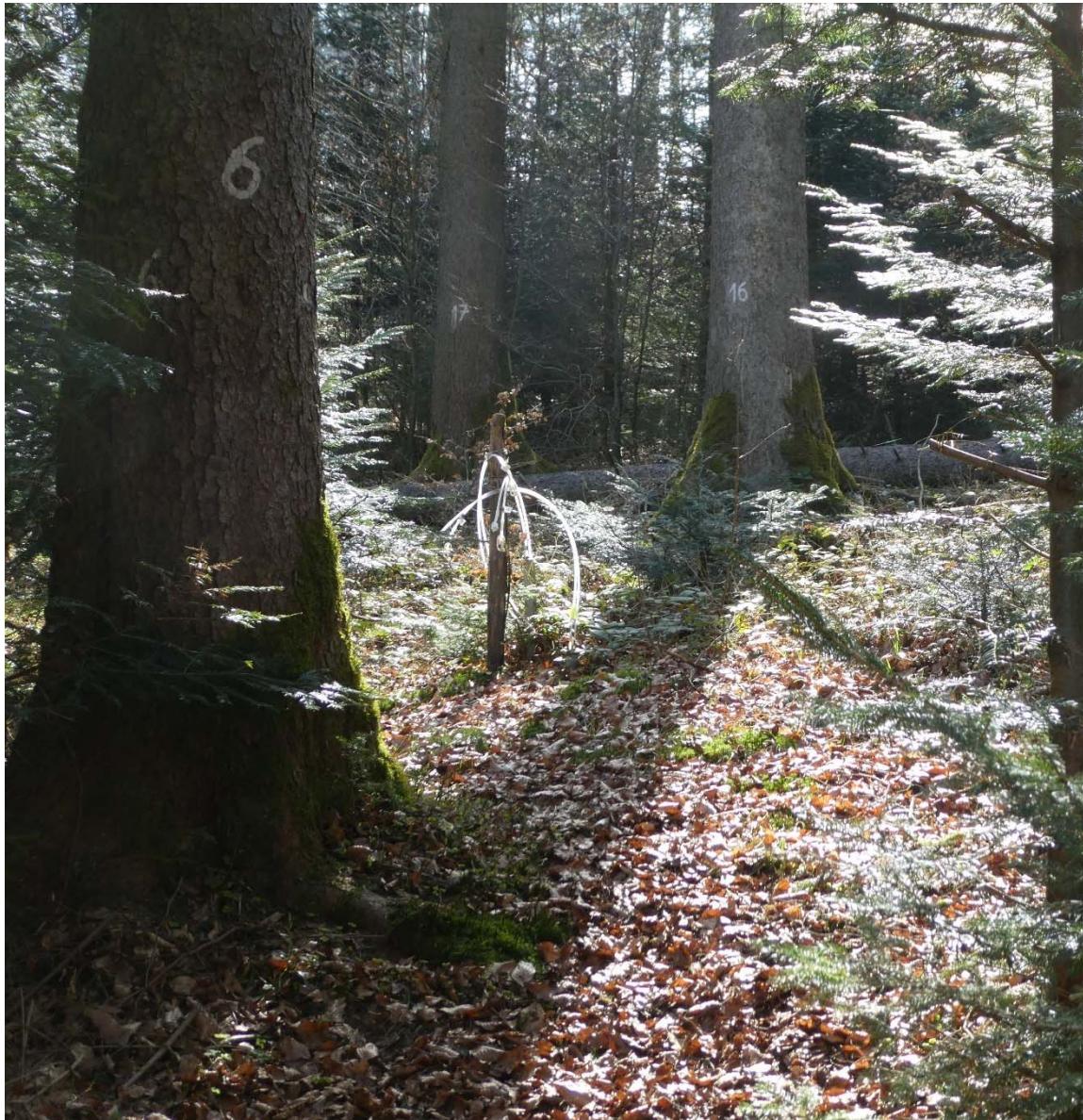


Untersuchungen über die Zusammensetzung der Bodenlösung Bericht Periode 2013-2017



INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PFLANZENBIOLOGIE

Schönenbuch, 12.03.2018

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

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 61 485 50 71

www.iap.ch

Autorin

Sabine Braun

Begleitung BAFU

Reto Meier, 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

12.03.2018

Download

Dieser Bericht kann heruntergeladen werden unter

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/publikationen-studien/studien.html>

Inhalt

1	Zusammenfassung	3
2	Abstract	4
3	Einleitung	5
3.1	Kritische Grenzwerte für Böden	5
3.1.1	Verhältnis zwischen basischen Kationen und Aluminium in der Bodenlösung ..	6
3.1.2	pH-Wert und Aluminium-Konzentration	6
3.1.3	Alkalinität (Säureneutralisationskapazität)	6
3.1.4	Aziditätsgrad	7
3.1.5	Basensättigung	8
3.1.6	Stickstoffkonzentration und Stickstoffauswaschung	9
4	Material und Methoden	9
4.1	Untersuchungsflächen	9
4.2	Analysenmethoden	12
4.2.1	Differenzierung in anorganisches und organisches Aluminium	13
4.2.2	Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	13
5	Ergebnisse	15
5.1	Vergleich der Ergebnisse von Bodenlösungsmessungen mit Kritischen Werten.....	15
5.1.1	Basen-/Säure-Status der Bodenlösung	15
5.1.2	Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung	21
5.2	Auswaschung von Stickstoff, Aluminium und basischen Kationen.....	22
5.2.1	Stickstoff-Auswaschung.....	22
5.2.2	Auswaschung von Aluminium	29
5.2.3	Auswaschung von basischen Kationen (BC)	30
5.3	Beurteilung der zeitlichen Entwicklung	33
5.3.1	Entwicklung in den Beobachtungsflächen	33
5.3.2	Entwicklung in den Stickstoffdüngungsversuchen	37
6	Schlussfolgerungen, Ausblick	40
7	Verdankungen	41
8	Literatur	42
9	Bodenlösung Einzelstandorte	45
	Aarwangen	46
	Aeschau	48
	Aeschi	50
	Allschwil	52
	Bachtel Fichten	54
	Bachtel Buchen	56
	Bonfol	58
	Braunau	60

Breitenbach.....	62
Brislach Fichten.....	64
Brislach Buchen	66
Busswil	68
Diessenhofen	70
Frienisberg.....	72
Grenchenberg	74
Habsburg Lotharfläche Kontrolle.....	76
Hinwil.....	78
Le Châtelard	80
Lurengo Fichten	82
Lurengo N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen).....	84
Möhlin	86
Muri (Sturmfläche).....	88
Muri (neue Fichtenfläche).....	90
Muri Buchen.....	92
Muttenz.....	94
Oberschrot	96
Olsberg	98
Pratteln	100
Rafz (neue Fichtenfläche)	102
Riehen Mittelberg.....	104
Rünenberg	106
Sagno Fichten.....	109
Scheidwald	111
Wangen.....	113
Wengernalp	115
Winterthur	117
Zofingen	119
Zugerberg N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen).....	121
Zugerberg Hintergeissboden	123
Zugerberg Vordergeissboden	125
Zugerberg N-Versuch.....	127
Lurengo N-Versuch.....	129
Beromünster	131
Bürglen	134
Gelfingen.....	136
Giswil	138
Grosswangen	140
Sempach	142
Stans	144
Wangen Schwyz.....	146

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 48 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 BC/Al-Verhältnisses). Das früher verwendete kritische BC/Al-Verhältnis von 1 wird kaum unterschritten, aber das in der Schweiz gebräuchliche $(\text{BC}/\text{Al})_{\text{crit}}$ von 7 sehr häufig (in 43% der Fälle). Dieses wurde wirkungsorientiert festgelegt, u.a. basierend auf den Ergebnissen der langjährigen Waldbeobachtung.

Kritische Stickstoffkonzentrationen für Nährstoffungleichgewichte werden in 75% der monatlichen Bodenlösungsproben überschritten. Die jährliche mittlere Stickstofffracht der Periode 2005-2016 übersteigt die kritischen Auswaschungsraten für Stickstoff auf 64% 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 durch die Stickstoffeinträge verursachten 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 kritischen Werte für die einzelnen Kriterien zur Bewertung der Auswirkungen der Versauerung und der Eutrophierung sind bezüglich ihrer Schutzwirkung nicht gleichwertig und müssen deshalb in Bezug auf ihre Konsistenz untereinander sowie im Hinblick auf ihre Eignung für Risikobewertungen bewertet 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 48 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). The limit value of $\text{BC}/\text{Al}_{\text{crit}}=1$ which has been set earlier at the international level (UNECE) is rarely reached or exceeded but this limit has been increased, a.o. based on effects observed in the long-term forest monitoring. Today, a limit of $\text{BC}/\text{Al}_{\text{crit}}=7$ is used in Switzerland. This limit is very frequently exceeded (in 43% of the cases).

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 2005-2016 exceeds the critical limit value at 64% 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 nitrate 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 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. These include 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 Einleitung

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, Austauschprozesse zwischen Bodenfestphase und Lösung, die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln 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 Luftreinhaltkonvention, UNECE) wurden aufgrund empirischer Befunde Grenzwerte für die Bodenversauerung vereinbart (CLRTAP 2016). 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. Weiterhin werden kritische Grenzen für die Basensättigung der Festphase des Bodens und für die Alkalinität bzw. Säureneutralisationskapazität in der Bodenlösung verwendet, um die kritischen Eintragsraten für versauernd wirkende Depositionen berechnen zu können.

Die versauernde Wirkung der N-Einträge wird berücksichtigt, indem eine maximal tolerierbare N-Auswaschung aus dem Wurzelraum definiert wurde. Werden diese Grenzen überschritten, so ist mit Verlusten von Nährstoffkationen und mit Versauerung zu rechnen. Mit Modellen können dann die ökosystemspezifisch maximal tolerierbaren Eintragsraten von versauernd wirkenden Depositionen berechnet werden, das sind diejenigen Raten, bei denen die Grenzwerte nicht überschritten werden. Diese sind in Abschnitt 3.1 ausführlich beschrieben.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung des derzeitigen Zustands der Bodenlösung 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. Da die Lysimeter fest installiert sind und damit immer die gleichen Punkte beprobt werden können, erlauben sie die Überwachung zeitlicher Veränderungen. Das Netz wurde in den letzten Jahren laufend erweitert und umfasst heute 48 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 Grenzwerte für Böden

Die nachstehend beschriebenen Kriterien und die Grenzwerte gelten für einen Wurzelraum von 0-50 cm Tiefe (Sverdrup et al. 1990a; Hettelingh und de Vries 1992; UNECE 1996; CLRTAP 2004).

3.1.1 Verhältnis zwischen basischen Kationen und Aluminium in der Bodenlösung

Das Verhältnis von basischen Kationen ($BC = Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+$) zu Aluminium (Al^{3+}), BC/Al , in der Bodenlösung ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Säure-/Basenzustands. Das BC/Al -Verhältnis steht in engem Zusammenhang zu Wachstums- und Vitalitätsparametern der Vegetation (Sverdrup und Warfvinge 1993). In älteren Versionen des Kartierungshandbuchs des ICP Modelling und Mapping wurde ein BC/Al -Verhältnis von 1 als kritischer Wert (CLRTAP 2004) vorgeschlagen. Dieses geht zurück auf die Auswertungen aller verfügbaren Daten von Sverdrup und Warfvinge (1993), aufgrund derer Dosis-Wirkungs-Beziehungen abgeleitet wurden. In der neuesten Version des Mapping Manuals (CLRTAP 2016) wurde eine differenziertere Betrachtung eingeführt, u.a. da Auswertungen neuerer Ergebnisse zeigen, dass bei einem BC/Al von 1 in der Bodenlösung die Basensättigung in der Bodenfestphase meist weit <10% ist. In Kanada wird deshalb ein kritischer BC/Al -Wert von 10 verwendet (Ouimet et al. 2006). Ein BC/Al -Verhältnis von 15 entspricht einer 2%-Wachstumsreduktion bei Fichten. Bei Buchen und Eichen liegt dieser Wert bei $BC/Al=2.5$.

Gestützt auf die neueren Erkenntnisse und die Empfehlungen im Kartierhandbuch des ICP Modelling und Mapping verwendet die Schweiz ein kritisches BC/Al -Verhältnis von 7 (Slootweg et al. 2015).

3.1.2 pH-Wert und Aluminium-Konzentration

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

$$\begin{aligned} \gamma Al(OH)_3(\text{gibbsit}) + 3H^+ &\rightleftharpoons Al^{3+} + 3H_2O & \log K^0 = 8.04 \\ \frac{Al^{3+}}{(H^+)^3} &= 10^{8.04} \\ \log Al^{3+} &= 8.04 - 3pH \end{aligned}$$

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 ablaufenden Prozesse der Aluminiumlöslichkeit in den Böden beschreibt (siehe Lindsay 1979, S. 74).

3.1.3 Alkalinität (Säureneutralisationskapazität)

Die Alkalinität (= Säureneutralisationskapazität, engl. Acid neutralizing capacity = ANC) ist ein Mass für den Säurestatus von Lösungen. Sie entspricht der Summe von HCO_3^- (Bikarbonat), OH^- und organischen Anionen ($RCOO^-$), sofern sie nicht durch H^+ und Al^{3+} begleitet werden:

$$ALK = (HCO_3^- + OH^- + RCOO^-) - (H^+ + \sum Al^{n+})$$

Die Alkalinität wurde in den Lösungsproben durch Titration bis pH 4.3 bestimmt. Unterhalb von pH 4.3 ist keine Carbonat-Alkalinität (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

onen der übrigen Ionen in der Lösung berechnet. Wegen der Elektroneutralitätsbedingungen gilt (Block et al. 2000):

$$ALK = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) - (NO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^-)$$

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, ($= ANC_{le(crit)}$) aus dem Wurzelraum wurde ein Wert von $-300 \mu\text{eq l}^{-1}$ berechnet (Sverdrup et al. 1990a).

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

$$ANC = -Al - H$$

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

$$ANC_{le(crit)} = -Al_{le(crit)} - H_{le(crit)} = -0.2 - 0.1$$

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

$ANC_{le(crit)}$: le = leaching, crit = kritisch

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

3.1.4 Aziditätsgrad

Neben der Azidität in $\mu\text{eq l}^{-1}$ lassen sich Bodenlösungen durch den Anteil der Azidität ($H^+ + M_a^{1+}$ -Kationen) an der Summe von Azidität und M_b^{2+} -Kationen charakterisieren (Aziditätsgrad) (Bruggenwert et al. 1986,Ulrich 1988, Block et al. 2000):

¹ M_a -Kationen: $Al^{3+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}$ (= Kationsäuren) + $NH_4^+ + H^+$; 'M' = Metall, 'a' = acid

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

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

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

Tab. 2: Bewertung des Aziditätsgrads

3.1.5 Basensättigung

Die Basensättigung der Festphase wurde in der 2016-er Ausgabe des Mapping Manuals (CLRTAP 2016) als Kriterium für Critical Loads Berechnungen eingefügt. Der Grenzwert von 20-40% basiert u.a. auf Ergebnissen der IAP-Walddauerbeobachtung, bei der Effekte auf den Wald unterhalb von 20% bzw. 40% beobachtet wurden. 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 31 (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.

