

Schlussbericht

Appenzell und Ebnat-Kappel

Zwei Dörfer mit hohem Holzfeuerungsanteil:
ein Vergleich der Immissionsmesswerte



Herausgeber

OSTLUFT 2013

Projektleitung, Messung und Auswertung

Amt für Umwelt und Energie des Kantons St.Gallen

Projektleitung: Susanne Schlatter
Projektteam: Albert Kölbener-Rusch, Aldo Dalle Case, Dominik Noger
Analytik: AFU SG, Labor
Bericht: Matthias Trösch (Praktikant), Susanne Schlatter

Abkürzungsverzeichnis:

Aethalometer	=	BC online Messung
AFU	=	Amt für Umwelt und Energie
APP	=	Appenzell
CO	=	Kohlenstoffmonoxid
EC	=	Elementarer Kohlenstoff (Elemental Carbon)
EC TOT	=	EC Messmethode (Thermo Optical Transmission, Eusaar2)
EKA	=	Ebnet-Kappel
ELPI	=	Electrical Low Pressure Impactor (Messgerät Nanopartikel)
IARC	=	International Agency for Research on Cancer
Levo	=	Levoglucon
Maap	=	Multi Angle Absorption Photometer (BC online Messung)
NO	=	Stickstoffmonoxid
NO ₂	=	Stickstoffdioxid
NO _x	=	Stickstoffoxide
O ₃	=	Ozon
PAH	=	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (Polyaromatic Hydrocarbon)
PM10	=	Feinstaub (Particulate Matter)
SGB	=	SG Blumenbergplatz
SGR	=	SG Rorschacher Strasse
SGS	=	SG Stuelegg
TEOM	=	Tapered element oscillating microbalance (online Messgerät Feinstaub)
VOC	=	Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Fragestellung	5
3	Methodik	6
3.1	Standortwahl Appenzell	6
3.2	Standortklassierung Appenzell	7
3.3	Standortwahl Ebnet Kappel	7
3.4	Standortklassierung Ebnet-Kappel	8
3.5	Messperiode der Messgeräte	8
3.6	Inversionserfassung	9
4	Resultate	10
4.1	Luftschadstoffe	10
4.1.1	Appenzell: Schadstoff-Tagesgang nach Jahreszeiten	10
4.1.2	Tagesgang im Vergleich von Appenzell und Ebnet-Kappel	11
4.1.3	NO ₂ , PM ₁₀ und CO im Winterhalbjahr	12
4.1.4	Ozon im Sommerhalbjahr	13
4.1.5	Grenzwertüberschreitungen	13
4.1.6	Elementarer Kohlenstoff (EC)	15
4.1.7	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)	16
4.1.8	Levoglucosan	17
4.2	Inversionen	19
4.2.1	Inversionshäufigkeit und -stärke	19
4.2.2	Inversionslage Appenzell	21
4.2.3	Schadstoffverlauf mit und ohne Inversion	22
5	Fazit	23
6	Anhang	24
6.1	Wind	24

1 Zusammenfassung

Im OSTLUFT Gebiet wird an über 20 Standorten mittels der Leitschadstoffe Stickstoffdioxid, Ozon und Feinstaub die Luftqualität überwacht. Dieses Netz wird ergänzt durch räumlich und zeitlich flexibel einsetzbare Messsysteme, wie z.B. Passivsammler.

Die Dörfer Appenzell und Ebnat-Kappel haben einen hohen Anteil an Holzfeuerungen und ein mässiges Verkehrsaufkommen. Zwischen Sept. 2011 und Dez. 2013 wurden im Dorfzentrum von Appenzell Immissionsmessungen durchgeführt und zwischen Juni 2010 und Sept. 2012 im Zentrum von Ebnat-Kappel. Die zeitgleichen Messungen zwischen Sept. 2011 und Sept. 2012 ermöglichen einen Vergleich der beiden ländlichen Standorte. In der Region Appenzell sind rund 2200 kleine Holzfeuerungsanlagen erfasst, während in Ebnat-Kappel 6 grosse Holzschnitzelfeuerungsanlagen sowie rund 1300 kleine Holzfeuerungsanlagen in Betrieb sind. Appenzell hat gegenüber Ebnat-Kappel ein leicht höheres Verkehrsaufkommen.

In Appenzell und Ebnat-Kappel wurden zusätzlich zu den Luftqualitätsmessungen Temperaturhöhenprofile erfasst. Mit Hilfe eines Temperaturhöhenprofils lässt sich der Einfluss von bodennahen Inversionen auf die Schadstoffkonzentration in der Luft untersuchen. Anhand der Schadstoffmessungen an beiden Standorten lässt sich zudem der Einfluss von lokalen Holzfeuerungen auf die Gesamtbelastung in ländlicher Region besser beurteilen.

Die gemessenen Schadstoffkonzentrationen entsprechen standortüblichen Werten von ländlichen Regionen. In Appenzell ist der Winterhalbjahresmittelwert der Stickstoffdioxidkonzentration gegenüber Ebnat-Kappel höher. Die Winterhalbjahresmittelwerte der Kohlenmonoxid- und Feinstaubkonzentration sind hingegen tiefer. Bei der Quellenanalyse wurde in Ebnat-Kappel eine 35 % höhere Levoglucosankonzentration gemessen. Diese Resultate lassen die Schlussfolgerung zu, dass in Appenzell der Verkehr einen höheren Einfluss auf die Luftqualität hat als in Ebnat-Kappel. In Ebnat-Kappel tragen Holzfeuerungen gegenüber Appenzell mehr zur Luftbelastung bei. Die in Appenzell geplante 1.5 MW Holzfeuerungsanlage war zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht in Betrieb.

An beiden Standorten konnte gezeigt werden, dass bodennahe Inversionslagen zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentration in der Luft führen. Die Inversionslagen sind in Appenzell ausgeprägter als in Ebnat-Kappel.

2 Fragestellung

Im Rahmen der Immissionsmessungen in Appenzell und Ebnet-Kappel sollen folgende Fragen geklärt werden:

- Wie ist die lufthygienische Situation im Zentrum von Appenzell und Ebnet-Kappel? Sind die erhaltenen Werte standorttypisch oder weichen sie ab?
- Wie hoch ist der Einfluss von Holzfeuerungen auf die Gesamtbelastung in Appenzell und Ebnet-Kappel?
- Ist ein Zusammenhang zwischen Inversionswetterlagen und Luftschadstoffkonzentrationen erkennbar?
- Vergleich der Immissionswerte vor und nach der Inbetriebnahme einer 1.5 MW Holzfeuerungsanlage in Appenzell (Winter 2012/13).*

** Die Anlage befand sich während den Messungen noch im Bau. Die Fragestellung kann deshalb nicht beantwortet werden.*

- Was für Unterschiede sind zwischen den Standorten Appenzell und Ebnet-Kappel in Bezug auf Holzfeuerungen und Immissionswerte erkennbar?

3 Methodik

3.1 Standortwahl Appenzell

Bei der Standortwahl des Messcontainers in Appenzell mussten folgende zwei Kriterien erfüllt sein.

- Er muss in der Nähe des Dorfkentrums Appenzell liegen.
- Er darf keiner direkten Schadstoffbelastung durch den Verkehr ausgesetzt sein.

An der Blattenheimatstrasse, in der Nähe der Feuerschau 775 m.ü.M. wurde ein solcher Standort gefunden und eingerichtet. Zur Bestimmung von Inversionslagen wurden analog zu früheren Projekten Temperaturlogger verwendet. Die Temperaturlogger wurden auf unterschiedlichen Höhenstufen, in einem bewaldeten Nordhang, auf einer Höhe von 2 bis 2.5 m ab Boden angebracht. Es wurde darauf geachtet, dass die Temperaturlogger zu keiner Tageszeit einer direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren. Eine direkte Sonneneinstrahlung hätte die Messungen zu stark beeinflusst. Die Meteostation Sollegg liefert Wetterdaten, welche zur Auswertung der spezifischen Ausbreitungsbedingungen der Luftschadstoffe verwendet wird.

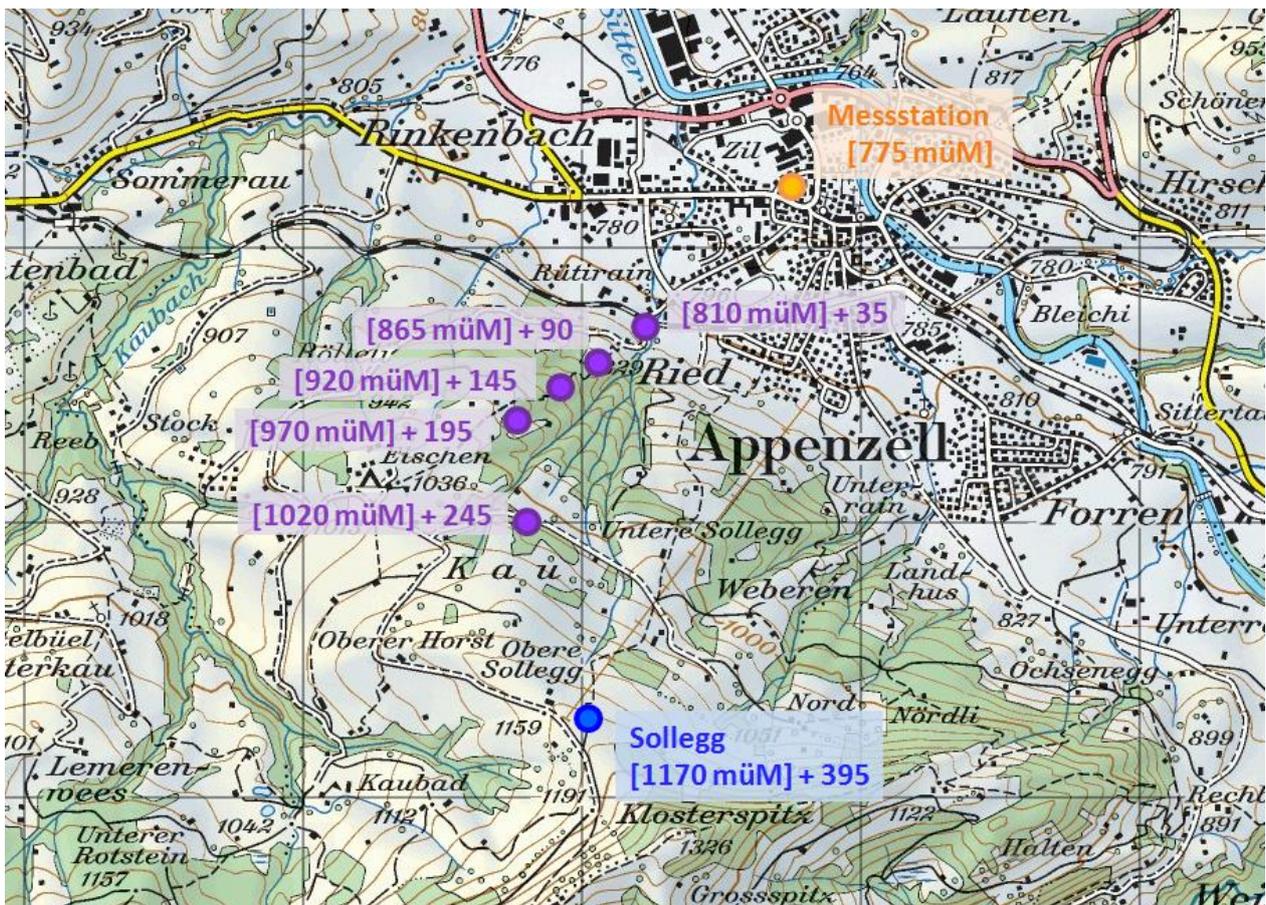


Abb. 1: Standort Appenzell, Übersichtskarte
Messcontainer (oranjer Punkt), Temperaturlogger (violette Punkte), Meteostation Sollegg (blauer Punkt)

3.2 Standortklassierung Appenzell

Gemäss Standortklassierung der Organisation OSTLUFT entspricht Appenzell folgenden Kategorien:



Appenzell repräsentiert einen Standort in einer ländlichen Gemeinde mit mässigem Verkehrsaufkommen und Tallage (vergl. Abb. 2). Mit 2'269 kleinen Holzheizungsanlagen ist der Anteil an Holzfeuerungen gegenüber vergleichbarer Regionen hoch.

Bei der Standortklassierung (nach OSTLUFT) entspricht Ebnat-Kappel den gleichen Kategorien wie Appenzell. In Ebnat-Kappel werden sechs grosse Holzsznitzelanlagen und 1300 kleine Holzheizungsanlagen betrieben.

