

**Interzeption von Wasser und reaktivem Stickstoff  
in Fichtenbeständen  
entlang eines Höhengradienten im  
Nationalpark Bayerischer Wald**



Integrated Monitoring Programm  
an der  
Messstelle Forellenbach  
im  
Nationalpark Bayerischer Wald

Projektnummer 24314

**Interzeption von Wasser und reaktivem Stickstoff in  
Fichtenbeständen entlang eines Höhengradienten im  
Nationalpark Bayerischer Wald**

von

Burkhard Beudert und Wilhelm Breit

Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald  
Sachgebiet IV

Im Auftrag des  
Umweltbundesamtes

August 2015

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildungen und Tabellen   | 1  |
| 1 Einleitung   | 2  |
| 2 Standort und Methoden  | 3  |
| 3 Ergebnisse und Diskussion  | 5  |
| 3.1 Nebelindikation und Sichtweite   | 5  |
| 3.1.1 Nebeltage und Nebelstunden   | 5  |
| 3.1.2 Sichtweite im Nebel  | 7  |
| 3.2 Eintrag von Wasser in Fichtenaltbestände entlang des Höhengradienten                           | 8  |
| 3.3 Stickstoffdeposition an Hochlagenstandorten  | 11 |
| 3.3.1 Wet-only- versus bulk-Messungen zur Deposition im Freiland                                   | 11 |
| 3.3.2 Konzentrationen und Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen                              | 12 |
| 3.4 Chemische Zusammensetzung von Nebel- und Wolkenwasser  | 16 |
| 3.4.1 Probevolumina und analytische Qualität   | 16 |
| 3.4.2 Stickstoffkonzentrationen  | 17 |
| 3.5 Abschätzung der Beiträge verschiedener Depositionspfade zum Stickstoffeintrag in Fichtenwälder | 19 |
| 4 Zusammenfassung  | 21 |
| Literatur  | 23 |
| Anhang   | 25 |

## Abbildungen und Tabellen

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Abb. 1   | Übersichtskarte zur Lage des Großen Falkensteins (1315 ü. NN, Dreieck) und des Forellenbachgebietes im Einzugsgebiet der Großen Ohe.   | 3  |
| Abb. 2:  | Anzahl Nebeltage (% Monat) am Großen Arber (1436 m ü. NN) und in 40 m Höhe am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013.   | 5  |
| Abb. 3:  | Termine mit Nebel (% der Messtermine/Monat) am Großen Arber (1436 m ü. NN) und in 40 m Höhe am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013. Zum Vergleich die Werte am Großen Falkenstein (1314 m ü. NN) im Jahr 1955.   | 6  |
| Abb. 4:  | Mittlere Anzahl der Termine mit Nebel pro Monat (linke Ordinate) am Großen Arber (GA, 1436 m ü. NN) und am Messturm Schachtenau (MT, 807 m ü. NN) in 40 m Höhe sowie mittlere Sichtweite während dieser Termine (rechte Ordinate) in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013.  | 7  |
| Abb. 5:  | Box-Whisker-Plots des Kronendurchlasses unter Fichte (mm) in Gipfellage (1310 m ü. NN) und am Oberhang (1192 m ü. NN).   | 8  |
| Abb. 6:  | Kronendachbilanz (Kronendurchlass - Freilandniederschlag) von Fichtenbeständen in Gipfellage (1310 m ü. NN), am Oberhang (1192 m ü. NN) und am Unterhang (787 m ü. NN).  | 9  |
| Abb. 7:  | Links: Stoffspezifische Konzentrations-Quotienten der bulk-Deposition am Großen Falkenstein (FS bulk) und der bulk-Deposition am Ruckwiesberg (HR bulk) zur wet-only-Deposition (FS wet-only) am Großen Falkenstein.<br>Rechts: Streudiagramm der Cl <sup>-</sup> -Quotienten auf die Na <sup>+</sup> -Quotienten (bulk/wet-only) der Einzelproben am Großen Falkenstein im Jahr 2013. | 11 |
| Abb. 8:  | Konzentrationen reaktiver Stickstoffverbindungen im Kronendurchlass, im wet-only-Sammler und bulk-Sammler am Großen Falkenstein und in Oberhanglage am Ruckwiesberg.   | 12 |
| Abb. 9:  | Oben und Mitte: standardisierte Stoffkonzentrationen im Kronendurchlass (Kleinbuchstaben: Sammlerpositionen) am Großen Falkenstein und am Ruckwiesberg. Rechts: Korrelationskoeffizienten der standardisierten Konzentrationen im Kronendurchlass.   | 13 |
| Abb. 10: | Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen unter Fichte, im wet-only-Sammler und bulk-Sammler am Großen Falkenstein und in Oberhanglage am Ruckwiesberg.  | 14 |
| Abb. 11: | Box-Whisker-Plots der N-Konzentrationen (2012 und 2013) in den Proben der Nebelharfen am Großen Falkenstein (FS) und am Ruckwiesberg (HR).   | 17 |
| Abb. 12: | Doppellogarithmische Auftragung der NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Konzentrationen auf die NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Konzentrationen (µeq/l) im Wasser des Nebelfängers am Großen Falkenstein (links) und am Ruckwiesberg (rechts).   | 18 |
| Abb. 13: | Gemessene N-Depositionsraten (TNb, Summe der beiden Messkampagnen) im Freiland und in Fichtenbeständen in Gipfellage (1310 m ü. NN), am Oberhang (1192 m ü. NN) und am Unterhang (787 m ü. NN).  | 19 |
| Tab. 1:  | Anzahl, Volumina und Ladungsbilanzen der Proben aus der Nebelharfe am Großen Falkenstein und am Ruckwiesberg.  | 16 |
| Tab. 2:  | Ableitung der erforderlichen N-Konzentration im Nebel- und Wolkenwasser, um die gesamte Interzeptionsdeposition ID bzw. die feuchte Deposition CW in den Fichtenbeständen in Gipfellage (1310 m ü. NN) und am Oberhang (1192 m ü. NN) mit dem Nebel- und Wolkenwassereintrag abzubilden (2012 und 2013).   | 20 |

# 1 Einleitung

Die Belastung des Forellenbachgebiets mit reaktiven Stickstoffverbindungen ist nach einem leichten Rückgang zu Beginn der 1990er Jahre seither auf wenig verändertem Niveau verblieben (BEUDERT und BREIT 2010). Dies entspricht der Gesamtsituation in Mitteleuropa, dass die Reduktion der Stickstoffemissionen und -einträge in den letzten 20 Jahren der mehr als 90%igen Reduktion beim Schwefel (UBA 2015) nicht folgen konnte. Die Risiken hoher Stickstoffeinträge liegen vornehmlich in der Eutrophierung, die zu Veränderungen im Arteninventar der Biozönosen und in der Biodiversität führen und nachteilige Veränderungen der Ökosystemfunktionen herbeiführen kann. Für die hochmontanen Waldlebensraumtypen des Forellenbachgebiets auf saurem Ausgangsgestein liegen die kritischen N-Einträge bei 10 - 15 kg N ha<sup>-1</sup>, für Grasland-, Strauch- und Moorlebensräume in Tal- und Hochlagen wie auch saure Karseen bei 3 - 10 kg N ha<sup>-1</sup> (BOBBINK and HETTELINGH 2011). Diese Critical Loads werden in den Wäldern durch die Bestandesdeposition, in den anderen Lebensräumen durch die Freilanddeposition überschritten.

Im September 2011 wurde ein begrenztes Messprogramm auf dem Gipfel des Großen Falkenstein (1315 m ü. NN) im Nationalpark Bayerischer Wald gestartet (BEUDERT und BREIT 2012), 2012 auf einen Oberhangstandort (1192 m ü. NN) am benachbarten Ruckwiesberg ausgeweitet (BEUDERT und BREIT 2013) und bis Ende 2013 weitergeführt. Es beinhaltet neben dem klassischen Depositionsmonitoring im Wald mit Freiland- und Bestandesniederschlag auch die Sammlung von Nebel- und Wolkenwasser, jeweils begrenzt auf die schneefreie Zeit von Juni bis November.

In den nachfolgenden Ausführungen werden die Ergebnisse zum Eintrag von Wasser über Regenniederschlag und Wolkenauskämmung und zur stofflichen Beschaffenheit dieser Wässer für die Jahre 2012 und 2013 gemeinsam vorgestellt und diskutiert. Diese dienen der Abschätzung des Stickstoffeintrags insbesondere über die feuchte Deposition.

Zur weiteren Absicherung der dahinter stehenden Annahmen wurden die Daten zur Sichtweite am Großen Arber (1435 m ü. NN, Deutscher Wetterdienst), einem Nachbar-gipfel des Großen Falkenstein, ausgewertet und mit den Daten vom Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) im Forellenbachgebiet verglichen.

## 2 Standort und Methoden

Alle Standorte des Integrierten Ökosystem-Monitorings sind ausführlich beschrieben in BEUDERT und BREIT (2004), die zusätzlichen Standorte am Großen Falkenstein und dem benachbarten Ruckwiesberg in BEUDERT und BREIT (2012, 2013).

Der Große Falkenstein ( $49^{\circ}05'30''\text{N}$ ,  $13^{\circ}16'48''\text{E}$ ) liegt im Landkreis Regen und erhebt sich mit sehr steilen südlich und westlich exponierten Hängen am nördlichen Ende des Nationalparkgebietes auf eine Höhe von 1315 m ü. NN (Abb. 1). Er ragt gegen Westen deutlich über die Gipfel des Vorderen Bayerischen Waldes (bis 1100 m ü. NN) hinaus. Die Distanz zum Forellenbachgebiet (Messsturm Schachtenau) beträgt etwa 18 km.

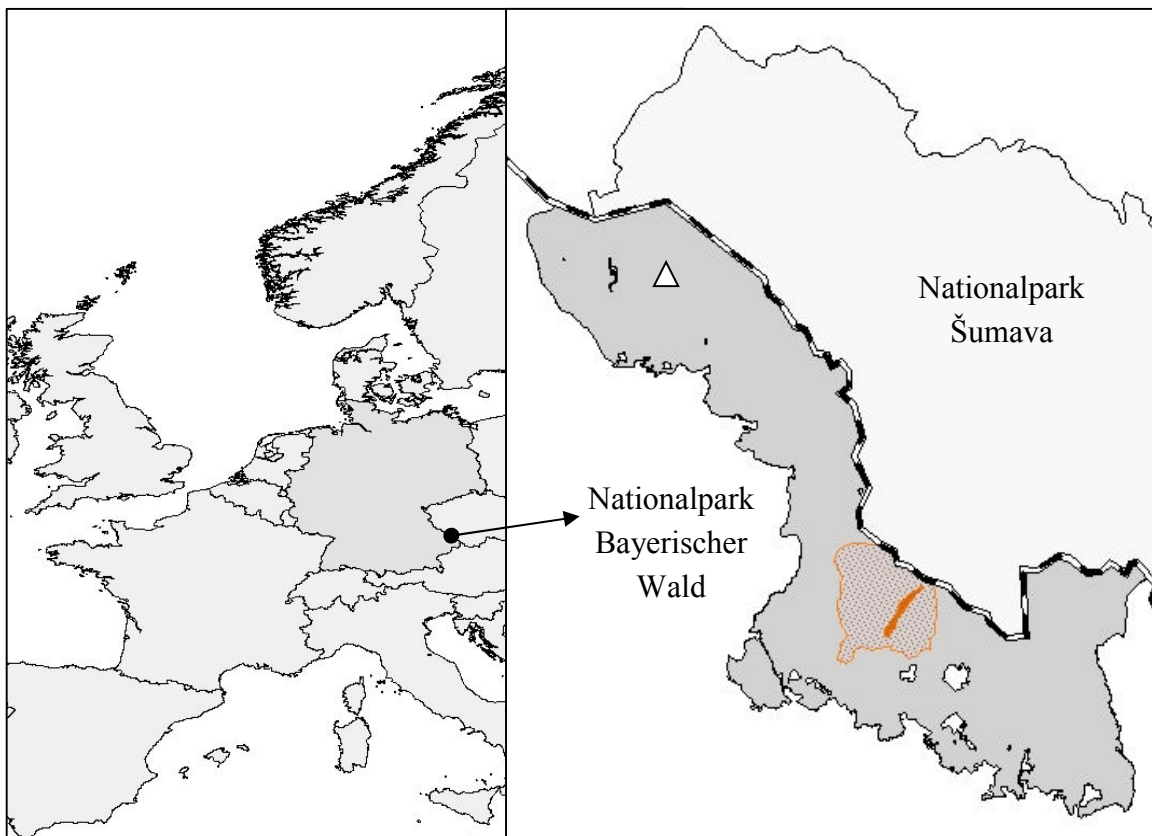


Abb. 1 Übersichtskarte zur Lage des Großen Falkensteins (1315 m ü. NN, Dreieck) und des Forellenbachgebietes im Einzugsgebiet der Großen Ohe.

Die Positionen der Messplätze für die Untersuchungen zur feuchten Deposition am Großen Falkenstein und zur strukturellen Heterogenität in Fichtenbeständen bezüglich atmosphärischer Stoffeinträge und Stoffumsetzungen sind in den Tabellen 1 und 2 im Anhang aufgeführt. Die Bestandesstrukturen und das Messdesign in den Beständen relativ zur Überschirmung können den Abbildungen 1 – 4 des Anhangs entnommen werden.

Die Verfahren zur Probenahme- und Aufbereitung, der chemischen Analyse und die Berechnungs- und Auswerteverfahren des Integrierten Ökosystem-Monitorings sind in BEUDERT und BREIT (2004) dargelegt. Die speziellen Verfahren im Zusammenhang mit der Gewinnung von nicht sedimentierendem Niederschlag am Großen Falkenstein und dem benachbarten Ruckwiesberg sind in BEUDERT und BREIT (2012, 2013) beschrieben.

## **Sichtweitenmessung**

Am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) im Forellenbachgebiet wurde in 40 m Höhe ein Sichtweitenmessgerät des Typs PWD10 der Firma VAISALA installiert, um Klarheit über Häufigkeit, Dauer und Intensität von Nebel an diesem Standort zu erlangen. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der optischen Vorwärtsstreuung im Sichtweitenmessbereich zwischen 0 und 2000 m. Die Messwerte werden in Abständen von zwei Minuten aufgezeichnet und je nach Fragestellung zu größeren zeitlichen Einheiten aggregiert.

Sichtweiten bis 1000 m werden allgemein (<http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon>, <http://amsglossary.allenpress.com/glossary>) als Nebel bezeichnet. Die Bezeichnung Nebel meint im weiteren Gebrauch grundsätzlich Nebel und Wolken, da Wolken, welche die Erdoberfläche berühren, definitionsgemäß als Nebel beschrieben werden. Am Standort Großer Falkenstein auf 1314 m ü. NN bestehen die meisten Nebel aus den von Südwesten bis Nordwesten herangeführten Wolken oder entstehen beim Aufstieg von Luftmassen als orographische Nebel, wenn durch Abkühlung der Sättigungsdampfdruck erreicht wird und Kondensation einsetzt.

Die Klassifizierung Nebel erfolgt ausschließlich aufgrund der Sichtweite. Am Gipfelstandort Großer Falkenstein ist Niederschlag mit Nebel das dominierende Phänomen. Um 1050 m ü. NN machen Nebel ohne Niederschlag bzw. Niederschlag ohne Nebel noch etwa 50% aller Beobachtungen aus; bis zum Gipfel reduziert sich dieser Anteil auf 30% (BAUMGARTNER 1958). Für die Klassifizierung „Nebeltag“ genügt eine einzige Nebelbeobachtung pro Tag an den festgelegten Beobachtungszeiten.

An der bemannten Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes am benachbarten Großen Arber (1436 m ü. NN), der für die Bedingungen am Großen Falkenstein steht, erfolgt die Feststellung der Sichtweite jeweils 10 Minuten vor der vollen Stunde, beginnend um 4:50 MEZ und endend um 19:50 MEZ. Die Daten wurden dankenswerterweise vom Regionalbüro München des DWD zur Verfügung gestellt.

Um die Vergleichbarkeit bezüglich der Anzahl der Nebeltage und Nebelstunden pro Nebeltag und anderer Parameter herzustellen, wurden aus den Aufzeichnungen am Messturm nur diejenigen Daten weiter verwendet, die zu denselben Messzeiten wie am Großen Arber erhoben worden waren. Damit entfallen alle Messungen in den acht Nachtstunden, die aufgrund der Temperaturabsenkung und insbesondere in Gipfelage häufig Nebel hervorrufen (BAUMGARTNER 1958). Trotz der unterschiedlichen Distanzauflösung der Messverfahren wurden die Messwerte zur Berechnung der mittleren Sichtweite unmittelbar herangezogen, weil die Minima mit 20 m und 39 m gleich waren und das Maximum mit 1000 m definiert ist.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Nebelindikation und Sichtweite

##### 3.1.1 Nebeltage und Nebelstunden

Die Anzahl der Nebeltage betrug in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013 am Großen Arber 217 bzw. 253 Tage. Die Verteilung über die Monate ergab eine große mittlere Häufigkeit von 90% bis 84% in den Monaten Dezember bis Februar (Abb. 2) und geringere Werte zwischen 67% im April und 39% im August.

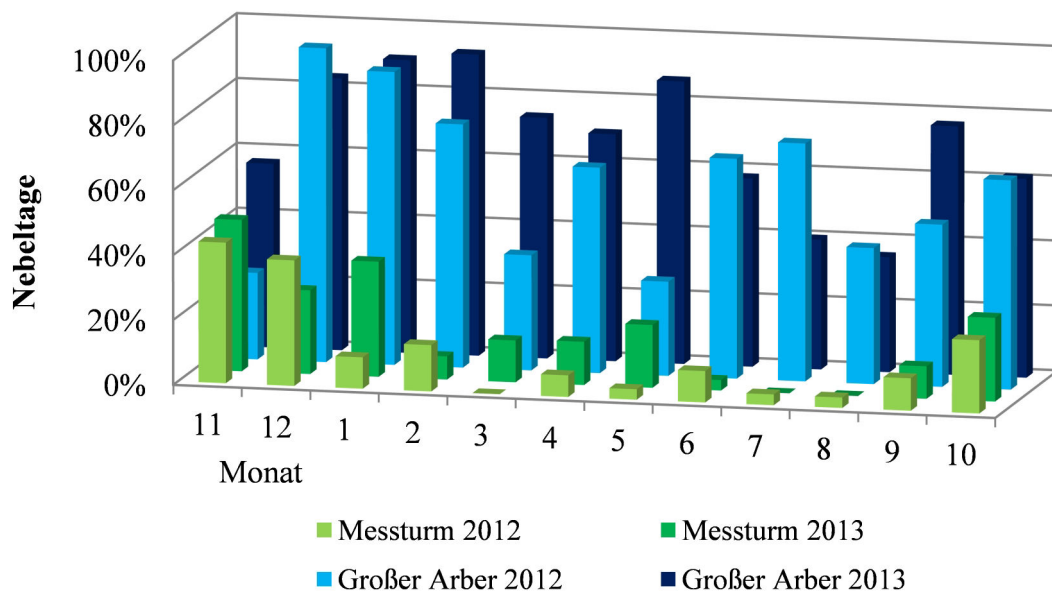


Abb. 2: Anzahl Nebeltage (% Monat) am Großen Arber (1436 m ü. NN) und in 40 m Höhe am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013.

Dies entspricht dem Mittelwert der Jahre 1994 bis 2000 mit 233 Nebeltagen pro Jahr sehr genau (BŁAŚ and SOBIK 2004). Der Große Arber gehört damit in die Reihe der nebelreichen Gipfel der mitteleuropäischen herzynischen Gebirge wie Brocken (284 Tage), Fichtelberg (261 Tage), Feldberg (250 Tage) und Waldstein (186 Tage) (BŁAŚ and SOBIK 2004). Am Messturm Schachtenau wurden lediglich 50 bzw. 61 Nebeltage registriert. Dies sind ähnlich wenige wie an der nahen Station Churanov (74 Tage, 1126 m ü. NN), die sich wenig exponiert östlich der Kammlinie des Inneren Bayerischen Waldes/Böhmerwaldes befindet. Messturm Schachtenau wie Churanov weisen auf die Unterschiede zwischen Kammlage und Hanglagen hin. Die mittlere Verteilung über die Monate ergibt dann am Messturm Schachtenau auch nur maximale Häufigkeiten von 45% bis 23% zwischen Oktober und Januar und entsprechend deutlich geringere Werte in den übrigen Monaten (<12%), insbesondere im Juli und im August (2%).



Ungeachtet der Unterschiede zwischen den Jahren, die an beiden Stationen ähnlich zu Tage traten, resultierten Abweichungen in der zeitlichen Verteilung aus dem Auftreten und der Häufigkeit von Inversionswetterlagen mit geringen Sichtweiten in den Lagen von 700 - 1100 m ü. NN, von denen der Gipfel des Großen Arber dann verschont blieb. Dies war besonders markant im niederschlagsfreien November 2011 (Abb. 2), mit mehr Nebeltagen am Messturm Schachtenau (43%) als am Großen Arber (27%). Die Bedeutung derartiger Inversionswetterlagen für die Stoffdeposition im Hochlagen-Fichtenwald war in BEUDERT und BREIT (2012) thematisiert worden.

Deutlich genauere Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß horizontaler Wassereinträge in Fichtenwälder lassen sich der relativen Häufigkeit von Nebel zu den Beobachtungsterminen entnehmen. Nebel wurde am Großen Arber im Mittel bei 2436 Messungen pro Jahr festgestellt, entsprechend 42% aller Termine. Dieser Anteil war in den Monaten Dezember bis Februar mit 73% bis 69% groß, von März bis November mit 34% bis 19% deutlich geringer (Abb. 3). Dies entspricht der Saisonalität der Nebeltage, wobei die innerjährliche Verteilung zwischen den Jahren durchaus sehr unterschiedlich sein kann, insbesondere von März bis November.

Die grundsätzliche Eignung der Messungen am Großen Arber für die Abschätzung der Nebelsituation am Großen Falkenstein demonstrieren die mittleren Werte des Jahres 1955 an der damaligen Station des DWD auf dem Großen Falkenstein (Abb. 3). Der Anteil der Nebeltermine pro Jahr war mit 34% etwas kleiner als am Großen Arber in den Jahren 2012 (38%) und 2013 (46%), die saisonale Verteilung war gleich.

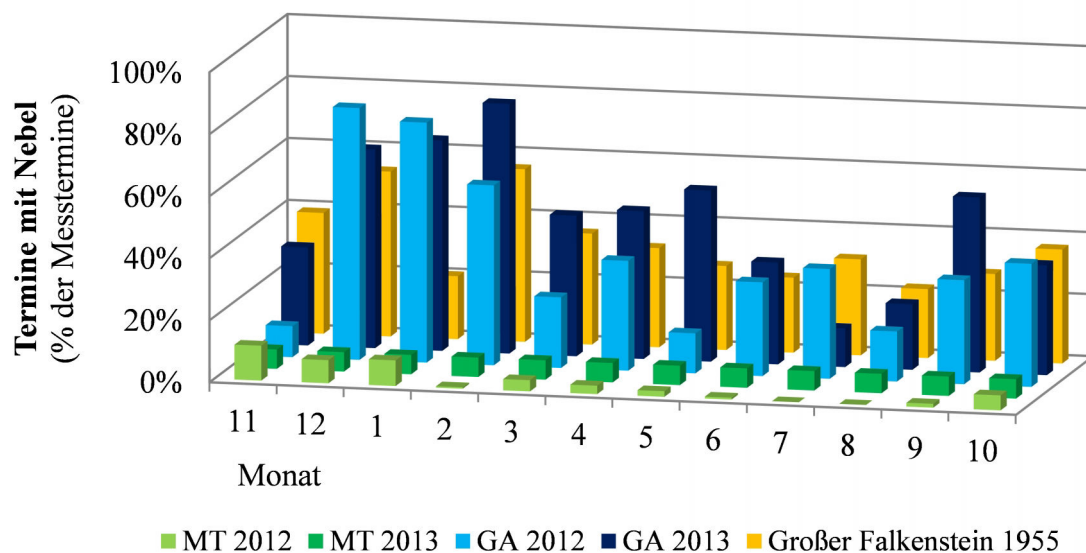


Abb. 3: Termine mit Nebel (% der Messtermine/Monat) am Großen Arber (1436 m ü. NN) und in 40 m Höhe am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013. Zum Vergleich die Werte am Großen Falkenstein (1314 m ü. NN) im Jahr 1955 (24 Termine/Tag, BAUMGARTNER 1958).

Am Messturm Schachtenau wurden im Mittel an 195 Terminen pro Jahr Nebel festgestellt, entsprechend 3% aller Termine. Von Oktober bis Januar (Abb. 3) war der Anteil der Nebelmessungen bei 6% bis 9%, zwischen Februar und September bei 3% bis 5%. Im Mittel enthielt ein Nebeltag zehn Nebeltermine (65%) am Großen Arber und vier Nebeltermine (22%) am Messturm Schachtenau (Tab. 3, Anhang).

### 3.1.2 Sichtweite im Nebel

Die mittlere Sichtweite zu den Zeitpunkten der Nebeldetektion (Abb. 4) variierte am Großen Arber nur wenig zwischen den Monaten, trotz der starken Unterschiede bei der Anzahl der Nebelmessungen. Sie lag zwischen 77 m (Dezember) und 130 m (Juli), wobei die minimale Sichtweite bei 20 m lag. Am Messturm Schachtenau dagegen war neben der geringen Anzahl an Terminen mit Nebeldetektion (maximal 54 Stunden im November) auch die mittlere Sichtweite deutlich abweichend von den Verhältnissen am Großen Arber. Sie variierte zwischen 191 m (November) und 425 m (Februar), wenn der Minimalwert im August von 67 m Sichtweite unberücksichtigt bleibt, weil nur zwei Nebelbeobachtungen in den zwei Jahren dahinterstehen. Die minimale Sichtweite lag hier bei 39 m.

