

Bern, 19. Mai 2008

## **Auswertung der Temperaturprofilmessungen in der Geländekammer Wettswil**

**Anhang für das Sommerhalbjahr 2007**

---

Auftraggeber:  
AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Abt. Lufthygiene  
Stampfenbachstrasse 12  
Postfach  
8090 Zürich

Bearbeitung:  
Saskia Bourgeois

**Inhalt**

1. Einleitung .....	3
2. Messanordnung.....	3
3. Methodik.....	3
4. Datengrundlage für das Sommerhalbjahr 2007 .....	4
5. Resultate für das Sommerhalbjahr 2007.....	9

**1. Einleitung**

siehe Hauptbericht

**2. Messanordnung**

siehe Hauptbericht

**3. Methodik**

siehe Hauptbericht

## 4. Datengrundlage für das Sommerhalbjahr 2007

### 4.1. Analysierte Messperiode

#### *50-m-Messmast Filderen und 50-m-Messmast Eichholz*

Für die Auswertung wurden 10-Minuten-Mittelwerte vom 1. April 2007 bis zum 30. September 2007 verwendet. Die Konsistenz und die Vollständigkeit der an den 50-m-Messmasten gemessenen Daten wurde überprüft. Aufgrund eines Messgerätedefekts des Ultraschall Anemometers beim Mast Filderen bestehen in den Daten der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung Lücken vom 25. Mai 2007, 22:50 bis zum 30. Mai 2007, 09:40 und vom 16. Juli 2007, 07:50 bis zum 31. Juli 2007, 15:50. Infolge Wartungsarbeiten am Mast Filderen bestehen Datenlücken in den Temperaturdaten vom 27. Juli 2007, 13:00 bis zum 27. Juli 2007, 15:20 und vom 31. Juli 2007, 13:30 bis zum 31. Juli 2007, 15:50. Die Datenverfügbarkeit der Temperaturdaten am Mast Filderen beträgt 99.9%. Beim Mast Eichholz wurden keine Datenlücken oder fehlerhafte Daten gefunden. Die Datenverfügbarkeit beträgt dort 100%.

#### *Messstation Üetliberg*

Für die Auswertung lieferte MeteoSchweiz 10-Minuten Mittelwerte der Messstation Üetliberg. Folgende Parameter standen zur Verfügung: Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Die Konsistenz und die Vollständigkeit der Üetliberg Daten wurde überprüft. Aufgrund von Messgerätedefekten bestehen Datenlücken zwischen dem 13. April 2007, 08:50 bis zum 16. April 2007, 10:30, zwischen dem 14. Juni 2007, 20:50 bis zum 19. Juni, 14:40, zwischen dem 19. Juli 2007, 17:50 Uhr bis zum 26. Juli 2007, 13:40 Uhr und zwischen dem 29. August 2007, 05:50 bis zum 30. August 2007. Die Datenverfügbarkeit beträgt 96%.

### 4.2. Rohdaten

#### 4.2.1. Temperatur

Abbildung 4-1 zeigt den Verlauf der Temperaturen als Tagesmittel für drei Höhen: 573 m.ü.M. (45-m-Mast Filderen), 633 m.ü.M. (49-m-Mast Eichholz) und 1'043 m.ü.M. (Messstation Üetliberg).

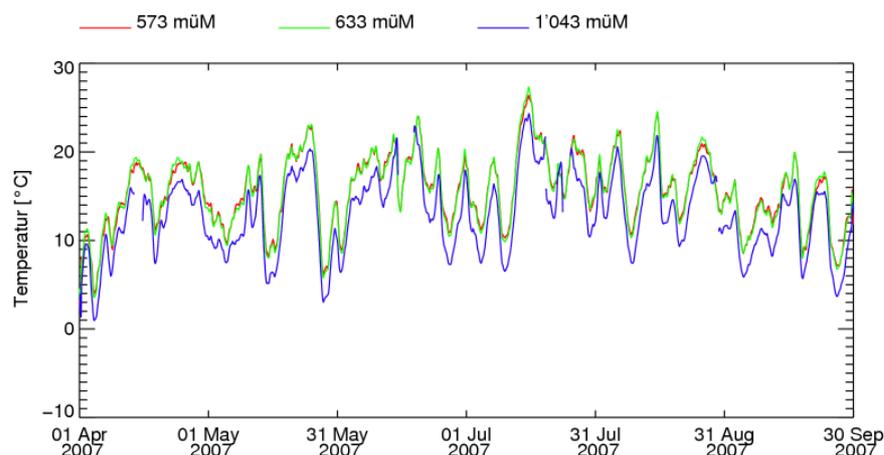


Abbildung 4-1: Verlauf der Tagesmittel-Temperaturen für drei Höhen: Oberste Messung des Messmasten Filderen 573 m.ü.M. (rot), oberste Messung des Messmasten Eichholz 633 m.ü.M. (grün) und Messung auf dem Üetlibergturm 1'043 m.ü.M. (blau).

#### 4.2.2. Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Abbildung 4-2 zeigt den Verlauf der Windgeschwindigkeiten als Tagesmittel für die drei Höhen 573 m.ü.M. (50-m-Mast Filderen), 633 m.ü.M. (50-m-Mast Eichholz) und 1043 m.ü.M. (Messstation Üetliberg). Die Windrosen der drei Stationen sind in Abbildung 4-4 bis Abbildung 4-8 ersichtlich. Ausserdem ist in den Grafiken der Mittelwert der Windgeschwindigkeit (Windgeschwindigkeit  $\geq 0.25$  m/s) sowie der prozentuale Anteil an Kalmen (Windgeschwindigkeit  $\leq 0.8$  m/s) ersichtlich.

