



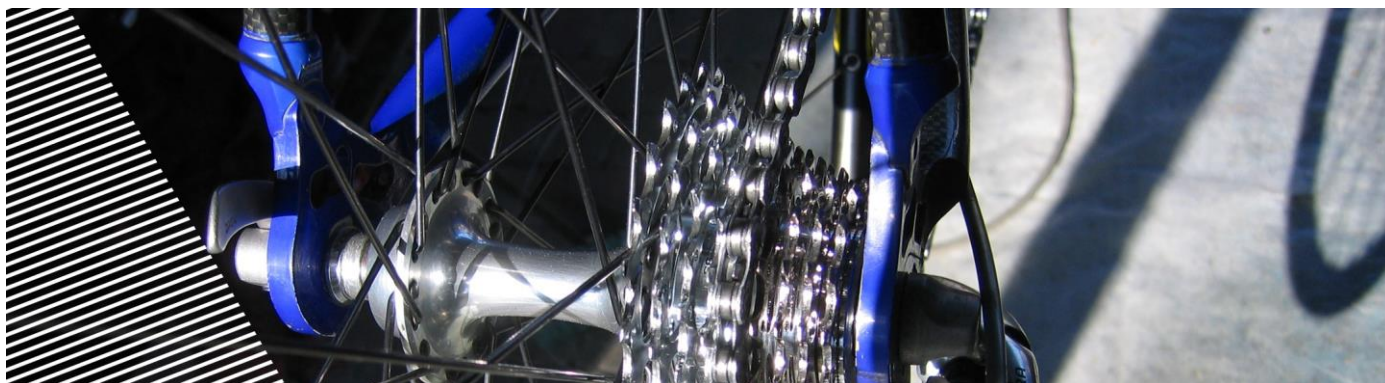
Präsidiatdepartement des Kantons Basel-Stadt

Statistisches Amt

Methodenbericht

Wetterbereinigung der Velozeitreihen Basel-Stadt

Herausgeber Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt



Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Einleitung	3
2	Erhebung und Aufbereitung der Daten.....	4
3	Deskriptive Analyse der Daten	7
4	Hypothesen- und Modellbildung.....	9
5	Resultate	13

Impressum

Herausgeber

Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt
Binningerstrasse 6, Postfach, 4001 Basel
Telefon 061 267 87 27
www.statistik.bs.ch, stata@bs.ch

Kontakt

Esteban Sanjuan (Tel. 061 267 59 40, esteban.sanjuan@bs.ch)
José Monteiro, (Tel. 061 267 87 05, jose.monteiro@bs.ch)

1 Einleitung

Zeitreihendaten von Velozählstationen sind aufgrund des sich ständig ändernden Tageswetters schwierig über die Jahre vergleichbar. Eine Wetterbereinigung kann diese Velozeitreihen von möglichen Wettereinflüssen befreien und so einen besseren Vergleich des Veloaufkommens über die Jahre ermöglichen.

Ausgangslage

In Basel-Stadt wird seit dem Jahr 2000 an ausgewählten Standorten die Zahl der Velofahrten (Velofrequenzen) gemessen. Weil das Veloaufkommen stark vom Wetter abhängig ist, sind diese Zahlen über die Jahre schwierig interpretierbar. Unterschiedliche Witterungsbedingungen können zu stark schwankenden Velofrequenzen führen und eine Einschätzung verhindern, wie sich die Velobenutzung ohne die sich ändernden, nicht beeinflussbaren Wetterbedingungen entwickelt hätte.

Ziel der Analyse

Das Ziel einer Wetterbereinigung der baselstädtischen Velozeitreihen ist einerseits das Ausmass des Wettereinflusses (Temperatur, Niederschlag, Sonnenschein, Wind, etc.) auf die Velofrequenz an den verschiedenen Messstandorten in Basel-Stadt zu ermitteln. Mit diesen Resultaten sollen andererseits Zeitreihen über die Velobenutzung erstellt werden, die bei einem „normalen“ oder „unveränderten“ Wettergeschehen zustande gekommen wären. Diese wetterbereinigten Zeitreihen sollen einen direkten Vergleich der Velofrequenzen über die Zeit ermöglichen.

Vorgehen und Resultate

Für die Zählstellen in Basel-Stadt wird mit den verfügbaren Velobewegungsdaten ab 2006 je Zählstelle ein Modell geschätzt, welches die beobachteten Velofrequenzen analysiert und insbesondere den Wettereinfluss, aber auch andere Einflussfaktoren wie zum Beispiel Wochenenden, (Schul-)Ferien und/oder Veranstaltungen zu quantifizieren versucht. Die geschätzten Modelle sind in der Lage, einen grossen Teil der zufälligen Streuung (Varianz) in den gemessenen Zeitreihen der Velofrequenzen zu erklären. Diese wetterbedingten Effekte werden mit Hilfe des Modells berechnet und die Resultate bestätigen, dass das Wetter die Velofrequenzen in Basel-Stadt erheblich beeinflusst. So stellt sich beispielsweise heraus, dass Regenmenge sowie Temperatur einen besonders grossen Einfluss haben. Die Berechnung und Analyse der wetterbereinigten Velofrequenzen zeigen dann auf, dass die starken Schwankungen bei den ursprünglich gemessenen Velofrequenzen in Basel-Stadt durch die Wetterbereinigung merklich abnehmen. Die verwendete Methode kann beliebig auf kommende Jahre und Zählstellen ausgeweitet werden.

Im vorliegenden Bericht werden in Kapitel 2 die Daten und deren Aufbereitung beleuchtet. Eine deskriptive Analyse dieser Daten folgt in Kapitel 3. In Kapitel 4 werden Hypothesen für die Erklärung des Ausmasses des Veloverkehrs gebildet und die zu schätzenden Modelle aufgestellt. Die Resultate der Schätzung werden in Kapitel 5 vorgestellt.

2 Erhebung und Aufbereitung der Daten

An über 20 verschiedenen Zählstellen werden die Velofrequenzen in Basel-Stadt erhoben. Diese Frequenzen werden nicht nur vom Wetter beeinflusst, sondern beispielsweise auch vom Wochentag, von Ferien oder vielfältigen Veranstaltungen, die im Kanton stattfinden.

Velofrequenzdaten

Die Velofrequenzdaten werden an über 20 verschiedenen Zählstellen erhoben und vom Amt für Mobilität Basel-Stadt zur Verfügung gestellt. An den meisten Zählstellen werden die Frequenzen in beide Fahrtrichtungen gemessen. Die Daten stehen in stündlicher Frequenz zur Verfügung. Wie Tabelle 2-1 zeigt, sind die verfügbaren Zeitreihen der Velofrequenzen, die an den unterschiedlichen Zählstellen und Fahrtrichtungen erfasst wurden, unterschiedlich lang. Einige Reihen existieren seit 2000, andere erst seit 2017. In der Tabelle wird die Verfügbarkeit der Reihen ab 2006 gezeigt, da die Wetterbereinigung frühestens ab diesem Jahr vorgenommen wurde. Auch ist ersichtlich, dass es an verschiedenen Zählstellen zu grösseren oder kleineren Unterbrüchen bei der Messung gekommen ist. Ganzjährig verfügbare Messungen sind wichtig, um den Einfluss der Jahreszeiten auf die Velofrequenz abschätzen zu können. Je mehr Jahre zur Verfügung stehen und je lückenloser sich die Datenbasis präsentiert, desto besser ist die Ausgangslage für die Wetterbereinigung der Zeitreihen.