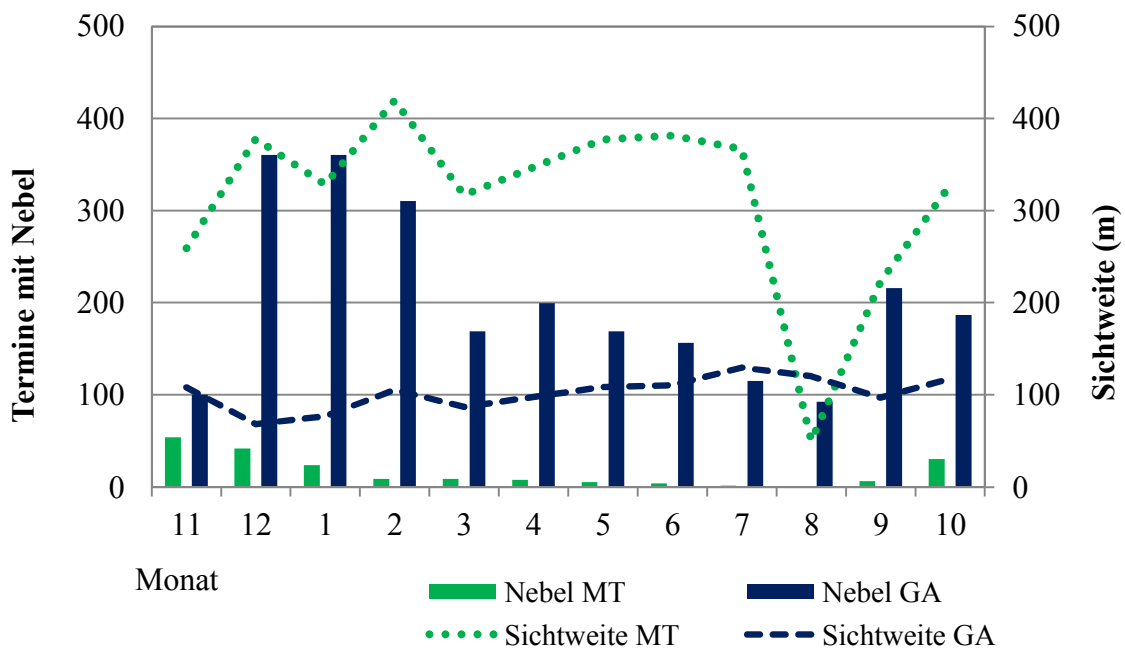


Abb. 4: Mittlere Anzahl der Termine mit Nebel pro Monat (linke Ordinate) am Großen Arber (GA, 1436 m ü. NN) und am Messturm Schachtenau (MT, 807 m ü. NN, in 40 m Höhe) sowie mittlere Sichtweite während dieser Termine (rechte Ordinate) in den hydrologischen Jahren 2012 und 2013.

Die Unterschiede zwischen dem Messturm Schachtenau (Unterhanglage) und dem Großen Arber (Gipfellation) sind groß. Neben dem Anteil an Nebelterminen pro Jahr (3% versus 42%) ist auch die Anzahl der Nebeltermine pro Nebeltag am Messturm Schachtenau (22%) deutlich kleiner als am Großen Arber (65%). Zudem verdeutlicht die mittlere Sichtweite (284 m versus 96 m), die maßgeblich vom Flüssigwassergehalt des Nebels (indirekt

proportional) bestimmt wird (STOELINGA and WARNER 1999), die geringe Bedeutung des zusätzlichen Wassereintrags aus der Nebel- und Wolkeninterzeption in Unterhanglage und die große Bedeutung am Gipfel.

Dieser Sachverhalt ist die wesentliche Basis für die Abschätzung der Deposition und der Depositionspfade von Stickstoffverbindungen in den nachfolgenden Kapiteln.

### 3.2 Wassereintrag in Fichtenbestände entlang des Höhengradienten

Die Freilandniederschläge am Gipfel des Großen Falkenstein (wet-only) und am Oberhang des Ruckwiesberg (bulk) waren im Jahr 2012 mit 493 und 496 mm und im Jahr 2013 mit 714 und 731 mm praktisch gleich, während am Unterhang mit 410 bzw. 658 mm geringere Summen gemessen wurden (Abb. 5). Dies entspricht dem mehrfach beschriebenen Höhengradienten im Untersuchungsgebiet, der sich aus der Orographie ergibt (TEICHMANN 1984, BEUDERT und BREIT 1997, KLÖCKING et al. 2005). Die Gleichheit der Niederschlagssummen an Gipfel und Oberhang widerspricht dem nicht. Bereits BAUMGARTNER (1958) stellte fest, dass die Niederschlagsmengen auf Freiflächen im Gipfelbereich des Großen Falkenstein kleinräumig stark variieren. Auf der Verebnungsfläche (1308 m ü. NN) unmittelbar hinter dem Gipfelkamm (1312 m ü. NN), auf der auch die vorliegenden Messungen stattfanden, wurden deutlich niedrigere Niederschlagsmengen als auf dem Gipfel gemessen (40% bzw. 176% des senkrechten Niederschlags).

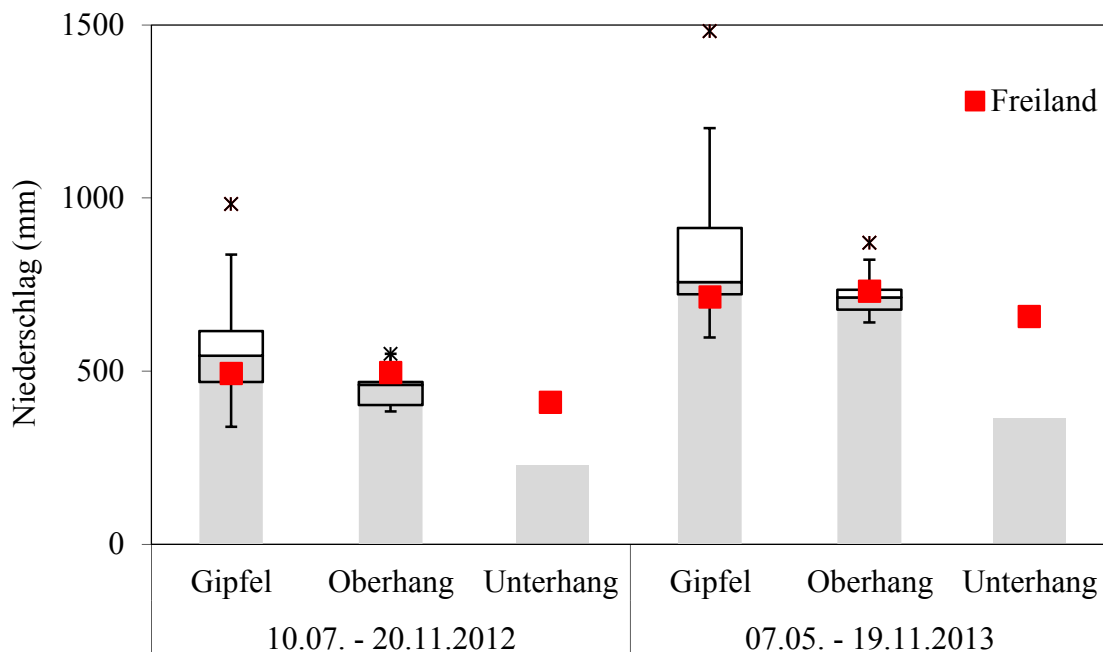


Abb. 5: Box-Whisker-Plots des Kronendurchlasses unter Fichte (mm) in Gipfellaage (1310 m ü. NN) und am Oberhang (1192 m ü. NN). Graue Säulen bezeichnen den Median des Kronendurchlasses aus Einzelbeprobungen, am Unterhang (787 m ü. NN) den berechneten Wert aus der gemeinsamen Beprobung aller Sammler. Gleiches gilt für die Niederschlagssummen auf unmittelbar benachbarten Freilandstationen (rotes Quadrat).

Die Verwendung von bulk-Sammlern ist unter den gegebenen Umständen als geeignet anzusehen. Die Mengenunterschiede zu dem am Gipfel des Großen Falkenstein parallel betriebenen wet-only-Sammler sind mit -20 mm (2012) und +5 mm (2013) marginal. Die Niederschlagssummen unter dem Kronendach von Fichten waren im Bestand am Gipfel mit 545 und 757 mm (2012, 2013) etwas größer als im Bestand am Oberhang (460 und 713 mm), während sich ihre Variabilität, erkennbar an den „Whisker“ in Abb. 5, markant unterschied. Die Spannweite der Niederschlagssummen zwischen den acht Sammlern am Gipfel war sowohl 2012 als auch 2013 mit 643 mm bzw. 885 mm größer als der jeweilige Median oder Mittelwert der Ergebnisse (Abb. 5, Anhang). Dies verdeutlicht die kleinräumige strukturelle Heterogenität des Kronendachs: neben schwach, durchschnittlich und stark übershirmten stammnahen Positionen treten auch sogenannte Tropfpunkte auf (HOLWERDA et al. 2006, siehe Sammlerposition c in Abb. 1 und Abb. 5 im Anhang), an denen sich das von Ästen zweier oder mehrerer Bäume ablaufende Wasser konzentriert. ZIEGLER et al. (2008) fanden bei ihren Untersuchungen in einem thailändischen Regenwald, dass dieses Phänomen an etwa 15% der Messplätze, dabei durchaus nicht immer an denselben Messplätzen, und bei fast allen Niederschlagsereignissen auftritt. Demgegenüber lag die Spannweite der Niederschlagssummen zwischen den fünf Sammlern am Oberhang mit 160 bzw. 223 mm in beiden Jahren bei einem Drittel der Mediane und Mittelwerte und bei einem Viertel der Spannweite am Gipfel.

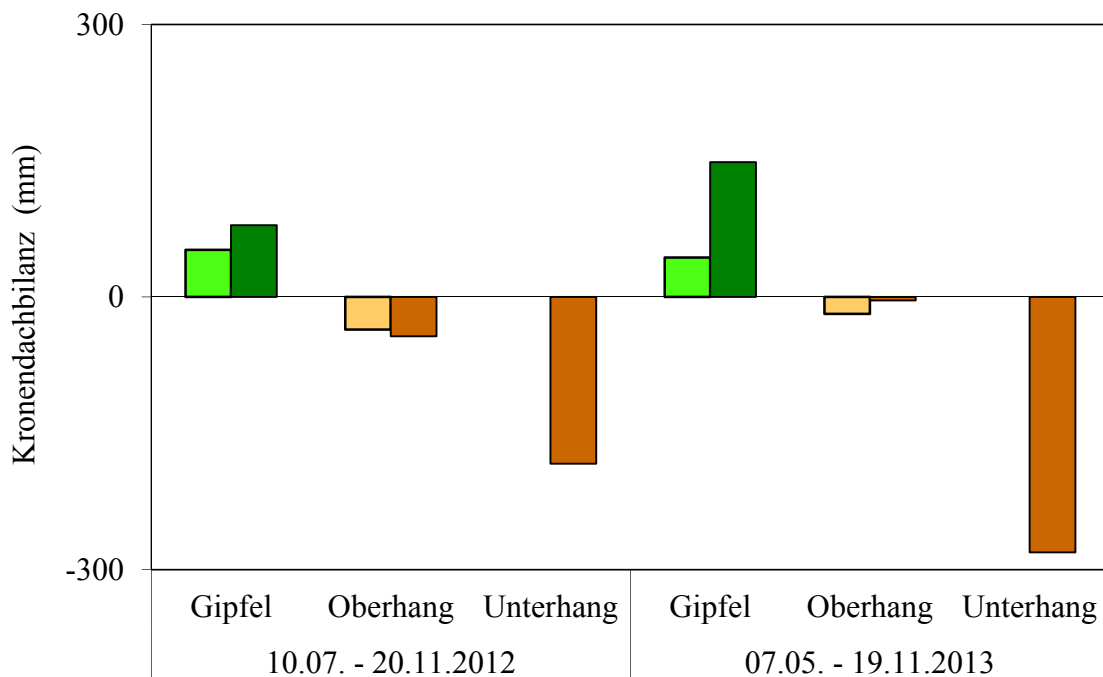


Abb. 6: Kronendachbilanz (Kronendurchlass - Freilandniederschlag) von Fichtenbeständen in Gipfellage (1310 m ü. NN), am Oberhang (1192 m ü. NN) und am Unterhang (787 m ü. NN). Negative Werte bedeuten Interzeptionsverluste, positive Interzeptionsgewinne. Helle Farbtöne bezeichnen den Median, dunkle Farbtöne den Mittelwert.

Der Fichtenaltbestand am Unterhang zeichnet sich dagegen durch vergleichsweise geringe Summen im Kronendurchlass von 227 (2012) und 377 mm (2013) aus, die auf beträchtliche Verdunstungsverluste von den Kronenoberflächen von 183 und 281 mm zurückzuführen sind (Abb. 6). In Oberhanglage ist die mediane Kronendachbilanz mit -36 mm (2012) bzw. -18 mm (2013) annähernd ausgeglichen, wobei die Unterschiede zur Nutzung des Mittelwerts (-43 mm bzw. -4 mm) marginal sind.

Im Fichtenaltbestand am Gipfel ergab die Kronendachbilanz (Abb. 6) Interzeptionsgewinne von 52 mm (2012) und 43 mm (2013), wobei bei Verwendung des Mittelwerts beträchtlich größere Werte entstehen (79 mm bzw. 148 mm), die auf das außerordentlich hohe, aber verifizierte Ergebnis des Sammlers c (siehe BEUDERT und BREIT 2012, 2014) zurückzuführen sind. Eingang in die weiteren Betrachtungen fanden daher die Mediane aus den hochgelegenen Untersuchungsbeständen als konservative Schätzwerte.

Aus den vorgestellten aggregierten Ergebnissen lässt sich, mit folgenden Annahmen, das Ausmaß der Auskämmung von Nebel- und Wolkenströpfchen plausibel abschätzen:

- a) Zusätzlicher Wassergewinn aus Nebel- und Wolkenauskämmung ist im Fichtenbestand in Unterhanglage bedeutungslos (ELLING et al. 1987). Die negative Kronendachbilanz ist allein der Interzeptionsevaporation in die Atmosphäre zuzuordnen.
- b) Die Interzeptionsevaporationsrate des Fichtenbestands am Unterhang kann als quantitative Annäherung an die Interzeptionsverluste in Oberhang- und Gipfellage angesehen werden. Mit der Geländehöhe zunehmende Niederschläge, Oberflächenbefeuchtung und höhere direkte Einstrahlung aber auch höhere Windgeschwindigkeiten kompensieren die geringeren Temperaturen bezüglich der Wasserdampfabgabe an die Atmosphäre. Ein Argument für die Richtigkeit dieser Annahme sind sehr ähnliche Gebietsverdunstungsraten im Hochlageneinzugsgebiet Markungsgraben, im tiefer gelegenen Forellenbachgebiet und im übergeordneten Einzugsgebiet der Großen Ohe von 600 – 650 mm a<sup>-1</sup> vor Eintritt flächenhafter Störungen durch Borkenkäferbefall (KLÖCKING et al. 2005).

Demnach ermittelt sich die Summe des nicht sedimentierten Niederschlags  $HN$ , also dem Eintrag an Wasser durch Auskämmung/Impaktion von Tröpfchen aus der Atmosphäre, nach

$$HN_X = TF_X - FN_X - (TF - FN)_{UH} \quad X = G, OH \quad (1)$$

mit Kronendurchlass  $TF$  und Freilandniederschlag  $FN$  am Gipfel  $G$  und am Oberhang  $OH$  und Interzeptionsverdunstung des Fichtenbestands am Unterhang  $(TF - FN)_{UH}$ .

Für den Fichtenbestand in Oberhanglage ergibt sich daraus eine ausgekämmte Wassermenge von 148 mm (2012) und 263 mm (2013), für den Fichtenbestand am Gipfel von 235 mm und 324 mm. In Anbetracht der maximal halbjährigen Dauer der Messkampagnen lassen sich daraus horizontale Niederschlagsraten von etwa 300 - 600 mm a<sup>-1</sup> abschätzen.

### 3.3 Stickstoffdeposition an Hochlagenstandorten

#### 3.3.1 Wet-only- versus bulk-Messungen zur Deposition im Freiland

Im Jahr 2013 wurden am Gipfel des Großen Falkenstein Vergleichsmessungen zum Einfluss des verwendeten Sammlers auf die Stoffdeposition im Freiland durchgeführt. Im Hinblick auf die Messungen am Ruckwiesberg, die mit bulk-Sammlern vorgenommen wurden, sollte geprüft werden, ob die Verwendung von bulk- statt wet-only-Sammlern zu wesentlichen Abweichungen bezüglich der Stickstoffdeposition im Freiland führt.

Am Gipfel des Großen Falkenstein (FS bulk) unterscheidet sich die aufgefangene Niederschlagsmenge bei einem Quotienten von 1,0 nur um weniger als fünf Prozent zwischen den Sammlertypen (Abb. 7 links). Die sauren Komponenten ( $H^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ) und die analysierten Stickstoffparameter weisen Quotienten zwischen 0,9 und 1,1 auf, wobei die Abreicherung bei  $NH_4^+$  (0,9), vermutlich zugunsten von  $NO_3^+$  (1,1) und DON, auf biologische Umsetzungen in den permanent offenen Auffanggefäßen hinweist. Die Nährstoffkationen sind mit 1,2 ( $Ca^{2+}$ ) bis 1,7 ( $Mn^{2+}$ ) stärker angereichert, wobei die ebenso starke Anreicherung beim DOC (1,5) die gemeinsame Herkunft aus dem Kronenraum zumindest eines Teils dieser Kationen (Re-Insertion) wahrscheinlich macht.

|         | DOC | Ca  | K   | Mg  | Mn  | Na  | Cl  |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| FS bulk | 1,5 | 1,2 | 1,6 | 1,4 | 1,7 | 2,3 | 2,0 |
| HR bulk | 1,2 | 1,0 | 1,8 | 1,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |

|         | $SO_4$ | $NH_4$ | $NO_3$ | TNb | H   | Menge |
|---------|--------|--------|--------|-----|-----|-------|
| FS bulk | 1,1    | 0,9    | 1,1    | 1,0 | 1,0 | 1,0   |
| HR bulk | 1,1    | 1,0    | 1,1    | 1,1 | 1,1 | 1,1   |

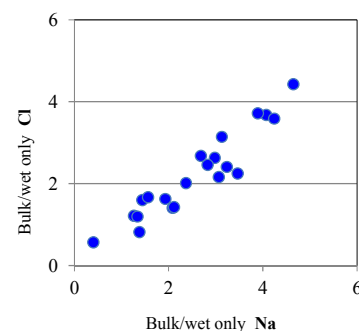


Abb. 7: Links: Stoffspezifische Konzentrations-Quotienten der bulk-Deposition am Großen Falkenstein (FS bulk) und der bulk-Deposition am Ruckwiesberg (HR bulk) zur wet-only-Deposition (FS wet-only) am Großen Falkenstein. Rechts: Streudiagramm der  $Cl^-$ -Quotienten auf die  $Na^+$ -Quotienten (bulk/wet-only) der Einzelproben am Großen Falkenstein im Jahr 2013.

Außer bei  $Na^+$  und  $Cl^-$  liegen alle Quotienten im Bereich von einer Standardabweichung um die von GAUGER et al. (2008) berichteten Mittelwerte.  $Na^+$  und  $Cl^-$  sind eng korreliert ( $p < 0,001$ ) und ähnlich stark angereichert (2,3 bzw. 2,0), was für ihre gemeinsame Herkunft aus dem sea spray des Atlantiks sprechen sollte. Auch die Auftragung der bulk/wet-only-Quotienten von  $Cl^-$  auf die Quotienten von  $Na^+$  in den Einzelproben (Abb. 7 rechts) zeigt die durchgehend sehr enge Zusammengehörigkeit dieser Ionen ( $p < 0,001$ ). Welche zusätzlichen Quellen oder Prozesse hinter diesem einheitlichen, aber abweichenden Verhalten bei diesen Ionen stecken könnten, bleibt unklar. Abhängigkeiten der  $Na/Cl$ -Verhältnisse oder der bulk/wet-only-Quotienten von der Niederschlagsmenge liegen nicht vor. Gleiche Befunde (Abb. 7, links) liefern die bulk/wet-only-Quotienten am Ruckwiesberg (HR bulk).

Im Hinblick auf die Berechnung der Gesamtdeposition des reaktiven Stickstoffs mit Hilfe von Kronenraummodellen sind die hohen bulk/wet-only-Quotienten für  $\text{Cl}^-$  und  $\text{Na}^+$  unkritisch. Die sich daraus ergebenden Unterschiede in den N-Depositionsraten liegen bei weniger als einem Kilogramm Stickstoff pro Hektar (BEUDERT und BREIT 2014).

### 3.3.2 Konzentrationen und Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen

Die mittleren Konzentrationen des Gesamtstickstoff  $\text{TN}_b$  im Kronendurchlass sind am Ruckwiesberg (HR) mit  $1,9 \text{ mg l}^{-1}$  ( $\pm 0,3$ ) höher (Abb. 8) als am Großen Falkenstein (FS) mit  $1,7 \text{ mg l}^{-1}$  ( $0,3$ ). Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant, ebenso wenig wie bei den mittleren  $\text{NO}_3^-$  ( $0,8$  versus  $0,9 \text{ mg l}^{-1}$ ). Allerdings ist  $\text{NH}_4^+$  am Ruckwiesberg mit  $0,7 \text{ mg l}^{-1}$  ( $\pm 0,1$ ) hochsignifikant größer als am Großen Falkenstein, während DON hochsignifikant niedriger ( $0,3$  versus  $0,4 \text{ mg l}^{-1}$ ) ist. Beide Befunde deuten auf stärkere biochemische Umsetzungen des eingetragenen  $\text{NH}_4^+$  in den Kronen am Gipfel hin.

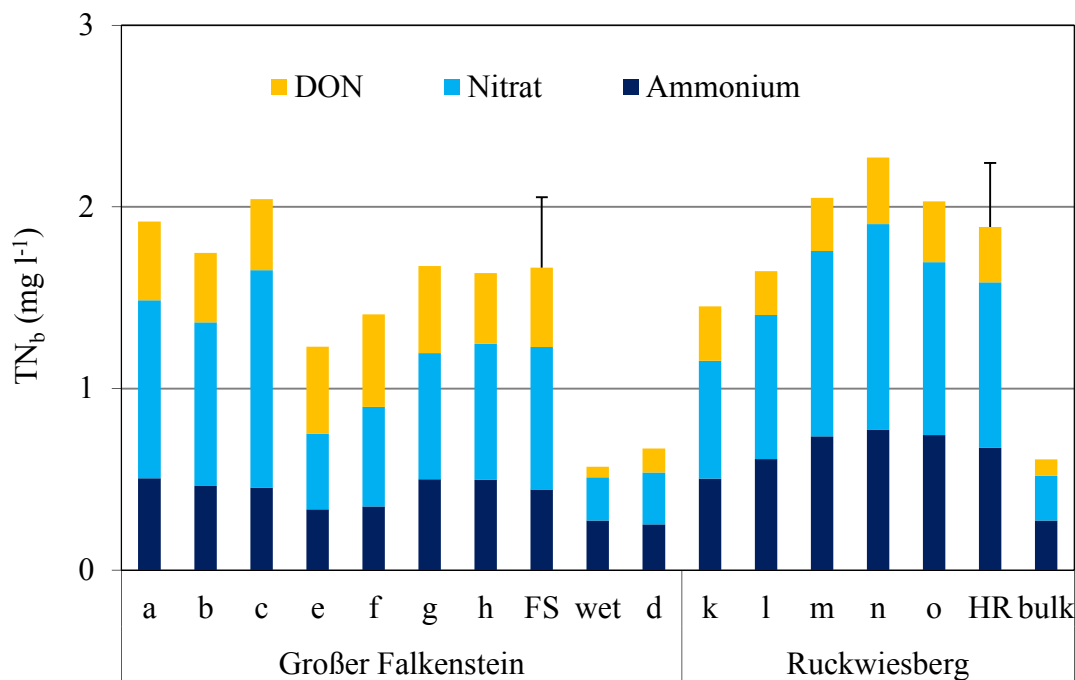


Abb. 8: Konzentrationen reaktiver Stickstoffverbindungen im Kronendurchlass (Kleinbuchstaben a – h und k – o: Sammlerpositionen), im wet-only-Sammler und bulk-Sammler am Großen Falkenstein und in Oberhanglage am Ruckwiesberg. FS und HR kennzeichnen die jeweiligen Mittelwerte ( $\pm s$ ) des Kronendurchlasses der Messungen 2012 und 2013.

Die Unterschiede im Konzentrationsmuster im Freilandniederschlag sind bei gemessenen Gesamtkonzentrationen von jeweils  $0,6 \text{ mg l}^{-1}$  minimal (Abb. 8). Insbesondere die minimalen und ähnlich hohen DON (und DOC) im wet-only- und bulk-Sammler sprechen für geringe Beeinflussung der bulk-Messungen durch Niederschlagswasser, das von Kronenoberflächen verdriftet ist.