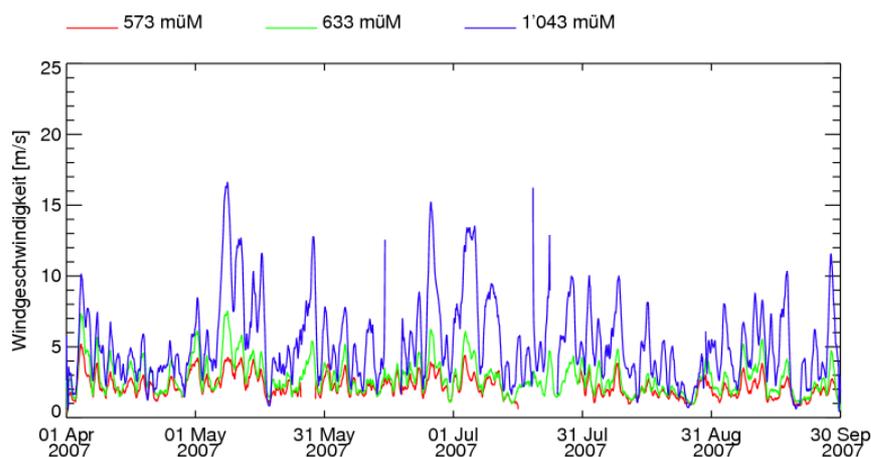


Abbildung 4-2: Verlauf der Windgeschwindigkeiten als gleitende Tagesmittel für drei Höhen: 573 m.ü.M. (oberste Messung des Messmasten Filderen, rot), 634 m.ü.M. (oberste Messung des Messmasten Eichholz, grün) und 1043 m.ü.M. (Messstation Üetliberg, blau).

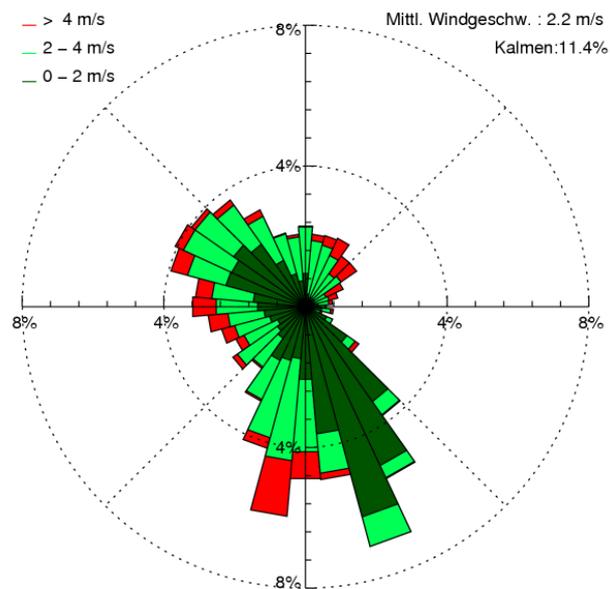


Abbildung 4-3: Windrose für den Standort Filderen auf 573 m.ü.M. unter Berücksichtigung aller Daten.

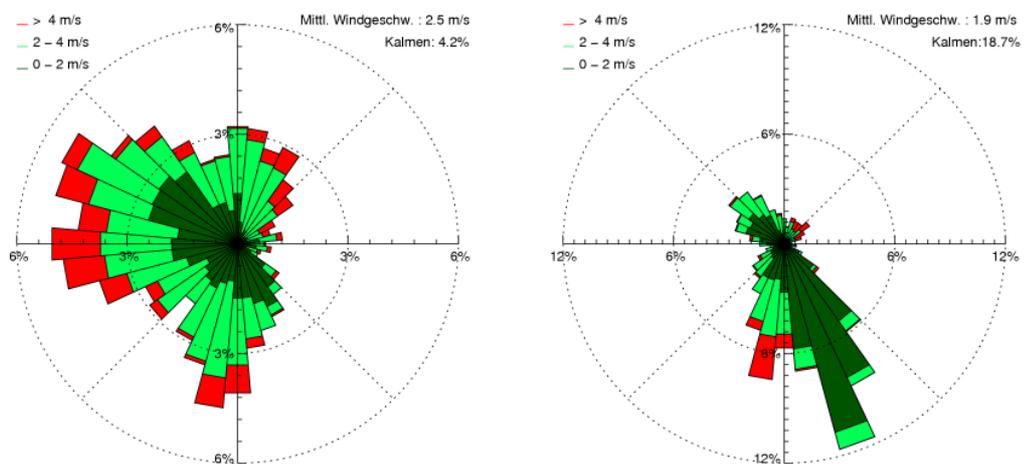


Abbildung 4-4: Windrose für den Standort Filderen auf 573 m.ü.M. für die Perioden von 07 Uhr bis 19 Uhr, Tag (links) und 19 Uhr bis 07 Uhr, Nacht (rechts).

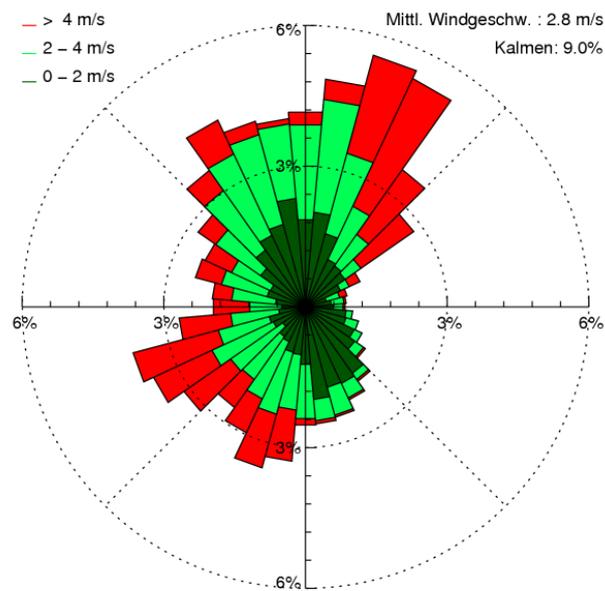


Abbildung 4-5: Windrose für den Standort Eichholz auf 633 m.ü.M. unter Berücksichtigung aller Daten.

