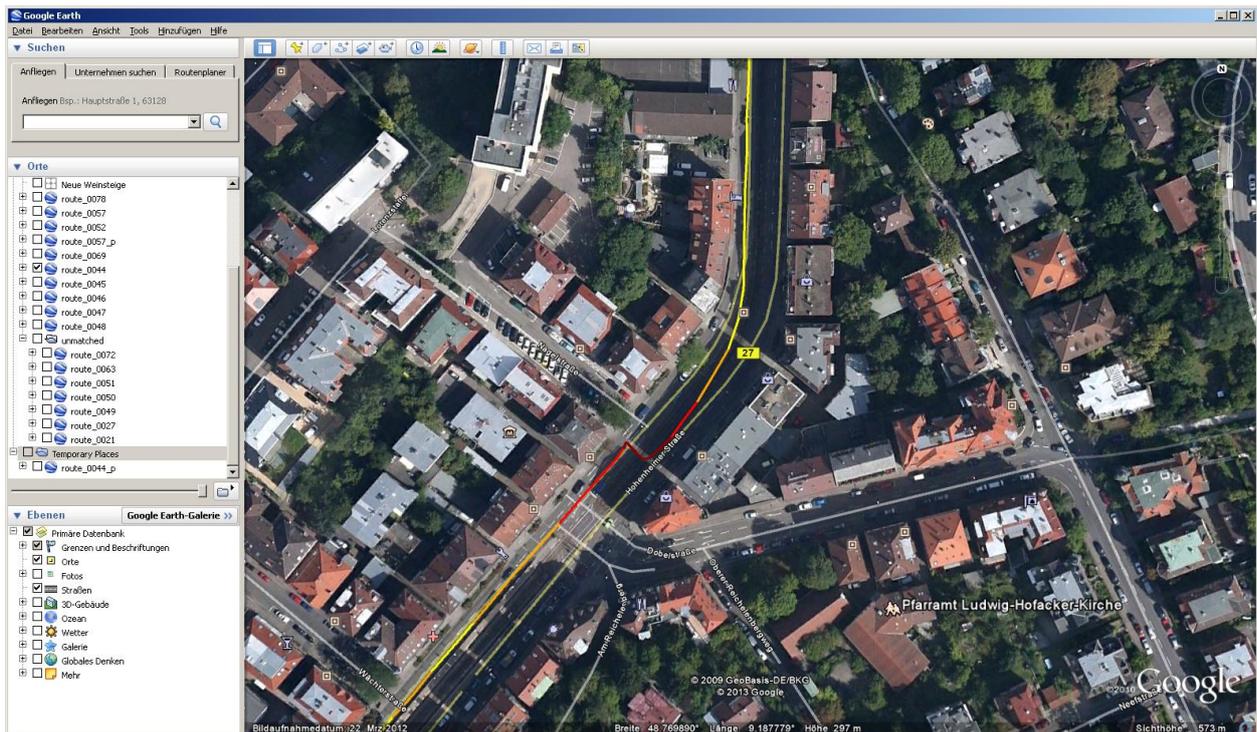


Abbildung 5: Ausschnitt aus dem Routenverlauf Nr. 44; ohne Pins (Darstellung in GoogleEarth)

Problematischer ist die Auswertung wenn sich der aufgezeichnete Fahrtverlauf um einige Positionspunkte rückwärts bewegt und sich anschließend wieder in Richtung Ziel fortsetzt. In einigen dieser Fälle wurde eine manuelle Korrektur vorgenommen, so dass die Zielentfernung ständig abnimmt.

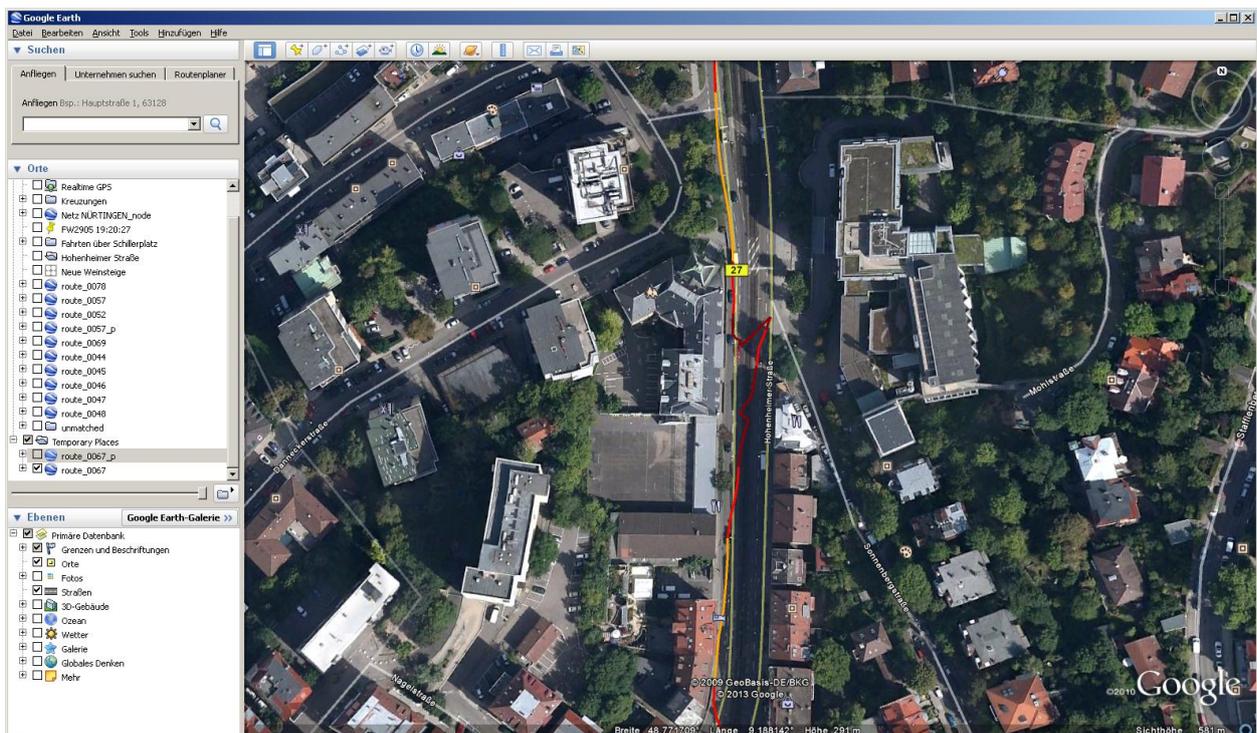


Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Routenverlauf Nr. 67 vor der Anpassung (Darstellung in GoogleEarth)

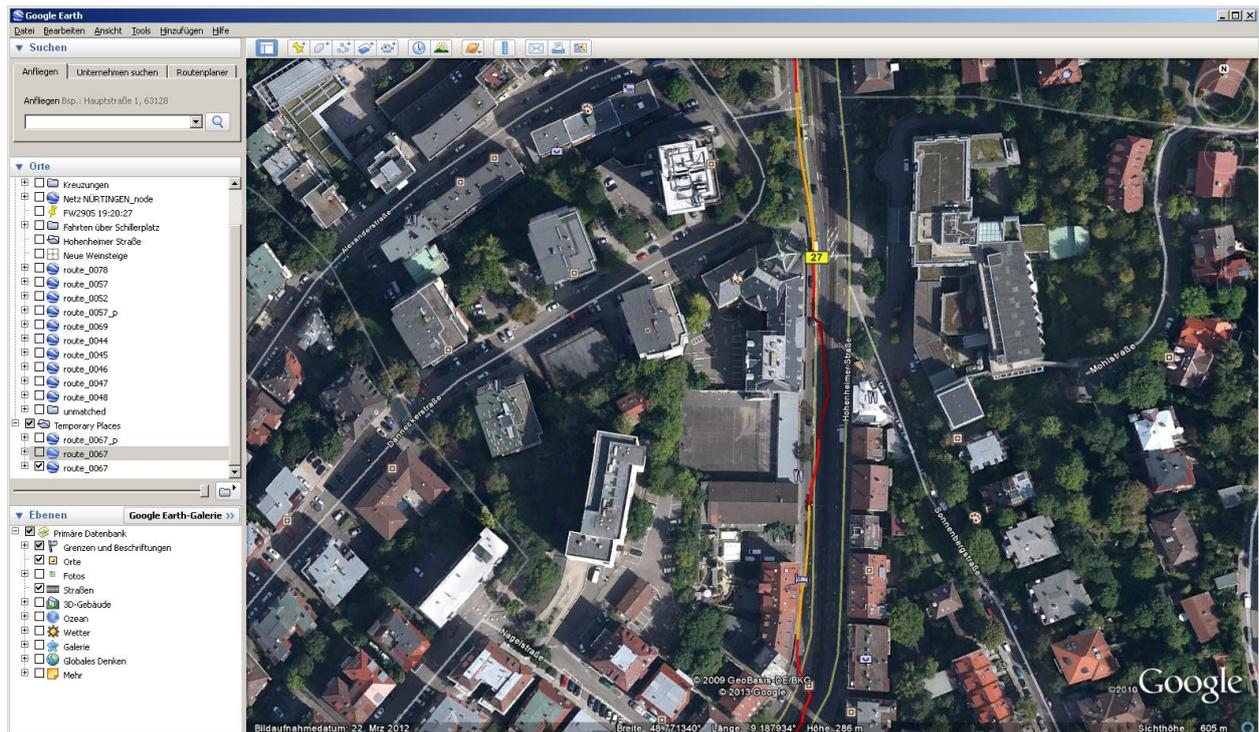


Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Routenverlauf Nr. 67 nach der manuellen Anpassung (Darstellung in GoogleEarth)

Manuelle Anpassungen wurden vorgenommen bei den Routen 9, 20, 47, 50, 57, 60, 61, 62, 67, 70.

