

# **Untersuchungen über die Zusammensetzung der Bodenlösung Bericht 2012**



INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PFLANZENBIOLOGIE  
Schönenbuch, 11.06.13

# **Impressum**

## **Auftraggeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Wald, 3003 Bern

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung + Chemikalien, 3003 Bern

Unter Einbezug von Ergebnissen des interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogramms, das durch die Kantone AG, BE, BL, BS, FR, SO, TG, ZG und ZH finanziert wird.

## **Auftragnehmer**

Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Sandgrubenstrasse 25, CH-4124 Schönenbuch,

+41 61 481 32 24

[www.iap.ch](http://www.iap.ch)

## **Autorin**

Sabine Braun

## **Begleitung BAFU**

Beat Achermann, Abteilung Luftreinhaltung + Chemikalien

Sabine Augustin, Abteilung Wald

## **Hinweis**

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

## **Freigabe BAFU**

11.06.2013 HEJ

## **Download**

Dieser Bericht kann heruntergeladen werden unter

<http://www.bafu.admin.ch/wald/>

## Inhalt

|        |                                                                                    |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Zusammenfassung .....                                                              | 3  |
| 2.     | Abstract .....                                                                     | 4  |
| 3.     | Ausgangslage .....                                                                 | 5  |
| 3.1.   | Kritische Grenzen .....                                                            | 6  |
| 4.     | Untersuchungsflächen .....                                                         | 9  |
| 5.     | Parameter und Analysenmethoden .....                                               | 11 |
| 5.1.   | Differenzierung in anorganisches und organisches Aluminium .....                   | 12 |
| 5.2.   | Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) .....                                       | 12 |
| 6.     | Ergebnisse .....                                                                   | 14 |
| 6.1.   | Vergleich der Ergebnisse von Bodenlösungsmessungen mit Kritischen Parametern ..... | 14 |
| 6.1.1. | Basen-/Säure-Status der Bodenlösung .....                                          | 14 |
| 6.1.2. | Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung .....                                 | 21 |
| 6.2.   | Auswaschung von Stickstoff, Aluminium und basischen Kationen .....                 | 22 |
| 6.2.1. | Stickstoff-Auswaschung .....                                                       | 22 |
| 6.2.2. | Auswaschung von Aluminium .....                                                    | 28 |
| 6.2.3. | Auswaschung von basischen Kationen .....                                           | 29 |
| 6.3.   | Beurteilung der zeitlichen Entwicklung .....                                       | 31 |
| 7.     | Schlussfolgerungen, Ausblick .....                                                 | 34 |
| 8.     | Verdankungen .....                                                                 | 36 |
| 9.     | Literatur .....                                                                    | 37 |
| 10.    | Bodenlösung Einzelstandorte .....                                                  | 39 |
|        | Aarwangen .....                                                                    | 40 |
|        | Aeschau .....                                                                      | 42 |
|        | Aeschi .....                                                                       | 44 |
|        | Allschwil .....                                                                    | 46 |
|        | Bachtel Fichten .....                                                              | 48 |
|        | Bachtel Buchen .....                                                               | 50 |
|        | Bonfol .....                                                                       | 52 |
|        | Braunau .....                                                                      | 54 |
|        | Breitenbach .....                                                                  | 56 |
|        | Brislach Fichten .....                                                             | 58 |
|        | Brislach Buchen .....                                                              | 60 |
|        | Busswil .....                                                                      | 62 |
|        | Diessenhofen .....                                                                 | 64 |
|        | Frienisberg .....                                                                  | 66 |
|        | Grenchenberg .....                                                                 | 68 |
|        | Habsburg Lotharfläche Kontrolle .....                                              | 70 |
|        | Hinwil .....                                                                       | 72 |
|        | Le Châtelard .....                                                                 | 74 |

---

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| Lurengo Fichten .....                                    | 76  |
| Lurengo N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen) .....   | 78  |
| Möhlín .....                                             | 80  |
| Muri (Sturmfläche) .....                                 | 82  |
| Muri (neue Fichtenfläche) .....                          | 84  |
| Muri Buchen .....                                        | 86  |
| Muttenz .....                                            | 88  |
| Oberschrot .....                                         | 90  |
| Olsberg .....                                            | 92  |
| Pratteln .....                                           | 94  |
| Rafz (neue Fichtenfläche) .....                          | 96  |
| Riehen Mittelberg .....                                  | 98  |
| Rünenberg .....                                          | 100 |
| Sagno Fichten .....                                      | 102 |
| Scheidwald .....                                         | 104 |
| Wangen .....                                             | 106 |
| Wengernalp .....                                         | 108 |
| Winterthur .....                                         | 110 |
| Zofingen .....                                           | 112 |
| Zugerberg N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen) ..... | 114 |
| Zugerberg Hintergeissboden .....                         | 116 |
| Zugerberg Vordergeissboden .....                         | 118 |
| Zugerberg N-Versuch .....                                | 120 |
| Lurengo N-Versuch .....                                  | 122 |

# Untersuchungen über die Zusammensetzung der Bodenlösung

## 1. Zusammenfassung

Die Bodenlösung ist ein wichtiger Monitor für den Zustand und die Veränderungen des Bodens. Die Qualität des Bodens als Wurzelraum sowie ablaufende Bodenprozesse können an der Zusammensetzung der Bodenlösung abgelesen werden. Die Chemie der Bodenlösung wird durch atmosphärischen Eintrag von Luftschadstoffen, durch Austauschprozesse zwischen Bodenfestphase und Lösung sowie durch Rhizosphärenprozesse beeinflusst. Seit 1997 wird die Chemie der Bodenlösung bei einer zunehmenden Zahl von Waldflächen des Interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogramms mit unterschiedlichen Waldbeständen, Bodeneigenschaften und Belastungen untersucht, anfänglich an 9, heute an 40 Standorten.

Die Ergebnisse zeigen je nach Standort eine unterschiedliche Entwicklung der Bodenversauerung. Auf den bereits stark versauerten Standorten ( $\text{pH} < 4.2$ ) ist – bedingt durch die grosse Pufferkapazität des Aluminiumpufferbereichs – ein Verharren der Versauerung in einem fortgeschrittenen Stadium festzustellen, während auf weniger stark versauerten Standorten die Versauerung weiterhin rasch fortschreitet (z.B. Abnahme des  $\text{BC}/\text{Al}$ -Verhältnisses). Die international festgelegten Grenzwerte zur Beurteilung der Versauerung (UNECE), werden bis jetzt zwar kaum erreicht. Die Ergebnisse der langjährigen Waldbeobachtung legen aber für viele Standorte nahe, dass diese kritischen Werte nicht ausreichend vor negativen Auswirkungen der Versauerung schützen.

Kritische Stickstoffkonzentrationen werden in 75% der monatlichen Bodenlösungsproben in Bezug auf die kritischen Werte für Nährstoffungleichgewichte überschritten. Die jährliche mittlere Stickstofffracht der Periode 2005-2011 übersteigt die kritischen Auswaschungsraten für Stickstoff auf 58% aller Flächen. Messungen in der Stickstoffversuchsfläche Zugerberg belegen zudem die wichtige Rolle der Stickstoffeinträge bei der Bodenversauerung. Berechnungen der Nährstoffnachhaltigkeit bei unterschiedlichen Ernteszenarien zeigen, dass die Auswaschungsverluste von basischen Kationen in den meisten Fällen wesentlich bedeutender sind als ein erhöhter Entzug durch eine Vollbaumernte. Damit bestehen ernst zu nehmende Hinweise, dass die Nachhaltigkeit in Bezug auf die Nährstoffversorgung der Waldbäume bei den heute bestehenden Stickstoffbelastungen längerfristig nicht gesichert ist.

Die festgelegten Grenzwerte für die einzelnen Kriterien zur Bewertung der Auswirkungen der Versauerung und der Eutrophierung scheinen eine unterschiedliche Bedeutung bezüglich ihrer Schutzwirkung zu haben und müssen deshalb in Bezug auf ihre Konsistenz untereinander sowie im Hinblick auf ihre Eignung für Risikobewertungen weiter untersucht werden. Bei den Kriterien handelt es sich um das Verhältnis der basischen Kationen zu Aluminium, die Konzentration des anorganischen Al, den pH-Wert, die Alkalinität, die Basensättigung, die N-Konzentration und die N-Auswaschung.



## 2. Abstract

Soil solution monitoring substantially contributes to the in-depth understanding of the status of the soil and the changes occurring over time. The composition of the soil solution is an indicator for the quality of the soil as rooting zone and for the ongoing soil processes. The chemistry of the soil solution is influenced by atmospheric deposition of air pollutants, by exchange processes between the soil matrix and the soil solution and by processes between the rhizosphere and the soil. At sites of the Intercantonal Long-term Forest Observation Programme the soil solution has been monitored since 1997 at an increasing number of sites with different forests, soil conditions and air pollution impacts, initially at 9 sites and today at 40 sites.

The results show site-specific different evolutions of soil acidification. At sites with already advanced acidification ( $\text{pH} < 4.2$ ), the acidification indicators remain at levels of advanced acidification, possibly due to the high buffering capacity of the reached aluminum buffer range. In contrast, at less acidified sites the acidification still progresses (e.g. continuous decrease of base cation to aluminum ratio). Nevertheless, effects-oriented limit values for acidification indicators set at the international level (UNECE) are rarely reached or exceeded. But the results from long-term forest observation indicate for many sites that the limit values set do not sufficiently protect from adverse effects.

Critical nitrogen concentrations in soil solution based on nutrient imbalances are exceeded in 75 % of the monthly soil solution samples. The annual amount of nitrogen leaching averaged over the years 2005-2011 exceeds the critical limit value at 58% of the monitored sites. Moreover, nitrogen addition experiments at the site Zugerberg highlight the important role of nitrogen with respect to deposition-induced acidification. Calculations with respect to sustainability in nutrient balances and considering different tree harvesting scenarios indicate that, in most cases, the base cation losses due to leaching exceed the base cation removal by total tree harvesting. This points to the fact that there are serious concerns about the long-term sustainability of the nutrient balance for forest trees under current atmospheric nitrogen loads.

The internationally set critical limit values for the different criteria to assess adverse effects of acidification and eutrophication seem to have different potentials with respect to the protection of the integrity of forest ecosystem structure and function. Further analysis is needed to test the internationally set critical limit values for the different criteria with respect to their consistency and their suitability for risk assessment. The different criteria to be considered for further analysis are the base cation to aluminum ratio, the concentration of inorganic aluminum, the pH value, the alkalinity, the base saturation, the nitrogen concentration and the nitrogen leaching.

### 3. Ausgangslage

Die Bodenlösung ist ein wichtiger Monitor für den Zustand und die Veränderungen des Bodens. Die Qualität des Bodens als Wurzelraum sowie ablaufende Bodenprozesse können an der Zusammensetzung der Bodenlösung abgelesen werden. Da die Sammler fest installiert sind und damit immer die gleichen Punkte beprobt werden können, erlauben sie die Überwachung zeitlicher Veränderungen. Die Chemie der Bodenlösung wird durch atmosphärischen Eintrag, Austauschprozesse zwischen Bodenfestphase und Lösung sowie durch Rhizosphärenprozesse beeinflusst (Nieminen et al. 2013).

Im Internationalen Kooperativen Programm zur Modellierung und Kartierung von Critical Loads und Levels sowie von Wirkungen, Risiken und Trends der Luftverunreinigung (International Cooperative Programme on Modelling and Mapping of Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends, ICP Modelling and Mapping der Genfer Luftreinhaltekonvention, UNECE) wurden aufgrund empirischer Befunde Grenzwerte für die Bodenversauerung vereinbart (UNECE 2004). Als wichtige kritische chemische Parameter für die Bodenlösung von Waldökosystemen gelten danach das Verhältnis zwischen basischen Kationen und Aluminium (BC/Al-Verhältnis; Sverdrup und Warfvinge 1993), die Konzentration von Aluminium in anorganischer Form und der pH-Wert. Nach dem Kartierhandbuch des ICP Modelling and Mapping (UNECE 2004) können zur Beurteilung des Versauerungsrisikos auch kritische Grenzen für die Basensättigung der Festphase des Bodens und für die Alkalinität bzw. Säureneutralisationskapazität in der Bodenlösung herangezogen werden.

Da Stickstoffeinträge nicht nur eutrophierend wirken, sondern auch versauernd, wird auch eine maximal tolerierbare N-Auswaschung aus dem Wurzelraum festgelegt. Die verschiedenen Grenzwerte für das Kriterium „Versauerung“ werden auch verwendet, um mit Modellen die ökosystemspezifisch maximal tolerierbaren Eintragsraten von versauernd wirkenden Depositionen zu ermitteln. So soll das BC/Al-Verhältnis von 1 in der Bodenlösung des Wurzelraums nicht unterschritten werden, da unterhalb dieses Verhältnisses mit Schäden für die Vegetation zu rechnen ist (Critical Loads für Säure: UNECE 1996, Kurz et al. 1998b). Im Wurzelraum sollte der pH-Wert  $> 4.0$  sein, und die Konzentration von anorganischem Aluminium  $2 \text{ mg l}^{-1}$  nicht überschreiten. Unter Berücksichtigung dieser beiden Kriterien ergibt sich für saure Waldböden eine kritische, noch akzeptierbare Alkalinität, die  $-300 \text{ } \mu\text{eq l}^{-1}$  nicht unterschreiten sollte. Diese Kriterien gelten für einen Wurzelraum von 0-50 cm Tiefe (Sverdrup et al. 1990; Hettelingh und de Vries 1992; UNECE 1996; UNECE 2004).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung des derzeitigen Zustands auf den Flächen der Interkantonalen Walddauerbeobachtung, die Beschreibung von Trends seit 1997 sowie die ökosystemare Bewertung der beobachteten Werte. Eine besondere Herausforderung ist dabei die vergleichende Beurteilung der Risiken aufgrund der verschiedenen international vereinbarten Kriterien und Indikatoren und die Analyse des Stellenwerts der Kriterien in Bezug auf die bei der Walddauerbeobachtung festgestellten standortspezifischen Probleme. 1997 wurden die ersten neun Flächen mit Saugkerzen ausgerüstet. 1999 erfolgte eine Erweiterung um weitere sieben Flächen (Tab. 5). Im Laufe der weiteren Jahre wurde das Netz laufend erweitert und umfasst heute 40 Flächen. Zahlreiche über die Bodenlösung erhobene Parameter sind ein Beitrag zur Umsetzung der „Guidelines on Reporting Monitoring and Modelling of Air Pollution Effects“ der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (UNECE 2008).

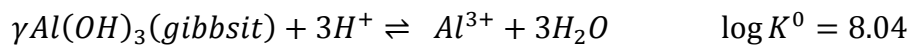
### 3.1. Kritische Grenzen

#### *Verhältnis zwischen basischen Kationen und Aluminium*

Im Kartierungshandbuch des ICP Modelling and Mapping (UNECE 2004) sind Grenzwerte für BC/Al-Verhältnis, pH und Aluminium in der Bodenlösung aufgeführt. Beim BC/Al-Verhältnis sind Werte  $\leq 1.0$  als kritisch einzustufen. Der Grenzwert von BC/Al = 1 wird standardmässig insbesondere für die Bestimmung der Critical Loads für Säureeinträge verwendet, nach Sverdrup und Warfvinge (1993) muss aber je nach Baumart oder Art bei höheren Pflanzen der Bodenvegetation auch bei Werten  $> 1$  bereits mit bedeutenden negativen Auswirkungen gerechnet werden, so dass grundsätzlich auch eine differenziertere Risikoanalyse vorgenommen werden kann.

#### *pH-Wert und Aluminium*

Beim pH-Wert wird ein Wert  $\leq 4.0$  und beim Aluminium  $\geq 2 \text{ mg l}^{-1}$  als kritisch eingestuft. Der Zusammenhang dieser Grössen ist wie folgt (Lindsay 1979):



$$\frac{\text{Al}^{3+}}{(\text{H}^+)^3} = 10^{8.04}$$

$$\log \text{Al}^{3+} = 8.04 - 3\text{pH}$$

Gibbsit ist die gebräuchlichste Formulierung für Al-Oxide in Böden, da Gibbsit in Böden das stabilste Al-Mineral ist. In Böden haben aber noch die organische Substanz und das Vorliegen anderer Minerale einen grossen Einfluss auf die Löslichkeit der Al-Oxide, so dass der Wert 8.04 für die Gleichgewichtskonstante summarisch die tatsächlich ablaufenden Prozesse der Aluminiumlöslichkeit in den Böden beschreibt (siehe Lindsay 1979, S. 74).

#### *Alkalinität (Säureneutralisationskapazität)*

Die Alkalinität (= Säureneutralisationskapazität, engl. Acid neutralizing capacity = ANC) ist ein Mass für den Säurestatus von Lösungen. Sie entspricht der Summe von  $\text{HCO}_3^-$  (Bicarbonat),  $\text{OH}^-$  und organischen Anionen ( $\text{RCOO}^-$ ), sofern sie nicht durch H und Al begleitet werden:

$$\text{ALK} = (\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- + \text{RCOO}^-) - (\text{H}^+ + \sum \text{Al}^{n+})$$

Die Alkalinität wurde in den Lösungsproben durch Titration bis pH 4.3 bestimmt. Unterhalb von pH 4.3 ist keine Carbonat-Alkalinität ( $\text{HCO}_3^-$ ) mehr vorhanden, da das Bikarbonat vollständig protoniert ist.

Wegen der Schwierigkeit der exakten Bikarbonatbestimmung, der Bestimmung organischer Anionen und der Al-Speziation wird die Alkalinität häufig auch indirekt aus den Konzentrationen der übrigen Ionen in der Lösung berechnet. Wegen der Elektroneutralitätsbedingungen gilt (Block et al. 2000):

$$\text{ALK} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$$

Unterhalb von pH 4.3 werden Säuren im Boden zunehmend durch die Lösung von Al-Hydroxiden gepuffert. Dem Boden geht dadurch Säureneutralisationskapazität (Pufferkapazität) verloren. In der Bodenlösung treten messbare Al-Konzentrationen auf, die Alkalinität wird negativ (Gleichung oben).



Für die Critical Load-Berechnungen wurde daher als weiteres Beurteilungskriterium die Alkalinität in Bodenlösungen vorgeschlagen. Als Grenzwert für die maximal tolerierbare Auswaschung von Alkalinität, bzw. Säureneutralisationskapazität, ( $= \text{ANC}_{\text{le(crit)}}$ ) aus dem Wurzelraum wurde ein Wert von  $-300 \mu\text{eq l}^{-1}$  berechnet (Sverdrup et al. 1990).

Die Alkalinität (ALK, ANC) verbindet die beiden Kriterien Aluminium- und Protonen ( $\text{H}^+$ )-Konzentration (UNECE 1996, siehe auch obige Gleichung):

$$\text{ANC} = -\text{Al} - \text{H}$$

Das Gleichgewicht zwischen Aluminium- und Protonen-Konzentrationen in Lösungen wird mit der Gibbssit-Konstante beschrieben, so dass sich der kritische Grenzwert für die max. tolerierbare Auswaschung von ANC ( $\text{ANC}_{\text{le(crit)}}$ ) von  $-300 \mu\text{eq l}^{-1}$  durch Auflösung der Gibbssit-Lösungsgleichung nach pH 4.0 ergibt:

$$\text{ANC}_{\text{le(crit)}} = -\text{Al}_{\text{le(crit)}} - \text{H}_{\text{le(crit)}} = -0.2 - 0.1$$

$$\text{ANC}_{\text{le(crit)}} = -0.3 \frac{\text{eq}}{\text{m}^3} = -300 \frac{\mu\text{eq}}{\text{l}}$$

$\text{ANC}_{\text{le(crit)}}$  : le = leaching, crit = kritisch

Die Zahlenwerte entsprechen der kritischen Aluminiumkonzentration ( $[\text{Al}]_{\text{crit}} = 0.2 \text{ eq m}^{-3}$ ) und dem kritischen pH-Wert ( $[\text{H}]_{\text{crit}} = 0.1 \text{ eq m}^{-3}$  bei pH 4.0).

Die Bewertung der Alkalinität gemäss Vorschlag von Block et al. (2000) ist in Tab. 1 aufgelistet.

| Alkalinität ( $\mu\text{eq l}^{-1}$ ) | Bewertung                   | Farbcode in Abb. 7 |
|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| <-500                                 | sehr sauer                  | dunkelrot          |
| -500 bis 0                            | sauer                       | rot                |
| 0 bis 100                             | stark versauerungsgefährdet | orange             |
| 100-200                               | Versauerungsgefährdet       | gelb               |
| >200                                  | nicht versauerungsgefährdet | grün               |

Tab. 1: Bewertung der Alkalinität

*Aziditätsgrad (Ulrich 1988, Block et al. 2000):*

Neben der Azidität in  $\mu\text{eq l}^{-1}$  lassen sich Bodenlösungen durch den Anteil der Azidität ( $\text{H}^+ + \text{M}_a^1$ -Kationen) an der Summe von Azidität und  $\text{M}_b^2$ -Kationen charakterisieren (Aziditätsgrad) (Bruggenwert et al. 1986, Ulrich 1988):

$$\text{Aziditätsgrad} = 100 * \frac{\text{Al}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+}{\text{Al}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+}$$

Der Aziditätsgrad der Bodenlösung kann gemäss Tab. 2 bewertet werden (Block et al. 2000).

<sup>1</sup>  $\text{M}_a$ -Kationen:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  (= Kationsäuren) +  $\text{NH}_4^+ + \text{H}^+$ ; 'M' = Metall, 'a' = acid

Def. nach Bruggenwert et al. (1986):  $\text{M}_a$ -Kationen sind Kationen, deren Hydroxide schwache Basen sind und die durch Hydrolysereaktionen in der Bodenlösung Protonen generieren können. z.B.:  $\text{Al}^{3+} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})^{2+} + \text{H}_3\text{O}^+$  (bei dieser Reaktion erfolgt die Deprotonierung in tieferen Profilmereichen mit höherem pH).  $\text{M}_a$ 's fungieren als 'temporäre Protonen-Senken' im oberen saureren Bereich, die das  $\text{H}^+$  aus diesem Bereich heraus in die unteren Bodenbereiche transportieren.

<sup>2</sup>  $\text{M}_b$ -Kationen:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ; M-(Metall-)Kationen, deren Hydroxide starke Basen sind (=BC)

| Aziditätsgrad (%) | Bewertung    |
|-------------------|--------------|
| >70%              | sehr sauer   |
| 40-70             | sauer        |
| 5-40              | gering sauer |
| <5%               | nicht sauer  |

Tab. 2: Bewertung des Aziditätsgrads

### Stickstoffkonzentration und Stickstoffauswaschung

Für die Stickstoffkonzentration in der Bodenlösung wurde für Koniferenwälder ein Grenzwert von  $\leq 0.2 \text{ mg N l}^{-1}$  bzw. für Laubwälder von  $\leq 0.2-0.4 \text{ mg N l}^{-1}$  festgelegt, wobei Nährstoffungleichgewichte das massgebende Kriterium waren (Tab. 3; UNECE 1993). Gleichzeitig wird jedoch auch eine maximale N-Austragsrate über das Sickerwasser von  $2-4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  definiert. Ist die Auswaschung höher, gilt das Ökosystem als stickstoffbelastet (Tab. 4; UNECE 1992, UNECE 1993). Die letzteren Werte gelten insbesondere für Gebiete mit hohen Niederschlägen, weil in solchen Gebieten der Ansatz über eine noch erlaubte Bodenlösungskonzentration zu Austrägen von Basenkationen führen würde, die weit über der Nachlieferung über die Verwitterung liegen würde. Damit würde eine nicht tolerierbare Versauerung (= Verlust basischer Nährstoffkationen) akzeptiert (Block et al. 2000).

| Ökologische Veränderung              | [N] <sub>crit</sub> (in $\text{mg N l}^{-1}$ ) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| Koniferen → Nährstoffungleichgewicht | $\leq 0.2$                                     |
| Laubbäume → Nährstoffungleichgewicht | $\leq 0.2-0.4$                                 |
| Flechten → Moosbeeren                | $\leq 0.2-0.4$                                 |
| Preiselbeeren → Heidelbeeren         | $\leq 0.4-0.6$                                 |
|                                      | $>0.6-1$                                       |
| Heidelbeeren → Gras                  | $\leq 1-2$                                     |
| Gras → Kräuter                       | $\leq 3-5$                                     |

Tab. 3: Kritische N-Konzentration für Vegetationsveränderungen (UNECE 1993)

| Ökosystemtyp               | N-Auswaschung ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) | Anwendung                    |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------|
| Tundra                     | 0-1                                                    |                              |
| Boreale Wälder             | 1-2                                                    | >1500 m                      |
| Gemässigte Koniferenwälder | 2-4                                                    | <1500 m, <90% Laubholzanteil |
| Gemässigte Laubwälder      | 4-5                                                    | >90% Laubholzanteil          |

Tab. 4: Maximal erlaubte N-Auswaschung für verschiedene Ökosystemtypen (UNECE 1993)

#### 4. Untersuchungsflächen

Das Netz der 2012 beprobten Flächen ist in Abb. 1 und Tab. 5 dargestellt. Die Standorte decken ein breites Spektrum der schweizerischen Waldböden ab, wie aus den in Abb. 1 dargestellten unterschiedlichen Klassen der Basensättigung hervorgeht.

Die Proben wurden monatlich gesammelt. Pro Standort und Tiefenstufe sind im Oberboden 8, im Unterboden 5-8 Saugkerzen installiert. In Tab. 5 sind auch die Verwitterungsraten des Mineralbodens aufgelistet. Diese wurden durch D. Kurz, EKG GeoScience, mit dem dynamischen Modell SAFE (Alveteg et al. 1998, Kurz et al. 1998a) auf der Grundlage der chemischen und mineralogischen Analysen von Bodenprofilen berechnet und über die durchwurzelten Horizonte (Wurzeldichte mindestens 3 Wurzeln/dm<sup>2</sup>, gemäss Stufe 2 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Benzler et al. 1982) oder über 60 cm Tiefe aufsummiert, je nachdem welcher Wert grösser war.

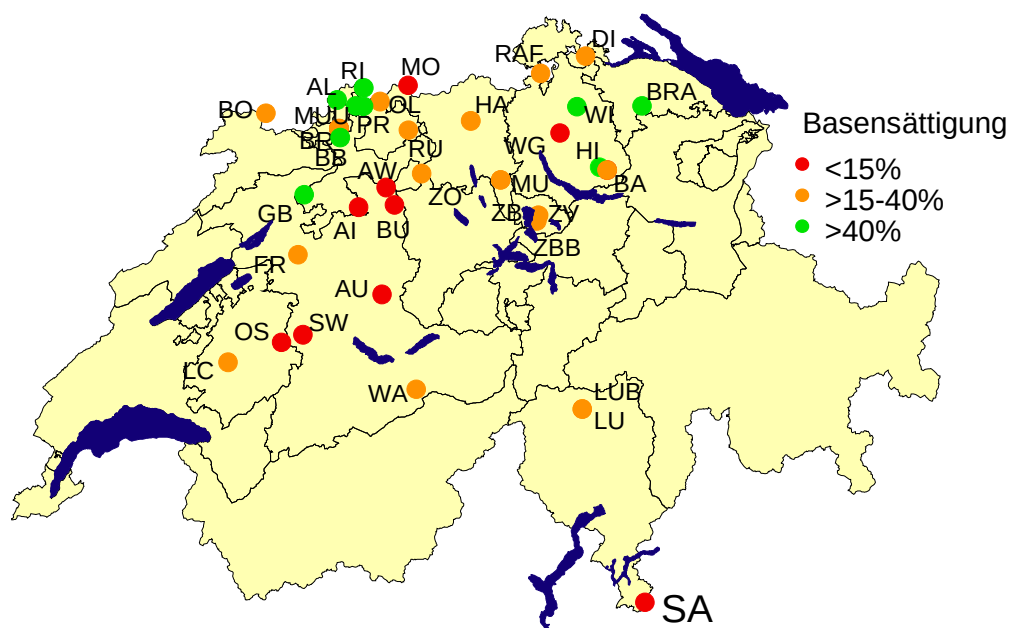


Abb. 1: Walddauerbeobachtungsflächen mit Bodenwassersammlern, gruppiert nach Basensättigung des Oberbodens (Mittelwert 0-40 cm).

| Standort            | Abk. | Höhe<br>ü.M. | Nieder-<br>schlag | Baumarten  | pH   | BS  | CN   | Bodentyp | Verw. | In<br>Betrieb<br>seit |
|---------------------|------|--------------|-------------------|------------|------|-----|------|----------|-------|-----------------------|
| Aarwangen           | AW   | 470          | 1114              | Bu         | 3.99 | 10  | 13.7 | SW-BL    | 1.21  | 2002                  |
| Aeschau             | AU   | 940          | 1576              | Ta Fi (Bu) | 3.67 | 20  | 13.5 | RQ-BB    | 0.36  | 1997                  |
| Aeschi              | AI   | 510          | 1154              | Fi Bu      | 3.87 | 15  | 19.9 | BL       | 1.36  | 1997                  |
| Allschwil           | AL   | 350          | 887               | Fi         | 4.31 | 62  | 11.3 | BL       |       | 2006                  |
| Bachtel Fichten     | BA   | 1030         | 1539              | Fi         | 4.01 | 7   | 14.8 | BL       | 1.08  | 1997                  |
| Bachtel Buchen      | BAB  | 1030         | 1539              | Bu         | 3.93 | 36  | 16.0 | BL       | 1.3   | 1999                  |
| Bonfol              | BO   | 450          | 1058              | Bu Ei      | 4.26 | 18  | 16.5 | SW-BL    | 0.5   | 2004                  |
| Braunau             | BRAU | 710          | 1140              | Fi         | 4.02 | 53  | 14.6 | SW-BL    |       | 2006                  |
| Breitenbach         | BB   | 460          | 1066              | Bu         | 4.53 | 91  | 15.3 | SW-BL    | 0.85  | 2003                  |
| Brislach Fichten    | BR   | 435          | 1019              | Fi         | 3.93 | 12  | 15.4 | SW-BL    | 0.71  | 1997                  |
| Brislach Buchen     | BRB  | 435          | 1019              | Bu         | 4.09 | 25  | 12.3 | BB-BL    | 0.72  | 2000                  |
| Busswil             | BU   | 600          | 1250              | Fi         | 3.77 | 4   | 18.7 | BL       | 0.71  | 2004                  |
| Diessenhofen        | DI   | 520          | 890               | Fi         | 3.78 | 15  | 24.9 | NG-BB    |       | 2006                  |
| Frienisberg         | FR   | 725          | 1257              | Fi Bu      | 3.9  | 21  | 15.1 | BB       | 0.66  | 1997                  |
| Grenchenberg        | GB   | 1220         | 1643              | Fi Bu      | 5.64 | 100 | 11.9 | BB       | 19.1  | 1997                  |
| Habsburg            | HA   | 440          | 1092              | Bu         | 4.17 | 16  | 15.8 | BL       | 0.57  | 2004                  |
| Hinwil              | HI   | 640          | 1401              | Fi         | 5.12 | 95  | 16.3 | BB       | 0.67  | 2002                  |
| Le Châtelard        | LC   | 1010         | 1431              | Fi         | 3.74 | 21  | 15.7 | SW-BB    |       | 2006                  |
| Lurengo N-Versuch   | LU   | 1620         | 1763              | Fi Fö Lä   | 4.17 | 24  | 22.5 | PP-BB    | 0.5   | 1997                  |
| Lurengo Fichten     | LUB  | 1620         | 1763              | Fi Lä      | 3.9  | 28  | 16.5 | PP-BB    |       | 1999                  |
| Möhlín              | MO   | 290          | 1063              | Fi         | 3.79 | 12  | 15.5 | BL       | 1.22  | 1998                  |
| Muri Lothar         | MU   | 490          | 1138              | Fi         | 3.96 | 15  | 16.6 | BL       | 0.4   | 1997                  |
| Muri Buchen         | MUB  | 490          | 1138              | Bu         | 4    | 24  | 13.8 | BL       | 0.42  | 1999                  |
| Muri Fichten        | MUF  | 490          | 1133              | Fi         | 3.88 | 10  | 20.4 | BL       | 0.57  | 2001                  |
| Muttenz unten       | MUU  | 375          | 920               | Bu         | 4.06 | 41  | 11.7 | SW-BL    | 0.41  | 2004                  |
| Oberschrot          | OS   | 950          | 1610              | Fi/Bu      | 3.62 | 11  | 17.2 | NG-BB    |       | 2006                  |
| Olsberg             | OL   | 380          | 958               | Bu         | 4.06 | 20  | 15.0 | BL-SW    | 0.49  | 2004                  |
| Pratteln            | PR   | 415          | 974               | Bu         | 5.15 | 100 | 13.3 | BB-BL    | 0.97  | 2002                  |
| Rafz                | RAF  | 530          | 1025              | Fi         | 4.18 | 16  | 19.9 | BL-SW    | 0.55  | 2004                  |
| Riehen              | RI   | 470          | 922               | Bu         | 6.41 | 100 | 12.5 | BB-BL    | 1.52  | 2002                  |
| Rünenberg           | RU   | 590          | 1109              | Bu         | 4.13 | 35  | 13.1 | BB-BL    | 0.53  | 2002                  |
| Sagno               | SA   | 770          | 1660              | Fi         | 3.83 | 25  | 15.4 | BB       | 0.41  | 1999                  |
| Scheidwald          | SW   | 1170         | 1700              | Fi         | 3.56 | 1   | 16.8 | GG-PP    | 0.49  | 2008                  |
| Wangen              | WG   | 500          | 1075              | Bu/Fi      | 5.26 | 23  | 18.4 | BL       |       | 2008                  |
| Wengernalp          | WA   | 1870         | 1267              | Fi         | 3.53 | 28  | 15.1 | PP-BB    | 0.17  | 1997                  |
| Winterthur          | WI   | 530          | 1149              | Bu         | 5.25 | 97  | 11.4 | SW-BB    | 2.5   | 2003                  |
| Zofingen            | ZO   | 540          | 1109              | Fi Bu      | 4    | 17  | 17.3 | BL-BB    | 0.93  | 2004                  |
| Zugerberg N-Versuch | ZB   | 980          | 1572              | Bu         | 4.01 | 35  | 15.7 | BB       | 0.83  | 1997                  |
| Zugerberg HG        | ZBB  | 980          | 1616              | Fi, Bu     | 4.2  | 37  | 16.3 | BB       | 0.44  | 1999                  |
| Zugerberg VG        | ZV   | 900          | 1574              | Fi         | 3.62 | 24  | 13.5 | BB       | 0.5   | 2002                  |

Tab. 5: Liste der Flächen mit Bodenlösungsmessung. Niederschlag in mm gemäss Hydrologischem Atlas (Landeshydrologie 1992). Baumarten: Bu Buche, Fi Fichte, Ta Tanne, Lä Läche, Fö Föhre. pH: mittleres pH(CaCl<sub>2</sub>) in 0-40 cm, BS: mittlere Basensättigung in 0-40 cm (in %), CN: C/N-Verhältnis im Humushorizont. Bodentypen: Kurzzeichen gemäss Benzler et al. (1982): BB Braunerde, BL Parabraunerde SW Pseudogley, PP Podsol, NG Hanggle, GG Gley, RQ Regosol. Verw: Verwitterungsrate in keq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Berechnung mit SAFE (Sverdrup et al. 1995) für den Wurzelraum.

## 5. Parameter und Analysenmethoden

Folgende Parameter werden in den Lösungsproben gemessen:

- Leitfähigkeit, pH: Elektrometrie
- Ca, Mg, Al, Mn: Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS)
- K, Na: Flammenphotometrie
- Differenzierung von Al in anorganisch und organisch: Messung mittels AAS vor und nach Passieren der Probe durch einen Ionenaustauscher (0.5 ml IC-H, Alltech 30264). Organisch komplexiertes Aluminium läuft dabei durch den Tauscher, das anorganische wird im Tauscher festgehalten.
- $\text{NH}_4^+$ : photometrisch mit Indophenol
- $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ : Ionenchromatographie (Dionex)
- Alkalinität: Titration mit HCl bis pH 4.35
- UV-Absorption als Mass für den Gehalt an gelöstem organischen Kohlenstoff (dissolved organic carbon = DOC) (photometrische Messung bei  $\lambda=254$  nm und 280nm): Methodenbeschreibung Kap. 5.2.

Eine Qualitätskontrolle erfolgt durch die Berechnung der Ionenbilanz, einen Vergleich der berechneten mit der gemessenen Leitfähigkeit gemäss EMEP (1996) sowie durch die Analyse von Referenzproben.

Die Berechnung der Elementflüsse erfolgte durch die Berechnung des Wasserflusses mit einem hydrologischen Modell (WASIM, Schulla und Jasper 2007) und der anschliessenden Multiplikation mit der in der Bodenlösung gemessenen Konzentration. Dem Modell zugrundegelegt wurden für die Beobachtungsflächen interpolierte Klimadaten, die von Jan Remund (Meteotest) im Rahmen eines Projektes im BAFU/WSL-Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ berechnet wurden. Die in diesem Bericht vorgestellten Frachten können deshalb von denen in früheren Berichten abweichen, da für diese die Interpolation durch WASIM selbst vorgenommen wurde.



### 5.1. Differenzierung in anorganisches und organisches Aluminium

Für eine Beurteilung der Toxizität von Aluminium ist eine Differenzierung in  $\text{Al}_{\text{org}}$  und  $\text{Al}_{\text{anorg}}$  nötig, da vor allem  $\text{Al}_{\text{anorg}}$  toxisch relevant ist. Organische Komplexierung vermindert die Al-Toxizität (Ulrich und Matzner 1983; Gjessing et al. 1989). Organisch komplexiertes Aluminium wurde ab 2005 analysiert. Um auch in älteren Daten eine Differenzierung vornehmen zu können, wurde ein mittlerer Anteil an organisch komplexiertem Aluminium pro Standort und Tiefenstufe berechnet. Diese Verhältniszahl wurde eingesetzt, um rückwirkend, bis zum Beginn der Messreihe, anorganisches Aluminium auszurechnen. Abb. 2 zeigt, dass in den obersten Horizonten im Mittel mehr als 50% des Aluminiums organisch komplexiert sind. Im Unterboden sind es im Mittel noch 30%.

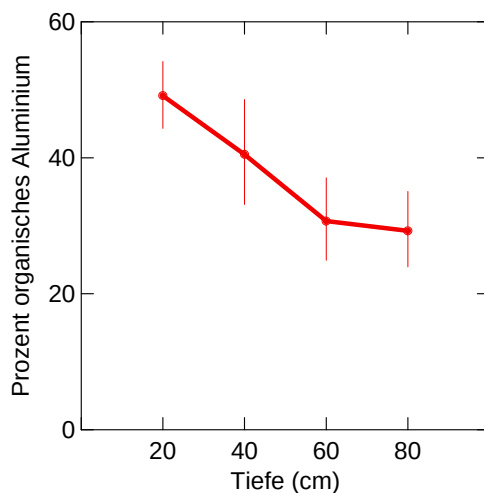


Abb. 2: Anteil organisch komplexierten Aluminiums am Gesamtaluminium über alle Bodenlösungsproben seit 2005 (n=3204). Balken=95%-Vertrauensbereich (gemischte Regression).

### 5.2. Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

Daten über gelösten organischen Kohlenstoff (dissolved organic carbon = DOC) werden bei Modellierungen der Bodenlösung und der Kohlenstoffbilanz von Waldökosystemen gebraucht. Es wurde eine Methode der DOC-Analyse entwickelt, die auf einer Umrechnung der UV-Absorption in mg C pro Liter beruht (Deflandre und Gagné 2001). Von jedem Standort und jeder Tiefe wurde mindestens eine Probe durch das Labor des geographischen Instituts der Universität Basel auf DOC analysiert. Diese DOC-Werte sind sehr gut mit der UV-Absorption bei 280 nm korreliert, die bereits seit dem Jahr 2000 routinemässig in den Proben gemessen wird (Abb. 3). Aus diesem Datenset (n=139) wurde für DOC in Bodenlösung mit Regressionsanalyse folgende Formel hergeleitet:

$$\text{DOC} = 0.496 + 49.969 * \text{ABS}_{280} - 22.595 * \text{ABS}_{280}^2 \quad R^2=0.92$$

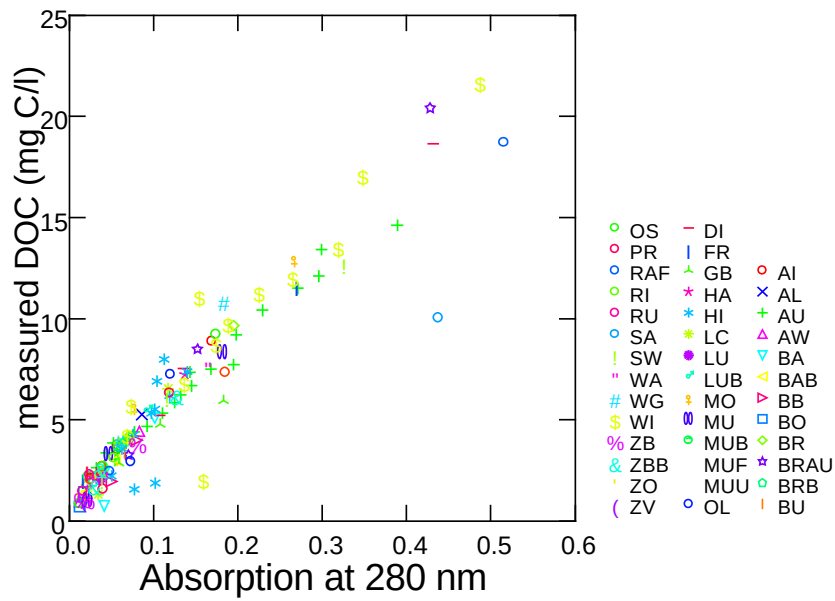


Abb. 3: Gemessene DOC-Werte in Beziehung zur UV-Absorption bei 280 nm.

Auch mit der ursprünglich von Deflandre und Gagné (2001) vorgeschlagenen Wellenlänge von 254 nm wurde eine signifikante Beziehung gefunden, diese wies aber eine etwas grössere Streuung auf.

## 6. Ergebnisse

### 6.1. Vergleich der Ergebnisse von Bodenlösungsmessungen mit Kritischen Parametern

#### 6.1.1. Basen-/Säure-Status der Bodenlösung

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Häufigkeitsverteilung aller Einzelwerte (Monatswerte) seit 2005 (ohne N-Versuche). Dieser Zeitraum wurde gewählt, um ein einigermaßen konstantes Standortkollektiv zu haben und da die Stickstoffauswaschung vor dem Trockenjahr 2003 höher war als in späteren Jahren. Eingezeichnet ist auch, ob in Kap. 1 vorgestellte Grenzwerte überschritten sind (roter Bereich).

Die Verhältnisse zwischen basischen Kationen und anorganischem Aluminium unterschreiten nur selten den kritischen Wert von 1 (bei 69 Einzelwerten bzw. 1% der Messwerte). 49.1% der Messwerte liegen zwischen 1 und 10 (Abb. 4). Der pH-Wert unterschreitet nur ganz selten den kritischen Wert von 4.0 (in 6 Proben, 0.1% der Fälle; Abb. 5). Der Grenzwert für die Aluminiumkonzentration wird in 307 Fällen (3.1%) überschritten (Abb. 6). Der pH-Wert und die Aluminiumkonzentration sind über die Gibbsite-Konstante quantitativ verbunden (vgl. Kap. 3.1). In der Beziehung zwischen dem pH-Wert und dem BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung (Abb. 13) entspricht ein pH-Wert von 4 im Mittel ziemlich genau einem BC/Al von 1.

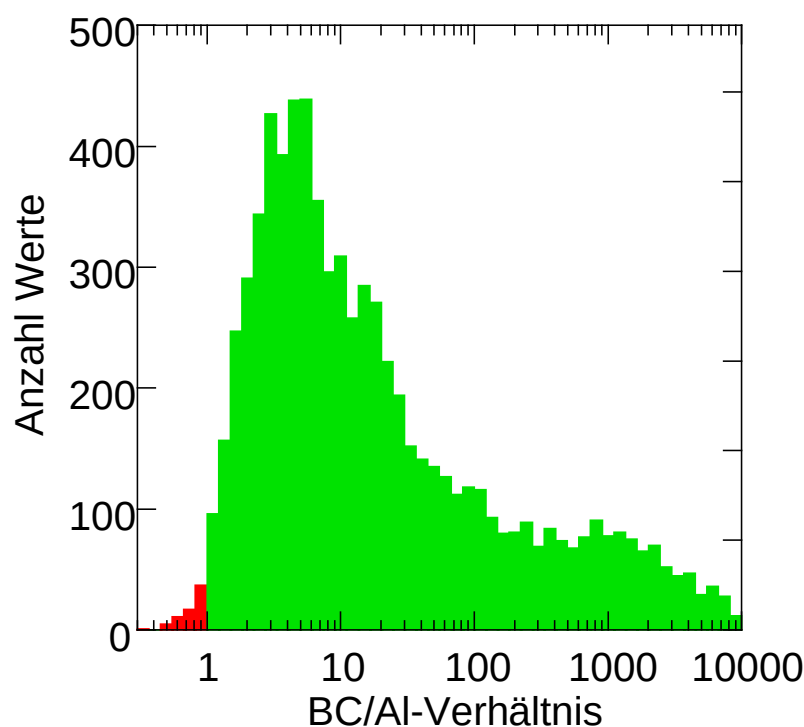


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses zwischen basischen Kationen und (anorganischem) Aluminium (Monatswerte). Rot hervorgehoben sind Werte  $<1$  (kritische Grenze nach UNECE 2004).

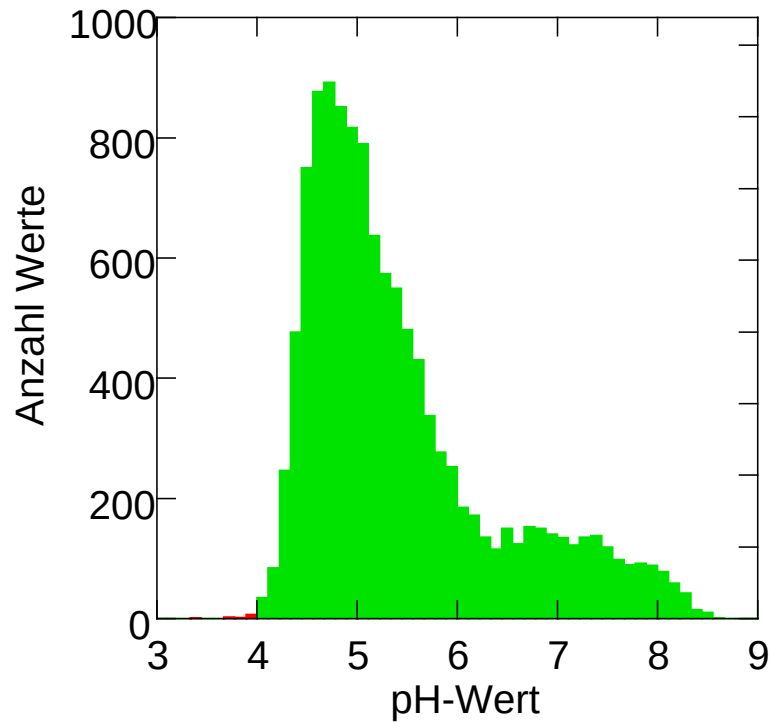


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte. Werte <4 (kritische Grenze nach UNECE 2004) kommen nur vereinzelt vor.

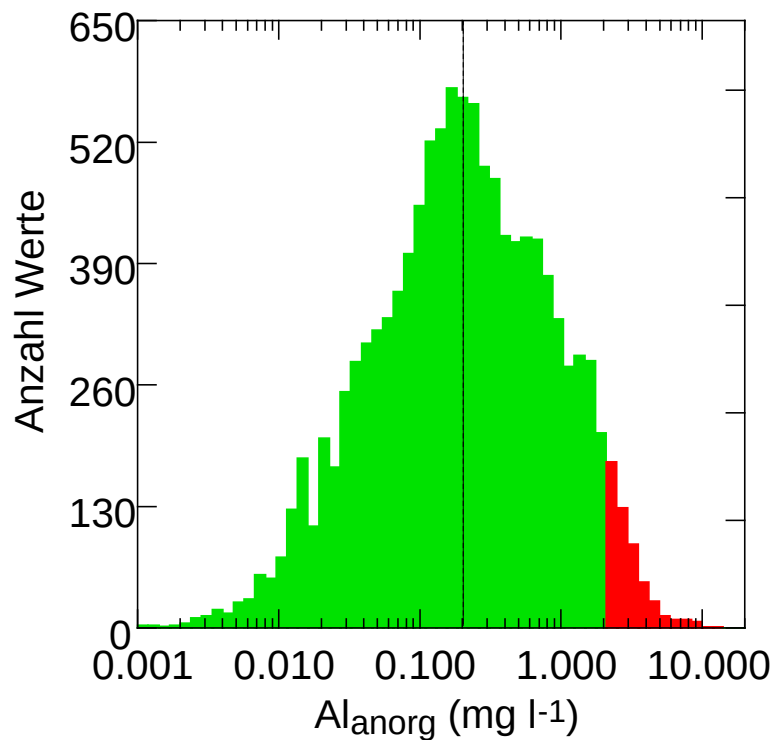


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der Konzentration an anorganischem Aluminium (Monatswerte). Werte unterhalb der Nachweisgrenze, in Kalkböden, wurden weggelassen. Werte >2 mg l<sup>-1</sup> (kritische Grenze nach UNECE 2004) sind rot markiert. Gestrichelt eingezeichnet ist zudem der Grenzwert für Grundwasser von 0.2 mg l<sup>-1</sup> (Hettelingh und de Vries 1992).

Bei der Alkalinität liegt ebenfalls der grösste Teil der Proben oberhalb der kritischen Grenze von  $-300 \mu\text{eq l}^{-1}$  (Abb. 7). eine Unterschreitung dieses Werts ist in 236 Proben (3.6% der Fälle) zu beobachten. Nach der Bewertung von Block et al. (2000) ist ein beträchtlicher Teil der Proben als sauer bis sehr sauer (orange und rot in der Grafik) einzustufen. Die Beziehung zwischen gemessener und berechneter Alkalinität ist sehr gut, aber aus methodischen Gründen kann die gemessene Alkalinität nicht negativ sein (Abb. 8).

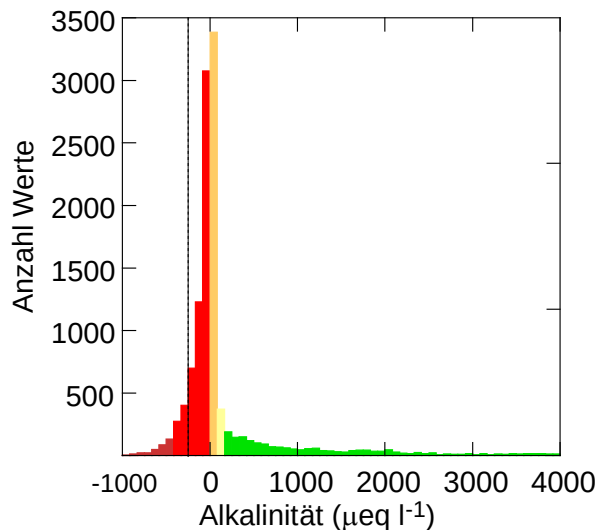


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Alkalinität. Die Farbcodierung richtet sich nach der Bewertung in Tab. 1. Als gestrichelte Linie zusätzlich eingezeichnet ist die kritische Grenze von  $-300 \mu\text{eq l}^{-1}$  (Sverdrup et al. 1990; Hettelingh und de Vries 1992).

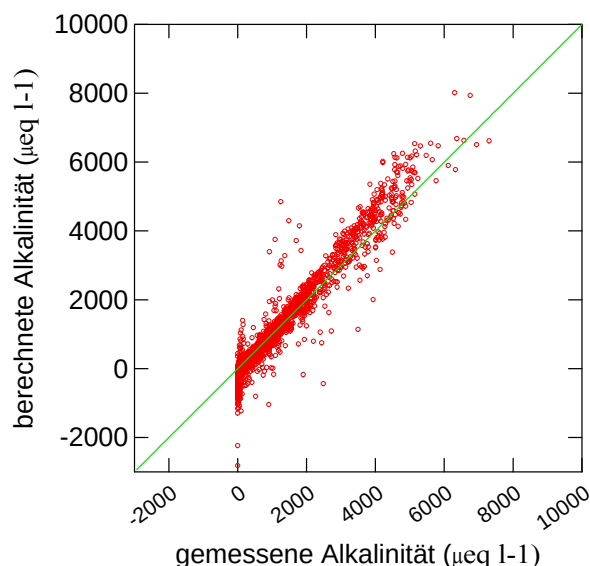


Abb. 8: Berechnete Alkalinität in Beziehung zur gemessenen Alkalinität. Die grüne Linie ist die 1:1-Linie.

Die Konzentration an Kationsäuren geht in die Berechnung des Aziditätsgrads mit ein, der ähnlich wie die Basensättigung das Verhältnis zwischen sauren und basischen Kationen angibt. Abb. 9 zeigt den Beitrag der einzelnen Kationsäuren zur Summe. Den grössten Beitrag liefert Aluminium, gefolgt von Protonen und Mangan. Der Aziditätsgrad ist in Abb. 10 in Beziehung zum pH aufgetragen, in Abb. 11 in Beziehung zur Basensättigung.

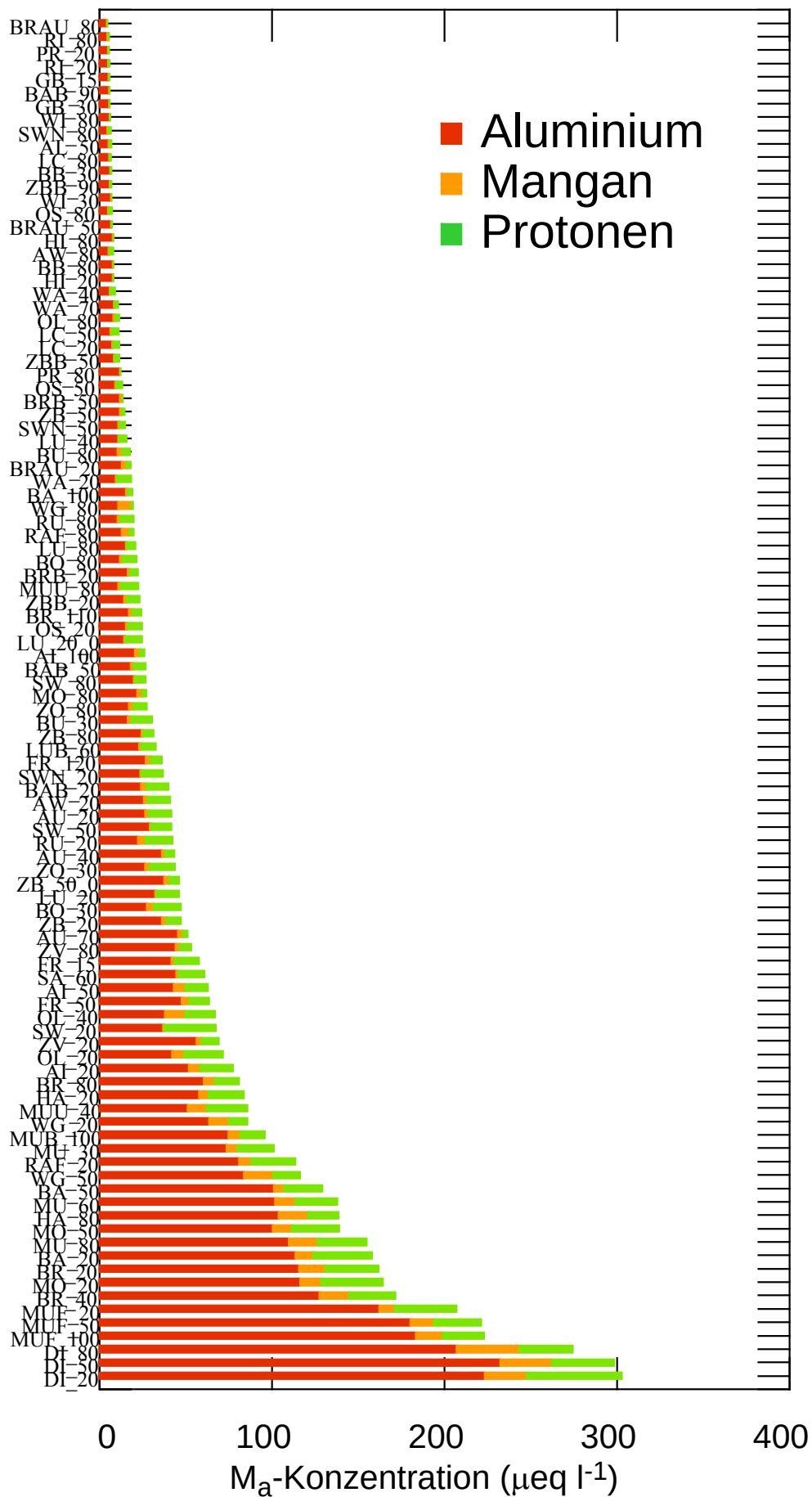


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Ma-Kationen (Kationsäuren; Mittelwert 2006-2011).



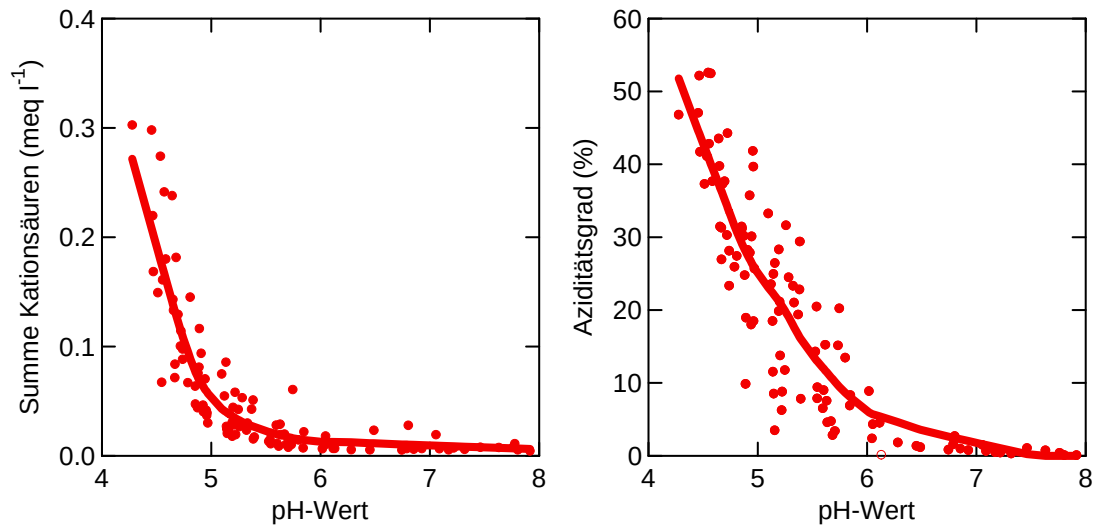


Abb. 10: Beziehung zwischen der Summe von Kationensäuren (links) bzw. dem Aziditätsgrad (rechts) und dem pH-Wert der Bodenlösung. Mittelwert pro Tiefenstufe über den Zeitraum 2005-2011.

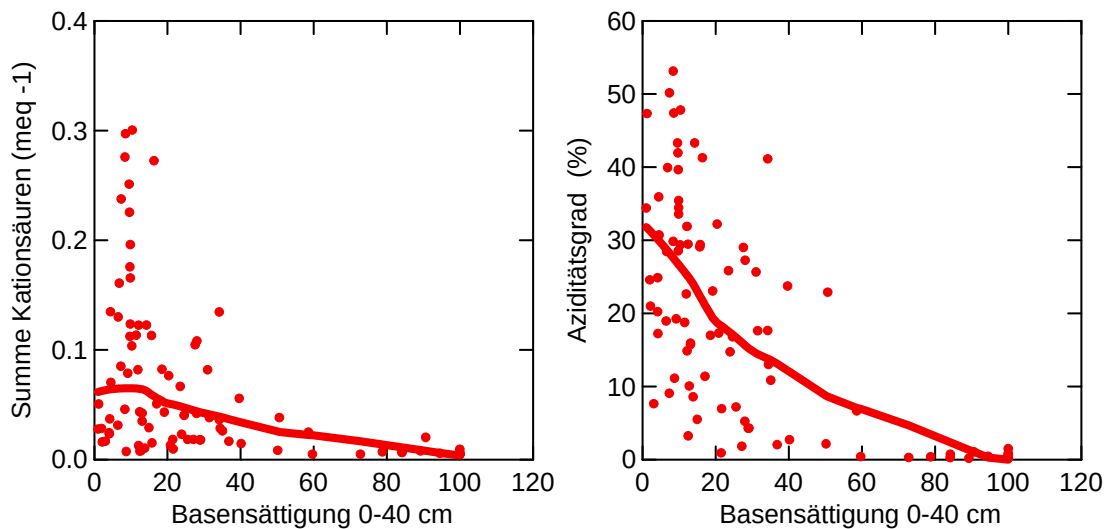


Abb. 11: Beziehung zwischen der Summe von Kationensäuren (links) bzw. dem Aziditätsgrad (rechts) und der Basensättigung der Bodenfestphase. Mittelwert pro Tiefenstufe über den Zeitraum 2005-2011.

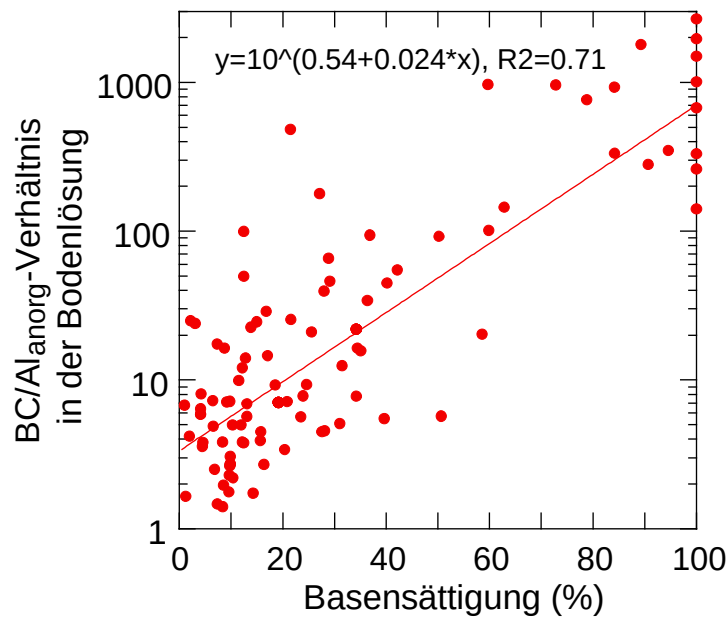


Abb. 12: Beziehung zwischen der Basensättigung der Bodenfestphase und dem BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung. Mittelwert pro Tiefenstufe über den Zeitraum 2005-2011.

Der Anteil von Proben mit Überschreitungen der kritischen Werte der Kriterien für Versauerung ist bei dieser Auswertung gering. Ergebnisse aus der Walddauerbeobachtung weisen allerdings darauf hin, dass diese kritischen Werte zu tief angesetzt sind, also zu viel Versauerung zulassen. So wurde nach dem Sturmereignis „Lothar“, 1999, eine deutliche Beziehung zwischen Windwurf und Basensättigung auf den Flächen des Interkantonalen Dauerbeobachtungsprogramms beobachtet (Braun et al. 2003): auf Böden mit einer Basensättigung  $\leq 40\%$  war der Windwurf bei Buchen um den Faktor 4.8, bei den Fichten um den Faktor 3.6 erhöht. Ein erhöhter Windwurf auf versauerten Standorten wurde auch von Mayer et al. (2005) beschrieben; auf windgeschädigten Standorten war der mediane pH-Wert um 0.3 Einheiten tiefer als auf nicht geschädigten Standorten. Eine Basensättigung von 40% entspricht im Mittel einem BC/Al-Verhältnis von 32 (Abb. 12). Eine Basensättigung von  $\leq 20\%$  war zudem mit einer verminderten Wurzeltiefe in den Profilen verbunden (Braun et al. 2005). Eine Basensättigung von 20% entspricht gemäss Abb. 12 etwa einem BC/Al-Verhältnis von 11. Diese BC/Al-Verhältnisse liegen deutlich über dem international festgelegten kritischen Wert von 1.

Bei der Benadelung von Fichten erwies sich eine Basensättigung von  $\leq 15\%$  ebenfalls als signifikanter Prädiktor; unterhalb dieser Schwelle war die Anzahl der Nadeljahrgänge vermindert (Abb. 14, Braun und Flückiger 2013). Dieser Wert entspricht im Mittel einem BC/Al-Verhältnis von 8.0. Einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Bodenzustand und Benadelungsdichte bei Fichten fand Becher (1999). Bemerkenswert ist auch die Schadenssituation in der Fichtenfläche Scheidwald: in dieser Fläche ist das BC/Al<sub>anorg</sub>-Verhältnis in der Bodenlösung in allen gemessenen Bodentiefen (20, 50 und 80 cm) knapp über 1, d.h. der international festgelegte kritische Wert von 1 ist auch hier nicht unterschritten. In der gleichen Fläche hat die Kronenverlichtung seit Beobachtungsbeginn (1989) stark zugenommen (Abb. 15), und Windwurf ist in der ganzen Region auch in jüngeren Beständen sehr häufig.

Werden die oben diskutierten Grenzwerte der Basensättigung für eine Risikobewertung verwendet, so werden bei einer Grenze von BS=20% 16.7% der Walddauerbeobachtungsflächen als kritisch eingestuft. Bei einer Grenze von BS=40% sind es 34.4%.

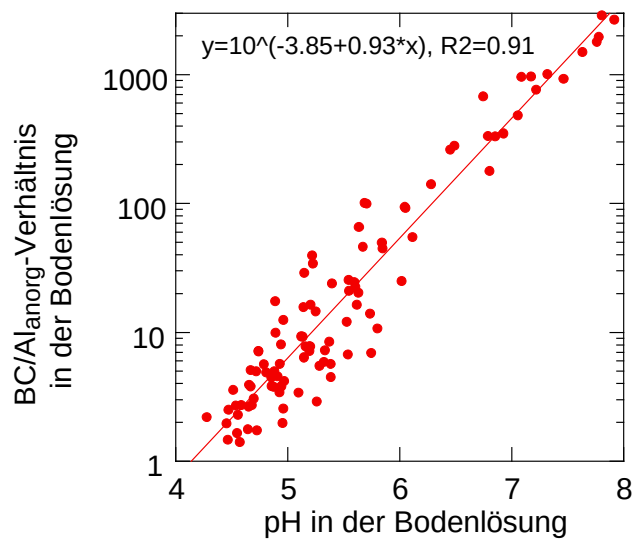


Abb. 13: Beziehung zwischen dem BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung und dem pH-Wert der Lösung (Mittelwerte pro Tiefenstufe und Standort).