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 8.2. 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_{anorg}-Verhältnis in der Bodenlösung in allen gemessenen Bodentiefen (20, 50 und 80 cm) knapp über 1, d.h. der alte 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.

Def. nach Bruggenwert et al. (1986): M_a-Kationen sind Kationen, deren Hydroxide schwache Basen sind und die durch Hydrolysereaktionen in der Bodenlösung Protonen generieren können. z.B.: Al³⁺ + 2 H₂O → Al(OH)²⁺ + H₃O⁺ (bei dieser Reaktion erfolgt die Deprotonierung in tieferen Profilbereichen mit höherem pH). M_a's fungieren als 'temporäre Protonen-Senken' im oberen saureren Bereich, die das H⁺ aus diesem Bereich heraus in die unteren Bodenbereiche transportieren.

² M_b-Kationen: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺; M-(Metall-)Kationen, deren Hydroxide starke Basen sind (=BC)

Die Basensättigung in den IAP-Beobachtungsflächen wird durch Analyse der austauschbaren Kationen in einem ungepufferten Ammoniumchloridextrakt bestimmt (Trüby und Aldinger 1984).

3.1.6 Stickstoffkonzentration und Stickstoffauswaschung

Für das Kriterium „Stickstoffkonzentration in der Bodenlösung“ wurde für Wälder ein Grenzwert von $\leq 0.2\text{-}0.4 \text{ mg N l}^{-1}$ festgelegt. Nährstoffungleichgewichte in der Baumernährung waren hierfür der massgebende Effekt für Wälder (Tab. 3; CLRTAP 2016). Gleichzeitig gilt auch eine maximale N-Austragsrate über das Sickerwasser von $2\text{-}4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Diese Werte sind insbesondere für Gebiete mit hohen Niederschlägen wichtig, 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 würden. Damit würde eine nicht tolerierbare Versauerung (= Verlust basischer Nährstoffkationen) akzeptiert (Block et al. 2000). Ist die Auswaschung höher als die kritische Auswaschung, gilt das Ökosystem als stickstoffbelastet (Tab. 4).

Ökologische Veränderung	[N] _{crit} (in mg N l ⁻¹)
Vegetationsveränderungen (Schweden)	$\leq 0.2\text{-}0.4$
Flechten → Moosbeeren	$\leq 0.2\text{-}0.4$
Preiselbeeren → Heidelbeeren	$\leq 0.4\text{-}0.6$
Heidelbeeren → Gras	$\leq 1\text{-}2$
Gras → Kräuter	$\leq 3\text{-}5$
Andere Effekte auf Wälder	
Nährstoffungleichgewicht	$\leq 0.2\text{-}0.4$
N-Auswaschung/Sättigung	1
Feinwurzelbiomasse/-länge	1-3
Empfindlichkeit gegenüber Frost und Pilzkrankheiten	3-5

Tab. 3: Kritische N-Konzentration für ökologische Veränderungen (CLRTAP 2016)

Ökosystemtyp	N-Auswaschung (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)	Anwendung in der Schweiz
Boreale und gemässigte Heiden und Moore	0-0.5	
Bewirtschaftete Koniferenwälder	0.5-1	
Intensiv bewirtschaftete Koniferenpflanzungen	1-3	-
Gemässigte Laubwälder	2-4	alle Wälder, Höhengradient (2 bei 1500 m, 4 bei 500 m)

Tab. 4: Kritische Grenze der N-Auswaschung für verschiedene Ökosystemtypen (CLRTAP 2016)

4 Material und Methoden

4.1 Untersuchungsflächen

Das Netz der 2016 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 Flächen in der

Zentralschweiz (BE, GE, SE, GW, GI, ST, BUR, WSZ) wurden im Oktober 2015 installiert (Stans: März 2016) und befanden sich im Berichtsjahr noch in der Einlaufphase.

Die Bodenlösungsproben 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. 1998) auf der Grundlage der chemischen und mineralogischen Analysen von Bodenprofilen berechnet und über die durchwurzelten Horizonte (Wurzeldichte mindestens 3 Wurzeln/dm², gemäss Stufe 2 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Benzler et al. 1982) oder über 60 cm Tiefe aufsummiert, je nachdem welcher Wert grösser war.

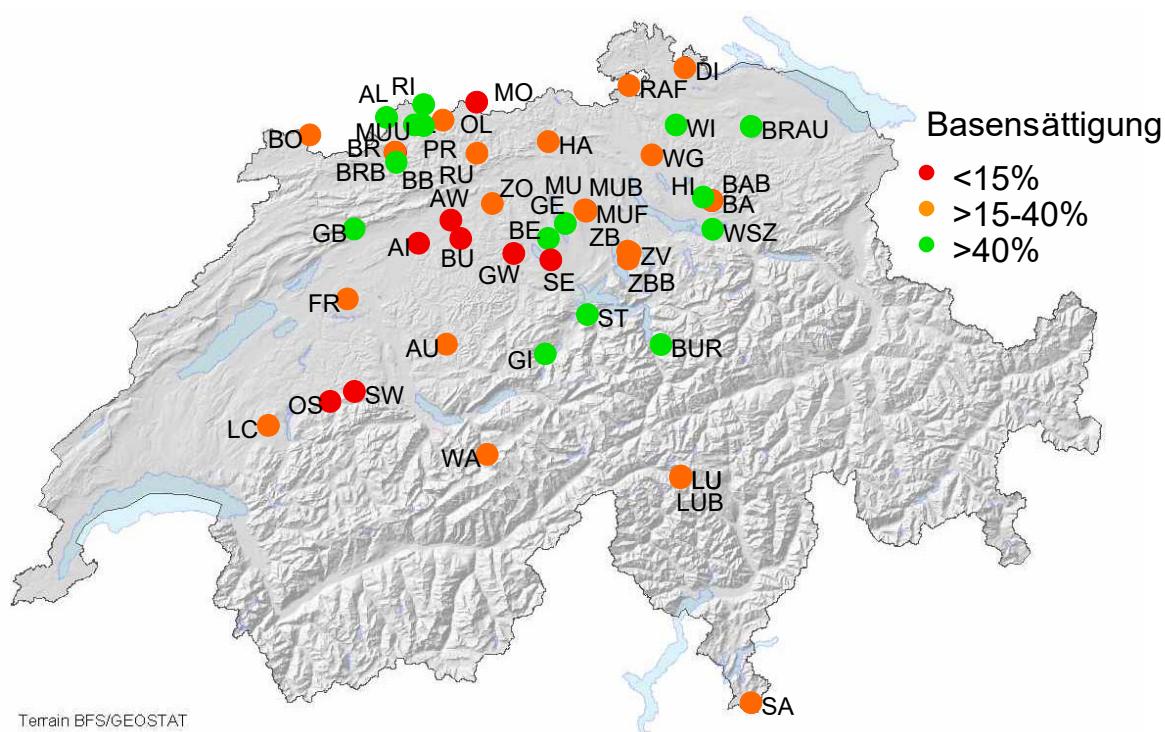


Abb. 1: Walddauerbeobachtungsflächen mit Bodenwassersammlern, gruppiert nach Basensättigung des Oberbodens (Mittelwert 0-40 cm).

Standort	Abk.	Höhe ü.M.	Baum-arten	pH	BS	CN	Boden-typ	Verw.	In Betrieb seit	NS	Sicker-wasser
Aarwangen	AW	470	Bu	3.99	10	14.5	BB	1.31	2002	1139	464
Aeschau	AU	940	Ta Fi (Bu)	3.67	20	26	RQ-BB	0.45	1997	1514	792
Aeschi	AI	510	Bu Fi	3.87	15	21.2	LL	1.24	1998	1159	471
Allschwil	AL	350	Fi	4.31	88	14	LL		2006	896	142
Bürglen	BUR	640	Fi	4.77	99	22.2	BB-RQ	0.32	2016	1575	744
Bachtel Buchen	BAB	1030	Bu	3.93	36	15.6	LL	4.62	1999	1825	1107
Bachtel Fichten	BA	1040	Fi	4.01	7	24.8	LL	0.9	1997	1773	998
Beromünster	BE	640	Fi	5.00	90	23.1	GG-BB	10.48	2016	1222	344
Bonfol	BO	450	Bu	4.26	18	20.3	SH-BB	0.67	2004	1091	428
Braunau	BRAU	710	Fi	4.05	55	19.8	SS-LL		2006	1257	408
Breitenbach	BB	460	Bu	4.53	91	14.3	BB-LL	0.85	2003	1110	316
Brislach Buchen	BRB	435	Bu	4.09	25	13.3	BB-LL	0.88	2000	1041	381
Brislach Fichten	BR	435	Fi	3.93	12	23.3	SS-LL	0.84	1997	1042	257
Busswil	BU	600	Fi	3.78	3	18.9	LL	0.99	2004	1193	391
Diessenhofen	DI	520	Fi	3.77	16	20.8	SH-BB		2006	944	291
Frienisberg	FR	725	Bu Fi	3.90	21	21.2	BB	0.64	1997	1208	548
Gelfingen	GE	540	Bu	6.55	100	21.9	LL-BB	1.4	2016	1136	384
Giswil	GI	540	Bu	5.86	100	19.5	BB	13.46	2016	1301	429
Grenchenberg	GB	1220	Bu Fi	5.64	100	15.1	BB	19.05	1997	1511	971
Grosswangen	GW	600	Fi	3.52	14	21.9	LL-SS	1.6	2016	1114	208
Habsburg	HA	430	Bu	4.17	16	17.1	LL	0.84	2004	1068	313
Hinwil	HI	650	Fi	5.12	95	15.4	BB	1.33	2002	1457	638
Le Châtelard	LC	1010	Fi	3.74	20	29.3	LL-BB		2006	1655	816
Lurengo	LUB	1620	Fi Fö Lä	3.90	28	26.2	PP-BB		1999	1770	1092
Lurengo N-V	LU	1600	Fi L	4.17	19	22.5	PP-BB	0.59	1997	1770	1114
Möhlin	MO	290	Fi	3.79	12	17.5	LL	1.22	1998	1029	265
Muri Buchen	MUB	490	Bu	4.00	24	18.3	LL	0.56	1999	1112	371
Muri Sturmfläche	MU	490	Fi	3.96	15	18.9	LL	0.62	1997	1105	583
Muri Fichten	MUF	490	Fi	3.88	10	26.5	BB	0.74	2001	1105	281
Muttenz	MUU	375	Bu	4.06	41	15.7	SS-LL	0.5	2004	911	217
Oberschrot	OS	950	Bu Fi	3.61	11	17.2	GG-SH		2006	1344	542
Olsberg	OL	380	Bu	4.06	20	15.4	LL-SS	0.48	2004	997	246
Pratteln	PR	415	Bu	5.15	100	12.4	BB-LL	2.24	2002	964	348
Rünenberg	RU	590	Bu	4.13	35	17.2	BB-LL	0.68	2002	1011	251
Rafz Fichten	RAF	540	Fi	4.18	16	19	SS	0.7	2004	988	291
Riehen	RI	470	Bu	6.41	100	13.3	BB-LL	1.26	2002	1003	388
Sagno	SA	770	Fi	3.83	25	21.8	BB	0.41	1999	1772	928
Scheidwald	SW	1170	Fi	3.41	7	27.9	GG-PP	0.66	2008	1501	562
Sempach	SE	550	Bu	3.71	39	21.6	LL-GG	2.09	2016	1140	413
Stans	ST	560	Bu	6.40	100	17.4	BB	48.1	2016	1430	1106
Wangen	WG	500	Bu Fi	3.88	24	23.3	LL		2008	1144	450
Wangen SZ	WSZ	470	Bu	4.43	95	14.8	LL	2.65	2016	1536	701
Wengernalp	WA	1870	Fi	3.53	28	14.2	PP-BB	0.15	1997	1594	920
Winterthur	WI	530	Fi	5.25	97	16	BB	18.46	2003	1174	470
Zofingen	ZO	540	Bu Fi	4.00	17	17.9	LL-BB	0.92	2004	1129	369
Zugerberg HG	ZBB	980	Bu Fi	4.20	37	19.8	BB	0.63	1999	1560	915
Zugerb. N-Versuch	ZB	940	Bu	3.91	35	18.5	BB	0.45	1997	1448	837
Zugerberg VG	ZV	900	Fi	3.62	24	20.2	BB	0.61	2002	1448	551

Tab. 5: Liste der Flächen mit Bodenlösungsmessung. Niederschlag in mm gemäss Hydrologischem Atlas (Landeshydrologie 1992). Baumarten: Bu Buche, Fi Fichte, Ta Tanne, Lä Lärche, Fö Föhre. pH: mittleres pH(CaCl₂) in 0-40 cm, BS: mittlere Basensättigung in 0-40 cm (in %), CN: C/N-Verhältnis im Humushorizont. Bodentypen: Kurzzeichen gemäss Sponagel et al. 2005, Sponagel et al. 2005: BB Braunerde, LL Parabraunerde SS Pseudogley, SH Haftpseudogley, PP Podsol, GGg Hanggley, GGn Gley, RQ Regosol, RR Rendzina. Verw: Verwitterungsrate in keq ha⁻¹ a⁻¹: Berechnung mit SAFE (Sverdrup et al. 1995) für den Wurzelraum.

4.2 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.
- NH₄⁺: photometrisch mit Indophenol
- NO₃⁻, SO₄²⁻, 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. 4.2.2.

Eine Qualitätskontrolle erfolgt durch die Berechnung der Ionenbilanz, einen Vergleich der berechneten mit der gemessenen Leitfähigkeit gemäss EMEP 1996, Jönsson et al. 1995 EMEP 1996, EMEP (1996) sowie durch die Analyse von Referenzproben.

Die Berechnung der Elementflüsse erfolgte durch die Berechnung des Wasserflusses mit einem hydrologischen Modell (WASIM-ETH, Schulla 2013) und der anschliessenden Multiplikation mit der in der Bodenlösung gemessenen Konzentration. Dem Modell zugrundegerichtet wurden für die Beobachtungsflächen interpolierte Klimadaten, die von Jan Remund (Meteotest) im Rahmen eines Projektes im BAFU/WSL-Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ berechnet wurden.

4.2.1 Differenzierung in anorganisches und organisches Aluminium

Für eine Beurteilung der Toxizität von Aluminium ist eine Differenzierung in Al_{org} und Al_{anorg} nötig, da vor allem Al_{anorg} toxisch relevant ist. Organische Komplexierung vermindert die Al-Toxizität (Ulrich und Matzner 1983). 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 zu berechnen. 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%.

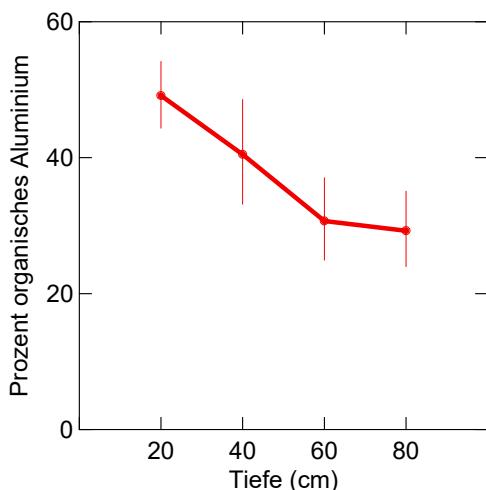


Abb. 2: Anteil organisch komplexierten Aluminiums am Gesamtaluminium über alle Bodenlösungsproben seit 2005 ($n=3204$). Balken=95%-Vertrauensbereich (gemischte Regression).