Generell ist festzuhalten, dass die GPS-Aufzeichnungen der Fahrten im Herbst 2012 weniger korrekturbedürftige Abweichungen enthalten als diejenigen, welche im April 2013 durchgeführt wurden, obwohl dafür dasselbe Aufzeichnungsgerät und auch derselbe Fahrzeugtyp (Opel Astra) mit identischer Montage des Geräts verwendet wurde. Dieser Eindruck konnte auch anhand einer Auswertung der zur Positionsbestimmung verwendeten Satelliten belegt werden: über die durchgeführten Fahrtaufzeichnungen gemittelt wurden im Oktober 2012 durchschnittlich 7,4, im April 2013 durchschnittlich nur 5,8 Satelliten zur Positionsbestimmung verwendet. Aufgrund der dadurch bedingten Genauigkeitsunterschiede konnte auch nicht dieselbe Anzahl an Routen vorher und nachher ausgewertet werden.

6.3 Herstellung des Streckenbezugs

Für die streckenbezogenen Auswertungen musste die Untersuchungsstrecke über einen Start- und Zielpunkt festgelegt werden. Start- und Zielpunkt wurden so gewählt, dass dadurch möglichst viele der Routen erfasst werden. Der festgelegte Startpunkt liegt hinter der Kreuzung Charlotten-/Alexander-/Hohenheimer Straße (siehe nachfolgende Abbildung). Der Zielpunkt wurde auf ca. 25 Meter vor den Knotenpunkt „Neue Weinsteige / Hohenheimer Straße“ gelegt.

Die Route mit der Nummer 72 konnte nicht verwendet werden, der Zielpunkt nicht durchfahren wurde. Der entsprechende Routenausschnitt ist in nachfolgender Abbildung dargestellt:



Abbildung 8: Ausschnitt aus dem Routenverlauf Nr. 72 am Ende der Untersuchungsstrecke; für die Route liegt der mit dem Pin markierte Endpunkt „Neue Weinsteige (-25m)“ zu weit entfernt. (Darstellung in GoogleEarth)

6.4 Sensitivitätsbetrachtung

In der Auswertungsphase wurden die Parameter Staugeschwindigkeit und signifikante Beschleunigung/Verzögerung variiert. Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

6.4.1 Ergebnisse Staugeschwindigkeit

Bei allen getesteten Staugeschwindigkeiten zeigte sich dieselbe Tendenz mit einer generellen Erhöhung der im Stau verbrachten Zeit - ausgenommen Gruppe 2, wo immer deutliche Verbesserungen zu verzeichnen waren. Da eine Geschwindigkeit von 10km/h allgemein als Stau akzeptiert ist, wurde dieser Wert verwendet.

Tabelle 15: Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung zur Staugeschwindigkeit mit den Grenzggeschwindigkeiten 20, 15 und 10 km/h

Mittlere Anzahl und Zeit im Stau (Geschwindigkeit < 20 km/h)			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Stauanzahl	1,6	1,9
	Zeit im Stau [s]	25,2	38,4
Gruppe 2	Stauanzahl	1,4	1,8
	Zeit im Stau [s]	32,3	16,9
Gruppe 3	Stauanzahl	1,2	1,4
	Zeit im Stau [s]	19,8	29,8
Summe	Stauanzahl	1,4	1,7
	Zeit im Stau [s]	24,6	28,8

Mittlere Anzahl und Zeit im Stau (Geschwindigkeit < 15 km/h)			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Stauanzahl	1,2	1,7
	Zeit im Stau [s]	20,3	30,4
Gruppe 2	Stauanzahl	1,3	1,2
	Zeit im Stau [s]	29,1	16,3
Gruppe 3	Stauanzahl	1,1	1,2
	Zeit im Stau [s]	18,6	27,0
Summe	Stauanzahl	1,2	1,4
	Zeit im Stau [s]	21,4	24,9

Mittlere Anzahl und Zeit im Stau (Geschwindigkeit < 10 km/h)			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Stauanzahl	1,2	1,5
	Zeit im Stau [s]	17,4	25,0
Gruppe 2	Stauanzahl	1,1	1,4
	Zeit im Stau [s]	26,4	12,7
Gruppe 3	Stauanzahl	0,9	1,4
	Zeit im Stau [s]	16,6	24,9
Summe	Stauanzahl	1,1	1,4
	Zeit im Stau [s]	18,8	21,4

6.4.2 Ergebnisse Beschleunigung/Verzögerung

Tabelle 16: Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung zu Beschleunigungs-/Verzögerungsvorgängen bei Geschwindigkeitsdifferenzen von 3, 5 und 7 km/h je Sekunde

Mittlere Anzahl von Geschwindigkeitsdifferenzen >3km/h in 1 Sekunde			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Beschleunigung:	11,1	9,5
	Verzögerung:	12,0	10,6
Gruppe 2	Beschleunigung:	12,0	8,9
	Verzögerung:	12,6	8,8
Gruppe 3	Beschleunigung:	8,2	8,9
	Verzögerung:	9,9	10,3
Summe	Beschleunigung:	10,3	9,1
	Verzögerung:	11,4	10,0

Mittlere Anzahl von Geschwindigkeitsdifferenzen >5km/h in 1 Sekunde			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Beschleunigung:	3,8	3,4
	Verzögerung:	4,1	2,1
Gruppe 2	Beschleunigung:	4,4	2,7
	Verzögerung:	3,3	2,7
Gruppe 3	Beschleunigung:	2,8	2,7
	Verzögerung:	3,2	3,3
Summe	Beschleunigung:	3,6	2,9
	Verzögerung:	3,7	2,7

Mittlere Anzahl von Geschwindigkeitsdifferenzen >7km/h in 1 Sekunde			
		vorher	nachher
Gruppe 1	Beschleunigung:	1,5	0,7
	Verzögerung:	1,5	0,6
Gruppe 2	Beschleunigung:	1,3	0,6
	Verzögerung:	1,0	1,1
Gruppe 3	Beschleunigung:	0,9	0,6
	Verzögerung:	1,5	0,6
Summe	Beschleunigung:	1,3	0,6
	Verzögerung:	1,4	0,8

Als fremdbestimmte Kennzahl ist die Verzögerung weder von Fahrzeugtechnik, Motorkennzahlen und auch nur in einem geringen Maß von der Person des Erhebungsfahrers abhängig. Ein Auftreten von im Mittel ca. 3-4 (nennenswerten und eine Sekunde andauernden) Verzögerungsvorgängen auf dem Auswertungsabschnitt wird als ein durchaus realistisches Abbild eingestuft. Die Werte delta 7 km/h mit nur einem Bremsvorgang waren ebenso unrealistisch wie die 10 oder mehr Bremsvorgänge bei einem delta 3 km/h. Daher wurde der Grenzwert von 5 km/h weiterverfolgt. Die Beschleunigungsgrenzwerte wurden entsprechend symmetrisch angesetzt.

6.5 Anlagen in elektronischer Form

6.5.1 Routen (gps_punkte.csv)

Die Routen wurden als csv-Datei aus der Datenbank exportiert. Neben den vom GPS-Gerät aufgezeichneten Positions- und Geschwindigkeitsdaten enthalten sie zusätzlich die streckenbezogenen Attribute ID, ix und tmpDist.

Tabelle 17: Format der csv-Datei mit den Routen

Attribut	Beschreibung
ID	Nummer der Route
ix	Innerhalb einer Route fortlaufende Nummerierung der aufgezeichneten Routenpunkte
Datum	Datum im Format JJJJ-MM-TT
Zeit_MEZ	Uhrzeit im Format HH:MM.SS
Status	S = gültiger Wert U = ungültiger Wert; die ungültigen Werte wurden manuell markiert
Breite_Grad	Geographische Breite in Dezimalgrad
Laenge_Grad	Geographische Länge in Dezimalgrad
Geschwindigkeit_km	Vom GPS-Gerät aufgezeichnete Geschwindigkeit in [km/h]
tmpDist	Falls die Route über den vorgegebenen Startpunkt am „Charlotten-/Alexander-/Hohenheimer Straße“ und den Endpunkt am Knotenpunkt „Neue Weinsteige“ führt: Entfernung zum Startpunkt in Metern Sonst: -1, d.h.Position liegt nicht auf der Auswertungstrecke

6.5.2 Kml-Dateien (Verzeichnis \kml)

Das Unterverzeichnis enthält die aufbereiteten Routen (Nr. 6 – Nr. 78) als Dateien im kml-Format. Der Dateiname beinhaltet die Routennummer. Unter der Bezeichnung „Route_0057.kml“ ist die Route mit der Nummer 57 ohne Pins, unter „Route_0057_p.kml“ die Darstellung mit Pins enthalten.

6.5.3 Automatische Erhebungen mit Messplatten

Die Datei „Auswertung-Messplatten.xlsx“ enthält die aufbereiteten Daten und die Diagramme der Erhebung.

