

Diploma Thesis

Meteorological influences and their effects on cycling in Austrian cities

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Meteorologische Einflüsse und deren Auswirkungen auf den Radverkehr in österreichischen Städten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Thomas Staub Bsc

Matr.Nr. 01226543

unter der Anleitung von

Ao.Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. **Günter Emberger**
Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Ulrich Leth**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (FVV)
Technische Universität Wien,
Gusshausstraße 30/230, A-1040 Wien

Wien, im September 2020

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe nach anerkannten wissenschaftlichen Grundsätzen verfasst habe.

Aus anderen Quellen übernommene Passagen und die zugrunde liegende Literatur wurden nach bestem Wissen genannt.

Die Diplomarbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland als Prüfungsarbeit vorgelegt.

Datum:

Unterschrift:

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit untersucht, wie meteorologische Faktoren die Anzahl an Radfahrenden in Österreichs Städten beeinflussen. Dazu werden Daten von Radverkehrszählstellen aus verschiedenen Städten in Österreich quantitativ ausgewertet und Wetterdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) gegenübergestellt. Durch das Vergleichen von fix positionierten Zählstellen und exakten Wetteraufzeichnungen soll die Hypothese, dass bei schlechtem Wetter weniger Radfahrende unterwegs sind, überprüft und mit Zahlen untermauert werden. Eine detaillierte Auswertung zielt darauf ab, unterschiedliche meteorologischen Einflüsse – Lufttemperatur, Regenintensität und Windgeschwindigkeit – und deren Zusammenspiel mit kalenderbasierten Faktoren zu kategorisieren und dadurch das subjektive Entscheidungskriterium der Radfahrenden bezüglich schlechten Wetters in Zahlen zu fassen. Die Auswertung der Daten aus sieben Städten in Österreich zeigen unterschiedliche Reaktionen der Radfahrenden auf die jeweiligen Wetterparameter und geben Hinweise auf weitere mögliche Einflussfaktoren. Die Ergebnisse der Arbeit können für die Steigerung des Radverkehrsanteils in Österreich von Nutzen sein.

Abstract

This diploma thesis analyses how meteorological factors influence the number of cyclists in Austrian cities. For this purpose, data from bicycle traffic counting stations in different cities in Austria are quantitatively evaluated and compared with weather data from the Central Office for Meteorology and Geodynamics (ZAMG). By combining fixed counting stations and exact weather recordings, the hypothesis that fewer cyclists are on the road in bad weather conditions will be tested and substantiated by figures. A detailed evaluation aims to categorize different meteorological influences - air temperature, rain intensity and wind speed - and their interaction with calendar-based factors. Thereby it aims to quantify the subjective decision criterion of cyclists regarding bad weather. The evaluation of data from seven cities in Austria shows different reactions of cyclists to the respective weather parameters and gives an overview on further possible influencing factors. The outcome of this thesis can be useful for increasing the number of cyclists in Austria.

Danksagung

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Bachelorarbeit zum Thema Auswertung der Verkehrsunfallstatistik für Wien, Schwerpunkt Radverkehr am Institut für Verkehrswissenschaften mit dem Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik war mein Interesse am Bereich Radverkehr geweckt. Im Master des Studiums Bauingenieurwissenschaften vertiefte ich mich im Schwerpunkt Verkehr und Mobilität. Meine persönliche Leidenschaft für das Radfahren und das entwickelte Interesse an Datenauswertung führten mich zu meinem Diplomarbeitsthema.

Den kollegialen Umgang des gesamten Teams am Institut Verkehrswissenschaften mit den Studierenden schätze ich sehr. Ein besonderer Dank gilt Herrn Ao.Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. Günter Emberger als Hauptbetreuer und Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Ulrich Leth als Mitbetreuer der Diplomarbeit. Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Tadej Brezina für die beratende Tätigkeit und die Bereitstellung von Literatur.

Ich bedanke mich ebenfalls bei meiner Frau, Martina Staub MA, die mich bei der Umsetzung der Diplomarbeit und vor allem im Laufe des gesamten Studiums immer motiviert und begleitet hat. Auch meinen Eltern, Dipl.-Ing. Peter Staub und Regina Staub möchte ich hiermit danken, dass sie mir das Studium an der TU Wien durch finanzielle und mentale Unterstützung ermöglicht haben.

MMag. Johannes Behr-Kutsam hat mich mit viel Enthusiasmus, Leidenschaft und Ausdauer in dem Statistikprogramm „R“ unterstützt. Ebenfalls hat sein Wissen in höherer Statistik meine Kenntnisse erweitert und die Qualität dieser Diplomarbeit gesteigert.

Ich möchte mich hiermit auch bei Veronika Prieler MSSc, für das Korrekturlesen der gesamten Arbeit, bedanken.

Abbildungserklärung:

Die Kurven der Auswertungen werden mit durchgezogenen Linien gezeichnet. Falls es sich bei der Auswertung einer Stadt um ein nicht signifikantes Ergebnis handelt, wird diese Linie strichliert dargestellt. Der Grenzwert der Signifikanz wurde bei 0,05 gewählt, welcher in der Wissenschaft gebräuchlich ist. Wenn Werte darunter liegen, bedeutet es nicht, dass diese Werte falsch sind, sondern dass aufgrund einer mangelnden Anzahl an Daten oder anderen Gründen die notwendige Aussagekraft nicht erreicht wird. Die strichliert dargestellten Ergebnisse in den Graphen sind somit zu hinterfragen.

Die in den Auswertungen betrachteten Zeiträume sind aufgrund der vorhandenen Datenlage in jeder Stadt unterschiedlich. Die Daten liegen in den einzelnen Städten über folgende Zeiträume vor:

Bregenz	von 2013 bis 2018
Innsbruck	2018
Salzburg	von 2012 bis 2019
Wels	von 2017 bis 2019
Linz	von 2012 bis 2019
Graz	von 2013 bis 2018
Wien	von 2011 bis 2019

Die exakten Zeiträume aller Zählstellen jeder Stadt sind in den Tabellen **Tab. 8** auf Seite 43 und **Tab. 16** auf Seite 79 aufgelistet.

Auswertungen in Tabellenform:

Die Grafiken wurden auf Basis tabellarisch gewonnener Daten aus „R“ erzeugt. Die zugrunde liegenden Tabellen sind unter dem Link <https://zenodo.org/record/4011120#.X06kIIVgqUn> abrufbar beziehungsweise beim Verfasser der Arbeit Thomas Staub auf Anfrage zu bekommen. Die Rohdaten dürfen nicht und werden somit nicht zur Verfügung gestellt.

Inhalt

1	Einleitung	10
2	Literaturanalysen	11
2.1	Meteorologische und kalenderbasierte Einflüsse auf den Radverkehr	11
2.1.1	Einflussgröße Tagesgang	11
2.1.2	Einflussgröße Wochengang	11
2.1.3	Einflussgröße Jahresgang	11
2.1.4	Einflussgröße Jahreszeit („Winterradeln“)	11
2.1.5	Einflussgröße Schnee	12
2.1.6	Einflussgrößen Schnee, Frost und Niederschlag	12
2.1.7	Einflussgröße Niederschlag	13
2.1.8	Einflussgröße Temperatur	14
2.1.9	Einflussgrößen Niederschlag und Temperatur	14
2.1.10	Einflussgrößen Temperatur, Niederschlag und Windstärke	19
2.2	Regressionsanalysen mit mehreren Wetterparametern	19
2.3	Subjektives Empfinden der Radfahrenden von meteorologischen Einflüssen	21
2.4	Physikalische Wirkung von Wind für die Radfahrenden	23
2.5	Vergleichbare Forschungsprojekte	24
2.6	Zusammenfassung der Literaturanalyse und Ableitung der Forschungsfrage	29
3	Beschreibung der auszuwertenden Daten	30
3.1	Radverkehrszähldaten	30
3.1.1	Erhebungstechniken	31
3.1.2	Beschreibung der gewählten Städte	31
3.2	Beschreibung der einzelnen Zählstellen	32
3.3	Wetterdaten und Standorte der Wetterstationen	34
3.3.1	Beschreibung der verwendeten Wetterparameter	35
3.3.2	Unterschied Bewölkungsgrad/-mittel und Sonnenscheindauer	35
3.3.3	Einteilung Niederschlagsmenge pro Stunde in Kategorien	35
4	Beschreibende Statistik	36
4.1	Radverkehrszähldaten	36
4.2	Meteorologische Einflüsse	36
4.2.1	Lufttemperatur	36
4.2.2	Niederschlag (Regenintensität)	37
4.2.3	Wind	37
4.2.4	Relative Luftfeuchtigkeit	39
4.2.5	Sonnenscheindauer	39
4.2.6	Schnee	40

4.2.7	Bewölkung	40
5	Auswertung der stündlichen Radverkehrszählraten	42
5.1	Aufbereitung der Daten	42
5.2	Deskriptive versus induktive Statistik.....	43
5.3	Angewendetes Modell	43
5.4	Modell Voraussetzungen.....	44
5.5	Im Modell nicht berücksichtigte Variablen	45
5.6	Korrelation aller Wetterparameter zueinander	45
5.7	Weiterentwicklung des Modells.....	46
5.8	Im Modell angewendete Variablen	47
5.9	Modellgüte	47
5.10	Grundlegendes Modell.....	47
5.10.1	Einfluss Lufttemperatur.....	48
5.10.2	Einfluss Niederschlag.....	48
5.10.3	Einfluss Windgeschwindigkeit	49
5.10.4	Einfluss Monat.....	50
5.10.5	Einfluss Wochentag	51
5.10.6	Einfluss Stunde	52
5.11	Anpassung des Modells.....	52
5.12	Angepasstes Modell	52
5.13	Modellergebnisse der Analyse der stündlichen Gesamtdaten	53
5.13.1	Einfluss Lufttemperatur.....	53
5.13.2	Einfluss Niederschlag.....	54
5.13.3	Einfluss Windgeschwindigkeit	55
5.13.4	Einfluss Monat.....	56
5.13.5	Einfluss Wochentag	57
5.13.6	Einfluss Stunde	58
5.14	Vergleich wochentags und Wochenende anhand des Modells	59
5.14.1	Vergleich Lufttemperatur	60
5.14.2	Vergleich Regenintensität	61
5.14.3	Vergleich Windgeschwindigkeit	62
5.14.4	Vergleich Tagesganglinie	63
5.14.5	Vergleich Monate	63
5.15	Abwandlung des Modells für Alltagsverkehr/Stoßzeiten.....	64
5.15.1	Einfluss Lufttemperatur auf den Alltagsverkehr	65
5.15.2	Einfluss Niederschlag auf den Alltagsverkehr	65
5.15.3	Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Alltagsverkehr.....	66

5.16	Abwandlung des Modells für Freizeitverkehr	67
5.16.1	Einfluss Lufttemperatur auf den Freizeitverkehr	67
5.16.2	Einfluss Niederschlag auf den Freizeitverkehr	68
5.16.3	Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Freizeitverkehr.....	69
5.17	Abwandlung des Modells für Jahreszeiten.....	70
5.17.1	Einfluss Lufttemperatur im Jahreszeitenvergleich	71
5.17.2	Einfluss Regenintensität im Jahreszeitenvergleich	72
5.17.3	Einfluss Windgeschwindigkeit im Jahreszeitenvergleich	74
6	Vergleich der Auswertung von stündlichen mit täglichen Radverkehrszählraten	75
6.1	Vergleich der Ergebnisse aus Stundenzählraten und Tageszählsummen	76
6.1.1	Vergleich Ergebnisse Lufttemperatur.....	76
6.1.2	Vergleich Ergebnis Niederschlag	76
6.1.3	Vergleich Ergebnis Windgeschwindigkeit.....	77
7	Ergänzende beschreibende Statistik	79
7.1	Radverkehrszählraten.....	79
7.2	Meteorologische Einflüsse	80
7.2.1	Lufttemperatur.....	80
7.2.2	Niederschlag (Regenintensität)	80
7.2.3	Windgeschwindigkeit	81
8	Auswertung der täglichen Radverkehrszählraten	83
8.1	Modellergebnisse der Analyse der täglichen Gesamtdaten	83
8.1.1	Einfluss Lufttemperatur.....	83
8.1.2	Einfluss Niederschlag.....	84
8.1.3	Einfluss Windgeschwindigkeit	84
8.2	Vergleich Wochentags und Wochenende anhand des Modells	85
8.2.1	Vergleich Lufttemperatur	86
8.2.2	Vergleich Niederschlag.....	86
8.2.3	Vergleich Windgeschwindigkeit	87
8.3	Abwandlung des Modells für Alltagsverkehr/ Stoßzeiten.....	88
8.3.1	Einfluss Lufttemperatur auf den Alltagsverkehr	88
8.3.2	Einfluss Niederschlag auf den Alltagsverkehr	89
8.3.3	Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Alltagsverkehr.....	90
8.4	Abwandlung des Modells für Freizeitverkehr	91
8.4.1	Einfluss Lufttemperatur auf den Freizeitverkehr	91
8.4.2	Einfluss Niederschlag auf den Freizeitverkehr	92
8.4.3	Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Freizeitverkehr.....	93
9	Schlussbetrachtung.....	94

9.1	Zusammenfassung des Arbeitsprozesses.....	94
9.2	Diskussion der Ergebnisse	94
9.3	Vergleich der Forschungsergebnisse mit bestehenden Publikationen	97
9.4	Kritische Reflexion der Datenerhebung	99
9.5	Fazit	99
10	Literaturverzeichnis	101
11	Abbildungsverzeichnis.....	104
12	Tabellenverzeichnis.....	108
	Anhang	109

1 Einleitung

Der meteorologische Einfluss auf den Radverkehr ist nichts Neues. Schon in einer 1983 veröffentlichten Studie wurden Hemmnisse für das Radfahren untersucht und ihre Auswirkung auf den Modal Split beziffert, welcher die Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr beschreibt. Neben der Verbesserung des Witterungsschutzes für Radfahrende wurden auch noch weitere Maßnahmen, wie Räder verfügbar zu machen oder eine Imageverbesserung geprüft. Mit Abstand das größte Potenzial für die Steigerung des Radverkehrs hat hierbei die Verbesserung gegenüber Wettereinflüssen ergeben. Laut dieser Untersuchung aus Deutschland kann der Radfahranteil im Modal Split durch Verbesserung des Witterungsschutzes um 5,8 Prozentpunkte gesteigert werden. Das relative Wachstum des Fahrradanteils würde hier bei 30 Prozent liegen. Alle untersuchten Maßnahmen gemeinsam könnten laut Studie den Radverkehrsanteil um ca. 20 Prozent heben (vgl. Brög W., 1983, zit.n. Sammer, 1983, S. 229 -230).

Um dieses vorhandene Potenzial der Steigerung des Radverkehrsanteils für Österreich nutzbar zu machen, werden in dieser Arbeit die Auswirkungen meteorologischer Einflüsse auf den Radverkehr in österreichischen Städten untersucht. Dabei fiel die Auswahl auf sieben Städte von West bis Ost, für die Radverkehrszählungen generell und über eine ausreichende Zeitdauer verfügbar sind. Mit der Kombination der Zählungen mit stündlichen Wetterdaten (ZAMG) jeder einzelnen Stadt wurde eine quantitative Forschung durchgeführt. Die Untersuchungen beziehen sich auf die Forschungsfrage: Inwiefern wirken sich meteorologische Einflüsse auf die Anzahl an Radfahrenden in Österreichs Städten aus. Die zugrundeliegende Hypothese ist, dass bei schlechtem Wetter weniger Radfahrende unterwegs sind. Weitere Hypothesen lauten, dass bei Regen sehr wenige Radfahrende unterwegs sind und bei hohen Temperaturen die Anzahl der Radfahrenden im Vergleich zu moderaten Temperaturen wieder abnimmt. Eine Quantifizierung der Reaktionen von Radfahrenden in Österreich auf verschiedenste meteorologische Einflüsse stellt das Ergebnis dieser Forschungsarbeit dar.

Nach einer Literaturrecherche (Kapitel 2) über den Einfluss des Wetters auf den Radverkehr im In- und Ausland begann die Suche nach Radverkehrszählungen für Österreichs Städte. Das Auswahlkriterium beschränkte sich hierbei auf das Vorhandensein von geeigneten Daten. Zählungen mit einer stündlichen Auflösung sind für die detailgenaue Auswertung besonders interessant. Die gesammelten Daten der Dauerzählstellen in Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien werden mit den jeweiligen Wetterdaten kombiniert (Kapitel 3). Eine deskriptive Statistik der meteorologischen Parameter und der Zählungen wird unabhängig voneinander durchgeführt (Kapitel 4). Anschließend wird mit dem Log-Linear Regressionsmodell der Einfluss der gewählten Wetterparameter auf die Radverkehrsstärke je Stunde berechnet. Anpassungen des Modells für die Unterscheidung der Wochentage, Alltagsverkehr, Freizeitverkehr und Jahreszeiten werden unternommen und ausgewertet (Kapitel 5). Um die Städte mit lediglich vorhandenen Tageszählungen auszuwerten, wird aufgrund gewonnener Informationen aus den Stundenauswertungen auf den Unterschied mit Verwendung von Tageszählsummen geschlossen. Dies betrifft die Städte Linz, Graz und Wien (Kapitel 6 und 7). Die stündliche Auswertung mit den verwendeten Tagessummen wird ebenfalls für die zuvor erwähnten angepassten Modelle ausgewertet (Kapitel 8). Abschließend werden die gewonnenen Ergebnisse mit Werten aus dem aktuellen Forschungsstand verglichen und diskutiert (Kapitel 9).

In dieser Forschungsarbeit wird das tatsächlich eingetretene Wetter zur Auswertung herangezogen. Unterschiede zu diversen Wettervorhersagen, welche Auswirkungen in unbekannter Höhe auf die Entscheidung, mit dem Rad zu fahren, und damit auf die Radverkehrsstärke besitzen, wurden nicht berücksichtigt.

2 Literaturanalysen

2.1 Meteorologische und kalenderbasierte Einflüsse auf den Radverkehr

2.1.1 Einflussgröße Tagesgang

Die TU Dresden hat in einer Studie gezeigt, dass der Radverkehr über einen vergleichbaren Wochentag gesehen immer eine sehr ähnliche Verteilung zeigt. Der Tagesgang weist meist zwei Spitzen auf, eine starke am Morgen zwischen 7 und 9 Uhr und eine breitere am Nachmittag. Hierbei überlagern sich zwei verschiedene Verkehrsströme mit unterschiedlichem Zweck. In der Früh sind hauptsächlich Pendelnde unterwegs, am Nachmittag hingegen vermischen sich diese mit dem Freizeitverkehr, wodurch sich die Spitze über einen längeren Zeitraum zieht. Dies gilt für alle Tage von Montag bis Freitag. Diese Ergebnisse aus Deutschland können auch für Österreich übernommen werden (vgl. TU Dresden, zit.n. Illek & Zientek, 2015b, S. 25).

2.1.2 Einflussgröße Wochengang

Ein Blick auf die Verteilung der Anzahl der Radfahrenden auf die Wochentage ermöglicht oft viele Rückschlüsse auf Lage und Funktion des jeweiligen Radweges. Alltagsrouten werden stark von Montag bis Freitag in beide Richtungen genutzt. Eine geringe Bedeutung für den Freizeitverkehr zeigt sich auch in der stark abfallenden Wochenendbenützung. Eine Zählstelle an einer Freizeitroute kann somit ganz andere Verteilungen aufweisen als eine Stelle an einer Alltagsroute (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 26).

2.1.3 Einflussgröße Jahresgang

Ebenso wie im Wochengang spielen auch im Jahresgang die Lage und Funktion des Radweges eine große Rolle für die Zählraten. Bei Freizeitrouten ist der Unterschied zwischen Winter- und Sommersaison deutlicher ausgeprägt als bei Routen mit großem Anteil an Alltagsverkehr. Dies wird darauf zurückgeführt, dass durch die verschiedenen Temperaturen der Unterschied zwischen der Anzahl der Radfahrenden im Winter und Sommer entsteht. Zusätzlich wird aber betont, dass die Temperaturen nicht alle Unterschiede über das Jahr erklären. Am Beispiel von drei Zählstellen in Wien im Jahr 2011 wurde gezeigt, dass die Radverkehrsstärke innerhalb einer Stadt variieren kann. Dies gilt aufgrund unterschiedlicher Einflussparameter auch zwischen Städten (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 26).

2.1.4 Einflussgröße Jahreszeit („Winterradeln“)

Um den Radverkehrsanteil verschiedener Städte zu vergleichen, wird oft auf den Modal Split zurückgegriffen. Die Daten dafür werden meist im Frühjahr oder Herbst erhoben. Der Anteil der Wege, die im Sommer oder Winter mit dem Rad zurückgelegt werden, wird daher über den Modal Split nicht dargestellt (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 7).

In Österreich fahren zwischen 25 bis 35 Prozent der Radfahrenden das ganze Jahr über mit dem Fahrrad. Ein Blick in die Niederlande zeigt, dass der Rückgang der Radfahrenden im Winter auf etwa 85 Prozent auch viel kleiner sein kann (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 9).

Im Ergebnisbericht der österreichweiten Mobilitätsstudie „Österreich unterwegs 2013/2014“ wird bezüglich Verkehrsmittelwahl (Modal Split) eine Radnutzung von 5 Prozent im Winter und 9 Prozent im Sommer beschrieben. Diese Zahlen gelten für ganz Österreich an Werktagen. Zu berücksichtigen sind hier große regionale Schwankungen aufgrund größerer Städte in tiefliegenden, flachen Gebieten. Im Frühjahr und Herbst werden 6 Prozent der Wege mit dem

Fahrrad zurückgelegt, womit diese Jahreszeiten knapp unter dem Gesamtdurchschnitt von knapp 7 Prozent liegen (vgl. HERRY Consult GmbH, 2016, S. 73-74).

An Tagen in Wintermonaten mit mehr als 8 Stunden Sonnenscheindauer steigt der Anteil der Radfahrenden auf das Niveau von Tagen im Sommer mit ähnlicher Sonnenscheindauer. An einem Drittel der Tage im Winter lässt sich die Sonne pro Tag jedoch maximal eine Stunde blicken. An diesen Tagen liegt der Anteil des Radverkehrs am Modal Split auch nur bei 2 Prozent.

Außerhalb der Wintermonate ist mit einem Anstieg von 4 Prozent Radfahranteil, bei maximal einer Stunde Sonnenschein am Tag, bis zu 9 Prozent, bei über 8 Stunden Sonne, im Vergleich zu Tagen ohne Sonnenschein zu rechnen (vgl. HERRY Consult GmbH, 2017, S. 52 ff.).

Dass der Radfahranteil bei „Schönwetter“ im Winter groß sein kann, zeigen auch Daten aus Wien. Dort nutzen zirka 15 bis 20 Prozent der Radfahrendenzahlen vom Juni auch im Winter innerstädtisch das Fahrrad. Der Radverkehr kommt also auch im Winter nicht zum Erliegen. Tiefe Temperaturen alleine sind für viele Radfahrende noch kein Grund das Rad stehen zu lassen. Wirken jedoch andere Witterungen wie Niederschlag hinzu, zeigt sich eine deutliche Abnahme der Radnutzung (vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010, S. 51).

2.1.5 Einflussgröße Schnee

Der Einfluss von Schneefall wurde in der „Radverkehrserhebung Wien“ beispielhaft anhand der Zählstelle Argentinierstraße im Februar 2009 gezeigt. Länger anhaltende Wintereinbrüche führen zu einem Einbruch der Radverkehrszahlen. Eine Verbesserung nach einer Schlechtwetterperiode bewirkt einen raschen Anstieg des Radverkehrs. Hier zeigt sich auch die Bedeutsamkeit eines guten Winterdienstes auf Radverkehrsanlagen. Auch ohne weitere Niederschläge kann bei anhaltend tiefen Temperaturen durch mangelhaften Winterdienst sicheres und komfortables Radfahren noch nicht möglich sein. Vereisungen, festgefrorener Schnee oder ungeräumte Wege können die Verwendung des Fahrrads als Fortbewegungsmittel stark einschränken (vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010).

Bei der „Österreich unterwegs“-Erhebung 2013/2014 lag an 9 Prozent aller Erhebungstage Schnee. Das Fahrrad als gewähltes Verkehrsmittel sank an diesen Tagen von 7 Prozent auf 3 Prozent. Ebenso ist die Verkehrsstärke der Radfahrenden bei Schneelage stark gesunken. Die Verkehrsstärke oder Verkehrsleistung beschreibt die Anzahl an Fahrzeugen, beziehungsweise Personen die pro Zeiteinheit einen Querschnitt passieren. Der Einfluss von Schnee spielt im ländlichen Raum eine viel größere negative Rolle als in den Städten. In peripheren Bezirken sinkt der Radfahranteil beim Modal Split von 6 Prozent um zwei Drittel (vgl. HERRY Consult GmbH, 2017, S. 52 ff.).

2.1.6 Einflussgrößen Schnee, Frost und Niederschlag

Die zuvor genannten Studien belegen den Einfluss von Sonnenscheindauer, Temperatur und Schnee auf den Radverkehrsanteil. Ebenso zeigen verschiedenste Radverkehrszählraten einen starken Rückgang der Radfahrenden in der kalten Jahreszeit. Jedoch täuscht das subjektive Empfinden der Wetterbedingungen im Winter oft. In einer Broschüre des Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (bmvit) über Radfahren im Winter (vgl. Illek & Zientek, 2015a, S. 4-5) & (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 10-11) wurde für große Städte von Bregenz bis Wien für das Jahr 2014 die Anzahl der Schnee- und Eistage erhoben. Die Tage mit einer Schneedecke größer als einem Zentimeter lagen in den meisten Städten unter 20 mit einem Durchschnitt von elf Tagen. Im Westen Österreichs, wo man eher viel Schnee vermuten würde, lagen die Städte 2014 sogar nur fünf Tage unter einer Schneedecke. Generell liegt die durchschnittliche Niederschlagsmenge bei 1.100mm pro Jahr. Davon entfallen 60 Prozent auf den

Zeitraum von April bis September und 40 Prozent auf die verbleibende Jahreshälfte. Dies sagt jedoch nichts über die Häufigkeit oder Dauer der Regenereignisse aus, welche für den Radverkehrs sehr ausschlaggebend ist. Ebenso wurden die Tage ermittelt, an denen die Temperatur den ganzen Tag nicht über 0 °C kletterte. Die Anzahl dieser Eistage in dem betrachteten Jahr lag zwischen zwei und vierzehn. Umgekehrt liegt die Anzahl der Frosttage, also jener Tage, an denen das Tagesminimum unter 0 °C fällt, in Österreichs Landeshauptstädten bei durchschnittlich 42. Im Flachland liegt die Temperatur im Jänner im langjährigen Mittel bei -2 bis 0 °C.

2.1.7 Einflussgröße Niederschlag

Nicht nur der Winter wird oft als Argument gegen das Fahrradfahren angeführt, sondern auch der mögliche Regen. Um herauszufinden, ob es wirklich so oft Niederschlag gibt, wie vermutet, führte die Radlobby Österreich eine Untersuchung in den österreichischen Landeshauptstädten durch. Im Zeitraum von Jänner 2015 bis zum Dezember 2017 wurde minutengenau jeder gefallene Regen im Zeitraum 8 bis 9 und 17 bis 18 Uhr dokumentiert. In diesem Zeitraum sind üblicherweise die Pendelnden unterwegs. Ist in den beiden Zeitfenstern auch nur eine kleine Menge Niederschlag gefallen, so wurde die gesamte Fahrt als nass verzeichnet. Die Auswertung zeigt, dass in allen österreichischen Landeshauptstädten mehr als drei Viertel aller Fahrten niederschlagsfrei sind. Am trockensten wären Radfahrende mit 86 Prozent der Fahrten in Graz geblieben. Die nässeste Stadt wäre Salzburg mit „nur“ 75 Prozent trockenen Radfahrttagen gewesen. In 50 Prozent der Aufzeichnungen von Niederschlag waren die Mengen so gering, dass sie kaum messbar sind (<0,1mm). Eine Durchnässung findet mit diesen Mengen nicht statt, ebenso müssen kleine Regenmengen im Sommer bei heißen Temperaturen nicht unangenehm sein. Letztere verbessern vielleicht sogar die Anzahl der nicht vom Niederschlag negativ beeinflussten Fahrten.

Mit Städten wie Amsterdam oder Kopenhagen verglichen, die hinsichtlich ihres Radverkehrsanteils häufig als Vorbilder genannt werden, haben Städte in Österreich weniger Regentage (vgl. Ingerle & Romano, 2018, S. 15).

In einer Erhebung der Stadt Wien aus dem Jahr 2010 wurde die Wetterabhängigkeit des Radverkehrsanteils ab 2006 behandelt. Es wurde eine stark wetterbedingte Schwankung der Wiener Radfahrenden festgestellt, die mit großen Wegelängen des Alltagsverkehrs und dem Anreiz zum Umstieg auf das sehr gute öffentliche Verkehrsnetz begründet wurde. Im Vergleich zu „Radfahrerstädten“, in welchen der Radverkehr eine sehr große Bedeutung zukommt, liegt Wien mit rund 4,5km zurückgelegter Strecke pro Weg über dem Durchschnitt von 3km Raddistanz. Beispielhaft wird der Einfluss von Regenereignissen über mehrere Tage hindurch an der Zählstelle Westbahnhof im Juni 2009 gezeigt. Bei annähernd gleichbleibender Temperatur und täglich auftretenden Niederschlagsmengen sinkt die Anzahl der Radfahrenden stark. Bei anschließender Verbesserung des Wetters wird mit einer leichten Verzögerung die vor den Niederschlägen typische Radverkehrsstärke wieder erreicht. Die konkreten Auswirkungen von Niederschlag auf den Radverkehr sind jedoch unterschiedlich und hängen von Menge, Dauer und dem genauen Zeitpunkt des Regenereignisses ab (vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010, S. 48-49).

Auch untenstehende Grafik (**Abb. 1**) aus der Broschüre „Radverkehr in Zahlen“ zeigt, dass der Radverkehrsanteil nicht nur von der Anzahl an Regentagen abhängt. Sichtbar wird, dass in den Fahrradstädten Münster und Groningen ein viel größerer Anteil der Wege mit dem Rad zurückgelegt wird, obwohl es dort gleich viel oder sogar öfter als in Wien und Salzburg regnet. In Wien sind es sogar deutlich weniger Tage mit Niederschlag im Jahr bei zugleich wesentlich niedrigerem Radverkehrsanteil.

Radverkehrsanteil und Niederschlagstage, Städtevergleich Quelle: VCÖ, 2006

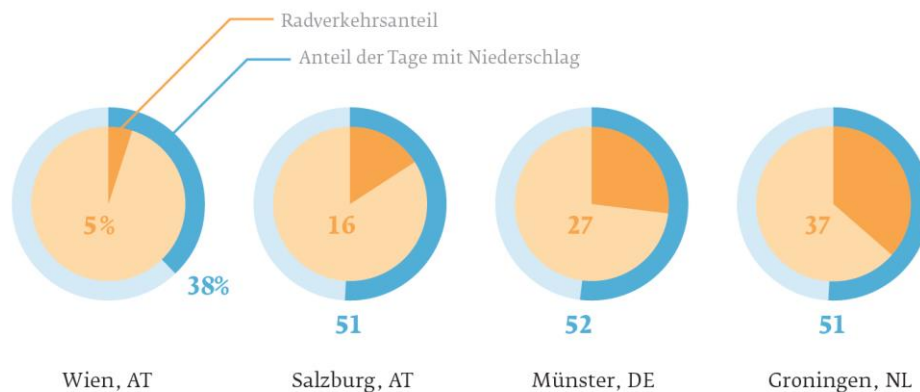


Abb. 1: Radverkehrsanteil und Niederschlagstage, Städtevergleich (VCÖ, 2006, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 83)

2.1.8 Einflussgröße Temperatur

Der Vergleich täglicher Radfahrersummen mit der Tagesmitteltemperatur zeigt den Einfluss der Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke. Diese wurde für die Argentinierstraße in Wien der Jahre 2002-2010 mit Daten der Wetterstation Wien-Innere Stadt überlagert. Ohne andere Einflüsse wie Niederschlag oder Ferien zu berücksichtigen, zeigt sich eine relativ breiter Streuungsbereich, jedoch mit der eindeutigen Aussage. Bei steigender Temperatur nimmt der Radfahranteil zu. Werden Temperaturen über 25 °C erreicht, stagniert bzw. sinkt die Anzahl der Fahrradfahrenden jedoch (vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010, S. 53).

Ergebnisse zum Radverkehr aus der Mobilitätsenerhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ zeigen ebenfalls den Anteil der Radverkehrs im Modal Split abhängig von der Temperatur. Der Radanteil steigt von 3 Prozent bei Temperaturen bis 5 °C auf bis 10 Prozent bei Temperaturen über 20 °C an. Der Verlauf dazwischen ist annähernd linear und entspricht einer Verdreifachung. Wird nicht der Anteil betrachtet, sondern die Verkehrsleistung, zeigt sich, dass an warmen Tagen fünfmal so viele Kilometer mit dem Verkehrsmittel Fahrrad zurückgelegt werden wie an kalten Tagen. Schon ab einer gemessenen Lufttemperatur über 15 °C werden überdurchschnittlich weite Strecken mit dem Rad gefahren. Des Weiteren wurde die Radverkehrsleistung mit dem Anteil der Tage der beschriebenen Temperaturklassen verglichen. An 25 Prozent der Tage herrschte eine mittlere Lufttemperatur von 10 bis 15 °C und es wurde ebenfalls ein Viertel der Radverkehrsleistung des Jahres erbracht. Je tiefer die Temperaturen lagen, desto schlechter war das Verhältnis von Radverkehrsleistung zu dem Anteil der Tage mit diesem Temperaturmittel. Bei höheren Temperaturen überstieg die Gesamtleistung den Anteil der Tage mit der höheren Lufttemperatur. An 35 Prozent der Erhebungstage lag die durchschnittliche Temperatur über den Tag bei mehr als 15 °C. An diesen Tagen wurden knapp die Hälfte aller gezählten Radfahrten eines Jahres bestritten. Die Verkehrsleistung lag mit 54 Prozent sogar noch höher (vgl. HERRY Consult GmbH, 2017, S. 50 f.).

2.1.9 Einflussgrößen Niederschlag und Temperatur

Im Vergleich zum Motorisierten Individualverkehr (MIV) und dem öffentlichen Verkehr (ÖV) gibt es im Bereich Radverkehr viel weniger Untersuchungen. Martin Loidl vom Fachbereich Geoinformatik der Uni Salzburg untersucht die Gruppe der Radfahrenden in Salzburg genauer.

Diese gewinnen immer mehr an Potenzial durch die steigende Radverkehrsleistung, sind aber keineswegs eine einheitliche Gruppe mit denselben Bedürfnissen. Die Beweggründe, warum jemand das Fahrrad als Verkehrsmittel oder auch als Sportgerät nutzt, unterscheiden sich stark. Daraus ergeben sich auch verschiedene Verhaltensmuster, zum Beispiel in Bezug auf das Wetter. Das Projekt „Bicycle Observatory“ hat Zählstellendaten mit Trackingdaten von Sportarmbändern und Smartphones, verknüpft mit Wetterdaten ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass in Salzburg an Tagen mit Niederschlag 21 Prozent weniger Radfahrer unterwegs sind. Mit jedem Grad Celsius höher als die durchschnittliche Tagestemperatur steigt der Anteil der Radfahrenden um 3,6 Prozent, wobei der Einfluss des Wetters auf den Radverkehrsanteil im Winter geringer ist als im Sommer. Dies führt Loidl darauf zurück, dass sich Radfahrende, die im Winter fahren, nicht von Regen oder Schnee abschrecken lassen (vgl. Schmidt, 2019, S. W1).

Ein Team der TU Dresden wertete Zählstellendaten von fünf Städten in Deutschland und Österreich, darunter Graz und Wien, aus. Sie kamen dabei zu dem Ergebnis, dass Radverkehr hauptsächlich ab einer Temperatur von 10 bis 15 °C stattfindet. Einen direkten Zusammenhang zwischen Radverkehrsstärke und Niederschlag fanden sie nicht. Zurückgeführt wird dies darauf, dass sich Niederschläge in Art, Intensität sowie Zeitpunkt und Dauer stark unterscheiden. Radfahrende wissen am Morgen nicht, ob es im Laufe des Tages noch regnen wird und sie das Rad auch bei schlechter Witterung für die Heimfahrt nutzen müssen. Allerdings beschreibt die Studie einen tendenziellen Rückgang des Freizeitverkehrs im Vergleich zu eher gleichbleibendem Alltagsverkehr an niederschlagsreichen Tagen (vgl. TU Dresden, zit.n. Illek & Zientek, 2015b, S. 27).

Die zuletzt beschriebene Studie hat sich auf tagesgenaue Wetterdaten bezogen und fand keine Abhängigkeit der Anzahl der Radfahrenden vom Niederschlag. Durch die Verwendung von stundenbezogenen Daten kann detaillierter analysiert werden, wodurch möglicherweise ein konkreter Zusammenhang gefunden werden kann.

Die beiden nachfolgenden Grafiken zeigen den Einfluss von Lufttemperatur und Regenmenge auf die Radfahrerstärke in Graz im Jahr 2009 und 2012. An den beiden Beispielmonaten Jänner 2012 und Juli 2009 lässt sich der Einfluss der beiden genannten Wetterparameter gut erkennen. Im Winter (**Abb. 2**), wo generell die Anzahl der gezählten Radfahrer und Radfahrerinnen geringer ist, ist aufgrund von geringen Niederschlagsmengen kein spürbarer Einbruch der gezählten Personen erkennbar. Vielmehr ist zu vermuten, dass in den ersten Tagen des Jahres aufgrund der Feiertage und Ferien die Anzahl der Radfahrenden geringer ausgefallen ist als in den darauffolgenden Wochen.

Zählstelle Graz/Keplerbrücke, in Einbezug von Temperatur und Niederschlag, Jänner 2012

Quelle: Stadt Graz, 2013

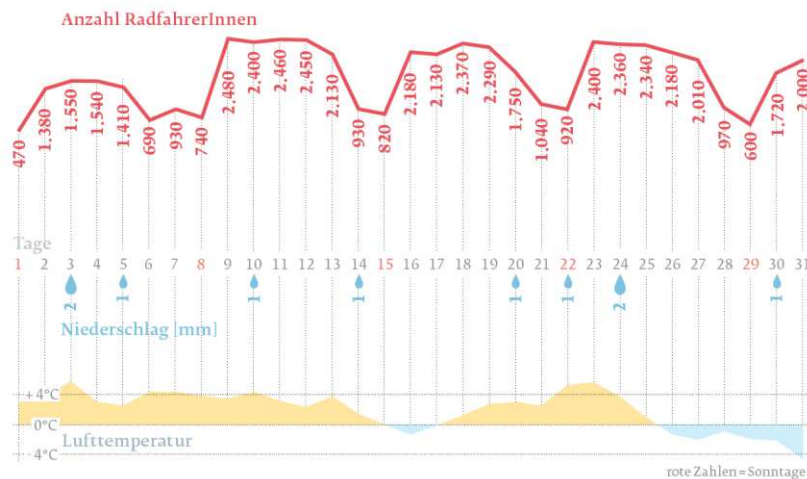


Abb. 2: Anzahl Radfahrende Jänner 2012, Graz (Keplerbrücke) mit den Wettereinflussfaktoren Temperatur und Niederschlag (Stadt Graz, 2013, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 90)

Die zweite Grafik (**Abb. 3**) zeigt den Juli im Jahr 2009 mit höheren absoluten Radfahrendenzahlen. Es zeigt sich ein Einbruch bei Tagen mit Niederschlagsereignis, wobei dieser bei niedrigeren Temperaturen stärker ausfällt als bei hohen. Weiter ist zu erkennen, dass ein einzelner Regentag keine Auswirkung auf den Folgetag hat. Hingegen zeigt sich, dass mehrere Tage mit Niederschlag hintereinander zu einem Sinken der Anzahl der Radfahrenden von Tag zu Tag führen. Allerdings kann im Juli auch der Beginn der Sommerferien einen Einfluss auf die absolute Anzahl der Radfahrer und Radfahrerinnen haben. Bei der Erläuterung wurde bemerkt, dass bei dieser Grafik die rot markierten Tage nicht mit den Sonntagen im Jahr 2009 übereinstimmen. Solche kleinräumigen Monatsausschnitte sind nur von geringer wissenschaftlicher Aussage, geben jedoch einen guten visualisierten Einblick in das Verhalten der Radfahrenden. Die Daten, welche hinter der Visualisierung stecken, liegen leider nicht vor.

Zählstelle Graz/Keplerbrücke, in Einbezug von Temperatur und Niederschlag, Juli 2009 Quelle: Stadt Graz, 2013

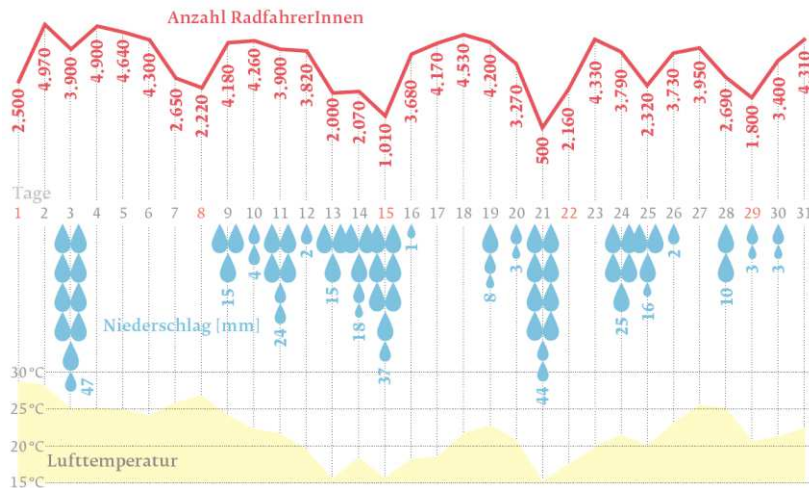


Abb. 3: Anzahl Radfahrende Juli 2009, Graz (Keplerbrücke) mit den Wettereinflussfaktoren Temperatur und Niederschlag (Stadt Graz, 2013, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 91)

Die Abbildung (**Abb. 4**) zeigt den Zusammenhang der Anzahl an Radfahrenden von vier ausgewählten Dauerzählstellen in Wien vom Jahr 2008 bis zum Jahr 2012 mit der mittleren Temperatur pro Monat und dem Niederschlag. Die Anzahl der Radfahrenden bei jeder der vier Messstationen zeigt ähnliche Verläufe über das Jahr mit unterschiedlichen absoluten Werten. Bei dieser grafischen Gegenüberstellung mit den Wetterfaktoren Niederschlag und Lufttemperatur kann ein gewisser Einfluss vermutet werden. Bei der Betrachtung von auffälligen Niederschlagsbalken lässt sich bei einigen Monaten ein positiver oder negativer Effekt in den gezählten Personen vermuten, bei anderen hingegen nicht. Da die Detailgenauigkeit in Monaten liegt und es sich beim Niederschlag um die Gesamtmenge handelt, kann es sein, dass Starkregenereignisse, Regenschauer in der Nacht oder Regen in den Radverkehrsspitzen zu ganz unterschiedlichen Auswirkungen auf die Verkehrsstärke geführt haben. Im Fall von Niederschlag ist deshalb eine stündliche Betrachtung viel aussagekräftiger.

Die mittlere monatliche Lufttemperatur zeigt ebenfalls keine Wetterextreme an einzelnen Tagen oder Stunden, sondern lediglich den monatlichen Mittelwert, welcher jedoch von Tagen mit außergewöhnlichen Temperaturen beeinflusst wird. Beim Vergleich der Temperaturkurve mit den Kurven der Zählstellen kann eine gewisse Ähnlichkeit festgestellt werden. Die Monate mit den höchsten und niedrigsten gemessenen Temperaturen fallen häufig mit den Ferien beziehungsweise Urlaubszeiten zusammen. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass die Extremstellen in der Temperaturkurve meist abgeschwächt auf die Daten der Dauerzählstellen auswirken. Oder die zu untersuchende These, dass bei hohen Temperaturen die Anzahl an Radfahrenden stagniert, beziehungsweise rückläufig ist, trifft hier zu.

Abhängigkeit des Radverkehrsaufkommens von Temperatur und Niederschlag am Beispiel Wien

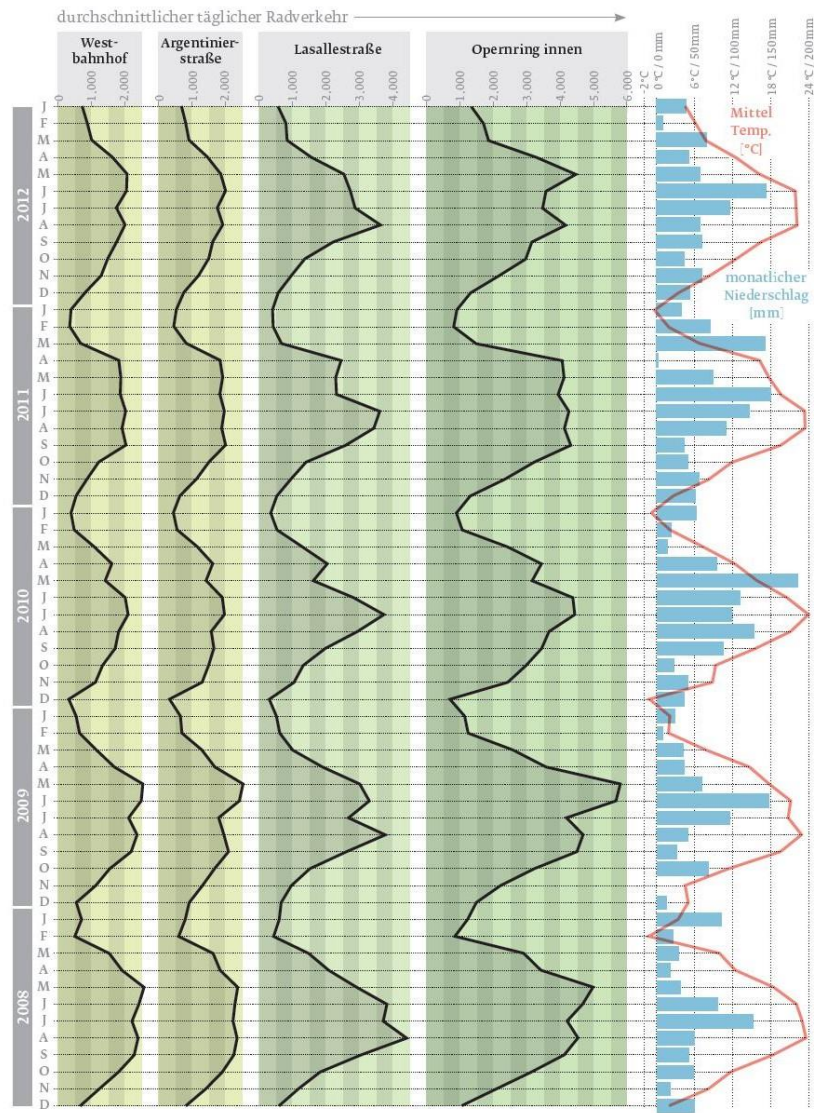


Abb. 4: Anzahl Radfahrende 2008-2012, Wien (4 Zählstellen) mit den Wettereinflussfaktoren Temperatur und Niederschlag (Nast consulting ZT, 2013; Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010; ZAMG 2013, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 92)

2.1.10 Einflussgrößen Temperatur, Niederschlag und Windstärke

Eine Diplomarbeit, die sich mit den Einsatzmöglichkeiten von Fahrrad-Tracking-Daten beschäftigt, gibt einen Einblick, was mit der Verknüpfung von Radverkehrsdaten und Wetterdaten möglich ist. Hierfür wurden die Anzahl der getrackten Radfahrten in Wien im Jahr 2014 mit den über den Tag gemittelten Wetterdaten verknüpft. Auf diese Art und Weise wurden Zusammenhänge zwischen der Anzahl der Fahrten pro Tag und der durchschnittlichen Wetterausprägung herausgefunden. Bei der Temperatur konnte ein Korrelationswert von 0,785, bei der Luftfeuchtigkeit ein Wert von -0,627 und bei der Windgeschwindigkeit ein Wert von -0,244 ermittelt werden. Diesem Modell liegen ein korrigiertes R-Quadrat von 0,672 und eine vorliegende Hochsignifikanz (0,01) zugrunde. Das Modell bildet jedoch eher klimatische Unterschiede im Jahr ab als das tägliche Wettergeschehen.

Aus diesem Grund wurde ein weiteres Modell mit stündlichen Tracks und Wetterausprägungen errechnet. Fahrten außerhalb von 6 bis 23 Uhr wurden vernachlässigt. Dabei wurden Korrelationswerte für Temperatur 0,496, für Luftfeuchtigkeit -0,491 und für Windgeschwindigkeit von 0,37 berechnet. Das korrigierte R-Quadrat liegt bei diesem immer noch hochsignifikanten Modell bei 0,315. Neben den geringeren Korrelationswerten fällt auf, dass sich das Vorzeichen beim Einfluss des Windes verändert hat und dadurch dieser Wetterparameter in der genannten Diplomarbeit als Variable ausgeschlossen werden sollte (vgl. Pühringer, 2017, S. 76-77).

2.2 Regressionsanalysen mit mehreren Wetterparametern

Folgende Untersuchungen wurden mittels Regressionsmodellen durchgeführt. Die Analyse des Einfluss einzelner Wetterparameter unter Kontrolle anderer hilft die verschiedenen Einwirkungen separiert zu betrachten.

Die Forschungsgesellschaft Mobilität – FGM hat für die Erstellung der Broschüre „Radfahren im Winter“ eine eigene Erhebung und Analyse durchgeführt. Hierbei wurde mit den Zählstellendaten der Stadt Graz aus dem Jahr 2013 eine Regressionsanalyse erstellt. Die verwendeten Eingangsparmeter lauteten: Tagesdurchschnittstemperatur (in °C), Tagesniederschlag (in mm), Sonnenscheindauer (in %) Schneefall (ja/nein), Winter (ja/nein) und Sonn- und Feiertage (ja/nein). Folgende Ergebnisse zeigen sich: Bei einem Temperaturanstieg von 1 °C erhöht sich die Radverkehrsstärke um ca. 250 Radfahrende/Tag. Nimmt die Niederschlagsmenge um 1 mm zu, so fahren rund 100 Radfahrende/Tag weniger. Wenn die Sonnenscheindauer um 1 Prozent steigt, werden rund 25 Radfahrende/Tag mehr gemessen. Bei eintretendem Schneefall sinkt die Verkehrsstärke an einem Tag um 1.200 Radfahrende zusätzlich zum Einbruch von 1.800 Radfahrenden, die in den Wintermonaten grundsätzlich wegfallen. Der Parameter Sonn- und Feiertage hat an den vier untersuchten Zählstellen, welche an wichtigen Alltags-Radrouten liegen, einen sehr großen Einfluss. Etwa 5.300 Radfahrende/Tag fahren weniger als an Werktagen. Diese Ergebnisse sind jedoch nur sehr schwer mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichbar, da der genaue Referenzwert an Radfahrenden pro Tag nicht bekannt ist und somit kein Bezug zu relativen Änderungen hergestellt werden kann (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 28). Generell ist in Graz mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) 2013 zwischen 1.000 und 4.000 Radfahrenden zu rechnen. Hier handelt es sich um Monatsmittelwerte des DTV, der für dieselben Zählstellen errechnet wurde, welche in der genannten Erhebung analysiert wurden (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 13).

In einer anderen wissenschaftlichen Arbeit wurden die Schwankungen der Radverkehrsstärke auf niederländischen Radwegen aufgrund von Wettereinflüssen behandelt. Der betrachtete Zeitraum war von 1987 bis 2003. Bei den Zählenden handelt es sich um zwei Städte östlich und südlich

von Utrecht. Die Wetterdaten für die Auswertungen wurden von lediglich einer Wetterstation verwendet und standen nur als 24-Stundendaten zur Verfügung. Als Wetterparameter standen Temperatur, Regenmenge, Regendauer, Sonnenschein, Windstärke, durchschnittlicher Bewölkungsgrad, Sichtweite und relative Luftfeuchtigkeit für die Auswertung zur Verfügung. Schlussendlich wurden nur die Temperatur, Sonnenscheindauer, Regendauer und Windstärke für die Auswertungen verwendet. Durch den Ansatz einer Log-Linear Regression (siehe Kapitel 5.3) wurden verschiedene Modelle für Wochentage (Montag bis Freitag), Samstag und Sonntag erzeugt. Das R^2 der verschiedenen Modelle liegt bei rund 0,8 und beschreibt somit vier Fünftel aller Fälle. Beim Modell für alle Wochentage gemeinsam sticht der positive Einfluss der Temperatur mit dem Wert 0,78 heraus. Die Sonnenscheindauer, die eine positive Veränderung der Anzahl an Radfahrenden bewirkt, wird durch den Wert 0,39 beschrieben. Niederschlag und Windstärke schlagen mit den Werten - 0,32 und - 0,38 zu Buche. Der geringe Einfluss des Niederschlags im Modell wird mit der Multikollinearität der erklärenden Variablen und der Ungenauigkeit durch 24-Stundendaten begründet. Für die Wochentags-Modelle bleiben die Einflussfaktoren annähernd gleich. Die größten Unterschiede liegen beim Einfluss der Sonnenscheindauer, die beim Wochenendverkehr eine deutlich wichtigere Rolle spielt, als wochentags. Die Temperatur hat wochentags einen größeren positiven Einfluss als am Wochenende. Die Anwendbarkeit der erstellten Modelle auf andere Regionen oder Städte ist laut Autoren ungewiss. Die verwendeten Zählzeiten für das Modell wurden pneumatisch ermittelt. Die mangelhafte Genauigkeit der Zählzeiten wird in der Arbeit selbst angemerkt, da diese Erhebungsmethode bei gleichzeitigem Befahren nur ein Fahrrad erfasst (vgl. Thomas, Jaarsma, & Tutert, 2012, S. 1 ff.). Durch die vorherrschende Multikollinearität der erklärenden Variablen wird eine Voraussetzung für die Verwendung eines multiplen linearen Regressionsmodells verletzt und die Ergebnisse sind somit in Frage zu stellen.

In einer 2007 erschienenen Arbeit wurde das Radverhalten in Melbourne (Australien) auf Wettereinflüsse untersucht. Seit 2005 errichtete Zählrichtungen liefern Stundendaten für die Auswertungen. Die saisonalen Schwankungen wurden für Pendlerfahrten und Freizeitfahrten erhoben. Auf Pendlerwegen fahren wochentags im Sommer bis zu 65 Prozent mehr Radfahrende im Monatsschnitt als in Wintermonaten. Bei Freizeitfahrten sind es sogar bis zu 130 Prozent mehr. Es wurde auch ein Log-Linear Regressionsmodell (siehe Kapitel 5.3) erstellt. Dafür wurden wetterbezogene Modellparameter wie Regen, Stunden Tageslicht pro Tag, Temperatur, Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit verwendet. Die verschiedenen Regenmengen wurden in drei Kategorien geteilt und Wind in vier Kategorien. Aus Wind, relativer Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur wurde die gefühlte Temperatur ermittelt. Diese neue Variable ist vergleichbar mit dem bekannteren „Windchill Effekt“, welcher aus der Temperatur und der Windgeschwindigkeit berechnet wird und ebenfalls die gefühlte Temperatur beschreibt. Dies ist kritisch zu hinterfragen, da in dieser neuen Variable eine eindeutige Abhängigkeit zu Wind besteht und die Verwendung beider Variablen Multikollinearität zur Folge hat. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass der Effekt von Tageslicht kaum Auswirkungen zeigt. Leichter Regen (<10 mm) schreckt 8 bis 19 Prozent der Radfahrenden ab. Starker Regen (≥ 10 mm) sogar bis zu 25 Prozent. Die gefühlte Temperatur wurde als polynomischen Term in dem Modell berücksichtigt. Damit können unterschiedliche Auswirkungen von niedrigen oder hohen Temperaturen berücksichtigt werden, da die Temperatur einen nicht linearen Effekt auf den Radverkehr hat. Der Temperaturbereich mit positiven Auswirkungen für den Radverkehr liegt zwischen 14 °C und 41 °C. Die optimale Temperatur zur Radfahren wird mit 28 °C beschrieben. Dazu muss erwähnt werden, dass an einem typischen Tag in Melbourne 64 Prozent Luftfeuchtigkeit, Wind mit 20 km/h und leichte Regenbedingungen herrschen. Leichter Regen und starker Wind gemeinsam haben die größten negativen Auswirkungen auf das Radverkehrsvolumen (vgl. Phung & Rose, 2007, S. 1 ff.).