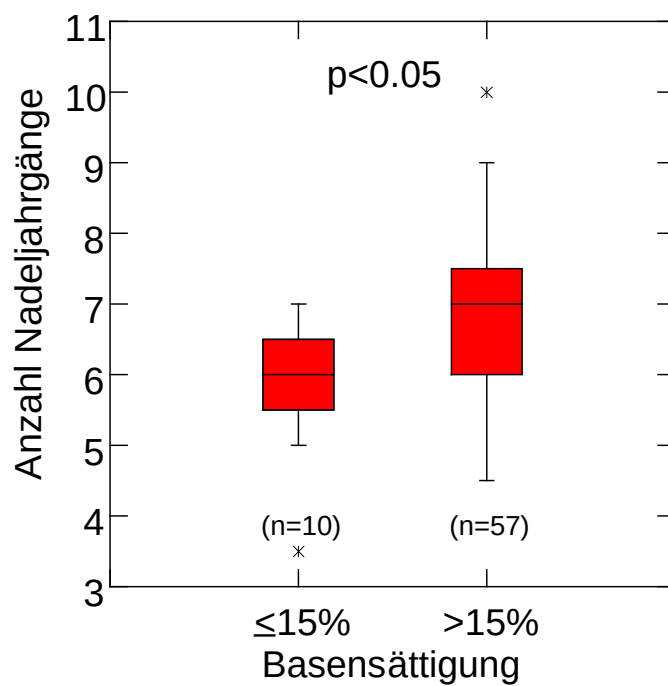


Abb. 14: Anzahl Nadeljahrgänge bei den Fichten in Beziehung zur über die obersten 40 cm gemittelten Basensättigung des Bodens. n: Anzahl Flächen (8 Bäume pro Fläche).

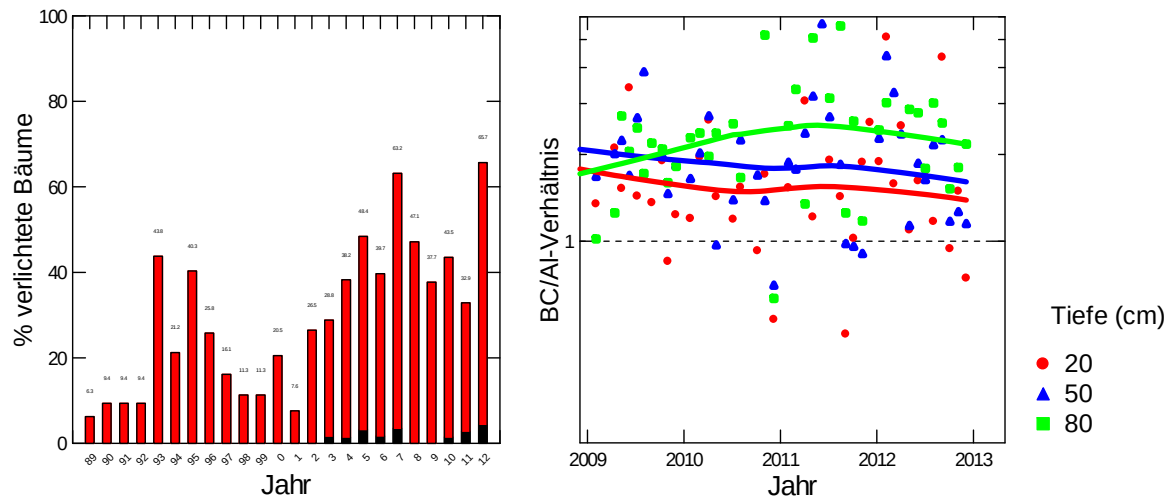


Abb. 15: Links: Anteil der Bäume mit >25% Kronenverlichtung (rot) bzw. >60% Kronenverlichtung (schwarz) in der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald. Rechts: BC/Al<sub>anorg</sub>-Verhältnis in der Bodenlösung dieser Fläche. Gestrichelte Linie: Kritisches Verhältnis von 1.

### 6.1.2. Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung

Hinsichtlich der Stickstoffkonzentrationen ist der Anteil Überschreitungen von kritischen Belastungsgrenzen deutlich grösser als bei der Versauerung. Die N-Konzentration (grösstenteils Nitrat) in der Bodenlösung ist in 75% der Proben grösser als die in Tab. 3 aufgelisteten kritischen Belastungsgrenzen für Nährstoffungleichgewichte von 0.2 bis 0.4 mg N l<sup>-1</sup> (Tab. 6, Abb. 16).

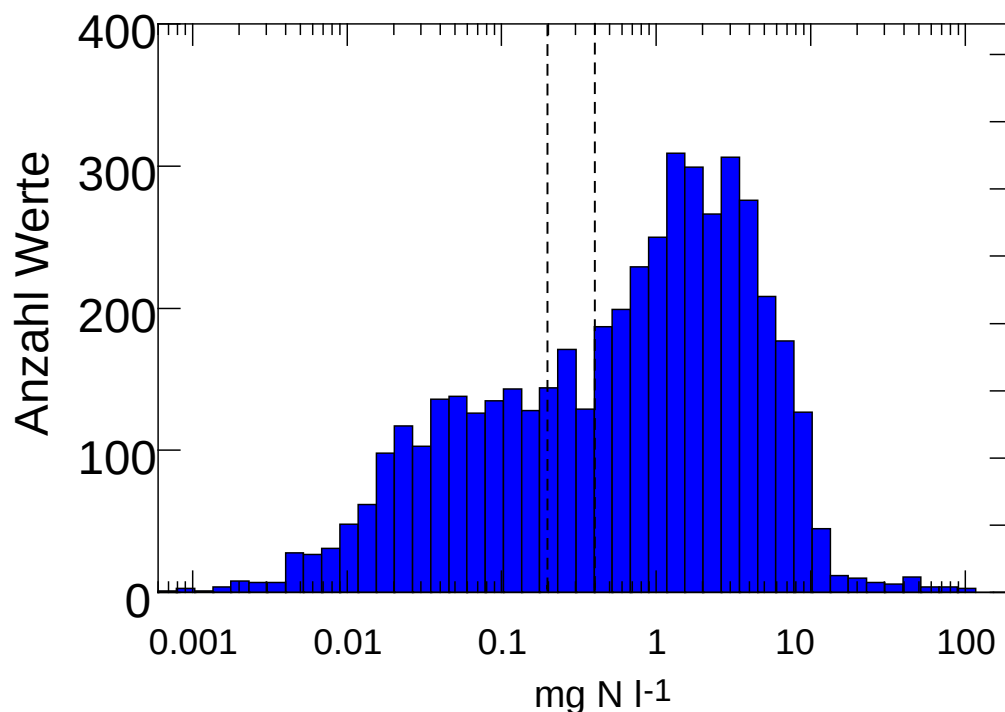


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Konzentration an anorganischem Stickstoff in der Bodenlösung in <70 cm Tiefe ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) zwischen 2005 und 2011 (einzelne Monatswerte). Eingetragen ist der Grenzwertbereich für Konzentrationen bezüglich Nährstoffungleichgewichten (Tab. 3)

## 6.2. Auswaschung von Stickstoff, Aluminium und basischen Kationen

### 6.2.1. Stickstoff-Auswaschung

Die Stickstoffauswaschung in den Jahren 2005-2011 übersteigt im Mittel die in der Tab. 4 aufgelisteten kritischen Werte auf 58% aller Flächen (Tab. 6, Abb. 17). Bemerkenswert ist die hohe N-Fracht in der Fläche Sagno (SA, Tab. 6), nahe bei Chiasso, in der zwischen 2005 und 2011 eine N-Auswaschungsrate von  $86 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  errechnet wurde. In Allschwil, einer Fläche mit extrem hohen N-Konzentrationen in der Bodenlösung (Mittelwert  $51 \text{ mg N l}^{-1}$ ), liegt die mittlere Auswaschung wegen der geringen Sickerwassermenge bei  $49 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

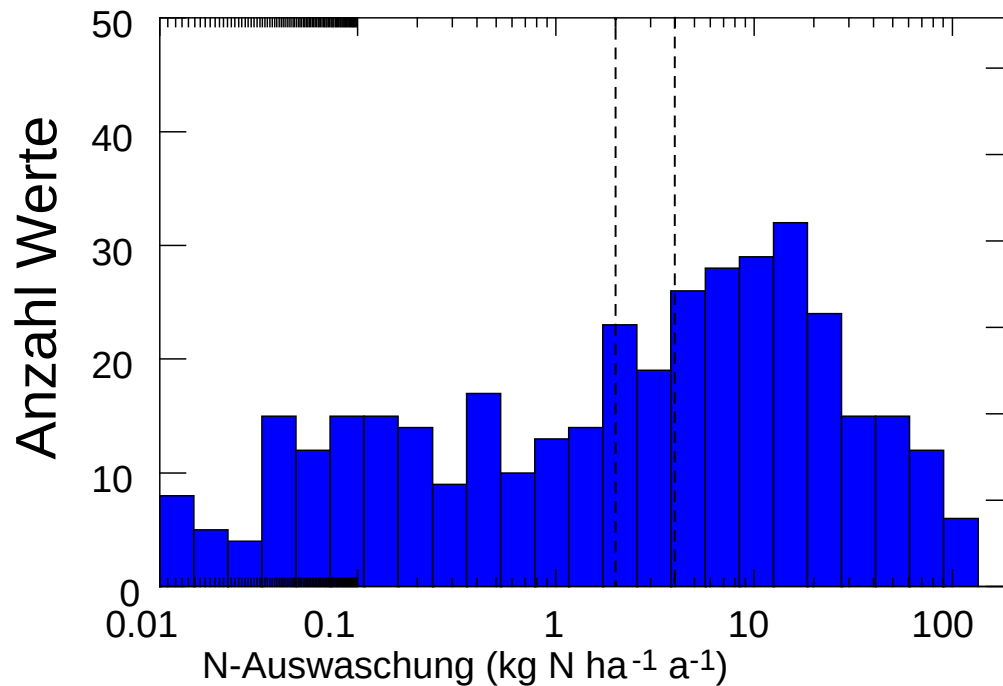


Abb. 17: Jahresfrachten der Stickstoffauswaschung 2005-2011 (ohne N-Versuche). Eingetragen sind die Grenzwerte für Koniferen- und Laubwälder gemäss Tab. 4..

| Standort | Sicker-<br>wasser | Nitratkonzentration |          |        | Leaching      | Deposition    | Grenzwert-<br>überschreitung |        |
|----------|-------------------|---------------------|----------|--------|---------------|---------------|------------------------------|--------|
|          |                   | <=30 cm             | >30-60cm | >60cm  |               |               | Konz.                        | Leach. |
|          | mm                | mg N/l              | mg N/l   | mg N/l | kg N ha-1 a-1 | kg N ha-1 a-1 |                              |        |
| AI       | 513               | 3.56                | 1.78     | 2.40   | 7.6           | 30.9          | x                            | x      |
| AL       | 95                |                     | 51.12    |        | 49.3          | 26.7          | x                            | x      |
| AU       | 823               | 1.48                | 1.56     | 1.84   | 16.5          | 31.4          | x                            | x      |
| AW       | 446               | 1.62                |          | 0.86   | 4.9           | 25.0          | x                            | x      |
| BA       | 1028              | 4.69                | 3.86     | 3.91   | 36.1          | 34.8          | x                            | x      |
| BAB      | 1063              | 2.01                | 1.96     | 0.37   | 25.2          | 28.5          | x                            | x      |
| BB       | 281               | 0.07                |          | 0.02   | 0.1           | 21.3          |                              |        |
| BO       | 388               | 0.06                |          | 0.00   | 0.1           | 17.8          |                              |        |
| BR       | 291               | 2.19                | 1.09     | 1.05   | 2.5           | 25.2          | x                            |        |
| BRAU     | 420               | 5.05                | 3.93     | 2.18   | 9.9           | 42.1          | x                            | x      |
| BRB      | 361               | 0.26                | 0.05     |        | 0.3           | 20.7          |                              |        |
| BU       | 369               | 0.07                |          | 0.01   | 0.1           | 46.5          |                              |        |
| DI       | 239               | 6.12                | 5.98     | 6.42   | 15.7          | 23.7          | x                            | x      |
| FR       | 526               | 0.47                | 1.01     | 1.66   | 4.6           | 28.4          | x                            | x      |
| GB       | 1032              | 1.33                |          |        | 10.4          | 22.5          | x                            | x      |
| HA       | 266               | 2.52                |          | 3.35   | 9.4           | 22.1          | x                            | x      |
| HI       | 554               | 1.93                |          | 1.86   | 12.8          | 34.4          | x                            | x      |
| LC       | 761               | 0.25                | 0.69     | 0.07   | 1.2           | 32.7          | x                            |        |
| LU       | 1218              | 0.28                | 0.05     | 0.43   | 7.8           | 14.6          | x                            | x      |
| LUB      | 1083              |                     | 0.16     |        | 5.5           | 15.5          |                              | x      |
| MO       | 299               | 3.12                | 3.09     | 2.26   | 5.2           | 23.1          | x                            | x      |
| MU       | 580               | 2.64                | 3.01     | 2.80   | 15.0          | 35.9          | x                            | x      |
| MUB      | 382               |                     |          | 1.62   | 5.9           | 28.7          | x                            | x      |
| MUF      | 263               | 4.02                | 4.16     | 3.83   | 11.7          | 36.1          | x                            | x      |
| MUU      | 217               |                     | 0.49     | 0.16   | 0.5           | 22.0          | x                            |        |
| OL       | 237               | 0.11                | 0.09     | 0.03   | 0.1           | 21.5          |                              |        |
| OS       | 463               | 0.08                | 0.06     | 0.04   | 0.1           | 28.2          |                              |        |
| PR       | 368               | 0.55                |          | 0.40   | 1.8           | 21.6          | x                            |        |
| RAF      | 235               | 1.65                |          | 0.03   | 0.1           | 23.4          | x                            |        |
| RI       | 349               | 0.15                |          | 0.18   | 0.9           | 19.4          |                              |        |
| RU       | 228               | 0.06                |          | 0.14   | 0.5           | 24.1          |                              |        |
| SA       | 1140              |                     | 8.76     |        | 86.3          | 37.8          | x                            | x      |
| SW       | 153               | 0.34                | 0.26     | 0.29   | 0.0           | 25.3          | x                            |        |
| WA       | 903               | 0.06                | 0.08     | 0.11   | 0.8           | 12.5          |                              |        |
| WG       | 406               | 4.00                | 6.26     | 6.44   | 21.9          | 30.9          | x                            | x      |
| WI       | 430               | 0.70                |          | 0.62   | 2.4           | 29.7          | x                            |        |
| ZB       | 795               | 1.77                | 1.74     | 0.95   | 6.1           | 31.9          | x                            | x      |
| ZBB      | 931               | 1.48                | 0.68     | 0.07   | 6.4           | 29.1          | x                            | x      |
| ZO       | 402               | 0.32                |          | 0.33   | 0.3           | 27.1          | x                            |        |
| ZV       | 460               | 2.00                |          | 1.60   | 8.0           | 34.1          | x                            | x      |
| Anzahl   |                   |                     |          |        |               |               | 30                           | 23     |
| Prozent  |                   |                     |          |        |               |               | 75                           | 58     |

Tab. 6: Sickerwassermengen, Medianwerte der Nitratkonzentrationen in verschiedenen Bodentiefen, berechnete N-Auswaschung, modellierte Stickstoffdeposition und Bewertung nach den Kriterien in Tab. 3 und Tab. 4. Für die Bewertung der Konzentration wurden nur die oberen beiden Tiefen berücksichtigt. Mittelwert über die Jahre 2005-2011.

Die Stickstoffauswaschung ist insbesondere von der Sickerwassermenge in einzelnen Jahren (Abb. 20) abhängig. Um eine für den ganzen Beobachtungszeitraum gültige Beziehung zwischen N-Deposition und N-Auswaschung zu erstellen und um allfällige zeitliche Entwicklungen zu untersuchen, musste zunächst der Einfluss dieser Kovariablen eliminiert werden (Tab. 7). Es ist kein Trend über die Zeit festzustellen. Um festzustellen, ob sich die Jahre signifikant voneinander unterscheiden, wurde die gleiche Analyse unter Einbezug der Jahre als Faktor durchgeführt. Der anschliessende paarweise Vergleich der Regressionsresultate für alle Ein-

zeljahre zeigt signifikante Unterschiede der Jahre 2003 und 2004 von 2011. Abb. 18 illustriert diese Jahreseffekte; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen. Die Abweichung nach oben für 2003 und 2004 bedeutet, dass die N-Auswaschung in diesen beiden trockenen Jahren höher war als aufgrund der Regression mit Eintrag und Sickerwassermenge geschätzt wurde. Umgekehrt war die Abweichung 2011 unterdurchschnittlich. Aus den Koeffizienten in Tab. 7 wurden die Koeffizienten der in Abb. 19 eingezeichnete Regressionslinie folgendermassen berechnet:

$$y = -2.084 + 0.000566 * \bar{x}_{(Sickerwasser)} + 0.0779 * NDEP$$

d.h.:

$$NAuswaschung = 10^{-1.77+0.00779*NDEP}$$

|                        | Koeff.    | SE        | DF  | p-Wert |
|------------------------|-----------|-----------|-----|--------|
| (Intercept)            | -2.083958 | 0.5560861 | 311 | 0.0002 |
| modellierter N-Eintrag | 0.07785   | 0.0201564 | 36  | 0.0004 |
| Sickerwassermenge (mm) | 0.000566  | 0.0001029 | 311 | <.0001 |

Tab. 7: Analyse der N-Fracht (logarithmiert) unter Einbezug der Sickerwassermenge. Standort 78 (BU) als Ausreisser ausgeschlossen.

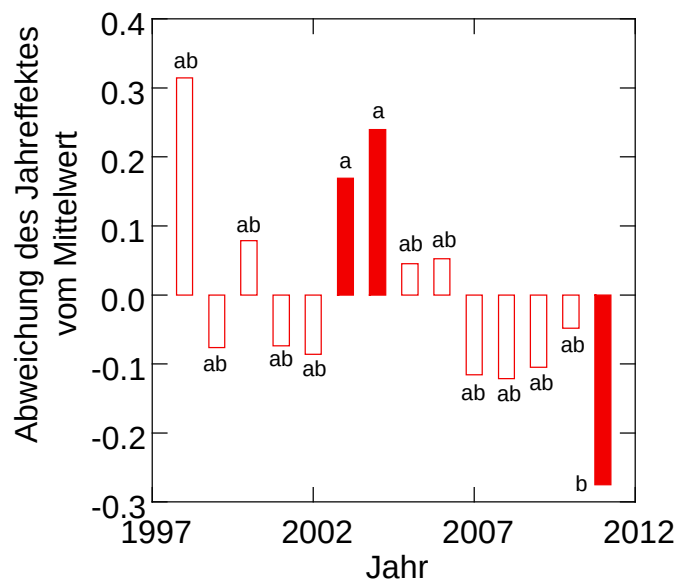


Abb. 18: Jahreffekt des in Tab. 7 aufgelisteten Modells. Signifikant unterscheiden sich die Paare 2003 – 2011 und 2004 – 2011 (ausgefüllte Säulen und verschiedene Buchstaben).



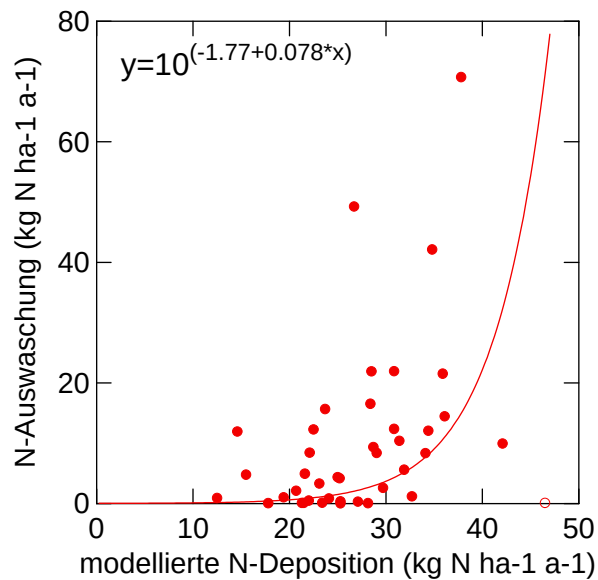


Abb. 19: Beziehung zwischen der modellierten N-Deposition und dem N-Austrag (Mittelwerte über alle Jahre). Eingezeichnete Linie: Koeffizienten gemäss Analyse in Tab. 7 (gemischte Regression). Nicht ausgefüllter Punkt: Ausreisser Busswil.

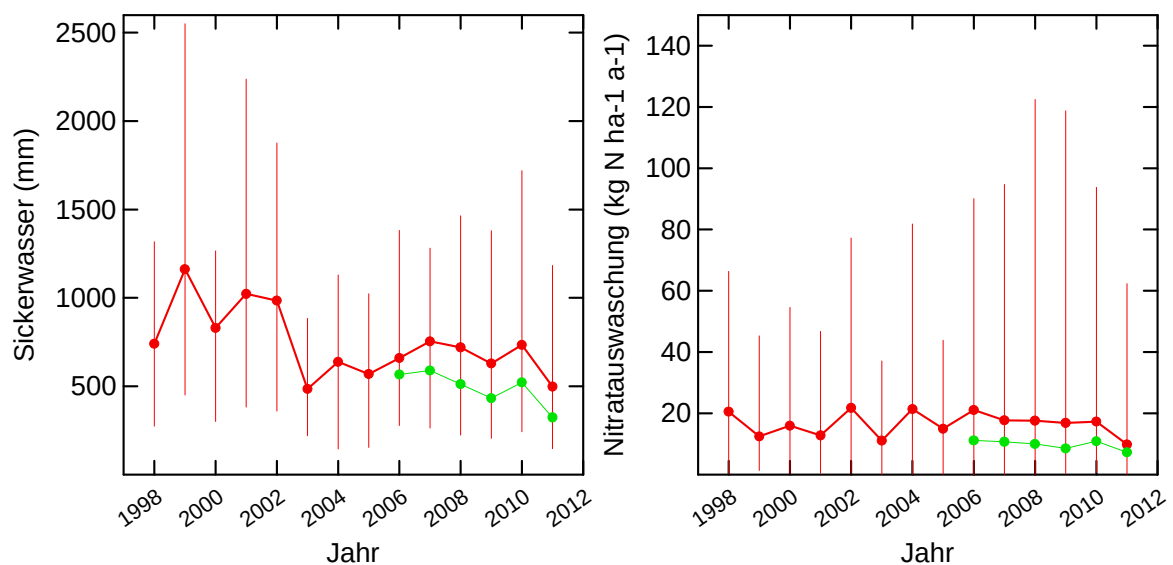


Abb. 20: Links Sickerwassermengen, rechts N-Auswaschung im seit mindestens 2001 beprobten Standortkollektiv. Dargestellt sind minimale, maximale und mittlere Jahressummen (n=12). Benachbarte Flächen wurden für diese Auswertung zusammengefasst, um eine regionale Überrepräsentierung zu vermeiden. Grüne Linie: alle Flächen mit Messung seit mindestens 2006 (n=31).

Der Einfluss von Durchforstungsmassnahmen ist in der Fläche Aeschau (Abb. 43) zu beobachten. Deutlich sichtbar ist der Anstieg der Nitratkonzentrationen nach der Durchforstung, aber auch der Anstieg des Aluminiums und der Rückgang des BC/Al-Verhältnisses. Eine solche Durchforstungsmassnahme kann die N-Auswaschung ohne Weiteres um einige Kilogramm pro Hektar ansteigen lassen. Der Effekt ist aber nach etwa 4-5 Jahren nur noch schwach.

### *Mittlere N-Auswaschung in Beziehung zu Standortsfaktoren*

2010 war im Rahmen des BAFU/WSL Forschungsprogramms "Wald und Klimawandel" ein Projekt in Zusammenarbeit mit der WSL, Dr. Peter Waldner et al., gestartet worden. Ziel war es, die N-Auswaschung für Schweizer Waldstandorte so zu modellieren, dass eine flächendeckende Abschätzung des Risikos von N-Belastungen möglich ist. Die WSL lieferte Daten von 7 LWF-Flächen, vom IAP standen Bodenlösungsdaten aus 38 Flächen zur Verfügung. Als Arbeitshypothese war angenommen worden, dass die N-Auswaschung vom C/N-Verhältnis der Humusaufgabe abhängt.

Die nachstehenden Auswertungen wurden nur mit dem IAP-Datenset durchgeführt, da ein Teil der verwendeten Variablen (Jungwuchs) für das WSL-Datenset nicht verfügbar und der Zeithorizont unterschiedlich war. Die Arbeitshypothese konnte nicht bestätigt werden (Abb. 21). Dies ist auf den ersten Blick überraschend, da ausländische Studien eine starke Zunahme der N-Auswaschung bei C/N-Verhältnissen unterhalb von 20-25 gezeigt hatten (Gundersen et al. 1998, Dise et al. 1998; UNECE 2005). Bei höheren Verhältnissen kommt die Nitrifikation zum Erliegen (Aber et al. 2003). So hohe C/N-Verhältnisse sind aber im vorliegenden Datenset nicht sehr häufig (Abb. 22). Nur 43 von 185 Bodenprofilen weisen ein C/N-Verhältnis von  $>20$ , nur 14 ein solches von  $>25$  auf. Damit ist der Bereich für C/N-Verhältnisse  $>25$  nicht genügend abgedeckt, wenn noch gleichzeitig die N-Deposition als Kovariable analysiert werden soll. Damit eignet sich das C/N-Verhältnis für dieses Datenset nicht als Prädiktor für die N-Auswaschung. Zudem gilt die Beziehung von Gundersen nur für Koniferenwälder, mit einer ausgeprägten Humusaufgabe. Eine solche kann nur in 46 von 188 Profilen gefunden werden.

Signifikante Prädiktoren der N-Auswaschung war, abgesehen von der Stickstoffdeposition, die Vernässung bzw. die damit verbundene Denitrifikation (Reinds et al. 2001, UNECE 2004) (Abb. 23, Tab. 9). Sie wurde aus Vernässungsmerkmalen des Bodenprofils hergeleitet (Tab. 8). Schwächer war die N-Auswaschung mit der Dichte des Jungwuchses korreliert. Diese Beziehung ist insofern bemerkenswert, als dies eine forstlich beeinflussbare Grösse ist. Die mittlere N-Auswaschung ohne Verjüngung betrug  $4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , mit 0.3 Jungbäumen ( $>1.3\text{-}2.5 \text{ m}$  hoch) pro  $\text{m}^2$  noch  $0.7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Die Anzahl kleinerer Jungpflanzen war nicht korreliert. Das weist darauf hin, dass die N-Aufnahme der jungen Bäumchen entscheidend ist. Dass der Unterwuchs die N-Auswaschung zu beeinflussen vermag, konnten auch Baba et al. (2011) in Japan experimentell zeigen.

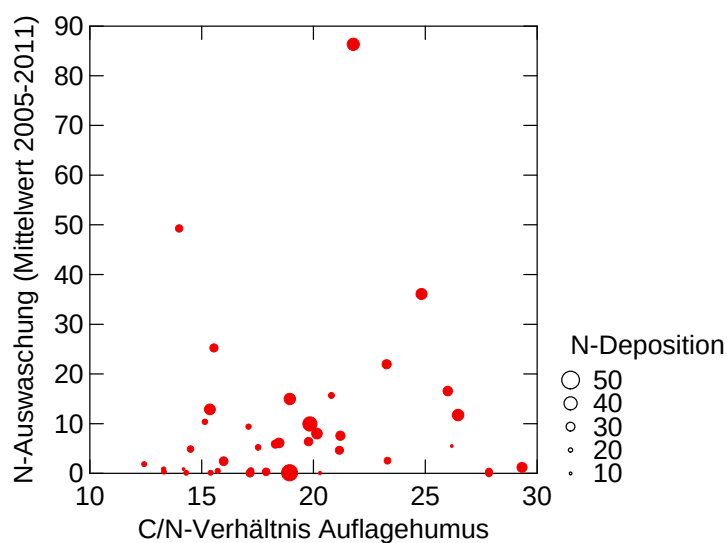


Abb. 21: Beziehung zwischen N-Auswaschung (Mittelwert 2005-2011) und dem C/N-Verhältnis im Auflagehumus. Die N-Deposition ist durch die Grösse der Plotsymbole gekennzeichnet.

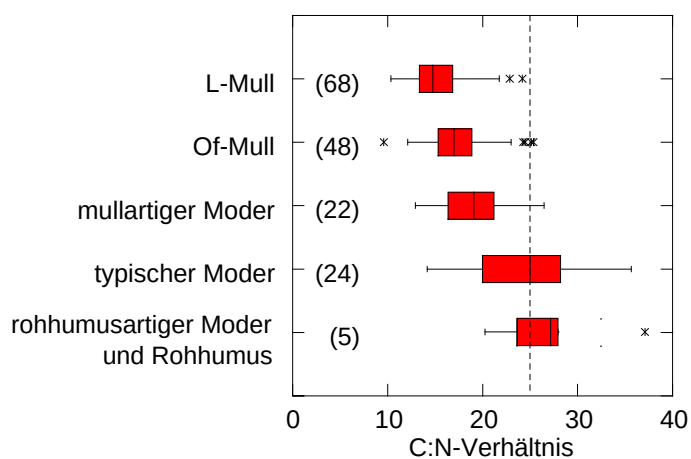


Abb. 22: C:N-Verhältnis in allen IAP-Waldbeobachtungsflächen bei unterschiedlichen Humusformen (Auflagehumus bei Moder und Rohhumus, erster mineralischer Horizont bei Mull). Zahlen in Klammern: Anzahl Standorte. Gestrichelte Linie: Verhältnis von 25 (Grenze zu erhöhter Stickstoffauswaschung nach Gundersen).

|                  | Profilmerkmal |        |    |      |       | zugeordneter Denitrifikationsfaktor |
|------------------|---------------|--------|----|------|-------|-------------------------------------|
| Vernässungsstufe | Sd            | (Sd)   | Sw | (Sw) | Go    |                                     |
| 0                | ≥90           | >70    |    | 40   |       | 0.1                                 |
| 1                | >70-90        | >50-70 | 50 | 30   | 80-90 | 0.3                                 |
| 2                | >50-70        |        | 40 | ≤20  | 60-70 | 0.4                                 |
| 3                | >30-50        |        | 30 |      | 40-50 | 0.5                                 |
| 4                | 30            |        | 20 |      | 20-30 | 0.6                                 |
| 5                | 20            |        |    |      |       | 0.7                                 |

Tab. 8: Einstufung der Vernässung in den Bodenprofilen (nach Arbeitskreis Standortkartierung 2003 und Frei et al. 1980). Angegeben ist die Tiefe des ersten Auftretens des entsprechenden Vernässungsmerkmals in cm. Zugeordneter Denitrifikationsfaktor gemäss UNECE (2004).

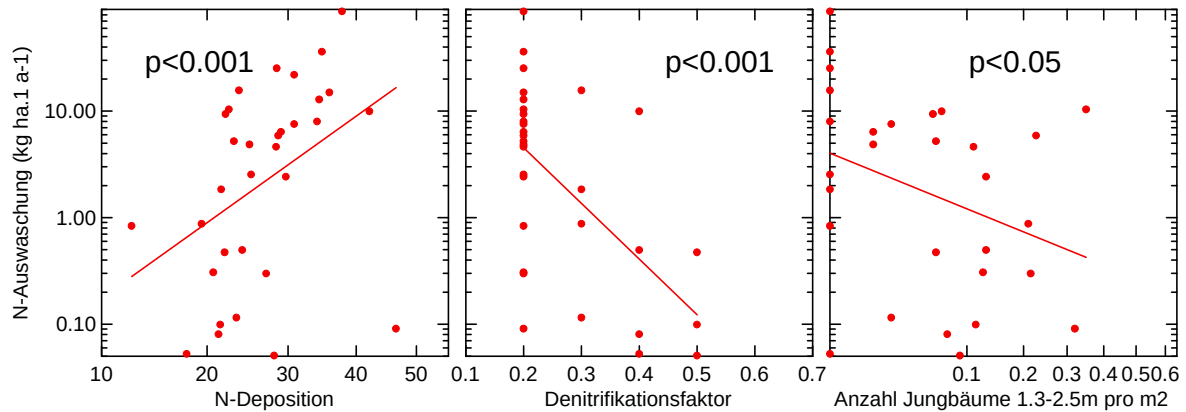


Abb. 23: Beziehung zwischen der N-Auswaschung (Mittelwert 2005-2010; (Log-Skala!)) und modellierter N-Deposition, Denitrifikation und Verjüngung (>1.3-2.5 m). Datenset: nur IAP-Flächen mit C/N-Verhältnis <25. Statistik vgl. Tab. 9.

| Effekt                 | Koeff.  | SE    | t-Wert | P(2 Tail) |
|------------------------|---------|-------|--------|-----------|
| N-Deposition ^0.5      | 0.804   | 0.149 | 5.396  | 0.000     |
| Denitrifikationsfaktor | -10.035 | 2.482 | -4.043 | 0.000     |
| Jungwuchs              | -3.700  | 1.549 | -2.363 | 0.026     |

Tab. 9: Koeffizienten der Beziehungen in Abb. 23 und ANOVA-Tabelle. Abhängige Variable: log (N-Auswaschung), n=29, R²=0.53

Aus dieser Analyse resultiert folgende Gleichung zur Schätzung der N-Auswaschung:

$$NLeach = e^{(0.80 \cdot NDEP^{0.5} - 10.0 \cdot f_{DE} - 3.70 \cdot VERJ)^{0.5}}$$

mit  $NDEP$ =N-Deposition ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ),  $f_{DE}$ : Denitrifikationsfaktor (0-1) und Verjüngung ( $VERJ$  = Anzahl Jungbäume in der Grössenklasse 1.3-2.5 m pro  $\text{m}^2$ )

### 6.2.2. Auswaschung von Aluminium

Ein weiteres Beurteilungskriterium ist die Auswaschung von Aluminium, die die Verwitterung von Aluminium nicht übersteigen sollte (Sverdrup et al. 1990; UNECE 2004). Übermäßige Al-Auswaschung führt zu einer Veränderung der Bodenstruktur, als Folge des Abbaus von sekundären Al-Phasen und -Komplexen. Mit der Wahl dieses Kriteriums soll auch eine weitere Absenkung des pH-Wertes über den Aluminium-Pufferbereich hinaus vermieden werden. Da die Verwitterungsrate von Aluminium mit SAFE nicht direkt berechnet wird, wird sie aus der Verwitterung basischer Kationen durch Multiplikation mit dem Faktor 2 geschätzt (Sverdrup et al. 1990). Das Resultat des Vergleichs der Al-Verwitterung mit der Al-Auswaschung für die Flächen mit berechneter Verwitterungsrate ist in Abb. 24 dargestellt. Das Kriterium wird in keinem Fall verletzt. Die Verwitterungsraten sind in der Regel bis zu einer Tiefe von 60 cm berechnet (Berücksichtigung der Durchwurzelungsintensität), bei den Auswaschungsfrachten wurde, wenn möglich, die Fracht in 50 cm Tiefe verwendet.

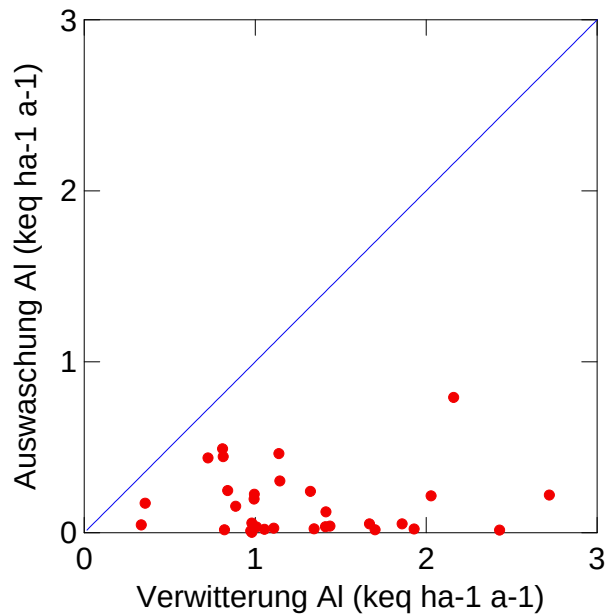


Abb. 24: Auswaschung von Aluminium aus 50-60 cm Bodentiefe in Beziehung zur Verwitterung (aufsummiert über den Wurzelraum). Die Auswaschung sollte die Verwitterung nicht übersteigen.

### 6.2.3. Auswaschung von basischen Kationen

Die Auswaschung von basischen Kationen (BC) ist relevant für die Beurteilung der Versauerung und der Nachhaltigkeit in der Nährstoffversorgung. Wichtig ist, dass über die durchwurzelten Bodenhorizonte beurteilt wird. Korrelationsrechnungen mit Ca-Konzentrationen im Laub und austauschbarem Ca im Boden ergaben, dass die Buche unterhalb einer Tiefe von 60 cm nicht mehr viel Ca aufnimmt (Braun und Belyazid 2011). Die nachstehenden Auswertungen wurden deshalb wenn möglich für eine Tiefe von 60 cm durchgeführt. In vielen Flächen wird die Bodenlösung in 50 cm Tiefe gemessen, die Frachtberechnungen wurden dann für diese Tiefe durchgeführt. Wie in Abb. 25 gezeigt, übersteigt die BC-Auswaschung die Verwitterungsrate in den meisten Fällen (65% der Fälle), oft um das Vielfache. Wird zur Verwitterungsrate noch der BC-Eintrag über die Luft hinzugezählt, reduziert sich die Anzahl Flächen mit negativer Bilanz auf 38%. Am stärksten negativ fällt die Bilanz bei basenreicheren Böden (inkl. die schwach gepufferten im Silikat- und Austauschpufferbereich; WI, HI, PR, BB) sowie bei sehr hohem N-Eintrag (Sagno, SA) aus (vgl. Tab. 5 und Tab. 6). Stark negative Bilanzen bedeuten eine rasche Versauerung. Das kann auch in der Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses der betreffenden Standorte (WI: Abb. 313, HI: Abb. 161, PR: Abb. 249, BB: Abb. 97, SA: Abb. 281) beobachtet werden.

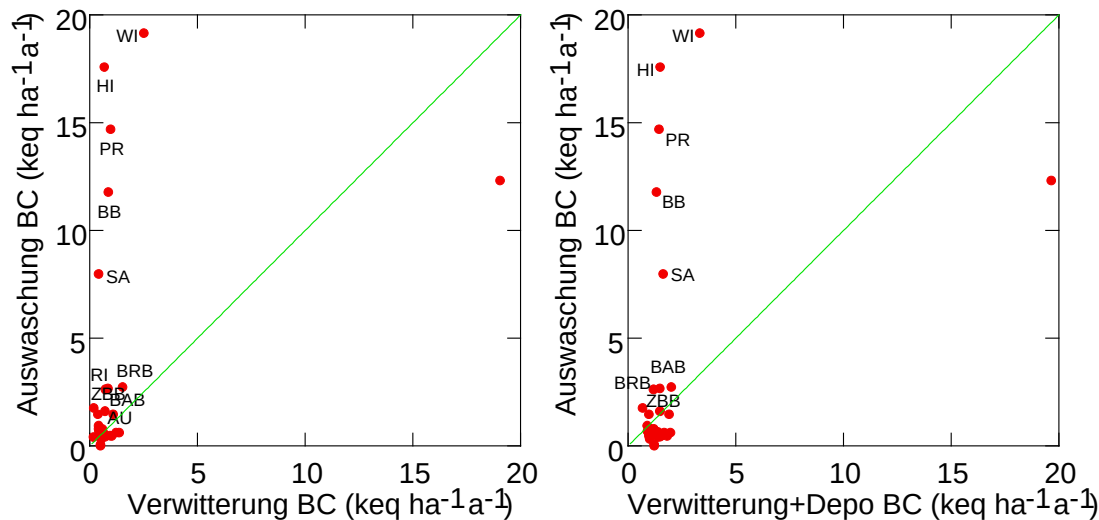


Abb. 25: Beziehung zwischen der Auswaschung der basischen Kationen (BC) in 50-60 Tiefe und der über 60 cm aufsummierten BC-Verwitterungsrate. Links: Beziehung zur Verwitterung allein, rechts: Beziehung zum Input durch Verwitterung + Deposition (Modellierung Beat Rihm, 2010 nach der Beschreibung in Kurz et al. 1998b sowie für die Alpensüdseite in Barbieri und Pozzi 2001). Die Kurzbezeichnungen der Standorte sind in Tab. 5 erläutert. Neben den in der Grafik mit Kurzbezeichnung hervorgehobenen Standorte ist die Bilanz inkl. Einbezug des Eintrags auch in den Flächen AU, RI, MUU und BR negativ. Diese Standorte liegen für eine Bezeichnung zu dicht beieinander. Der Punkt mit deutlich positiver Nährstoffbilanz ist die Fläche GB.

Details der Nährstoffbilanzrechnungen sind im Bericht über „Erfassung und Behandlung gefährdeter Waldstandorte“ (Braun und Belyazid 2011) beschrieben. Darin wird auch der Einfluss unterschiedlicher Erntemethoden analysiert.

Die nachfolgenden Abbildungen sollen die Bedeutung der Auswaschungsberechnungen bei unterschiedlichen Erntemethoden illustrieren. Abb. 26 vergleicht den Austrag mit dem Nährstoffentzug durch Stammernte mit Rinde, Abb. 27 mit dem Nährstoffentzug durch Ganzbaumernte (=inkl. Rinde, Äste, 70% der Blätter und Nadeln). Werden die Auswaschungsverluste mitberücksichtigt, so ist der Einfluss der Erntemethode auf den Nährstoffexport (Auswaschung + Nährstoffentzug durch die Ernte) nur noch gering. Bei Ca und Mg ist die Auswaschung mit dem Sickerwasser ein Mehrfaches höher als der Entzug durch die Biomasse, während bei K sowohl höhere als auch tiefere Austragsraten vorkommen. Ohne die Bodenlösungsmessungen sind Berechnungen von Nährstoffbilanzen auf Ökosystemebene nicht möglich.

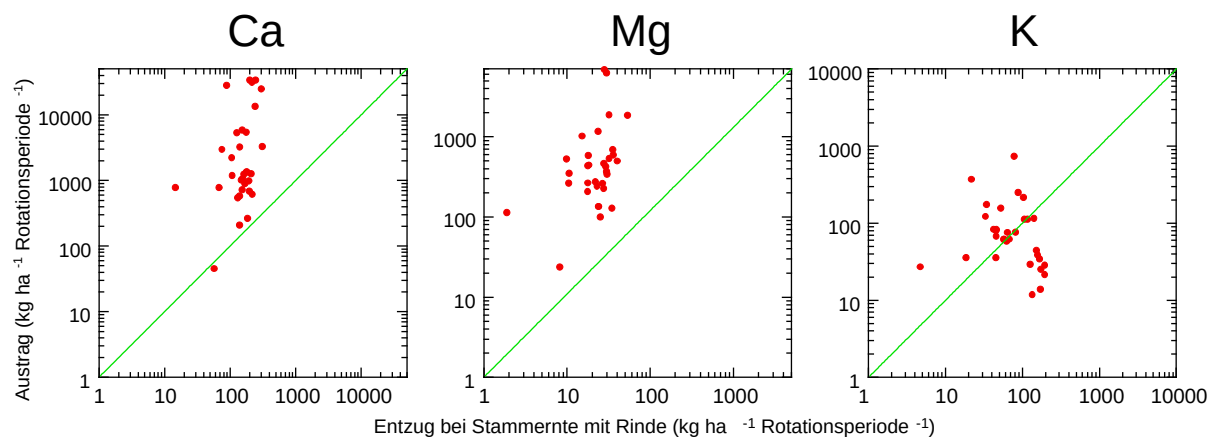


Abb. 26: Austrag basischer Kationen in 50 cm Tiefe im Vergleich zum Nährstoffentzug durch Stammernte (Summe pro Rotationsperiode, 120 Jahre).

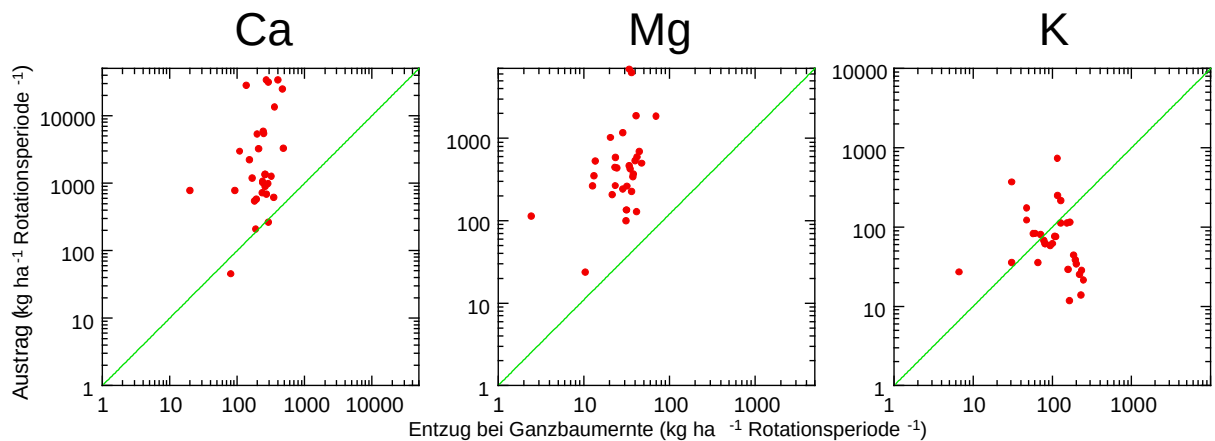


Abb. 27: Austrag basischer Kationen in 50 cm Tiefe im Vergleich zum Entzug basischer Kationen durch Ganzbaumernte (Summe pro Rotationsperiode, 120 Jahre).

### 6.3. Beurteilung der zeitlichen Entwicklung

Die zeitliche Entwicklung wichtiger chemischer Parameter in der Bodenlösung ist in den Abbildungen zu den Einzelstandorten enthalten (Abb. 33 bis Abb. 368). Die Grafiken mit Aluminium (BC/Al, Al-Konzentration) wurden mit den Werten für anorganisches Aluminium erstellt.

2012 hat das BC/Al-Verhältnis in vielen Flächen im Vergleich zum Vorjahr weiter abgenommen, z.T. sogar stärker als in den Jahren zuvor. Wenn man die Periode 2003 bis 2011 betrachtet, so ist ein negativer Trend im Oberboden in 19 von 33 Flächen signifikant (Abb. 28). Beschränkt man die Auswertung auf die Flächen, die seit mindestens 2000 beprobt werden, und auf den Zeitraum von 1998 bis 2011, ist im Oberboden in 11 von 14 Fällen ein signifikanter negativer Trend festzustellen (Abb. 29).

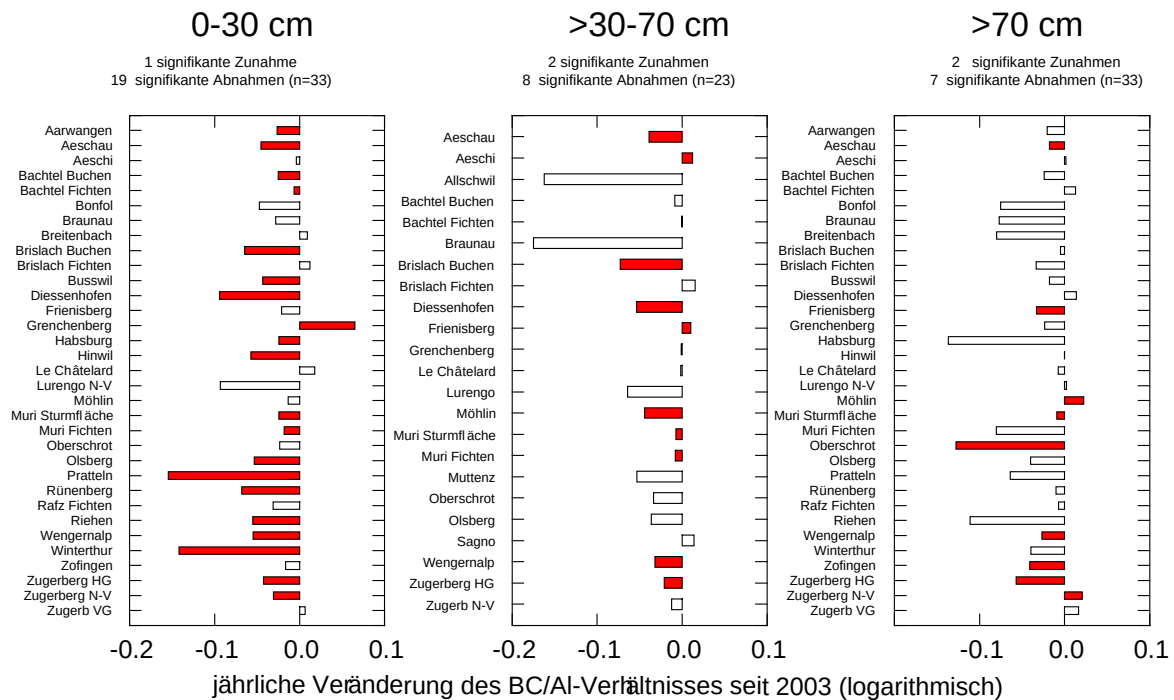


Abb. 28: Jährliche Veränderung des BC/Al<sub>anorg</sub>-Verhältnisses von 2003 bis 2011 in verschiedenen Bodentiefen. Signifikante Veränderungen sind durch rote Säulen hervorgehoben.

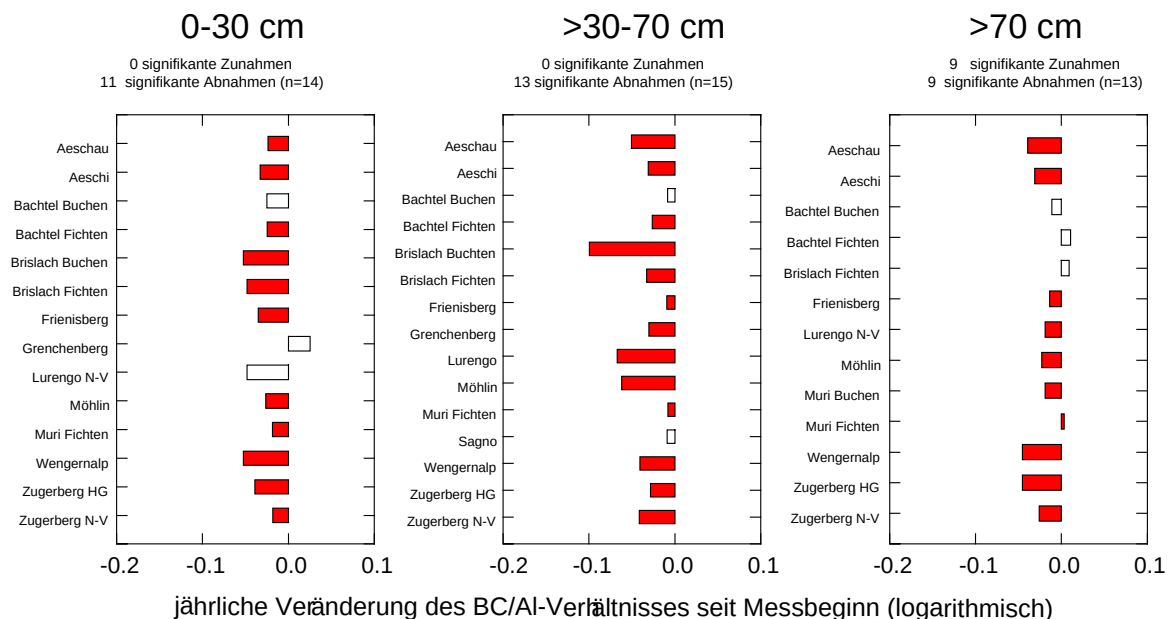


Abb. 29: Jährliche Veränderung des BC/Al<sub>anorg</sub>-Verhältnisses von 1998 bis 2011 in verschiedenen Bodentiefen für Flächen, die seit mindestens 2000 beprobt wurden. Eine Veränderung um -0.1 entspricht einer jährlichen Abnahme des BC/Al-Verhältnisses um 20.6% ( $10^{-0.1}=0.794$ ). Das heisst, wenn das BC/Al-Verhältnis im ersten Jahr 10 war und im zweiten Jahr 7.94, dann ist  $\log(7.94/10)$  bzw.  $\log(7.94)$  minus  $\log(10) = 0.1$ . Signifikante Veränderungen sind durch rote Säulen hervorgehoben.

Für einen Gesamtüberblick wurden die Flächen nach der mittleren Basensättigung in 0-40 cm Bodentiefe gruppiert:  $\leq 15\%$ ,  $>15-40\%$  und  $>40\%$ . In allen drei Klassen ist im Oberboden eine deutliche und in 40-70 cm eine mässige Abnahme des BC/Al-Verhältnisses zu erkennen (Abb. 30). In noch grösserer Tiefe sind die Trends schwächer. Tests ergaben, dass die unterschiedlich lange Beobachtungsdauer der einzelnen Flächen diese Auswertung nicht



wesentlich beeinflusst. Bemerkenswert ist die markante Abnahme im Unterboden von Böden mit einer Basensättigung >40%.

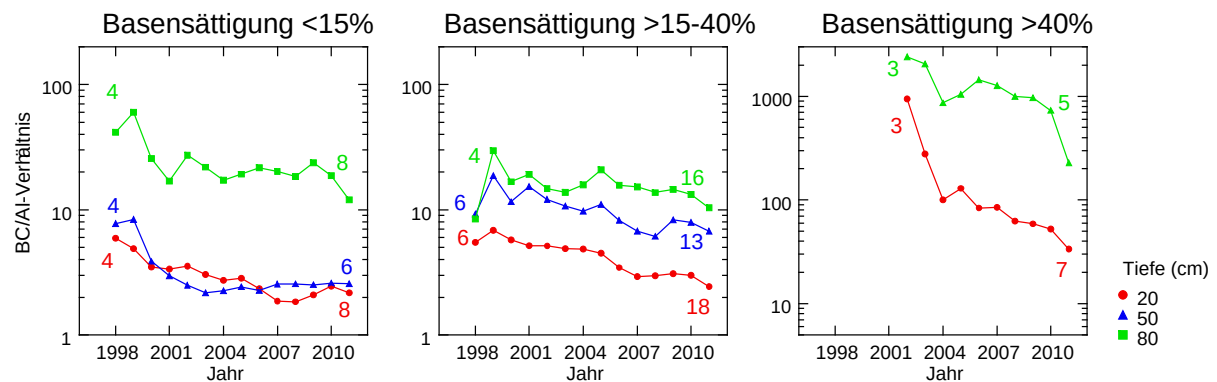


Abb. 30: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses in der Bodenlösung in Kollektiven mit unterschiedlicher Basensättigung des Bodens. Zahlen bei den Kurven: Anzahl Flächen am Anfang und am Ende des Beobachtungszeitraums. Bei der Gruppe mit einer Basensättigung >40% wurde Grenchenberg ausgeschlossen.

In basenarmen Böden war die Verlangsamung der Versauerung zwischen 2003 und 2011 stärker ausgeprägt als bei den basenreichen. Die Geschwindigkeit der weiteren Abnahme des BC/Al-Verhältnisses korreliert mit dem pH-Wert des Bodens (Abb. 31). Unterhalb von pH 4.2 werden die Böden durch Aluminium gepuffert und versauern deshalb nicht mehr so rasch weiter, aber das BC/Al-Verhältnis ist nahe beim kritischen Wert von 1. Beispiele dafür sind Brislach, Frienisberg, Aeschi, Bachtel, Buswil, Möhlin und Muri. Böden mit einem pH-Wert zwischen 5.0 und 6.2 (Silikatpufferbereich) und im Austauscherpufferbereich (pH 4.2 bis 5) haben zwar noch ein hohes BC/Al-Verhältnis, sind jedoch schlecht gepuffert und demnach am empfindlichsten gegenüber Versauerung. Beispiele dafür sind Winterthur, Riehen, Rünenberg und Pratteln. Die positiven Veränderungen sind grösstenteils nicht signifikant (leere Punkte).

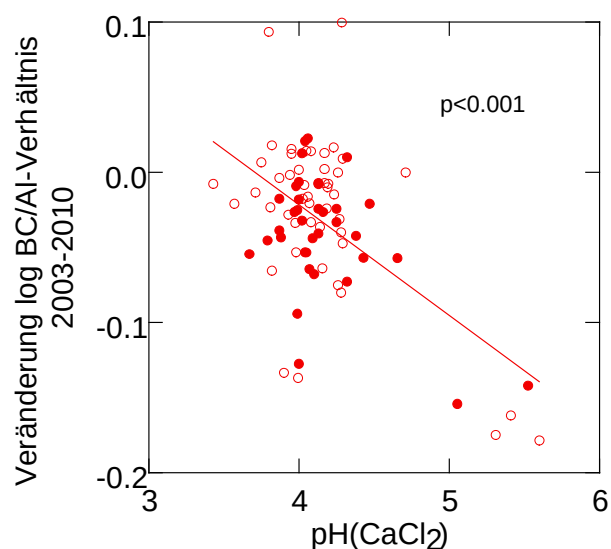


Abb. 31: Jährliche Veränderung des logarithmierten BC/Al-Verhältnisses in Beziehung zum pH(CaCl<sub>2</sub>) in der entsprechenden Bodentiefe (Messzeitraum 2005-2008). 1 Punkt= 1 Tiefenstufe pro Fläche (n=83). Datenset ohne Grenchenberg. Bei den ausgefüllten Punkten ist die Veränderung signifikant.

## 7. Schlussfolgerungen, Ausblick

Bodenlösungsmessungen sind ein geeignetes Mittel, um zeitliche Verläufe chemischer Parameter am gleichen Standort, mit minimaler Störung des Ökosystems, zu verfolgen. Für den Vergleich mit kritischen Werten scheint jedoch Vorsicht geboten, zumindest was die Versauerkriterien anbelangt. Gemäss UNECE Mapping Manual ist das entscheidende Kriterium bei der Berechnung der Critical Loads für versauernde Einträge das BC/Al-Verhältnis. Ab einem Wert von  $<1$  ist nach Sverdrup und Warfvinge (1993) mit Schäden für die Vegetation zu rechnen, weshalb der Wert nicht unterschritten werden soll. Die Daten aus den Dauerbeobachtungsflächen weisen jedoch darauf hin, dass bei einem Wert von 1 bereits zu viel Versauerung zugelassen wird. So wurde z.B. ein erhöhter Windwurf in Beobachtungsflächen mit  $\leq 40\%$  Basensättigung beobachtet (Braun et al. 2003). Gemäss der beobachteten Regression zwischen BC/Al-Verhältnis und Basensättigung entspricht dies im Mittel einem BC/Al-Verhältnis von 32. Auch beobachtete Beziehungen von Durchwurzelungstiefe oder Benadelung mit der Basensättigung des Bodens ( $\leq 20\%$  bzw.  $15\%$ ) deuten darauf hin, dass ein BC/Al-Verhältnis von 1 nicht ausreichend schützt. Als Beispiel des Baumzustandes auf stark versauertem Boden sei auch die Fläche Scheidwald (Kanton Bern) genannt: der Kronenzustand der Fichten ist sehr schlecht und die Sturmschäden sind stark überdurchschnittlich. In dieser Fläche liegt zwar das Verhältnis zwischen BC und  $Al_{tot}$  deutlich unter 1 (in 20, 50 bzw. 80 Tiefe ist es im Mittel 0.02, 0.03 bzw. 0.06). Das für die Risikobewertung entscheidende Verhältnis zwischen BC und  $Al_{anorg}$  ist jedoch grösser als 1 (1.5, 1.9 bzw. 2.4). Die Ergebnisse weisen demnach darauf hin, dass allein mit dem Kriterium „BC/Al = 1“ die Versauerungsrisiken nicht adäquat bewertet werden können. Es wird vorgeschlagen, das BC/Al-Kriterium differenzierter zu verwenden und zumindest die Basensättigung als zusätzliches Kriterium für die Festlegung von Critical Loads für versauernde Einträge einzubeziehen. Wird bei der Basensättigung eine Grenze von 20% verwendet, so werden 16.7% der Walddauerbeobachtungsflächen als kritisch eingestuft. Bei einer Grenze von 40% sind es 34.4%. Weitere epidemiologische Auswertungen der Waldbeobachtungen unter Einbezug der Bodenlösungsdaten können Grundlagen für die Ableitung neuer Kriterien und kritischer Belastungsgrenzen liefern.

Stickstoffeinträge wirken sowohl versauernd (Abb. 32) als auch eutrophierend. Ein Mass für die Schätzung der versauernden Wirkung ist die Auswaschung aus der Wurzelzone. Das Eutrophierungsrisiko für die Vegetation kann durch die Konzentration an löslichem Stickstoff in der Bodenlösung ermittelt werden. Unter Beizug der international vereinbarten kritischen Belastungsgrenzen ergibt sich eine adäquate Beurteilung des Risikos. Mehr als  $\frac{3}{4}$  aller Flächen werden entweder aufgrund der Konzentration oder aufgrund der Auswaschung als belastet eingestuft. In der Realität dürfte der Anteil wahrscheinlich noch höher liegen, wie die beobachteten Nährstoffungleichgewichte bei den Waldbäumen nahelegen (Braun et al. 2010). Die Auswertung der Mortalität ergab bei den Fichten eine Interaktion zwischen Trockenheit und N-Deposition. Unter feuchten Bedingungen war die Mortalität durch die N-Deposition nicht beeinflusst, unter trockenen Bedingungen (hier gerechnet für ein Verhältnis zwischen aktueller und potentieller Evapotranspiration von 0.6) war sie markant erhöht: bei einer N-Deposition von  $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  um das Dreifache, bei  $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  um das 75-fache (Braun und Flückiger 2013). Beispiel einer solch stark N-belasteten Fläche ist die Fläche Sagno: bei den Fichten wurde ein überdurchschnittlicher Befall mit Borkenkäfern sowie ein erhöhter Windwurf beobachtet. In dieser Fläche wird das langfristige Mittel der N-Auswaschung auf  $77 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  geschätzt. Messungen der Kronentraufe zwischen 2000 und 2011 ergaben einen N-Eintrag von  $67 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ; der Gesamteintrag dürfte aber noch höher liegen, da die direkte N-Aufnahme über die Baumkrone dabei nicht berücksichtigt wurde. Auch der Buchenbestand am gleichen Ort war in den letzten Jahren stark geschädigt. Für Stick-

stoffwirkungen in den Waldbeobachtungsflächen sei auch auf den Synthesebericht über Stickstoffeinwirkungen (Flückiger und Braun 2011) verwiesen.

Bodenlösungsmessungen liefern auch eine wichtige Grundlage für die Berechnung der Nachhaltigkeit in Bezug auf die Nährstoffversorgung. Auswaschungsverluste sind der wichtigste Bestandteil von Berechnungen der Nährstoffbilanzen. Die Frachtberechnungen zeigen, dass der Austrag von basischen Kationen (Mg, Ca, K) mit dem Sickerwasser z.T. deutlich höher ist als der Entzug durch die Ernte sowie die Nachlieferung durch die Verwitterung. Vor allem der Vergleich der Auswaschung von basischen Kationen mit der Nachlieferung durch die Verwitterung ist ein Hinweis auf die fortschreitende Bodenversauerung.

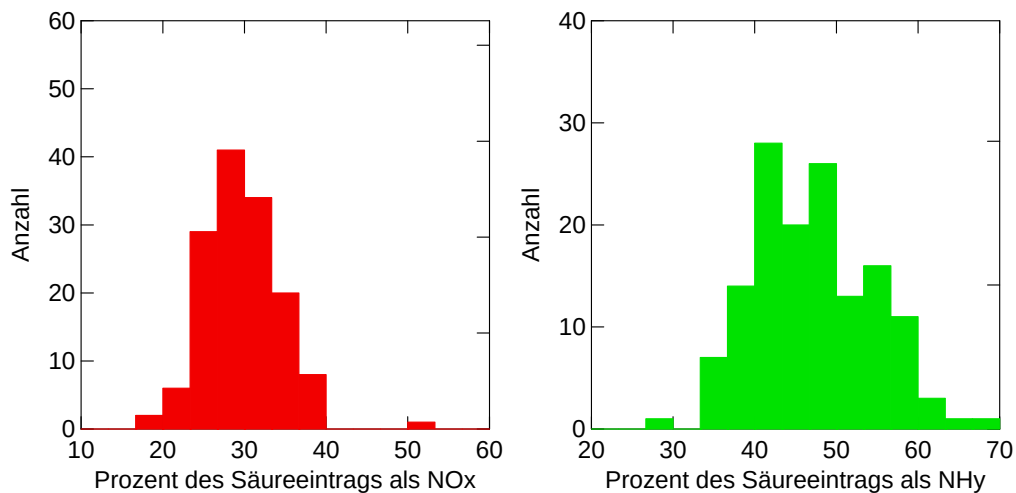


Abb. 32: Anteil oxidierter (links) und reduzierter Stickstoffverbindungen (rechts) an der gesamten versauernden Deposition. Datenset: durch Meteotest modellierte Einträge für alle IAP-Walddauerbeobachtungsflächen (Stand 2007).

Eine Weiterführung der Messung aller wichtigen Anionen und Kationen in der Bodenlösung ist aus folgenden Gründen angezeigt:

- Die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen dient u.a. der Erfolgskontrolle für Luftreinhaltemassnahmen. Mit der Revision des Göteborg-Protokolls sind bis 2020 europaweit weitere z.T. substantielle Emissionsminderungen bei Schwefel, sowie oxidierten und reduzierten N-Verbindungen zu erwarten, die zu Abnahmen bei den N-Depositionen und versauernden Depositionen führen sollten.
- Die Bodenlösungsdaten sind essentiell, um Nährstoffbilanzen auf Ökosystemebene rechnen zu können.
- Die Daten werden gebraucht, um die verschiedenen international vereinbarten kritischen chemischen Parameter zur Bewertung der Versauerungs- und Eutrophierungsrisiken auf Konsistenz untereinander zu prüfen. Die bisherigen Abklärungen haben zu offenen Fragen in Bezug auf diese Konsistenz geführt. Weitere Abklärungen sind nötig in Bezug auf die Beziehungen der Parameter untereinander und bezüglich ihrer Eignung für Risikobewertungen.
- Es braucht weitere Abklärungen, u.a. bezüglich Beziehungen zu beobachteten Wirkungen unter Einbezug verschiedener kritischer chemischer Parameter in epidemiologische Auswertungen, um zu verlässlichen Aussagen zu kommen, welche Parameter allein oder in Kombination zur Risikobewertung vorrangig zu verwenden sind.

---

## **8. Verdankungen**

Die Untersuchungen wurden vom Bundesamt für Umwelt, Abteilungen Wald und Luft, sowie von den Kantonen AG, BE, BL, BS, FR, SO, TG, ZH und ZG in verdankenswerter Weise finanziert. Danken möchte ich insbesondere Dr. Sabine Augustin und Beat Achermann vom BAFU für die Unterstützung und die hilfreichen Kommentare zum Bericht. Verdanken möchte ich hier aber auch das Feld- und Laborteam des Instituts für Angewandte Pflanzenbiologie, das die monatlichen Samplings mit viel Geduld durchführt und auswertet: Delphine Antoni, Dieter Bader, Nadine Brogle, Heidi Flückiger, Moïse Groelly, Caroline Stritt und Roland Woëffray.