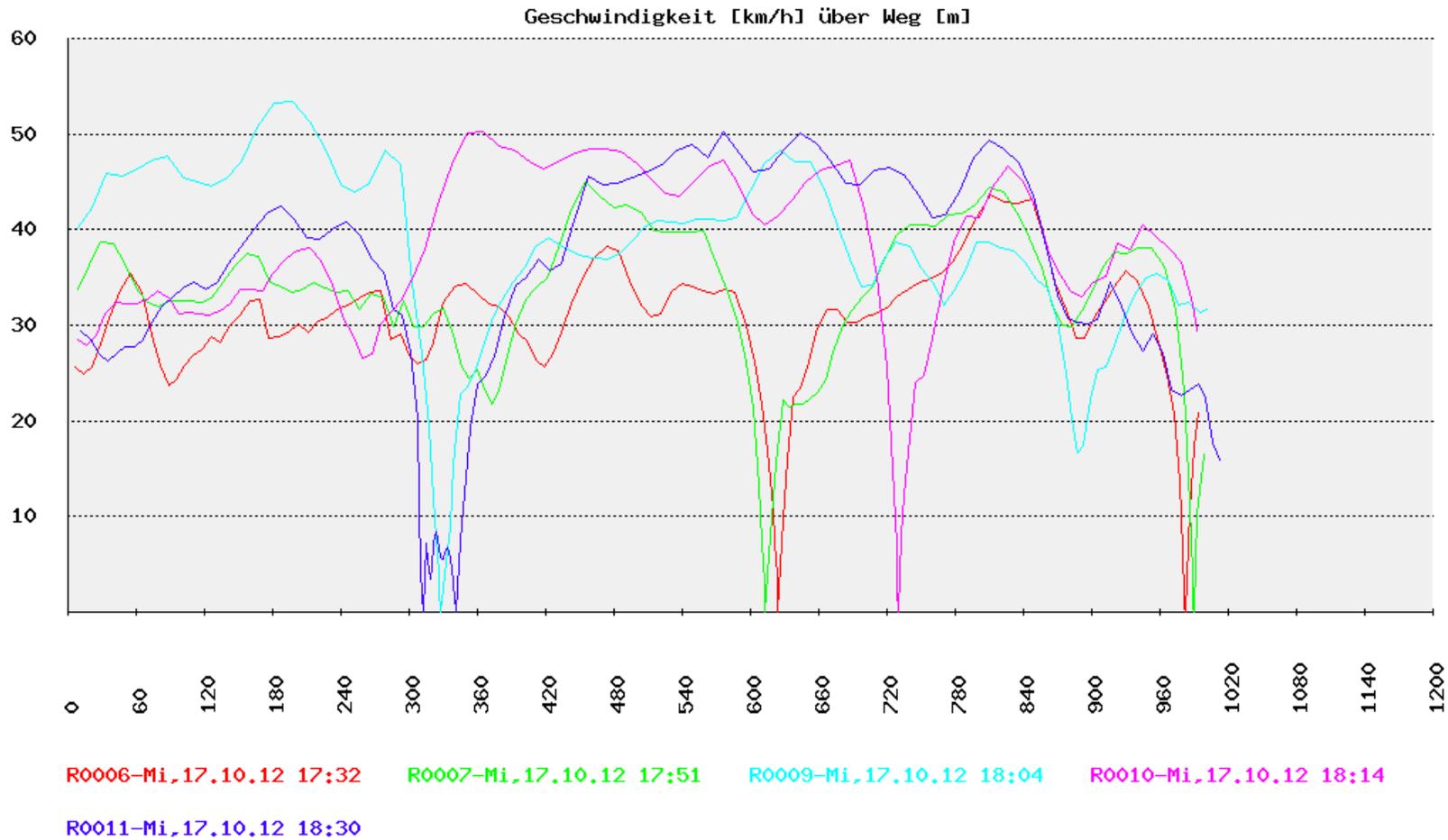
Anlagen

Anlagenverzeichnis

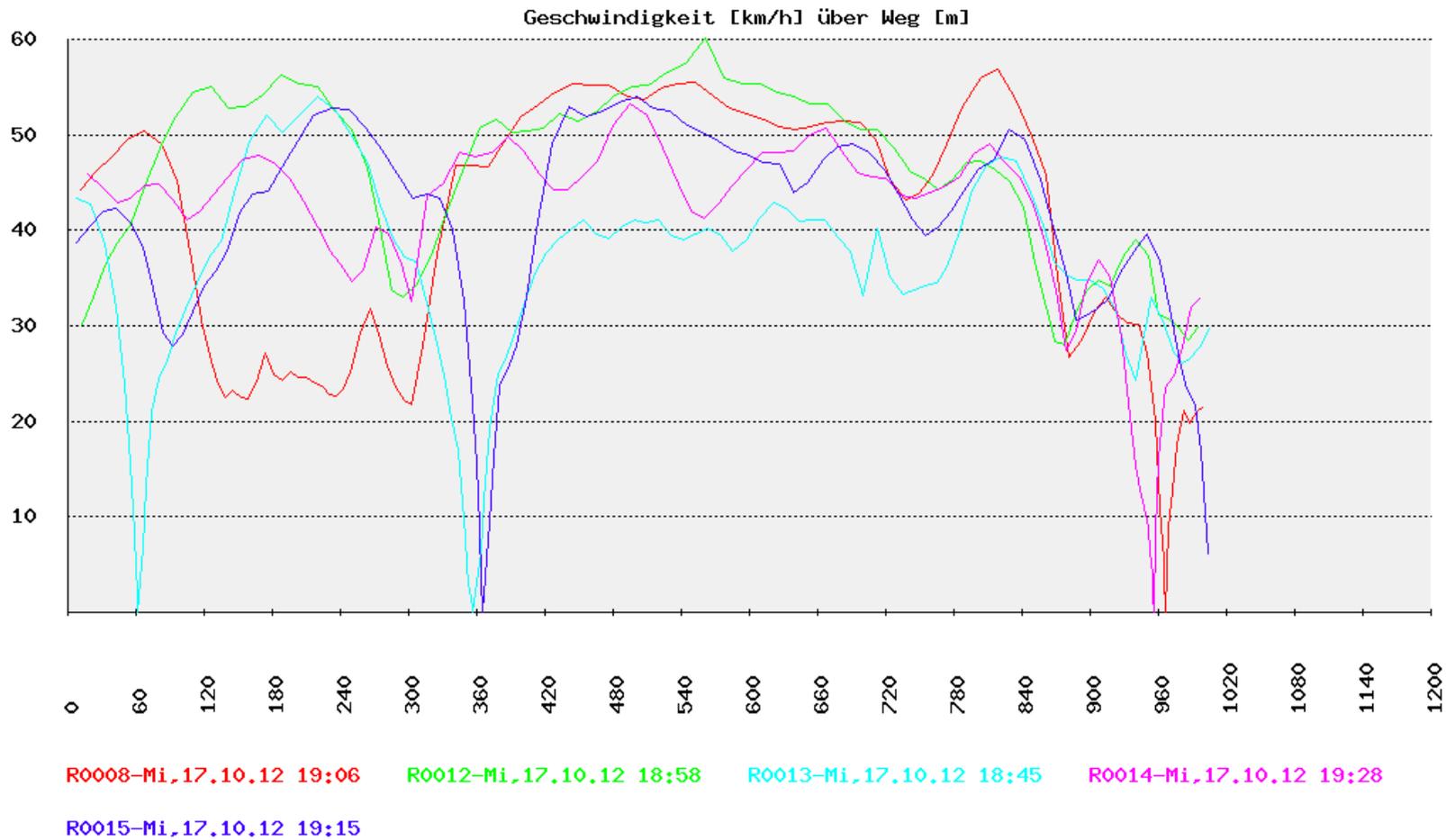
- 1 Geschwindigkeits-Weg-Diagramme für Routen „vorher“
- 2 Geschwindigkeits-Weg-Diagramme für Routen mit Tempo 40 Regelung
- 3 Mittlere Geschwindigkeiten für Routen „vorher“
- 4 Mittlere Geschwindigkeiten für Routen mit Tempo 40 Regelung
- 5 Stauanzahl und Stauzeit für Routen „vorher“
- 6 Stauanzahl und Stauzeit für Routen mit Tempo 40 Regelung
- 7 Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge für Routen „vorher“
- 8 Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge für Routen mit Tempo 40 Regelung

1. Geschwindigkeits-Weg-Diagramme für Routen „vorher“

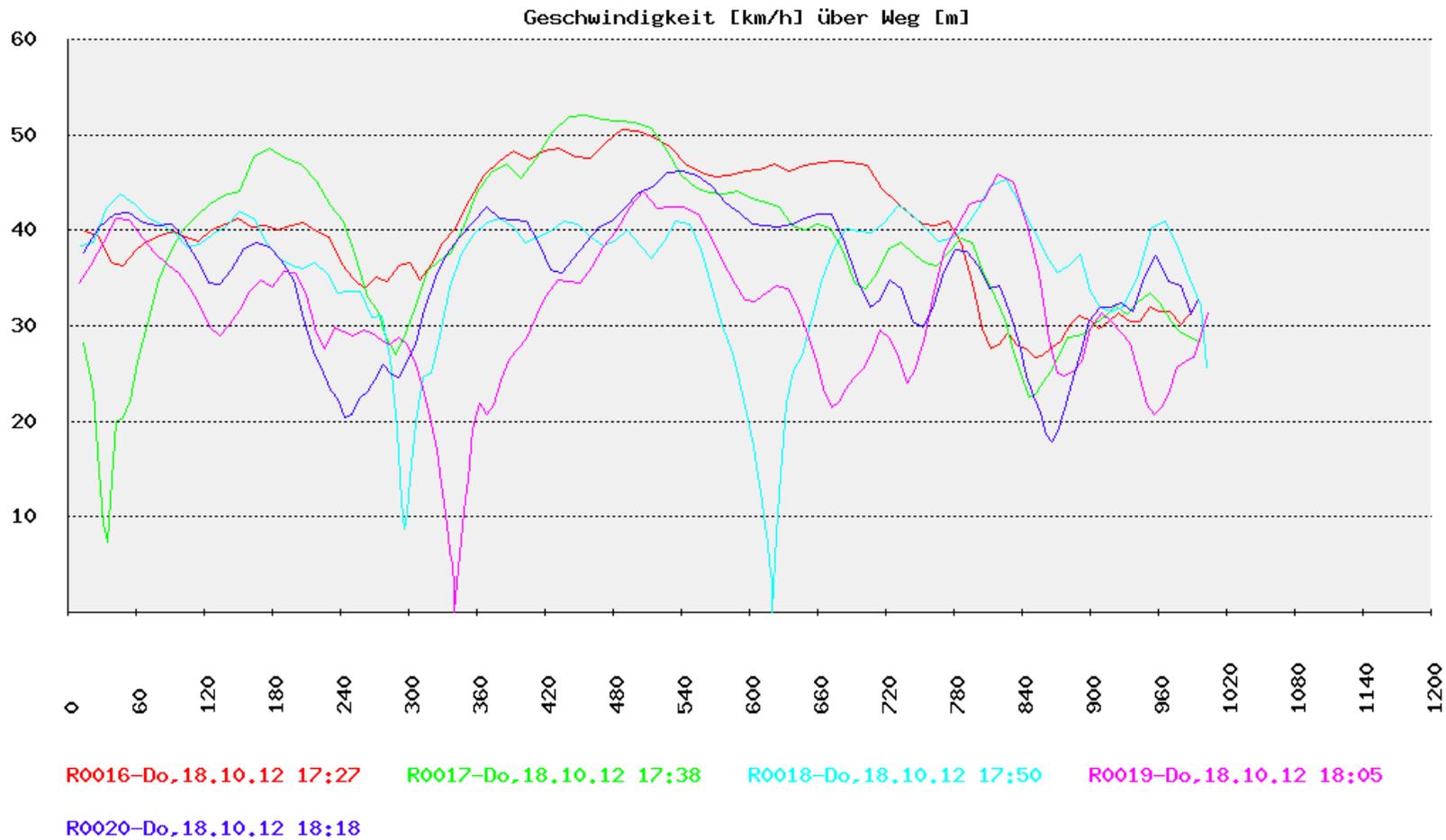
1.1 Mittwoch, 17.10.2012 (17:32 – 18:30 Uhr)