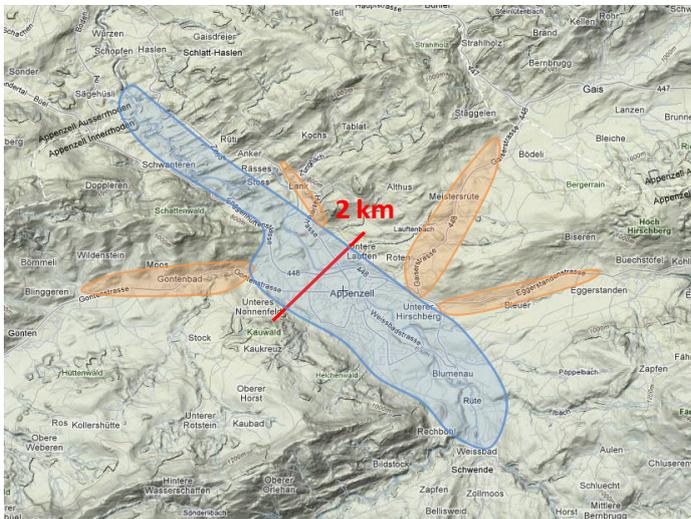


Abb. 2: Appenzell: Talsohle (blau), ansteigende Täler (orange)

3.3 Standortwahl Ebnat Kappel

Die allgemeine Messanordnung in Ebnat Kappel (Abb. 3) ist ähnlich wie im früheren Projekt Seeztal. Der Messcontainer befindet sich an der Gillstrasse direkt neben einem Sportplatz. Am Nordhang sind fünf Temperatursensoren und eine Meteostation auf dem Giren auf unterschiedlichen Höhen angebracht worden. Die Meteostation Giren war nur ein Jahr in Betrieb und lieferte weder in Bezug auf die Windsituation noch auf die Inversionenserkennung nützlichen Daten. Zum einen ist der Standort zu sehr vom Waldrand beeinflusst, um die grossräumigen Windverhältnisse angemessen zu erfassen, denn meistens sind lediglich Winde in Richtung der Waldschneisen gemessen worden. Zum anderen sind keine Inversionen zwischen dem «Messort 5» und dem «Meteomast Giren» gemessen worden. Auch herrschen beim «Messort 5» im Vergleich zu den darunterliegenden Messpunkten andere Verhältnisse, weil weniger Wald vorhanden ist.

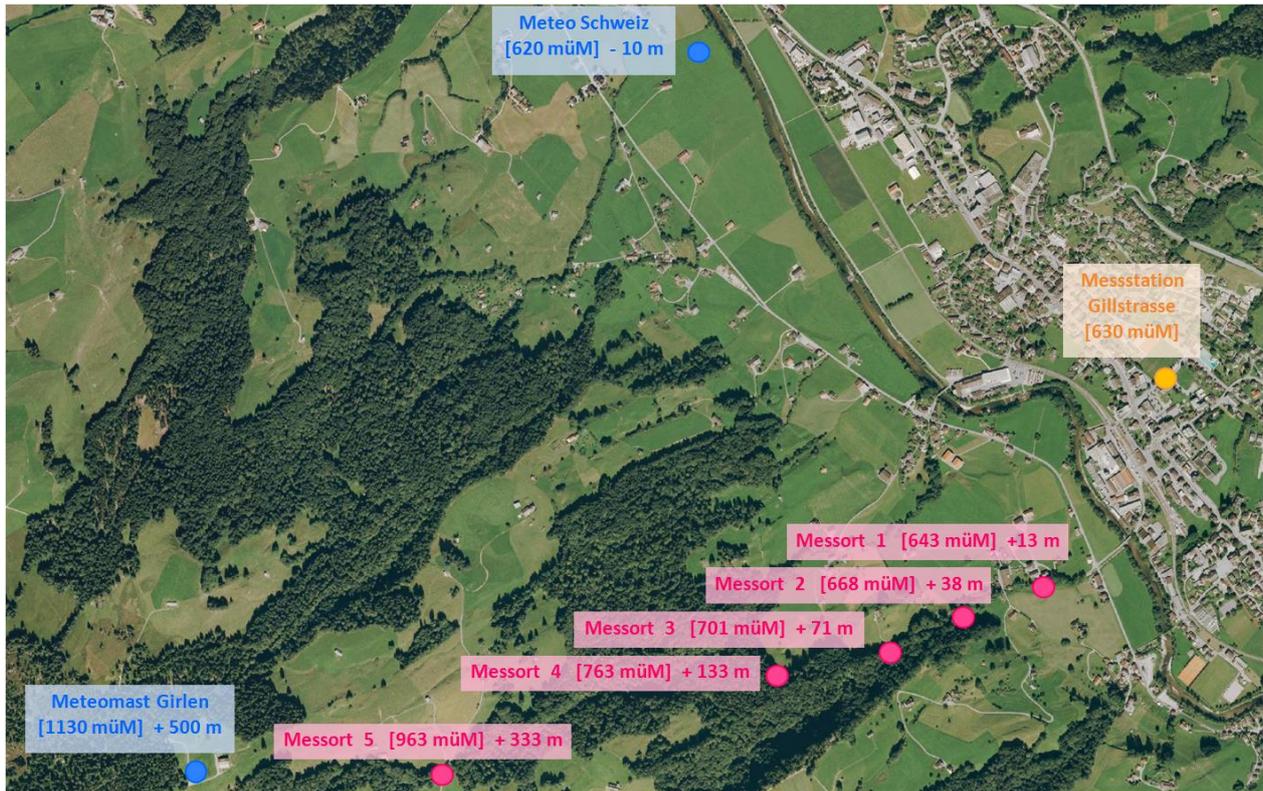


Abb. 3: Messstation in Ebnat Kappel (gelb), Temperatursensoren (rosa) und Meteostation Girlen (blau). Es befindet sich eine Station von Meteo Schweiz nordwestlich vom Dorfkern (blau), sie gehört nicht zum Projekt.

3.4 Standortklassierung Ebnat-Kappel

Die Piktogramme für den Standort Ebnat Kappel sind wie folgt festgelegt worden:



Die Messstation befindet sich im Dorfzentrum an einer Nebenstrasse in der Nähe einer Schulanlage und angrenzend zu einem Sportplatz. Die Hauptstrasse im Dorf ist etwa 70 m entfernt und die Umfahrungsstrasse, auf welcher sich der meiste Verkehr befindet, liegt 50 m erhöht am Südhang und ist 350 m entfernt. Dadurch ist ihr Einfluss auf die Messungen als gering einzuschätzen. Der Messort repräsentiert einen Standort in einer ländlichen Gemeinde mit mässigem Verkehrsaufkommen und hohem Holzfeuerungsanteil. Der Standort ist auch dadurch gekennzeichnet, dass Staulagen aufgrund der räumlichen Verhältnisse wahrscheinlich sind.

3.5 Messperiode der Messgeräte

In Appenzell wurde von Sept. 2011 bis Oktober 2013 gemessen. In Abbildung 4 sind die Messperioden der einzelnen Messgeräte aufgeführt.

		2011												2012												2013											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Feuerschau:	Gas:	[Measurement grid]																																			
	Aerosol:	[Measurement grid]																																			
	EC:	[Measurement grid]																																			
		[Measurement grid]																																			
	Anz. Partikel:	[Measurement grid]																																			
Meteo:	[Measurement grid]																																				
Höhenprofil:	Meteo:	[Measurement grid]																																			
Sollegg:	Meteo:	[Measurement grid]																																			

Abb. 4: Messzeitraum der Messgeräte in Appenzell

Bei den Temperaturmessungen des Höhenprofils wurden zwei Messperioden durchgeführt. Messperiode 1 dauerte vom 22.09.2011 bis 03.04.2012 (Abb. 4, hellblau) und Messperiode 2 vom 18.04.2012 bis 12.09.2013 (Abb. 4, dunkelblau). Der Unterbruch bei der Pratikelmessung (ELPI) erfolgte auf Grund eines Gerätewechsels.

Am Standort Sollegg war die Windmessung vom Dezember 2011 bis Mitte Februar 2012 unterbrochen. Starke Windböen warfen im Dezember 2011 den Meteomast um. Nach der Reparatur des Meteomastes blockierten Schnee und Eis das Windmessgerät. Erst Ende Februar 2012 konnte der Messbetrieb wieder störungsfrei betrieben werden.

			2010												2011												2012											
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ebnat Kappel	Gas:	NOx, O3, CO	[Measurement grid]																																			
	Aerosol:	PM10, PM10 Hivol ELPI EC: Aethalometer	[Measurement grid]																																			
	Meteo:	T, Hr, p, StrGlo, Rain Dur, WVv, WD	[Measurement grid]																																			
Höhenprofil:	Meteo:	T	[Measurement grid]																																			

Abb. 5: Messzeitraum der Messgeräte in Ebnat-Kappel

In Ebnat-Kappel wurde von Sept. 2011 bis Sept. 2012 gemessen. In Abbildung 5 sind die Messperioden der einzelnen Messgeräte aufgeführt.

3.6 Inversionserfassung

Die Inversionserfassung erfolgte mittels Höhenprofil 1-5. Sie umfasst 4 Schichten. Die Höhendifferenz zwischen den einzelnen Messpunkten beträgt 50 - 55 m. Die Stärke einer Inversion wird über die Temperaturdifferenz zwischen zwei Messpunkten pro 100 Meter ($\Delta T/100 \text{ m} = X$) definiert:

- keine Inversion: $X < -0.5 \text{ °C}/100 \text{ m}$
- schwache Inversion: $-0.5 \text{ °C}/100 \text{ m} < X < 1.5 \text{ °C}/100 \text{ m}$
- mittlere Inversion: $1.5 \text{ °C}/100 \text{ m} < X < 4.0 \text{ °C}/100 \text{ m}$
- starke Inversion: $4.0 \text{ °C}/100 \text{ m} < X$

Messort	Koordinaten		Höhe [müM]	Höhendifferenz zu Appenzell [m]					Höhendifferenz je Schicht [m]
Appenzell Sollegg	747'980	242'560	1170						
Höhenprofil 5	747'845	242'980	1020	395					150
Höhenprofil 4	747'760	243'365	970	245					50
Höhenprofil 3	747'915	243'495	920	195					50
Höhenprofil 2	748'070	243'570	865	145					55
Höhenprofil 1	748'230	243'720	810	90					55
Appenzell Feuerschau	748'735	244'230	775	35					35

Abb. 6: Schematische Darstellung der Höhenprofile am Beispiel Appenzell.

Die Charakterisierung der Schichtungsstabilität im steilen, bewaldeten Nordhang in Appenzell (siehe Abb. 6) hat gut funktioniert. Die erhobenen Temperaturdaten sind plausibel und aussagekräftig. Parallelmessungen haben ergeben, dass mit einer Messunsicherheit von maximal $\pm 0.15 \text{ }^\circ\text{C}$ gerechnet werden muss.

4 Resultate

4.1 Luftschadstoffe

4.1.1 Appenzell: Schadstoff-Tagesgang nach Jahreszeiten

In den folgenden Grafiken 7 und 8 werden die gemittelten Tagesgänge von Ozon, Stickstoffdioxid, Feinstaub, Kohlenmonoxid und Elementarer Kohlenstoff nach Jahreszeiten dargestellt.

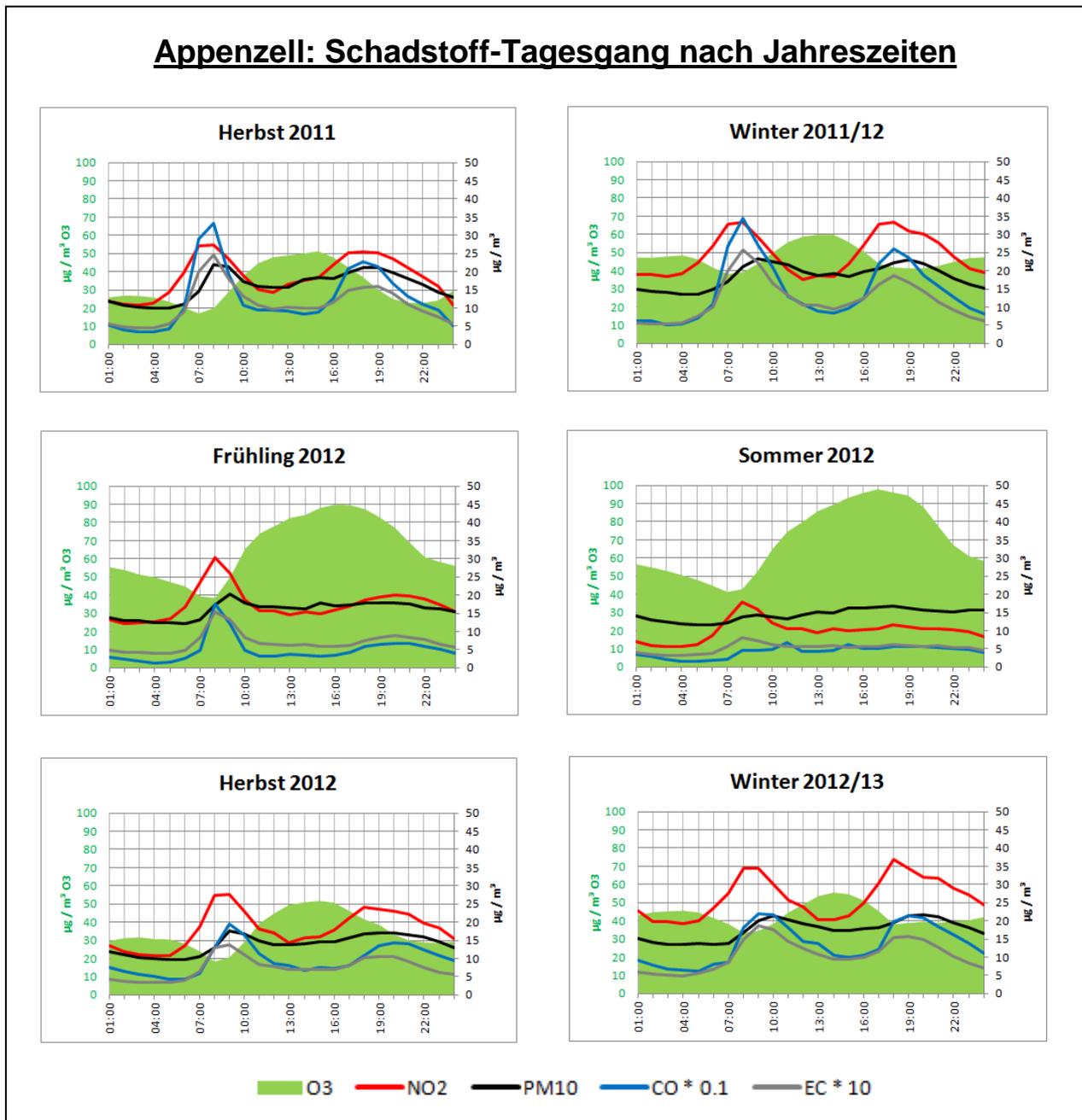


Abb. 7: Appenzell, mittlerer Tagesgang nach Jahreszeiten
 Frühling: März - Mai; Sommer: Jun. - Aug.; Herbst: Sep. - Nov.; Winter: Dez. - Feb.