Velozählstellen in Basel-Stadt: Standorte, Messbeginn der Reihe und Verfügbarkeit nach Jahr

Nr.	Standort	Messbeginn	2006 ¹	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
350	Dreirosenbrücke	2012							x	x	x	x	x	x	x	x
354	Wettsteinbrücke	2000	x	x	x	(x)	(x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
403	Heuwaage-Viadukt	2010					(x)	x	x	(x)	(x)	x	x	x	x	x
405	Dorenbachviadukt	2005	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(x)	(x)		(x)	
659	Schlachthofstrasse	2002	(x)	(x)	(x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(x)	(x)
660	Flughafenstrasse ²	2001									x	x	x	x	x	x
901	Peter-Merian Weg	2011						(x)	x	x	x	(x)	x	x	x	x
902	Viaduktstrasse	2015										x	x	x	x	x
903	Äussere Baselstrasse	2011						(x)	x	x		(x)	x	x	x	x
904	Hammerstrasse	2013								x	x	x	x	x	x	x
905	Leimenstrasse	2011						(x)	x	x	x	(x)	x	x	x	x
906	Hegenheimerstrasse	2011						(x)	x	x	x	x	x	x	x	x
907	Wasgenring	2015										x	x	x	x	x
908	Grenzacherstrasse	2011						(x)	x	x	x	x	x	x	x	x
909	General Guisan-Strasse	2011						(x)	x	x	(x)	x	x	x	x	x
910	St. Galler-Ring	2011						(x)	x	x	x	x	(x)	x	x	x
911	Birskopfsteig	2012							(x)	x	x	x	x	x	(x)	x
912	Elsässerstrasse	2013								(x)	x	x	x	x	(x)	(x)
913	Burgfelderstrasse	2013								x	x	x			x	x
914	Hiltalingerstrasse	2015											x	x	x	x
915	Luzernerringbrücke	2013								(x)	x	x	x	x	x	x
916	Stückisteg	2013									x	x	x	x	(x)	x
917	Schwarzwaldbrücke	2017												x	x	x
918	Elsässerrheinweg	2017												x	x	x
919	St. Alban-Rheinweg	2017												x	x	x
920	J. Burckhardt-Strasse	2018												x	x	x

¹Mit "x" werden Reihen bezeichnet, die in einem Kalenderjahr vollständig zur Verfügung stehen, mit "(x)" Reihen, die teilweise zur Verfügung stehen. ²Bruch der Reihe ab 2014, daher werden für die Zählstelle Flughafenstrasse nur die Zahlen ab 2014 verwendet.

Tab. 2-1, Quelle: Amt für Mobilität Basel-Stadt. Stand 2020

In Abbildung 2-1 auf der Seite 6 werden die erfassten Tagesfrequenzen am Beispiel der Zählstelle 912, Elsässerstrasse, dargestellt. Auffallend ist die grosse Bandbreite der Messungen. Ein Teil der Varianz kann schon mit „blossem Auge“ den Jahreszeiten zugeordnet werden. Auch ist ein Ausreisser im Jahr 2016 ersichtlich, sowie offensichtliche Lücken in den Jahren 2018 und 2019. Mit solchen Ausreissern und Lücken muss in der Analyse umgegangen werden können.

Wetterdaten

Nachfolgende Tabelle zeigt die seit 2000 durchgehend zur Verfügung stehenden Informationen zur Wetterlage. Die Messung erfolgt an der Messstelle Basel/Binningen. Diese Wetterdaten werden für alle Zählstellen gebraucht und sind dementsprechend für alle Zählstellen identisch. Die Wetterdaten stammen von MeteoSchweiz. Die meisten Variablen stehen stündlich zur Verfügung, die Schneemenge zweimal täglich.

Verfügbare Wetterdaten

Typ	Frequenz
Sonnendauer	stündlich
Regenmenge	stündlich
Mittlere Temperatur	stündlich
Maximale Temperatur	stündlich
Minimale Temperatur	stündlich
Maximale Windstärke	stündlich
Schneehöhe morgens	täglich
Schneehöhe abends	täglich

Tab. 2-2; Quelle: MeteoSchweiz.

Die Abbildungen 2-2 bis 2-5 zeigen Jahresganglinien der Wettervariablen im Mittelwert der Jahre 2011 bis 2019. Sie weisen die erwarteten Muster auf: Mittlere tägliche Temperatur und Sonnenscheindauer sowie die mittlere tägliche Regenmenge sind in den Sommermonaten am höchsten, Schnee fällt hingegen vorwiegend von Dezember bis Februar. Die nicht abgebildete Windstärke weist kaum saisonale Schwankungen auf.

Veranstaltungsdaten

Auch Feiertage, Ferien und Veranstaltungen können den Veloverkehr stark beeinflussen. So ist z. B. in Abbildung 3-1 ersichtlich, dass die Sommerferien zumeist einen negativen Einfluss auf die Velofrequenz haben. Auch spezielle Veranstaltungen können die Frequenz stark beeinflussen, so ist z. B. der Ausreisser bei Zählstelle 912, Elsässerstrasse, der Veranstaltung *SlowUp* geschuldet, wie die Abbildung 2-1 zeigt. Damit die Auswirkungen der Ferien, Feiertage und Veranstaltungen im Modell berücksichtigt werden können, wurde eine Veranstaltungsdatenbank erstellt. Darin werden auf Tagesbasis die wichtigsten Veranstaltungen aufgenommen. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Auswahl von berücksichtigten Veranstaltungen.

Auswahl an berücksichtigten Tagesmerkmalen: Wochentage, Feiertage, Ferien und Veranstaltungen

Feiertage und Ferien	Sport
Wochenenden	Fussballspiele, Eishockeyspiele
Feiertage	Swiss Indoors, TopVolley, Badminton, CSI
Ferien	Stadtlauf, Marathon, Birslauf, Bruggelauf
Semesterferien	Quer durch Basel, Waldlauf Lange Erlen
Verkaufsoffene Sonntage	Rheinschwimmen, SlowUp
Kultur	Messen, Märkte und weitere
Tattoo, Baloise Session, Bscene	Grosse Messen und Kongresse
Grosse Konzerte (St. Jakob)	Herbstmesse, Weihnachtsmarkt
Summerblues, Bebbi si Jazz, Jazzfestival	Feuerwerke (Silvester, August)
Imagine, JKF, Im Fluss, Basel Open Air	Sportnacht, Museumsnacht
Fasnacht, Schulfasnacht, Bummelssonntage	Vogel Gryff, Klosterbergfest, Hafenfest

Tab. 2-3; Quelle: Statistisches Amt Basel-Stadt.

Tagesfrequenzen des Veloverkehrs an der Elsässerstrasse

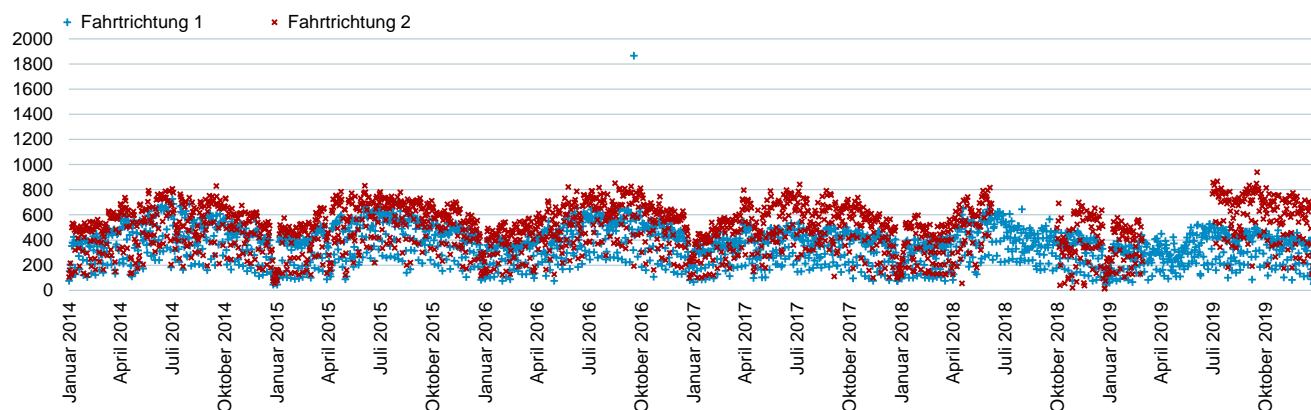


Abb. 2-1; Quelle: Amt für Mobilität.

Die Abbildung zeigt die Tagesfrequenzen des Veloverkehrs an der Elsässerstrasse aus. Es ist ein Ausreisser ersichtlich, welcher mit 1851 Velofahrten weit über dem zweithöchsten Wert von 851 liegt. Der tiefste beobachtete Wert in der betrachteten Periode von Anfang 2014 bis Ende 2019 liegt bei 40 Fahrten.

Jahresganglinie Sonnenscheindauer, 2011 bis 2019

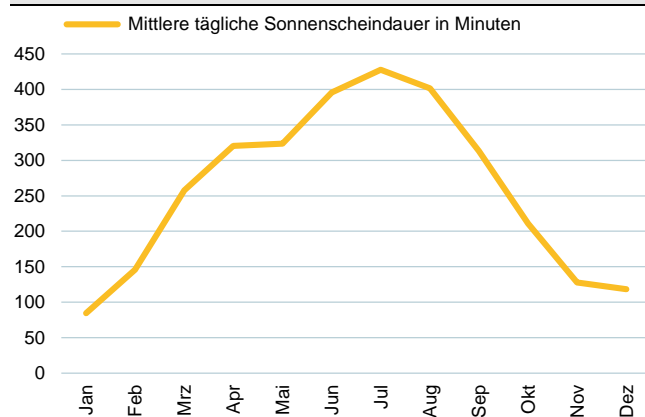


Abb. 2-2; Quelle: MeteoSchweiz.