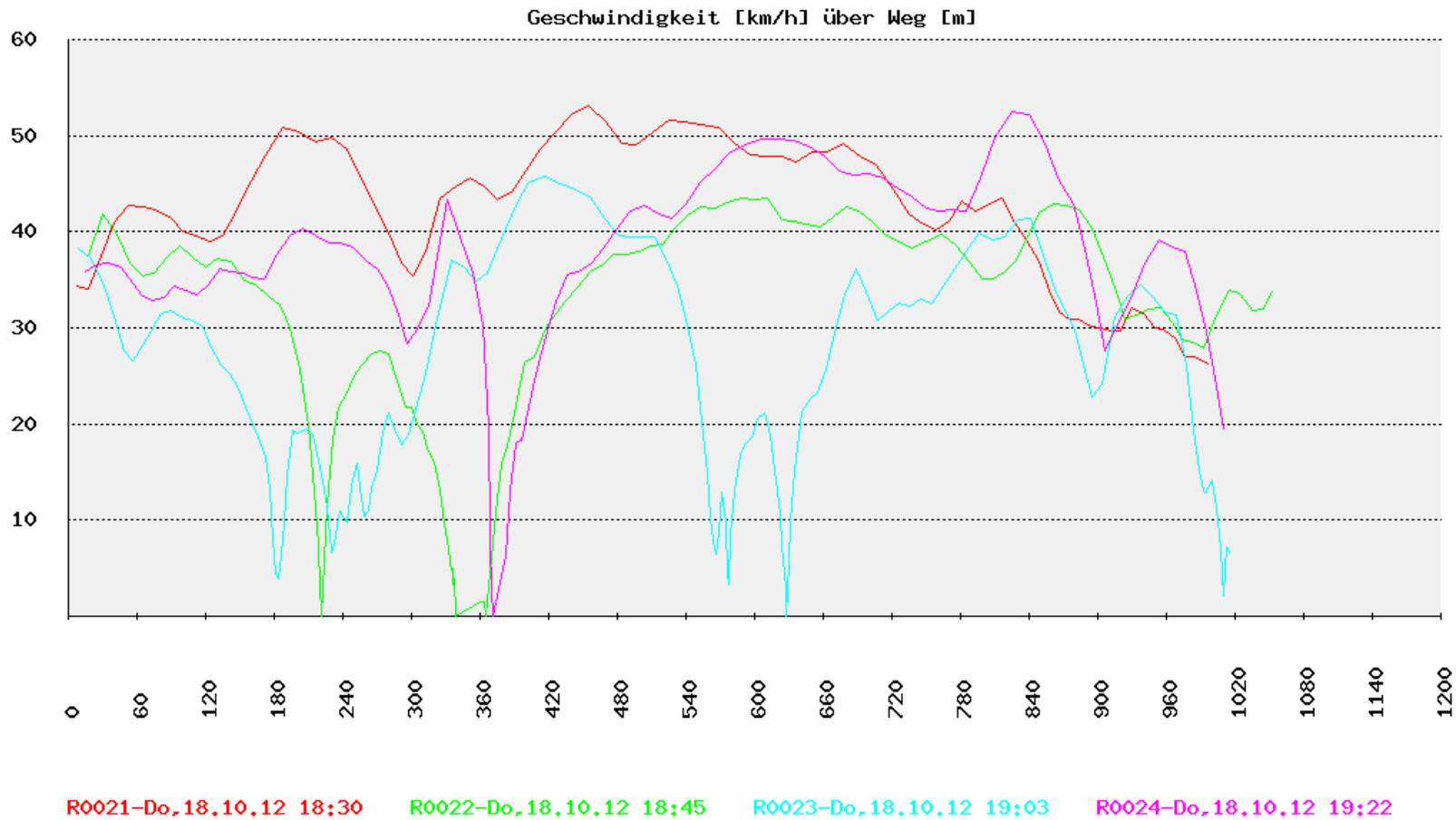
1.2 Mittwoch, 17.10.2012 (18:45-19:28 Uhr)



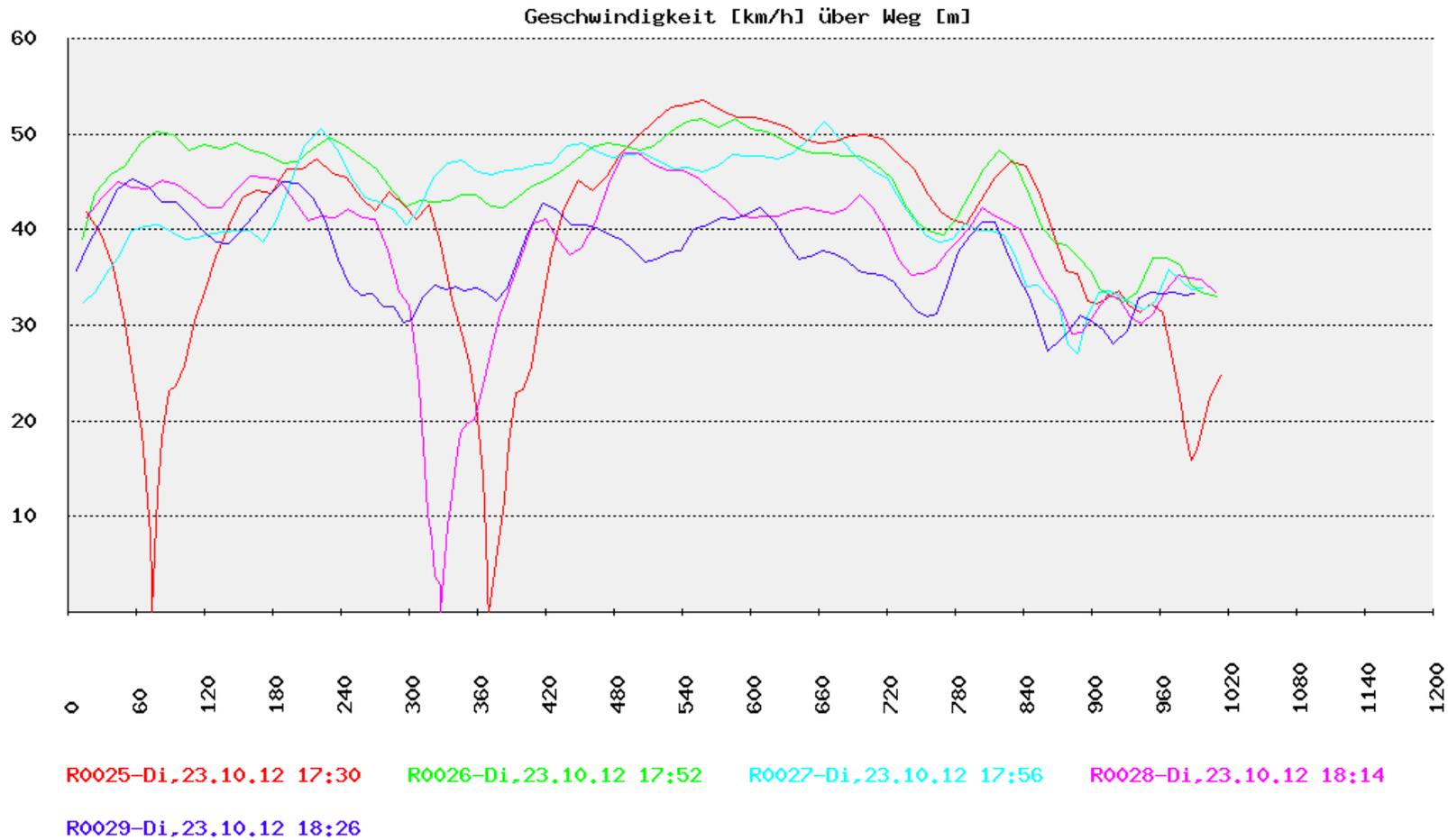
1.3 Donnerstag, 18.10.2012 (17:27 – 18:18 Uhr)