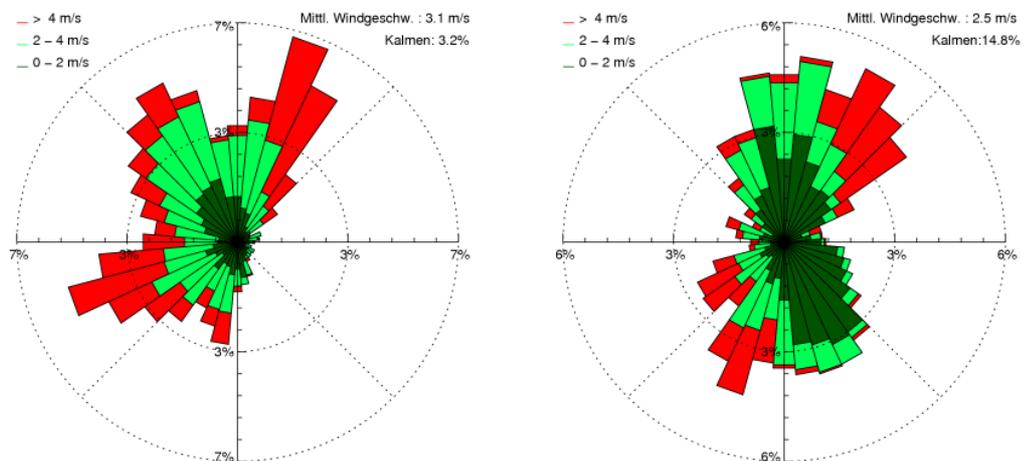


Abbildung 4-6: Windrose für den Standort Eichholz auf 633 m.ü.M. für die Perioden von 07 Uhr bis 19 Uhr, Tag (links) und 19 Uhr bis 07 Uhr, Nacht (rechts).

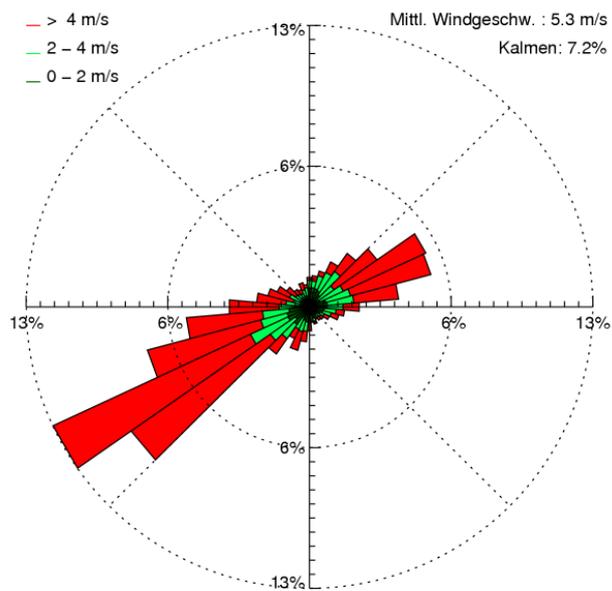


Abbildung 4-7: Windrose für den Standort Üetliberg auf 1043 m.ü.M.

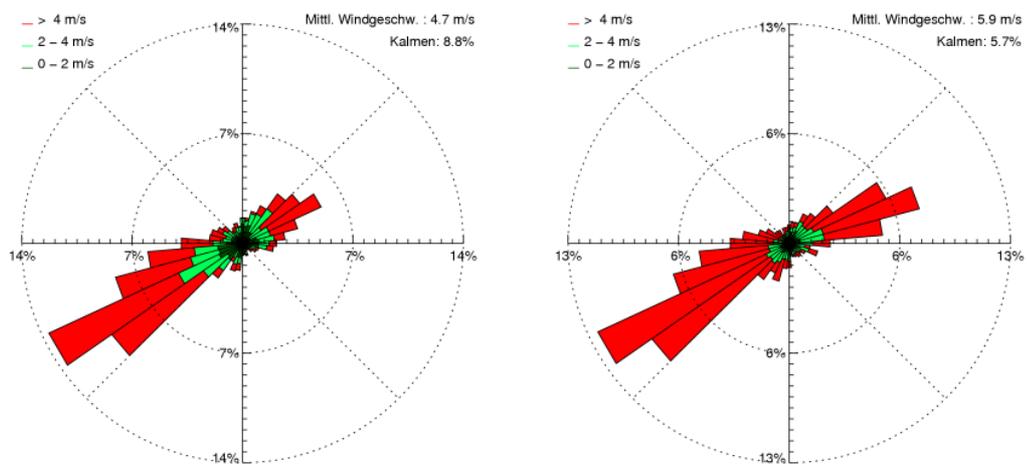


Abbildung 4-8: Windrose für den Standort Üetliberg auf 1'043 m.ü.M. für die Perioden von 07 Uhr bis 19 Uhr, Tag (links) und 19 Uhr bis 07 Uhr, Nacht (rechts).