Die mittlere tägliche Sonnenscheindauer erreicht im Juli mit 428 Minuten den Höhepunkt. Im Januar beträgt sie 84 Minuten.

Jahresganglinie Mittlere Temperatur, 2011 bis 2019

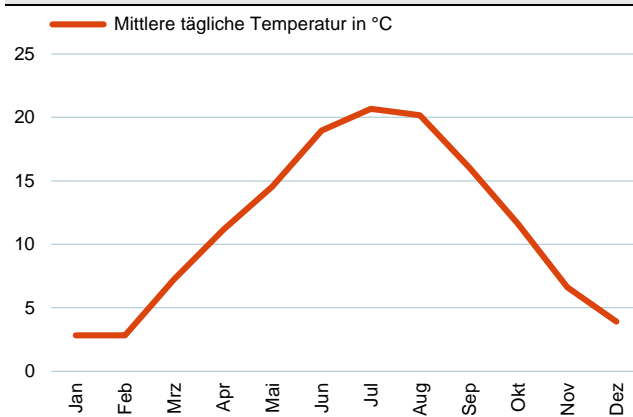


Abb. 2-3; Quelle: MeteoSchweiz.

Die mittlere tägliche Temperatur ist im Juli mit 21°C am höchsten und im Februar mit etwas unter 3°C am tiefsten.

Jahresganglinie Regenmenge, 2011 bis 2019

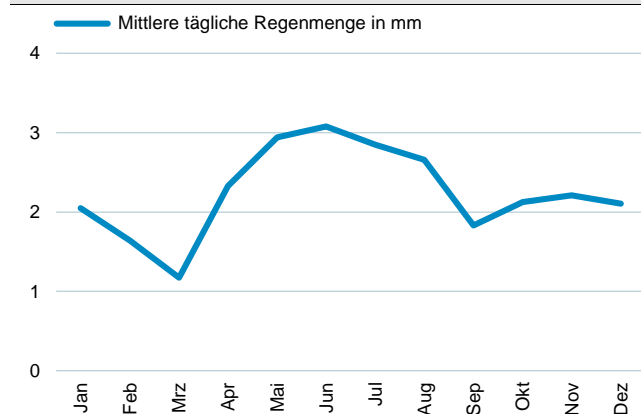


Abb. 2-4; Quelle: MeteoSchweiz.

Die mittlere tägliche Regenmenge ist in den Sommermonaten besonders hoch, beispielsweise im Juni mit 3,1 mm.

Jahresganglinie Schneemenge, 2011 bis 2019

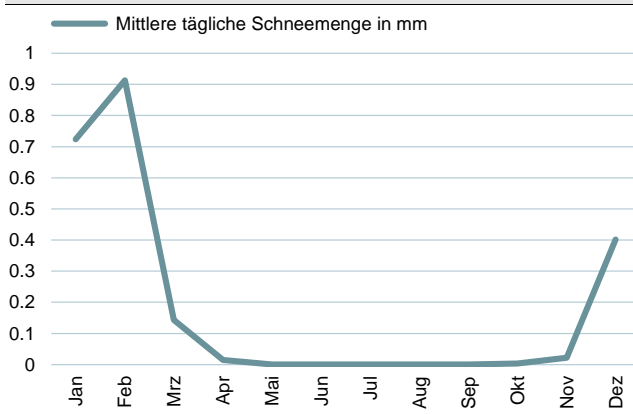


Abb. 2-5; Quelle: MeteoSchweiz.

Am meisten Schnee fällt im Tagesmittel im Februar mit 0,9 mm. Auch im Januar und im Dezember fällt im Mittel etwas Schnee.

3 Deskriptive Analyse der Daten

Die Velobewegungen in Basel-Stadt zeigen die erwarteten Muster auf: Zur Pendlerzeit und in warmen Monaten sind sie höher als an Wochenenden und im Winter. Regen und Schnee beeinflussen die Bewegungen negativ, Sonnenschein und Temperatur dagegen positiv.

Deskriptive Analyse

Die Daten werden zuerst deskriptiv ausgewertet, um einen Überblick über die möglichen Zusammenhänge zwischen der Velofrequenz und den Einflussfaktoren zu gewinnen. Sogenannte Ganglinien zeigen die grundlegenden Muster der Velobenutzung auf. Zudem werden der Velobenutzung verschiedene Wettervariablen gegenübergestellt, um Korrelationen zu erkennen.

Jahresganglinien

Abbildung 3-1 zeigt die Jahresganglinien der Velofrequenzen am Beispiel der Zählstelle 354, Wettsteinbrücke, im Durchschnitt für die Jahre 2011 bis 2019. Es handelt sich um einen typischen Verlauf, der so auch bei anderen Zählstellen zu beobachten ist: Der Veloverkehr steigt ab März und erreicht im Juni einen vorläufigen Höhepunkt. Im Juli gehen die Frequenzen dann aufgrund der Sommerferien zurück und steigen im August oder September wieder auf ein ähnliches oder gar höheres Niveau wie im Jun. Erst im Oktober geht der Verkehr leicht zurück und ist im Dezember, Januar und Februar auf dem Tiefpunkt.

Wochenganglinien

Abbildung 3-2 zeigt die Wochenganglinien der Velofrequenzen am Beispiel der Zählstelle 354, Wettsteinbrücke, ebenfalls im Mittel der Jahre 2011 bis 2019. Wie bei allen Zählstellen sind die Frequenzen an den Wochentagen am höchsten, sonntags am tiefsten. An gewissen Zählstellen ist der Verkehr jedoch vor allem sonntags durch den Freizeitverkehr ebenfalls auf einem hohen Niveau, wie z. B. an der Grenzacherstrasse oder dem Birskopfsteig.

Tagesganglinien

Abbildungen 3-3 (Wochentage) und 3-4 (Wochenenden) zeigen die Tagesganglinien der Velofrequenzen im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2019 wieder am Beispiel der Wettsteinbrücke. Charakteristisch für die Wochentage sind die Spitzen morgens (bei den meisten Zählstellen zwischen 7 und 9 Uhr) und abends (zwischen 16 und 18 Uhr), welche durch die Arbeitswege verursacht werden. Oft gibt es zudem eine moderatere Spitze am Mittag. An einige Zählstellen findet der Arbeitsverkehr morgens vor allem in eine Richtung statt, entsprechend ist die andere Richtung abends stärker frequentiert. Am Wochenende ist das Muster ein anderes: Der Anstieg des Veloverkehrs geht langsamer und auch später vor sich. Zwischen 10 und 18 Uhr ist die Frequenz in der Regel am höchsten.

Korrelationen zwischen Wetter- und Verkehrsdaten

Monatsdaten: Es werden in einem ersten Schritt aggregierte Monatsdaten verwendet. Innerhalb eines Jahres wird damit festgestellt, wie stark die Wettervariablen zwischen den Monaten mit dem Veloverkehr korreliert sind. Interpretation einer positiven Korrelation: „Wenn die Temperatur im Monat x hoch und im Monat y tief ist, dann ist die Velofrequenz im Monat x auch hoch und im Monat y auch tief.“

Es zeigen sich nicht überraschend hohe Korrelationen zwischen der mittleren Temperatur und der Velofrequenz: In den warmen Monaten ist auf der Strasse also mehr los. Die gleiche Beobachtung kann anhand der mittleren Sonnenscheindauer gemacht werden. Die mittlere Regenmenge hingegen ist viel schwächer mit dem Veloverkehr korreliert, teilweise auch negativ. Auch dies ist erklärbar, ist doch die Regenmenge in den Sommermonaten besonders gross. Eine hohe mittlere Windhöchstgeschwindigkeit wirkt sich negativ auf den Veloverkehr aus, allerdings sind die Korrelationskoeffizienten meist nicht besonders hoch. Ebenfalls ist der Veloverkehr in Monaten mit viel Schnee geringer als in Monaten mit wenig Schnee. Diese Beobachtung wird mit höheren Korrelationskoeffizienten untermauert.