Die Unterschiede zwischen den Sammlern sind in beiden Beständen beträchtlich, vor allem beim  $\text{NO}_3^-$ . Sie resultieren aus der räumlichen Heterogenität der Bestandesstrukturen, insbesondere der Kronenüberschirmung (siehe Abb. 1 – 3 im Anhang), die sich in der chemischen Komposition deutlich stärker als in der Niederschlagsmenge manifestiert. So liefert Sammler d die gleiche Gesamtkonzentration ( $0,7 \text{ mg l}^{-1}$ ) und dasselbe Konzentrationsmuster wie die Sammler im Freiland ( $0,6 \text{ mg l}^{-1}$ ), obwohl er in einer Bestandeslücke von wenigen Metern von 30 m hohen Fichten umgeben ist (siehe Abb. 2, Anhang). Dieser Befund gilt für alle untersuchten chemischen Parameter, insbesondere auch für DOC als Indikator für Umsetzungen im Kronenraum. Daher wurden die Ergebnisse von Sammler d von allen weiteren Auswertungen als Repräsentant des Kronendurchlasses ausgeschlossen, auch wenn Bestandeslücken natürliche Bestandteile eines Fichtenbestands sind.

Die Verteilung der Konzentrationen in standardisierter Form (Abb. 9) auf die Sammlerpositionen unter Fichtenschirm offenbart ein durchgehendes Muster und mindestens schwach signifikante korrelative Zusammenhänge für  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  sowie  $\text{NO}_3^-$ . Diese Stoffe sind weit überwiegend dem Eintrag aus der Atmosphäre zuzuordnen. Ihre Konzentrationen folgen der Variation der Wassermenge: überdurchschnittliche Mengen und Konzentrationen für die Positionen a und c, unterdurchschnittliche für die Positionen e und k. Aus diesem Befund des Gleichlaufs mit der Niederschlagsmenge und der Konzentrationserhöhung mit steigender Wassermenge lässt sich schließen, dass neben der Sedimentation weitere Eintragspfade für diese Stoffe bzw. für Wasser mit abweichenden Konzentrationen vorliegen müssen.

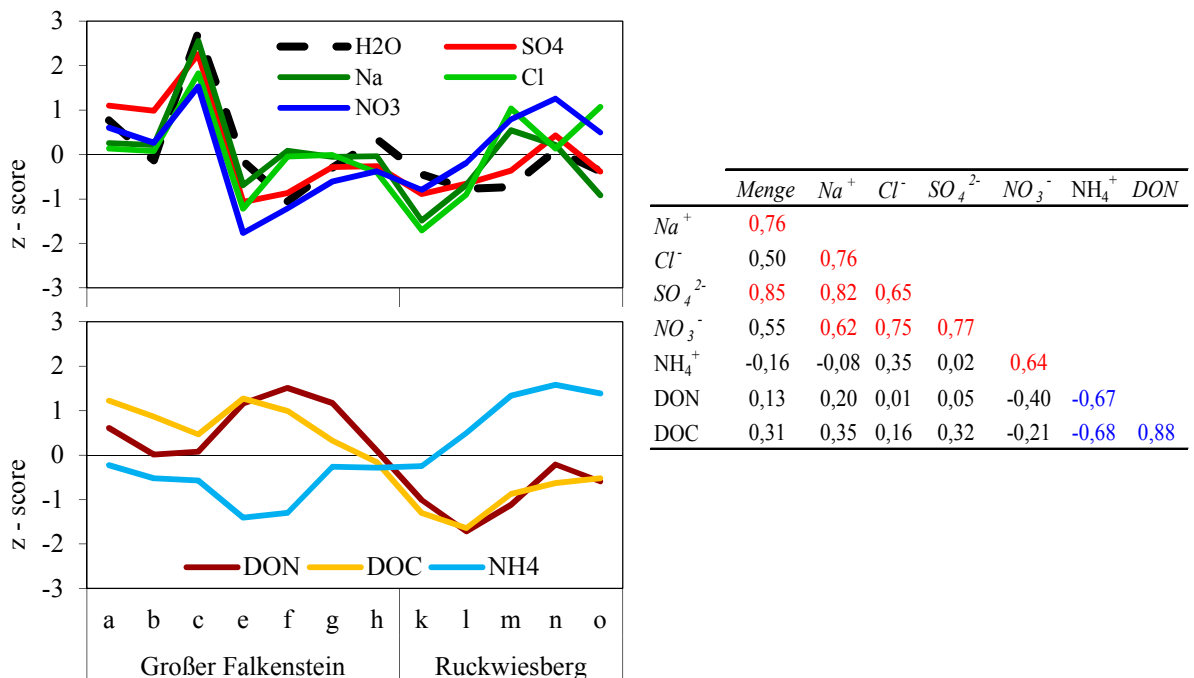


Abb. 9: Oben und Mitte: standardisierte Stoffkonzentrationen im Kronendurchlass (Kleinbuchstaben: Sammlerpositionen) am Großen Falkenstein und am Ruckwiesberg. Rechts: Korrelationskoeffizienten der standardisierten Konzentrationen im Kronendurchlass (flussgewichtete Mittelwerte der Messungen 2012 und 2013). Farbig:  $P < 0,05$ .



DOC und DON sind nicht mit  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  sowie  $\text{NO}_3^-$  und der Niederschlagsmenge korreliert. Für DOC und DON, dessen Bindung an den DOC signifikant positiv ist ( $r = 0,88$ ), deutet dies auf den Kronenraum als Quellregion hin, zumal die DOC im Freilandniederschlag um eine Größenordnung geringer als im Kronendurchlass sind.

Die N-Einträge im Freiland (Abb. 10) betragen in der Summe beider Messkampagnen  $6,9 \text{ kg ha}^{-1}$  am Großen Falkenstein (wet-only) sowie  $7,3 \text{ kg ha}^{-1}$  am Ruckwiesberg (bulk) und an der Sammlerposition d unter Fichte. Die N-Einträge unter Fichte waren  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 12$ ) am Großen Falkenstein und  $22 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 6$ ) am Ruckwiesberg. Die große Streuung der N-Deposition am Großen Falkenstein geht auf die große Variabilität bei den aufgefingenen Mengen im Kronendurchlass (Abb. 5, Anhang) und die (geringere) Variabilität der Konzentrationen (Abb. 8, s. o.) zurück. Sie ist in beiden Jahren gegeben (Abb. 6, Anhang). Die positive Korrelation von Menge und Konzentration insbesondere bei  $\text{NO}_3^-$  führte zu enormen Einträgen von 30, 32 und  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  an den Sammlerpositionen n, a und c. Das ist das 5- bis 14-fache des Eintrags im Freiland. Im Mittel jedoch waren die stofflichen Anreicherungen bei  $\text{NO}_3^-$  (vierfach) und  $\text{NH}_4^+$  (zweifach) an beiden Standorten sehr ähnlich. Der Unterschied bestand in der Produktion/Mobilisierung des DON, dessen Deposition unter Fichte bei  $6,4 \text{ kg ha}^{-1}$  (Großer Falkenstein) und  $3,7 \text{ kg ha}^{-1}$  (Ruckwiesberg) lag. Selbst bei Verwendung der Freilanddeposition am Ruckwiesberg war dies das Sechsfache ( $\pm 1$ ) bzw. Dreifache ( $\pm 1$ ) der Freilanddeposition.

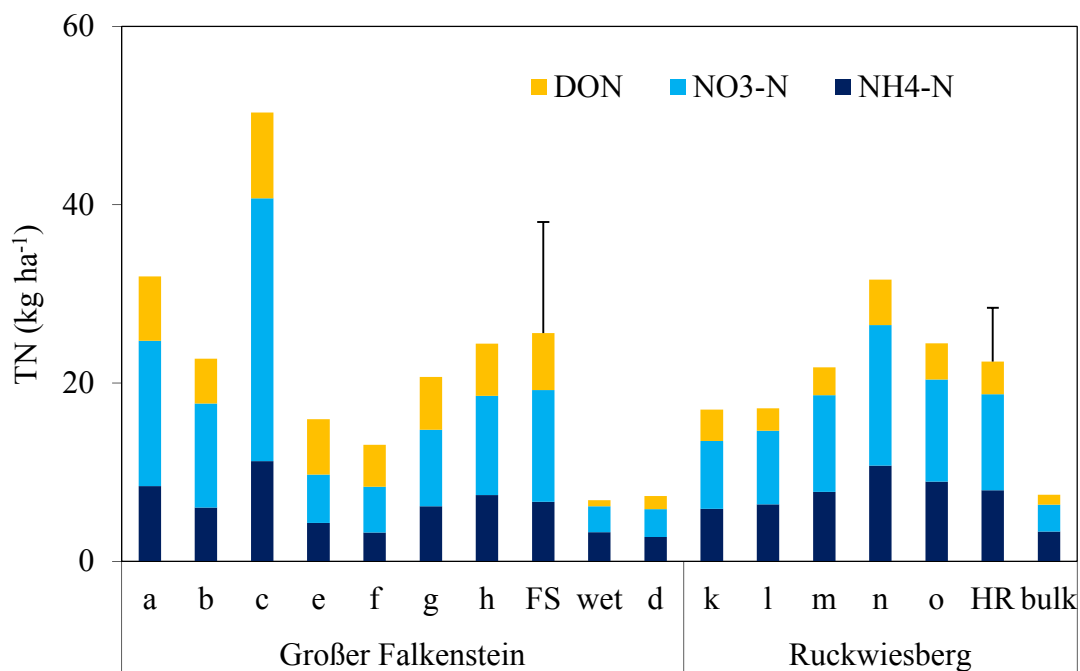


Abb. 10: Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen unter Fichte (Kleinbuchstaben a – h und k – o: Sammlerpositionen), im wet-only-Sammler und bulk-Sammler am Großen Falkenstein und in Oberhanglage am Ruckwiesberg. FS und HR kennzeichnen die jeweiligen Mittelwerte ( $\pm s$ ) im Kronendurchlass der Messungen 2012 und 2013.

Die gemessenen DON-Einträge unter Fichte sind als Summe zweier sommerlicher Messkampagnen zunächst als maximale Schätzwerte für ein Jahr anzusehen, weil DON und DOC im Sommer maximale Konzentrationen im Kronendurchlass erreichen (BEUDERT

und BREIT 2010). Die Vergleichbarkeit mit Literaturangaben auf Jahresbasis kann aber dennoch als gegeben angesehen werden, weil die kurze Messzeit (285 Tage) mögliche Überschätzungen kompensiert. Aus dem benachbarten Sumava werden DON-Einträge von 4-6 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> unter Fichte berichtet (KOPACEK et al. 2009). Entsprechende Angaben für Buchenbestände liegen bei 5 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (SOLINGER et al. 2001).

Der NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Anteil betrug am Großen Falkenstein 42% im Freiland und 49% unter Fichte, der NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Anteil 48% und 26%. Der Rückgang bei NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und der Anstieg bei NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entsprechen Ergebnissen von DE SHRIJVER et al. (2007) und MUSTAJÄRVI et al. (2008) für Gebiete mit geringer N-Deposition (< 10 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Diese Verschiebung deutet auf die biologische Transformation von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> hin, könnte aber auch der Interzeption von NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bei gleichzeitiger Adsorption und/oder Absorption von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> im Kronenraum zuzuordnen sein. Die analytischen Befunde des Nebel- und Wolkenwassers (siehe Kap. 3.4) unterstützen jedoch die biologische Umwandlung im Kronenraum, da NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> auch im Nebel- und Wolkenwasser gleiche Anteile aufweisen.

Würde der NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Anteil unter Fichte gleich dem im Freiland bleiben, müsste der NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Eintrag bei 12,3 statt 6,7 kg ha<sup>-1</sup> liegen, am Ruckwiesberg bei 10,8 statt 8,0 kg ha<sup>-1</sup>. Die Unterschiede entsprechen in auffälliger Weise den zusätzlichen DON-Einträgen unter Fichte von 5,7 und 2,5 kg ha<sup>-1</sup>. Dies legt die Vermutung nahe, dass DON unmittelbar aus NH<sub>4</sub><sup>+</sup> generiert wurde und keine zusätzliche, nicht berücksichtigte Quantität im DIN-Eintrag repräsentiert. Bereits FRIEDLAND et al. (1991) vermuteten, dass die Zunahme des DON im Kronendurchlass eines subalpinen Fichten-/Tannenwaldes in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der gleich großen Abnahme des NH<sub>4</sub>-N von Gesamtdosition (einschließlich Gas- und Wolkenröpfcheninterzeption) zu Kronendurchlass stehen könnte. Auch in gering aus der Atmosphäre belasteten finnischen Fichten- und Kiefernwäldern, in denen DON 36% des Eintrags mit dem Kronendurchlass ausmacht, war DON im Kronendurchlass signifikant positiv mit DIN im Freilandniederschlag korreliert, NH<sub>4</sub>-N jedoch signifikant negativ (MUSTAJÄRVI et al. 2008). FERM und HULTBERG (1999) fanden ebenfalls enge Korrelationen zwischen partikulär und gasförmig deponiertem NH<sub>Y</sub> und der Kronendachdifferenz des DON in schwedischen Fichtenwäldern.

Alle Befunde sind so zu deuten, dass insbesondere NH<sub>4</sub><sup>+</sup> im Kronenraum in DON umgewandelt wird. Diese Umwandlung kann binnen weniger Tage ablaufen (GAIGE et al. 2007). Als Quellen des DON-Eintrags in den Boden mit dem Bestandesniederschlag werden die atmosphärische Deposition (einschließlich Mikroorganismen, Pollen u.a.), Exsudate aus Assimilationsorganen (DRAAIJERS et al. 1997), die Fäkalien von herbivoren Insekten (LE MELLECC und MICHALZIK 2008, MICHALZIK und STADLER 2005, STADLER et al. 2006) und die Biomasse der von diesen Abfallprodukten und autotroph lebenden Mikroorganismen (MÜLLER et al. 2006) diskutiert. Die analytischen Befunde des Nebel- und Wolkenwassers (Kap. 3.4) belegen jedoch, dass externe Quellen für DON außerhalb des Kronenraums quantitativ wenig bedeutsam sind.

Daraus kann für das Untersuchungsgebiet geschlossen werden, dass der Eintrag des DON als biologisches Umwandlungsprodukt aus deponiertem DIN anzusehen ist.

### 3.4 Chemische Zusammensetzung von Nebel- und Wolkenwasser

#### 3.4.1 Probevolumina und analytische Qualität

Bei den eintägigen Sammelperioden in den Messkampagnen 2012 und 2013 wurden am Gipfel des Großen Falkenstein (1314 m ü. NN) im Mittel 585 und 764 ml von den Nebelharfen ausgekämmt, am Ruckwiesberg (1192 m ü. NN) nur 113 bzw. 228 ml (Tab. 1). Bei den Maximalwerten war der Unterschied noch deutlicher ausgefallen. Die Volumina des aufgefangenen Nebel- und Wolkenwassers variierten am Gipfel des Großen Falkenstein um drei Größenordnungen: im Jahr 2012 zwischen 3 und 3370 ml, im Jahr 2013 zwischen 12 und 4080 ml. Die Sammelergebnisse am Ruckwiesberg fielen mit 7 bis 455 ml (2012) und 15 bis 1110 ml wesentlich geringer aus. Bei jeweils täglicher Kontrolle der Sammler über die gesamte Messperiode hinweg, wurden im Jahr 2012 am Ruckwiesberg 53 und in Gipfelage 78 Nebelereignisse beprobt, im Jahr 2013 36 und 76 Nebelereignisse. Beide Parameter, Anzahl wie Volumina, verdeutlichen die Bedeutung der Höhenlage und der Exponiertheit für die Quantität des horizontalen Eintrags von Wasser.

Tab. 1: Anzahl, Volumina und Ladungsbilanzen der Proben aus der Nebelharfe am Großen Falkenstein und am Ruckwiesberg. Für die Ladungsbilanz wurden wegen häufig fehlender pH-Werte nur die Anionen starker Säuren, Basenkationen und  $\text{NH}_4^+$  verwendet.

| FS | Volumen |    |           |         |     | Ladungsbilanz |           |         |            |
|----|---------|----|-----------|---------|-----|---------------|-----------|---------|------------|
|    | Jahr    | n= | $\bar{x}$ | $\pm s$ | min | max           | $\bar{x}$ | $\pm s$ | Spannweite |
|    | 2011    | 15 | 269       | 249     | 10  | 950           | 4%        | 7%      | -8% 22%    |
|    | 2012    | 78 | 558       | 585     | 3   | 3370          | 1%        | 10%     | -22% 27%   |
|    | 2013    | 76 | 689       | 764     | 12  | 4080          | 6%        | 10%     | -12% 28%   |
| HR | Volumen |    |           |         |     | Ladungsbilanz |           |         |            |
|    | Jahr    | n= | $\bar{x}$ | $\pm s$ | min | max           | $\bar{x}$ | $\pm s$ | Spannweite |
|    | 2012    | 53 | 113       | 113     | 7   | 455           | -7%       | 18%     | -35% 12%   |
|    | 2013    | 36 | 169       | 228     | 15  | 1110          | 2%        | 10%     | -19% 26%   |

Die Überprüfung der analytischen Qualität war wegen der teilweise sehr geringen Volumina und der daher unvollständigen Parametersätze (insbesondere pH-Wert) nicht standardmäßig (BEUDERT und BREIT 2012) durchzuführen. Die Erweiterung des Massenbilanzverfahrens zur Berechnung der Säureneutralisationskapazität (SIGG und STUMM 2011) mit dem quantitativ relevanten  $\text{NH}_4^+$  ergab jedoch nahezu ausgeglichene mittlere Bilanzen zwischen 1% (2012) und 6% (2013) am Großen Falkenstein und zwischen -7% und 2% am Ruckwiesberg. Die Standardabweichungen lagen bei 10% bzw. 10% bis 18% am Ruckwiesberg, die maximalen Abweichungen bei -35% und 28%.

Die Stimmigkeit der Analyse bei den Stickstoffkomponenten ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) wurde über den Abgleich mit dem unabhängig analysierten Gesamtstickstoff ( $\text{TNb} \geq \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) überprüft. Lediglich 5% der Messwerte wiesen negative DON von mehr als 0,1 mg N l<sup>-1</sup> auf. Dies ist angesichts der geringen medianen Konzentrationen des DON nicht überraschend. Sie lagen bei 0,09 bzw. 0,26 mg l<sup>-1</sup> am Großen Falkenstein und am Ruckwiesberg, entsprechend jeweils 3% von TNb.

### 3.4.2 Stickstoffkonzentrationen

Die medianen N-Konzentrationen unterscheiden sich zwischen den Jahren 2012 und 2013 an beiden Standorten nicht (Abb. 7, Anhang). Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Standorten beträchtlich. Die maximalen TNb lagen bei 90 mg N l<sup>-1</sup> am Gipfel und 30 mg N l<sup>-1</sup> am Ruckwiesberg, die maximalen NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bei 43 und 52 mg N l<sup>-1</sup> bzw. 22 und 19 mg N l<sup>-1</sup>. Entgegengesetzt zu den Maximalwerten, sind die medianen Konzentrationen am Ruckwiesberg mit 2,6, 2,8 und 6,2 mg N l<sup>-1</sup> bei NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und TNb deutlich höher (Abb. 11). Der t-Test der log-transformierten Daten ergab bei allen Komponenten hochsignifikant höhere Mittelwerte am Ruckwiesberg. Am Großen Falkenstein erreichten die mittleren NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und TNb lediglich 55% - 62% der Konzentrationen am Ruckwiesberg. Bei allen Komponenten und Standorten entsprachen die so berechneten Mittelwerte den jeweiligen Medianen sehr gut.

Im Vergleich zu den N-Konzentrationen im Kronendurchlass sind die Mediane im Nebel- und Wolkenwasser doppelt so hoch, am Gipfel wie am Ruckwiesberg, während der Wert der Whisker die absoluten Maxima im Kronendurchlass abdeckt (Tab. 4, Anhang).

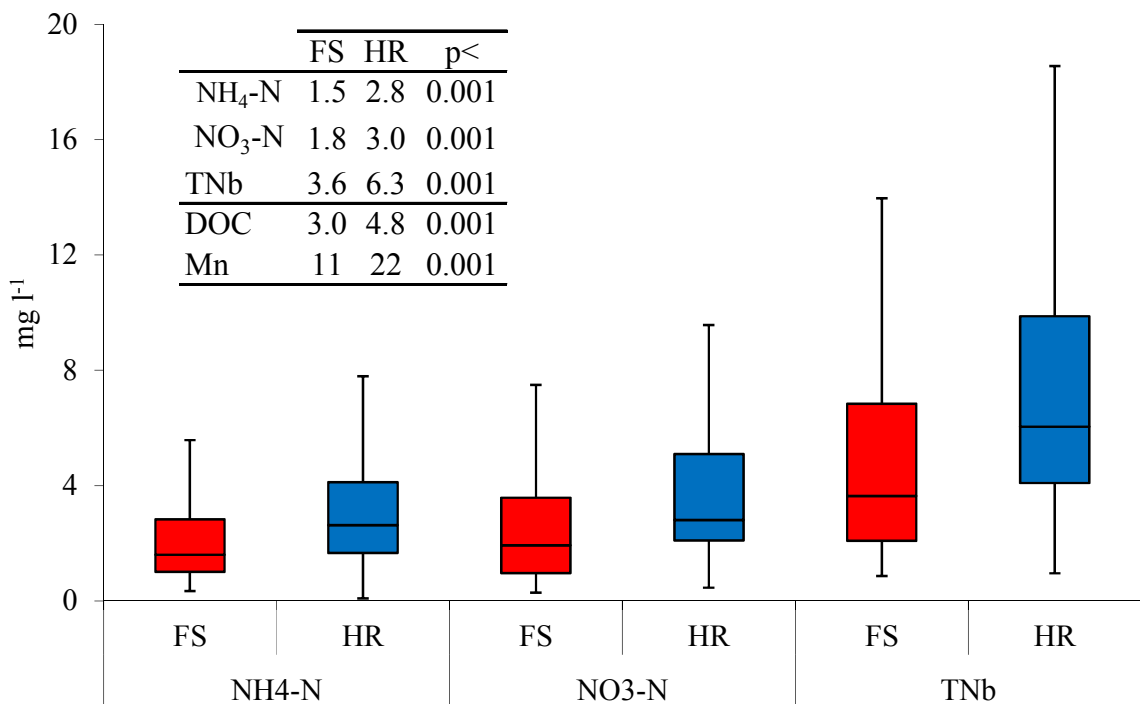


Abb. 11: Box-Whisker-Plots der N-Konzentrationen (2012 und 2013) in den Proben der Nebelharfen am Großen Falkenstein (FS) und am Ruckwiesberg (HR). Statistische Ausreißer sind nicht dargestellt. Die eingebettete Tabelle enthält die Mittelwerte der Konzentrationen von N, DOC (mg l<sup>-1</sup>) und Mn (µg l<sup>-1</sup>) und die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Standorten (t-Test) unter Verwendung log-transformierter Daten.

Aufgrund der geringen Horizontalabstand zwischen den beiden Messplätzen sollten die Positionsunterschiede keine gravierende Bedeutung haben. Aufgrund der größeren Nähe zum Waldrand jedoch könnte die Re-Insertion bereits in Fichtenkronen deponierter Tropfen am Ruckwiesberg eine größere Rolle spielen.

Darüber hinaus könnte der Verdunstung des bereits an den Teflonfäden des Nebelfängers hängenden Wassers als Ursache eine zusätzliche Rolle zukommen, da sie zur Lösungseingung und Konzentrationserhöhung führt. Dieser Effekt würde am tiefer gelegenen Standort mit den wesentlich kleineren ausgekämmten Nebel- und Wolkenwasservolumina (Tab. 1, s. o.), aber höheren Temperaturen stärker zum Tragen kommen als am Gipfel. In der Tat lässt die Auftragung der TNb auf die Volumina der Nebel- und Wolkenproben einen hochsignifikanten Zusammenhang steigender Konzentrationen bei abnehmenden Volumina erkennen (Abb. 8, Anhang). Der Erklärungsbeitrag der Volumina zur Variabilität der Konzentrationen ist insgesamt nicht sehr groß, am Ruckwiesberg jedoch mit 29% größer als am Großen Falkenstein (19%).

Als weiteres Indiz für die lokale Beeinflussung der Konzentrationen am Ruckwiesberg kann gesehen werden, dass der Mittelwert der log-transformierten DOC (Mn) am Gipfel hochsignifikant geringer ist: er erreicht, wie auch der Median, nur 60% (50%) der DOC (Mn) am Ruckwiesberg (Abb. 11). Damit gleichen sie den prozentualen Verhältnissen der N-Verbindungen.

Die mittleren Äquivalentanteile von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  liegen bei 52% und 44% ( $\pm 9\%$ ) am Großen Falkenstein 50% und 45% ( $\pm 11\%$ ) am Ruckwiesberg. In der doppellogarithmischen Auftragung (Abb. 12) lässt sich erkennen, dass  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  an beiden Messplätzen hochsignifikant ( $r^2 = 0,86$  bzw.  $0,59$ ) positiv miteinander korreliert sind.