4.1.2 Tagesgang im Vergleich von Appenzell und Ebnat-Kappel

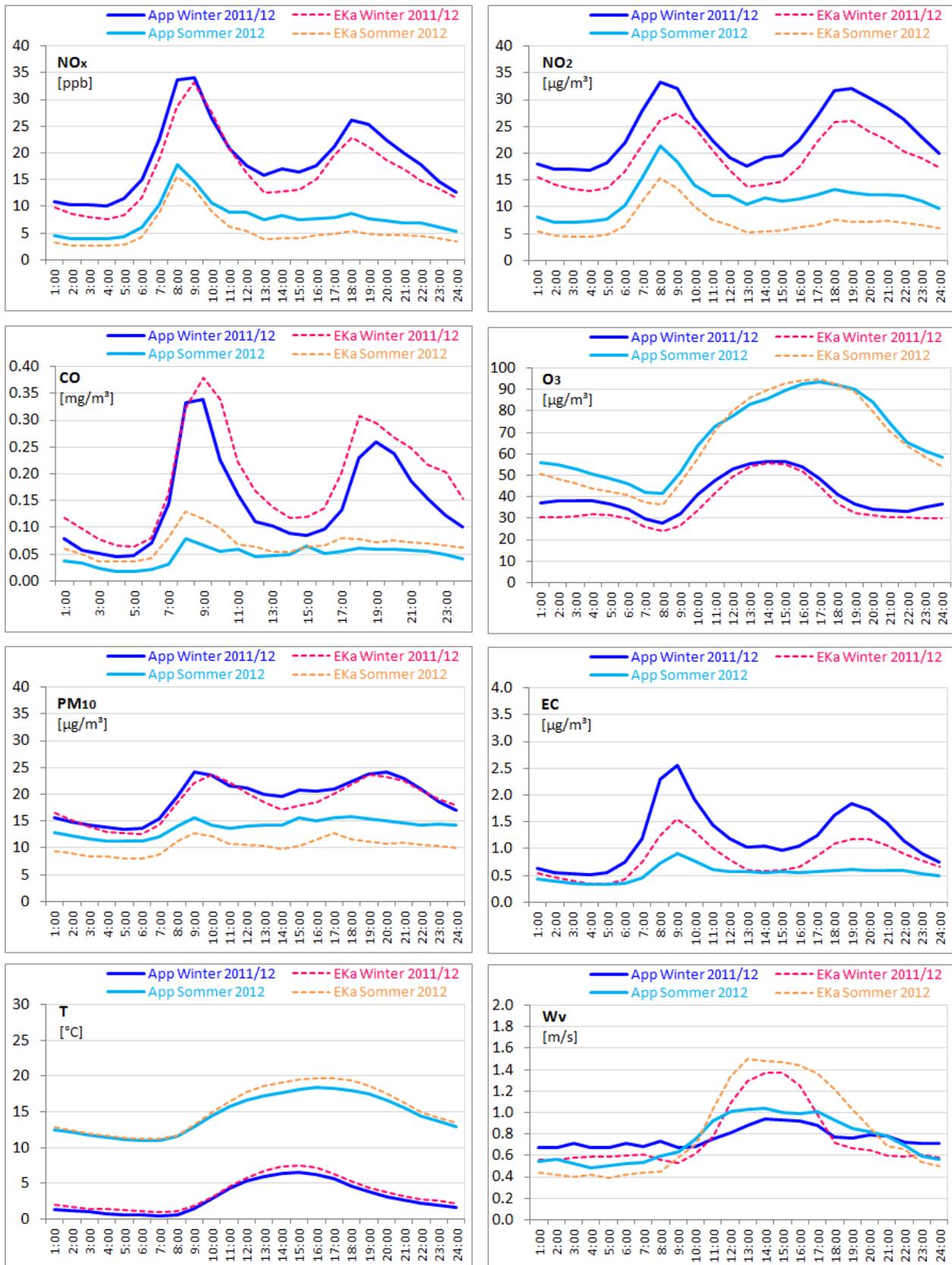


Abb. 8: Appenzell (App) und Ebnat-Kappel (Eka), mittlerer Tagesgang Winter 2011/12 und Sommer 2012

Im Wesentlichen können folgende Aussagen gemacht werden:

Bei den Stickoxiden und vor allem beim NO₂ sind die Messwerte in Appenzell deutlich höher als in Ebnat-Kappel. Als Ursache wird der stärkere Einfluss des Verkehrs sowie die Lage des Standortes (Appenzell ist gefangener) angenommen. Der Verlauf ist jeweils sehr vergleichbar. Auffallend sind die ausbleibenden Abend-Spitzen im Sommer.

Beim Kohlenmonoxid sind die Messwerte in Ebnat-Kappel etwas höher. Als wesentliche Quelle werden nicht der Verkehr, sondern die Heizungen vermutet. So sind auch die Unterschiede zwischen Sommer und Winter deutlich ausgeprägter als beim NO₂. Öl- und Gasfeuerungen haben geringere CO-Emissionen als vergleichbare Holzfeuerungen; dies deutet auf einen höheren Anteil an Holzfeuerungen in Ebnat-Kappel hin.

Die Ozonkonzentration ist, bedingt durch den ländlichen Charakter in der Umgebung beider Messstandorte, sehr ähnlich.

Der stark durch den Hintergrund beeinflusste Feinstaub zeigt nur einen schwachen Tagesgang. Die Belastung im Winter und Sommer ist jedoch, wie erwartet, unterschiedlich gross.

Für EC ist der lokale Beitrag höher und der Winter- zu Sommerunterschied ausgeprägter als für PM10. Die deutlich höheren Werte in Appenzell sind doch eher überraschend und werden vorwiegend mit der Lage des Standortes erklärt.

Meteodaten: Die Temperatur liegt in Appenzell etwas tiefer als in Ebnat-Kappel. Bezüglich Wind gibt es klare Unterschiede: In Appenzell ist der Tagesgang der Windgeschwindigkeit nur schwach ausgeprägt. Im Gegensatz dazu kommt es im schmalen Tal von Ebnat-Kappel zu einem regelmässigen Tal auf und ab Windsystem.

4.1.3 NO₂, PM10 und CO im Winterhalbjahr

Abb. 9 zeigt Konzentrationsmittelwerte der Jahre 2011/12 und 2012/13 von den Messstationen Appenzell, Ebnat-Kappel (ohne Winter 2012/13) und SG Rorschacher Strasse.

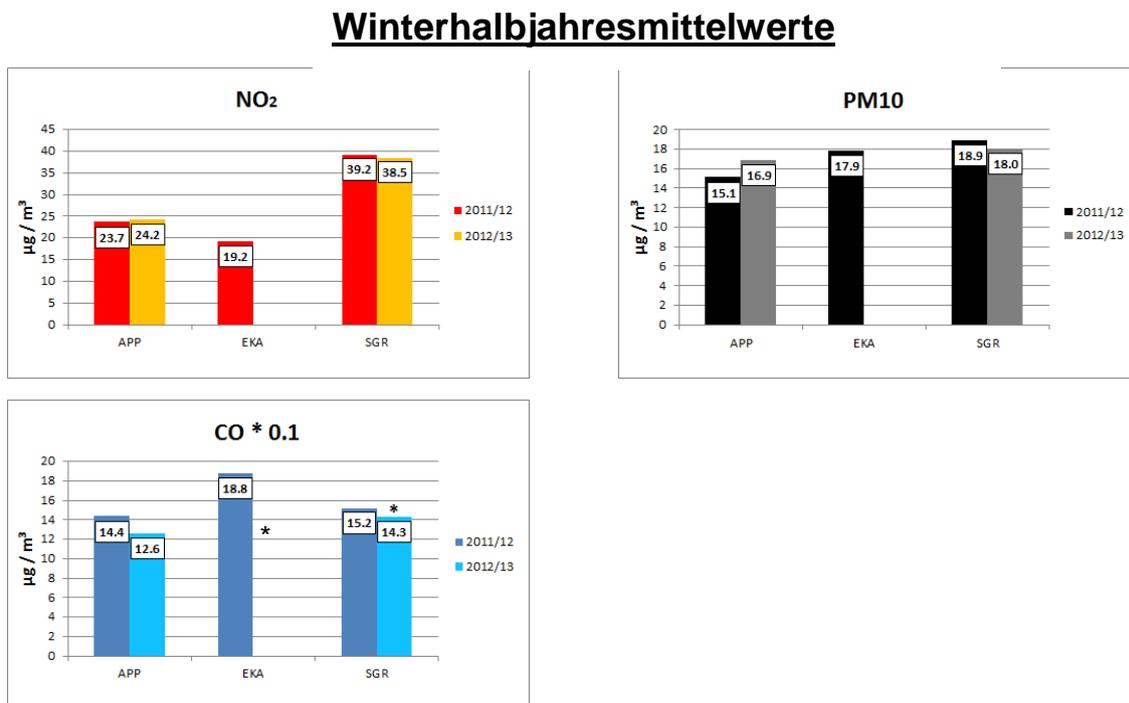


Abb. 9: Winterhalbjahresmittelwerte 2011/12 und 2012/13, (jeweils 01.10. bis 31.03.; * = Messreihe unvollständig)
 APP: Appenzell, SGR: SG Rorschacher Strasse., EKA: Ebnat-Kappel

Beim Vergleich der Messperioden 2011/12 und 2012/13 gibt es bei den einzelnen Messstandorten nur geringfügige Konzentrationsunterschiede. Die CO-Konzentration nimmt in der Messperiode 2012/13 bei den Standorten Appenzell und SG Rorschacher Strasse gegenüber dem Vorjahr leicht ab. Bei der Messstation SG Rorschacher Strasse ist die Messreihe 2012/13 unvollständig.

Die Stickstoffdioxidkonzentration ist an der SG Rorschacher Strasse am höchsten. Dieser Standort weist die höchste Verkehrsbelastung auf und den Stadthintergrund der Stadt St.Gallen. Der Standort Appenzell hat eine leicht höhere Belastung als der Standort Ebnat-Kappel.

Die Feinstaub- und Kohlenmonoxidkonzentrationen bewegen sich zwischen den einzelnen Messstationen auf einem ähnlichen Niveau. Ebnat-Kappel hat gegenüber Appenzell leicht höhere Konzentrationen.

4.1.4 Ozon im Sommerhalbjahr

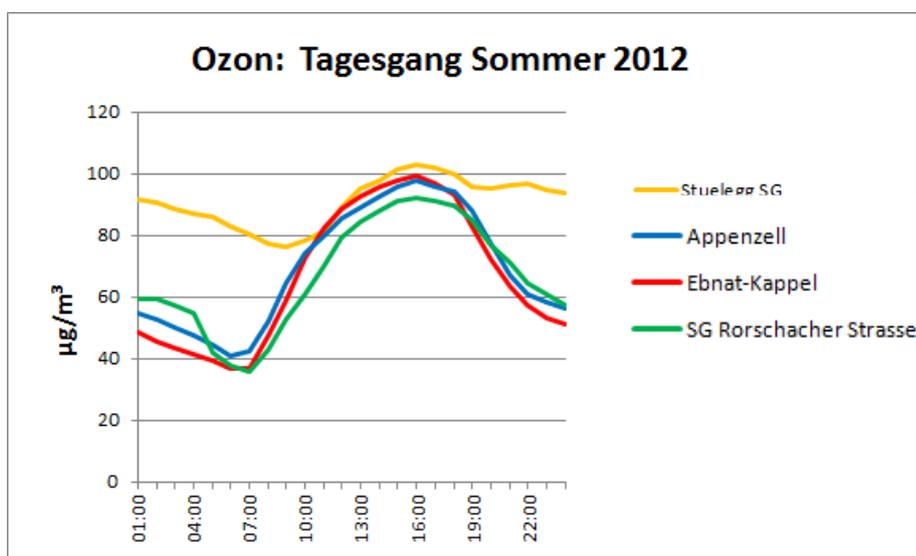


Abb. 10: gemittelter Tagesgang der Ozonkonzentration im Sommer 2012 (Juni bis Aug.)

Der Ozontagesgang in der Stuelegg, siehe Abb. 10, entspricht einem typischen Verlauf einer ländlichen Region. Die NO Konzentration ist geringer als in städtischen Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen. Das Ozon hat dadurch in bodennahen Schichten einen Reaktionspartner weniger als an einer Strasse und die Konzentration ist dadurch deutlich höher. Die SG Rorschacher Strasse hat die höchsten Verkehrszahlen danach folgen, in absteigender Reihenfolge, Appenzell, Ebnat-Kappel und SG Stuelegg.

4.1.5 Grenzwertüberschreitungen

Das Bundesamt für Umwelt hat folgende Grenzwerte festgelegt.