4.2.2 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:

$$\text{DOC} = (1 - e^{-2.717 * \text{ABS}_{280}}) * 27.6 \quad R^2=0.97$$

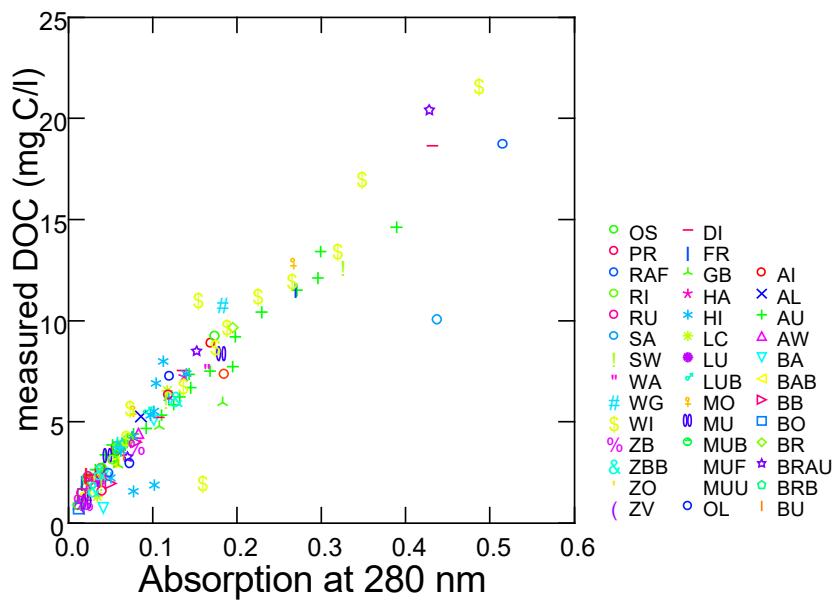


Abb. 3: Gemessene DOC-Werte in Beziehung zur UV-Absorption bei 280 nm.

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

5 Ergebnisse

5.1 Vergleich der Ergebnisse von Bodenlösungsmessungen mit Kritischen Werten

5.1.1 Basen-/Säure-Status der Bodenlösung

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Häufigkeitsverteilung aller Einzelwerte (Monatswerte) zwischen 2005 und 2016 (ohne N-Versuche und die neuen Standorte in der Zentralschweiz). Dieser Zeitraum wurde gewählt, um ein einigermassen konstantes Standortkollektiv zu haben. Eingezeichnet ist auch, ob die in Kap. 3.1 vorgestellten Grenzwerte überschritten sind.

Die Verhältnisse zwischen basischen Kationen und anorganischem Aluminium unterschreiten nur selten den Wert von 1 (bei 149 Einzelwerten bzw. 1.3% der Messwerte). Der in der Schweiz gebräuchliche kritische Wert von 7 wird in 42.5% aller Messwerte unterschritten, der in Kanada gebräuchliche kritische Wert von 10 in 49.8% aller Fälle (Abb. 4). Der pH-Wert unterschreitet nur ganz selten den kritischen Wert von 4.0 (in 20 Proben, 0.2% der Fälle; Abb. 5). Berechnet für anorganisches Aluminium, wird der Grenzwert für die Aluminiumkonzentration in 455 Fällen (3.9%) überschritten (Abb. 6). Der pH-Wert und die Aluminiumkonzentration sind über die Gibbsit-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.

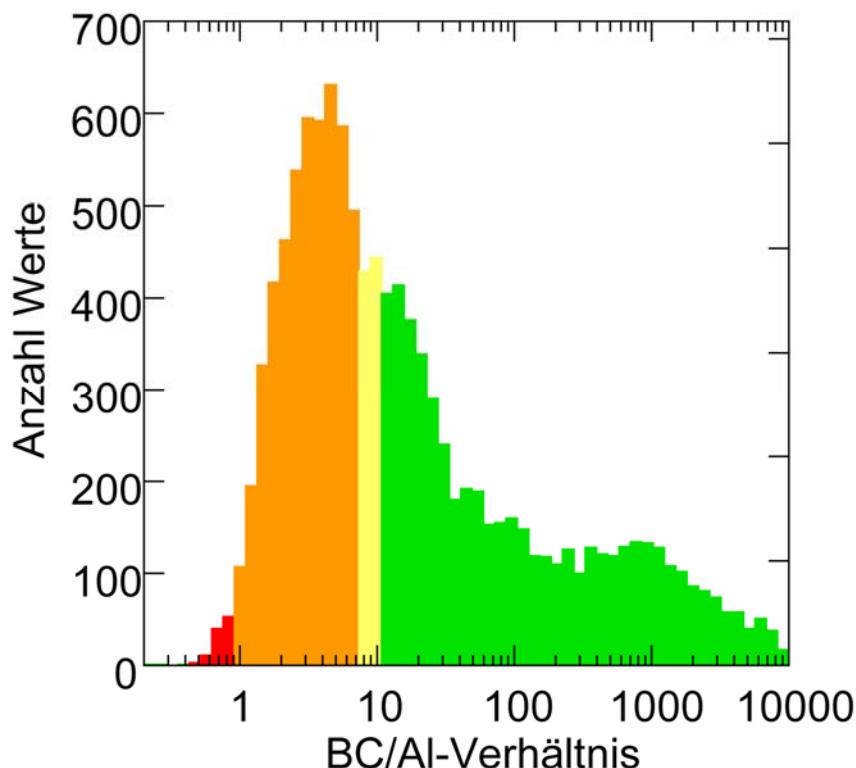


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses zwischen basischen Kationen und (anorganischem) Aluminium (Monatswerte). Rot hervorgehoben sind Werte <1 (kritische Grenze nach CLRTAP 2004), orange Werte <7 (kritische Werte in der Schweiz) und gelb Werte <10 (kritische Werte in Kanada).

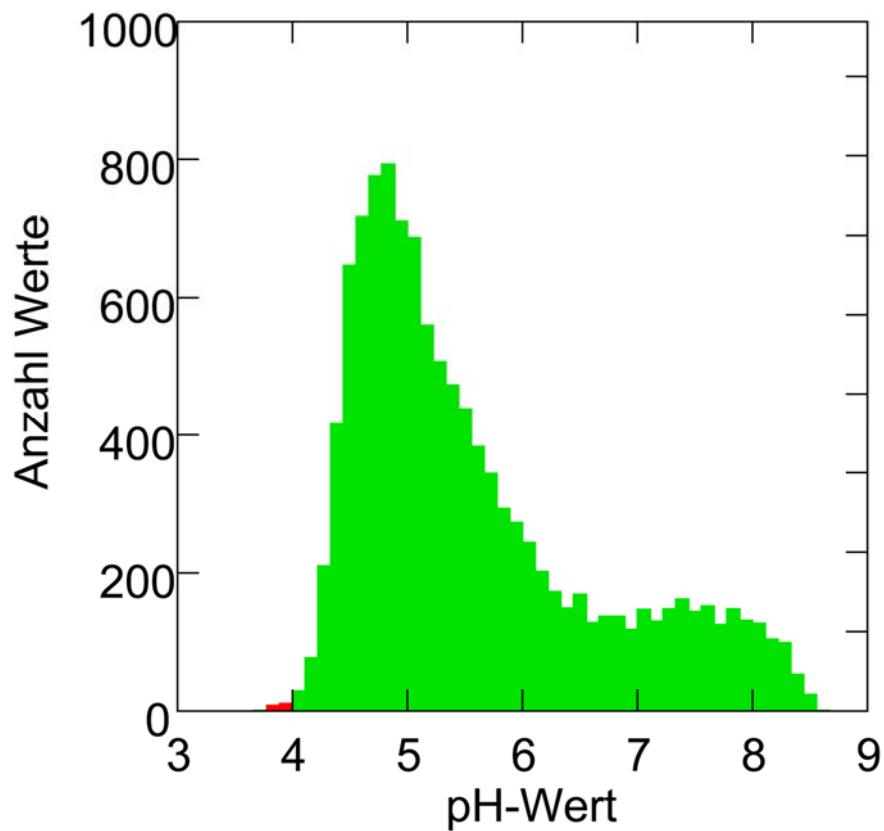


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte. Werte <4 (kritische Grenze nach CLRTAP 2004) kommen nur vereinzelt vor.

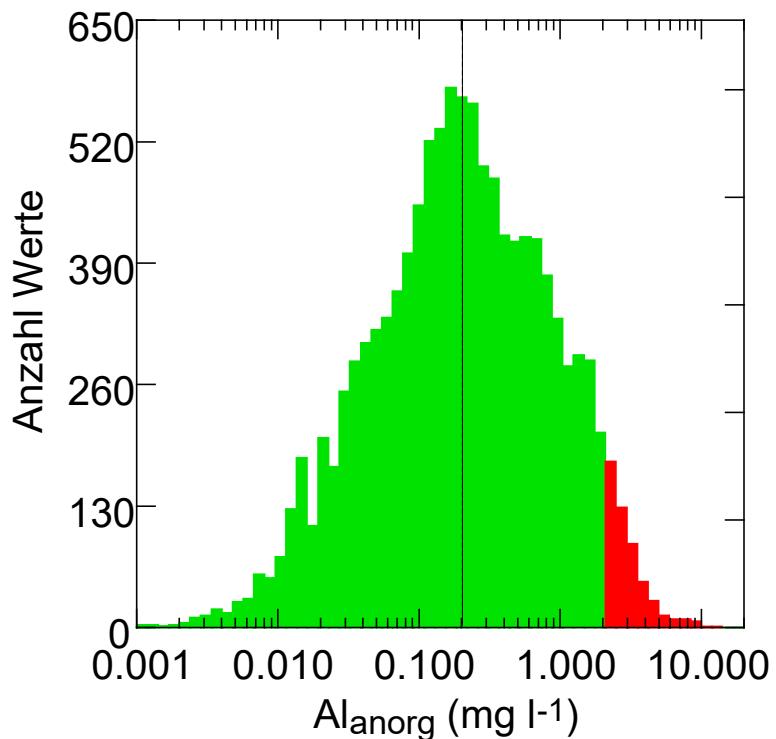


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der Konzentration an anorganischem Aluminium (Monatswerte). Werte unterhalb der Nachweigrenze, in Kalkböden, wurden weggelassen. Werte >2 mg l⁻¹ (kritische Grenze nach CLRTAP 2004) sind rot markiert. Gestrichelt eingezeichnet ist zudem der Grenzwert für Grundwasser von 0,2 mg l⁻¹ (Hettelingh und de Vries 1992).

Bei der Alkalinität liegt ebenfalls der grösste Teil der Proben oberhalb des „sehr sauren“ Bereichs von $-300 \text{ } \mu\text{eq l}^{-1}$ (Abb. 7). Eine Unterschreitung dieses Werts ist in 109 Proben (0.9% der Fälle) zu beobachten. Nach der Bewertung von Block et al. (2000) sind 77% 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 (titrierte) Alkalinität nicht negativ sein (Abb. 8).

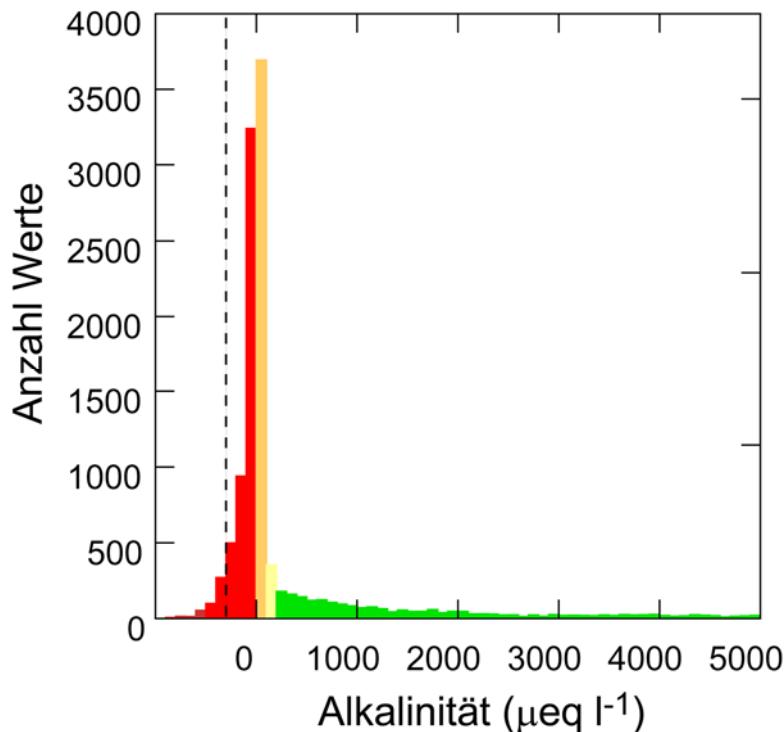


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Alkalinität. Die Farbcodierung richtet sich nach der Bewertung in Tab. 1. Als gestrichelte Linie zusätzlich eingezeichnet ist die kritische Grenze von $-300 \text{ } \mu\text{eq l}^{-1}$ (Sverdrup et al. 1990; Hettelingh und De Vries 1992).

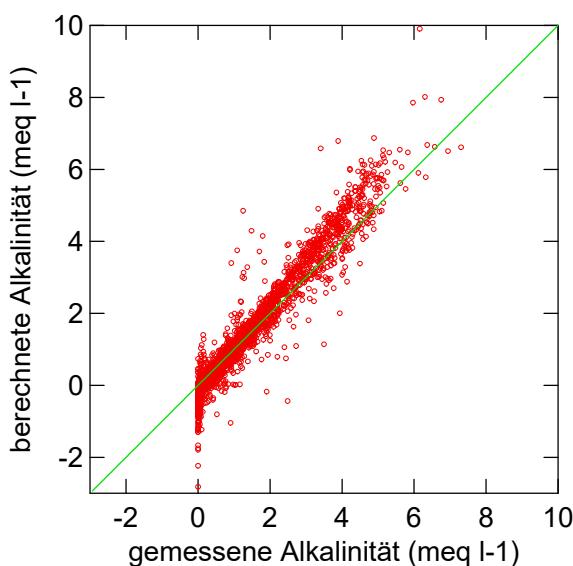


Abb. 8: Berechnete Alkalinität in Beziehung zur gemessenen Alkalinität. Die grüne Linie ist die 1:1-Linie.

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 die Konzentration 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.