## 5. Resultate für das Sommerhalbjahr 2007

### 5.1. Temperaturgradienten in drei Luftschichten zwischen 573 und 1'043 m.ü.M.

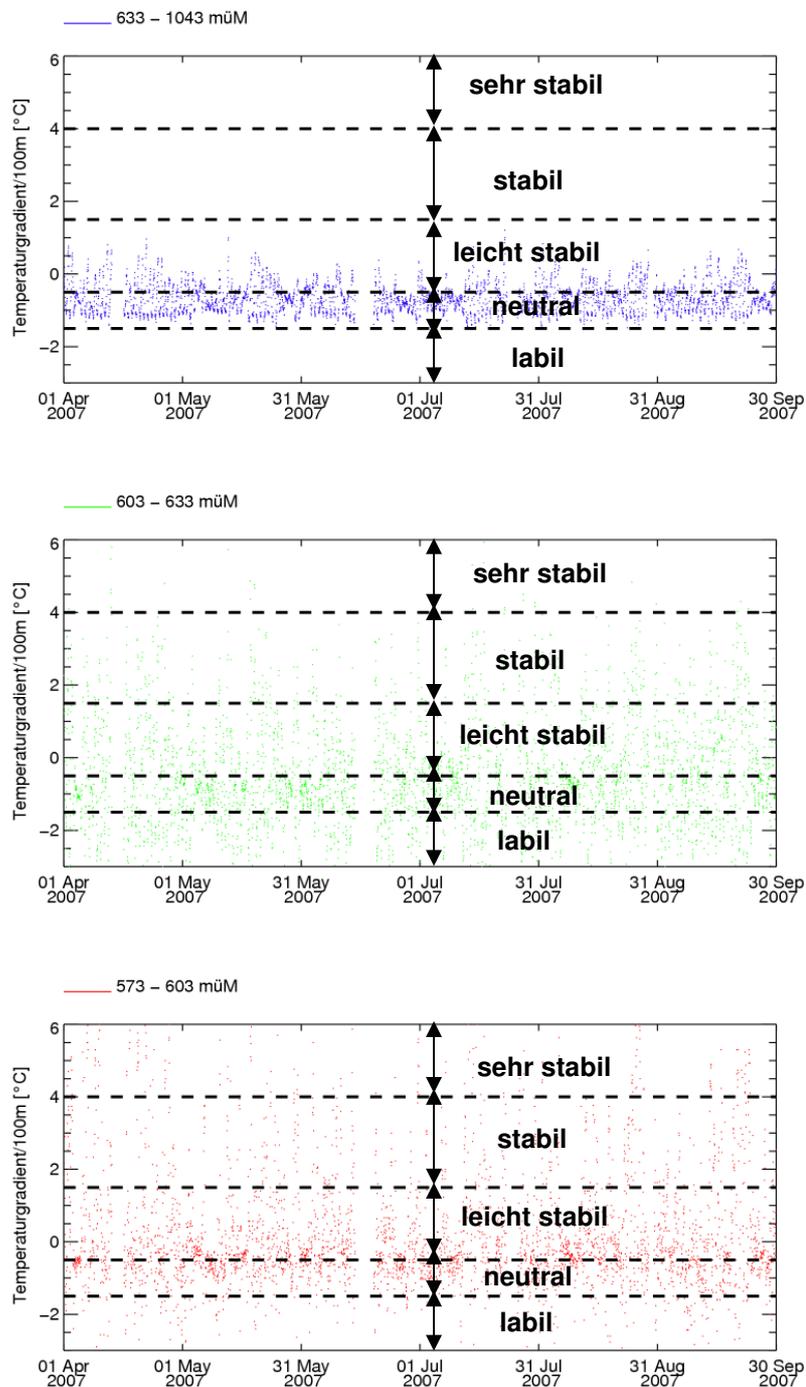


Abbildung 5-1: Stundenmittel der Temperaturgradienten, normiert auf 100 m, für drei Luftschichten: Schichtnummer 5 (oben), Schichtnummer 4 (mitte) und Schichtnummer 3 (unten). Positive Werte stehen für

einen Temperaturanstieg mit der Höhe. Mit den gestrichelten Linien sind die Grenzen der Stabilitätsklassen bezeichnet.

In Abbildung 5-2 sind für die fünf Luftschichten die Perioden (Stundenmittel) mit vorherrschenden Inversionen eingefärbt, differenziert nach Stabilitätsstärke: **sehr stabile** Luftschichtungen sind rot, **stabile** Luftschichtungen blau und **schwach stabile** Luftschichtungen grün dargestellt.

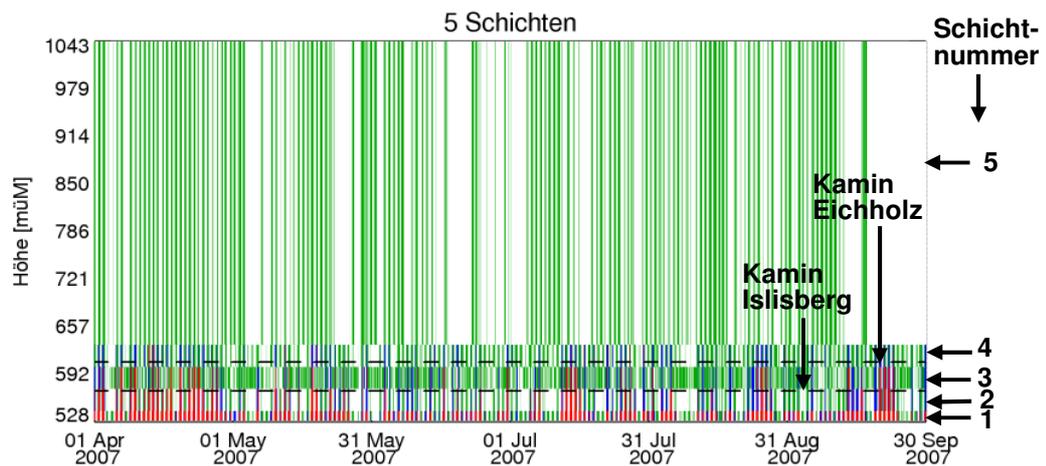


Abbildung 5-2: Stabilität der Luftschichten in der Geländekammer Wettswil. Die mittleren Temperaturgradienten grösser als  $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  sind rot, Temperaturgradienten grösser als  $1.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  blau und Temperaturgradienten grösser als  $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  grün eingefärbt. Die schwarzen gestrichelten Linien bezeichnen die Mündungen der Kamine Eichholz und Islisberg.

## 5.2. Differenzierung nach Inversionsdauer und Inversionsstärke

### 5.2.1. Anzahl Tage mit Inversionslagen von mindestens einer Stunde

Tabelle 5-1 enthält für jede Luftschicht die Anzahl Tage an welchen während mindestens einer Stunde eine stabile Schichtung gemessen wurde. Die Werte sind weiter differenziert nach der Stärke der Stabilität (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün) berechnet worden. Die letzte Spalte (gelb) enthält die Anzahl Tage an welchen während keiner Stunde eine stabile Schichtung gemessen worden ist.

In Abbildung 5-3 sind die Zahlenwerte aus Tabelle 5-1 prozentual dargestellt. Die Häufigkeiten von stark stabilen Luftschichtungen in Bodennähe sind deutlich sichtbar. Tendenziell nehmen sowohl Stabilitätsstärke als auch Häufigkeiten mit zunehmender Höhe ab.

Tabelle 5-1: Anzahl Tage mit mindestens einer stabilen Luftschicht von mindestens einer Stunde, differenziert nach Luftschicht und Stabilitätsklasse (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün) und Anzahl Tage ohne stabile Luftschichtung (gelb). Die gesamte analysierte Periode beträgt 183 Tage (entspricht 100%; für Üetliberg nur 175 Tage).