Mit den Korrelationskoeffizienten ist noch nichts über die Stärke des Zusammenhangs gesagt: Die Variablen können hochkorreliert sein, eine Veränderung der einen Variable (z. B. Temperatur) kann aber trotzdem nur mit einer sehr geringen Veränderung der anderen Variable (z. B. Velofrequenz) einhergehen. Die Steigungsparameter (berechnet mit logarithmierten Daten) zeigen im Falle der mittleren Temperatur, dass eine Veränderung der Temperatur zwischen zwei Monaten um 1% in den meisten Fällen mit einer Veränderung der Verkehrsmenge von etwa 0,2% einhergeht. Bei der Sonnenscheindauer beträgt dieser Wert rund 0,3%, bei der Regenmenge 0,1%, bei der Windhöchstgeschwindigkeit -0,4% und bei der Schneemenge -

0,1%. Diese Werte sind im Falle der Temperatur und der Sonnenscheindauer statistisch signifikant von Null unterschiedlich, jedoch nicht für Regen, Wind und Schnee.

Tagesdaten: Weiter werden Korrelationen zwischen den Wettervariablen und dem Ausmass des Veloverkehrs für die verschiedenen Zählstellen mithilfe von Tagesdaten berechnet. Innerhalb eines Monats wird somit festgestellt, wie stark die Wettervariablen zwischen den Tagen mit dem Veloverkehr korreliert sind. Eine positive Korrelation sagt aus: „Wenn die Temperatur im Mai an Tag x hoch und im Mai an Tag y tief ist, dann ist die Velofrequenz im Mai an Tag x auch hoch und im Mai an Tag y auch tief.“

Die mittlere Tagestemperatur ist meist positiv mit der Velofrequenz korreliert, ebenso die tägliche Sonnenscheindauer. Bei der Regenmenge zeigt sich nun der erwartete starke negative Zusammenhang: Innerhalb eines bestimmten Monats ist die Regenmenge also durchaus negativ mit der Velofrequenz korreliert. Bei Windhöchstgeschwindigkeit und Schneemenge zeigen sich schwach negative Korrelationen.

Im Durchschnitt liegen die Steigungsparameter für die mittlere Tagestemperatur bei etwa 0.3%, für die Sonnenscheindauer bei 0.1%, für die Regenmenge bei -0.1%, für die Windhöchstgeschwindigkeit bei -0.1% und für die Schneemenge bei rund -0.3%. Die Werte sind allesamt etwas tiefer als bei der Verwendung von Monatsdaten. Wiederum sind nur die Steigungsparameter von Temperatur und Sonnenscheindauer signifikant von Null unterschiedlich.

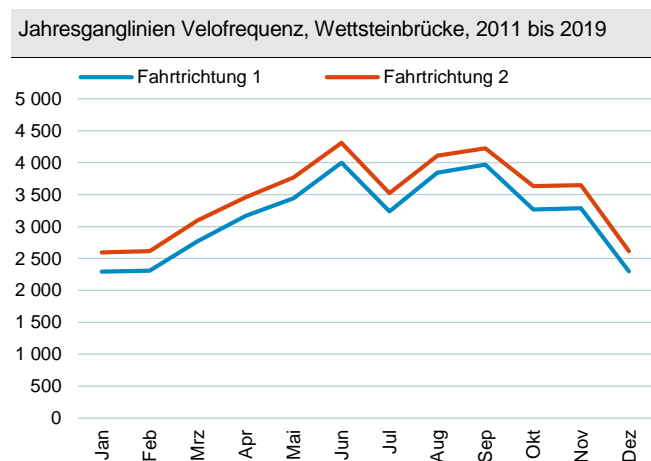


Abb. 3-1; Quelle: Amt für Mobilität, Statistisches Amt.

In warmen Monaten sind die mittleren täglichen Velofrequenzen höher. Einen Rückgang gibt es im Juli während den Sommerferien.

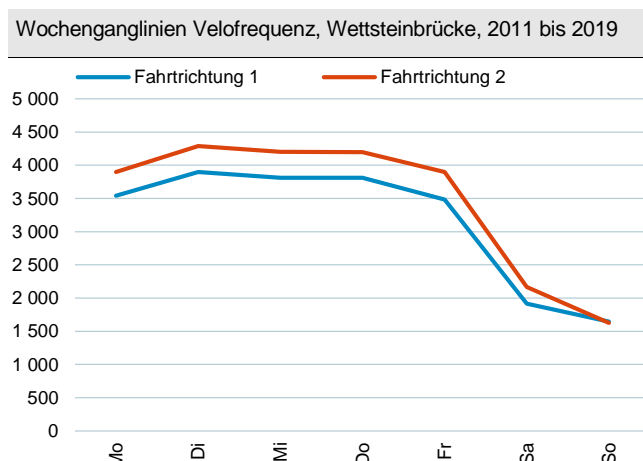


Abb. 3-2; Quelle: Amt für Mobilität, Statistisches Amt.

Von Montag bis Freitag sind die mittleren täglichen Velofrequenzen in der Regel höher als am Wochenende.

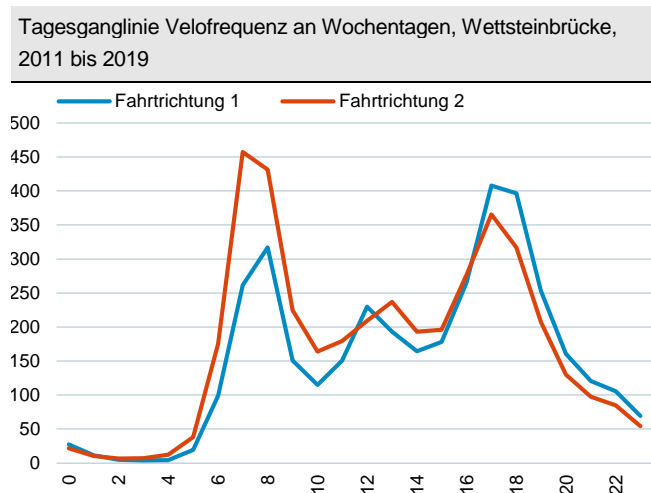


Abb. 3-3; Quelle: Amt für Mobilität, Statistisches Amt.

Zwischen 7 und 9 und 16 und 18 Uhr sind die Frequenzen am höchsten, eine kleinere Erhöhung gibt es um die Mittagszeit.

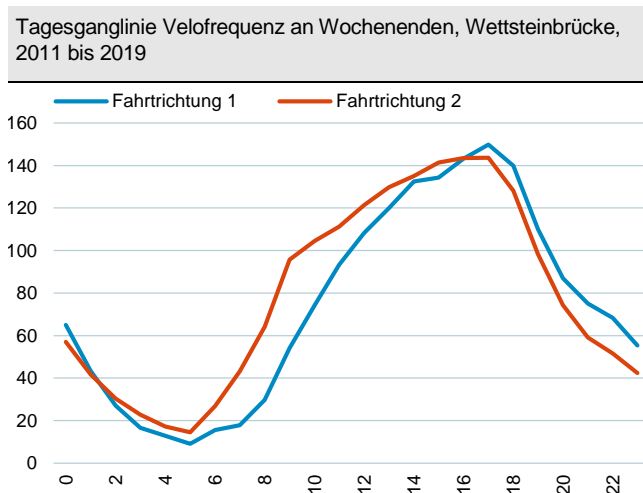


Abb. 3-4; Quelle: Amt für Mobilität, Statistisches Amt.

Am Wochenende steigen die Velofrequenzen später und langsamer an, das Maximum erreichen sie zwischen 16 und 18 Uhr.

4 Hypothesen- und Modellbildung

Das Wetter kann ganz unterschiedlich auf die Velofrequenzen wirken. Verschiedene potentielle Einflussfaktoren müssen geprüft werden, um schliesslich ein definitives Modell aufzustellen. Es folgt die Schätzung und Evaluation des Modells.

Modellbildung

Eine deskriptive Analyse reicht nicht aus, um die Determinanten der Velofrequenz und deren Wichtigkeit zu bestimmen. Verschiedenste Faktoren haben Einfluss auf die Velobenutzung und wirken gleichzeitig und teilweise auch sich gegenseitig verstärkend auf die Frequenzen. Es muss daher ein Modell gebildet werden, welches diese Zusammenhänge abbilden kann. Dieses Modell wird anschliessend mit den verfügbaren Daten gefüttert. Mittels ökonometrischer Verfahren werden die Effekte der verschiedenen unabhängigen Variablen auf die Velofrequenz berechnet.