Der Einfluss des Wetters auf die Bike Sharing Nutzung in Washington DC wurde untersucht und 2014 veröffentlicht. Dafür wurde auf ein binomiales Regressionsmodell (logistisches Regressionsmodell siehe Kapitel 2.5 Moosbrugger 2013) zurückgegriffen. Es stehen Daten von jedem einzelnen Ausleihvorgang seit 2010 frei zur Verfügung. Im Durchschnitt wurden pro Stunde 122 Fahrten registriert. Diese Daten wurden mit Wetterdaten (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Nebel, Niederschlag, Gewitter, Schnee) und der Variable Dunkelheit ausgewertet. Die Lufttemperatur wurde in mehrere Kategorien (je 5,55 °C) eingeteilt und als eigene Variablen im Modell berücksichtigt. Der Referenzwert liegt hier bei 10 bis 15 °C, wo auch die meisten Radfahrten gezählt werden. Liegt die Temperatur darüber, steigt die Radverkehrsstärke an, nimmt jedoch über 32 °C wieder ab. Unter 10 °C sinkt die Zahl im Vergleich zum Referenzwert. Das Auftreten von Regenereignissen oder höheren Windgeschwindigkeiten führt ebenfalls zu einem Rückgang der Ausleihvorgänge, wobei der Wind einen geringeren Einfluss besitzt (vgl. Gebhart & Noland, 2014, S. 1205 ff.).

2.3 Subjektives Empfinden der Radfahrenden von meteorologischen Einflüssen

Objektive Zahlen der tatsächlichen Anzahl an Tagen, an denen es schneit, gefriert, regnet oder wo starker Wind bläst und dadurch das Radfahren schwieriger ist, lassen sich vereinzelt finden. Diese können nur das Potenzial einer Stadt oder eines Landes für die Erhöhung des Radverkehrsanteils aufzeigen. Bei vorhandenem Potenzial ist es wichtig, die Chancen durch die Bereitstellung und Betreuung einer geeigneten Infrastruktur für Radfahrende zu nutzen und nicht zu zerstören. Schlussendlich entscheidet jeder Radfahrende selbst, ob und bei welchen Wetterbedingungen er oder sie auf das Rad steigt. Die größte Hürde dabei und damit zugleich auch das größte Potenzial liegt beim Winterradeln. Dazu wurden in Wien und Vorarlberg Befragungen bei Radfahrern und Radfahrerinnen durchgeführt, warum sie in dieser Zeit auf das Fahrrad verzichten. In Wien wurden 329 Personen im Jahr 2013 befragt. Hierbei wurde bei jeder Frage ermittelt, ob es sich um einen wichtigen oder unwichtigen Punkt handelt. 84 Prozent nannten dabei die Kälte als einen wichtigen Grund. Die damit zusammenhängende eingeschränkte Beweglichkeit wegen warmer Kleidung wurde von mehr als der Hälfte als hindernd empfunden. Die meisten Befragten in Wien haben Radfahren im Winter als gefährlich und mit einer zu hohen Unfallgefahr bewertet. Ob dieses subjektive Empfinden mit objektiven Daten übereinstimmt, kann hier nicht bestätigt werden (vgl. das österreichische Gallup Institut, 2013, S. 8). Da das Wetter nicht verändert werden kann, können solche Barrieren nur durch Maßnahmen zur Stärkung des Sicherheitsgefühls für Radfahrende überwunden werden.

In Vorarlberg wurden alle genannten Hindernisse der Befragten in einem Tortendiagramm dargestellt und ergeben somit in Summe 100 Prozent. Es gaben 35 Prozent die Witterung mit den speziellen Herausforderungen Kälte, Dunkelheit und schlechten Sichtverhältnissen als Gründe der Nichtverwendung des Rades an. Angst vor erhöhter Unfallgefahr haben 31 Prozent der Befragten angegeben. Wie oben wäre das subjektive Empfinden hier mit objektiven Zahlen zu überprüfen (vgl. Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010, zit.n. Illek & Zientek, 2015b, S. 17-18).

Zum Radjahr 2013 wurden im Oktober für Wien 645 Personen der Wiener Bevölkerung und 936 Personen, die der Kernzielgruppe Radfahrende zuordenbar sind, befragt. Die Entscheidung jedes einzelnen, in welchen Monaten die Befragten eine Fahrradpause aufgrund der kalten Jahreszeit einlegen, wurde ausgewertet. Der Großteil lässt das Fahrrad ab November stehen. Manche schon ein Monat zuvor, andere erst eines später. Dies gilt für die „Durchschnittsbevölkerung“ und auch für die Kernzielgruppe der Radfahrenden. Im Gegensatz dazu packen die meisten Rad-Fans zum Saisonstart ihre Fahrräder schon im März aus, wohingegen die Allgemeinheit erst im April in die Saison startet (vgl. das österreichische Gallup Institut, 2013, S. 6). Ob die subjektiv entschiedene Winterpause mit den tatsächlichen Wetterbedingungen zusammenhängt, bleibt offen. Falls

diese nicht übereinstimmen und das Fahrrad nur aus Bequemlichkeit noch nicht aus dem Keller geholt wurde, kann mit Kampagnen versucht werden, dagegen zusteuern.

Hindernisse für die Nutzung des Fahrrades als alltägliches Verkehrsmittel in Österreich wurden 2010 durch eine Befragung eruiert. Es wurde nach den subjektiven Gründen gefragt, warum nicht mehr Leute das Fahrrad als Alltagsverkehrsmittel nutzen. Die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten wurden von ausschlaggebend bis unwichtig mit vier verschiedenen Kategorien bewertet. Von allen möglichen Antworten wurden Wetter und Witterung mit über 50 Prozent als ausschlaggebend bewertet. Gemeinsam mit der Kategorie eher wichtig wurden die klimatischen Einflüsse mit 95 Prozent für einen spürbaren Effekt auf das Fahrrad als Alltagsverkehrsmittel beziffert. Laut dieser Befragung ist das Wetter der am stärksten ausschlaggebende Grund für die nicht alltägliche Benützung (vgl. IS, 2010, zit. n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 312).

Im Gegensatz dazu gibt es eine Untersuchung aus Holland, wo die Leute das Fahrrad als Alltagsverkehrsmittel entdeckten, während ihr Auto für Reparaturen in der Werkstadt war. 67 Prozent haben die atmosphärischen Bedingungen als „besser als erwartet“ eingestuft, nur 9 Prozent empfanden sie schlechter als vermutet. Ein Viertel der Umsteiger vom Auto auf das Rad hat das Wetter wie erwartet empfunden. Bei allen anderen Bereichen wie Anstrengung, Tempo, Transport und Komfort konnten die befragten Personen die reale Situation besser („wie erwartet“) einschätzen (vgl. FGM, 2010, zit. n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 279). Dieser hohe Anteil an positiver Erfahrung bezüglich Witterung beim Umstieg zeigt, dass die im vorhergehenden Absatz beschriebenen subjektiven Wahrnehmungen bezüglich Witterung oft nicht mit der Realität übereinstimmen.

Im Jahr 2010 wurden in Vorarlberg Radfahrer und Radfahrerinnen befragt, warum sie im Winter nicht oder nicht so oft das Fahrrad nutzen. Von den genannten Antworten hatte ein Drittel mit der Witterung zu tun. Unter diesem Punkt wurden jedoch neben Kälte auch Dunkelheit und schlechte Sichtverhältnisse angeführt (Energieinstitut Vorarlberg, 2010, zit. n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 283). Will man also den Radverkehrsanteil erhöhen, kann man zwar nicht das Wetter direkt beeinflussen (die zuvor genannte Kälte), jedoch den durch die Witterung entstehenden Problemen, wie Dunkelheit und Sichtverhältnissen, entgegenwirken. Maßnahmen für effiziente Beleuchtung der Radinfrastruktur, leistungsstarke Fahrradlampen, getrennte Infrastruktur, spezieller Bodenbelag, Reflektor-Aktionen für Radfahrende und vieles Weitere können hier das subjektive Empfinden verbessern.

In Wien wurden 2007 die Hindernisse für den Radverkehr im Zuge einer Radfahrerbefragung in offenen Antworten gesammelt. Somit handelt es sich hierbei um Erfahrungen der radfahrenden Bevölkerung. Hier wurden hauptsächlich Probleme mit anderen Verkehrsteilnehmern und infrastrukturelle Argumente gebracht. Nur 1 Prozent der Befragten empfand die Wetterabhängigkeit als Hindernisgrund. Die „(verschwitzte) Kleidung“, die auch teilweise der Witterung zugeschrieben werden kann, wurde mit 2 Prozent beziffert (vgl. Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010, S. 59).

Die meisten Befragungen und Studien beziehen sich auf den Alltagsverkehr, besonders auf den Weg zu Arbeit oder Ausbildung. Eine Studie hat sich österreichweit mit dem Einflussfaktor Wetter auf den Einkaufsverkehr mit dem Rad beschäftigt. Hierbei handelt es sich im Vergleich zum zeitlich meist vorgegebenen täglichen Pendlerweg um eine flexiblere Tätigkeit. Der Einkauf muss getätigt werden, kann jedoch zeitlich wetterabhängig eingeplant werden. Die Hälfte der Befragten gab an, dass das Wetter einen großen Einfluss auf das Einkufen mit dem Fahrrad hat. Nur 13 Prozent meinten, dass die Witterung für sie kein Grund ist, nicht mit dem Rad zum Geschäft zu kommen.

Bei derselben Frage bezogen auf die Jahreszeit statt dem Wetter kam ein sehr ähnliches Bild heraus. Hierbei sah nicht ganz die Hälfte einen großen Einfluss der Jahreszeit auf die Radbenützung. Diese größere Wetterabhängigkeit bei flexibler gestaltbaren Tätigkeiten lässt einerseits den Wunsch, schlechtes Wetter beim Radfahren bei Möglichkeit zu vermeiden, erahnen. Andererseits kann es auch sein, dass Personen, welche einen großen Einfluss des Wetters genannt haben, nur selten oder nie bei schlechterem Wetter mit dem Fahrrad unterwegs sind und somit keine passende Ausrüstung oder Erfahrung besitzen (vgl. CIMA Beratung + Management GmbH, 2010, S. 19).

2.4 Physikalische Wirkung von Wind für die Radfahrenden

In der nachfolgenden Grafik (Abb. 5) zeigen Suhr und Schlichting (vgl. 2007, S. 297), wie Wind auf einen Radfahrenden wirkt. Im konkreten Fall wurde dies für Rennradfahrer und Rennradfahrerinnen berechnet, die mit einer viel höheren Geschwindigkeit unterwegs sind als durchschnittliche Radfahrende. Die Berechnungen wurden mit einer konstanten Antriebsleistung von 450W angestellt. Der eigene Fahrtwind und der vorherrschende Wind werden vektoriell zusammengesetzt und ergeben den scheinbaren Wind. Dieser beeinflusst bei Gegenwind oder Rückenwind stark die maximal erreichbare Geschwindigkeit oder umgekehrt die notwendige Energie für konstante Geschwindigkeit

Höchstgeschwindigkeit von RadrennfahrerInnen in Abhängigkeit von Windstärke und Windrichtung Quelle: Suhr/Schlichting, 2007

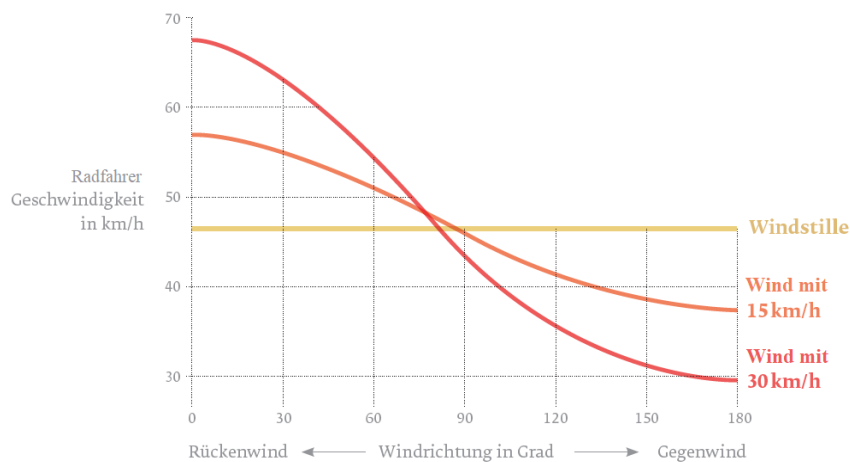


Abb. 5: Höchstgeschwindigkeit von Rennradfahrenden anhängig von Windstärke und -richtung (Suhr/Schlichting, 2007, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 259)

Mit Hilfe eines online Berechnungstools (vgl. Zorn, 2008) wurde für die Broschüre „Radverkehr in Zahlen“ ein Diagramm (Abb. 6) erstellt, aus dem abzulesen ist, wie die Leistungsaufwandskurve für Radfahrer abhängig von Geschwindigkeit und Windstärke aussieht. Diese deckt sich auch mit der Grafik (Abb. 5), wo bei 450 W und Windstille max. 47 km/h erreicht werden können.

Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Radfahren Quelle: Zorn, 2008

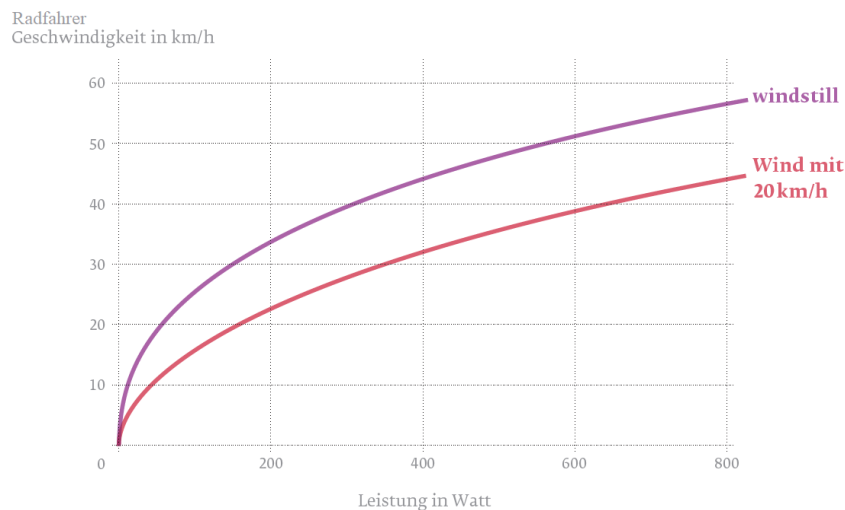


Abb. 6: Einfluss Windgeschwindigkeit auf das Radfahren (Zorn, 2008, zit. n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013)

2.5 Vergleichbare Forschungsprojekte

David Moosbrugger (2013) BOKU Wien: Wetterabhängiges Modell zur Vorhersage stündlicher Radverkehrsstärken an acht ausgewählten Standorten in Wien.

Eine Masterarbeit der Universität für Bodenkultur Wien hat sich ebenfalls mit dem Thema Wettereinfluss auf die stündliche Radverkehrsstärke in Wien im Zeitraum 2002 bis 2010 beschäftigt. Dafür wurde ein Modell für die Vorhersage der Anzahl der Radfahrenden an acht Zählstellen in Wien entwickelt. In dieser Arbeit wurden unter anderem Jahreszeiten und Wetterdaten (Niederschlag, Temperatur, Bewölkungsgrad, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, relative Feuchte und Sonnenscheindauer) berücksichtigt. Mittels einer Log-Poisson Regression wurde ein Modell erstellt. Dieses eignet sich bei der Verwendung von Datenmengen mit Nullen. Variablen, die negative Werte oder den Wert Null besitzen, dürfen nicht logarithmiert werden. (vgl. Universität Innsbruck, S. 19 ff.). Die Anwendung dieses Modells ist hierfür gut passend, da die Radverkehrsstärke einzelner Zählstationen betrachtet wird und somit die Wahrscheinlichkeit von Nullen häufiger auftritt als bei der Betrachtung der Zählsummen einer Stadt.

Die zwei ausschlaggebendsten Einflussgrößen sind der Niederschlag und die Temperatur. Wenn es zu regnen beginnt, werden nur noch 3 Prozent der Gesamtverkehrsstärke (im Vergleich zu durchschnittlich 6 Prozent) gemessen (vgl. Moosbrugger, 2013, S. I.). Bei Anstieg der Lufttemperatur um plus 5 °C steigt die Anzahl der gemessenen Radfahrer und Radfahrerinnen um ebenfalls 5 Prozent an (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 3).

Saisonale Schwankungen im Radverkehr konnten für den Werktagsverkehr im Sommer und Winter mit dem Faktor 5 bewertet werden (**Abb. 7**). Im Freizeitverkehr liegt der Unterschied bei einem Faktor von zirka 9,5, was fast doppelt so hoch ist als beim Werktagsverkehr. Das Frühjahr und der Herbst liegen dazwischen und zeigen ähnliche Muster (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 35).

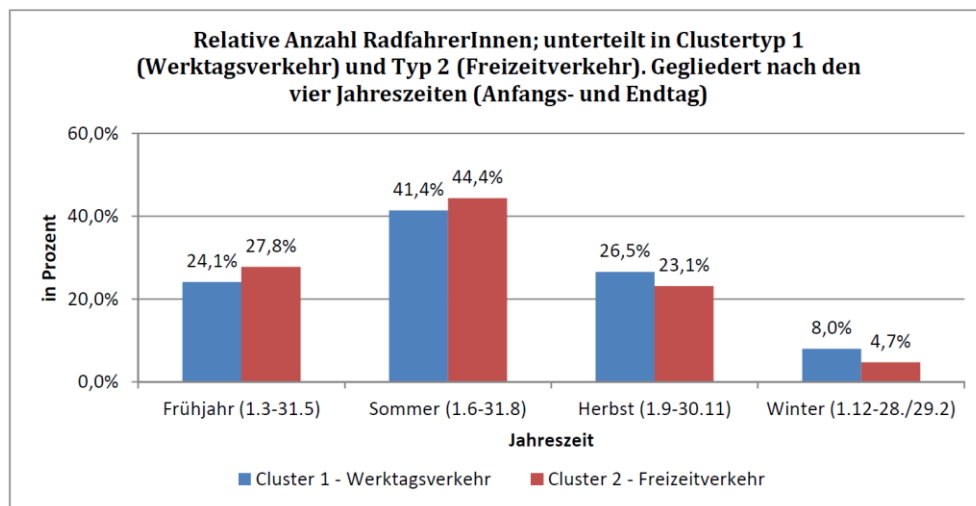


Abb. 7: Relative Anzahl RadfahrerInnen 2002-2010 in Wien unterteilt in Werktagsverkehr und Freizeitverkehr (Moosbrugger, 2013, S. 38)

Die Erklärungsparameter für das Modell wurden mit Hilfe einer Clusteranalyse und einer multinomialen logistischen Regression ermittelt. Hierbei wurden die Jahreszeiten aus den Auswahlkriterien eliminiert, da dadurch keine Änderung in der Tagesganglinie erkennbar ist. Lediglich die Höhe der absoluten Anzahl wird beeinflusst. Unter Clusteranalyse versteht man ein Verfahren um Ähnlichkeitsstrukturen in großen Datenmengen zu finden, welche anschließend mit der multinomialen logistischen Regression, bezüglich der Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zum Cluster, berechnet wird (Moosbrugger, 2013, S. 38 f.).

Ergebnisse Niederschlag:

In der Auswertung wurden Tage, an denen es mehr als 0,01mm Niederschlag gab, als „Tag mit Niederschlag“ gewertet. Die Auswirkungen von Regenereignissen bei warmen Temperaturen fielen geringer aus als bei Kälte. Auch die negative Auswirkung von mehreren aufeinander folgenden Regentagen konnte nachgewiesen werden. Die effektive Regenmenge ist nicht ausschlaggebend, die Tatsache des Niederschlags an sich und der Zeitpunkt hingegen schon. Wenn in einer Stunde ein Niederschlagsereignis (Regen, Schnee, Hagel) stattfindet, werden nur halb so viele Radfahrenden gezählt. Dies ist bei Werktagsverkehr und Freizeitverkehr ungefähr gleich stark. Die Anzahl der Regentage in Wien und der relative Anteil an Radfahrenden an diesen Tagen werden in der Abbildung (**Abb. 8**) dargestellt. Demnach ist der Prozentsatz an Tagen, an denen Niederschlag fällt, größer als der Anteil an Radfahrern und Radfahrerinnen, die an diesen Tagen unterwegs sind. Das bedeutet, dass im Durchschnitt an Regentagen weniger Radfahrende unterwegs sind als an Tagen ohne Niederschlag. In der Grafik (**Abb. 1**), wo Wien mit anderen Städten bezüglich Anzahl der Regentage verglichen wird, wird ein ähnlicher Anteil an Regentagen gezeigt (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 49 ff.).

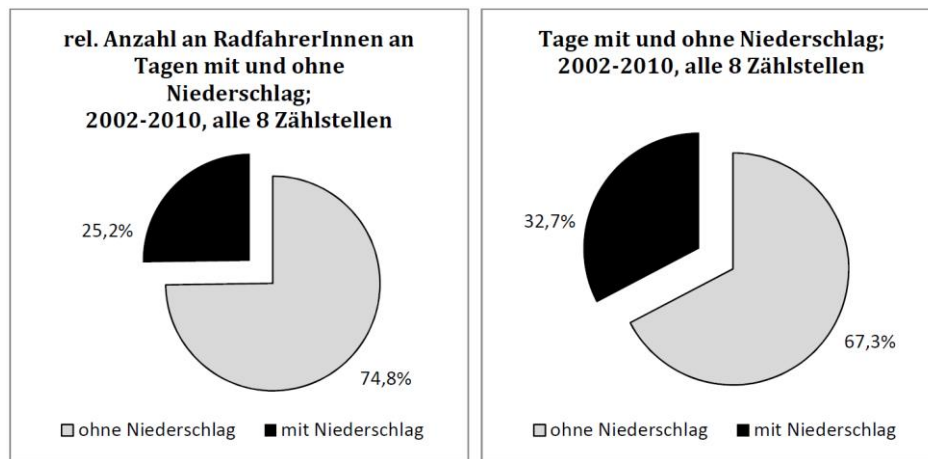


Abb. 8: links: Relative Anzahl an RadfahrerInnen an Tagen mit und ohne Niederschlag; 2002-2010 in Wien an Tagen mit und ohne Niederschlag, rechts: Anzahl Tage mit und ohne Niederschlag; 2002-2010 in Wien (Moosbrugger, 2013, S. 54)

Ergebnisse Temperatur:

Laut Moosbrugger ist die Temperatur der zweitgrößte Einflussfaktor bezüglich Witterung auf den Radverkehr in Wien. Dabei spielen neben kalten Tagen auch Hitzetage, somit alle Extreme, eine Rolle. Das Auftreten von Kombinationen aus niedrigen Temperaturen und Niederschlag scheint die Radfahrenden besonders stark zu beeinflussen.

Der Vergleich der mittleren Monatstemperatur mit der Anzahl der Radfahrenden zeigt eine starke Korrelation. Dieser Zusammenhang gilt bis auf kleine Abweichungen sowohl für den Werktags- als auch für den Freizeitverkehr. Steigt die Lufttemperatur, kann mit einer Zunahme der Radverkehrsmenge gerechnet werden. Die meisten Radfahrer und Radfahrerinnen pro Stunde wurden im Temperaturbereich 30-34,9 °C gezählt. Berücksichtigt man allerdings die Häufigkeit der Wettersituationen, zeigt sich, dass die meisten Radfahrenden im Temperaturbereich 15 bis 30 °C auf den Straßen unterwegs waren (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 55 ff.). Moosbrugger schreibt (2013, S. 58): „Stunden mit über 30 °C Lufttemperatur sind eine Seltenheit in Wien und dementsprechend weniger relevant“. Ob diese Aussage aufgrund des Klimawandels noch stimmt, ist anzuzweifeln. Durch den laufenden Temperaturanstieg erhöht sich somit die Anzahl der Stunden und Tage mit optimalen Temperaturbereichen für den Radverkehr.

Ergebnisse Windgeschwindigkeit:

Es wird in der Masterarbeit (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 61) auch der Einfluss der Windgeschwindigkeit bearbeitet. Dieser Wetterparameter wird gegenüber dem Niederschlag und der Temperatur als weniger ausschlaggebend bezeichnet. Ab einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s oder 10,8 km/h sinkt die Anzahl an Radfahrenden pro Stunde bei steigender Windgeschwindigkeit. Die Radverkehrsstärke sinkt bei 10 m/s um zirka 50 Prozent gegenüber Windstille.

Judith Köberl, Dominik Kortschak (2019) Joanneum Research: Climate-fit.city. Active Mobility – Vienna

Das Joanneum Research hat auf Datengrundlage der Bike Citizens Fahrrad- App und einigen berücksichtigten Dauerzählstationen in Wien den Wittereinfluss auf das Radfahren untersucht. Dabei wurde das städtische tägliche Radverkehrs-Volumen (BVT) mit einem Modell beschrieben. Der Fokus liegt auf dem Pendlerverkehr und auf den Wochentagen Montag bis Freitag ohne Ferien. Die Daten wurden als Tagessummen der Anzahl gemessener Radfahrende verwendet. Als Einflussparameter wurde neben der Anzahl an Bewohner und Bewohnerinnen der Stadt und einigen kalenderbezogenen Faktoren die Anzahl der Tageslichtstunden pro Tag berücksichtigt. Als

Wetterparameter wurden der WBGT-Index (beschreibt Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonneneinstrahlung für den Menschen), maximale Windgeschwindigkeit und Anzahl der Stunden Niederschlag größer 0,1mm in dem Zeitraum 6:00 bis 20:00 Uhr angegeben. Die Schneetiefe in cm wird für die Zeit um 7:00 Uhr angegeben.

In der nachfolgenden Grafiken werden die relativen Auswirkungen auf den Radverkehr in Wien durch die zuvor genannten Wetterparameter dargestellt. Auf der vertikalen Achse ist das höchste tägliche Radverkehrsvolumen mit 1,0 eingetragen. Die schwarze Linie beschreibt den Erwartungswert. Die grau schraffierte Fläche gibt das Konfidenzintervall an, in dem der Wert liegen soll. Zusätzlich werden die Perzentil-Werte je Grafik angegeben. Die Auswertung wurde für den Zeitraum 2011 bis 2016 für ausgewählte Dauerzählstellen in Wien durchgeführt.

Das Modell wurde mittels einer schrittweisen Regression erstellt und anschließend manuell verfeinert. Es wurde auf eine Log-Linear Regressionsfunktion (siehe Kapitel 5.3) zurückgegriffen. Das dafür verwendete Modell weist ein adjustiertes R^2 von 0,944 auf (vgl. Köberl & Kortschak, 2019, S. 12 ff.).

Nachfolgend werden Daten einiger ausgewählten Wiener Dauerzählstationen in einer vergleichbaren Zeitspanne verwendet. Dabei wird nur auf Wochentage von Montag bis Freitag zurückgegriffen. In der Abbildung (**Abb. 9**) ist links oben (a) die Kurve der Auswirkung der Lufttemperatur erkennbar. Bei extremen Temperaturen wird das Konfidenzintervall, in welchem die Erwartungswerte liegen, jeweils größer. Auch eine Abnahme der Radverkehrsstärke bei sehr hohen Temperaturen ist abgebildet. Die Windgeschwindigkeit in (b) zeigt einen geringen Einfluss auf die Radverkehrsstärke mit steigenden Abweichungen bei hohen Geschwindigkeiten. In (c) wird der Effekt der Niederschlagsdauer präsentiert. Hier ist ein großer Einfluss auf den relativen Radverkehrsanteil zu erkennen. Noch drastischere Auswirkungen, vor allem bei geringen Mengen, bringt der Schnee mit sich (d). Bereits eine geringe Menge Schnee lässt den Anteil an Radfahrenden schlagartig absinken. Ebenso ist das Konfidenzintervall und somit die Abweichung, mit der zu rechnen ist, sehr groß.

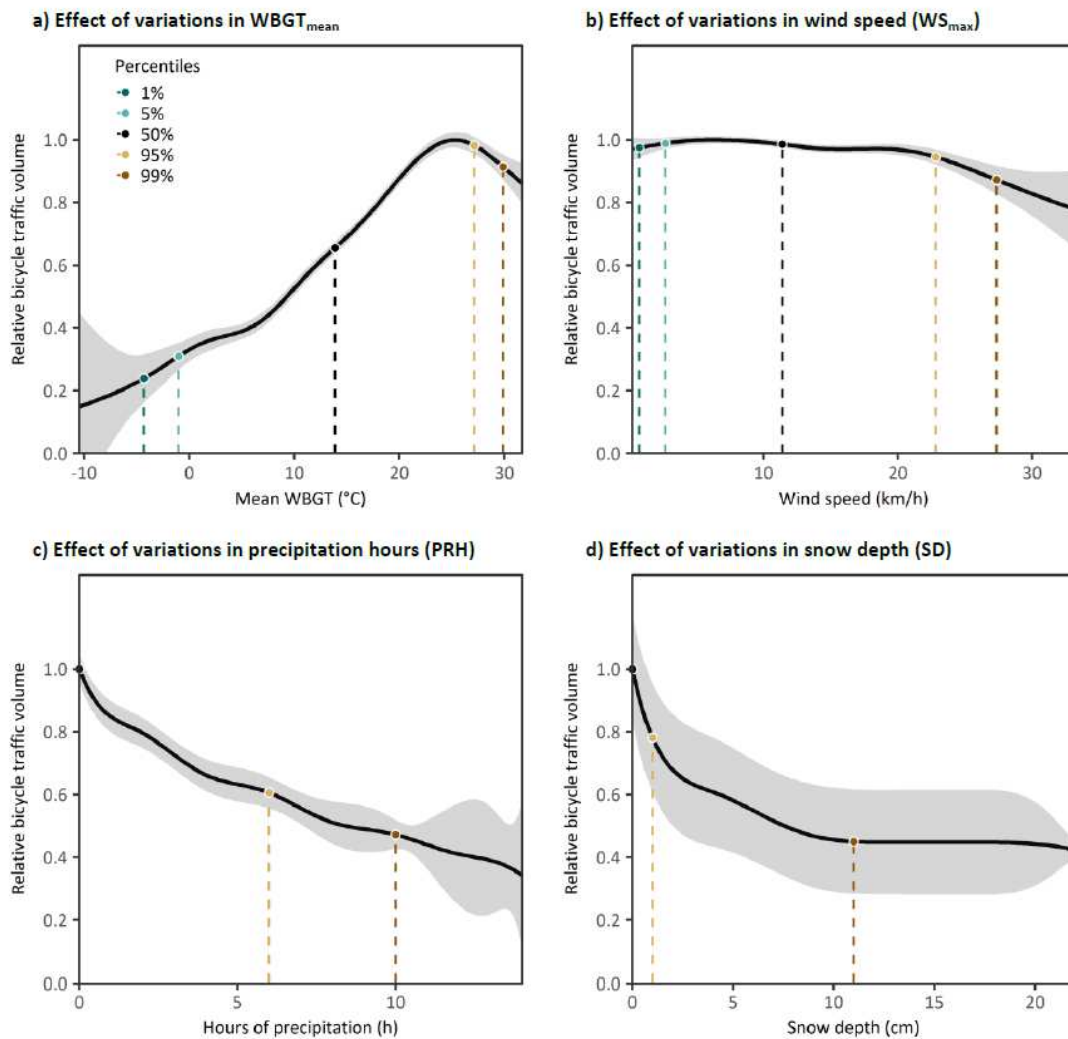


Figure 6: Effect of variations in MET indicators on the city’s daily BTV, where BTV is measured in terms of counts at considered counting stations. The plots refer to workdays only. Period of model calibration: 2011-2016. Plot design based on Mari-Dell’Olmo et al. (2018).

Abb. 9: Einfluss Wetter auf tägliche Radverkehrs-Volumen (BVT) in Wien, 2011-2016, a) WBGT (ca. Temperatur), 6:00-20:00 Uhr; b) Windgeschwindigkeit, 6:00-20:00 Uhr; c) Stunden Niederschlag >0,1 mm, 6:00-20:00 Uhr; d) Schneehöhe in cm, 7:00 Uhr (Köberl & Kortschak, 2019, S. 15)

In der Tabelle (**Tab. 1**) wird die Abbildung (**Abb. 9**) in Zahlen gefasst dargestellt. Es werden Abweichungen von Referenzwerten in prozentuellen Änderungen der Radverkehrsstärke angegeben. Bei Lufttemperaturen unter 10 °C sind nur noch halb so viele Radfahrende unterwegs wie beim Referenzwert von ca. 25 °C. Bei einer Windgeschwindigkeit von 20 km/h fahren wetterbedingt nur 3 Prozent weniger Radfahrende als bei Windstille. Eine Niederschlagsdauer über 10 Stunden reduziert die Radverkehrsstärke um mehr als 50 Prozent. Auch der Schnee reduziert die Anzahl an messbaren Fahrrädern an den Stationen um bis zu mehr als die Hälfte.

Der Niederschlag wird nicht nur durch die Dauer repräsentiert, sondern allein durch die Tatsache des Vorkommens. Es wurde eine zusätzliche Auswertung angestellt, wo morgens, mittags und abends innerhalb von je drei Stunden der Effekt von nassen Wetterbedingungen gemessen wurden. In der Zeit von 6-9 Uhr werktags ist bei Niederschlagsmengen von größer 1 mm mit einem Rückgang von 31 Prozent zu rechnen. In den Zeiträumen 11 bis 14 Uhr und 16 bis 19 Uhr sinkt die Radverkehrsstärke um rund 23 Prozent (vgl.Köberl & Kortschak, 2019, S. 16).

Table 4: Effect of variations in MET indicators on the city's daily BTV, where BTV is measured in terms of counts at considered counting stations. Figures refer to working days only. Period of model calibration: 2011-2016.

WBGT _{mean} [°C]	Effect on BTV [compared to optimal WBGT conditions]	WS _{max} [km/h]	Effect on BTV [compared to optimal WS conditions]	PRH [h]	Effect on BTV [compared to optimal PRH conditions]	SD [cm]	Effect on BTV [compared to optimal SD conditions]
30	-9 %	0	±0 %	0	±0 %	0	±0 %
25	±0 %	10	-1 %	1	-15 %	1	-22 %
20	-12 %	15	-3 %	5	-37 %	5	-42 %
15	-30 %	20	-3 %	10	-53 %	10	-54 %
10	-47 %	25	-9 %	14	-66 %	20	-56 %
5	-61 %	30	-17 %				
0	-67 %						
-5	-77 %						
-10	-85 %						

Tab. 1: Einfluss Wetter auf tägliche Radverkehrs-Volumen (BTV) in Wien, 2011-2016, nur Arbeitstage (Montag-Freitag), Wetterparameter: Temperatur, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Schneehöhe (Köberl & Kortschak, 2019, S. 16)

2.6 Zusammenfassung der Literaturanalyse und Ableitung der Forschungsfrage

Bei der Literaturrecherche wurden viele Ratgeber und Tipps für das Radfahren im Winter gefunden. Bei winterlichen Bedingungen sind in Österreich die wenigsten Radfahrende unterwegs. Statt 9 Prozent aller Wege werden im Winter werktags nur 5 Prozent mit dem Fahrrad zurückgelegt. Nur rund 30 Prozent der Radfahrenden nutzen das Fahrrad als ganzjähriges Verkehrsmittel. In den Niederlanden liegt dieser Wert beinahe beim Dreifachen. Neben den Wintereinflüssen spielt der mögliche Niederschlag eine große Rolle. Pendelt jemand werktags jeweils in den Spitzenzeiten in Österreichs Landeshauptstädten, sind mehr als Dreiviertel aller Fahrten niederschlagsfrei. Die hierzu vorliegende Untersuchung zeigt jedoch große ortsabhängige Unterschiede bezüglich der Häufigkeit der Regenereignisse. Im internationalen Vergleich mit Amsterdam oder Kopenhagen ist Österreich mit weniger Regentage eigentlich besser für viel Radverkehr geeignet. Generell sind der Zeitpunkt, die Dauer und die Intensität des Niederschlages sehr ausschlaggebend für den Radverkehr. Die Lufttemperatur hat neben dem Niederschlag ebenfalls große Auswirkungen auf die Radverkehrsstärke. Eine eindeutige Zunahme von Radfahrenden bei steigender Temperatur findet sich in vielen wissenschaftlichen Untersuchungen. Ebenso ist ab einer Temperaturschwelle im oberen Bereich oft von stagnierenden Zahlen, oder sogar Rückgang, die Rede. Der Einfluss von Wind wird in nur wenigen Arbeiten behandelt. Negative Auswirkungen vom Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Radverkehr werden meist nicht genauer beziffert. Der erschwerende Einfluss Wind beim Radfahren ist im Gegensatz zu den anderen Wetterparametern jedoch physikalisch genau messbar. Subjektive Empfindungen bezüglich dem Wetter stimmen oft nicht mit der Wirklichkeit überein. Diese sind jedoch dafür verantwortlich, ob das Fahrrad „wetterbedingt“ stehengelassen wird oder nicht.

Diese Literaturergebnisse sind oft nur auf Basis tagesgenauer Zählraten oder Wetterdaten entstanden. Eine einheitliche stündliche Auswertung verschiedener Städte in Österreich wurde bisher nicht durchgeführt. Dies stellt eine Forschungslücke da, welche die Basis dieser Arbeit bildet. Die geringe Anzahl an Städten mit Stundenzählraten würde jedoch kein vergleichbares Gesamtbild für Österreich liefern. Deshalb wird in dieser Arbeit durch die Verknüpfung von stündlichen und tagesgenauen Daten versucht Zusammenhänge zu finden, welche alle vorhandenen Daten interpretierbar machen. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage: Inwiefern wirken sich meteorologische Einflüsse auf die Anzahl an Radfahrenden in Österreichs Städten aus. Die naheliegende Hypothese stellt in Frage, ob bei schlechtem Wetter weniger Radfahrende unterwegs sind. Weitere Hypothesen lauten, dass bei Regen sehr wenige Radfahrende unterwegs sind und bei hohen Temperaturen die Anzahl der Radfahrenden im Vergleich zu moderaten Temperaturen wieder abnimmt.

3 Beschreibung der auszuwertenden Daten

Auf Basis der bisher diskutierten wissenschaftlichen Arbeiten werden die folgenden Analysen durchgeführt. Mit dem Wechsel auf die stündliche Ebene werden neue Erkenntnisse im Zusammenhang zwischen dem Radverkehr und meteorologischen Einflüssen erwartet. Zusätzlich soll der Vergleich von mehreren österreichischen Städten zeigen, ob die Radfahrenden in den verschiedenen Städten gleich auf Wettereinflüsse reagieren.

3.1 Radverkehrszählraten

Im Jahr 2009 wurde eine Forschungsarbeit des Verkehrsplanungsbüros komobile mit dem Namen bike count durchgeführt. Ziel war es, die vereinzelt aufkommenden Radverkehrszählstellen im Land zu erheben und aus den bisher gesammelten Erfahrungen eine österreichweite Datenbank zu etablieren. Heute wie damals werden die Daten im Auftrag von Städten, Tourismuseinrichtungen und von Ländern erhoben. Somit entstehen punktuell gute Informationen über das Radaufkommen, jedoch ist eine übergreifende Vergleichbarkeit meist nur schwer möglich. Die vorhandenen Informationen sind 2009 und auch ein Jahrzehnt später zeitlich sowie räumlich sehr lückenhaft und aufgrund laufend neuer Inbetriebnahmen von Zählstationen schwer zu verarbeiten (vgl. komobile Verkehrsplanung Gmunden, 2009, S. 3 .ff).

Die Information über vorhandene Daten ist in den Bundesländern und Städten stark unterschiedlich. Auch der Zugang zu diesen Daten wird bei allen Trägern unterschiedlich gehandhabt. Von öffentlicher Bereitstellung der Rohdaten, über Ergebnisveröffentlichungen bis zu keinerlei Information kommt alles vor. Eine bundesweite Datenbank existiert leider ebenso wenig wie es gebündelte Informationen über aktuell existierende Dauerzählstellen für Radfahrende in Österreich mit deren Zuständigen gibt. Diese fehlenden Informationen erschweren eine Nutzung für Forschungs- und private Zwecke enorm und lassen viel vorhandenes Potenzial verloren gehen.

Schon in den Projektergebnissen der Forschungsarbeit bike count (2009) wurden Anforderungen an Radverkehrszählstellen von fix positionierten Dauerzählstellen formuliert. Die Erhebung der Anzahl der Radfahrenden nach Fahrtrichtung ist bei den Daten der verwendeten Städte großteils berücksichtigt. Eine empfohlene Echtzeiterhebung oder eine Aggregation im Intervall von 15 Minuten wurde lediglich in Salzburg umgesetzt beziehungsweise sonst nicht der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Zusatzinformationen wie Witterungen wurden bei der Hälfte der Datensätze ergänzt, jedoch jeweils nach eigenen Kriterien. Weitere Informationen wie Baustellen, wetterbedingte Ausfälle und Störungen wurden nur in Einzelfällen angemerkt. Die genaue Situierung der Zählstellen im Netz ist für ortsunkundige Personen nur sehr schwer herauszufinden. Manche Städte haben dies mit Karten oder Fotos gut und nachvollziehbar dokumentiert. Zur Platzierung der Zählstellen werden ebenfalls einige Kriterien empfohlen, die zu einer Repräsentativität führen sollen. Darunter findet sich die Forderung nach einer klaren Typisierung, ob es sich vorwiegend um Alltagsradverkehr, Freizeitradverkehr oder um eine touristische Route handelt. Dadurch wäre es für ortsunkundige Personen möglich, Stationen und Städte besser vergleichen zu können und Hochrechnungen anzustellen (vgl. komobile Verkehrsplanung Gmunden, 2009, S. 4 .ff).

Dauerzählstellen sind für die Dokumentation von Radverkehr sehr wichtig. Damit können auch saisonale Schwankungen in Zahlen gefasst werden. Durch wetterbedingte Einflüsse funktionieren Anlagen im Winter jedoch ungenau. Bei Anschaffung von neuen Anlagen sollte auf die Wintertauglichkeit geachtet werden. In Vorarlberg erzielen die Zählstellen eine Genauigkeit von über 98 Prozent. Somit sind händische Plausibilitätschecks überflüssig (vgl. Illek & Zientek, 2015b, S. 50).

3.1.1 Erhebungstechniken

Dauerzählstellen können mit unterschiedlichster Technologie die Anzahl der Radfahrenden erfassen. Radar (Überkopfradar, Seitenradar), Induktion oder Laser kommen hierfür neben vielen weiteren Technologien zum Einsatz. Die Verwendung nur einer Technologie für alle Zählstellen in Österreich ist nicht zwingend notwendig. Die jeweiligen Vor- und Nachteile können als Entscheidungsgrundlage bei der Errichtung für den gewählten Standort genutzt werden. Wichtiger ist, dass die gewonnenen Daten anschließend kompatibel ausgegeben werden. Die Datenqualität kann durch Minimierung der Störeinflüsse wie Witterung, andere Verkehrsteilnehmende (Vermeidung von Mischverkehr) und Eigenheiten des Standortes (möglichst gerade und eingeschränkter Querschnitt) gesteigert werden. Generell soll bei der Geräthewahl auf eine hohe Erfassungsgenauigkeit, auf Witterungsunabhängigkeit und auf Ganzjahrestauglichkeit geachtet werden (vgl. komobile Verkehrsplanung Gmunden, 2009, S. 10 .ff).

Zeiträume, in denen wetterbedingt keine Messungen möglich sind weil die Zähleinrichtung ausgefallen ist, machen eine Verarbeitung der Daten schwieriger und können Ergebnisse verfälschen, insbesondere beim Vergleich von Zähl- und Wetterdaten.

3.1.2 Beschreibung der gewählten Städte

Für diese Arbeit wurden Städte in Österreich gewählt, welche über mehrere fixe Radverkehrsdauerzählstellen verfügen und diese Daten auch bereitstellen. Zusätzlich müssen sie über einen Zeitraum von länger als ein Jahr betreiben werden, damit ausreichend Datenmaterial zur Verfügung steht. Durch diese Limitationen verbleiben sieben Städte in Österreich, die von West nach Ost über das Land verteilt sind. Dadurch sollen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Radfahrenden in Österreich in Bezug auf die Wetterempfindlichkeit herausgefunden werden. Ein Eindruck über die Verkehrsmittelwahl in den jeweiligen Städten wird durch die letzte „Österreich Unterwegs“-Erhebung 2013/2014 gegeben. Diese Erhebung zeigt allerdings nur den Anteil an Radfahrenden je Bundesland und nicht der einzelnen Städte. Daten über die Verkehrsmittelwahl aus den sieben Städten werden nicht einheitlich erhoben und sind nicht für alle aktuell erhältlich und somit schlecht untereinander vergleichbar. Aus dem Diagramm (**Abb. 10**) kann OÖ für Linz und Wels, S für Salzburg, ST für Graz, T für Innsbruck, V für Bregenz und W für Wien als Modal Split Anteil der behandelten Städte gelesen werden.

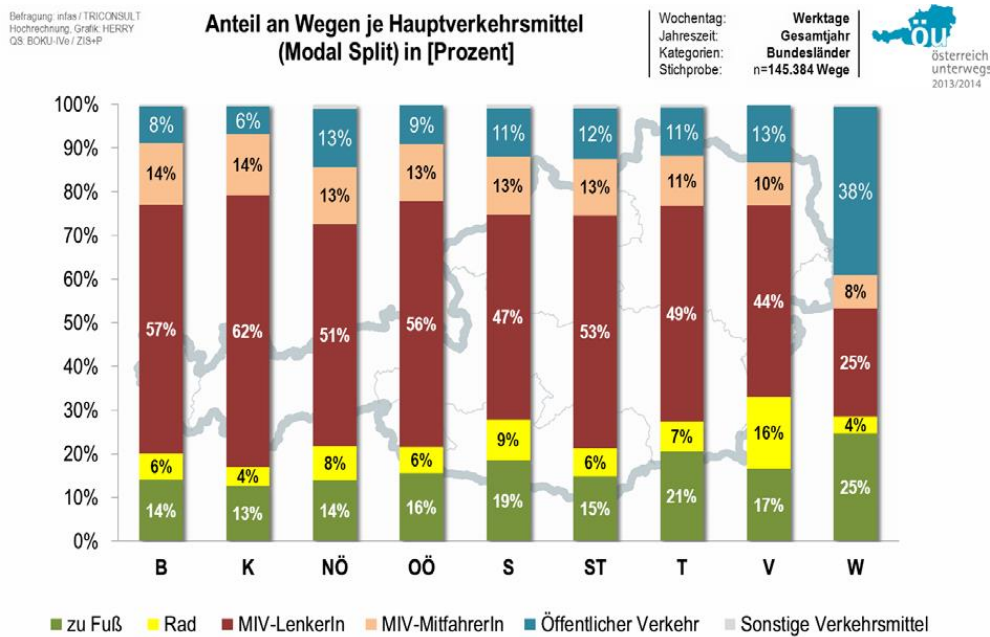


Abb. 10: Modal Split der einzelnen Bundesländer in Österreich (HERRY Consult GmbH, 2016, S. 78)

Bevölkerungszahl und Zahl der Einwohnenden pro Fläche (**Tab. 2**) geben einen Eindruck über die Bevölkerungsdichte der betrachteten Städte. In dicht besiedelten Gebieten sind die Verkehrsflächen beschränkt und oft nur kurze Wege notwendig. Diese sind Punkte, wo der Radverkehr seine Stärken ausspielen kann. Ob dies tatsächlich zutrifft hängt von weiteren Faktoren der Raumplanung ab.

	Einw. Zahlen aus Bevölkerungsregister 2019	Fläche [km ²]	EW/km ²
Bregenz	29.698	29,78	997
Innsbruck	132.110	104,81	1.260
Salzburg	154.211	65,64	2.349
Wels	61.727	45,88	1.345
Linz	205.726	95,99	2.143
Graz	288.806	127,48	2.266
Wien	1.897.491	414,87	4.574

Tab. 2: Übersicht Bevölkerungszahlen und Fläche der ausgewerteten Städte (vgl. Liste der Städte in Österreich)

3.2 Beschreibung der einzelnen Zählstellen

Bregenz

Die Radverkehrszählraten der mittlerweile 19 Dauerzählstellen des Bundeslandes werden vom Amt der Vorarlberger Landesregierung zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um acht Zählstellen in Bregenz, sechs im nahen Umkreis und fünf, welche außerhalb von Bregenz liegen. Die Daten werden stündlich oder tagesgenau aufgezeichnet. Die gefahrene Richtung der Radfahrenden wird immer ermittelt. Der Zeitraum der vorhandenen Daten liegt zwischen 2012 und 2018. Für die Auswertung werden nur 8 Zählstellen von den möglichen 19 verwendet. Die Reduktion auf nur wenige Stationen kommt durch die Verwendung von ausschließlich stündlichen Aufzeichnungen, dem Weglassen von Stationen im weiten Umkreis und derjenigen, die einen zu kurzen Aufzeichnungszeitraum besitzen (vgl. Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2019).

Innsbruck

Radverkehrsdaten der Stadt Innsbruck werden vom Stadtmagistrat der Abteilung Verkehrs- und Umweltmanagement bereitgestellt (vgl. Stadtmagistrat Verkehrs und Umweltmanagement, 2019). Hierbei handelt es sich um stündliche Aufzeichnungen des Jahres 2018 von vier Zählstationen inklusive Richtungsabhängigkeit.

Salzburg

Die Stadt Salzburg hat die Radverkehrszählungen der sechs Dauerzählstationen der Jahre 2012-2019 für die Arbeit bereitgestellt. Die Zählungen werden stündlich und richtungsabhängig zur Verfügung gestellt. Im Jahr 2019 kommt es in den Daten aufgrund einer Baustellensperrung am rechten Staatsbrückenkopf der Radunterführung (betr. Zählstelle Giselakai) zu untypischen Verschiebungen (vgl. Stadt Salzburg, 2019).

Wels

In Wels wird die Radverkehrszählung von Siemens Mobility GmbH übernommen. Durch die Unterstützung der Radfahrbeauftragten der Stadt Wels werden die Daten zur Verfügung gestellt. In Wels stehen bis dato drei Messstationen zur Verfügung. Es werden Daten für den Zeitraum 2017-2019 in stündlicher Genauigkeit und ohne Richtungsunterscheidung bereitgestellt (vgl. Siemens Mobility GmbH, 2019).

Linz

Im Großraum Linz gibt es in Summe fünf Zählstellen. Die Zählstellen Nibelungenbrücke, Eisenbahnbrücke und eine am Donauradweg werden von der Stadt Linz selbst betrieben. An diesen Stationen werden die Radfahrer in Tagessummen und richtungsunabhängig gezählt. Die Daten werden vom Radfahrbeauftragten der Stadt Linz zur Verfügung gestellt (vgl. Radfahrbeauftragter der Stadt Linz, 2019).

Bei diesen Daten ist jedoch zu beachten: „Auf der Nibelungenbrücke betreibt die Stadt Linz Radverkehrszählstellen (beim Neuen Rathaus und beim AEC). [...] wobei aufgrund der Situierung der Zählstellen jene Radfahrer, die über den AEC-Fußgängerabgang auf- und abfahren, nicht erfasst werden, ebenso radeln bei höherem Aufkommen teilweise Radfahrende rechts an der Säule beim Neuen Rathaus und somit an der Zählstelle auf der stromaufwärtigen Seite vorbei.

Auf der ehemaligen Eisenbahnbrücke hat die Stadt Linz auch eine Radverkehrszählstelle betrieben (bis Feb. 2016, da wurde ja dann die Brücke auch für Radfahrer gesperrt).“

(Hummer, 2019)

Bei den Radverkehrszählstellen Steyregger Brücke und Puchenau handelt es sich um tagesgenaue Messstationen, die mit Hilfe von Induktionsschleifen auch die Richtung der Fahrradfahrenden aufzeichnen. Für diese Dauerzählstellen werden Daten von 2017-2019 übermittelt. Die Zählstellen liegen alle im nahen Umkreis von Linz (vgl. Amt der Oö. Landesregierung, 2019).

Graz

Die Stadt Graz hat Radverkehrszählungen von fünf Stationen in Form von Tagesdaten über den Zeitraum 2013-2018 bereitgestellt. Die Daten werden richtungsabhängig erfasst und die zum Zentrum führenden Routen sind im Datensatz speziell gekennzeichnet (vgl. Stadt Graz Abteilung für Verkehrsplanung Radverkehr, 2019).

Wien

In der Stadt Wien wird seit 2011 die Radverkehrszählung von der nast consulting ZT GmbH durchgeführt. Die Daten werden online frei zur Verfügung gestellt. Dadurch stehen Daten bis zum Jahr 2019 zur Verfügung. Die Methode der Erfassung der Nutzer und Nutzerinnen basiert auf Induktionsschleifen in der Fahrbahn der Radverkehrsanlage. Derzeit sind in Wien 14 Zählstellen

mit tagesgenauen und richtungsabhängigen Daten in Betrieb (vgl. nast consulting Ziviltechnikerges.m.b.H).

3.3 Wetterdaten und Standorte der Wetterstationen

Für die Auswertung der Wettereinflüsse auf die Radzählraten wird zu jeder der sieben betrachteten Städte eine repräsentative Wetterstation gesucht (Tab. 3). Die Wetterdaten werden für den Zeitraum der jeweils zur Verfügung stehenden Radverkehrszählraten in stündlicher Auflösung auf Anfrage von der Zentralanstalt für Meteorologie (ZAMG) übermittelt. Bei den Daten handelt es sich um sechs Wettereigenschaften, welche stündlich automatisch erfasst werden. Zusätzlich werden durch Beobachtende sieben weitere Tageswerte je Messstelle notiert. Die Tageswerte sind für die Stadt Wels nicht verfügbar. Es sind keine Fehlzeiten vorhanden. Die Aufzeichnung der Wetterdaten werden mit dem Zeitstempel MEZ (UTZ + 1) gespeichert. Um die Wetterdaten mit den Zählraten verknüpfen zu können und vergleichbar zu machen, werden alle Datensätze auf den gleichen Stand gebracht (vgl. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2019).

	Klimastationsnummer:	Seehöhe:	Breite:	Länge:
Wien-Hohe Warte	5904	198 m	48.24861111°	16.35638889°
Linz- Stadt	3202	262 m	48.29638889°	14.28527778°
Wels- Schleißheim	4905	309 m	48.16277778°	14.07138889°
Graz- Universität	16412	367 m	47.07777778°	15.44888889°
Salzburg- Freisaal	6305	419 m	47.79111111°	13.05416667°
Bregenz	11104	424 m	47.49916667°	9.74611111°
Innsbruck- Univ.	11803	578 m	47.26°	11.38416667°

Tab. 3: Übersicht verwendete Wetterstationen der ZAMG mit Seehöhe und genauer Lage

3.3.1 Beschreibung der verwendeten Wetterparameter

Die von der ZAMG zur Verfügung gestellten Wetterdaten werden mit den Einheiten laut Tabelle (Tab. 4) in die Auswertung übernommen. In den Auswertungen werden die Abkürzungen, die in der Tabelle angeführt sind, verwendet. Falls Tabellen oder Grafiken mit abweichenden Einheiten vorkommen, wird dies gesondert vermerkt.

Legende					
Abkürzung	Wetterparameter	Zeitpunkt	Einheit	Fehlwert	Anmerkung
Lufttemp	Lufttemperatur (2 m über Grund)		°C	---	
Niederschl	Niederschlagsmenge		mm	---	Einheit [mm] entspricht Liter pro Quadratmeter
Windgesch	Windgeschwindigkeit		m/s	---	
Windrich	Windrichtung		°	---	in 360 Grad
rel Feucht	relative Feuchte		%	---	
Sonnenschein	Sonnenscheindauer		h	---	
schnee	Gesamtschneehöhe	7 Uhr MEZ	cm	---	-1 = kein Schnee (0 = < 0.5 cm)
schnee_a	Gesamtschneeart	7 Uhr MEZ		---	code_schneea
neuschnee	Neuschneehöhe	7 Uhr Vortag - 7 Uhr MEZ	cm	---	-1 = kein Schnee (0 = < 0.5 cm)
bew07_m	Bedeckungsgrad	7 Uhr MEZ	1/10	---	
bew14_m	Bedeckungsgrad	14 Uhr MEZ	1/10	---	
bew19_m	Bedeckungsgrad	19 Uhr MEZ	1/10	---	vor 1971 = 21 Uhr MEZ bzw. MOZ
bewmit	Bewölkungsmittel		1/100	---	Berechnung = $10 * (B7 + B14 + B19) / 3$

Codierung der Gesamtschneeart (schnee_a)	
0	keine Schneedecke
1	Flecken
2	durchbrochene Schneedecke
3	normale Schneedecke

Tab. 4: Legende für die verwendeten Wetterparameter der ZAMG

3.3.2 Unterschied Bewölkungsgrad/-mittel und Sonnenscheindauer

Der Unterschied dieser beiden Wettereigenschaften liegt vor allem in der Datenerhebung. Während das Bewölkungsmittel händisch beurteilt wird und den gesamten „Himmelszustand“ in der Einheit 1/100 angegeben wird, ist die Sonnenscheindauer ein punktuell mittels Messgerät ermittelter Wert mit der Einheit Stunde (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 27). Zusätzlich wird der Bewölkungsgrad in einer Momentaufnahme um 7, 14 und 19 Uhr gemessen und ausgegeben. Durch die Ähnlichkeit der Parameter Bewölkung und Sonnenschein ist es für die Auswertung besser, nur einen der beiden heranzuziehen (vgl. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2019).

3.3.3 Einteilung Niederschlagsmenge pro Stunde in Kategorien

Um den Wetterparameter Niederschlag für die Auswertung in Kategorien zusammenzufügen wird auf folgende Definition zurückgegriffen, welche die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik verwendet. Hierfür konnte mir leider keine Literaturangabe mitgeteilt werden, jedoch stimmt diese Einteilung großteils mit derjenigen auf Wikipedia überein (vgl. Koppe et al. 1999, zit. n. Regenformen).