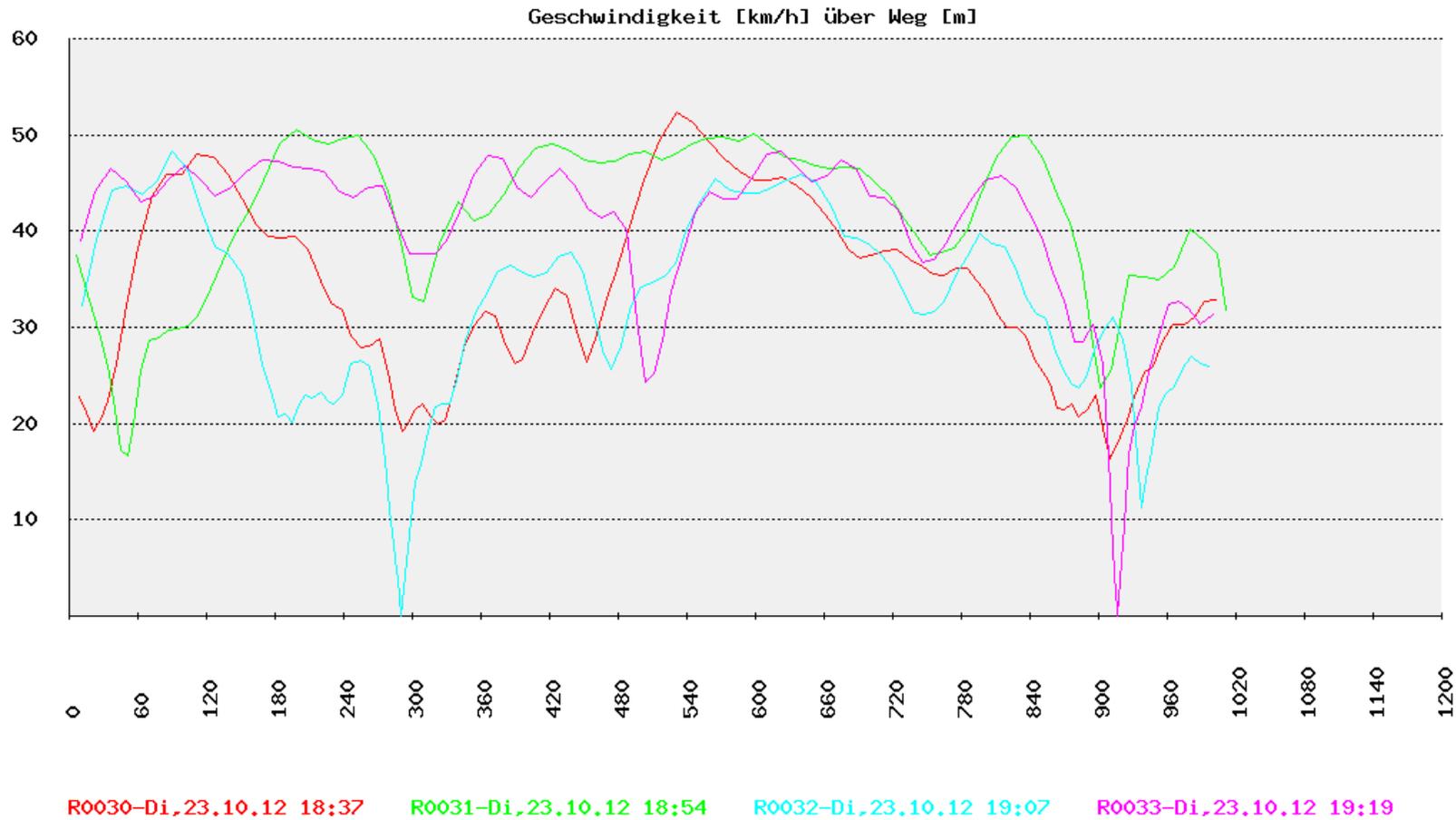
1.4 Donnerstag, 18.10.2012 (18:30 – 19:22 Uhr)



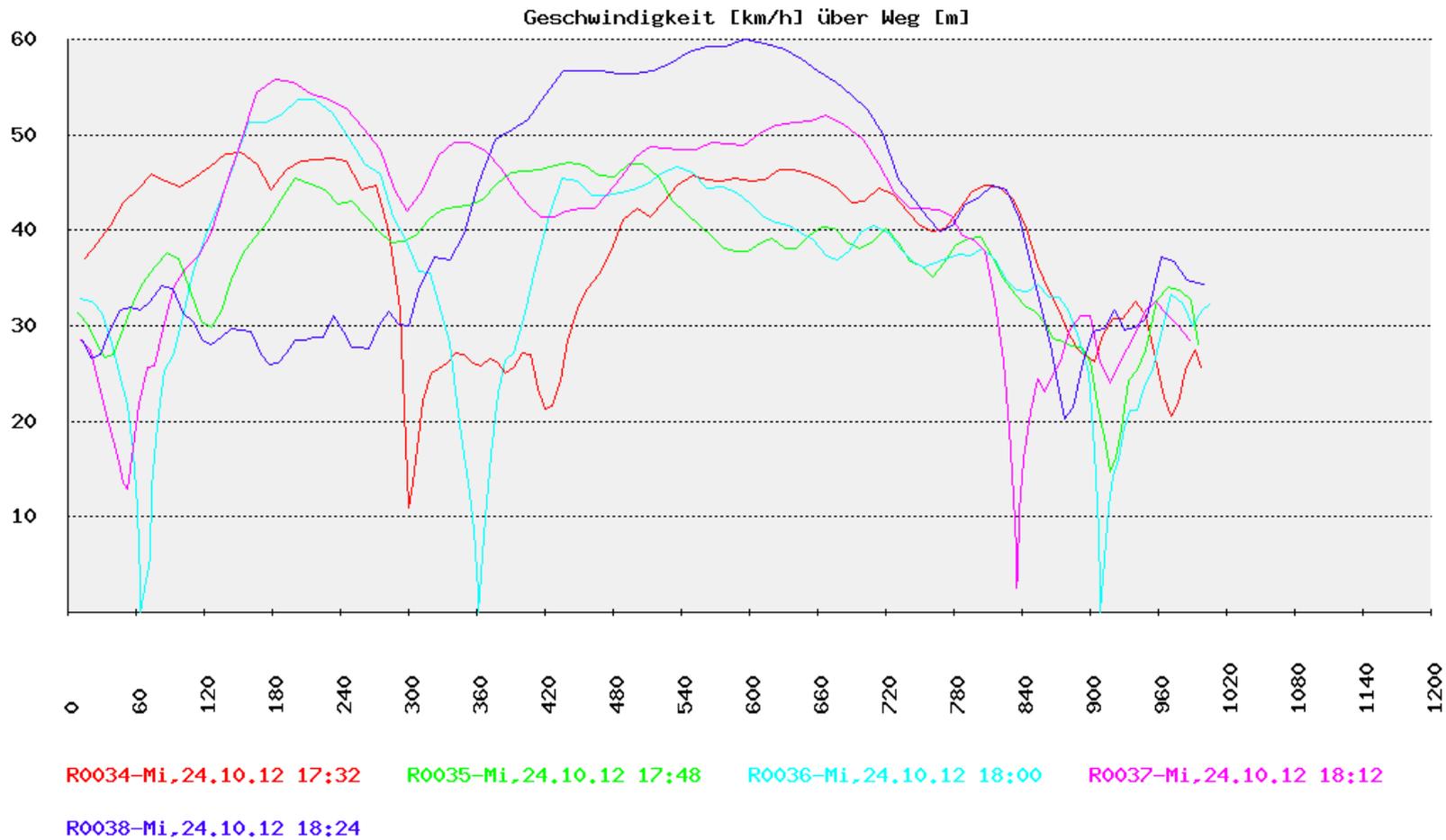
1.5 Dienstag, 23.10.2012 (17:30 – 18:26 Uhr)



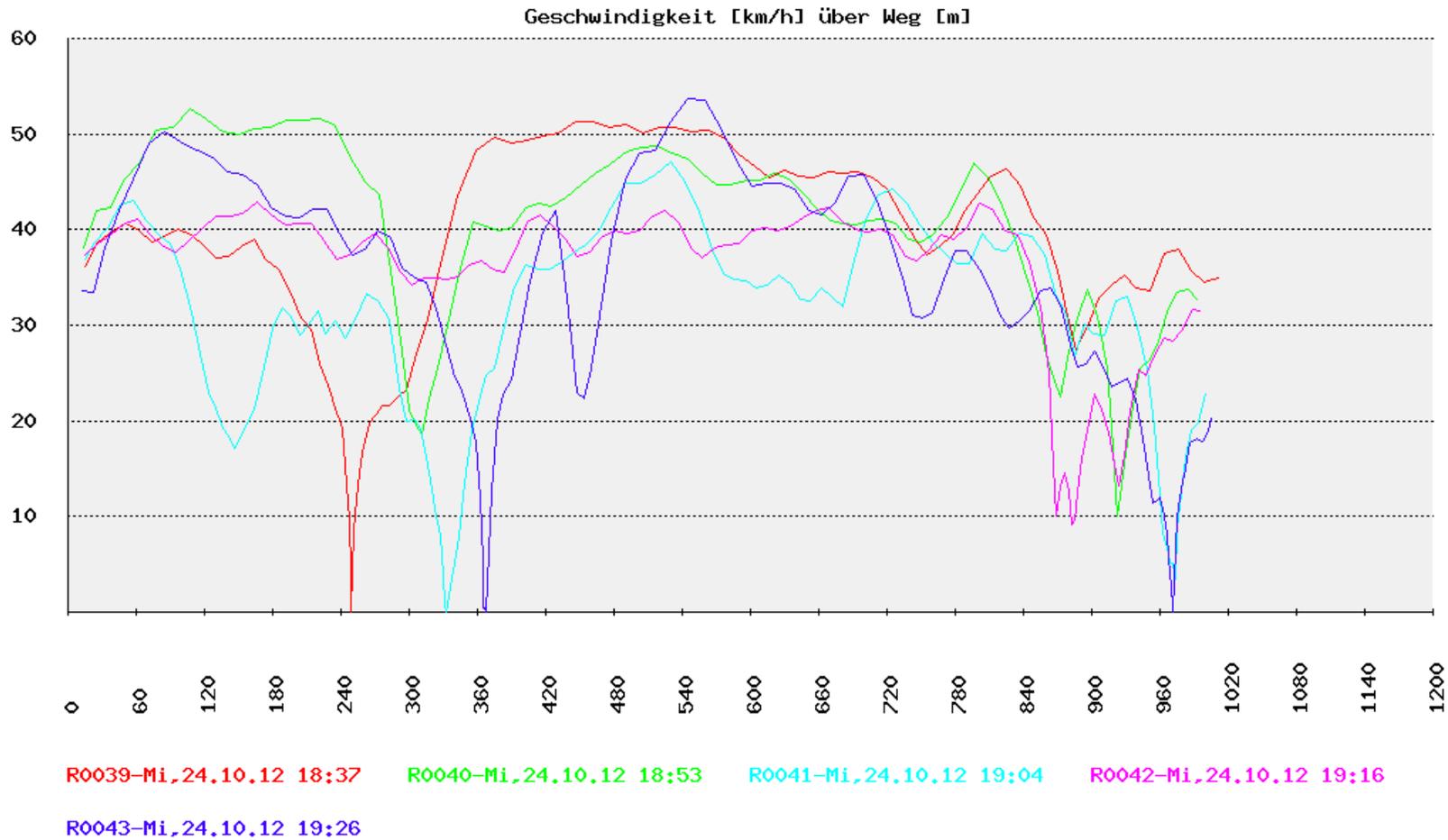
1.6 Dienstag, 23.10.2012 (18:37 – 19:19 Uhr)