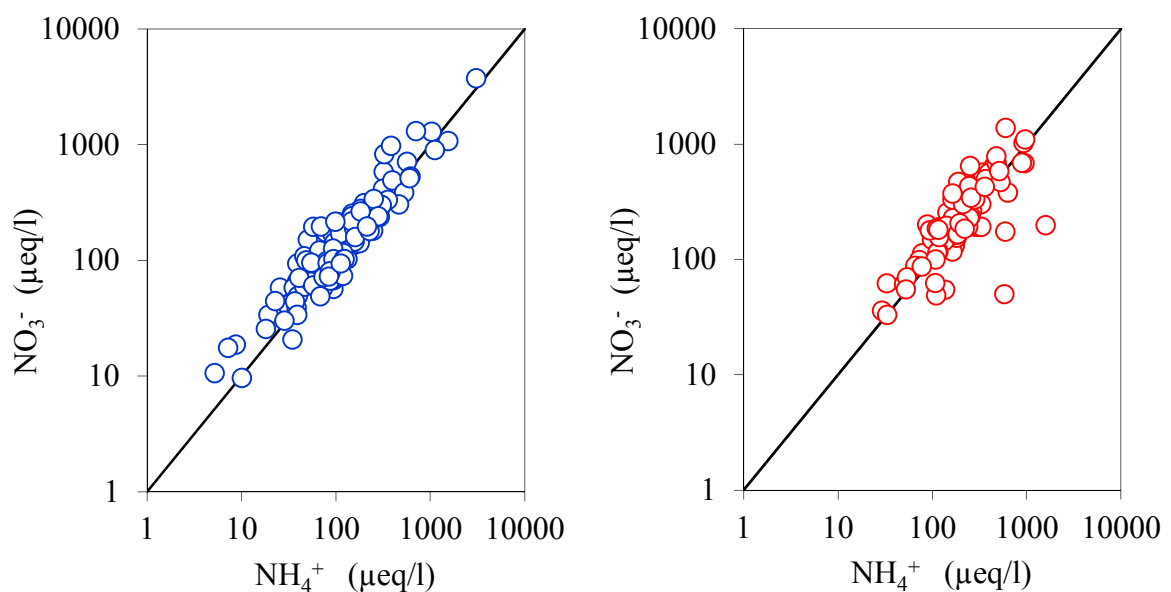


Abb. 12: Doppellogarithmische Auftragung der  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen auf die  $\text{NH}_4^+$ -Konzentrationen ( $\mu\text{eq/l}$ ) im Wasser des Nebelfängers am Großen Falkenstein (links) und am Ruckwiesberg (rechts).

Daraus kann gefolgert werden, dass der Rückgang des  $\text{NH}_4^+$ -Anteils und der Anstieg des DON-Anteils vom Freilandniederschlag zum Kronendurchlass (Kap. 3.3) nicht dem Eintrag über Nebel- und Wolkenwasser zuzuschreiben ist. Dieses verhält sich bezüglich der DIN-Anteile wie Freilandniederschlag (Abb. 8).

### 3.5 Abschätzung der Beiträge verschiedener Depositionspfade zum Stickstoffeintrag in Fichtenwäldern

Der Stickstoffeintrag mit dem Freilandniederschlag betrug in der Summe der zwei sommerlichen Messkampagnen 7,5 bis 7,7 kg N ha<sup>-1</sup> an allen Standorten. Er war damit unabhängig von der Höhenlage (Abb. 13), obwohl die Niederschlagsmengen von 1068 mm auf über 1200 mm anstiegen (Abb. 5). Dies entspricht dem Befund mit der Höhe abnehmender Konzentrationen im Freilandniederschlag für das Einzugsgebiet der Großen Ohe (BOSSE 1985, TEICHMANN 1983).

Der Eintrag unter Fichte am Unterhang war mit 14 kg N ha<sup>-1</sup> (Abb. 13) gleich dem mittleren jährlichen Eintrag der Jahre 2012 und 2013 dort (BEUDERT und BREIT 2014). Dies unterstützt das Vorgehen, die Summe aus beiden Messkampagnen mit lediglich 285 Messungen als Schätzwert für den jährlichen Eintrag zu nehmen. In Oberhang- und Gipfellage stieg der Eintrag auf 22 und 26 kg N ha<sup>-1</sup> an, wobei der gleichzeitige Anstieg der Fehlerbalken von 6 auf 12 kg N ha<sup>-1</sup> die enorme kleinstandörtliche Variabilität der Rezeptorstrukturen anzeigte. Die Verdoppelung bis Verdreifachung der Einträge gegenüber dem Freiland ist Ergebnis der Interzeption von Gasen und Partikeln und der feuchten Deposition.

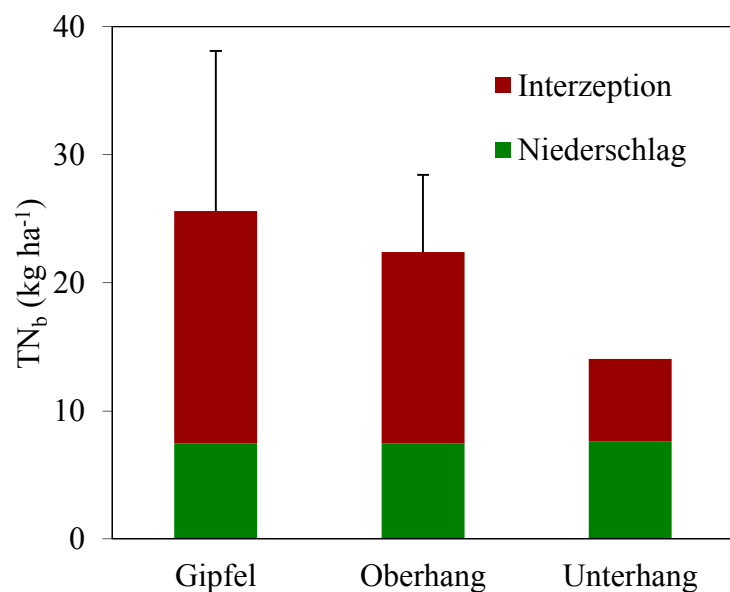


Abb. 13:  
Gemessene N-Depositionsraten (TN<sub>b</sub>, Summe der beiden Messkampagnen) im Freiland und in Fichtenbeständen in Gipfellage (1310 m ü. NN), am Oberhang (1192 m ü. NN) und am Unterhang (787 m ü. NN).

Unter der Annahme, dass die Auskämmung von Wolkenwasser in Unterhanglage quantitativ bedeutungslos ist, was durch die geringe Anzahl an Nebelstunden v.a. in den Sommermonaten untermauert wird (Abb. 3, Kap. 3.1), lässt sich der zusätzliche Eintrag unter Fichte dort von 6,4 kg N ha<sup>-1</sup> dem trockenen Depositionspfad zuordnen. Unterstellt man zunächst simplifizierend weiter, dass dieser Beitrag unabhängig von der Höhenlage ist, dann ergeben sich für die feuchte Deposition in den höheren Lagen 8 und 10 kg N ha<sup>-1</sup> (Mediane) bzw. 9 und 12 kg N ha<sup>-1</sup> (Mittelwerte), die immerhin 36% - 56% des gesamten Eintrags ausmachen (Tab. 2). Dies sind zunächst maximale Schätzwerte, weil darin selbstverständlich nicht definierbare Anteile trocken in der Krone deponierten Stickstoffs enthalten sind, die bei Befeuchtung in Lösung gehen und zu Boden fallen. Die quantitative Bedeutung

weiterer Prozesse, wie die direkte Aufnahme in die Nadel, wurde in BEUDERT und BREIT (2014) ausführlich für die hier untersuchten Bestände diskutiert und bleibt hier unberücksichtigt.

Wollten man die feuchte N-Deposition aus den berechneten Wolken- und Nebelwassereinträgen herleiten, müssten die mittleren N-Konzentrationen in diesem Wasser  $N_{CW}$  in Gipfellage  $1,9 \text{ mg l}^{-1}$  (Median) bzw.  $1,7 \text{ mg l}^{-1}$  (Mittelwert) betragen, am Oberhang  $2,0 \text{ mg l}^{-1}$ . Für die Darstellung der gesamten Interzeptionsdeposition müssten die Konzentrationen  $N_{ID}$  bei  $2,5 \text{ mg l}^{-1}$  bis  $3,6 \text{ mg l}^{-1}$  liegen.

Tab. 2: Ableitung der erforderlichen N-Konzentration im Nebel- und Wolkenwasser  $N_{ID}$  und  $N_{CW}$ , um die gesamte Interzeptionsdeposition ID bzw. die feuchte Deposition CW in den Fichtenbeständen in Gipfellage (1310 m ü. NN) und am Oberhang (1192 m ü. NN) mit dem Nebel- und Wolkenwassereintrag  $P_{CW}$  abzubilden (2012 und 2013). Die Interzeptionsverdunstung in Unterhanglage betrug 464 mm, die trockene Deposition  $6,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Berechnung erfolgte nach Gleichung (1) in Kap. 3.2.

|  | Gipfel |        |         | Oberhang |        |         |
|--|--------|--------|---------|----------|--------|---------|
|  | Median | Mittel | $\pm s$ | Median   | Mittel | $\pm s$ |
| Bestandesdeposition ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )        | 23     | 26     | 12      | 22       | 22     | 5       |
| Interzeptionsdeposition ID ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) | 16     | 19     |         | 14       | 15     |         |
| Feuchte Deposition CW ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )      | 9      | 12     |         | 8        | 9      |         |
| Throughfall (mm)                                     | 1301   | 1484   | 489     | 1173     | 1179   | 126     |
| Nebeleintrag $P_{CW}$ (mm)                           | 559    | 741    |         | 413      | 418    |         |
| $N_{CW}$ ( $\text{mg l}^{-1}$ )                      | 1,9    | 1,7    | 0,6     | 2,0      | 2,0    | 1,9     |
| $N_{ID}$ ( $\text{mg l}^{-1}$ )                      | 2,8    | 2,5    | 0,5     | 3,5      | 3,6    | 2,3     |

Durch Vergleich mit den mittleren Konzentrationen im Sammelwasser der Nebelharfen von  $3,6 \text{ mg l}^{-1}$  und  $6,3 \text{ mg l}^{-1}$  (Abb. 11) ergibt sich, dass die aus dem Höhengradienten der Stickstoffeinträge abgeleiteten Beiträge der feuchten Deposition zwanglos aus den horizontalen Wassereinträgen, ermittelt aus der Kronenwasserbilanz, und den gemessenen Konzentrationen im Nebel- und Wolkenwasser erzeugt werden können. Dies gilt wegen der erforderlichen nur geringen Konzentrationen auch dann, wenn die Konzentrationen mit zunehmender Menge des eingetragenen Wassers deutlich sinken (Abb. 8, Anhang). Selbst die Werte des ersten Quartils von  $2,0 \text{ mg l}^{-1}$  und  $4,1 \text{ mg l}^{-1}$  würden ausreichen, den N-Eintrag über feuchte Deposition am Großen Falkenstein und am Ruckwiesberg abzubilden.

## 4 Zusammenfassung

In den Jahren 2012 und 2013 wurden Messungen zur Deposition in Gipfellage am Großen Falkenstein (1315 m ü. NN) und in Oberhanglage am Ruckwiesberg (1192 m ü. NN) im Nationalpark Bayerischer Wald durchgeführt. An diesen Standorten wurde, zusätzlich zu Depositionsmessungen im Freiland und unter Fichte (*Picea abies* L.), auch Wolken- und Nebelwasser mittels Nebelharfen gesammelt, um Informationen über die chemische Qualität der feuchten Depositionskomponente zu erhalten. Als Referenz dienten die Messeinrichtungen des Integrierten Monitorings im Forellenbachgebiet in Unterhanglage: der Fichtenaltbestand Weitau (787 m ü. NN), Freilandmessstelle Taferlruck (770 m ü. NN) und Messturm Schachtenau (807 m ü. NN).

Die Niederschlagsmengen unter Fichte deuteten die enorme Bedeutung der Auskämmung von Nebel und Wolken (feuchte Deposition) für den Stoffeintrag aus der Atmosphäre an. Die Sammler unter den Fichtenkronen erbrachten in den Jahren 2012 und 2013 604 mm, 1079 mm und 1191 mm in Unterhang-, Oberhang- und Gipfellage, die Niederschläge im Freiland 1068 mm, 1227 mm und 1207 mm. Daraus wurden Wolkenwassereinträge von 383 mm und 587 mm in Oberhang- und Gipfellage errechnet. Eigene Sichtweitenmessungen am Messturm Schachtenau und des DWD am Großen Arber (1435 m ü. NN) brachten den Beleg, dass feuchte Deposition in Unterhanglage unbedeutend sein muss, in exponierter Gipfellage dagegen bedeutsam. Am Gipfel gab es 234 Nebeltage pro Jahr (64%) mit Nebel an 42% aller Messtermine, am Unterhang lediglich 56 Tage pro Jahr (15%) und 3% Nebelterminen. Auch die mittlere Sichtweite (96 m versus 284 m) und die Anzahl der Nebelbeobachtungen pro Nebeltag (63% versus 22%) unterstrichen diese Aussage.

Die Volumina der mit Nebelharfen gesammelten Nebel- und Wolkenwässer waren mit durchschnittlich 136 ml (Oberhang) und 623 ml (Gipfel) sehr unterschiedlich und belegten den Höhengradienten aus den Depositions- und Sichtweitemessungen. Die Stickstoffkonzentrationen im Sammlerwasser wiesen einen entgegengesetzten Höhengradienten auf. Am Gipfel erreichten sie wie auch DOC und Mn nur etwa 60% der Werte am Oberhang, was auf stärkere Lösungseinengung und/oder Beeinflussung durch benachbarte Fichtenbestände am Oberhang zurückgeführt wurde.  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  waren an beiden Standorten in annähernd gleichen Teilen vorhanden. DON war wie im Freilandniederschlag wenig bedeutsam.

Daher ist es plausibel, seine hohen Konzentrationen im Kronendurchlass auf die entsprechend rückläufigen Konzentrationen des  $\text{NH}_4^+$ , also die biologische Umwandlung von deponierten  $\text{NH}_4^+$ , zurückzuführen, während die anteilige Konzentrationen des  $\text{NO}_3^-$  sich nicht änderte. Die von der Übershirmungssituation abhängige Deposition mit dem Kronendurchlass lag bei 14, 22 und 26 kg N ha<sup>-1</sup> in Unterhang-, Oberhang- und Gipfellage und wies insbesondere am Gipfel eine große Variabilität auf. Die Deposition im Bestand war damit um ein Vielfaches höher als die Deposition im Freiland (7,5 – 7,7 kg N ha<sup>-1</sup>), die keiner Abhängigkeit von der Geländehöhe unterlag.



Mit der Prämisse, dass die feuchte Deposition in Unterhanglage unbedeutend ist und die Rate der trockenen Deposition auf die höhergelegenen Standorte übertragen werden darf, wurden Frachten von  $8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Oberhang) bis  $12 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Gipfel) der feuchten Deposition zugeordnet. Die mittleren Konzentrationen im Nebel- und Wolkenwasser ( $3,6 \text{ mg N l}^{-1}$  und  $6,3 \text{ mg N l}^{-1}$ ) und selbst die Werte des ersten Quartils von  $2,0 \text{ mg N l}^{-1}$  und  $4,1 \text{ mg N l}^{-1}$  sind ausreichend, den N-Eintrag über die feuchte Deposition an beiden Standorten abzubilden.

Die feuchte Deposition erreichte in den Fichtenbeständen Anteile von 36% (Oberhang) bis 48% (Gipfel). Ihr Betrag ist insbesondere von einer starken Exposition gegenüber feuchten Luftmassen abhängig und ist daher auf solchen Standorten bei der Kartierung der Deposition zu berücksichtigen. Erst oberhalb von 1100 – 1200 m ü. NN dürfte sie im Inneren Bayerischen Wald quantitativ bedeutsam werden. Höhenlage und die Anzahl der Nebeltage pro Jahr sind per se keine hinreichenden Indikatoren für relevante Beiträge der feuchten Deposition zur Gesamtdeposition.

## Literatur

- 1) BAUMGARTNER, A.: Nebel und Nebelniederschlag als Standortsfaktoren am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald). Forstwissenschaftliches Centralblatt 77, 257-272 (1958).
- 2) BEUDERT, B. und BREIT, W.: Bodenchemische Veränderungen als Folge anthropogener Belastungen und natürlicher Störungen. Fkz. 351 01 012 des Umweltbundesamtes; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau (2013).
- 3) BEUDERT, B. und BREIT, W.: Horizontaler Niederschlag, nasse und feuchte Deposition im Inneren Bayerischen Wald - erste Ergebnisse. Fkz. 351 01 012 des Umweltbundesamtes; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau (2012).
- 4) BEUDERT, B. und BREIT, W.: Hydrochemische Trends und Versauerungsmechanismen im Forellenbachgebiet. Fkz. 351 01 012 des Umweltbundesamtes; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau (2011).
- 5) BEUDERT, B. und BREIT, W.: Kronenraumbilanzen zur Abschätzung der Stickstoffgesamtdosition in Waldökosysteme des Nationalparks Bayerischer Wald. Fkz. 351 01 012 des Umweltbundesamtes; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau (2014).
- 6) BEUDERT, B. und BREIT, W.: Untersuchungen zum Stickstoffeintrag und zum wassergebundenen Stickstoffhaushalt des Forellenbachgebiets. Fkz. 351 01 012 des Umweltbundesamtes; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau (2010).
- 7) BEUDERT, B. und BREIT, W.: Zwölf Jahre Integrated Monitoring Programm an der Messstelle Forellenbach im Nationalpark Bayerischer Wald. Fkz. 351 01 012 des Umweltbundesamtes; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, 307 S., Grafenau (2004).
- 8) BEUDERT, B., BREIT, W., DIEPOLDER, U. und KAISER, M.: Integrated Monitoring im Nationalpark Bayerischer Wald. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben 104 02 700 des Umweltbundesamtes. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 265 S., Freising (1997).
- 9) BŁAŚ, M. and SOBIK, M.: The distribution of fog frequency in the Carpathians. In: KUCHCIK, M. and BŁAŻEJCZYK, K. (Eds.): General and Applied Climatology: Selected Aspects. Polish Academy of Science, Inst. of Geography and Spatial Organization, Warszawa, Poland, 77, 19-34 (2004).
- 10) BOBBINK, R. and HETTELINGH, J.-P. (eds.): Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. RIVM report: 680359002, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands, www.rivm.nl/cce (2011).
- 11) BOSSE, M.: Säure- und Stoffeintrag mit dem Niederschlag im Einzugsgebiet "Große Ohe" unter Berücksichtigung von Jahreszeit und Witterungseinflüssen. Schriftenreihe Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe, Heft 2. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, 168 S., Grafenau (1987).
- 12) DE SCHRIJVER, A., GEUDENS, G., AUGUSTO, L., STAELENS, J., MERTENS, J., WUYTS, K., GIELIS, L. and VERHEYEN, K.: The effect of forest type on throughfall deposition and seepage flux: a review. *Oecologia* 153, 663-674 (2007).
- 13) DRAAIJERS, G. P. J., ERISMAN, J. W., VAN LEEUWEN, N. F. M., RÖMER, F. G., TE WINKEL, B. H., VELTKAMP, A. C., VERMEULEN, A. T. and WYERS, G. P.: The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall fluxes. *Atmospheric Environment* 31, 387-397 (1997).
- 14) ELLING, W., BAUER, E., KLEMM, G. und KOCH, H.: Klima und Böden. Schriftenreihe Nationalpark Bayerischer Wald, Heft 1, 254 S., Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1987).
- 15) FERM, M. and HULTBERG, H.: Dry deposition and internal circulation of nitrogen, sulphur and base cations to a coniferous forest. *Atmospheric Environment* 33, 4421-4430 (1999).
- 16) FRIEDLAND, A.J., MILLER, E.K., BATTLES, J.J. and THORNE, J.F.: Nitrogen deposition, distribution and cycling in a subalpine spruce-fir forest in the Adirondacks, New York, USA. *Biogeochemistry* 14, 31-55 (1991).
- 17) GAIGE, E., DAIL, D.B., HOLLINGER, D.Y., DAVIDSON, E.A., LEE, J.T., FERNANDEZ, I.F., SIEVERING, H., RODRIGUES, C., HUGHES, H., WHITE, A. and HALTEMAN, W.: Changes in canopy processes following whole-forest canopy nitrogen fertilization of a mature spruce-hemlock forest. *Ecosystems* 10, 1133-1147 (2007).

- 18) GAUGER, T., HAENEL, H.-D., RÖSEMANN, C., NAGEL, H.-D., BECKER, R., KRAFT, P., SCHLUTOW, A., SCHÜTZE, G. WEIGELT-KIRCHNER, R. und ANSHELM, F.: Nationale Umsetzung UNECE-Luftreinhaltekonvention (Wirkungen). Teil 2: Wirkungen und Risikoabschätzungen, Critical Loads, Biodiversität, Dynamische Modellierung, Critical Levels Überschreitungen, Materialkorrosion. UBA-Texte 39/08. <http://www.umweltbundesamt.de> (2008).
- 19) HOLWERDA, F., BURKARD, R., EUGSTER, W., SCATENA, F.N., MEESTERS, A.G.C.A. and BRUIJNZEEL, L.A.: Estimating fog deposition at a Puerto Rican elfin cloud forest site: comparison of the water budget and eddy covariance methods. *Hydrological Processes* 20, 2669-2692 (2006).
- 20) KLÖCKING, B., SCHWARZE, R., BEUDERT, B., SUCKOW, F., LASCH, P., BADECK, F. und PFÜTZNER, B.: Auswirkungen des Borkenkäferbefalls auf den Wasser- und Stoffhaushalt zweier Gewässereinzugsgebiete im Nationalpark Bayerischer Wald, Schriftenreihe „Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet der Großen Ohe“, Bd. 8, (2005).
- 21) KOPÁČEK, J., TUREK, J., HEJZLAR, J. and ŠANTRŮČKOVÁ, H.: Canopy leaching of nutrients and metals in a mountain spruce forest. *Atmospheric Environment* 43, 5443–5453 (2009).
- 22) Le MELLEC, A. and MICHALZIK, B.: Impact of a pine lappet (*Dendrolimus pini*) mass outbreak on C and N fluxes to the forest floor and soil microbial properties in a Scots pine forest in Germany. *Canadian Journal of Forest Research* 38, 1829-1841(2008).
- 23) MICHALZIK, B. and STADLER, B.: Importance of canopy herbivores to dissolved and particulate organic matter fluxes to the forest floor. *Geoderma* 127, 227-236 (2005).
- 24) MÜLLER, T., STROBEL, K., ULRICH, A.: Microorganisms in the phyllosphere of temperate forest ecosystems in a changing environment. In: BAILEY, M. J., LILLEY, A. K., TIMMS-WILSON, T.M. and SPENCER-PHILLIPS, P. T. N. (Eds.): *Microbial Ecology of Aerial Plant Surfaces*. Ch. 4, pp. 51-65. CAB International, Wallingford, UK. (2006).
- 25) MUSTAJÄRVI, K., MERILÄ, P., DEROME, J., LINDROOS, A.-J., HELMISAARI, H.-S., NÖJD, P. and UKONMAANAHO, L.: Fluxes of dissolved organic and inorganic nitrogen in relation to stand characteristics and latitude in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal Environment Research* 13 (suppl.), 3-21 (2008).
- 26) SIGG, L. und STUMM, W.: *Aquatische Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer* (Vol. 8463). UTB. (2011)
- 27) SOLINGER, S., KALBITZ, K. and MATZNER, E.: Controls on the dynamics of dissolved organic carbon and nitrogen in a Central European deciduous forest. *Biogeochemistry* 55, 327-349 (2001).
- 28) STADLER, B., MÜLLER, T. and ORWIG, D.: The ecology of energy and nutrient fluxes in hemlock forests invaded by hemlock woolly adelgid. *Ecology* 87, 1792-1804 (2006).
- 29) STOELINGA, M.T. and WARNER, T.T.: Nonhydrostatic, mesobeta-scale model simulations of cloud ceiling and visibility for an east coast winter precipitation event. *Journal of Applied Meteorology* 38, 385–404 (1999).
- 30) TEICHMANN, U.: Die Ermittlung des Gebietsniederschlages zur Lösung hydrologischer Bilanzen. Schriftenreihe Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe. Heft 1. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau (1984).
- 31) UBA (UMWELTBUNDESAMT): Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe. [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2\\_abb\\_emi-ausgew-luftschadst\\_2015-06-01.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_emi-ausgew-luftschadst_2015-06-01.pdf) (2015).
- 32) ZIEGLER, A.D., GIAMBELLUCA, T.W., NULLET, M.A., SUTHERLAND, R.A., TANTASARIN, C., VOGLER, J.B. and NEGISHI, J.N.: Throughfall in an evergreen-dominated forest stand in northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods. *Agric. and Forest Meteorology* 149, 373-384 (2009).