Höhe in müM	Schichtnummer	Total Anzahl Tage mit Stabilität (Total analysierte Tage)	Anz. Tage mit sehr stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit schwach stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit neutraler, labiler Luftschicht (keine Inversion)
633 m - 1'043 m	5	150(175)	0	1	149	25
603 m - 633 m	4	180(183)	5	137	38	3
573 m - 603m	3	183(183)	45	103	35	0
543 m - 573 m	2	173(183)	70	82	21	10
530 m - 543 m	1	183(183)	152	23	8	0

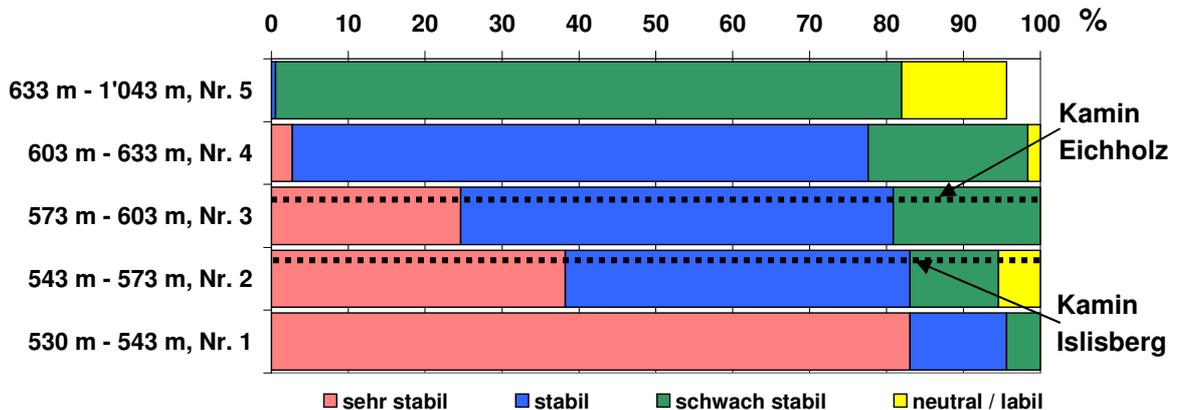


Abbildung 5-3: Prozentuale Häufigkeiten der verschiedenen Temperaturschichtungen während der Messperiode, differenziert nach Höhenbereichen und Stabilitätsklassen. Der Schwellenwert liegt bei einer Stunde (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün; neutral und labil: gelb).

### **5.2.2. Anzahl Tage mit Inversionslagen von mindestens vier Stunden**

Analog zu Tabelle 5-1 enthält Tabelle 5-2 für jede Luftschicht die gesamte Anzahl Tage an welchen während mindestens vier Stunden Stabilität gemessen wurde. Die Werte werden auch hier weiter differenziert nach der Stärke der Stabilität (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün). Die letzte Spalte enthält die Anzahl Tage an welchen keine stabile Schichtung die Dauer von 4 Stunden erreichte (gelb). In Abbildung 5-4 sind die Werte wiederum auf die prozentuale Häufigkeit umgerechnet. Wie zu erwarten, zeigt Abbildung 5-4 eine 'abgeschwächte' Situation im Vergleich zu Abbildung 5-3.

Tabelle 5-2: Anzahl Tage mit mindestens vier Stunden dauernder stabiler Schichtung, differenziert nach Luftschicht und Stabilitätsklasse (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün) und Anzahl Tage ohne stabile Luftschichtung (gelb). Die gesamte analysierte Periode beträgt 183 Tage (entspricht 100%; für Üetliberg nur 175 Tage).

Höhe in müM	Schichtnummer	Total Anzahl Tage mit Stabilität (Total analysierte Tage)	Anz. Tage mit sehr stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit schwach stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit neutraler, labiler Luftschicht (keine Inversion)
633 m - 1'043 m	5	125(175)	0	0	125	50
603 m - 633 m	4	170(183)	0	87	83	13
573 m - 603m	3	182(183)	15	92	75	1
543 m - 573 m	2	149(183)	35	77	37	34
530 m - 543 m	1	182(183)	132	27	23	1

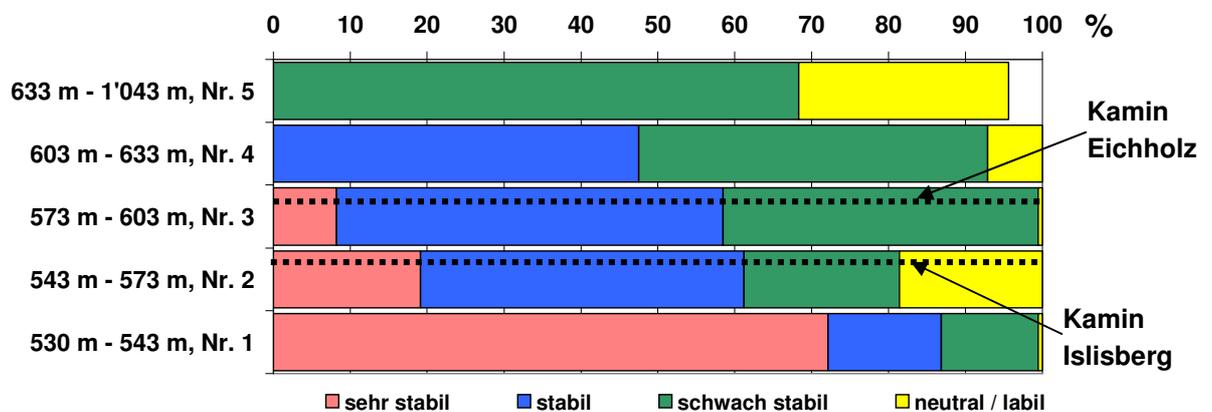


Abbildung 5-4: Prozentuale Häufigkeit der Temperaturschichtungen während der Messperiode, differenziert nach Höhenbereichen und Stabilitätsklassen. Der Schwellenwert liegt bei vier Stunden (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün; neutral und labil: gelb).

**5.2.3. Inversionslagen von mindestens vier Stunden im Zeitfenster 07-19 Uhr**

Da angenommen werden kann, dass die Abluft der Kamine vorwiegend tagsüber mit Schadstoffen belastet ist, wurde die Analyse der Temperaturschichtungen auch für das Zeitfenster von 07 Uhr morgens bis 19 Uhr abends durchgeführt. Tabelle 5-3 und Abbildung 5-5 zeigen die Anzahl Tage mit Stabilität mit einem Schwellenwert von mindestens vier Stunden. Mit diesen Kriterien wird die Anzahl Tage mit Stabilität stark reduziert.