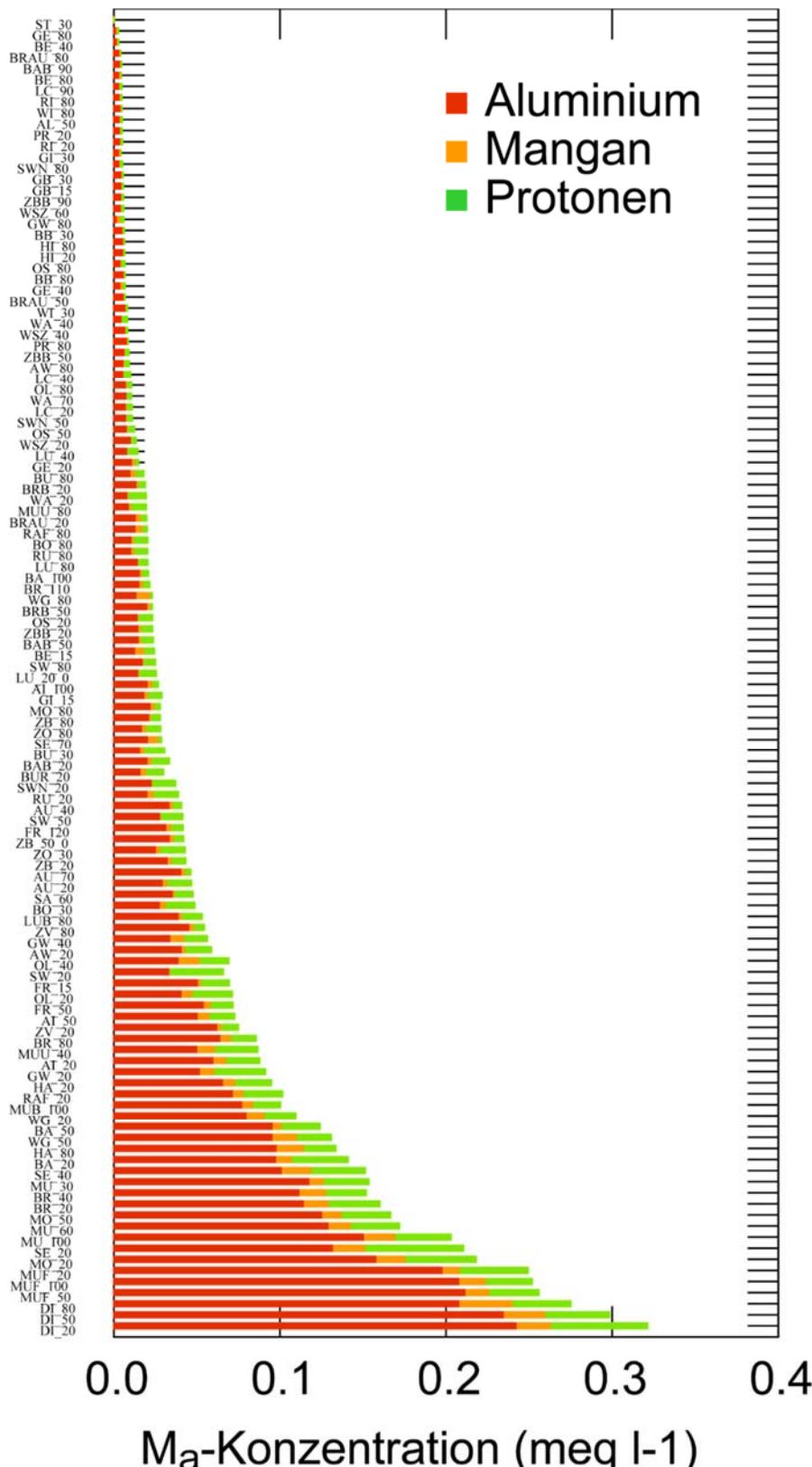


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Ma-Kationen-Konzentration in der Bodenlösung in meq l^{-1} (Kationsäuren; Mittelwert 2005-2016).

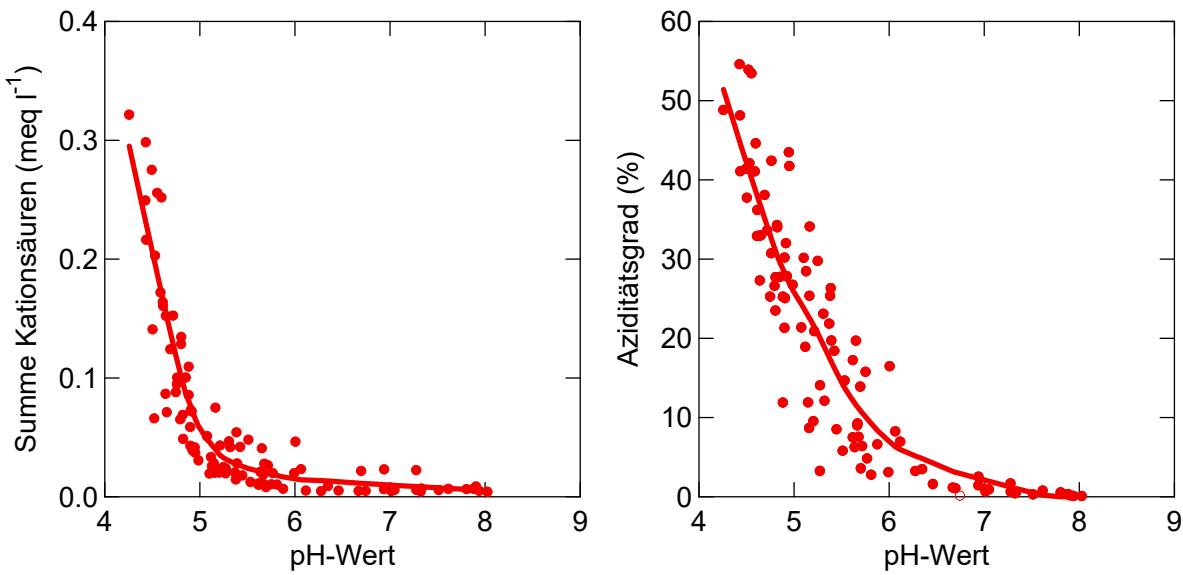


Abb. 10: Beziehung zwischen der Summe von Kationsäuren in meq^{-1} (links) bzw. dem Aziditätsgrad (rechts) und dem pH-Wert der Bodenlösung. Mittelwert pro Tiefenstufe über den Zeitraum 2005-2016.

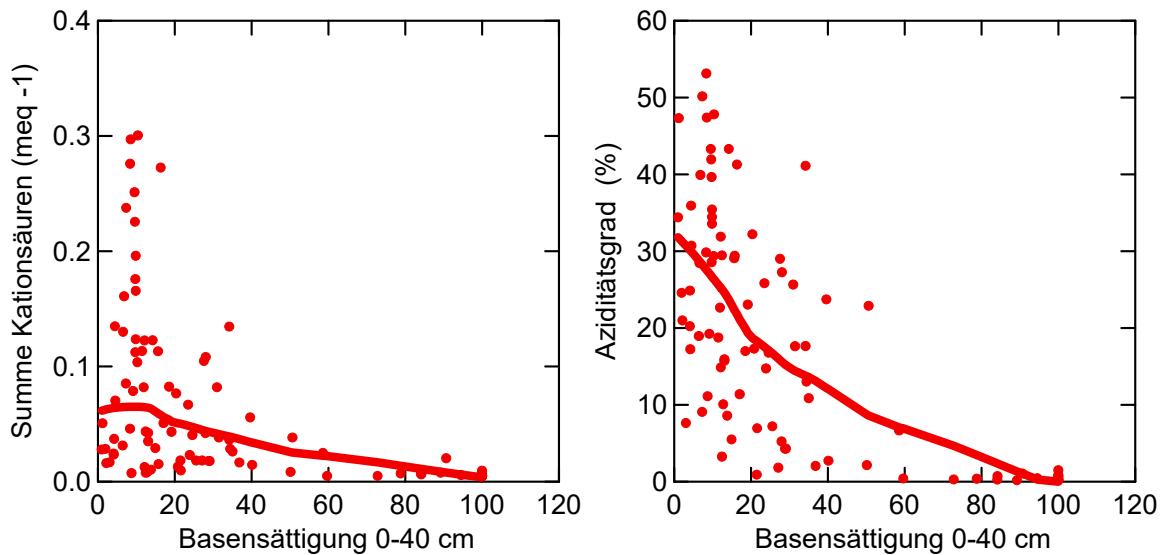


Abb. 11: Beziehung zwischen der Summe von Kationsäuren (links) in meq^{-1} bzw. dem Aziditätsgrad (rechts) und der Basensättigung der Bodenfestphase. Mittelwert pro Tiefenstufe über den Zeitraum 2005-2016.

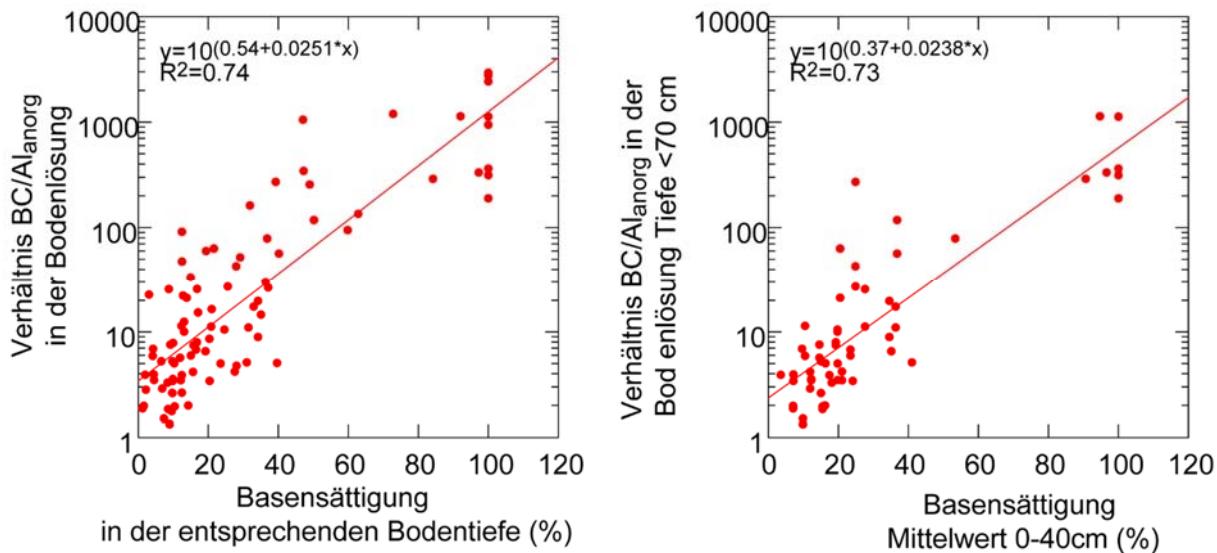


Abb. 12: Beziehung zwischen der Basensättigung der Bodenfestphase und dem BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung. Mittelwert pro Tiefenstufe über den Zeitraum 2005-2016. In der rechten Grafik ist die über die obersten 40 cm gemittelte Basensättigung angegeben, die in den epidemiologischen Auswertungen verwendet wird.

Der Anteil von Proben mit Überschreitungen der alten kritischen Werte des Kriteriums BC/Al-Verhältnis für Versauerung ist bei dieser Auswertung gering, aber der in der Schweiz gültige $(BC/Al)_{crit}$ von 7 wird in 43% aller Fälle unterschritten. Wie in Kap. 3.1.5 dargelegt, wurden in der Walddauerbeobachtung Effekte bei 20 oder 40% Basensättigung gefunden. Werden diese Grenzwerte der Basensättigung für eine Risikobewertung verwendet, so werden bei einer Grenze von $BS=20\%$ 44% der Walddauerbeobachtungsflächen als kritisch eingestuft. Bei einer Grenze von $BS=40\%$ sind es 60%.

Zwischen dem pH-Wert der Bodenlösung und dem logarithmierten BC/Al-Verhältnis besteht eine sehr enge Beziehung (Abb. 13 links). Mit dem Boden-pH-Wert ist dies deutlich weniger der Fall (Abb. 13 rechts). Die Nichtlinearität im Bereich von pH 4 ist durch die Wirkung des Aluminiumpufferbereichs bedingt (Ulrich 1981).

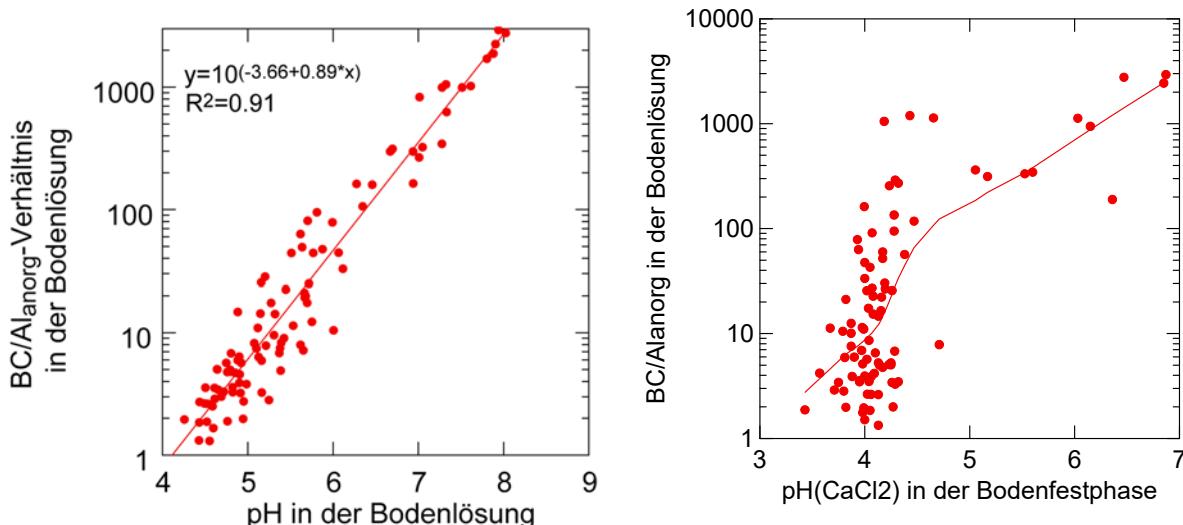


Abb. 13: Beziehung zwischen dem BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung und dem pH-Wert der Lösung (links) bzw. dem pH(CaCl₂) der entsprechenden Tiefe (rechts). Mittelwerte pro Tiefenstufe und Standort.

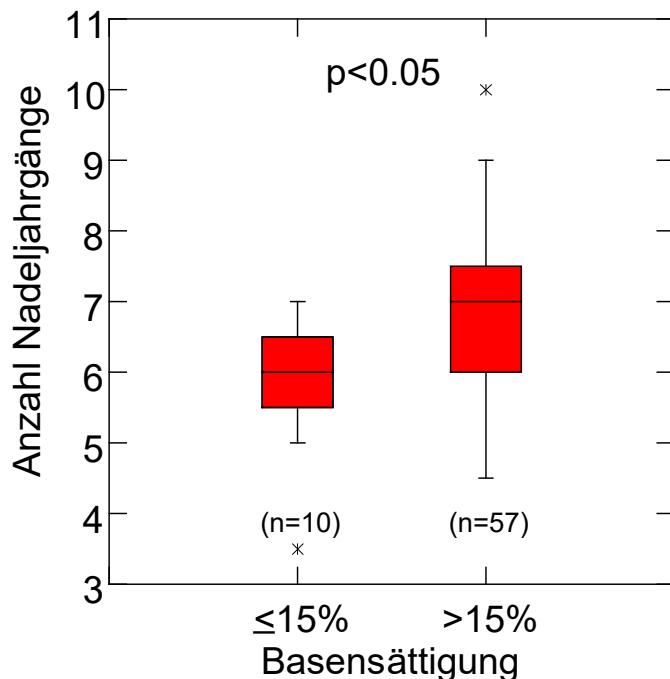


Abb. 14: Anzahl Nadeljahrgänge bei den Fichten in Beziehung zur über die obersten 40 cm gemittelten Basensättigung des Bodens. n: Anzahl Flächen (8 Bäume pro Fläche).