1.7 Mittwoch, 24.10.2012 (17:32 – 18:24 Uhr)

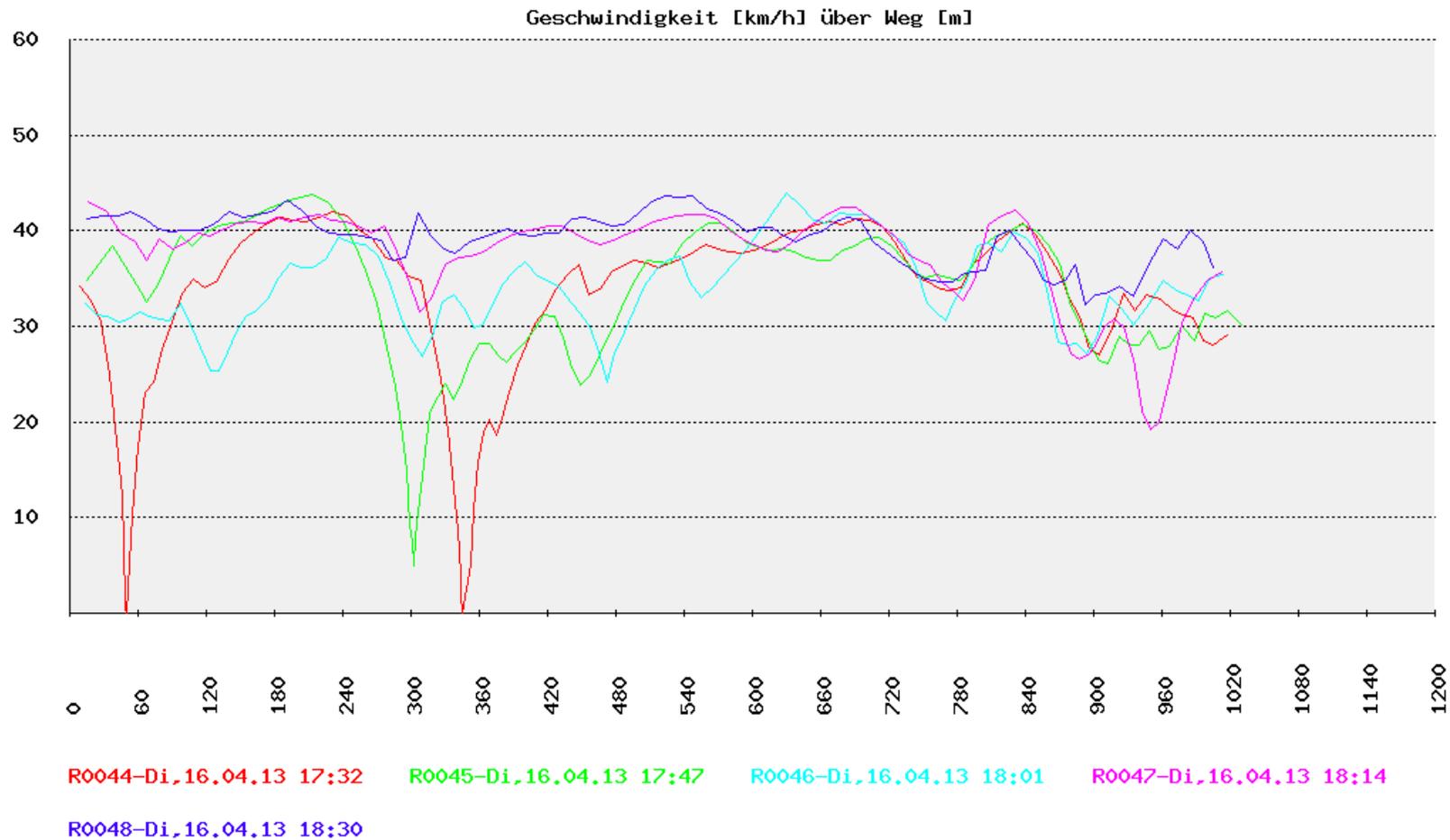


1.8 Mittwoch, 24.10.2012 (18:37 – 19:26 Uhr)

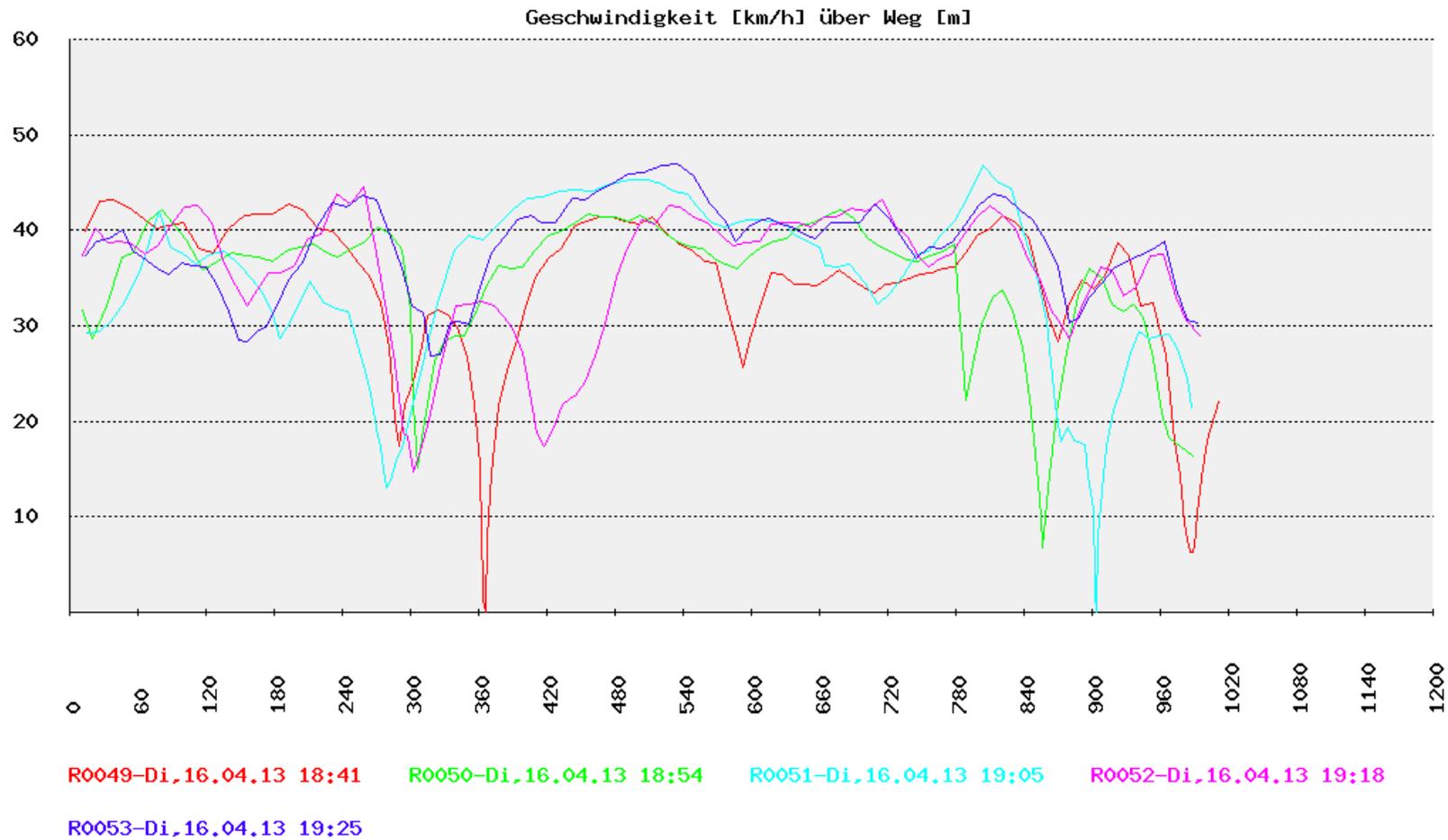


2. Geschwindigkeits-Weg-Diagramme für Routen mit Tempo 40 Regelung