- leichter Regen bis zu 0,5 mm/Stunde
- mäßiger Regen 0,5 mm – 4 mm/Stunde
- starker Regen über 4 mm/Stunde
- (sehr starker Regen über 10 mm/Stunde)

4 Beschreibende Statistik

4.1 Radverkehrszähldaten

In Summe stehen 629 906 Stunden mit gültigen Zähldaten von verschiedensten Stationen aus den vier Städten, die stundengenaue Daten liefern, zur Verfügung. Um einen Überblick der vorhandenen Daten zu bekommen, kann die Zahl der detektierten Anzahl an Radfahrenden in der Tabelle (Tab. 5) eingesehen werden. Hierbei zeigt sich, wie viele Radfahrer im Städtevergleich unterwegs sind. Da die Anzahl der Zählstellen in den Städten unterschiedlich ist (siehe Tab. 8), hilft der Wert Durchschnitt pro Zählstelle die Städte zu vergleichen. Diese Zeile wurde mithilfe eines gemittelten Werts der Anzahl an Zählstellen pro Jahr errechnet. Trotz der verbesserten Vergleichbarkeit kann keine Aussage über die tatsächliche Anzahl an Radfahrenden pro Stadt oder eine Reihung der Fahrradstädte vorgenommen werden.

Anzahl Radfahrer/Stunde	Bregenz	Innsbruck	Salzburg	Wels
Durchschnitt	28,2	96,7	101,0	5,5
Anzahl Zählstellen	8	4	6	3
Durchschnitt/Zählstelle	4,2	24,2	21,3	1,8
Median	9	65	47	3
Standardabweichung	53,2	97,2	135,7	7,2
Interquartilsabstand	30	140	142	9

Tab. 5: Übersicht erhobene Daten Anzahl der Radfahrenden pro Stunde

4.2 Meteorologische Einflüsse

4.2.1 Lufttemperatur

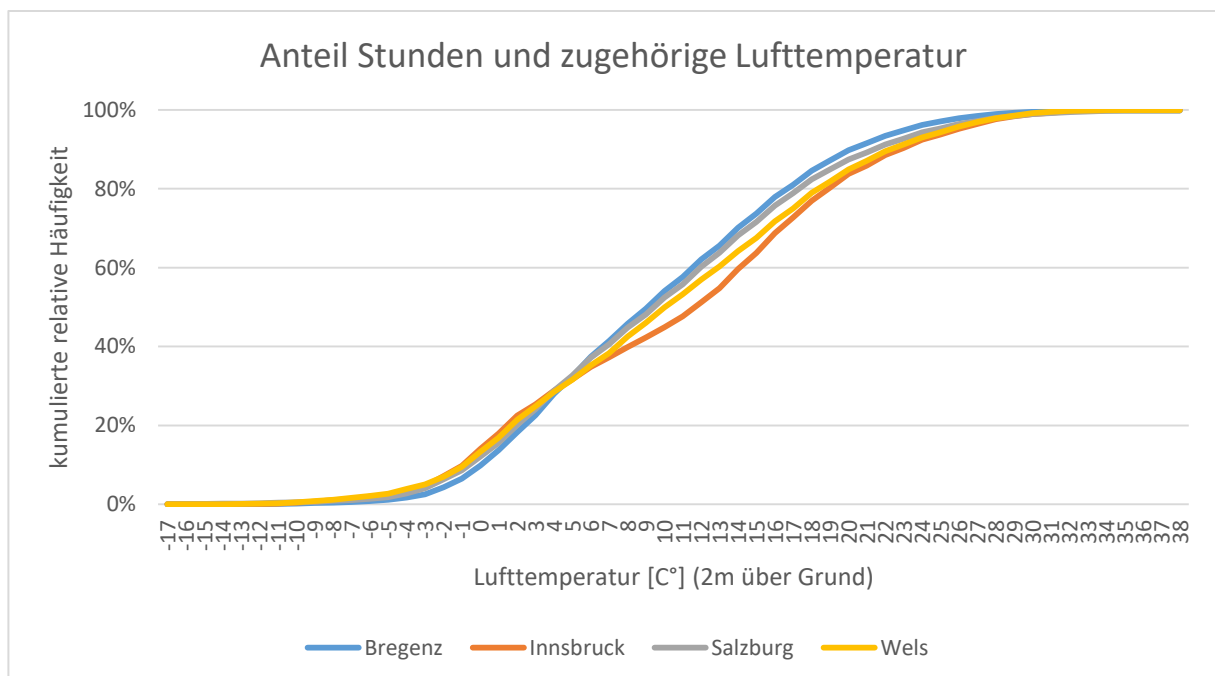


Abb. 11: Anteil Stunden und zugehörige Lufttemperatur gemessen 2 m über Grund für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels, Temperaturwerte werden auf ganze Zahlen gerundet

Die gemessene Lufttemperatur über alle Stunden (auch Nachtstunden, für die Zeiträume laut Abbildungserklärung auf Seite 5) für die vier Städte zeigt sehr ähnliche Ausprägungen. Der Anteil an Stunden, in denen die Temperatur bei Graden unter -4 °C liegt, ist pro Stadt unter 1 Prozent.

Ebenso machen Temperaturen, die über 25 oder 30 °C kommen, jeweils weniger als 1 Prozent der Daten aus. Generell wurden in Innsbruck mehr extreme Temperaturwerte gemessen als in den anderen Städten.

4.2.2 Niederschlag (Regenintensität)

Bei der Betrachtung jeder einzelnen Stadt sind zwischen 84 und 90 Prozent der Stunden niederschlagsfrei (Tab. 6). Salzburg und Bregenz haben den meisten Niederschlag. Starker Regen (4 bis 10 mm/h) tritt prozentuell gesehen ebenfalls in Salzburg und Bregenz öfter auf. In Wels und Innsbruck sind hiervon nur wenige Stunden betroffen. Sehr starke Regenereignisse sind prozentuell gesehen gleich null und somit vernachlässigbar.

Regenintensität Stadt	kein Regen 0 mm		leichter Regen 0 bis 0,5 mm		maessiger Regen 0,5 bis 4 mm		starker Regen 4 bis 10 mm		sehr starker Regen größer 10 mm		NA	Summe
Bregenz	218.847	85%	15.092	6%	20.969	8%	1.767	1%	185	0%	362	257.222
Innsbruck	31.160	89%	2.120	6%	1.652	5%	88	0%	8	0%	4	35.032
Salzburg	226.883	84%	18.477	7%	21.112	8%	1.577	1%	236	0%	547	268.832
Wels	61.803	90%	3.582	5%	3.030	4%	171	0%	27	0%	207	68.820
												629.906

Tab. 6: Übersicht Wetterdaten Regenintensität in Stunden

Die Niederschlagsmessung der ZAMG schlägt bei kleinsten Mengen an. Diese geringen Mengen sind oft kaum wahrnehmbar oder werden als nicht störend empfunden. Wenn die niederschlagsfreien Stunden um den Bereich Niederschlag kleiner oder gleich 0,1 mm/h erweitert wird, erhöht sich der Anteil der trockenen Stunden um 2 bis 3 Prozentpunkte. Zählt man die Stunden mit leichtem Regen und kein Regen zusammen, erhält man 92 bis 96 Prozent aller Stunden.

	kein Regen		≤0,1		≤0,5		Total
Bregenz	218.847	85%	225.082	88%	235.873	92%	257.222
Innsbruck	31.160	89%	32.188	92%	33.496	96%	35.032
Salzburg	226.883	84%	234.404	87%	247.722	92%	268.832
Wels	61.803	90%	63.324	92%	65.748	96%	68.820
							629.906

Tab. 7: Übersicht Wetterdaten Regenintensität Abstufung in Stunden

Generell fällt im Durchschnitt der vier betrachteten Städte und den vorhandenen Zeiträumen in 86 Prozent aller Stunden kein Niederschlag (Tab. 7). Wenn man eine relevante Niederschlagsmenge über 0,1 mm/Stunde heranzieht, sind es sogar nur 12 Prozent der Stunden, in welchen es regnet, schneit, oder hagelt. Bei einer stündlichen Niederschlagsmenge über 0,5 mm ändert sich die Anzahl der Stunden, wo dies zutrifft, auf zirka 7 Prozent.

4.2.3 Wind

Windgeschwindigkeit

Die Lage jeder Stadt erzeugt unterschiedliche Wetterphänomene. Diese können für den jeweils vorhandenen Zeitraum miteinander verglichen werden. Der Anteil der Stunden mit der zugehörigen Windgeschwindigkeit zeigt die Unterschiede in den Städten. Es wurden Windgeschwindigkeiten pro Stunde bis maximal 15,6 m/s gemessen. In der Grafik (Abb. 12) sind die Unterschiede in den Städten ersichtlich. Absolut windstill ist es seltener als vielleicht vermutet. Nur in Salzburg wird in 6 Prozent der aufgezeichneten Stunden kein Wind gemessen. In den anderen drei Städten lag der Wert bei weit unter einem Prozent. Generell verlaufen die Kurven für Bregenz, Innsbruck und Wels sehr ähnlich, die für Salzburg sticht mit vielen windarmen Stunden heraus. Welchen Einfluss die Position der Messeinrichtung bei den Stationen hat, ist leider nicht bekannt.

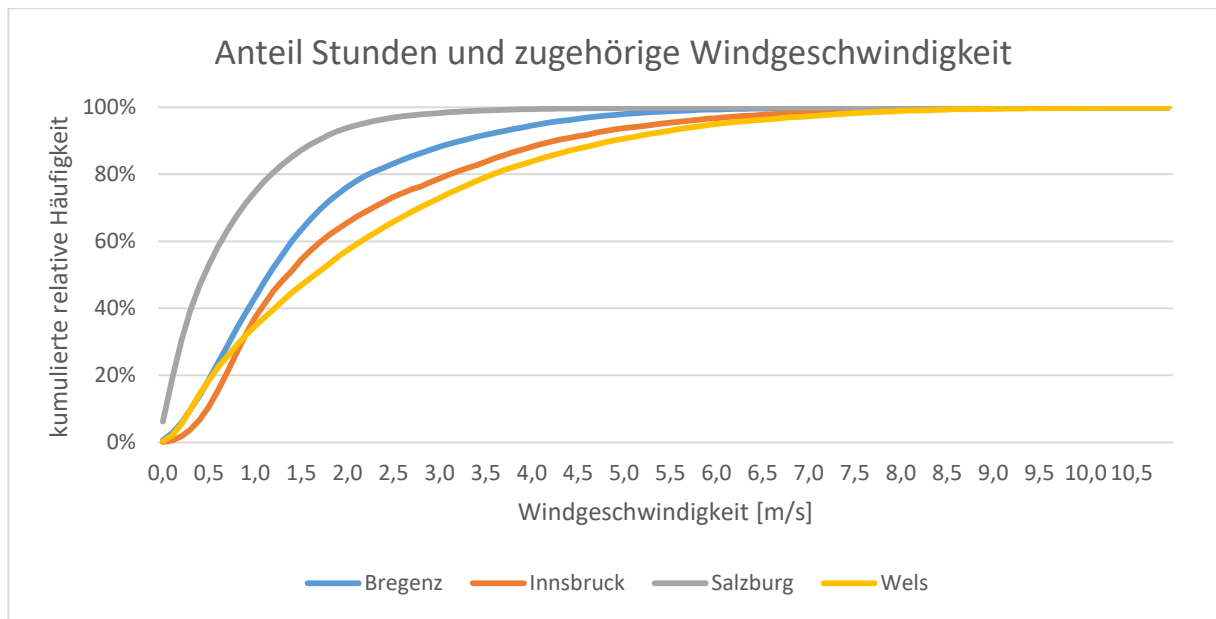


Abb. 12: Anteil Stunden und zugehörige Windgeschwindigkeit für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

Windrichtung

Mit den vorhandenen stündlichen Wetterdaten kann ebenfalls die Windrichtung nach Häufigkeit ausgegeben werden. Die Daten werden in 360 Grad Schritten angegeben. Dadurch ergeben sich sehr kleine Prozentwerte.

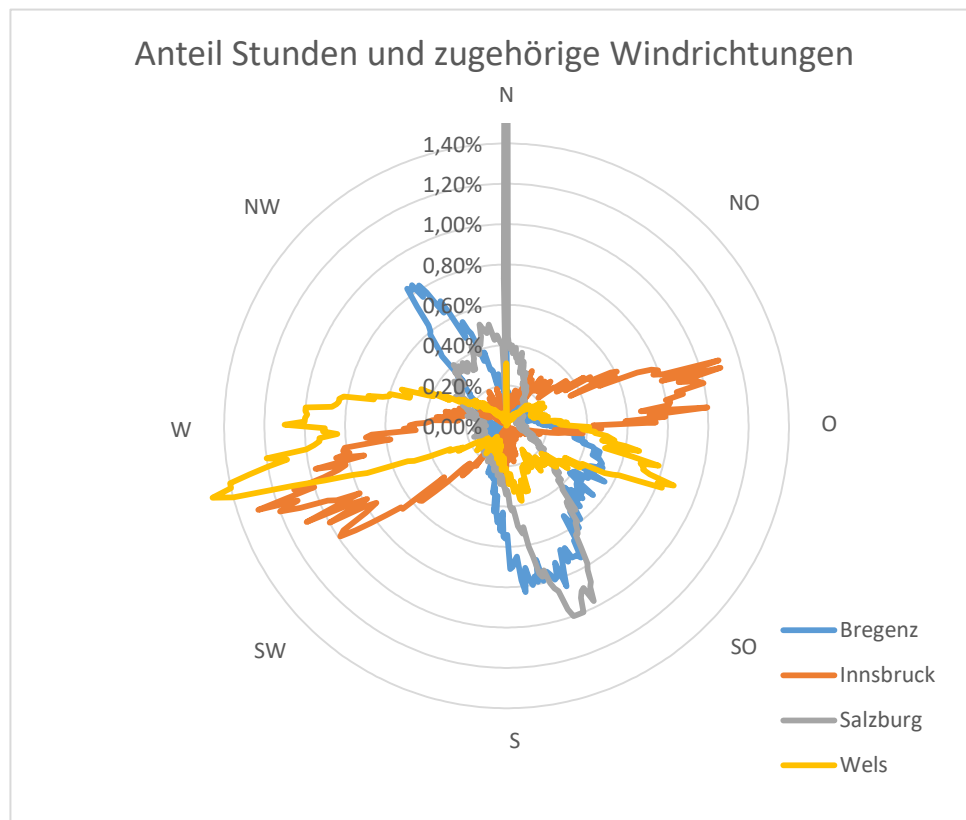


Abb. 13: Anteil Stunden und zugehörige Windrichtung nach Himmelsrichtungen für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

Dieser Wetterparameter ist für das anschließend verwendete Modell nicht relevant, jedoch kann durch die entstehende Grafik (**Abb. 13**) ein guter Eindruck über die Unterschiede in den Städten gewonnen werden. Der Ausreißer nach Norden in Salzburg lässt auf fehlerhafte Daten schließen. Salzburg und Bregenz haben die Hautwindachse eher auf der Nord-Süd-Richtung. Im Gegensatz zu Innsbruck und Wels, die hauptsächlich Wind aus der West- oder Ost-Richtung bekommen.

4.2.4 Relative Luftfeuchtigkeit

Die Verteilung der relativen Feuchte auf die vorhandenen Stundendaten stellt sich wie folgt in der Grafik (**Abb. 14**) dar. Hierbei sind Unterschiede zwischen den Städten erkennbar. In Bregenz und in Salzburg ist der Anteil an Stunden mit sehr hoher relativer Feuchte groß.

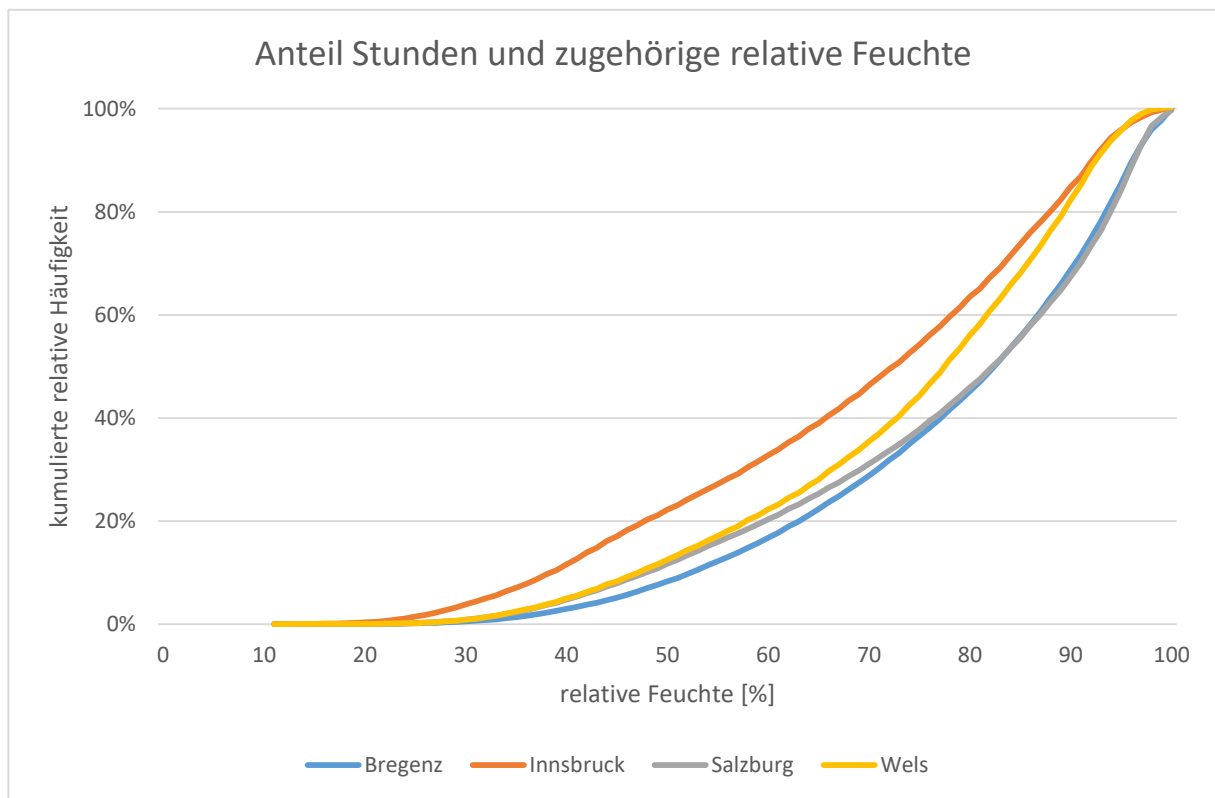


Abb. 14: Anteil Stunden und zugehörige relative Feuchte [%] für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

4.2.5 Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer wurde pauschal für die Zeit zwischen 7:00 und 16:59 Uhr in einem Diagramm (**Abb. 61**) ermittelt, damit keine Nachtstunden in den Bereich fallen. Trotz der genauen Aufschlüsselung ist die Mehrheit der Stunden entweder der Kategorie Sonnenschein oder kein Sonnenschein zuzuordnen. In fast allen betrachteten Städten ist zu 40 Prozent der Stunden eine Sonnenscheindauer von null Stunden und zu 30 Prozent eine Sonnenscheindauer von einer Stunde. Nur in Innsbruck sind diese beiden Werte umgekehrt.

4.2.6 Schnee

Die Datengenauigkeit für Schnee liegt lediglich bei Tagesdaten. Für die Stadt Wels werden leider keine Daten erhoben (siehe 3.3). Die Anzahl der Tage, an denen ein messbarer Schnee vorhanden ist, variiert in den Städten. In Bregenz liegt an 91 Prozent der Tage kein Schnee. In Innsbruck sind es 92 Prozent und in Salzburg 87 Prozent. In diesem Fall fällt Innsbruck mit den wenigsten Schneetagen auf. Dies ist vielleicht auf den kürzeren Datenzeitraum (nur Jahr 2018) zurückzuführen. Die verbleibenden Tage, an denen eine Gesamtschneedecke gemessen wird, werden in der Abbildung (**Abb. 15**) kumuliert nach der relativen Häufigkeit dargestellt. Auch hier fällt Innsbruck mit den geringsten Schneemengen auf.

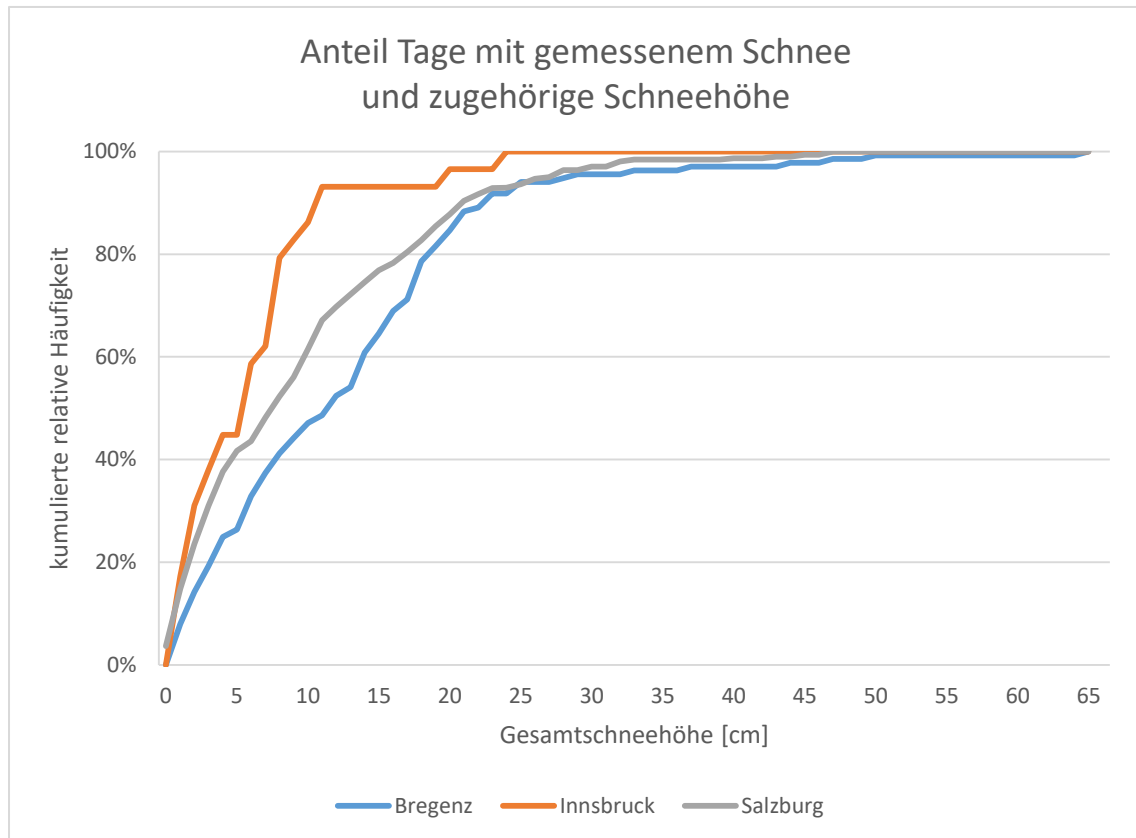


Abb. 15: Anteil Tage und zugehörige Gesamtschneedecke [cm] für die Städte Bregenz, Innsbruck und Salzburg (ohne Wels)

4.2.7 Bewölkung

Für den Wetterparameter Bewölkung sind ebenfalls nur Tagesdaten vorhanden. Diese sind für die Städte Bregenz, Innsbruck und Salzburg in der Grafik (**Abb. 16**) dargestellt. Es wird pro Tag zu drei Uhrzeiten der Bewölkungsgrad als Momentaufnahme ermittelt. Die Kurven der Städte um 7 Uhr sind im Vergleich zu den anderen beiden Uhrzeiten ziemlich ident. Zusätzlich wird auch ein Bewölkungsmittel angegeben. Spannend ist, dass die Bewölkung an den wenigsten Tagen gleich null ist. Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass im Vergleich zu den übrigen Städten für Salzburg in ca. 18 Prozent der Stunden keine Daten bezüglich der Bewölkungsparameter aufgezeichnet werden. Die Berechnung für das Bewölkungsmittel ist in der Tabelle (**Tab. 4**) angeführt.



Abb. 16: Anteil Tage und zugehörige Bewölkung um 7:00, 14:00, 19:00 Uhr [1/10] und zugehöriges Bewölkungsmittel [1/100] für die Städte Bregenz, Innsbruck und Salzburg (ohne Wels)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5 Auswertung der stündlichen Radverkehrszählraten

5.1 Aufbereitung der Daten

Von den vier Städten, welche die Radfahrenden im Stundentakt zählen, werden die Rohdaten der Dauerzählstellen und die zugehörigen Wetterdaten der vier Messstationen der ZAMG zusammengefügt. Das Ausgangsformat waren EXCEL-Tabellen. Diese werden in das Statistik Programm „R“ geladen und zu einem großen Datensatz zusammengefügt. Fehlende Werte bei den Zählstellendaten werden durch einen Wert infinitesimal klein (fast null) ersetzt, damit das Programm damit weiterrechnen kann und durch die vorgenommene Korrektur keine Veränderung des Ergebnisses entsteht. Es wird der bestehende minimale Fehler in den Zählraten in Kauf genommen, aber dafür die Vollständigkeit aller Stunden jedes Tages in den vorhandenen Zeiträumen gewährleistet. Dies ist wesentlich für die Auswertungen, da die Bezüge der Ergebnisse meist relativ geschehen. Einige Wettereigenschaften werden in manchen Stunden ebenfalls nicht erfasst und besitzen dadurch keine eingetragenen Werte. Es müssen alle Rohdaten bezüglich ihrer zeitmäßigen Erfassung vereinheitlicht werden, da bei manchen die Sommerzeitumstellung berücksichtigt werden und bei anderen nicht. Die Daten werden für die bevorstehende Auswertung in eine „long-table“ Form gebracht. Das bedeutet, alle Stationen mit der Information über die jeweils zugehörige Stadt und Wetter werden untereinander gereiht. In dieser Form lassen sich allgemeine Auswertungen der Daten am einfachsten durchführen.

Falsche Messdaten, so genannte „outliers“ werden mittels integriertem Befehl im Programm „R“ gesucht und markiert. Dabei kann es sich um fehlerhafte Daten aufgrund der Zählstelle handeln oder um tatsächlich aufgetretene Radfahrerströme bei Veranstaltungen, Baustellen oder Sperren. Egal aus welchem Grund diese Messwerte zustande kommen, handelt es sich hierbei um nicht alltägliche Vorkommnisse, welche nicht oder anders mit dem Wetter zusammenspielen. Deshalb werden die Auswirkung der ausreißenden Daten auf die Auswertungen überprüft, indem die Analyse mit und ohne den markierten Datenpunkten durchgeführt wird. Das Ergebnis zeigt, dass eine Eliminierung dieser geringen Anzahl an fehlerhaften Daten keine Veränderung für das ausgewertete Ergebnis bringt. Somit kann auf die Bereinigung der Daten bezüglich Ausreißer verzichtet werden, da das bewusste Weglassen von Teilen der Daten schnell zu einem nicht nachvollziehbaren Eingriff werden kann.

Die Tabelle (**Tab. 8**) zeigt die Anzahl der vorhandenen Daten der einzelnen Zählstellen. Wenn im Optimalfall für jede Stunde ein gültiger Messwert der Dauerzählstellen vorhanden ist, sind es 8760 Einträge (365 Tage * 24 Stunden). Neue Zählstellen werden üblicherweise nicht mit Jahresbeginn in Betrieb genommen und zählen dadurch weniger Einträge. Das betrifft nicht nur den Start der Zählstellen, sondern auch das Enddatum, für das die Messdaten zur Verfügung gestellt werden.

stadt	Station	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1 Bregenz	R9001	0	1.346	8.665	8.571	8.363	8.103	0	0
2 Bregenz	R9002	0	1.797	8.708	8.589	8.362	8.675	0	0
3 Bregenz	R9002_2	0	0	0	936	8.338	8.647	0	0
4 Bregenz	R9003	0	1.348	8.687	8.581	8.370	8.679	0	0
5 Bregenz	R9004	0	1.357	8.686	7.806	6.208	8.613	1.680	0
6 Bregenz	R9005	0	2.860	8.695	8.593	8.359	7.822	1.679	0
7 Bregenz	R9006	0	1.357	8.712	8.534	6.817	8.655	1.680	0
8 Bregenz	R9091	0	0	8.759	8.736	5.232	1.679	0	0
9 Innsbruck	Karwendelbrücke	0	0	0	0	0	0	8.760	0
10 Innsbruck	Prandtauerufer	0	0	0	0	0	0	8.760	0
11 Innsbruck	Totem Sillpark	0	0	0	0	0	0	8.760	0
12 Innsbruck	UNI Geiwi	0	0	0	0	0	0	8.760	0
13 Salzburg	Elisabethkai	0	6.912	8.760	7.229	5.363	8.760	8.755	3.662
14 Salzburg	Giselakai	0	7.224	8.760	8.300	8.784	8.760	8.760	3.383
15 Salzburg	Schanzlgasse	0	7.248	3.359	0	0	0	0	0
16 Salzburg	Staatsbrücke / Rudolfskai	1.793	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	4.223	4.218
17 Salzburg	Wallnergasse Bahnbegleitweg	0	8.568	8.760	8.760	7.183	6.149	8.760	4.391
18 Salzburg	Wilhelm-Kaufmann-Steg	0	7.753	6.544	8.468	6.672	5.650	8.760	4.391
19 Wels	VLSA_K24_Hans-Sachstraße - Handel Mazettistrasse	0	0	0	0	0	8.760	8.760	5.424
20 Wels	VLSA_K30_Dragonerstraße - Kienzlstraße	0	0	0	0	0	8.760	8.760	5.424
21 Wels	VLSA_K31_Dragonerstraße - Grüne Zeile	0	0	0	0	0	8.760	8.760	5.424

Tab. 8: Übersicht Zählraten Anzahl an Einträgen pro Jahr und Station inklusive Wetterdaten der ZAMG für die stündlich vorhandenen Daten

5.2 Deskriptive versus induktive Statistik

Der Begriff deskriptive Statistik kann mit Informationsverdichtung gegebener Daten beschrieben werden. Ein Beispiel dafür ist die Berechnung einfacher Mittelwerte. Die deskriptive Regressionsanalyse hat den Vorteil, dass der Zusammenhang von mehreren Variablen kompakt dargestellt werden kann.

Die induktive Statistik bietet die Möglichkeit, Schlussfolgerungen von einer beobachteten Stichprobe auf eine nicht beobachtbare Grundgesamtheit zu ziehen. In der Ökonometrie wird fast ausschließlich die induktive Statistik verwendet (vgl. Universität Innsbruck, S. 2 f.)

Deskriptive Statistik kann gut für die Interpretation der Einwirkung verschiedener Wetterparameter hergenommen werden. Mit dieser Information kann anschließend das induktive Regressionsmodell verbessert werden.

5.3 Angewendetes Modell

Für die Auswertung der Einwirkung des Wetters auf die Radverkehrszählraten wurde auf ein Log-Linear-Regressionsmodell zurückgegriffen, auch Log-Level-Modell genannt. Dieses Modell wird auch in einer vergleichbaren Arbeit angewendet und zählt zu den verallgemeinernden linearen Modellen (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 44 ff.).

Das Modell beschreibt immer lineare Zusammenhänge, auch wenn nicht lineare Variablen verwendet werden. Es handelt sich um eine sogenannte multiple Regression, welche versucht eine abhängige Variable durch mehrere unabhängige Variablen zu beschreiben. Nullen, welche nicht logarithmiert werden können, werden durch eine infinitesimal kleine Zahl ersetzt (Kapitel 5.1).

Die Formel dafür lautet (Lst Ökonometrie, Uni Regensburg, 2012):

$$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + u$$

Hier wird nur die abhängige Variable y (Anzahl der Radfahrenden) auf der linken Seite der Formel logarithmiert. Alle auf der rechten Seite erklärenden Variablen x_1, x_2, \dots werden nicht logarithmiert. Der Term β_0 (Intercept) beschreibt den Schnittpunkt oder auch Spurpunkt genannt. Die weiteren Beta Werte stehen für die Einflussvariablen. Der Buchstabe „ u “ stellt eine Zufallsvariable dar.

Das Ergebnis ist wie folgt zu interpretieren:

„Erhöht man x um eine Einheit, so verändert sich (c. p.), im Durchschnitt y
approximativ um $100 * \beta_1\%$.

Erhöht man x um eine Einheit, so verändert sich (c. p.), im Durchschnitt y
exakt um $100 * (e_1^\beta - 1)\%$

Unterschiede werden bei Werten $|\beta| > 0.3$ bemerkbar.“

(Lst Ökonometrie, Uni Regensburg, 2012)

Die Abkürzung c.p. (ceteris paribus) stammt aus dem lateinischen und heißt wörtlich „unter sonst gleichen Bedingungen“. Bei multiplen linearen Regressionsmodellen und Konstanthaltung aller erklärenden Variablen außer einer, wird die Änderung des bedingten Erwartungswerts beschrieben (vgl. Lst Ökonometrie, Uni Regensburg, 2012). Für die Interpretation der Ergebnisse muss hierbei immer die „exakte Variante“ angewendet werden.

Das Modell wird auch als Semi-Elastizität bezeichnet, da eine prozentuelle Änderung für y mit einer absoluten Änderung von x beschrieben wird. Im Modell werden jedoch nicht nur Variablen verwendet, die ihre Werte infinitesimal ändern, sondern auch so genannte „Dummy Variablen“. Diese unterscheiden nur zwei Fälle mit den Ausprägungen 0 und 1. (vgl. Universität Innsbruck, S. 10 ff.).

Da nicht alle Zusammenhänge linear (auch Dummy Variablen) beschrieben werden können, hilft die Verwendung von Polynomen (insbesondere quadratische Funktionsformen). Bei der Verwendung von Log-Linear Regressionsmodellen wird meist auf die Auswirkung einer Änderung von x um eine Einheit hingewiesen. Die Interpretation ist bei der Verwendung von Polynomen schwieriger (vgl. Universität Innsbruck, S. 20 f.).

$$\ln(y) = \beta_1 + \beta_2 x_1 + \beta_3 x_1^2$$

5.4 Modell Voraussetzungen

Ein Modell beschreibt immer eine optimale Variante. Es soll versucht werden, die Wirklichkeit optimal zu beschreiben, wobei sie immer von der Realität abweichen wird. Für die multiple lineare Regression (Kapitel 5.3) gibt es viele Voraussetzungen, die berücksichtigt werden sollen, um das Modell anzuwenden. Dazu zählen (vgl. Universität Zürich, 2018):

1. Es sollen zwischen den Variablen lineare Beziehungen herrschen. Hierzu wird eine Transformation zum Log durchgeführt. Die Daten sollen auch auf Ausreißer überprüft werden. Dies wurde bereits unter Punkt 5.1 diskutiert.
2. Es soll sich bei den Daten um eine Zufallsstichprobe handeln. Aufgrund der verwendeten Messtechniken und Zählrichtungen kann es vorkommen, dass bei bestimmten Einflüssen (schlechtem Wetter) es zu Ausfällen oder Messungenauigkeiten kommen kann. Diese Thematik wird in Punkt 3.1.1 behandelt. Mehrere Messstellen in jeder Stadt wirken dieser Problematik entgegen. Wenn eine Station ausfällt, sind immer noch andere in Betrieb und die Auswirkungen auf die Daten sind geringer. Somit sollte diese Voraussetzung erfüllt sein.
3. Es darf keine Multikollinearität herrschen. Dies bedeutet, dass zwei Variablen miteinander perfekt korrelieren. Dies wird für Wetterparameter im folgenden Punkt 5.6 beachtet. Weitere verwendete kalenderbasierte Variablen sind voneinander unabhängig.
4. Die Variation des Fehlers über die Bandbreite soll gleich sein. Ist dies der Fall, spricht man von einer Homoskedastizität. Auswirkungen gibt es bei einer zu optimistischen Varianz des Schätzers bei Heteroskedastizität (Streuung trichterförmig).

5.5 Im Modell nicht berücksichtigte Variablen

Neben allen Voraussetzungen gibt es viele Variablen, die in diesem Modell nicht berücksichtigt werden und möglicherweise Einfluss auf die Radverkehrsstärke besitzen. Dies können temporäre Beeinträchtigungen wie Baustellen, Umleitungen oder Sperren sein. Änderungen in der für den Radverkehr zur Verfügung stehenden Infrastruktur prägen auch Daten von Messeinrichtungen. Überlastungen und sehr hohe Auslastungen von Straßen- und Radinfrastruktur erzeugen ebenfalls Verlagerungen, die mit den Zählstationen nicht erfasst werden können. Auch im Zeitintervall wiederkehrende Feiertage, Ferien oder Veranstaltungen können spürbare Einflüsse in den Zahlen hinterlassen. Der Winter- und Streckendienst kann bezüglich Schneeräumung, Splitt- oder Salzstreuung große Effekte auf den Radverkehr haben. Es kann jedoch auch ein dauerhafter Umstand, wie der Bodenbelag, Fahrbahnzustand oder eine parallel führende bessere Fahrradrouten Einfluss auf die Daten der Dauerzählstationen ausüben. Auch wetterbasierte Daten, wie die Wettervorhersage, die leider nicht zur Verfügung stehen, haben sicherlich Auswirkungen auf den Radverkehr. Gesetzliche Bestimmungen sowie deren Exekutierung beziehungsweise individuelle Auslegung sind lokale und temporäre Variablen, die aus den Zählstationen nicht ablesbar sind, aber Auswirkungen besitzen. Die Auswirkungen vorhandener alternativen Verkehrsmodi der Radfahrenden sind ebenfalls nicht erforscht und können von möglicher PKW Nutzung (Besitz oder Sharing) bis zu Angebot, mit teilweise massiven Qualitätsunterschieden, des öffentlichen Verkehrs reichen.

Einen weiteren großen Einfluss kann ein unterschiedlicher Anteil an Alltags- und Freizeitverkehr haben. Es wird versucht, diese Unterschiede in den eignen Auswertungen herauszurechnen (siehe Kapitel 5.15 und 5.16). Eine nicht berücksichtigbare Komponente ist die Zusammensetzung des Radanteils unterschiedlicher Nutzer- und Nutzerinnengruppen und Arten von Radfahrenden in den betrachteten Städten. Roger Geller (USA) definierte 2005 vier Typen von Radfahrenden („Four Types of Cyclists“). Diese bestehen aus den Gruppen (nach der Größe sortiert angeführt): „Stark und Furchtlos“, „Begeistert und überzeugt“, „Interessiert, aber besorgt“ und „Auf keinen Fall“ (vgl. ADFC, 2018, S. 6 f.). Diese einzelnen Gruppen lassen sich unterschiedlichen Wetterempfindlichkeiten zuordnen. Sind in den betrachteten Städten aufgrund der vorhandenen Infrastruktur und dem damit verbundenen Sicherheitsempfinden bestimmte Typen nicht oder nur gering vertreten, so kann dies große Auswirkungen auf die Ergebnisse haben. Leider stehen diesbezüglich keine Daten zur Verfügung, welche bei der Interpretation die Ergebnisse sehr hilfreich wären. Eine eigene Forschung über die Zuordnung der Radfahrenden der Städte in die verschiedenen Typen würde angestellte Vermutungen untermauern.

5.6 Korrelation aller Wetterparameter zueinander

Wichtig für die Durchführung der Log-Linear Regression (Kapitel 5.3) ist, dass die einzelnen Variablen voneinander möglichst unabhängig sind. Um herauszufinden ob und wie stark die zur Verfügung stehenden Wettereigenschaften miteinander korrelieren, werden für die vier Städte mit vorhandenen Stundendaten Korrelationsplots ausgegeben (**Abb. 17**). Diese zeigen jeweils den Einfluss eines Wetterparameters auf einen anderen. Die Farbe gibt zusätzlich an, ob es sich um einen positiven Einfluss (gleiches Verhalten) oder um einen negativen (gegengleiches Verhalten) handelt. Je größer die Punkte dargestellt werden, desto höher ist die Abhängigkeit voneinander. In diesen Fällen sollte nur ein Wetterparameter davon für das Regressionsmodell verwendet werden. Für die Wetterstation in Wels sind leider keine Informationen über Schnee und Bewölkung vorhanden. Die Windrichtung (in 360 Grad angegeben) macht in dieser Auswertung wenig Sinn. Die Auswirkung der Windrichtung auf die Anzahl der Radfahrenden wird durch die Veränderung der Windrichtung um 1 Grad beschrieben. Da mit den vollen 360 Grad ein Kreis beschrieben ist, kann dies vernachlässigt werden.

Beim Vergleich der vier Städte zeigen sich sehr ähnliche Bilder. Die größten Unterschiede zwischen den Städten ergeben sich bei der relativen Luftfeuchtigkeit. Generell sind die Abhängigkeiten in Innsbruck leicht abweichend von den anderen drei Städten.

Der Niederschlag und die Temperatur weisen keine Korrelation untereinander auf. Die drei Wetteraufzeichnungen zu Schnee korrelieren stark miteinander. Ähnliches gilt für die Variablen zur Bewölkung. Die Verknüpfung der beiden Faktoren Sonnenscheindauer und Bewölkungsgrad weist, wie erwartet, ein gegengleiches Verhalten auf. Die relative Luftfeuchtigkeit korreliert sehr stark negativ mit den Parametern Lufttemperatur und Sonnenscheindauer.

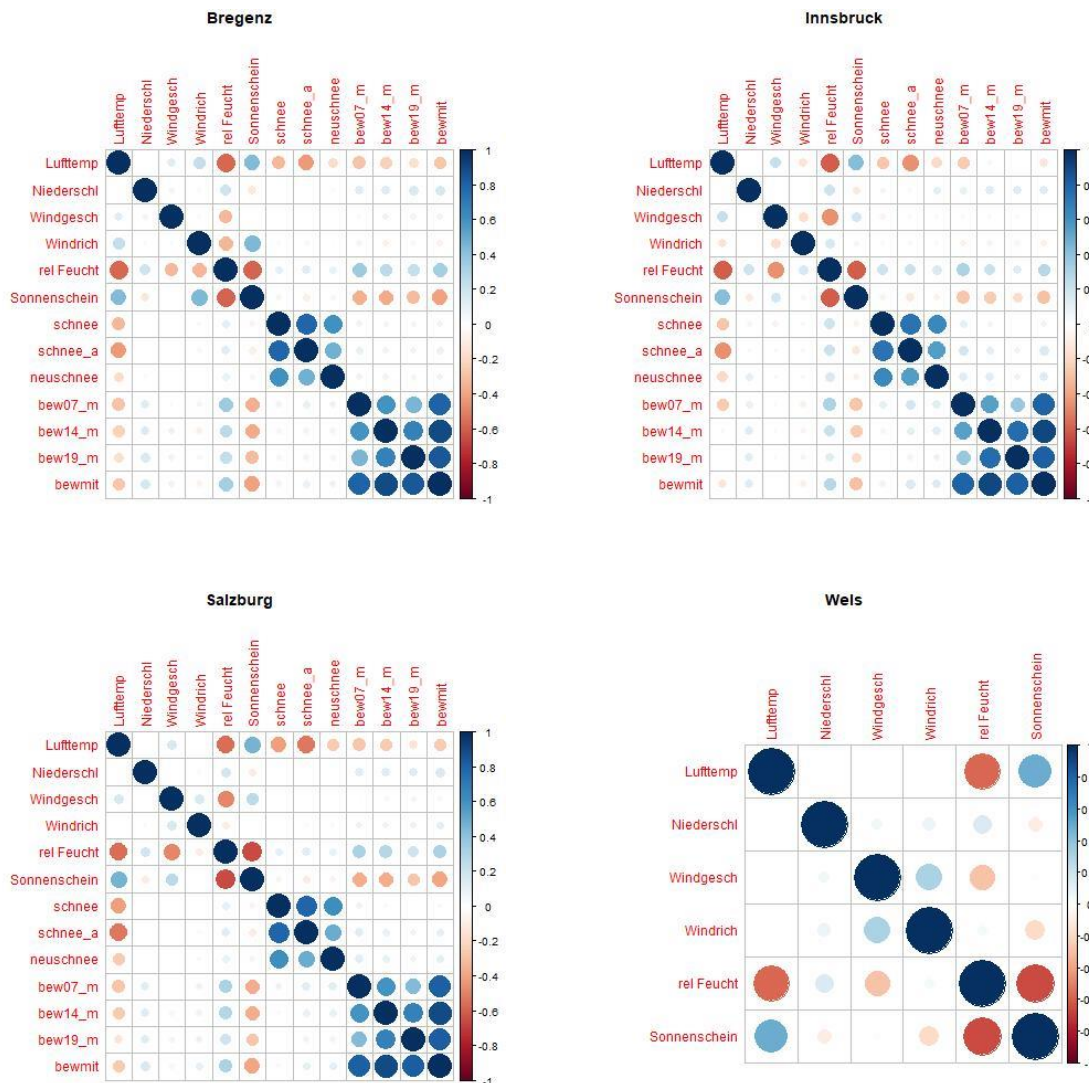


Abb. 17: Korrelationen zwischen den Wettereigenschaften

5.7 Weiterentwicklung des Modells

Bei der Bildung des Modells wird auf die Verwendung der Rückwärts-Elimination (BACKWARD) gesetzt. Zunächst werden alle vorhandenen Wetterparameter in das Modell implementiert. Anschließend werden aufgrund der Signifikanz der einzelnen Variablen und der Korrelation zueinander aus Punkt 5.6 einige Parameter entfernt (vgl. Gruber, 2019). Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da sehr viele unterschiedliche Parameter zur Auswahl standen. Durch geringe Beschreibungskraft einzelner Variablen war nur ein kurzer Arbeitsprozess bis zu den letztlich gewählten Parametern notwendig.

5.8 Im Modell angewendete Variablen

Durch die im Kapitel 5.6 beschriebene Korrelationsanalyse und die Rückwärts-Elimination (Kapitel 5.7) verbleiben möglichst unabhängige Variablen, jedoch mit großer Beschreibungskraft im Modell. Das Wetter wird im gewählten Modell durch die drei Parameter Lufttemperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit repräsentiert.

Es wurde entschieden auf die Variable Schneefall zu verzichten, da für Wels keine diesbezüglichen Daten vorliegen (siehe Kapitel 4.2.6). Die Möglichkeit auf die Stadt Wels zu verzichten, um den Schneefall mitberücksichtigen zu können, wurde mit dem Argument der größeren Anzahl an Städten im Vergleich abgelehnt.

Für weitere Variablen werden kalenderbasierte Daten gewählt. Die Jahreszahl, das Monat, der Wochentag und die Stunde beschreiben zeitbasierte Einflüsse im Modell. Die Jahreszahl beschränkt sich in Innsbruck nur auf das Jahr 2018, da nur für dieses Jahr Daten vorhanden sind.

Zusätzlich werden alle Dauerzählstationen als Variablen verwendet. Diese sind automatisch einer Stadt zugeordnet und berücksichtigen die Charakteristika jeder einzelnen Station.

5.9 Modellgüte

Die Modellgüte kann durch das berechnete R^2 beschrieben werden. Das sogenannte Bestimmtheitsmaß gibt an, wie gut die verwendeten unabhängigen Variablen die Varianz (Streumaß) erklären. Diese Werte liegen zwischen 0 und 1 und können in Prozent umgerechnet werden. Je größer das beschreibende R^2 , desto exakter ist das Modell.

5.10 Grundlegendes Modell

Um das Modell für die Einflüsse der Wetterparameter weiter zu verbessern, wird die Grundlage des Log-Linear Regressionsmodells (Kapitel 5.3) mit den gleichen Parametern herangezogen. Zum Unterschied werden die drei wetterabhängigen Variablen Lufttemperatur, Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit in der Modellgleichung als Faktoren berücksichtigt. Somit wird die Änderung der Variablen nicht mit einem linearen, logarithmischen oder polynomischen Zusammenhang beschrieben, sondern jeder einzeln gemessene Wetterparameter-Wert bekommt einen Faktor zugewiesen. Jeder einzelne Temperatur-, Niederschlags- und Windgeschwindigkeitswert (auf eine Kommastelle Unterschied) wird als eigene Variable im Modell berücksichtigt. Diese Methode, die mehr mit der deskriptiven Statistik gemein hat, wird auf den gesamten Datensatz der vier Städte angewendet und beschreibt die vorhandenen Daten exakter. Einerseits kann dadurch die Reaktion der Radfahrenden auf die Veränderung des jeweiligen Wetterparameters bei gleichbleibenden anderen Variablen im Betrachtungszeitraum genauer beschrieben werden. Andererseits bekommt das Modell sehr viele zusätzliche Variablen, was nicht nur hohe Rechenleistungen verlangt, sondern auch andere Effekte den neuen Variablen zuordnet und somit den tatsächlichen Einfluss des Wetters verfälscht. Das betrifft vor allem Wetter-Messdaten, welche in nur geringer Häufigkeit vorkommen, und somit keine Signifikanz besitzen und dadurch stark schwanken. Das Modell bekommt zwar eine höhere Genauigkeit, es führt jedoch am Ziel einer simplen Beschreibung der Einflussfaktoren vorbei. Angewendet wird diese Methode, um aus den folgenden Daten den Trend und den Zusammenhang herauszufinden und danach das Modell zu verbessern. Dies wird nachfolgend für alle drei Wetterparameter und weitere kalenderbasierte Daten durchgeführt. Das dafür verwendete Modell lautet:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Anz. Radfahrer}) = & \text{Schnittpunkt} + \text{as.factor(Lufttemp.)} * x_1 \\ & + \text{as.factor(Niederschl.)} * x_2 + \text{as.factor(Windgeschw.)} * x_3 \\ & + \text{as.factor(Jahr)} * x_4 + \text{as.factor(Monat)} * x_5 + \text{as.factor(Wochentag)} * x_6 \\ & + \text{as.factor(Stunde)} * x_7 + \text{as.factor(Station)} * x_8 \end{aligned}$$

Wie aus Tabelle (Tab. 9) ersichtlich, weist das grundlegende Modell einen Beschreibungsgrad von 45 Prozent auf.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels	0,447	0,446	3,94	627.657	1368	576 bei 880 und 627.657 DF	<2e-16

DF ... engl. number of degrees of freedom (Freiheitsgrade)

Tab. 9: Modellparameter des gemeinsamen Modells für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.10.1 Einfluss Lufttemperatur

Die Werte für die gemessene Lufttemperatur reichen von -17 °C bis +38 °C. Der Bezugswert (100 Prozent) liegt bei 0 °C und die Radverkehrsstärke wird prozentuell jeweils auf diesen Wert bezogen. Aus der Abbildung (Abb. 18) kann der Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Radverkehrsstärke abgelesen werden. Wie schon unter Punkt 5.10 erwähnt, ist die Wahrheitswert bei Temperaturen, die nur selten gemessen wurden, weit geringer als bei Temperaturen, die in der Mitte der Skala liegen. Ebenfalls ist eindeutig ein Trend erkennbar. Nimmt die Temperatur zu, so steigt auch die Radverkehrsstärke an. Ab einem gewissen Temperaturpunkt ändert sich jedoch die gedachte Ausgleichskurve und es sinkt der Radverkehrsanteil.

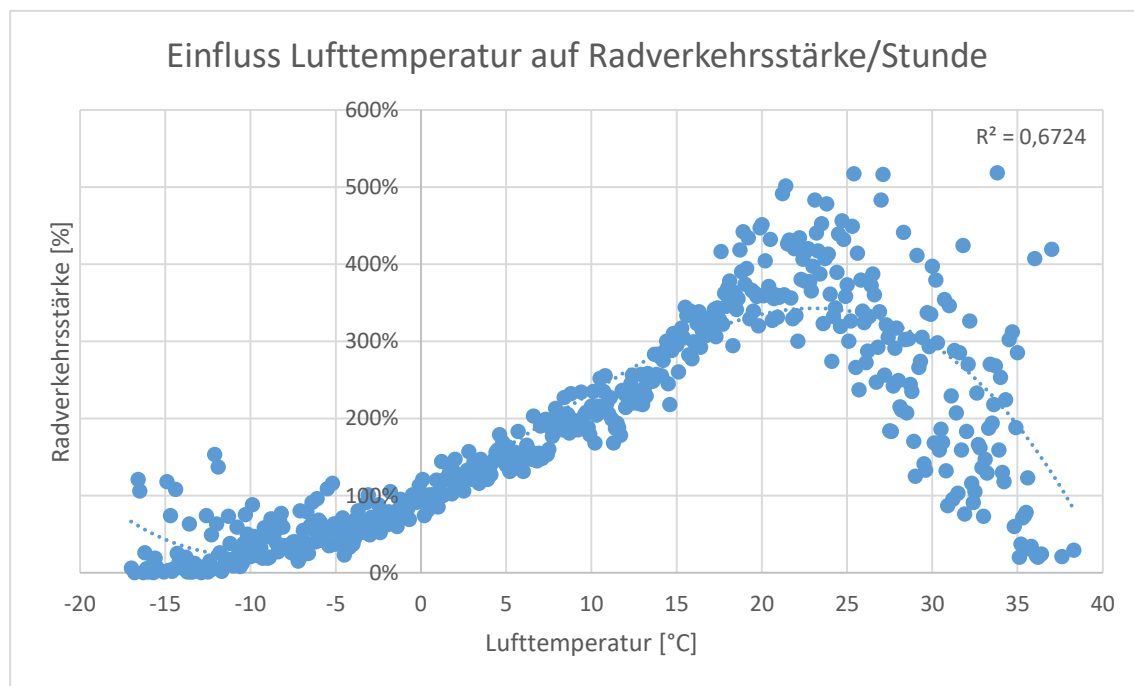


Abb. 18: Einfluss Lufttemperatur [°C] auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.10.2 Einfluss Niederschlag

Der Einfluss des Niederschlags wird in der folgenden Tabelle gezeigt. Hierbei wird der Durchschnitt aller Radverkehrszählungen jeder Niederschlagsmenge ermittelt und jeweils relativ mit dem Durchschnittswert bei keinem gemessenen Niederschlag verglichen. Die an die Niederschlagsdaten gekoppelten Radverkehrszahlen weisen mit steigender Niederschlagsmenge pro Stunde eine immer stärkere Streuung auf. Zusätzlich treten vereinzelte Ausprägungen weit über 100 Prozent (Vergleichswert bei Trockenheit) auf. Ein Grund dafür wurde unter Punkt 5.6 er-

wähnt und betrifft die Abnahme des Wahrheitswertes mit steigenden Niederschlagsmengen aufgrund der sinkenden Anzahl an Ereignissen mit entsprechend Mengen. Ein weiterer Grund ist auf die Datengenauigkeit von einer Stunde zurückzuführen. Tritt beispielsweise bei einem perfekten Radwetter ein sehr kurz andauerndes Starkregenereignis auf, können die gezählten Räder den Durchschnitt bei Trockenheit weit übersteigen. Somit sorgt die verbleibende Zeit der gemessenen Stunde, in welcher die Witterungsbedingungen besser sind, für mehr gemessene Radfahrende. Auch wenn der Beginn eines länger andauernden Regenereignisses innerhalb einer Stunde liegt, kann dies zu ausreißenden Werten führen. Weil Ausreißer bei größeren Regenmengen die Ausgleichsgerade stark verändern würden, sind in der Abbildung (**Abb. 19**) die Daten bis zu einer Niederschlagsmenge von 4 mm/h dargestellt. Hier ist ein deutlicher Rückgang des Radverkehrs bereits ab einer geringen Regenmenge erkennbar. Im Bereich von leichtem Regen (bis 0,5 mm/h) sinkt der Radverkehr auf knapp über 50 Prozent. Bei mäßigem Regen fällt dieser weiter bis auf rund 30 Prozent ab. Einen Überblick über die Niederschlagsdaten bis 25 mm/h befindet sich im Anhang (**Abb. 62**). Da diese Regenmengen laut Tabelle (**Tab. 5**) nur sehr selten auftreten, sind diese Daten nicht signifikant und deshalb für die Interpretation irrelevant.