Tabelle 5-3: Anzahl Tage mit mindestens vier Stunden dauernder stabiler Schichtung im Zeitfenster 07 bis 19 Uhr, differenziert nach Höhenbereich und Stabilitätsklasse (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün) und Anzahl Tage ohne stabile Luftschichtung (gelb). Die analysierte Periode beträgt 183 Tage (entspricht 100%, für Üetliberg nur 175 Tage).

Höhe in müM	Schichtnummer	Total Anzahl Tage mit Stabilität (Total analysierte Tage)	Anz. Tage mit sehr stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit schwach stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit neutraler, labiler Luftschicht (keine Inversion)
633 m - 1'043 m	5	8 (175)	0	0	8	167
603 m - 633 m	4	9 (183)	0	0	9	174
573 m - 603m	3	161 (183)	0	10	151	22
543 m - 573 m	2	3 (183)	0	0	3	180
530 m - 543 m	1	7 (183)	0	2	5	176

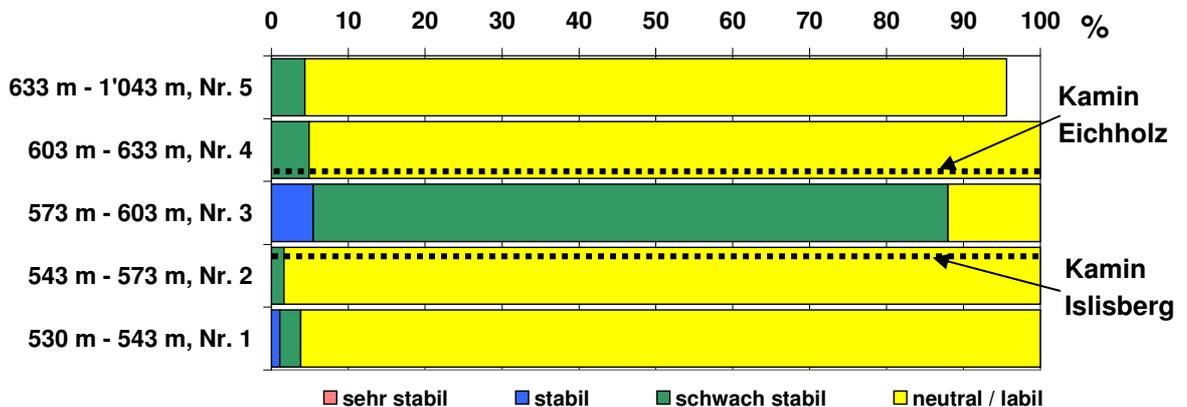


Abbildung 5-5: Prozentuale Häufigkeit der Temperaturschichtungen während der Messperiode, differenziert nach Höhenbereichen und Stabilitätsklassen. Der Schwellenwert beträgt vier Stunden und nur die Stunden von 07 Uhr bis 19 Uhr sind berücksichtigt (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün; neutral und labil: gelb).

**5.2.4. Inversionslagen von mindestens vier Stunden im Zeitfenster 05-22 Uhr**

Hier wurden die gleichen Kriterien wie in 5.2.3. angewendet jedoch für das Zeitfenster von 05 Uhr morgens bis 22 Uhr abends. Tabelle 5-4 und Abbildung 5-6 zeigen die Anzahl kritischer Tage mit einem Schwellenwert von mindestens vier Stunden für das Zeitfenster 05 Uhr morgens bis 22 Uhr abends.

Tabelle 5-4: Anzahl Tage mit mindestens vier Stunden dauernder stabiler Schichtung im Zeitfenster 05 bis 22 Uhr, differenziert nach Höhenbereich und Stabilitätsklasse (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün) und Anzahl Tage ohne stabile Luftschichtung (gelb). Die analysierte Periode beträgt 183 Tage (entspricht 100%, für Üetliberg nur 175 Tage).

Höhe in müM	Schichtnummer	Total Anzahl Tage mit Stabilität (Total analysierte Tage)	Anz. Tage mit sehr stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit schwach stabiler Luftschicht	Anz. Tage mit neutraler, labiler Luftschicht (keine Inversion)
633 m - 1'043 m	5	58 (175)	0	0	58	117
603 m - 633 m	4	103 (183)	0	19	84	80
573 m - 603m	3	176 (183)	0	41	135	7
543 m - 573 m	2	63 (183)	5	27	31	120
530 m - 543 m	1	135 (183)	81	27	27	48

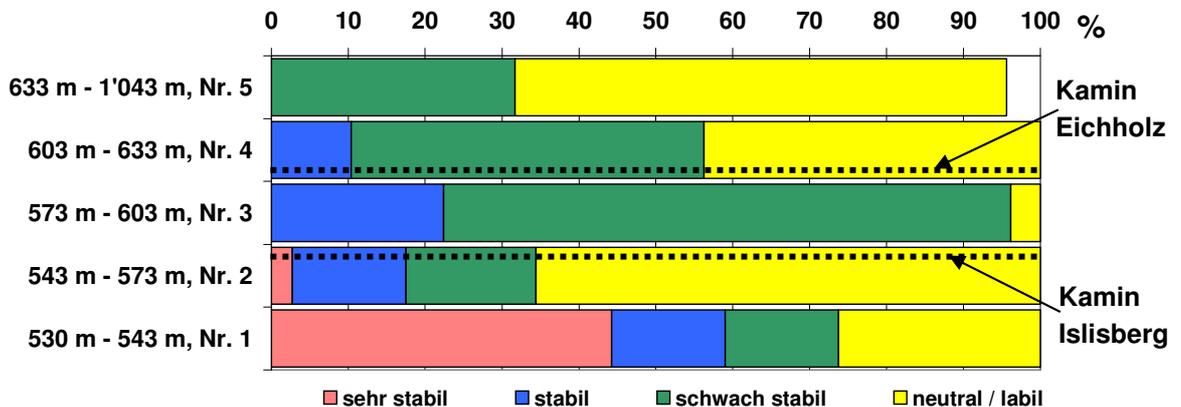


Abbildung 5-6: Prozentuale Häufigkeit der Temperaturschichtungen während der Messperiode, differenziert nach Höhenbereichen und Stabilitätsklassen. Der Schwellenwert beträgt vier Stunden und nur die Stunden von 05 Uhr bis 22 Uhr sind berücksichtigt (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün; neutral und labil: gelb).