Funktionsweise des Prognosemodells

Ein einfaches Modell der Velofrequenz kann wie folgt geschrieben werden:

$$y = \alpha + \beta \times x + \varepsilon$$

Dabei wird die beobachtete tägliche Velofrequenz y durch eine andere beobachtete Variable x erklärt, z. B. eine Wettervariable wie die mittlere tägliche Temperatur. Die Konstante α misst einen Niveau-Effekt und die Konstante β die Stärke des Einflusses von x auf y . Der Fehlerterm ε nimmt alle von x nicht erklärbaren Varianzen von y auf. Um die Velofrequenz zu erklären, schätzen wir nun mit geeigneten ökonometrischen Methoden dieses Modell und erhalten geschätzte Werte der Koeffizienten α und β . Mit diesen Schätzungen kann eine Voraussage von y in Abhängigkeit der erklärenden x -Variablen gemacht werden:

$$\hat{y} = \alpha + \beta \times x$$

\hat{y} ist die Voraussage (Schätzung) des Modells für y in Abhängigkeit von x und in Abwesenheit anderer Erklärungsfaktoren. Der nicht erklärbare Fehlerterm ε ist die Differenz zu dem tatsächlich beobachteten y . Je näher \hat{y} zu y , desto besser kann das Modell die tatsächlichen Variationen von y erklären.

Weil wir daran interessiert sind, die Velofrequenz vorauszusagen, wie sie bei konstantem Wetter gewesen wäre, setzen wir anstatt dem tatsächlich beobachteten Wetter andere Werte für die Wettervariablen ein, z. B. künstlich festgesetzte, die sich von Jahr zu Jahr nicht unterscheiden. Wir ersetzen also in unserem Beispiel die tatsächlichen Werte der mittleren täglichen Temperatur x durch andere Werte und schaffen so die Variable z . Mit den geschätzten Koeffizienten α und β des Modells sagen wir nun eine angenommene Velofrequenz voraus, wie sie im Falle eines Wetters z zustande gekommen wäre:

$$\tilde{y} = \alpha + \beta \times z$$

Die wetterbereinigten Velofrequenzen berechnen sich dann als

$$y^* = y - (\hat{y} - \tilde{y})$$

Die wetterbereinigte Velofrequenz y^* entspricht also der ursprünglich gemessenen Frequenz y minus der Differenz zwischen der vorausgesagten Frequenz mit Originalwetter \hat{y} und der vorausgesagten Frequenz mit dem jährlich hypothetischen gleichbleibenden Wetter \tilde{y} . In anderen Worten: Ist diese Differenz $\hat{y} - \tilde{y}$ positiv, die vorausgesagte Frequenz mit Originalwetter also grösser als die vorausgesagte Frequenz mit Normalwetter, dann war das Originalwetter «velofreundlicher» als das Normalwetter. In diesem Fall wird von der beobachteten Frequenz y zur Wetterbereinigung die erwähnte Differenz abgezogen. War das Originalwetter hingegen weniger velofreundlich als das Normalwetter, dann wird zur Bereinigung der beobachteten Frequenzen ein bestimmter Betrag hinzugezählt.

Das beschriebene Vorgehen wird in dem Sinne erweitert, dass eine Vielzahl von x -Variablen für die Erklärung von y herangezogen wird und entsprechend wird auch eine Vielzahl von Koeffizienten geschätzt, mit denen die wetterbereinigte Velofrequenz vorausgesagt wird. Im Folgenden werden mögliche Variablen für die Erklärung der Velofrequenz vorgestellt.

Abhängige Variable

Als abhängige Variable der Schätzung wird die tägliche Velofrequenz verwendet. Dies kann wie folgt begründet werden: Zwischen einzelnen Tagen, Wochen und Monaten dürfte das Wetter eine erhebliche Auswirkung auf die jeweilige Velofrequenz besitzen. Diese „tägliche Varianz“ des Wetters soll berücksichtigt werden können. Demgegenüber ist die Varianz der Velofrequenz innerhalb eines bestimmten Tages vor allem durch die Gewohnheiten der Velobnutzer (Wochentag oder nicht, Veranstaltungen: Feiertage, FCB-Spiele, Fasnacht usw.) beeinflusst. Das sich verändernde Wetter innerhalb eines Tages (gemessen mit den Stundendaten) dürfte hingegen weniger Einfluss haben, weswegen keine stündlichen Daten verwendet werden.

Für die Schätzmodelle wird die Velofrequenz logarithmiert. Das Logarithmieren führt zu einer Annäherung der Verteilung der abhängigen Variable an eine Normalverteilung, was eine zwingende Grundvoraussetzung für das Schätzen des Modelles mit der gewählten Methode ist.

Unabhängige Variablen

Nachfolgend werden einzelne Variablen genannt, welche in einer von uns angestrebten Schätzung grundsätzlich in Frage kommen könnten. Es kann sich dabei um sogenannte «kontinuierliche Variablen» handeln (z. B. Regenmenge in mm) oder um «Dummy-Variablen», welche den Wert 1 oder 0 annehmen (z. B. 1 für «Wochentag» und 0 für «kein Wochentag»). Auch Stufenfunktionen sind grundsätzlich möglich (alles unter 20 Grad = 0, sonst tatsächliche Temperatur).

Diese Auflistung bedeutet nicht, dass all diese Variablen schliesslich auch in die Modelle einfließen. Sollte sich herausstellen, dass der Erklärungsgehalt von Variablen zu klein ist, werden diese wieder vom Modell ausgeschlossen. Es handelt sich um Hypothesen, die dann mit der Schätzung der Modelle geprüft werden.

Tagesmerkmale:

- Wochentag/Wochenende (Dummy)
- Wochennummer (Dummy)
- Monat (Dummy)
- Feiertag (Dummy)
- Ferien/Semesterferien (Dummy)
- Weitere Veranstaltungen (Dummy)

Wetterdaten:

- Tägliche und monatliche Sonnenscheindauer (kontinuierlich)
- Tägliche und monatliche mittlere Temperatur (kontinuierlich)
- Tägliche und monatliche Regenmenge (kontinuierlich)
- Tägliche und monatliche Höchstwindgeschwindigkeit (kontinuierlich)
- Tägliche und monatliche Schneemenge (kontinuierlich)
- Weitere Varianten aus den Wetterdaten (Auswahl):
 - Regen und Temperatur frühmorgens (kontinuierlich)
 - Wettervariablen am Vortag (kontinuierlich)
 - Tägliche mittlere Temperatur über/unter Grenzwert (z. B. unter Null Grad, Dummy)
 - Temperaturschwankung innerhalb des Tages (Bandbreite, kontinuierlich)
 - Maximal- und Minimaltemperatur an den letzten x Tagen (kontinuierlich)
 - Anteil Sonnenschein (in %) (kontinuierlich)
 - Regen-/Schneemenge über/unter Grenzwert (über/unter x mm, Dummy)
 - Kein Niederschlag an den x vorangegangenen Tagen (Dummy)
 - Niederschlag (Regen/Schnee) ja/nein (Dummy)
 - Windhöchstgeschwindigkeit über/unter Grenzwert (über x km, Dummy)
 - Quadrierte Wetterdaten zur Abbildung von nichtlinearen Zusammenhängen (kontinuierlich)

Zusätzlich können «Interaktionseffekte» berücksichtigt werden. Diese bestehen dann, wenn der Effekt einer erklärenden Variable von der Ausprägung einer anderen erklärenden Variable abhängt, z. B. wenn der Effekt der Temperatur auf den Verkehr an einem Wochentag anders ist, als an einem Wochenende oder wenn der Effekt der Regenmenge an einem warmen oder einem kalten Tag unterschiedlich ausfällt. Es können also beliebig Wettervariablen miteinander oder Wettervariablen mit weiteren Tagesmerkmalen interagieren.

Schätzung der Modelle

Das Modell wird mit der «ordinary least squares»-Methode (OLS) geschätzt. Alle für eine Zählstelle und Fahrtrichtung verfügbaren Jahre werden für die Schätzung verwendet. Für jede Zählstelle und jede Fahrtrichtung wird ein einzelnes Modell erstellt.

Vorgehen bei der Schätzung der Modelle:

- In einer ersten Schätzung werden die extremsten Ausreisser identifiziert und aus dem Modell ausgeschlossen.
- In einer zweiten Schätzung werden die Koeffizienten aller Variablen des Modells ohne die ausgeschlossenen Ausreisser geschätzt.