## 9. Literatur

- Aber, J. D., Goodale, C. L., Ollinger, S. V., Smith, M. L., Magill, A. H., Martin, M. E., Hallett, R. A. und Stoddard, J. L. (2003). Is nitrogen deposition altering the nitrogen status of northeastern forests? *BioScience* 53, 375-389.
- Alveteg, M., Sverdrup, H. und Kurz, D. (1998). Integrated assessment of soil chemical status. 1. Integration of existing models and derivation of a regional database for Switzerland. *Water Air and Soil Pollution* 105, 1-9.
- Arbeitskreis Standortskartierung (2003). Forstliche Standortsaufnahme. IHW-Verlag und Verlagsbuchhandlung, Eching bei München.
- Baba, M., Abe, S., Kasai, M., Sugiura, T. und Kobayashi, H. (2011). Contribution of understory vegetation to minimizing nitrate leaching in a Japanese cedar plantation. *Journal of Forest Research* 16, 446-455.
- Barbieri, A. und Pozzi, S. (2001). Acidifying deposition, Southern Switzerland. *Environmental Documentation - Air* 134, 113 pp., Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL).
- Becher, G. (1999). Waldzustandsanalyse mit multivariaten Verfahren - theoretische Grundlagen und Anwendungen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Benzler, J. H., Finner, H., Müller, W., Roeschmann, G., Will, K. H. und Wittmann, O. (1982). Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 331 pp.
- Block, J., Eichborn, J., Gehrman, J., Kölling, C., Matzner, E., Meiwes, K. J., von Wilpert, K. und Wolff, B. (2000). Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II - Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, 167 pp.
- Braun, S. und Belyazid, S. (2011). Erfassung und Behandlung gefährdeter Waldstandorte. Bericht 2006-2011. - 102. Schönenbuch, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie.
- Braun, S., Cantaluppi, L. und Flückiger, W. (2005). Fine roots in stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies* along a gradient of soil acidification. *Environmental Pollution* 137, 574-579.
- Braun, S. und Flückiger, W. (2013). Wie geht es unserem Wald? Bericht 4. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch.
- Braun, S., Schindler, C., Volz, R. und Flückiger, W. (2003). Forest damage by the storm "Lothar" in permanent observation plots in Switzerland: the significance of soil acidification and nitrogen deposition. *Water Air and Soil Pollution* 142, 327-340.
- Braun, S., Thomas, V. F. D., Quiring, R. und Flückiger, W. (2010). Does nitrogen deposition increase forest production? The role of phosphorus. *Environmental Pollution* 158, 2043-2052.
- Bruggenwert, M. G. M., Bolt, G. H. und Hiemstra, T. (1986). Acid-base systems in soil. In: Transactions of the XIII. Congress of International Society of Soil Science which was held at Hamburg 13-20 August 1986 under the patronage of the Federal Minister of Nutrition, Agriculture and Forestry. Mr. Ignaz Kiechle, pp. 51-58.
- Deflandre, B. und Gagné, J. P. (2001). Estimation of dissolved organic carbon (DOC) concentrations in nanoliter samples using UV spectroscopy. *Water Research* 35, 3057-3062.
- Dise, N. B., Matzner, E. und Forsius, M. (1998). Evaluation of organic horizon C: N ratio as an indicator of nitrate leaching in conifer forests across Europe. *Environmental Pollution* 102, 453-456.
- EMEP (1996). EMEP manual for sampling and chemical analysis, EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe. Norwegian Institute for Air Research.
- Flückiger, W. und Braun, S. (2011). Auswirkung erhöhter Stickstoffbelastung auf die Stabilität des Waldes. Synthesebericht. Schönenbuch, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie.
- Frei, E., Vökt, U., Flückiger, R., Brunner, H. und Schai, F. (1980). Bodeneignungskarte der Schweiz. Eidg. Justiz- und Polizeidepartement- Bundesamt für Raumplanung.
- Gjessing, E. T., Riise, G., Petersen, R. C. und Andruchow, E. (1989). Bioavailability of aluminium in the presence of humic substances at low and moderate pH. *Science of the Total Environment* 81/82, 683-690.
- Gundersen, P., Callesen, I. und de Vries, W. (1998). Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution* 102, 403-407.
- Hettelingh, J.-P. und de Vries, W. (1992). Mapping Vademecum. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands.
- Kurz, D., Alveteg, M. und Sverdrup, H. (1998a). Integrated assessment of soil chemical status. 2. Application of a regionalized model to 622 forested sites in Switzerland. *Water Air and Soil Pollution* 105, 11-20.

- Kurz, D., Rihm, B., Sverdrup, H. und Warfvinge, P. (1998b). Critical loads of acidity for forest soils. 88, 102 pp., Bern.
- Landeshydrologie (1992). Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern,
- Lindsay, W. L. (1979). Chemical equilibria in soils. Wiley, Chichester, New York,
- Mayer, P., Brang, P., Dobbertin, M., Hallenbarter, D., Renaud, J. P., Walthert, L. und Zimmermann, S. (2005). Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science* 62, 303-311.
- Nieminen, T. M., Derome, K., Meesenburg, H. und De Vos, B. (2013). Soil solution: sampling and chemical analyses. In: *Forest Monitoring. Methods for Terrestrial Investigations in Europe with an Overview of North America and Asia*, eds. Ferretti, M. und Fischer, R., pp. 301-315.
- Reinds, G. J., Posch, M. und de Vries, W. (2001). A semi-empirical dynamic soil acidification model for use in spatially explicit integrated assessment models for Europe. *Alterra Report 084*, 55 pp., Wageningen, Alterra Grenn World Research.
- Schulla, J. und Jasper, K. (2007). Model description Wasim-ETH. [http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim\\_2007\\_en.pdf](http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2007_en.pdf), Zürich, 181 pp.
- Sverdrup, H., de Vries, W. und Henriksen, A. (1990). Mapping critical loads. A guidance to the criteria, calculations, data collection and mapping of critical loads. *Nord.* 90, 1-124.
- Sverdrup, H. und Warfvinge, P. (1993). The Effect of Soil Acidification on the Growth of Trees, Rass and Herbs as expressed by the  $(Ca+Mg+K)/Al$  ratio. Lnd, Lund University. Reports in Ecology and Environmental Engineering.
- Sverdrup, H., Warfvinge, P., Blake, L. und Goulding, K. (1995). Modeling recent and historic soil data from the Rothamsted Experimental Station, England using SAFE. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 53, 161-177.
- Ulrich, B. (1988). Ökochemische Kennwerte des Bodens. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 151, 171-176.
- Ulrich, B. und Matzner, E. (1983). Abiotische Folgewirkungen der weiträumigen Ausbreitung von Luftverunreinigungen. *Forschungsbericht* 104 02 615 .
- UNECE (1992). Critical Loads for Nitrogen. UN-ECE-Workshop report Lökeberg, Sweden, 6.-10. April 1992. Grennfelt, P. und Thörnelöf, E. 1992:41 -428. Nord.
- UNECE (1993). Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and Geographical Areas where they are Exceeded. Coordination Center for Effects and the Secretariat of the United Nations Economic Commission, Berlin,
- UNECE (1996). Manual on methodologies for mapping critical loads/levels and geographical areas where they are exceeded, revised version June 1996. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution 142 pp., Berlin, Umweltbundesamt.
- UNECE (2004). Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. 202 pp.
- UNECE (2005). Forest Condition in Europe. 2005 Technical Report. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests 99 pp., Geneva and Brussels, UNECE.
- UNECE (2008). Guidelines for reporting on the monitoring and modelling of air pollution effects. ECE/EB.AIR/2008/11 .

---

## **10. Bodenlösung Einzelstandorte**

## Aarwangen

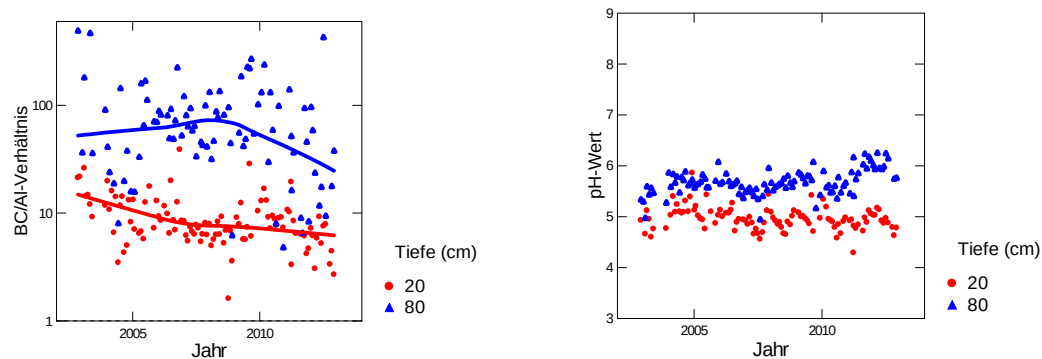


Abb. 33: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

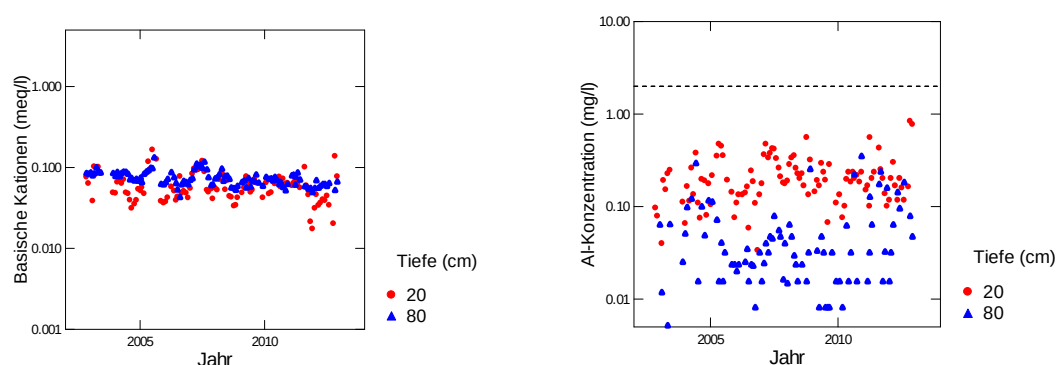


Abb. 34: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

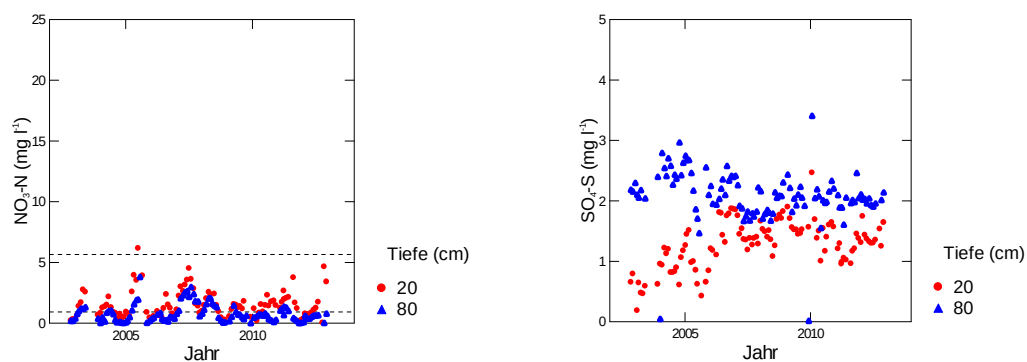


Abb. 35: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

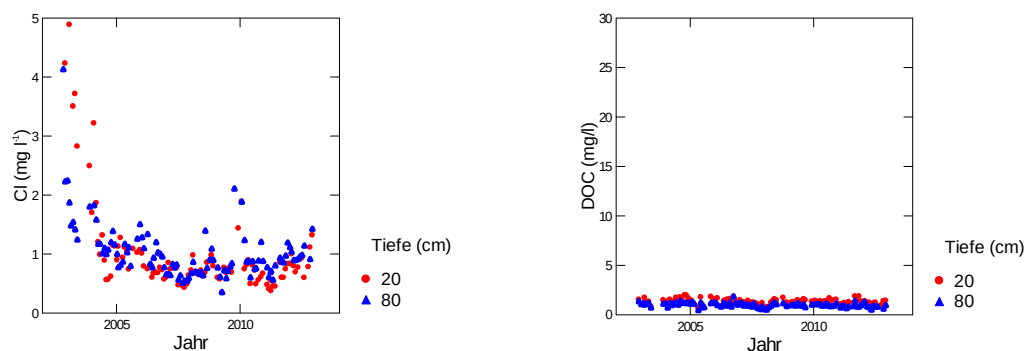


Abb. 36: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.



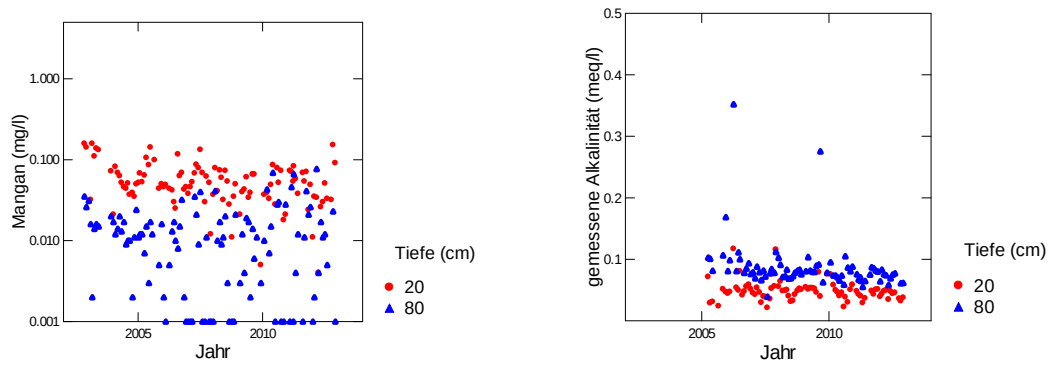


Abb. 37: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

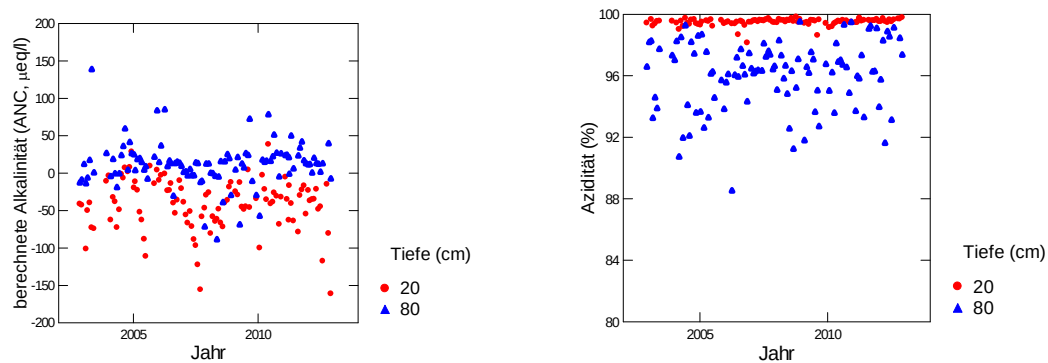


Abb. 38: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

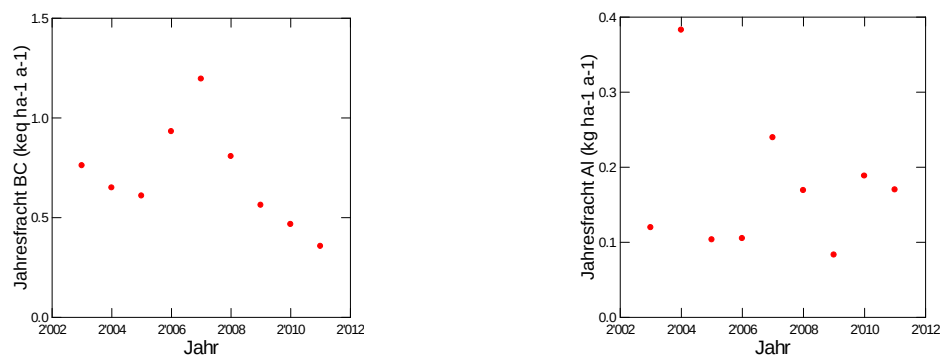


Abb. 39: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen in 80 cm Tiefe.

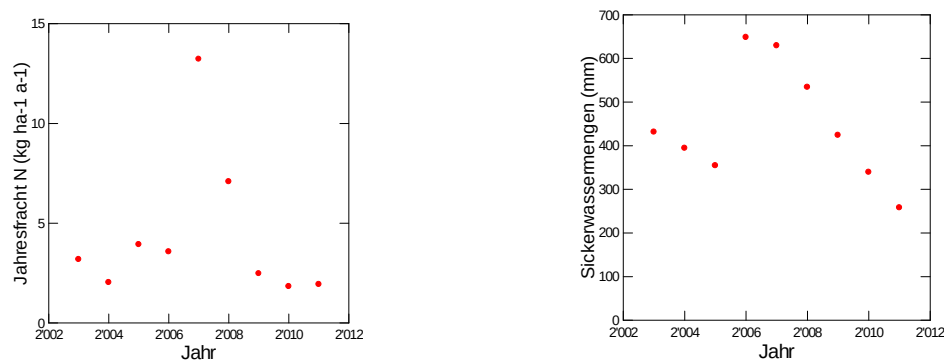


Abb. 40: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen in 80 cm Tiefe.

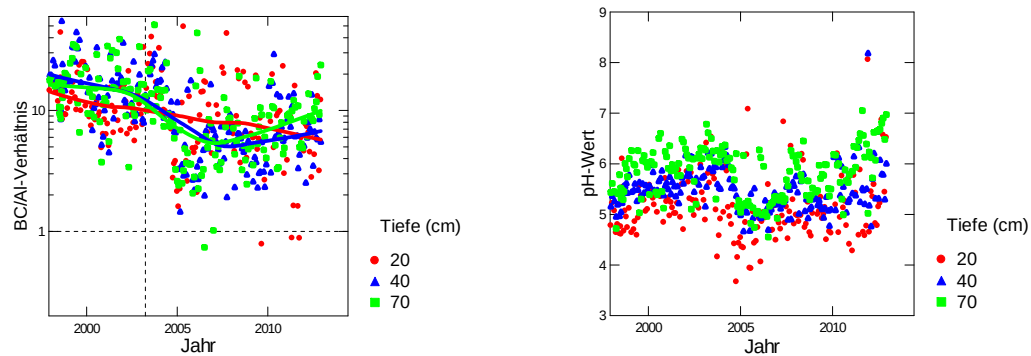
**Aeschau**

Abb. 41: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau (Mischbestand Tannen, Fichten, Buchen). Senkrechte Linie: Durchforstung.

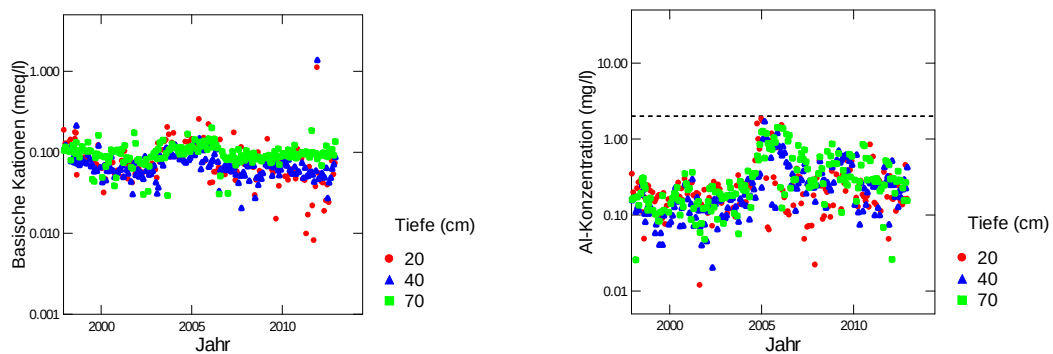


Abb. 42: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

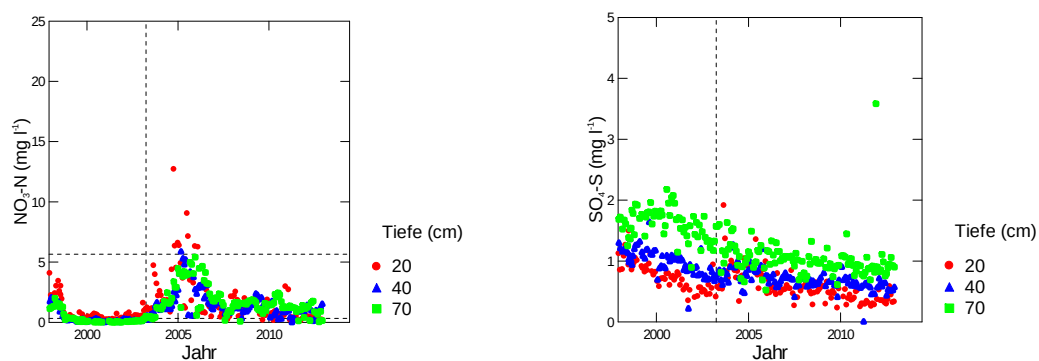


Abb. 43: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz. Senkrechte gestrichelte Linie: Durchforstung.

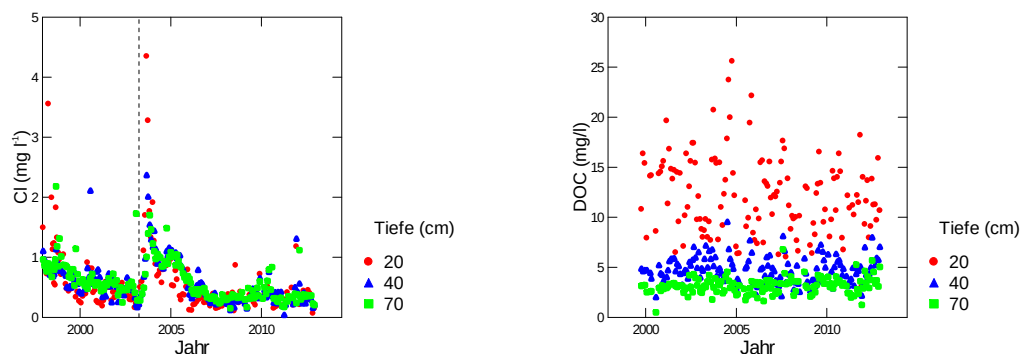


Abb. 44: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau (Mischbestand Tannen, Fichten, Buchen). Senkrechte gestrichelte Linie: Durchforstung.

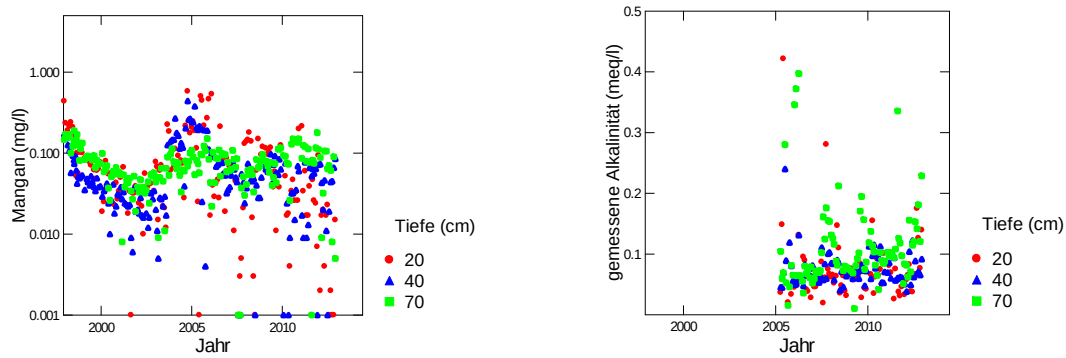


Abb. 45: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau

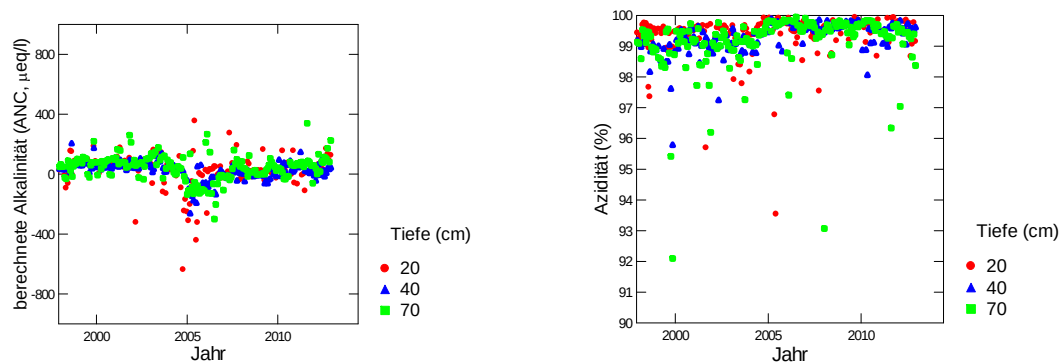


Abb. 46: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau.

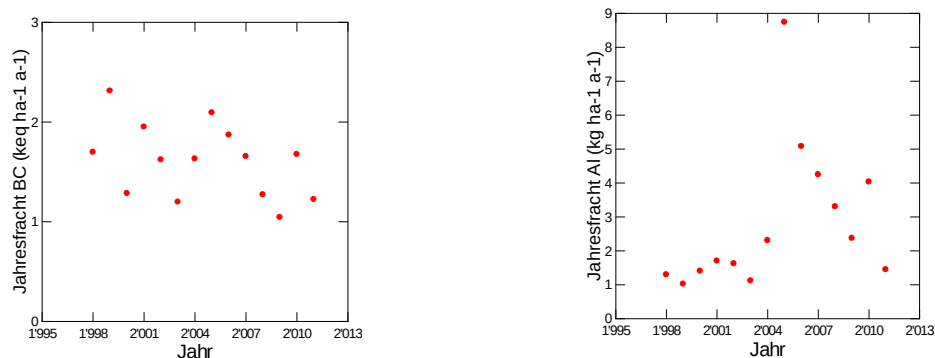


Abb. 47: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau in 70 cm Tiefe.

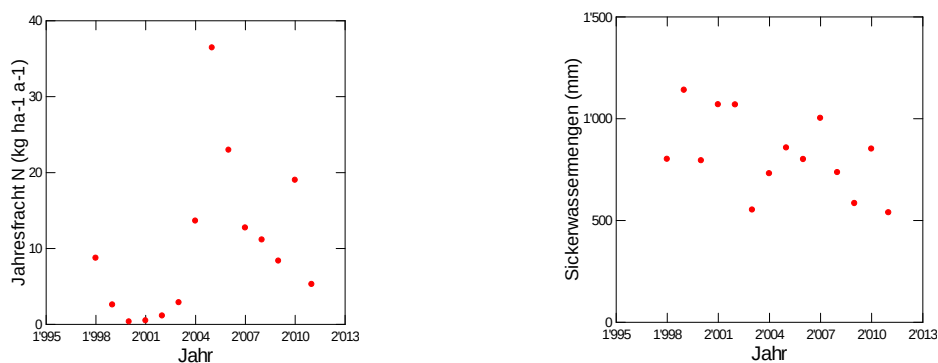


Abb. 48: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau in 70 cm Tiefe.

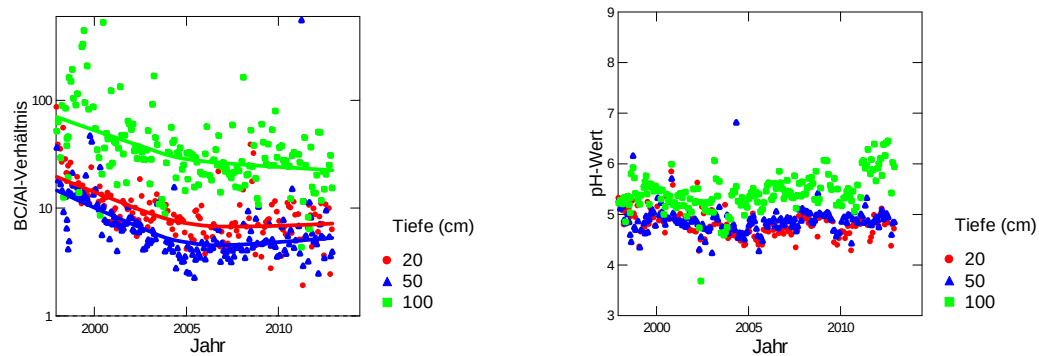
**Aeschi**

Abb. 49: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi (Mischbestand Buchen/Fichten).

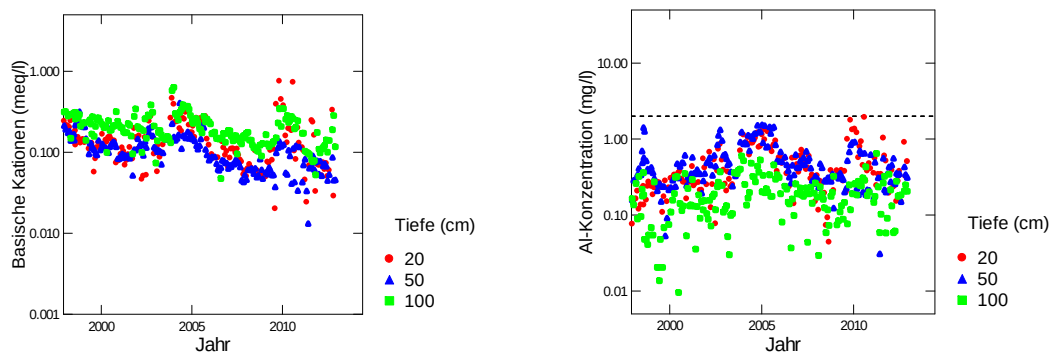


Abb. 50: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

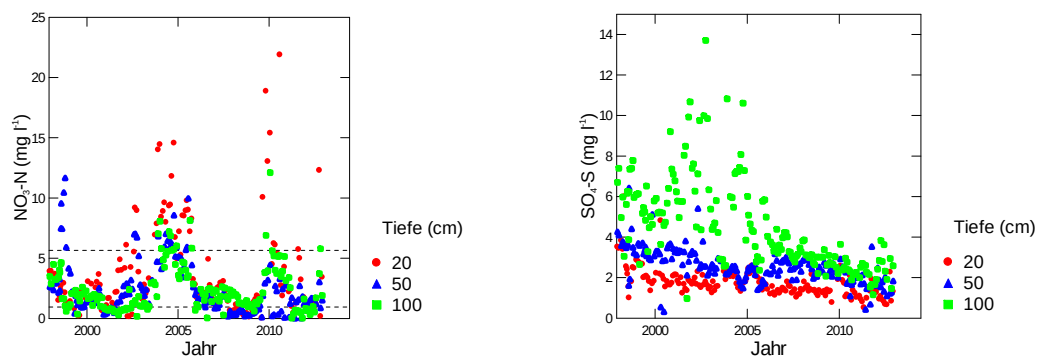


Abb. 51: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

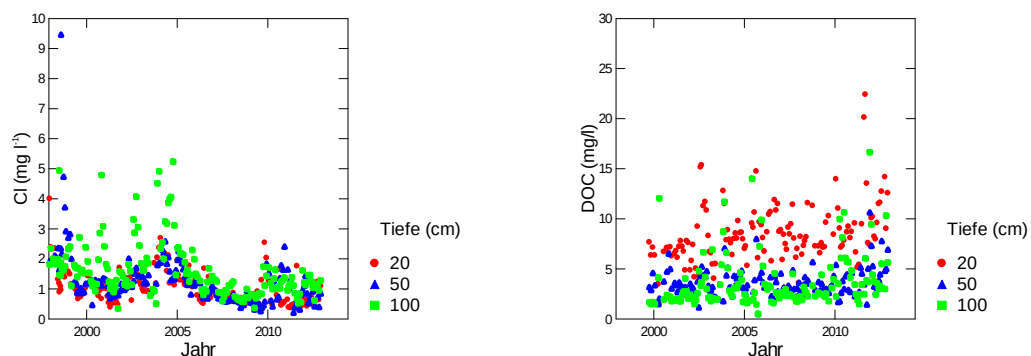


Abb. 52: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi

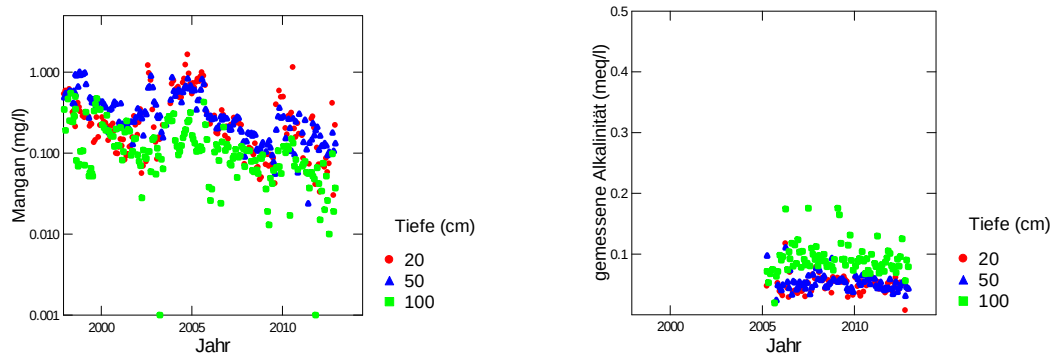


Abb. 53: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi

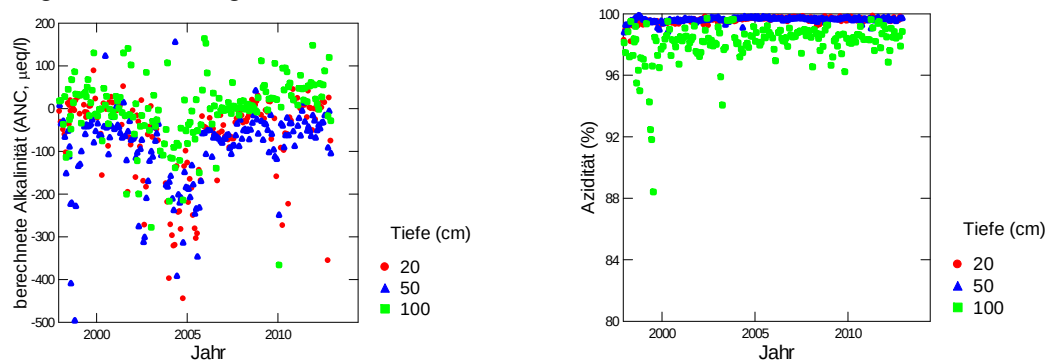


Abb. 54: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi.

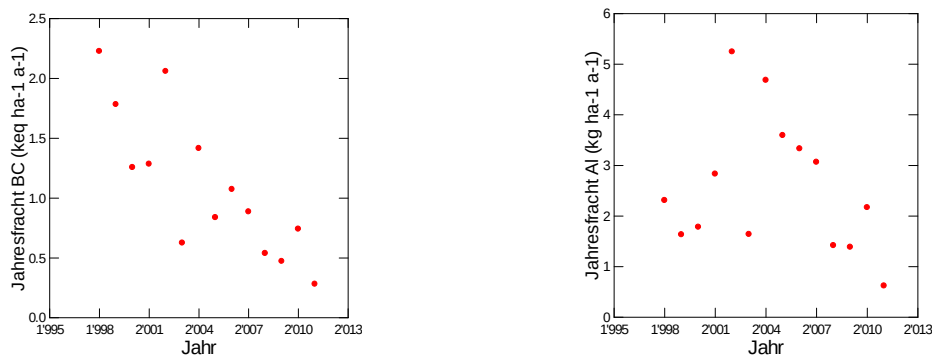


Abb. 55: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi in 80 cm Tiefe.

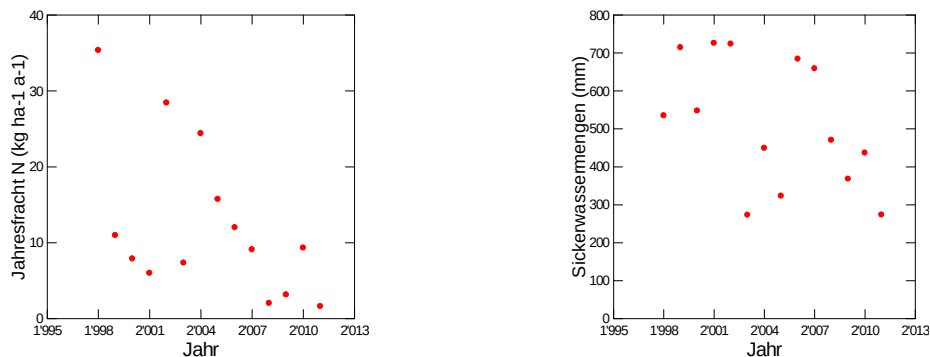


Abb. 56: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi in 80 cm Tiefe.

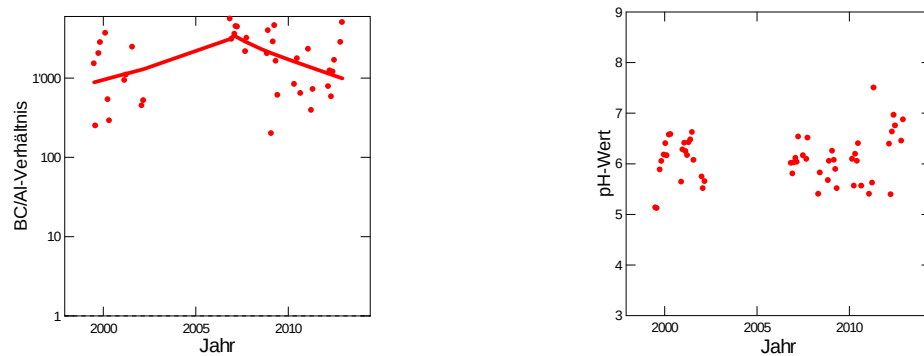
**Allschwil**

Abb. 57: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

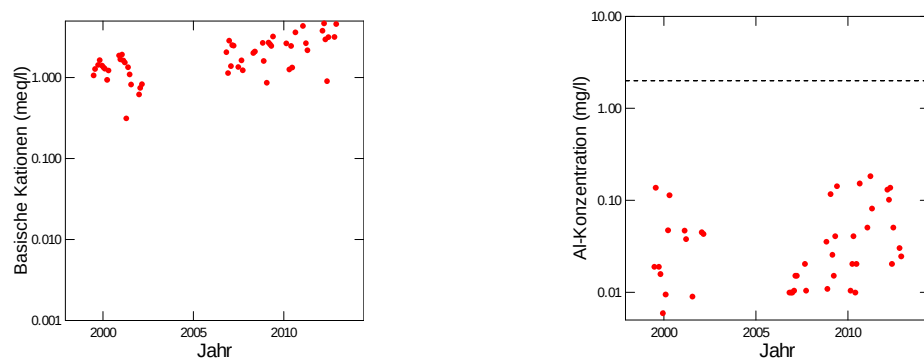


Abb. 58: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

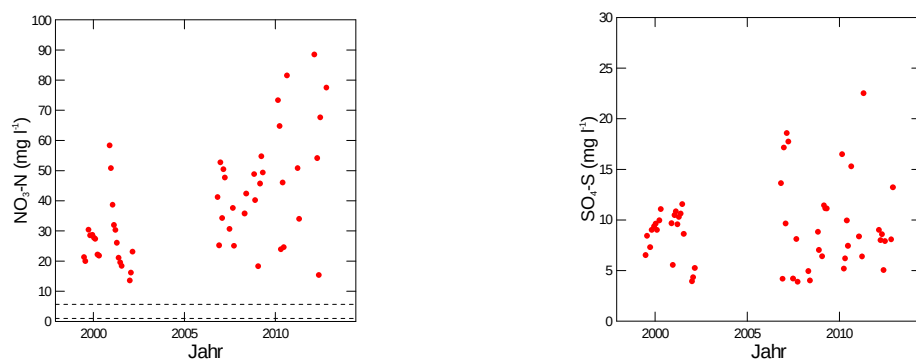


Abb. 59: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

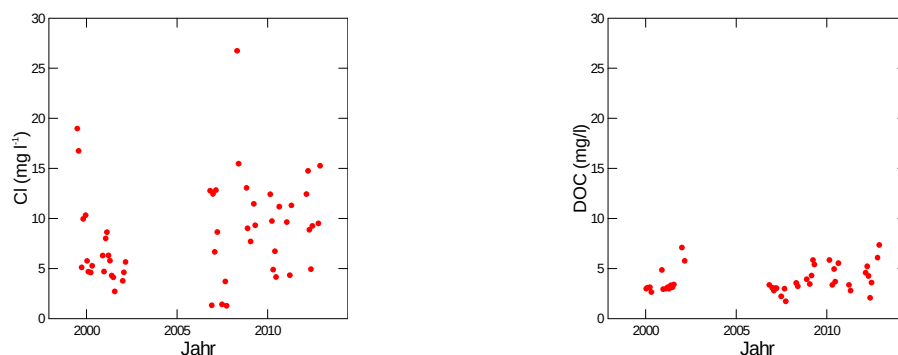


Abb. 60: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

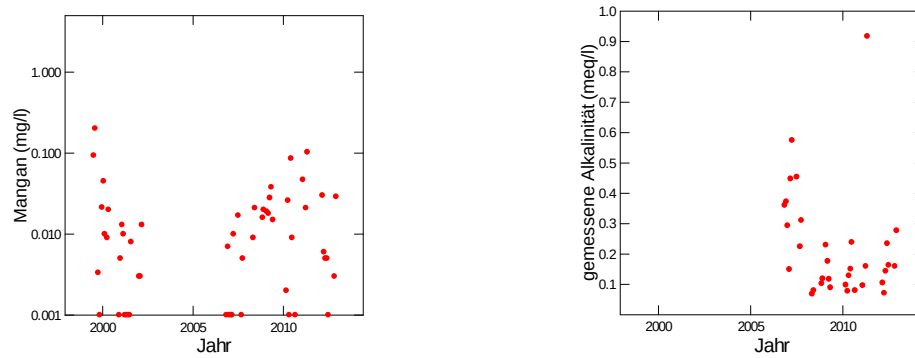


Abb. 61: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

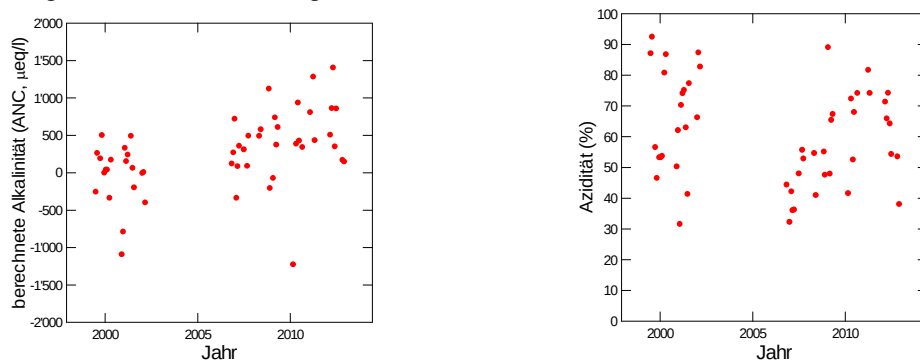


Abb. 62: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

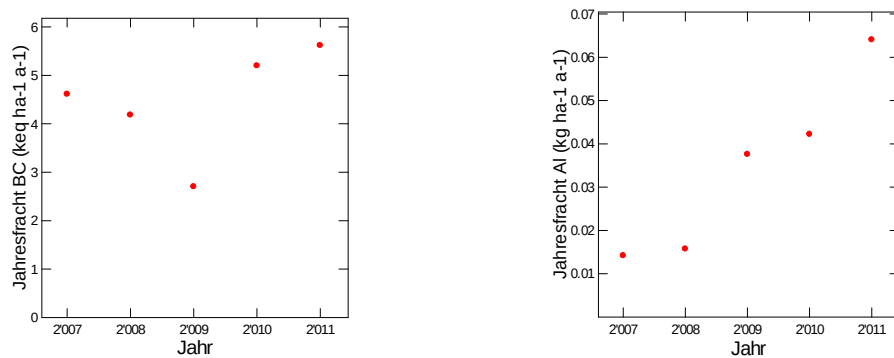


Abb. 63: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

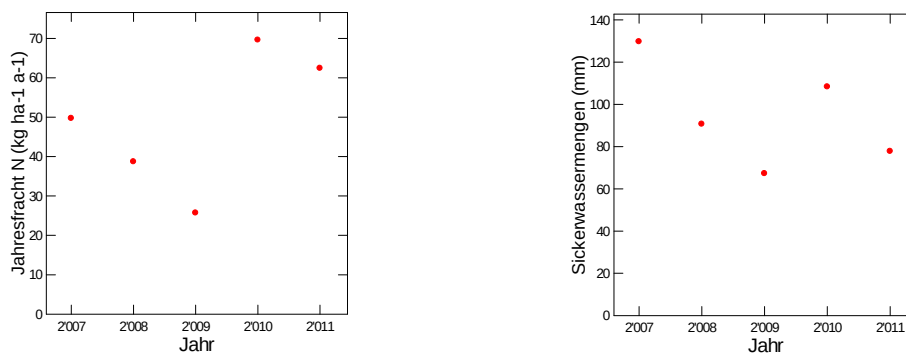


Abb. 64: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

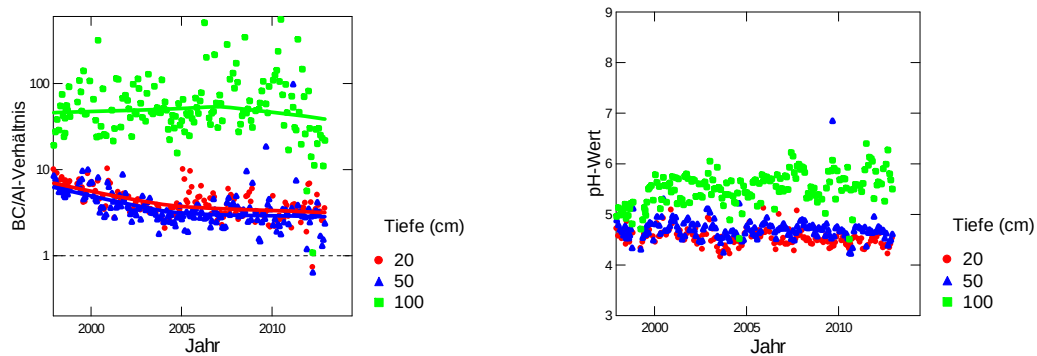
**Bachtel Fichten**

Abb. 65: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel

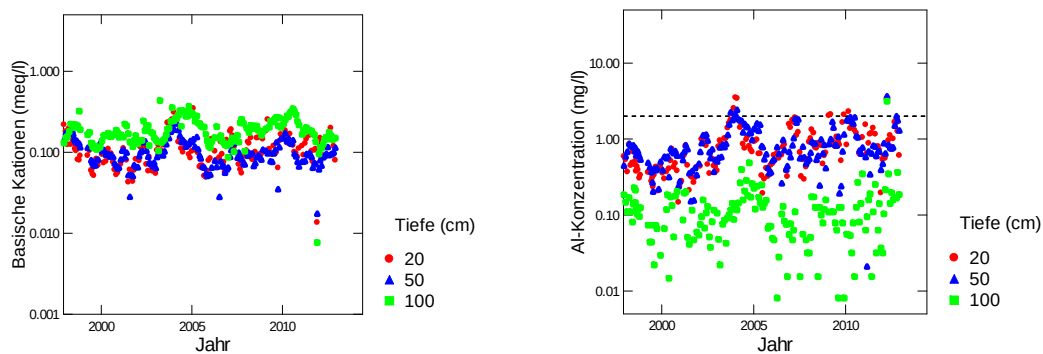


Abb. 66: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

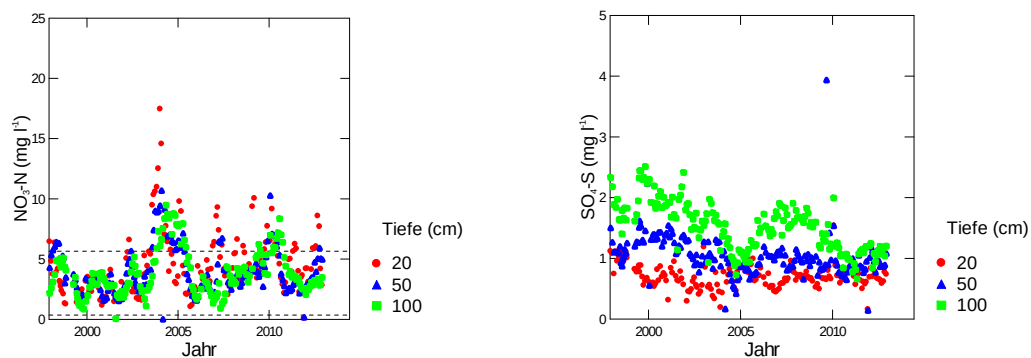


Abb. 67: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

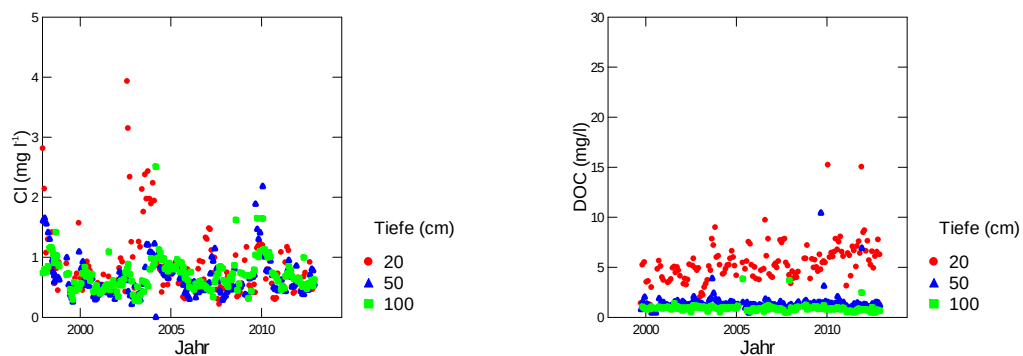


Abb. 68: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel



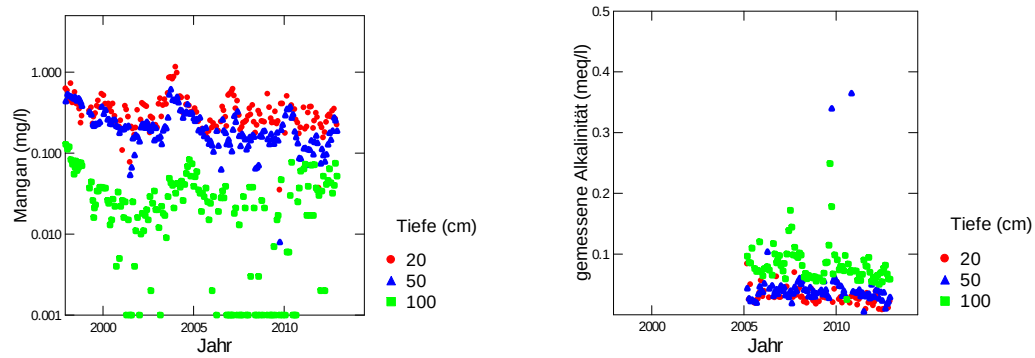


Abb. 69: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel

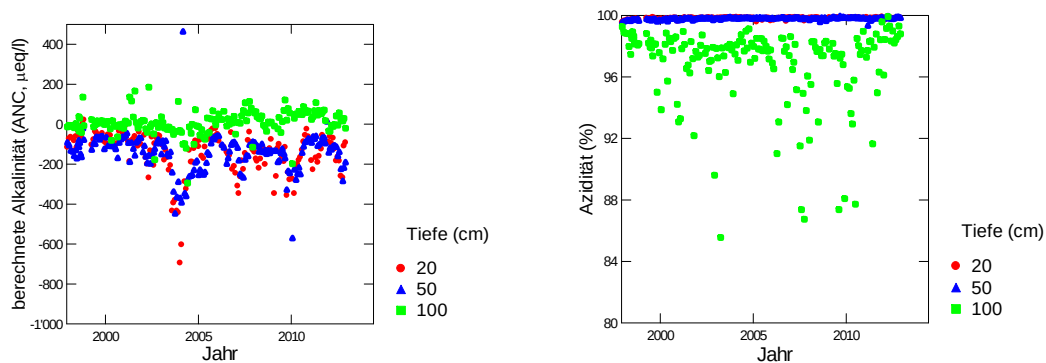


Abb. 70: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel.

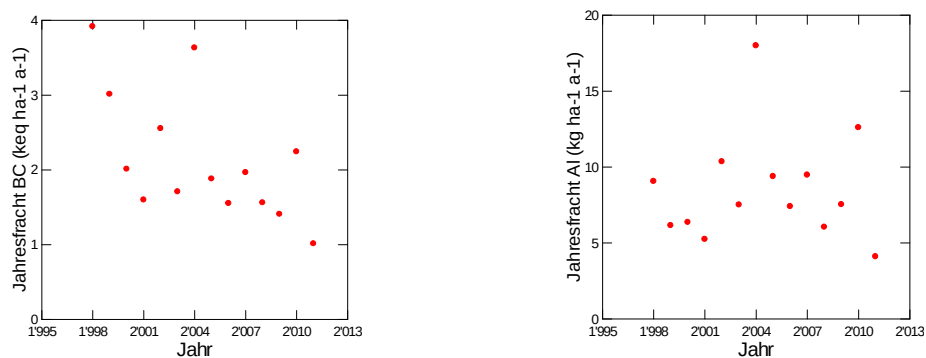


Abb. 71: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel in 80 cm Tiefe.

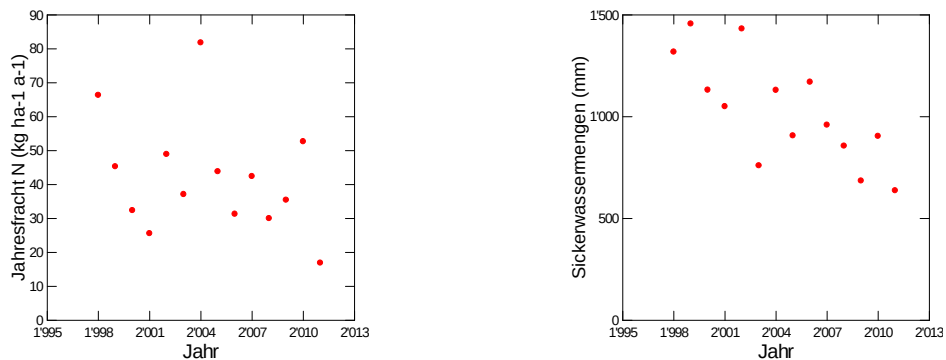


Abb. 72: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel in 80 cm Tiefe.

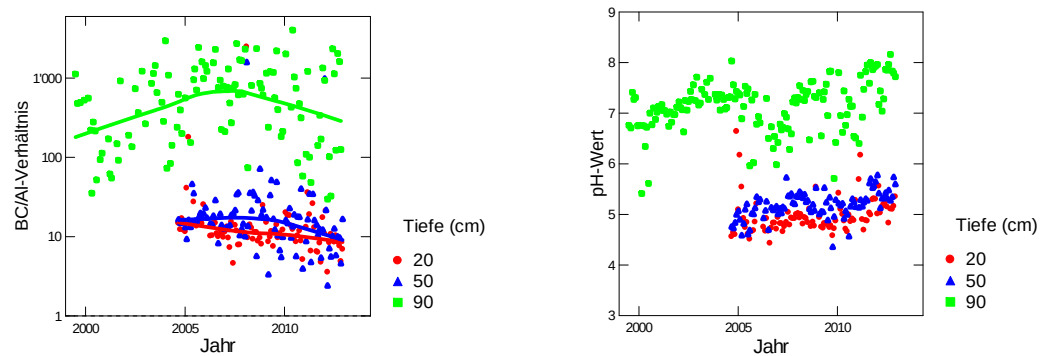
**Bachtel Buchen**

Abb. 73 Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel. Die Lysimeter in den Tiefen 20 und 50 wurden im Mai 2004 neu installiert.

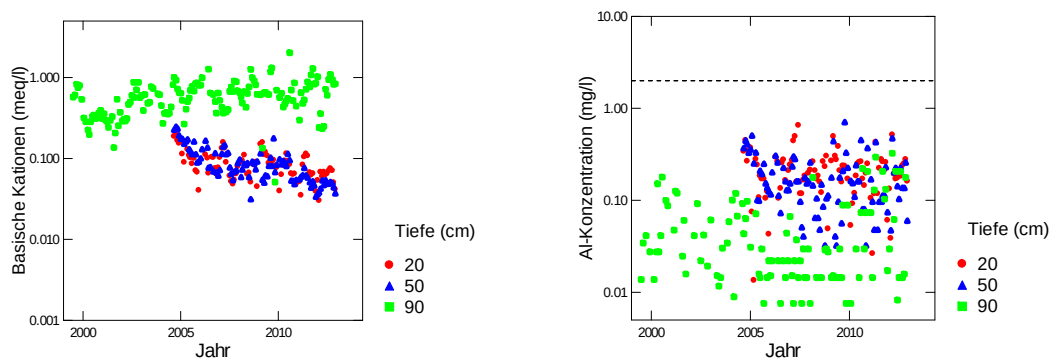


Abb. 74: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

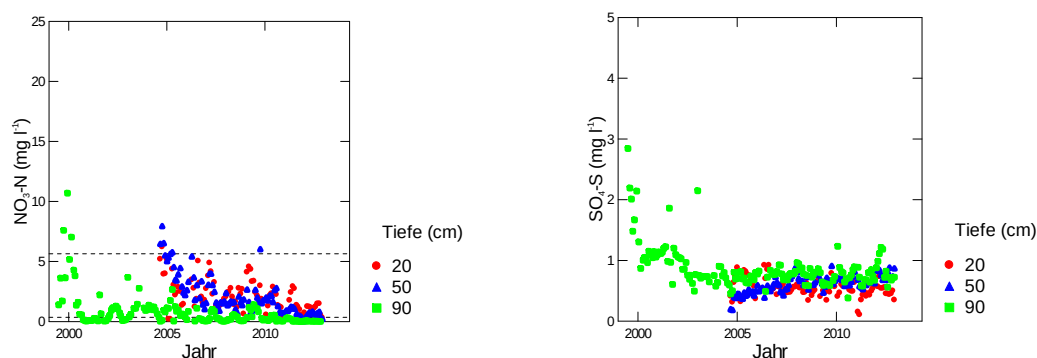


Abb. 75: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

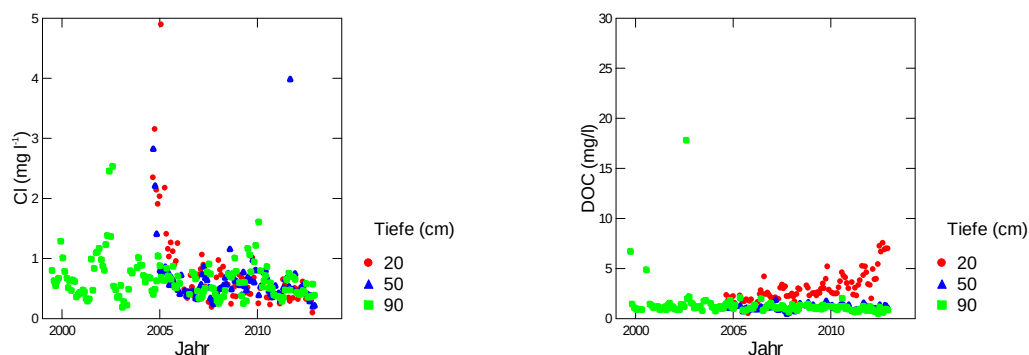


Abb. 76: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel.

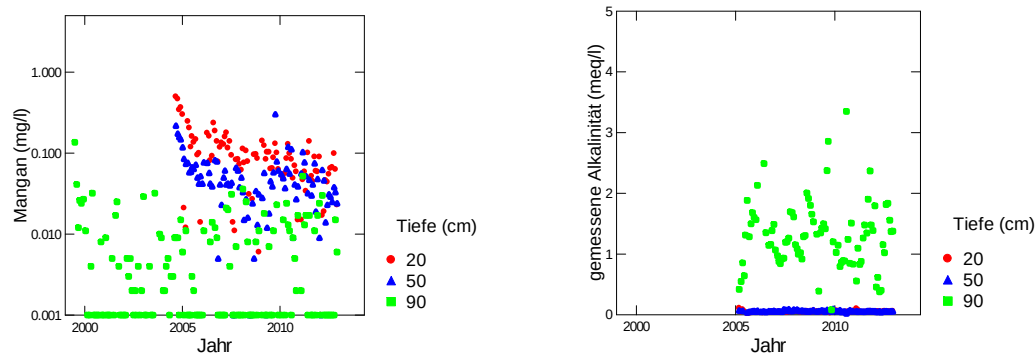


Abb. 77: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel.

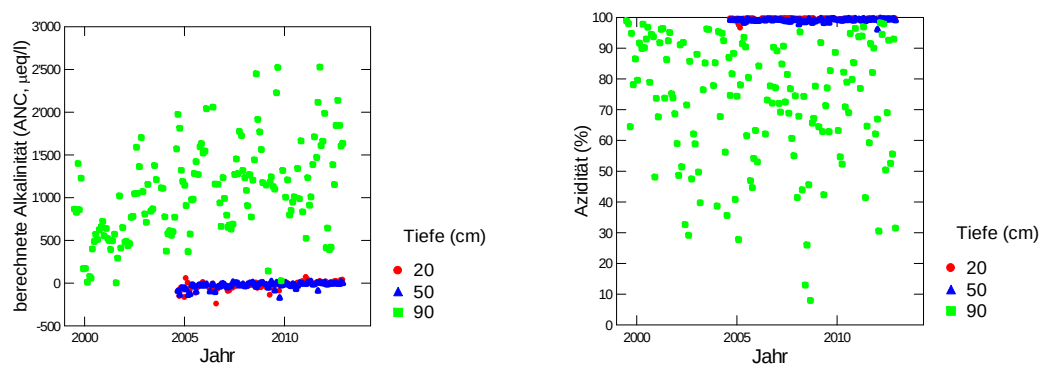


Abb. 78: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel.

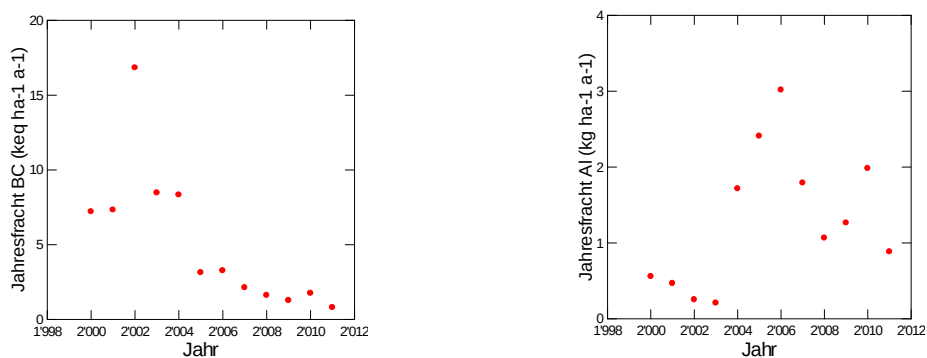


Abb. 79: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung Buchenbeobachtungsfläche Bachtel in 90 cm Tiefe.

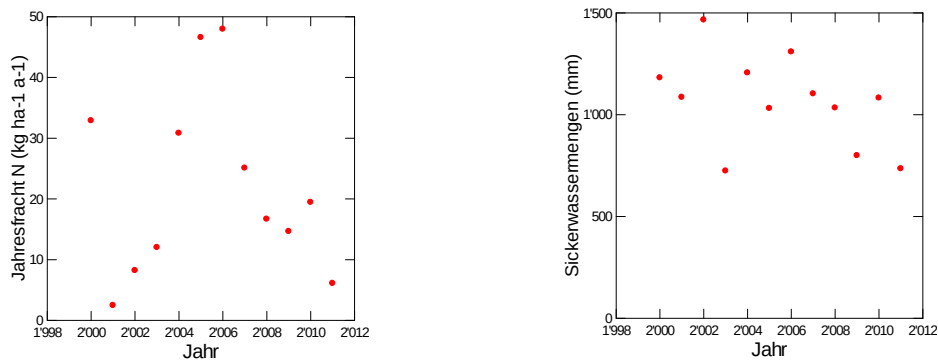


Abb. 80: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung Buchenbeobachtungsfläche Bachtel in 90 cm Tiefe.