## Anhang

|         |   |    |
|---------|---|----|
| Tab. 1: | Position und Höhenlage der Messstationen und Fichtenbestände (rot: seit 2012) (BEUDERT und BREIT 2014).   | 26 |
| Tab. 2: | Untersuchungsprogramme und ihre Zuordnung zu Messplätzen.   | 26 |
| Tab. 3: | Anzahl Nebeltage und Nebelstunden und mittlere Sichtweite (m) während der Nebelstunden am Großen Arber (1436 m ü. NN) und in Unterhanglage am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN in 40 m Höhe).                | 27 |
| Tab. 4: | Chemische Beschaffenheit von Freilandniederschlag (wet-only, bulk) und Kronendurchlass unter Fichte (a – h, m – o) am Gipfel (FS), am Oberhang (HR) und am Unterhang (F4) in den Messkampagnen 2012 und 2013. | 28 |
| Tab. 5: | Chemische Beschaffenheit von Nebel und Wolkenwasser in der Nebelharfe am Großen Falkenstein (FS) in den Messkampagnen 2012 und 2013.  | 29 |
| Tab. 6: | Chemische Beschaffenheit von Nebel und Wolkenwasser in der Nebelharfe am Ruckwiesberg (HR) in den Messkampagnen 2012 und 2013.  | 31 |
| Abb. 1: | Standort Großer Falkenstein mit Messplätzen für Freiland- und Bestandesniederschlag, Deposition, Meteorologie und horizontalen Niederschlag.  | 32 |
| Abb. 2: | Stammfußkarte des Fichtenbestands Großer Falkenstein Süd mit den Sammlerpositionen D bis H zur Erfassung des Bestandesniederschlags.  | 32 |
| Abb. 3: | Stammfußkarte des Fichtenbestands Ruckwiesberg mit den Sammlerpositionen K bis O zur Erfassung des Bestandesniederschlags.  | 33 |
| Abb. 4: | Stammfußkarte des Fichtenbestands F4 Weitau (Kreisfläche 600 m <sup>2</sup> ) mit 10 Depositionssammlern (Kästchen) für den Bestandesniederschlag.  | 33 |
| Abb. 5: | Kronendurchlass (Kleinbuchstaben a – h sowie k – o: Sammlerpositionen) und im Freiland (wet-only-Sammler und bulk-Sammler), am Großen Falkenstein und in Oberhanglage am Ruckwiesberg.                        | 34 |
| Abb. 6: | N-Depositionsraten im Freiland und in Fichtenbeständen am Großen Falkenstein (1310 m ü. NN), in Oberhanglage am Ruckwiesberg (1192 m ü. NN) und am Unterhang im Forellenbachgebiet (787 m ü. NN).             | 34 |
| Abb. 7: | N-Konzentrationen der Nebel- und Wolkenwasserproben am Großen Falkenstein (links) und am Ruckwiesberg (rechts), differenziert nach den Jahren 2012 und 2013.  | 35 |
| Abb. 8: | N-Konzentrationen (TNb) der Nebel- und Wolkenwasserproben am Großen Falkenstein (FS) und am Ruckwiesberg (HR) in den Jahren 2012 und 2013.  | 35 |

Tab. 1: Position und Höhenlage der Messstationen und Fichtenbestände (rot: seit 2012) (BEUDERT und BREIT 2014)

| Messplatz               | Position (Gauss-Krüger) |         |
|-------------------------|-------------------------|---------|
|                         | Rechts                  | Hoch    |
| Taferlruck              | 4603611                 | 5423153 |
| Weitau                  | 4604044                 | 5423738 |
| Schachtenau Messturm    | 4604167                 | 5424299 |
| Waldhäuser              | 4607438                 | 5422369 |
| Haus zur Wildnis        | 4591002                 | 5436718 |
| Ruckwiesberg            | 4593585                 | 5440271 |
| Großer Falkenstein Süd  | 4593702                 | 5439422 |
| Großer Falkenstein Nord | 4593627                 | 5439491 |
| Großer Falkenstein      | 4593585                 | 5439464 |

Tab. 2: Untersuchungsprogramme und ihre Zuordnung zu Messplätzen. (Rot: in 2012 eingeführt; grau hinterlegt: Forellenbachgebiet; blau hinterlegt: Falkensteinmassiv). (BEUDERT und BREIT 2014)

| Messplatz               | Höhe ü. NN | Meteorologie | Sichtweite | Niederschlag   | Deposition |         |       |
|-------------------------|------------|--------------|------------|----------------|------------|---------|-------|
|                         |            |              |            | Intensität/Art | Freiland   | Bestand | Nebel |
| Taferlruck              | 762        | x            |            | I              | x          |         |       |
| Weitau                  | 782        |              |            |                |            |         |       |
| Schachtenau             | 807        | x            | x          | I, A           |            |         | x     |
| Waldhäuser              | 947        | x            |            | I              | x          |         |       |
| Haus zur Wildnis        | 680        | x            |            | I, A           |            |         |       |
| Ruckwiesberg            | 1192       |              |            |                | x          | x       | x     |
| Großer Falkenstein Süd  | 1306       |              |            |                |            | x       |       |
| Großer Falkenstein Nord | 1310       |              |            | I, A           | x          | x       |       |
| Großer Falkenstein      | 1315       | x            |            |                |            |         | x     |

Tab. 3: Anzahl Nebeltage und Nebelstunden und mittlere Sichtweite (m) während der Nebelstunden am Großen Arber (1436 m ü. NN) und in Unterhanglage am Messturm Schachtenau (807 m ü. NN) in 40 m Höhe.

| Monat | Anzahl Nebeltage |      |     |          |      |    | Anzahl Nebelmessungen |      |      |          |      |     |
|-------|------------------|------|-----|----------|------|----|-----------------------|------|------|----------|------|-----|
|       | Großer Arber     |      |     | Messturm |      |    | Großer Arber          |      |      | Messturm |      |     |
|       | 2012             | 2013 | Ø   | 2012     | 2013 | Ø  | 2012                  | 2013 | Ø    | 2012     | 2013 | Ø   |
| 11    | 8                | 17   | 13  | 13       | 14   | 14 | 48                    | 152  | 100  | 54       | 54   | 54  |
| 12    | 30               | 26   | 28  | 12       | 8    | 10 | 403                   | 318  | 361  | 47       | 37   | 42  |
| 1     | 28               | 28   | 28  | 3        | 11   | 7  | 384                   | 337  | 361  | 7        | 41   | 24  |
| 2     | 21               | 26   | 24  | 4        | 2    | 3  | 260                   | 361  | 311  | 16       | 2    | 9   |
| 3     | 11               | 23   | 17  | 0        | 4    | 2  | 113                   | 225  | 169  | 0        | 18   | 9   |
| 4     | 19               | 21   | 20  | 2        | 4    | 3  | 170                   | 229  | 200  | 3        | 13   | 8   |
| 5     | 9                | 27   | 18  | 1        | 6    | 4  | 64                    | 274  | 169  | 2        | 9    | 6   |
| 6     | 21               | 18   | 20  | 3        | 1    | 2  | 150                   | 163  | 157  | 5        | 3    | 4   |
| 7     | 22               | 12   | 17  | 1        | 0    | 1  | 170                   | 60   | 115  | 3        | 0    | 2   |
| 8     | 13               | 11   | 12  | 1        | 0    | 1  | 80                    | 105  | 93   | 2        | 0    | 1   |
| 9     | 15               | 23   | 19  | 3        | 3    | 3  | 161                   | 271  | 216  | 7        | 6    | 7   |
| 10    | 20               | 19   | 20  | 7        | 8    | 8  | 197                   | 176  | 187  | 37       | 24   | 31  |
| □     | 217              | 251  | 234 | 50       | 61   | 56 | 2200                  | 2671 | 2436 | 183      | 207  | 195 |

| Monat | Nebelmessungen/Nebeltag |      |    |          |      |   | Ø Sichtweite (m) |      |     |          |      |     |
|-------|-------------------------|------|----|----------|------|---|------------------|------|-----|----------|------|-----|
|       | Großer Arber            |      |    | Messturm |      |   | Großer Arber     |      |     | Messturm |      |     |
|       | 2012                    | 2013 | Ø  | 2012     | 2013 | Ø | 2012             | 2013 | Ø   | 2012     | 2013 | Ø   |
| 11    | 6                       | 9    | 8  | 4        | 4    | 4 | 138              | 98   | 108 | 212      | 233  | 223 |
| 12    | 13                      | 12   | 13 | 4        | 5    | 4 | 67               | 70   | 68  | 328      | 331  | 329 |
| 1     | 14                      | 12   | 13 | 2        | 4    | 3 | 65               | 90   | 77  | 485      | 236  | 272 |
| 2     | 12                      | 14   | 13 | 4        | 1    | 3 | 124              | 92   | 105 | 424      | 435  | 425 |
| 3     | 10                      | 10   | 10 | 0        | 5    | 5 | 50               | 106  | 87  |          | 249  | 249 |
| 4     | 9                       | 11   | 10 | 2        | 3    | 3 | 95               | 100  | 98  | 463      | 336  | 360 |
| 5     | 7                       | 10   | 9  | 2        | 2    | 2 | 99               | 111  | 109 | 98       | 431  | 370 |
| 6     | 7                       | 9    | 8  | 2        | 3    | 2 | 100              | 120  | 110 | 366      | 198  | 303 |
| 7     | 8                       | 5    | 7  | 3        | 0    | 3 | 133              | 121  | 130 | 364      |      | 364 |
| 8     | 6                       | 10   | 8  | 2        | 0    | 2 | 140              | 105  | 120 | 67       |      | 67  |
| 9     | 11                      | 12   | 11 | 2        | 2    | 2 | 99               | 96   | 97  | 167      | 220  | 191 |
| 10    | 10                      | 9    | 10 | 5        | 3    | 4 | 106              | 130  | 117 | 221      | 405  | 293 |
| Ø     | 10                      | 11   | 10 | 4        | 3    | 4 | 93               | 99   | 96  | 279      | 288  | 284 |

Tab. 4: Chemische Beschaffenheit von Freilandniederschlag (wet-only, bulk) und Kronendurchlass unter Fichte (a – h, m – o) am Gipfel (FS), am Oberhang (HR) und am Unterhang (F4) in den Messkampagnen 2012 und 2013.

|                                 |            | LF                    | pH  | K                  | Na  | Ca   | Mg                   | Mn   | Fe | Al                 | DOC  | TNb  | Cl                 | NO3-N | SO4-S | NH4-N              | Menge |    |
|---------------------------------|------------|-----------------------|-----|--------------------|-----|------|----------------------|------|----|--------------------|------|------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|----|
|                                 |            | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | [   | $\text{mg l}^{-1}$ | ]   | [    | $\mu\text{g l}^{-1}$ | ]    | [  | $\text{mg l}^{-1}$ | ]    | [    | $\text{mg l}^{-1}$ | ]     | [     | $\text{mg l}^{-1}$ | ]     | ml |
| <b>Freiland</b>                 |            |                       |     |                    |     |      |                      |      |    |                    |      |      |                    |       |       |                    |       |    |
| FS wet-only                     | Median     | 6                     | 5,3 | 0,1                | 0,2 | 0,1  | 10                   | 2    | 35 | 20                 | 1    | 0,6  | 0,2                | 0,3   | 0,2   | 0,3                | 23,2  |    |
|                                 | Mittel     | 7                     | 5,4 | 0,1                | 0,3 | 0,2  | 23                   | 3    | 35 | 20                 | 1    | 0,7  | 0,2                | 0,3   | 0,2   | 0,3                | 30,2  |    |
|                                 | Max.       | 20                    | 6,2 | 0,3                | 0,8 | 0,6  | 63                   | 10   | 35 | 20                 | 3    | 1,9  | 0,8                | 0,8   | 0,9   | 1,0                | 109,2 |    |
| HR bulk                         | Median     | 7                     | 5,4 | 0,2                | 0,4 | 0,1  | 21                   | 4    | 35 | 20                 | 1    | 0,7  | 0,4                | 0,3   | 0,2   | 0,3                | 25,5  |    |
|                                 | Mittelwert | 8                     | 5,5 | 0,3                | 0,5 | 0,2  | 30                   | 5    | 35 | 20                 | 1    | 0,8  | 0,5                | 0,3   | 0,2   | 0,4                | 31,4  |    |
|                                 | Maximum    | 17                    | 6,4 | 1,5                | 1,9 | 0,8  | 140                  | 26   | 35 | 20                 | 4    | 2,0  | 1,4                | 1,0   | 1,2   | 1,5                | 139,1 |    |
| <b>Fichtenbestand Gipfel</b>    |            |                       |     |                    |     |      |                      |      |    |                    |      |      |                    |       |       |                    |       |    |
| FS a                            | Median     | 29                    | 4,6 | 2,2                | 0,6 | 1,1  | 208                  | 62   | 35 | 20                 | 17   | 2,2  | 1,0                | 1,1   | 0,5   | 0,5                | 33,1  |    |
|                                 | Mittel     | 40                    | 4,6 | 2,8                | 0,9 | 1,7  | 326                  | 98   | 35 | 32                 | 20   | 3,1  | 1,5                | 1,8   | 0,8   | 0,8                | 39,3  |    |
|                                 | Max.       | 181                   | 5,4 | 10,6               | 3,9 | 10,6 | 2077                 | 565  | 35 | 155                | 124  | 16,2 | 6,1                | 12,0  | 5,5   | 3,5                | 169,3 |    |
| FS b                            | Median     | 32                    | 4,5 | 1,7                | 0,6 | 1,2  | 245                  | 58   | 35 | 20                 | 17   | 2,2  | 1,1                | 1,2   | 0,6   | 0,5                | 21,0  |    |
|                                 | Mittel     | 38                    | 4,5 | 2,3                | 0,9 | 1,7  | 338                  | 80   | 37 | 36                 | 22   | 3,0  | 1,5                | 1,7   | 0,8   | 0,7                | 30,6  |    |
|                                 | Max.       | 146                   | 5,0 | 12,7               | 3,0 | 9,1  | 1752                 | 406  | 95 | 235                | 170  | 12,9 | 6,3                | 8,4   | 3,9   | 2,9                | 169,3 |    |
| FS c                            | Median     | 30                    | 4,8 | 2,4                | 1,0 | 1,2  | 199                  | 68   | 35 | 20                 | 14   | 2,2  | 1,1                | 1,3   | 0,6   | 0,4                | 46,0  |    |
|                                 | Mittel     | 40                    | 4,7 | 3,2                | 1,0 | 1,9  | 323                  | 105  | 36 | 29                 | 20   | 3,2  | 1,6                | 1,9   | 0,9   | 0,7                | 58,2  |    |
|                                 | Max.       | 186                   | 5,2 | 12,2               | 2,3 | 11,8 | 1900                 | 613  | 73 | 162                | 161  | 18,2 | 5,5                | 13,1  | 4,9   | 3,8                | 221,2 |    |
| FS d                            | Median     | 8                     | 5,3 | 0,4                | 0,3 | 0,2  | 31                   | 8    | 35 | 20                 | 2    | 0,8  | 0,4                | 0,3   | 0,2   | 0,3                | 20,4  |    |
|                                 | Mittel     | 10                    | 5,4 | 0,8                | 0,5 | 0,3  | 59                   | 15   | 35 | 20                 | 4    | 1,0  | 0,6                | 0,5   | 0,3   | 0,3                | 26,9  |    |
|                                 | Max.       | 37                    | 6,5 | 4,0                | 1,4 | 1,4  | 342                  | 81   | 35 | 20                 | 15   | 4,0  | 4,3                | 2,1   | 0,9   | 1,3                | 121,6 |    |
| FS e                            | Median     | 21                    | 4,8 | 2,2                | 0,6 | 0,7  | 160                  | 58   | 35 | 20                 | 15   | 1,4  | 0,8                | 0,5   | 0,3   | 0,4                | 19,4  |    |
|                                 | Mittel     | 24                    | 4,9 | 2,5                | 0,7 | 0,8  | 199                  | 66   | 35 | 24                 | 18   | 1,9  | 1,2                | 0,7   | 0,4   | 0,5                | 31,5  |    |
|                                 | Max.       | 69                    | 6,5 | 9,2                | 2,7 | 3,8  | 988                  | 289  | 35 | 98                 | 59   | 6,6  | 4,7                | 3,1   | 1,2   | 1,8                | 167,7 |    |
| FS f                            | Median     | 27                    | 5,0 | 3,2                | 0,9 | 0,9  | 223                  | 81   | 35 | 25                 | 21   | 2,4  | 1,4                | 1,1   | 0,5   | 0,6                | 22,0  |    |
|                                 | Mittel     | 22                    | 4,9 | 2,7                | 0,7 | 0,7  | 161                  | 67   | 35 | 20                 | 16   | 1,8  | 1,0                | 0,7   | 0,3   | 0,4                | 14,2  |    |
|                                 | Max.       | 28                    | 5,0 | 3,4                | 0,8 | 0,9  | 226                  | 82   | 35 | 25                 | 22   | 2,4  | 1,5                | 1,1   | 0,4   | 0,6                | 21,4  |    |
| FS g                            | Median     | 21                    | 5,1 | 2,8                | 0,7 | 0,7  | 140                  | 57   | 35 | 20                 | 14   | 1,9  | 1,0                | 0,7   | 0,4   | 0,5                | 25,8  |    |
|                                 | Mittelwert | 26                    | 5,1 | 3,3                | 0,8 | 0,8  | 190                  | 71   | 35 | 24                 | 19   | 2,4  | 1,3                | 1,1   | 0,5   | 0,6                | 29,3  |    |
|                                 | Maximum    | 107                   | 6,5 | 16,2               | 4,2 | 4,1  | 1043                 | 330  | 35 | 164                | 161  | 9,2  | 6,3                | 4,5   | 1,8   | 2,3                | 144,5 |    |
| FS h                            | Median     | 20                    | 5,1 | 2,4                | 0,7 | 0,7  | 154                  | 46   | 35 | 20                 | 14   | 2,0  | 0,8                | 0,8   | 0,4   | 0,5                | 24,5  |    |
|                                 | Mittelwert | 26                    | 5,1 | 2,9                | 0,7 | 1,0  | 206                  | 60   | 35 | 24                 | 17   | 2,4  | 1,3                | 1,2   | 0,5   | 0,7                | 35,2  |    |
|                                 | Maximum    | 96                    | 6,5 | 13,3               | 1,8 | 4,8  | 1040                 | 285  | 35 | 141                | 108  | 9,6  | 4,6                | 4,5   | 1,8   | 2,2                | 169,3 |    |
| <b>Fichtenbestand Oberhang</b>  |            |                       |     |                    |     |      |                      |      |    |                    |      |      |                    |       |       |                    |       |    |
| HR k                            | Median     | 18                    | 5,4 | 1,7                | 0,5 | 0,5  | 102                  | 59   | 35 | 20                 | 9    | 1,8  | 0,7                | 0,8   | 0,3   | 0,6                | 20,7  |    |
|                                 | Mittel     | 26                    | 5,4 | 2,3                | 0,7 | 0,8  | 173                  | 103  | 35 | 23                 | 12   | 2,5  | 1,3                | 1,2   | 0,5   | 0,8                | 28,2  |    |
|                                 | Max.       | 85                    | 6,4 | 10,5               | 3,6 | 4,1  | 861                  | 636  | 35 | 98                 | 66   | 9,9  | 6,5                | 6,1   | 1,8   | 3,2                | 159,8 |    |
| HR l                            | Median     | 19                    | 5,5 | 1,6                | 0,6 | 0,5  | 97                   | 63   | 35 | 20                 | 8    | 2,0  | 0,8                | 1,1   | 0,4   | 0,8                | 18,0  |    |
|                                 | Mittel     | 26                    | 5,4 | 2,4                | 0,8 | 0,8  | 168                  | 106  | 35 | 23                 | 10   | 2,7  | 1,3                | 1,4   | 0,5   | 0,9                | 24,9  |    |
|                                 | Max.       | 85                    | 6,2 | 10,5               | 2,1 | 4,1  | 861                  | 636  | 35 | 72                 | 42   | 9,9  | 6,5                | 6,1   | 1,8   | 3,2                | 128,9 |    |
| HR m                            | Median     | 25                    | 5,3 | 2,5                | 0,8 | 0,7  | 152                  | 91   | 35 | 20                 | 12   | 2,6  | 1,1                | 1,4   | 0,4   | 0,9                | 20,4  |    |
|                                 | Mittel     | 34                    | 5,4 | 3,3                | 0,9 | 1,0  | 229                  | 141  | 35 | 25                 | 14   | 3,6  | 1,7                | 1,9   | 0,6   | 1,2                | 25,4  |    |
|                                 | Max.       | 132                   | 6,6 | 13,4               | 2,9 | 6,7  | 1558                 | 1104 | 35 | 146                | 88   | 16,6 | 6,5                | 10,2  | 2,8   | 4,3                | 160,7 |    |
| HR n                            | Median     | 27                    | 5,2 | 2,4                | 0,7 | 0,9  | 192                  | 90   | 35 | 20                 | 12   | 2,7  | 1,0                | 1,4   | 0,5   | 0,9                | 25,4  |    |
|                                 | Mittel     | 37                    | 5,2 | 3,1                | 0,9 | 1,3  | 292                  | 151  | 36 | 26                 | 15   | 3,7  | 1,6                | 2,0   | 0,7   | 1,2                | 33,1  |    |
|                                 | Max.       | 132                   | 6,1 | 13,4               | 3,2 | 6,7  | 1558                 | 1104 | 74 | 154                | 76   | 16,6 | 6,7                | 10,2  | 2,8   | 4,3                | 169,3 |    |
| HR o                            | Median     | 27                    | 5,4 | 2,8                | 0,7 | 0,9  | 188                  | 118  | 35 | 20                 | 12   | 2,9  | 1,1                | 1,4   | 0,5   | 0,9                | 22,4  |    |
|                                 | Mittel     | 33                    | 5,4 | 3,2                | 0,8 | 1,1  | 248                  | 167  | 35 | 25                 | 15   | 3,3  | 1,6                | 1,7   | 0,6   | 1,1                | 28,7  |    |
|                                 | Max.       | 132                   | 6,3 | 13,4               | 2,5 | 6,7  | 1558                 | 1104 | 35 | 98                 | 66   | 16,6 | 6,5                | 10,2  | 2,8   | 4,3                | 138,8 |    |
| <b>Fichtenbestand Unterhang</b> |            |                       |     |                    |     |      |                      |      |    |                    |      |      |                    |       |       |                    |       |    |
| F4                              | Median     | 25                    | 5,5 | 3,4                | 0,5 | 0,9  | 229                  | 52   | 35 | 52                 | 19,2 | 2,4  | 1,3                | 0,9   | 0,2   | 0,7                | 15,4  |    |
|                                 | Mittel     | 27                    | 5,6 | 3,8                | 0,8 | 0,9  | 237                  | 57   | 35 | 57                 | 20,4 | 2,4  | 1,6                | 0,9   | 0,3   | 0,8                | 15,9  |    |
|                                 | Max.       | 59                    | 6,4 | 12,4               | 3,4 | 2,1  | 721                  | 179  | 35 | 179                | 34,9 | 4,2  | 8,2                | 1,8   | 0,8   | 1,8                | 72,9  |    |

Tab. 5: Chemische Beschaffenheit von Nebel und Wolkenwasser in der Nebelharfe am Großen Falkenstein (FS) in den Messkampagnen 2012 und 2013.