Mit diesen geschätzten Koeffizienten werden dann Voraussagen mit den ausgewählten erklärenden Variablen (es werden also noch keine künstlichen Wetterdaten verwendet) erstellt, welche die Grundlage für die Modellauswahl darstellen. Gemäss den Formeln aus Abschnitt 4.1 wird also zuerst \hat{y} berechnet, um die Güte der Schätzung beurteilen zu können.

Modellauswahl

Es wurden viele Modelle mit unterschiedlichen Kombinationen von erklärenden Variablen geschätzt. Im Anschluss wurden unter anderem anhand folgender Kriterien die besten Modelle ausgewählt:

- Die Varianz der abhängigen Variable soll möglichst gut erklärt werden können, d. h. die vorausgesagten Werte des Modells sollen möglichst nahe an den Originalwerten liegen. Es wird also y mit \hat{y} verglichen. Je näher die beiden Werte sind, desto grösser ist der Erklärungsgehalt (Anpassungsgüte) des Modells.
- Sparsamere, bzw. einfachere Modelle (mit weniger Variablen) werden bei ähnlichem Erklärungsgehalt bevorzugt.

Als Fazit der Modellauswahl können folgende Punkte angeführt werden:

- Die meisten „speziellen“ Variablen, wie z. B. Temperatur über/unter Grenzwert haben einen sehr geringen Einfluss und werden daher weggelassen.
- Quadrierte Werte verbessern das Modell ebenfalls nur leicht und werden ebenfalls weggelassen.
- Interaktionen haben nur wenig Erklärungsgehalt und werden daher ebenso nicht berücksichtigt.
- Eine Ausnahme ist die Interaktion der Temperatur mit gewissen «kritischen» Monaten, wie Januar, Februar, März oder Dezember. Typischerweise wird in diesen Monaten der Entscheid gefällt, ob das Velo «aus dem Keller geholt», bzw. «wieder in den Keller gestellt» wird.

Somit resultiert ein sparsames Modell mit Informationen über den jeweiligen Tag (Wochenende, Monat, Jahr, Ferien, Veranstaltungen) und Wetterdaten (Temperatur, Sonnenscheindauer, Regenmenge, Windgeschwindigkeit, Schneemenge; mit und ohne Lags) sowie wenigen Interaktionen von Temperatur und ausgewählten Monaten. Konkret resultiert das folgende Modell:

$$\begin{aligned} \log V_{tij} = & \alpha_{ij} + \beta_{WDij} * WD_t + \sum_n \beta_{MDijn} * MD_{tn} + \sum_y \beta_{JDijy} * YD_{ty} \\ & + \beta_{Rij} * R_t + \beta_{Tij} * T_t + \beta_{Sij} * S_t + \beta_{Wij} * W_t + \beta_{SCij} * SC_t \\ & + \beta_{Rij-1} * R_{t-1} + \beta_{Tij-1} * T_{t-1} + \beta_{Sij-1} * S_{t-1} + \beta_{Wij-1} * W_{t-1} + \beta_{SCij-1} * SC_{t-1} \\ & + \beta_{RMij} * RV_t + \beta_{TMij} * TV_t + \beta_{WMij} * WV_t + \sum_p \beta_{TMijp} * TM_{tp} + \sum_e \beta_e * ED_{te} + \varepsilon_{tij} \end{aligned}$$

In der obigen Formel steht V für die gemessene Velofrequenz zum Zeitpunkt (Tag) t an Zählstelle i und in Fahrtrichtung j . Die Variable α bezeichnet die Konstante des Modells und die β sind die Steigungsparameter der einzelnen Variablen, die wie α je nach Zählstelle und Fahrtrichtung unterschiedlich sein können. WD ist der Wochenend-Dummy. MD und YD sind die Monats- und Jahres-Dummies (für jeden Monat und jedes Jahr eine Dummy-Variable). R , T , S , W und SC sind die Wettervariablen (Regenmenge, Temperaturmittel, Sonnenscheindauer, Windhöchstgeschwindigkeit, Schneemenge). Diese fliessen zum Zeitpunkt t wie auch zum Zeitpunkt $t-1$ in die Schätzung ein. RV , TV und WV sind die entsprechenden Wettervariablen am Vormittag eines Tages (nur Regen, Temperatur und Wind; zwischen 6 und 8 Uhr). TM sind die Monatstemperaturen aus den kälteren Monaten (Dezember bis März). ED sind die verschiedenen Event-Dummies (Ferien, Feiertage und Veranstaltungen) und ε ist der Fehlerterm der Schätzung.

Bewertung der Schätzung

Die Modelle funktionieren grundsätzlich gut:

- Die Modelldiagnostik in Abbildung 4-1 zeigt, dass die Schätzungen wichtige Kriterien erfüllen (keine offensichtliche Heteroskedastie, ungefähre Normalverteilung der Residuen, usw.). Die untenstehende Abbildung zeigt dies exemplarisch am Beispiel der Zählstelle 405, Dorenbachviadukt.
- Die Voraussage der Velofrequenz mit den Originaldaten ist nahe an der tatsächlich beobachteten Velofrequenz. Das R^2 ist hoch.
- Viele der wichtigen Koeffizientenschätzungen (insbesondere der Wetterdaten) sind als signifikant von Null unterschiedlich geschätzt und weisen vernünftige Grösse und Vorzeichen auf (siehe auch Kapitel 5).

Diagnostische Plots der Modellschätzung, Zählstelle 405, Dorenbachviadukt

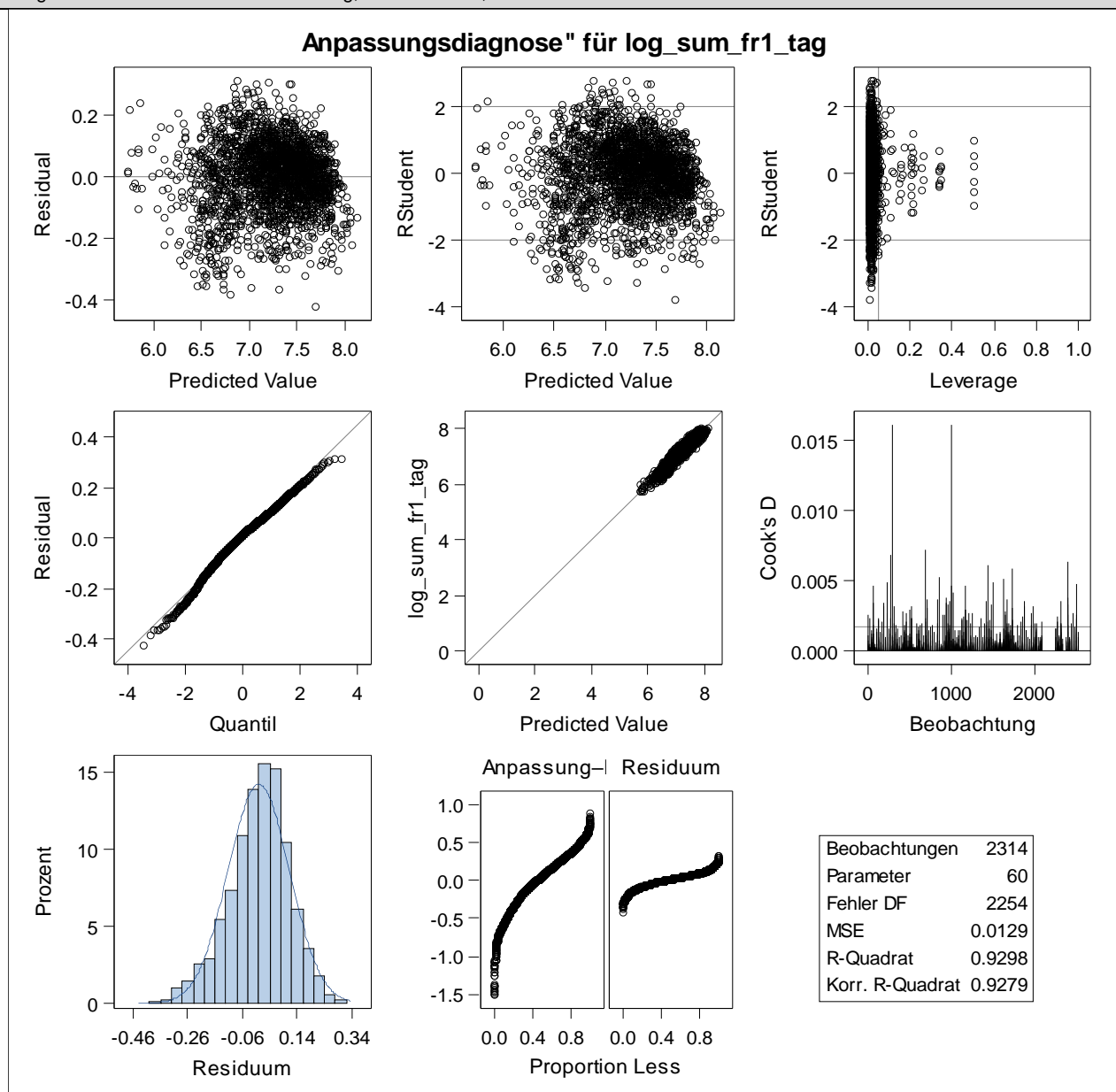


Abb. 4-1, Quelle: Statistisches Amt Basel-Stadt.