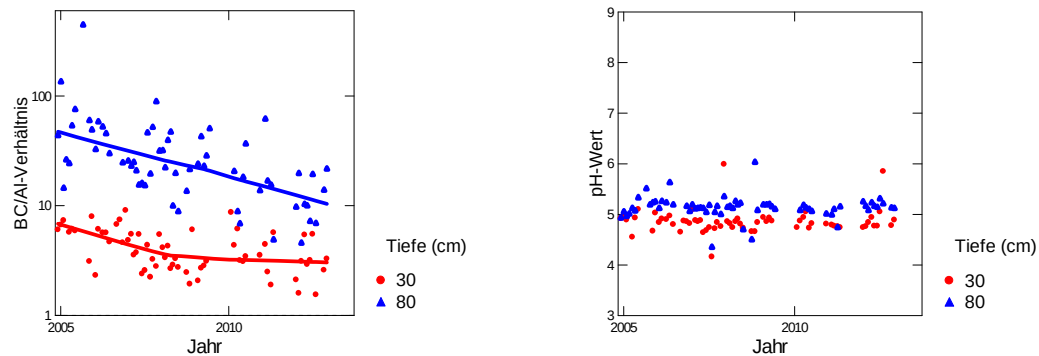
**Bonfol**

Abb. 81: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

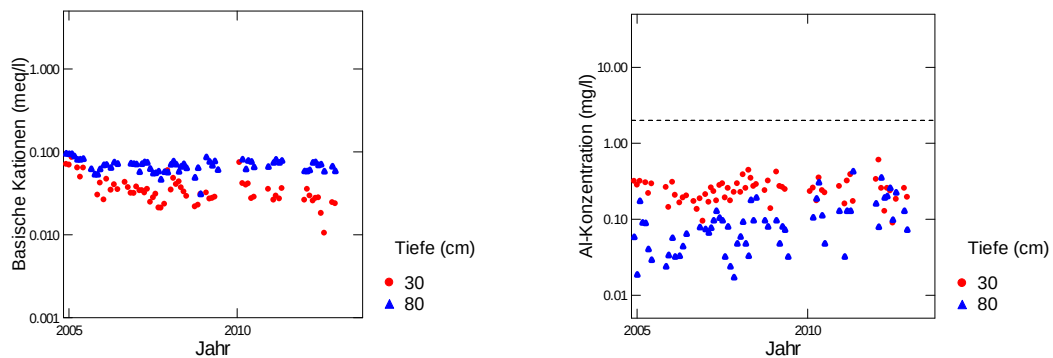


Abb. 82: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

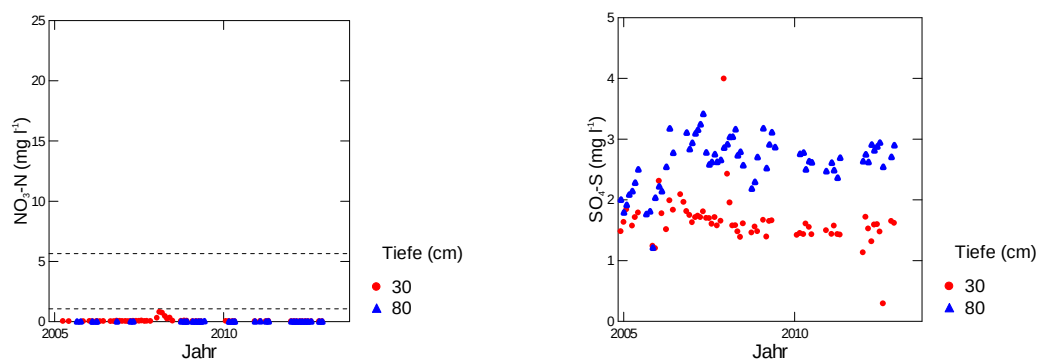


Abb. 83: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

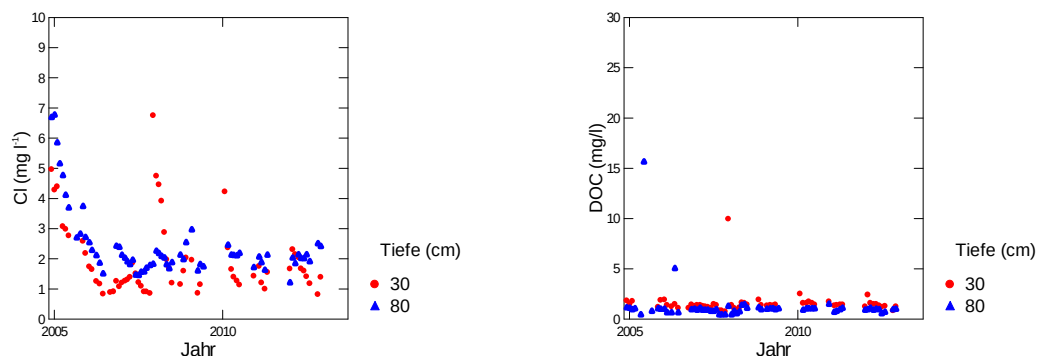


Abb. 84: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

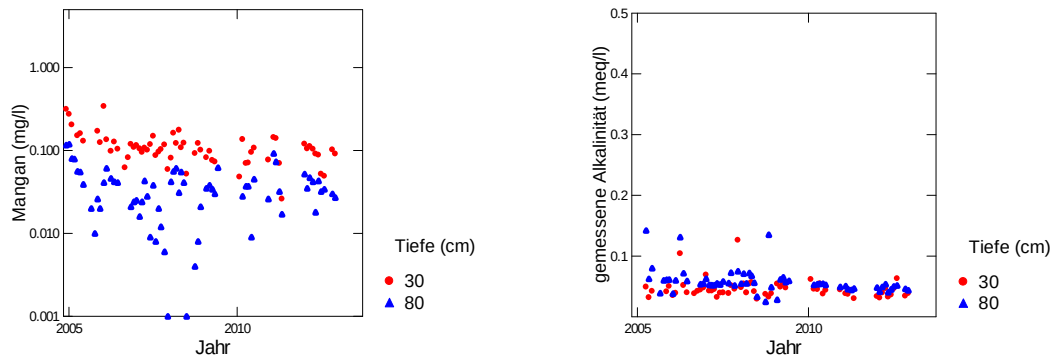


Abb. 85: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

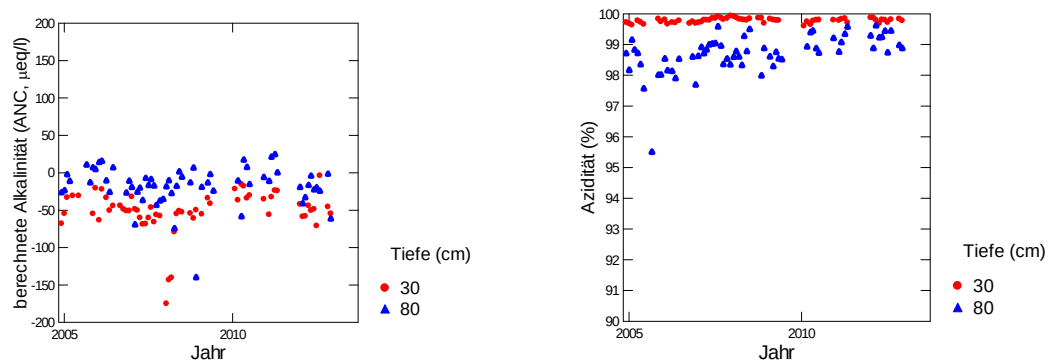


Abb. 86: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

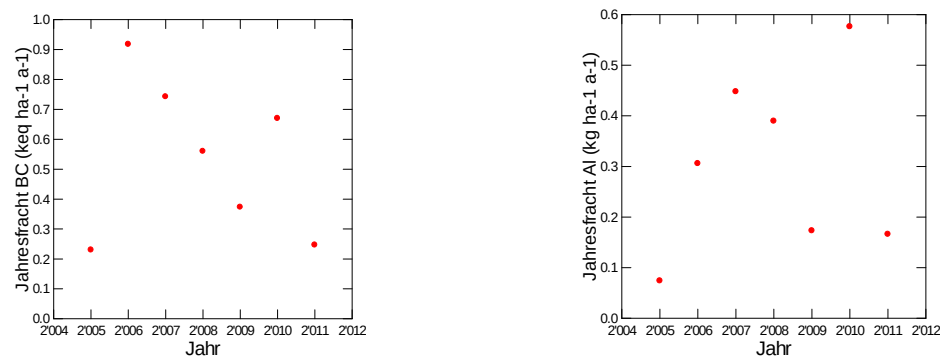


Abb. 87: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol in 80 cm Tiefe.

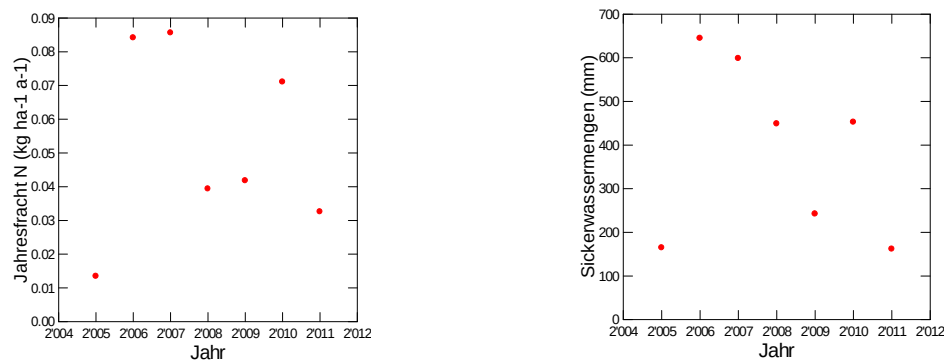


Abb. 88: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol in 80 cm Tiefe.

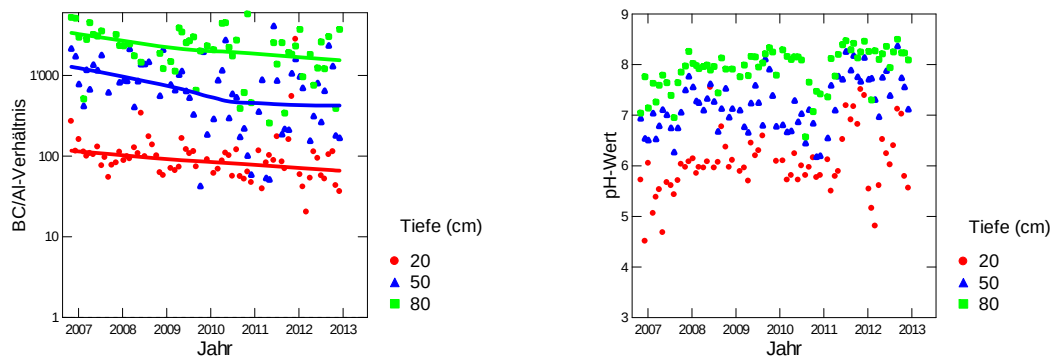
**Braunau**

Abb. 89: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

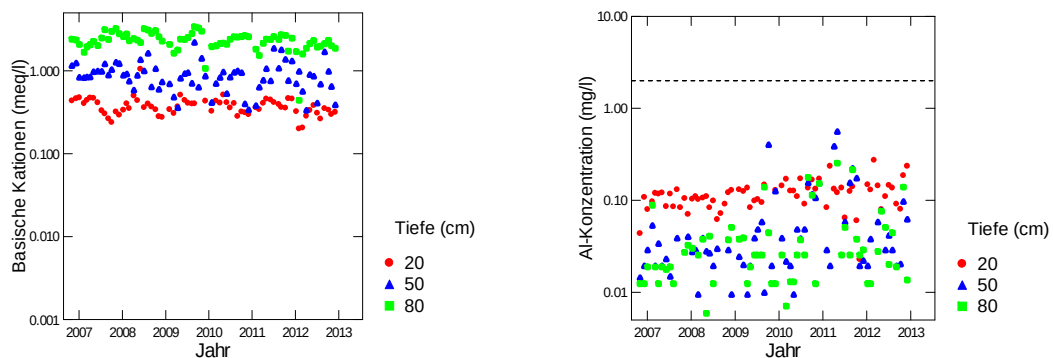


Abb. 90: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

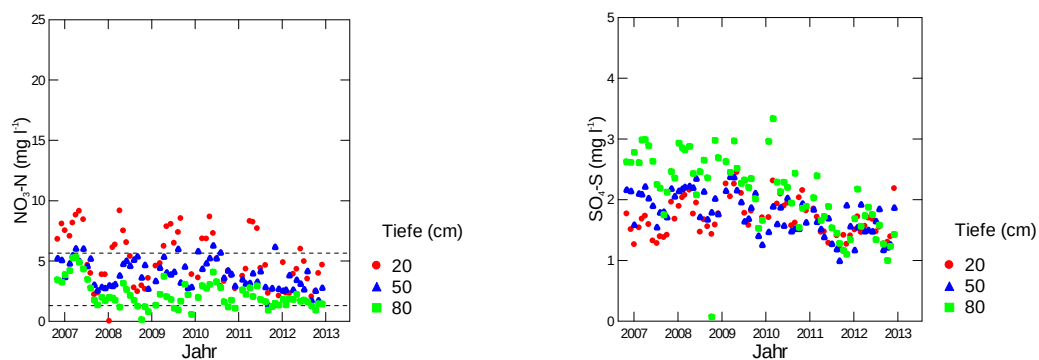


Abb. 91: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

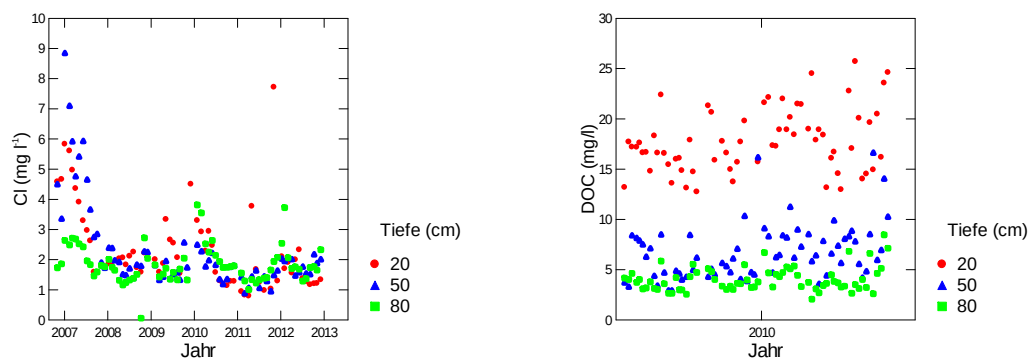


Abb. 92: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

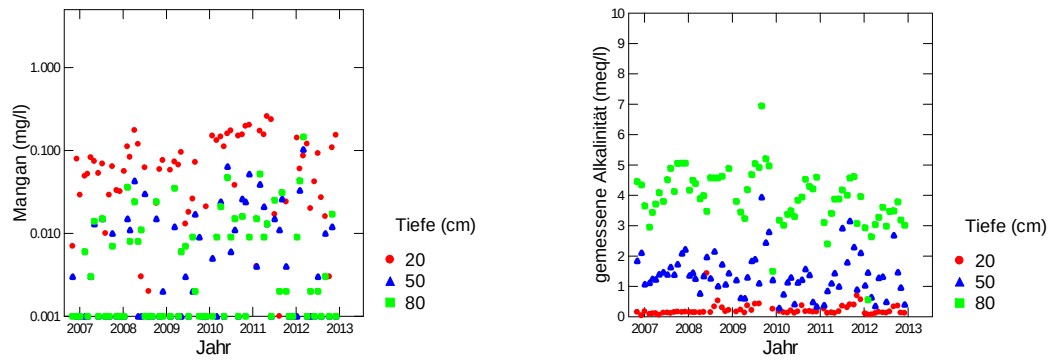


Abb. 93: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

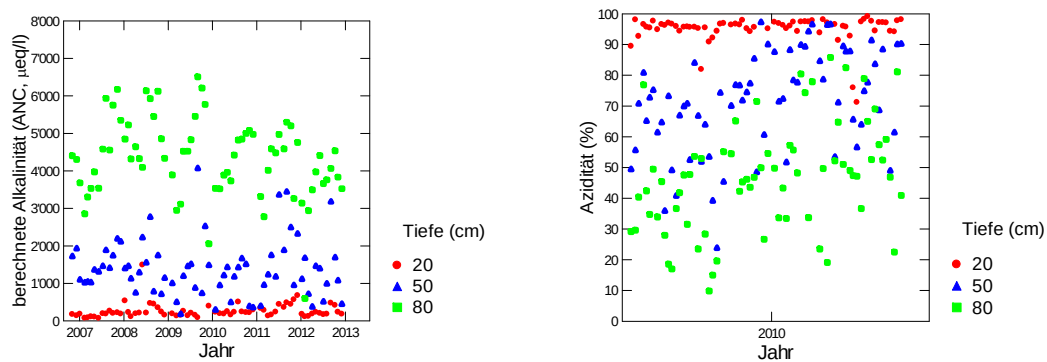


Abb. 94: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

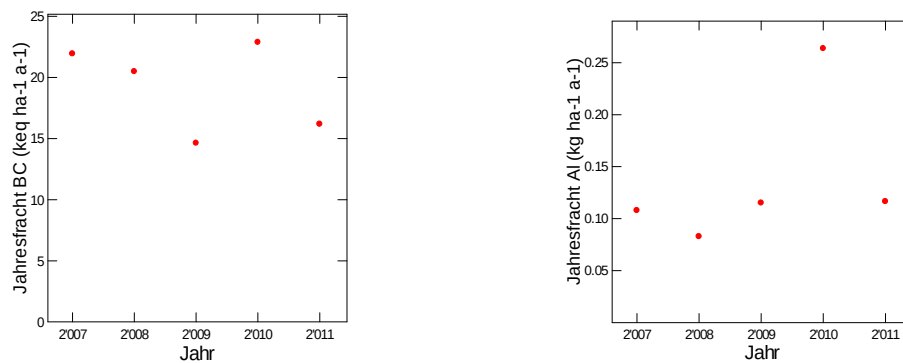


Abb. 95: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau in 80 cm Tiefe.

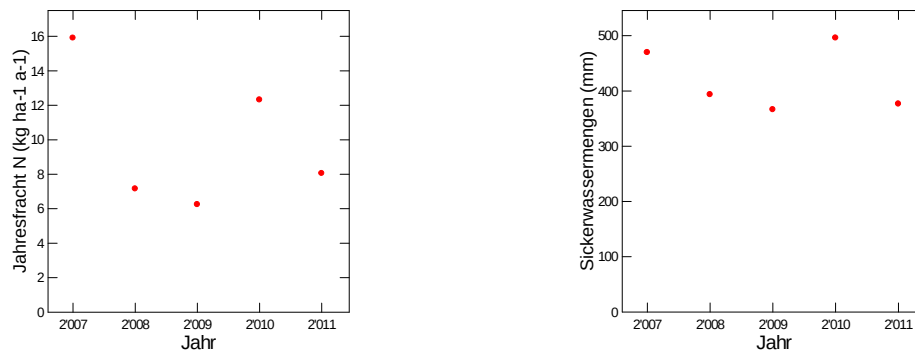


Abb. 96: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau in 80 cm Tiefe.

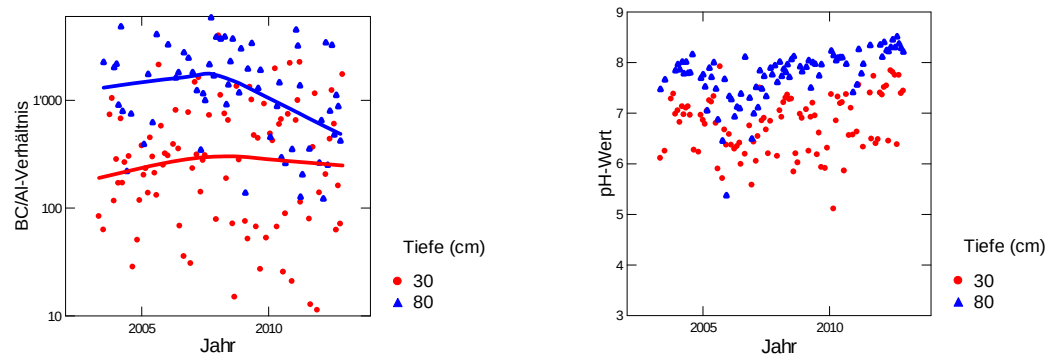
**Breitenbach**

Abb. 97: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

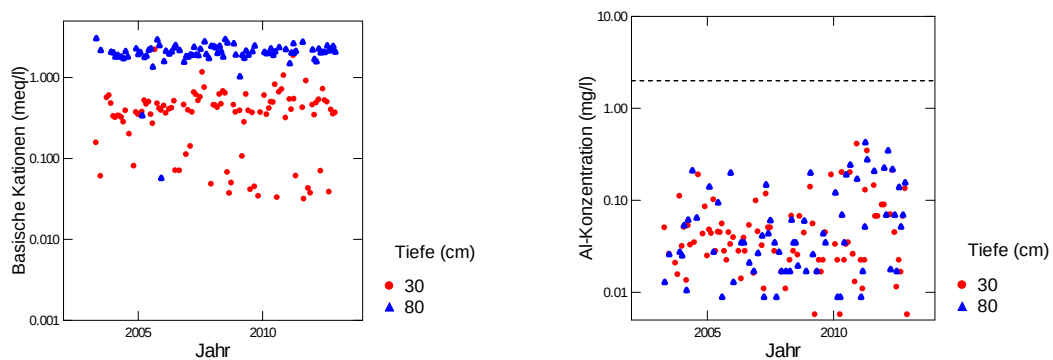


Abb. 98: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

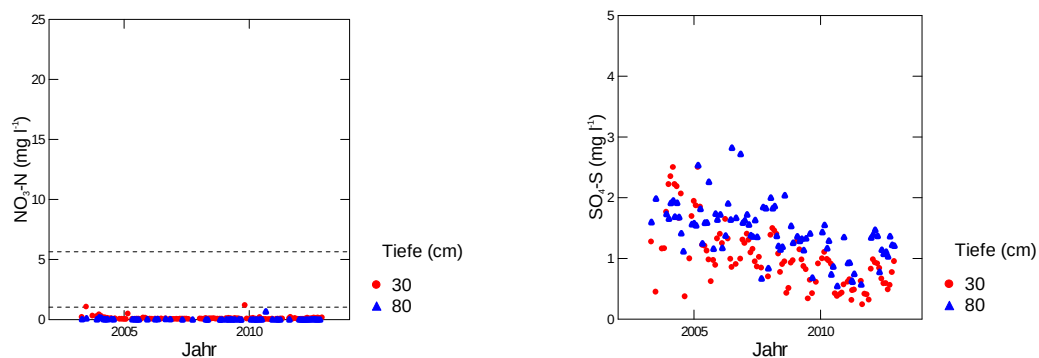


Abb. 99: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

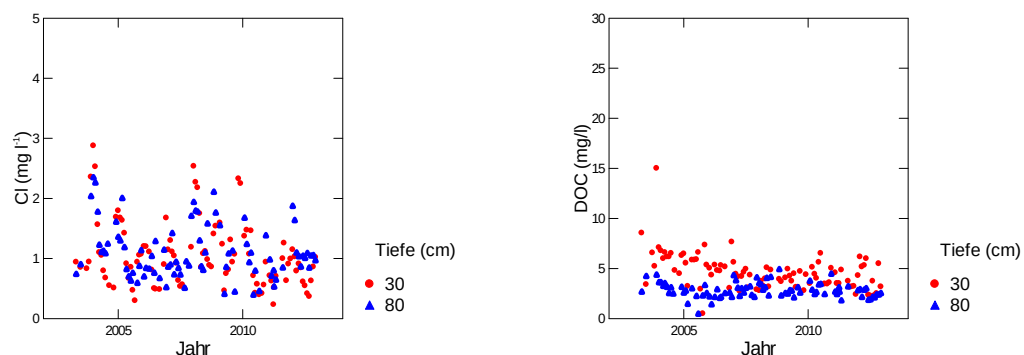


Abb. 100: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.



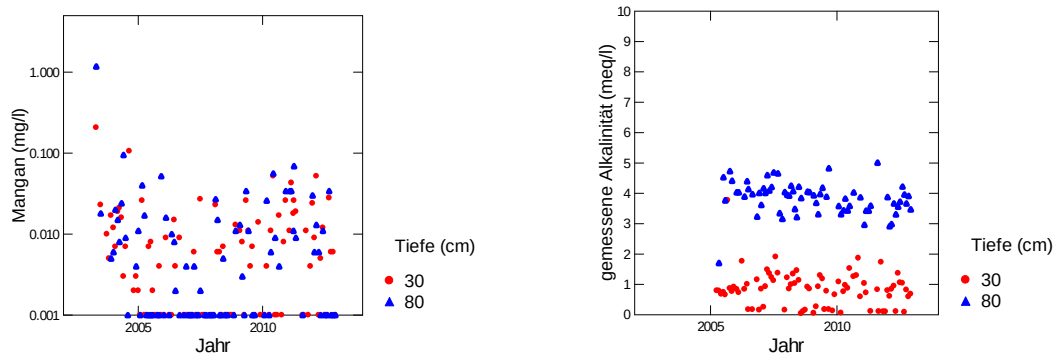


Abb. 101: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

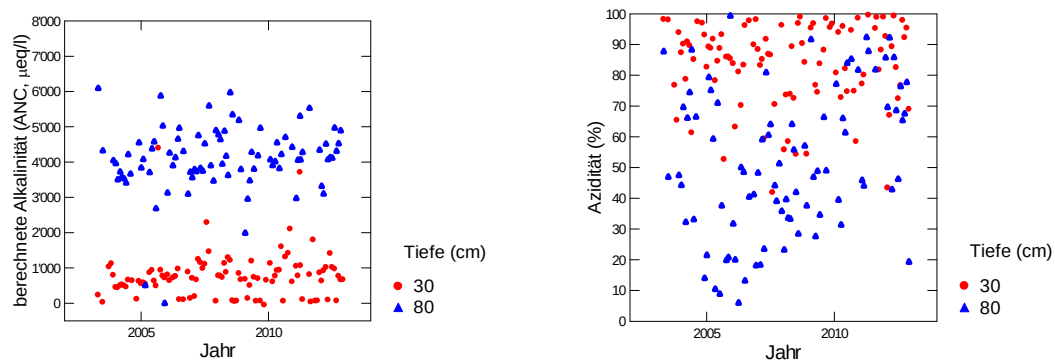


Abb. 102: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

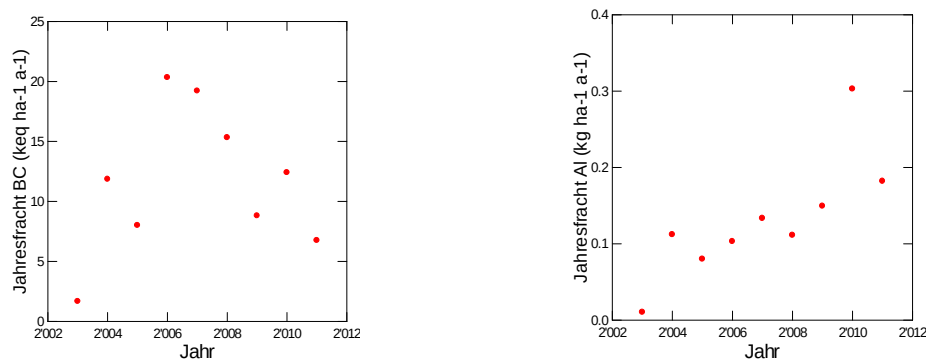


Abb. 103: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach in 80 cm Tiefe.

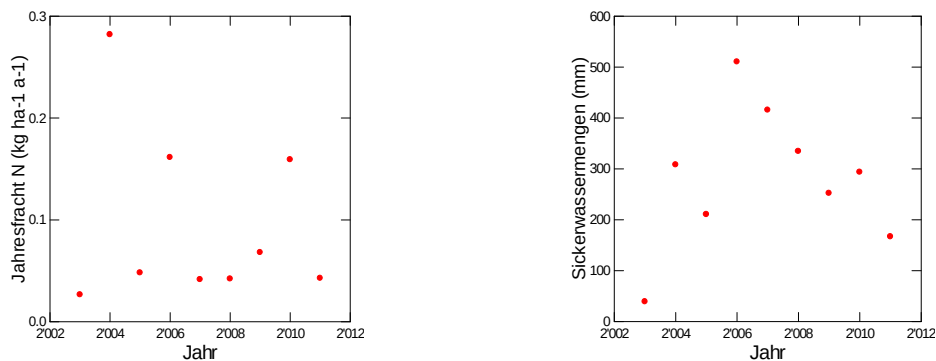


Abb. 104: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach in 80 cm Tiefe.

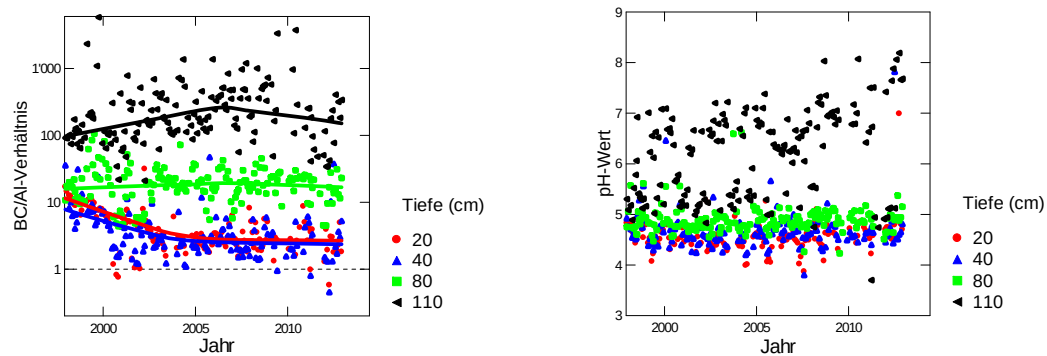
**Brislach Fichten**

Abb. 105: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach.

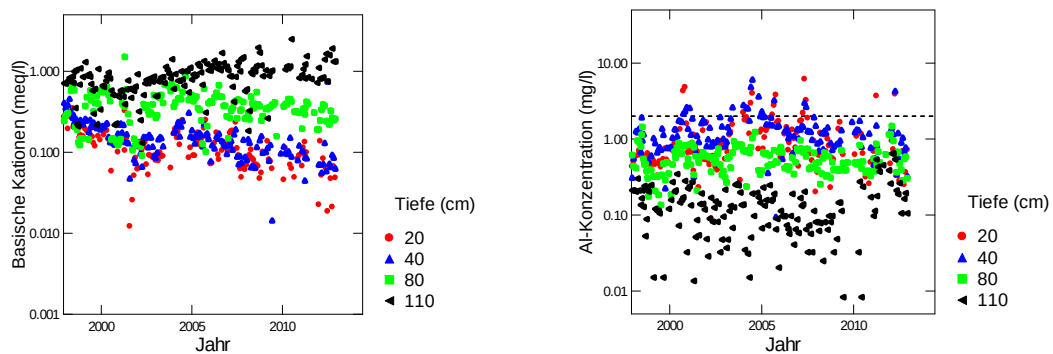


Abb. 106: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

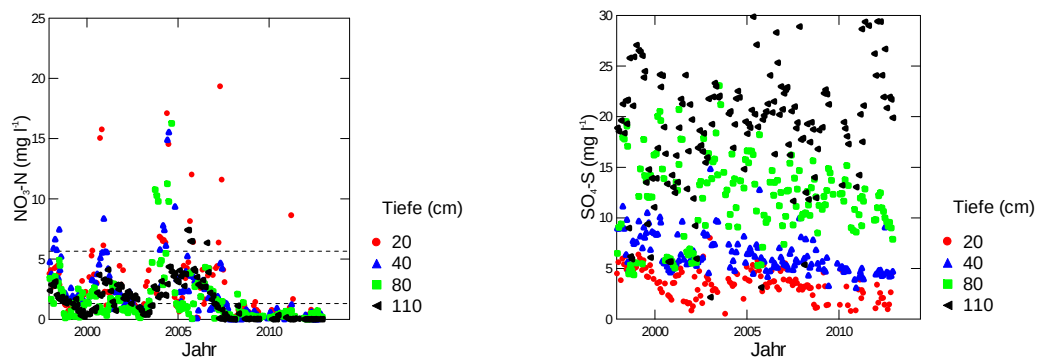


Abb. 107: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

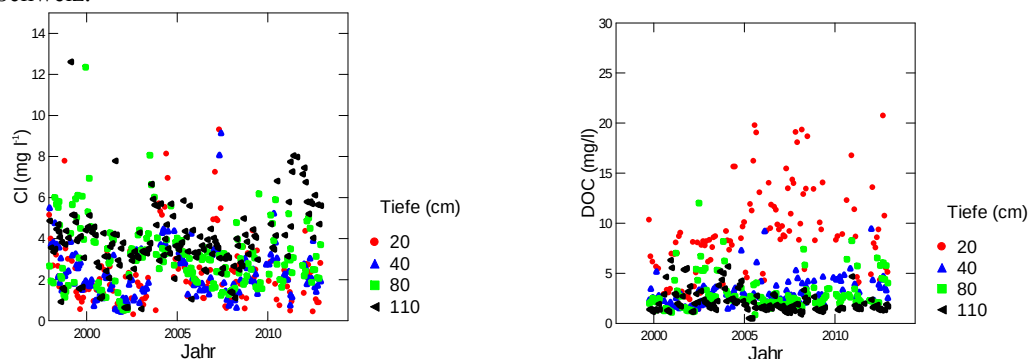


Abb. 108: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach

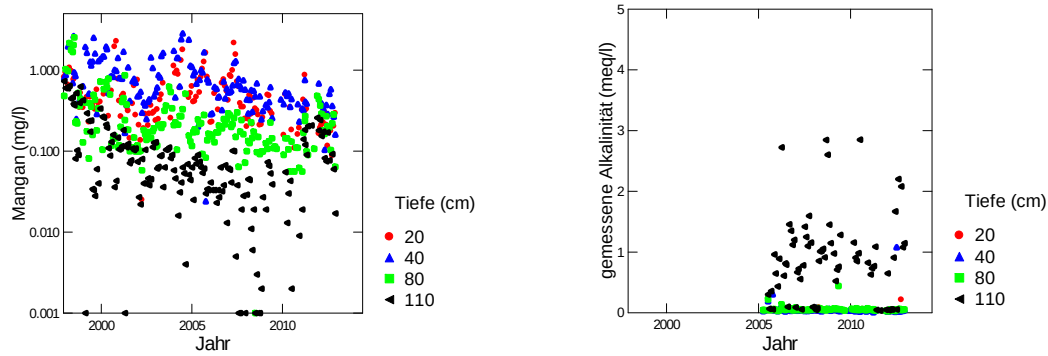


Abb. 109: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach

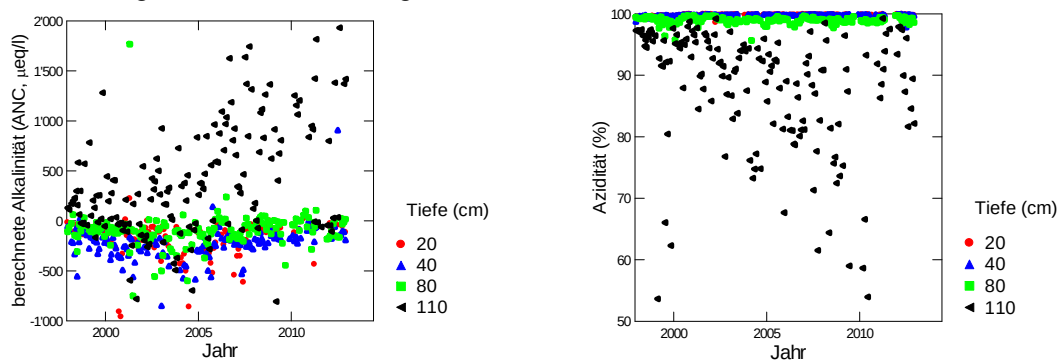


Abb. 110: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach.

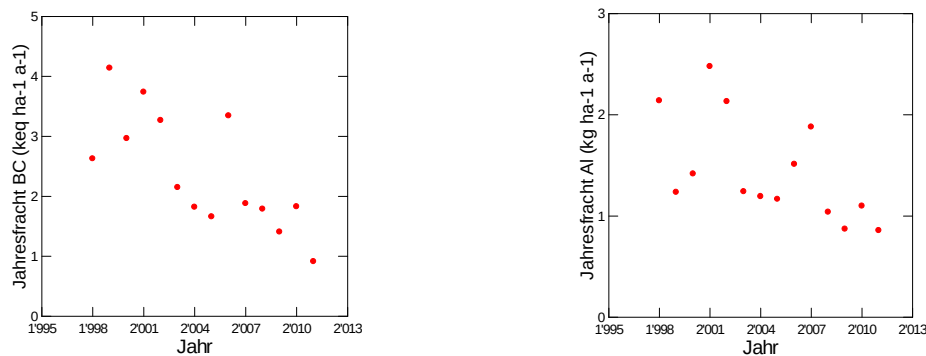


Abb. 111: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach in 80 cm Tiefe.

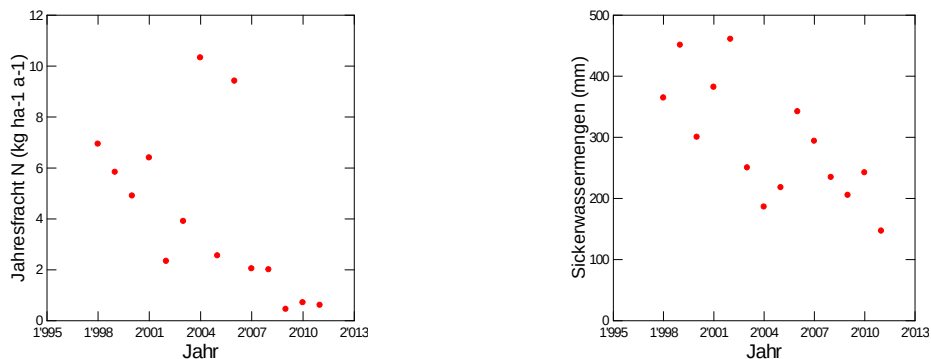


Abb. 112: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach in 80 cm Tiefe.

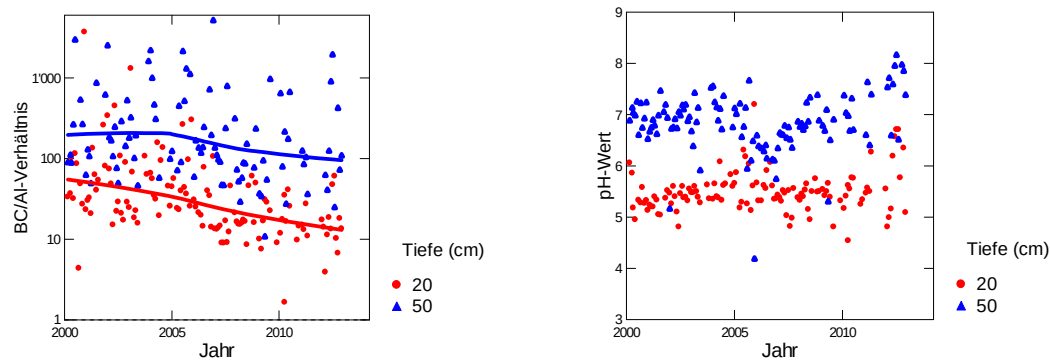
**Brislach Buchen**

Abb. 113: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach.

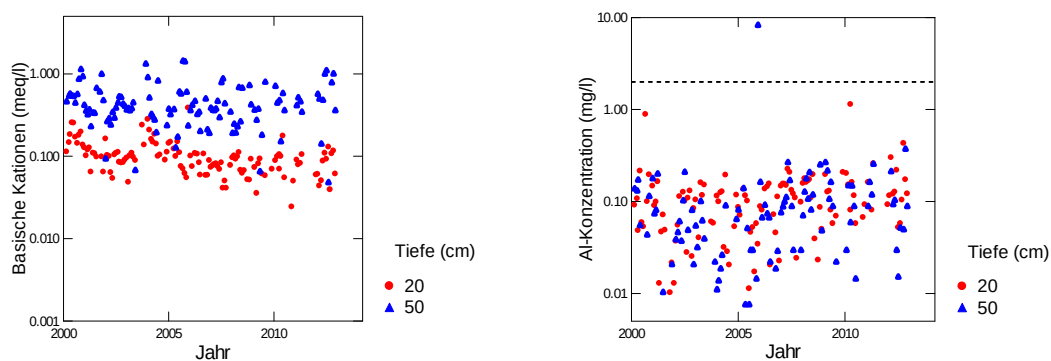


Abb. 114: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

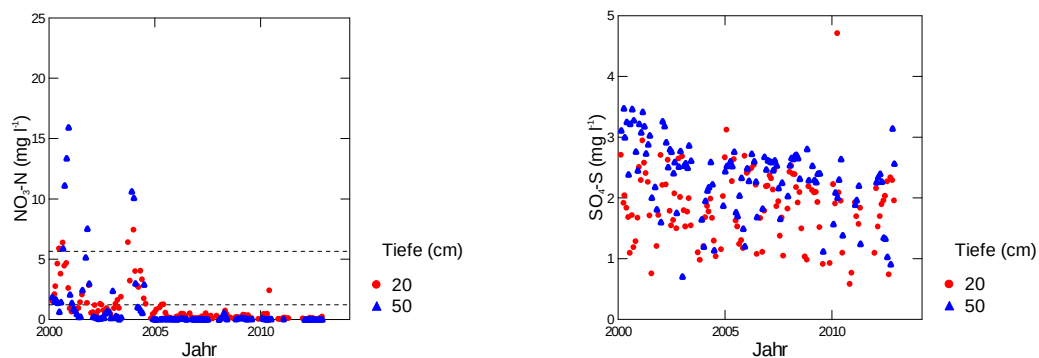


Abb. 115: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

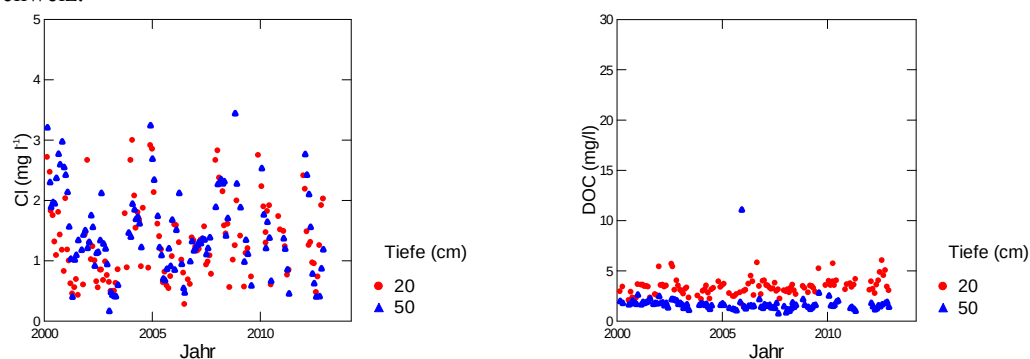


Abb. 116: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach.

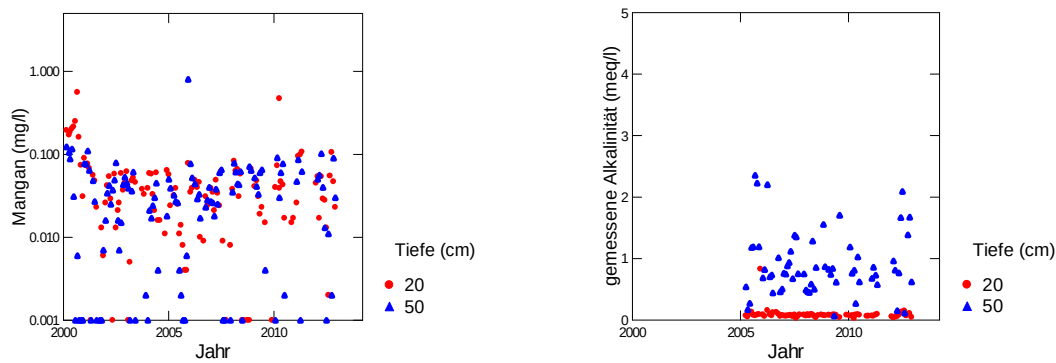


Abb. 117: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach

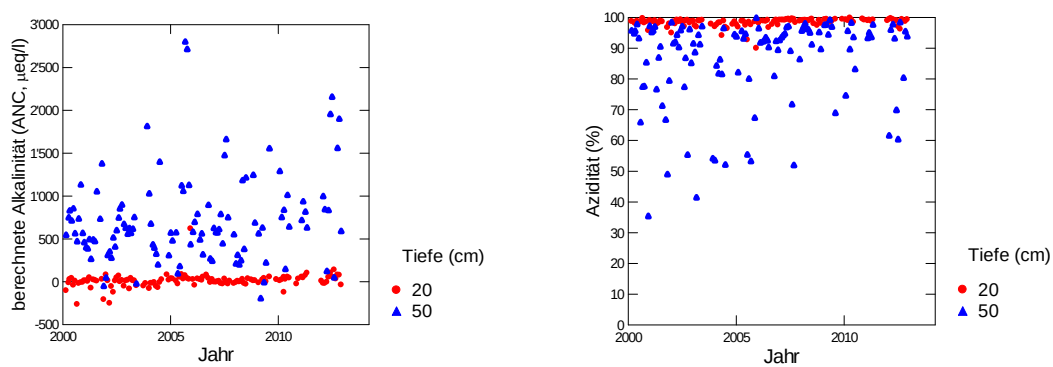


Abb. 118: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach.

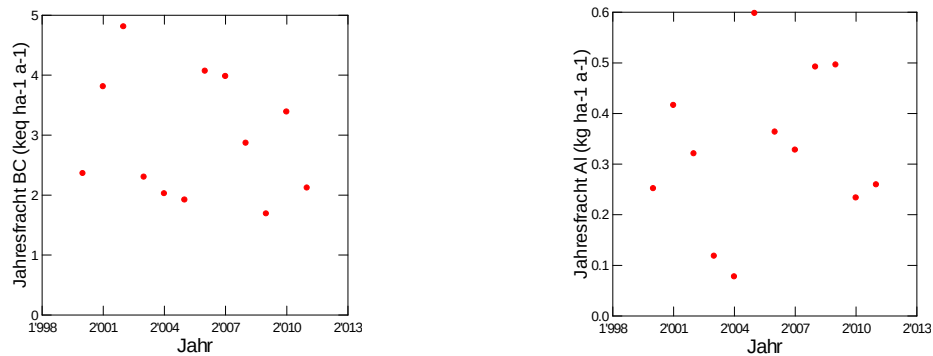


Abb. 119: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach in 50 cm Tiefe.

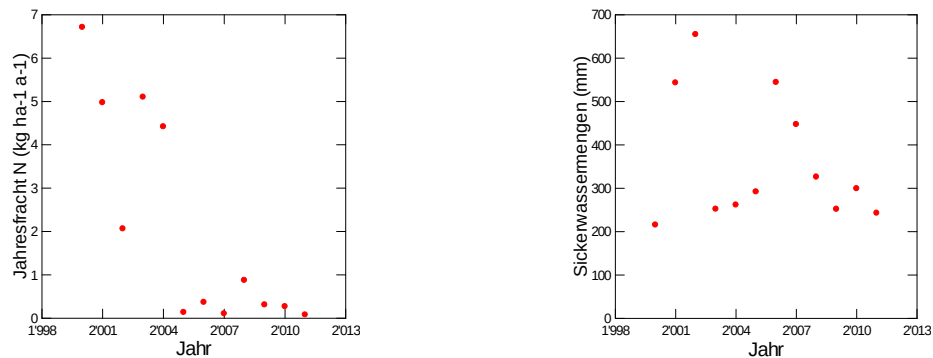


Abb. 120: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach in 50 cm Tiefe.

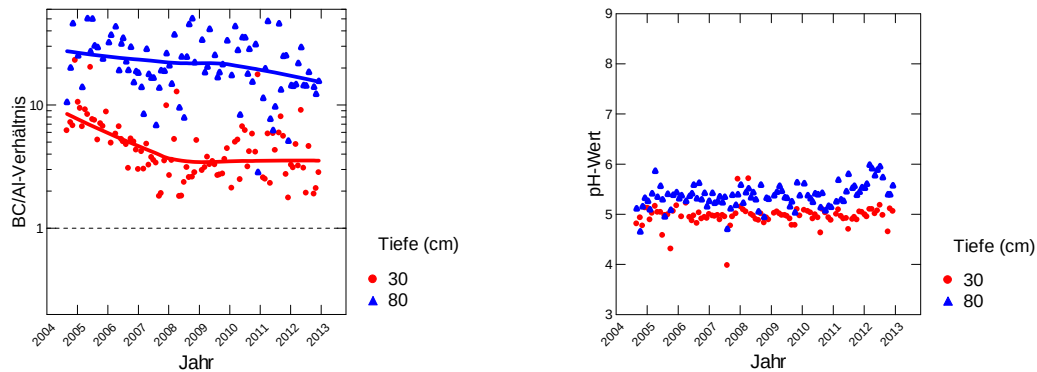
**Busswil**

Abb. 121: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

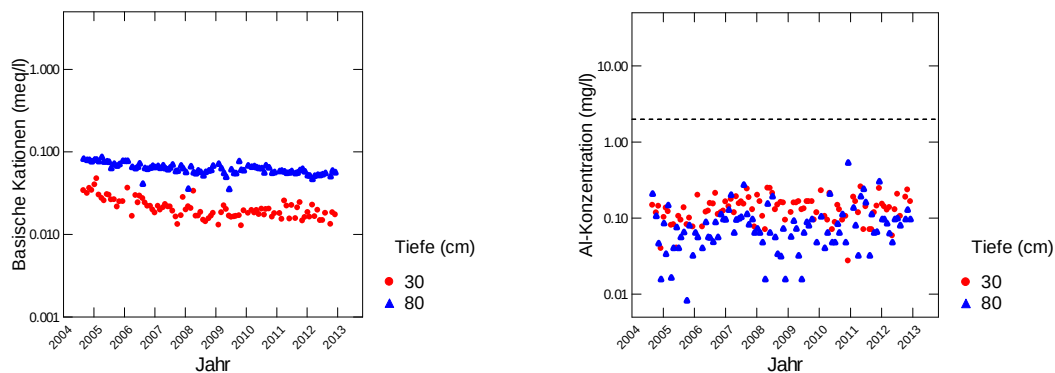


Abb. 122: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

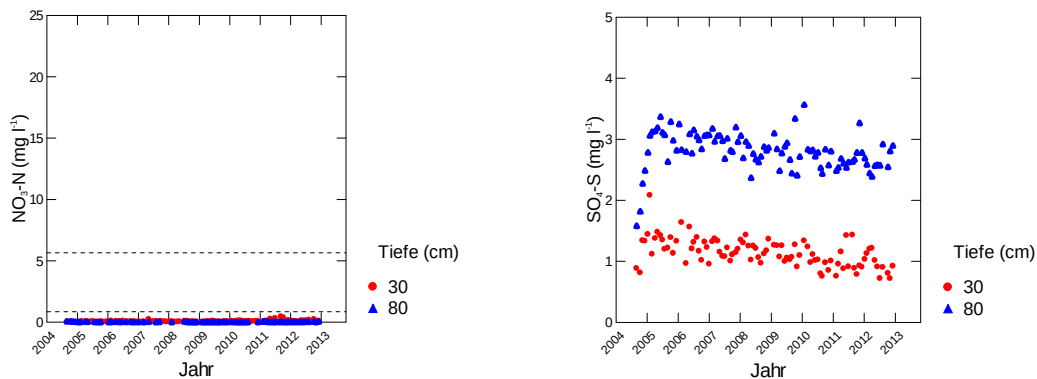


Abb. 123: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

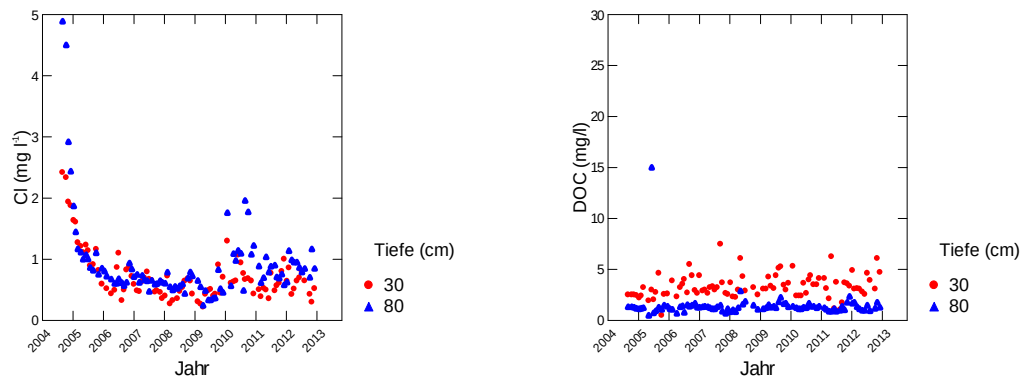


Abb. 124: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

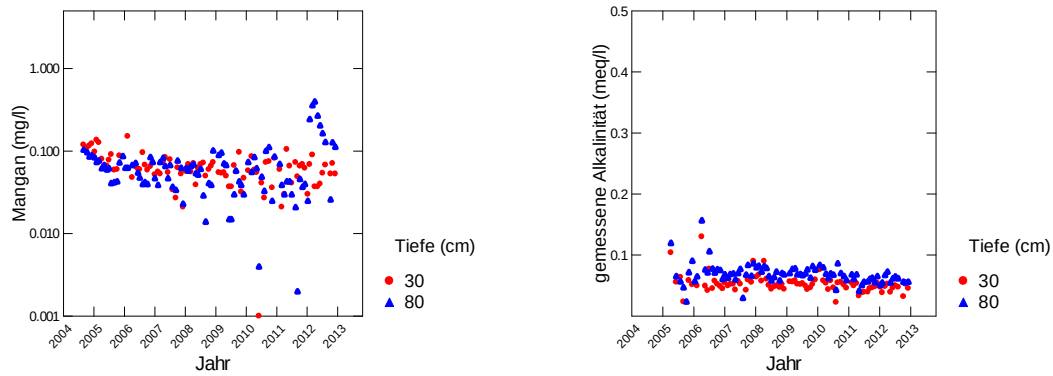


Abb. 125: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

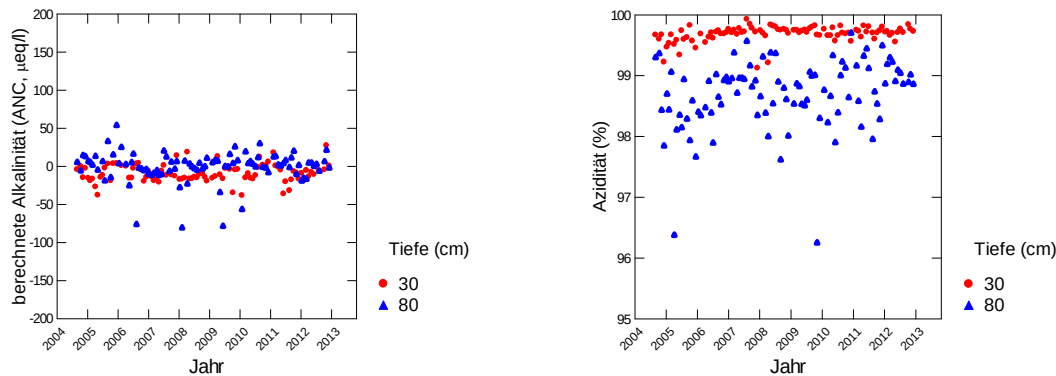


Abb. 126: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

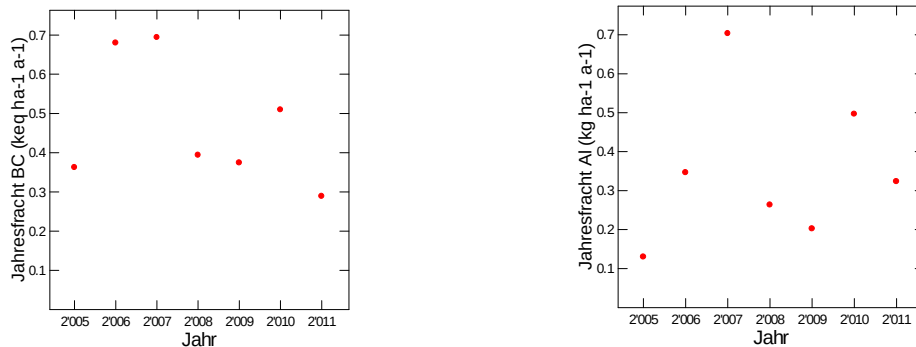


Abb. 127: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil in 80 cm Tiefe.

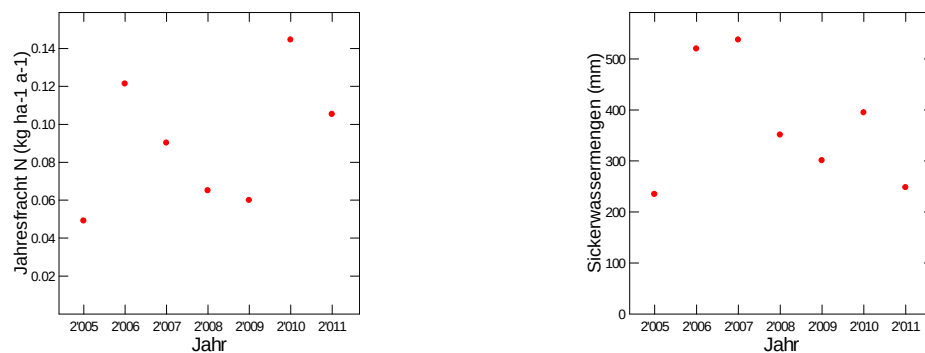


Abb. 128: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil in 80 cm Tiefe.

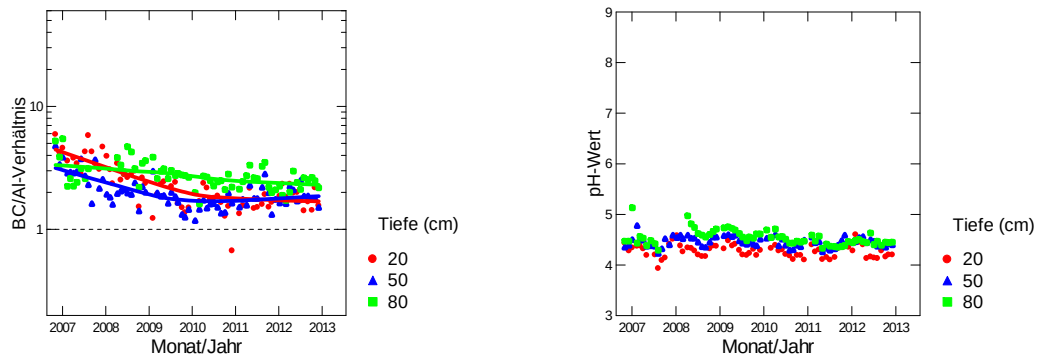
**Diessenhofen**

Abb. 129: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

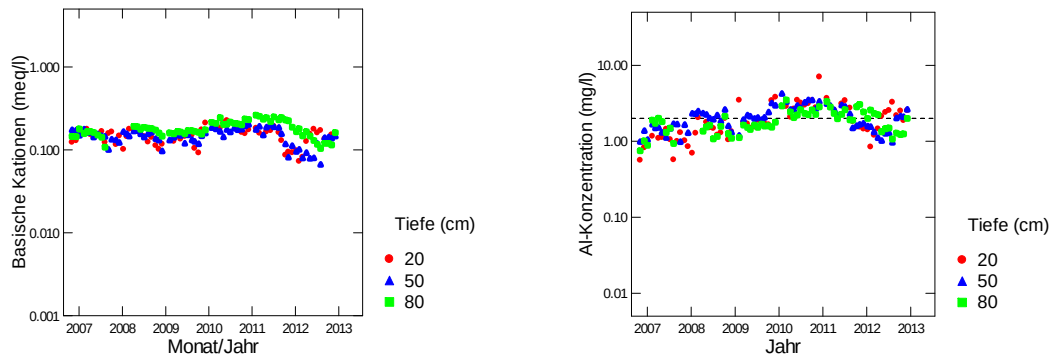


Abb. 130: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

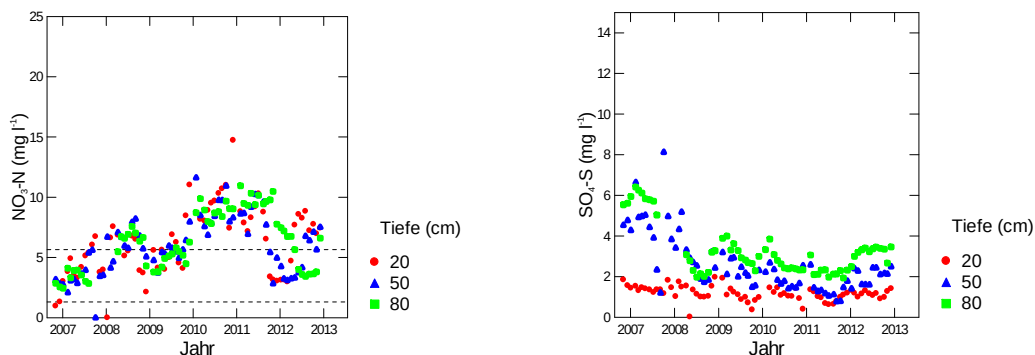


Abb. 131: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

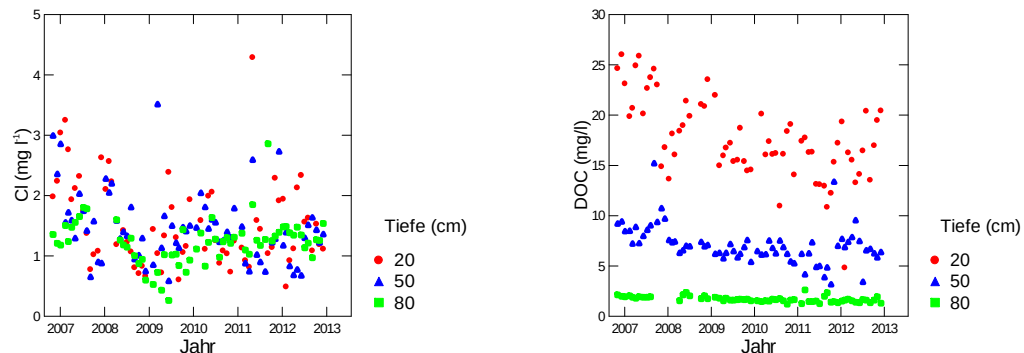


Abb. 132: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.



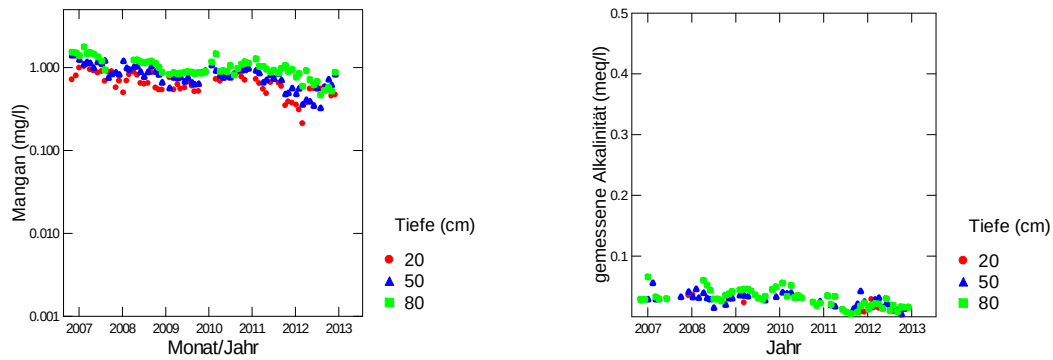


Abb. 133: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

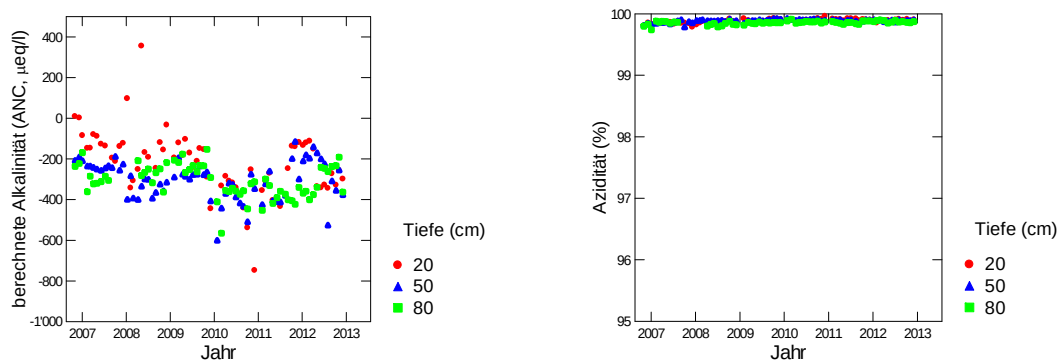


Abb. 134: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

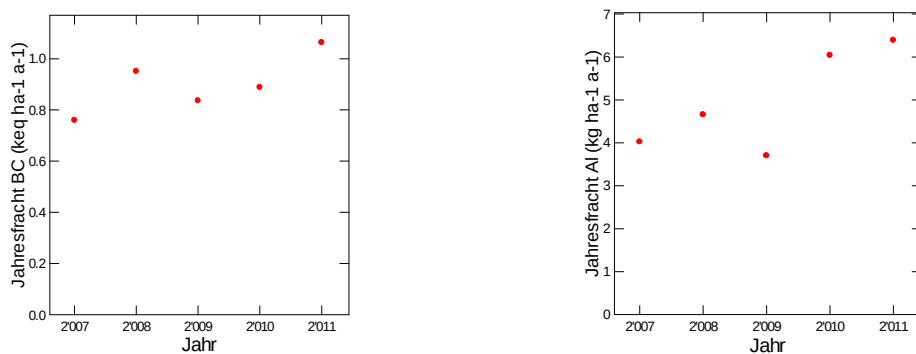


Abb. 135: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen in 80 cm Tiefe.

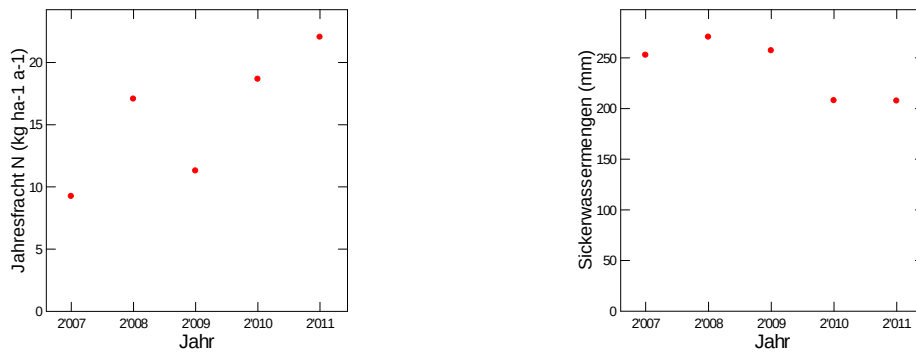


Abb. 136: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen in 80 cm Tiefe.

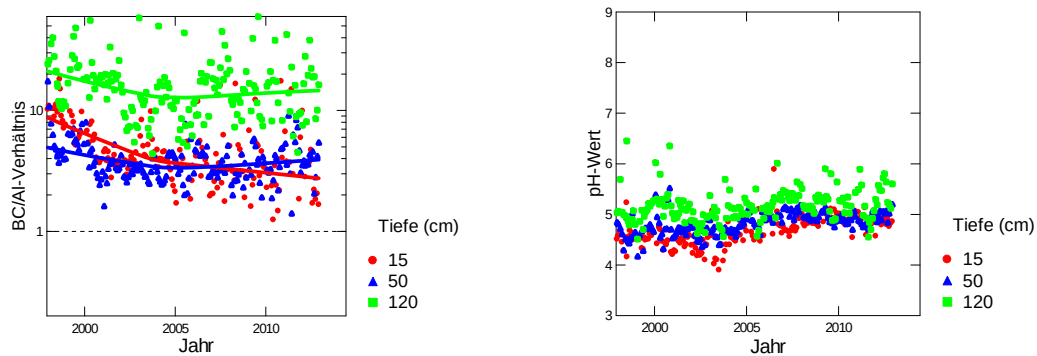
**Frienisberg**

Abb. 137 Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg (Mischbestand Buchen/Fichten).