|            | LF                    | pH  | K                  | Na  | Ca  | Mg                   | Mn  | Fe  | Al                   | DOC  | TNb  | Cl                 | NO3-N | SO4-S | NH4-N              | Menge |    |
|------------|-----------------------|-----|--------------------|-----|-----|----------------------|-----|-----|----------------------|------|------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|----|
|            | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | [   | $\text{mg l}^{-1}$ | ]   | [   | $\mu\text{g l}^{-1}$ | ]   | [   | $\mu\text{g l}^{-1}$ | ]    | [    | $\text{mg l}^{-1}$ | ]     | [     | $\text{mg l}^{-1}$ | ]     | ml |
| 12.05.2012 | 99,3                  | 3,8 | 4,5                | 1,5 | 3,7 | 500                  | 72  | 140 | 107                  | 88,0 | 5,4  | 2,5                | 24,2  | 29,4  | 4,2                | 340   |    |
| 16.05.2012 | 4,5                   | 4,9 | 1,0                | 0,4 | 0,8 | 171                  | 15  | 35  | 20                   | 4,4  | 5,3  | 1,1                | 4,5   | 1,5   | 4,1                | 500   |    |
| 17.05.2012 |                       |     | 1,0                | 1,3 | 0,7 | 227                  | 31  | 35  | 20                   | 7,1  | 3,3  | 1,4                | 4,5   | 2,4   | 2,5                | 50    |    |
| 24.05.2012 |                       |     | 3,1                | 4,3 | 4,0 | 860                  | 129 | 51  | 140                  | 98,6 | 7,3  | 3,7                | 31,6  | 32,9  | 5,7                | 30    |    |
| 31.05.2012 | 36,6                  | 4,7 | 0,4                | 0,6 | 1,4 | 180                  | 21  | 35  | 41                   | 6,4  | 3,7  | 0,3                | 9,3   | 2,1   | 2,9                | 100   |    |
| 01.06.2012 | 35,5                  | 5,1 | 0,9                | 0,5 | 1,8 | 240                  | 26  | 35  | 49                   | 8,7  | 3,4  | 0,8                | 11,0  | 2,9   | 2,6                | 630   |    |
| 02.06.2012 | 47,5                  | 4,5 | 0,2                | 0,8 | 0,6 | 101                  | 18  | 35  | 20                   | 5,7  | 5,1  | 0,3                | 4,5   | 1,9   | 4,0                | 170   |    |
| 03.06.2012 | 61,1                  | 4,5 | 0,7                | 0,6 | 1,2 | 181                  | 23  | 35  | 52                   | 11,3 | 7,6  | 0,4                | 11,8  | 3,8   | 5,9                | 340   |    |
| 04.06.2012 | 20,9                  | 5,0 | 0,1                | 0,1 | 0,1 | 21                   | 3   | 35  | 20                   | 3,1  | 2,0  | 0,2                | 4,5   | 1,0   | 1,5                | 1540  |    |
| 05.06.2012 | 18,7                  | 4,7 | 0,2                | 0,1 | 0,2 | 30                   | 5   | 35  | 20                   | 1,3  | 1,7  | 0,2                | 4,5   | 0,4   | 1,3                | 1550  |    |
| 06.06.2012 | 11,9                  | 5,0 | 0,4                | 0,3 | 0,1 | 32                   | 3   | 35  | 20                   | 1,2  | 0,9  | 0,3                | 4,5   | 0,4   | 0,7                | 230   |    |
| 07.06.2012 | 27,7                  | 4,6 | 0,5                | 0,2 | 0,3 | 68                   | 5   | 35  | 20                   | 2,5  | 2,7  | 0,4                | 4,5   | 0,8   | 2,1                | 720   |    |
| 08.06.2012 | 22,7                  | 4,8 | 0,3                | 0,3 | 0,3 | 50                   | 6   | 35  | 20                   | 3,0  | 2,3  | 0,3                | 4,5   | 1,0   | 1,8                | 740   |    |
| 09.06.2012 | 20,9                  | 5,2 | 0,8                | 0,4 | 0,3 | 51                   | 6   | 35  | 20                   | 3,0  | 2,1  | 0,6                | 4,5   | 1,0   | 1,6                | 100   |    |
| 10.06.2012 | 23,8                  | 4,9 | 0,8                | 0,2 | 0,2 | 76                   | 4   | 35  | 20                   | 2,2  | 2,3  | 1,0                | 4,5   | 0,7   | 1,8                | 100   |    |
| 11.06.2012 |                       |     | 1,9                | 0,3 | 0,3 | 77                   | 5   | 41  | 23                   | 2,9  | 1,8  | 1,8                | 5,3   | 1,0   | 1,4                | 35    |    |
| 13.06.2012 | 26,6                  | 4,5 | 0,3                | 0,2 | 0,3 | 58                   | 7   | 35  | 20                   | 2,0  | 2,4  | 0,2                | 4,5   | 0,7   | 1,9                | 1080  |    |
| 14.06.2012 | 28,2                  | 4,3 | 0,1                | 0,1 | 0,1 | 10                   | 5   | 35  | 20                   | 1,3  | 1,9  | 0,1                | 4,5   | 0,4   | 1,5                | 870   |    |
| 19.06.2012 | 43,4                  | 5,0 | 0,7                | 0,1 | 1,2 | 300                  | 35  | 35  | 52                   | 20,0 | 4,5  | 0,5                | 11,8  | 6,7   | 3,5                | 170   |    |
| 21.06.2012 | 32,6                  | 5,7 | 0,4                | 0,5 | 1,9 | 171                  | 17  | 35  | 20                   | 4,0  | 4,2  | 0,3                | 4,5   | 1,3   | 3,2                | 520   |    |
| 25.06.2012 | 21,8                  | 5,5 | 1,1                | 0,3 | 1,1 | 195                  | 12  | 35  | 20                   | 2,4  | 2,0  | 0,5                | 4,5   | 0,8   | 1,5                | 590   |    |
| 03.07.2012 | 42,5                  | 5,8 | 1,5                | 1,2 | 3,1 | 378                  | 41  | 35  | 20                   | 6,7  | 5,6  | 0,7                | 4,5   | 2,2   | 4,3                | 760   |    |
| 04.07.2012 | 21,0                  | 5,4 | 0,8                | 0,5 | 1,3 | 171                  | 13  | 35  | 20                   | 5,7  | 2,0  | 0,7                | 4,5   | 1,9   | 1,5                | 200   |    |
| 10.07.2012 | 38,5                  | 6,0 | 1,1                | 1,0 | 1,7 | 224                  | 25  | 35  | 20                   | 5,2  | 3,8  | 0,7                | 4,5   | 1,8   | 2,9                | 300   |    |
| 11.07.2012 | 92,1                  | 6,3 | 2,7                | 3,3 | 2,7 | 359                  | 30  | 35  | 77                   | 10,0 | 9,2  | 1,2                | 17,3  | 3,3   | 7,1                | 60    |    |
| 14.07.2012 | 36,3                  | 5,5 | 1,0                | 0,6 | 1,2 | 196                  | 16  | 35  | 20                   | 5,0  | 4,7  | 0,7                | 4,5   | 1,7   | 3,7                | 420   |    |
| 15.07.2012 | 36,0                  | 5,0 | 1,0                | 1,0 | 1,1 | 239                  | 23  | 35  | 20                   | 5,3  | 3,7  | 1,1                | 4,5   | 1,8   | 2,9                | 80    |    |
| 17.07.2012 | 22,2                  | 5,5 | 0,6                | 0,3 | 0,3 | 79                   | 5   | 35  | 20                   | 2,2  | 2,2  | 0,5                | 4,5   | 0,7   | 1,7                | 2370  |    |
| 18.07.2012 | 29,0                  | 5,3 | 1,4                | 0,2 | 0,6 | 122                  | 8   | 35  | 20                   | 2,5  | 3,1  | 1,1                | 4,5   | 0,8   | 2,4                | 2200  |    |
| 22.07.2012 | 118,0                 | 5,2 | 4,7                | 1,6 | 7,2 | 906                  | 58  | 35  | 47                   | 8,8  | 12,7 | 3,4                | 10,6  | 2,9   | 2,8                | 190   |    |
| 30.07.2012 | 60,4                  | 5,9 | 2,2                | 1,3 | 3,9 | 434                  | 45  | 35  | 20                   | 9,0  | 6,7  | 1,2                | 4,5   | 3,0   | 5,2                | 390   |    |
| 06.08.2012 | 18,6                  | 5,6 | 0,7                | 0,5 | 0,6 | 103                  | 11  | 35  | 20                   | 2,7  | 2,0  | 0,6                | 4,5   | 0,9   | 1,5                | 480   |    |
| 07.08.2012 | 21,6                  | 5,5 | 0,6                | 0,4 | 0,6 | 103                  | 11  | 35  | 20                   | 2,6  | 2,2  | 0,6                | 4,5   | 0,9   | 1,7                | 600   |    |
| 17.08.2012 | 52,7                  | 5,5 | 2,1                | 0,9 | 2,4 | 358                  | 35  | 35  | 20                   | 5,9  | 6,9  | 1,1                | 4,5   | 2,0   | 5,4                | 360   |    |
| 21.08.2012 | 14,3                  | 5,9 | 0,4                | 0,3 | 0,7 | 99                   | 12  | 35  | 20                   | 2,3  | 2,3  | 0,3                | 4,5   | 0,8   | 1,8                | 1700  |    |
| 25.08.2012 | 18,9                  | 5,9 | 1,0                | 0,2 | 1,2 | 98                   | 15  | 35  | 20                   | 1,6  | 2,1  | 0,8                | 4,5   | 0,5   | 1,6                | 1130  |    |
| 26.08.2012 | 8,8                   | 5,4 | 0,4                | 0,0 | 0,2 | 28                   | 4   | 35  | 20                   | 0,3  | 0,9  | 0,5                | 4,5   | 0,1   | 0,7                | 840   |    |
| 28.08.2012 | 24,3                  | 5,1 | 0,9                | 0,2 | 0,4 | 115                  | 10  | 35  | 20                   | 0,8  | 2,7  | 1,2                | 4,5   | 0,3   | 2,1                | 1130  |    |
| 31.08.2012 | 15,4                  | 5,0 | 1,0                | 0,1 | 0,5 | 105                  | 10  | 35  | 20                   | 1,9  | 1,8  | 0,7                | 4,5   | 0,6   | 1,4                | 1110  |    |
| 02.09.2012 | 49,2                  | 4,2 | 0,7                | 0,4 | 0,5 | 110                  | 17  | 35  | 20                   | 2,7  | 4,8  | 0,7                | 4,5   | 0,9   | 3,7                | 820   |    |
| 04.09.2012 | 389,0                 | 3,3 | 1,6                | 1,8 | 5,9 | 511                  | 82  | 325 | 578                  | 17,9 | 28,4 | 4,8                | 130,6 | 6,0   | 22,0               | 170   |    |
| 04.09.2012 | 90,4                  | 4,1 | 2,0                | 0,7 | 2,4 | 311                  | 42  | 35  | 79                   | 4,5  | 9,8  | 1,7                | 17,8  | 1,5   | 7,6                | 120   |    |
| 10.09.2012 |                       |     | 6,0                | 2,0 | 2,7 | 552                  | 67  | 53  | 30                   | 7,0  | 12,0 | 6,2                | 6,8   | 2,4   | 9,3                | 30    |    |
| 12.09.2012 | 28,4                  | 5,9 | 2,0                | 0,4 | 1,3 | 225                  | 9   | 35  | 20                   | 2,3  | 3,7  | 1,1                | 4,5   | 0,8   | 2,8                | 1110  |    |
| 13.09.2012 | 19,0                  | 4,7 | 1,4                | 0,4 | 0,3 | 66                   | 5   | 35  | 20                   | 1,3  | 1,7  | 0,8                | 4,5   | 0,4   | 1,3                | 870   |    |
| 14.09.2012 |                       |     | 2,8                | 0,4 | 0,5 | 118                  | 13  | 35  | 20                   | 1,9  | 1,4  | 1,6                | 4,5   | 0,6   | 1,1                | 40    |    |
| 15.09.2012 | 56,4                  | 4,6 | 2,9                | 0,6 | 1,4 | 298                  | 17  | 35  | 20                   | 2,1  | 7,7  | 1,5                | 4,5   | 0,7   | 6,0                | 470   |    |
| 19.09.2012 | 22,8                  | 4,9 | 1,4                | 0,4 | 0,7 | 99                   | 9   | 35  | 20                   | 2,5  | 2,9  | 0,8                | 4,5   | 0,8   | 2,3                | 430   |    |
| 20.09.2012 | 22,9                  | 4,8 | 0,4                | 0,5 | 0,6 | 93                   | 10  | 35  | 20                   | 2,8  | 3,0  | 0,3                | 4,5   | 0,9   | 2,4                | 100   |    |
| 22.09.2012 | 32,3                  | 4,5 | 2,6                | 0,4 | 0,6 | 219                  | 8   | 35  | 20                   | 1,3  | 3,1  | 1,4                | 4,5   | 0,4   | 2,4                | 560   |    |
| 23.09.2012 | 12,7                  | 4,8 | 1,3                | 0,2 | 0,1 | 24                   | 2   | 35  | 20                   | 0,9  | 1,1  | 0,8                | 4,5   | 0,3   | 0,9                | 770   |    |
| 25.09.2012 | 48,8                  | 5,1 | 2,5                | 0,6 | 1,8 | 272                  | 20  | 35  | 20                   | 3,7  | 6,7  | 1,6                | 4,5   | 1,2   | 5,2                | 170   |    |
| 27.09.2012 | 13,6                  | 5,4 | 1,4                | 0,3 | 0,4 | 79                   | 6   | 35  | 20                   | 2,3  | 1,3  | 1,2                | 4,5   | 0,8   | 1,0                | 600   |    |
| 28.09.2012 | 16,7                  | 5,1 | 1,2                | 0,2 | 0,2 | 35                   | 3   | 35  | 20                   | 1,7  | 2,0  | 0,8                | 4,5   | 0,6   | 1,6                | 720   |    |
| 29.09.2012 |                       |     | 3,2                | 0,4 | 0,3 | 75                   | 5   | 47  | 27                   | 2,4  | 2,7  | 2,2                | 6,0   | 0,8   | 2,1                | 30    |    |
| 30.09.2012 | 53,7                  | 4,5 | 3,1                | 0,6 | 0,9 | 229                  | 15  | 35  | 20                   | 3,6  | 6,8  | 1,8                | 4,5   | 1,2   | 5,3                | 55    |    |
| 01.10.2012 | 76,7                  | 4,8 | 4,1                | 0,8 | 2,4 | 385                  | 39  | 35  | 20                   | 5,4  | 11,1 | 2,3                | 4,5   | 1,8   | 8,6                | 65    |    |
| 02.10.2012 | 61,1                  | 4,4 | 1,6                | 0,4 | 0,7 | 101                  | 8   | 35  | 20                   | 4,0  | 8,6  | 0,9                | 4,5   | 1,3   | 6,7                | 600   |    |
| 05.10.2012 | 24,7                  | 5,6 | 2,7                | 0,4 | 0,6 | 110                  | 11  | 35  | 20                   | 3,4  | 2,6  | 2,0                | 4,5   | 1,1   | 2,0                | 1300  |    |
| 07.10.2012 | 12,6                  | 5,3 | 2,2                | 0,3 | 0,8 | 110                  | 4   | 35  | 20                   | 2,0  | 2,1  | 1,4                | 4,5   | 0,7   | 1,6                | 3370  |    |
| 08.10.2012 |                       |     | 7,3                | 0,8 | 1,3 | 348                  | 21  | 79  | 45                   | 4,5  | 5,5  | 6,0                | 10,2  | 1,5   | 4,3                | 20    |    |
| 09.10.2012 | 107,8                 | 4,2 | 5,6                | 0,6 | 0,9 | 606                  | 12  | 35  | 20                   | 3,2  | 13,2 | 6,9                | 4,5   | 1,1   | 10,3               | 220   |    |
| 10.10.2012 | 15,0                  | 4,8 | 1,4                | 0,1 | 0,1 | 42                   | 2   | 35  | 20                   | 1,6  | 1,3  | 1,4                | 4,5   | 0,5   | 1,0                | 370   |    |
| 13.10.2012 | 38,0                  | 4,5 | 1,7                | 0,2 | 0,5 | 240                  | 7   | 35  | 20                   | 1,9  | 4,0  | 1,7                | 4,5   | 0,6   | 3,1                | 630   |    |
| 14.10.2012 |                       |     | 25,7               | 2,2 | 3,4 | 3394                 | 29  | 49  | 28                   | 7,8  | 33,8 | 39,2               | 6,3   | 2,6   | 26,2               | 30    |    |
| 15.10.2012 | 60,7                  | 4,5 | 3,8                | 0,5 | 0,7 | 485                  | 11  | 35  | 20                   | 2,8  | 5,8  | 4,7                | 4,5   | 0,9   | 4,5                | 230   |    |
| 16.10.2012 | 65,1                  | 4,2 | 0,7                | 0,1 | 0,5 | 116                  | 6   | 35  | 20                   | 2,4  | 7,2  | 1,0                | 4,5   | 0,8   | 5,6                | 340   |    |
| 17.10.2012 | 49,2                  | 4,5 | 1,1                | 0,3 | 0,2 | 42                   | 5   | 35  | 20                   | 2,3  | 7,2  | 1,0                | 4,5   | 0,8   | 5,6                | 365   |    |
| 26.10.2012 | 88,8                  | 5,8 | 1,5                | 2,3 | 1,0 | 169                  | 23  | 35  | 20                   | 7,4  | 14,4 | 1,9                | 4,5   | 2,5   | 11,2               | 470   |    |
| 27.10.2012 | 83,1                  | 4,7 | 1,1                | 1,2 | 1,0 | 225                  | 20  | 35  | 20                   | 5,0  | 12,0 | 1,9                | 4,5   | 1,7   | 9,3                | 200   |    |
| 01.11.2012 | 18,5                  | 4,7 | 0,5                | 0,4 | 0,2 | 67                   | 8   | 35  | 20                   | 1,9  | 1,6  | 0,7                | 4,5   | 0,6   | 1,2                | 630   |    |
| 02.11.2012 | 16,1                  | 5,3 | 1,0                | 0,3 | 0,2 | 43                   | 4   | 35  | 20                   | 2,2  | 2,0  | 1,0                | 4,5   | 0,7   | 1,5                | 570   |    |
| 03.11.2012 | 12,2                  | 5,5 | 1,8                | 0,2 | 0,1 | 39                   | 3   | 35  | 20                   | 2,0  | 1,9  | 1,8                | 4,5   | 0,7   | 1,5                | 480   |    |
| 06.11.2012 | 8,1                   | 5,2 | 0,9                | 0,1 | 0,1 | 23                   | 1   | 35  | 20                   | 1,4  | 0,8  | 0,8                | 4,5   | 0,5   | 0,6                | 1120  |    |
| 08.11.2012 | 36,0                  | 4,4 | 0,4                | 0,3 | 0,3 | 96                   | 7   | 35  | 20                   | 1,7  | 2,6  | 0,6                | 4,5   | 0,6   | 2,0                | 80    |    |
| 10.11.2012 | 58,7                  | 4,3 | 2,0                | 0,6 | 0,4 | 46                   | 3   | 35  | 20                   | 3,3  | 8,1  | 2,0                | 4,5   | 1,1   | 6,3                | 555   |    |



Tab. 5: Chemische Beschaffenheit von Nebel und Wolkenwasser in der Nebelharfe am Großen Falkenstein (FS) in den Messkampagnen 2012 und 2013 - Fortsetzung.