5 Resultate

Temperatur, Sonne, Regen und Schnee haben an den meisten Zählstellen einen signifikanten Einfluss auf die Velofrequenzen. Die Wetterbereinigung führt zu Velofrequenzen, die über die Jahre weniger stark schwanken wie die unbereinigten Zeitreihen.

Resultate der Schätzung

Ein Resultat der im letzten Kapitel besprochenen Schätzung der Modelle sind die einerseits geschätzten Koeffizienten für die im Modell berücksichtigten erklärenden Variablen. Andererseits werden die Koeffizienten dazu benutzt, wetterbereinigte Velofrequenzen zu berechnen.

Geschätzte Koeffizienten

Mit den geschätzten Koeffizienten soll insbesondere das Ausmass des Wettereinflusses auf die Velofrequenz geschätzt werden. Da insgesamt Resultate für 20 Zählstellen mit meist 2 Fahrtrichtungen vorliegen, geben wir an dieser Stelle bloss eine kurze Zusammenfassung der Schätzergebnisse, indem wir den durchschnittlichen Einfluss von wichtigen Variablen ausweisen. Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl der wichtigsten Mittelwerte der Koeffizientenschätzungen über alle Zählstellen und Fahrtrichtungen.

Auswahl geschätzter Koeffizienten: Wetter und Wochenende

	Mittelwert	Median
Regen in mm	-1.4%	-1.4%
Sonnenscheindauer in h	1.7%	1.6%
Temperatur in °C	1.4%	1.1%
Schneemenge morgens in mm	-2.3%	-1.4%
Schneemenge abends in mm	-2.9%	-2.9%
Maximale Windgeschwindigkeit in km/h	-0.1%	-0.1%
Wochenende	-63.8%	-62.1%

Tab. 5-1, Quelle: Statistisches Amt Basel-Stadt.

Die Interpretation der geschätzten Koeffizienten-Werte ist wie folgt: Der negative Koeffizient von -1,4% (Mittelwert) der „Tagessumme Regenmenge in mm“ bedeutet, dass ein zusätzlicher Millimeter Regen die Velofrequenz um 1,4% senkt. Eine Stunde zusätzliche Sonne pro Tag erhöht die Velofrequenz um 1,7% und eine um ein Grad Celsius höhere Mittlere Tages-temperatur erhöht die tägliche Velofrequenz über im Mittelwert der Zählstellen um 1,4%. Schneemenge und Windgeschwindigkeit senken die Velofrequenz erwartungsgemäss, gerade Schnee hat einen relativ starken Effekt auf die Velofrequenz. An den Wochenenden (Wochenend-Dummy = 1; Referenzkategorie sind die Wochentage) ist die Velofrequenz im Durchschnitt um ganze 63,8% tiefer als an den Wochentagen.

Die obige Tabelle macht keine Aussagen darüber, ob der beobachtete Zusammenhang statistisch signifikant von Null unterschiedlich gemessen wurde. Die Koeffizienten „Tagessumme Regenmenge in mm“ sowie „Tagessumme Sonnenscheindauer in Stunden“ sind in 95% der Fälle (d. h. bei den verschiedenen Zählstellen und Fahrtrichtungen) signifikant von Null unterschiedlich (Signifikanzniveau: 5%), das „Tagesmittel Temperatur in °C“ in rund 65% der Fälle. Die Schneemenge und die Windgeschwindigkeit weisen tiefere Werte zwischen 30% und 40% aus. Das Monatsmittel der Temperatur im März ist in rund 70% der Fälle signifikant von Null unterschiedlich, die weiteren Monatsmittel zwischen 30% und 50% der Fälle. Zum Vergleich: Der Wochenend-Dummy ist in 100% der Fälle statistisch signifikant unterschiedlich von Null.

Vorausgesagte Velofrequenzen

Die Koeffizientenschätzungen werden dazu benutzt, wetterbereinigte Velofrequenzen zu produzieren. Die Koeffizienten werden für alle Jahre auf das Wetter des Jahres 2008 angewendet. Das Jahr 2008 wurde verwendet, weil es den Klimanormwerten von MeteoSchweiz in unserer betrachteten Periode am nächsten kommt. Somit resultiert eine Voraussage der Velofrequenz, wäre das Wetter in allen beobachteten Jahren genauso gewesen wie im Jahr 2008 (identische tägliche Wetterdaten).

Abbildung 5-1 auf Seite 15 zeigt ein Beispiel für die Voraussage von wetterbereinigten Daten. Die orange Linie zeigt die monatlichen Originalwerte der Velofrequenzen am Beispiel der Zählstelle 354, Wettsteinbrücke (Fahrtrichtung 1). Die grüne Linie zeigt nun wetterbereinigte Reihen auf. Es sind einige Abweichungen von der orangenen Linie ersichtlich: diese sind durch

das nun für jedes Jahr gleichbleibende Wetter bedingt (im Jahr 2008 ist die rote mit der grünen Linie identisch, da die Wetterdaten 2008 als Referenz dienen). Abbildung 5-2 zeigt die Jahressummen der gleichen Reihe (angepasste Skala, damit Unterschiede ersichtlich sind). Die wetterbereinigten Reihen weisen dabei einen etwas „flacheren“ Verlauf aus. Grund dürfte sein, dass Unterschiede im Wetterverhalten zwischen den Jahren nun eben aus den Reihen rausgerechnet sind.

Veloindex

Das Amt für Mobilität Basel-Stadt erstellt auf Basis dieser wetterbereinigten Daten jeweils einen Veloindex. Die wetterbereinigten Daten zeigen dabei eine unterschiedliche Entwicklung auf: Das gute Wetter im Jahr 2011 beispielsweise führt zu einem starken Anstieg bei der gemessenen Velofrequenz. Dieser Anstieg fällt weniger stark aus, wenn die Reihen wetterbereinigt werden. Das schlechte Wetter 2012 bringt dann einen starken Rückgang der gemessenen Velofrequenz. Im Gegensatz dazu bleibt die wetterbereinigte Frequenz annähernd stabil. Ein starker Anstieg der wetterbereinigten Velofrequenz kann allerdings im Jahr 2014 beobachtet werden. Zwar fällt dieser im Vergleich zum gemessenen Anstieg moderater aus, trotzdem ist er substantiell. Ob dies durch das Modell geschuldet ist, dass im Jahr 2014 nicht alle Wettereinflüsse herausrechnen kann, oder ob dieser Anstieg zumindest teilweise durch andere Faktoren beeinflusst ist, kann mit den verfügbaren Daten nicht schlüssig beantwortet werden.

Fazit

Die vorliegende Analyse hat erstens gezeigt, dass das Wetter das Veloaufkommen an den verschiedenen Zählstellen im Kanton Basel-Stadt signifikant beeinflusst: Hohe Temperatur und viel Sonnenschein erhöhen die Zahl der registrierten Velobewegungen, Regen und Schnee vermindern das Verkehrsaufkommen. Zweitens wurden mit diesen Erkenntnissen die Velozeitreihen wetterbereinigt: Es werden hypothetische Velofrequenzen für die Jahre ab 2006 vorausgesagt, die mit einem konstanten Wetterverhalten wie im Jahr 2008 zustande gekommen wären. Die resultierenden Reihen schwanken in der Regel über die Jahre gesehen weniger stark. Weil der Einfluss des sich ändernden Wetters herausgerechnet wurde, lassen sich diese Reihen über die Zeit besser interpretieren.