O ₃ :	120	µg / m ³	1 h Mittelwert (h1)
NO ₂ :	80	µg / m ³	24 h Mittelwert (d1)
PM ₁₀ :	50	µg / m ³	24 h Mittelwert (d1)
CO:	8	mg / m ³	24 h Mittelwert (d1)

In den nachfolgenden Tabellen 1-3 sind die Überschreitungen der Grenzwerte an den Standorten Appenzell, Ebnat-Kappel, SG Stuelegg, SG Rorschacher Strasse und SG Blumenbergplatz aufgeführt.

NO ₂	EKA	APP	SGS	SGR	SGB
Jan 12	0	0	0	0	-
Feb 12	0	0	0	1	-
März 12	0	0	0	0	-
Apr 12	0	0	0	0	-
Mai 12	0	0	0	0	-
Jun 12	0	0	0	0	-
Jul 12	0	0	0	0	-
Aug 12	0	0	0	0	-
Sep 12	0	0	0	0	-
Okt 12	-	0	0	0	0
Nov 12	-	0	0	0	0
Dez 12	-	0	0	1	2
Jan 13	-	0	0	0	1
Feb 13	-	0	0	0	1
März 13	-	0	0	1	2
Apr 13	-	0	0	0	0
Mai 13	-	0	0	0	0
Jun 13	-	0	0	0	0
Jul 13	-	0	0	0	0
Aug 13	-	0	0	0	0
Sep 13	-	0	0	0	0

Tab. 1: Grenzwertüberschreitungen NO₂ >80 µg/m³ (d1)

PM ₁₀	EKA	APP	SGS	SGR	SGB
Jan 12	0	0	-	0	-
Feb 12	4	5	-	6	-
März 12	0	0	-	0	-
Apr 12	0	0	-	0	-
Mai 12	0	0	-	0	-
Jun 12	0	0	-	0	-
Jul 12	0	0	-	0	-
Aug 12	0	0	-	0	-
Sep 12	0	0	-	0	-
Okt 12	-	0	-	0	0
Nov 12	-	0	-	0	0
Dez 12	-	0	-	0	0
Jan 13	-	0	-	0	0
Feb 13	-	1	-	1	1
März 13	-	1	-	2	0
Apr 13	-	2	-	2	2
Mai 13	-	0	-	0	0
Jun 13	-	0	-	0	0
Jul 13	-	0	-	0	0
Aug 13	-	0	-	0	0
Sep 13	-	0	-	0	0

Tab. 2: Grenzwertüberschreitungen PM₁₀ >50 µg/m³ (d1)

Ozon	EKA	APP	SGS	SGR	SGB
Jan 12	0	0	0	0	-
Feb 12	0	0	0	0	-
März 12	2	0	5	0	-
Apr 12	9	22	28	8	-
Mai 12	56	50	100	28	-
Jun 12	38	37	70	37	-
Jul 12	29	27	73	18	-
Aug 12	51	34	91	17	-
Sep 12	6	4	12	0	-
Okt 12	-	0	0	0	0
Nov 12	-	0	0	0	0
Dez 12	-	0	0	0	0
Jan 13	-	0	0	0	0
Feb 13	-	0	0	0	0
März 13	-	0	0	0	0
Apr 13	-	5	39	16	2
Mai 13	-	0	0	3	0
Jun 13	-	21	75	43	14
Jul 13	-	130	259	108	81
Aug 13	-	36	83	16	9
Sep 13	-	16	41	13	4

Tab. 3: Grenzwertüberschreitung O₃ >120 µg/m³ (h1)

Die Kohlenstoffmonoxid (CO) Grenzwerte wurden an keiner Messstation überschritten.

Am Messstandort SG Rorschacher Strasse kam es zu drei, beim SG Blumenbergplatz zu sechs Grenzüberschreitungen bei der Stickstoffdioxidkonzentration. Die Überschreitungen fanden ausschliesslich im Winterhalbjahr statt. Bei den anderen Messorten gab es keine Überschreitung.

Die Feinstaubkonzentration wird bei allen vier Messorten überschritten. Die meisten Überschreitungen fanden im Februar 2012 statt. Im Februar 2012 bildete sich eine stabile Inversionslage. Wie beim Stickstoffdioxid werden die Grenzwerte ausschliesslich in den Wintermonaten überschritten. Bei der Messstation SG Stuelegg wird kein Feinstaub gemessen.

Die Ozonwerte werden vor allem in den Sommermonaten regelmässig überschritten. Am meisten Überschreitungen fanden am Messort SG Stuelegg statt. Für den Abbau von Ozon wird NO benötigt. Am Standort Stuelegg ist die NO Belastung gering, dementsprechend hoch ist die Ozonkonzentration.

4.1.6 Elementarer Kohlenstoff (EC)

Der Elementare Kohlenstoff ist im Sommer 2012 von der IARC als kanzerogen klassifiziert worden. Darum ist EC ein wichtiger Parameter für gesundheitliche Auswirkungen. Die EC Konzentration ist in Ebnat-Kappel mit einem Aethalometer und Appenzell mit einem Maap online gemessen worden. Die EC Konzentration der Messgeräte ist bezogen auf EC TOT, Eusaar2 und deshalb vergleichbar. Anhand der zeitlichen Auflösung von 30 Minuten ist ein Tages- / Wochengang darstellbar, siehe Abb. 11. Die Daten umfassen den gemeinsam gemessenen Winter Oktober 2011 bis März 2012. Die EC-Messwerte Appenzell sind deutlich höher als in Ebnat-Kappel. Am Wochenende ist die Gesamtkonzentration tiefer und der Peak am Morgen deutlich später was als Quelle auf den Verkehr schliessen lässt.

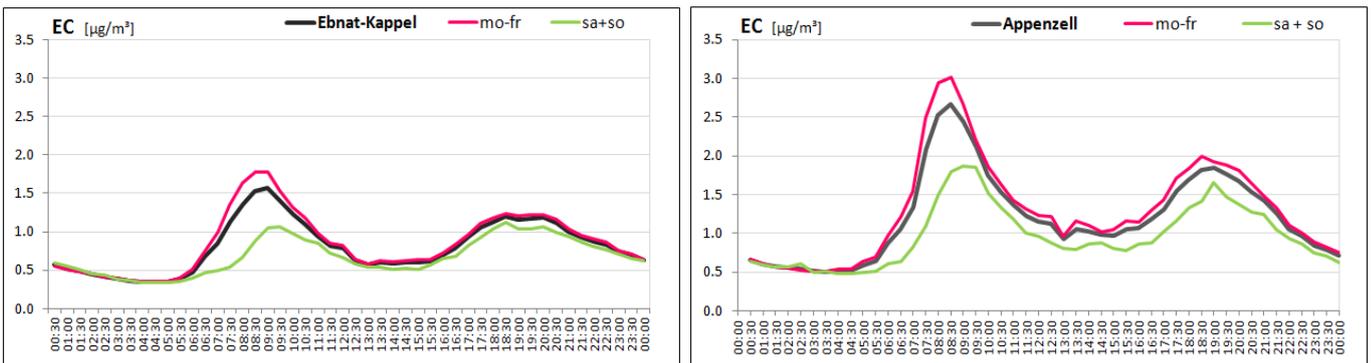
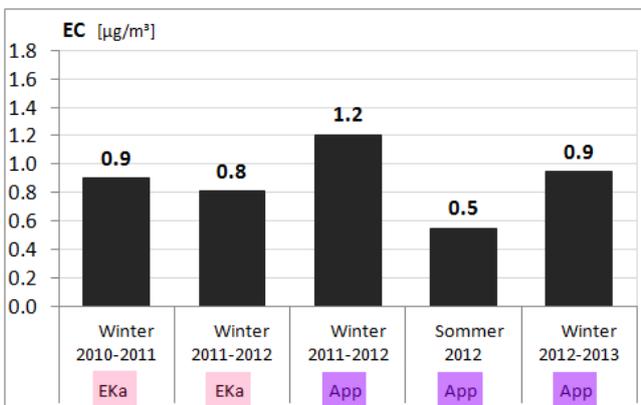


Abb. 11: EC Tagesgang Winter 2011/12 schwarz: Mittelwert aller Tage, rot: Wochentage, grün Samstag und Sonntag



Die EC Konzentration in Appenzell, siehe Abb. 12, sind im gemeinsam gemessenen Winter 2011/12 deutlich höher als in Ebnat-Kappel. Die beiden beiden Winterhalbjahre unterscheiden sich nur wenig. In Appenzell unterscheiden sich die Winter deutlicher voneinander. Der Grund dafür ist wahrscheinlich die Witterung. Dies wird auch bestätigt durch fünf PM10 Grenzwertüberschreitungen im Winter 2011/12 und nur zwei im Folgewinter 2012/13.

Abb. 12: EC Mittelwerte als Winter- und Sommerhalbjahre 2010/11/12/13

In Appenzell wurde auch im Sommerhalbjahr gemessen, siehe Abb. 13. Ohne Heizungseinfluss ist die EC Konzentration deutlich geringer. Auch der Morgenpeak ist kleiner wahrscheinlich durch bessere Durchlüftung und Zirkulation in der Atmosphäre. Ein Abendpeak ist kaum ersichtlich.

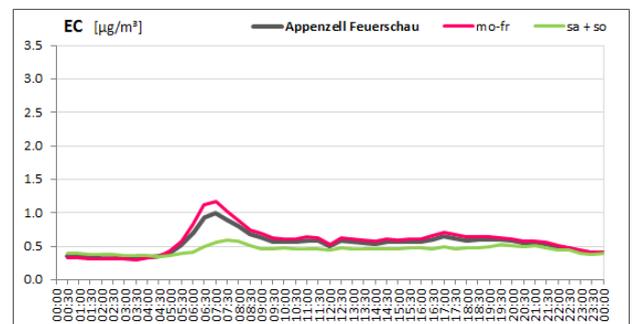


Abb. 13: EC Tagesgang Sommer 2012 schwarz: Mittelwert aller Tage, rot: Wochentage, grün Samstag und Sonntag

4.1.7 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

Die dargestellten PAH sind in der Aussenluft an Feinstaubpartikel angelagert. Der Feinstaub wird auf Quarzfaserfiltern abgeschieden und die schwerflüchtigen PAH verflüchtigen sich dabei nicht. Die PAH Konzentration wird als Quartalsmittelwert bestimmt. Dazu werden aus den Hivol Tagesfiltern Rondellen ausgestanzt und zu einer Sammelprobe vereinigt. Der gemessenen Zeitraum umfasst in Ebnat-Kappel die Winter 2010/11 und 2011/12 und in Appenzell 2011/12 und 2012/13. Der gemeinsame und die beiden jeweils gemessenen Winterhalbjahre sind in Abb. 14 dargestellt. Die höheren PAH Messwerte in Appenzell im Winter 2011/12 sind wahrscheinlich wetterbedingt. Im Mittel von jeweils zwei Wintern sind die Messwerte von Ebnat-Kappel und Appenzell beinahe identisch.

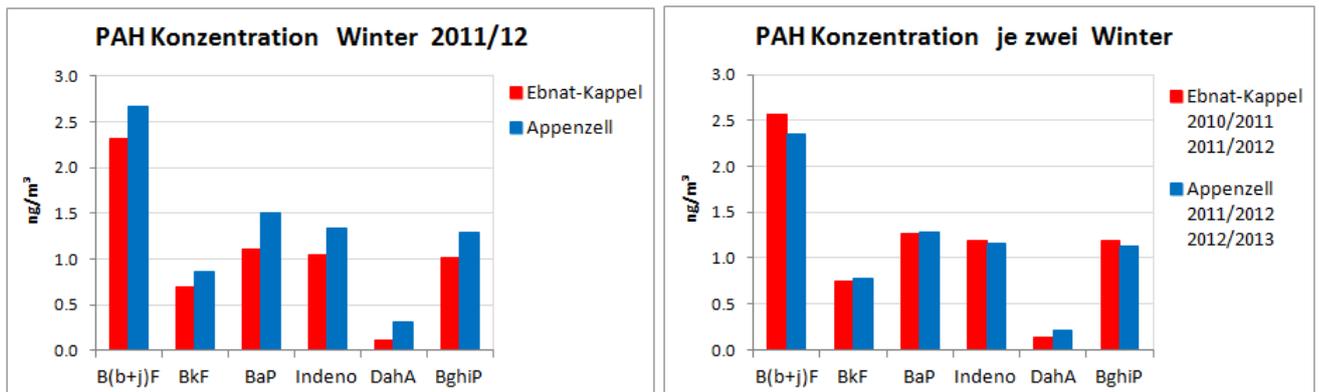


Abb. 14: PAH Messwerte als Sammelproben der Winterhalbjahre 2010/11/12/13 unterteilt nach verschiedenen PAH

Die PAH sind kanzerogen und aus diesem Grund gilt das Minimierungsgebot. Der Toxizitäts-Äquivalentfaktor (TEF) ist unterschiedlich: am höchsten mit 1 für BaP und DahA, 0.1 für B(b+j)F, BkF, Indeno. Wird die gefundene Konzentration mit dem TEF multipliziert zeigt sich dass die Toxizität zu zweidrittel auf der BaP Konzentration beruht. Abb. 15 zeigt die PAH Konzentrationen in Appenzell.