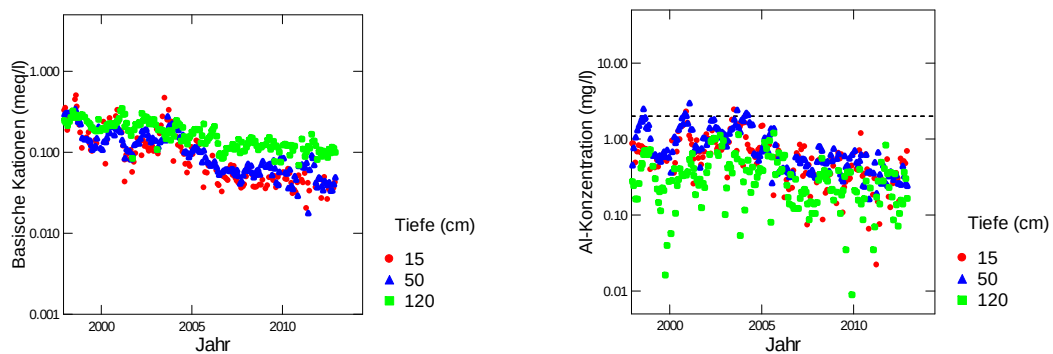


Abb. 138: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

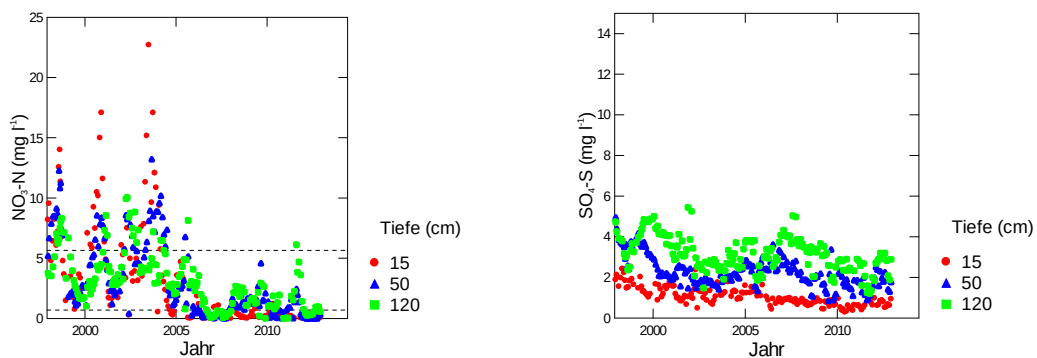


Abb. 139: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

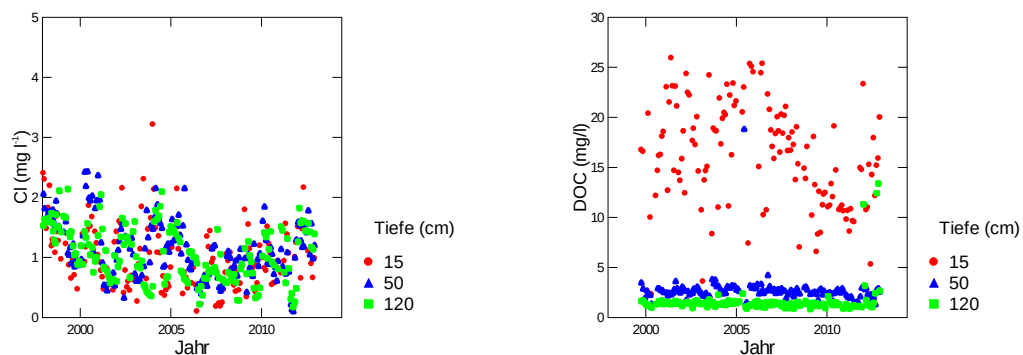


Abb. 140: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg

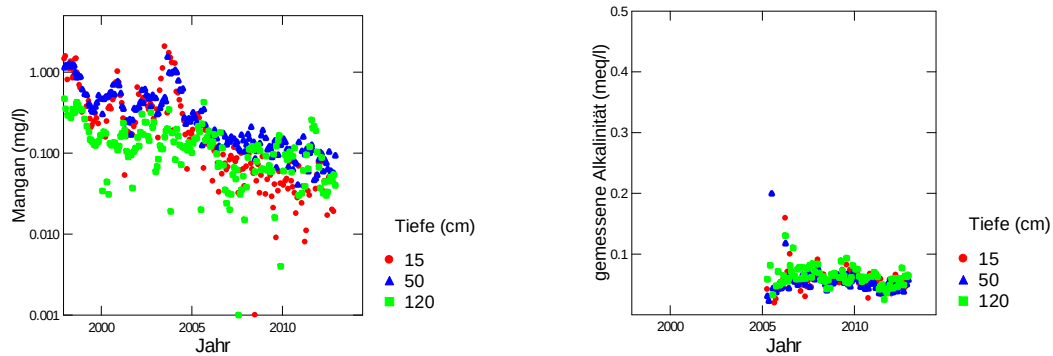


Abb. 141: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg

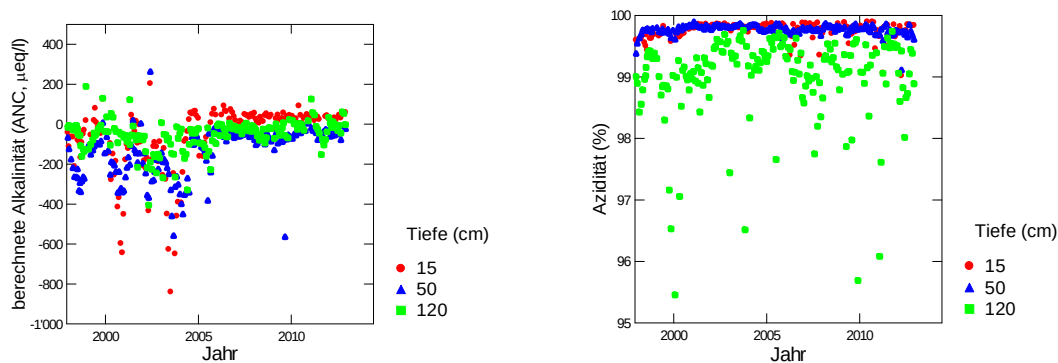


Abb. 142: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg.

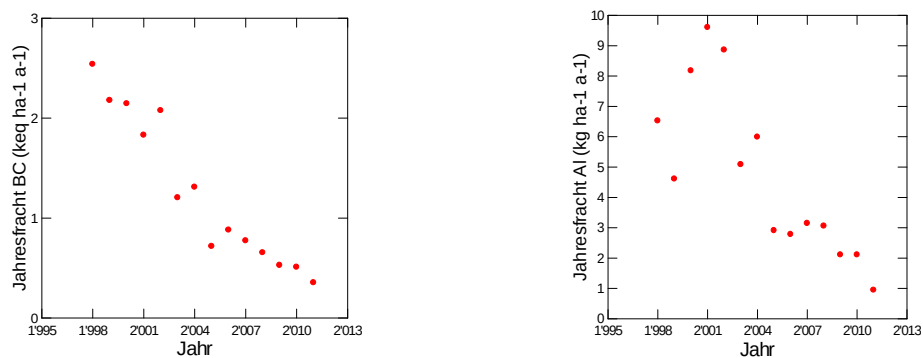


Abb. 143: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg in 120 cm Tiefe.

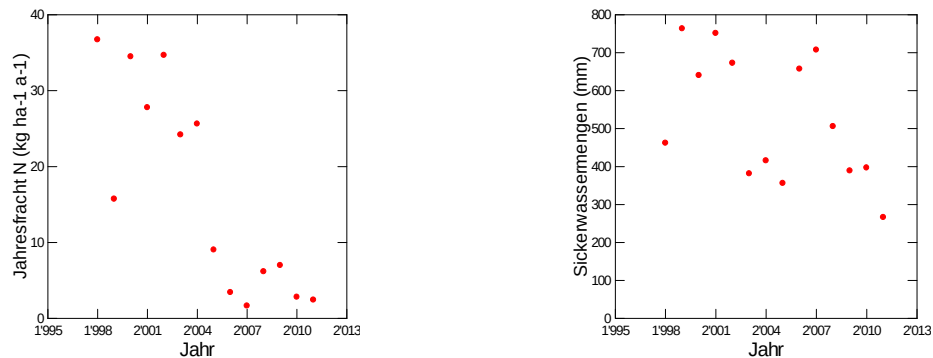


Abb. 144: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg in 120 cm Tiefe.

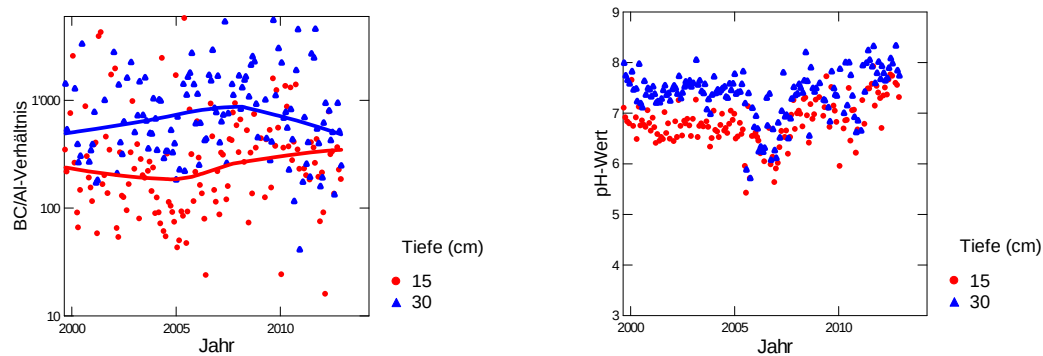
**Grenchenberg**

Abb. 145: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

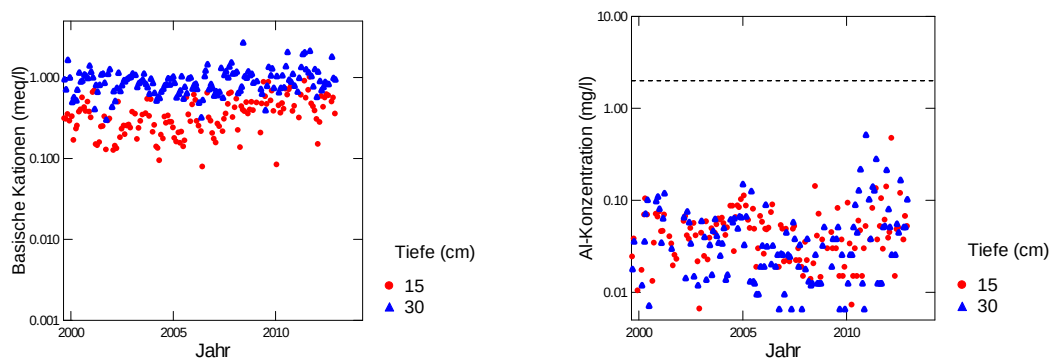


Abb. 146: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

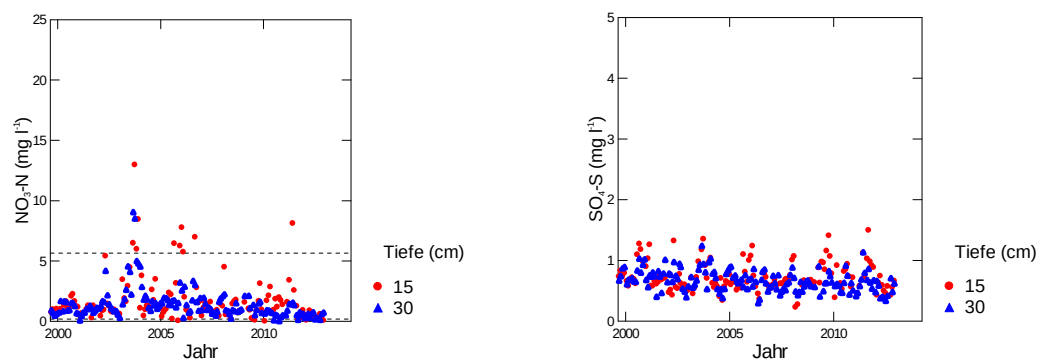


Abb. 147: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten). In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

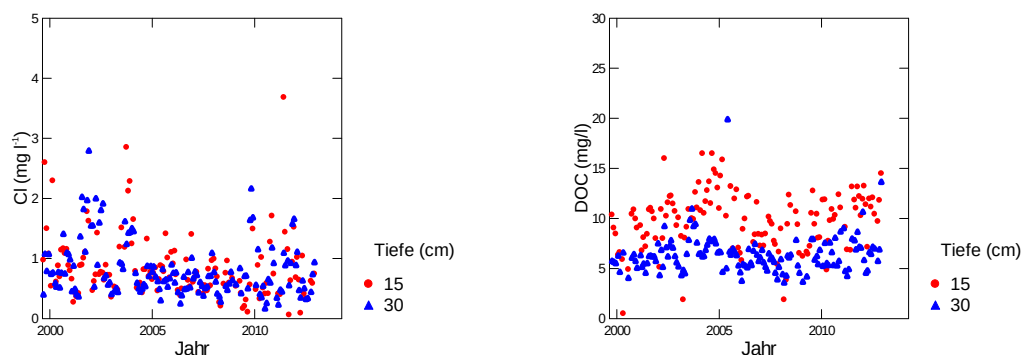


Abb. 148: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

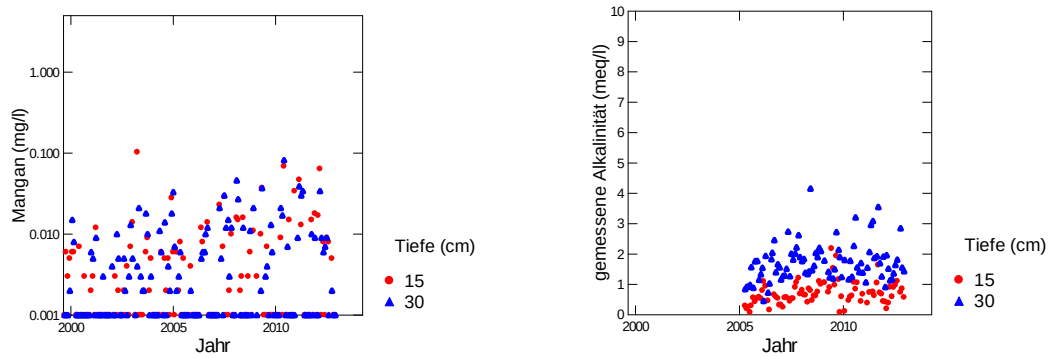


Abb. 149: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

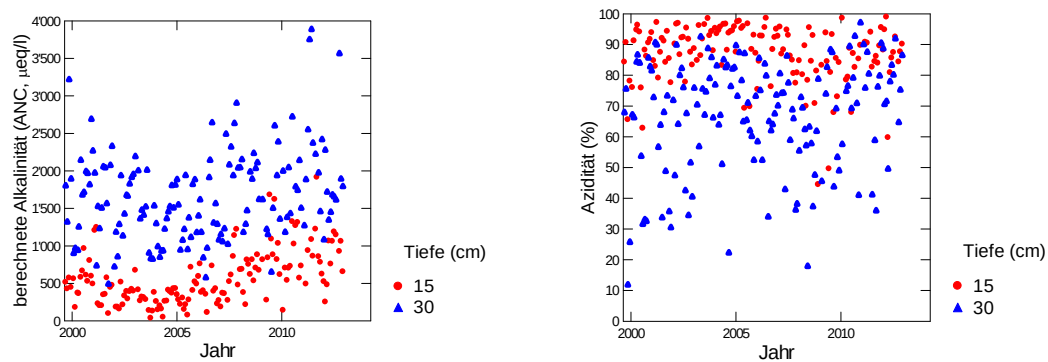


Abb. 150: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

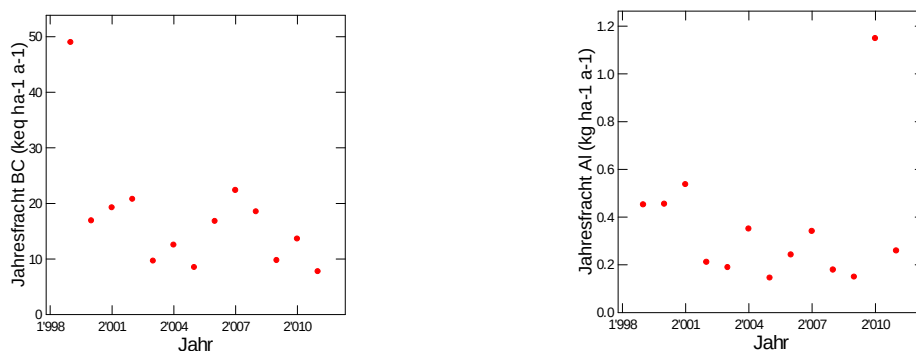


Abb. 151: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten) in 30 cm Tiefe.

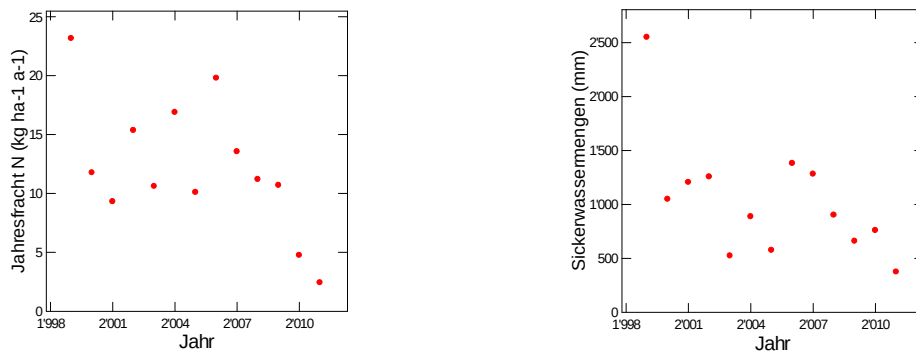


Abb. 152: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten) in 30 cm Tiefe.

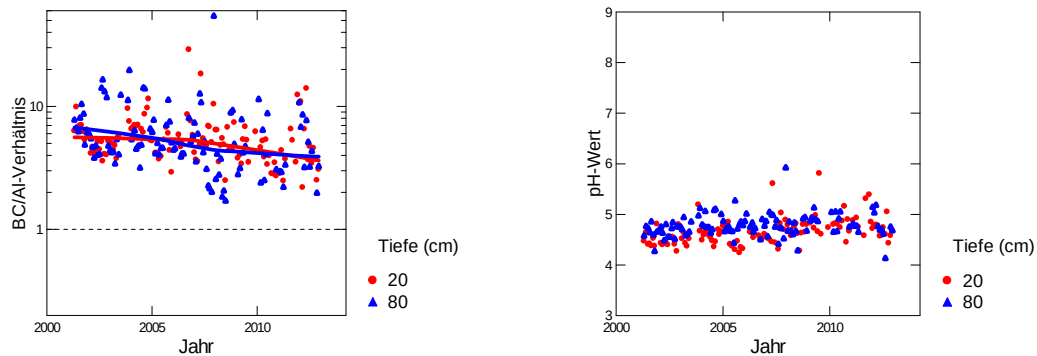
**Habsburg Lotharfläche Kontrolle**

Abb. 153: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle.

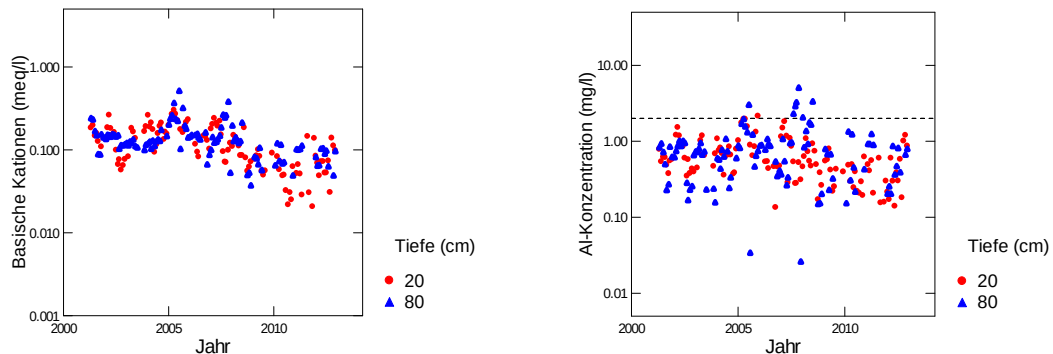


Abb. 154: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

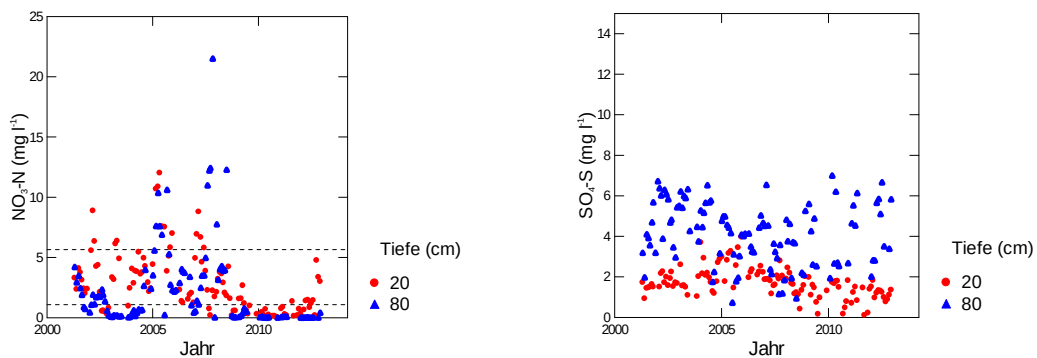


Abb. 155: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrollen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

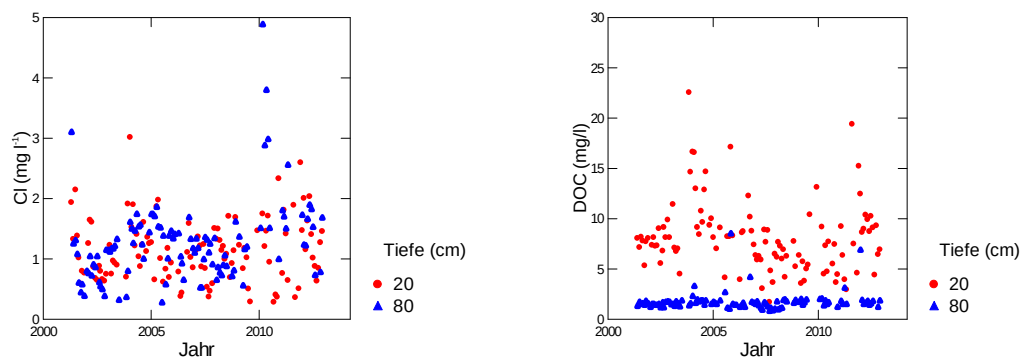


Abb. 156: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrollen.

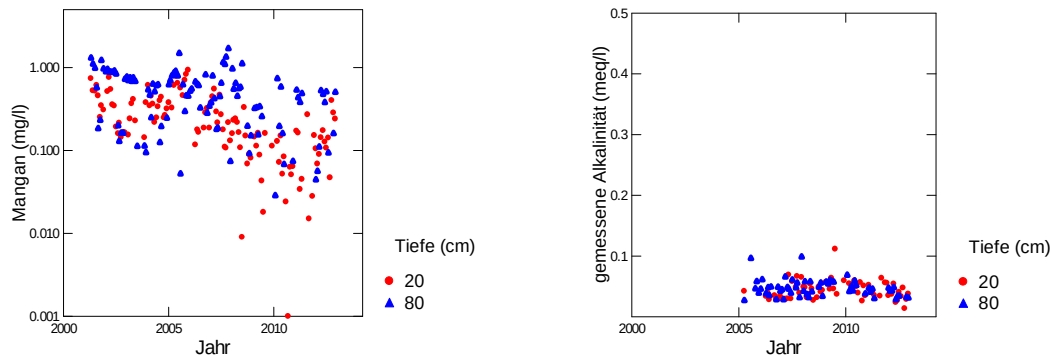


Abb. 157: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle.

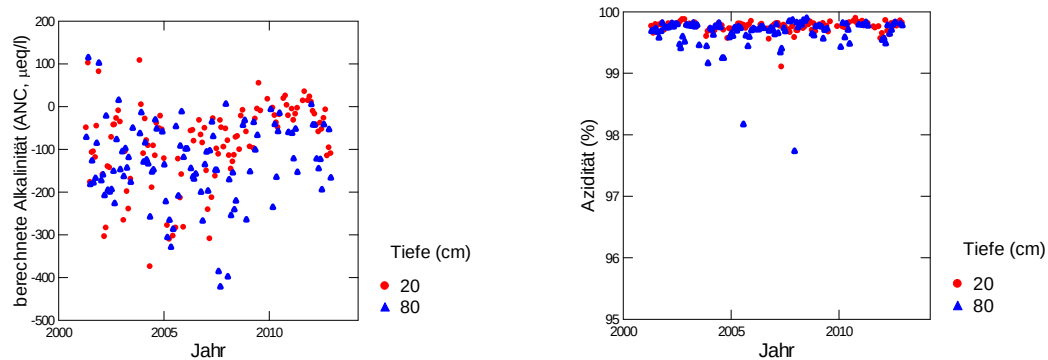


Abb. 158: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle.

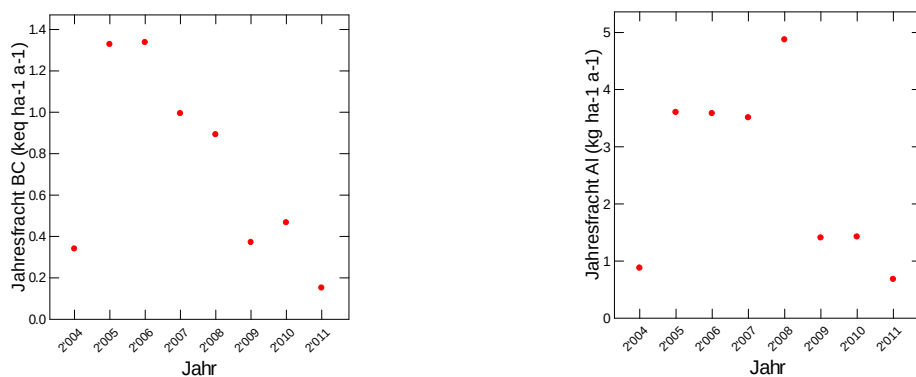


Abb. 159: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle in 80 cm Tiefe.

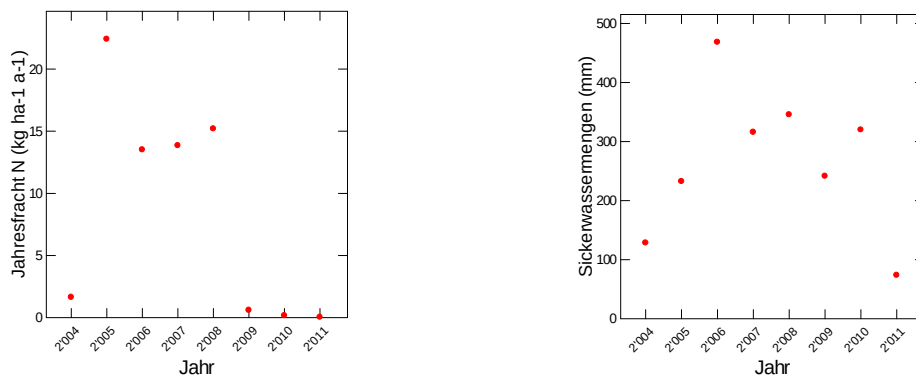


Abb. 160: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle in 80 cm Tiefe.

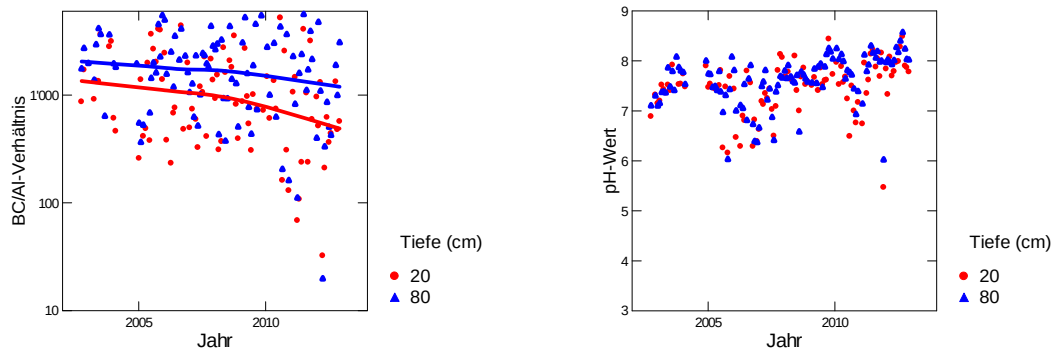
**Hinwil**

Abb. 161: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

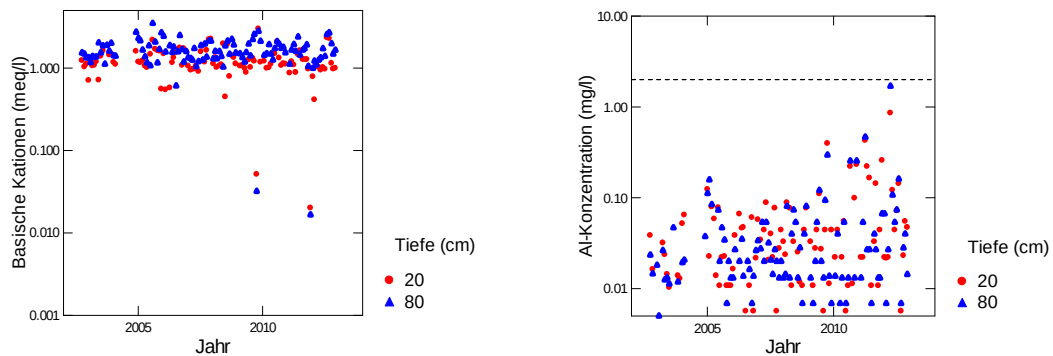


Abb. 162: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

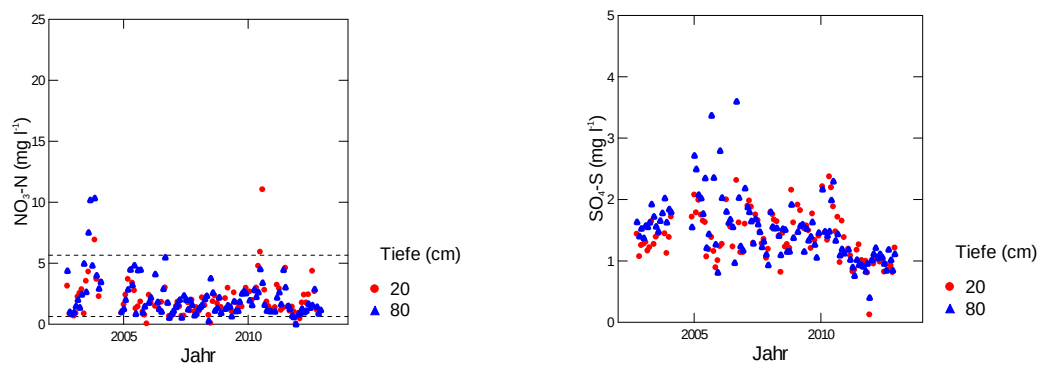


Abb. 163: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

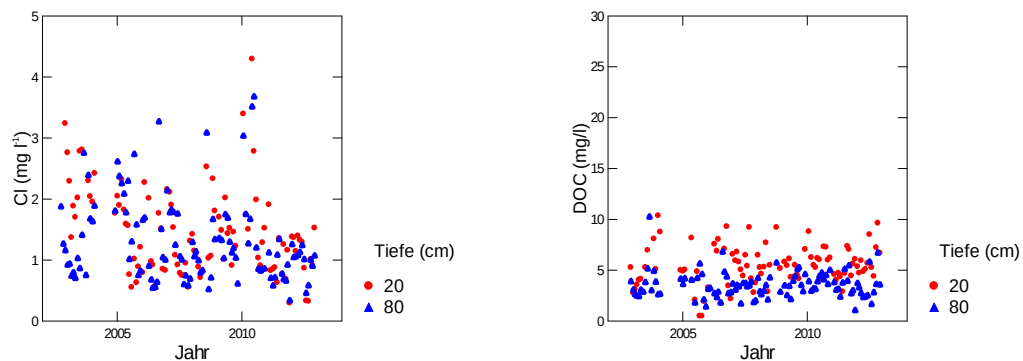


Abb. 164: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.



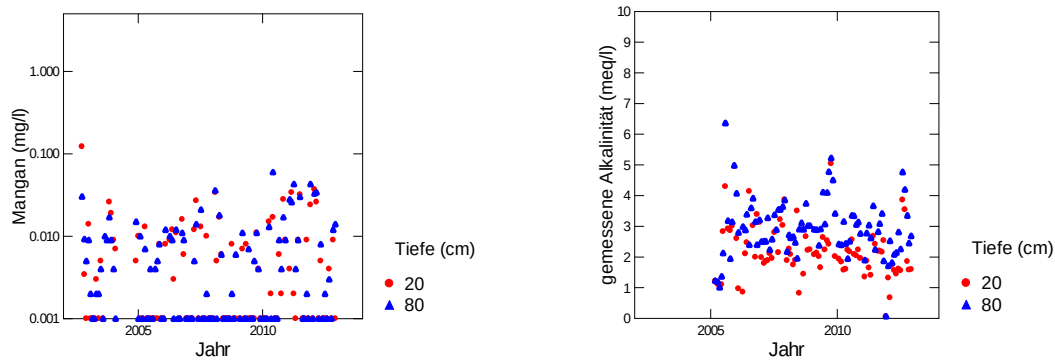


Abb. 165: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

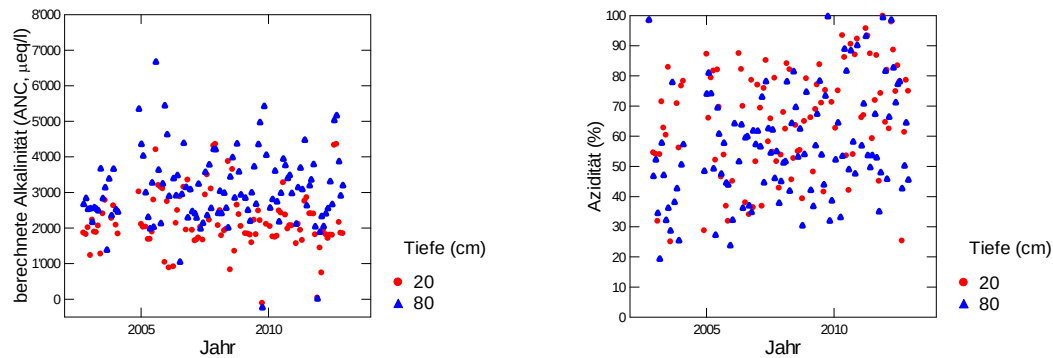


Abb. 166: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

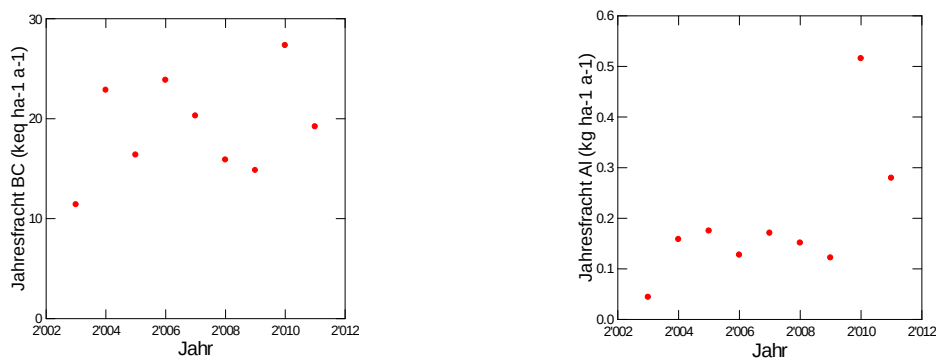


Abb. 167: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil in 80 cm Tiefe.

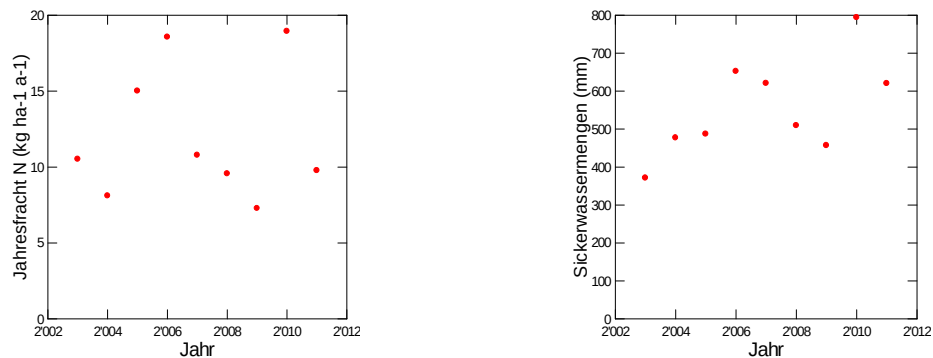


Abb. 168: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil in 80 cm Tiefe.

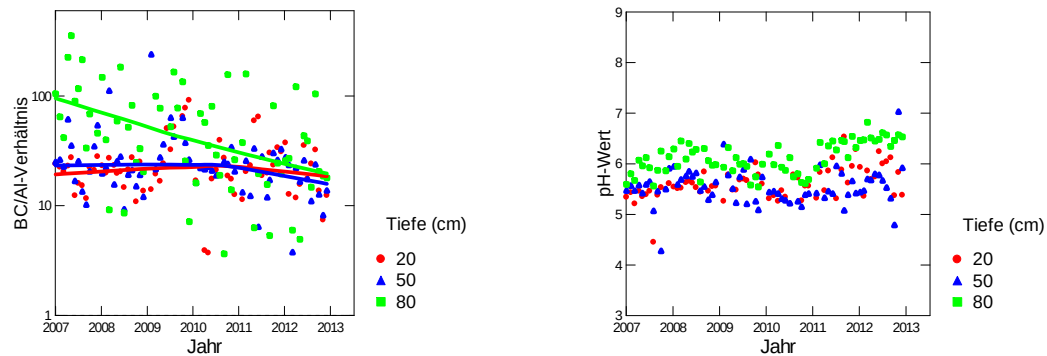
**Le Châtelard**

Abb. 169: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

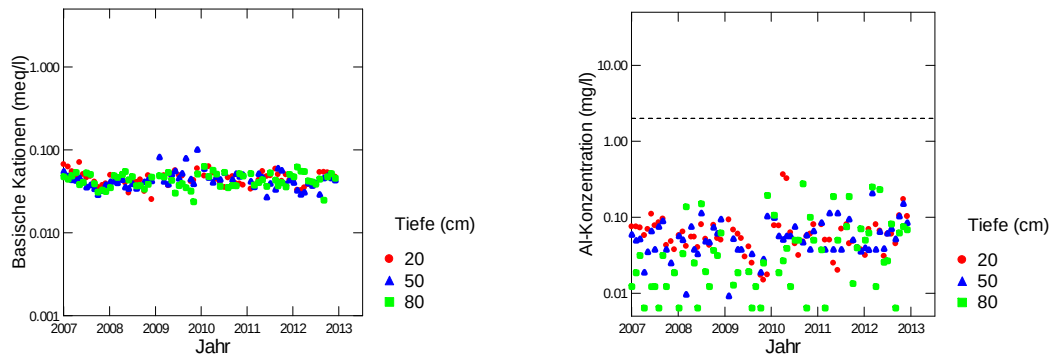


Abb. 170: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

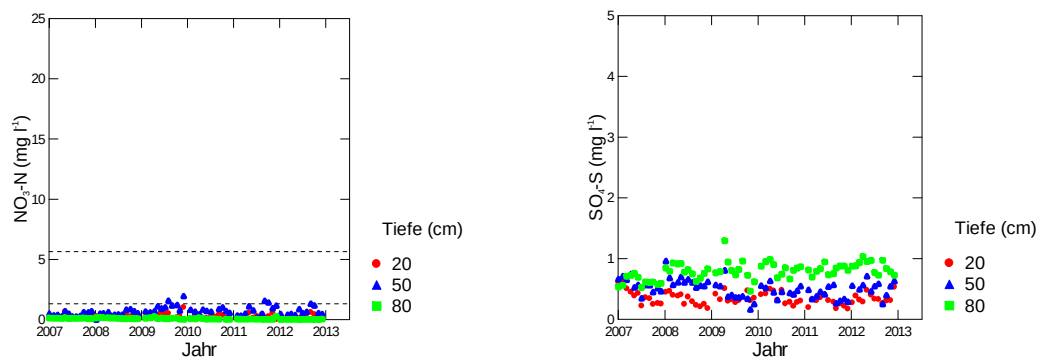


Abb. 171: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

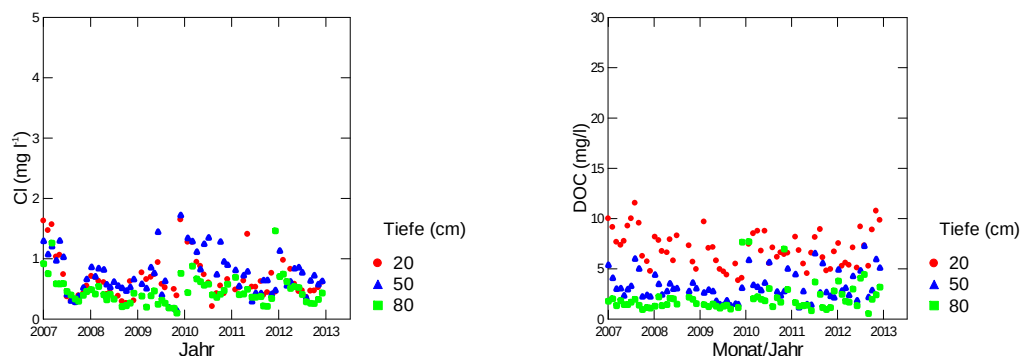


Abb. 172: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

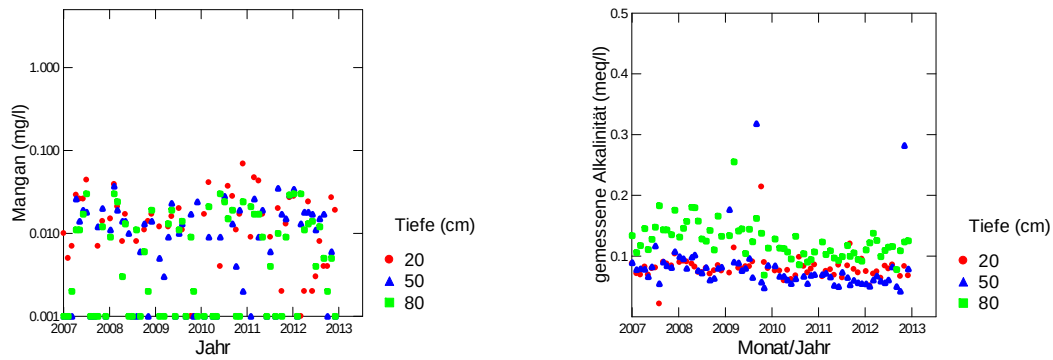


Abb. 173: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

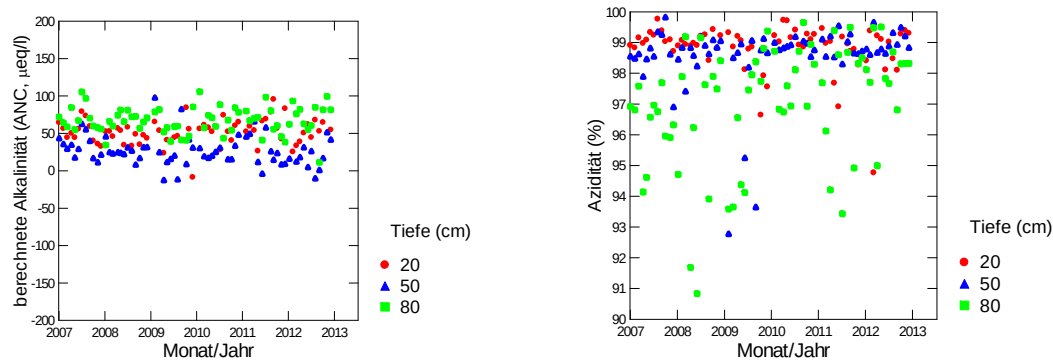


Abb. 174: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

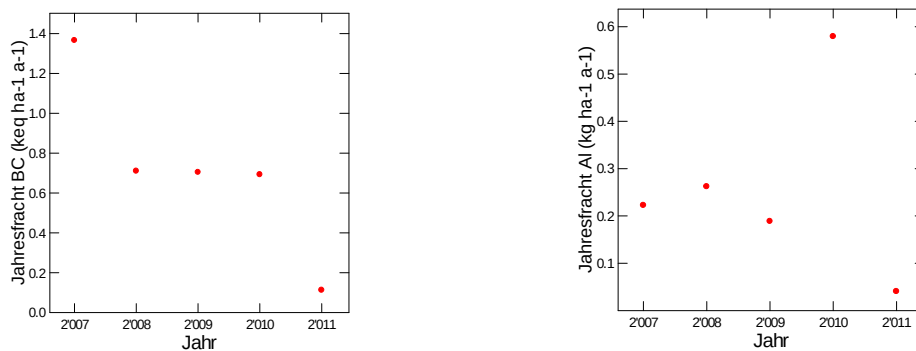


Abb. 175: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard in 80 cm Tiefe.

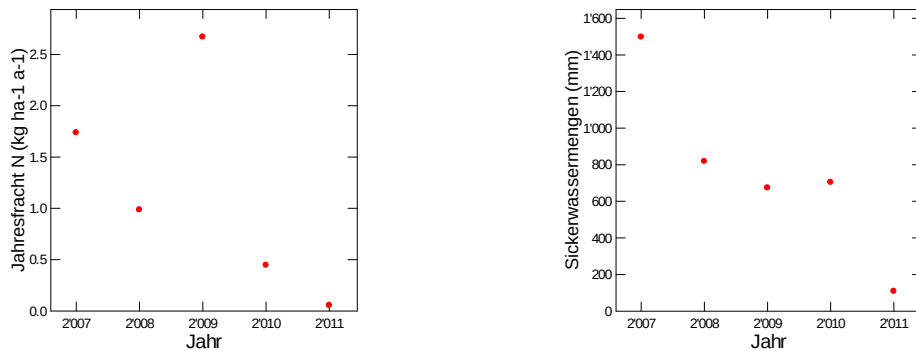


Abb. 176: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard in 80 cm Tiefe.

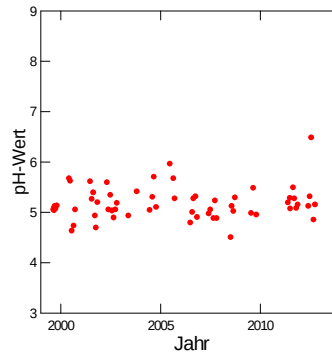
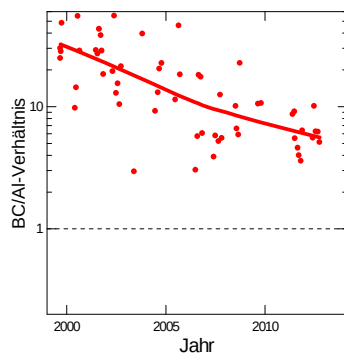
**Lurengo Fichten**

Abb. 177: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

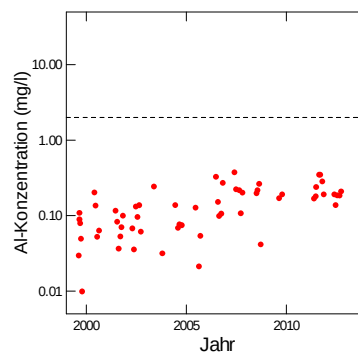
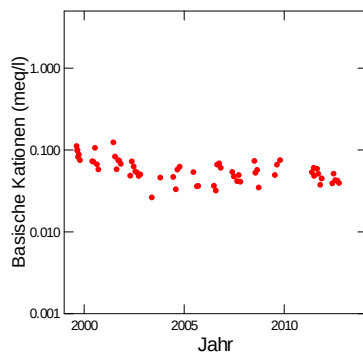


Abb. 178: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

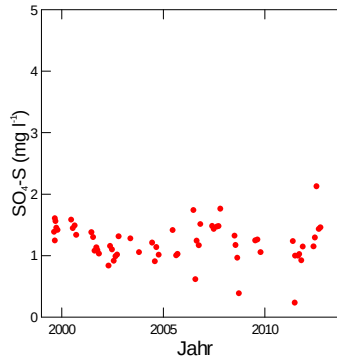
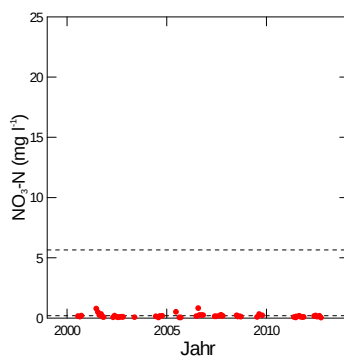


Abb. 179: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

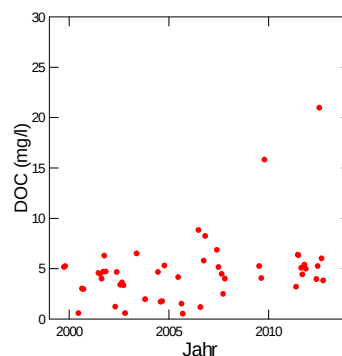
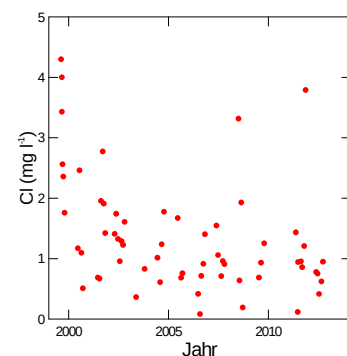


Abb. 180: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

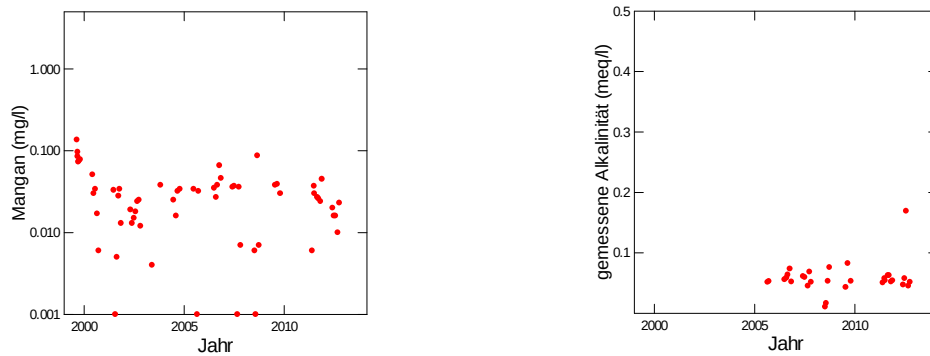


Abb. 181: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

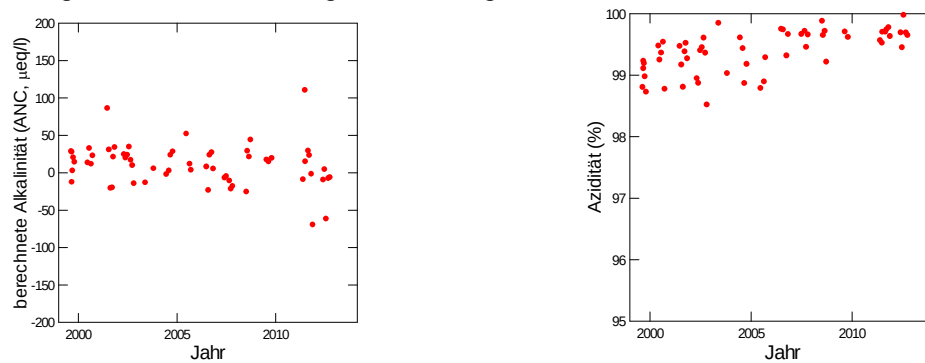


Abb. 182: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

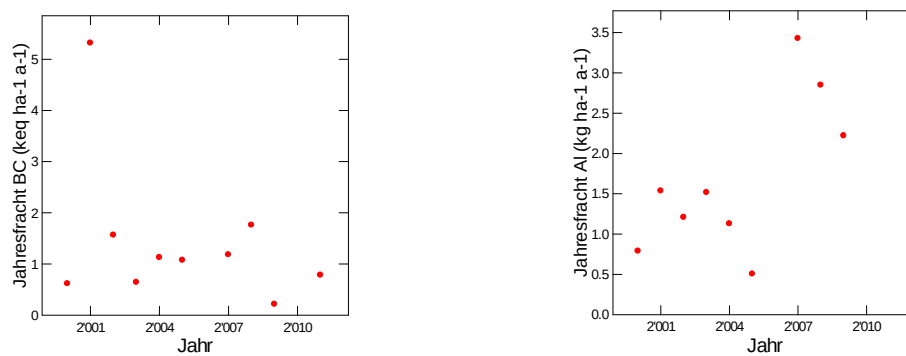


Abb. 183: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Tiefe.

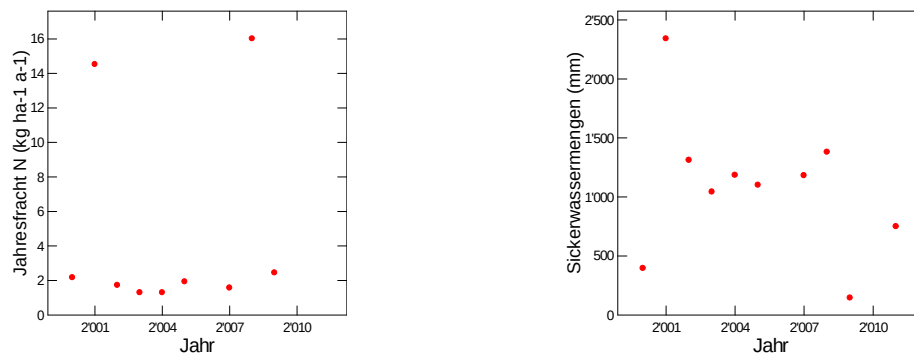


Abb. 184: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Tiefe.

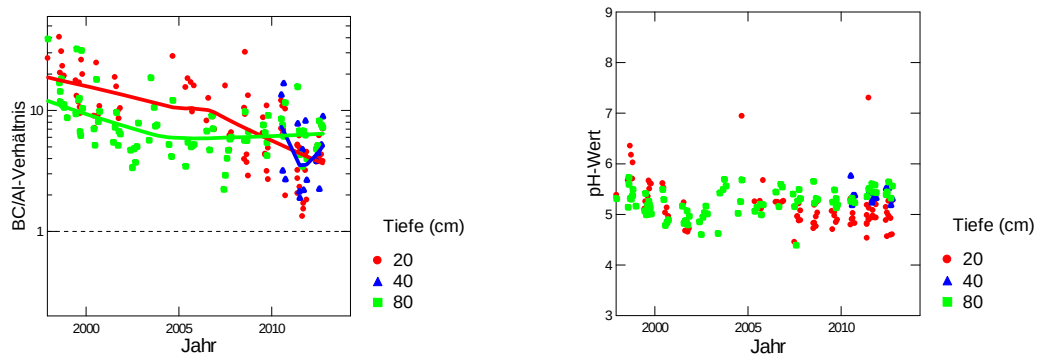
**Lurengo N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen)**

Abb. 185 Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (80 cm Bodentiefe, ungedüngte Kontrollen).

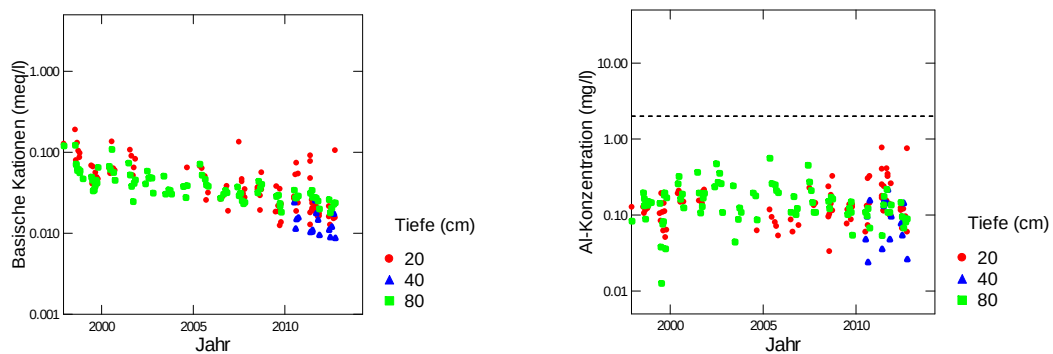


Abb. 186: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (80 cm Bodentiefe, ungedüngte Kontrollen). Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

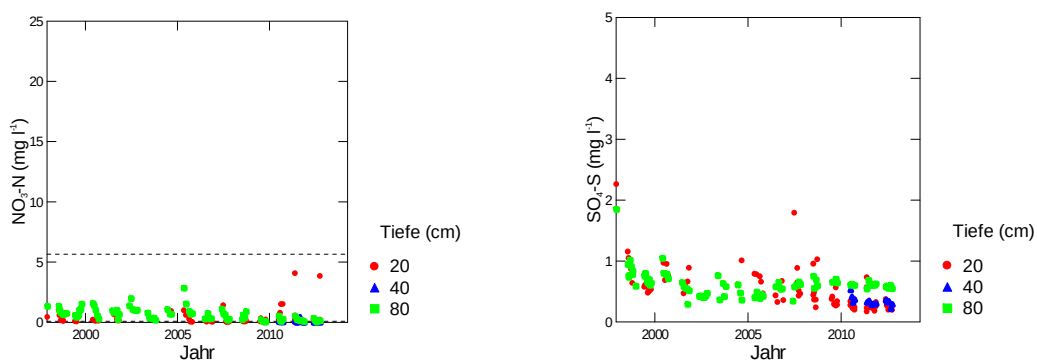


Abb. 187: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen). In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

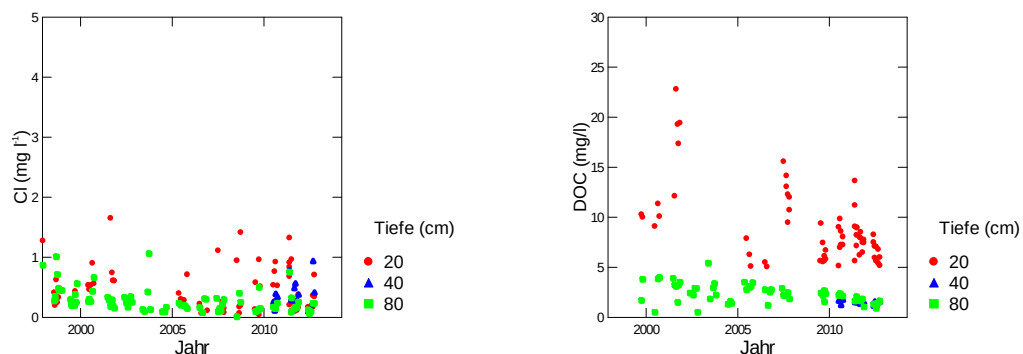


Abb. 188: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen)

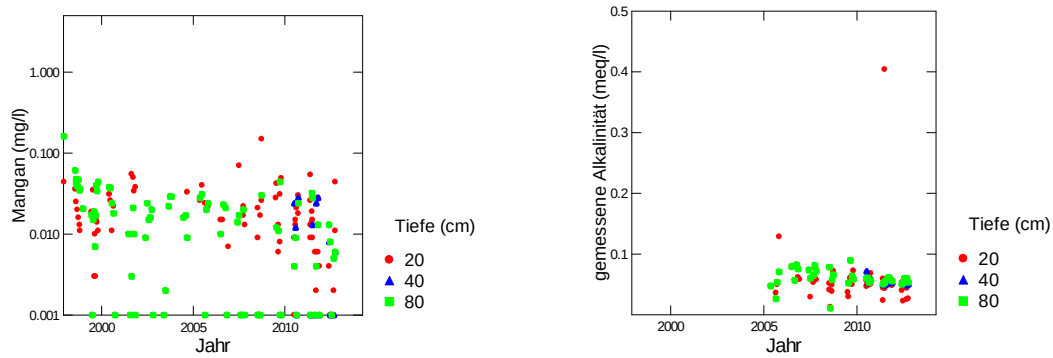


Abb. 189: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen)

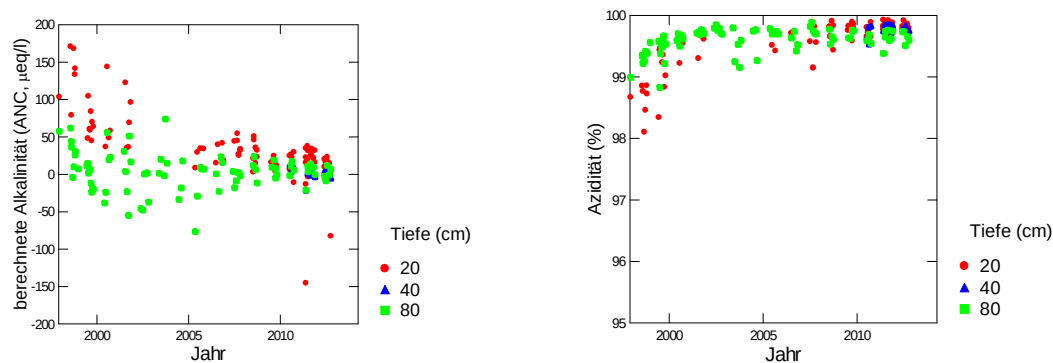


Abb. 190: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen).

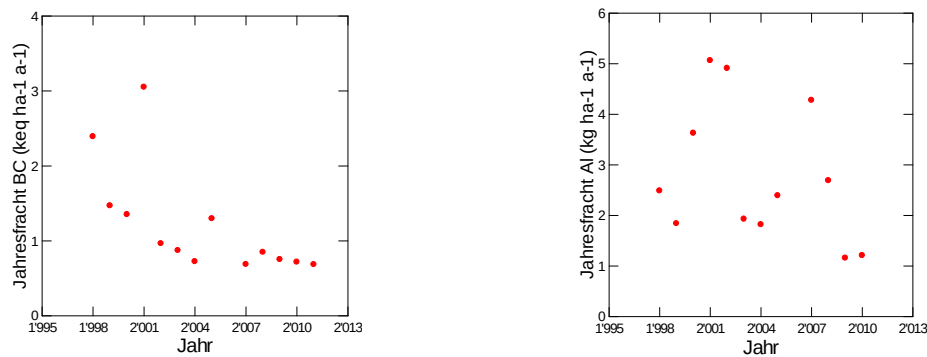


Abb. 191: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen) in 80 cm Tiefe.

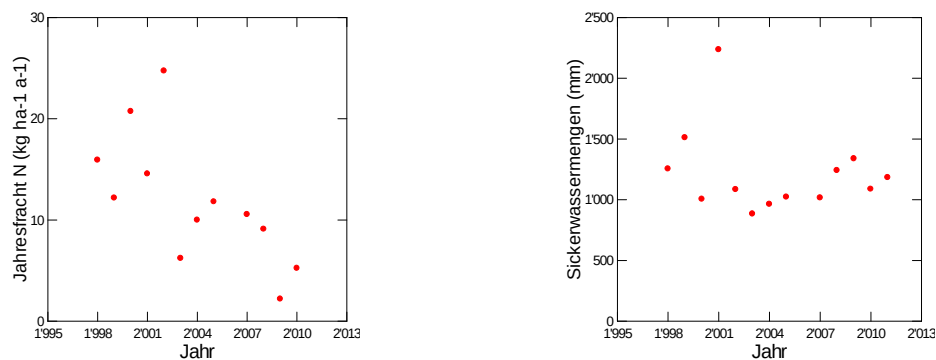


Abb. 192: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen) in 80 cm Tiefe.

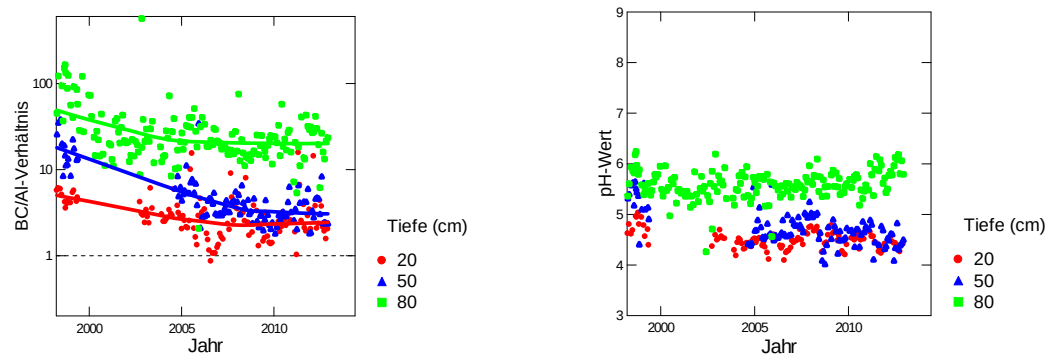
**Möhlin**

Abb. 193: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin. Die Lysimeter in den Tiefen 20 und 50 cm wurden 2002 wieder installiert.

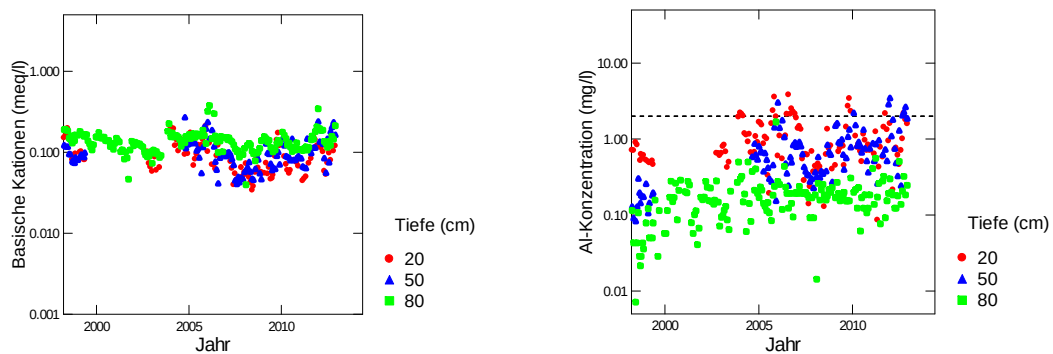


Abb. 194: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

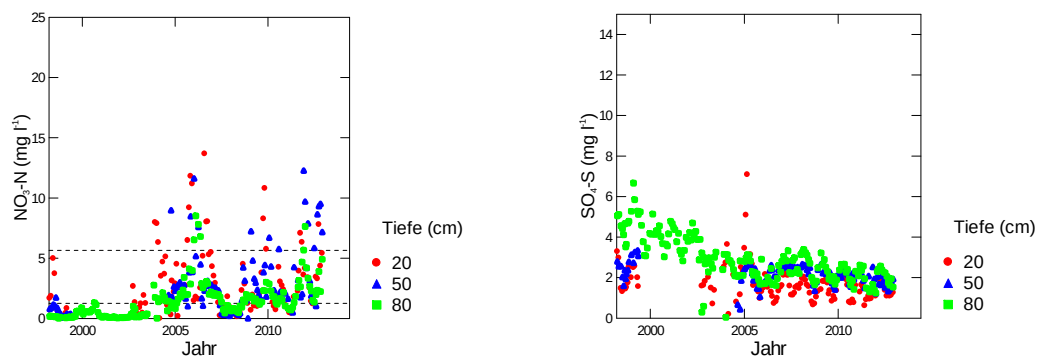


Abb. 195: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

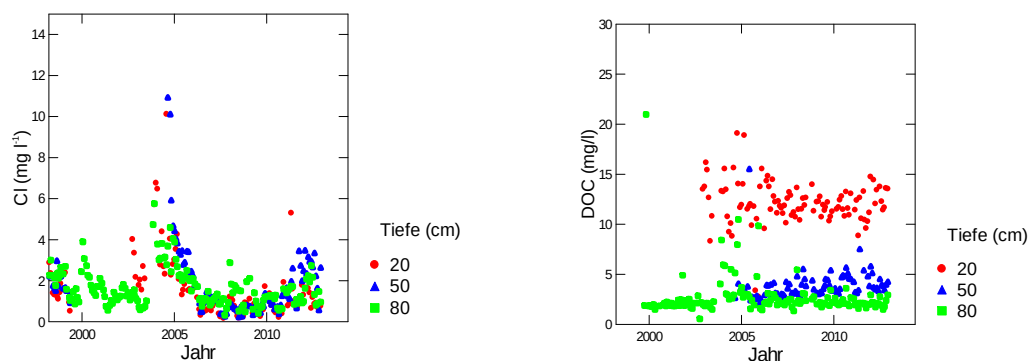


Abb. 196: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin.