Velofrequenzen: Originalwerte und wetterbereinigte Werte, Wettsteinbrücke, Monatssummen

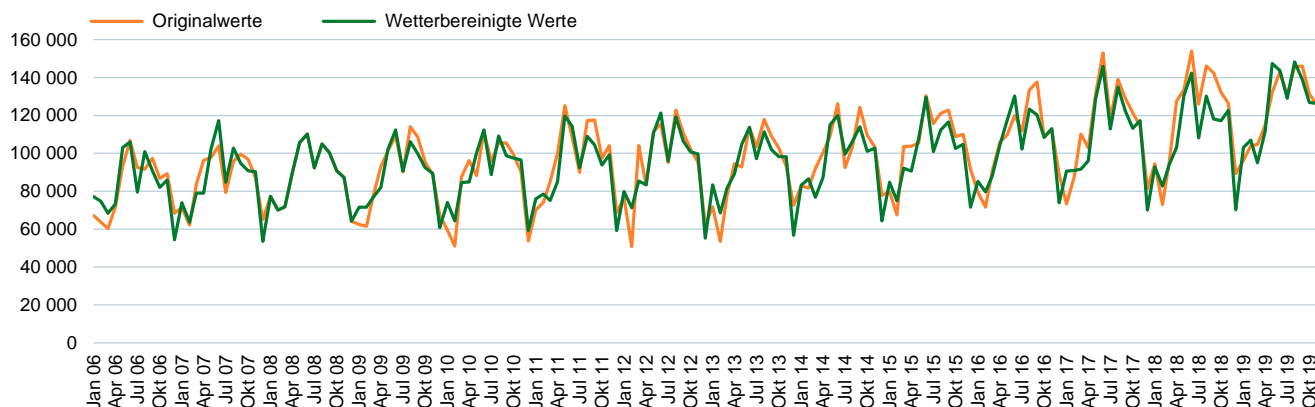


Abb. 5-1; Quelle: Statistisches Amt Basel-Stadt.

Die wetterbereinigten Velobewegungen unterscheiden sich zum Teil deutlich von den Originaldaten.

Velofrequenzen: Originalwerte und wetterbereinigte Werte, Wettsteinbrücke, Jahressummen

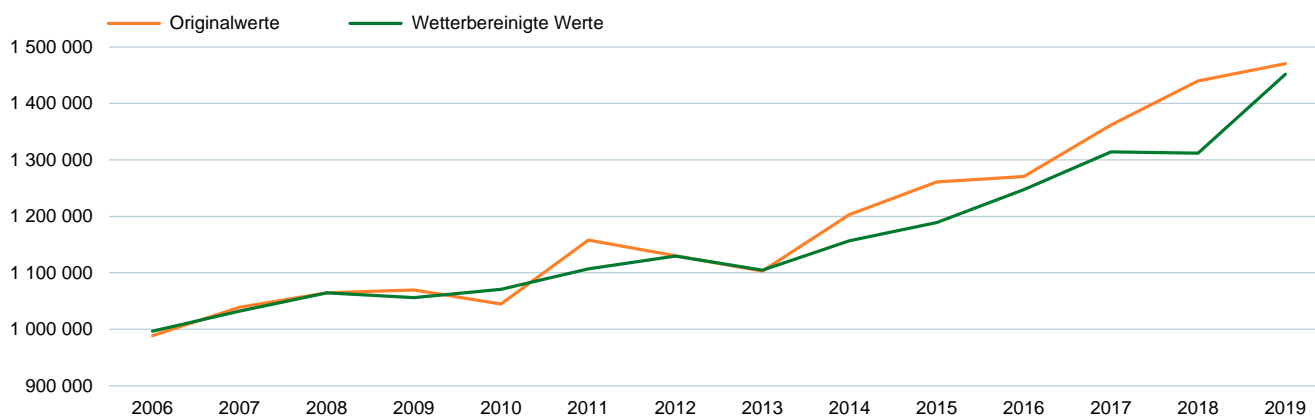


Abb. 5-2; Quelle: Statistisches Amt Basel-Stadt.

Die wetterbereinigten Velofrequenzen weisen weniger Schwankungen auf als die Originalwerte.

Verkehrsindex

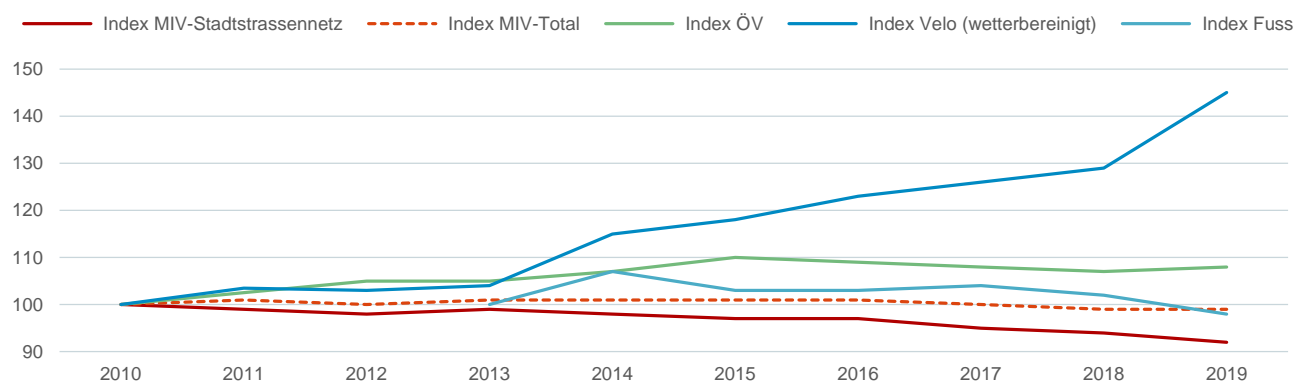
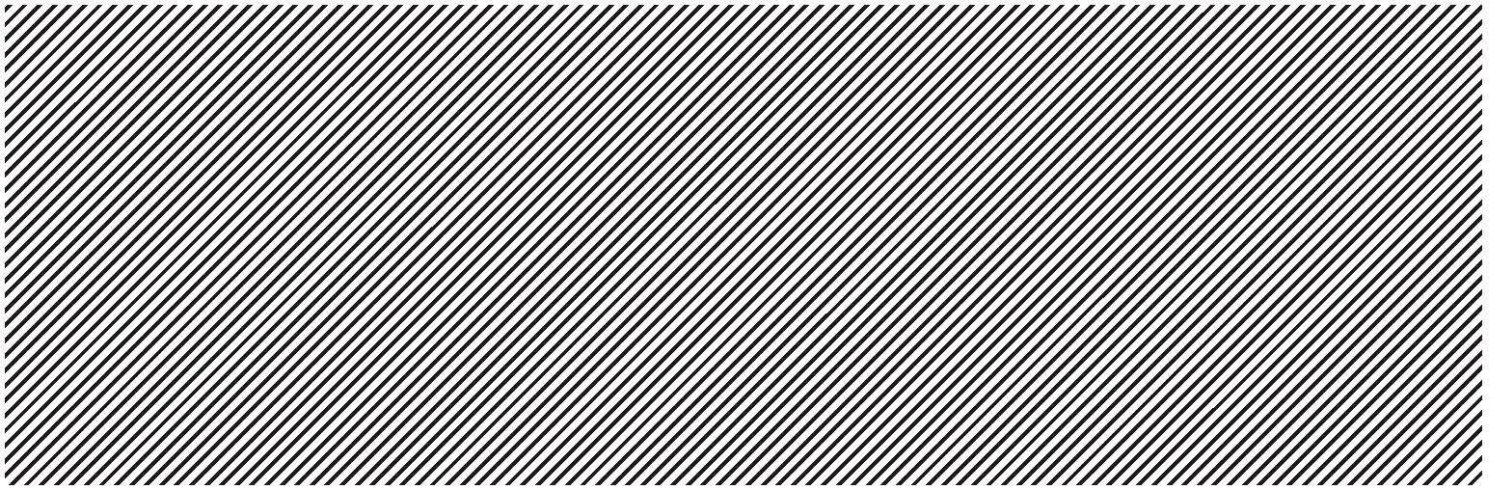


Abb. 5-3; Quelle: Amt für Mobilität Basel-Stadt.



Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt
Binningerstr. 6, Postfach, 4001 Basel

Tel: 061 267 87 27
E-Mail: stata@bs.ch

Besuchen Sie uns auch im Internet: www.statistik.bs.ch