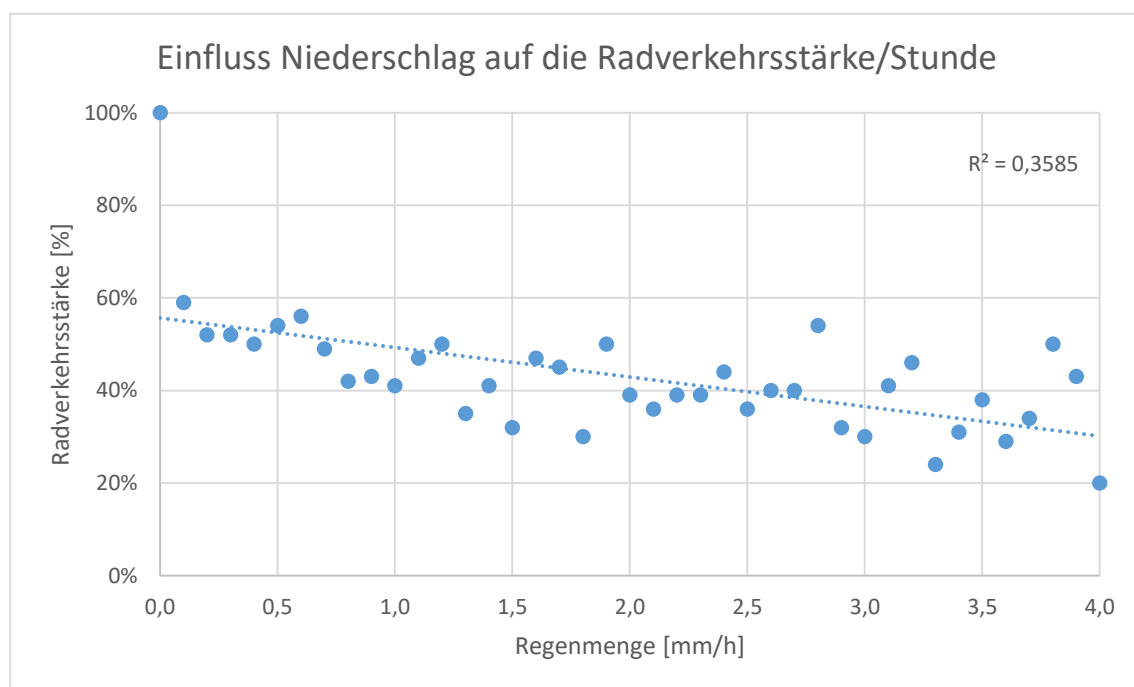


Abb. 19: Einfluss Niederschlagsmenge [mm/h] auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.10.3 Einfluss Windgeschwindigkeit

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit wird in der Abbildung (**Abb. 20**) dargestellt. Die Windstärke wird in m/s angegeben (1 m/s entspricht 3,6 km/h). Wie auch schon bei Niederschlag unter Punkt 5.10.2 tritt auch hier der Effekt ein, dass bei steigender Windgeschwindigkeit die Anzahl der Fälle schwindet und dadurch die Aussagekraft sinkt. Der Referenzwert liegt hier bei 0 km/h Windgeschwindigkeit. Das Diagramm zeigt Windgeschwindigkeiten bis 5 m/s (18 km/h), wodurch über 90 Prozent aller ausgewerteten Stunden abgebildet werden. Geringste Windstärken kleiner als 0,5 m/s haben noch einen sehr hohen Radfahreranteil. Danach ist die Anzahl der Radfahrenden im Vergleich zur Windstille um die Hälfte reduziert. Ab Windgeschwindigkeiten von 6 m/s (21,6 km/h) sinken die Zahlen gegen null. Dies ist in der Abbildung (**Abb. 63**) im Anhang ersichtlich. Wie schon beim Niederschlag gibt es bei höheren Wetter-Messwerten wenige Ausreißer weit über die 100 Prozent hinaus. Die Gründe dafür können ähnliche wie die unter Punkt

5.10.2 beschrieben sein. Eine Regressionsgerade für die Werte bis 5,0 m/s zeigt ein schlagartiges Sinken der Anzahl der Radfahrenden bei messbaren Windgeschwindigkeiten und danach einen leichten Rückgang bei steigender Windgeschwindigkeit. Der Einbruch der Anzahl an Radfahrenden bei Windmessungen größer Null ist auf den Referenzwert bei Windstille bezogen. Kein Wind tritt jedoch laut Tabelle (**Tab. 12**) nur selten auf und ist somit als Referenzwert nur in der Theorie gut gewählt. Im Bereich 0,1 m/s bis 1,0 m/s liegen die meisten der gemessenen Stunden. Würde der Referenzwert im Bereich von 0,5 m/s liegen, verschwindet der schlagartige Einbruch, der vermutlich nur theoretisch existiert.

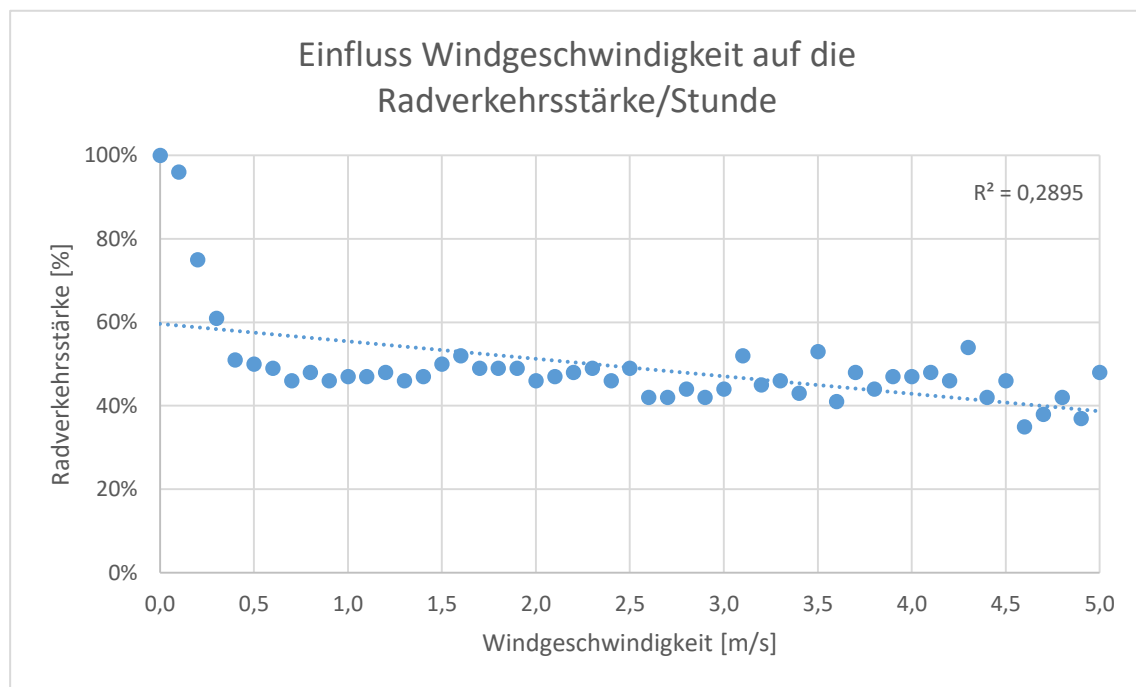


Abb. 20: Einfluss Windgeschwindigkeit (m/s) auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.10.4 Einfluss Monat

Der Jahreseinfluss kann aufgrund teilweise sehr kurzer Datenzeiträume und wechselnde Anzahl an Zählstationen pro Stadt leider nicht ausgewertet werden. Die Analyse der Daten bezüglich Monatsverteilung ist in Abbildung (**Abb. 21**) ersichtlich. Den Referenzwert bildet in diesem Fall der Monat August. Die Verteilung ist aufgrund der vorhandenen Daten nicht exakt gleichverteilt über alle Monate, da aufgrund neuer Zählstellen und eingeschränkter Datenweitergabe unterschiedliche Zeiträume vorhanden sind. Ein grundsätzlicher Trend zwischen warmer und kalter Jahreszeit ist stark ersichtlich. Zusätzlich ist ein Einbruch der Kurve in den Monaten Mai, Juni und Juli erkennbar. Die Berücksichtigung des Monats als Faktor soll die monatsabhängigen Eigenschaften aus dem Modell herausrechnen. Dadurch soll berücksichtigt werden, ob es sich bei dem Einbruch um kalenderbasierte Gründe wie beispielsweise Ferien, oder um wetterbedingte Gründe handelt.

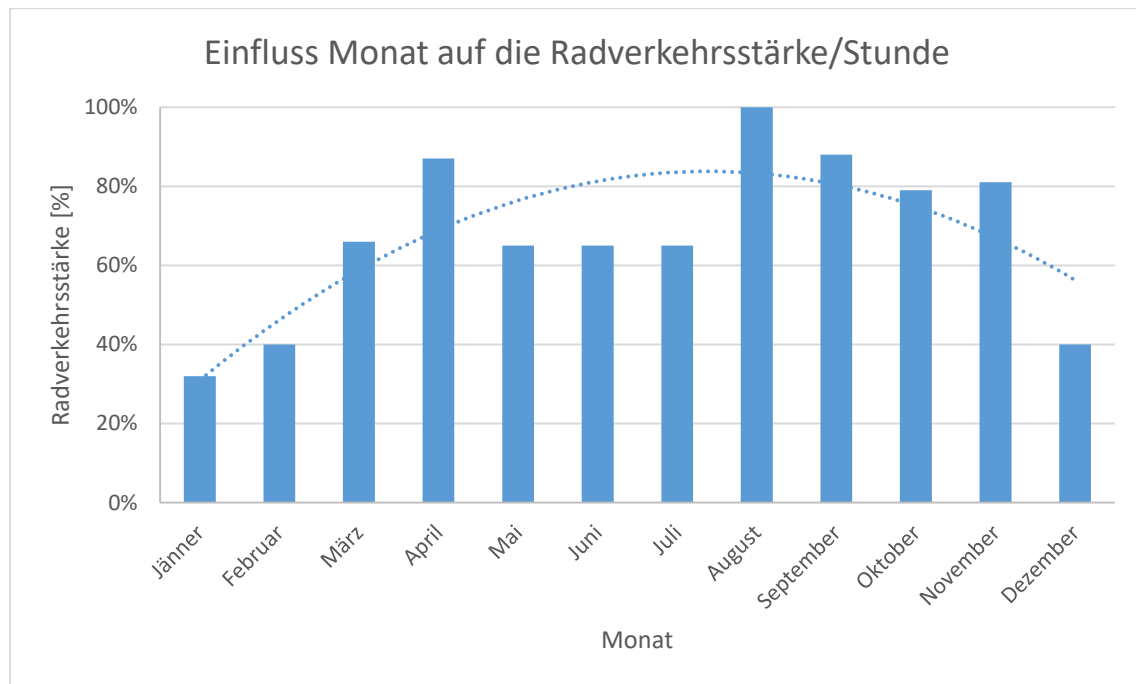


Abb. 21: Einfluss Monat auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.10.5 Einfluss Wochentag

Die Berücksichtigung des Wochentags im Modell wird in Abbildung (Abb. 22) gezeigt und soll die Wochentag-Spezifika herausrechnen. Das Diagramm zeigt einen höheren Anteil wochentags und eine Reduktion an Samstagen und noch stärker an Sonntagen. Der Tag mit der höchsten Radverkehrsstärke ist der Donnerstag.

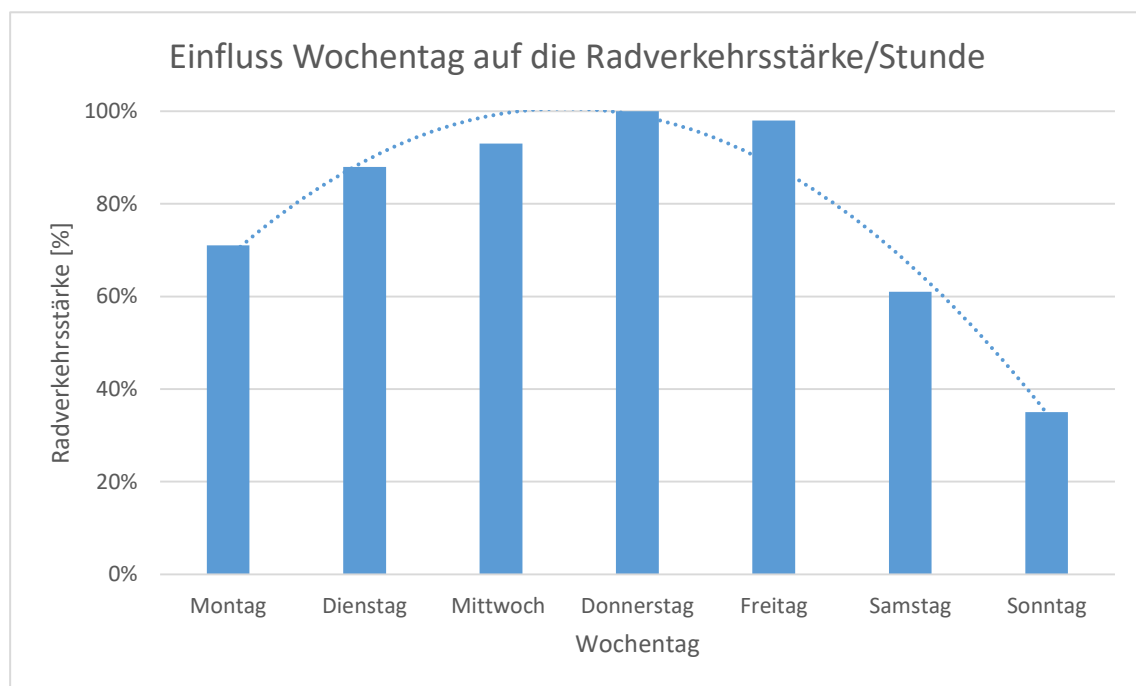


Abb. 22: Einfluss Wochentag auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.10.6 Einfluss Stunde

Die Stunde zeigt einen sehr großen Einfluss. In der Grafik (Abb. 23) lässt sich eine Kurve verteilt über den Tag erkennen. In den Nachtstunden nach Mitternacht findet de facto kein Radverkehr statt. Bei der Auswertung aller Daten gemeinsam zeigt sich die Radverkehrsspitze über den Tag in der Stunde von 16 bis 17 Uhr, gefolgt von der darauffolgenden Stunde und der Stunde zuvor. Am Morgen kann ein schlagartiger Anstieg ab 6 und 7 Uhr abgelesen werden.

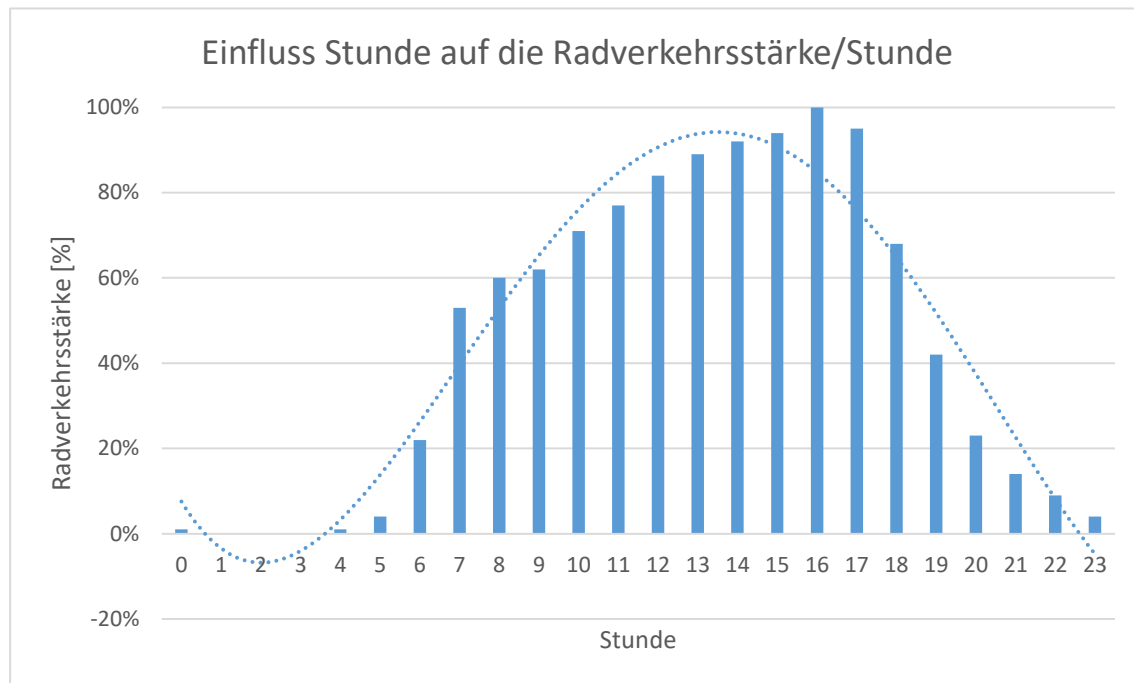


Abb. 23: Einfluss Stunde auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.11 Anpassung des Modells

Auf der Basis der bisherigen Ergebnisse (Kapitel 5.10) kann das Grundmodell angepasst und dadurch seine Aussagekraft verbessert werden.

Die Werte des Wetterparameters Lufttemperatur liegen auf einer deutlich erkennbaren Kurve. Eine polynomische Trendkurve dritten Grades beschreibt die Verteilung der Messpunkte sehr gut. Diese Erkenntnis wird in das Modell übernommen.

Um die Auswirkung des Niederschlags möglichst gut im Modell abzubilden, wird hier auf die Gruppierung der Niederschlagsmengen, wie unter Punkt 3.3.3 beschrieben, gesetzt. Die Kategorien werden als „Dummy Variablen“ in das Modell aufgenommen.

Auch bei der Windstärke wurden zunächst Dummy Variablen gebildet. Die Auffälligkeit der Werte von 0,1 m/s bis 0,3 m/s Windgeschwindigkeit in einer Stunde kann jedoch nicht abgebildet werden, da die Signifikanz bei Kategorisierung jeglicher Art zu stark abnimmt. Auch der Unterschied zwischen Wind und kein Wind hat für eine Unterteilung im Modell zu wenig Bedeutung. Deshalb wird auf die Vereinfachung zu einem linearen Zusammenhang ge-griffen.

5.12 Angepasstes Modell

Die getroffenen Änderungen in Punkt 5.11 wurden in das Modell eingearbeitet. Zusätzlich werden alle Parameter für jede der vier Städte einzeln betrachtet. Die für die Berechnung verwendete Formel lautet:

$$\ln(\text{Anz. Radfahrer}) = \text{Schnittpunkt} + \text{Lufttemp.} * x_1 + \text{Lufttemp.} * x_1^2 + \text{Lufttemp.} * x_1^3 + \text{Regenintensität} * x_2 + \text{Windgeschw.} * x_3 + \text{as. factor(Jahr)} * x_4 + \text{as. factor(Monat)} * x_5 + \text{as. factor(Wochentag)} * x_6 + \text{as. factor(Stunde)} * x_7 + \text{as. factor(Station)} * x_8$$

Der Faktor für das Jahr kann für die Daten von Innsbruck nicht angewendet werden, da hierfür nur Daten aus dem Jahr 2018 vorhanden sind. Daten zu den Modellen der einzelnen Städte und der jeweilige Beschreibungsgrad im betrachteten Zeitraum sind in der Tabelle (Tab. 10) angeführt. Der Mittelwert des Beschreibungsgrades der Einzelmodelle liegt bei 47 Prozent.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,546	0,546	3,6	256.644	517	5,15e +03 bei 60 und 256.644 DF	<2e-16
Innsbruck	0,564	0,563	1,54	34.960	20	887 bei 51 und 34.960 DF	<2e-16
Salzburg	0,313	0,313	3,98	268.138	633	2,04E+03 bei 60 und 268.138 DF	<2e-16
Wels	0,472	0,472	4,28	68.569	198	1,18E+03 bei 52 und 68.569 DF	<2e-16
Mittelwert	0,474	0,474	3,35	157.078	342		

DF ... engl. number of degrees of freedom (Freiheitsgrade)

Tab. 10: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte

5.13 Modellergebnisse der Analyse der stündlichen Gesamtdaten

Der Einfluss jeder einzelnen Modellvariablen bei unveränderten anderen Variablen wird in den folgenden Punkten behandelt. Die zugrundeliegende Modellausgabe ist online gespeichert und kann, wie auf Seite 8 beschrieben, eingesehen werden.

Auffällig sind die starken Ähnlichkeiten beim Einfluss der Wetterparameter in den beiden Städten Bregenz und Wels. Generell ist die Wetterabhängigkeit in diesen Städten viel höher als in Innsbruck und Salzburg. In Innsbruck sind generell die geringsten Auswirkungen aufgrund des Wetters zu erkennen. Salzburg liegt hierbei im Mittelfeld.

5.13.1 Einfluss Lufttemperatur

Der Einfluss der gemessenen stündlichen Lufttemperatur auf den Radverkehr wurde im Modell mit einer quadratischen Kurve angenähert. Der Bezugswert liegt bei 10 °C mit 100 Prozent im Temperaturbereich zwischen -10 °C und 35 °C. Die in der Grafik (Abb. 24) abgebildeten Kurvenverläufe zeigen den Einfluss auf die Radverkehrsstärke. Die Anzahl der Stunden und zugehöriger gemessener Lufttemperatur kann in der Grafik (Abb. 11) verglichen werden.

Ein ähnlicher Verlauf der Kurven ist in den beiden Städten Bregenz und Wels erkennbar. Hier besitzen die Tangenten in vielen Punkten die größte Steigung. Dies bedeutet auch den größten Einfluss der Temperatur auf den Radverkehr. Lediglich der Hochpunkt ist in den beiden Städten versetzt und in Wels startet der negative Trend früher. Während in Bregenz bei 26,5° die meisten Radfahrenden unterwegs sind, tritt der Hochpunkt in Wels schon bei 17 °C auf. Im Temperaturbereich unter dem Gefrierpunkt sinkt die Radverkehrsstärke schnell gegen 0 Prozent.

In Innsbruck würden laut dem Modell bei Temperaturen von 32 °C die meisten Radfahrenden unterwegs sein. Hierbei steigt jedoch der Quadratteil der Polynomgleichung über die Signifikanzgrenze von 0,05. Generell ist die Temperatur-Abhängigkeit der Radfahrenden im Städte-Vergleich die geringste und besitzt einen nahezu linearen Verlauf.

In Salzburg wiederum bildet die Referenzkurve im betrachteten Bereich keinen Hochpunkt aus. Der Zuwachs im Radverkehr bei steigender Temperatur wird immer kleiner, aber zeigt noch keinen negativen Trend. Die Temperaturempfindlichkeit liegt im Städtevergleich im Mittelfeld. Bei Temperaturen unter 0 °C sinken die Zahlen stärker als in den anderen Städten.

Bei optimaler Temperatur kann die Anzahl der Radfahrenden im Vergleich zu 10 °C maximal um 50 Prozent steigen. Bei 0 °C liegen die Radverkehrszahlen im Städte-Durchschnitt bei rund 40 Prozent gegenüber dem Referenzwert bei 10 °C. Die Steigung der Kurven beim Referenzwert liegt zwischen 3 und 5 Prozent bei einer Änderung von 1 °C. In Innsbruck und Salzburg steigt der Anteil an Radfahrenden um 3 Prozent gegenüber dem Referenzwert bei 10 °C an. Die Änderung ist jedoch nicht in jedem Punkt gleich, da es sich um keinen linearen Zusammenhang handelt.

Wird angenommen, dass sich die Temperaturempfindlichkeit der Radfahrenden in den Städten nicht grundsätzlich unterscheidet, müssen nicht berücksichtigte Variablen (Kapitel 5.5) für die unterschiedliche Ausprägungen der Kurven verantwortlich sein.

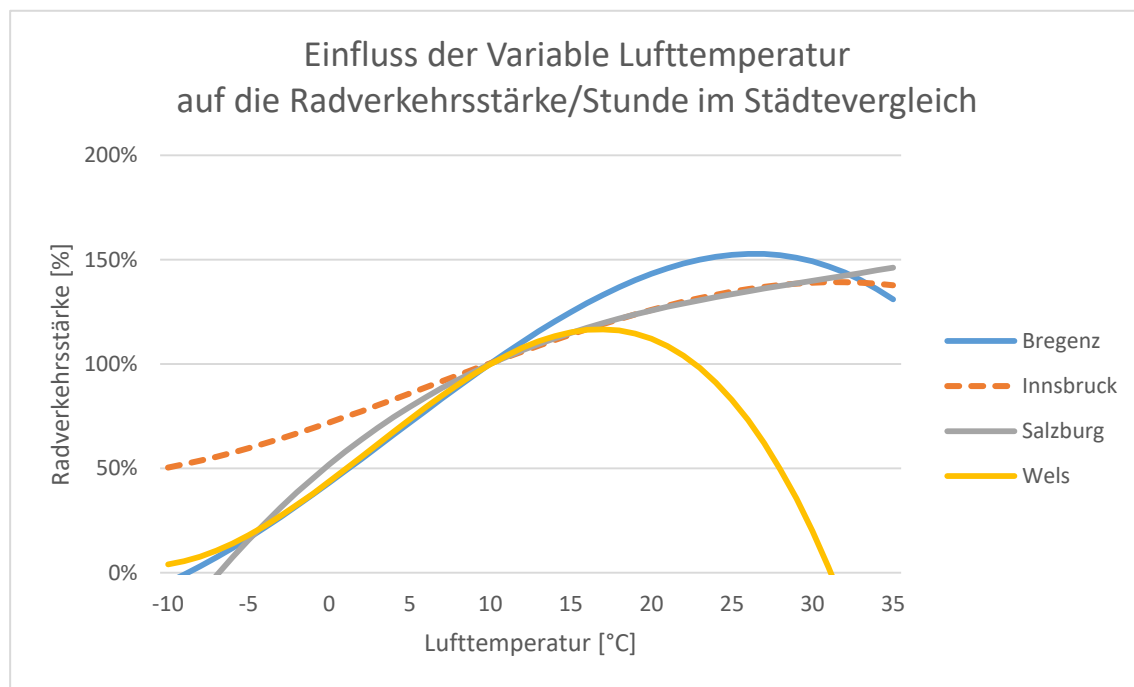


Abb. 24: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.13.2 Einfluss Niederschlag

Der Einfluss der Niederschlagsmengen auf die Radverkehrsstärke im Städtevergleich wird in der Abbildung (Abb. 25) dargestellt. Der Trend geht bei allen vier beobachteten Städten in die gleiche Richtung. Die beiden Städte Bregenz und Wels sowie Innsbruck und Salzburg zeigen ein ähnliches Bild. Fällt in einer Stunde leichter Regen (bis 0,5 mm), sinkt die Radverkehrsstärke in Bregenz und Wels um rund 60 Prozent. In den anderen beiden Städten sinkt die Anzahl der Radfahrenden um zirka 30 Prozent. Bei mäßigem Regen (bis 4,0mm) sinken die Radverkehrszahlen in Bregenz und Wels um weitere 10 Prozentpunkte auf nur mehr 30 Prozent ab. Während in Salzburg bei mäßigem Regen die Zahlen ebenfalls um rund 10 Prozentpunkte auf 60 Prozent fallen, sinkt in Innsbruck die Radverkehrsstärke um 50 Prozent im Vergleich zu trockenem Wetter. Aufgrund sinkender Anzahl der Wetterereignisse von stärkeren Niederschlagsereignissen (siehe Tab. 5) sinkt auch die Signifikanz der Ergebnisse der einzelnen Regenintensitätsgruppen. Die beschreibende Kraft nimmt immer weiter ab und für Wels sind schon bei starkem Regen (bis 10,0 mm) zu wenige Fälle vorhanden, um Informationen daraus abzuleiten. In Bregenz und Salzburg sinken die Radverkehrszahlen bei starken Regenereignissen weiter ab. In Innsbruck werden bei starkem Regen wieder mehr Radfahrer gezählt, wobei dieses Ergebnis aufgrund seiner niedrigen Signifikanz nur eingeschränkt interpretiert werden darf. Diese gegenteilige Entwicklung ist auch in Bregenz bei sehr starkem Regen (größer 10,0 mm) mit einer Radverkehrsstärke von

40 Prozent gegeben. In allen anderen Städten sind für diese Regenmengen nicht ausreichend Daten vorhanden. Dieser Positivtrend kann mit verschiedenen Begründungen zusammenhängen. Sehr kurze Regenereignisse mit großen Regenmengen innerhalb der betrachteten Stunden sind eine sehr wahrscheinliche Argumentation für die höheren Zahlen bei Starkregen. Weitere Theorien wurden schon im Kapitel 5.10.2 behandelt. Um diese überprüfen zu können, müsste die Betrachtung in noch kürzeren Zeitintervallen als einer Stunde stattfinden.

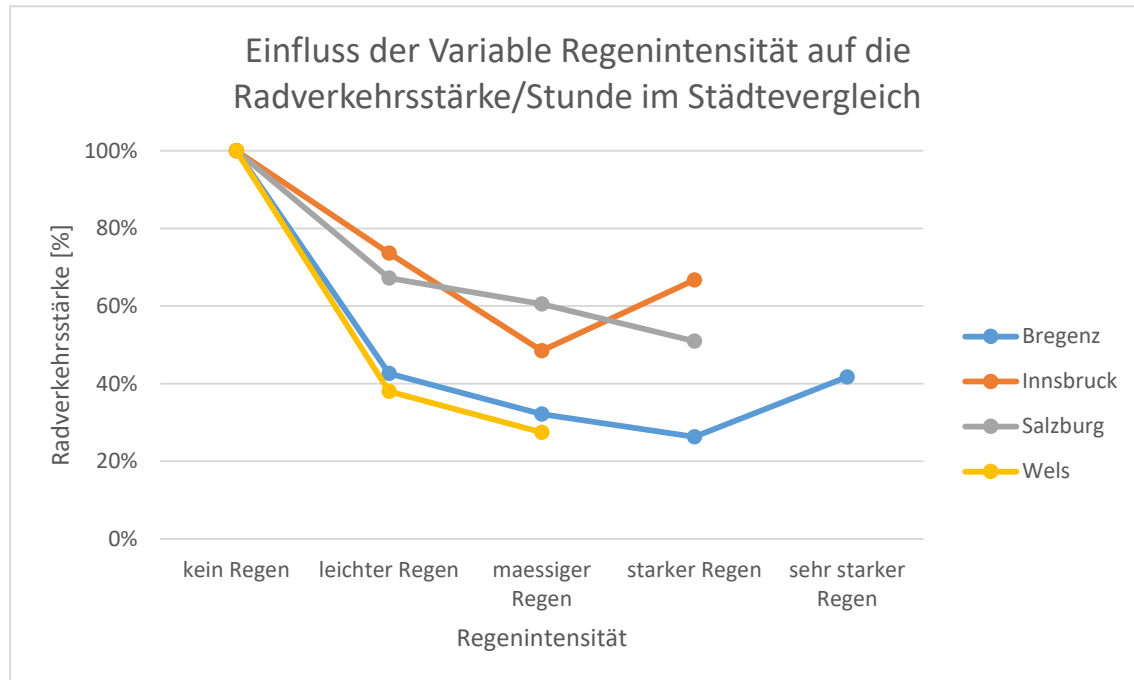


Abb. 25: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

Weitaus interessanter ist der bereits erwähnte Unterschied zwischen den betrachteten Städten bei geringen Regenmengen. Hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Städten erkennbar. Ist die Bregenzer und Welsler Bevölkerung wirklich empfindlicher auf Regen oder spielen hier andere Faktoren hinein, die nicht im Modell berücksichtigt wurden? Dabei können mögliche Alternativen wie guter öffentlicher Verkehr, PKW-Verfügbarkeit oder die Qualität der vorhandenen Radinfrastruktur eine große Rolle spielen. Weitere mögliche Faktoren wurden unter Kapitel 5.5 diskutiert.

5.13.3 Einfluss Windgeschwindigkeit

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit wurde vereinfacht linear dargestellt. Der tatsächliche Verlauf kann aus der deskriptiven Statistik in der Grafik (Abb. 20) herausgelesen werden. Für die Vergleichbarkeit mit ausreichend signifikanten Daten wurde der lineare Zusammenhang gewählt. 90 Prozent aller ausgewerteten Stunden liegen im Bereich kleiner 5 m/s (18 km/h) Windgeschwindigkeit. Generell ist die Auswirkung von Wind auf die Radverkehrsstärke weniger stark signifikant.

Auch bei diesem Wetterparameter ist die Ähnlichkeit von Bregenz und Wels stark erkennbar. Bei dem Einfluss der Windgeschwindigkeit (Abb. 26) auf die Radverkehrsstärke liegen die beiden Geraden quasi übereinander und zeigen gegenüber den anderen beiden Städten einen größeren Einfluss. Dieser reduziert die Radverkehrsstärke bei einem Anstieg der Windgeschwindigkeit um 1 m/s um 11 Prozent. In Salzburg liegt der vergleichbare Einfluss bei nur 6 Prozent. In Innsbruck ist aufgrund des kurzen Datenzeitraumes keine fundierte Aussage zu treffen. Die Interpretation

der vorhandenen Zahlen zeigt kaum eine Auswirkung von Wind auf den Radverkehr. Die Radverkehrsstärke reduziert sich um weniger als 1 Prozent bei einem Anstieg der Windgeschwindigkeit um 1 m/s. Für größere Windgeschwindigkeiten (bis maximal gemessene 18 m/s oder 65 km/h) lassen sich die Regressionsgeraden verlängern. Diese Daten können mit dem Anteil der gemessenen Stunden und zugehörigen Windgeschwindigkeiten aus der Grafik (Abb. 12) verglichen werden.

Was die unterschiedliche Empfindlichkeit der Radfahrenden in den betrachteten Städten ausmacht, beziehungsweise welche anderen Faktoren hier hineinspielen, ist ungewiss.

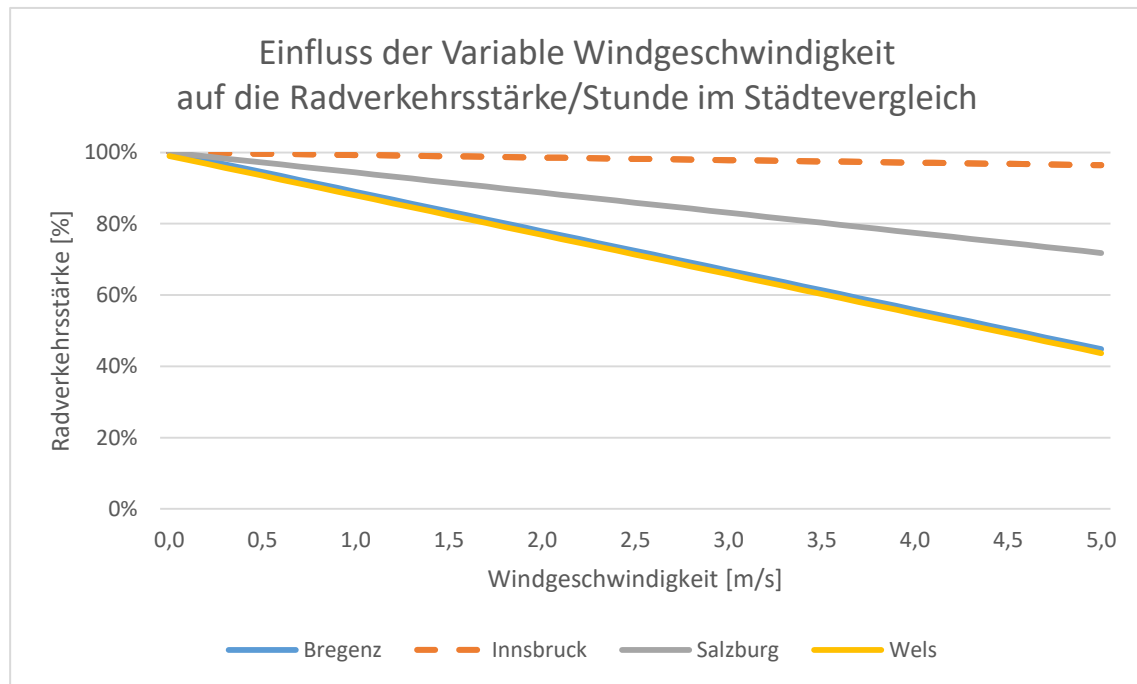


Abb. 26: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.13.4 Einfluss Monat

Die Variable, die als Faktor den Einfluss des Monats aus dem Modell herausrechnet, wird in der Grafik (Abb. 27) diskutiert. Jede Stadt besitzt ihren Referenzwert bei dem stärksten gemessenen Monat. Dadurch sind die entstehenden Jahresganglinien miteinander vergleichbar. Die Ergebnisse beinhalten großteils nur den Einfluss des Monats, nicht jedoch der typischen Wetterbedingungen. Zumindest der Haupteinfluss des Wetters ist in den vorigen Diagrammen für Temperatur, Niederschlag und Wind enthalten. Nicht berücksichtigte Wettervariablen und kalenderbasierte Auswirkungen, wie Urlaub, Ferien, Events und längere Sperren, fallen in die Kategorie Monat und werden dadurch berücksichtigt. Aufgrund der verschiedenen Zeiträume, für die Daten zu Verfügung stehen, ist der Monatsvergleich nur eingeschränkt interpretierbar.

Spannend ist, dass in allen vier Städten große Unterschiede bei den Einflüssen der Monate vorherrschen. Auch die Monate mit den maximalen Einflüssen, welche auch die Referenzwerte bilden, sind nicht gleich. In Innsbruck und Wels liegt dieser im Juni. In Bregenz und Salzburg ist im Vergleich der Einfluss aus diesem Monat weit geringer. In Salzburg ist der kalenderbasierte Einfluss im November am größten, wo auch Innsbruck und Wels positive Ausschläge in den Kurven besitzen.

Innsbruck wirkt mit der vorhandenen Kurve wie eine „Studentenstadt“, wo in den vorlesungsfreien Zeiten (Juli-September und Februar) ein geringeres Radaufkommen stattfindet. Wels weist einen sehr ähnlichen Verlauf wie Innsbruck auf, jedoch mit einem weit höheren Radverkehrsauf-

kommen im Juni und einem vergleichbar schwachen Mai. Da Wels nicht als typische Studentenstadt gilt müssen andere Erklärungen gesucht werden. Bregenz zeigt mit den höchsten Werten in den Monaten Juli bis September, dass hier der Sommerradtourismus sehr stark ausgeprägt sein wird. Salzburg besitzt einen unnatürlichen Hochpunkt im November und einen Einbruch in den Kalendermonaten Mai bis Juli. Was die Gründe dafür sein können ist unklar.

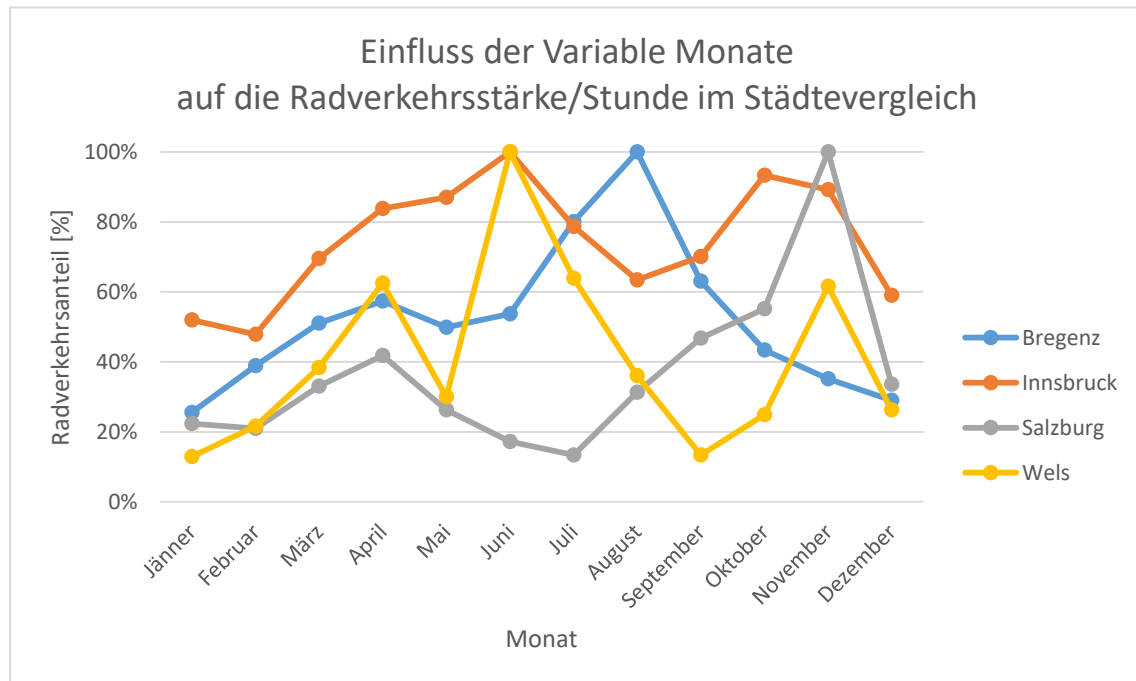


Abb. 27: Einfluss der Variable Monat auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.13.5 Einfluss Wochentag

Im Wochentag fließen im Vergleich zum Monat ausschließlich kalenderbasierte Informationen und keine nicht zufälligen wetterbasierten Daten ein. Somit spiegeln die Ergebnisse aus der Grafik (**Abb. 28**) die tatsächlichen Wochenganglinien wider. Referenzwert jeder Stadt ist wieder der Tag mit dem größten Radverkehrsaufkommen. Diese Tage fallen auf Dienstag in Wels, auf Donnerstag in Innsbruck und Salzburg und auf Freitag in Bregenz. Montags liegt die Anzahl der Radfahrenden bei maximal 70 Prozent. An Samstagen sinken die Zahlen auf 75 bis 30 Prozent gegenüber den Referenztagen herab. Am Sonntag gehen die Prozentwerte sogar auf 60 bis 15 Prozent zurück.

Generell ähneln die Ergebnisse der vier Städte einander stark.

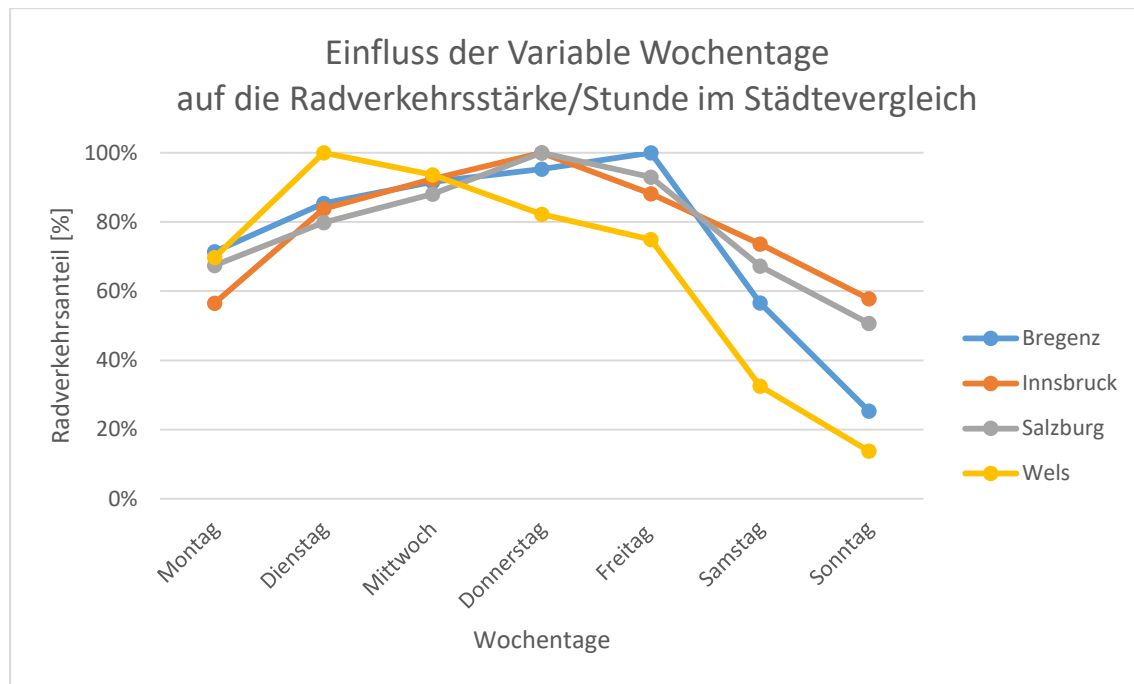


Abb. 28: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.13.6 Einfluss Stunde

Der Einfluss der Uhrzeit wird im Modell als Faktor berücksichtigt. Darin werden neben kalenderbasierten Eigenschaften wie Pendlerspitzen und Öffnungszeiten auch wetterbasierte Daten wie Tageslicht, Temperaturverlauf über den Tag und vieles mehr beschrieben. Wetterdaten, die in eigenen Variablen berechnet werden, finden keinen, oder nur einen geringen Einfluss in der Tagesganglinie. Der Referenzwert jeder Stadt liegt bei der jeweiligen Spitzenstunde mit 100 Prozent.

Bei der Analyse der Grafik (**Abb. 29**) sticht die unterschiedliche Breite der Verteilung der Tagesganglinie heraus. In Innsbruck und Salzburg setzt der Radverkehr morgens um etwa eine Stunde früher ein und flacht abends um etwa eine Stunde später ab als in Wels. Bregenz besitzt eine ähnliche Verteilung wie die Stadt Wels, jedoch mit einem vergleichbaren Anteil an Radfahrenden wie Innsbruck und Salzburg in den Morgenstunden. In den beiden Städten Innsbruck und Salzburg existieren zwei Tagesspitzen, eine am frühen Morgen und eine am Abend. In Wels tritt die erste Spitze erst am späten Vormittag ein und die zweite schon am frühen Nachmittag. In Bregenz verläuft die Verteilung über den Tag kontinuierlicher mit dem Spitzenwert in der Stunde sechzehn.

In den Nachtstunden ist ein großer Unterschied zwischen den Städten erkennbar. Während in Bregenz und Wels der Radverkehr nachts praktisch zum Erliegen kommt, werden in Innsbruck und Salzburg noch Radfahrende gemessen.

Generell ist, wie in Kapitel 5.5 schon erwähnt, der Anteil an Alltags- und Freizeitradverkehr in den Städten unterschiedlich ausgeprägt. Zusätzlich spielt die Verteilung der Zählrichtungen eine Rolle, ob diese mehr im Alltags- oder im Freizeitnetz platziert sind. Die daraus entstehenden Unterschiede in den Zählzahlen haben große Einflüsse auf die Monats-, Wochentags- und Stundenverteilung und zeigen sich in den Kapiteln 5.13.4 bis 5.13.6.

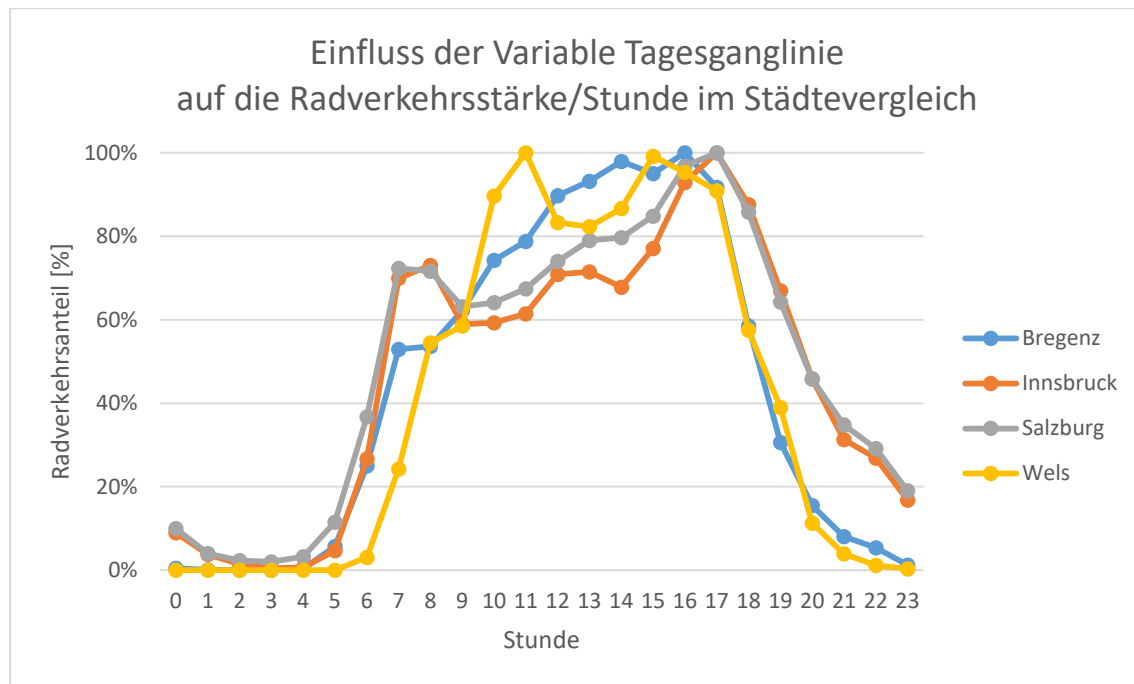


Abb. 29: Einfluss der Variable Tagesganglinie auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.14 Vergleich wochentags und Wochenende anhand des Modells

Für eine Auswertung wird der vorliegende Datensatz in zwei Teile getrennt und mit demselben Modell berechnet. Dies bietet den großen Vorteil, dass alle vorhandenen Daten wie in Kapitel 5.13 verwendet werden und dadurch eine direkte Vergleichbarkeit zueinander besteht. Der Vergleich der beiden Modelle zeigt grobe Unterscheidungen in Alltags- und Freizeitradler. Bei allen Auswertungen sind Nachtstunden inkludiert. Spezifische Auswertungen für Alltagsverkehr finden unter Punkt 5.15 und für Freizeitverkehr unter Punkt 5.16 statt.

Daten zu den Modellen der einzelnen Städte für wochentags und Wochenende sowie der jeweilige Beschreibungsgrad im betrachteten Zeitraum sind in der Tabelle (Tab. 12) angeführt. Der Mittelwert des Beschreibungsgrades der Einzelmodelle liegt bei je 50 Prozent.

Wochentag	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,577	0,577	3,41	183.718	378	4,32E+03 bei 58 und 183.718 DF	<2e-16
Innsbruck	0,605	0,604	1,64	24.990	16	780 bei 49 und 24.990 DF	<2e-16
Salzburg	0,325	0,354	4,01	191.557	427	1,59E+03 bei 58 und 191.557 DF	<2e-16
Wels	0,501	0,501	1,08	48.948	180	984 bei 50 und 48.948 DF	<2e-16
Mittelwert	0,502	0,509	2,54	112.303	250		

Wochenende	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,533	0,533	3,78	72.872	139	1,51E+03 bei 55 und 72.872 DF	<2e-16
Innsbruck	0,702	0,701	0,792	9.926	4	520 bei 45 und 9.926 DF	<2e-16
Salzburg	0,304	0,304	3,83	76.527	206	609 bei 55 und 76.527 DF	<2e-16
Wels	0,436	0,435	4,58	19.575	18	322 bei 47 und 19.575 DF	<2e-16
Mittelwert	0,494	0,493	3,25	44.725	92		

Tab. 11: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte (für wochentags und Wochenende)

5.14.1 Vergleich Lufttemperatur

Eine Gegenüberstellung der Einwirkung der Lufttemperatur werktags und am Wochenende wird in der Grafik (Abb. 30) vorgenommen. Der Referenzwert liegt jeweils bei plus 10 °C mit 100 Prozent. Einzelne Terme der Formel sind im linken Teil der Grafik für die beiden Kurven Innsbruck und Wels und im rechten Teil für Bregenz nicht signifikant. Die Abbildung der Wirklichkeit ist noch weitgehend gegeben, jedoch wird der definierte Grenzwert der Signifikanz von 0,05 überschritten.

Die Maximalwerte der Radverkehrsstärke wochentags liegen in Bregenz bei 27 °C und in Innsbruck bei 32 °C. Am Wochenende verschieben sich diese auf 26 °C und 29 °C. In Wels steigt der Spitzenwert von 16 °C von Montag bis Freitag auf 18 °C am Samstag und Sonntag an. In Salzburg besitzt die Kurve jeweils keinen Hochpunkt. Generell kann hier nur von minimalen Verschiebungen gesprochen werden.

Die generellen Kurvenformen zeigen im dargestellten Vergleich keine großen Unterschiede. Wochentags gibt es eine Bandbreite von einem annähernd linearen Verlauf in Innsbruck bis zu einer Normalverteilung in Wels. Am Wochenende ändert nur die Kurvenform in Innsbruck stark ihr Erscheinungsbild. Die gemessenen Mindestwerte liegen nicht unter 40 Prozent, auch nicht bei Minustemperaturen. Der Tiefpunkt der Anzahl an Radfahrenden liegt sogar bei zirka 0 °C.

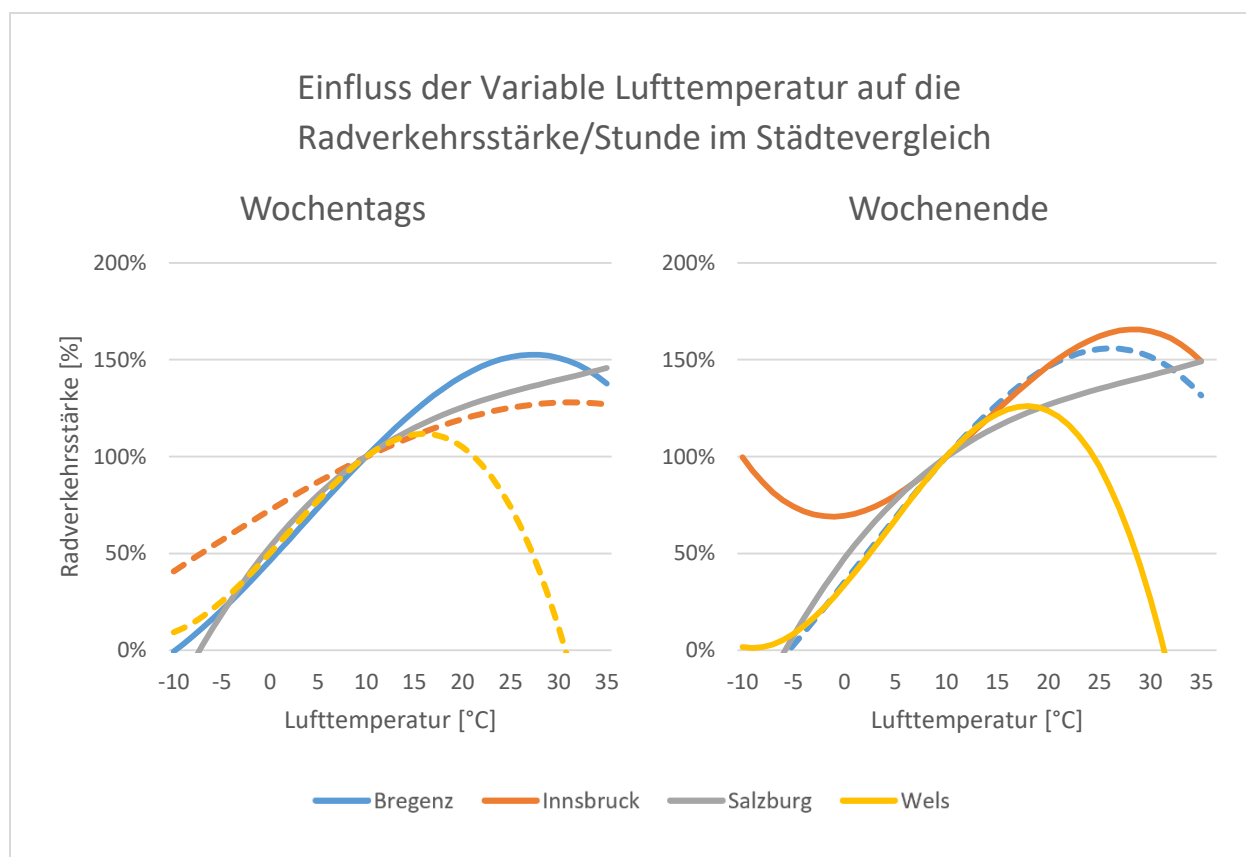


Abb. 30: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

Die Steigung der Wochentags-Kurven beim Referenzwert liegt zwischen 2 und 5 Prozent bei einer Änderung von 1 °C. In Innsbruck steigt der Anteil an Radfahrenden am langsamsten und in Bregenz am schnellsten an. Die Steigerung der Kurven vom Wochenende liegen zwischen 3 und

6 Prozent bei der Änderung der Lufttemperatur um 1 °C. Die Steigerung bezieht sich auf den Referenzpunkt bei 10 °. Bei einem Vergleich der beiden Teilgrafiken ist der Anstieg der Kurven in dem Referenzpunkt am Wochenende größer als wochentags. Somit gilt das auch für die Temperaturempfindlichkeit. In Salzburg sind kaum Änderungen bei den Kurven und ihren Anstiegen zu erkennen.

5.14.2 Vergleich Regenintensität

Der Vergleich der Einflussgröße Regenintensität differenziert in Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag zeigt Unterschiede in den vier betrachteten Städten und eine deutlich höherer Regenempfindlichkeit am Wochenende als an den Werktagen (Abb. 31).

Am Wochenende sinkt der Radverkehr bei Niederschlag (leichter Regen) innerhalb einer aufgezzeichneten Stunde um 40 bis 80 Prozent. Größere Regenmengen haben einen größeren Einfluss als geringe. Die Tatsache des Niederschlags an sich gibt jedoch die größere Einschränkung der Verkehrsmenge vor. Montag bis Freitag werden bei gleichen Regenereignissen im Vergleich zum Wochenende mehr Radfahrende gezählt. Bei leichtem Regen liegen die Zahlen bei 50 bis 80 Prozent.

Ein genereller Unterschied zwischen den vier betrachteten Städten ist wie schon in der Grafik (Abb. 25) deutlich zu erkennen. Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild in Bregenz und Wels, sowie in Innsbruck und Salzburg.

Aussagen zu größeren Regenmengen sind aufgrund der zu geringen Signifikanz bewusst weggelassen.