### **5.2.5. Kontinuierliche Stabilitätsperioden mit einer Dauer von mindestens 12 Stunden**

Für die gesamte ausgewertete Messperiode wird für jede Schicht die Anzahl Ereignisse gezählt mit mindestens 12 Stunden kontinuierlicher stabiler Luftschichtung. Diese Auswertung wird unter Berücksichtigung der folgenden drei Kriterien bezüglich Stabilität durchgeführt (siehe Tabelle 5-5):

- nur sehr stabile Schichtungen
- stabile und sehr stabile Schichtungen
- leicht stabile, stabile und sehr stabile Schichtungen

Abbildung 5-7 zeigt eine graphische Darstellung dieser Auswertung.

Tabelle 5-5: Anzahl Ereignisse pro Luftschicht mit 12 Stunden dauernder stabiler Schichtung während der gesamten analysierten Messperiode für drei Stabilitätskriterien (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün).

Höhe in müM	Schichtnummer	sehr stabil	sehr stabil und stabil	sehr stabil, stabil und schwach stabil
633 m - 1'043 m	5	5	0	23
603 m - 633 m	4	0	0	81
573 m - 603m	3	0	11	51
543 m - 573 m	2	1	22	49
530 m - 543 m	1	59	27	66

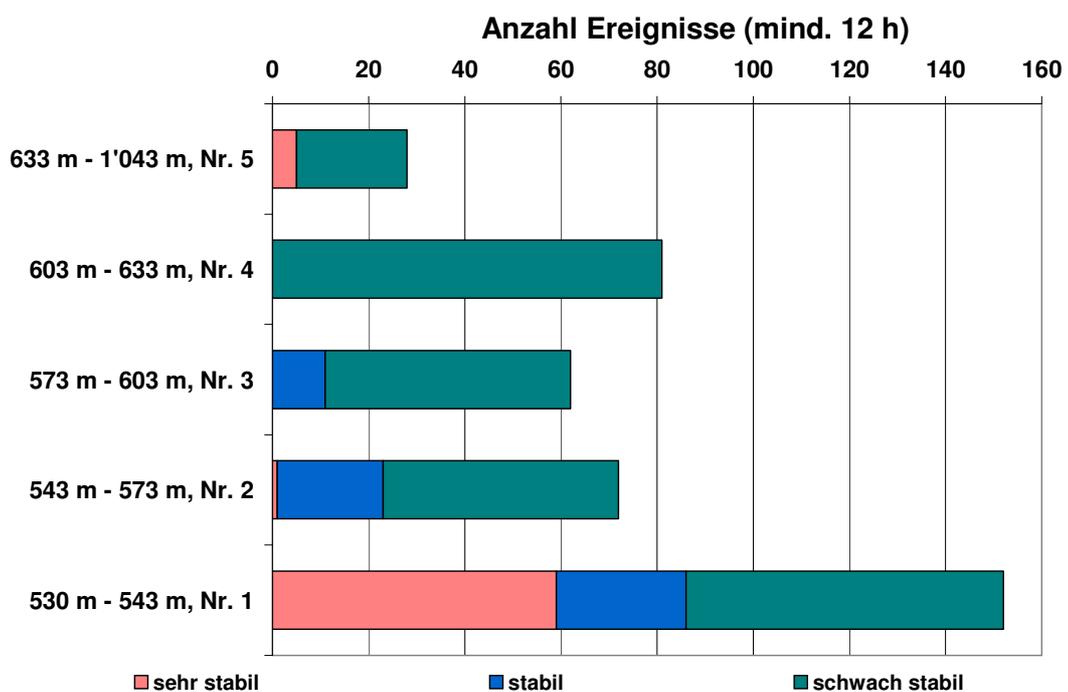


Abbildung 5-7: Graphische Darstellung der Anzahl Ereignisse pro Luftschicht mit 12 Stunden dauernder Stabilität während der gesamten analysierten Messperiode für drei Stabilitätskriterien (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün).

### **5.2.6. Kontinuierliche Stabilitätsperioden mit einer Dauer von mindestens 24 Stunden**

Für die gesamte ausgewertete Messperiode wird für jede Schicht die Anzahl Ereignisse gezählt mit mindestens 24 Stunden kontinuierlicher stabiler Luftschichtung. Diese Auswertung wird unter Berücksichtigung der folgenden drei Kriterien bezüglich Stabilität durchgeführt (siehe Tabelle 5-6):

- nur sehr stabile Schichtungen
- stabile und sehr stabile Schichtungen
- leicht stabile, stabile und sehr stabile Schichtungen

Abbildung 5-8 zeigt die eine graphische Darstellung dieser Auswertung.

Tabelle 5-6: Anzahl Ereignisse pro Luftschicht mit mindestens 24 Stunden dauernder stabiler Schichtung während der gesamten analysierten Messperiode für drei Stabilitätskriterien (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün).

Höhe in müM	Schichtnummer	sehr stabil	sehr stabil und stabil	sehr stabil, stabil und schwach stabil
633 m - 1'043 m	5	5	0	0
603 m - 633 m	4	0	0	0
573 m - 603m	3	0	0	1
543 m - 573 m	2	0	0	0
530 m - 543 m	1	0	0	0