|            | LF                    | pH  | K                      | Na  | Ca   | Mg                       | Mn  | Fe  | Al  | DOC  | TNb  | Cl                     | NO3-N | SO4-S | NH4-N  | Menge |
|------------|-----------------------|-----|------------------------|-----|------|--------------------------|-----|-----|-----|------|------|------------------------|-------|-------|--------|-------|
|            | $\mu\text{S cm}^{-1}$ |     | [ $\text{mg l}^{-1}$ ] |     |      | [ $\mu\text{g l}^{-1}$ ] |     |     | [ ] |      |      | [ $\text{mg l}^{-1}$ ] |       |       | [ ml ] |       |
| 13.11.2012 | 26,4                  | 4,4 | 1,0                    | 0,2 | 0,3  | 81                       | 7   | 35  | 20  | 2,8  | 1,9  | 0,3                    | 4,5   | 0,9   | 1,5    | 200   |
| 22.11.2012 | 49,0                  | 4,1 | 1,3                    | 0,6 | 1,6  | 216                      | 19  | 35  | 41  | 3,2  | 3,6  | 0,6                    | 9,2   | 1,1   | 2,8    | 400   |
| 23.11.2012 |                       |     | 1,9                    | 0,3 | 0,8  | 150                      | 33  | 526 | 301 | 8,5  | 4,1  | 1,4                    | 67,9  | 2,8   | 3,2    | 3     |
| 24.11.2012 |                       |     | 0,7                    | 0,8 | 0,5  | 129                      | 10  | 47  | 27  | 5,5  | 10,0 | 0,7                    | 6,1   | 1,8   | 7,8    | 30    |
| 10.05.2013 | 37,2                  | 5,3 | 0,9                    | 0,7 | 2,7  | 355                      | 31  | 35  | 43  | 4,4  | 3,5  | 0,4                    | 9,7   | 1,5   | 2,7    | 200   |
| 11.05.2013 | 26,9                  | 4,6 | 3,3                    | 1,0 | 1,3  | 429                      | 21  | 35  | 41  | 5,9  | 6,3  | 3,7                    | 9,3   | 2,0   | 4,9    | 2080  |
| 13.05.2013 | 59,4                  | 5,1 | 2,3                    | 0,7 | 0,9  | 347                      | 17  | 35  | 20  | 3,0  | 7,5  | 2,4                    | 4,5   | 1,0   | 5,8    | 535   |
| 14.05.2013 | 24,1                  | 5,0 | 0,6                    | 0,2 | 0,3  | 90                       | 5   | 35  | 20  | 2,3  | 2,9  | 0,9                    | 4,5   | 0,8   | 2,2    | 110   |
| 18.05.2013 | 14,6                  | 5,0 | 0,2                    | 0,2 | 0,4  | 53                       | 9   | 35  | 20  | 2,7  | 1,8  | 0,3                    | 4,5   | 0,9   | 1,4    | 1080  |
| 20.05.2013 | 15,9                  | 5,6 | 0,2                    | 0,2 | 0,4  | 44                       | 6   | 35  | 20  | 2,1  | 2,1  | 0,3                    | 4,5   | 0,7   | 1,7    | 800   |
| 22.05.2013 | 21,1                  | 5,1 | 1,0                    | 0,3 | 0,2  | 95                       | 4   | 35  | 20  | 1,8  | 2,7  | 0,7                    | 4,5   | 0,6   | 2,1    | 520   |
| 23.05.2013 | 17,7                  | 5,2 | 0,3                    | 0,2 | 0,2  | 41                       | 4   | 35  | 20  | 1,8  | 3,1  | 0,2                    | 4,5   | 0,6   | 2,4    | 855   |
| 24.05.2013 | 67,5                  | 4,3 | 2,1                    | 0,7 | 0,7  | 300                      | 16  | 35  | 20  | 2,7  | 7,8  | 2,5                    | 4,5   | 0,9   | 6,1    | 165   |
| 25.05.2013 | 14,7                  | 4,8 | 0,2                    | 0,1 | 0,1  | 34                       | 3   | 35  | 20  | 0,3  | 1,9  | 0,3                    | 4,5   | 0,1   | 1,5    | 145   |
| 26.05.2013 | 70,7                  | 4,2 | 0,8                    | 0,3 | 0,4  | 118                      | 8   | 35  | 20  | 2,7  | 7,5  | 0,5                    | 4,5   | 0,9   | 5,8    | 480   |
| 28.05.2013 | 12,0                  | 4,8 | 0,2                    | 0,0 | 0,2  | 21                       | 2   | 35  | 20  | 0,8  | 1,1  | 0,2                    | 4,5   | 0,3   | 0,9    | 4080  |
| 29.05.2013 | 26,8                  | 4,3 | 1,6                    | 0,3 | 0,2  | 38                       | 6   | 35  | 20  | 1,7  | 2,0  | 0,9                    | 4,5   | 0,6   | 1,5    | 480   |
| 30.05.2013 | 74,3                  | 3,9 | 0,2                    | 0,3 | 0,3  | 53                       | 9   | 35  | 20  | 3,2  | 5,2  | 0,2                    | 4,5   | 1,1   | 4,1    | 75    |
| 31.05.2013 | 7,8                   | 4,8 | 0,2                    | 0,0 | 0,1  | 10                       | 1   | 35  | 20  | 0,7  | 0,4  | 0,2                    | 4,5   | 0,2   | 0,3    | 1100  |
| 01.06.2013 | 19,3                  | 4,4 | 0,2                    | 0,2 | 0,1  | 10                       | 5   | 35  | 20  | 1,4  | 1,0  | 0,1                    | 4,5   | 0,5   | 0,8    | 180   |
| 02.06.2013 | 7,4                   | 5,1 | 0,1                    | 0,0 | 0,1  | 10                       | 1   | 35  | 20  | 0,8  | 0,3  | 0,1                    | 4,5   | 0,3   | 0,2    | 3230  |
| 03.06.2013 | 7,4                   | 4,8 | 0,1                    | 0,1 | 0,1  | 10                       | 1   | 35  | 20  | 0,3  | 0,3  | 0,1                    | 4,5   | 0,1   | 0,2    | 1600  |
| 04.06.2013 | 13,2                  | 4,7 | 0,5                    | 0,5 | 0,5  | 31                       | 1   | 35  | 20  | 0,8  | 0,7  | 0,3                    | 4,5   | 0,3   | 0,5    | 200   |
| 05.06.2013 | 160,0                 | 4,7 | 1,9                    | 0,7 | 1,8  | 361                      | 39  | 35  | 72  | 7,9  | 8,4  | 1,7                    | 16,3  | 2,6   | 6,5    | 50    |
| 10.06.2013 | 97,1                  | 5,0 | 1,3                    | 2,6 | 4,2  | 746                      | 109 | 35  | 82  | 9,9  | 9,3  | 0,6                    | 18,5  | 3,3   | 7,2    | 65    |
| 11.06.2013 | 72,1                  | 4,3 | 0,7                    | 1,2 | 2,2  | 334                      | 51  | 35  | 47  | 7,1  | 5,4  | 0,4                    | 10,6  | 2,4   | 4,2    | 80    |
| 14.06.2013 | 32,0                  | 5,1 | 1,8                    | 1,0 | 1,3  | 243                      | 42  | 35  | 20  | 4,7  | 3,4  | 0,9                    | 4,5   | 1,6   | 2,6    | 240   |
| 25.06.2013 | 41,4                  | 5,3 | 1,7                    | 0,9 | 2,9  | 306                      | 29  | 35  | 20  | 5,1  | 4,1  | 1,1                    | 4,5   | 1,7   | 3,2    | 595   |
| 26.06.2013 | 26,0                  | 5,3 | 0,7                    | 0,4 | 0,3  | 68                       | 10  | 35  | 20  | 2,5  | 2,7  | 1,1                    | 4,5   | 0,8   | 2,1    | 850   |
| 29.06.2013 | 33,0                  | 5,2 | 1,7                    | 0,3 | 1,3  | 302                      | 15  | 35  | 20  | 2,1  | 3,7  | 1,2                    | 4,5   | 0,7   | 2,8    | 510   |
| 04.07.2013 | 102,3                 | 5,5 | 1,0                    | 0,5 | 1,2  | 270                      | 12  | 35  | 20  | 5,2  | 5,9  | 0,5                    | 4,5   | 1,7   | 4,6    | 12    |
| 25.07.2013 | 234,7                 | 4,2 | 1,0                    | 1,4 | 5,7  | 530                      | 105 | 200 | 218 | 22,2 | 28,8 | 1,1                    | 49,1  | 7,4   | 22,4   | 30    |
| 30.07.2013 | 35,7                  | 5,3 | 0,5                    | 0,6 | 1,3  | 162                      | 24  | 35  | 20  | 5,7  | 4,7  | 0,6                    | 4,5   | 1,9   | 3,6    | 920   |
| 31.07.2013 | 45,0                  | 5,9 | 5,3                    | 2,4 | 1,2  | 319                      | 23  | 35  | 20  | 4,3  | 6,1  | 6,3                    | 4,5   | 1,4   | 4,8    | 490   |
| 10.08.2013 | 33,3                  | 5,9 | 0,5                    | 0,9 | 2,3  | 252                      | 45  | 35  | 20  | 4,6  | 3,5  | 0,5                    | 4,5   | 1,5   | 2,7    | 310   |
| 13.08.2013 | 131,7                 | 5,6 | 6,7                    | 2,0 | 8,6  | 1171                     | 68  | 35  | 20  | 5,5  | 16,1 | 1,4                    | 4,5   | 1,8   | 12,5   | 115   |
| 19.08.2013 | 33,6                  | 5,8 | 1,4                    | 0,8 | 2,4  | 308                      | 32  | 35  | 20  | 3,4  | 4,1  | 0,5                    | 4,5   | 1,1   | 3,2    | 250   |
| 20.08.2013 | 45,2                  | 5,7 | 1,0                    | 0,4 | 1,1  | 179                      | 13  | 35  | 20  | 4,8  | 6,7  | 0,9                    | 4,5   | 1,6   | 5,2    | 255   |
| 26.08.2013 | 152,5                 | 5,5 | 7,7                    | 3,2 | 7,4  | 1695                     | 111 | 35  | 70  | 7,4  | 19,4 | 2,2                    | 15,9  | 2,5   | 15,0   | 145   |
| 27.08.2013 | 42,3                  | 4,4 | 0,9                    | 0,4 | 1,4  | 274                      | 27  | 35  | 20  | 4,5  | 4,3  | 0,4                    | 4,5   | 1,5   | 3,3    | 250   |
| 28.08.2013 | 28,3                  | 4,4 | 0,2                    | 0,3 | 0,4  | 52                       | 14  | 35  | 20  | 4,6  | 2,6  | 0,2                    | 4,5   | 1,5   | 2,0    | 390   |
| 01.09.2013 | 116,2                 | 5,2 | 0,8                    | 1,1 | 7,0  | 549                      | 73  | 35  | 95  | 8,2  | 18,3 | 0,7                    | 21,6  | 2,7   | 14,2   | 100   |
| 07.09.2013 | 282,0                 | 5,4 | 21,5                   | 2,2 | 10,7 | 3077                     | 108 | 35  | 90  | 6,4  | 29,2 | 23,4                   | 20,4  | 2,1   | 22,7   | 180   |
| 09.09.2013 | 21,8                  | 5,6 | 0,6                    | 0,4 | 1,6  | 238                      | 28  | 35  | 20  | 3,6  | 2,5  | 0,4                    | 4,5   | 1,2   | 1,9    | 540   |
| 10.09.2013 | 15,5                  | 5,1 | 0,1                    | 0,2 | 0,5  | 77                       | 11  | 35  | 20  | 2,6  | 1,9  | 0,2                    | 4,5   | 0,9   | 1,5    | 260   |
| 11.09.2013 | 16,8                  | 5,2 | 0,4                    | 0,3 | 0,4  | 68                       | 8   | 35  | 20  | 2,5  | 4,4  | 0,5                    | 4,5   | 0,8   | 3,4    | 930   |
| 12.09.2013 | 36,0                  | 4,6 | 0,3                    | 0,1 | 0,3  | 53                       | 6   | 35  | 20  | 1,7  | 3,3  | 0,3                    | 4,5   | 0,6   | 2,6    | 970   |
| 13.09.2013 | 36,7                  | 4,2 | 0,1                    | 0,1 | 0,2  | 20                       | 6   | 35  | 20  | 1,1  | 2,7  | 0,1                    | 4,5   | 0,7   | 2,1    | 195   |
| 14.09.2013 | 110,5                 | 3,7 | 0,3                    | 0,3 | 0,6  | 60                       | 16  | 35  | 20  | 3,8  | 8,2  | 0,7                    | 4,5   | 1,3   | 6,3    | 515   |
| 15.09.2013 | 26,7                  | 4,4 | 0,2                    | 0,1 | 0,2  | 24                       | 5   | 35  | 20  | 2,0  | 2,6  | 0,2                    | 4,5   | 0,7   | 2,0    | 770   |
| 17.09.2013 | 22,2                  | 4,6 | 0,4                    | 0,1 | 0,1  | 44                       | 4   | 35  | 20  | 1,2  | 2,0  | 0,5                    | 4,5   | 0,4   | 1,5    | 2310  |
| 18.09.2013 | 7,4                   | 5,1 | 0,6                    | 0,1 | 0,1  | 67                       | 3   | 35  | 20  | 0,8  | 1,4  | 0,8                    | 4,5   | 0,3   | 1,1    | 3250  |
| 19.09.2013 | 24,1                  | 4,4 | 0,2                    | 0,1 | 0,1  | 26                       | 2   | 35  | 20  | 0,3  | 1,8  | 0,2                    | 4,5   | 0,1   | 1,4    | 1390  |
| 20.09.2013 | 13,0                  | 4,8 | 0,8                    | 0,2 | 0,3  | 105                      | 6   | 35  | 20  | 1,8  | 4,0  | 0,7                    | 4,5   | 0,6   | 3,1    | 1470  |
| 21.09.2013 | 64,3                  | 3,9 | 0,9                    | 0,2 | 0,3  | 118                      | 7   | 35  | 20  | 1,4  | 5,0  | 1,2                    | 4,5   | 0,5   | 3,9    | 1830  |
| 23.09.2013 | 54,2                  | 4,2 | 1,5                    | 0,5 | 1,9  | 202                      | 18  | 35  | 43  | 2,4  | 5,1  | 3,1                    | 9,8   | 0,8   | 4,0    | 500   |
| 24.09.2013 | 78,0                  | 4,1 | 1,3                    | 0,9 | 0,6  | 156                      | 8   | 35  | 20  | 3,8  | 7,6  | 1,0                    | 4,5   | 1,3   | 5,9    | 490   |
| 26.09.2013 |                       |     | 5,6                    | 3,2 | 22,7 | 1997                     | 180 | 323 | 495 | 34,2 | 95,3 | 2,2                    | 111,8 | 11,4  | 74,0   | 40    |
| 06.10.2013 | 41,1                  | 4,6 | 0,4                    | 0,5 | 2,8  | 324                      | 38  | 35  | 20  | 4,0  | 4,6  | 0,2                    | 4,5   | 1,3   | 3,6    | 470   |
| 07.10.2013 | 9,4                   | 5,3 | 0,1                    | 0,2 | 0,2  | 39                       | 14  | 35  | 20  | 3,2  | 1,2  | 0,2                    | 4,5   | 1,1   | 1,0    | 60    |
| 09.10.2013 | 134,4                 | 3,9 | 0,1                    | 0,4 | 1,6  | 181                      | 25  | 103 | 72  | 8,1  | 16,2 | 0,3                    | 16,3  | 2,7   | 12,6   | 230   |
| 10.10.2013 | 139,4                 | 3,9 | 0,2                    | 0,5 | 1,6  | 185                      | 31  | 104 | 75  | 8,9  | 15,9 | 0,4                    | 17,0  | 3,0   | 12,4   | 320   |
| 11.10.2013 | 16,0                  | 4,6 | 0,2                    | 0,1 | 0,2  | 30                       | 7   | 35  | 20  | 2,8  | 1,6  | 0,1                    | 4,5   | 0,9   | 1,2    | 790   |
| 12.10.2013 | 16,0                  | 4,9 | 0,2                    | 0,1 | 0,3  | 40                       | 2   | 35  | 20  | 0,7  | 0,4  | 0,1                    | 4,5   | 0,2   | 0,3    | 295   |
| 16.10.2013 | 47,7                  | 4,0 | 1,3                    | 0,2 | 0,3  | 30                       | 8   | 35  | 20  | 1,8  | 2,0  | 0,3                    | 4,5   | 0,6   | 1,5    | 1050  |
| 17.10.2013 | 29,1                  | 4,3 | 0,3                    | 0,2 | 0,3  | 53                       | 9   | 35  | 20  | 2,0  | 2,1  | 0,4                    | 4,5   | 0,7   | 1,7    | 815   |
| 18.10.2013 | 47,5                  | 4,4 | 1,9                    | 0,1 | 0,4  | 228                      | 8   | 35  | 20  | 1,1  | 2,5  | 2,9                    | 4,5   | 0,4   | 2,0    | 1630  |
| 22.10.2013 | 52,5                  | 4,7 | 2,2                    | 0,4 | 1,1  | 319                      | 11  | 35  | 20  | 3,6  | 6,2  | 1,1                    | 4,5   | 1,2   | 4,8    | 460   |
| 24.10.2013 | 32,5                  | 5,1 | 0,7                    | 0,4 | 0,6  | 136                      | 14  | 35  | 20  | 4,1  | 4,6  | 0,4                    | 4,5   | 1,4   | 3,6    | 320   |
| 28.10.2013 | 26,5                  | 5,5 | 2,1                    | 0,3 | 0,6  | 222                      | 12  | 35  | 20  | 4,0  | 2,0  | 3,2                    | 4,5   | 1,3   | 1,6    | 700   |
| 29.10.2013 | 38,5                  | 5,4 | 3,3                    | 0,4 | 0,7  | 425                      | 13  | 35  | 20  | 3,2  | 3,0  | 4,2                    | 4,5   | 1,1   | 2,3    | 140   |
| 30.10.2013 | 50,1                  | 5,8 | 3,2                    | 0,3 | 0,5  | 328                      | 10  | 35  | 20  | 3,4  | 5,8  | 4,8                    | 4,5   | 1,1   | 4,5    | 630   |
| 02.11.2013 | 26,4                  | 5,7 | 1,0                    | 0,2 | 0,6  | 228                      | 4   | 35  | 20  | 3,2  | 3,1  | 1,5                    | 4,5   | 1,1   | 2,4    | 285   |
| 03.11.2013 | 26,2                  | 5,7 | 1,1                    | 0,2 | 0,4  | 151                      | 6   | 35  | 20  | 2,7  | 3,2  | 1,5                    | 4,5   | 0,9   | 2,4    | 930   |
| 04.11.2013 | 25,8                  | 5,6 | 1,1                    | 0,1 | 0,4  | 151                      | 5   | 35  | 20  | 2,3  | 3,1  | 1,5                    | 4,5   | 0,8   | 2,4    | 1400  |
| 05.11.2013 | 15,3                  | 5,3 | 0,3                    | 0,1 | 0,2  | 70                       | 4   | 35  | 20  | 2,3  | 3,2  | 0,4                    | 4,5   | 0,8   | 2,5    | 500   |
| 08.11.2013 | 21,4                  | 5,2 | 0,6                    | 0,1 | 0,2  | 82                       | 6   | 35  | 20  | 1,7  | 2,1  | 0,8                    | 4,5   | 0,6   | 1,6    | 1110  |
| 09.11.2013 | 8,1                   | 5,5 | 0,1                    | 0,0 | 0,1  | 30                       | 3   | 35  | 20  | 0,8  | 0,9  | 0,2                    | 4,5   | 0,3   | 0,7    | 860   |
| 10.11.2013 | 24,6                  | 5,4 | 1,2                    | 0,1 | 0,3  | 111                      | 7   | 35  | 20  | 1,4  | 2,9  | 1,6                    | 4,5   | 0,5   | 2,2    | 250   |
| 12.11.2013 | 12,9                  | 5,6 | 0,4                    | 0,2 | 0,1  | 41                       | 4   | 35  | 20  | 1,2  | 1,9  | 0,6                    | 4,5   | 0,4   | 1,5    | 140   |
| 18.11.2013 | 83,3                  | 3,9 | 0,7                    | 0,4 | 0,5  | 108                      | 20  | 80  | 20  | 4,3  | 5,8  | 0,8                    | 4,5   | 1,4   | 4,5    | 470   |

Tab. 6: Chemische Beschaffenheit von Nebel und Wolkenwasser in der Nebelharfe am Ruckwiesberg (HR) in den Messkampagnen 2012 und 2013.

|            | LF                    | pH  | K                      | Na  | Ca   | Mg                       | Mn  | Fe  | Al  | DOC  | TNb                    | Cl  | NO3-N | SO4-S | NH4-N | Menge |    |
|------------|-----------------------|-----|------------------------|-----|------|--------------------------|-----|-----|-----|------|------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|----|
|            | $\mu\text{S cm}^{-1}$ |     | [ $\text{mg l}^{-1}$ ] |     |      | [ $\mu\text{g l}^{-1}$ ] |     |     |     |      | [ $\text{mg l}^{-1}$ ] |     |       |       |       |       | ml |
| 16.05.2012 | 79                    | 5,4 | 1,4                    | 0,9 | 3,5  | 439                      | 51  | 368 | 64  | 5,2  | 11,6                   | 1,6 | 14,4  | 1,7   | 9,0   | 100   |    |
| 01.06.2012 | 55                    | 6,2 | 2,3                    | 3,9 | 2,2  | 319                      | 50  | 35  | 40  | 11,2 | 5,1                    | 2,1 | 9,1   | 3,7   | 4,0   | 300   |    |
| 02.06.2012 |                       |     | 1,2                    | 2,7 | 1,1  | 334                      | 15  | 150 | 85  | 21,2 | 8,8                    | 0,8 | 19,3  | 7,1   | 6,9   | 10    |    |
| 03.06.2012 | 25                    | 5,8 | 0,9                    | 1,7 | 0,5  | 133                      | 27  | 35  | 20  | 10,5 | 3,1                    | 0,8 | 4,5   | 3,5   | 2,4   | 70    |    |
| 04.06.2012 | 50                    | 5,8 | 0,7                    | 1,4 | 1,3  | 223                      | 27  | 35  | 20  | 8,3  | 7,0                    | 0,5 | 4,5   | 2,8   | 5,5   | 160   |    |
| 05.06.2012 | 33                    | 5,3 | 0,7                    | 0,7 | 0,7  | 134                      | 16  | 35  | 20  | 4,3  | 4,3                    | 0,7 | 4,5   | 1,4   | 3,3   | 80    |    |
| 06.06.2012 |                       |     | 1,9                    | 0,5 | 0,3  | 60                       | 4   | 35  | 20  | 2,0  | 1,0                    | 1,7 | 4,5   | 0,7   | 0,7   | 50    |    |
| 07.06.2012 |                       | 4,9 | 1,8                    | 1,7 | 0,7  | 113                      | 9   | 35  | 20  | 5,2  | 3,9                    | 1,3 | 4,5   | 1,7   | 3,0   | 40    |    |
| 08.06.2012 | 84                    | 6,6 | 2,6                    | 2,9 | 1,1  | 279                      | 20  | 35  | 20  | 7,5  | 8,0                    | 1,9 | 4,5   | 2,5   | 6,2   | 80    |    |
| 10.06.2012 |                       |     | 2,2                    | 0,8 | 0,9  | 211                      | 15  | 35  | 20  | 4,5  | 4,6                    | 2,0 | 4,5   | 1,5   | 3,5   | 60    |    |
| 13.06.2012 | 44                    | 4,7 | 1,1                    | 0,6 | 0,8  | 196                      | 18  | 35  | 20  | 3,7  | 5,1                    | 0,5 | 4,5   | 1,2   | 3,9   | 180   |    |
| 14.06.2012 | 44                    | 4,3 | 0,2                    | 0,6 | 0,3  | 52                       | 7   | 35  | 20  | 2,8  | 4,6                    | 0,2 | 4,5   | 0,9   | 3,6   | 170   |    |
| 21.06.2012 |                       |     | 1,9                    | 3,8 | 8,3  | 819                      | 81  | 58  | 33  | 17,5 | 14,5                   | 1,3 | 7,4   | 5,8   | 11,2  | 25    |    |
| 25.06.2012 |                       |     | 6,2                    | 4,9 | 8,7  | 1317                     | 63  | 64  | 36  | 20,3 | 29,1                   | 4,2 | 8,2   | 6,8   | 22,6  | 25    |    |
| 03.07.2012 | 58                    | 6,6 | 1,4                    | 1,6 | 3,9  | 477                      | 54  | 35  | 20  | 9,9  | 4,9                    | 0,7 | 4,5   | 3,3   | 3,8   | 80    |    |
| 04.07.2012 |                       |     | 1,3                    | 0,4 | 0,9  | 95                       | 27  | 35  | 20  | 4,6  | 1,1                    | 0,9 | 4,5   | 1,5   | 0,8   | 50    |    |
| 15.07.2012 |                       |     | 5,7                    | 5,2 | 23,8 | 2892                     | 245 | 97  | 217 | 30,3 | 28,8                   | 3,2 | 49,0  | 10,1  | 22,4  | 40    |    |
| 17.07.2012 | 41                    | 6,1 | 1,1                    | 0,7 | 2,5  | 361                      | 30  | 35  | 42  | 5,7  | 5,3                    | 0,9 | 9,6   | 1,9   | 4,1   | 300   |    |
| 18.07.2012 | 56                    | 6,1 | 3,1                    | 0,5 | 1,8  | 400                      | 20  | 35  | 20  | 4,8  | 6,2                    | 2,6 | 4,5   | 1,6   | 4,8   | 220   |    |
| 30.07.2012 |                       |     | 8,5                    | 5,5 | 15,0 | 1623                     | 98  | 35  | 64  | 25,2 | 28,5                   | 3,5 | 14,4  | 8,4   | 22,1  | 50    |    |
| 07.08.2012 | 57                    | 6,5 | 2,3                    | 1,2 | 4,2  | 579                      | 51  | 35  | 46  | 7,4  | 6,8                    | 1,5 | 10,4  | 2,5   | 5,3   | 110   |    |
| 17.08.2012 | 67                    | 5,4 | 1,3                    | 1,1 | 4,1  | 554                      | 67  | 35  | 89  | 10,1 | 9,8                    | 0,4 | 20,2  | 3,4   | 7,6   | 70    |    |
| 21.08.2012 | 41                    | 5,9 | 0,7                    | 0,7 | 3,0  | 403                      | 49  | 35  | 20  | 7,3  | 6,0                    | 0,3 | 4,5   | 2,4   | 4,6   | 100   |    |
| 25.08.2012 | 21                    | 6,7 | 0,4                    | 0,4 | 0,7  | 82                       | 9   | 35  | 20  | 3,7  | 2,5                    | 0,5 | 4,5   | 1,2   | 2,0   | 70    |    |
| 26.08.2012 | 23                    | 6,4 | 0,6                    | 0,3 | 0,5  | 75                       | 11  | 35  | 20  | 2,3  | 2,7                    | 1,0 | 4,5   | 0,8   | 2,1   | 180   |    |
| 28.08.2012 | 60                    | 5,9 | 2,8                    | 0,4 | 1,2  | 394                      | 25  | 35  | 20  | 3,1  | 6,7                    | 4,7 | 4,5   | 1,0   | 5,2   | 100   |    |
| 02.09.2012 | 83                    | 5,0 | 1,7                    | 1,0 | 1,4  | 283                      | 44  | 35  | 52  | 6,7  | 9,5                    | 2,2 | 11,7  | 2,2   | 7,4   | 50    |    |
| 12.09.2012 | 73                    | 6,0 | 5,0                    | 0,9 | 4,1  | 676                      | 29  | 35  | 20  | 5,7  | 8,0                    | 2,4 | 4,5   | 1,9   | 6,2   | 180   |    |
| 14.09.2012 | 35                    | 4,9 | 1,5                    | 0,7 | 1,3  | 239                      | 24  | 35  | 20  | 3,7  | 4,6                    | 0,7 | 4,5   | 1,2   | 3,6   | 50    |    |
| 15.09.2012 |                       |     | 3,6                    | 1,1 | 3,3  | 700                      | 42  | 52  | 30  | 4,5  | 16,3                   | 2,1 | 6,7   | 1,5   | 12,7  | 25    |    |
| 20.09.2012 |                       |     | 4,0                    | 5,1 | 4,3  | 399                      | 47  | 104 | 59  | 8,1  | 9,9                    | 5,0 | 13,4  | 2,7   | 7,7   | 15    |    |
| 22.09.2012 | 63                    | 4,7 | 2,2                    | 0,6 | 2,5  | 497                      | 27  | 35  | 20  | 3,4  | 7,5                    | 1,3 | 4,5   | 1,1   | 5,8   | 90    |    |
| 23.09.2012 | 28                    | 5,7 | 1,4                    | 0,3 | 0,4  | 77                       | 6   | 35  | 20  | 1,7  | 2,9                    | 0,8 | 4,5   | 0,6   | 2,2   | 200   |    |
| 27.09.2012 |                       |     | 3,8                    | 2,0 | 1,7  | 330                      | 1   | 37  | 21  | 3,8  | 3,7                    | 3,1 | 4,8   | 1,3   | 2,9   | 40    |    |
| 28.09.2012 | 35                    | 6,1 | 1,8                    | 0,4 | 0,8  | 161                      | 9   | 35  | 20  | 2,4  | 4,9                    | 1,5 | 4,5   | 0,8   | 3,8   | 160   |    |
| 02.10.2012 |                       |     | 4,9                    | 1,6 | 6,6  | 815                      | 52  | 35  | 96  | 9,3  | 30,4                   | 2,9 | 21,8  | 3,1   | 23,6  | 50    |    |
| 05.10.2012 | 28                    | 6,4 | 1,6                    | 0,4 | 1,0  | 117                      | 10  | 35  | 20  | 2,8  | 4,1                    | 1,2 | 4,5   | 0,9   | 3,2   | 100   |    |
| 07.10.2012 | 21                    | 5,0 | 1,8                    | 0,1 | 0,4  | 62                       | 3   | 35  | 20  | 1,7  | 1,3                    | 1,2 | 4,5   | 0,6   | 1,0   | 390   |    |
| 10.10.2012 |                       |     | 2,1                    | 0,5 | 1,3  | 411                      | 15  | 44  | 25  | 3,7  | 10,5                   | 2,3 | 5,6   | 1,2   | 8,2   | 30    |    |
| 13.10.2012 |                       |     | 5,4                    | 0,9 | 1,4  | 622                      | 26  | 35  | 20  | 7,8  | 11,0                   | 5,7 | 4,5   | 2,6   | 8,6   | 45    |    |
| 16.10.2012 |                       |     | 8,3                    | 1,4 | 2,1  | 896                      | 31  | 69  | 40  | 7,1  | 13,1                   | 7,7 | 9,0   | 2,4   | 10,2  | 25    |    |
| 17.10.2012 |                       |     | 5,7                    | 1,1 | 1,9  | 700                      | 26  | 35  | 20  | 4,8  | 14,4                   | 5,0 | 4,5   | 1,6   | 11,2  | 45    |    |
| 26.10.2012 |                       |     | 1,6                    | 1,0 | 1,7  | 460                      | 40  | 59  | 34  | 9,1  | 26,3                   | 1,2 | 7,6   | 3,0   | 20,4  | 25    |    |
| 30.10.2012 |                       |     | 1,4                    | 0,7 | 0,7  | 66                       | 10  | 231 | 132 | 16,6 | 13,1                   | 2,0 | 29,8  | 5,5   | 10,1  | 7     |    |
| 01.11.2012 | 24                    | 6,0 | 1,3                    | 0,1 | 0,5  | 99                       | 7   | 35  | 20  | 1,8  | 2,4                    | 1,2 | 4,5   | 0,6   | 1,9   | 455   |    |
| 02.11.2012 | 35                    | 6,1 | 1,3                    | 0,6 | 0,9  | 190                      | 19  | 35  | 20  | 3,2  | 3,5                    | 1,9 | 4,5   | 1,1   | 2,7   | 70    |    |
| 03.11.2012 | 34                    | 6,1 | 1,5                    | 0,4 | 0,8  | 162                      | 18  | 35  | 20  | 2,9  | 3,3                    | 2,0 | 4,5   | 1,0   | 2,6   | 325   |    |
| 06.11.2012 | 21                    | 6,2 | 1,4                    | 0,3 | 0,3  | 93                       | 6   | 35  | 20  | 0,9  | 1,7                    | 1,6 | 4,5   | 0,3   | 1,3   | 335   |    |
| 08.11.2012 | 21                    | 6,2 | 0,8                    | 0,5 | 0,3  | 64                       | 7   | 35  | 20  | 1,1  | 2,2                    | 0,6 | 4,5   | 0,4   | 1,7   | 430   |    |
| 10.11.2012 |                       |     | 1,0                    | 1,1 | 1,3  | 121                      | 21  | 35  | 20  | 3,8  | 8,7                    | 0,9 | 4,5   | 1,3   | 6,7   | 88    |    |
| 13.11.2012 |                       |     | 0,5                    | 0,5 | 0,8  | 50                       | 23  | 176 | 101 | 7,9  | 4,0                    | 0,5 | 22,7  | 2,7   | 3,1   | 8     |    |
| 22.11.2012 |                       |     | 2,6                    | 0,6 | 1,4  | 170                      | 25  | 35  | 50  | 5,0  | 4,1                    | 1,4 | 11,3  | 1,7   | 3,1   | 45    |    |
| 23.11.2012 |                       |     | 2,2                    | 0,9 | 1,0  | 461                      | 18  | 174 | 99  | 8,9  | 2,6                    | 0,5 | 22,4  | 3,0   | 2,0   | 8     |    |
| 14.06.2013 |                       |     | 3,7                    | 5,4 | 7,0  | 1131                     | 112 | 73  | 42  | 10,9 | 13,0                   | 1,0 | 9,4   | 3,7   | 10,1  | 20    |    |
| 25.06.2013 |                       |     | 3,8                    | 8,2 | 15,7 | 1604                     | 155 | 89  | 51  | 17,1 | 18,2                   | 3,6 | 11,5  | 5,7   | 14,1  | 15    |    |
| 26.06.2013 | 91                    | 6,1 | 1,9                    | 1,1 | 6,5  | 723                      | 53  | 35  | 20  | 6,5  | 8,1                    | 2,3 | 4,5   | 2,2   | 6,3   | 90    |    |
| 29.06.2013 |                       |     | 5,2                    | 1,9 | 5,6  | 1112                     | 84  | 35  | 49  | 8,9  | 9,5                    | 3,7 | 11,2  | 3,0   | 7,4   | 45    |    |
| 30.07.2013 | 78                    | 6,0 | 0,8                    | 2,3 | 5,3  | 618                      | 101 | 35  | 70  | 10,8 | 8,2                    | 1,2 | 15,9  | 3,6   | 6,4   | 110   |    |
| 09.09.2013 |                       |     | 2,8                    | 2,4 | 6,6  | 965                      | 76  | 43  | 52  | 8,9  | 10,7                   | 1,2 | 11,7  | 3,0   | 8,3   | 35    |    |
| 10.09.2013 |                       |     | 1,0                    | 0,7 | 2,8  | 387                      | 41  | 38  | 22  | 4,5  | 4,7                    | 0,4 | 4,9   | 1,5   | 3,6   | 38    |    |
| 11.09.2013 | 45                    | 4,7 | 0,5                    | 0,4 | 1,0  | 139                      | 14  | 35  | 20  | 2,3  | 6,0                    | 0,4 | 4,5   | 0,8   | 4,7   | 175   |    |
| 12.09.2013 | 45                    | 4,7 | 0,5                    | 0,2 | 0,8  | 130                      | 12  | 35  | 20  | 2,5  | 6,0                    | 0,5 | 4,5   | 0,8   | 4,7   | 245   |    |
| 13.09.2013 | 46                    | 4,5 | 0,6                    | 0,3 | 0,9  | 138                      | 13  | 35  | 20  | 2,9  | 6,3                    | 0,5 | 4,5   | 1,0   | 4,9   | 110   |    |
| 14.09.2013 | 56                    | 4,3 | 0,2                    | 0,2 | 0,5  | 71                       | 10  | 35  | 20  | 2,5  | 7,1                    | 0,2 | 4,5   | 0,8   | 5,5   | 195   |    |
| 15.09.2013 |                       |     | 0,2                    | 0,2 | 0,5  | 64                       | 9   | 35  | 20  | 2,5  | 6,9                    | 0,2 | 4,5   | 0,8   | 5,3   | 50    |    |
| 17.09.2013 | 24                    | 4,8 | 0,4                    | 0,1 | 0,2  | 54                       | 5   | 35  | 20  | 1,4  | 2,9                    | 0,4 | 4,5   | 0,5   | 2,2   | 450   |    |
| 18.09.2013 | 21                    | 4,7 | 0,3                    | 0,1 | 0,2  | 48                       | 6   | 35  | 20  | 1,0  | 2,0                    | 0,3 | 4,5   | 0,3   | 1,5   | 865   |    |
| 19.09.2013 | 18                    | 5,0 | 1,1                    | 0,2 | 0,4  | 141                      | 14  | 35  | 20  | 1,2  | 2,2                    | 1,4 | 4,5   | 0,4   | 1,7   | 160   |    |
| 20.09.2013 | 53                    | 4,4 | 1,5                    | 0,5 | 1,0  | 213                      | 27  | 35  | 20  | 3,8  | 5,6                    | 1,1 | 4,5   | 1,3   | 4,4   | 220   |    |
| 21.09.2013 | 97                    | 3,9 | 1,9                    | 0,4 | 0,6  | 243                      | 16  | 35  | 49  | 3,5  | 7,3                    | 1,9 | 11,1  | 1,2   | 5,7   | 130   |    |
| 23.09.2013 | 89                    | 4,3 | 2,2                    | 0,8 | 0,8  | 291                      | 22  | 35  | 20  | 3,9  | 8,9                    | 1,0 | 4,5   | 1,3   | 6,9   | 55    |    |
| 24.09.2013 |                       |     | 2,0                    | 0,5 | 0,7  | 279                      | 16  | 42  | 24  | 5,5  | 14,3                   | 1,6 | 5,4   | 1,8   | 11,1  | 35    |    |
| 06.10.2013 |                       |     | 2,0                    | 1,5 | 10,5 | 960                      | 54  | 31  | 8,3 | 13,0 | 0,6                    | 6,9 | 2,8   | 10,1  | 30    |       |    |
| 07.10.2013 |                       |     | 1,0                    | 0,8 | 5,9  | 561                      | 71  | 65  | 37  | 5,3  | 7,5                    | 0,3 | 8,4   | 1,8   | 5,8   | 20    |    |
| 11.10.2013 | 196                   | 4,1 | 0,6                    | 1,0 | 4,6  | 438                      | 65  | 109 | 127 | 11,2 | 23,5                   | 0,6 | 28,7  | 3,7   | 18,2  | 175   |    |
| 12.10.2013 |                       |     | 0,2                    | 0,3 | 1,0  | 110                      | 17  | 39  | 22  | 3,6  | 5,3                    | 0,2 | 5,1   | 1,2   | 4,1   | 40    |    |
| 16.10.2013 | 61                    | 3,6 | 0,5                    | 0,2 | 0,5  | 88                       | 8   | 35  | 20  | 2,9  | 4,2                    | 0,6 | 4,5   | 1,0   | 3,3   | 135   |    |
| 17.10.2013 | 62                    | 3,9 | 0,4                    | 0,1 | 0,4  | 76                       | 8   | 35  | 20  | 2,3  | 4,2                    | 0,5 | 4,5   | 0,8   | 3,2   | 200   |    |
| 18.10.2013 | 65                    | 4,5 | 4,4                    | 0,3 | 0,9  | 540                      | 10  | 35  | 20  | 2,0  | 4,7                    | 6,1 | 4,5   | 0,7   | 3,6   | 205   |    |
| 22.10.2013 |                       |     | 8,7                    | 1,2 | 4,3  | 1241                     | 36  | 56  | 32  | 7,6  | 18,1                   | 3,8 | 7,2   | 2,5   | 14,0  | 27    |    |
| 24.10.2013 |                       |     | 4,0                    | 1,3 | 3,5  | 711                      | 44  | 75  | 43  | 12,6 | 16,2                   | 2,0 | 9,6   | 4,2   | 12,6  | 20    |    |
| 28.10.2013 | 87                    | 6,1 | 3,6                    | 1,1 | 3,4  | 641                      | 43  | 35  | 41  | 8,5  | 9,1                    | 2,5 | 9,2   | 2,8   | 7,1   | 45    |    |
| 03.11.2013 | 50                    | 6,1 | 3,0                    | 0,5 | 1,2  | 419                      | 11  | 35  | 20  | 4,1  | 5,1                    | 4,0 | 4,5   | 1,4   | 4,0   | 350   |    |
| 04.11.2013 | 50                    | 6,1 | 3,0                    | 0,4 | 1,2  | 421                      | 9   | 35  | 20  | 3,5  | 5,1                    | 4,0 | 4,5   | 1,2   | 4,0   | 320   |    |
| 05.11.2013 | 53                    | 5,9 | 3,3                    | 0,4 | 1,0  | 475                      | 13  | 35  | 20  | 2,9  | 5,9                    | 4,3 | 4,5   | 1,    |       |       |    |