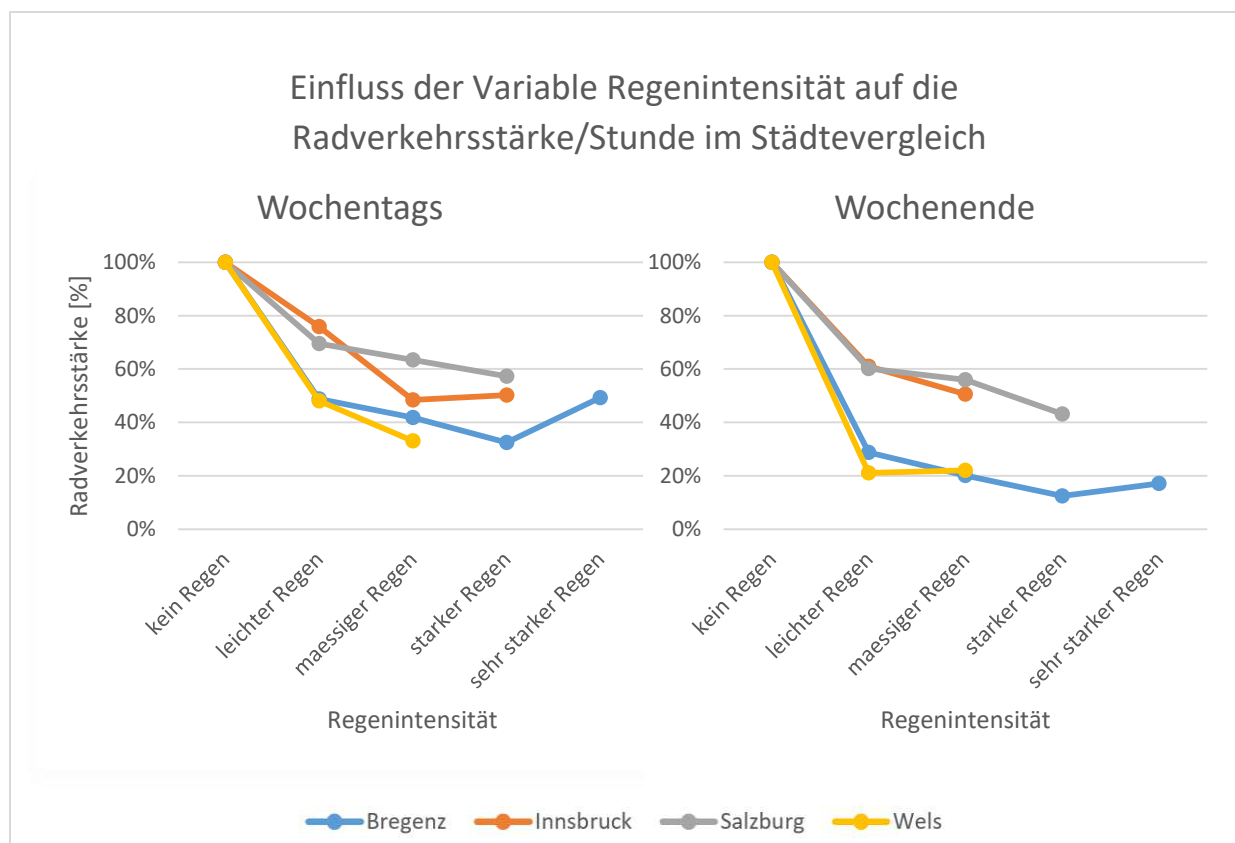


Abb. 31: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

5.14.3 Vergleich Windgeschwindigkeit

Die Abhängigkeit der Anzahl an Radfahrenden von der Windgeschwindigkeit wochentags wird in Abbildung (Abb. 32) links dargestellt. Der Vergleich mit den Einflüssen am Wochenende ist schwer möglich, da dafür die Signifikanz sehr gering ist. Die Signifikanz der Daten aus Innsbruck liegt an der Kippe der Verwendbarkeit der Daten. In Salzburg besteht wochentags ein höherer Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Zahl der Radfahrenden. Umgekehrt sieht es in Bregenz und Wels aus. Hier besitzt der Wind bei den Radfahrenden werktags geringere Auswirkungen, wenn man die nicht signifikanten Ergebnisse vergleicht. Für Innsbruck wird am Wochenende sogar ein minimal positiver Effekt von steigenden Windgeschwindigkeiten angegeben.

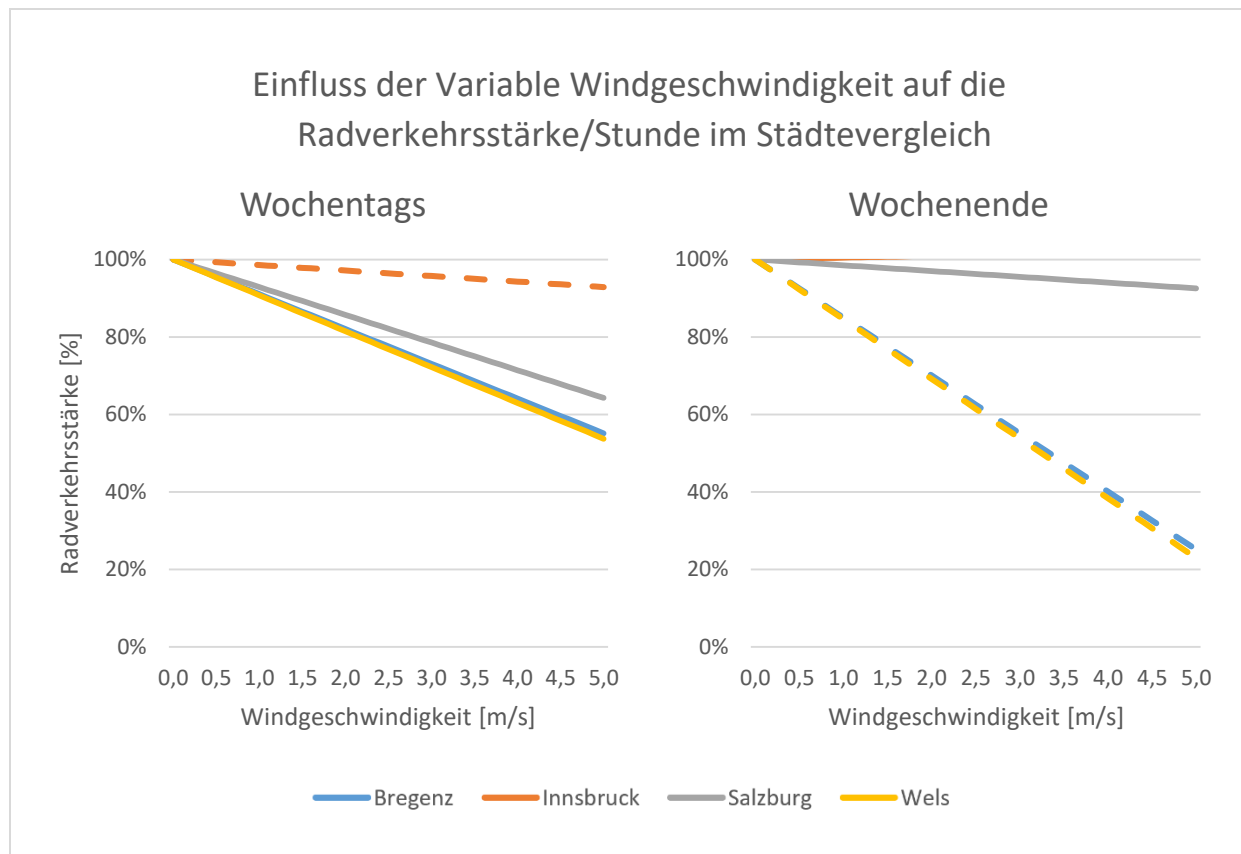


Abb. 32: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

5.14.4 Vergleich Tagesganglinie

Unterschiedliche Tagesganglinien für die Wochentage zeigen deutlich die Einflüsse der Pendler und des Freizeitverkehrs. Während in der Grafik (Abb. 33) links deutlich eine Morgen- und Abendspitze aufgrund des Pendlerverkehrs zu erkennen ist, ist rechts ein flacher Anstieg am Morgen und meist nur eine breite Spitze am Tag ersichtlich. Zusätzlich ist am Wochenende in den Städten Innsbruck und Salzburg eine große Nachtaktivität der Radfahrenden festzustellen. Ähnlichkeiten der Kurven von Innsbruck und Salzburg sind nicht zu übersehen. Bregenz und Wels zeigen größere Schwankungen zueinander und ähneln einander vor allem in den Nachstunden. Wodurch der Einbruch in den Mittagsstunden in Wels am Wochenende verursacht wird, ist unklar.

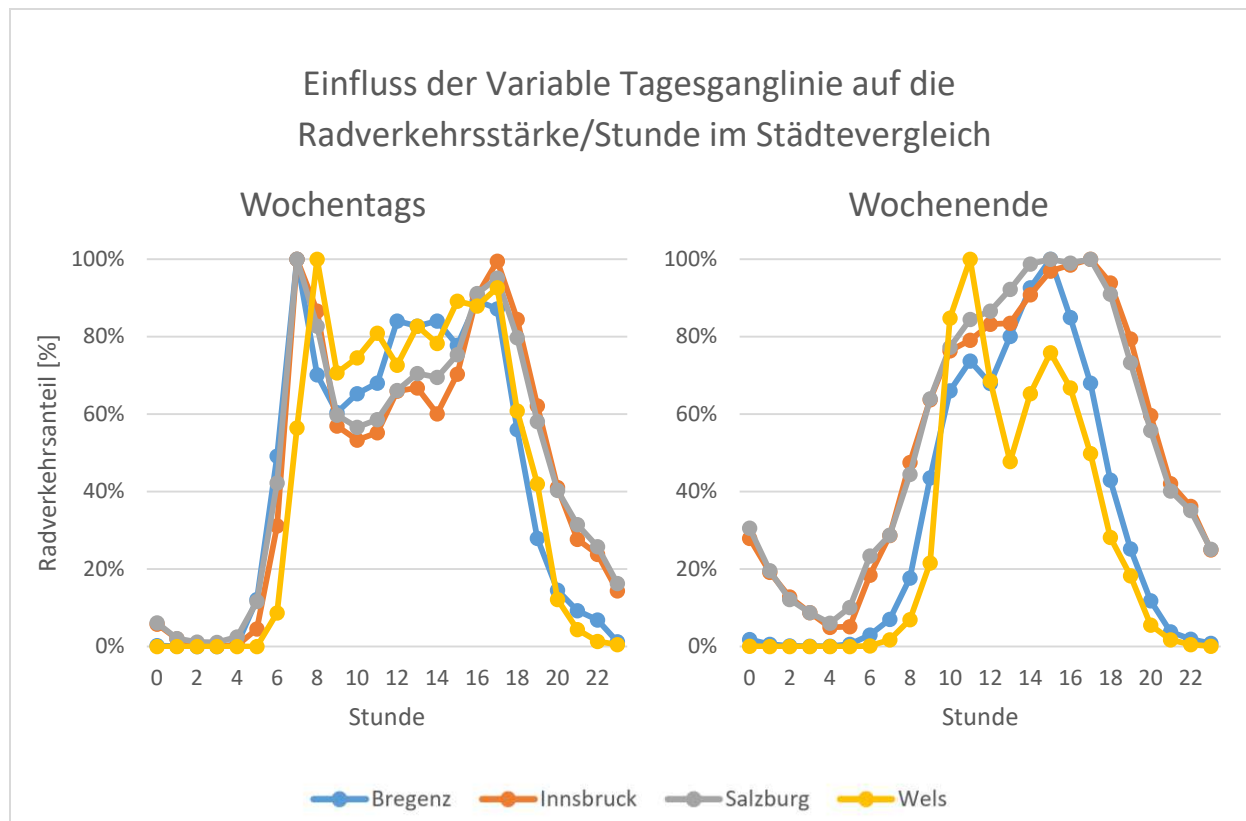


Abb. 33: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels
 links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

5.14.5 Vergleich Monate

Der Vergleich der Monate ist in der Grafik (Abb. 34) für die verschiedenen Wochentage gegenübergestellt. Die Verläufe jeder Stadt zeigen in beiden Teilen einen stark ähnelnden Verlauf mit unterschiedlicher Intensität. Von der starken Konstanz über das Jahr in Innsbruck bis zu großen monatlichen Schwankungen in Wels zeigt jede Stadt ein stark unterschiedliches Bild. Der Einfluss des Monats im Modell ist mit Vorsicht zu interpretieren. Es kann in der Variable durch Korrelationen zwischen Wetter und Monat zu Verzerrungen kommen. Das heißt, die gezeigte Grafik zeigt den Einfluss des Monats auf die Radverkehrszahlen an, wobei diese vor allem durch Temperaturzusammenhänge verzerrt sein können. Auch Datenausfälle und kurze Datenzeiträume finden hier großen Einfluss.

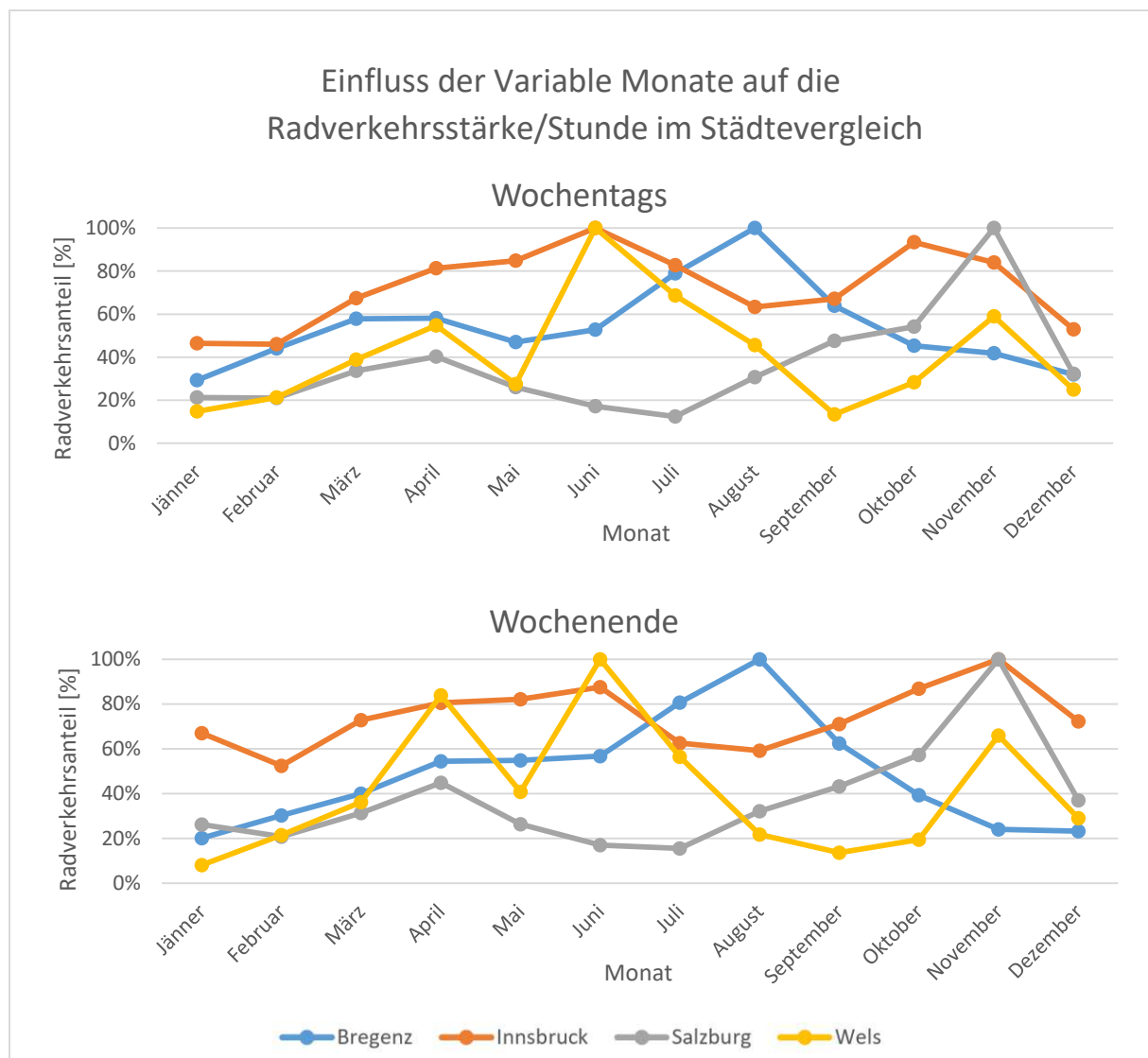


Abb. 34: Einfluss der Variable Monat auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels
links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

5.15 Abwandlung des Modells für Alltagsverkehr/Stoßzeiten

Das Modell wurde für den eingeschränkten Bereich der Wochentage Montag bis Freitag im Zeitraum von 6 bis 9 Uhr ausgewertet. Dieser Bereich deckt die Vormittagsspitze der Berufspendelnden ab (siehe **Abb. 33**). Es liegt die Annahme zu Grunde, dass der gewählte Zeitraum die Alltagsradelnden über das ganze Jahr möglichst gut abbildet. Somit können gezielte Aussagen über den Einfluss des Wetters auf die Verwendung des Fahrrades als Alltagsverkehrsmittel getätigt werden. Aufgrund der starken Einschränkung der Daten wird ein bestimmter Zeitraum detaillierter beschrieben, gewisse Variablen können jedoch aus Mangel an vorhandenen Daten oder aufgrund des geringen Einflusses in dem betrachteten Zeitfenster nicht interpretiert werden. Die Auswirkungen der kalenderbasierten Variablen sind in den Abbildungen (**Abb. 64**, **Abb. 65** und **Abb. 66**) im Anhang zu finden.

Daten zu den Modellen der einzelnen Städte für den Alltagsverkehr in der Stoßzeit sowie die Beschreibungsgrade sind in der Tabelle (**Tab. 12**) angeführt. Der Mittelwert des Beschreibungsgrades der Einzelmodelle liegt bei 37 Prozent.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,417	0,416	2,6	22.996	42	445 bei 37 und 22.996 DF	<2e-16
Innsbruck	0,659	0,656	0,541	3.104	0	222 bei 27 und 3.104 DF	<2e-16
Salzburg	0,245	0,244	4,14	23.899	54	209 bei 37 und 23.899 DF	<2e-16
Wels	0,173	0,169	3,6	6.109	9	45,5 bei 28 und 6.409 DF	<2e-16
Mittelwert	0,374	0,371	2,72	14.027	26		

Tab. 12: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte (Alltagsverkehr)

5.15.1 Einfluss Lufttemperatur auf den Alltagsverkehr

Die Auswirkung der Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke wochentags zwischen 6 und 9 Uhr ist aufgrund des stark eingeschränkten Zeitraums schwierig zu interpretieren. Die Kurven werden auch hier auf 100 Prozent bei 5 °C normiert (**Abb. 35**). Da in dem betrachteten Zeitraum kaum hohe Temperaturen eintreten, sind die Kurven bei einer Temperatur von 20 °C abgeschnitten, da diese vernachlässigbar ist. Die Kurven für Wels und Bregenz überschreiten hier den Grenzwert der Signifikanz von 0,05. Die Ergebnisse dieser Städte sind eingeschränkt zu betrachten. Es zeigt sich ein starker Einfluss der Temperatur in Wels, Salzburg und Bregenz. In Innsbruck sind kaum Auswirkungen der gemessenen Lufttemperatur zu spüren. Bregenz zeigt nahezu lineare Zusammenhänge. In Salzburg sinkt die Radverkehrsstärke im Bereich der Minusgrade am schnellsten ab. Die Steigung der Kurven beim Referenzwert liegt zwischen 3 und 6 Prozentpunkte bei einer Änderung von 1 °C. In Innsbruck und Salzburg steigt der Anteil an Radfahrenden um 3 Prozentpunkte gegenüber dem Referenzwert bei 5 °C an.

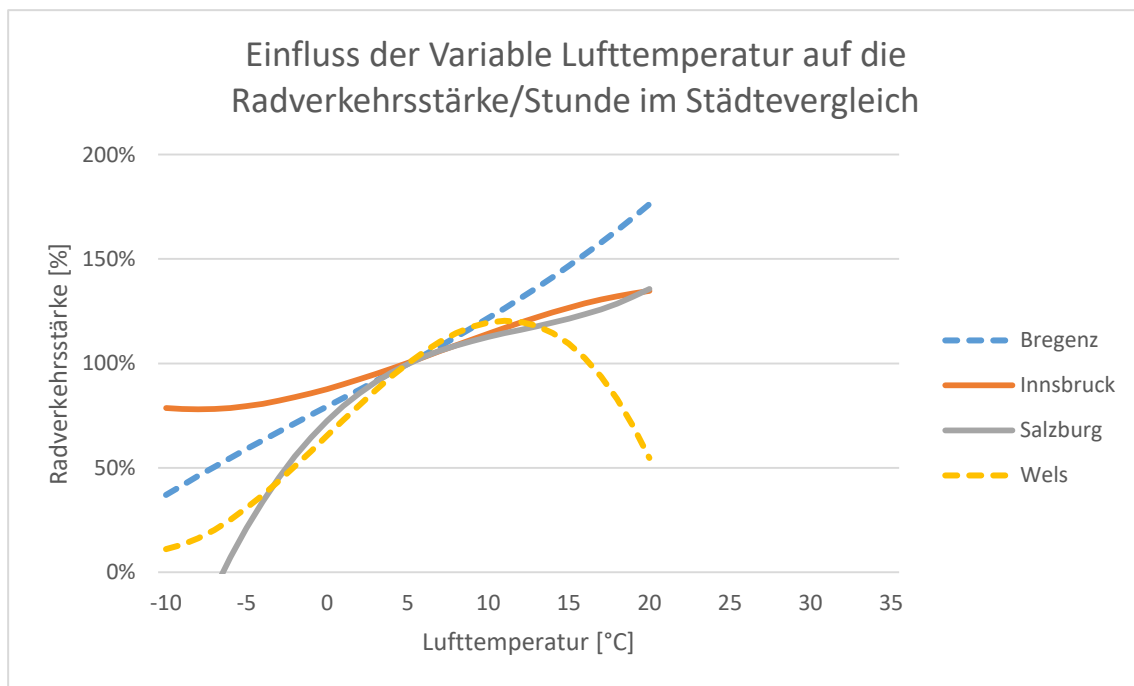


Abb. 35: Einfluss Lufttemperatur auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.15.2 Einfluss Niederschlag auf den Alltagsverkehr

Der Niederschlagseinfluss zeigt in den gewählten Morgen-Pendel-Zeiten einen eindeutigen Trend (**Abb. 36**). Sehr starke Regenereignisse kommen in diesen Zeiträumen seltener vor und sind dadurch nicht aussagekräftig. Dafür besitzen die vier Städte bei leichtem und mäßigem Regen eine nahezu gleiche Entwicklung der Radfahrerzahlen. Bei Eintritt eines Regenereignisses fällt überall

die Zahl der Alltagsradler um 40 Prozent gegenüber trockenem Wetter. Egal ob leichter oder sogar starken Regen, die verbleibende Menge an Radfahrenden liegt nahezu konstant bei 60 Prozent. Kleine Unterschiede bei dem Einfluss von Niederschlag sind bei genauer Betrachtung der Kurven möglich. Bei leichten Niederschlagsereignissen sind in Innsbruck mit 70 Prozent am meisten Radfahrende unterwegs und in Wels am wenigsten. Ein leichter Rückgang von Alltagsradelnden ist bei ansteigender Regenintensität zu erkennen. Den großen Einfluss hat jedoch die Tatsache des vorkommenden Niederschlagsereignisses an sich.

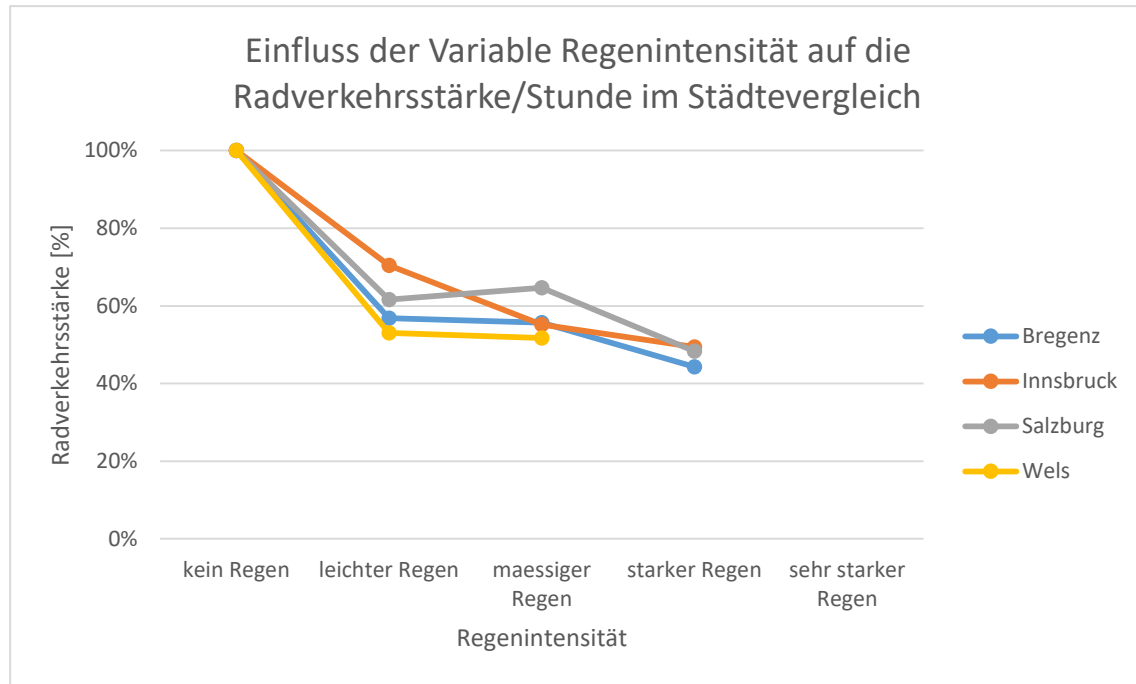


Abb. 36: Einfluss Regenintensität auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.15.3 Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Alltagsverkehr

Die Auswirkung der Windgeschwindigkeit (**Abb. 37**) ist in den betrachteten Stunden am Vormittag nicht signifikant. Nur in Bregenz ist ein geringer Einfluss der Windstärke auf die Radverkehrszahlen messbar. Der Einfluss ist im Vergleich zu der generellen Auswertung des gesamten Datenzeitraumes (**Abb. 26**) viel geringer. Daraus lässt sich ableiten, dass für Alltagsradelnde Wind keine große Rolle spielt.

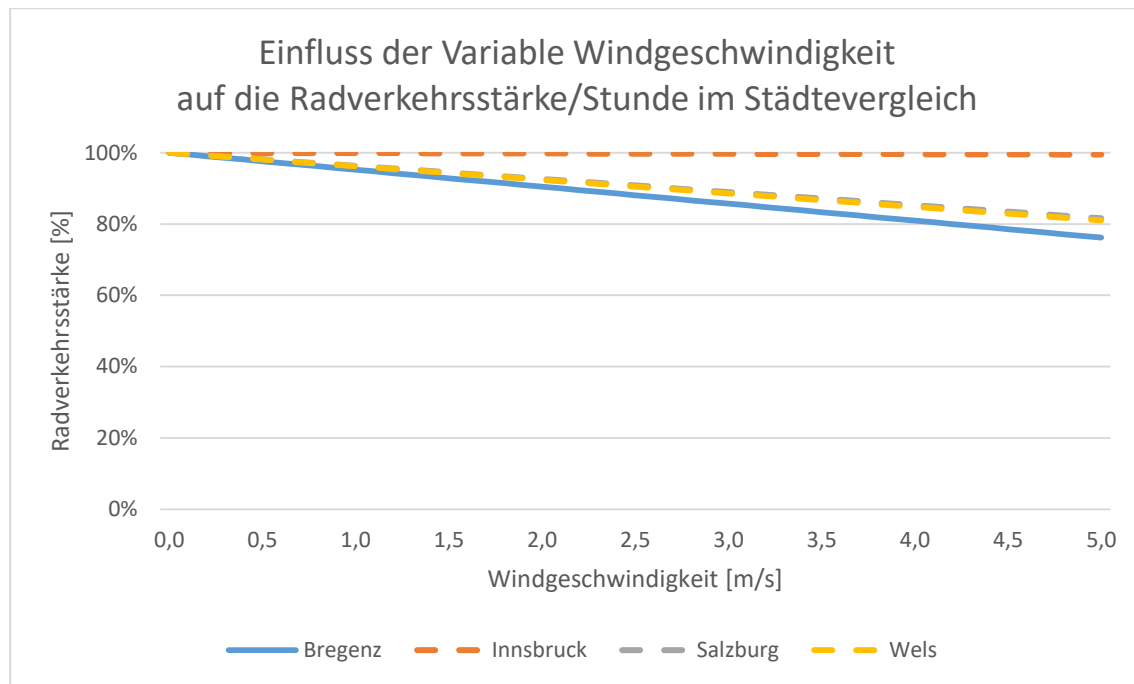


Abb. 37: Einfluss Windgeschwindigkeit [m/s] auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.16 Abwandlung des Modells für Freizeitverkehr

Um wie für den Alltagsverkehr auch für den Freizeitradverkehr Auswertungen durchführen zu können, wird folgende Annahme getroffen. Vorwiegend findet Freizeitverkehr sonntags im Zeitraum von 8:00-16:59 Uhr statt. Damit sind vorwiegend Stunden mit Tageslicht und keine Nachtstunden in der Auswertung vorhanden. Der vergleichbar größere betrachtete Zeitraum wird aufgrund der stärkeren Verteilung der Freizeitfahrten über den Tag und um eine möglichst große Datenmenge zu generieren gewählt. Die Auswirkungen der kalenderbasierten Variablen Monat und Stunde auf den Freizeitradverkehr sind in den Abbildungen (**Abb. 67** und **Abb. 68**) im Anhang zu finden.

Daten zu den Modellen der einzelnen Städte für die betrachteten Stunden an Sonntagen sowie die Beschreibungsgrade sind in der Tabelle (**Tab. 13**) angeführt. Der Mittelwert des Beschreibungsgrades der Einzelmodelle liegt bei 49 Prozent.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,609	0,608	2,71	13.623	42	545 bei 39 und 13.623 DF	<2e-16
Innsbruck	0,858	0,858	0,338	1.843	0	397 bei 28 und 1.843 DF	<2e-16
Salzburg	0,268	0,266	3,89	14.360	0	135 bei 39 und 14.360 DF	<2e-16
Wels	0,232	0,226	4,12	3.668	0	37 bei 30 und 3.668 DF	<2e-16
Mittelwert	0,492	0,490	2,76	8.374	11		

Tab. 13: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte (Freizeitverkehr)

5.16.1 Einfluss Lufttemperatur auf den Freizeitverkehr

Hier (**Abb. 38**) zeigen die Einflusskurven der Temperatur vergleichsweise große Ähnlichkeiten. Die Verläufe sind mit 100 Prozent bei einer Temperatur von 10 °C normiert. Nur für die Berechnung in Salzburg sind alle Werte signifikant. Die übrigen Städte werden strichliert dargestellt. In den vier betrachteten Städten ist das Verhalten der Radfahrenden in weiten Temperaturbereichen nahezu gleich. Vor allem bei niedrigen Temperaturen sinkt die Anzahl an Radfahrenden

stark und gleichmäßig gegen null. Ausgenommen davon ist wie schon bei den Auswertungen zuvor Innsbruck. Die Hochpunkte liegen bei 19 °C in Wels und bei 27 °C in Innsbruck. Die Steigung der Kurven beim Referenzwert beträgt in allen Städten 6 Prozent bei einer Änderung von 1 °C. Nur in Salzburg steigt der Anteil an Radfahrenden um nur 4 Prozent gegenüber dem Referenzwert bei 10 °C an.

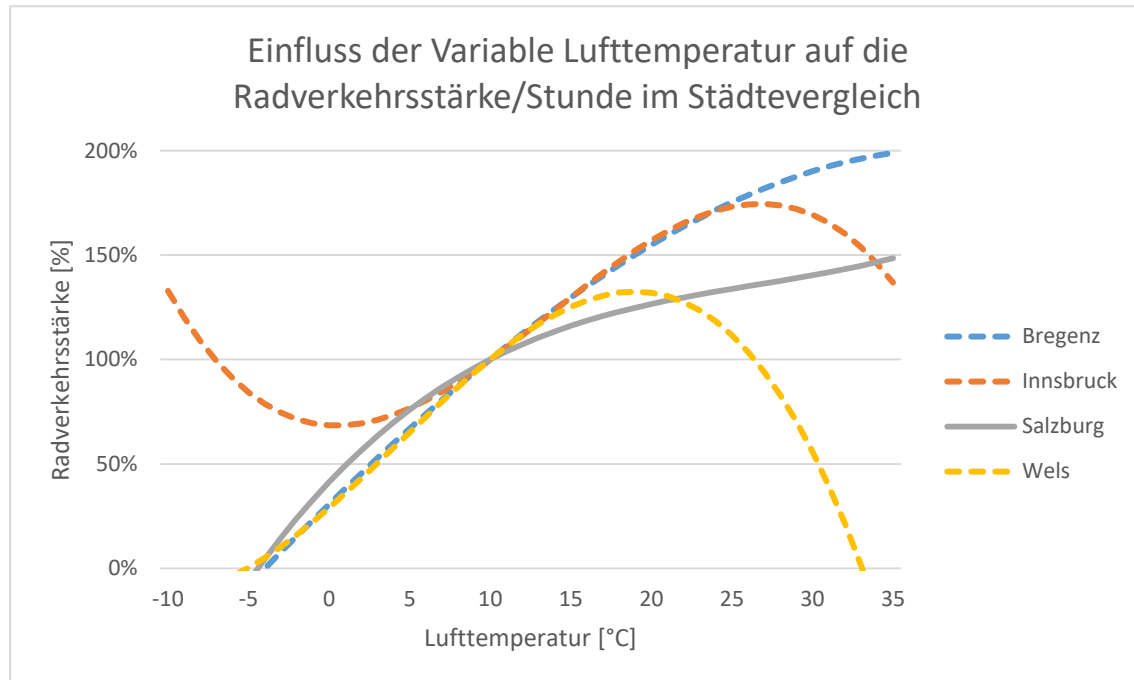


Abb. 38: Einfluss Lufttemperatur auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.16.2 Einfluss Niederschlag auf den Freizeitverkehr

Im Vergleich zur Auswertung des Niederschlags im Alltagsverkehr in Punkt 5.15.2 zeigt die Grafik (**Abb. 39**) ein weit uneinheitlicheres Bild. Der Einfluss von leichten Niederschlagsereignissen auf den Freizeitverkehr ist in Innsbruck und Salzburg gering, bei nur minus 40 Prozent. In Bregenz und Wels sinkt im Vergleich die Radverkehrsstärke auf rund 20 Prozent ab. Einen starken Abwärtstrend zeigt Salzburg bei steigenden Regenmengen.

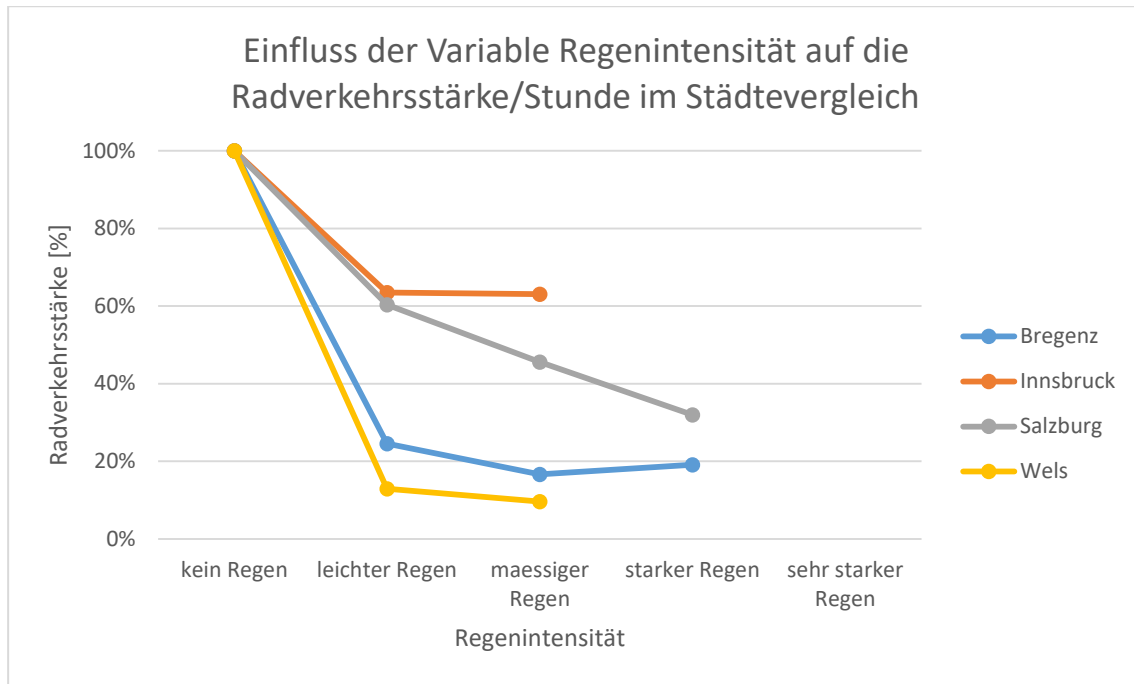


Abb. 39: Einfluss Regenintensität auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.16.3 Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Freizeitverkehr

In der Grafik (Abb. 40) ist der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf den Freizeitverkehr dargestellt. Bregenz und Wels zeigen einen großen Einfluss des Windes auf die Radverkehrsstärke. Bei 5 m/s Windstärke (18 km/h) sinkt die Anzahl an Radfahrenden auf 20 Prozent. In Innsbruck und Salzburg liegt die Signifikanz unter dem Grenzwert von 0,05.

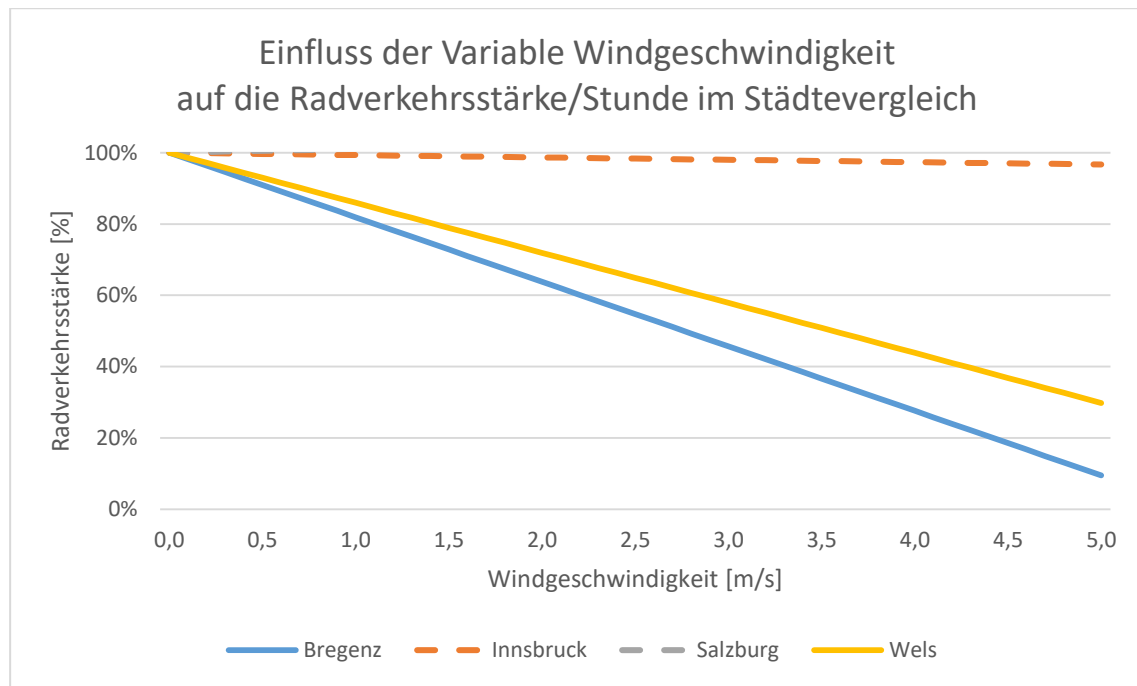


Abb. 40: Einfluss Windgeschwindigkeit [m/s] auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

5.17 Abwandlung des Modells für Jahreszeiten

Um Aussagen über den Einfluss der Jahreszeiten beziehungsweise der Monate treffen zu können, wurden Auswertungen des Modells mit je drei ausgewählten Monaten angestellt. Die Monate wurden aufgrund von ähnlichen Temperaturvorkommen ausgewählt. Dadurch sollen die kalte, die warme und die Übergangszeit im Jahr gut repräsentiert werden. Für Frühling wurden die Monate März bis Mai, für Sommer Juni bis August, für Herbst September bis November und für Winter Dezember bis Februar gewählt (vgl. Merkel, 2020). Durch diese Unterscheidung können Gegenüberstellungen mit der Literatur bzgl. Jahreszeitenvergleich angestellt werden. Das oft erwähnte Winterradeln kann somit auch im österreichischen Städtevergleich mit Zahlen beziffert werden.

Kalenderbezogene Variablen und deren Einfluss sind im Anhang in den Grafiken (**Abb. 69** bis **Abb. 76**) zu finden.

Frühling	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,603	0,603	3,45	61.059	0	1,85E+03 bei 50 und 61.059 DF	<2e-16
Innsbruck	0,588	0,586	1,45	8.766	20	305 bei 41 und 8.766 DF	<2e-16
Salzburg	0,295	0,294	3,91	78.947	206	660 bei 50 und 78.947 DF	<2e-16
Wels	0,537	0,536	3,9	19.775	45	546 bei 42 und 19.775 DF	<2e-16
Mittelwert	0,506	0,505	3,18	42.137	68		

Sommer	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,604	0,604	2,98	57.112	112	1,78E+03 bei 49 und 57.112 DF	<2e-16
Innsbruck	0,669	0,667	1,1	8.789	0	422 bei 42 und 8.789 DF	<2e-16
Salzburg	0,394	0,393	4,16	64.267	281	834 bei 50 und 64.267 DF	<2e-16
Wels	0,444	0,443	4,23	18.508	99	344 bei 43 und 18.508 DF	<2e-16
Mittelwert	0,528	0,527	3,12	37.169	123		

Herbst	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,534	0,533	3,54	67.427	70	1,54E+03 bei 50 und 67.427 DF	<2e-16
Innsbruck	0,575	0,573	1,51	8.690	0	287 bei 41 und 8.690 DF	<2e-16
Salzburg	0,263	0,263	3,15	58.666	100	420 bei 50 und 58.666 DF	<2e-16
Wels	0,449	0,447	4,41	13.056	0	259 bei 41 und 13.056 DF	<2e-16
Mittelwert	0,455	0,454	3,15	36.960	43		

Winter	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,485	0,485	4,01	70.904	335	1,34E+03 bei 50 und 70.904 DF	<2e-16
Innsbruck	0,462	0,459	1,96	8.598	0	180 bei 41 und 8.598 DF	<2e-16
Salzburg	0,426	0,425	3,89	66.115	0	980 bei 50 und 66.115 DF	<2e-16
Wels	0,492	0,491	4,32	17.111	54	394 bei 42 und 17.111 DF	<2e-16
Mittelwert	0,466	0,465	3,55	40.682	97		

Tab. 14: Modellparameter der Einzelmodelle Frühling, Sommer, Herbst und Winter für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte

5.17.1 Einfluss Lufttemperatur im Jahreszeitenvergleich

In der Grafik (Abb. 41) ist der Einfluss der Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke im Jahreszeitenvergleich dargestellt. Durch die starke Einschränkung der Datenmengen sind die Kurven in einigen Städten nicht mehr aussagekräftig. Die Ergebnisse im Frühling und Herbst sind auf 10 °C, im Winter auf 5 °C und im Sommer auf 15 °C normiert. Bei den angegebenen Temperaturen schneiden sich alle Kurven bei 100 Prozent in einem Punkt. Die Temperaturbereiche werden an die jeweiligen Monatstemperaturen angepasst. In den unterschiedlichen Jahreszeiten zeigen die verbleibenden Daten Trends an. Im Frühling liegen die Kurven der vier Städte nahe beieinander. Im Sommer zeigen Bregenz und Innsbruck bei zirka 35 °C den Hochpunkt. In Wels liegt dieser bei rund 20 °C. Der Herbst ist aufgrund der nicht verwertbaren Daten nicht interpretierbar. Die Änderungen der Kurvenformen lassen auf eine andere Verteilung bezüglich Temperatur schließen. Die Kurven im Winter zeigen wie auch schon im Frühling bis auf Innsbruck ein sehr deutliches Bild.

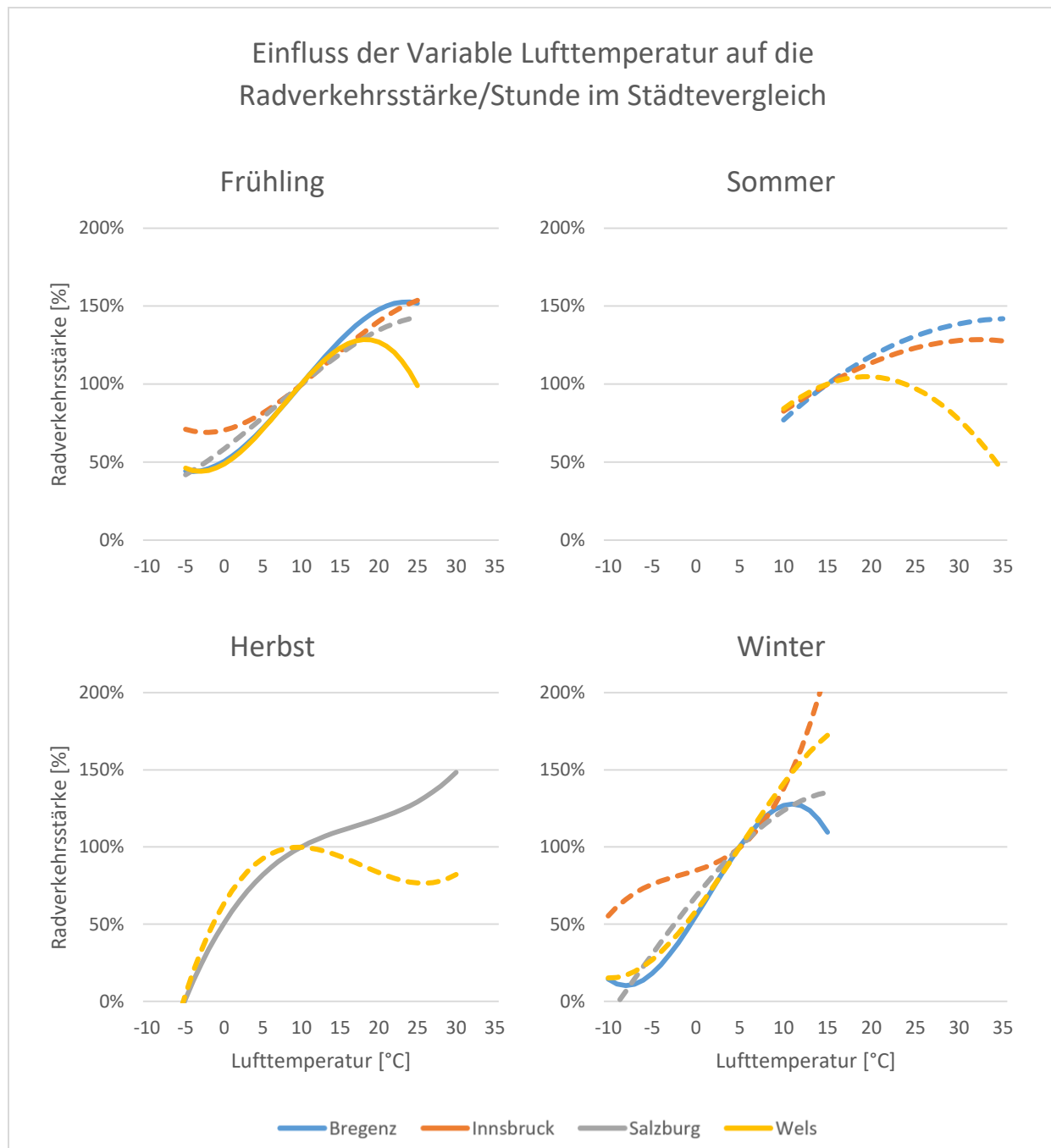


Abb. 41: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Jahreszeitenvergleich im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai, Sommer: Juni- August, Herbst: September- November, Winter: Dezember- Februar)

5.17.2 Einfluss Regenintensität im Jahreszeitenvergleich

Der Einfluss des Niederschlags abhängig von der Jahreszeit zeigt unterschiedliche Effekte (Abb. 42). Während die schon in den zuvor behandelten Auswertungen städtetypischen Reaktionen auf den Regen auch hier ähnlich ausgeprägt sind, finden doch Einflüsse der Jahreszeiten statt. Die Städte Innsbruck und Salzburg sowie Bregenz und Wels besitzen ähnliche Auswirkungen bezüglich Niederschlag und Radverkehrsstärke. Jedoch tauschen die jeweils ähnlichen Städte, je nach Jahreszeit, die Plätze im Ranking.



Abb. 42: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Jahreszeitenvergleich im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai, Sommer: Juni- August, Herbst: September- November, Winter: Dezember- Februar)

In den Wintermonaten treten generell kaum beziehungsweise keine sehr starken Regenereignisse auf. Im Sommer klaffen die Kurven der einzelnen Städte am weitesten auseinander. Im Vergleich dazu liegen die Werte der Radverkehrsstärke im Herbst am nächsten beieinander. Im Winter treten ausgenommen in Salzburg die geringsten Rückgänge bei der Radverkehrsstärke auf. Für die Kategorie leichter Regen im Frühling sind für die Stadt Innsbruck keine signifikanten Ergebnisse vorhanden. Der Punkt bei mäßigem Regen liegt bei ca. 70 Prozent. Der negative Einfluss des Niederschlags ist generell in den Übergangsmonaten stärker ausgeprägt als im Sommer und Winter. Eine stark unterschiedliche Regenempfindlichkeit der Radfahrenden ist aufgrund der Jahreszeiten nicht zu erkennen.

5.17.3 Einfluss Windgeschwindigkeit im Jahreszeitenvergleich

In der Grafik (Abb. 43) ist der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke im Jahreszeitenvergleich mit Hilfe des Modells simuliert. Die gestrichelten Linien bedeuten, dass die Ergebnisse nicht ausreichend signifikant sind. Dies trifft vor allem für die Monate von Juni bis Oktober zu. Der größte Einfluss des Windes liegt in den Jahreszeiten Winter und Frühling.

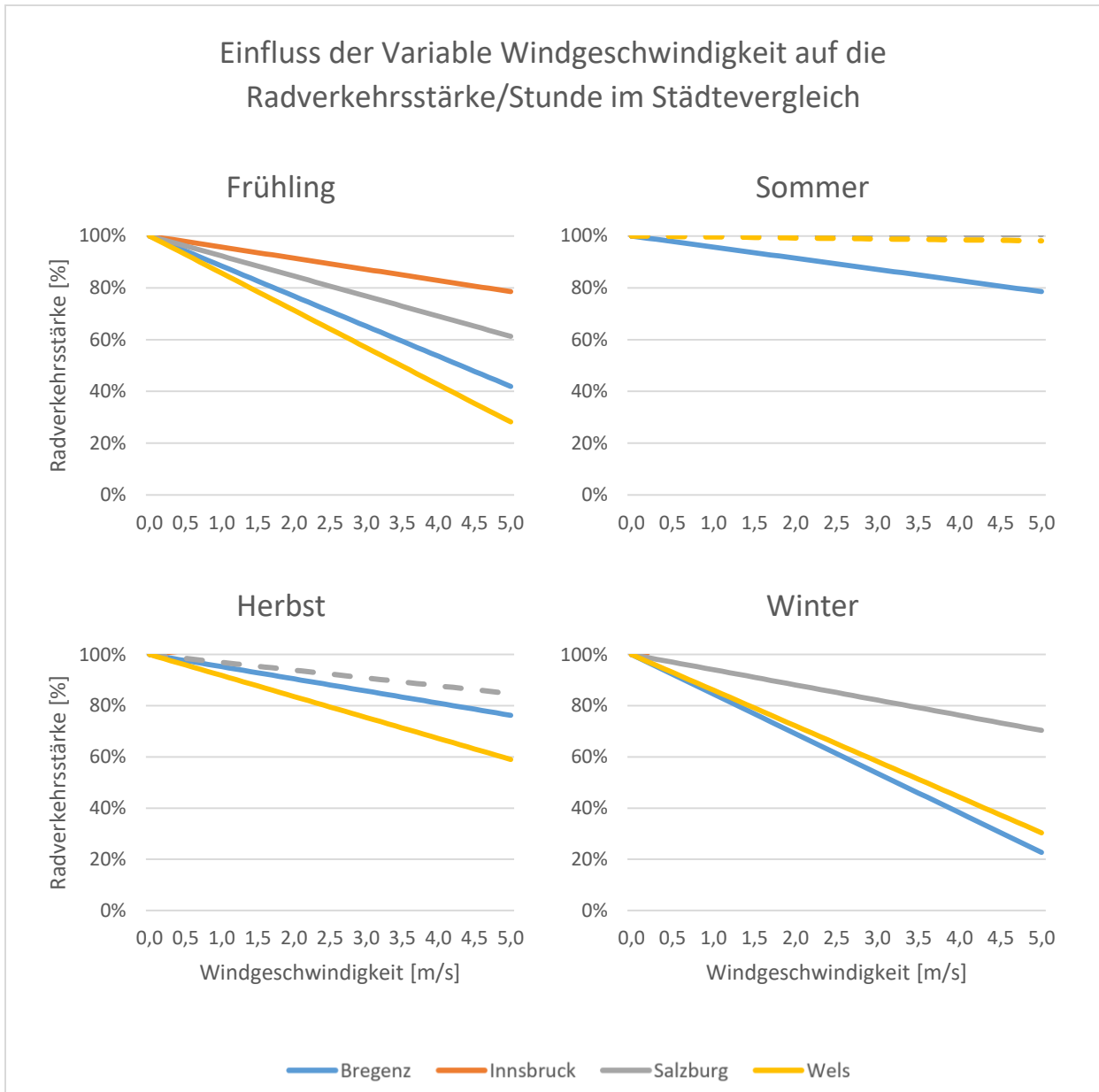


Abb. 43: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit [m/s] auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Jahreszeitenvergleich im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai, Sommer: Juni- August, Herbst: September- November, Winter: Dezember- Februar)

6 Vergleich der Auswertung von stündlichen mit täglichen Radverkehrszählraten

Für die drei Städte Linz, Graz und Wien sind keine stündlichen Daten von Dauerzählstationen vorhanden. In diesem Kapitel wird versucht, ob aus den gewonnenen Informationen der stündlichen Auswertung Schlüsse auf die drei erwähnten Städte gezogen werden können. Dazu wird das gleiche Modell wie bisher angewendet. Die stündlichen Wetterdaten aller sieben Städte werden mit den Tagessummen (Anzahl Radfahrende) der Dauerzählstellen zusammengeführt. Dadurch steckt in jeder Stunde eines Tages die Information der absoluten Anzahl an Radfahrenden, welche am jeweiligen Tag die Zählstation passiert haben. Durch die wetterbasierten Auswertungen kann die relative Veränderung je nach stündlichem Wettereinfluss auf die Tagessumme an Radfahrenden ermittelt werden. Ein Vergleich der Auswertung aus den Stundendaten mit den Tagesdaten zeigt Unterschiede. Die Tendenzen und Arten der Kurven sind weitgehend ident, zeigen jedoch unterschiedliche Ausprägungen in der Intensität des Rückganges oder der Zunahme.

Stundendaten	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,546	0,546	3,6	256.644	517	5,15e + 03 bei 60 und 256.644 DF	<2e-16
Innsbruck	0,564	0,563	1,54	34.960	20	887 bei 51 und 34.960 DF	<2e-16
Salzburg	0,313	0,313	3,98	268.138	633	2,04E+03 bei 60 und 268.138 DF	<2e-16
Wels	0,472	0,472	4,28	68.569	198	1,18E+03 bei 52 und 68.569 DF	<2e-16
Mittelwert	0,474	0,474	3,35	157.078	342		

Tagessummen	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,426	0,426	2,04	256.644	517	3,18E+03 bei 60 und 256.644 DF	<2e-16
Innsbruck	0,716	0,716	0,353	34.960	20	1,73E+03 bei 51 und 34.960 DF	<2e-16
Salzburg	0,234	0,234	4,35	268.138	633	1,37E+03 bei 60 und 268.138 DF	<2e-16
Wels	0,099	0,099	3,12	68.569	198	146 bei 52 und 68.569 DF	<2e-16
Mittelwert	0,369	0,369	2,466	157.078	342		

Tab. 15: Vergleich der Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten und die Tagessummen der vier Städte

In Tabelle (Tab. 15) werden die stündlichen Zählraten und Tagessummen gegenübergestellt. Der obere Teil Stundendaten ist ident mit der Tabelle (Tab. 10). Das „R²“ zwischen Stunden- und Tagesdaten ändert sich sehr unterschiedlich bei den vier betrachteten Städten. Der Wert sinkt in allen Städten außer in Innsbruck, wo die Beschreibungskraft des Modells auf über 70 Prozent steigt. Auffällig ist das Modell mit den Tagessummen in Wels. Hier stürzt die Beschreibungskraft bei der Verwendung der Summe an Radfahrenden pro Tag auf 10 Prozent ab.