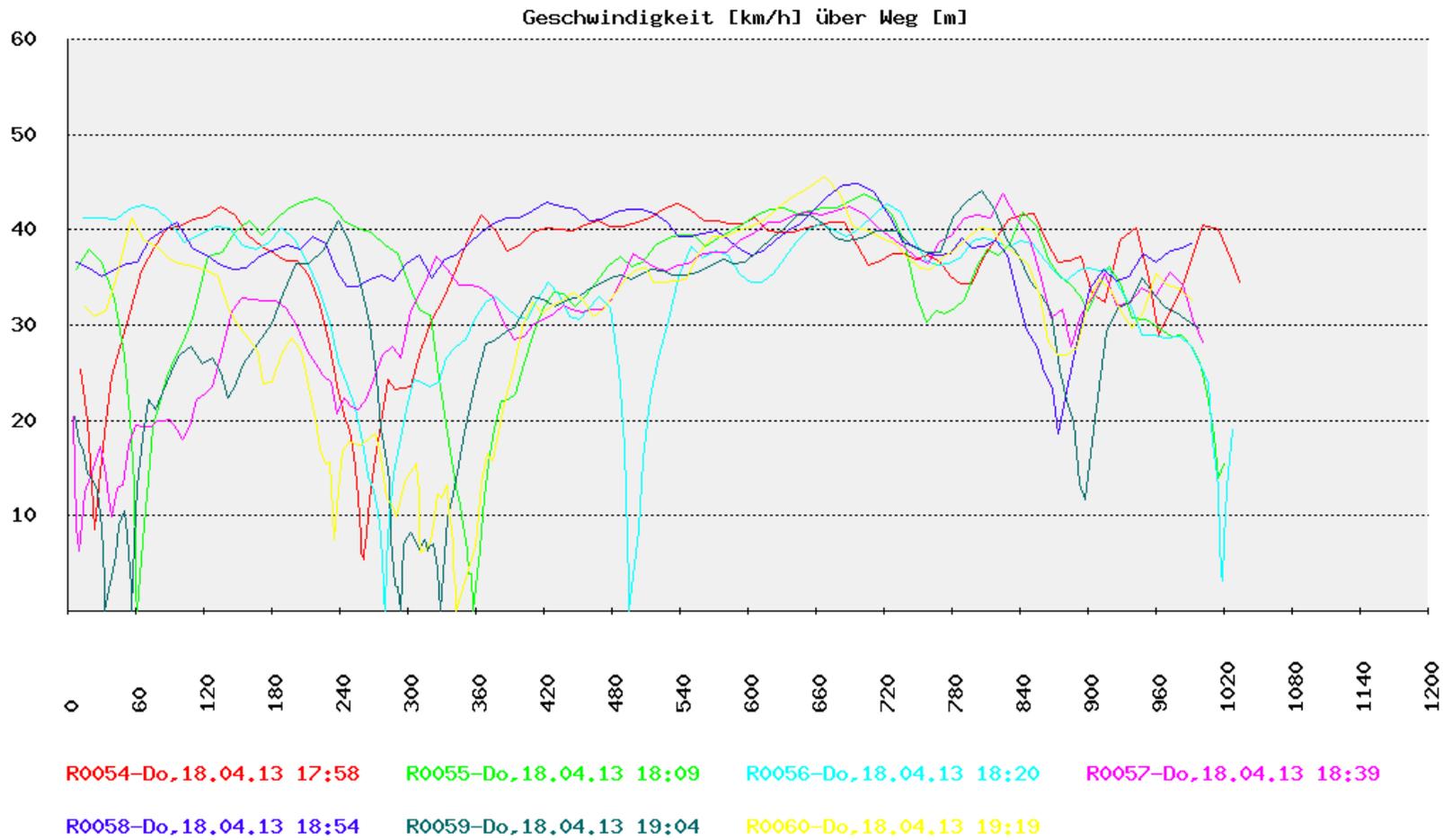
2.1 Dienstag, 16.04.2013 (17:32 – 18:30 Uhr)



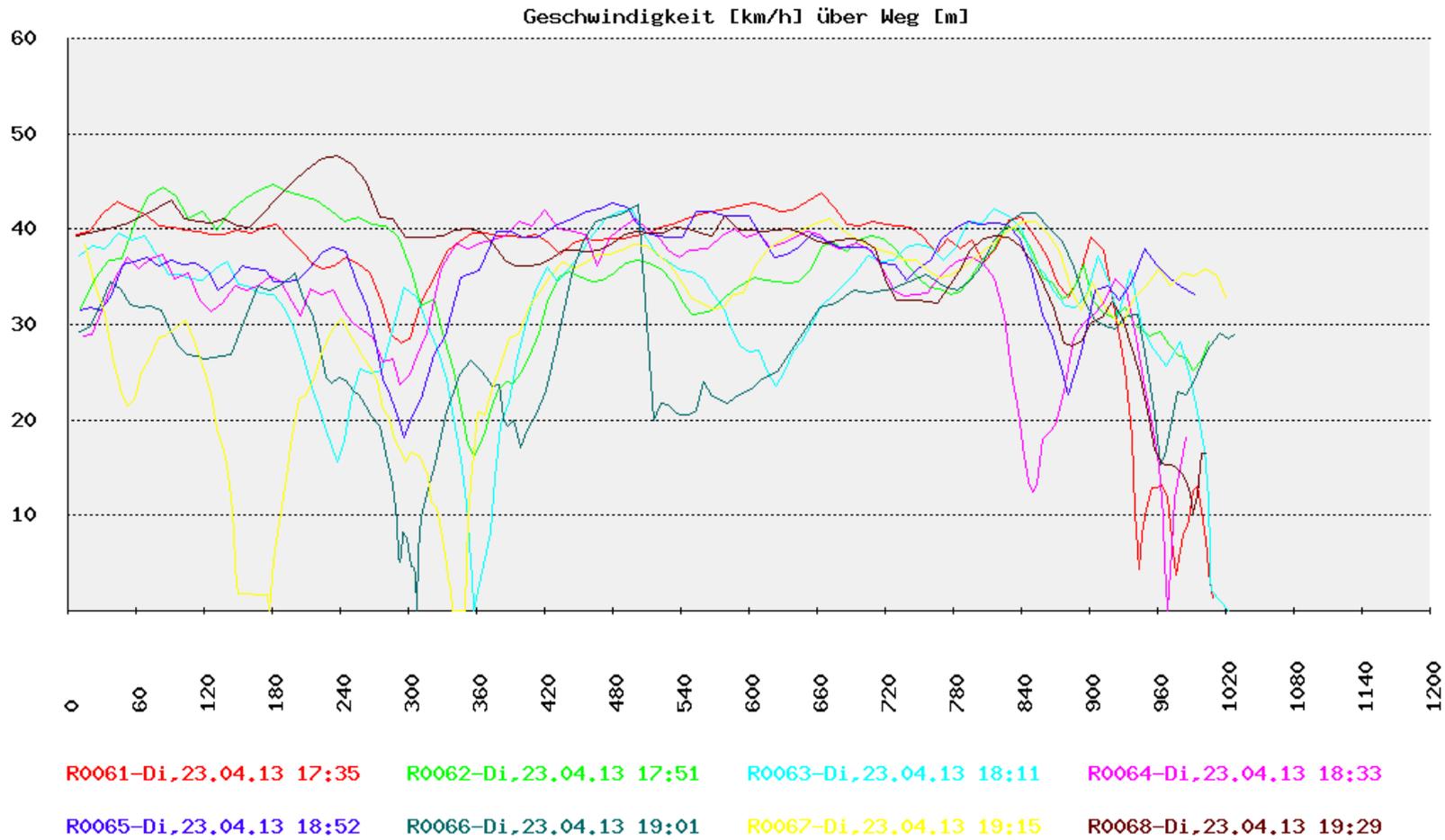
2.2 Dienstag, 16.04.2013 (18:41 – 19:25 Uhr)



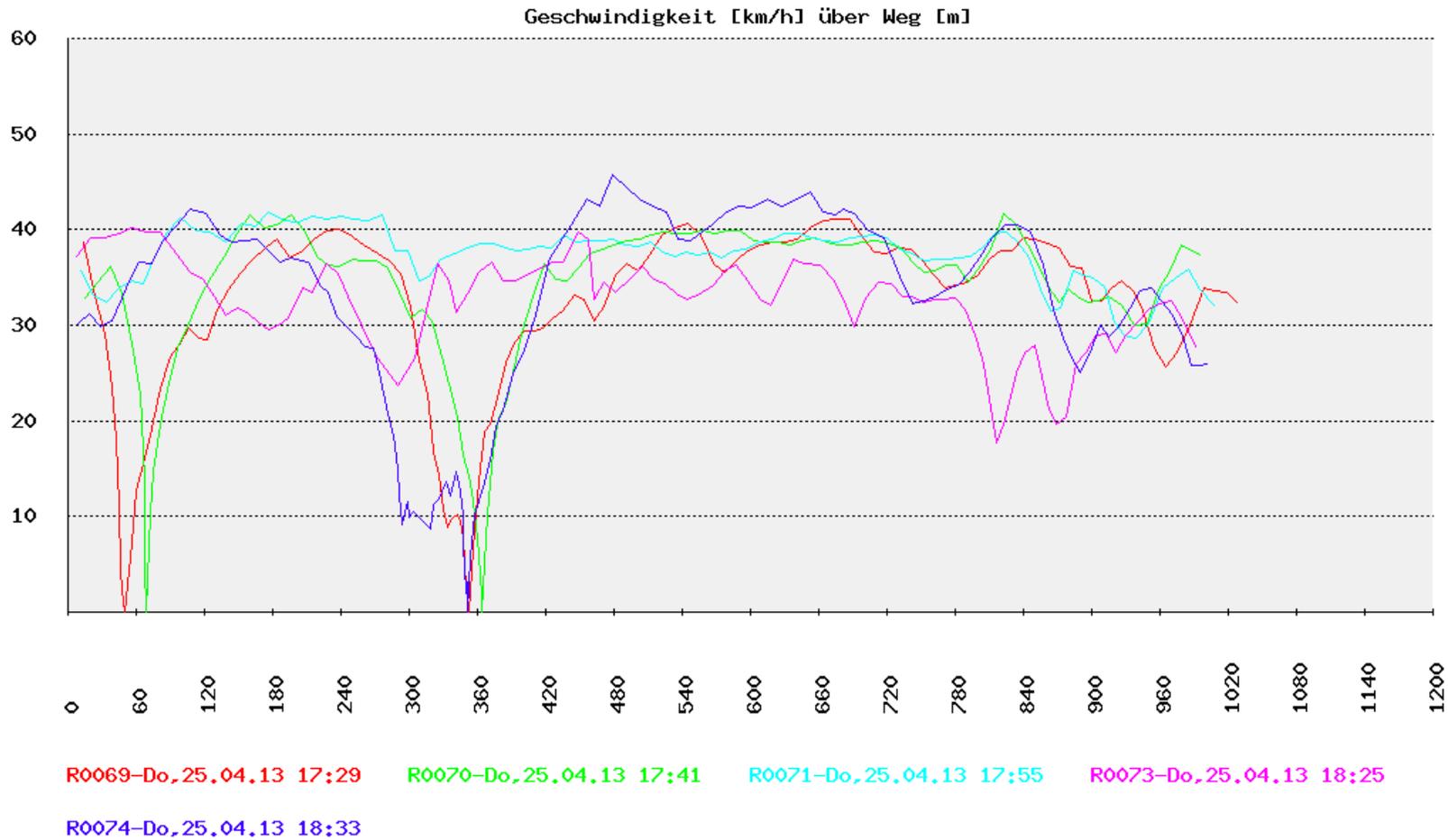
2.3 Donnerstag, 18.04.2013 (17:58 – 19:19 Uhr)