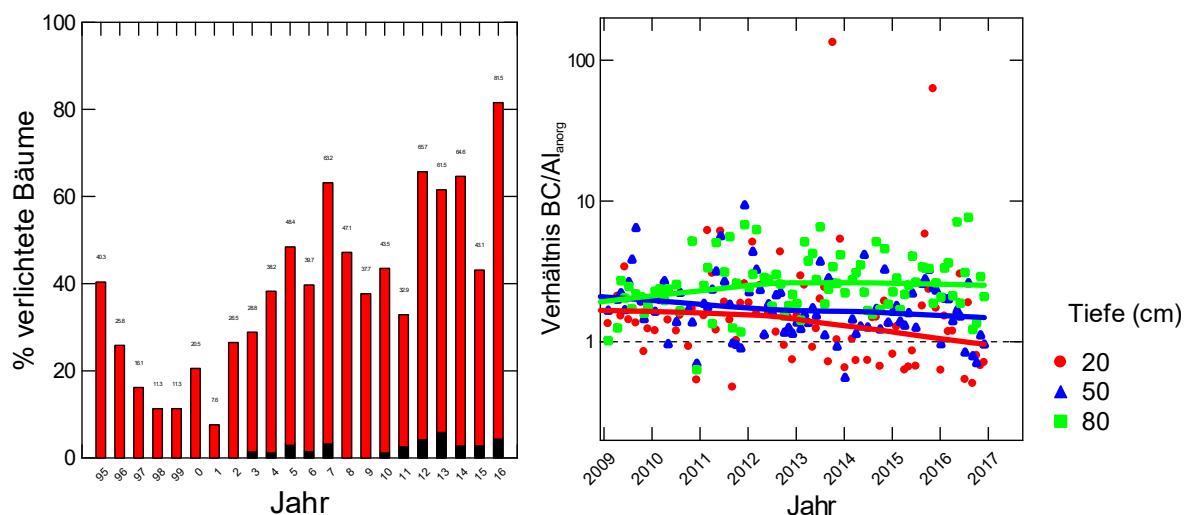


Abb. 15: Links: Anteil der Bäume mit >25% Kronenverlichtung (rot) bzw. >60% Kronenverlichtung (schwarz) in der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald. Rechts: BC/Al_{anorg}-Verhältnis in der Bodenlösung dieser Fläche. Gestrichelte Linie: Altes kritisches Verhältnis von 1.

5.1.2 Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung

Hinsichtlich der Stickstoffkonzentrationen ist der Anteil Überschreitungen von kritischen Belastungsgrenzen deutlich grösser als bei der Versauerung. Die N-Konzentration (grössten teils Nitrat) in der Bodenlösung ist in 33% bzw. 40% der Proben grösser als die in Tab. 3 aufgelisteten kritischen Belastungsgrenzen für Nährstoffungleichgewichte von 0.2 bzw. 0.4 mg N l⁻¹ (Tab. 6, Abb. 16). 9.7% der Proben übersteigen den Richtwert für Trinkwasser von

25 mg NO₃/l (=5.6 mg N l⁻¹). Die Konzentrationen unterhalb des Wurzelraums (≥ 70 cm Tiefe) sind etwas geringer als die Konzentrationen im Oberboden.

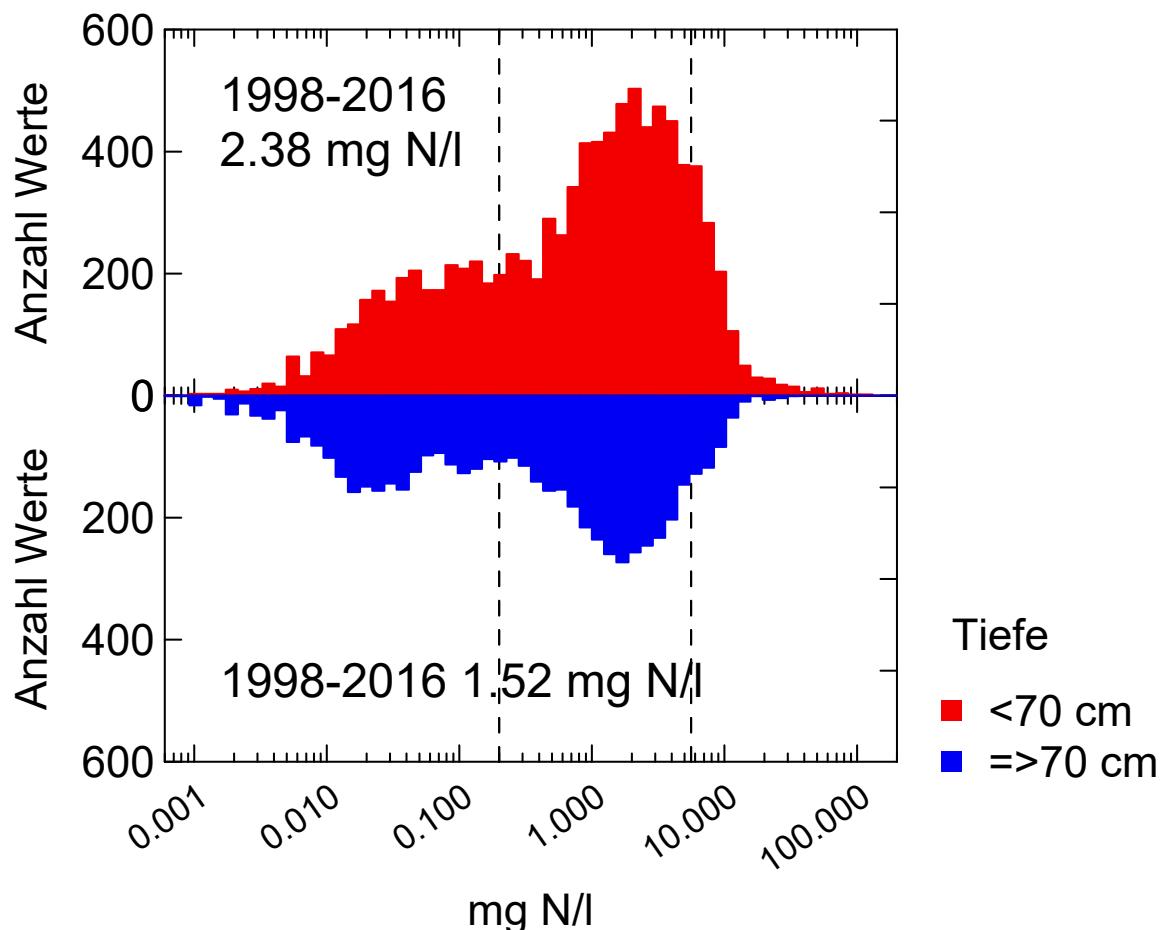


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Konzentration an anorganischem Stickstoff in der Bodenlösung (NO₃⁻ + NH₄⁺) zwischen 1998 und 2016 (einzelne Monatswerte), gruppiert nach Wurzelraum (<70 cm) und unterhalb Wurzelraum (≥ 70 cm). Eingetragen ist der kritische Wert für Konzentrationen bezüglich Nährstoffungleichgewichten von 0.2 mg N l⁻¹ und der Richtwert für Trinkwasser von 5.6 mg N l⁻¹ (=25 mg NO₃ l⁻¹) (Tab. 3)

5.2 Auswaschung von Stickstoff, Aluminium und basischen Kationen

5.2.1 Stickstoff-Auswaschung

Die Stickstoffauswaschung in den Jahren 2005-2016 übersteigt im Mittel die in der Tab. 4 aufgelisteten kritischen Werte auf 64% 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 2016 eine mittlere N-Auswaschungsrate von 56 kg N ha⁻¹ a⁻¹ errechnet wurde. Die mittlere N-Konzentration in dieser Fläche liegt im gleichen Zeitraum bei 7.2 mg l⁻¹. In Allschwil, einer Fläche mit extrem hohen N-Konzentrationen in der Bodenlösung (Mittelwert 34 mg N l⁻¹), liegt die mittlere Auswaschung wegen der geringeren Sickerwassermenge bei 58 kg N ha⁻¹ a⁻¹.

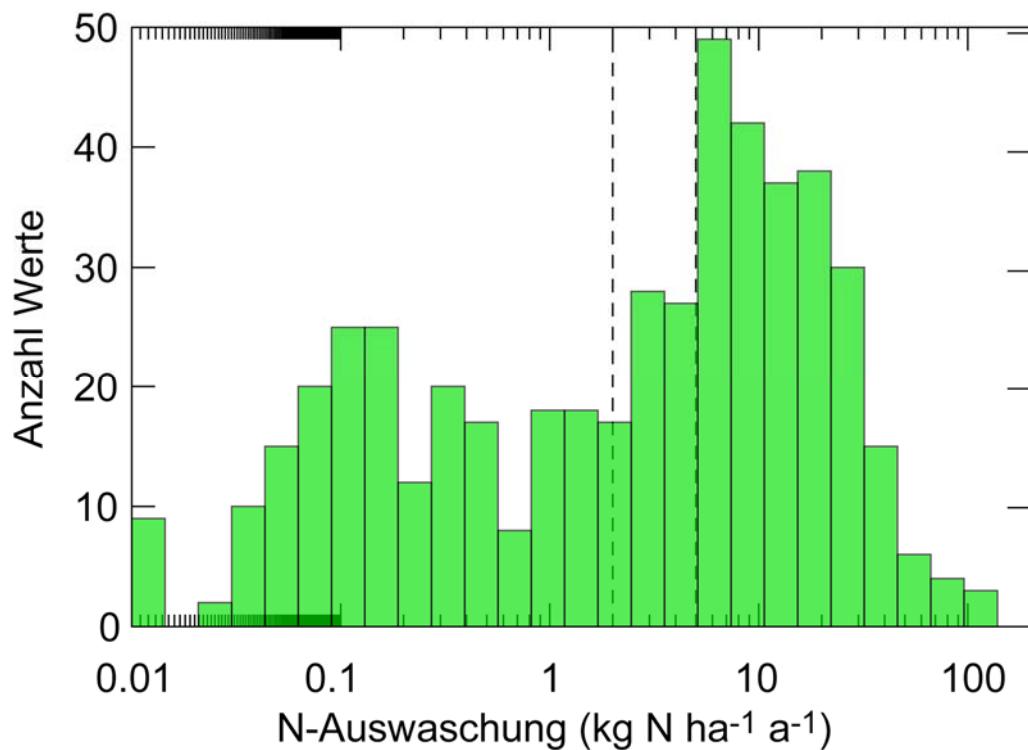


Abb. 17: Jahresfrachten der Stickstoffauswaschung 2005-2016 (ohne N-Versuche). Eingetragen sind die kritischen Werte für Koniferen- und Laubwälder gemäss Tab. 4.

Standort	Sickerwasser	Nitratkonzentration			Leaching	Deposition	Überschreitung kritischer Werte			
							Konz.	Leach.		
		≤30 cm	>30-60cm	>60cm						
	mm	mg N/l	mg N/l	mg N/l	kg N ha⁻¹ a⁻¹	kg N ha⁻¹ a⁻¹				
AW	464	2.39		1.76	8.3	25.8	x	x		
AU	792	1.03	1.05	1.21	10.2	34.2	x	x		
AI	471	3.12	1.95	2.31	6.3	33.5	x	x		
AL	142		32.12		52.8	25.8	x	x		
BUR	744	1.75			17.6	32.7	x	x		
BAB	1107	1.35	1.29	0.23	15.2	30.3	x	x		
BA	998	4.09	3.46	3.01	33.3	36.3	x	x		
BE	344	6.48	7.31	6.59	17.7	60.9	x	x		
BO	428	0.04		0.01	0.1	16.9				
BRAU	408	4.49	3.31	2.09	9.1	45.9	x	x		
BB	316	0.09		0.03	0.1	22.3				
BRB	381	0.26	0.09		0.3	22.1	x			
BR	257	1.95	0.86	0.76	1.3	25.9	x			
BU	391	0.08		0.04	0.2	34.3				
DI	291	6.29	5.84	6.4	19.1	23.8	x	x		
FR	548	0.37	1.05	1.62	4.7	27.9	x	x		
GE	384	2.51	3.59	0.32	0.3	37.6	x			
GI	429	1.66			7.2	24.9	x	x		
GB	971	0.98			7.2	22.5	x	x		
GW	208	0.11	0.11	0.09	0.3	55.4				
HA	313	2.18		2.46	6.2	25.1	x	x		
HI	638	2.04		1.94	12.8	36.5	x	x		
LC	816	0.31	0.65	0.05	0.6	34.6	x			
LUB	1092			1.16	12.8	15.7	x	x		

Standort	Sickerwasser	Nitratkonzentration			Leaching	Deposition	Überschreitung kritischer Werte	
		≤30 cm	>30-60cm	>60cm			Konz.	Leach.
LU	1114	0.28	0.04	0.36	5.0	14.8	x	x
MO	265	4.7	4.15	2.45	5.9	23.3	x	x
MUB	371			2.91	12.7	32.5	x	x
MU	583	4.69	4.25	5.61	23.5	39.4	x	x
MUF	281	4.54	4.44	4.24	12.7	37.7	x	x
MUU	217		0.74	0.47	1.5	21.7	x	
OS	542	0.05	0.03	0.02	0.1	26.8		
OL	246	0.18	0.08	0.03	0.1	23.3		
PR	348	0.38		0.26	0.9	24.0	x	
RU	251	0.06		0.1	0.3	23.7		
RAF	291	1.07		0.06	0.2	23.6	x	
RI	388	0.88		1.53	2.9	19.7	x	
SA	928		7.05		53.2	36.0	x	x
SW	562	0.11	0.08	0.07	0.6	24.0		
SE	413	9.54	7.69	5.12	15.5	47.9	x	x
ST	1106	8.16			59.1	32.4	x	x
WG	450	3.69	5.06	4.5	18.2	34.7	x	x
WSZ	701	0.35	0.31		0.5	31.1	x	
WA	920	0.05	0.05	0.08	0.6	12.7		
WI	470	1.05		0.73	3.5	29.0	x	
ZO	369	0.43		0.55	1.8	26.9	x	
ZBB	915	1.39	0.64	0.05	5.8	33.1	x	x
ZB	837	1.84	2.21	1.03	8.1	32.7	x	x
ZV	551	1.76		1.35	7.9	34.4	x	x
Anzahl						39	28	
Prozent						81	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, d.h. der Hauptwurzelraum, berücksichtigt. Mittelwert über die Jahre 2005-2017.