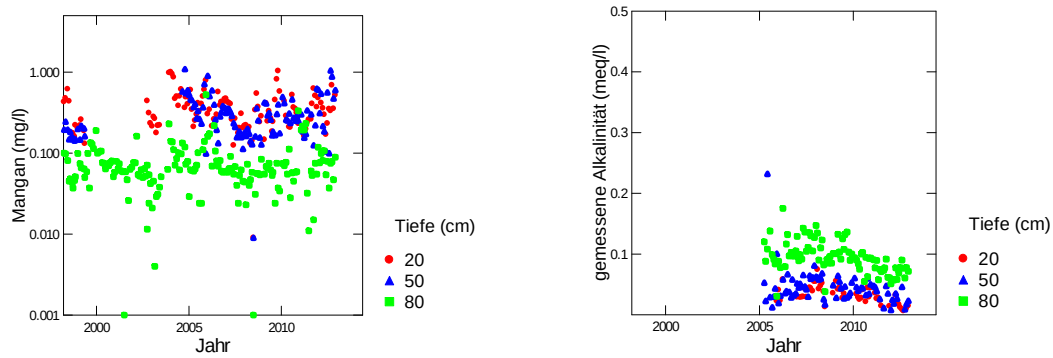


Abb. 197: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin.

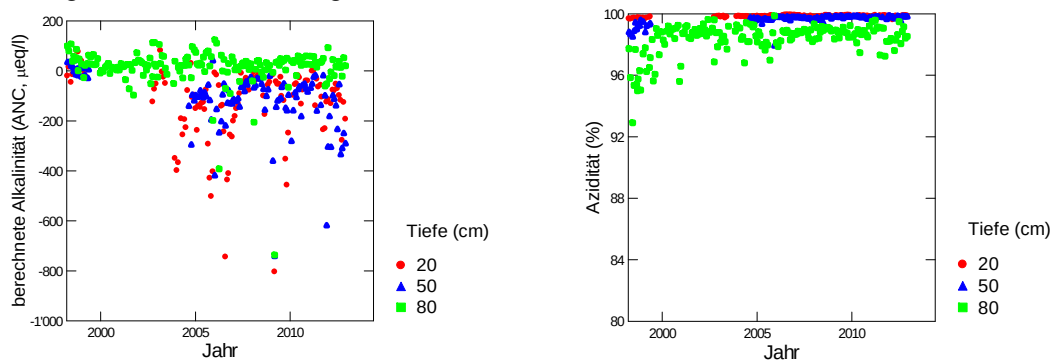


Abb. 198: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin.

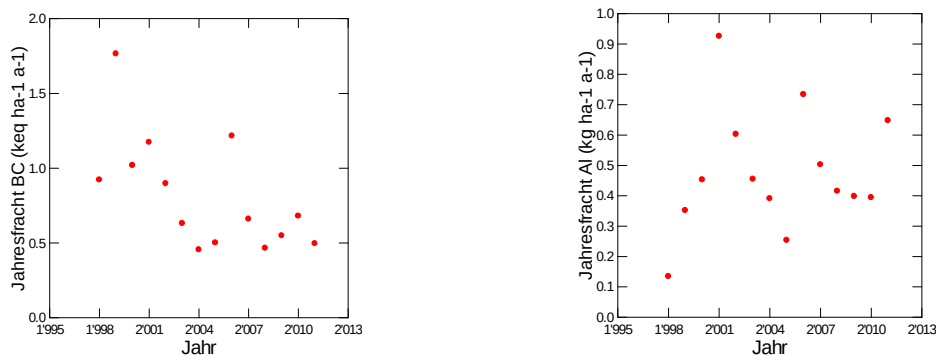


Abb. 199: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin in 80 cm Tiefe.

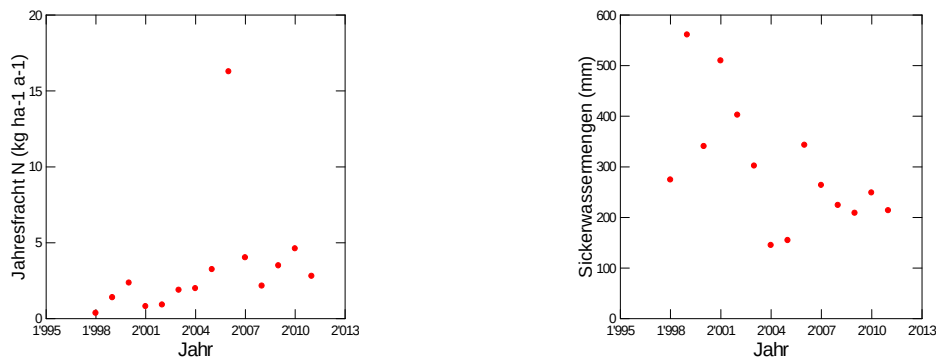


Abb. 200: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin in 80 cm Tiefe.

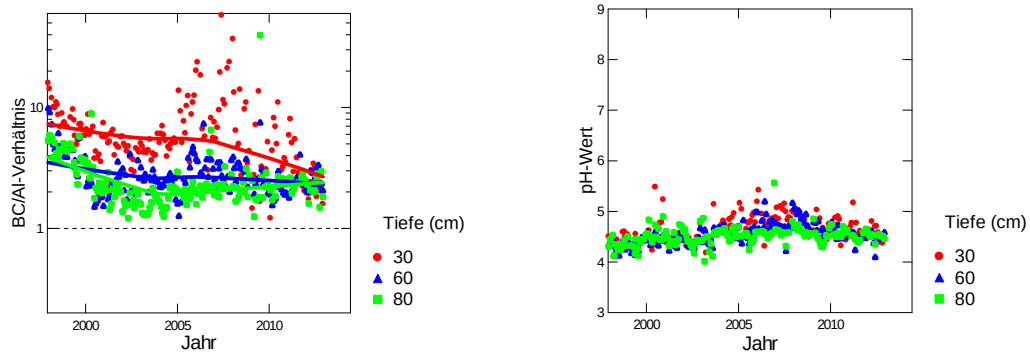
**Muri (Sturmfläche)**

Abb. 201: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

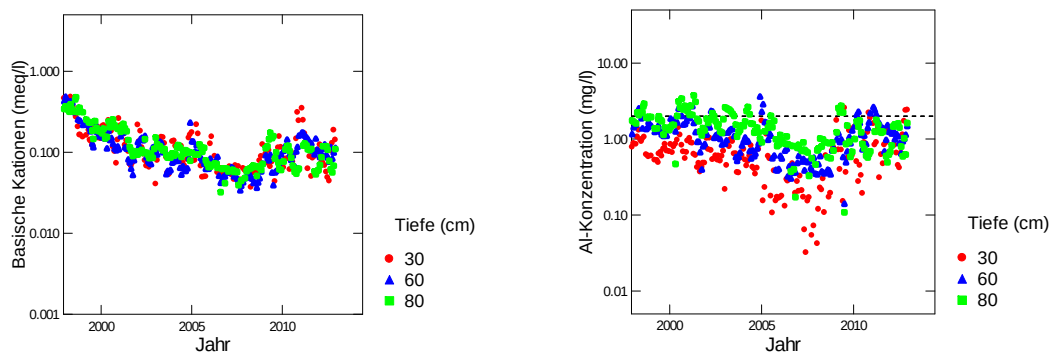


Abb. 202: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

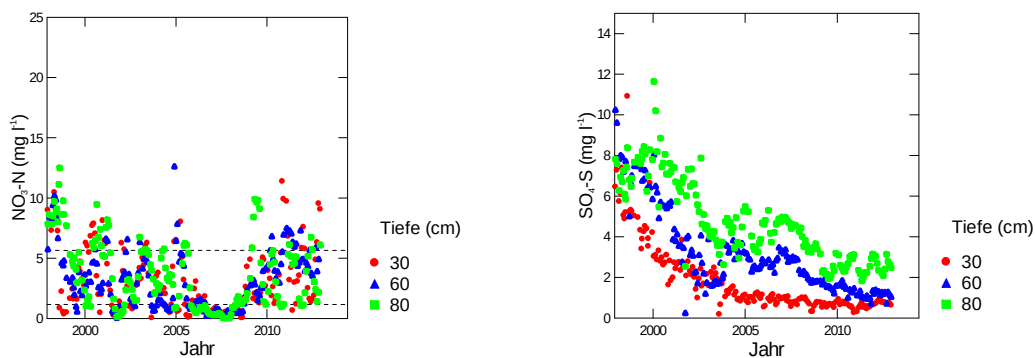


Abb. 203: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

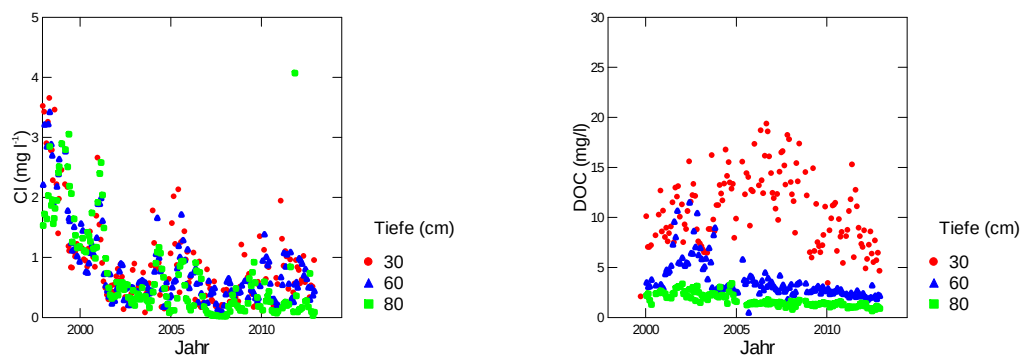


Abb. 204: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

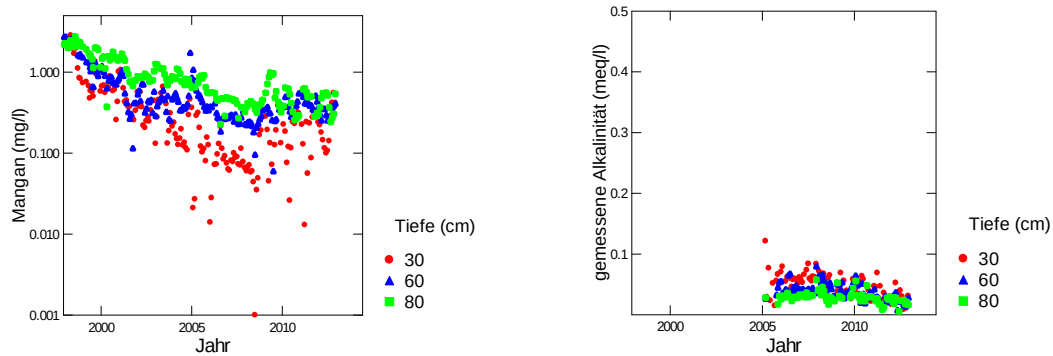


Abb. 205: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri

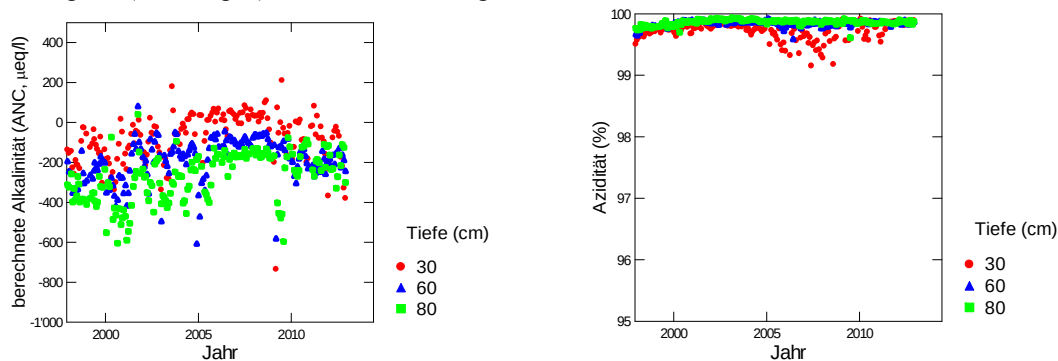


Abb. 206: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

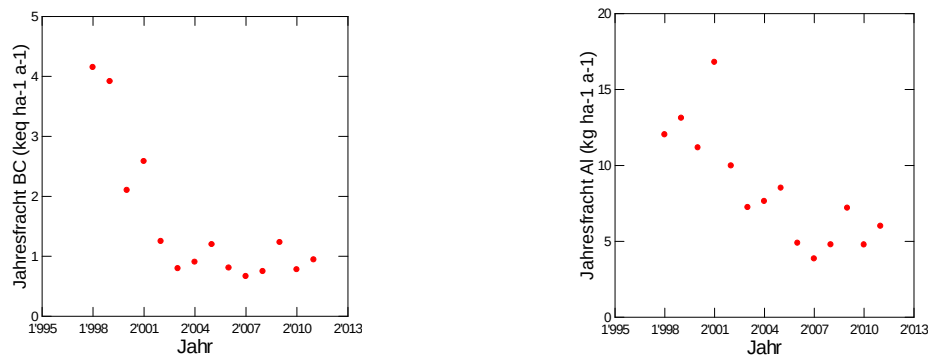


Abb. 207: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 80 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

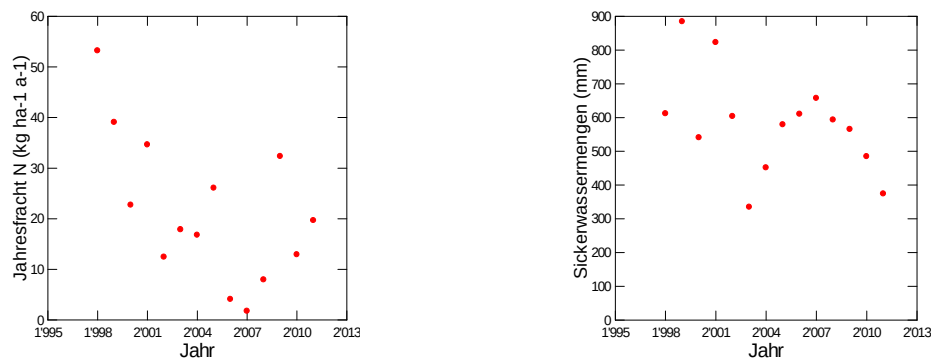


Abb. 208: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 80 cm Tiefe.

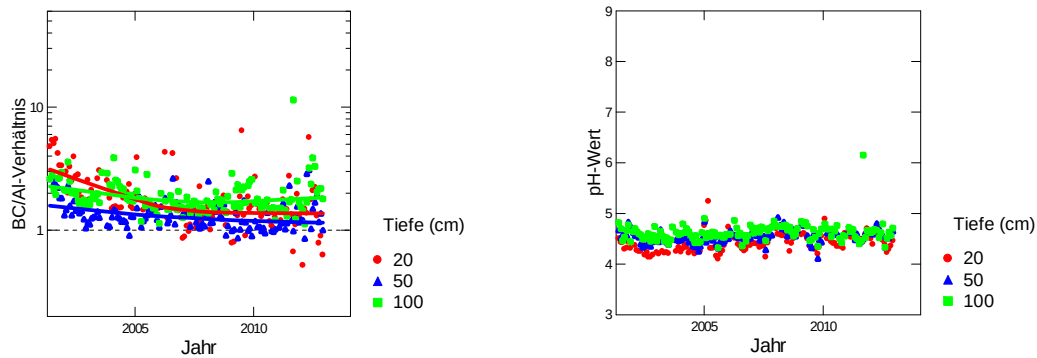
**Muri (neue Fichtenfläche)**

Abb. 209: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

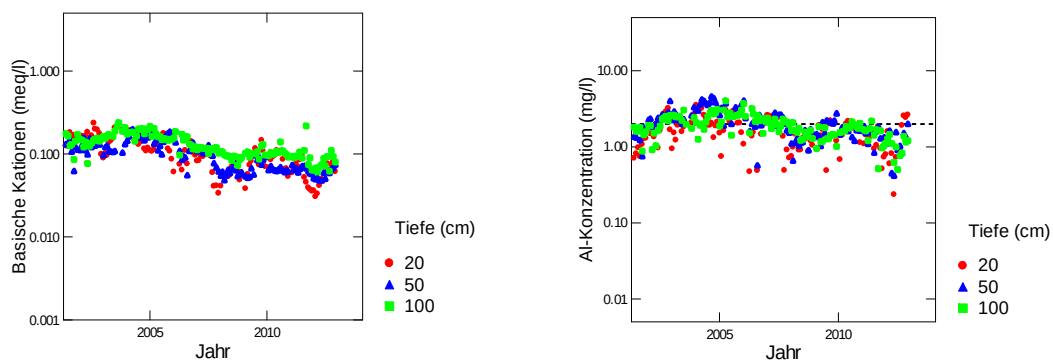


Abb. 210: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

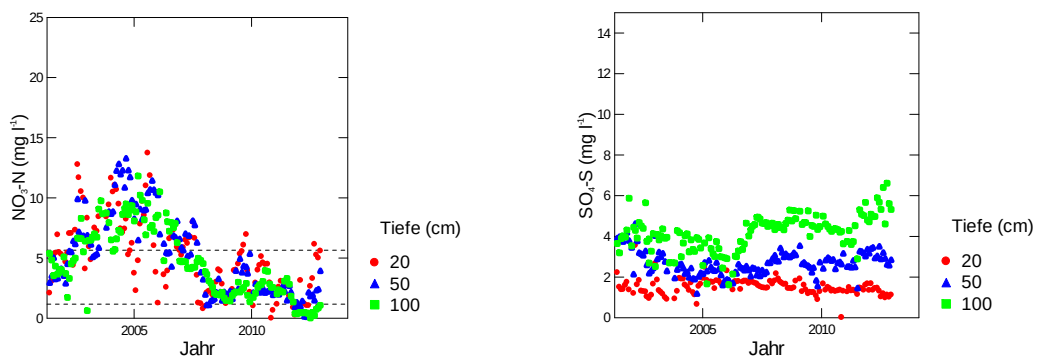


Abb. 211: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

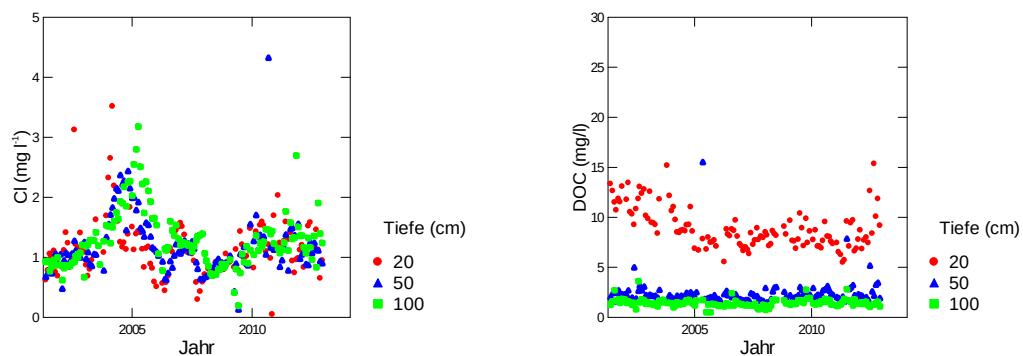


Abb. 212: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

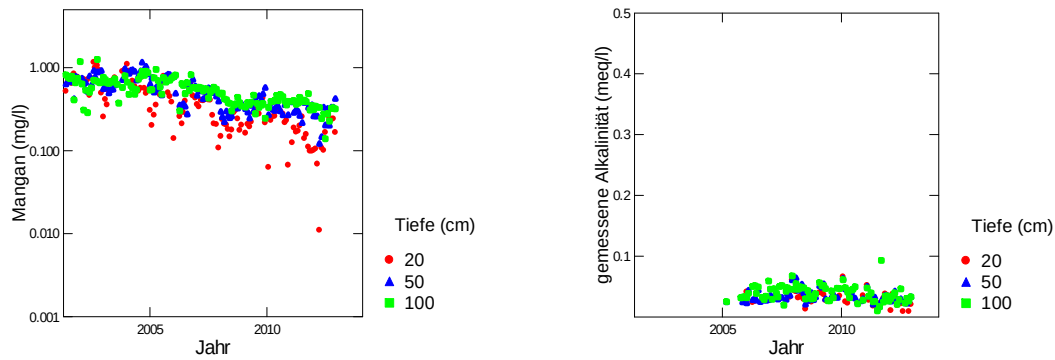


Abb. 213: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri

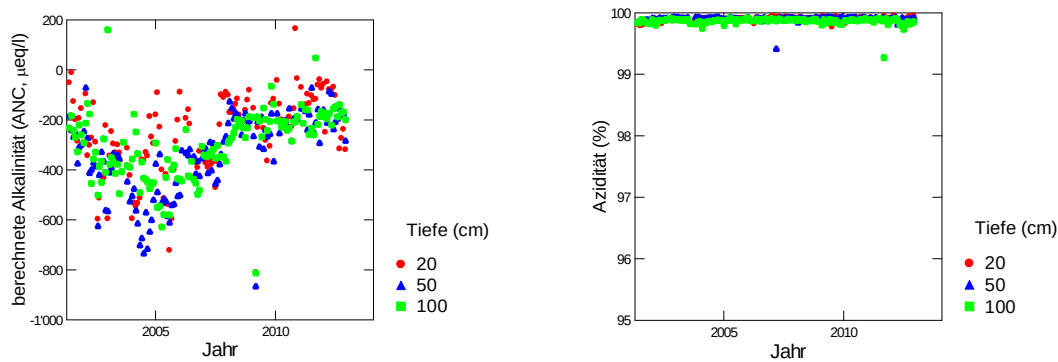


Abb. 214: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

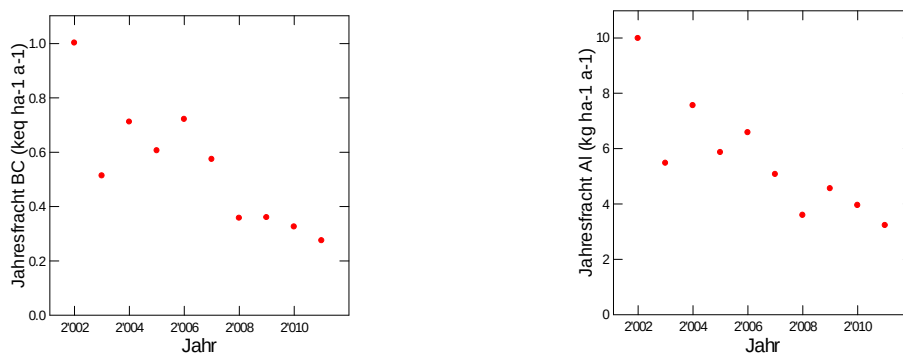


Abb. 215: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

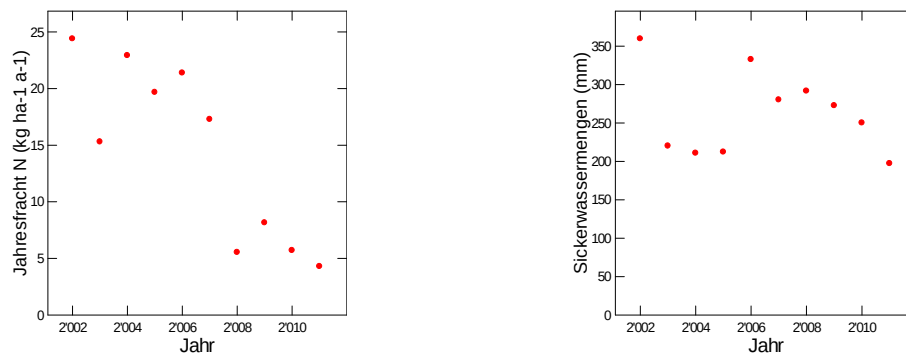


Abb. 216: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

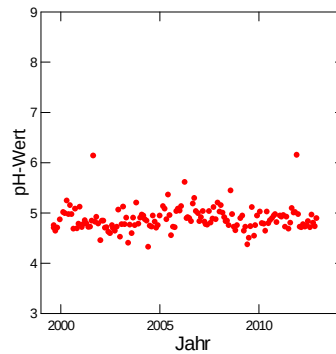
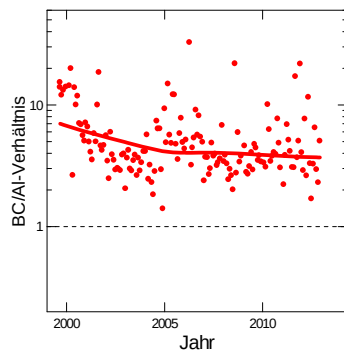
**Muri Buchen**

Abb. 217: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe. Die Lysimeter in einer Tiefe von 20 cm wurden 2006 neu installiert.

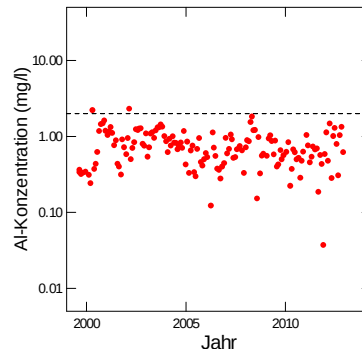
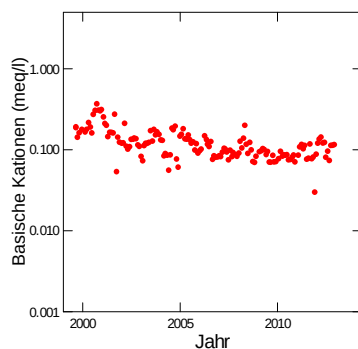


Abb. 218: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

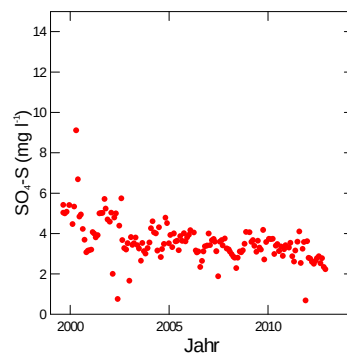
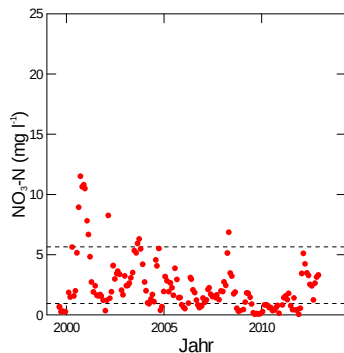


Abb. 219: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

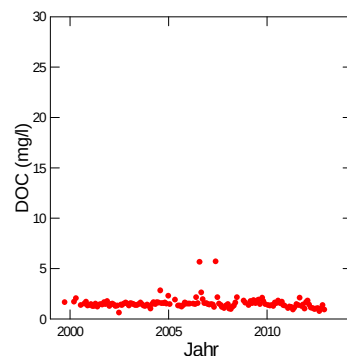
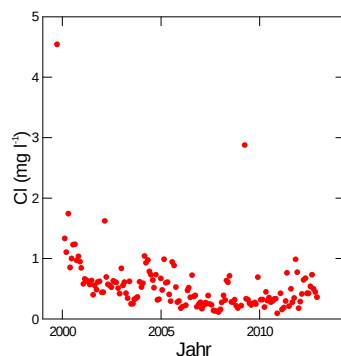


Abb. 220: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe.

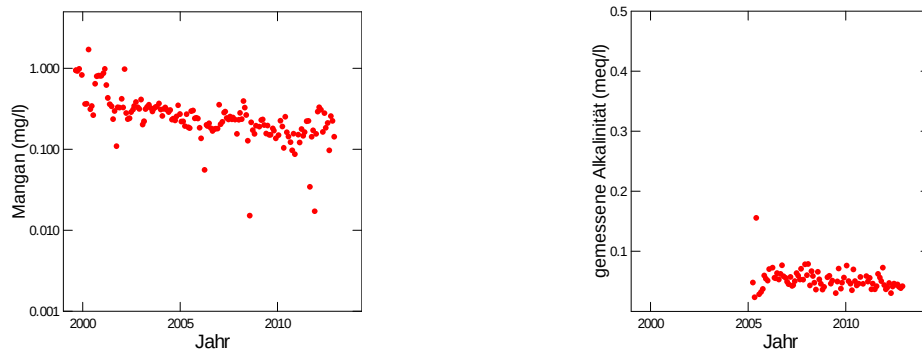


Abb. 221: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe.

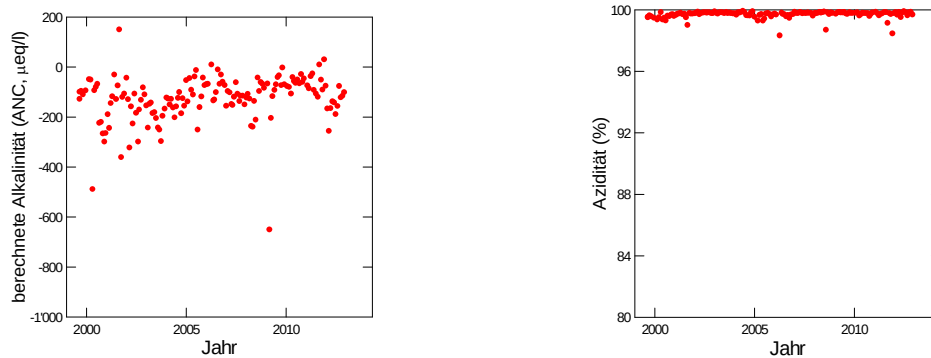


Abb. 222: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe.

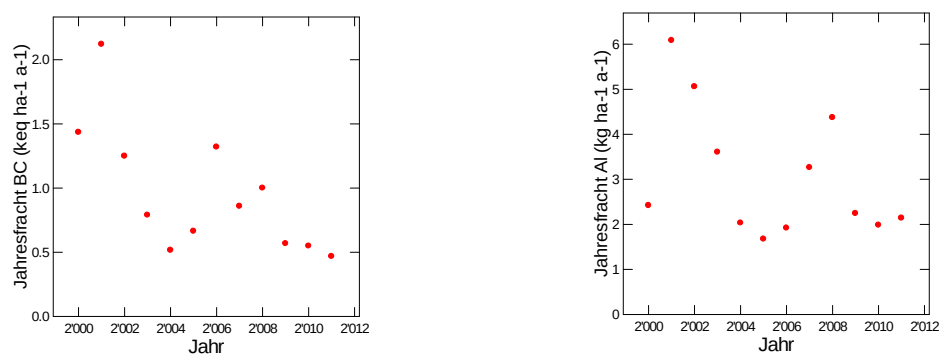


Abb. 223: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

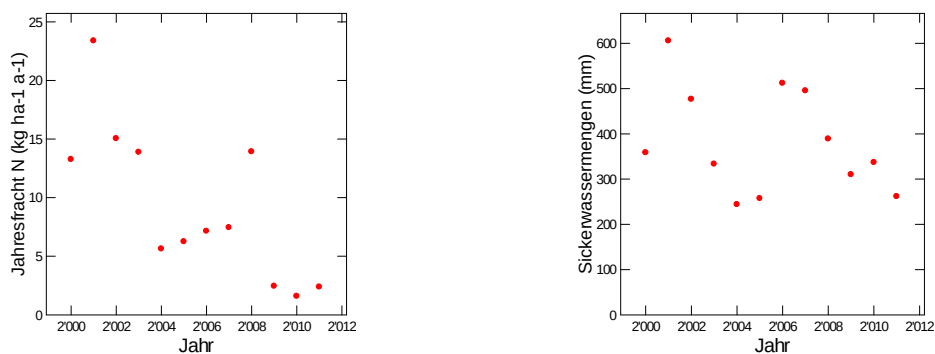


Abb. 224: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

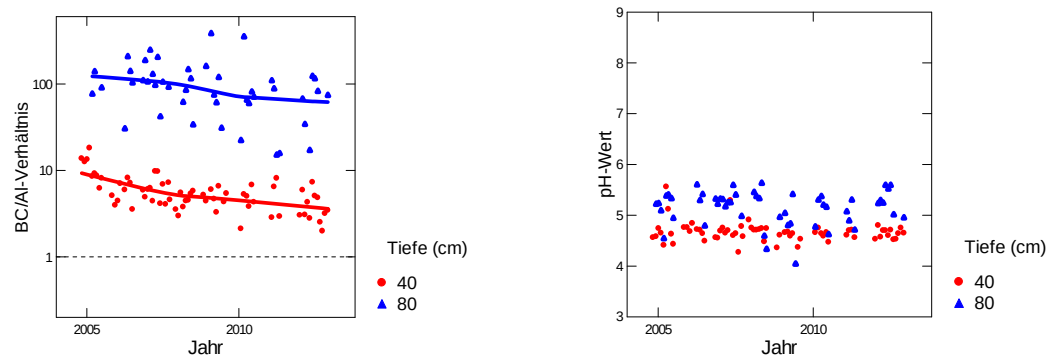
**Muttenz**

Abb. 225: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz.

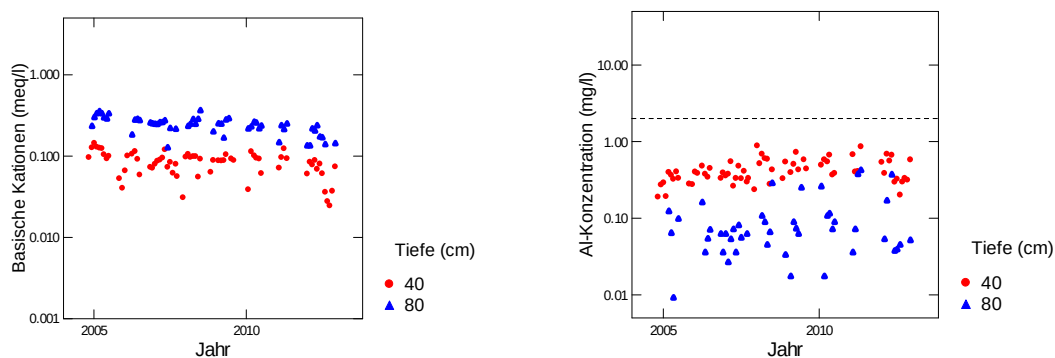


Abb. 226: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Muttenz. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

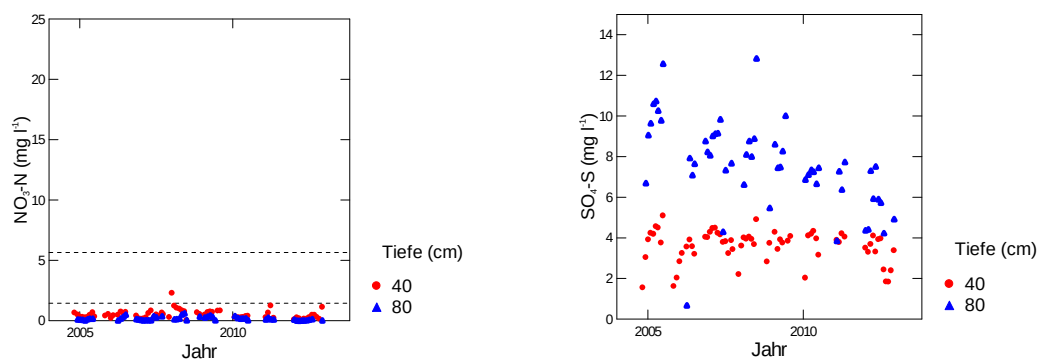


Abb. 227: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

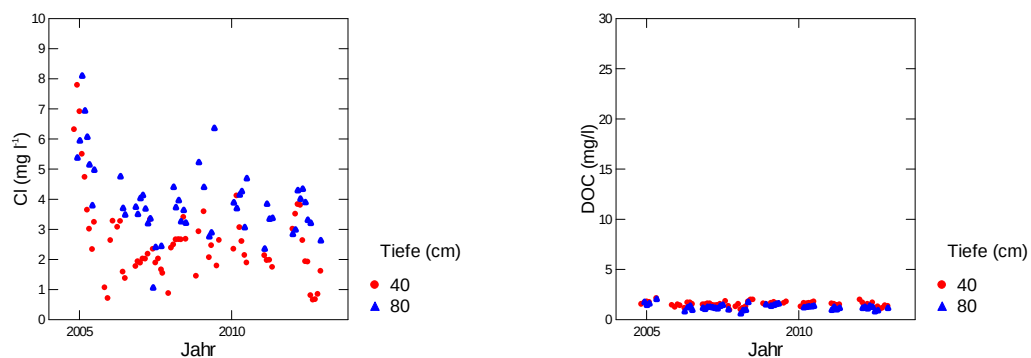


Abb. 228: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz.



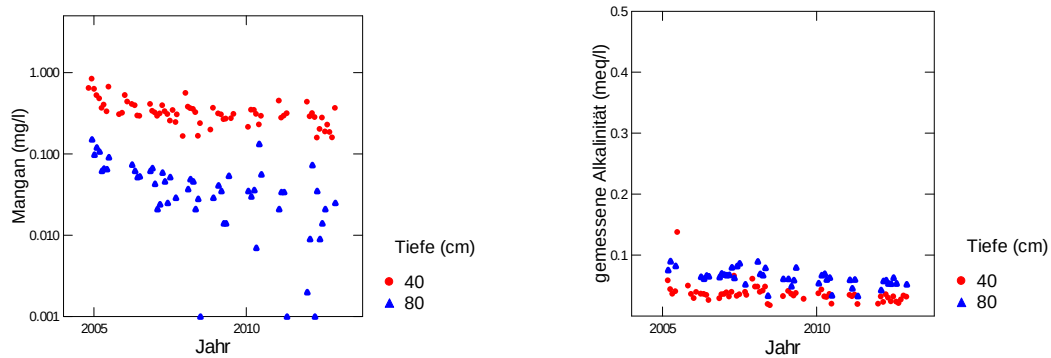


Abb. 229: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche MuttENZ.

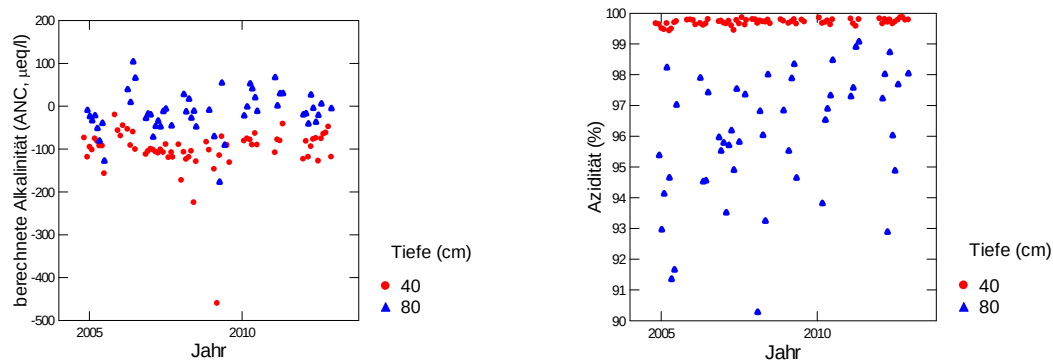


Abb. 230: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche MuttENZ.

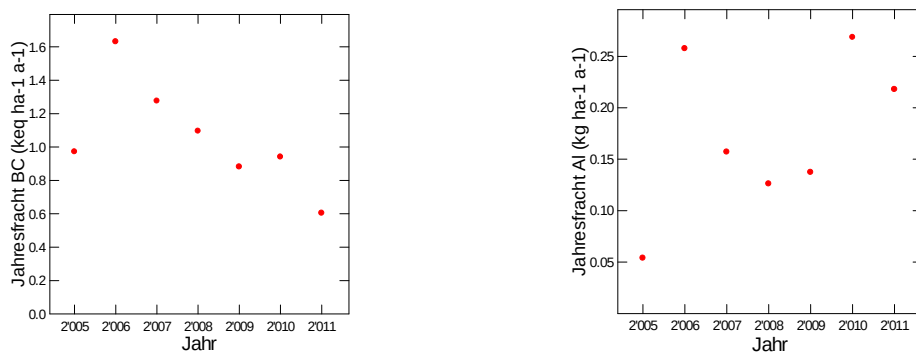


Abb. 231: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche MuttENZ in 80 cm Tiefe.

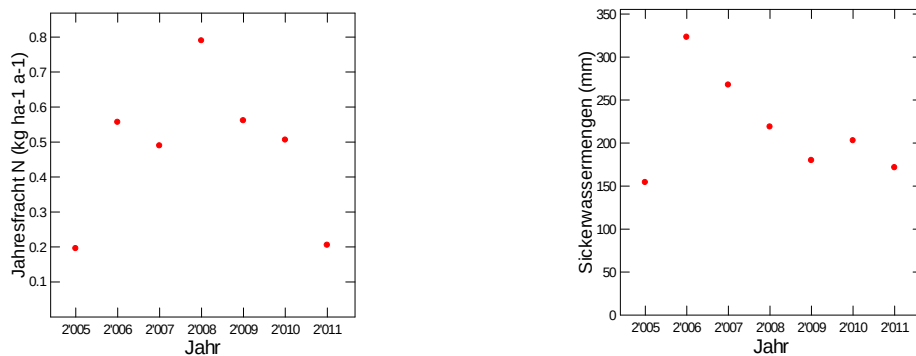


Abb. 232: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche MuttENZ in 80 cm Tiefe.

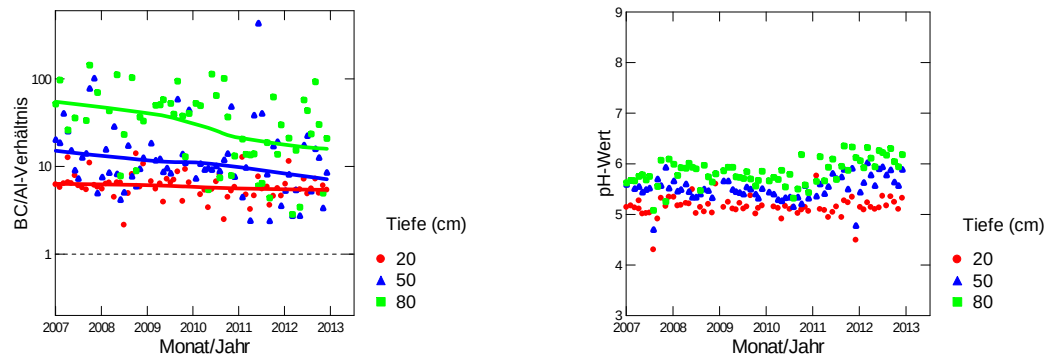
**Oberschrot**

Abb. 233: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

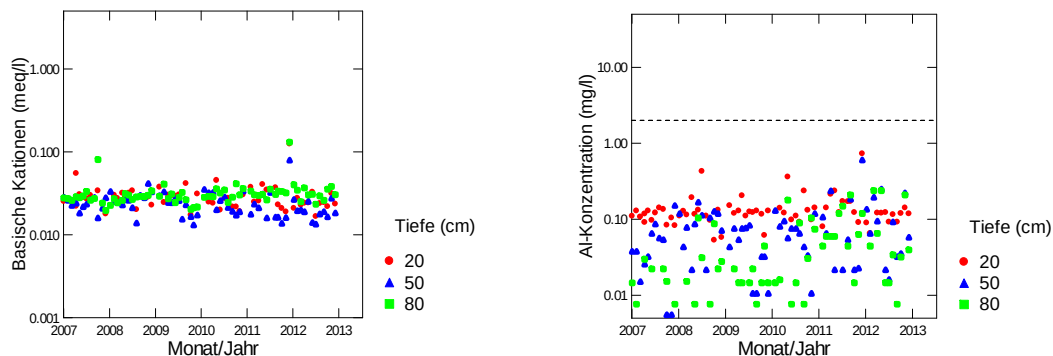


Abb. 234: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

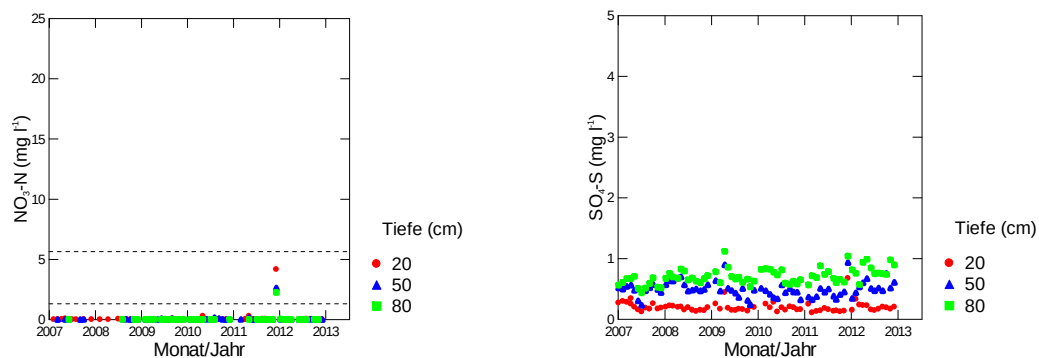


Abb. 235: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

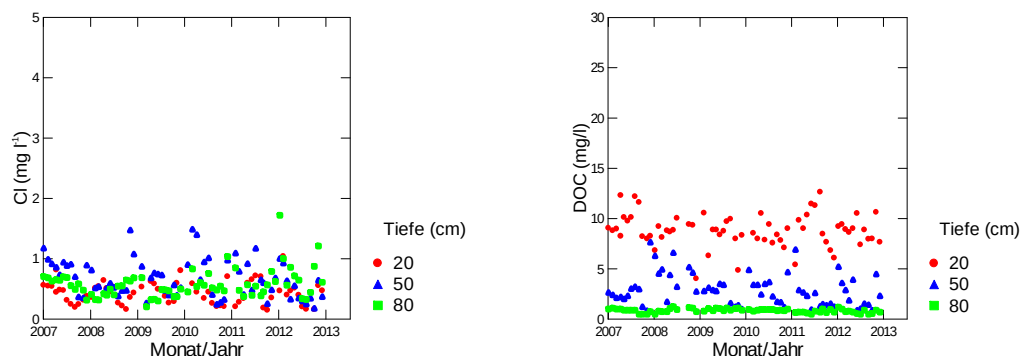


Abb. 236: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

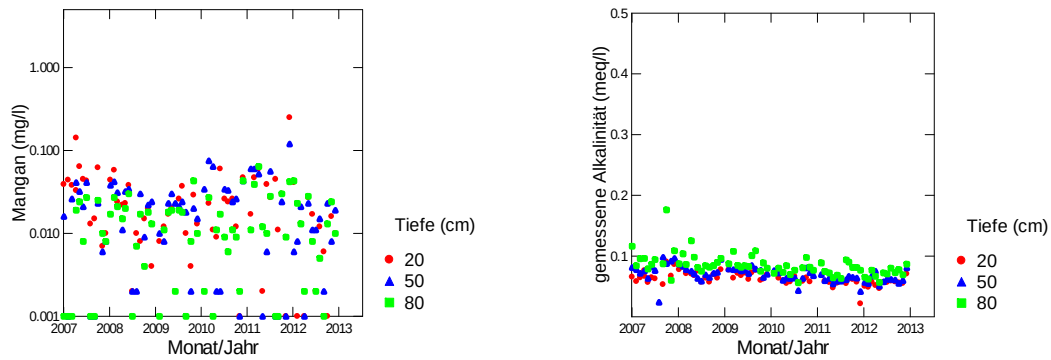


Abb. 237: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

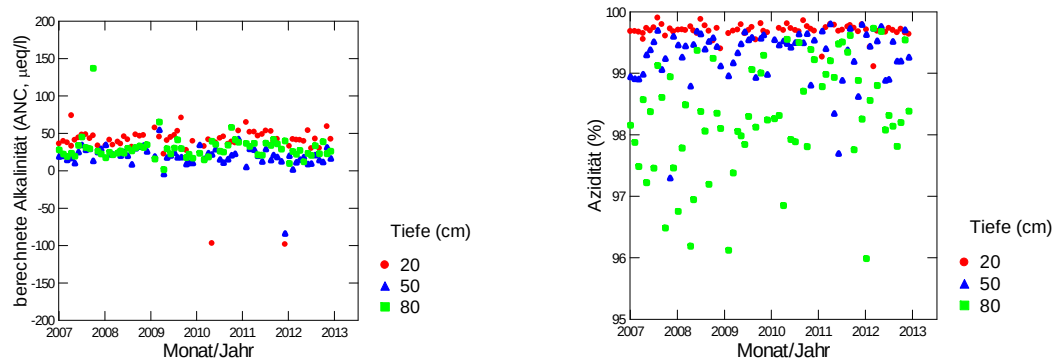


Abb. 238: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

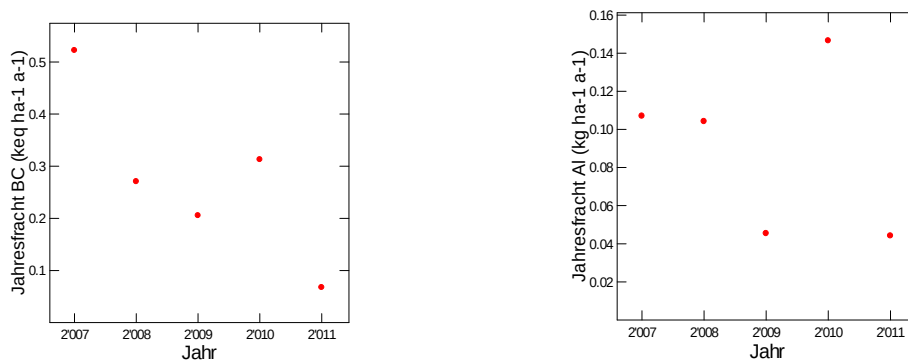


Abb. 239: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot in 80 cm Tiefe.

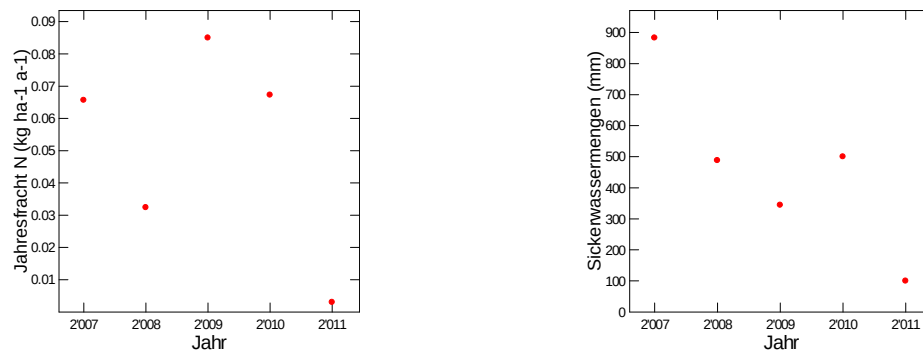


Abb. 240: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot in 80 cm Tiefe.

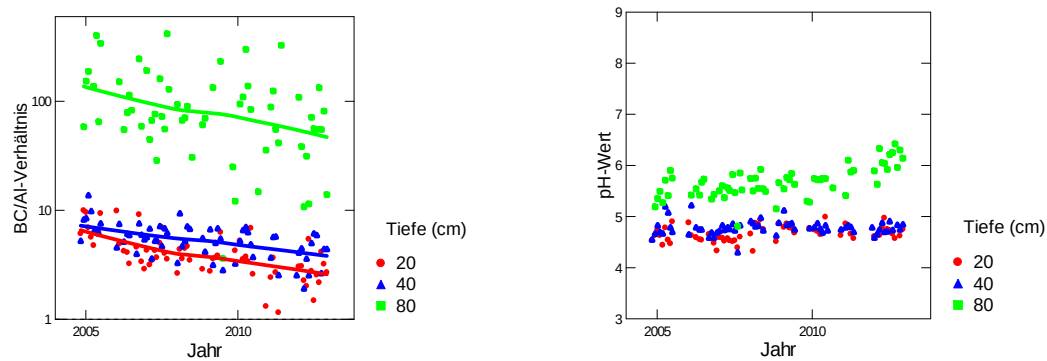
**Olsberg**

Abb. 241: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

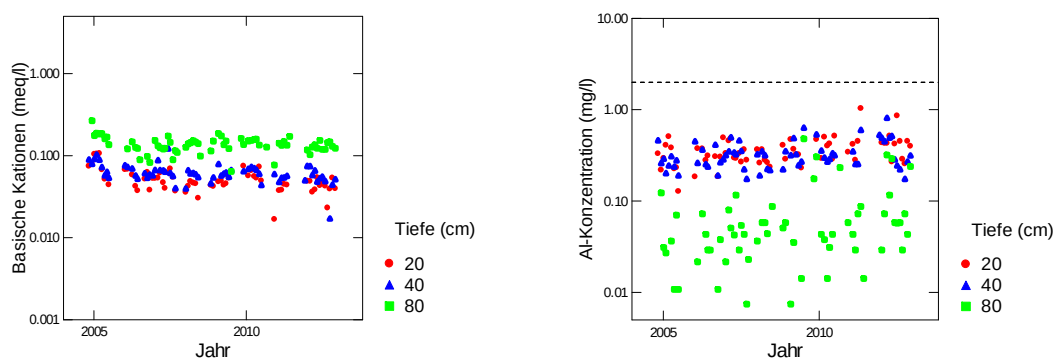


Abb. 242: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Olsberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

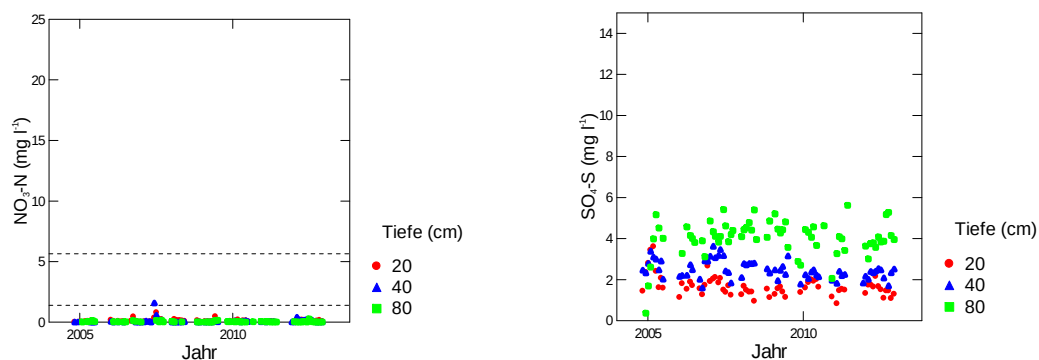


Abb. 243: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

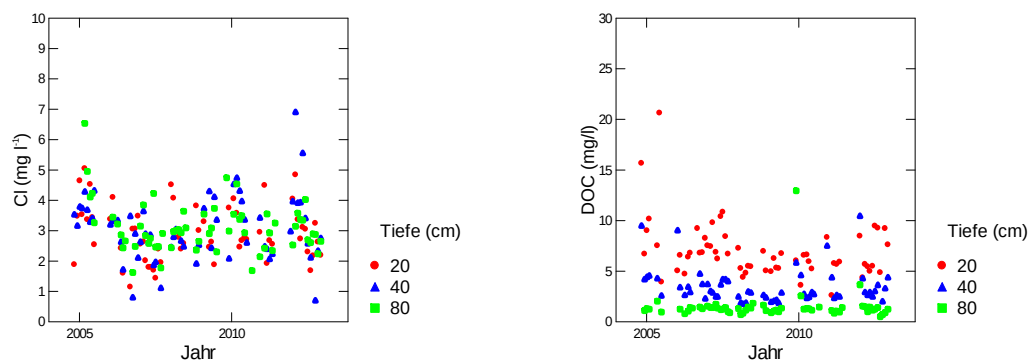


Abb. 244: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

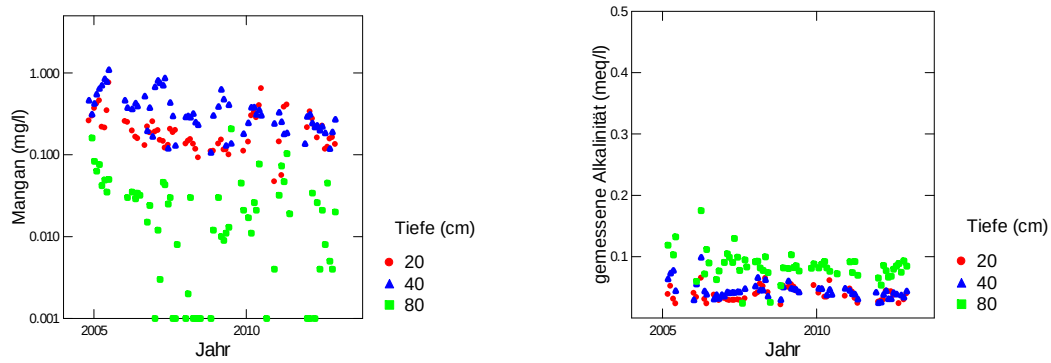


Abb. 245: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

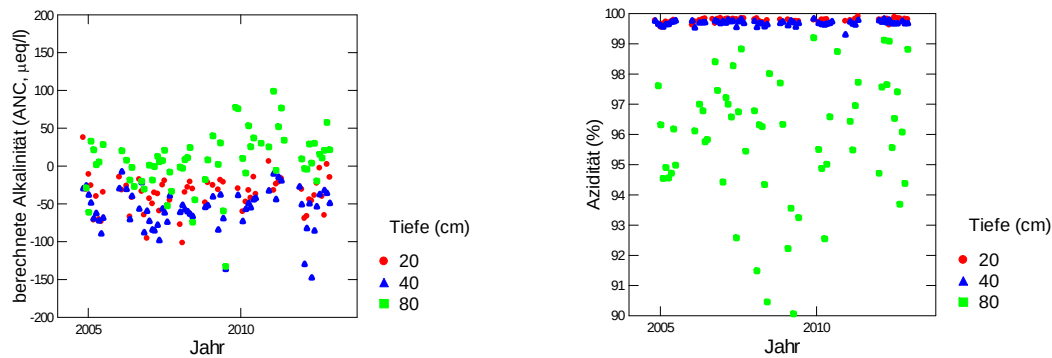


Abb. 246: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

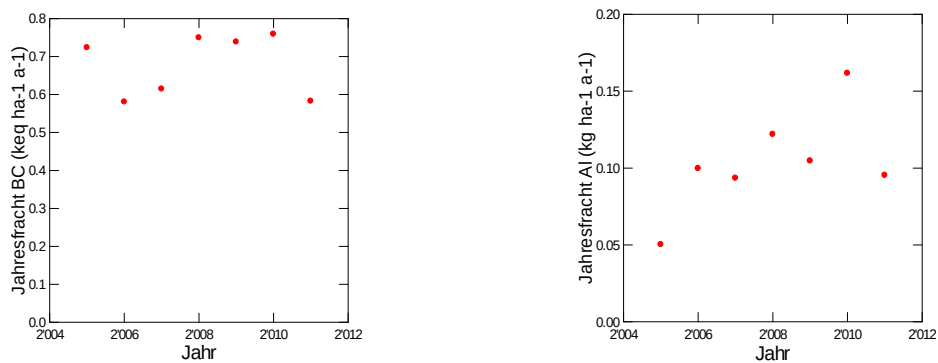


Abb. 247: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg in 80 cm Tiefe.

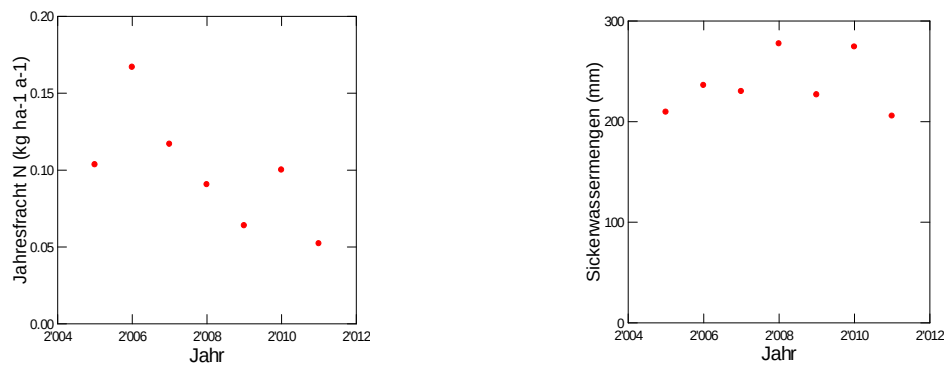


Abb. 248: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg in 80 cm Tiefe.

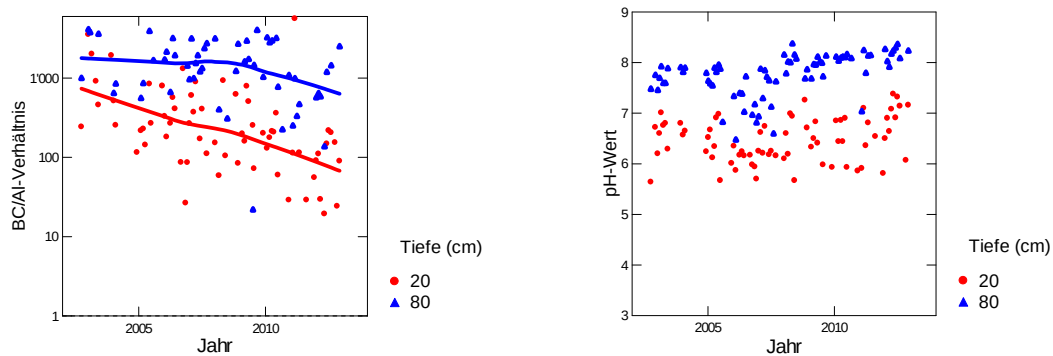
**Pratteln**

Abb. 249: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln

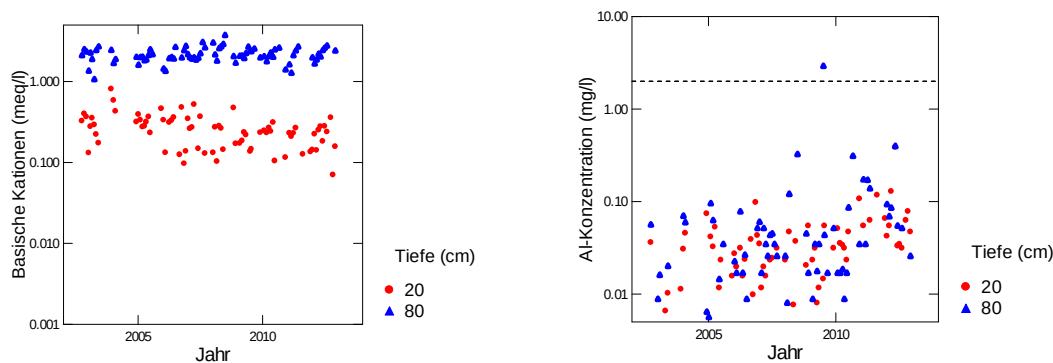


Abb. 250: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Pratteln. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

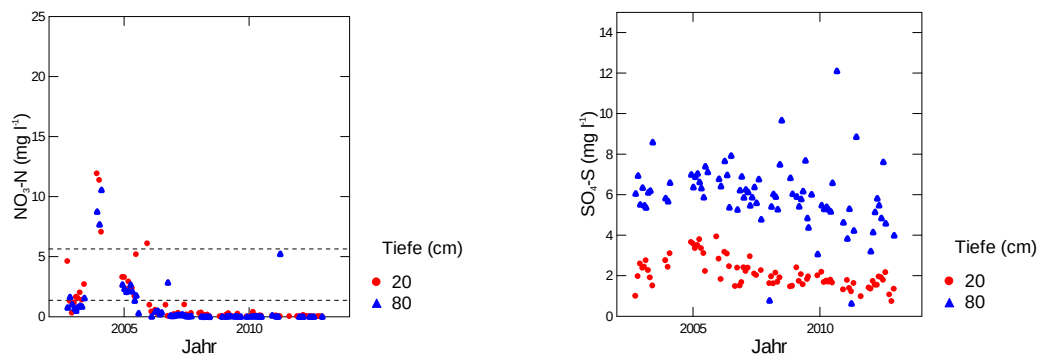


Abb. 251: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

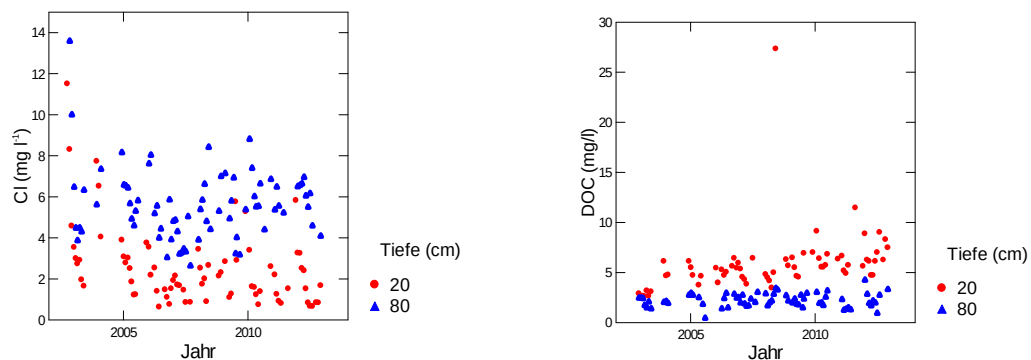


Abb. 252: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln.

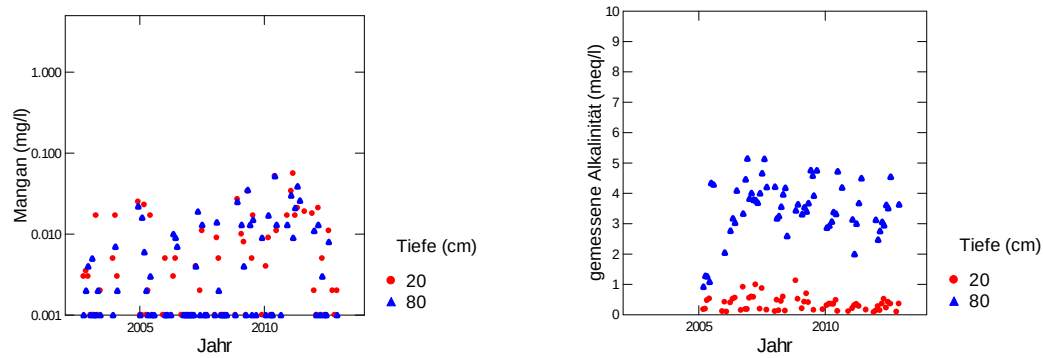


Abb. 253: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln.