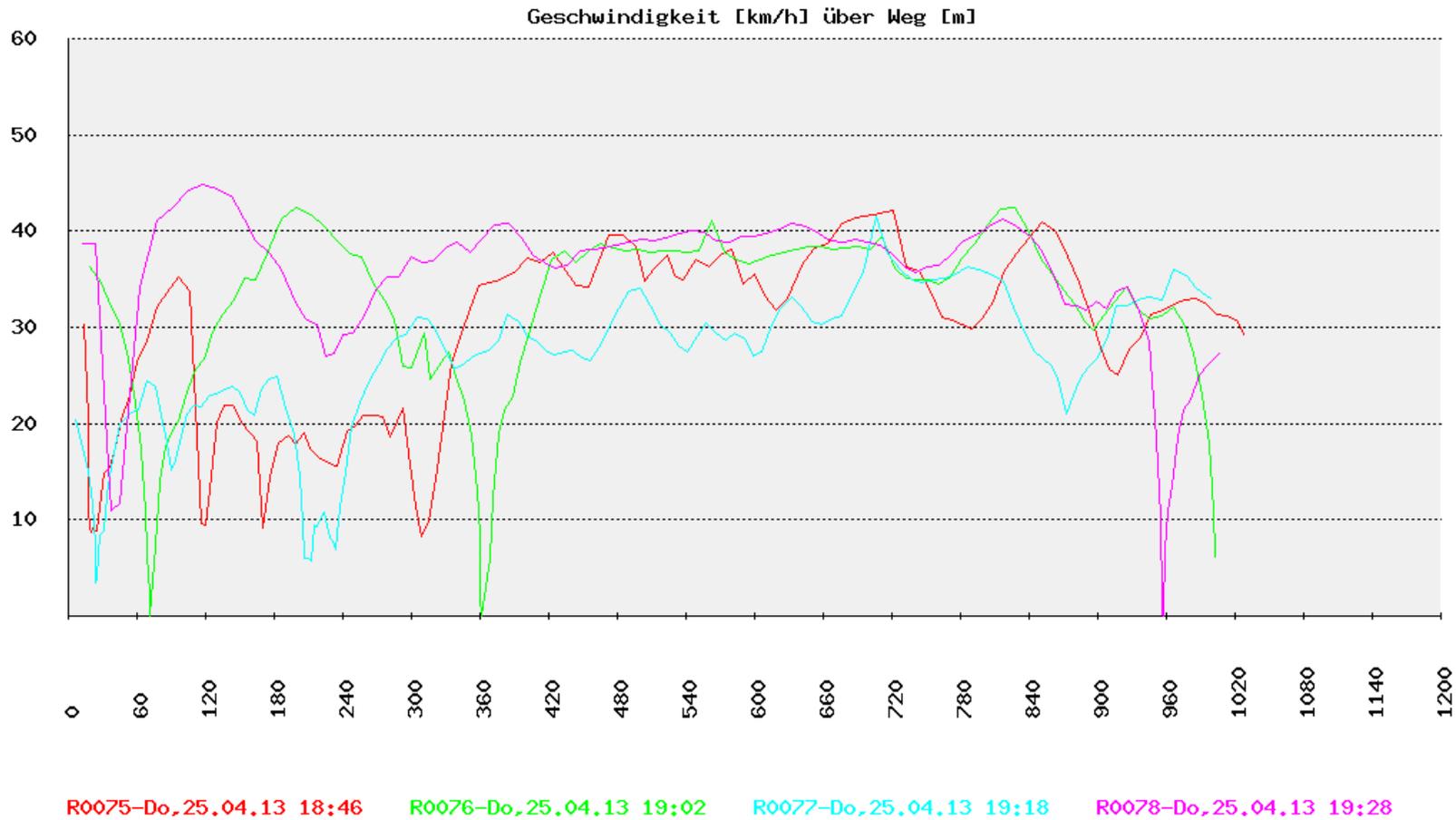
2.4 Dienstag, 23.04.2013 (17:35 – 19:29 Uhr)



2.5 Donnerstag, 25.04.2013 (17:29 – 18:33 Uhr)



2.6 Donnerstag, 25.04.2013 (18:46 – 19:28 Uhr)



3. Mittlere Geschwindigkeiten für Routen „vorher“

Route Nr.	Weg [m]	Zeit [s]	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]
6	996	150	23,9
7	1000	147	24,5
8	1002	98	37,0
9	1005	115	31,4
10	997	123	29,3
11	1016	135	27,1
12	1000	77	46,6
13	1008	143	25,4
14	998	103	35,0
15	1005	124	29,2
16	995	90	39,9
17	1003	98	37,0
18	1006	127	28,6
19	1007	143	25,3
20	999	102	35,3
21	1001	83	43,2
22	1056	160	23,8
23	1016	163	22,4
24	1012	130	28,1
25	1017	145	25,3
26	1015	80	45,9
27	998	85	42,5
28	1011	107	34,1
29	993	94	38,0
30	1003	108	33,3
31	1014	86	42,4
32	1001	122	29,6
33	1003	112	32,2
34	1000	100	36,0
35	999	97	36,9
36	1008	169	21,5
37	989	95	37,7
38	1006	91	39,7
39	1014	96	38,1
40	995	92	39,1
41	1002	150	24,1
42	997	104	34,6
43	1008	146	24,9

4. Mittlere Geschwindigkeiten für Routen mit Tempo 40 Regelung

Route Nr.	Weg [m]	Zeit [s]	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]
44	1020	163	22,5
45	1035	111	33,5
46	1019	104	35,3
47	1021	94	39,0
48	1012	90	40,5
49	1016	140	26,1
50	991	106	33,5
51	1009	108	33,7
52	999	99	36,5
53	995	91	39,5
54	1037	108	34,6
55	1025	156	23,7
56	1030	162	22,9
57	1006	115	31,4
58	994	91	39,3
59	1001	165	21,8
60	994	171	20,9
61	1010	115	31,7
62	1008	104	35,0
63	1023	140	26,3
64	993	141	25,3
65	996	94	38,3
66	1031	128	29,1
67	1024	193	19,1
68	1003	101	35,8
69	1029	163	22,8
70	1003	162	22,4
71	1014	93	39,3
73	1000	103	35,0
74	1005	142	25,6
75	1030	121	30,7
76	1003	154	23,4
77	1003	143	25,3
78	1008	104	35,1

5. Stauanzahl und Zeit im Stau für Routen „vorher“ bei einer Staugeschwindigkeit von 10 km/h

Route Nr.	Stauanzahl	Stauzeit [s]
6	2	35
7	2	41
8	1	6
9	1	20
10	1	28
11	1	39
12	0	0
13	2	47
14	1	18
15	1	35
16	0	0
17	1	2
18	2	26
19	1	29
20	0	0
21	0	0
22	2	56
23	6	34
24	1	37
25	2	50
26	0	0
27	0	0
28	1	14
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	1	12
33	1	24
34	0	0
35	0	0
36	3	67
37	1	3
38	0	0
39	1	6
40	1	1
41	2	41
42	1	2
43	2	42

6. Stauanzahl und Zeit im Stau für Routen mit Tempo 40 Regelung bei einer Staugeschwindigkeit von 10 km/h

Route Nr.	Stauanzahl	Stauzeit [s]
44	2	57
45	1	4
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	2	38
50	1	1
51	1	4
52	0	0
53	0	0
54	2	6
55	2	49
56	3	55
57	2	4
58	0	0
59	3	62
60	4	44
61	2	10
62	0	0
63	1	30
64	1	37
65	0	0
66	1	15
67	2	81
68	0	0
69	3	55
70	2	58
71	0	0
73	0	0
74	4	37
75	4	10
76	2	46
77	3	19
78	1	4

7. Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge für Routen „vorher“

Die Geschwindigkeitsdifferenz je 1 Sekunde beträgt mehr als +/- 5 km/h

Route Nr.	Anzahl Beschleunigung	Anzahl Verzögerung
6	5	4
7	5	5
8	4	7
9	3	5
10	4	6
11	3	5
12	3	5
13	11	6
14	4	6
15	3	5
16	0	0
17	1	3
18	6	3
19	2	2
20	0	0
21	1	0
22	4	3
23	11	6
24	4	5
25	8	10
26	0	0
27	0	0
28	1	3
29	6	7
30	0	0
31	1	3
32	6	3
33	2	2
34	1	3
35	2	0
36	10	5
37	3	5
38	2	0
39	0	0
40	1	0
41	7	6
42	3	6
43	8	10

8. Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge für Routen mit Tempo 40 Regelung

Die Geschwindigkeitsdifferenz je 1 Sekunde beträgt mehr als +/- 5 km/h

Route Nr.	Anzahl Beschleunigung	Anzahl Verzögerung
44	6	7
45	1	1
46	0	0
47	2	1
48	0	0
49	3	6
50	6	7
51	5	2
52	2	3
53	0	1
54	4	4
55	5	6
56	6	5
57	1	1
58	2	0
59	9	5
60	4	0
61	0	5
62	0	0
63	3	3
64	5	5
65	2	0
66	4	3
67	4	0
68	0	0
69	4	7
70	4	4
71	0	0
73	2	2
74	2	0
75	4	6
76	4	4
77	1	1
78	4	4