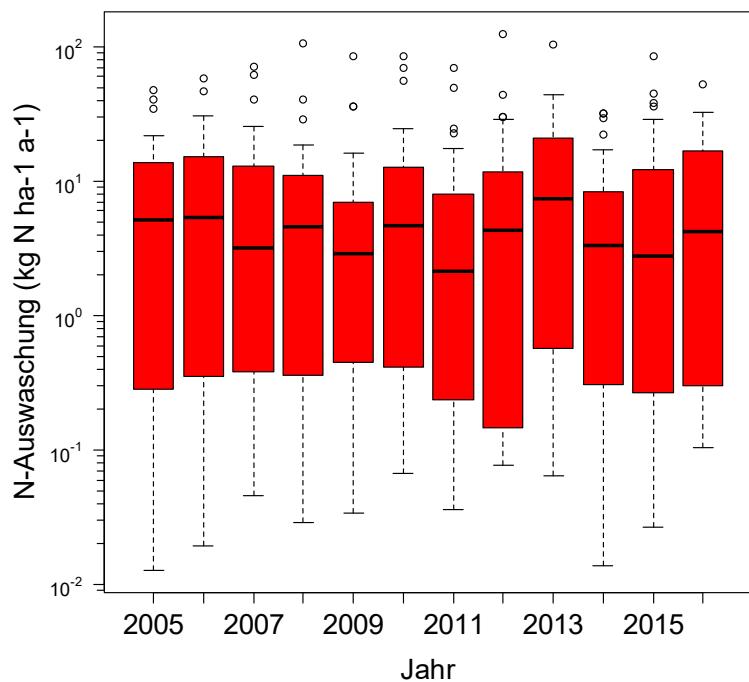


Abb. 18: Entwicklung der N-Auswaschung seit dem Jahr 2005.

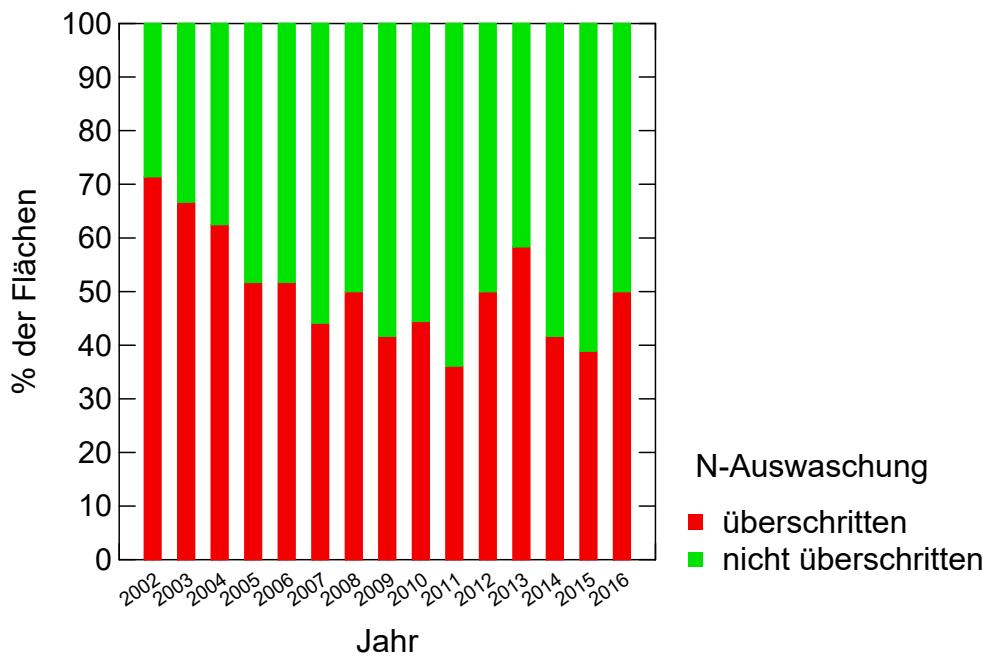


Abb. 19: Überschreitungshäufigkeit des Schwellenwerts für N-Auswaschung gemäss Tab. 4.

Die Stickstoffauswaschung hat im Laufe der Beobachtungszeit signifikant abgenommen ($p<0.001$). Das wird sowohl im Trend der jährlichen Auswaschungsraten (Abb. 18) als auch in der Überschreitungshäufigkeit der kritischen Werte für N-Auswaschung gemäss Tab. 4 (Abb. 19) ersichtlich. Wichtigster Grund dafür ist die Abnahme der N-Deposition in dieser Zeit. Während im Kollektiv der Lysimeterflächen der N-Eintrag 2000 27.7 kg N ha⁻¹ a⁻¹

betrugen hatte, sank er auf 25.4 im Jahr 2007 und auf 24.3 im Jahr 2010 (neuere Zahlen sind noch nicht verfügbar). Weniger bedeutend ist eine Abnahme der Sickerwassermenge. Unter Einbezug der in Tab. 8 aufgelisteten Kovariablen ist der Zeittrend noch mit $p < 0.05$ signifikant, d.h. selbst unter Einbezug der Veränderung der Stickstoffdeposition und der Sickerwassermenge besteht noch ein leicht negativer Trend.

Aus der multivariaten Auswertung wurden die Koeffizienten für die Beziehung zwischen Stickstoffdeposition und N-Austrag extrahiert. Die Gleichung ist in Abb. 20 als Linie eingezeichnet.

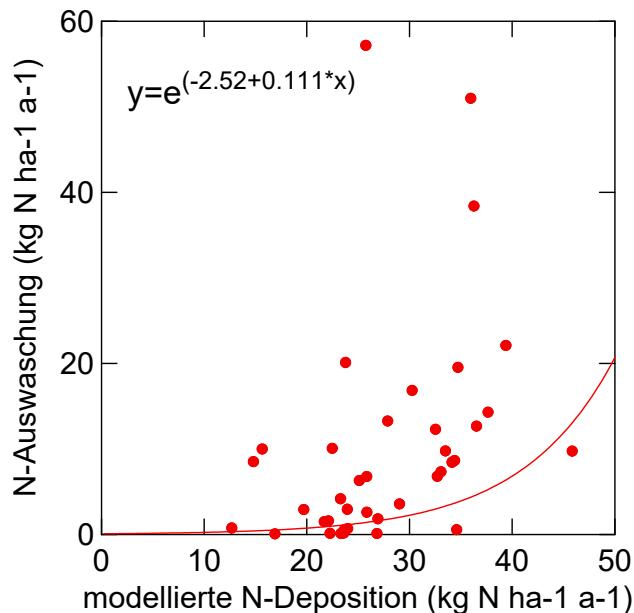


Abb. 20: Beziehung zwischen der modellierten N-Deposition und dem N-Austrag (Mittelwerte über alle Jahre). Eingezeichnete Linie: Regression aus Tab. 8.

Der Einfluss von Durchforstungsmassnahmen ist in der Fläche Aeschau (Abb. 50, Abb. 55) zu beobachten. Deutlich sichtbar sind 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 um einige Kilogramm pro Hektar ansteigen lassen. Der Effekt ist aber nach etwa 4-5 Jahren nur noch schwach.

5.2.1.1 Mittlere N-Auswaschung in Beziehung zu Standortsfaktoren

Im Rahmen eines Projektes mit der WSL zur Abschätzung des N-Austragsrisikos sollte die N-Auswaschung für Schweizer Waldstandorte modelliert werden. Die WSL lieferte Daten von 7 LWF-Flächen, vom IAP standen Bodenlösungsdaten aus 38 Flächen zur Verfügung. Die nachstehenden Auswertungen wurden nur mit dem IAP-Datenset durchgeführt, da ein Teil der benötigten Variablen für das WSL-Datenset nicht verfügbar war und die Beprobungszeiträume unterschiedlich waren.

Als Arbeitshypothese war angenommen worden, dass das C/N-Verhältnis der Humusaufklage ein guter Prädiktor für die N-Auswaschung ist, da in verschiedenen europäischen Studien eine

starke Zunahme der N-Auswaschung bei C/N-Verhältnissen unterhalb von ca. 25 gezeigt worden war (u.a. Gundersen et al. 1998, Dise et al. 1998, UNECE 2005). Bei höheren C/N-Verhältnissen wird Stickstoff noch im System gespeichert, und die Nitrifikation kommt zum Erliegen (Aber et al. 2003). Die Arbeitshypothese konnte nicht bestätigt werden (Abb. 21), was zunächst überraschend war. Doch sind so hohe C/N-Verhältnisse wie in den anderen Studien im vorliegenden Datenset nicht sehr häufig (Abb. 22). Im aktuellen IAP-Datenset weisen nur 52 von 212 Bodenprofilen ein C/N-Verhältnis von >20, nur 15 ein solches von >25 auf. Damit ist der Bereich für C/N-Verhältnisse >25 für eine Verwendung als Prädiktor für die N-Auswaschung nicht genügend abgedeckt. Zudem gilt die Beziehung von Gundersen et al. 1998 nur für Koniferenwälder, mit einer ausgeprägten Humusaufklage. Eine solche kann nur in 56 von 212 Profilen gefunden werden.

Signifikante Prädiktoren der N-Auswaschung war, abgesehen von der Stickstoffdeposition, die Sickerwassermenge sowie die Vernässung bzw. die damit verbundene Denitrifikation (Reinds et al. 2001, CLRTAP 2004) (Abb. 23, Tab. 9). Sie wurde aus Vernässungsmerkmalen des Bodenprofils hergeleitet (Tab. 7).

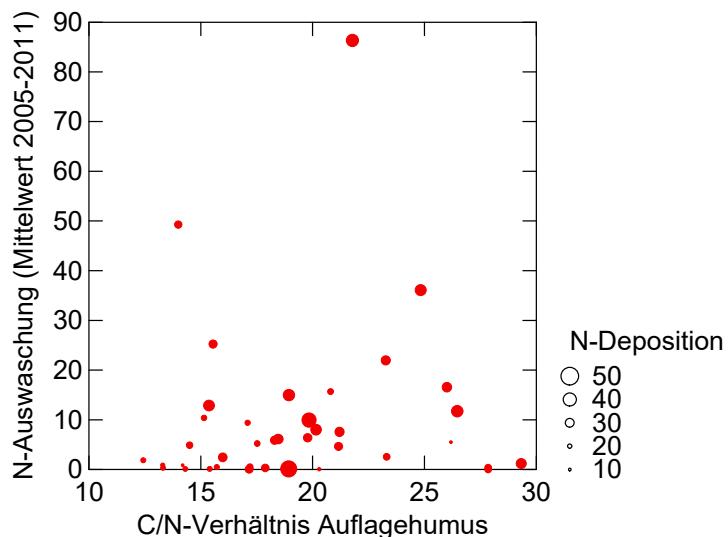


Abb. 21: Beziehung zwischen N-Auswaschung (Mittelwert 2005-2011) und dem C/N-Verhältnis im Auflagehumus. Die N-Deposition ist durch die Grösse der Plotsymbole gekennzeichnet.

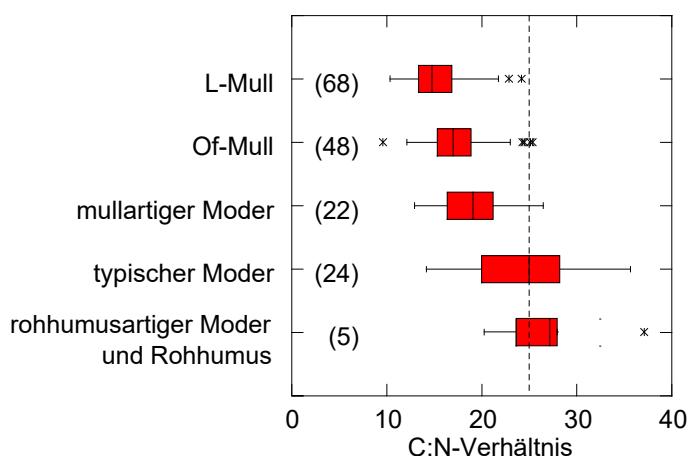


Abb. 22: C:N-Verhältnis in allen IAP-Waldbeobachtungsflächen bei unterschiedlichen Humusformen (Auflagehumus bei Moder und Rohhumus, erster mineralischer Horizont bei Mull). Zahlen in Klammern: Anzahl Stand-

orte. Gestrichelte Linie: Verhältnis von 25 (Grenze zu erhöhter Stickstoffauswaschung nach Gundersen et al. 1998).

	Profilmerkmal (Mineralbodenhorizonte)					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
6						0.8 (nicht verwendet)

Tab. 7: Einstufung der Vernässung in den Bodenprofilen (nach Arbeitskreis Standortskartierung 2003 und Frei et al. 1980). Angegeben ist die Tiefe des ersten Auftretens des entsprechenden Vernässungsmerkmals in cm. Zugeordneter Denitrifikationsfaktor gemäss Rihm (1996) und CLRTAP (2016). Die letztere Quelle gibt Faktoren von 0-0.8 an, wobei 0 für "exzessiv drainiert" und 0.8 für Torf steht; beides kam im verwendeten Datenkollektiv nicht vor.

Sd = Stauwassereinfluss, wasserstauend, Sw= Stauwassereinfluss, stauwasserleitend, Go= Grundwassereinfluss, oxidiert. Klammer: Merkmal nur schwach ausgeprägt.

	poly	Estimate	Std..Error	t.value	p.z
(Intercept)		-2.299	0.685	-3.354	0.0008
modellierter N-Eintrag	1	0.111	0.023	4.826	0.0000
Denitrifikationsfaktor (f de)	1	-18.721	5.014	-3.734	0.0002
Denitrifikationsfaktor (f de)	2	4.644	4.555	1.020	0.3080
Sickerwassermenge (mm)	1	9.392	1.845	5.089	0.0000
Sickerwassermenge (mm)	2	-2.687	1.229	-2.186	0.0288

Tab. 8: Regressionsoutput für die Berechnung der N-Auswaschung. Abhängige Variable: N-Auswaschung. poly: Grad der Polynomfunktion in R.

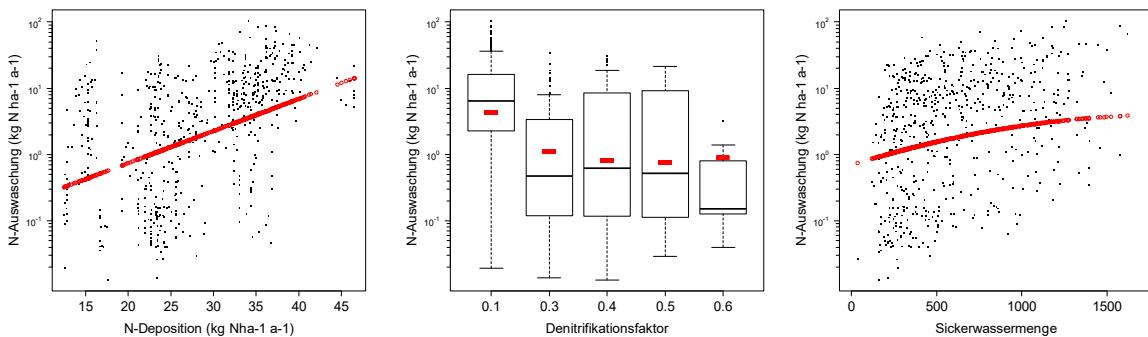


Abb. 23: Visualisierung der in Tab. 8 aufgelisteten Beziehungen. Kleine schwarze Punkte bzw. Box: Einzelwerte. Rote Linie bzw. rote Striche in Boxplot: Schätzwerte aufgrund Regression, mit den anderen Prädiktoren als Mittelwert. Die Y-Achse ist logarithmiert. Die in die Regression einbezogenen Stickstoffdepositionswerte sind zeitlich variabel, gemäss der Veränderung über die Beobachtungszeit. Die Funktion in der linken Grafik ist die gleiche, die in Abb. 20 eingezeichnet ist.