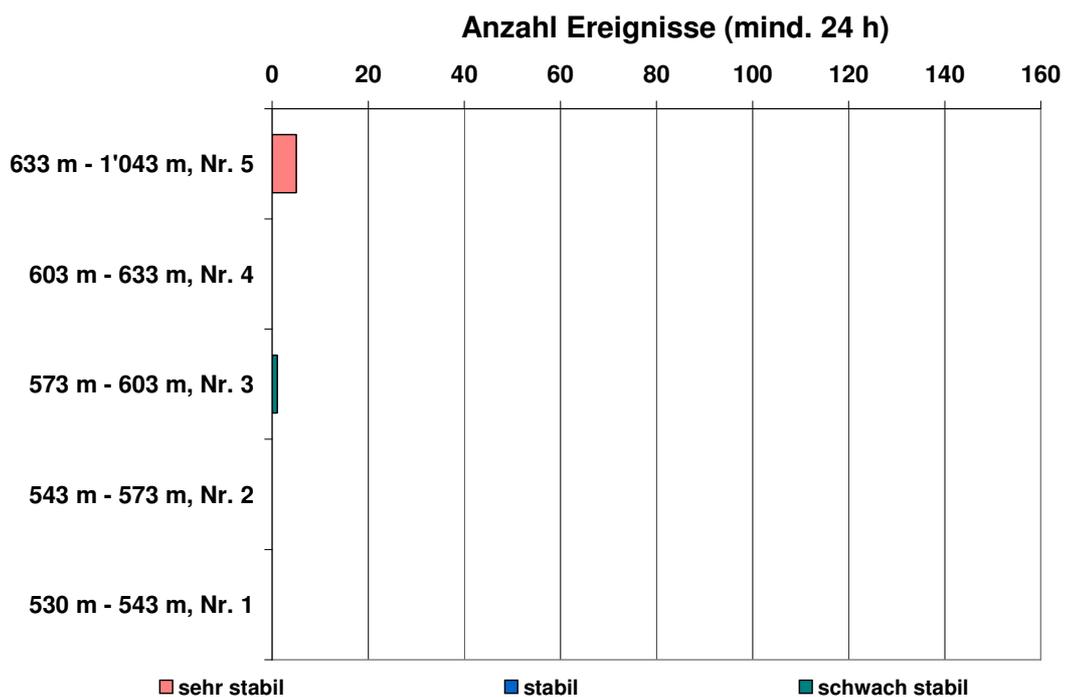


Abbildung 5-8: Graphische Darstellung der Anzahl Ereignisse pro Luftschicht mit mindestens 24 Stunden dauernder Stabilität während der gesamten analysierten Messperiode für drei Stabilitätskriterien (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün).

### **5.2.7. Kontinuierliche Stabilitätsperioden mit einer Dauer von mindestens 12 Stunden im Zeitfenster 05 Uhr bis 22 Uhr**

Für die gesamte ausgewertete Messperiode wird für jede Schicht die Anzahl Ereignisse gezählt mit mindestens 12 Stunden kontinuierlicher stabiler Luftschichtung. Diese Auswertung wurde nur für das Zeitfenster 05 bis 22 Uhr durchgeführt und unter Berücksichtigung der folgenden drei Kriterien bezüglich Stabilität (siehe Tabelle 5-7):

- nur sehr stabile Schichtungen
- stabile und sehr stabile Schichtungen
- leicht stabile, stabile und sehr stabile Schichtungen

Abbildung 5-9 zeigt die eine graphische Darstellung dieser Auswertung.

Tabelle 5-7: Anzahl Ereignisse pro Luftschicht mit mindestens 12 Stunden dauernder stabiler Schichtung während der gesamten analysierten Messperiode für drei Stabilitätskriterien (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün). Es wurde nur das Zeitfenster 05 bis 22 Uhr berücksichtigt.

Höhe in müM	Schichtnummer	sehr stabil	sehr stabil und stabil	sehr stabil, stabil und schwach stabil
633 m - 1'043 m	5	11	0	0
603 m - 633 m	4	0	0	0
573 m - 603m	3	0	0	15
543 m - 573 m	2	0	0	0
530 m - 543 m	1	0	0	0

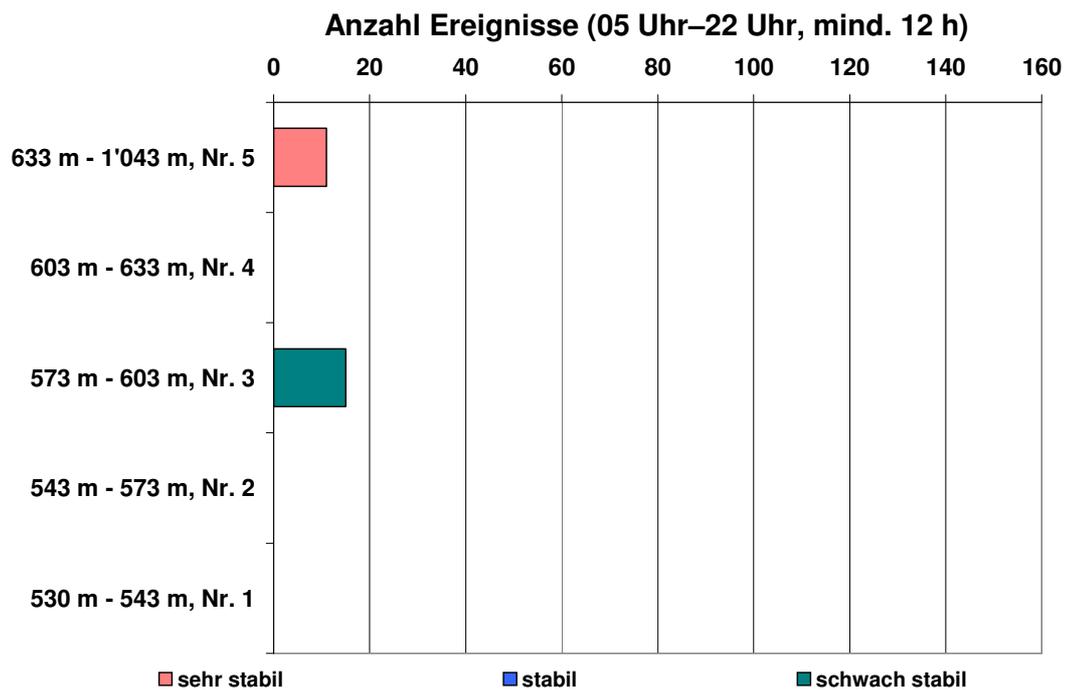


Abbildung 5-9: Graphische Darstellung der Anzahl Ereignisse pro Luftschicht mit mindestens 12 Stunden dauernder Stabilität während der gesamten analysierten Messperiode für drei Stabilitätskriterien (sehr stabil: rot; stabil: blau; schwach stabil: grün). Für diese Auswertung wurde nur das Zeitfenster 05 bis 22 Uhr berücksichtigt.