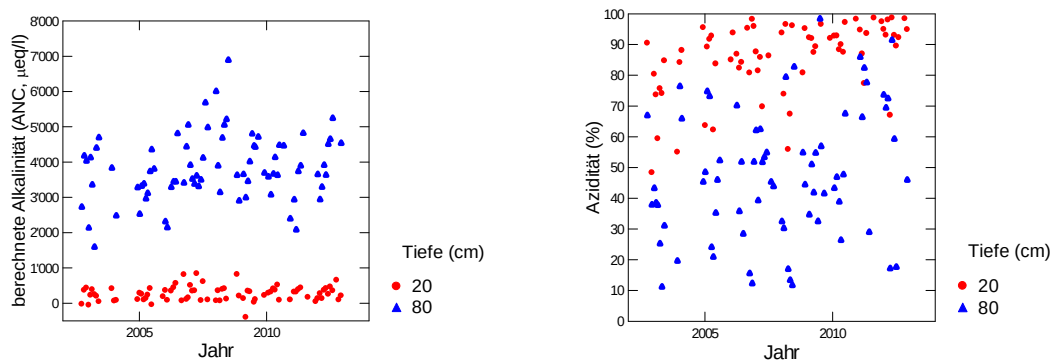


Abb. 254: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln.

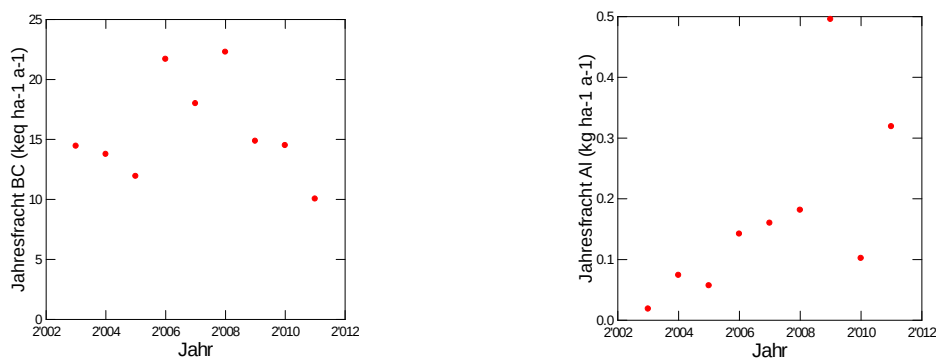


Abb. 255: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln in 80 cm Tiefe.

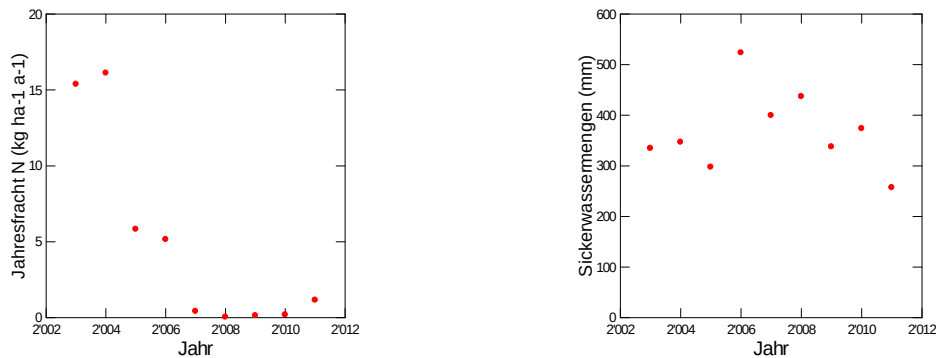


Abb. 256: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln in 80 cm Tiefe.

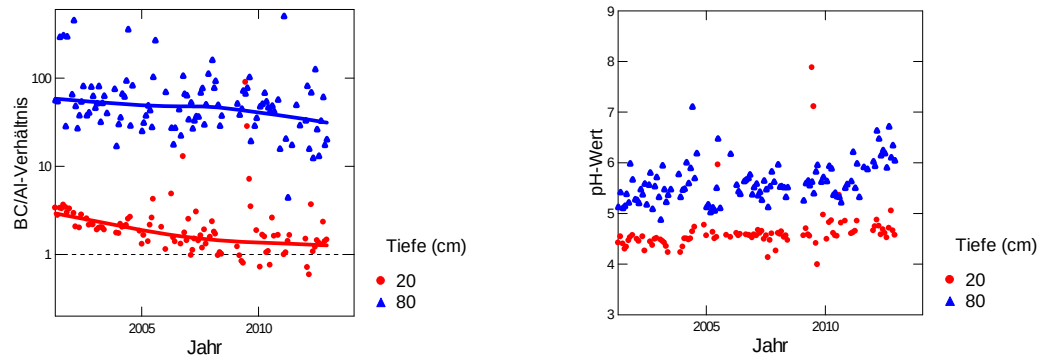
**Rafz (neue Fichtenfläche)**

Abb. 257: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz.

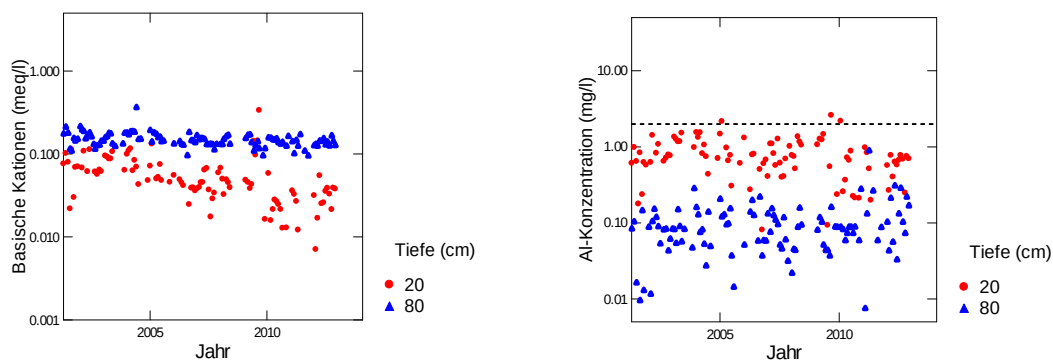


Abb. 258: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

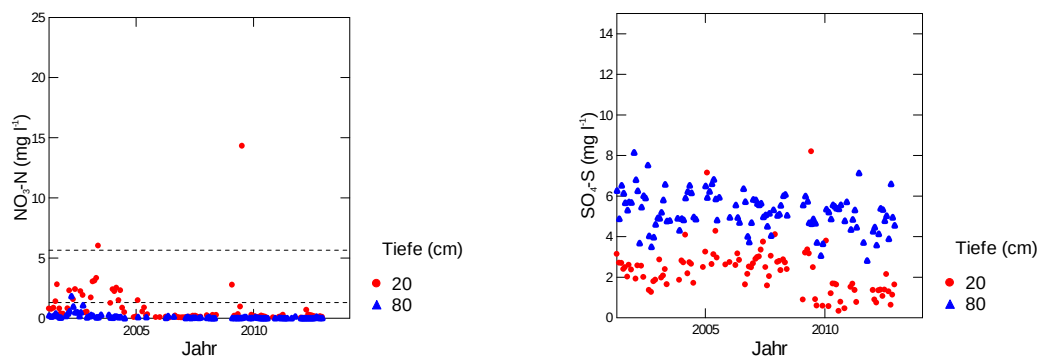


Abb. 259: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

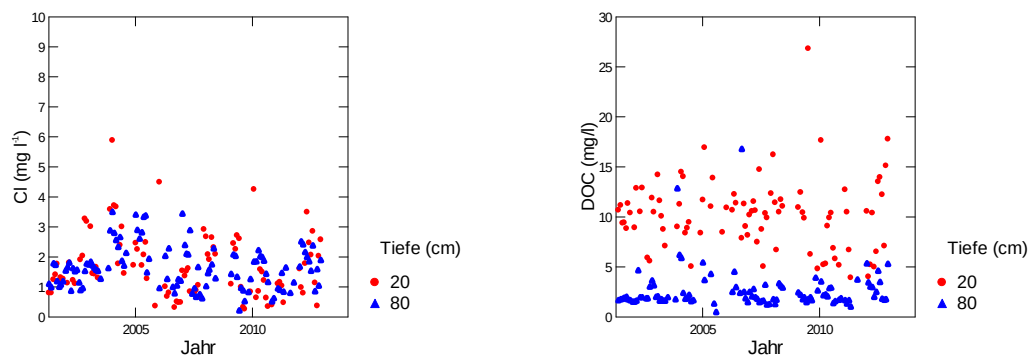


Abb. 260: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz



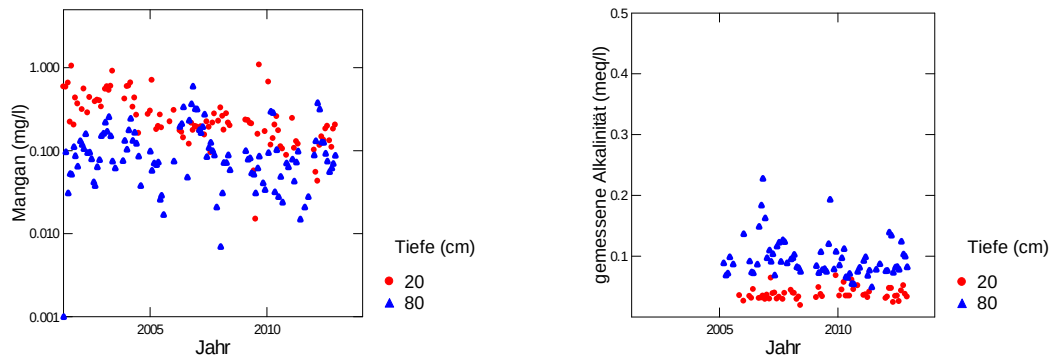


Abb. 261: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz.

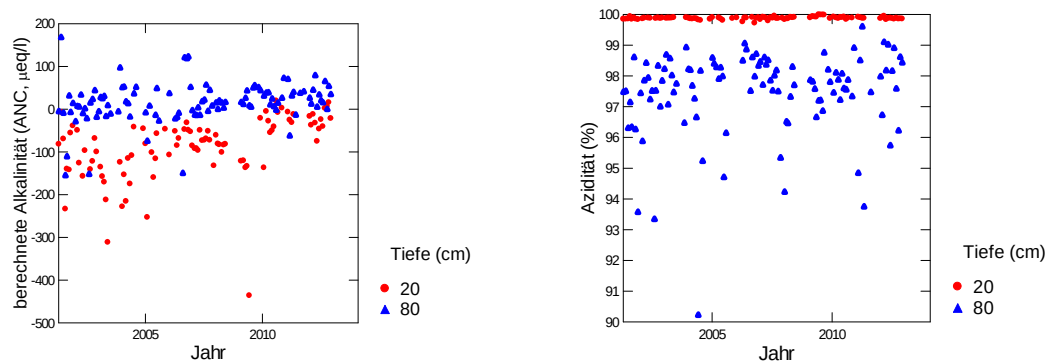


Abb. 262: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Rafz.

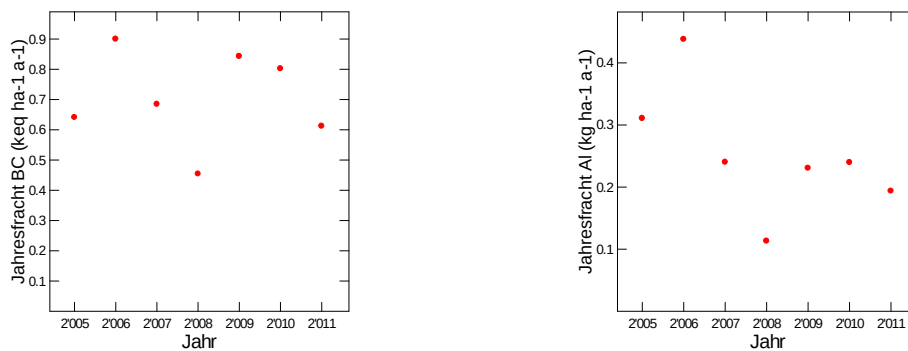


Abb. 263: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Rafz in 80 cm Tiefe.

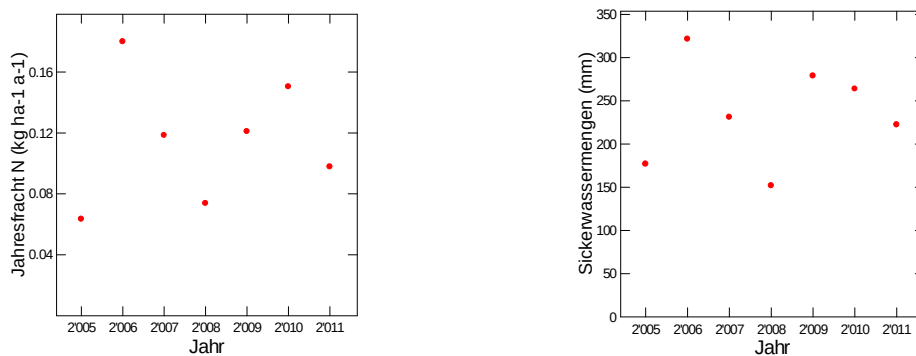


Abb. 264: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Rafz in 80 cm Tiefe.

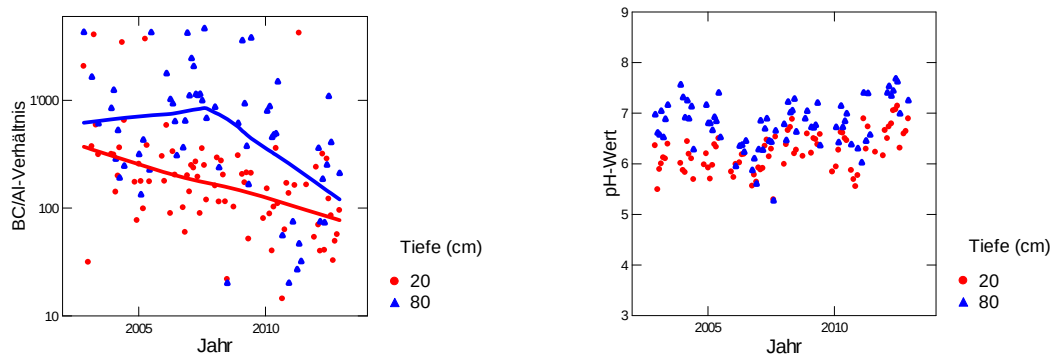
**Riehen Mittelberg**

Abb. 265: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

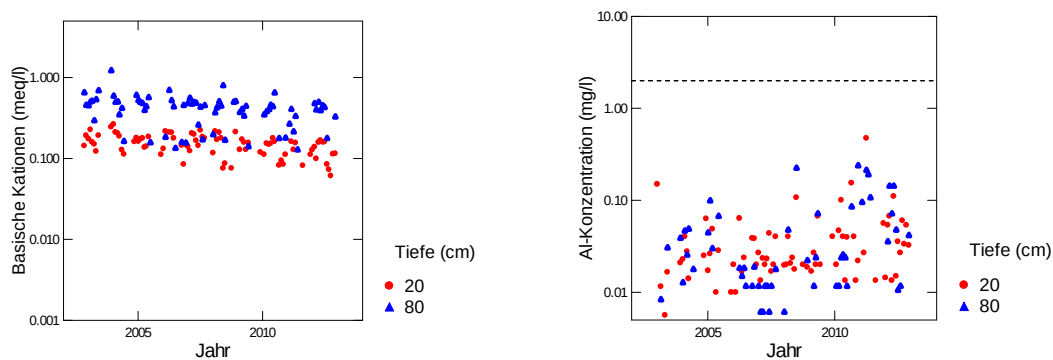


Abb. 266: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

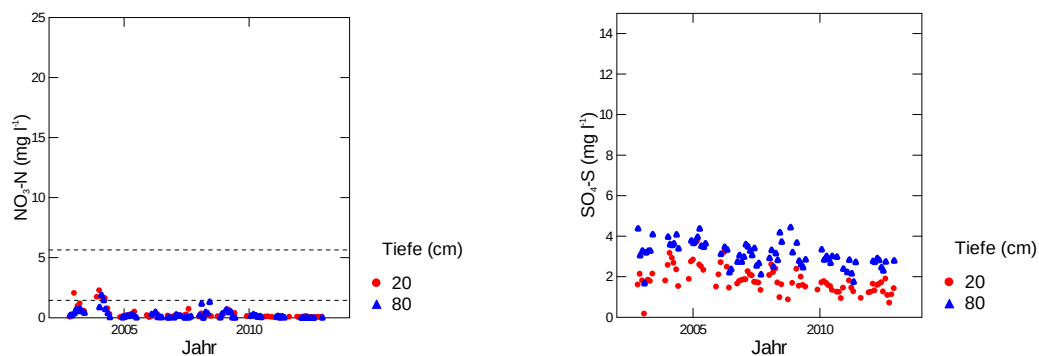


Abb. 267: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

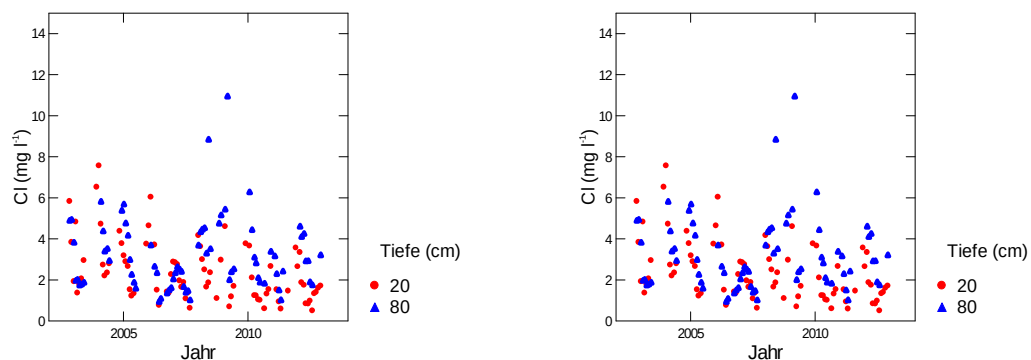


Abb. 268: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

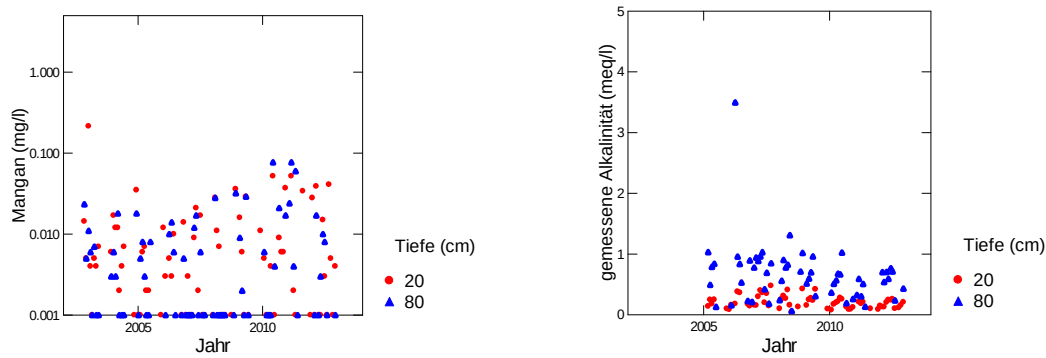


Abb. 269: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

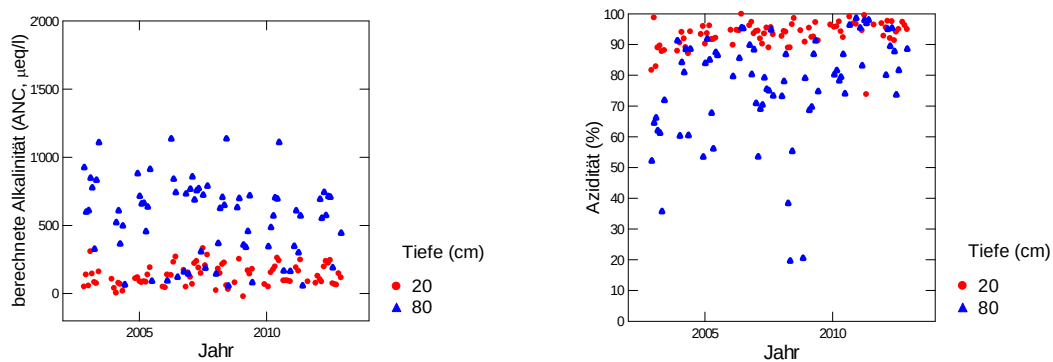


Abb. 270: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

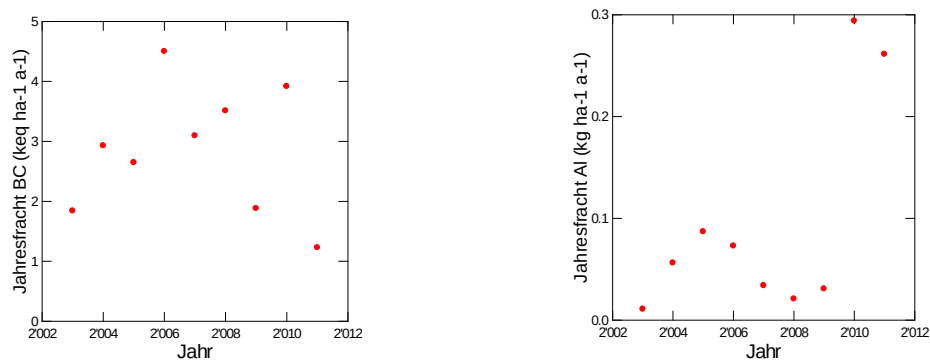


Abb. 271: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg in 80 cm Tiefe.

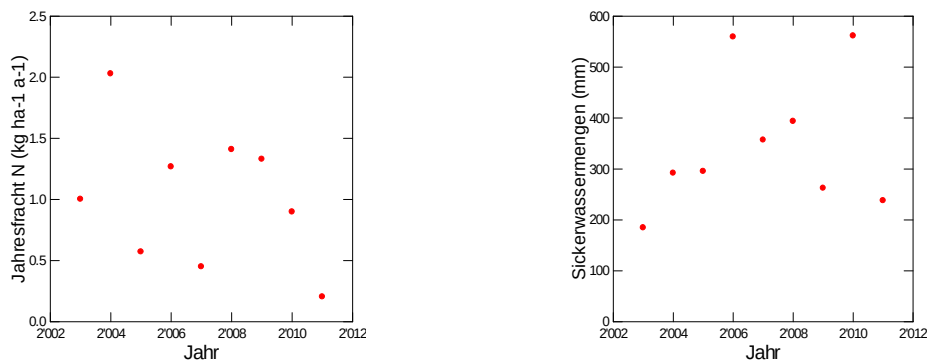


Abb. 272: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg in 80 cm Tiefe.

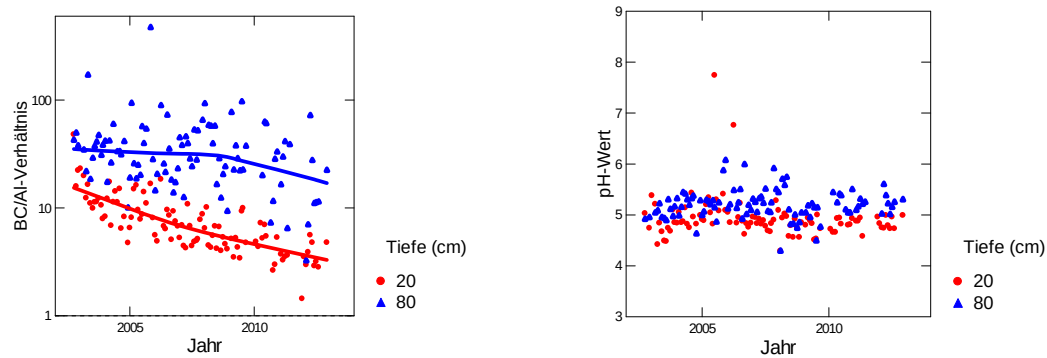
**Rünenberg**

Abb. 273: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

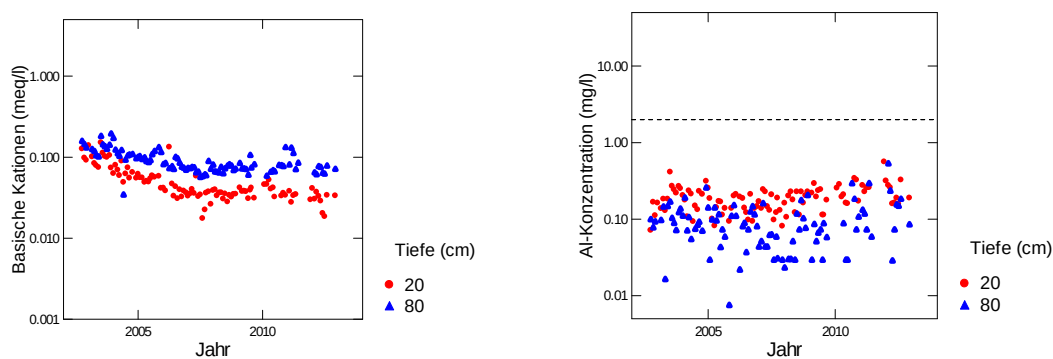


Abb. 274: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

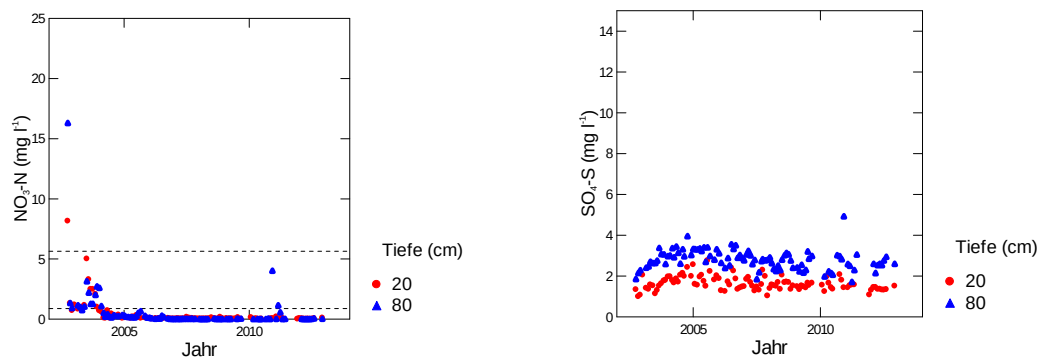


Abb. 275: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

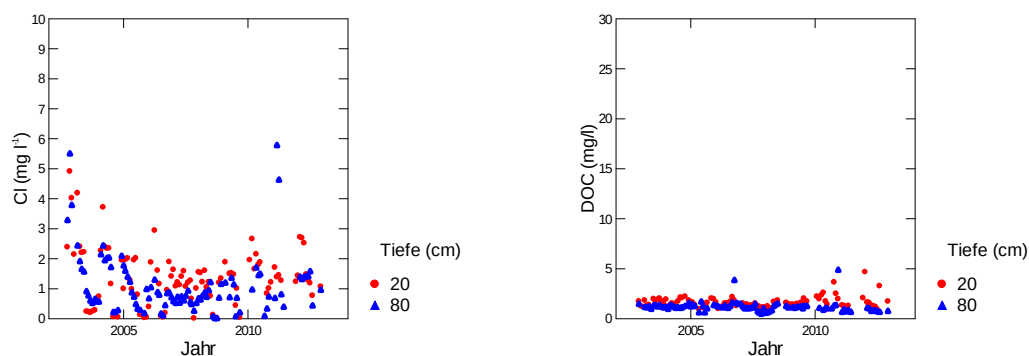


Abb. 276: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

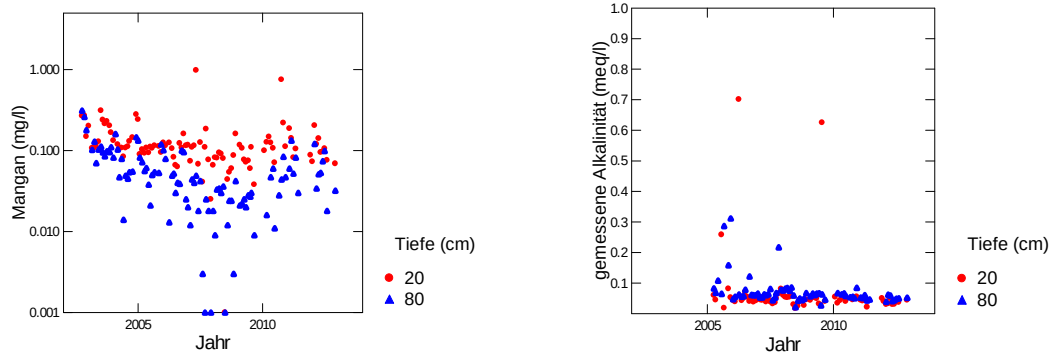


Abb. 277: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

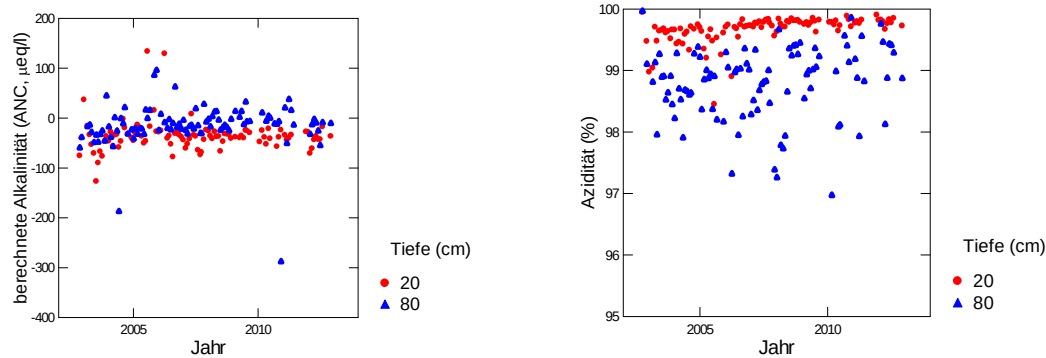


Abb. 278: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

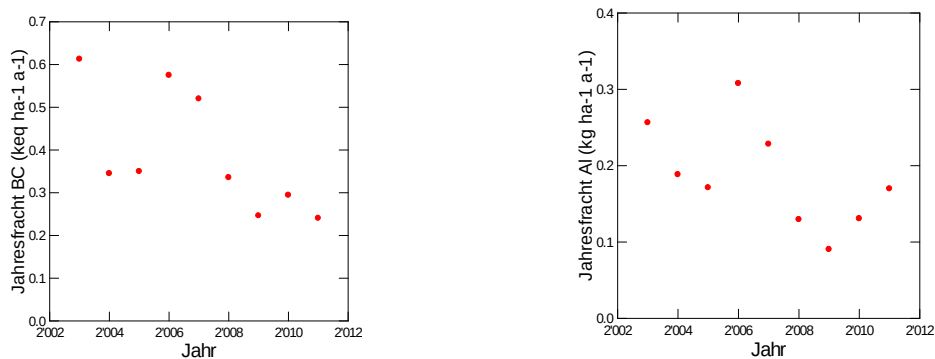


Abb. 279: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg in 80 cm Tiefe.

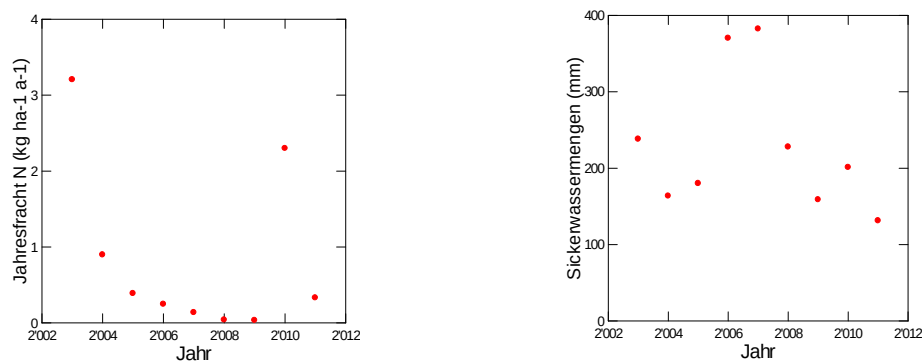


Abb. 280: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg in 80 cm Tiefe.

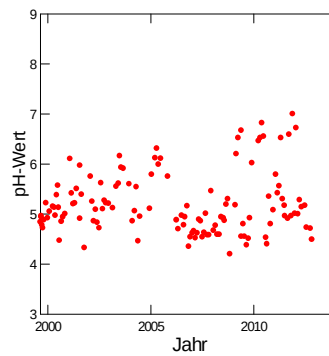
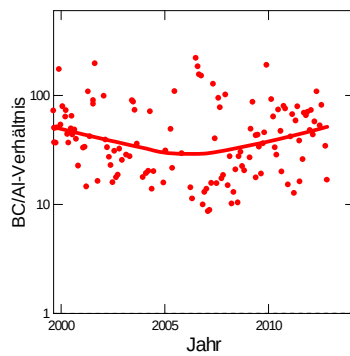
**Sagno Fichten**

Abb. 281: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

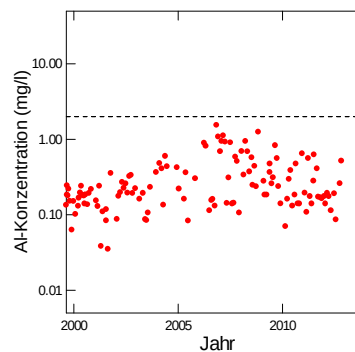
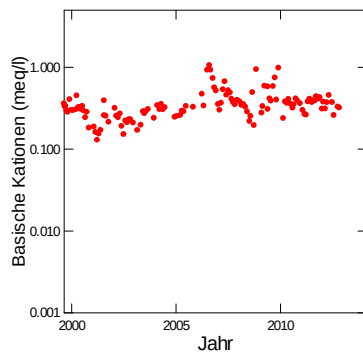


Abb. 282: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

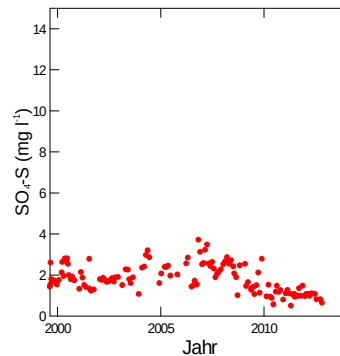
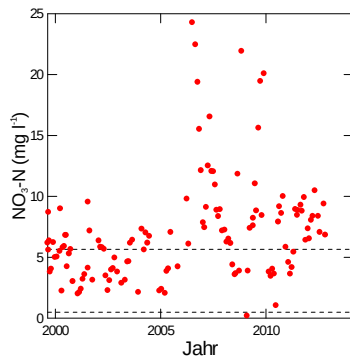


Abb. 283: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

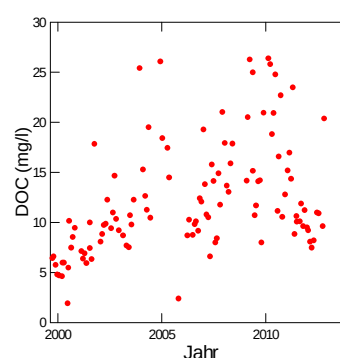
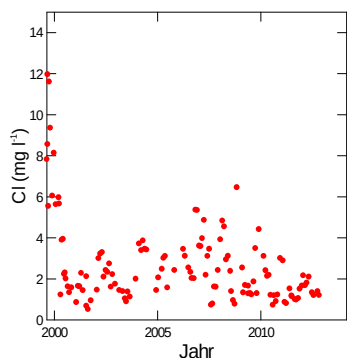


Abb. 284 Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe

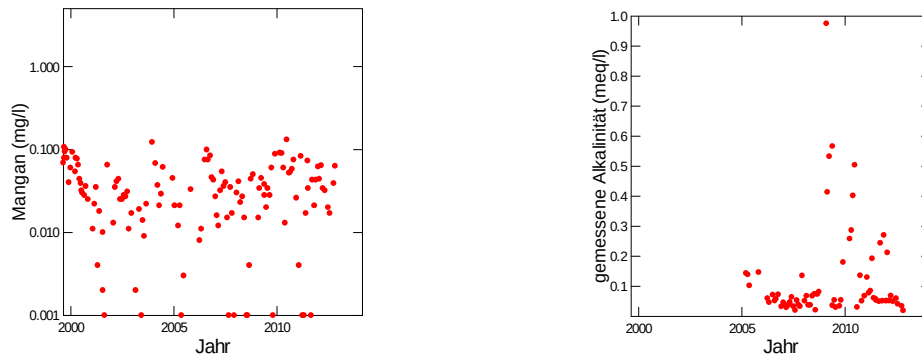


Abb. 285: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe

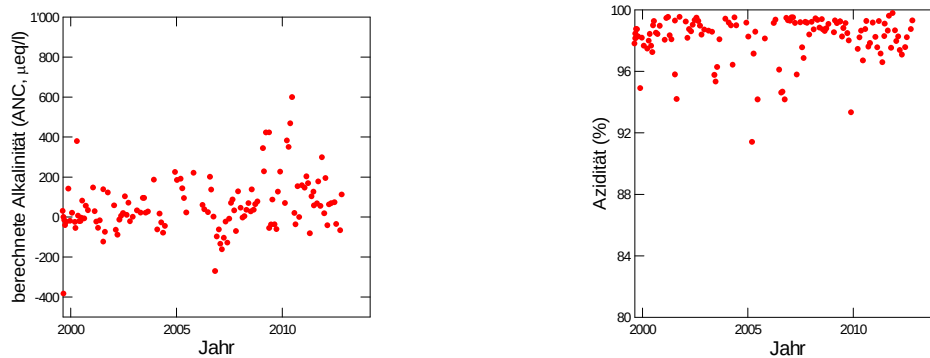


Abb. 286: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

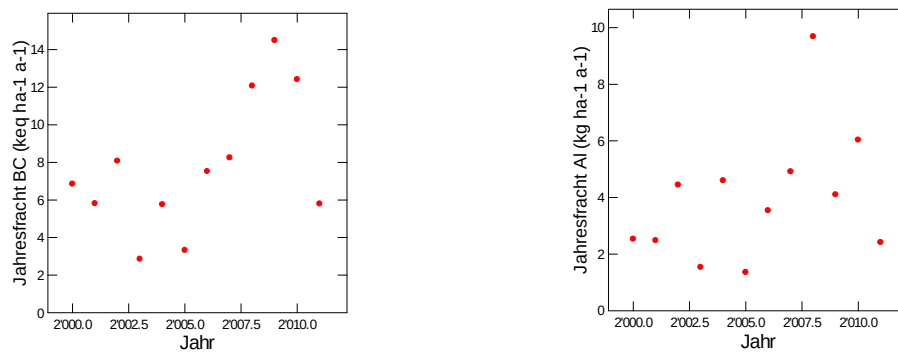


Abb. 287: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

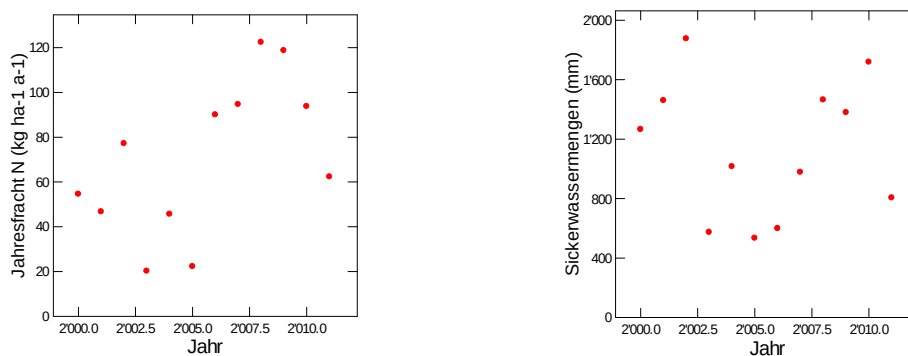


Abb. 288: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

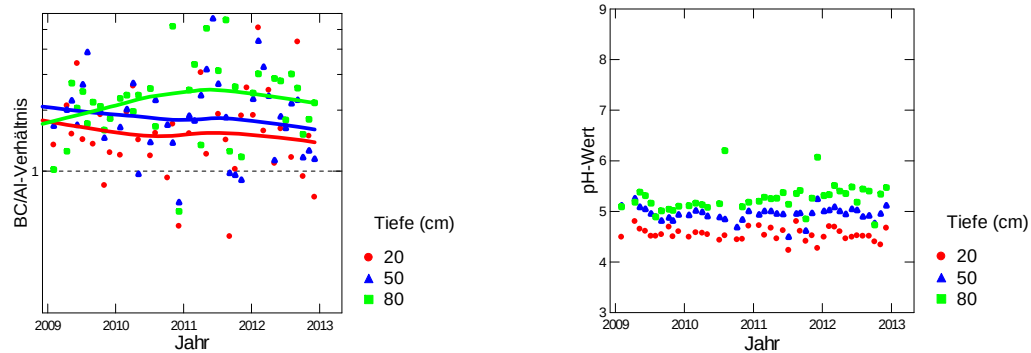
**Scheidwald**

Abb. 289: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald.

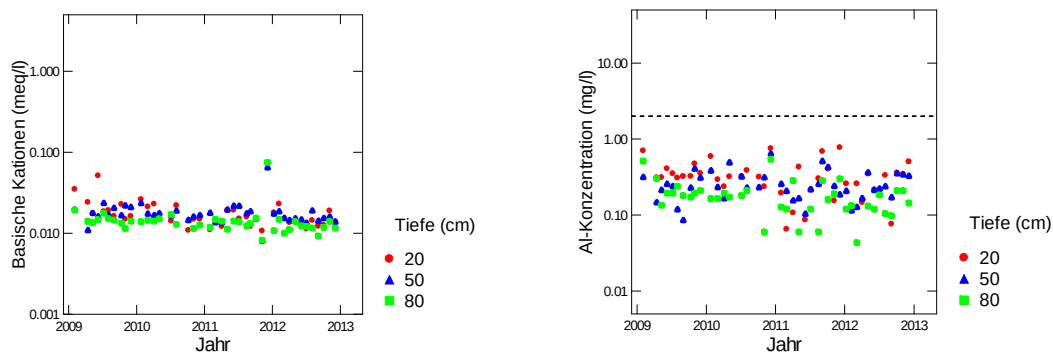


Abb. 290: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

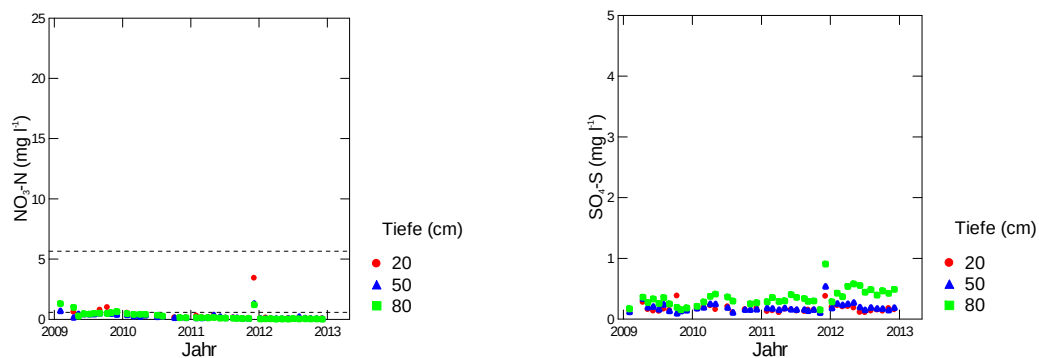


Abb. 291: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

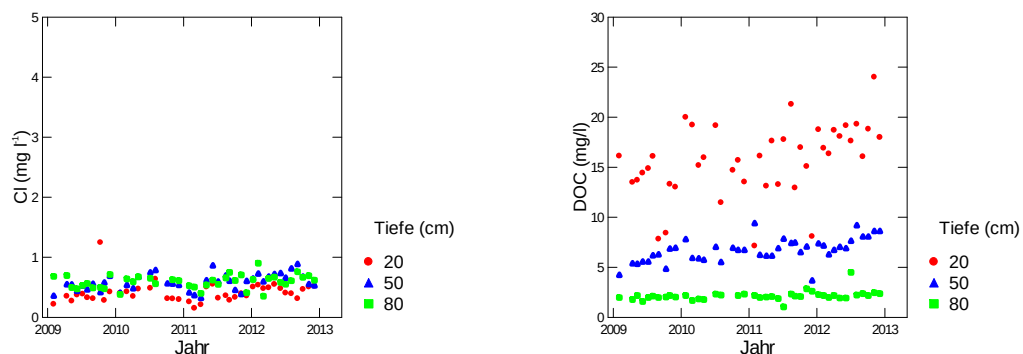


Abb. 292: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald



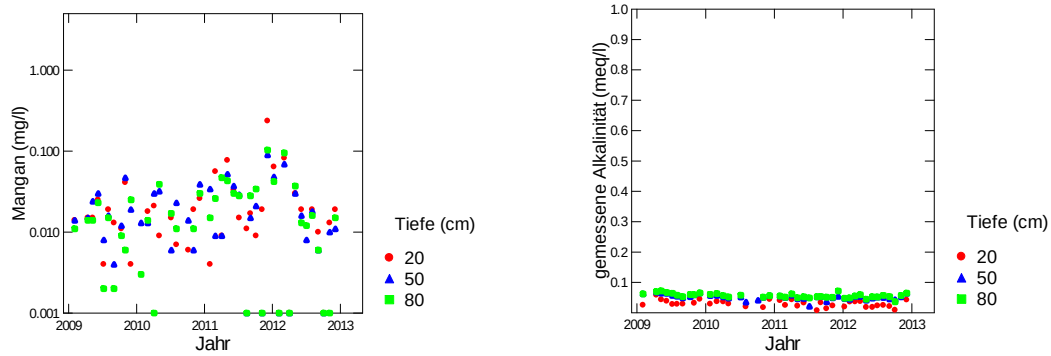


Abb. 293: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald

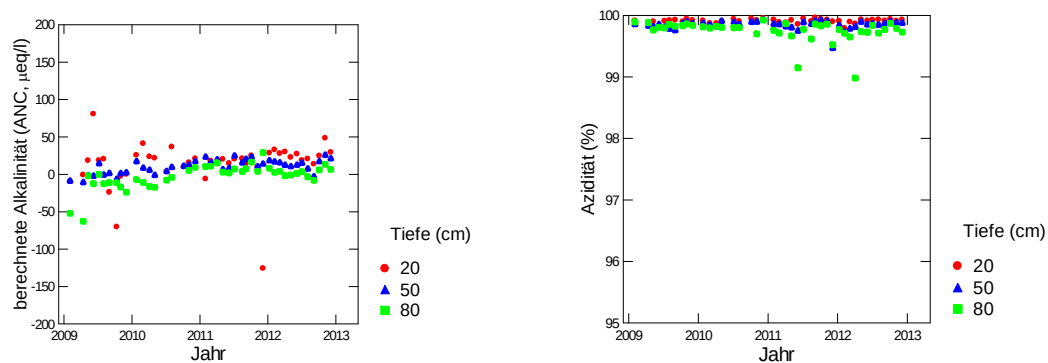


Abb. 294: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald.

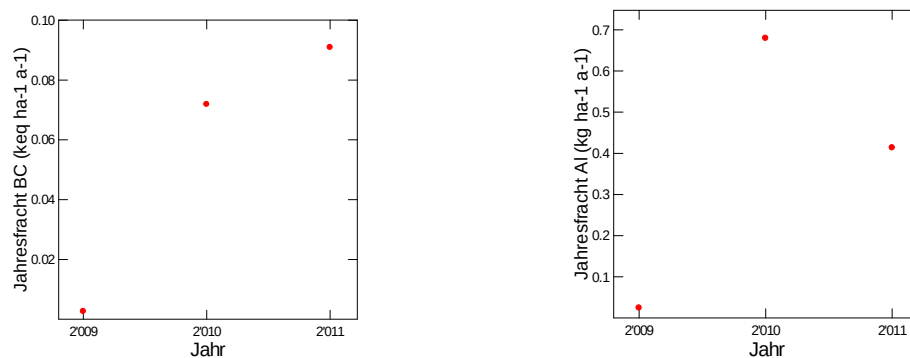


Abb. 295: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald in 80 cm Tiefe.

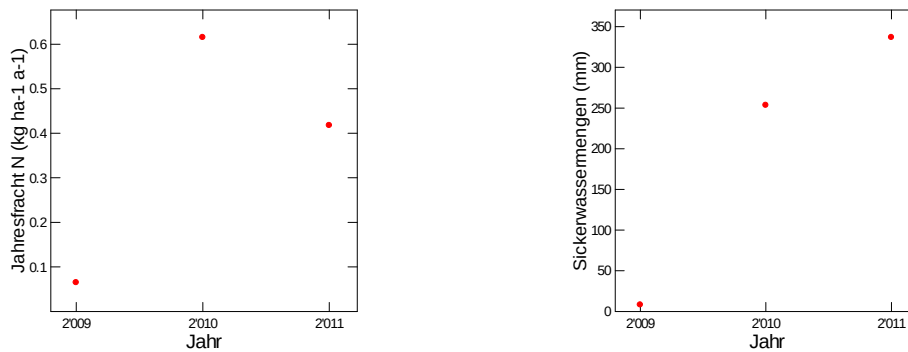


Abb. 296: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald in 80 cm Tiefe.

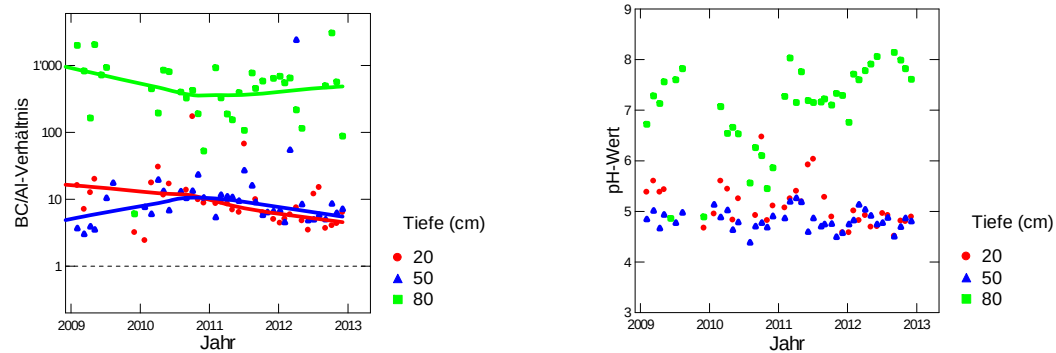
**Wangen**

Abb. 297: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen.

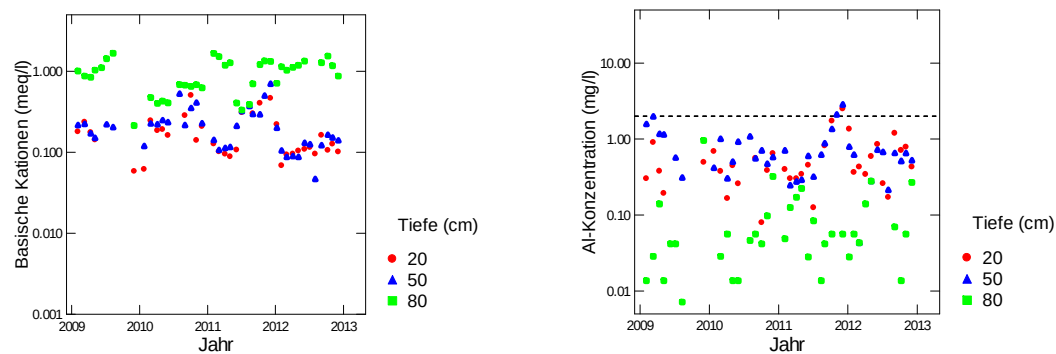


Abb. 298: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

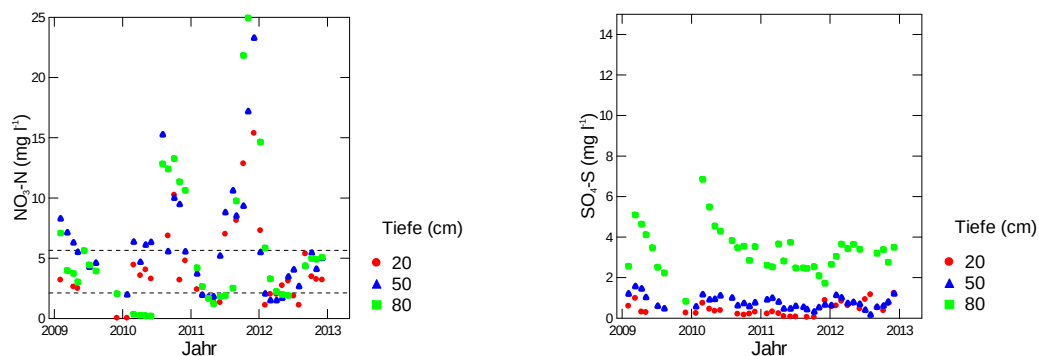


Abb. 299: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

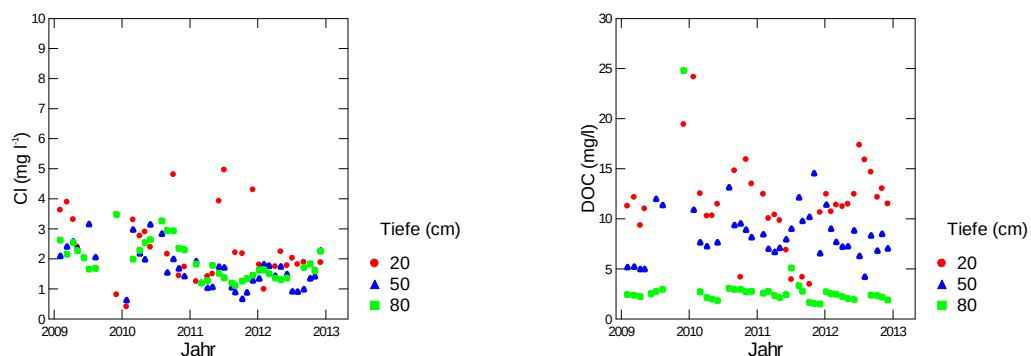


Abb. 300: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen

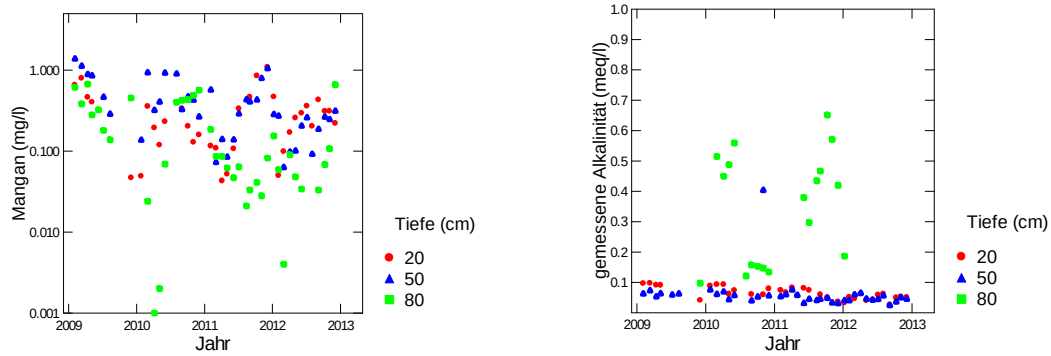


Abb. 301: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen

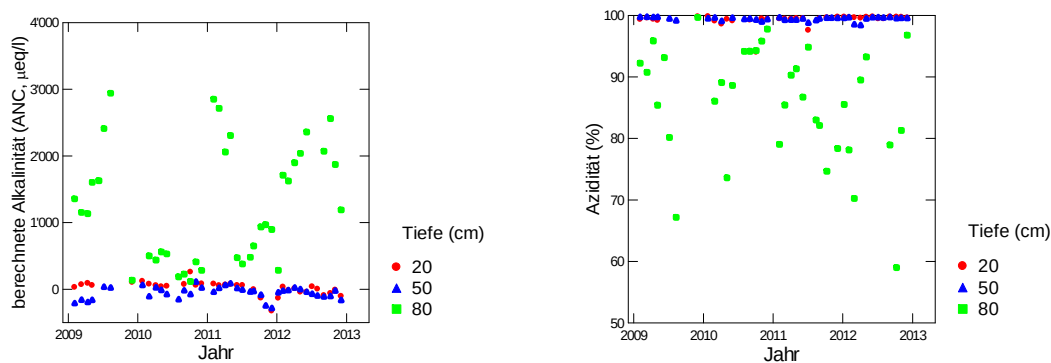


Abb. 302: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen.

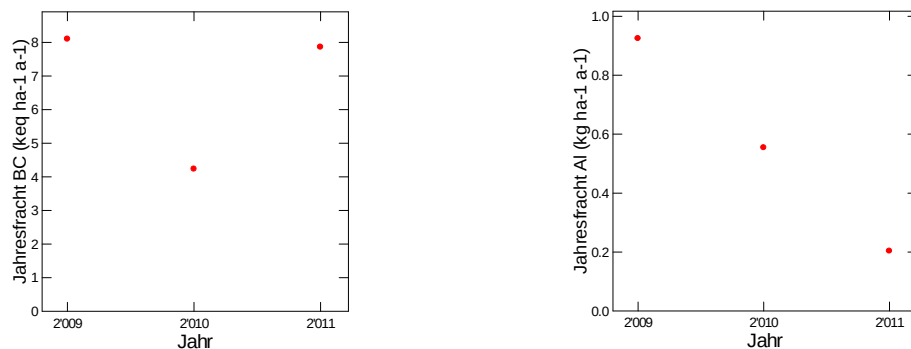


Abb. 303: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen in 80 cm Tiefe.

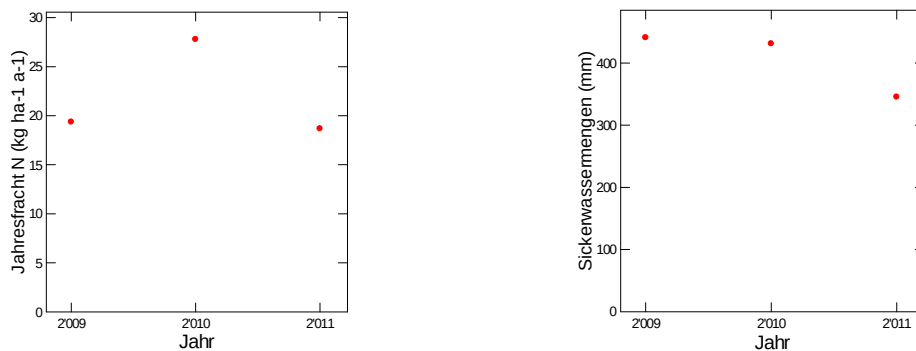


Abb. 304: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen in 80 cm Tiefe.

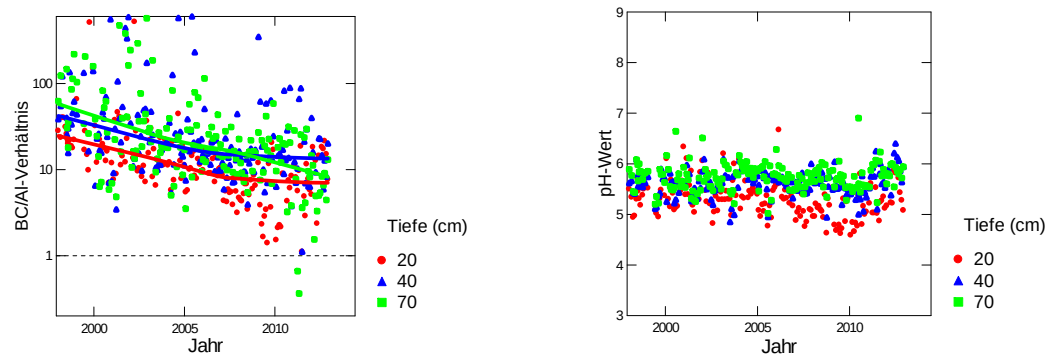
**Wengernalp**

Abb. 305: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp.

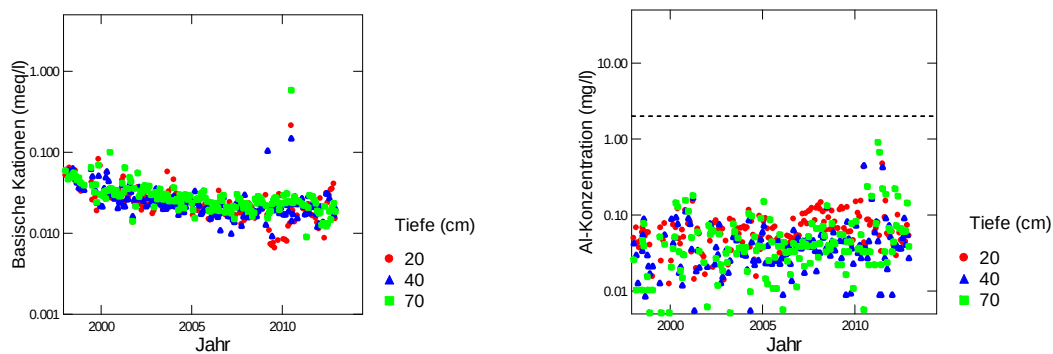


Abb. 306: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

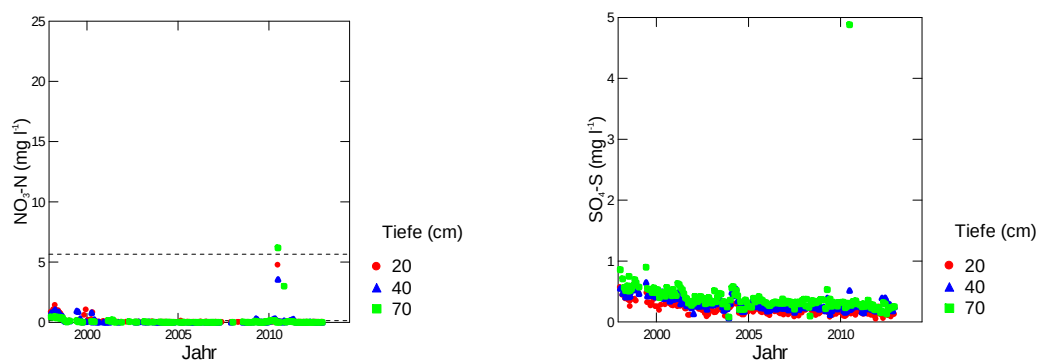


Abb. 307: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

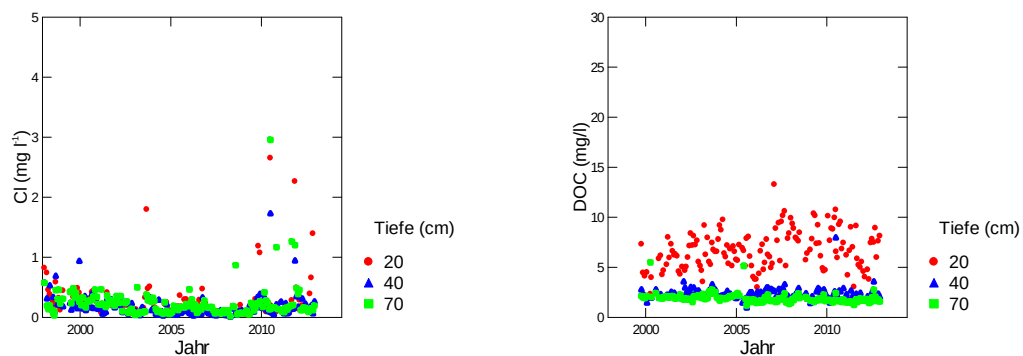


Abb. 308: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp

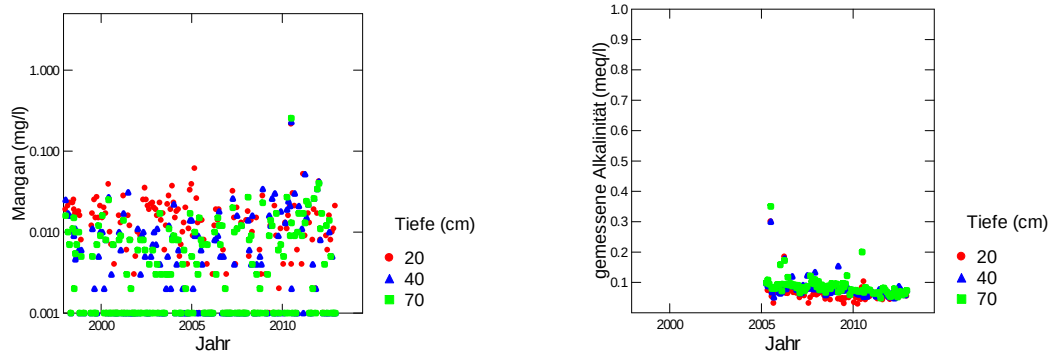


Abb. 309: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp

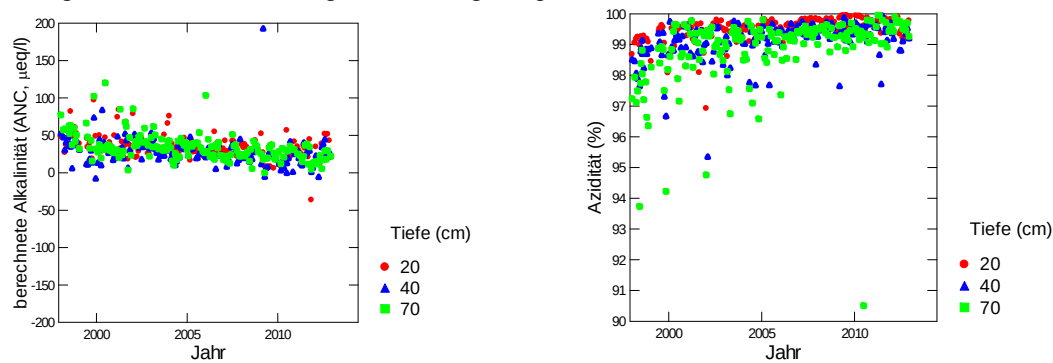


Abb. 310: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp.

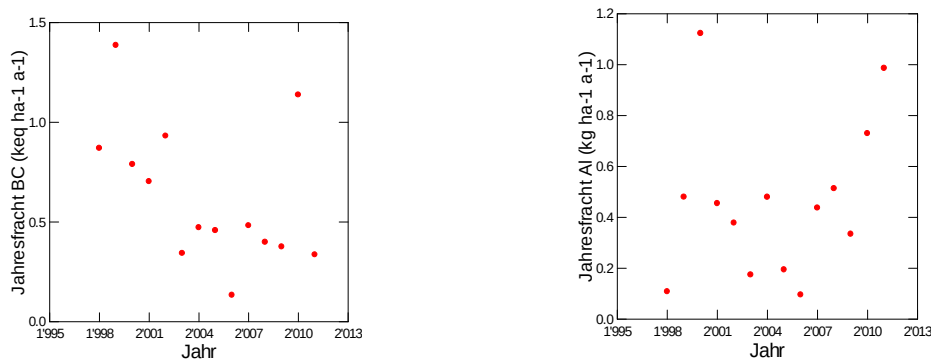


Abb. 311: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp in 70 cm Tiefe.