Bei drei Flächen wird die Bodenlösung in benachbarten Buchen- und Fichtenbeständen gesammelt, um den Einfluss der Baumartenzusammensetzung zu untersuchen. Es handelt sich

zwar nur um drei Flächenpaare, trotzdem sind die Ergebnisse eindeutig: unter Fichten sind die Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung höher als unter Buchen (Abb. 24 rechts). Dies liegt zum grossen Teil an den höheren N-Einträgen in Fichtenwälder, denn Fichten kämmen mit ihrer grossen Nadelmasse und bei ganzjähriger Benadelung mehr Depositionen aus der Luft aus. Obwohl die Sickerwassermengen unter Fichten wegen der höheren Kroneninterzeption geringer sind als unter Buchen (Abb. 24 Mitte), sind die resultierenden Austräge unter Fichten deshalb wesentlich höher (Abb. 24 links). Dies deckt sich mit Ergebnissen aus Deutschland (Rothe et al. 2002) und zeigt die Bedeutung der Baumartenwahl auf die Bodenversauerung, da ausgewaschenes Nitrat zugleich Kationenverlust bedeutet.

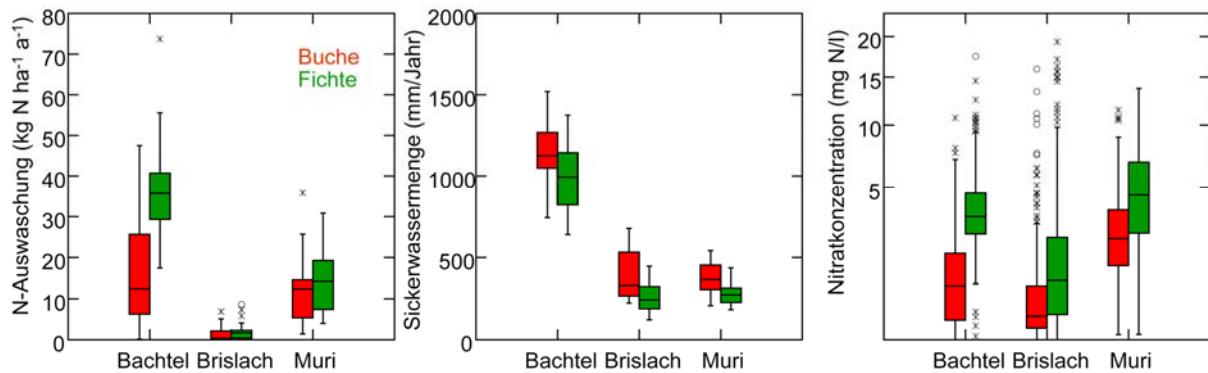


Abb. 24: N-Auswaschung (links), Sickerwassermenge (Mitte) und Nitratkonzentration (rechts) in der Bodenlösung von benachbarten Buchen- und Fichtenbeständen. Mittelwert über die Jahre 2005 bis 2016.

5.2.2 Auswaschung von Aluminium

Ein weiteres Beurteilungskriterium für die Bodenlösung ist die Auswaschung von Aluminium, die die Verwitterung von Aluminium nicht übersteigen sollte (Sverdrup et al. 1990a; CLRTAP 2004). Die Auswaschung von Al zeigt auch die Pufferung des pH-Wertes über den Aluminium-Pufferbereich hinaus an, die vermieden werden soll. 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. 1990b). Das Resultat des Vergleichs der Al-Verwitterung mit der Al-Auswaschung für 81 Flächen mit berechneter Verwitterungsrate ist in Abb. 25 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.

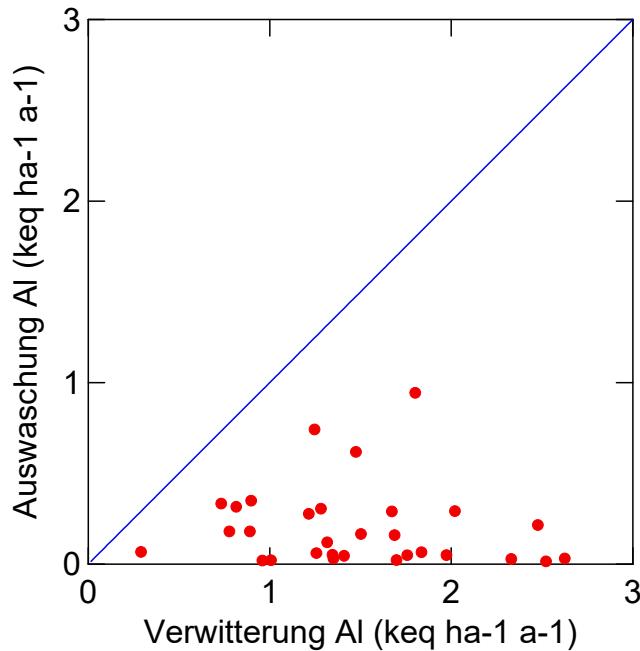


Abb. 25: Auswaschung von Aluminium aus 50-60 cm Bodentiefe in Beziehung zur Verwitterung (aufsummiert über den Wurzelraum). Die Auswaschung sollte die Verwitterung nicht übersteigen.

5.2.3 Auswaschung von basischen Kationen (BC)

Die BC-Auswaschung ist relevant für die Beurteilung der Versauerung und der Nachhaltigkeit in der Nährstoffversorgung. Wichtig ist, dass die Beurteilung für die durchwurzelten Bodenhorizonte erfolgt. 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 et al. 2015). 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. 26 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 basenreicherem 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. 320 Abb. 320, HI: Abb. 168, PR: Abb. 256 Abb. 256, BB: Abb. 104, SA: Abb. 288) beobachtet werden.

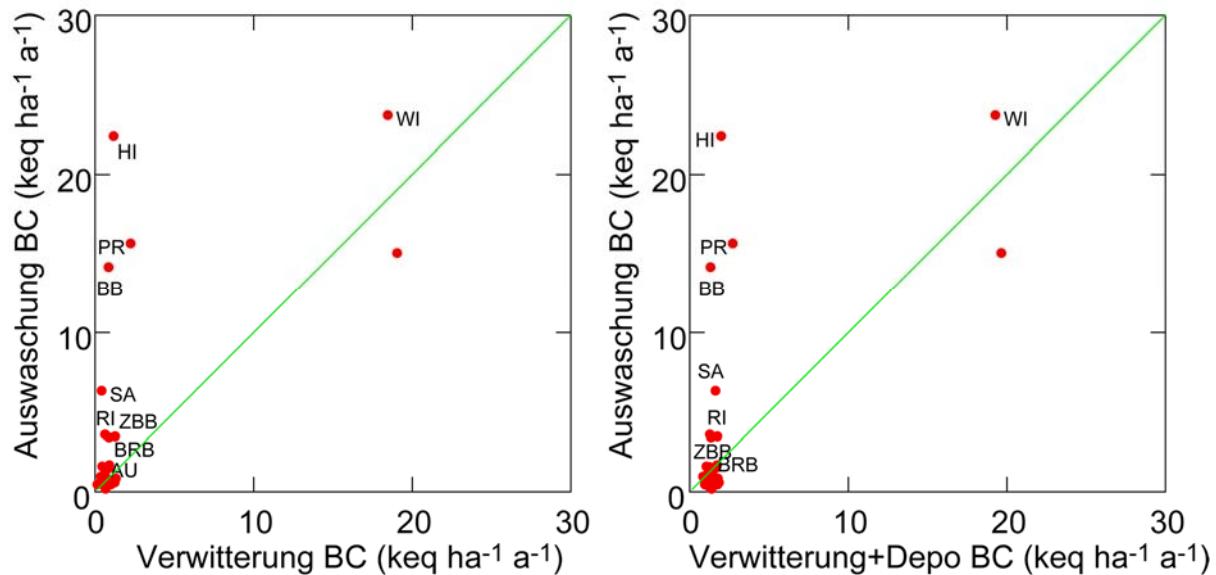


Abb. 26: Beziehung zwischen der Auswaschung der basischen Kationen (BC) in 50-60 Tiefe (Mittelwert 2005-2016) und der über 60 cm aufsummierten BC-Verwitterungsrate. Links: Beziehung zur Verwitterung allein, rechts: Beziehung zum Input durch Verwitterung + Deposition (Modellierung Beat Rihm, 2010 nach der Beschreibung in Kurz et al. 1998 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 Standorten 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 et al. 2015) beschrieben. Darin wird auch der Einfluss unterschiedlicher Erntemethoden analysiert.

Die nachfolgenden Abbildungen sollen die Bedeutung der Auswaschungsberechnungen bei unterschiedlichen Erntemethoden illustrieren. Abb. 27 vergleicht den Austrag mit dem Nährstoffentzug durch Stammernte mit Rinde, Abb. 28 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.

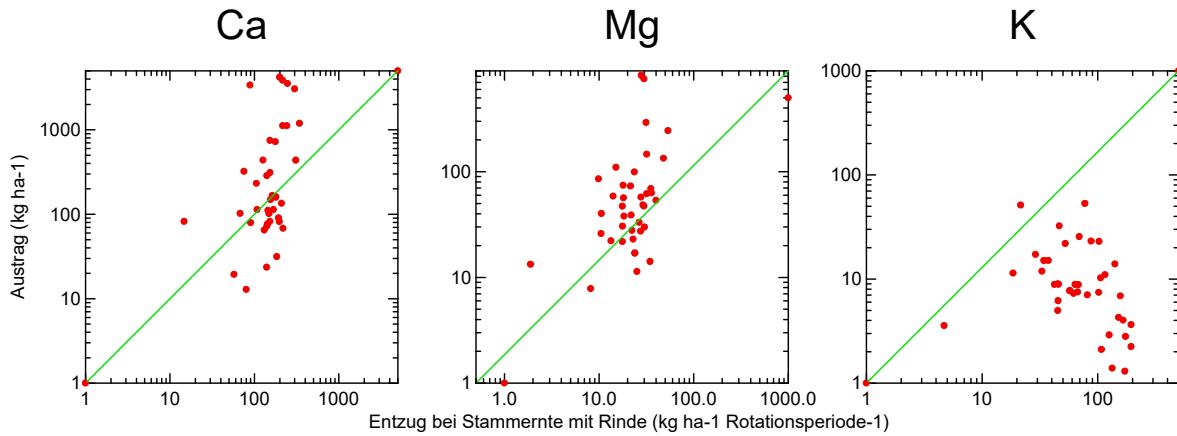


Abb. 27: Austrag basischer Kationen in 50 cm Tiefe im Vergleich zum Nährstoffentzug durch Stammernte (Summe pro Rotationsperiode, 120 Jahre).

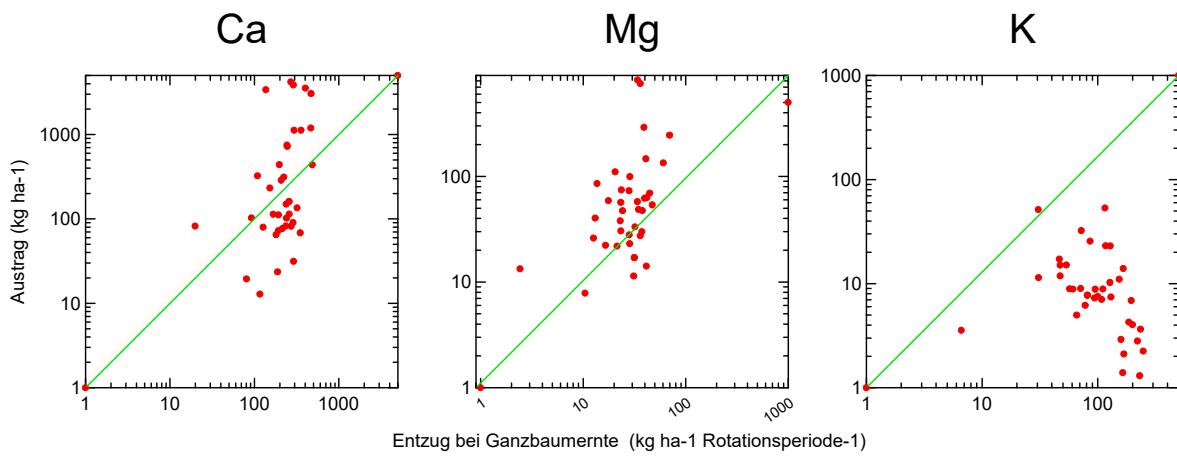


Abb. 28: Austrag basischer Kationen in 50 cm Tiefe (Mittelwert 2005-2016) im Vergleich zum Entzug basischer Kationen durch Ganzbaumernte (Summe pro Rotationsperiode, 120 Jahre).

5.3 Beurteilung der zeitlichen Entwicklung

5.3.1 Entwicklung in den Beobachtungsflächen

Die zeitliche Entwicklung wichtiger chemischer Parameter in der Bodenlösung ist in den Abbildungen zu den Einzelstandorten enthalten (Abb. 40 bis Abb. 375). Die Grafiken mit Aluminium (BC/Al, Al-Konzentration) wurden mit den Werten für anorganisches Aluminium erstellt.

Die Abnahme des BC/Al-Verhältnisses hat sich im Laufe der Beobachtungszeit verlangsamt. So wurde im Oberboden zwischen 2005 und 2010 in 21 von 30 Flächen eine signifikante Abnahme des BC/Al-Verhältnisses beobachtet (Abb. 29), zwischen 2010 und 2015 in 13 von 35 (Abb. 30). Die Veränderung wird auch in Abb. 31 sichtbar, wo der Gesamtrend während dreier Perioden zusammengefasst wird.