Zusammenfassend kann behauptet werden, dass eine vereinfachte Verwendung des Modells tendenziell eine schlechtere Beschreibungskraft besitzt. Die vermeintliche Verbesserung des „R²“ in Innsbruck ist mit Tagesdaten daher nicht möglich. Tatsächlich kann diese im besten Fall gleich bleiben. Inwieweit die entstehenden Abhängigkeiten der Werte innerhalb eines Tages sich auf das „R²“ und den Reststandardfehler auswirken, ist unklar.

6.1 Vergleich der Ergebnisse aus Stundenzähldaten und Tageszählsummen

6.1.1 Vergleich Ergebnisse Lufttemperatur

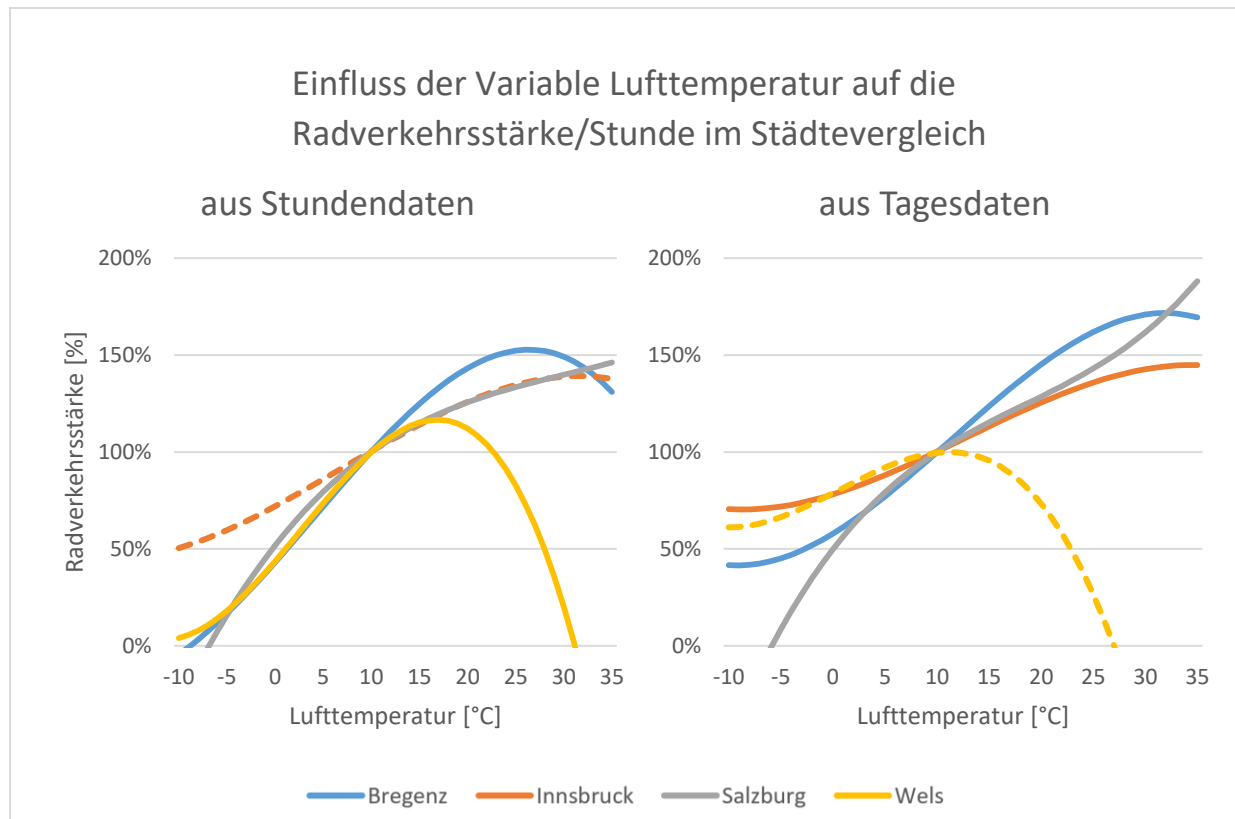


Abb. 44: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

links: aus Stundendaten der Dauerzählstellen, rechts: aus der Tagessumme der Dauerzählstellen

In der Abbildung (**Abb. 44**) wird der Unterschied des Einflusses der Lufttemperatur bei Stundendaten oder Tagesdaten verglichen. Links, bei den stündlichen Radverkehrsdaten, sind die Daten für Innsbruck nicht signifikant. Rechts, bei den verwendeten Tagesdaten, trifft dies wiederum auf Wels zu.

Bei gleicher Normierung auf jeweils 10 °C mit 100 Prozent ist eine Verschiebung bei den Tagesdaten im Vergleich zu den stündlichen Daten zu erkennen. Die Steigerung gegenüber dem Referenzwert ist höher und der Rückgang geringer. Die Kurven der Tagesdaten sind dadurch flacher dargestellt.

Dies ist auf die Vereinfachung der Verwendung von Tagessummen zurückzuführen. Auch die Nachtstunden mit geringeren Temperaturen erzeugen eine derartige Verschiebung der Kurven.

6.1.2 Vergleich Ergebnis Niederschlag

Die vereinfachte Herangehensweise (mit Tagesdaten) in der Auswertung (**Abb. 45 rechts**) zeigt Unterschiede zur Auswertung mit Stundendaten. Der Verlauf des Rückganges bei Niederschlag zeigt ein annähernd gleiches Bild. Die Abnahme der Radverkehrsstärke ist bei der Auswertung mit Tagesdaten jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Einzig Wels zeigt im Vergleich zwischen links und rechts unterschiedliche Verläufe. Lässt man Wels aufgrund der geringen Beschreibungskraft mit Tagesdaten weg, lässt sich die Hypothese aufstellen, dass mit Tageszählzeiten die Beschreibung des Einflusses der Niederschlagsmengen an stündliche Auswertungen herankommt. Dies trifft jedenfalls auf die „Kurvenform“ zu, jedoch nicht auf die Intensität der Abnahme des Radverkehrs.

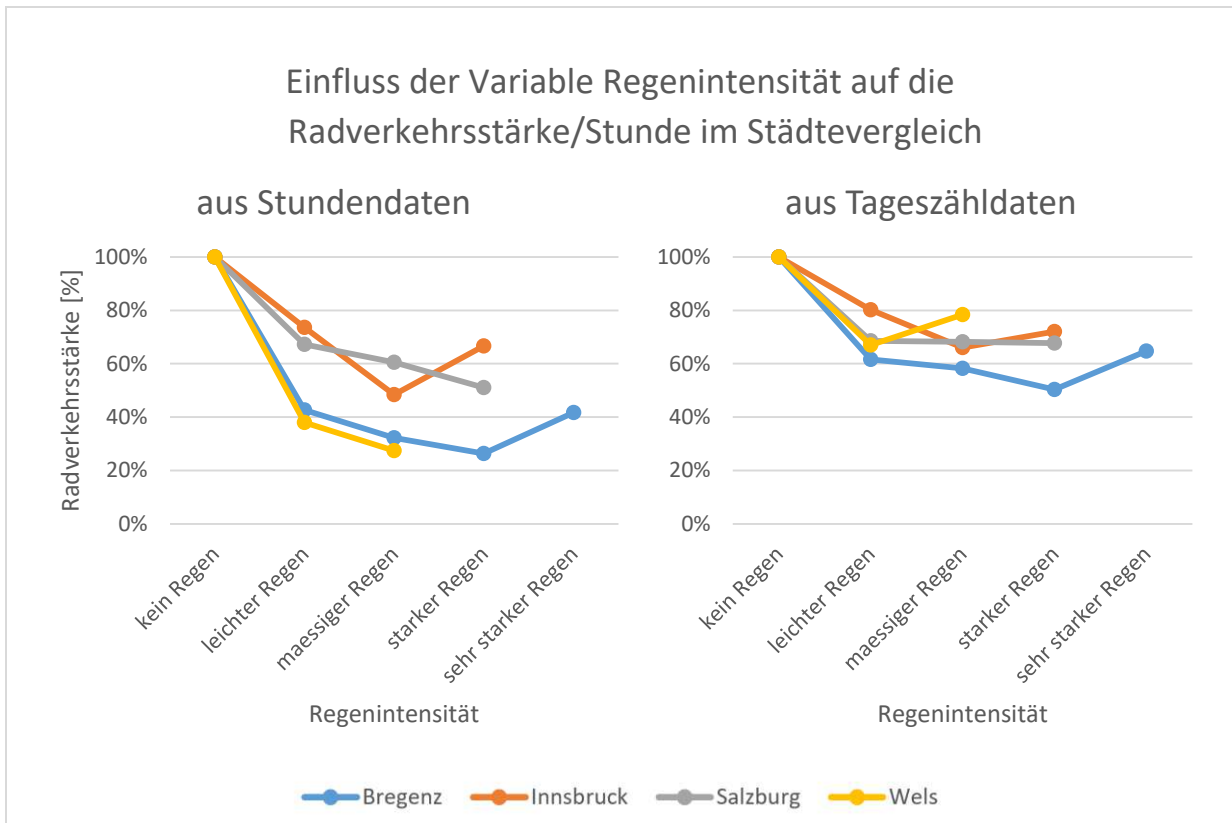


Abb. 45: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels
links: aus Stundendaten der Dauerzählstellen, rechts: aus der Tagessumme der Dauerzählstellen

6.1.3 Vergleich Ergebnis Windgeschwindigkeit

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit bezogen auf den Rückgang des Radverkehrs im Vergleich von Stundendaten und Tagesdaten wird in der Grafik (Abb. 46) dargestellt. Wie auch schon beim Niederschlag ist die Auswirkung auf den Rückgang der Radfahrenden bei der Auswertung mit Tagessummen der gezählten Fahrräder geringer. Die Ausprägung in jeder Stadt fällt unterschiedlich stark aus. In Salzburg ist der Einfluss des Windes mit den Tagesdaten (rechts) gemessen stärker als bei der Stundendatenauswertung (links). Ein einheitlicher Trend oder eindeutige Gemeinsamkeiten der unterschiedlichen Auswertungen sind aus diesen Kurven im direkten Vergleich nicht zu erkennen. Zusätzlich ist der Einfluss der Windgeschwindigkeit von Problemen mit unzureichender Signifikanz der Ergebnisse betroffen und erschwert somit die Vergleichbarkeit. Ableitungen des Einflusses der Windgeschwindigkeit auf die Stärke des Radverkehrs in den unterschiedlichen Städten in Österreich sind weder mithilfe von Tagessummen der Radfahrenden noch mit stündlichen Wetterdaten aussagekräftig.

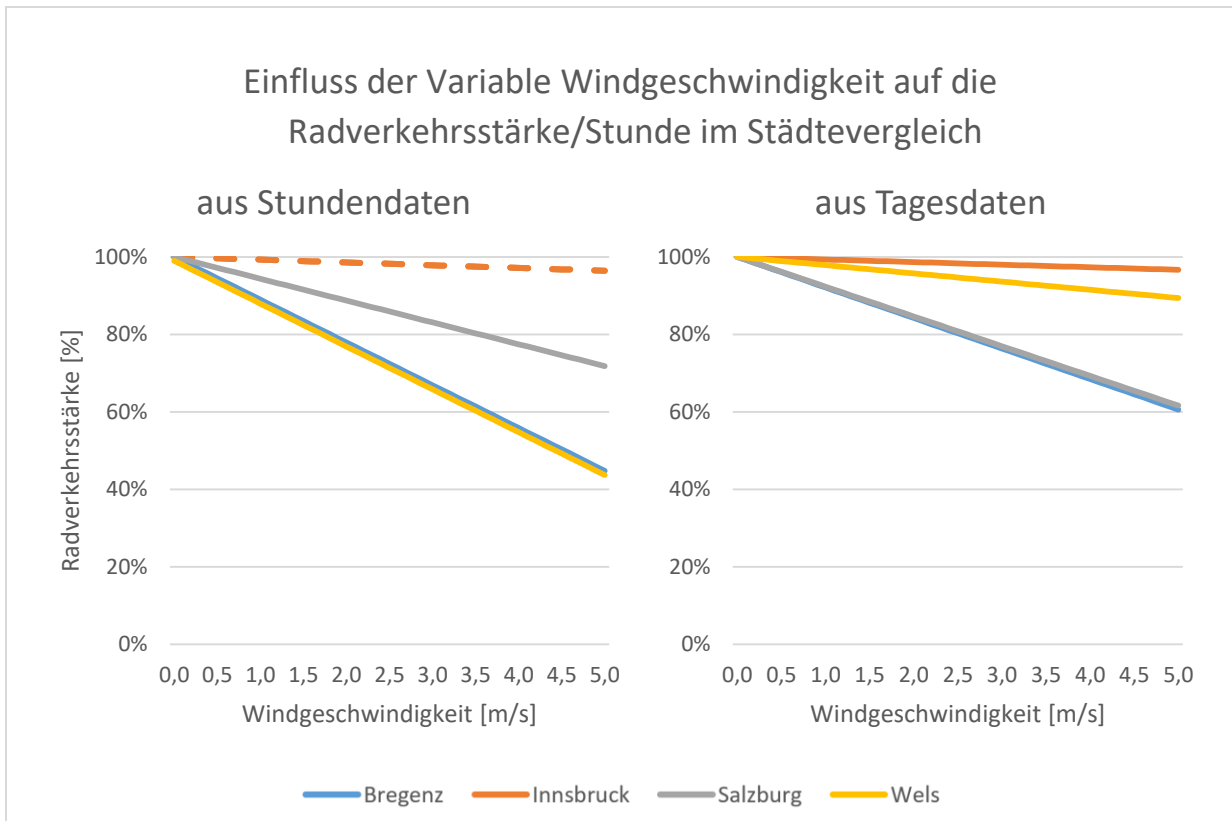


Abb. 46: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels
links: aus Stundendaten der Dauerzählstellen, rechts: aus der Tagessumme der Dauerzählstellen

7 Ergänzende beschreibende Statistik

7.1 Radverkehrszähldaten

In der Tabelle (**Tab. 20**) werden die vorhandenen Daten von Linz, Graz und Wien beschrieben.

Für jeden Tag, der über Tageszählzeiten einer Zählstation verfügt, werden alle 24 Stunden mit den zugehörigen stündlichen Wetterdaten verknüpft. Um die Tageszählzeiten als quasi stündliche Daten für die Vergleiche heranzuziehen, werden diese zu jeder Stunde des Tages als Tagessumme hinzugefügt. Dieses Vorgehen stellt eine Vereinfachung des stündlichen Einflusses des Wetters auf die Tageszählsummen dar. Diese Anwendung soll eine Annäherung an die Auswirkungen des stündlichen Wetters auf die stündlichen Zählzeiten ergeben.

Die Tabelle ist eine Fortsetzung der Tabelle (**Tab. 8**) für die Städte Linz, Graz und Wels.

Stadt	Station	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
22	Linz	Donauradweg	0	0	0	0	0	0	7.007	4.345
23	Linz	Eisenbahnbrücke	0	8.783	8.760	8.760	8.760	1.681	0	0
24	Linz	Nibelungenbrücke	0	8.783	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	4.345
25	Linz	Puchenau	0	0	0	0	0	0	2.423	3.625
26	Linz	Steyreggerbrücke	0	0	0	0	0	8.207	8.760	3.481
27	Graz	Z2 - Keplerbrücke	0	0	8.759	8.760	5.088	8.784	8.760	8.760
28	Graz	Z3 - Stadtpark	0	0	8.759	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
29	Graz	Z4 - Körösisstraße	0	0	8.759	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
30	Graz	Z5 - Augarten	0	0	0	0	8.759	8.784	8.760	8.232
31	Graz	Z6 - B.v.Suttner	0	0	8.759	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
32	Wien	Argentinerstrasse	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
33	Wien	Donaukanal	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
34	Wien	Langobardenstrasse	8.759	8.784	8.736	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
35	Wien	Lassallestrasse	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
36	Wien	Liesingbach	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
37	Wien	Margaritensteg	0	5.135	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
38	Wien	Neubaugrtel	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
39	Wien	Operngasse	0	0	4.415	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
40	Wien	Opernring	2.207	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
41	Wien	Opernringaussen	1.895	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
42	Wien	Opernringinnen	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
43	Wien	Pfeilgasse	0	0	0	0	0	1.463	8.760	8.760
44	Wien	Praterstern	0	0	4.415	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760
45	Wien	Wienzeile	8.759	8.784	8.760	8.760	8.760	8.784	8.760	8.760

Tab. 16: Übersicht Anzahl Stunden (Tageszählsummen vorhanden) pro Jahr und Station inklusive Wetterdaten der ZAMG für die stündlich vorhandenen Wetterdaten

In der Tabelle (**Tab. 17**) wird eine Übersicht über die erhobenen Daten aller sieben betrachteten Städte geboten. Dies ist eine Erweiterung der Tabelle (**Tab. 5**). Der Durchschnitt pro Stunde und Zählstelle wird von den Tagesdaten zurückgerechnet. Die Zeile Durchschnitt pro Zählstelle wird mit einem gemittelten Wert der Anzahl an Zählstellen pro Jahr errechnet. Es werden alle Stunden (auch Nachtstunden) berücksichtigt. Graz zeigt die höchste Anzahl an gezählten Radfahrenden pro Stunde und Zählstelle mit 27,3 Personen und liegt damit knapp vor Innsbruck. Dahinter liegen Salzburg und Linz. Wien rangiert mit nur 5,6 Personen pro Stunde und Zählstelle vor Wels und Bregenz an drittletzter Stelle.

Anzahl Radfahrende/Stunde	Bregenz	Innsbruck	Salzburg	Wels	Linz	Graz	Wien
Durchschnitt	28,2	96,7	101,0	5,5	50,2	127,7	71,8
Anzahl Zählstellen	8	4	6	3	5	5	14
Durchschnitt/Zählstelle	4,2	24,2	21,3	1,8	20,1	27,3	5,6

Tab. 17: Übersicht erhobene Daten Anzahl der Radfahrenden pro Stunde für sieben Städte in Österreich

Die Reihung der sieben Städte nach der Anzahl an Radfahrenden pro Stunde und Zählstelle stimmt nicht mit der Reihung nach dem Modal Split (**Abb. 10**) zusammen, da es sich einmal um eine absolut Anzahl der Radfahrenden einer Stadt handelt und zum anderen um den Anteil des Radverkehrs in Relation zu den anderen Verkehrsmodi. Die Lage der Zählstellen in den Städten spielt eine große Rolle für die generierten Radverkehrszählungen jeder Stadt.

7.2 Meteorologische Einflüsse

7.2.1 Lufttemperatur

Die gemessene Lufttemperatur über alle Stunden (auch Nachtstunden) für alle sieben Städte zeigt sehr ähnliche Ausprägungen. Die Grafik ist eine Erweiterung zur Abbildung (**Abb. 11**). In der Verteilung der Anzahl der Stunden mit der zugehörigen gemessenen Lufttemperatur pro Stadt zeigt sich bei den bisher nicht betrachteten Städten Linz, Graz und Wien ein sehr ähnliches Bild (**Abb. 47**). Im Bereich 0 bis 20 °C häufen sich die Stunden mit den oft vorkommenden Temperaturen. In Wien ist der Anteil an Stunden mit hohen Temperaturen im Vergleich hoch. Niedrige Temperaturen kommen im Städtevergleich in Wien seltener vor.

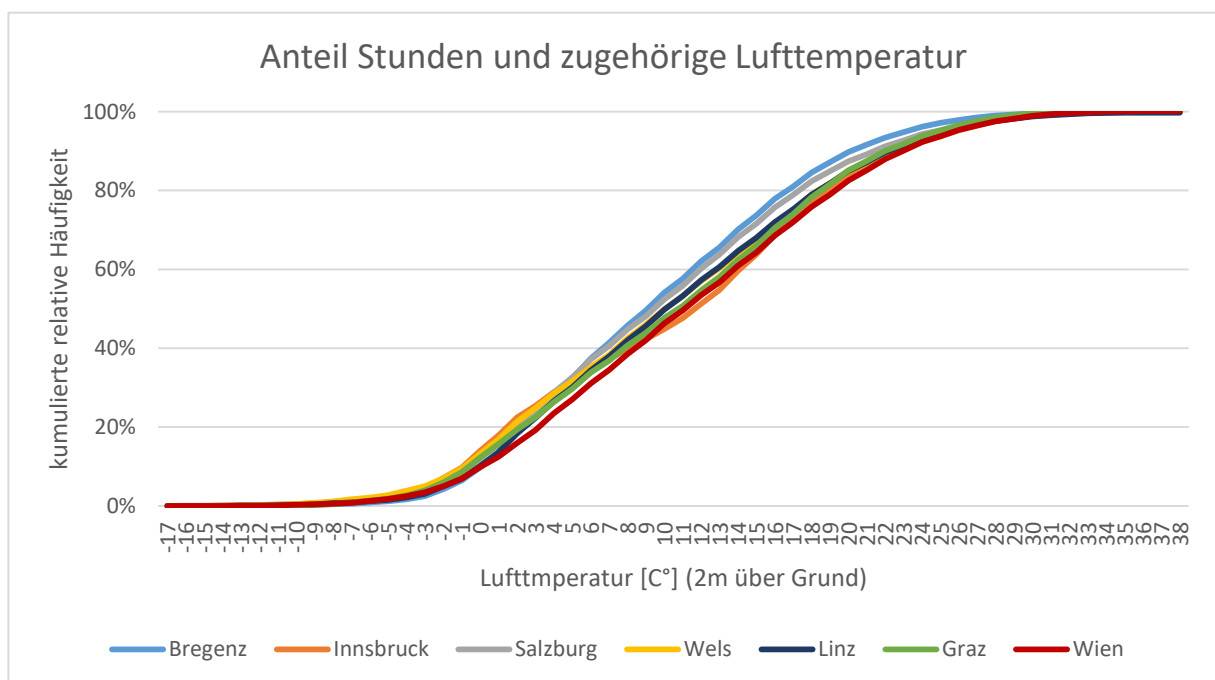


Abb. 47: Anteil Stunden und zugehörige Lufttemperatur gemessen 2 m über Grund für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien, Temperaturwerte wurden auf ganze Zahlen gerundet

7.2.2 Niederschlag (Regenintensität)

In der Tabelle (**Tab. 18**) werden die Stunden nach Regenintensität pro Stadt aufgelistet. Es werden alle sieben Städte betrachtet, wobei die Tabelle (**Tab. 6**) der vier Städte mit Stundendaten als Grundlage dient. Bei der Betrachtung jeder einzelnen Stadt sind zwischen 84 und 92 Prozent der Stunden niederschlagsfrei. Die Städte Wien und Graz liegen mit einem Anteil an niederschlagsfreien Stunden von über 90 Prozent an der Spitze der trockenen Städte. Leichter und mäßiger Regen tritt in den beiden Städten jeweils nur in 4 Prozent aller Stunden auf. Starker und sehr starker Regen liegen prozentuell gemessen in den drei großen Städten (Linz, Graz und Wien) im vernachlässigbaren Kommastellen Bereich.

Regenintensität Stadt	kein Regen		leichter Regen		maessiger Regen		starker Regen		sehr starker Regen		NA	Summe
	0 mm		0 bis 0,5 mm		0,5 bis 4 mm		4 bis 10 mm		größer 10 mm			
Bregenz	218.847	85%	15.092	6%	20.969	8%	1.767	1%	185	0%	362	257.222
Innsbruck	31.160	89%	2.120	6%	1.652	5%	88	0%	8	0%	4	35.032
Salzburg	226.883	84%	18.477	7%	21.112	8%	1.577	1%	236	0%	547	268.832
Wels	61.803	90%	3.582	5%	3.030	4%	171	0%	27	0%	207	68.820
Linz	125.053	89%	7.998	6%	6.501	5%	279	0%	24	0%	449	140.304
Graz	220.333	91%	10.199	4%	9.625	4%	818	0%	225	0%	0	241.200
Wien	846.253	92%	40.730	4%	34.123	4%	1.959	0%	405	0%	26	923.496
Mittelwert		89%		5%		5%		0%		0%	Summe	1.934.906

Tab. 18: Übersicht Wetterdaten Regenintensität je Stunde

Im Vergleich zu den vier zuvor betrachteten Städten ist der Anteil an Stunden ohne gemessenen Niederschlag in den Städten Linz, Graz und Wien hoch und liegt im Schnitt über 90 Prozent. Dies erhöht den Durchschnitt aller sieben Städte auf 89 Prozent. Bei der Betrachtung einer relevanten Niederschlagsmenge über 0,1 mm/Stunde sind es nur 9 Prozent der Stunden, in welchen es regnet, schneit, oder hagelt. Bei einer stündlichen Niederschlagsmenge über 0,5 mm sinkt die Anzahl der Stunden, wo dies zutrifft, auf zirka 5 Prozent. Dies ist in der Tabelle (**Tab. 19**) angeführt, welche eine Erweiterung der Tabelle (**Tab. 7**) ist.

	kein Regen		≤0,1		≤0,5		Total
Bregenz	218.847	85%	225.082	88%	235.873	92%	257.222
Innsbruck	31.160	89%	32.188	92%	33.496	96%	35.032
Salzburg	226.883	84%	234.404	87%	247.722	92%	268.832
Wels	61.803	90%	63.324	92%	65.748	96%	68.820
Linz	125.053	89%	128.433	92%	133.919	95%	140.304
Graz	220.333	91%	224.985	93%	231.600	96%	241.200
Wien	846.253	92%	864.361	94%	891.441	97%	923.496
Mittelwert		89%		91%		95%	1.934.906

Tab. 19: Übersicht Wetterdaten Regenintensität Abstufung je Stunde

7.2.3 Windgeschwindigkeit

In allen sieben Städten werden Windgeschwindigkeiten pro Stunde bis maximal 15,6 m/s gemessen. In der Grafik (**Abb. 50**) sind die Unterschiede in den Städten bis zu 11 m/s ersichtlich. Die Grafik ist eine Erweiterung der (**Abb. 12**). Linz zeigt eine große Anzahl an Stunden bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten. Hingegen besitzt Graz eine Häufung zwischen ca. 0,5 m/s und 1,5 m/s. Wien zeigt ein ganz anderes Erscheinungsbild im Vergleich zu den übrigen Städten. Die Kurve bildet einen sehr flachen Verlauf und besitzt den größten Anteil an Stunden mit starkem Wind. Diese städtespezifischen Windvorkommen sind in den folgenden Auswertungen zu berücksichtigen.

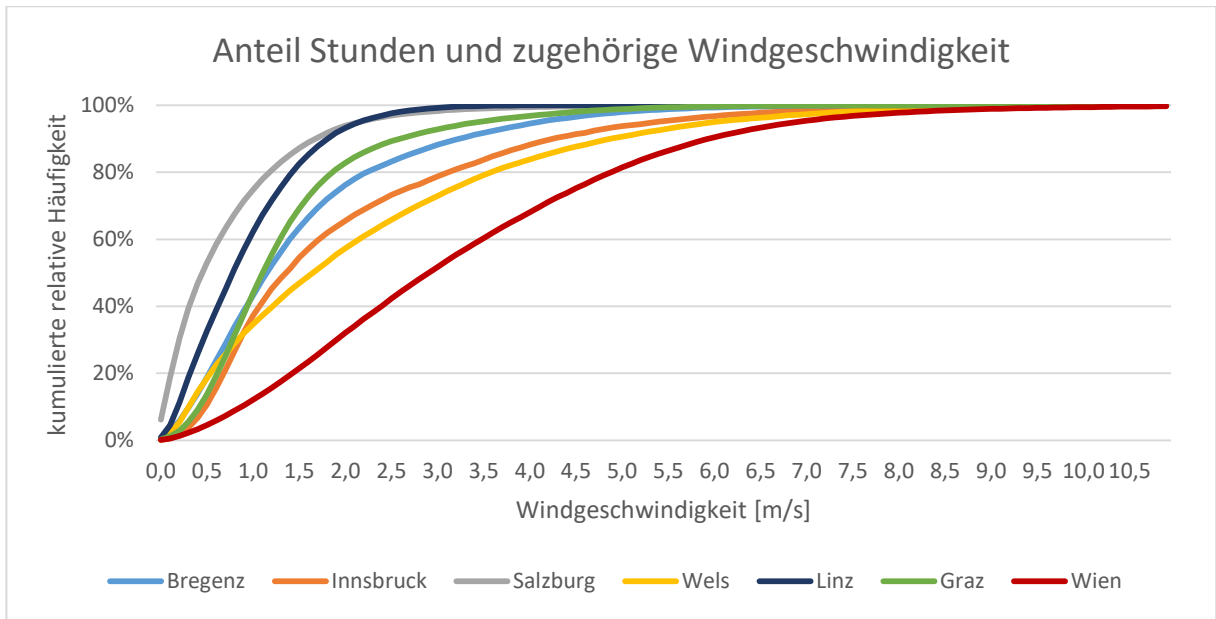


Abb. 48: Anteil Stunden und zugehörige Windgeschwindigkeit für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8 Auswertung der täglichen Radverkehrszählraten

8.1 Modellergebnisse der Analyse der täglichen Gesamtdaten

Die Modellparameter für die Einzelmodelle mit den verwendeten Tagessummen sind in der Tabelle (Tab. 20) zusammengefasst. Wie schon in Kapitel 6 beschrieben, konnte aus dem durchgeführten Vergleich keine eindeutige Feststellung bezüglich der Aussagekraft der Modellparameter bei der Verwendung von Tagessummen in stündlichen Auswertungen gegeben werden. Auffällig ist einerseits die hohe Beschreibungskraft für Wien, die sich jedoch aufgrund der enormen Datenmenge (große Stationsanzahl, hohes absolutes Radverkehrsaufkommen und langer Datenzeitraum) argumentieren lässt. Andererseits fällt Wels mit einem sehr niedrigen „R²“ von rund 10 Prozent auf, welcher bei den Stundendaten weitaus höher liegt. Hier kann vielleicht das geringe absolute Radverkehrsaufkommen eine Rolle spielen. Die Richtigkeit der Ergebnisse für Wels in den folgenden Ausführungen ist aufgrund der geringen Beschreibungskraft und auch der oft zu niedrigen Signifikanz anzuzweifeln.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,426	0,426	2,040	256.644	517	3,18E+03 bei 60 und 256.644 DF	<2e-16
Innsbruck	0,716	0,716	0,353	34.960	20	1,73E+03 bei 51 und 34.960 DF	<2e-16
Salzburg	0,234	0,234	4,350	268.138	633	1,37E+03 bei 60 und 268.138 DF	<2e-16
Wels	0,099	0,099	3,120	68.569	198	146 bei 52 und 68.569 DF	<2e-16
Linz	0,659	0,659	0,748	139.772	472	4,58E+03 bei 59 und 139.772 DF	<2e-16
Graz	0,180	0,180	1,340	241.065	76	913 bei 58 und 241.065 DF	<2e-16
Wien	0,843	0,843	0,430	923.089	337	7,17e+04 bei 69 und 923.089 DF	<2e-16
Mittelwert	0,451	0,451	1,769	276.034	322		

Tab. 20: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte

8.1.1 Einfluss Lufttemperatur

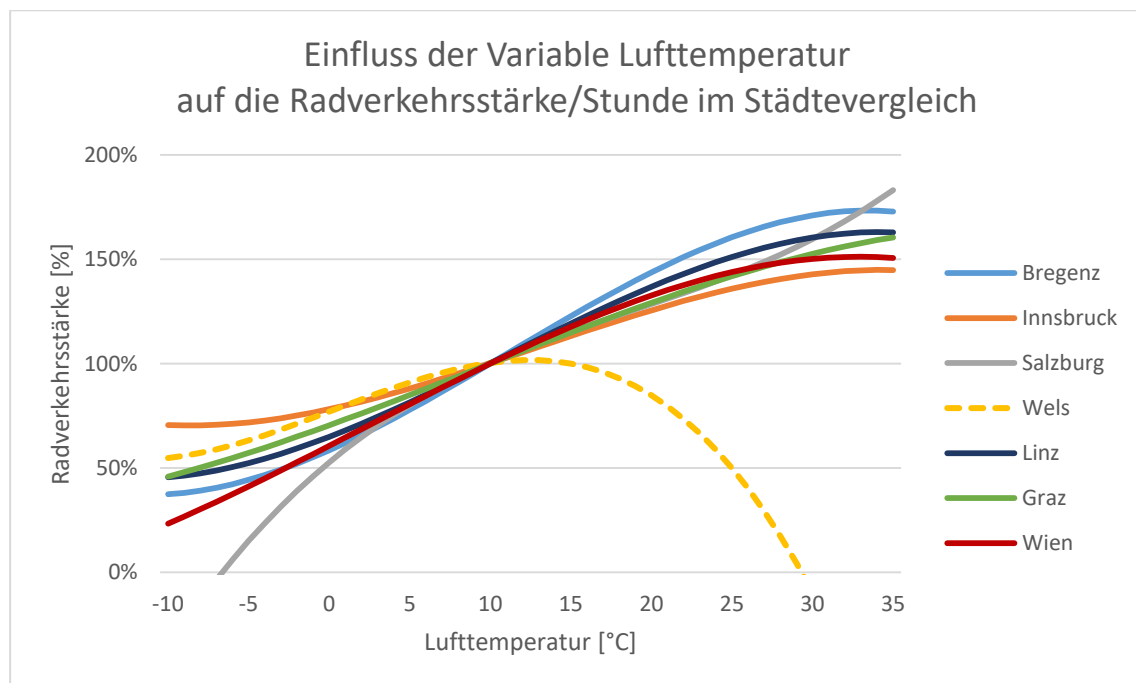


Abb. 49: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

Alle Kurven bezüglich des Einflusses der Lufttemperatur auf den Radverkehr liegen zwischen den Kurven von Bregenz, Innsbruck und Salzburg. Die Kurven in Abbildung (Abb. 49) werden auf 100 Prozent bei einer Temperatur von 10 °C normiert. Die Ergebnisse für Wels sind nicht signifikant. Salzburg weicht im Vergleich zu den anderen Städten mit der Kurvenform ab. Generell zeigen die Temperaturkurven der Städte mit signifikanten Ergebnissen ein ähnliches Erscheinungsbild.

8.1.2 Einfluss Niederschlag

Der Einfluss des Niederschlages zeigt in der Auswertung mit Tagesdaten über alle Städte ein sehr ähnliches Bild (Abb. 50). Die Radfahrenden in den Städten Wien und Linz zeigen, zumindest bei geringen Regenmengen, ähnliche Reaktionen und befinden sich im Städtevergleich im Mittelfeld. Graz liegt an der oberen Grenze und weist Ähnlichkeiten mit den Reaktionen auf Regen in Innsbruck auf. Der Vergleich mit den Stundendaten lässt darauf schließen, dass bei stündlichen Radverkehrszählungen die Auswirkungen von Regenereignissen größer ausfallen würden.

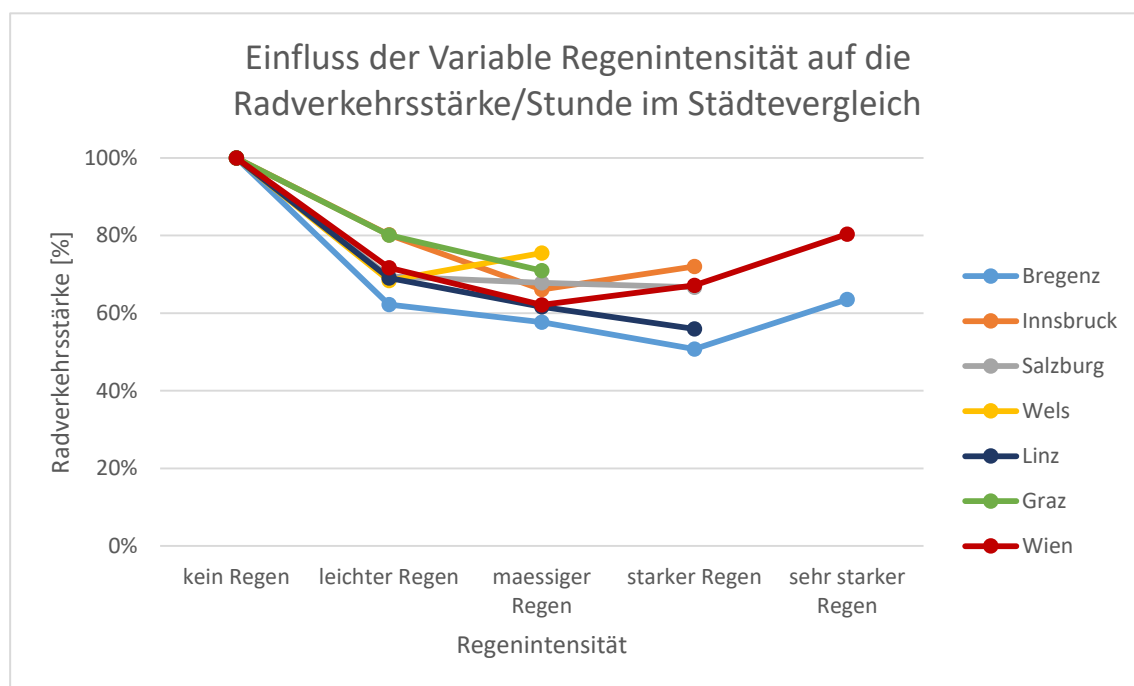


Abb. 50: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8.1.3 Einfluss Windgeschwindigkeit

Auch beim Einfluss der Windgeschwindigkeit in der Abbildung (Abb. 51) ist der Vergleich zwischen den Städten auf Basis von Tagesdaten dargestellt. Die Städte Linz, Graz und Wien liegen alle im Bereich zwischen den bereits zuvor betrachteten Städten Wels und Bregenz. In der stündlichen Auswertung (Abb. 46) sind die Regressionsgeraden der beiden Städte quasi ident.

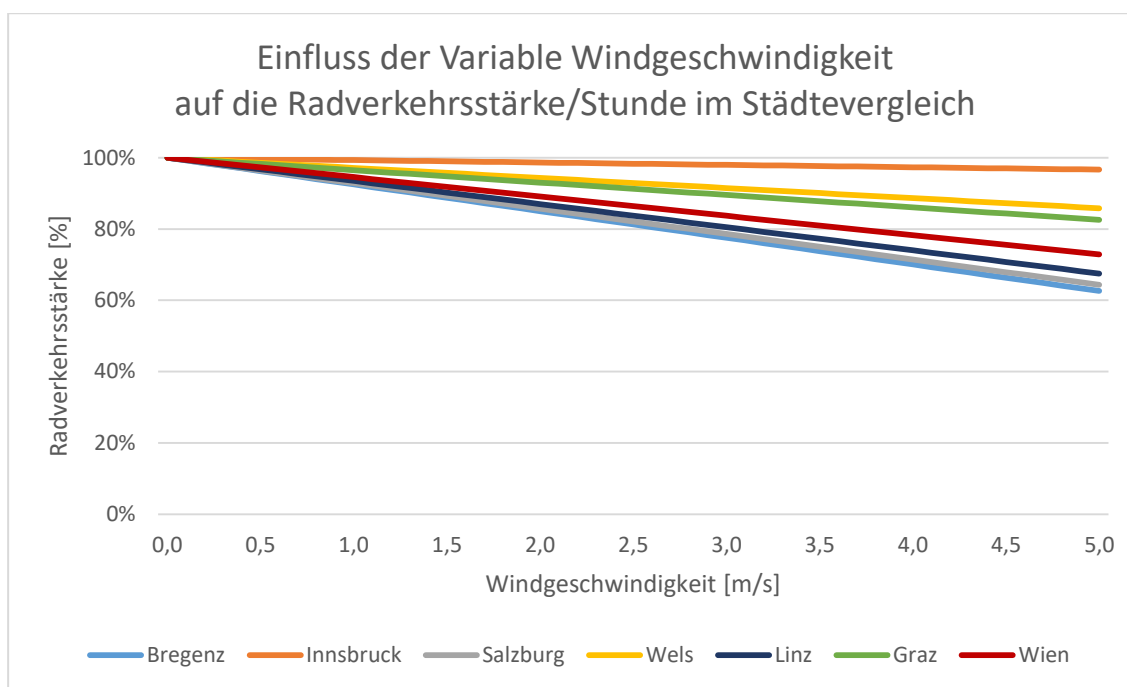


Abb. 51: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8.2 Vergleich Wochentags und Wochenende anhand des Modells

Wochentag	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,452	0,452	1,670	183.718	378	2,62E+03 bei 58 und 183.718 DF	<2e-16
Innsbruck	0,614	0,614	0,361	24.990	16	812 bei 49 und 24.990 DF	<2e-16
Salzburg	0,244	0,244	3,650	191.557	427	1,07E+03 bei 58 und 191.557 DF	<2e-16
Wels	0,089	0,089	2,520	48.948	180	96,1 bei 50 und 48.948 DF	<2e-16
Linz	0,651	0,651	0,697	99.827	340	3,27E+03 bei 57 und 99.827 DF	<2e-16
Graz	0,127	0,127	1,340	172.143	72	449 bei 56 und 172.143 DF	<2e-16
Wien	0,861	0,861	0,394	659.283	203	6,12E+03 bei 67 und 659.283 DF	<2e-16
Mittelwert	0,434	0,434	1,519	197.209	231		

Wochenende	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,494	0,494	2,040	72.872	139	1,29E+03 bei 55 und 72.872 DF	<2e-16
Innsbruck	0,813	0,812	0,272	9.926	4	957 bei 45 und 9.926 DF	<2e-16
Salzburg	0,242	0,241	4,280	76.527	206	443 bei 55 und 76.527 DF	<2e-16
Wels	0,122	0,120	3,140	19.575	18	57,8 bei 47 und 19.575 DF	<2e-16
Linz	0,656	0,655	0,826	39.892	132	1,41E+03 bei 54 und 39.892 DF	<2e-16
Graz	0,169	0,168	1,340	68.871	4	269 bei 52 und 68.871 DF	<2e-16
Wien	0,833	0,833	0,450	263.743	134	2,05E+04 bei 64 und 263.743 DF	<2e-16
Mittelwert	0,476	0,475	1,764	78.772	91		

Tab. 21: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte (für wochentags und Wochenende)

In der Tabelle (**Tab. 21**) wird der gesamte Datensatz aufgeteilt in wochentags und Wochenende. Diese Auswertung bringt den Vorteil, dass alle vorhandenen Daten berücksichtigt werden und zugleich erste Tendenzen bezüglich Einwirkungen des Wetters auf den Radverkehr von Montag bis Freitag und von Samstag bis Sonntag gezeigt werden. Die Beschreibungskraft der Einzelmodelle bleibt bei der Aufteilung der Daten zwischen Wochentag und Wochenende sehr ähnlich. Die größten Unterschiede liegen bei den Daten in Innsbruck, wo der Wert für das „R²“ am Wochenende weit höher liegt als wochentags.

8.2.1 Vergleich Lufttemperatur

Der Einfluss der Lufttemperatur auf den Radverkehr in den sieben Städten wird in der Grafik (Abb. 52) links wochentags bezogen dargestellt. Hier lassen sich die auf 10 °C genormten Kurven gut miteinander vergleichen. Die flacheren Kurven im linken Teil der Abbildung lassen auf einen geringeren Einfluss der Lufttemperatur im Zeitraum Montag bis Freitag gegenüber dem Wochenende schließen. Am Wochenende klettern die maximalen Radverkehrszahlen bei Hitze höher hinauf und bei Kälte sinken sie schneller ab. Wels und Graz ergeben wochentags nicht ausreichende Ergebnisse und werden strichliert dargestellt. Das Resultat aus der Berechnung mit Tagessummen kann mit der Grafik (Abb. 30) der Stundendatenauswertung verglichen werden.

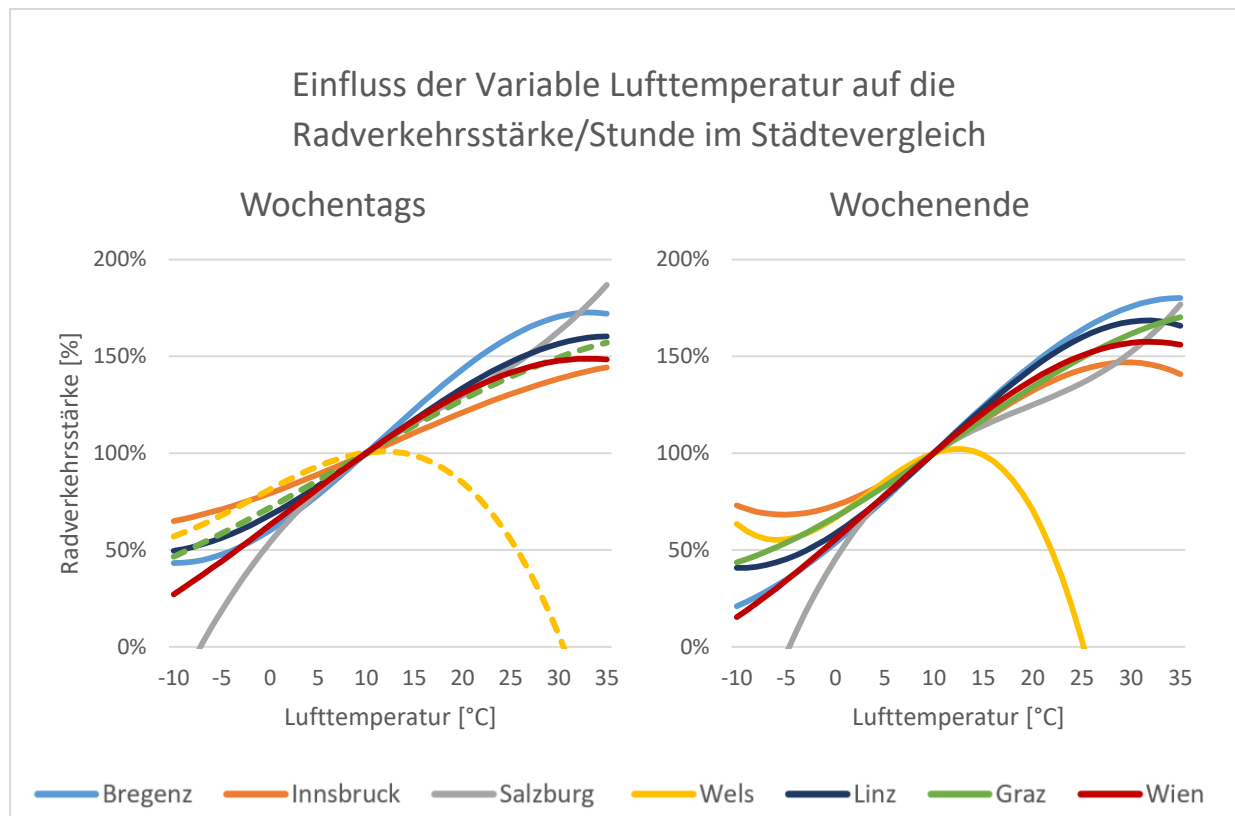


Abb. 52: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

8.2.2 Vergleich Niederschlag

In der Abbildung (Abb. 53) zeigt sich wie bei der Grafik zuvor der Unterschied zwischen Wochentag und Wochenende deutlich. In manchen Städten, wie zum Beispiel Graz, sind keine Unterschiede ersichtlich. In Bregenz reagieren die Radfahrenden hingegen je nach betrachteten Tagen unterschiedlich auf die Regenintensität. Die Streuung am Wochenende zwischen den Städten ist viel größer als an den übrigen Tagen der Woche. Über den genauen prozentuellen Rückgang pro Stunde bei Eintritt eines Regenereignisses kann aufgrund der Verwendung von Tagessummen keine genaue Auskunft gewonnen werden. In der Abbildung (Abb. 31) wird das gleiche Modell mit den Stundendaten von vier Städten berechnet. Dies dient als Referenz für den Vergleich der beiden angewendeten Methoden.

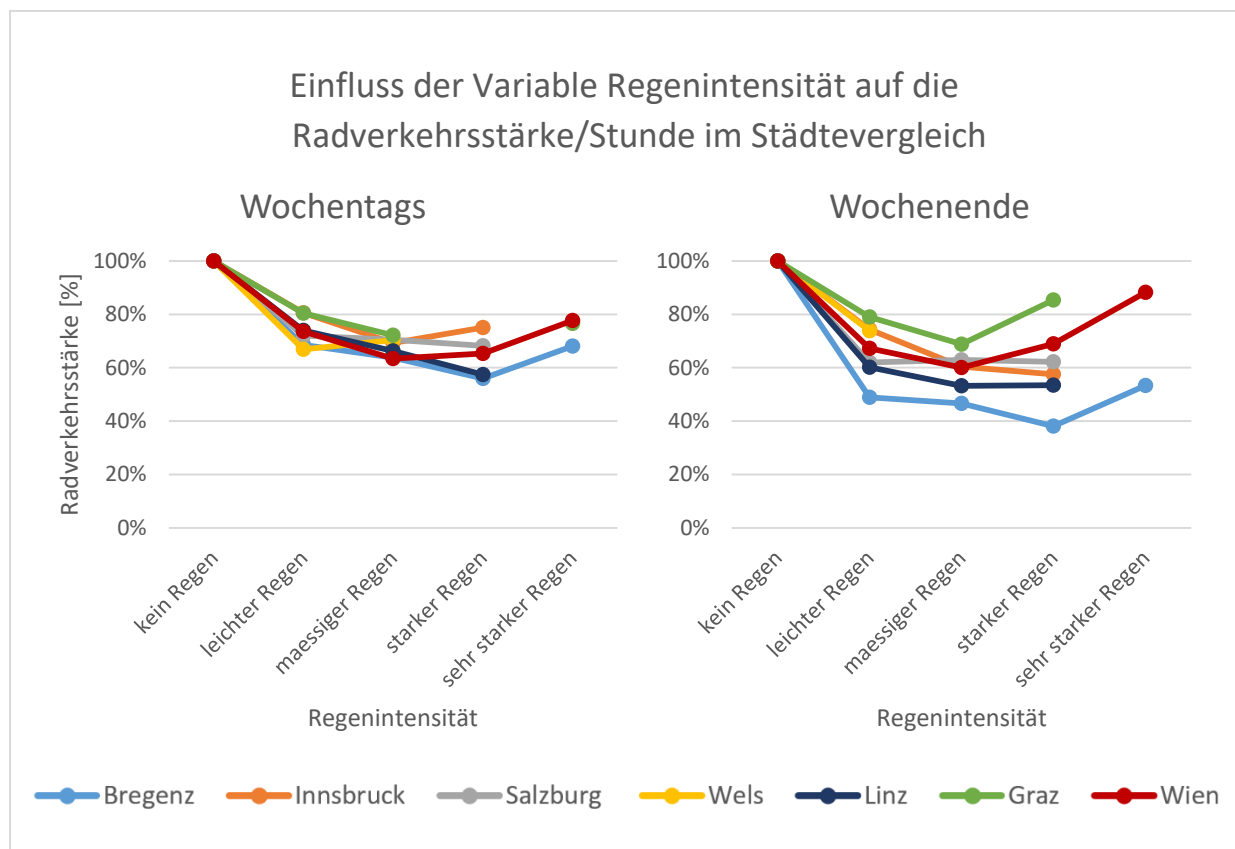


Abb. 53: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

8.2.3 Vergleich Windgeschwindigkeit

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit mit Tagessummen berechnet wird in der Abbildung (Abb. 54) dargestellt. Hierbei gibt es große Streubereiche zwischen den einzelnen Städten. In Wien und Graz tritt sogar der Fall ein, dass wochentags der Wind einen größeren negativen Einfluss auf die Radverkehrsstärke besitzt als am Wochenende. Verglichen kann diese Abbildung mit der Grafik (Abb. 32) werden, die für vier Städte mittels Auswertung von Stundenzähldaten erstellt wurde.

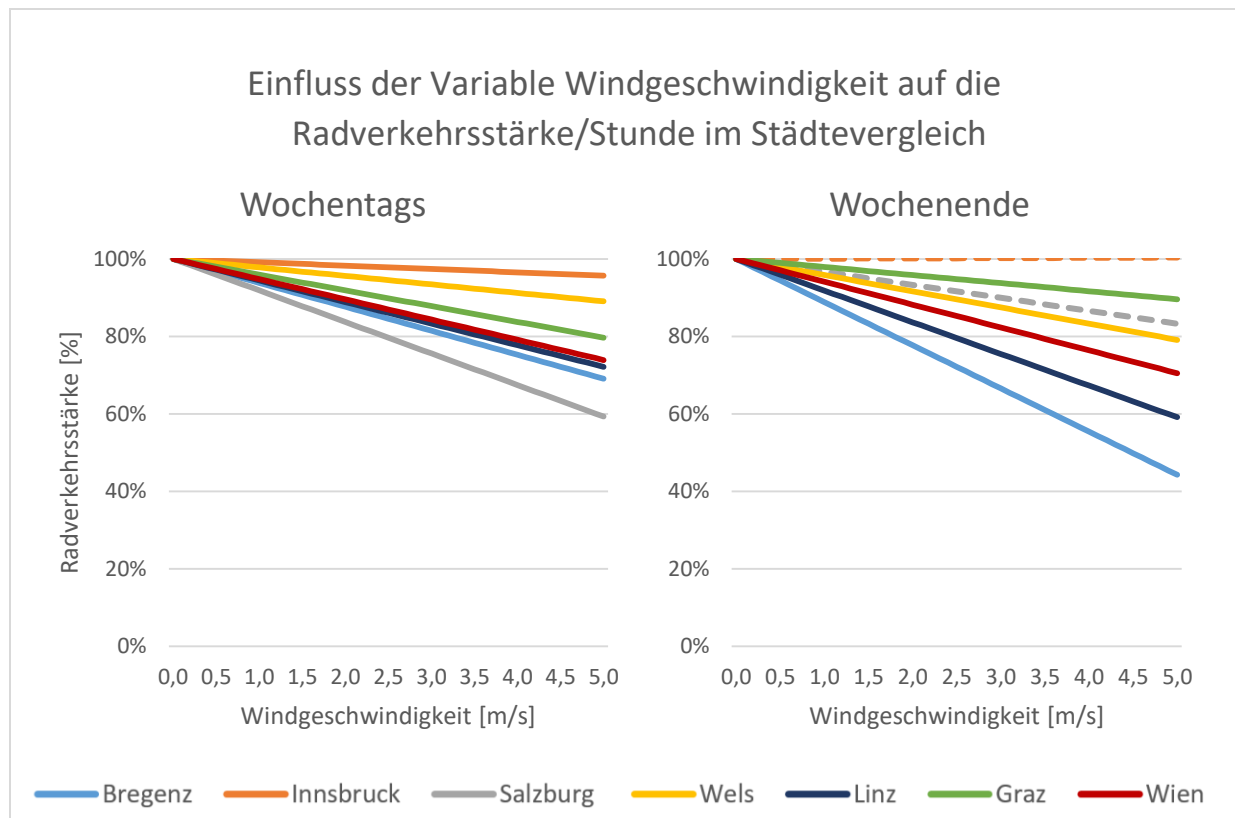


Abb. 54: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)

8.3 Abwandlung des Modells für Alltagsverkehr/ Stoßzeiten

Das Modell mit den verwendeten Tagessummen wird, wie schon bei der Auswertung der Stundendaten, für den Alltagsverkehr angewendet. Dazu wird der Zeitraum Montag bis Freitag von 6 bis 9 Uhr gewählt. Aus Tabelle (Tab. 22) ist die Beschreibungsgenauigkeit der sieben Einzelmodelle abzulesen.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,393	0,393	2,03	22.996	42	4,03E+02 bei 37 und 22.996 DF	<2e-16
Innsbruck	0,643	0,640	0,35	3.104	0	207 bei 27 und 3.104 DF	<2e-16
Salzburg	0,231	0,230	4,37	23.899	54	194 bei 37 und 23.899 DF	<2e-16
Wels	0,107	0,103	3,07	6.109	9	26,2 bei 28 und 6.109 DF	<2e-16
Linz	0,650	0,649	0,70	12.465	26	644 bei 36 und 12.465 DF	<2e-16
Graz	0,130	0,128	1,34	21.482	18	96,9 bei 33 und 21.482 DF	<2e-16
Wien	0,867	0,867	0,39	82.340	56	1,16E+04 bei 46 und 82.340 DF	<2e-16
Mittelwert	0,432	0,430	1,75	24.628	29		

Tab. 22: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte (Alltagsverkehr)

8.3.1 Einfluss Lufttemperatur auf den Alltagsverkehr

In der Abbildung (Abb. 55) ist der Einfluss der Lufttemperatur auf den Alltagsverkehr abgebildet. Dieser wird mittels Tagessummen aus der Anzahl an Radfahrenden ermittelt. Die Daten sind auf den Temperaturwert von 5 °C mit 100 Prozent normiert. Diese Auswertung kann mit den Ergebnissen aus Grafik (Abb. 35), die mit Stundendaten erstellt wurde, verglichen werden. Die Er-

gebniskurven der vier Städte, welche mit Stundendaten und Tagesdaten ausgewertet wurden, zeigen in beiden Grafiken nahezu das gleiche Bild. Die Städte Linz, Graz und Wien liegen im Mittelfeld des Streubereiches der übrigen Städte und ergeben im positiven Temperaturbereich beinahe eine Überlagerung der Linien. Graz und auch Wels zeigen in einem der Parameter des beschreibenden Polynoms ein nicht signifikantes Ergebnis und sind strichliert dargestellt. Die meisten Temperatureinflusslinien bewegen sich gegenüber dem gewählten Referenzwert im Bereich um plus/minus 50 Prozent.