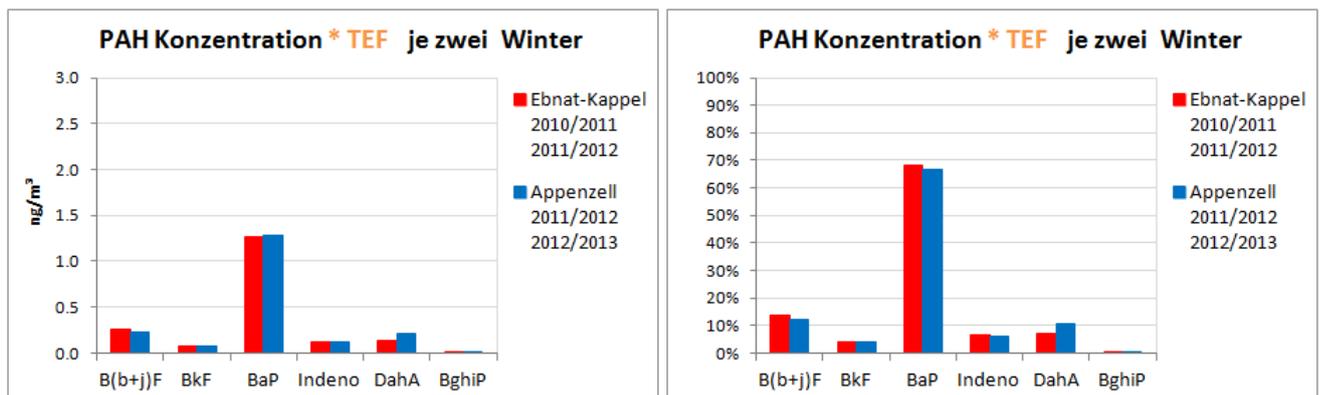


Abb. 15: PAH Messwerte * Toxizitäts-Äquivalentfaktor als Konzentration und prozentualer Anteil je PAH

4.1.8 Levoglucosan

Levoglucosan wird bei der Verbrennung von Zellulose freigesetzt. Bei der Quellenzuordnung von Feinstaub dient es als Indikator für Holzfeuerungen. Die Levoglucosanmessungen in Ebnat-Kappel und Appenzell fanden zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt. Bei beiden Messungen liefen parallel Messungen an der SG Rorschacher Strasse. In den nachfolgenden Abbildungen 17 und 18 werden die erhaltenen Werte von Ebnat-Kappel und Appenzell mit den Werten der SG Rorschacher Strasse verglichen.

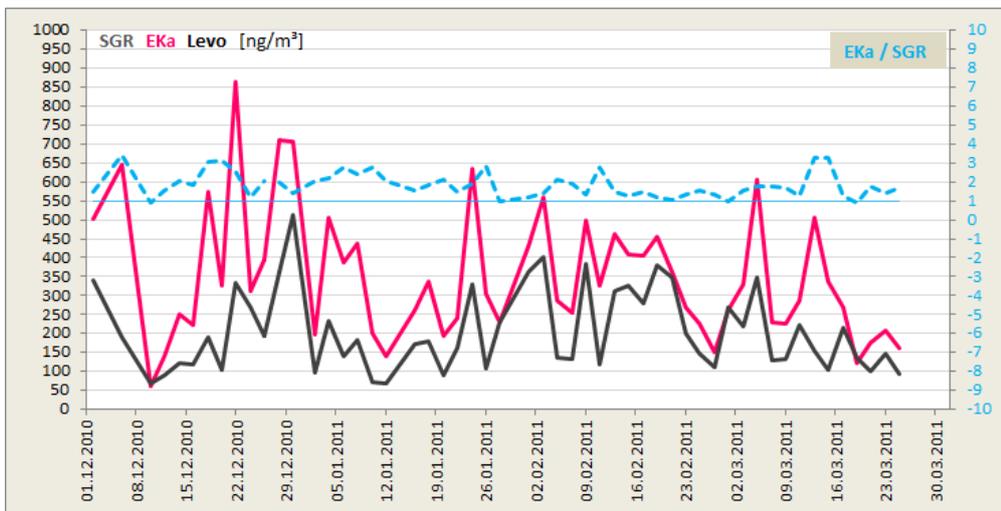


Abb. 16: Levoglucosankonzentration Winter 2010/11
schwarz: SG Rorschacher Strasse (SGR); rot: Ebnat-Kappel (EKa); blau: EKa/SGR

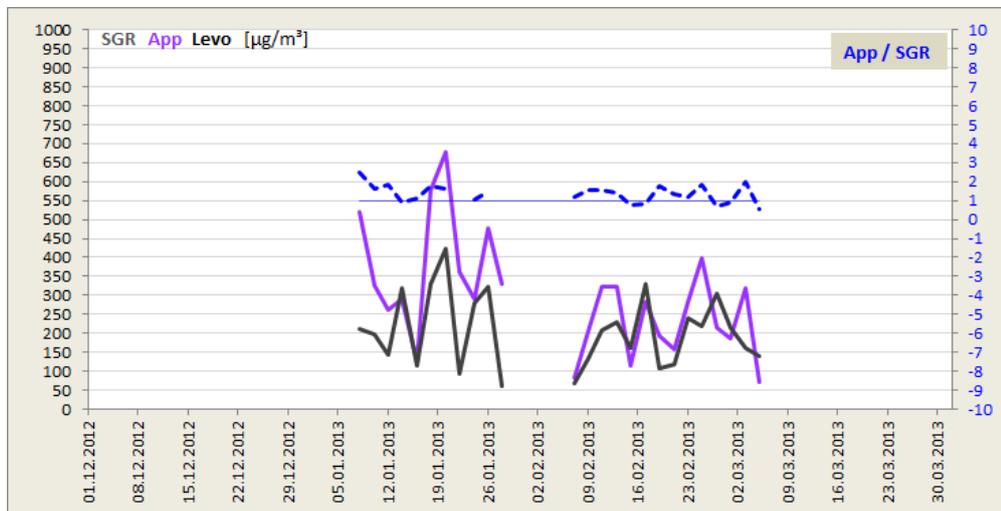


Abb. 17: Levoglucosankonzentration Winter 2012/13
schwarz: SG Rorschacher Strasse (SGR); violette: Appenzell (APP); blau: APP/SGR

Sowohl Appenzell als auch Ebnat-Kappel haben meist deutlich höhere Levoglucosankonzentrationen als die Messstation an der SG Rorschacher Strasse. Während Ebnat-Kappel und Appenzell einen ländlichen Charakter haben befindet sich die Messstation SG Rorschacher Strasse mitten im urbanen Raum. Levoglucosan ist ein Inhaltsstoff vom Feinstaub und wird wie dieser durch die Hintergrundbelastung und Wetterlage beeinflusst.

Um die Werte von Ebnat-Kappel mit den Werten von Appenzell vergleichen zu können, müssen die äusseren Einflüsse während der Messperiode ausgeblendet werden. Dies erreicht man über die Division mit den Werten der SG Rorschacher Strasse.

Berechnung (Mittelwerte):

x = Werte Appenzell / Werte SG Rorschacher Strasse
 y = Werte Ebnat-Kappel / Werte SG Rorschacher Strasse
 z = y / x

Abb. 18: Berechnung Appenzell vs. Ebnat-Kappel

Die Berechnung (siehe Abb. 18) ergibt z = 135 %. In Ebnat-Kappel ist die Levoglucosan-Konzentration um ein Drittel höher als in Appenzell. Mögliche Begründung:

- Ebnat-Kappel hat zwar weniger kleine Holzfeuerungen als Appenzell, diese werden jedoch intensiver betrieben. Bemerkung: Der Kaminfeger bestätigt - Ebnat Kappel hat einen ausserordentlich hohen Anteil an Häusern, die ausschliesslich mit Holz beheizt werden.
- In Ebnat-Kappel sind sechs grosse, noch nicht sanierte Holzfeuerungsanlagen in Betrieb.

Die Levoglucosan-Messwerte haben zudem einen guten Zusammenhang mit den EC-Messwerten, siehe Abb. 19, was gleichzeitig im Winter auf Holzverbrennung als Quelle schliessen lässt.

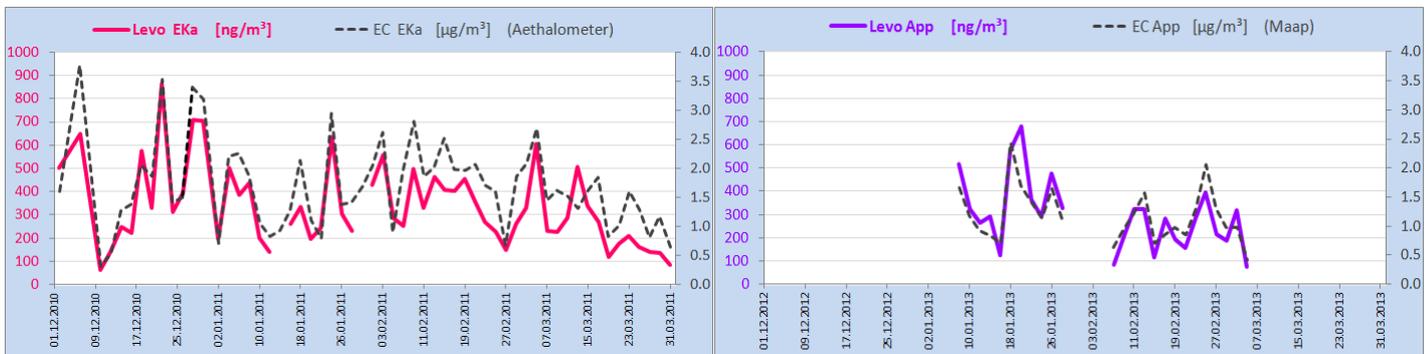


Abb. 19: Levoglucosan- und EC-Messwerte in Ebnat-Kappel (Eka) und Appenzell (App) Winter 2010/11/12/13

In Ebnat-Kappel lief ein Mehrwellenlängen Aethalometer. Die EC-Messdaten können in einen Anteil aus Holzverbrennung und einen Anteil Strassenverkehr aufgeteilt werden. Dabei zeigt EC-Holz einen deutlich besseren Zusammenhang zum Levoglucosan als EC-Strasse (siehe Abb. 20). Bei den Maap Messdaten in Appenzell ist diese Unterscheidung nicht möglich.

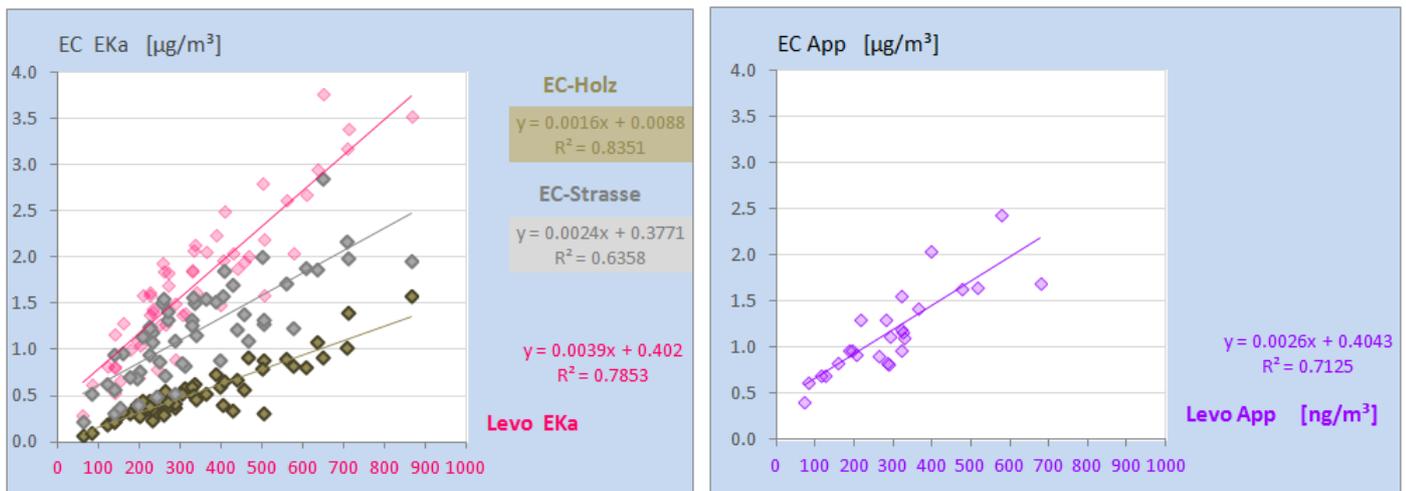


Abb. 20: Korrelation Levoglucosan- und EC-Messwerte in Eka und App Winter 2010/11/12/13

4.2 Inversionen

4.2.1 Inversionshäufigkeit und -stärke

In Abb. 21 sind die verschiedenen Inversionsstärken nach ihrer Häufigkeit pro Schicht dargestellt. Es werden nur die Wintermonate (1.10. bis 31.3.) dargestellt.