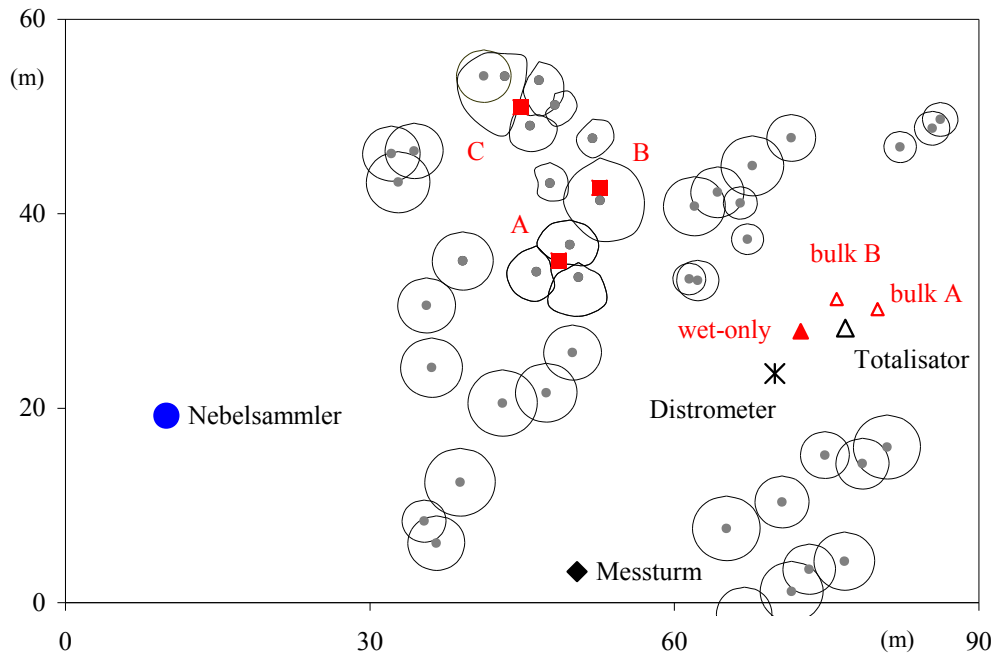


Abb. 1: Standort Großer Falkenstein mit Messplätzen für Freiland- und Bestandesniederschlag, Deposition, Meteorologie und horizontalen Niederschlag. Die Kronenschirmflächen über den Sammlern A, B, C wurden gemessen. Die Schirmflächen der anderen Bäume über ihren Brusthöhendurchmesser berechnet (BEUDERT und BREIT 2012).

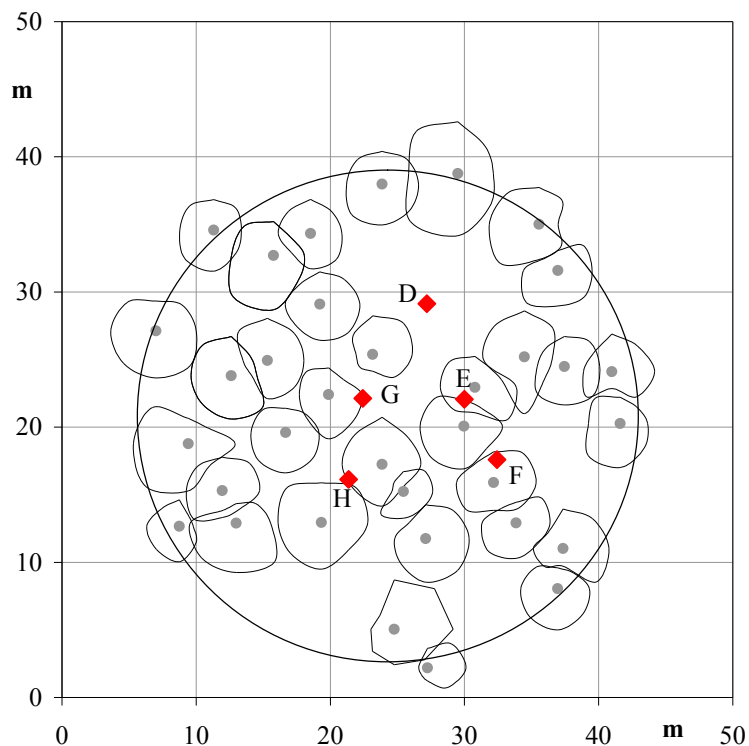


Abb. 2: Stammfußkarte des Fichtenbestands Großer Falkenstein Süd mit den Sammlerpositionen D bis H zur Erfassung des Bestandesniederschlags. Die Kronenschirmflächen der Fichten wurden aus jeweils acht Kronenablotungen berechnet (BEUDERT und BREIT 2013).

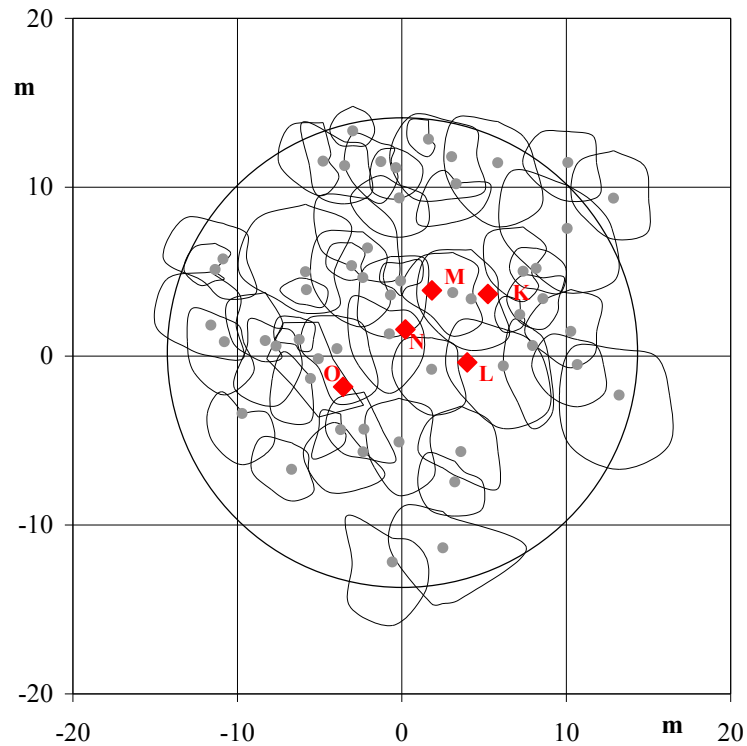


Abb. 3: Stammfußkarte des Fichtenbestands Ruckwiesberg mit den Sammlerpositionen K bis O zur Erfassung des Bestandesniederschlags (BEUDERT und BREIT 2013).

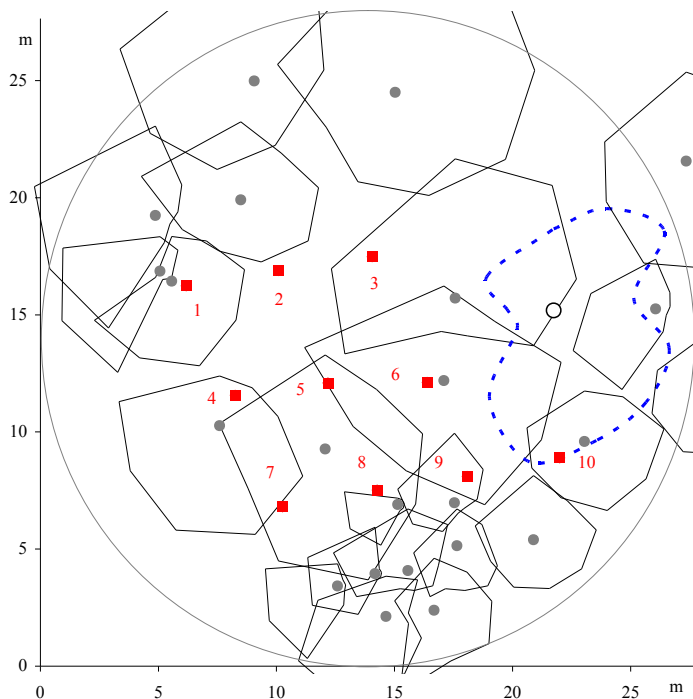


Abb. 4: Stammfußkarte des Fichtenbestands F4 Weitau (Kreisfläche 600 m<sup>2</sup>) mit 10 Depositionssammlern (Kästchen) für den Bestandesniederschlag. Die Kronenschirmflächen der Fichten und einer Buche (strichliniert) wurden aus jeweils acht (12) Kronenablotungen berechnet (BEUDERT und BREIT 2014).

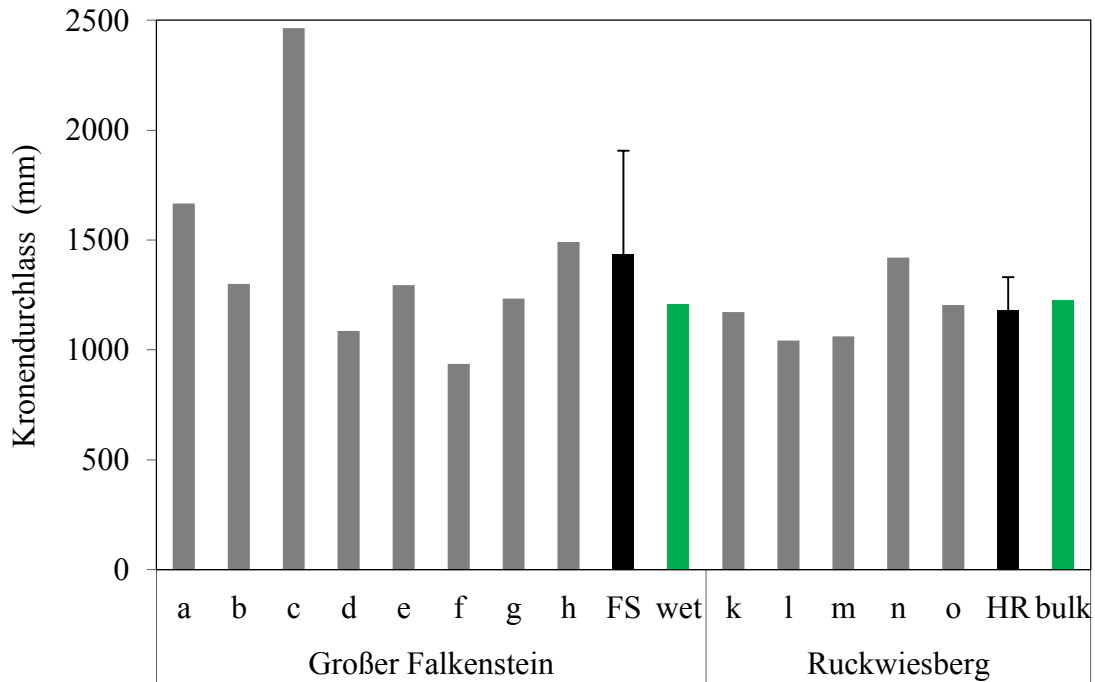


Abb. 5: Kronendurchlass (Kleinbuchstaben a – h sowie k – o: Sammlerpositionen) und im Freiland (wet-only-Sammler und bulk-Sammler) am Großen Falkenstein und in Oberhanglage am Ruckwiesberg. FS und HR kennzeichnen die jeweiligen Mittelwerte ( $\pm$  s) des Kronendurchlasses der Messkampagnen 2012 und 2013.

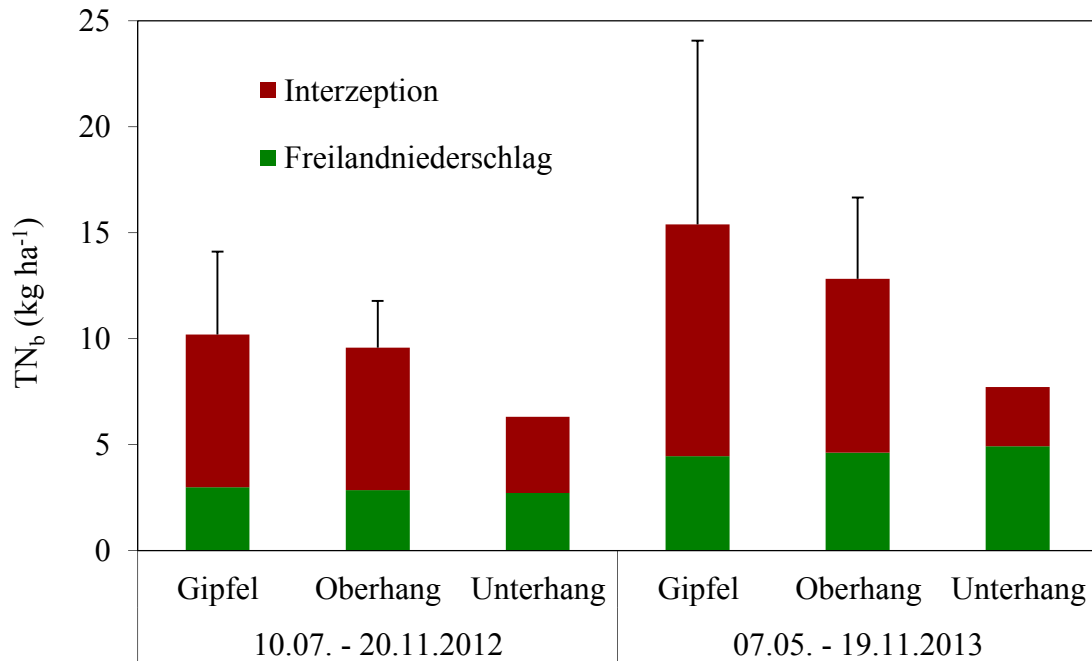


Abb. 6: N-Depositionsraten im Freiland und in Fichtenbeständen am Großen Falkenstein (1310 m ü. NN), in Oberhanglage am Ruckwiesberg (1192 m ü. NN) und am Unterhang im Forellenbachgebiet (787 m ü. NN).

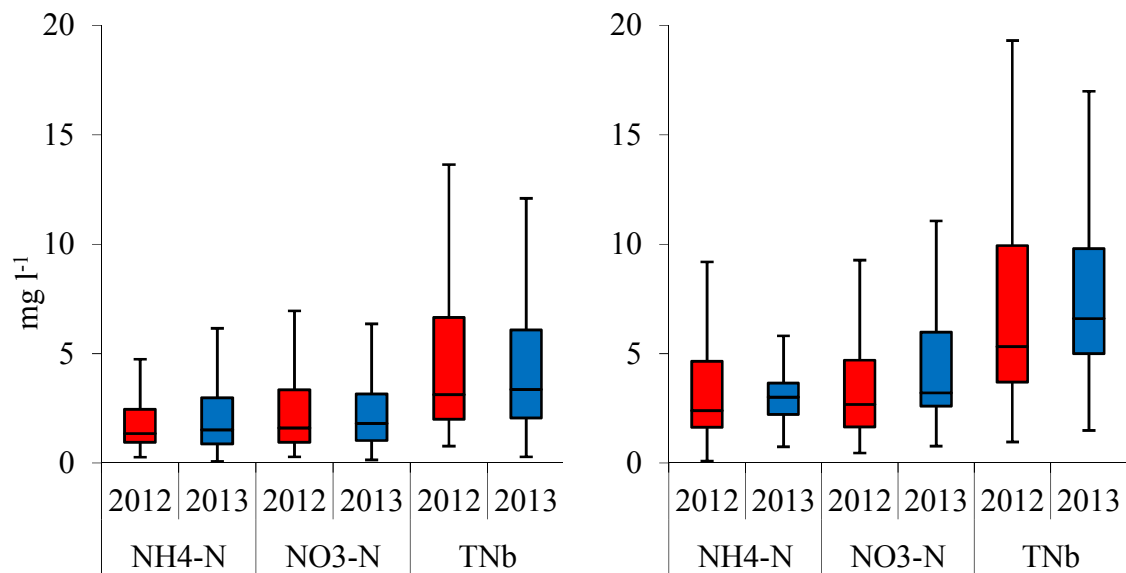


Abb. 7: N-Konzentrationen der Nebel- und Wolkenwasserproben am Großen Falkenstein (links) und am Ruckwiesberg (rechts), differenziert nach den Jahren 2012 und 2013.

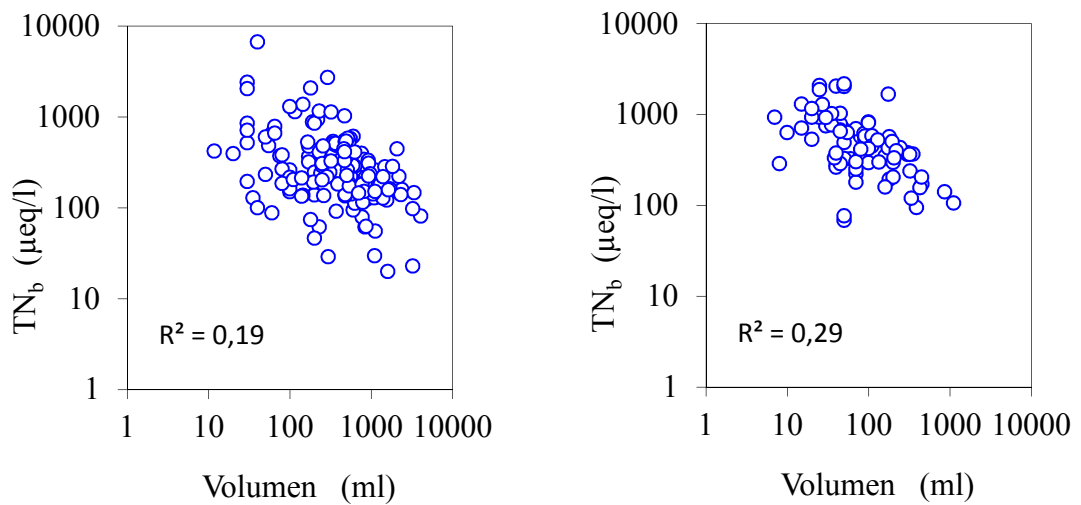


Abb. 8: N-Konzentrationen (TN<sub>b</sub>) der Nebel- und Wolkenwasserproben am Großen Falkenstein (FS) und am Ruckwiesberg (HR) in den Jahren 2012 und 2013. Die Bestimmtheitsmaße sind hochsignifikant.