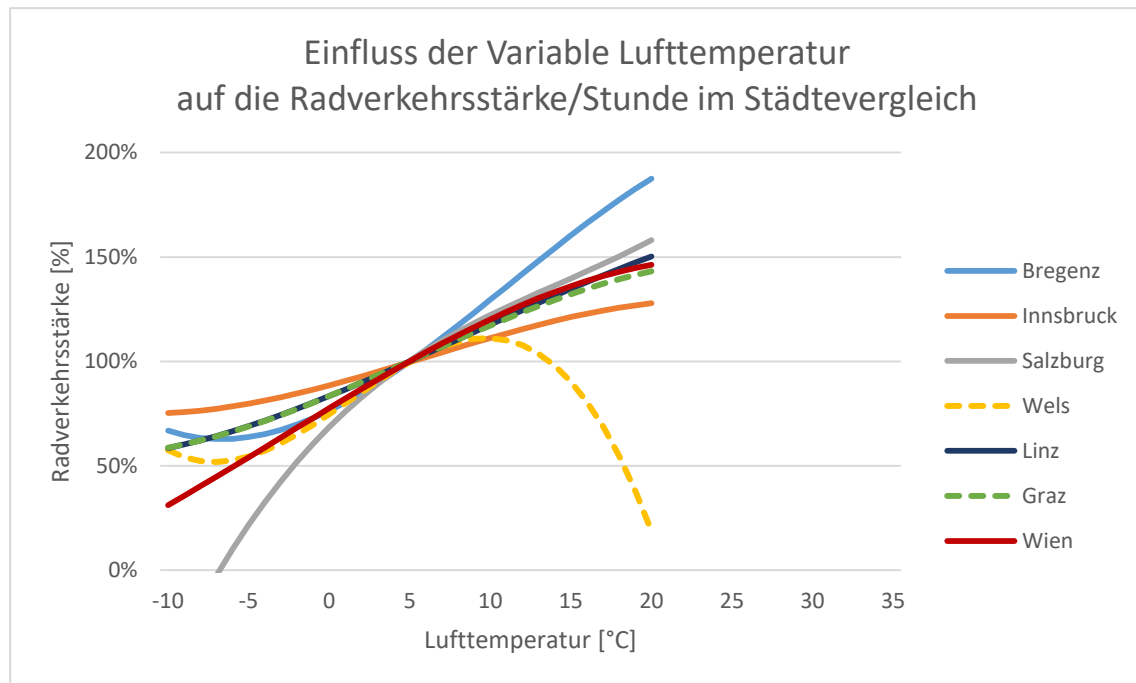


Abb. 55: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8.3.2 Einfluss Niederschlag auf den Alltagsverkehr

Die Abbildung (Abb. 56) zeigt den Einfluss des Niederschlages auf die Anzahl der Alltagsradelnden. Zum Vergleich kann die Abbildung (Abb. 36) herangezogen werden, welche die gleiche Auswertung mit stündlichen Zähldaten von vier Städten zeigt. In der Abbildung aus Tageszählsummen fallen die Auswirkungen des Niederschlages auf die Radverkehrsstärke minimal geringer aus. Ausgenommen davon ist Salzburg, wo eine gegenläufige Kurve entsteht. Daraus abgeleitet können die drei neu betrachteten Städte bezüglich des Einflusses der Niederschlagsmengen auf die Radfahrenden bewertet werden. Bei leichtem Regen in einer Stunde geht die Radverkehrsstärke in Linz, Graz und Wien auf rund 70 Prozent zurück. Bei mäßigen Regen sinkt diese weiter auf etwa 55 Prozent ab. Diese drei großen Städte zeigen bei einem Anstieg der Niederschlagsmengen einen größeren Rückgang im Radverkehr als Bregenz, Salzburg und Wels. Die Wiener Radfahrenden reagieren marginal empfindlicher auf den Niederschlag als die Linzer und Grazer, was aber auch an der Ungenauigkeit des Modells liegen kann. Mit dem Vergleichsmodell (Abb. 36) kann die Behauptung aufgestellt werden, dass nicht nur in den Städten mit den vorhandenen Stundendaten, sondern auch in den Städten Linz, Graz und Wien bei starken Regenereignissen innerhalb einer Stunde im Schnitt immer noch 40 Prozent der Radfahrenden im Vergleich zu trockenem Wetter unterwegs sind. Bei leichtem oder mäßigem Regen (bis 4mm/Stunde) sind in allen Städten mehr als 50 Prozent der Radfahrenden unterwegs. Diese Ergebnisse beziehen sich auf den Alltagsverkehr der Radfahrenden.

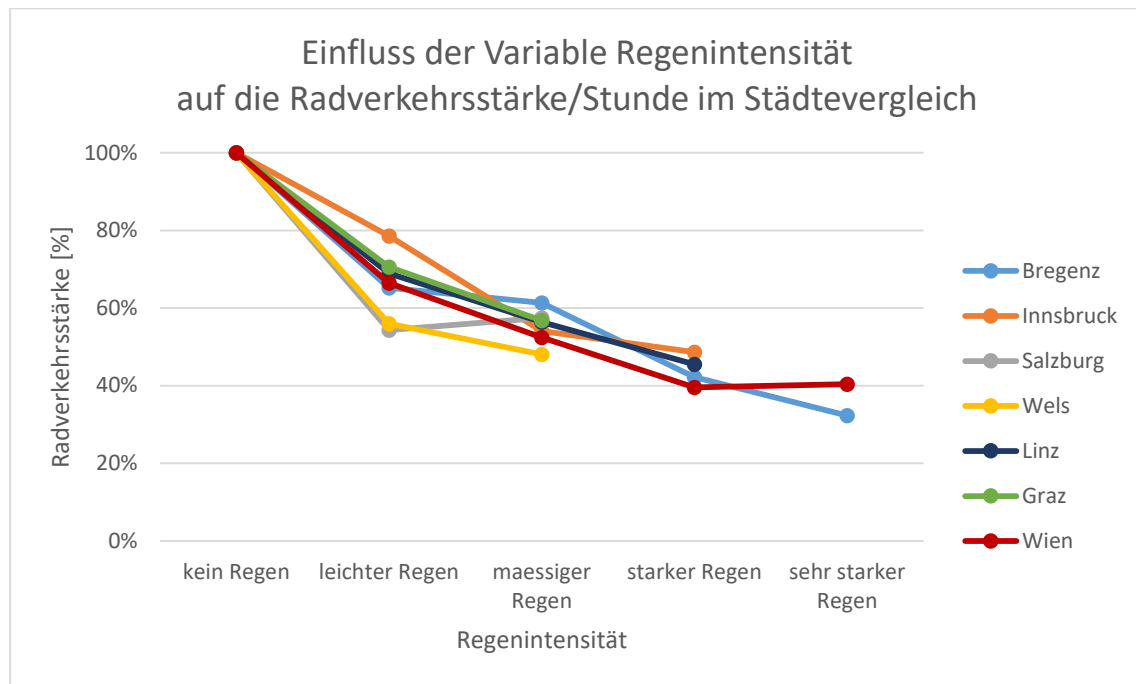


Abb. 56: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8.3.3 Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Alltagsverkehr

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit in sieben betrachteten Städten in Österreich wird in der Abbildung (Abb. 57) dargestellt. Dasselbe Modell wurde zuvor auf die vier Städte mit vorhandenen Stundendaten angewendet und kann in der Abbildung (Abb. 37) betrachtet werden. Wie schon in Kapitel 6.1.3 erwähnt, ist der Einfluss des Windes aus den Tagessummen nicht eindeutig abzulesen. Dazu kommt, dass das Ergebnis der Stundendatenauswertung bis auf Bregenz nicht signifikant ist und keine gute Vergleichsmöglichkeit bietet. Der Einfluss der Windgeschwindigkeit in der Grafik aus Tageszählraten ist viel größer als bei den stündlichen Zählraten. Im Städtevergleich kann man jedoch herauslesen, dass der Einfluss von Wind auf den Alltagsverkehr in Linz am größten und in Innsbruck am geringsten ausfällt.

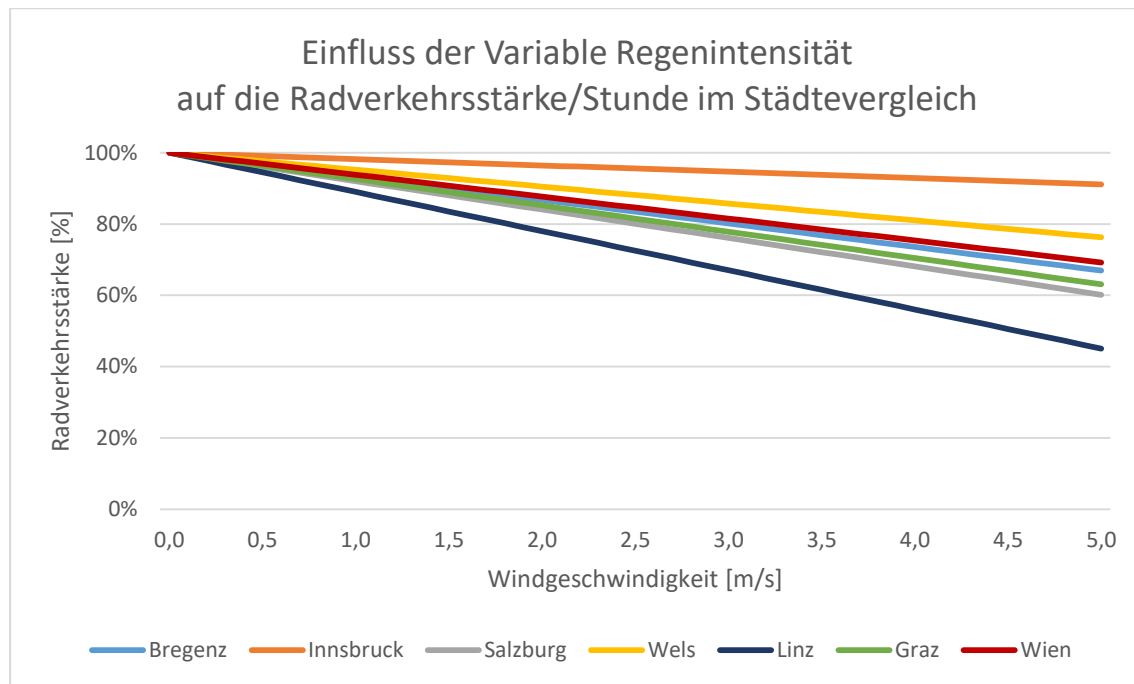


Abb. 57: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8.4 Abwandlung des Modells für Freizeitverkehr

Das Modell mit den verwendeten Tagessummen wird, wie schon bei der Auswertung der Stundendaten, für den Freizeitverkehr angewendet. Dazu werden die Daten von sonntags von 8 bis 17 Uhr ausgewertet. In der Tabelle (Tab. 23) wird das „R²“ der sieben Einzelmodelle jeder Stadt angegeben. Dieses gibt an, wie hoch die Beschreibungskraft des Modells ist.

	R ²	angepasstes R ²	Reststandardfehler	Freiheitsgraden	gestrichene Beobachtungen	F-Statistik	p-Wert
Bregenz	0,522	0,520	2,08	13.623	42	381 bei 39 und 13.623 DF	<2e-16
Innsbruck	0,876	0,874	0,24	1.843	0	463 bei 28 und 1.843 DF	<2e-16
Salzburg	0,247	0,245	4,26	14.360	0	121 bei 39 und 14.360 DF	<2e-16
Wels	0,155	0,148	3,06	3.668	0	22,4 bei 30 und 3.668 DF	<2e-16
Linz	0,741	0,739	0,70	7.455	31	575 bei 37 und 7.455 DF	<2e-16
Graz	0,179	0,177	1,33	12.887	0	78,1 bei 36 und 12.887 DF	<2e-16
Wien	0,866	0,866	0,42	49.428	14	6,65E+03 bei 48 und 49.428 DF	<2e-16
Mittelwert	0,512	0,510	1,73	14.752	12		

Tab. 23: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte (Freizeitverkehr)

8.4.1 Einfluss Lufttemperatur auf den Freizeitverkehr

Wie schon zuvor für den Alltagsverkehr wird das Modell mit den verwendeten Tagessummen der Zählstellen auch für den Einfluss der Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke im Freizeitverkehr angewendet (Abb. 58). In Abbildung (Abb. 38) wurde die gleiche Auswertung schon mit Stundendaten durchgeführt und bietet den Vergleich bezüglich des Resultats aus unterschiedlichen Herangehensweisen. Leider sind die Ergebnisse der Einflüsse mit stündlichen Zählzeiten wenig signifikant. Die drei großen Städte Linz, Graz und Wien zeigen sehr ähnliche Kurven. Dabei sind die Graphen von Linz und Wien nahezu ident.

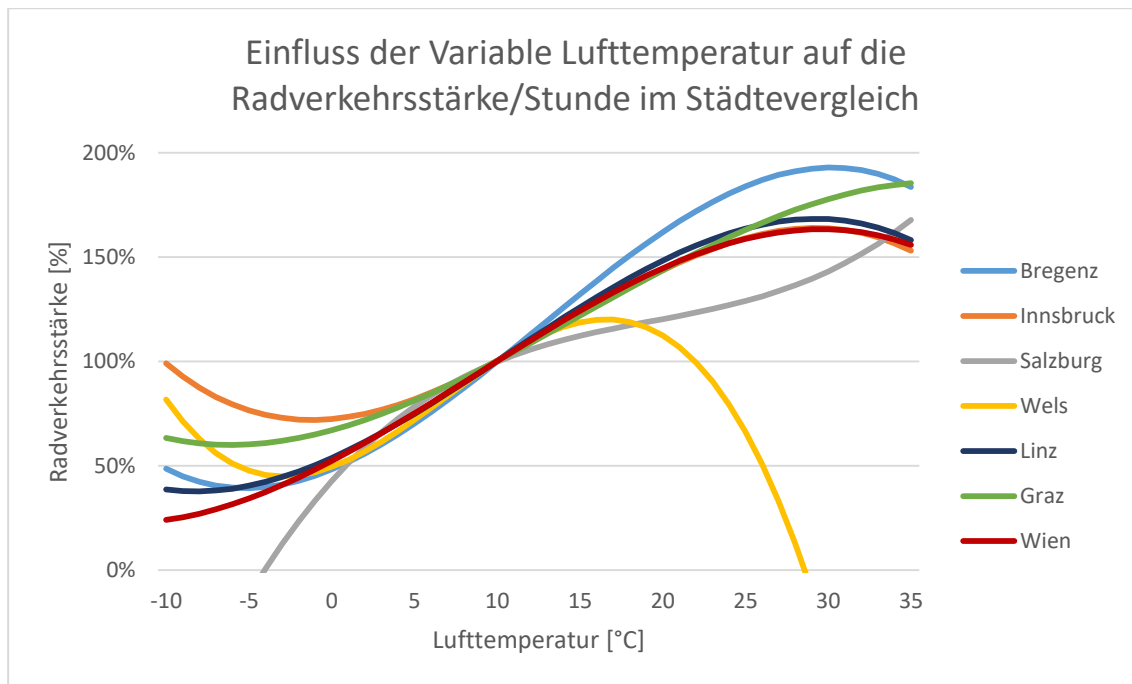


Abb. 58: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

8.4.2 Einfluss Niederschlag auf den Freizeitverkehr

Der in Gruppen kategorisierte Niederschlag hat Auswirkungen auf den Radverkehr, die in Abbildung (Abb. 59) gezeigt werden. Zum Vergleich kann die mit Stundenzähldaten erstellte Grafik (Abb. 39) herangezogen werden.

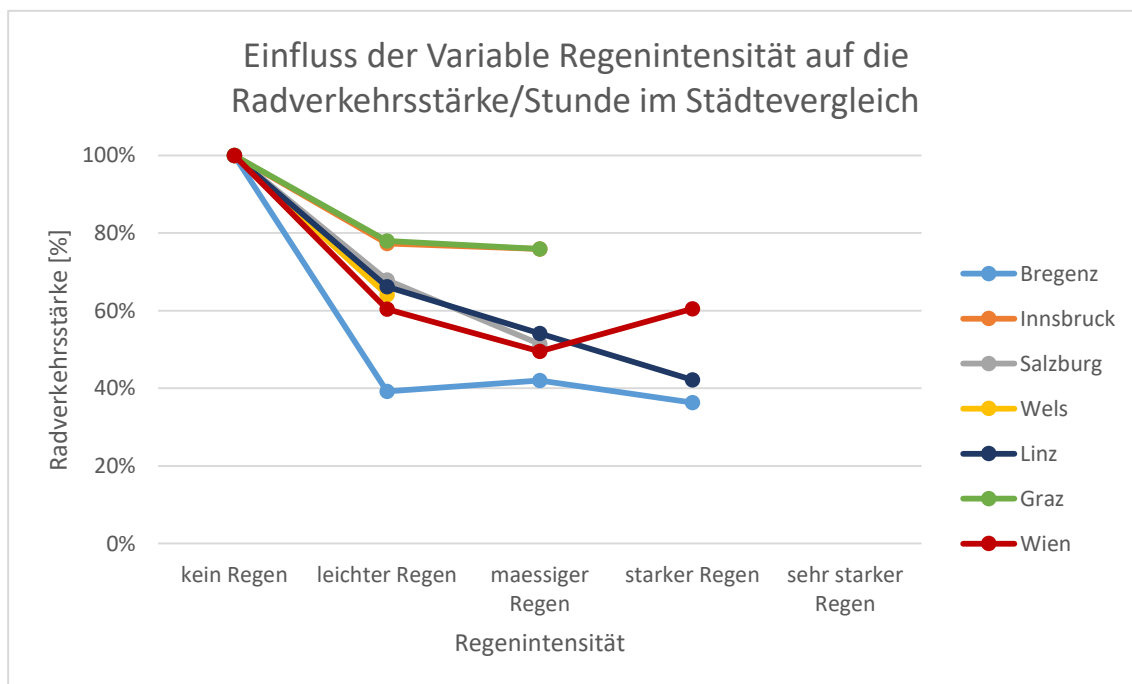


Abb. 59: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

Der Vergleich zeigt nahezu idente Ausschläge. Ausgenommen davon ist die Stadt Wels. Rückgänge von rund 90 Prozent in Abbildung (Abb. 39) schlagen in der Auswertung mit Tageszählsummen mit nur 35 Prozent nieder. Dies kann an der geringen Beschreibungskraft („ R^2 “) der Stadt Wels liegen (Tab. 23). Die Intensität des Rückgangs bei Regen fällt bei der Auswertung mit Tagesdaten um bis zu 20 Prozent geringer aus als bei der exakteren Auswertung mit Stundenzählzeiten. Dies muss bei der Interpretation dieses Diagramms berücksichtigt werden. Linz und Wien liegen im Städtevergleich im Mittelfeld zwischen Innsbruck und Bregenz. Grazer und Grazerinnen zeigen gleich geringe Reaktionen auf eintretenden Niederschlag wie Radfahrende in Innsbruck.

8.4.3 Einfluss Windgeschwindigkeit auf den Freizeitverkehr

Als dritter Wetterparameter wird der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf den Freizeitverkehr in Abbildung (Abb. 60) unter die Lupe genommen. Die Abbildung (Abb. 40) wird mit demselben Modell erstellt, jedoch mit stündlichen Radverkehrsdaten als Grundlage. Der Vergleich macht deutlich, dass die Auswirkungen von Wind bei der Verwendung von Tagessummen weitaus geringer ausschlagen. Zusätzlich ist der Vergleich der beiden Diagramme aufgrund der fehlenden Signifikanz mehrerer Städte schwer möglich.

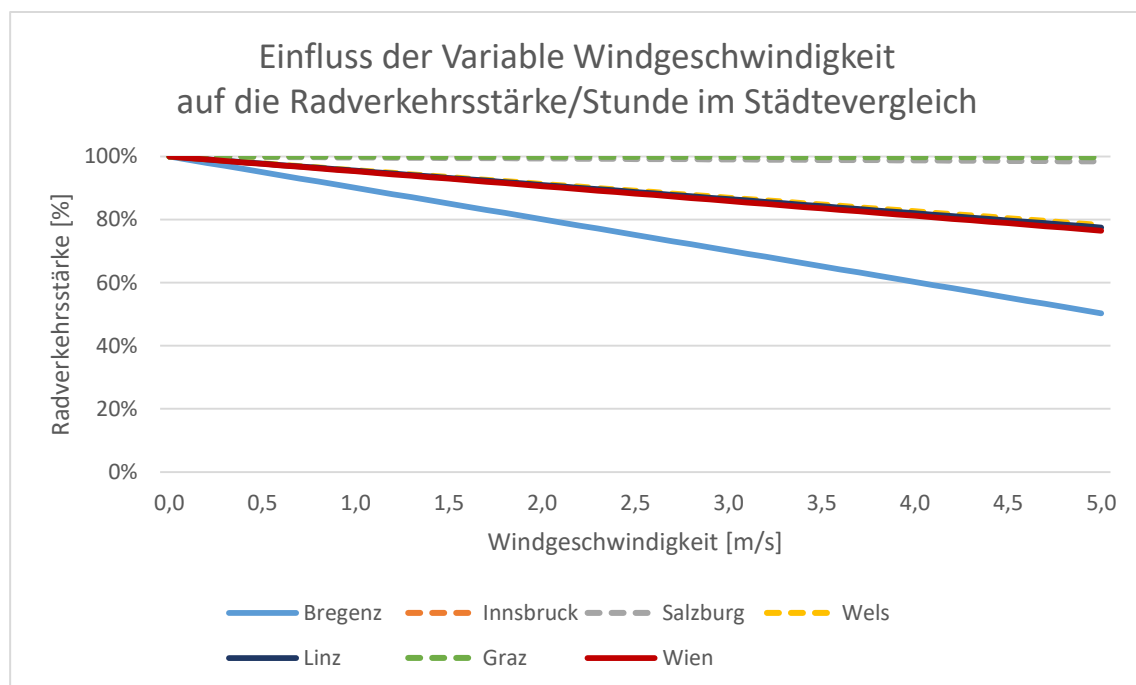


Abb. 60: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien

9 Schlussbetrachtung

9.1 Zusammenfassung des Arbeitsprozesses

Als Grundlage für die Ergebnisse der Einflüsse der Wetterparameter auf die Radverkehrsstärke dienen getroffene Annahmen und Unterschiede in den sieben betrachteten Städten. Trotz der Verwendung von möglichst vergleichbaren Grunddaten aus den Radverkehrsdauerzählstellen der Städte und den Wetterstationen der ZAMG sind Unterschiede aufgrund von lokalen Einflüssen oder in der Datenerhebung zu berücksichtigen. Der Modal Split (**Abb. 10**) und die Anzahl an Radfahrenden pro Stunde und Zählstelle (**Tab. 5**) geben einen Eindruck über die Radfahrerfreundlichkeit der Städte auf verschiedensten Ebenen. Auch jede verwendete Wettermessstation der ZAMG pro Stadt (**Tab. 3**) mit zugehöriger Seehöhe vermittelt ein Bild über die Lage und über die klimatischen Bedingungen vor Ort. Die einzelnen Wetterparameter wurden deskriptiv ausgewertet. Mit dem Log-Linear-Regressionsmodell (Kapitel 5.3) wurde versucht, den Einfluss der Wetterparameter möglichst aussagekräftig abzubilden. Dafür wurden die verwendeten Wetterparameter auf drei (Lufttemperatur, Regenintensität, Windgeschwindigkeit) eingeschränkt. Diese Einschränkung basiert auf der Ermittlung der Korrelationen der Wetterparameter untereinander (**Tab. 18**). Diese Einschränkung bedeutet nicht, dass die verbleibenden Wetterparameter keinen Einfluss auf den Radverkehr haben, sondern dass dieser zum Großteil durch einen der drei oben genannten abgedeckt wird. Der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit wird beispielsweise durch die Lufttemperatur und den Niederschlag weitgehend repräsentiert. Die exakten Niederschlagsmengen wurden in fünf verschiedene Gruppen zusammengefasst und als Kategorien in die Auswertung aufgenommen.

Um das Log-Linear Regressionsmodell anwenden zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen berücksichtigt werden (**Kapitel 5.4**). Viele Variablen, die auch einen möglichen Einfluss auf die Radverkehrsstärke besitzen, aber nicht im Modell berücksichtigt sind, wurden diskutiert. Diese reichen von temporären, über wiederkehrende bis zu dauerhaften Beeinträchtigungen. Im Modell wurden neben den wetterbasierten auch kalenderbasierte Variablen und die einzelnen Stationen berücksichtigt. Im ersten Schritt wurden die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels, für die Stundenzählungen vorhanden sind, mit unterschiedlichem Fokus ausgewertet. Da für die Städte Linz, Graz und Wien lediglich Tageszählsummen vorliegen, wurden zur Vergleichbarkeit mit den zuvor durchgeführten Auswertungen Grafiken mit allen sieben Städten erstellt. Dabei wurden die Tageszählsummen den einzelnen Stunden eines Tages hinzugefügt und das gleiche Regressionsmodell angewendet. Bei diesem Vorgehen fallen die negativen Einflüsse aus den Wetterparametern meist etwas geringer aus als wenn stündliche Zählungen zur Verfügung stehen. Mit den Vergleichsergebnissen der Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels können die Daten für Linz, Graz und Wien interpretiert werden.

9.2 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit müssen die Eingangsparameter mitbedacht werden. Die sieben ausgewählten Städte besitzen stark unterschiedliche Radverkehrsanteile (Modal Split) bei der Verkehrsmittelwahl (**Abb. 10**). In Bregenz bewältigen anteilmäßig die meisten Menschen mit dem Rad ihre Wege, in Wien die wenigsten. Laut den Zahlen der Dauerzählstellen sind absolut gesehen die meisten Radfahrenden pro Zählstelle und Stunde in Graz, Innsbruck, Salzburg und Linz unterwegs. Danach kommen die Städte Wien, Bregenz und als Schlusslicht Wels (**Tab. 17**). Die deskriptive Statistik der Wetterdaten aller sieben Wetterstationen zeigt die gemessene Seehöhe (**Tab. 3**) und weiter die meteorologischen Unterschiede der einzelnen Städte. Die Verteilung der Anzahl an Stunden mit bestimmten Temperaturen ist zwischen den untersuchten Städten sehr ähnlich. Salzburg sticht mit einer weitaus geringeren Anzahl an Stunden im Temperaturbereich 3 °C bis 12 °C gegenüber den anderen Städten heraus. Ebenso

zeigt Wien die größte Anzahl an Stunden mit Temperaturen über 20 °C (**Abb. 47**). Bei den Niederschlagsmengen ist eine spannende Grunderkenntnis, dass in allen Städten mindestens 84 Prozent (Salzburg) der Stunden völlig niederschlagsfrei sind. Der Mittelwert liegt bei 89 Prozent und der Spitzenwert mit 92 Prozent in Wien (**Tab. 18**). Berücksichtigt man auch geringste Niederschlagsmengen von nur 0,1 mm oder 0,5 mm, steigt der Anteil der niederschlagsarmen Stunden im Mittel auf 91 Prozent beziehungsweise 95 Prozent an (**Tab. 19**). Somit ist die Wahrscheinlichkeit, während der Fahrradbenützung überhaupt nass zu werden, sehr gering. Bei der Betrachtung der Verteilung der Stunden nach Windgeschwindigkeit je Stadt zeigt sich, dass in Wien ein „anderer Wind“ weht. Die Anzahl an Stunden mit höheren Windgeschwindigkeiten liegt im Vergleich weit höher. Salzburg und auch Linz zeigen den größten Anteil an Stunden mit nahezu keiner gemessenen Windgeschwindigkeit. Alle übrigen Städte besitzen eine sehr ähnliche Verteilung (**Abb. 48**).

Der Einfluss der Lufttemperatur auf die Anzahl der Radfahrenden ist nicht linear abhängig. In Innsbruck ist dieser am geringsten. Bei einer Temperatursteigerung von 1 °C steigt die Anzahl von Radfahrenden je nach Stadt zwischen 3 und 5 Prozent bei einer Referenztemperatur von 10 °C an. Vergleicht man die Modellergebnisse, wenn diese Daten für die Wochentage und das Wochenende getrennt berechnet werden, zeigt sich, dass am Samstag und Sonntag ein größerer Einfluss der Temperatur auf die Radverkehrsstärke besteht. Die Änderungen der Radverkehrsstärke liegen bei derselben Referenztemperatur im Vergleich um einen Prozentpunkt höher. Bei einer Eingrenzung des Zeitraumes auf wochentags von 6-9 Uhr werden die Auswirkungen auf den Pendlerverkehr erkennbar. Die Unterschiede in den Städten liegen vor allem bei den niedrigen Temperaturen. Wo einerseits in Innsbruck kaum Einbußen in der Radverkehrsstärke zu erkennen sind, stürzen die Zahlen in Salzburg schnell gegen null (**Abb. 35**). Zusammenfassend kann über den Einfluss der Lufttemperatur gesagt werden, dass die Annahme eines Polynoms dritten Grades den tatsächlichen Einfluss der Temperatur auf die Radverkehrsstärke gut abbildet. Der Vergleich der Städte untereinander ist dadurch gegenüber einer linearen Annahme des Zusammenhangs jedoch erschwert.

Die Auswirkungen von Niederschlagsmengen werden mithilfe zusammengefasster Niederschlagskategorien ausgewertet. Diese reichen von *kein Regen* bis zu *sehr starker Regen*. Bei der Modellberechnung ergeben sich prozentuelle Rückgänge in der Radverkehrsstärke zwischen 30 und 70 Prozent bei Niederschlag innerhalb einer Stunde. In allen Städten ist eine Vergrößerung des Rückganges bei höheren Regenintensitäten messbar. In manchen Städten steigen die Radverkehrszahlen bei starkem und sehr starkem Regen wieder etwas an, liegen jedoch noch unter den Werten von *leichtem Regen*. Dies hängt vermutlich damit zusammen, dass Starkregenereignisse meist spontan auftreten und von sehr kurzer Dauer sind. Somit sorgt die verbleibende Zeit der gemessenen Stunde, in welcher die Witterungsbedingungen besser sind, für mehr gemessene Radfahrende. Innsbruck und Salzburg haben einen durchschnittlichen Rückgang von zirka 40 Prozent der Radfahrenden bei Nässe gegenüber trockenem Wetter zu verzeichnen. Im Vergleich dazu liegen Bregenz und Wels bei Rückgängen von 60 bis 70 Prozent (**Abb. 25**). Hier machen sich große Unterschiede zwischen den Städten bemerkbar. Warum die Bregenzer und Welsler hier viel empfindlicher auf die Regenereignisse reagieren, ist sehr interessant. Dies kann an nicht berücksichtigten Variablen im Modell (**Kapitel 5.4**) oder einer tatsächlich unterschiedlichen Wetterempfindung der radfahrenden Bevölkerung liegen. Die Auswertung für die Stadt Graz zeigt Ähnlichkeiten mit Innsbruck und Salzburg. Linz und Wien liegen im mittleren Bereich zwischen allen Städten (**Abb. 50**).

Bei der Unterscheidung der Wochentage fällt wie schon bei der Lufttemperatur eine größere Auswirkung des Niederschlags am Wochenende gegenüber wochentags auf. Die Unterschiede hierbei liegen zwischen 10 und 20 Prozentpunkten. Wochentags ist der Unterschied zwischen den vier Städten Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels geringer, am Wochenende stärker. Bei noch konkreterer Betrachtung des Alltagsverkehrs wochentags zwischen 6 und 9 Uhr zeigen diese vier

Städte ein nahezu identes Bild. Der Einfluss in allen Städten liegt hier bei rund 40 Prozent Rückgang und ist bezüglich Unterschieden in der Regenintensität annähernd konstant. Der Unterschied in den einzelnen Niederschlagsgruppen schrumpft bei der Betrachtung der Alltagspendelnden auf 10 bis 20 Prozentpunkte (**Abb. 36**). Beim Blick auf alle sieben Städte zeigt sich, dass Linz, Graz und Wien im mittleren Bereich zwischen den anderen Städten liegen (**Abb. 56**). Im Vergleich zum Alltagsverkehr schrumpft die Radverkehrsstärke im Freizeitverkehr (Sonntag) bei Niederschlag auf 10 bis 60 Prozent (**Abb. 39**).

Der Einfluss im Jahreszeitenvergleich zeigt bezüglich Regen die städtetypisch gleichen Muster wie bei den zuvor beschriebenen Auswertungen. Im Winter bestehen, abgesehen von Salzburg, die geringsten Rückgänge in der Radverkehrsstärke aufgrund von Niederschlagsereignissen. Im Herbst liegen die Reaktionen in allen vier betrachteten Städten am nächsten beieinander. Im Gegensatz dazu klappt die Radverkehrsstärke der Städte bei Regen im Sommer am weitesten auseinander (**Abb. 42**).

Zusammenfassend kann man sagen, dass jeweils die Städte Innsbruck, Salzburg und Graz, sowie Linz und Wien, als auch Bregenz und Wels Gemeinsamkeiten beim Einfluss der Niederschlagsmenge auf die Radverkehrsstärke zeigen. Die aufgelistete Reihung entspricht der Größe des Einflusses des Niederschlags in aufsteigender Richtung.

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit wird in dieser Forschungsarbeit linear betrachtet und besitzt im Vergleich zur Lufttemperatur und zum Niederschlag oft Ergebniswerte, welche aufgrund von zu geringer Signifikanz nur eingeschränkt auswertbar sind. Der generelle Einfluss des Windes auf den Radverkehr ist in Innsbruck am geringsten. Im Vergleich dazu sinkt in Bregenz und Wels die Anzahl an Radfahrenden bei einer Windstärke von 5 m/s (18 km/h) um durchschnittlich 50 Prozent.

In Salzburg ist dieser Einfluss nur halb so stark (**Abb. 26**). Wird ein Vergleich zwischen dem Wochenende und den übrigen Wochentagen angestellt, zeigt sich in Salzburg am Wochenende ein weit geringerer Einfluss und in Bregenz und Wels ein viel größerer Einfluss auf die Radverkehrsstärke. Letztere besitzen jedoch nicht signifikante Ergebniswerte. In Innsbruck besteht am Wochenende im Schnitt sogar ein positiver Einfluss bei steigenden Windgeschwindigkeiten auf die Radverkehrsstärke (**Abb. 32**). Bei Betrachtung des Alltagsverkehrs wochentags zwischen 6 und 9 Uhr sind geringe Auswirkungen auf die Radverkehrsstärke durch Wind erkennbar. Diese liegen bei einer Windstärke von 5 m/s bei maximal 20 Prozent Rückgang (**Abb. 37**). Wie schon aus den Ergebnissen der Wochenendbetrachtung zu erahnen, ist der Einfluss in Bregenz und Wels im Freizeitverkehr extrem stark und in Innsbruck und Salzburg nahezu null beziehungsweise sogar positiv (**Abb. 40**). Im Jahreszeitenvergleich herrscht im Winter und Frühling in den vier zuvor genannten Städten der größte negative Einfluss. Im Vergleich dazu ist die Windgeschwindigkeit in den Sommer- und Herbstmonaten ein sehr geringer Einflussfaktor (**Abb. 43**).

Die Einflüsse aus dem Wetterparameter Windgeschwindigkeit, berechnet aus den Tagessummen der Dauerzählstellen, sind in der Gegenüberstellung mit Stundendaten schwer vergleichbar. Neben Stauchungen oder Verzerrungen der Neigung der Regressionsgeraden zeigt die Stadt Wels bei der Verwendung von Tagessummen zusätzlich einen viel geringeren Einfluss und somit eine andere, viel flachere Regressionsgerade. Die Städte Linz, Graz und Wien liegen jedenfalls im Einflussbereich zwischen den anderen Städten.

Bei allen drei behandelten Wetterparametern finden sich jeweils Städte, die ähnliche Muster hinsichtlich des Einflusses auf die Radverkehrsstärke zeigen. Die beiden Städte Bregenz und Wels zeigen in weiten Bereichen nahezu idente Kurven mit meist großen negativen Auswirkungen der meteorologischen Einflüsse. Die beiden größeren Städte Linz und Wien, welche jedoch nur mit Tageszählenden in den Auswertungen repräsentiert sind, zeigen ebenfalls sehr ähnliche Reaktionen auf die verschiedenen Wettereinflüsse. Die Reaktionen der Radfahrenden auf das Wetter in

diesen beiden Städten sind im Vergleich zu den verbleibenden fünf Städten im Mittelfeld einzuordnen. Innsbruck zeigt bei vielen Auswertungen die geringsten Einflüsse der Wetterparameter auf das messbare Verkehrsaufkommen. Die Radfahrenden der Stadt Graz zeigen nach Innsbruck sehr große Wetterunempfindlichkeit und liegen dadurch meistens vor Linz und Wien. Radfahrende in Salzburg zeigen immer wieder konträre Reaktionen im Vergleich zu den anderen Städten. Auch in der beschreibenden Statistik der vorhandenen Wetterbedingungen zeigt sich, dass in Salzburg andere Wetterbedingungen vorherrschen.

9.3 Vergleich der Forschungsergebnisse mit bestehenden Publikationen

Der direkte Vergleich der Ergebnisse mit Werten aus der Literatur erweist sich als schwierig, da in der Literatur meist Tagesdaten verwendet werden. Dies trifft vor allem auf den Wetterparameter Niederschlag zu, wo in der Literatur zwischen Regen- und regenfreien Tagen unterschieden wird. In der stündlichen Auswertung wird jedoch jede Stunde für sich betrachtet und kein Zusammenhang mit den weiteren Stunden eines Tages hergestellt.

In den dargestellten Forschungen werden oft auch Kombinationen von eintretenden Wetterereignissen ausgewertet. Bei den getätigten Auswertungen in dieser Arbeit wurde jeder Wetterparameter als eigenständige Variable in ihrer Auswirkung betrachtet. Bei Kombinationen unterschiedlicher Wetterparameter könnten sich die Auswirkungen auf die Radverkehrsstärke verändern.

In der Untersuchung von Martin Loidl in Salzburg (vgl. Schmidt, 2019, S. W1) waren an Tagen mit Niederschlag 21 Prozent weniger Radfahrer unterwegs. Im Vergleich dazu zeigen die Ergebnisse der stündlichen Auswertung im Schnitt minus 40 Prozent Radverkehrsstärke bei Niederschlag in einer Stunde (**Abb. 25**). Die Erkenntnis, dass bei der Steigerung von 1 °C Lufttemperatur der Anteil an Radfahrenden um 3,6 Prozent ansteigt, kann auch mit den vorhandenen Stundendaten bestätigt werden. Bei der Betrachtung der Werte der Grafik (**Abb. 24**) liegt der Steigerungsfaktor beim Radverkehr bei 10 °C Normierung bei 3 bis 4 Prozent. Dieser Wert wechselt je nach Temperaturbereich, da es sich hierbei um keinen linearen Zusammenhang handelt. Eine weitere Erkenntnis der Studie kann durch die Auswertungen der Abbildung (**Abb. 42**) teilweise bestätigt werden. Der Einfluss des Niederschlags wirkt sich im Sommer stärker aus als im Winter. Die größte Auswirkung findet im Herbst statt.

In der Masterarbeit „Wettereinfluss auf die stündliche Radverkehrsstärke in Wien“ (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 3) wird von einer Einwirkung der Lufttemperatur bei einer Änderung um 5 °C gesprochen. Es wird gezeigt, dass sich durch die genannte Temperaturänderung die Anzahl der gemessenen Radfahrer und Radfahrerinnen um ebenfalls 5 Prozent erhöht. In der Auswertung (**Abb. 49**) ist beim Referenzwert 10 °C ein Anstieg an Radfahrenden von zirka 18 Prozent zu erkennen. Dieser Anstieg ist jedoch nicht linear und auf den gewählten Referenzwert bezogen. Dass die meisten Radfahrenden pro Stunde im Temperaturbereich 30-34,9 °C gezählt werden (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 55 ff.) stimmt genau mit dem hier angewendeten Modell überein. In Abbildung (**Abb. 49**) zeigt die Kurve der Radverkehrsstärke abhängig von der Temperatur den Hochpunkt an.

Hinsichtlich des Niederschlags wird angegeben, dass bei eintretendem Niederschlag in einer Stunde die Radverkehrsstärke in Wien auf die Hälfte absinkt (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 49 ff.). In der Auswertung mit Tagesdaten (**Abb. 50**) wird ein Rückgang von durchschnittlich 30 Prozent gezeigt. Dieser Wert kann aufgrund der Verwendung von Tagessummen etwas niedriger liegen als tatsächlich der Fall ist.

Die Auswertung für den Einfluss der Windgeschwindigkeit in der Masterarbeit (vgl. Moosbrugger, 2013, S. 61) zeigt eine Abnahme bis zu 50 Prozent bei 10 m/s Windspitzen. Dies kann mit der Abbildung (**Abb. 51**) verglichen werden. Hier ist eine lineare Abnahme von rund

25 Prozent bei 5 m/s zu erkennen. Die Stärke der Abnahme stimmt somit in beiden Arbeiten überein.

Im Vergleich zu Literatur (vgl. Phung & Rose, 2007, S. 1 ff.) aus Australien ist der Einfluss von Niederschlag in Österreich deutlich höher. Leichter Regen in Melbourne (<10 mm) schreckt 8 bis 19 Prozent der Radfahrenden ab und starker Regen (≥ 10 mm) bis zu 25 Prozent. Im Vergleich dazu (**Abb. 56**) ist in Österreich bei Regen (<10 mm) von einem Rückgang von 40 Prozent auszugehen. Bei noch stärkerem Regen ist schon mit Einbußen von 50 Prozent zu rechnen. Dies kann aber auch mit den grundsätzlich anderen Wetterbedingungen der Länder zusammenhängen.

Der Einfluss der Wetterparameter Windstärke und Windrichtung auf Radfahrende wird im Kapitel 2.4 physikalisch behandelt. Es sind die einzigen Einflussfaktoren, welche aus naturwissenschaftlicher Sicht mit direkten Auswirkungen auf Radfahrende beziffert werden können und werden. Jedoch ist bei den vorgenommenen Auswertungen die Berücksichtigung der Windrichtung nicht möglich. Die Abbildung (**Abb. 5**) zeigt, dass bei wechselndem Gegen- und Rückenwind der Kraftaufwand in Summe steigt. Der zusätzlich benötigte Kraftaufwand oder die Geschwindigkeitsreduktion bei Gegenwind werden durch anschließenden Rückenwind nicht vollständig kompensiert. Drehende Windverhältnisse über den Tag verändern sich aus subjektiver Erfahrung meist nicht zu eigenen Gunsten. In Abbildung (**Abb. 6**) ist eine Kurve für Wind mit einer Geschwindigkeit von 20 km/h eingetragen. Dies entspricht ungefähr dem angezeigten Maximalwert (5 m/s) in den Auswertungsgrafiken der Einflussvariable Windgeschwindigkeit. Bei dieser Windstärke und einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h steigt die benötigte Leistung über das Doppelte an. Diese Einschränkung bei Gegenwind ist nicht direkt auf die getätigten Auswertungen zu übertragen, aber schlägt sich in der Abbildung (**Abb. 26**) in manchen Städten mit Reduktionen der Anzahl an Radfahrenden von bis zu 55 Prozent nieder.

Das Projekt Climate Fit City vom Joanneum Research hat ausgewählte Zählstellen in Wien im Zeitraum 2011 bis 2016 wochentags (Montag bis Freitag) bezüglich Wettereinflüssen ausgewertet. In der Abbildung (**Abb. 9**) und Tabelle (**Tab. 1**) wird der Effekt der einzelnen Wetterparameter dargestellt. Die Auswertungen hinsichtlich des Einflusses der Lufttemperatur in dieser Arbeit (**Abb. 52** links) zeigen eine ähnliche Kurve. Der Hochpunkt aus der Literatur liegt schon bei ca. 25 °C und nicht erst bei 33 °C. Diese Verschiebung kann jedoch auch mit den unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen (2011-2019) zusammenliegen, da in den letzten Jahren ein spürbarer Temperaturanstieg in den Städten verzeichnet wurde. Bei tiefen Temperaturen sinken die Kurven etwa vergleichbar weit ab. Generell ist anzumerken, dass die Kurve aus dem Modell sehr stark mit den Literaturwerten harmoniert. Die Einflüsse der Windgeschwindigkeit sind mit der (**Abb. 54**) zu vergleichen. Hierbei sind große Unterschiede festzustellen. In der oben angeführten Tabelle wird von lediglich 3 Prozent geringerer Radverkehrsstärke bei 20 km/h Windgeschwindigkeit berichtet. In der Auswertung dieser Arbeit ist bei vergleichbarer Windgeschwindigkeit (ca. 5 m/s) mit 25 Prozent weniger Radfahrenden zu rechnen. Ein Grund für unterschiedliche Ergebnisse kann die vereinfachte Annahme des linearen Zusammenhanges sein. Warum hierbei die Resultate so weit auseinanderklaffen, ist dennoch nicht nachvollziehbar.

Das Auftreten von Niederschlagsmengen innerhalb der Morgenstunden (6-9 Uhr) wochentags wurde in dieser Arbeit in Abbildung (**Abb. 56**) behandelt. In dem Climate Fit City Report (vgl. Köberl & Kortschak, 2019, S. 16) wird im selben Zeitraum von einem Rückgang von 31 Prozent berichtet. In der durchgeführten Auswertung mit Tagessummen sind Rückgänge von 35 bis 60 Prozent, je nach Regenintensität, zu sehen. Ein Unterschied in der Auswertung liegt darin, dass in dem Literaturbeispiel alle drei Stunden gemeinsam betrachtet werden und nicht jede für sich. Dies kann zu geringeren Auswirkungen führen. Bei der Auswertung von Tagessummen handelt es sich ebenfalls um eine starke Vereinfachung mit Tageszählwerten, die Abweichungen zu Auswertungen mit stündlichen Zählwerten aufweisen kann.

9.4 Kritische Reflexion der Datenerhebung

Unterschiedliche Datenerhebungsmethoden machen eine Vergleichbarkeit immer schwierig. Angefangen von unterschiedlichen Zeiträumen über Erhebungsmethoden bis zur Schnittstelle und Verfügbarkeit. Auch die vielen verschiedenen Zuständigkeitsbereiche für den Radverkehr und auch für die vorhandenen Zählstellen erschweren die Datenbesorgung. Generell existiert keine Übersicht über alle vorhandenen Dauerzählstellen in Österreich.

Wünschenswerte Verbesserungen wären online frei verfügbare Daten aller Dauerzählstellen des Landes. Auch eine stündliche Aufschlüsselung der Zählungen hilft bei Auswertungen. Generell ist eine softwarebasierte Datenbank zum Auslesen der gewünschten Daten, wie in Salzburg vorhanden, empfehlenswert. Die Daten werden aufgenommen und können einfach mittels Software für den Zeitraum, Zählstelle, Fahrtrichtung und Intervall (bis viertelstündlich) ausgegeben werden. Gleichzeitig können vorprogrammierte Grafiken und Tabellen mit aktuellen oder spezifischen Zählzeitenzeiträumen per Knopfdruck erzeugt werden.

Keine der großen Städte mit über 200.000 Einwohnern stellt die Radverkehrszählungen in stündlicher Genauigkeit zur Verfügung. Dies stellt dahingehend ein Problem dar, als diese Städte absolut gesehen viele Radfahrende besitzen und es nicht überprüfbar ist, ob die gewonnenen Erkenntnisse aus den stündlichen Auswertungen der kleineren Städte auch für große Städte gelten.

Wettervorhersagen aus vergangenen Zeiträumen sind Daten, welche nicht aufgezeichnet werden und somit für Auswertungen nicht zu Verfügung stehen. Zusätzlich werden diese bis zum Vorhersagezeitpunkt laufend aktualisiert und verändern sich somit ständig. Um die Auswirkung der Wettervorhersage auf die Radverkehrsstärke zu beurteilen, müssten speziell definierte Werte aus definierten Zeitspannen vor dem Vorhersagezeitpunkt mittels Web Mining (Data Mining) aufgezeichnet werden. Dies kann jedoch nur für eine in der Zukunft liegende Beobachtungszeitreihe geschehen und nicht für vorhandene Daten aus vergangenen Zeiträumen.

9.5 Fazit

Bei der Annahme, dass alle Personen in Österreich im Schnitt das gleiche Wetterempfinden besitzen, müssten die einzelnen Wetterparameter in jeder Stadt gleiche Auswirkungen zeigen. Da dies nicht der Fall ist, muss es sich um städtebedingte Einflüsse handeln, die als Variablen nicht im Modell berücksichtigt wurden oder konnten (siehe Kapitel 5.5). Im Speziellen kann die unterschiedliche Zusammensetzung der Radfahrenden („Four Types of Cycling“) einer Stadt eine unterschiedliche Wetterempfindlichkeit suggerieren. Die Zusammensetzung der Gruppen der Fahrradnutzenden kann sich aufgrund vieler Faktoren wie vorhandene Infrastruktur, Angebote der unterschiedlichen Verkehrsmodi, geographische Gegebenheiten und vieles mehr stark unterscheiden.

Umgekehrt kann es auch bei den Bewohnenden der Städte zu einer Anpassung an die vorherrschenden Wetterphänomene einer Region kommen. In diesem Fall würden die Ergebnisse der Untersuchung tatsächlich die Wetterempfindlichkeit der Radfahrenden widerspiegeln.

Die These, dass bei schlechtem Wetter weniger Fahrräder unterwegs sind, stimmt, ist jedoch mit einer nicht genauen Begrifflichkeit „schlechtes Wetter“ nicht eindeutig definiert. In allen Auswertungen dieser Arbeit haben die Windgeschwindigkeit und der Niederschlag negative Auswirkungen auf die Radverkehrsstärke. Lediglich die Windstärke hat in vereinzelt Fällen einen positiven Effekt bei steigenden Windgeschwindigkeiten gezeigt, was durch die geringe Signifikanz jedoch zu hinterfragen ist.

Die Hypothese, dass bei Regen sehr wenige Radfahrende unterwegs sind, wurde eindeutig widerlegt. In den Auswertungen der Literatur sind meist nur Tageszählraten für Auswertungen zum Zusammenhang von meteorologischen Daten und Radverkehrszählraten verwendet worden. Bei dieser ungenauen Betrachtungszeit kann kein direkter Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignis und Radverkehrszählungen hergestellt werden. Die stündliche Betrachtung jedoch zeigt, dass in den Städten Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels die Radverkehrsstärke nie unter 20 Prozent gefallen ist und im Schnitt bei rund 50 Prozent liegt (**Abb. 25**). Somit konnte diese Theorie widerlegt werden. Generell ist den Auswertungen zu entnehmen, dass die Tatsache, dass es regnet, einen weitaus größeren Einfluss hat als die tatsächliche Niederschlagsmenge.

Die Aussage, dass bei hohen Temperaturen der Radverkehr wieder abnimmt, kann generell bestätigt werden. In den beiden Abbildungen (**Abb. 24** und **Abb. 49**) zeigen alle Städte eine Abnahme der Radverkehrsstärke bei hohen Temperaturen. Nur in Salzburg konnte dieser Effekt nicht nachgewiesen werden. In Wels liegt der Hochpunkt der Radverkehrsstärke im Vergleich zu den anderen Städten bei weitaus geringeren Temperaturen, was wiederum ein Fehler aufgrund der geringen Signifikanz sein kann.

Für jede und jeden einzelnen ist es schlussendlich egal, welche genauen Zahlen bei den Auswertungen dieser Arbeit oder anderen wissenschaftlichen Studien herauskommen. Die Entscheidung, ob das Fahrrad als Verkehrsmittel oder auch als Sportgerät verwendet wird, hängt nicht an objektiven Zahlen und Fakten. Es ist die persönliche Entscheidung, die rein subjektiv getroffen wird. Die tatsächlich vorgefundenen Wettersituationen spielen dabei oft eine nebensächliche Rolle.

Somit muss versucht werden, aufgrund der gewonnenen Daten und Informationen dieser Auswertungen, richtige Anreize für die Veränderung des subjektiven Empfindens betreffend Radverkehr zu setzen. Die Witterung, welche auch in österreichischen Städten Unterschiede aufzeigt, kann nicht wirklich beeinflusst oder verändert werden. Im Kapitel 2.3 werden empfundene Hindernisse bezüglich Radverkehr und meteorologischen Einflüssen angeführt. Darunter fallen Sicherheitsbedenken und Unfallgefahr, speziell im Winter. Schnee, Eis, Dunkelheit und eingeschränkte Sichtverhältnisse sind witterungsbedingte Einflüsse, die beseitigt oder reduziert werden können. Die Verkehrsplanung spielt dabei eine große Rolle. Witterungsgeschützte Radabstellanlagen an Quell- und Zielorten sind von großer Wichtigkeit. Am Weg dazwischen kann mit unterschiedlicher Wahl und Führung der Radinfrastruktur ebenfalls die Einwirkung der Witterung positiv oder negativ verstärkt werden. Die Ausstattung der Wege bezüglich des Untergrunds oder der technischen Beleuchtung kann viele Sicherheitsbedenken von Radfahrenden ausräumen. Jedoch hilft die beste Radinfrastruktur nicht, wenn diese nicht oder nicht ausreichend betreut wird. Vor allem der Winterdienst entscheidet, ob das Radfahren in den kalten Monaten des Jahres sicher möglich ist oder nicht. Aber auch kleine Wartungsarbeiten vom Ausbessern von Schlaglöchern bis zum Schneiden von Sträuchern neben der Anlage werden leider zu oft vernachlässigt. Jedoch können auch verschiedenste andere Maßnahmen in den Bereichen Angebot verschiedenster Fahrradtypen, Gesetzgebung, Arbeitszeitflexibilisierung und viele mehr gesetzt werden. Um dem Fahrrad in Zukunft einen größeren Stellenwert in unserem Mobilitätsverhalten zukommen zu lassen, müssen Anstrengungen unternommen werden, damit dieses Verkehrsmittel für viele ganzjährig und mit größtmöglichem Sicherheitsgefühl nutzbar wird.