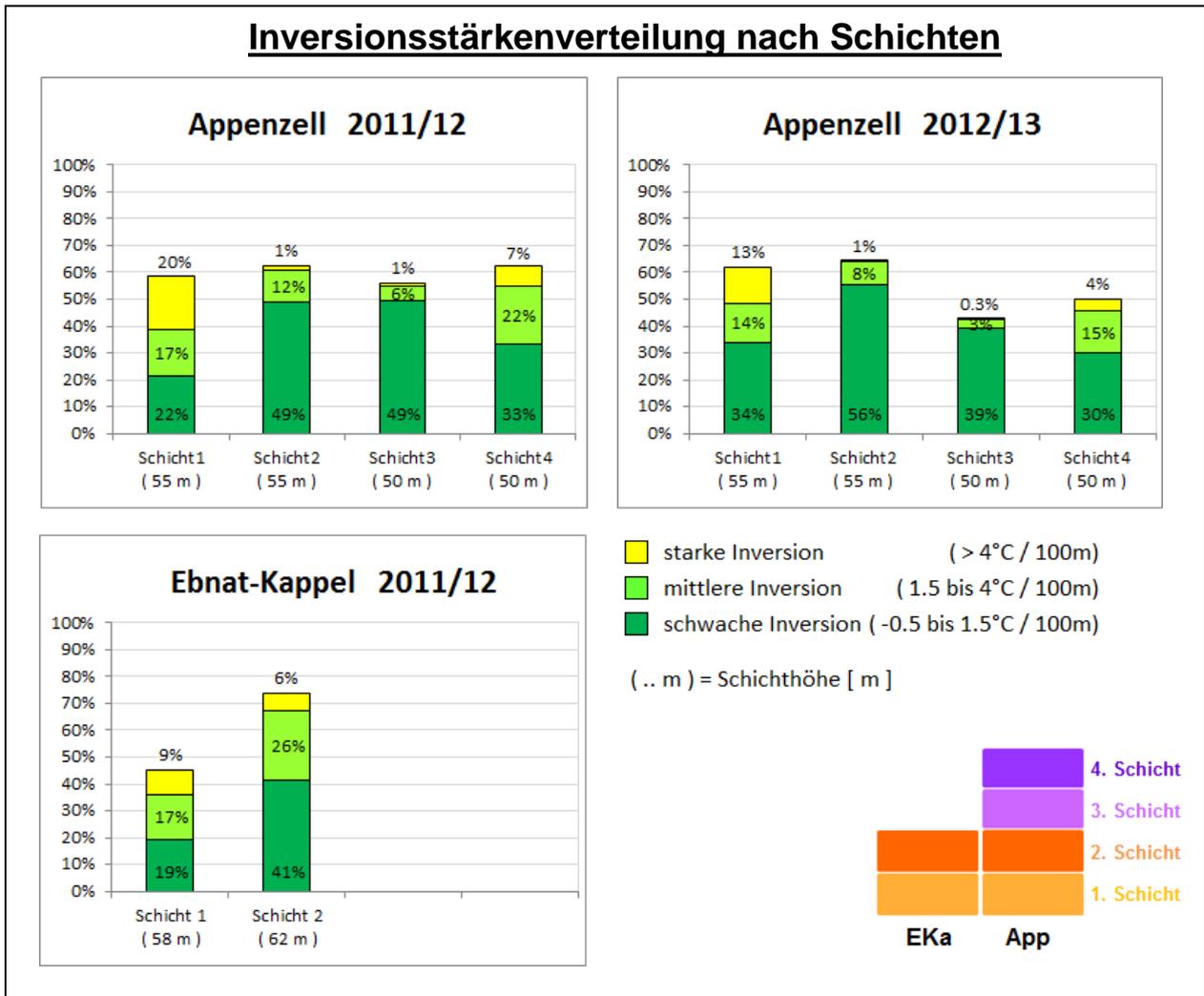


Abb. 21: Inversionshäufigkeit nach Schicht und Inversionsstärke
 Verwendete Daten: 01.10.2011 bis 31.03.2012 und 01.10.2012 bis 31.03.2013

Die meisten Inversionen ereignen sich in der 2. Schicht (Appenzell: 810 bis 865 m.ü.M. und Ebnat-Kappel: 701 bis 763 m.ü.M.). Das Verhältnis zwischen schwacher, mittlerer und starker Inversion ist in der ersten Schicht ausgeglichener als in den anderen Schichten. Starke Inversionslagen finden vorwiegend in der 1. Schicht statt und nehmen mit zunehmender Höhe ab. In den höheren Schichten sind überwiegend schwache Inversionslagen vorhanden. In Ebnat-Kappel sind in der 2. Schicht mehr Inversionslagen zu beobachten als in Appenzell.

Inversionen: gemittelter Tagesgang

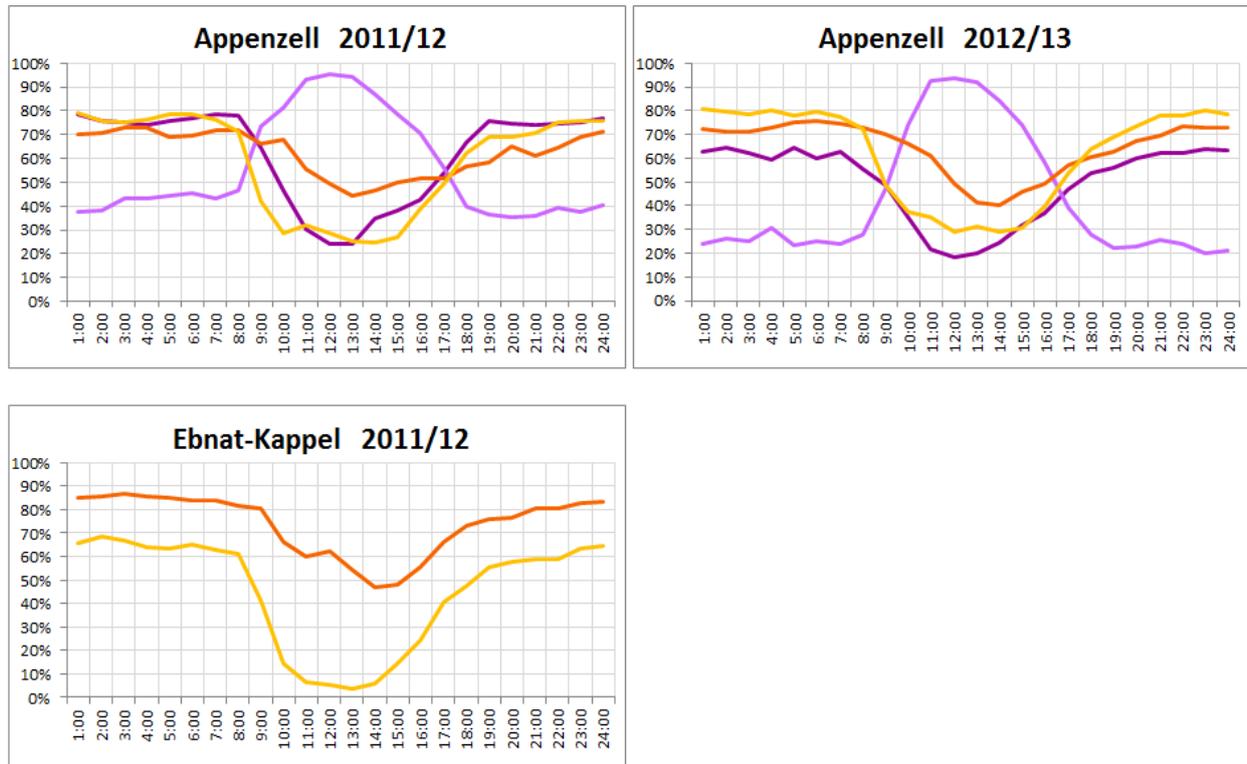


Abb. 22: Gemittelter Tagesgang der Inversionen ($-0,5 \text{ }^\circ\text{C} / 100 \text{ m} < X < 4 \text{ }^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$) pro Schicht
Verwendete Daten: 01.10.2011 bis 31.03.2012 und 01.10.2012 bis 31.03.2013

Bei der Bildung von Inversionen sind die Temperatur und die Wetterlage wichtige Faktoren. Topografischen Gegebenheiten und weitere meteorologische Einflüsse bestimmen diese massgeblich.

Die Inversionen sind je nach Tageszeit in unterschiedlichen Höhenlagen vorhanden, siehe Abb. 22. In den kühleren Tageszeiten befinden sich die Inversionen in den Schichten 1 und 2 und gegen Mittag in den Schichten 3 und 4. In Ebnat-Kappel lösen sich die Inversionen zur Mittagszeit ganz auf.

In Appenzell besteht in 70-80% der Nächte in der untersten Schicht eine Inversion. Tagsüber ist sie bei 30% der gemessenen Tage weiterhin vorhanden. Im Gegensatz dazu hat es in Ebnat-Kappel in der untersten Schicht nur in 60% der Messtage in der Nacht eine Inversion. Diese löst sich in nahezu allen Tagen vollständig auf.

4.2.2 Inversionslage Appenzell

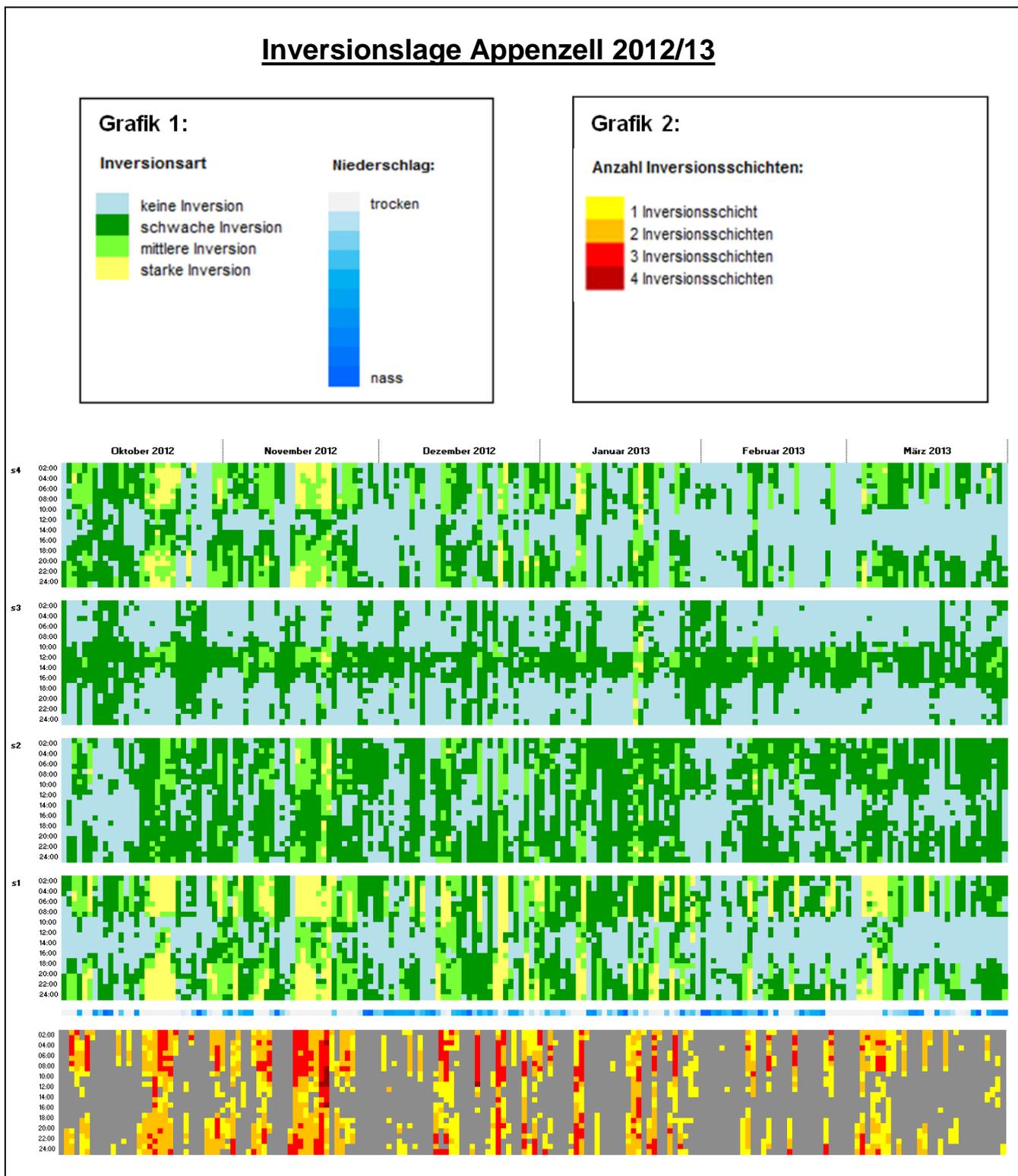


Abb. 23: Inversionsart und Anzahl Inversionsschichten von Appenzell im Winter 2012/13 (01.10 bis 31.03.)
 X-Achse: pro Feld 1 Tag, Y-Achse: Tageszeit

Die Bildung von Inversionslagen findet vorwiegend bei trockenen Bedingungen statt. Niederschlagsreiches und kaltes Wetter schwächen Inversionslagen ab, siehe. Abb. 23.