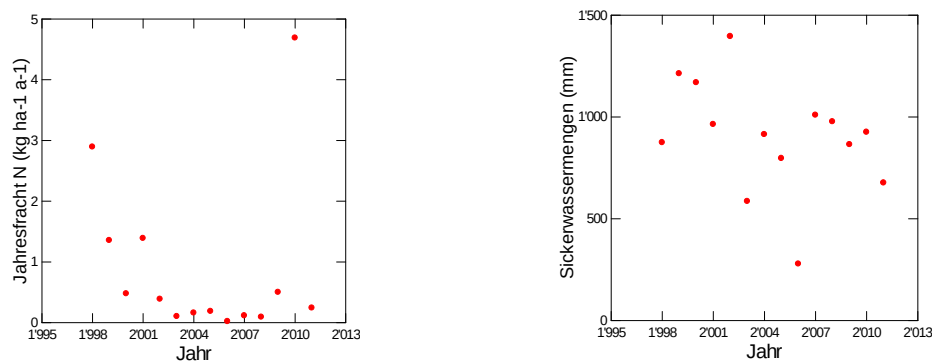


Abb. 312: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp in 70 cm Tiefe.

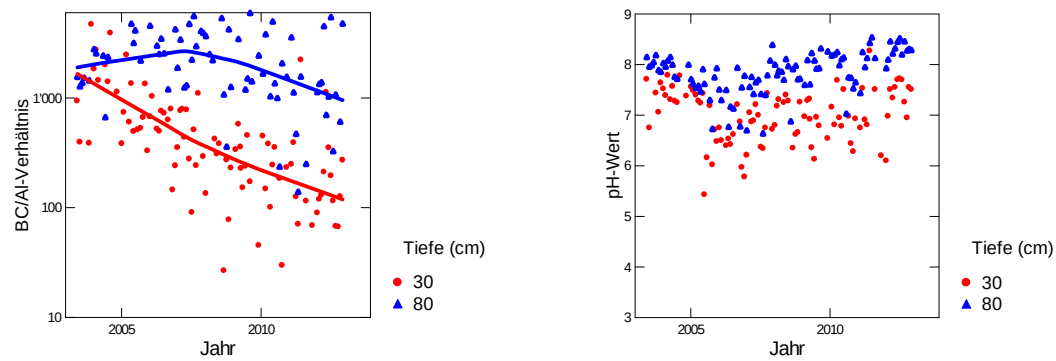
**Winterthur**

Abb. 313: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur.

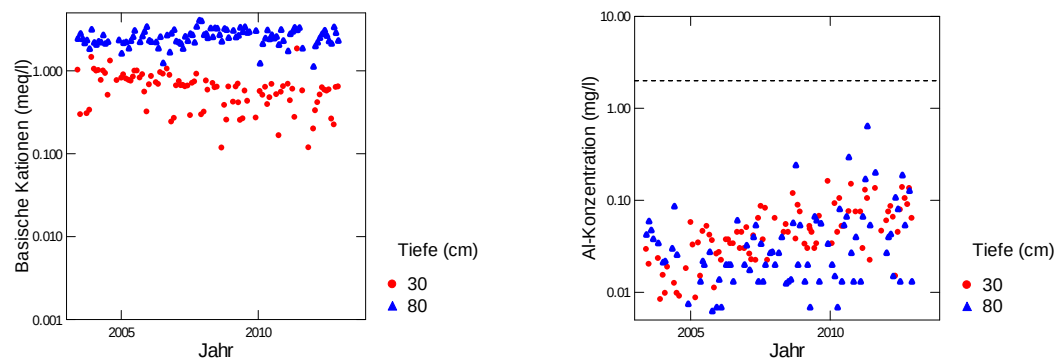


Abb. 314: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

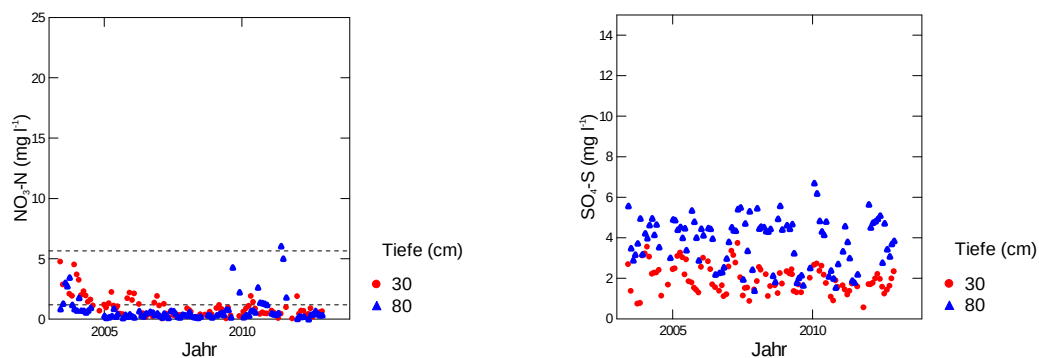


Abb. 315: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

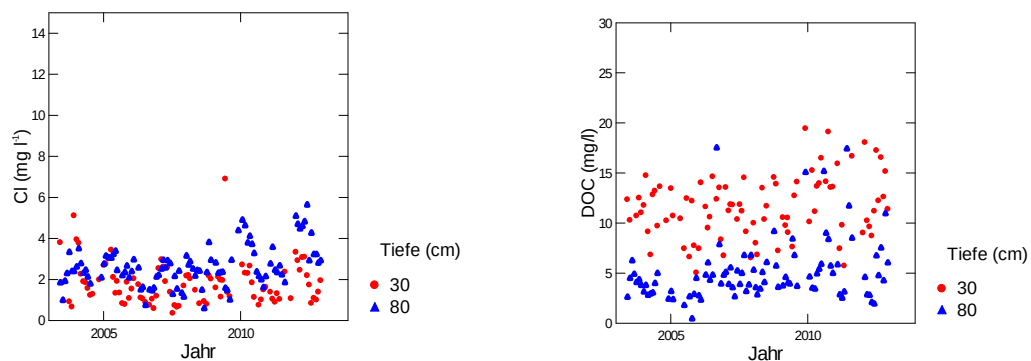


Abb. 316: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur

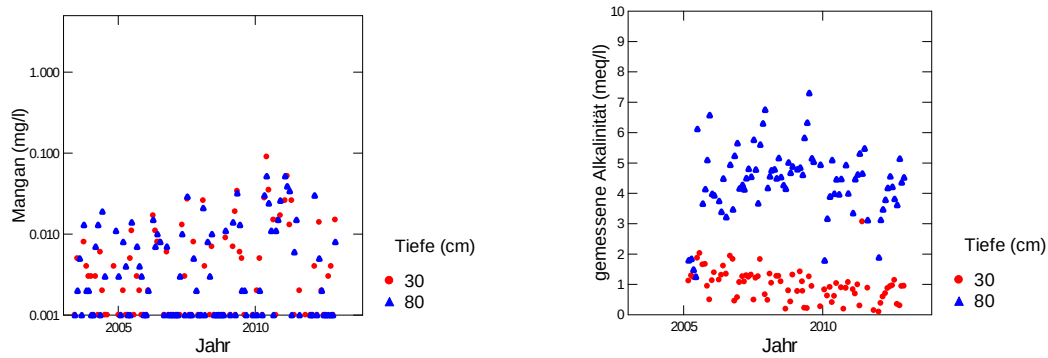


Abb. 317: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur

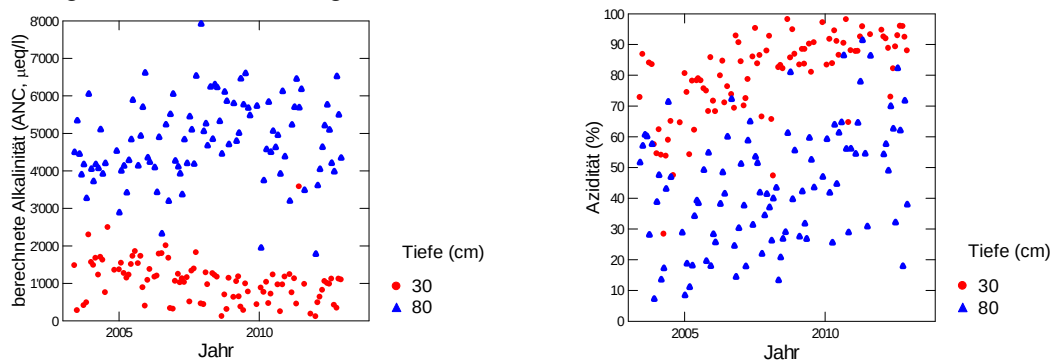


Abb. 318: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur.

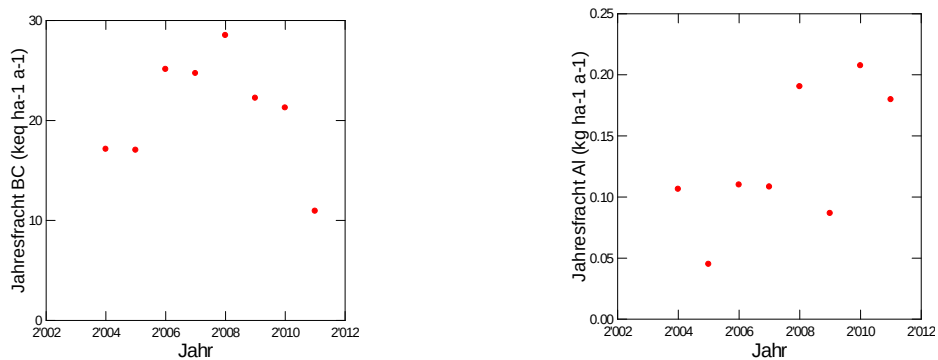


Abb. 319: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur in 80 cm Tiefe.

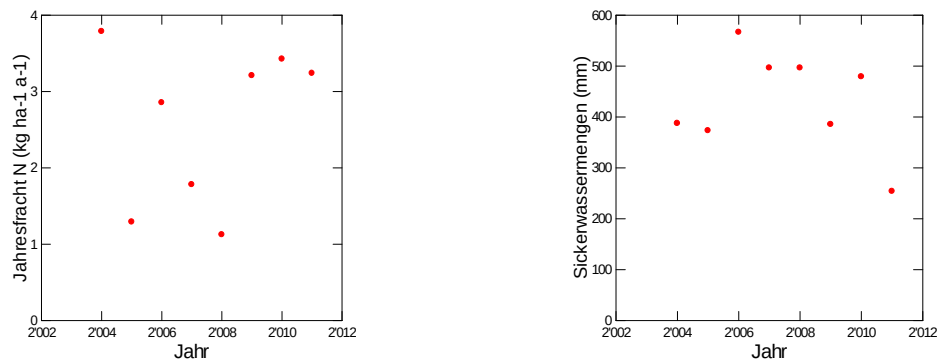


Abb. 320: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur in 80 cm Tiefe.

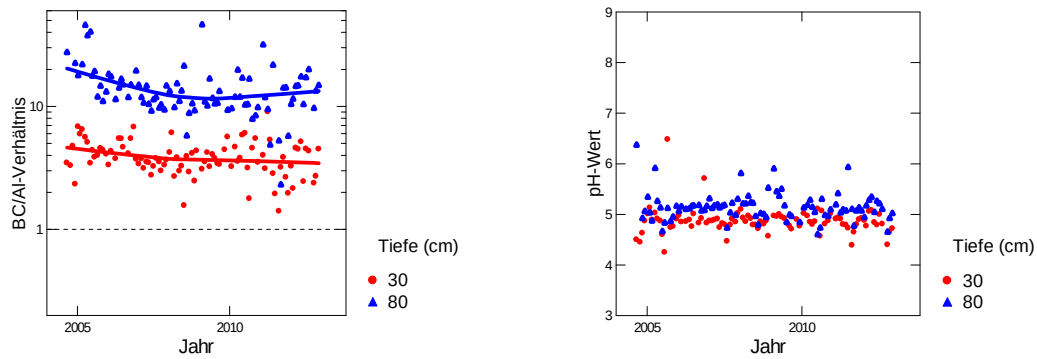
**Zofingen**

Abb. 321: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

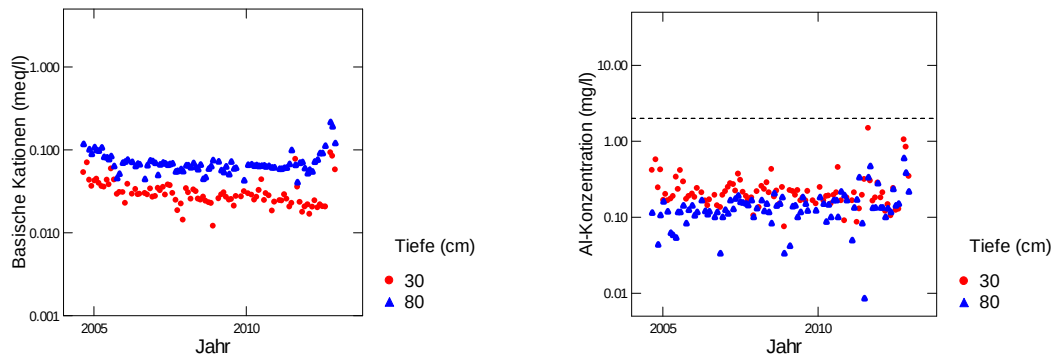


Abb. 322: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

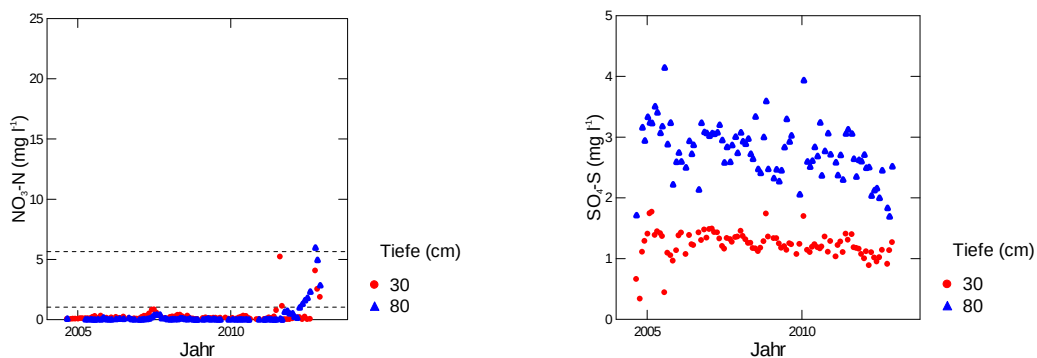


Abb. 323: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

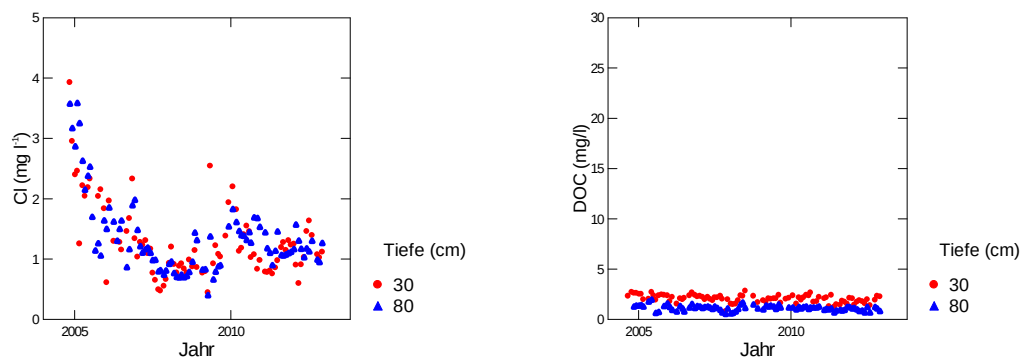


Abb. 324: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.



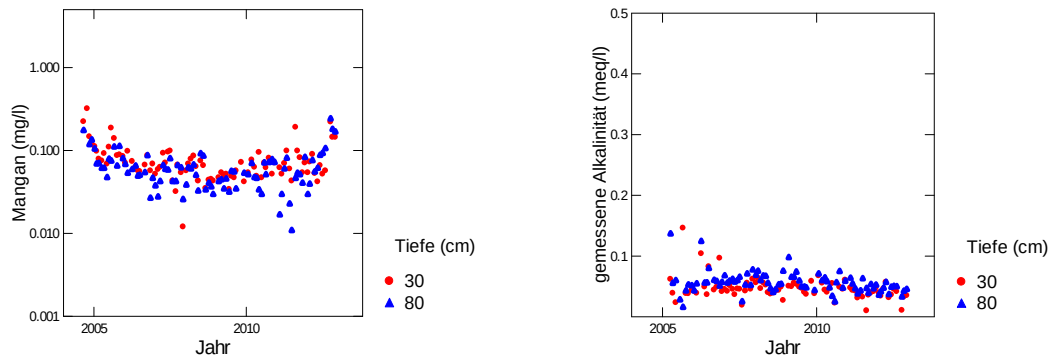


Abb. 325: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

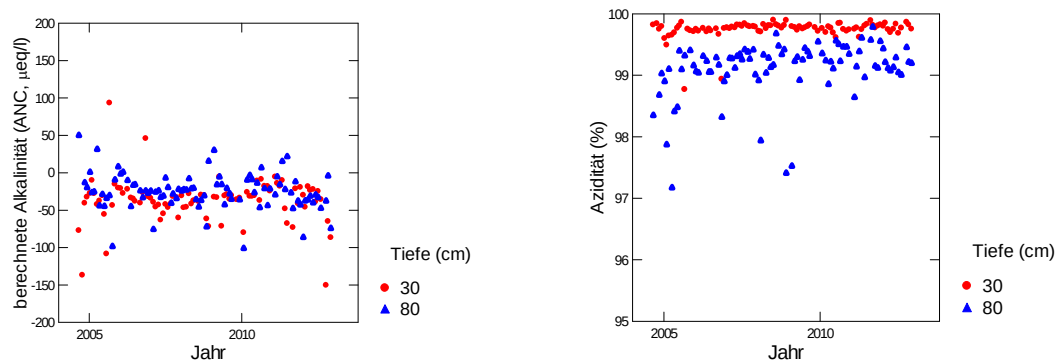


Abb. 326: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

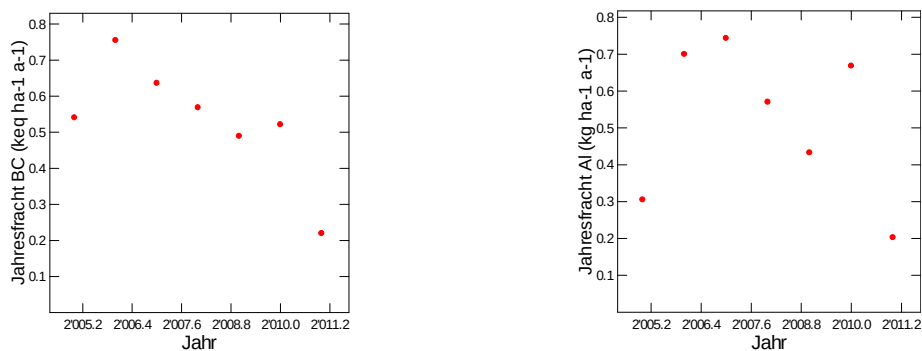


Abb. 327: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen in 80 cm Tiefe.

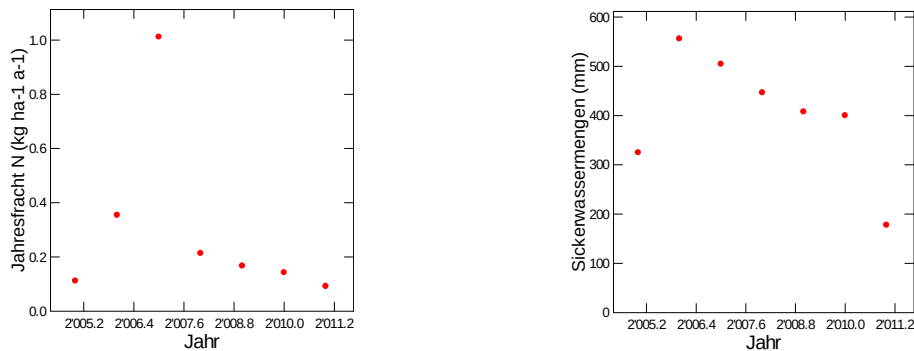


Abb. 328: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen in 80 cm Tiefe.

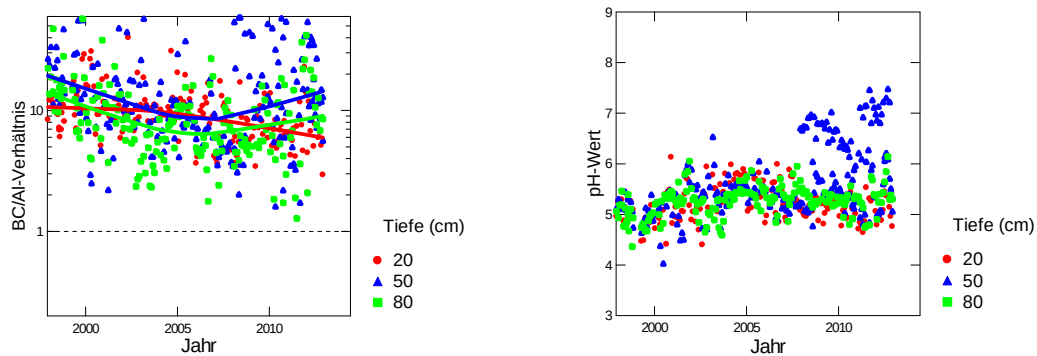
**Zugerberg N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen)**

Abb. 329: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

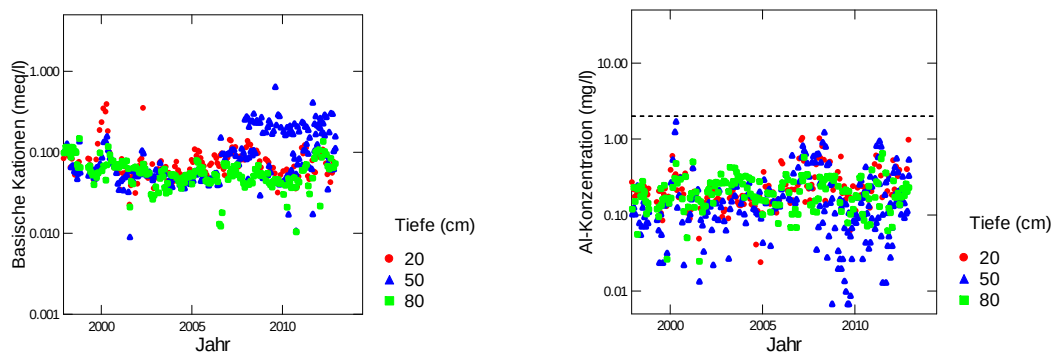


Abb. 330: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen). Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

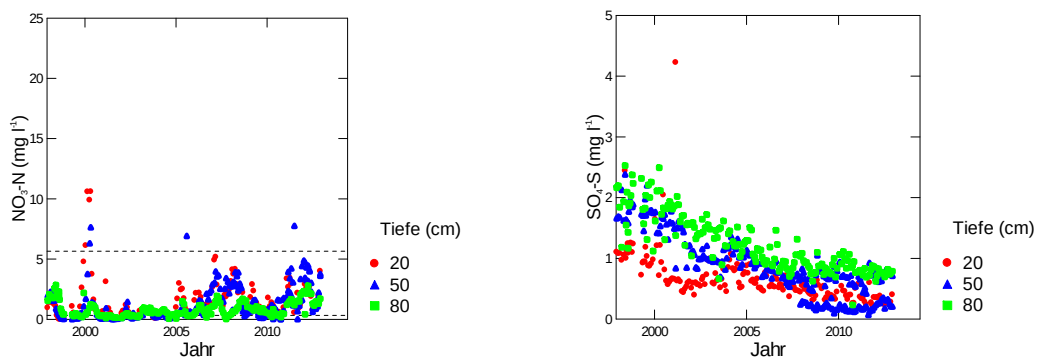


Abb. 331: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen). In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

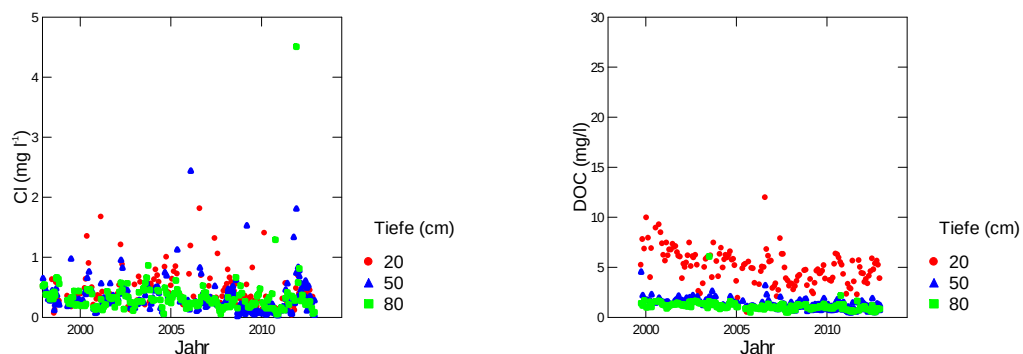


Abb. 332: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

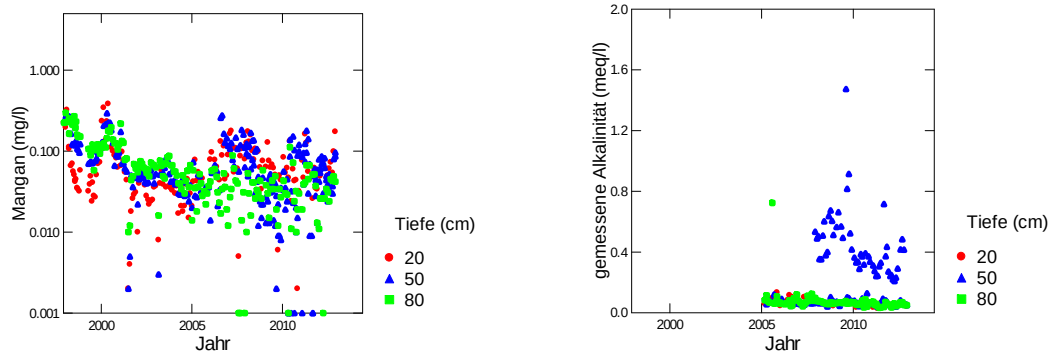


Abb. 333: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

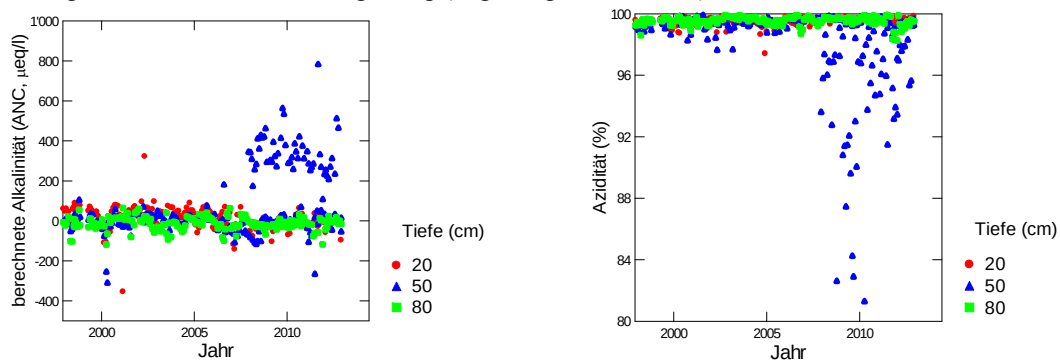


Abb. 334: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

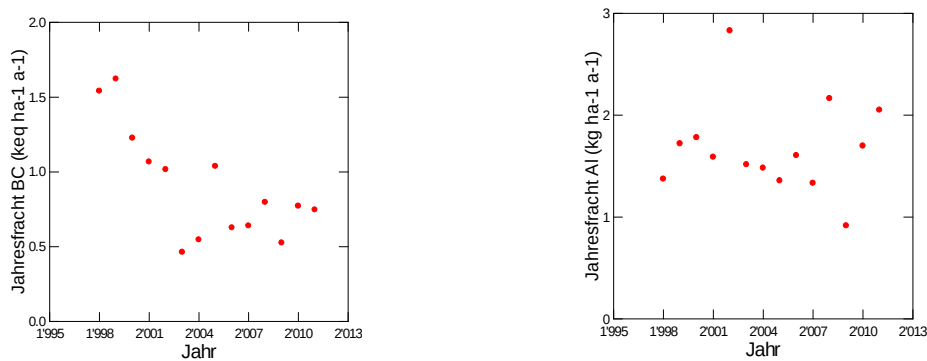


Abb. 335: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 80 cm Tiefe.

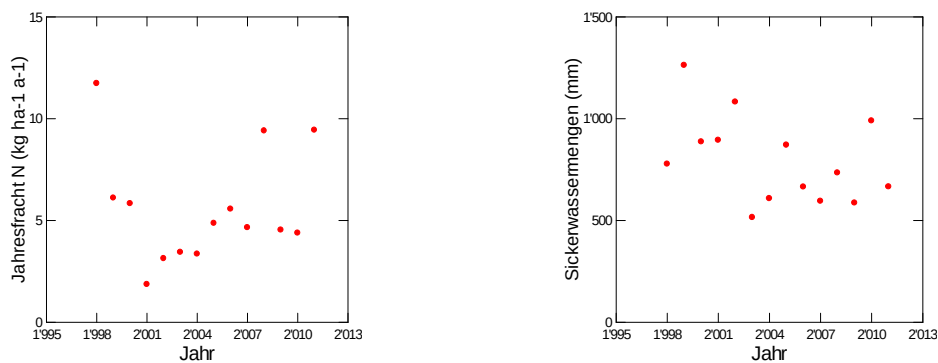


Abb. 336: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 80 cm Tiefe.

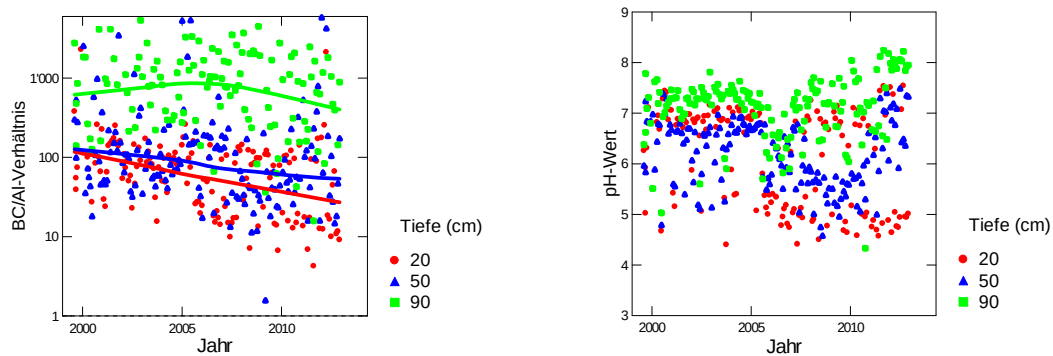
**Zugerberg Hintergeissboden**

Abb. 337: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden (Mischbestand Buchen/Fichten).

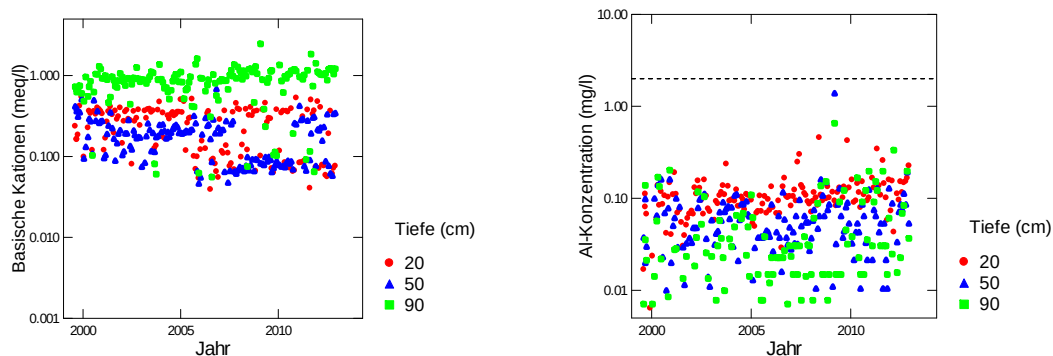


Abb. 338: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

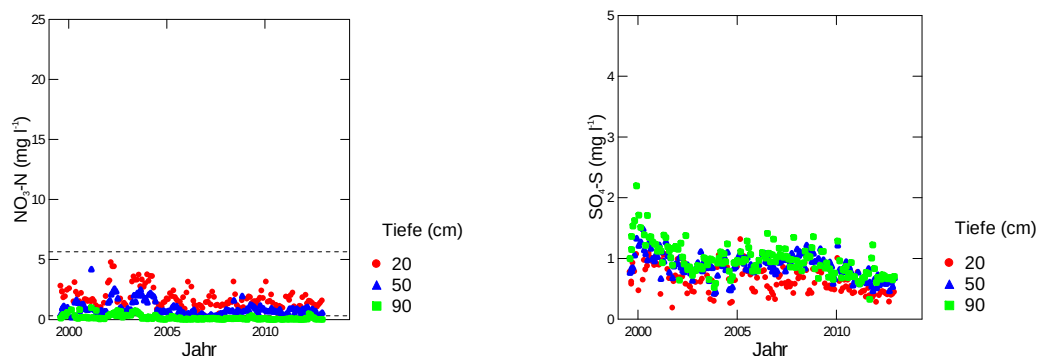


Abb. 339: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

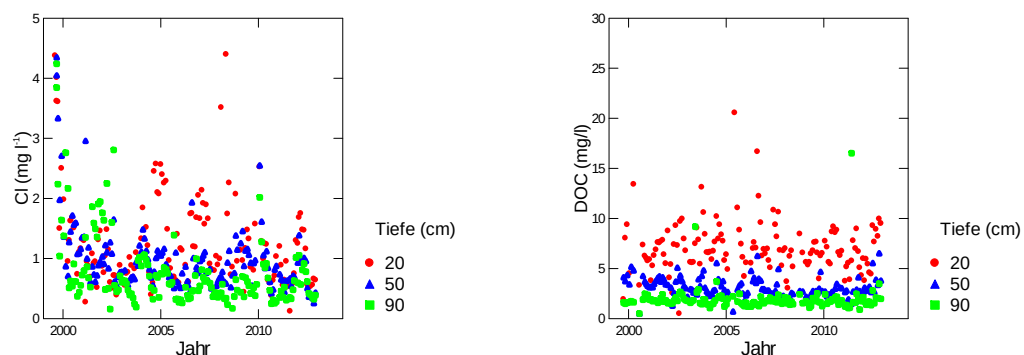


Abb. 340: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden

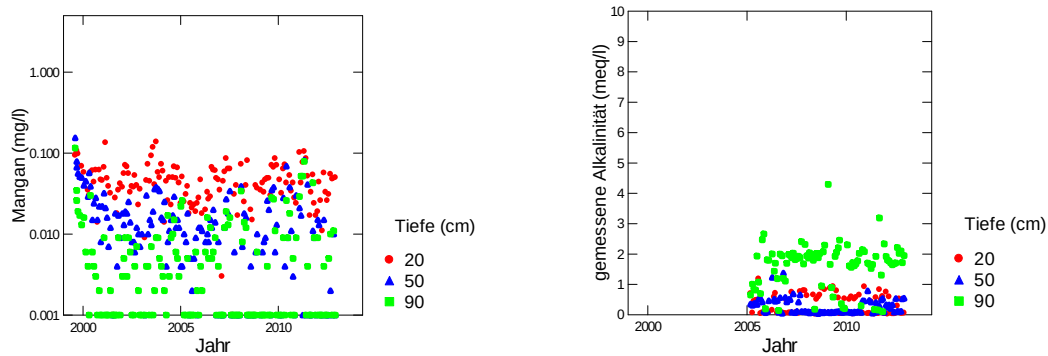


Abb. 341: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden

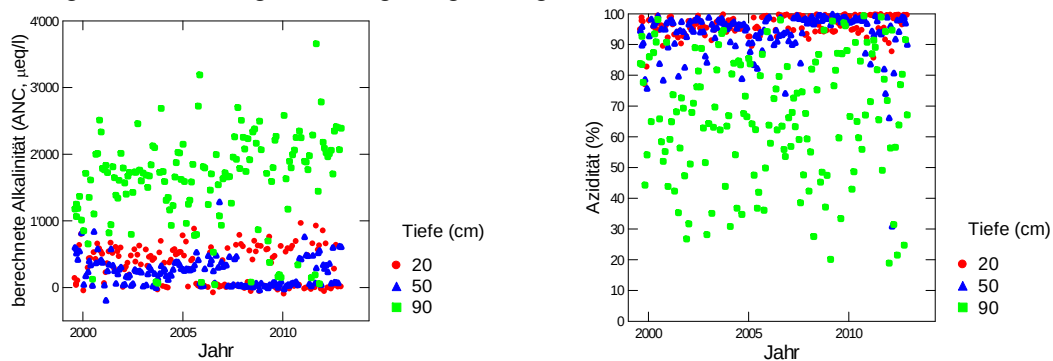


Abb. 342: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden.

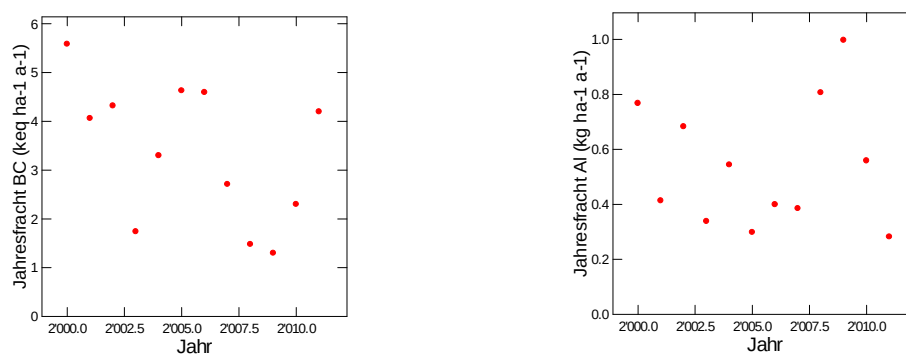


Abb. 343: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden in 80 cm Tiefe.

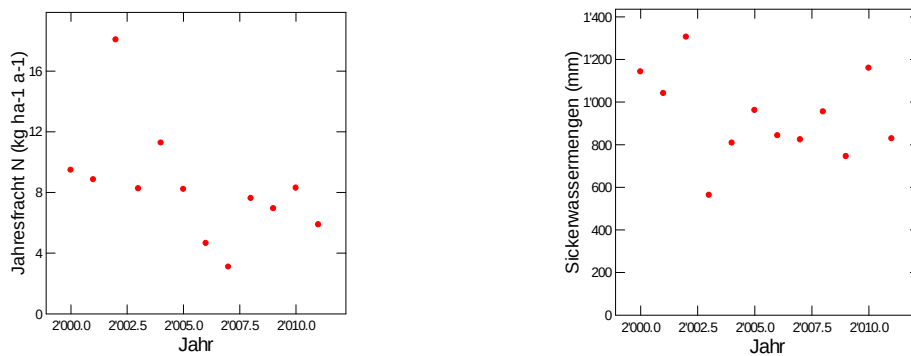


Abb. 344: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden in 80 cm Tiefe.

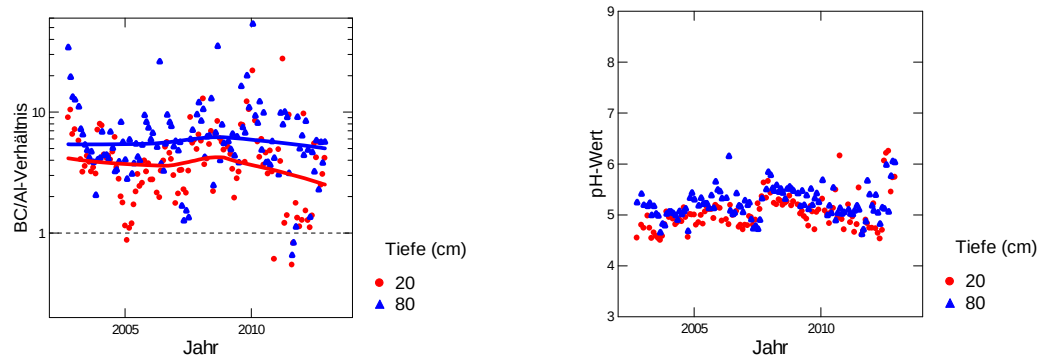
**Zugerberg Vordergeissboden**

Abb. 345: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

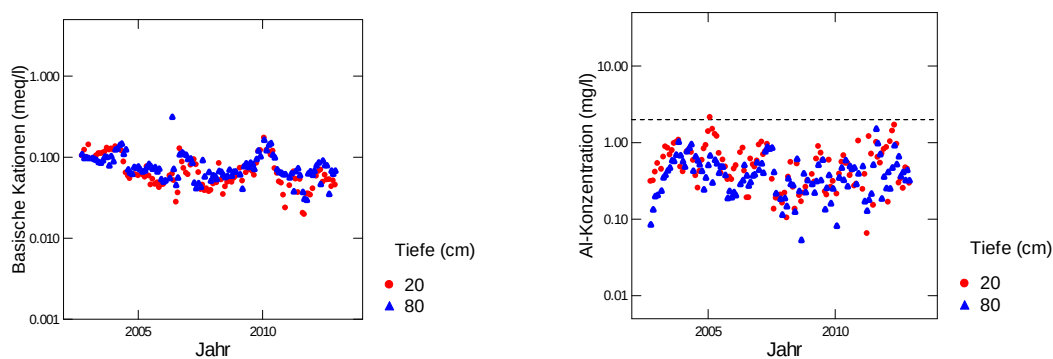


Abb. 346: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

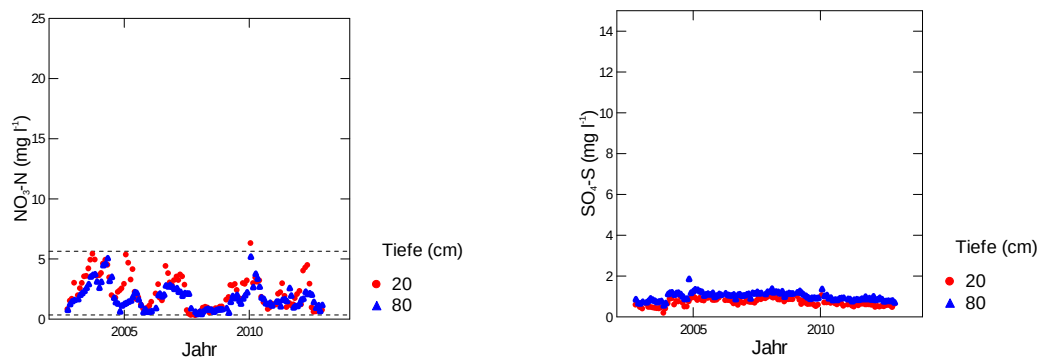


Abb. 347: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

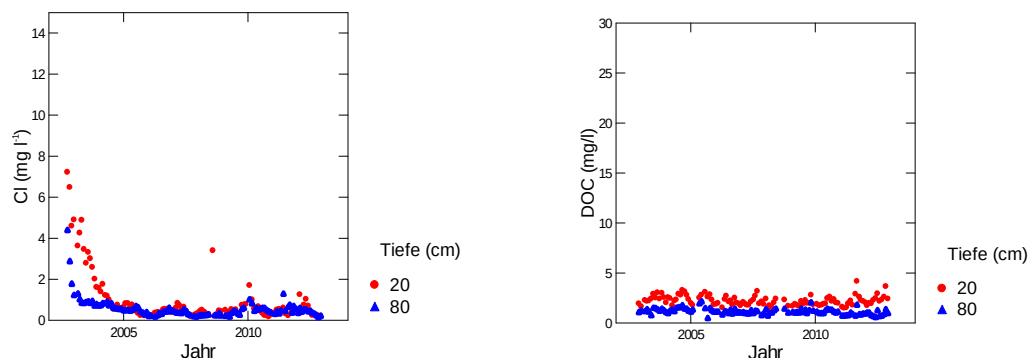


Abb. 348: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

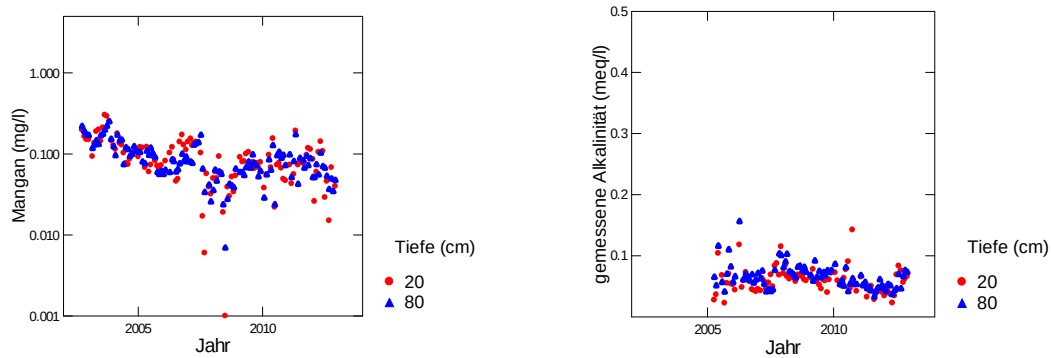


Abb. 349: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

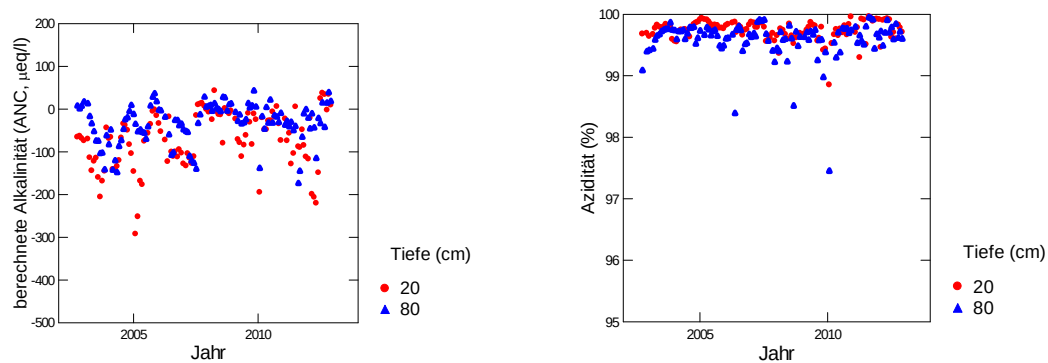


Abb. 350: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

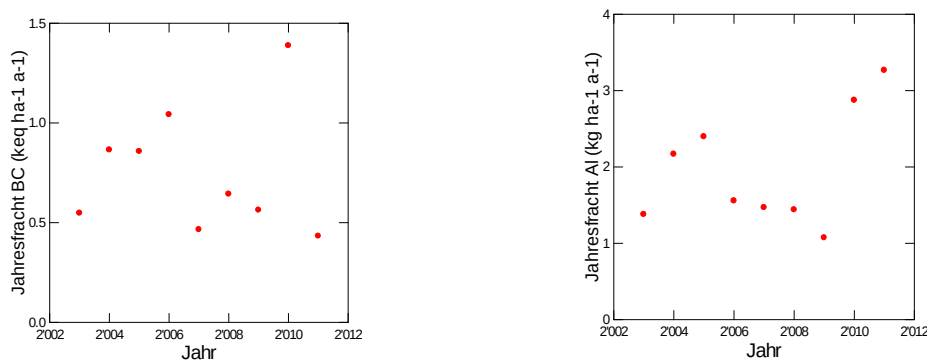


Abb. 351: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden in 80 cm Tiefe.

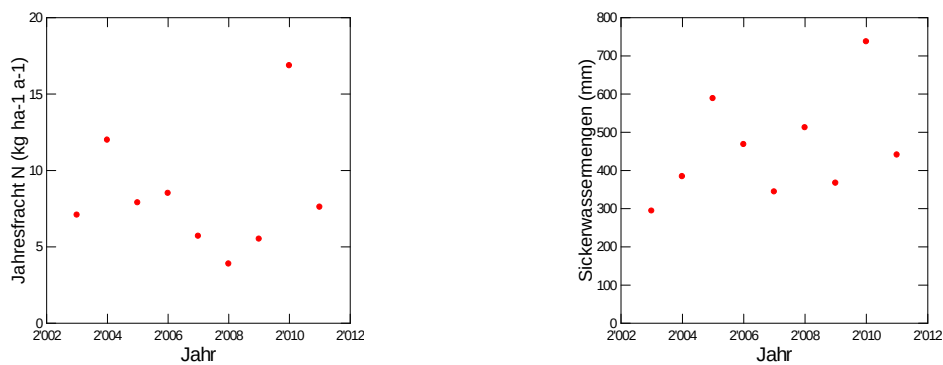


Abb. 352: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden in 80 cm Tiefe.

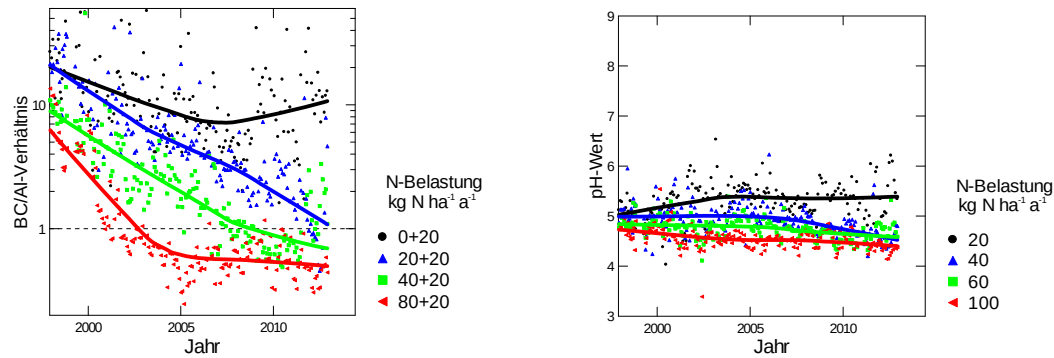
**Zugerberg N-Versuch**

Abb. 353: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50cm Tiefe.

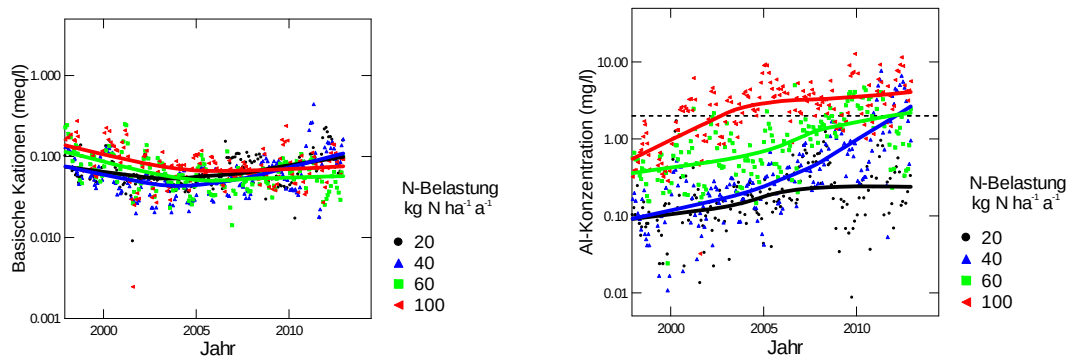


Abb. 354: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

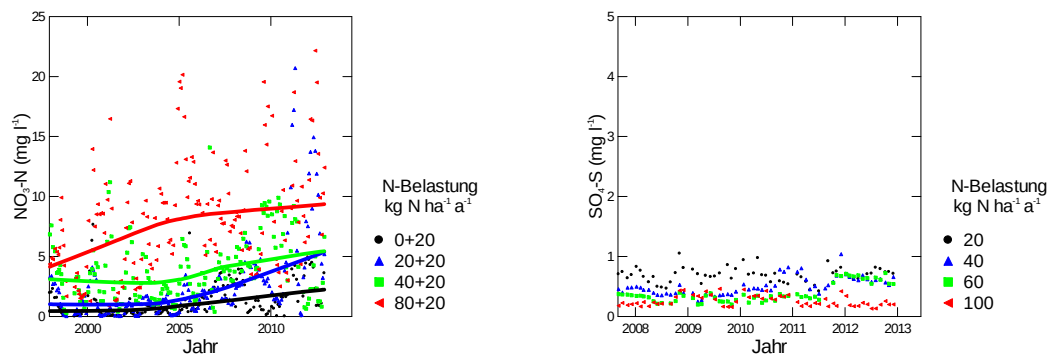


Abb. 355: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe

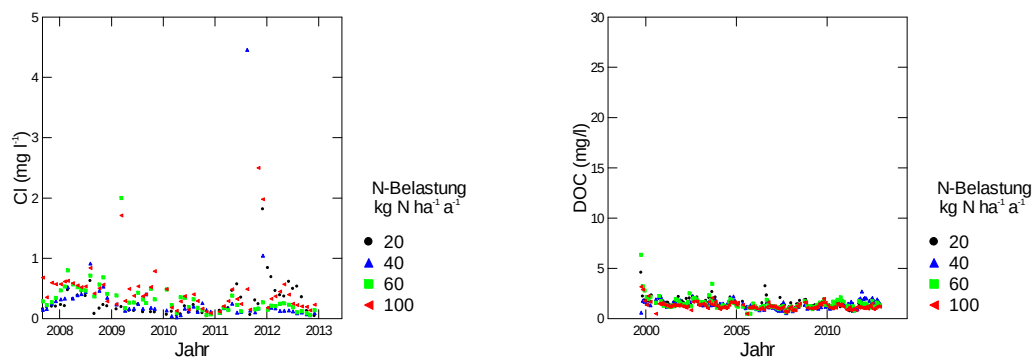


Abb. 356: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe



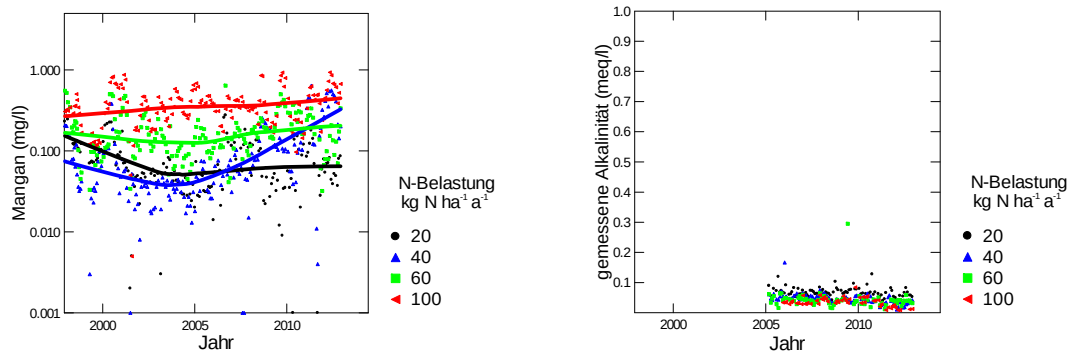


Abb. 357: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe

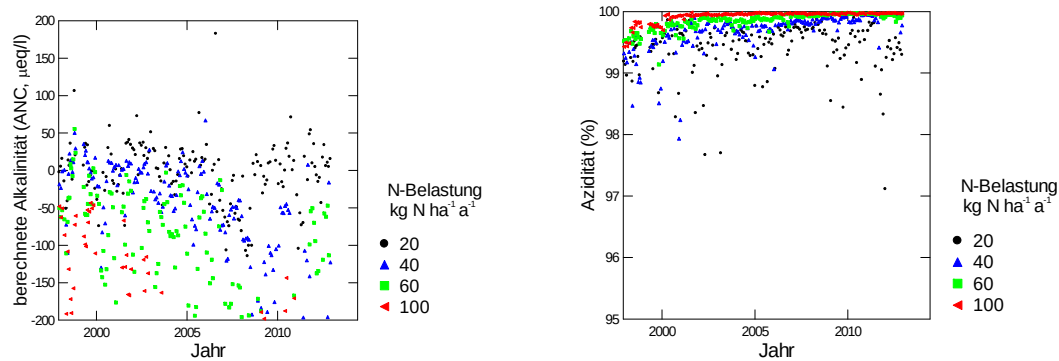


Abb. 358: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe.

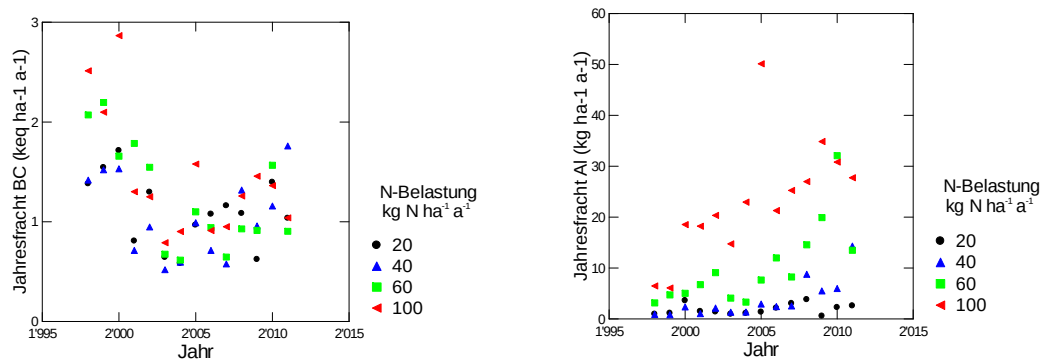


Abb. 359: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe.

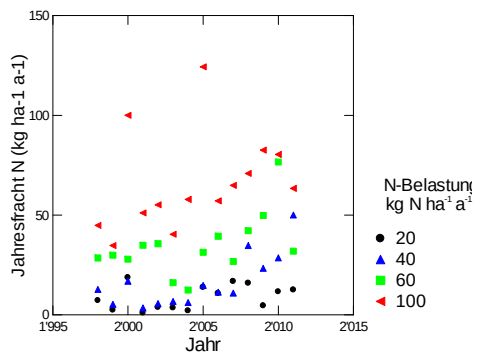


Abb. 360: Jährliche N-Fracht in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe.

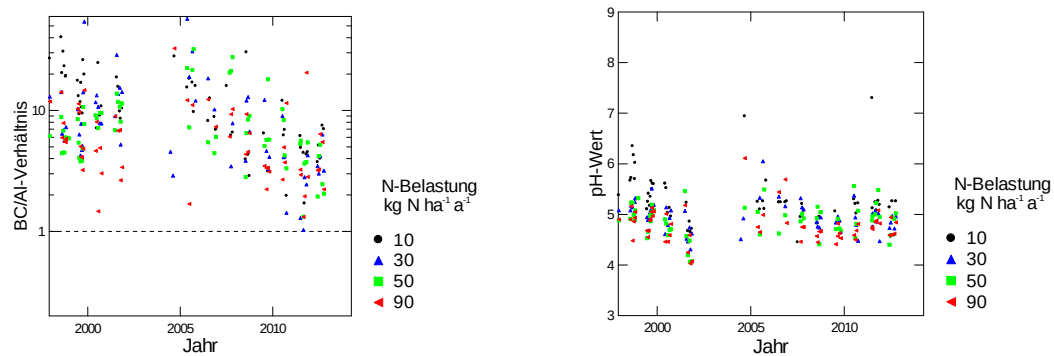
**Lurengo N-Versuch**

Abb. 361: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20cm Tiefe.

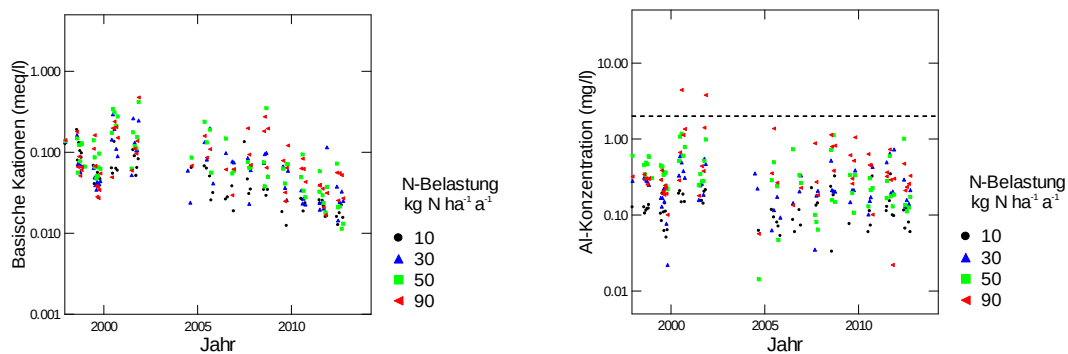


Abb. 362: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

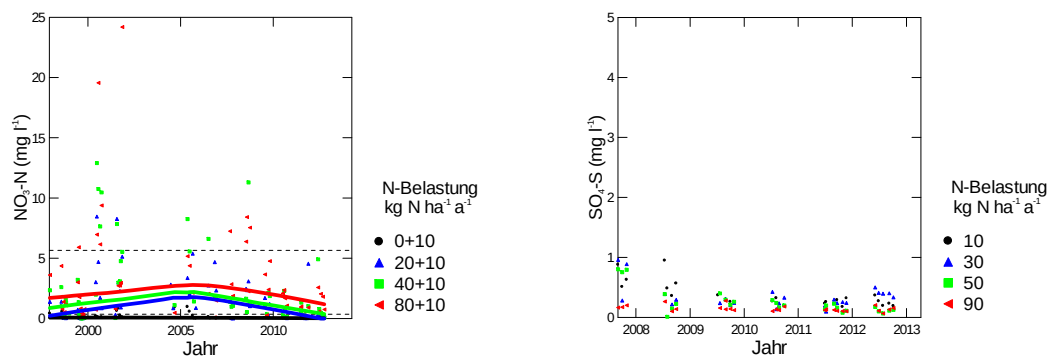


Abb. 363: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe

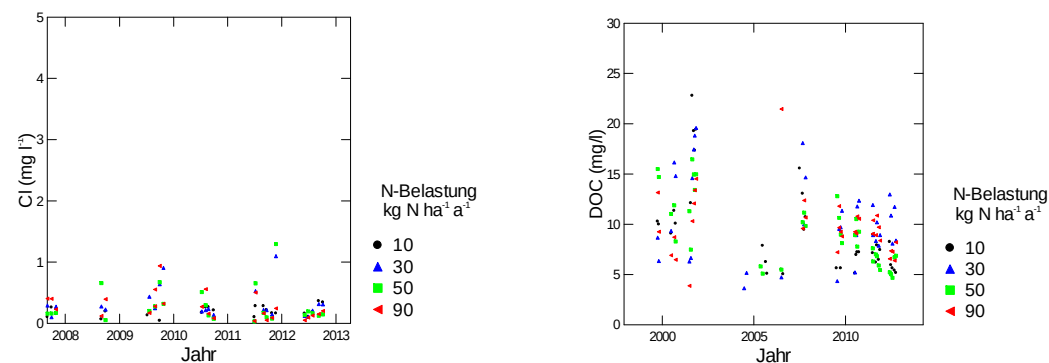


Abb. 364: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe

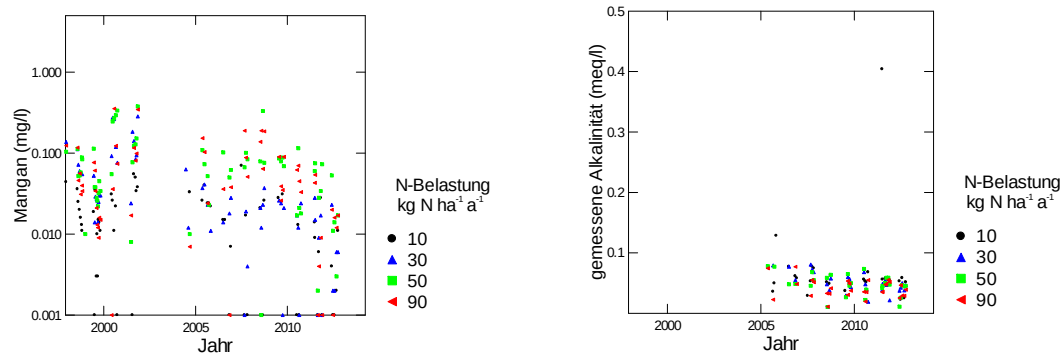


Abb. 365: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe.

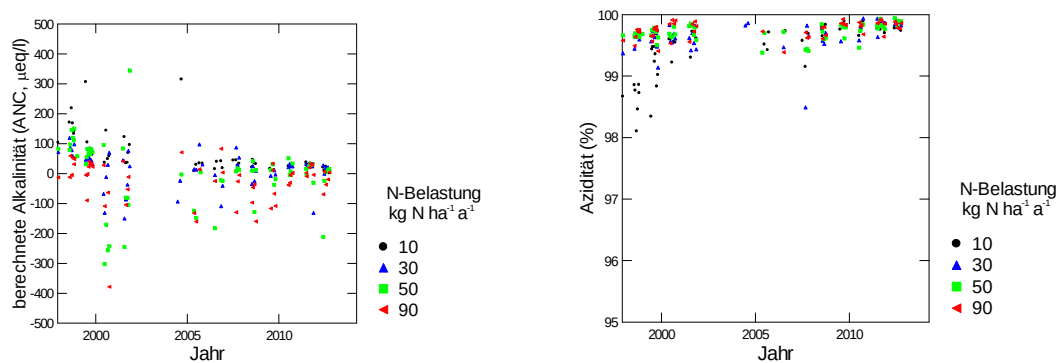


Abb. 366: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe.

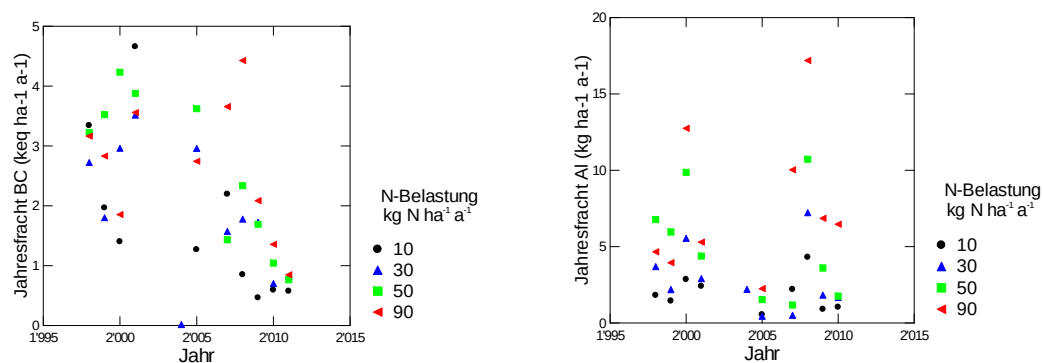


Abb. 367: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 80 cm Tiefe.

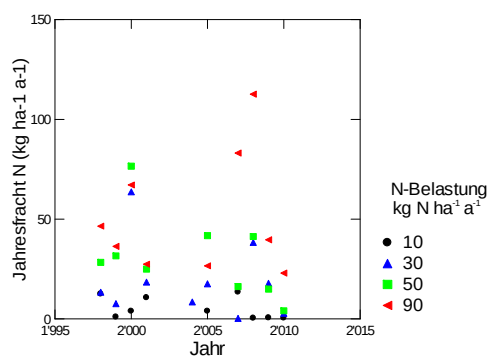


Abb. 368: Jährliche N-Fracht (links) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 80 cm Tiefe.