10 Literaturverzeichnis

- ADFC. (November 2018). So geht Verkehrswende – Infrastrukturelemente für den Radverkehr. (Version 1.0). (A. D.-C. (ADFC), Hrsg.) Berlin. Abgerufen am 22. April 2020 von https://www.adfc.de/fileadmin/user_upload/Expertenbereich/Politik_und_Verwaltung/Download/So_geht_Verkehrswende_ADFC-Booklet_Stand_05_2019.pdf
- Amt der Oö. Landesregierung Direktion Straßenbau und Verkehr (Abteilung Gesamtverkehrsplanung und öffentlicher Verkehr). (2019). Radverkehrszählungen 2017-2019. Linz. Abgerufen am 18. Jänner 2020
- Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung Straßenbau (VIb) Funktionsbereich Radverkehr. (2019). Radverkehrszählungen 2012-2018. Feldkirch. Abgerufen am 10. Februar 2020
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. (August 2013). Der Radverkehr in Zahlen. Wien. Abgerufen am 18. April 2020 von <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiGvruqtM3qAhWHXsAKHW7KDVkQFjAAegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.bmk.gv.at%2Fdam%2Fjcr%3Accd494fe-a186-4441-9c53-5ae4e203636c%2Ffriz201503.pdf&usg=AOvVaw06-ZwuPuTEGbePd9vmU2jF>
- CIMA Beratung + Management GmbH. (22. April 2010). Studie Radfahren und Einkaufen. Ried im Innkreis. Abgerufen am 16. Februar 2020 von https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:312a3473-e6b5-4f7f-8281-26bb82aa8737/Studie_20Radfahren_20und_20Einkaufen%5B1%5D.pdf
- das österreichische Gallup Institut. (Oktober 2013). Radfahren in Wien im Winter. Wien. Abgerufen am 17. Jänner 2020 von https://www.fahrradwien.at/wp-content/uploads/2013/10/Praes_Radfahren_im_Winter_final.pdf
- Gebhart, K., & Noland, R. B. (2014). The impact of weather conditions on bikeshare trips in Washington, DC. *Transportation (2014)*.
- Gruber, W. (09. Mai 2019). Statistik mit R für Fortgeschrittene. Abgerufen am 08. April 2020 von <https://wgruber.github.io/Modellbildung2/multiple-regression.html#voraussetzungen-mlr>
- HERRY Consult GmbH. (Juni 2016). Österreich unterwegs 2013/2014. (I. u. Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Wien. Abgerufen am 26. Jänner 2020 von https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwj4zuW5uqHnAhXSlosKHfjAEEQFjABegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.bmvit.gv.at%2Fdam%2Fjcr%3Aafbe20298-a4cf-46d9-bbee-01ad771a7fda%2Ffoeu_2013-2014_Ergebnisbericht.pdf&usg=AOvVaw0GvmTOzo2j
- HERRY Consult GmbH. (November 2017). Österreich unterwegs - mit dem Fahrrad. (I. u. Impressum Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Wien. Abgerufen am 26. Jänner 2020 von https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwWij_q2_-6jnAhWhw4sKHf2WC3EQFjABegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.bmvit.gv.at%2Fdam%2Fjcr%3Aaf489c61f-1bbb-4d2b-9a60-ac9b821d7736%2Fou_fahrrad_web.pdf&usg=AOvVaw0JiUALmvEWNGISzuBRG6nj
- Hummer, C. (02. Juli 2019). E-Mail. Linz.
- Illek, G., & Zientek, J. (November 2015a). Radfahren im Winter. Mit dem Fahrrad durch die kalte Jahreszeit! Wien. Abgerufen am 17. Jänner 2020 von https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwitnbWLwIvnAhVNpYsKHed9CIoQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.bmvit.gv.at%2Fservice%2Fpublikationen%2Fverkehr%2Ffuss_radverkehr%2Fdownloads%2Ffahrenimwinter_broschuere.pdf&usg=AOvVa

- Illek, G., & Zientek, J. (November 2015b). Radfahren im Winter. Strategien zur Förderung des Radverkehrs in der kalten Jahreszeit. Wien. Abgerufen am 17. Jänner 2020 von https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjr15idwYvnAhVMBBAIHVc3AZMQFjAAegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.bmvit.gv.at%2Fservice%2Fpublikationen%2Fverkehr%2Ffuss_radverkehr%2Fdownloads%2Ffahrimwinter_leitfaden
- Ingerle, I., & Romano, R. (2018). Die Schlechtwetter-Ausrede. *Drahtesel*(3).
- Köberl, J., & Kortschak, D. (08. März 2019). Active Mobility - Vienna. *Service Report Climate-fit.city*(Version v.02). Graz. Abgerufen am 10. November 2019 von https://climate-fit.city/wp-content/uploads/2019/03/Service-Report-Active-Mobility-Vienna_v02.pdf
- komobile Verkehrsplanung Gmunden. (November 2009). bike count Technologien und Wege zur Etablierung einer bundesweiten Datenbasis zum Radverkehrsaufkommen. Gmunden. Abgerufen am 24. März 2020 von <https://www2.ffg.at/verkehr/file.php?id=205>
- Liste der Städte in Österreich. Abgerufen am 09. April 2020 von https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_St%C3%A4dte_in_%C3%96sterreich
- Lst Ökonometrie, Uni Regensburg. (November 2012). Interpretation der Regressionskoeffizienten. Abgerufen am 30. Jänner 2020 von https://www.uni-regensburg.de/wirtschaftswissenschaften/vwl-tschernig/medien/mitarbeiter/rameseder/moe_modellparameterinterpretation.pdf
- Merkel, A. (2020). Klimatablelle Österreich. Oedheim. Abgerufen am 22. April 2020 von <https://www.klimatablelle.info/europa/oesterreich>
- Moosbrugger, D. (März 2013). Wetterabhängiges Modell zur Vorhersage stündlicher Radverkehrsstärken an acht ausgewählten Standorten in Wien. Wien.
- nast consulting Ziviltechnikerges.m.b.H. *nast consulting*. Abgerufen am 29. Jänner 2020 von <http://www.nast.at/verkehrsdaten/>
- Phung, J., & Rose, G. (2007). Temporal variations in usage of Melbourne's bike paths. Australia. Abgerufen am 22. march 2020 von https://www.australasiantransportresearchforum.org.au/sites/default/files/2007_Phung.pdf
- Pühringer, F. (28. März 2017). Einsatzmöglichkeiten von nutzergenerierten Mobilitätsdaten in der Stadt- und Regionalforschung. *Diplomarbeit*. Wien.
- Radfahrbeauftragter der Stadt Linz. (2019). Radverkehrszähldaten 2012-2016. Linz.
- Regenformen. Abgerufen am 14. Februar 2020 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Regen#Regenformen>
- Sammer, G. D. (1983). The effects of seasonal and daily weather conditions on bicycle use and mode substitution. Graz.
- Schmidt, V. (30. November 2019). Der Radler, das unbekannte Wesen. *Die Presse*, W1.
- Siemens Mobility GmbH. (2019). Radverkehrszähldaten 2017-2019. Wien.
- Snizek + Partner Verkehrsplanung. (2010). Radverkehrserhebung Wien- Entwicklungen, Merkmale und Potenziale. (M. 1. Stadtplanung, Hrsg.) Wien. Abgerufen am 29. Jänner 2020 von <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008167.pdf>
- Stadt Graz Abteilung für Verkehrsplanung Radverkehr. (2019). Radverkehrszähldaten 2013-2018. Graz.
- Stadt Salzburg MA6/00 - Baudirektion. (2019). Radverkehrszähldaten 2012-2019. Salzburg.
- Stadtmagistrat Verkehrs und Umweltmanagement. (2019). Radverkehrszähldaten 2018. Innsbruck.
- Suhr, W., & Schlichting, H. J. (Juni 2007). Radfahren: Mit Pedalkraft gegen Berge und Wind. Abgerufen am 9. Mai 2020 von https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/411_mit_pedalkraft_gegen_berge_und_wind.pdf

- Thomas, T., Jaarsma, R., & Tutert, B. (10. april 2012). Exploring temporal fluctuations of daily cycling demand on Dutch cycle paths: the influence of weather on cycling. Springer Verlag. Abgerufen am 18. march 2020 von <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11116-012-9398-5.pdf>
- Universität Innsbruck. Grundlagen der deskriptiven Regressionsanalyse - OLS Mechanik. (Kapitel 2). Abgerufen am 25. März 2020 von https://www.uibk.ac.at/econometrics/einf/kap02_ols.pdf
- Universität Innsbruck. Nichtlineare Funktionsformen. *Angewandte Ökonometrie, Kapitel 2*. Abgerufen am 13. März 2020 von https://www.uibk.ac.at/econometrics/einf/kap02_log.pdf
- Universität Zürich. (2018). Multiple Regressionsanalyse. Abgerufen am 08. April 2020 von https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/mreg.html#1.2._Voraussetzungen_der_multiplen_Regressionsanalyse
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. (Oktober 2019). Wetter Stunden- und Tagesdaten. (ZAMG, Hrsg.) Wien.
- Zorn, W. (2008). Geschwindigkeit & Leistung. Abgerufen am 17. Februar 2020 von <http://www.kreuzotter.de/deutsch/speed.htm>

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Radverkehrsanteil und Niederschlagstage, Städtevergleich (VCÖ, 2006, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 83)14

Abb. 2: Anzahl Radfahrende Jänner 2012, Graz (Keplerbrücke) mit den Wettereinflussfaktoren Temperatur und Niederschlag (Stadt Graz, 2013, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 90)..... 16

Abb. 3: Anzahl Radfahrende Juli 2009, Graz (Keplerbrücke) mit den Wettereinflussfaktoren Temperatur und Niederschlag (Stadt Graz, 2013, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 91).....17

Abb. 4: Anzahl Radfahrende 2008-2012,Wien (4 Zählstellen) mit den Wettereinflussfaktoren Temperatur und Niederschlag (Nast consulting ZT, 2013; Snizek + Partner Verkehrsplanung, 2010; ZAMG 2013, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 92)..... 18

Abb. 5: Höchstgeschwindigkeit von Rennradfahrenden anhängig von Windstärke und -richtung (Suhr/Schlichting, 2007, zit.n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013, S. 259).....23

Abb. 6: Einfluss Windgeschwindigkeit auf das Radfahren (Zorn, 2008, zit. n. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013).....24

Abb. 7: Relative Anzahl RadfahrerInnen 2002-2010 in Wien unterteilt in Werktagsverkehr und Freizeitverkehr (Moosbrugger, 2013, S. 38).....25

Abb. 8: links: Relative Anzahl an RadfahrerInnen an Tagen mit und ohne Niederschlag; 2002-2010 in Wien an Tagen mit und ohne Niederschlag, rechts: Anzahl Tage mit und ohne Niederschlag; 2002-2010 in Wien (Moosbrugger, 2013, S. 54).....26

Abb. 9: Einfluss Wetter auf tägliche Radverkehrs-Volumen (BVT) in Wien, 2011-2016, a) WBGT (ca. Temperatur), 6:00-20:00 Uhr; b) Windgeschwindigkeit, 6:00-20:00 Uhr; c) Stunden Niederschlag >0,1 mm, 6:00-20:00 Uhr; d) Schneehöhe in cm, 7:00 Uhr (Köberl & Kortschak, 2019, S. 15).....28

Abb. 10: Modal Split der einzelnen Bundesländer in Österreich (HERRY Consult GmbH, 2016, S. 78)32

Abb. 11: Anteil Stunden und zugehörige Lufttemperatur gemessen 2 m über Grund für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels, Temperaturwerte werden auf ganze Zahlen gerundet.....36

Abb. 12: Anteil Stunden und zugehörige Windgeschwindigkeit für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels38

Abb. 13: Anteil Stunden und zugehörige Windrichtung nach Himmelsrichtungen für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....38

Abb. 14: Anteil Stunden und zugehörige relative Feuchte [%] für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels39

Abb. 15: Anteil Tage und zugehörige Gesamtschneedecke [cm] für die Städte Bregenz, Innsbruck und Salzburg (ohne Wels)40

Abb. 16: Anteil Tage und zugehörige Bewölkung um 7:00, 14:00, 19:00 Uhr [1/10] und zugehöriges Bewölkungsmittel [1/100] für die Städte Bregenz, Innsbruck und Salzburg (ohne Wels)41

Abb. 17: Korrelationen zwischen den Wettereigenschaften.....46

Abb. 18: Einfluss Lufttemperatur [°C] auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....48

Abb. 19: Einfluss Niederschlagsmenge [mm/h] auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels49

Abb. 20: Einfluss Windgeschwindigkeit (m/s) auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels50

Abb. 21: Einfluss Monat auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....51

Abb. 22: Einfluss Wochentag auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....51

Abb. 23: Einfluss Stunde auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....52

Abb. 24: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	54
Abb. 25: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	55
Abb. 26: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	56
Abb. 27: Einfluss der Variable Monat auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	57
Abb. 28: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	58
Abb. 29: Einfluss der Variable Tagesganglinie auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	59
Abb. 30: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)	60
Abb. 31: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)	61
Abb. 32: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)	62
Abb. 33: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)	63
Abb. 34: Einfluss der Variable Monat auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag)	64
Abb. 35: Einfluss Lufttemperatur auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	65
Abb. 36: Einfluss Regenintensität auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	66
Abb. 37: Einfluss Windgeschwindigkeit [m/s] auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	67
Abb. 38: Einfluss Lufttemperatur auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....	68
Abb. 39: Einfluss Regenintensität auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....	69
Abb. 40: Einfluss Windgeschwindigkeit [m/s] auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....	70
Abb. 41: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Jahreszeitenvergleich im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai, Sommer: Juni- August, Herbst: September- November, Winter: Dezember- Februar).....	72
Abb. 42: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Jahreszeitenvergleich im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai, Sommer: Juni- August, Herbst: September- November, Winter: Dezember- Februar).....	73
Abb. 43: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit [m/s] auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Jahreszeitenvergleich im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und	

Wels (Frühling: März- Mai, Sommer: Juni- August, Herbst: September- November, Winter: Dezember- Februar)	74
Abb. 44: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: aus Stundendaten der Dauerzählstellen, rechts: aus der Tagessumme der Dauerzählstellen	76
Abb. 45: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: aus Stundendaten der Dauerzählstellen, rechts: aus der Tagessumme der Dauerzählstellen	77
Abb. 46: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels links: aus Stundendaten der Dauerzählstellen, rechts: aus der Tagessumme der Dauerzählstellen	78
Abb. 47: Anteil Stunden und zugehörige Lufttemperatur gemessen 2 m über Grund für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien, Temperaturwerte wurden auf ganze Zahlen gerundet.....	80
Abb. 48: Anteil Stunden und zugehörige Windgeschwindigkeit für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien.....	82
Abb. 49: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien.....	83
Abb. 50: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien.....	84
Abb. 51: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	85
Abb. 52: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag).....	86
Abb. 53: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag).....	87
Abb. 54: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien links: Wochentags (Montag – Freitag), rechts: Wochenende (Samstag, Sonntag).....	88
Abb. 55: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	89
Abb. 56: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	90
Abb. 57: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	91
Abb. 58: Einfluss der Variable Lufttemperatur auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	92
Abb. 59: Einfluss der Variable Regenintensität auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	92

Abb. 60: Einfluss der Variable Windgeschwindigkeit auf die Radverkehrsstärke pro Stunde berechnet aus der Tagessumme der Dauerzählstellen für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Wels, Linz, Graz und Wien	93
Abb. 61: Anteil Stunden und zugehörige Sonnenscheindauer [h] für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	109
Abb. 62: Einfluss Niederschlagsmenge [mm/h] (bis 25 mm/h) auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	109
Abb. 63: Einfluss Windgeschwindigkeit [m/s] auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	110
Abb. 64: Einfluss Monat auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	110
Abb. 65: Einfluss Wochentag auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	111
Abb. 66: Einfluss Stunde (Vormittagsspitze) auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	111
Abb. 67: Einfluss Monat auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	112
Abb. 68: Einfluss Tagesganglinie auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels	112
Abb. 69: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Frühling im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai)	113
Abb. 70: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Sommer im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Sommer: Juni- August)	113
Abb. 71: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Herbst im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Herbst: September- November)	114
Abb. 72: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Winter im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Winter: Dezember- Februar)	114
Abb. 73: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Frühling im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai)	115
Abb. 74: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Sommer im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Sommer: Juni- August)	115
Abb. 75: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Herbst im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Herbst: September- November)	116
Abb. 76: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Winter im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Winter: Dezember- Februar)	116

12 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einfluss Wetter auf tägliche Radverkehrs-Volumen (BVT) in Wien, 2011-2016, nur Arbeitstage (Montag-Freitag), Wetterparameter: Temperatur, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Schneehöhe (Köberl & Kortschak, 2019, S. 16).....	29
Tab. 2: Übersicht Bevölkerungszahlen und Fläche der ausgewerteten Städte (vgl. Liste der Städte in Österreich).....	32
Tab. 3: Übersicht verwendete Wetterstationen der ZAMG mit Seehöhe und genauer Lage.....	34
Tab. 4: Legende für die verwendeten Wetterparameter der ZAMG.....	35
Tab. 5: Übersicht erhobene Daten Anzahl der Radfahrenden pro Stunde.....	36
Tab. 6: Übersicht Wetterdaten Regenintensität in Stunden.....	37
Tab. 7: Übersicht Wetterdaten Regenintensität Abstufung in Stunden.....	37
Tab. 8: Übersicht Zählraten Anzahl an Einträgen pro Jahr und Station inklusive Wetterdaten der ZAMG für die stündlich vorhandenen Daten.....	43
Tab. 9: Modellparameter des gemeinsamen Modells für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels.....	48
Tab. 10: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte.....	53
Tab. 11: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte (für wochentags und Wochenende).....	59
Tab. 12: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte (Alltagsverkehr).....	65
Tab. 13: Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte (Freizeitverkehr).....	67
Tab. 14: Modellparameter der Einzelmodelle Frühling, Sommer, Herbst und Winter für die stündlich vorhandenen Daten der vier Städte.....	71
Tab. 15: Vergleich der Modellparameter der Einzelmodelle für die stündlich vorhandenen Daten und die Tagessummen der vier Städte.....	75
Tab. 16: Übersicht Anzahl Stunden (Tageszählsummen vorhanden) pro Jahr und Station inklusive Wetterdaten der ZAMG für die stündlich vorhandenen Wetterdaten.....	79
Tab. 17: Übersicht erhobene Daten Anzahl der Radfahrenden pro Stunde für sieben Städte in Österreich.....	79
Tab. 18: Übersicht Wetterdaten Regenintensität je Stunde.....	81
Tab. 19: Übersicht Wetterdaten Regenintensität Abstufung je Stunde.....	81
Tab. 20: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte.....	83
Tab. 21: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte (für wochentags und Wochenende).....	85
Tab. 22: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte (Alltagsverkehr).....	88
Tab. 23: Modellparameter der Einzelmodelle für die vorhandenen Tagessummen der sieben Städte (Freizeitverkehr).....	91

Anhang

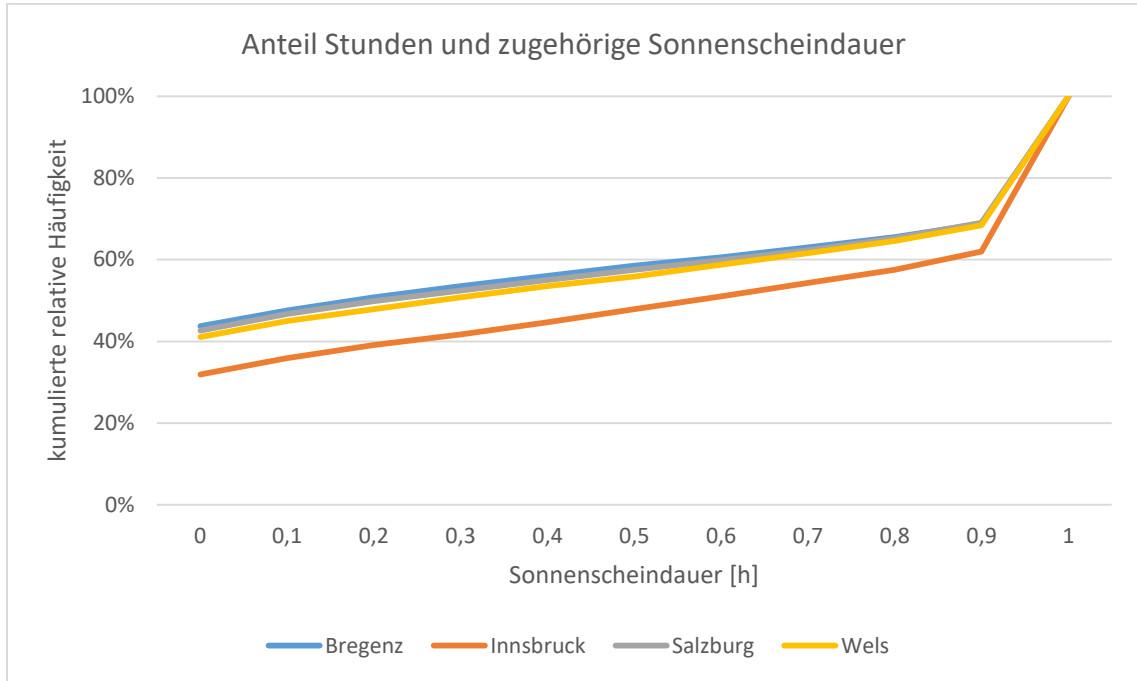


Abb. 61: Anteil Stunden und zugehörige Sonnenscheindauer [h] für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

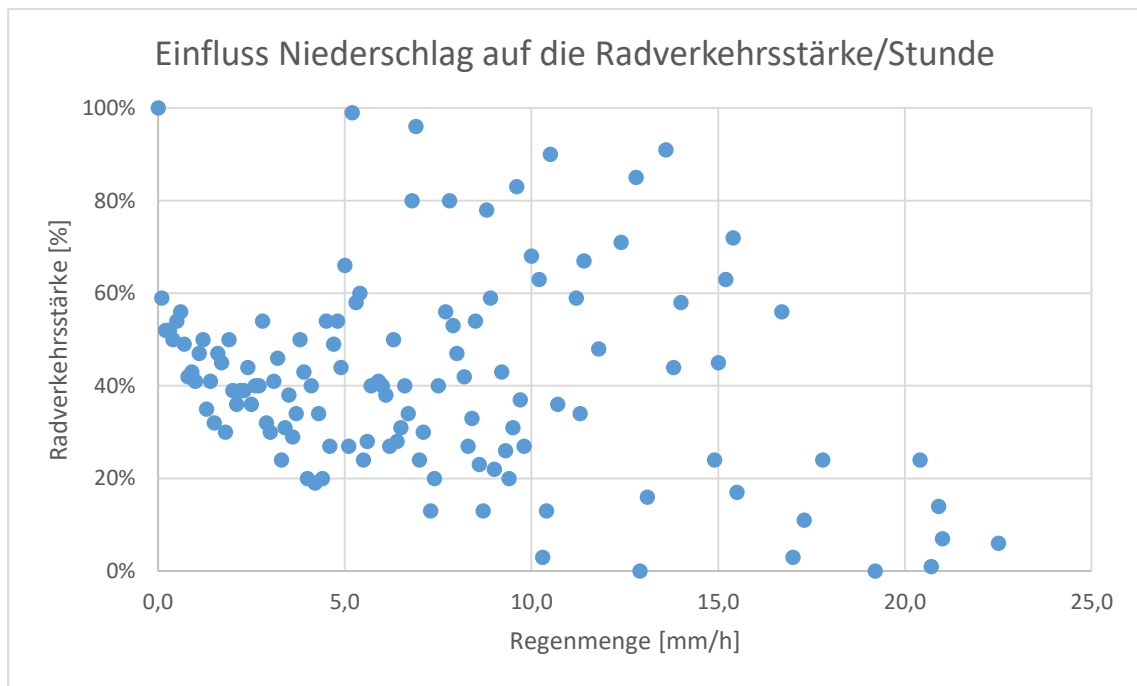


Abb. 62: Einfluss Niederschlagsmenge [mm/h] (bis 25 mm/h) auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

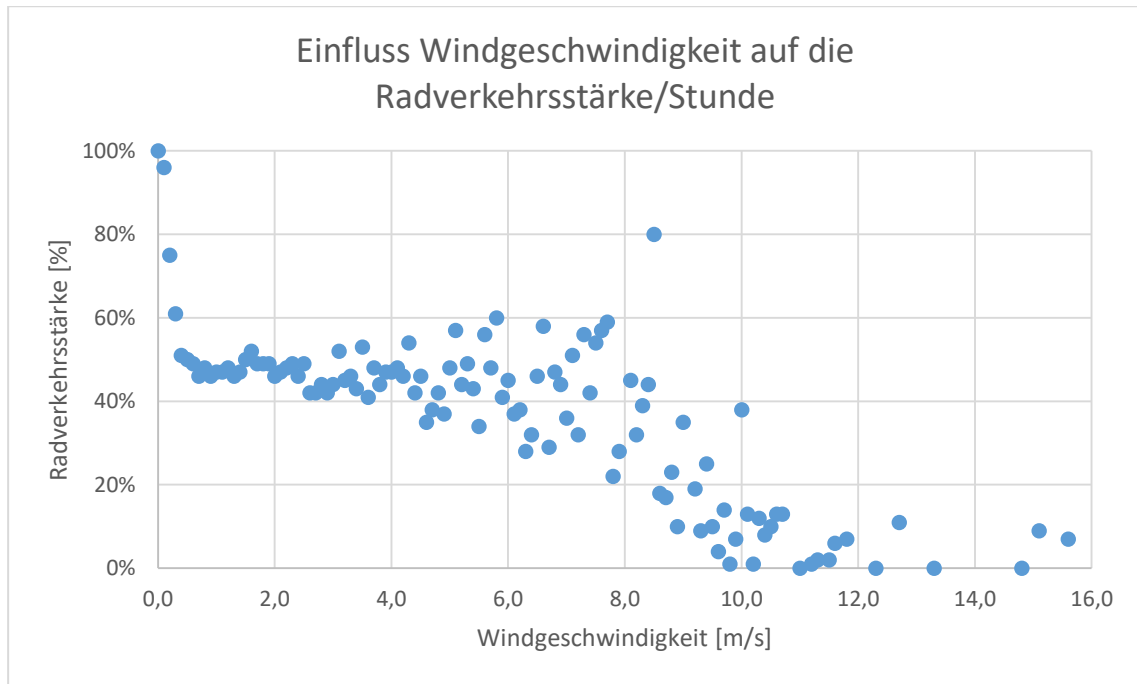


Abb. 63: Einfluss Windgeschwindigkeit [m/s] auf Radverkehrsstärke pro Stunde im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

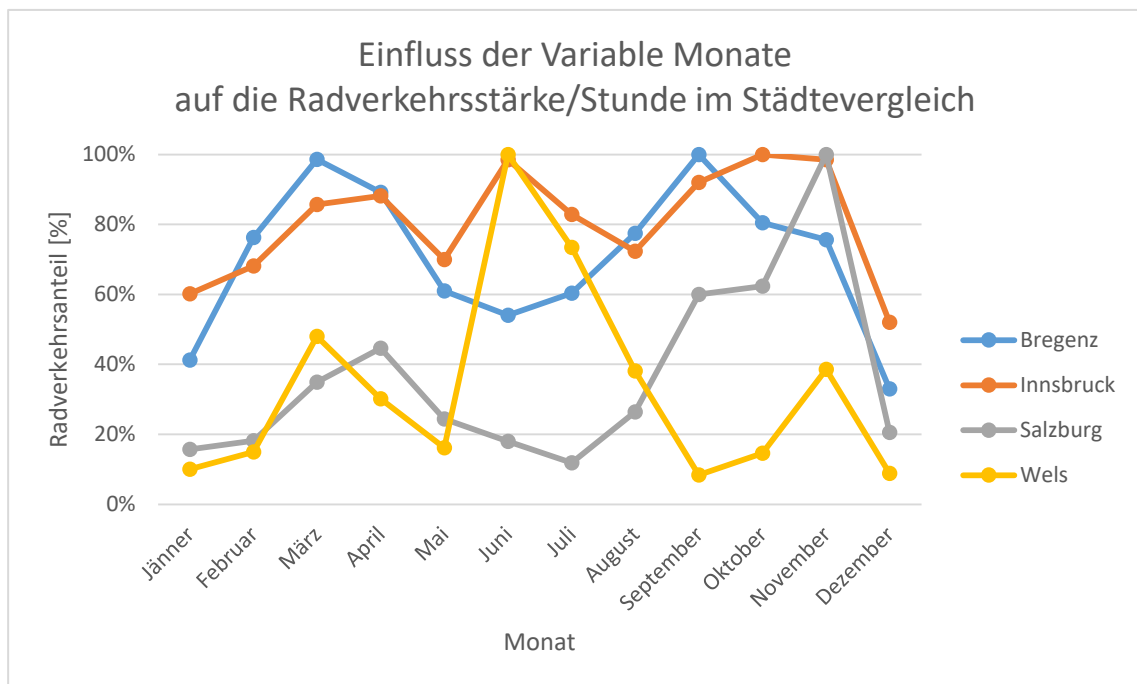


Abb. 64: Einfluss Monat auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

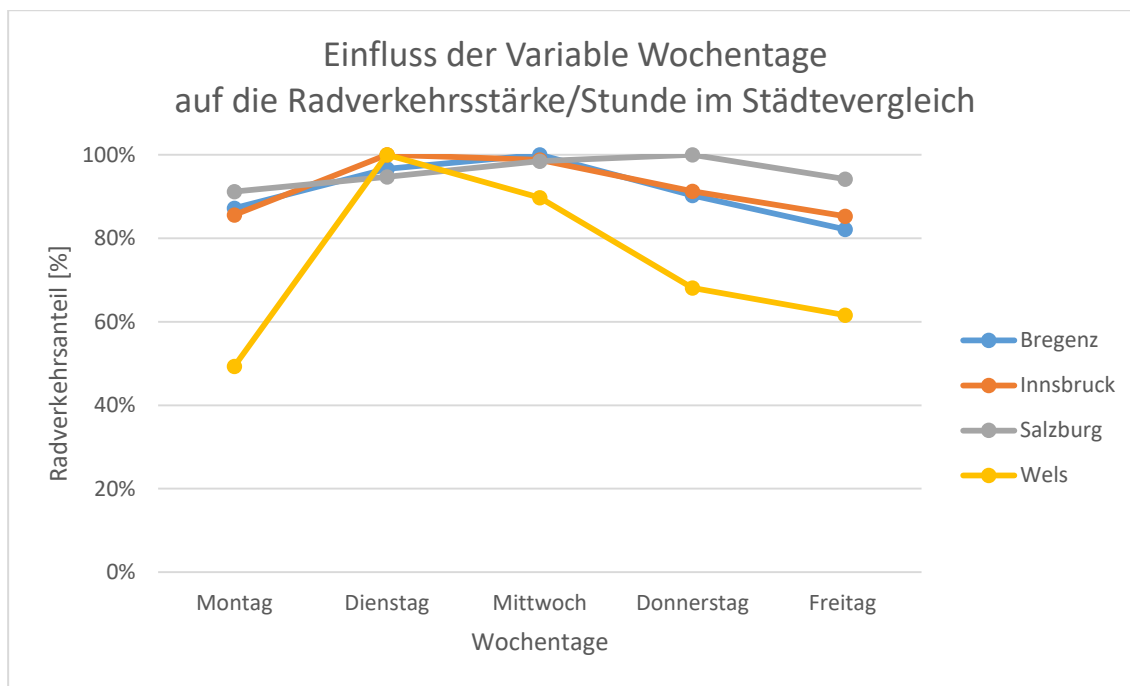


Abb. 65: Einfluss Wochentag auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

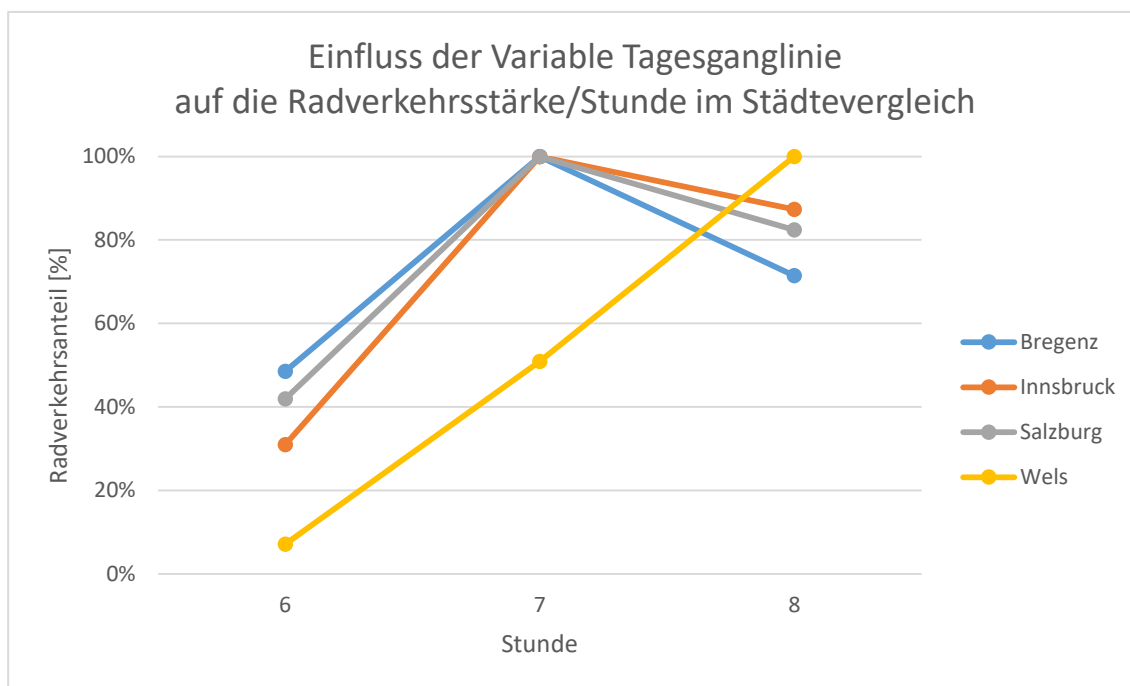


Abb. 66: Einfluss Stunde (Vormittagsspitze) auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr in der Vormittagsspitze (6-9 Uhr) von Montag bis Freitag für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

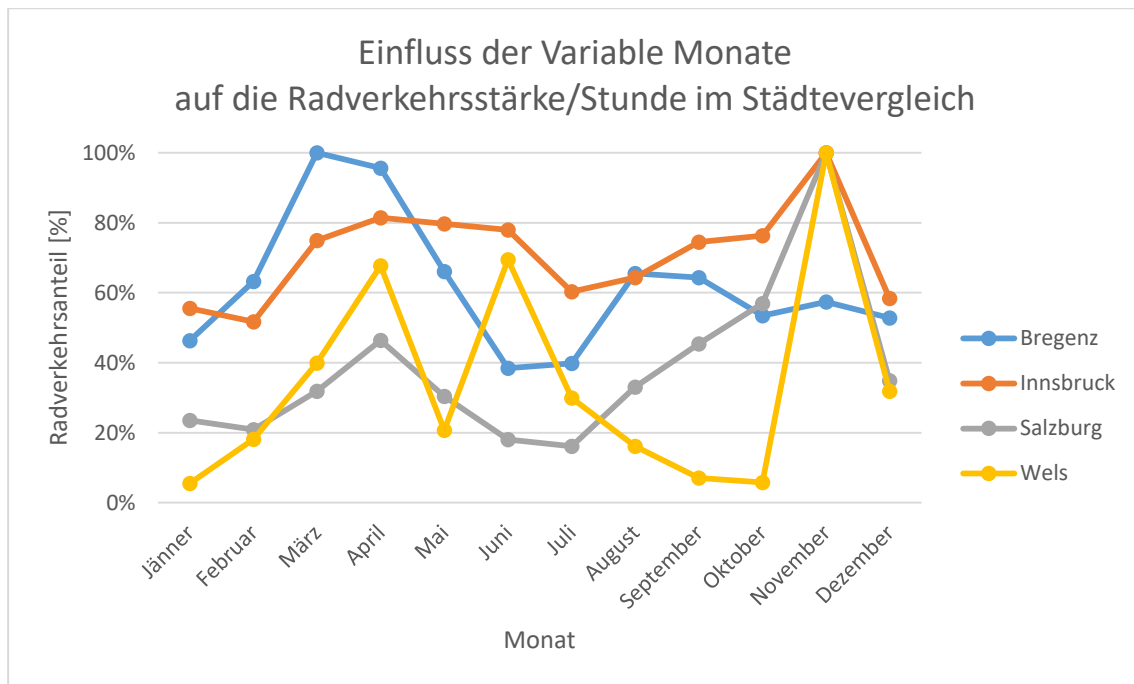


Abb. 67: Einfluss Monat auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

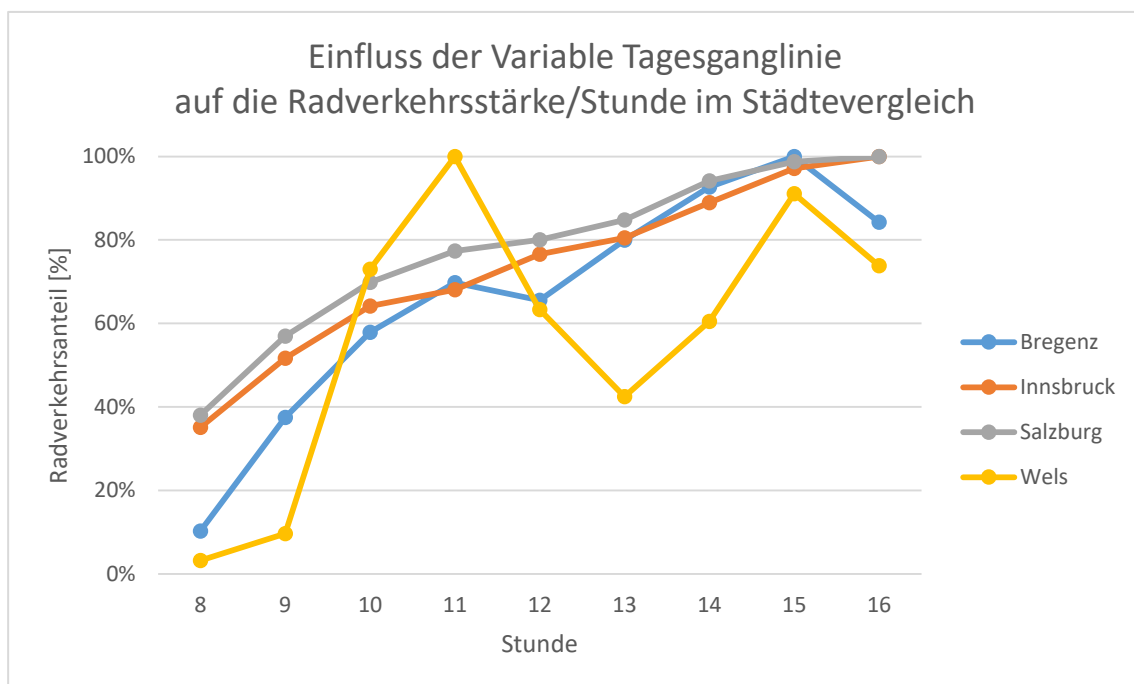


Abb. 68: Einfluss Tagesganglinie auf Radverkehrsstärke pro Stunde für Radverkehr sonntags (8-17 Uhr) für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels

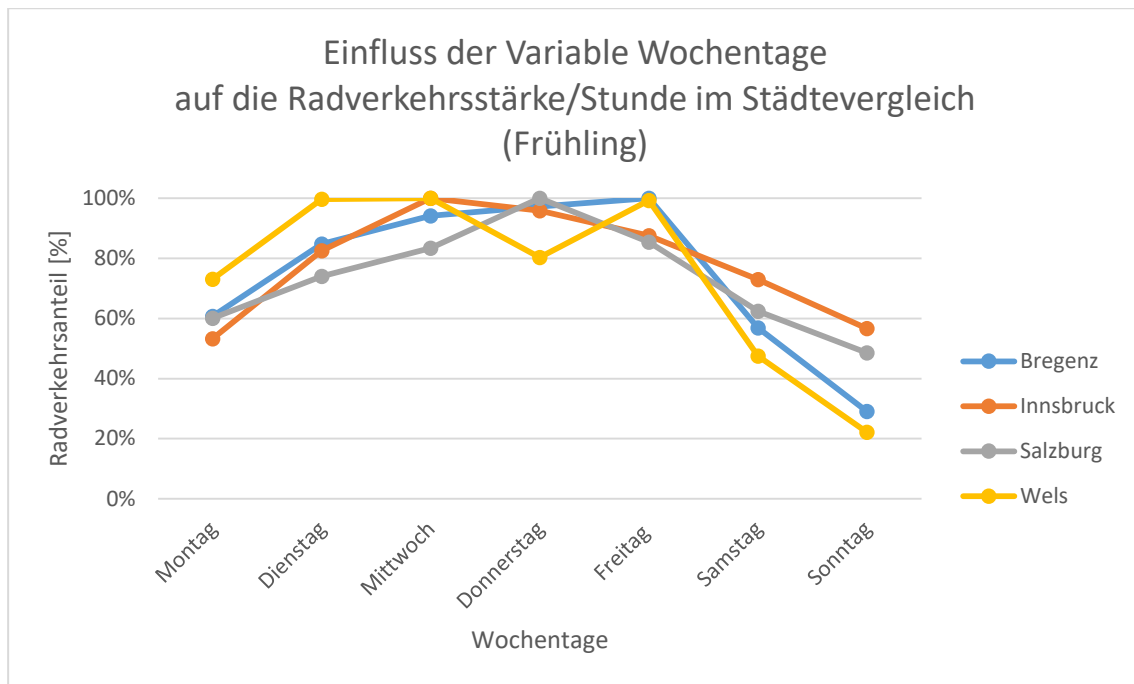


Abb. 69: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Frühling im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai)

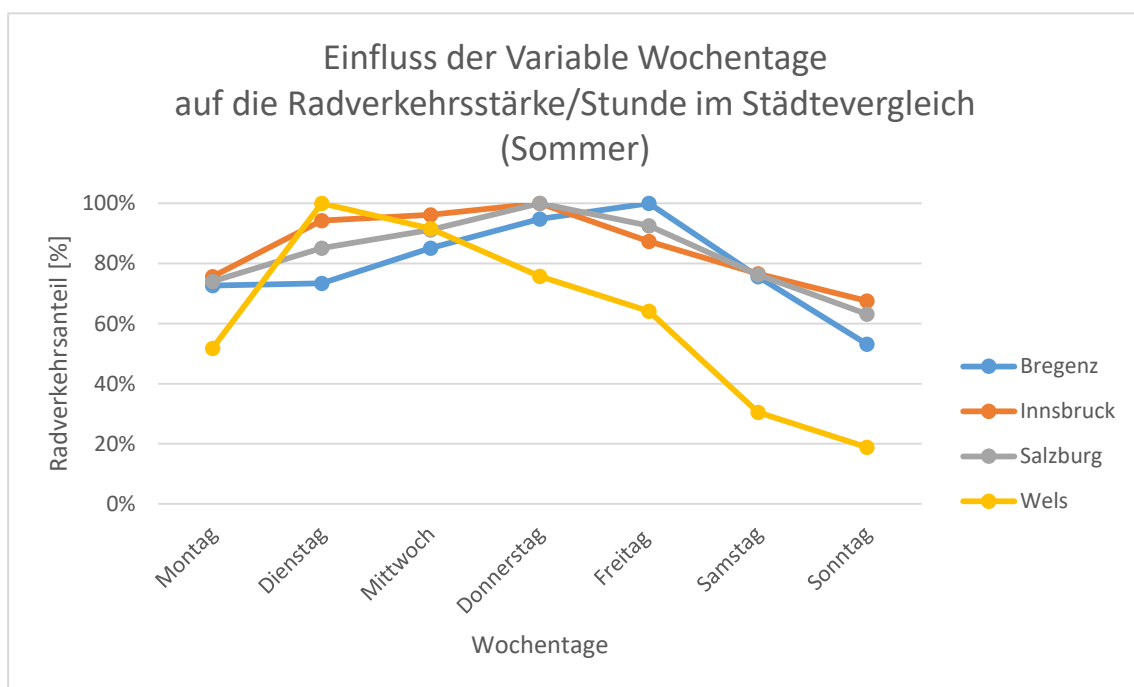


Abb. 70: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Sommer im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Sommer: Juni- August)

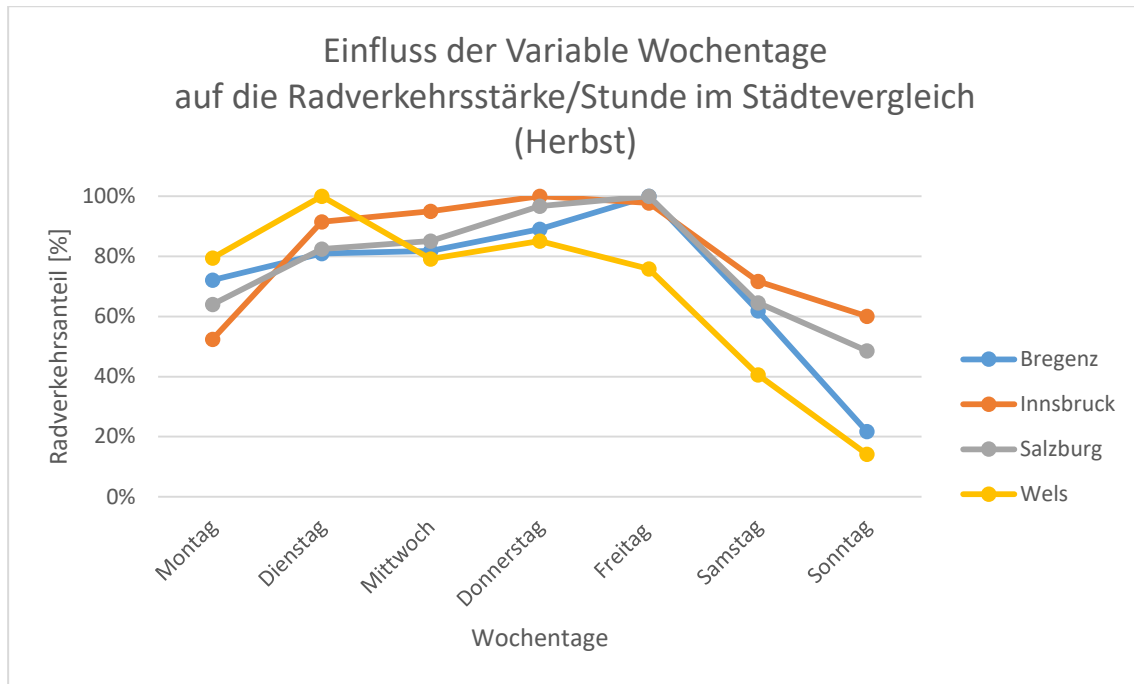


Abb. 71: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Herbst im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Herbst: September- November)

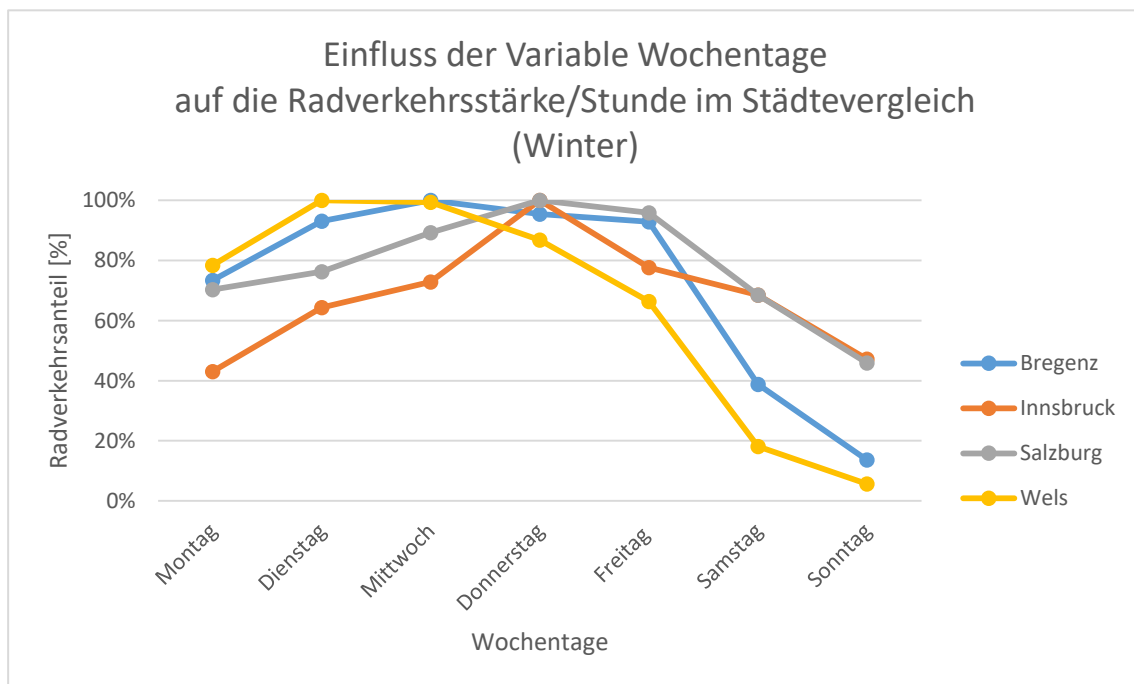


Abb. 72: Einfluss der Variable Wochentag auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Winter im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Winter: Dezember- Februar)

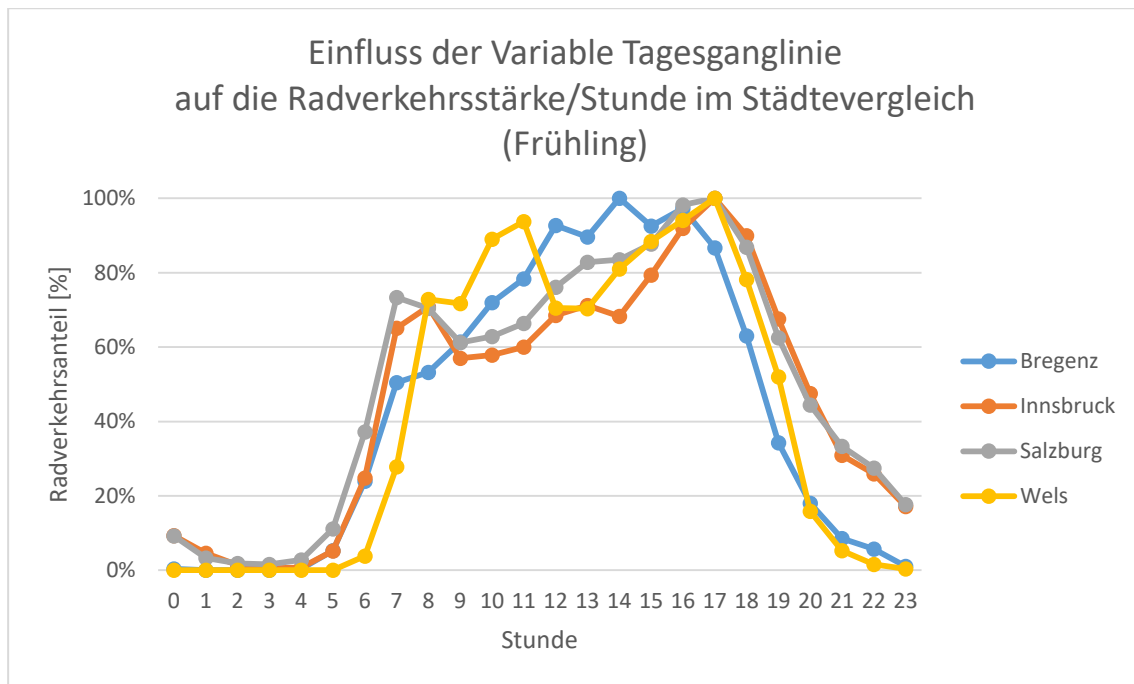


Abb. 73: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Frühling im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Frühling: März- Mai)

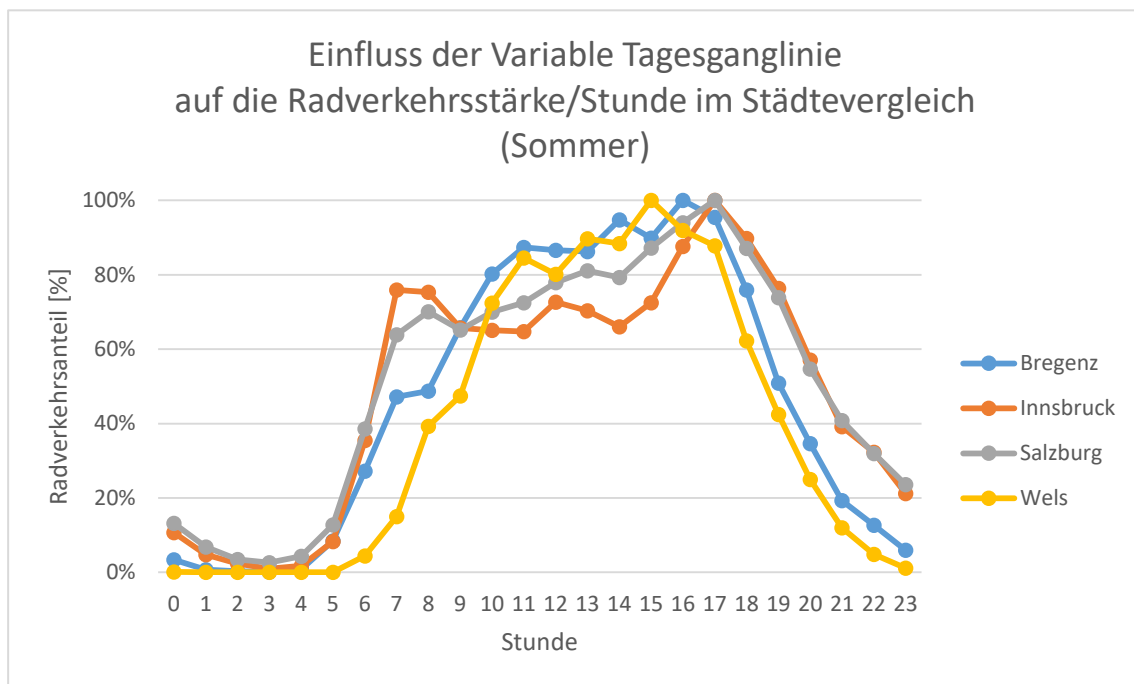


Abb. 74: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Sommer im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Sommer: Juni- August)

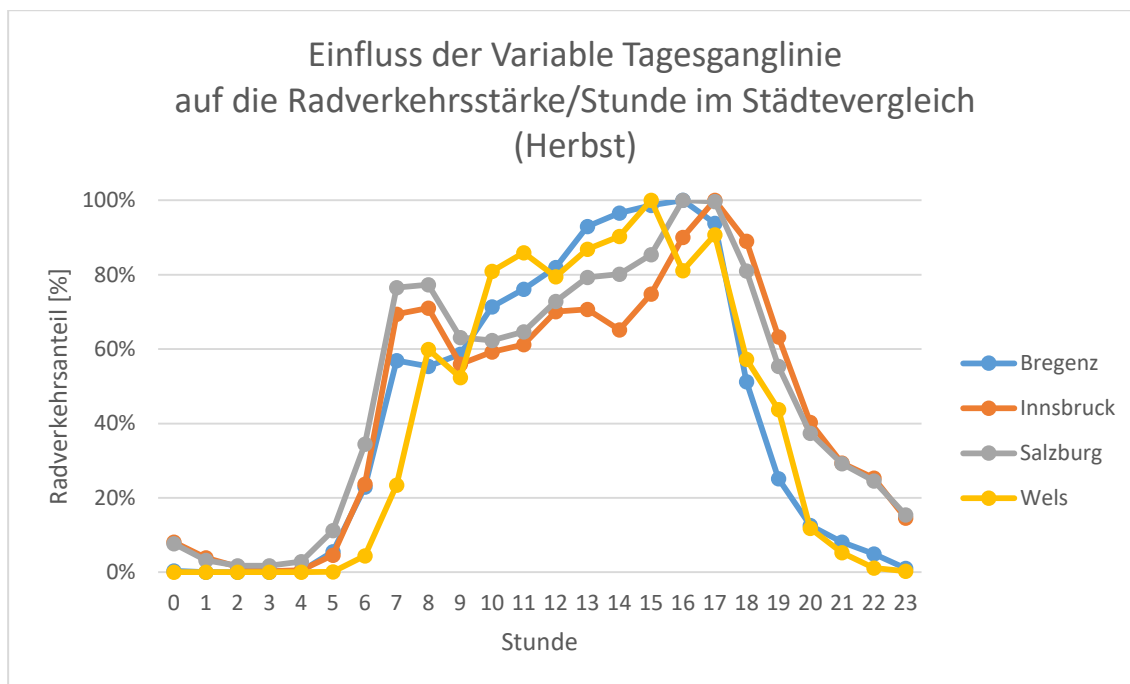


Abb. 75: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Herbst im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Herbst: September- November)

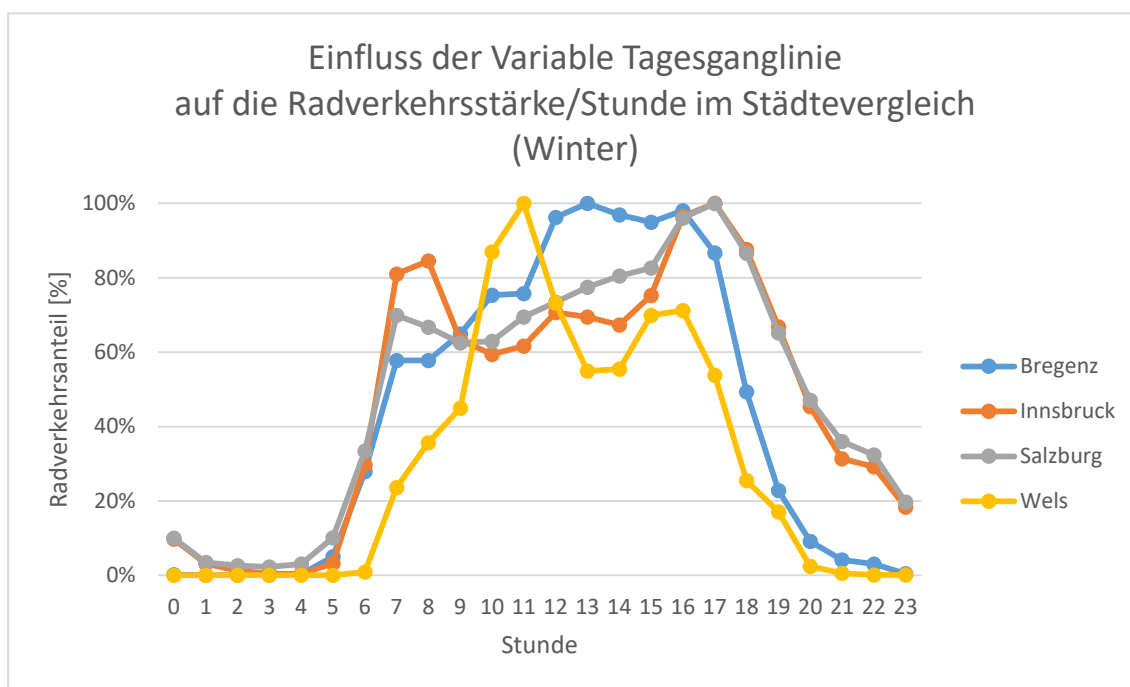


Abb. 76: Einfluss der Variable Stunde auf die Radverkehrsstärke pro Stunde im Winter im Betrachtungszeitraum für die Städte Bregenz, Innsbruck, Salzburg und Wels (Winter: Dezember- Februar)