4.2.3 Schadstoffverlauf mit und ohne Inversion

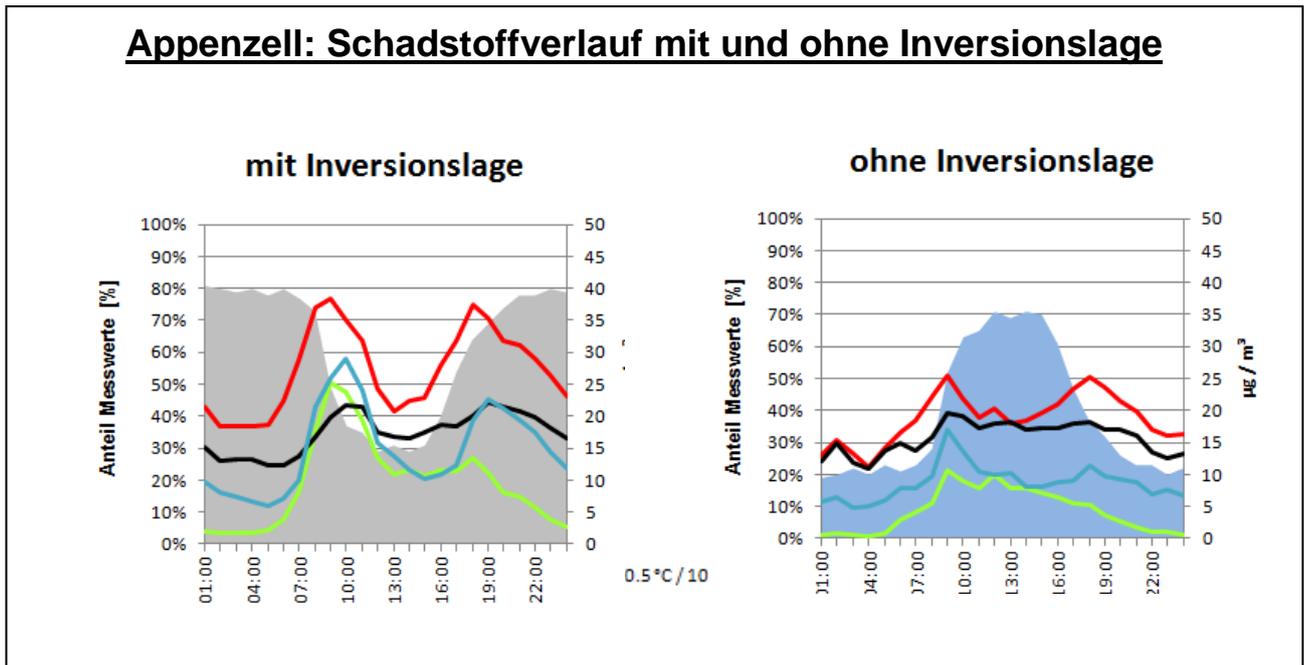


Abb. 24: Schadstoffverlauf im Vergleich zu Inversionslagen. Verwendete Daten: 01.10.2012 bis 01.03.2013

Abb 24 zeigt den Schadstoffverlauf mit und ohne Inversion. Ein Zusammenhang zwischen dem Schadstoffverlauf und einer Inversionslage ist nicht zu erkennen. Die Schadstoffkonzentrationen sind aber bei einer Inversionslage deutlich höher. Schadstoffpartikel können auf Grund des wechselnden Temperaturgradienten Inversionsschichten nicht passieren. Je tiefer nun eine Inversionsschicht liegt umso weniger Volumen bleibt den Schadstoffteilchen um sich auszubreiten. Die Folge ist ein Konzentrationsanstieg der Schadstoffpartikel.

5 Fazit

Wie ist die lufthygienische Situation im Zentrum von Appenzell und Ebnat-Kappel? Sind die erhaltenen Werte standorttypisch oder weichen sie ab?

- Die lufthygienische Situation in Appenzell und Ebnat-Kappel entspricht im Grossen und Ganzen den erwarteten standorttypischen Werten.
- Der in Appenzell im Vergleich zu Ebnat-Kappel klar grössere Einfluss des Verkehrs wurde nicht so ausgeprägt erwartet. Grundsätzlich gibt es dafür drei Erklärungen:
 - Beim Standort in Appenzell gibt es tatsächlich mehr Verkehr, zudem war der Strassenabstand geringer.
 - Die Umfahrungsstrasse in Ebnat-Kappel ist ausserhalb (ca. 70m) und erhöht – dies führt zu einer entsprechenden Entlastung.
 - Der Standort in Appenzell ist im Vergleich zu Ebnat-Kappel gefangener.
- Bei rund 30 Prozent der Wintertage löst sich die Inversion in der untersten Schicht in Appenzell nicht auf. Zum Vergleich: In Ebnat-Kappel gab es fast keine durchgehenden Inversionstage. Dies deutet darauf hin, dass die Tal-Durchlüftung im Vergleich zu Ebnat-Kappel schlechter ist, was auch durch die Windgeschwindigkeiten bestätigt wurde.
- Auch in Appenzell und Ebnat-Kappel gilt: Neben Ozon wird insbesondere auch beim Feinstaub der massgebliche LRV-Grenzwert nicht eingehalten.

Wie hoch ist der Einfluss von Holzfeuerungen auf die Gesamtbelastung in Appenzell und in Ebnat-Kappel?

- Diese Frage lässt sich nicht abschliessend beantworten.
- Die Levoglucosanmessungen zeigen jedoch, dass der Einfluss der Holzfeuerungen in den ländlichen Regionen (Ebnat-Kappel und Appenzell) klar höher ist als bei der Station SG Rorschacher Strasse (städtischer Charakter).
- Es kann davon ausgegangen werden, dass die (kleinen) Holzfeuerungen in Ebnat-Kappel intensiver genutzt werden (als Grundwärme-Abdeckung).
- Den grössten Einfluss auf die lufthygienische Situation in Appenzell hat, zumindest am Standort Feuerschau, wohl der Verkehr.

Ist ein Zusammenhang zwischen Inversionswetterlagen und Luftschadstoffkonzentrationen erkennbar?

- Inversionswetterlagen führen klar zu einer Zunahme der Schadstoffkonzentrationen.
- Eine Beeinflussung des Tagesganges ist ersichtlich.
- Die Inversionslagen sind in Appenzell ausgeprägter als in Ebnat-Kappel.

Vergleich der Immissionswerte vor und nach der Inbetriebnahme einer 1.5 MW Holzfeuerungsanlage in Appenzell (Winter 2012/13).*

- Die Anlage befand sich während den Messungen 2013 noch im Bau. Die Fragestellung kann deshalb nicht beantwortet werden.
- Bei Bedarf können zu einem späteren Zeitpunkt weiterführende Messungen durchgeführt werden.

Was für Unterschiede sind zwischen den Standorten Appenzell und Ebnat-Kappel in Bezug auf Holzfeuerungen und Immissionswerte erkennbar?

- In Ebnat-Kappel sind die Kohlenstoffmonoxid- und Levoglucosanwerte höher als in Appenzell.
- Die Feinstaubkonzentration bewegt sich auf einem ähnlichen Niveau.
- In Appenzell sind die Stickstoffdioxidwerte höher.
- Die Tagesgänge der einzelnen Schadstoffe sind jeweils sehr vergleichbar. Den auffälligsten Unterschied gibt es beim EC – dies ist in Appenzell deutlich höher.
- Anhand der Resultate ist anzunehmen, dass der Einfluss von Holzfeuerungen in Ebnat-Kappel klar grösser ist als in Appenzell.

6 Anhang

6.1 Wind

In der folgenden Abbildung wird die Häufigkeit der Windrichtung und Windstärke des Messortes Appenzell (Messstation Sollegg) dargestellt.

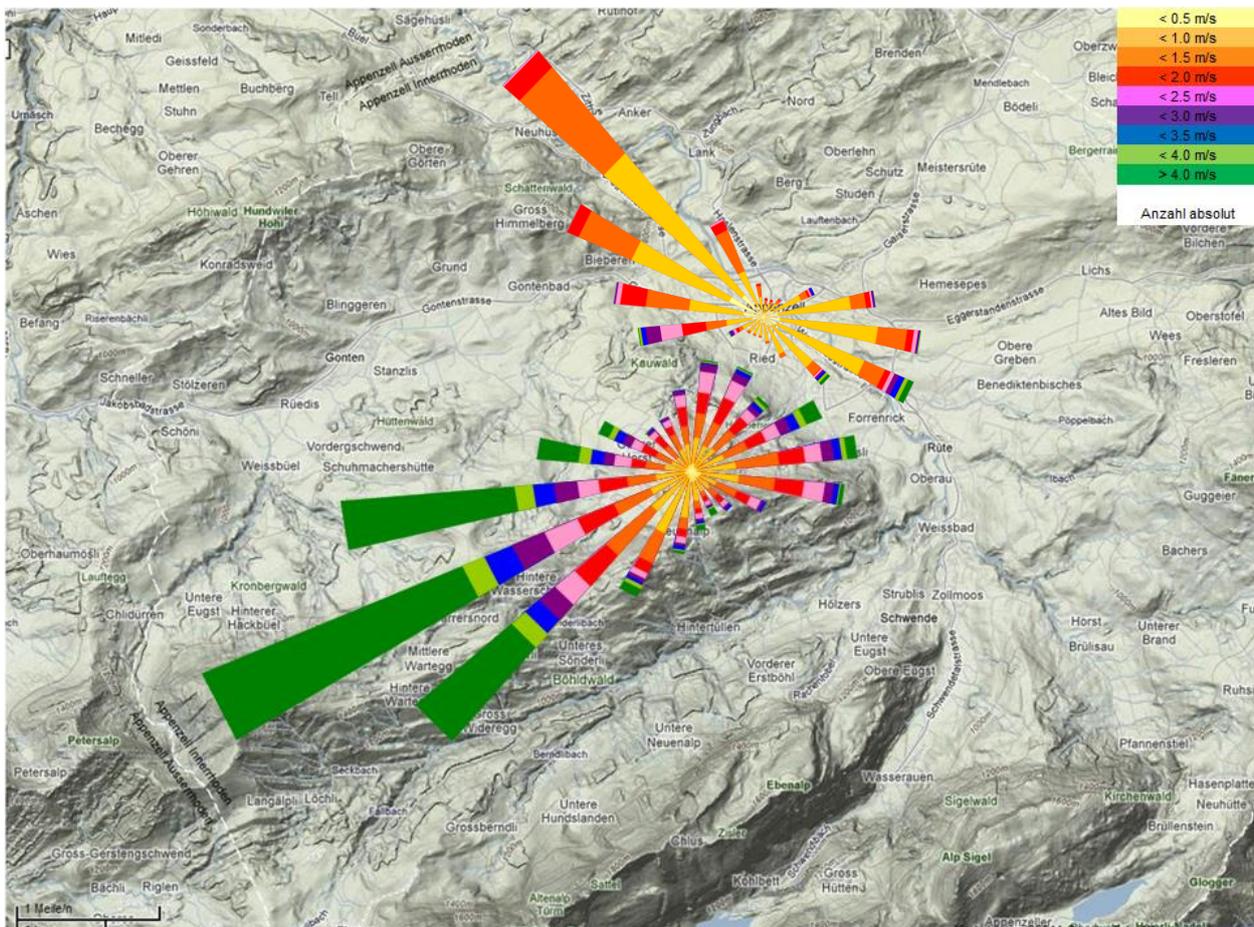


Abb. 26: Windstärke und Richtung der Messstation Sollegg und Feuerschau (Sep. 2011 bis Feb. 2013)

Am häufigsten weht ein südwestlicher Wind mit einer Stärke von über 4 m/s. Nordwest und Südost Wind ist sehr selten.

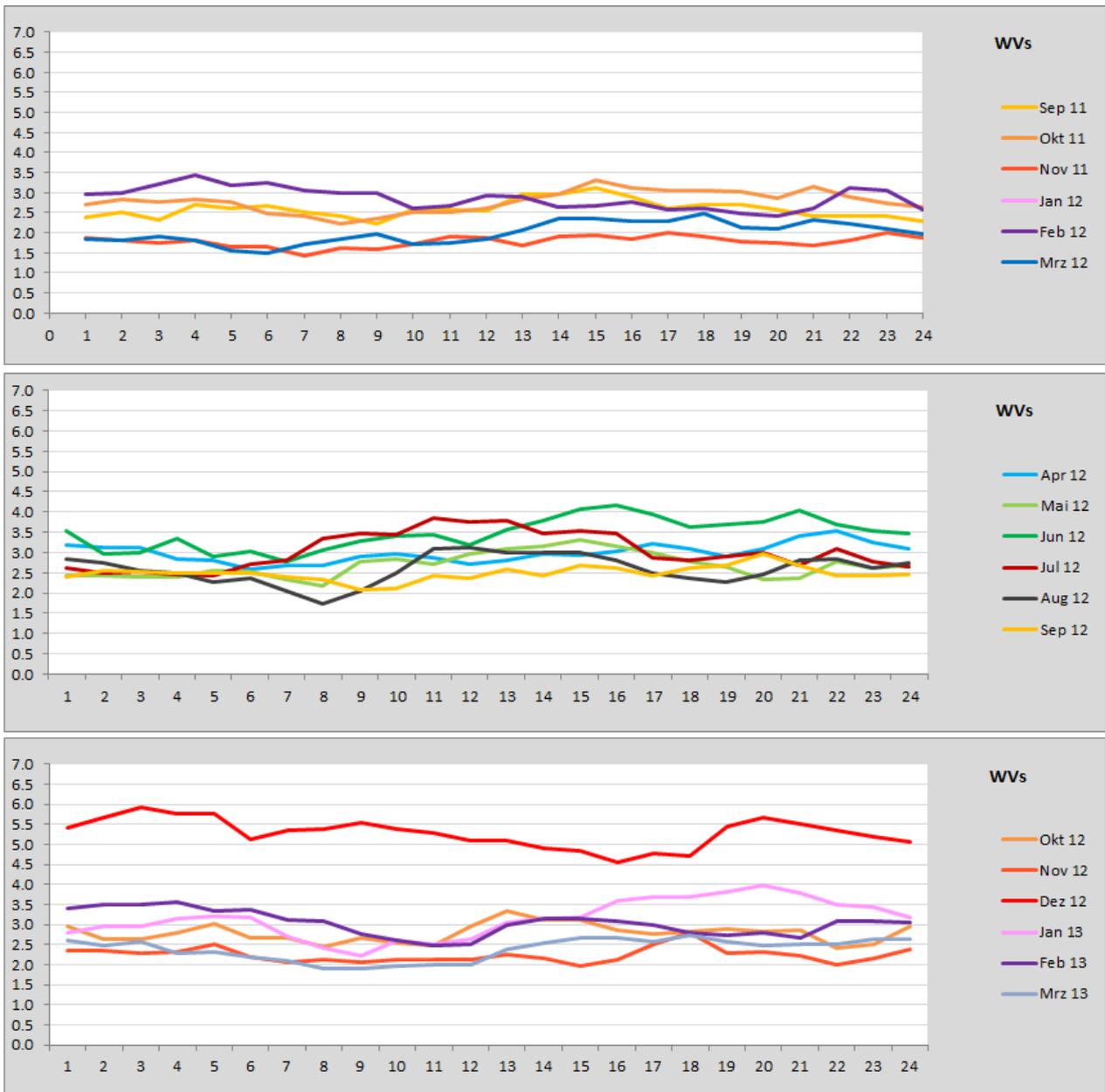
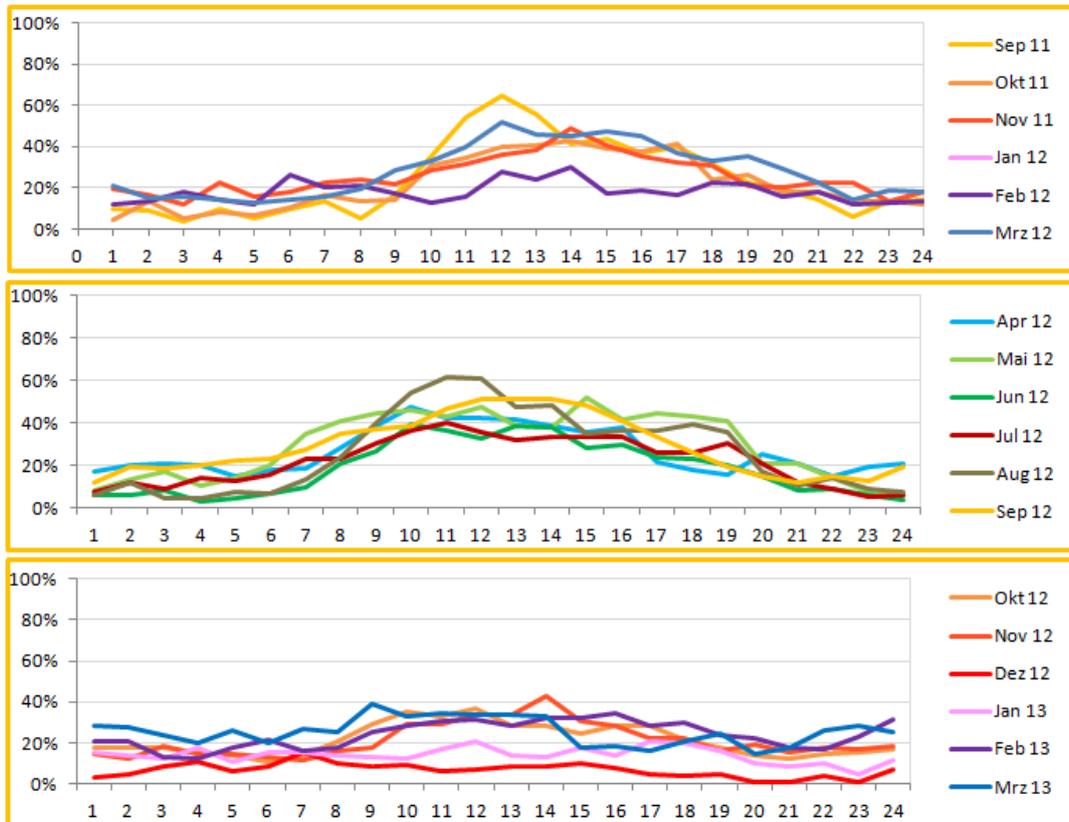


Abb. 27: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit der Messstation Sollegg (Sep. 2011 bis Feb. 2013)
 x-Achse = Tageszeit, y-Achse = Windgeschwindigkeit in m/s.

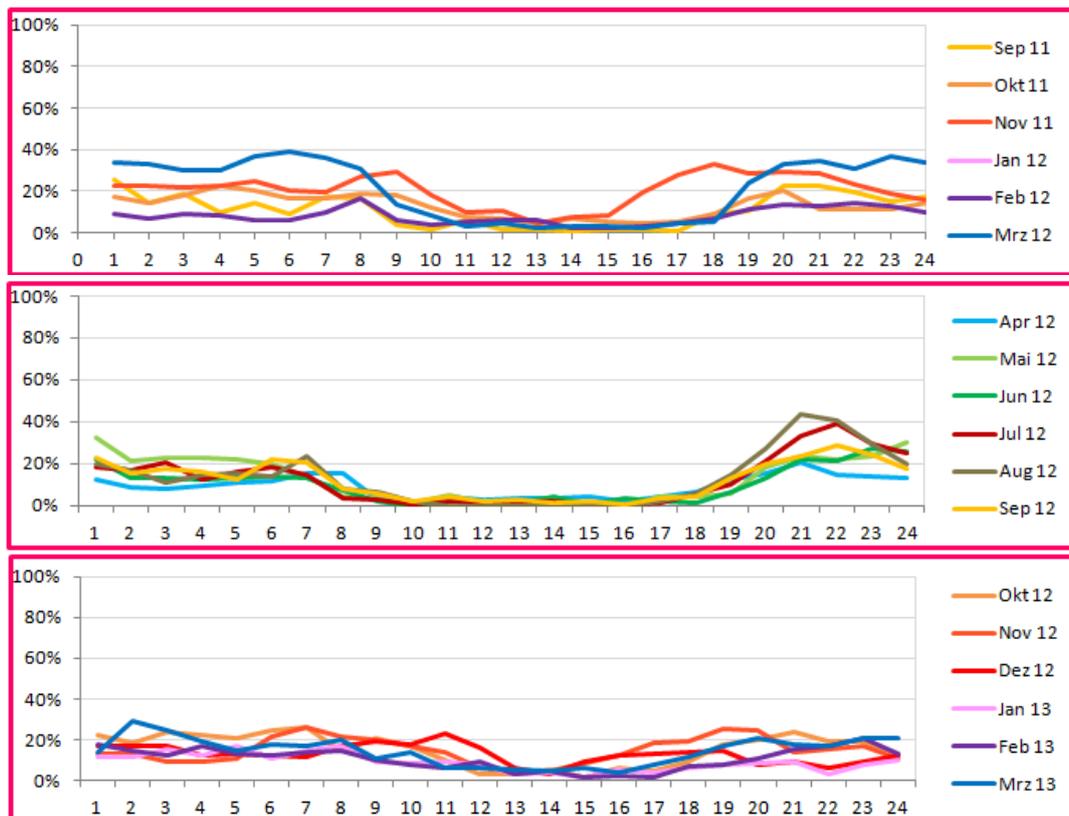
Die Windgeschwindigkeiten bewegen sich zwischen 1.5 bis 4 m/s. Jahreszeitlich grössere Schwankungen finden nicht statt. Am 27.12. zog ein starker Sturm mit Böenspitzen von über 100 km/h durch die Schweiz. Die Tagesmittel des Monats Dezember 2012 sind deshalb um einiges höher als in den restlichen Monaten.

In der nachfolgenden Abbildung wird der mittlere Tagesgang der unterschiedlichen Windrichtungen festgehalten.



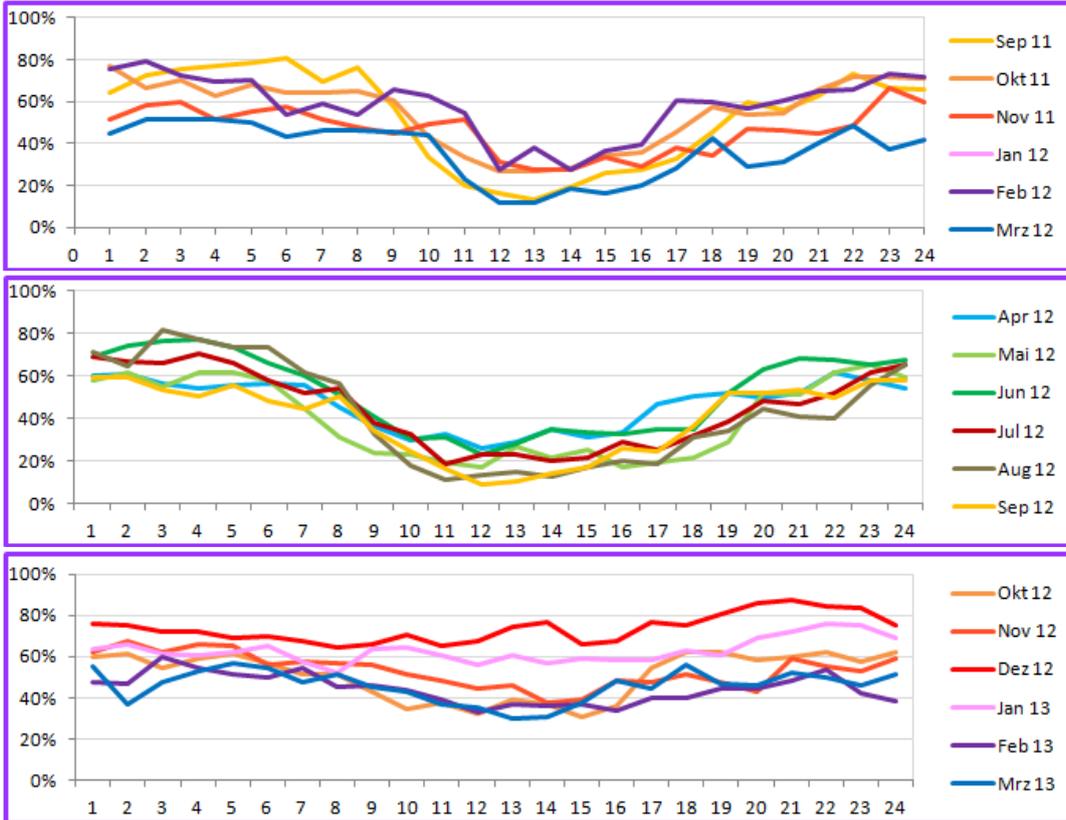
NO

Im Sommerhalbjahr tagsüber oft NO Wind, im Winter seltener.



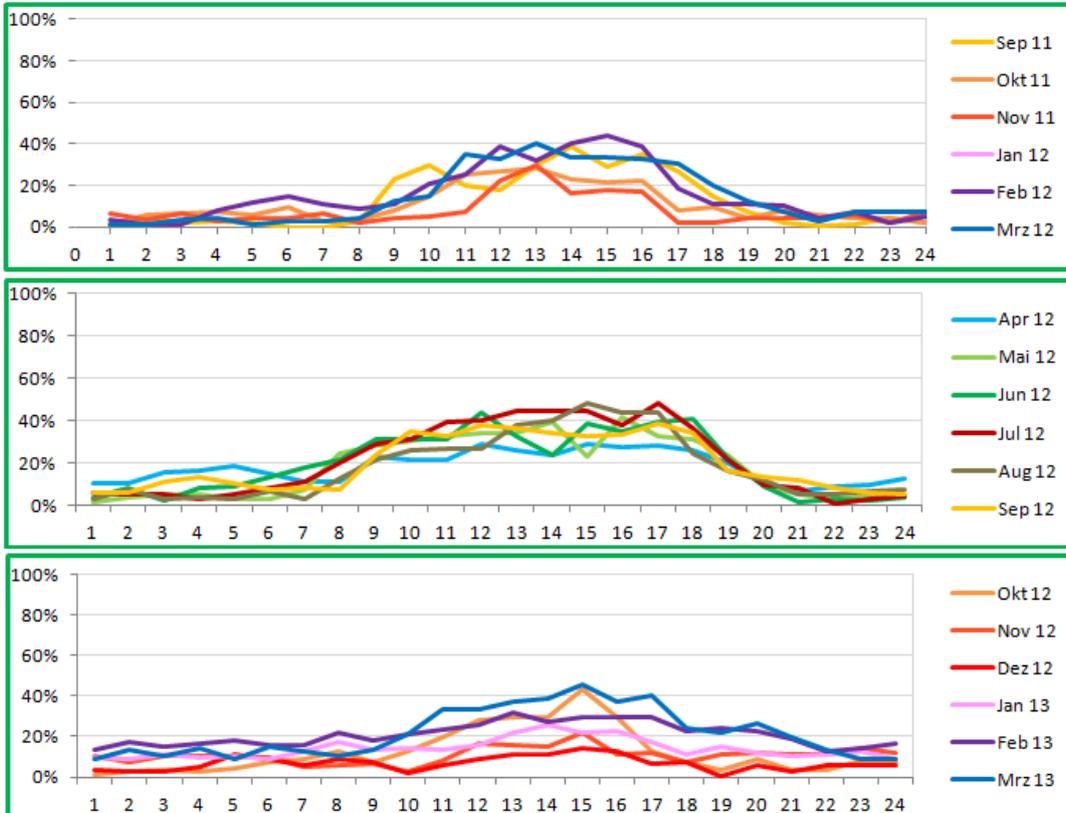
SO

Im Sommerhalbjahr am Abend aufkommender Südostwind (Kaltluftabfluss).



SW

In der Nacht vorherrschender Südwestwind.



NW

Im Sommerhalbjahr tagsüber oft NW Wind zusammen mit NO, im Winter seltener.

Abb. 28: gemittelter Tagesgang nach Windrichtungen der Messstation Sollegg (Sep. 2011 bis Feb. 2013)
 x-Achse = Tageszeit, y-Achse = Häufigkeit der Windrichtung