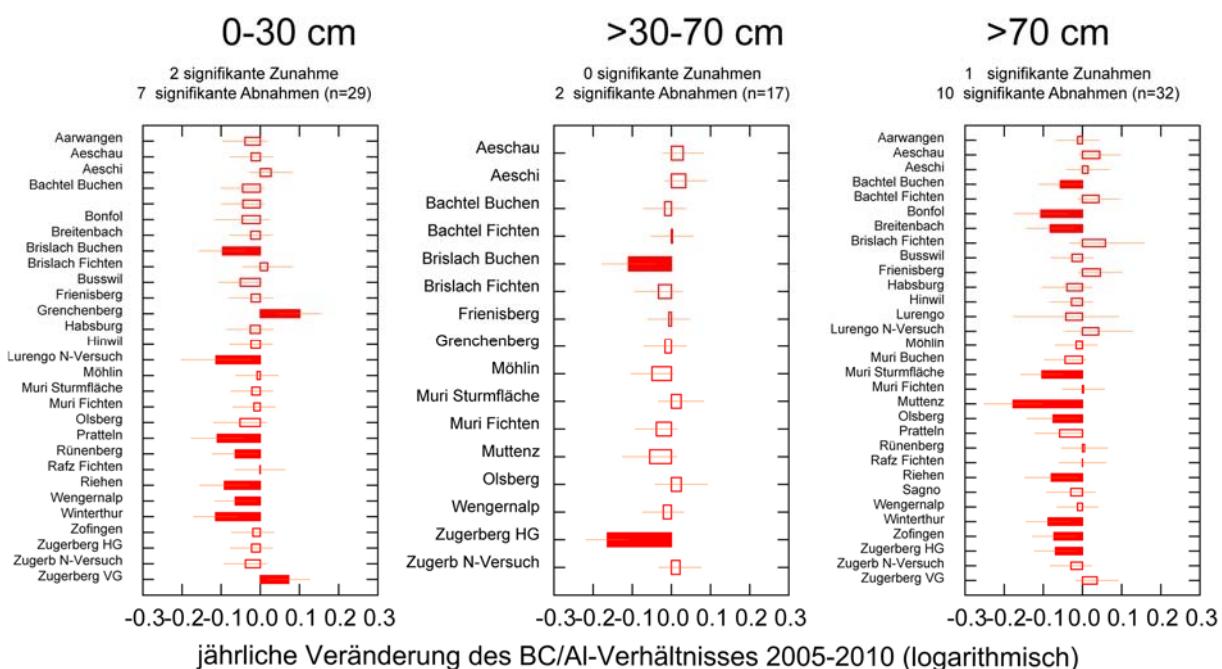


Abb. 29: Jährliche Veränderung des $\text{BC}/\text{Al}_{\text{anorg}}$ -Verhältnisses von 2005 bis 2010 in verschiedenen Bodentiefen für Flächen, die seit mindestens 2005 beprobt wurden. Eine Veränderung um -0.1 entspricht einer jährlichen Abnahme des BC/Al-Verhältnisses um 20.6% ($10^{-0.1}=0.794$). 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 ausgefüllte Säulen hervorgehoben.

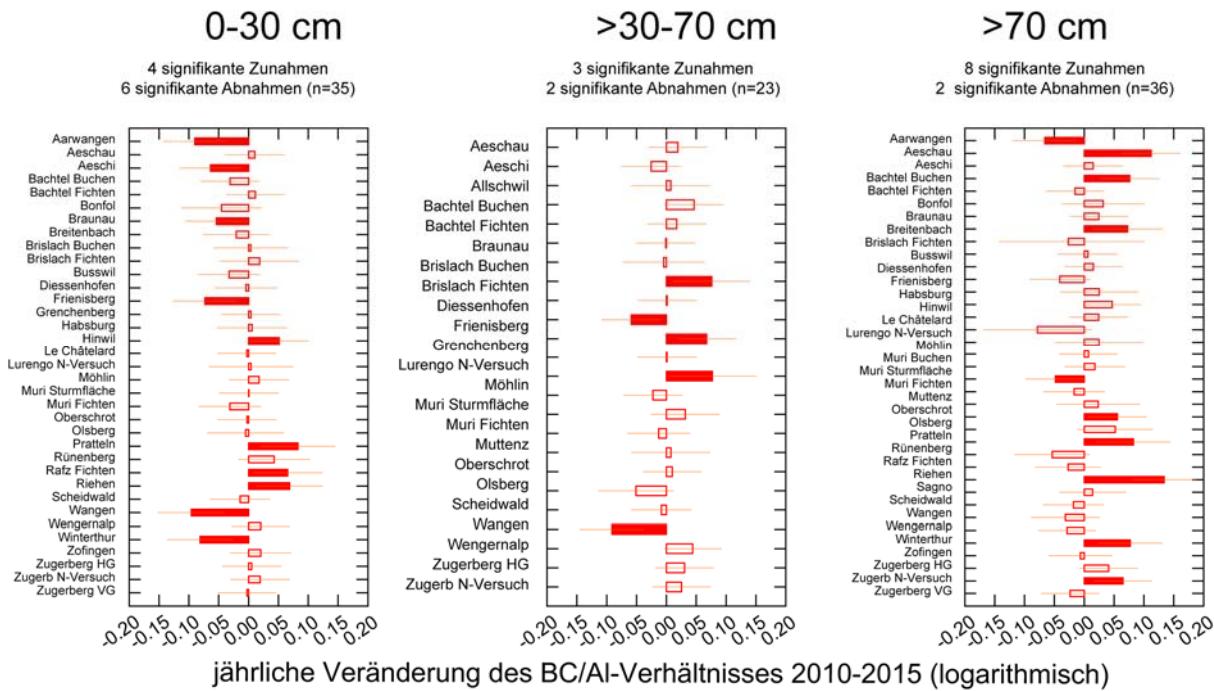


Abb. 30: Jährliche Veränderung des $\text{BC}/\text{Al}_{\text{anorg}}$ -Verhältnisses von 2010 bis 2015 in verschiedenen Bodentiefen für Flächen, die seit mindestens 2010 beprobt wurden.

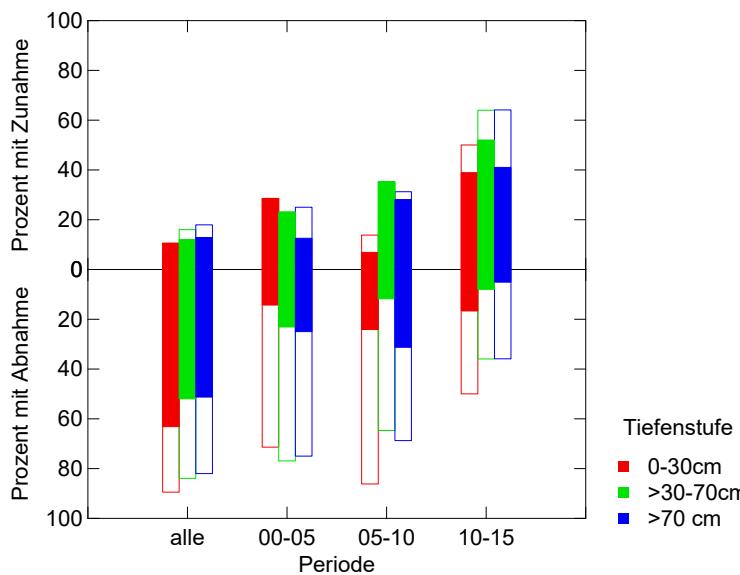


Abb. 31: Übersicht über die Veränderung des $\text{BC}/\text{Al}_{\text{anorg}}$ -Verhältnisses über die gesamte Untersuchungsperiode ("alle"), zwischen 2000 und 2005 (Periode 00-05), zwischen 2005 und 2010 (Periode 05-10) und zwischen 2010 und 2015 (Periode 10-15). Der Anteil Flächen mit einer Abnahme ist mit nach unten gerichteten Säulen dargestellt, der Anteil Flächen mit einer Zunahme mit nach oben gerichteten Säulen. Signifikante Veränderungen sind durch ausgefüllte Säulen hervorgehoben. Beispiel: über die ganze Beobachtungszeit zeigen 71% der Flächen im Oberboden eine signifikante Abnahme des Verhältnisses zwischen BC und Al_{anorg} , zwischen 2010 und 2015 waren es noch 36%.

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. 32). 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 in Böden mit einer Basensättigung >40%.

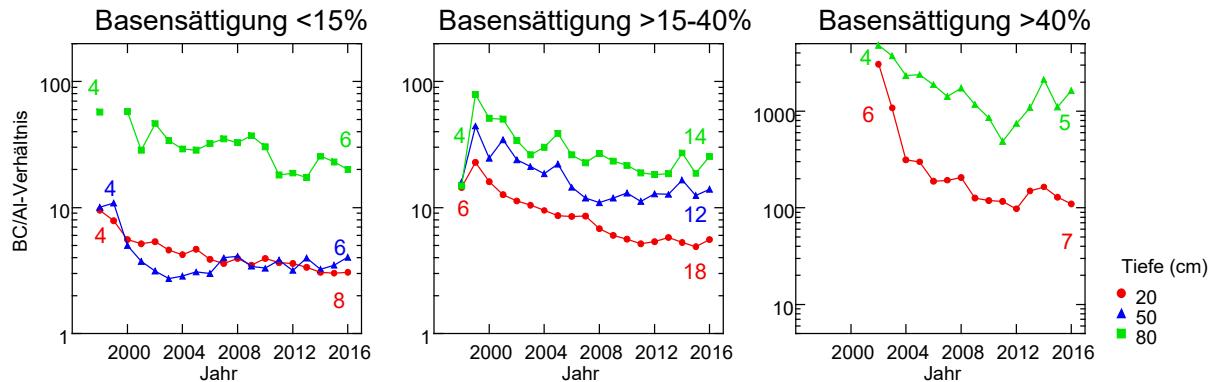


Abb. 32: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses in der Bodenlösung in Kollektiven mit unterschiedlicher Basensättigung des Bodens. Zahlen bei den Kurven: Anzahl Flächen am Anfang und am Ende des Beobachtungszeitraums. Bei der Gruppe mit einer Basensättigung >40% wurde Grenchenberg ausgeschlossen.

	Koeff	SE	t-Wert	p-Wert
(Intercept)	-0.2090	0.0278	-7.5114	0.0000
Anfangswert BC/Al-Verhältnis 4 Jahre zuvor	-0.1512	0.0075	-20.1567	0.0000
pH der Bodenlösung 4 Jahre zuvor	0.0552	0.0062	8.9719	0.0000
Basensättigung	0.0021	0.0002	9.8163	0.0000
Tiefe (0: <70 cm, 1:>=70 cm)	0.0151	0.0082	1.8510	0.0642
Zeit	0.0012	0.0006	2.2014	0.0277
Anfangswert BC/Al*Tiefe	0.0269	0.0051	5.3208	0.0000

Tab. 9: Geschwindigkeit der Veränderung des BC/Al-Verhältnisses (logarithmiert) in Beziehung zu verschiedenen Prädiktoren.

Die Geschwindigkeit der weiteren Abnahme des BC/Al-Verhältnisses in einer 4-Jahresperiode korreliert mit den jeweiligen Ausgangswerten von pH-Wert und BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung sowie mit der Basensättigung in der entsprechenden Bodenschicht. Das zeigt eine Auswertung, die mit Differenzen des BC/Al-Verhältnisses über jeweils vier Jahre für den Oberboden durchgeführt wurde (Tab. 9). Signifikant waren Anfangswert des BC/Al-Verhältnisses und des pH-Wertes, die Basensättigung in den entsprechenden Bodentiefen und Tiefe (>=70 cm im Vergleich zu <70 cm). Zeit ist ebenfalls schwach signifikant, d.h. die Beziehung hat sich über die Zeit verändert. Die Einheiten sind pro Jahr gerechnet, d.h. es sind die gleichen Skalenwerte wie in Abb. 29 und Abb. 30. Mit Polynomfunktionen wurde die Linearität der Beziehungen geprüft. Abb. 33 zeigt die „predicted values“ aus dieser Auswertung in Beziehung zur Basensättigung des Bodens in der entsprechenden Tiefe und zum BC/Al-Verhältnis am Anfang der Vierjahresperiode. Negative Differenzen weisen auf eine Abnahme in dieser Zeit hin. In Bodenschichten mit einer Basensättigung unterhalb von 62% im Ober- bzw. 28% im Unterboden und bei pH-Werten in der Bodenlösung von unter 6.3 bzw. 5.3 nimmt das BC/Al-Verhältnis im Mittel ab. Lag der Startwert des BC/Al-Verhältnisses jedoch unter 10.5 bzw. 25.4, gab es in den darauffolgenden vier Jahren im Mittel keine Abnahme des BC/Al-Verhältnisses.

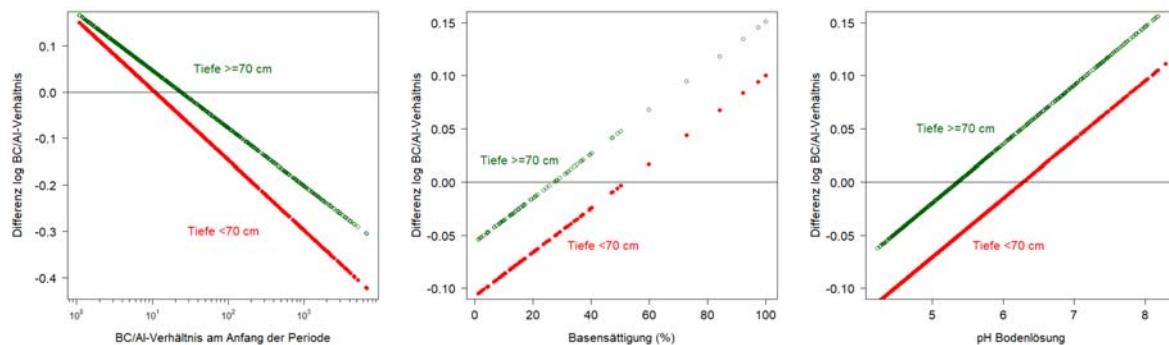


Abb. 33: Mittlere jährliche Veränderung des logarithmierten BC/Al-Verhältnisses während jeweils 4 Jahren in Beziehung zur Basensättigung in der entsprechenden Bodentiefe und zum BC/Al-Verhältnis und zum pH-Wert am Anfang der Periode. Schätzwerte aus einer multivariaten Regression, die insgesamt etwa 36% der Varianz erklärt.

Der im Oberboden gefundene Grenzwert von 6.3 entspricht ziemlich genau dem pH, bei dem im Boden kein freies CaCO₃ mehr vorhanden ist und der Calcium-Pufferbereich in den Austauscher-Pufferbereich übergeht (6.2). Dieser hat eine geringe Pufferkapazität und die Versauerung zeigt sich in einer messbaren Veränderung der Parameter BC/Al-Verhältnis und BS%. Ist dann bei pH 4.2 der Al-Pufferbereich erreicht, der über eine grosse Pufferkapazität verfügt, hat eine gleiche Zugabe von Säuren keine oder kaum Veränderungen zur Folge, da die Pufferkapazität sehr gross ist. Dies ist z.B. an der Veränderung des BC/Al in Böden mit geringer Basensättigung zu sehen (Abb. 32, links). Eine gleich grosse Menge eingetragener Säuren kann daher in gegebener Zeit zu einer messbaren Änderung der Parameter führen oder nicht. Entscheidend ist der jeweilige Pufferbereich und seine Kapazität (Ulrich 1988).

Trägt man die Residuen dieser Auswertung gegen den Standort auf, so wird ersichtlich, in welchen Flächen die Versauerung rascher abläuft als aufgrund des Regressionsmodells in Tab. 9 erwartet und welchen langsamer. Im Oberboden und im mittleren Wurzelraum ist die Versauerung in beiden Flächen auf dem Bachtel, in den Fichtenflächen Brislach, Rafz und Winterthur überdurchschnittlich. Eine unterdurchschnittliche Versauerung im Unterboden kann in Habsburg, Möhlin und Zofingen beobachtet werden. Im Unterboden ist die Versauerung überdurchschnittlich in Diessenhofen, Habsburg, Möhlin, der Fichtenfläche Muri, Zofingen und Zugerberg Vordergeissboden, während sie in Bachtel Buchen, Brislach Fichten und Rafz Fichten langsamer verläuft als mit dem Regressionsmodell geschätzt.

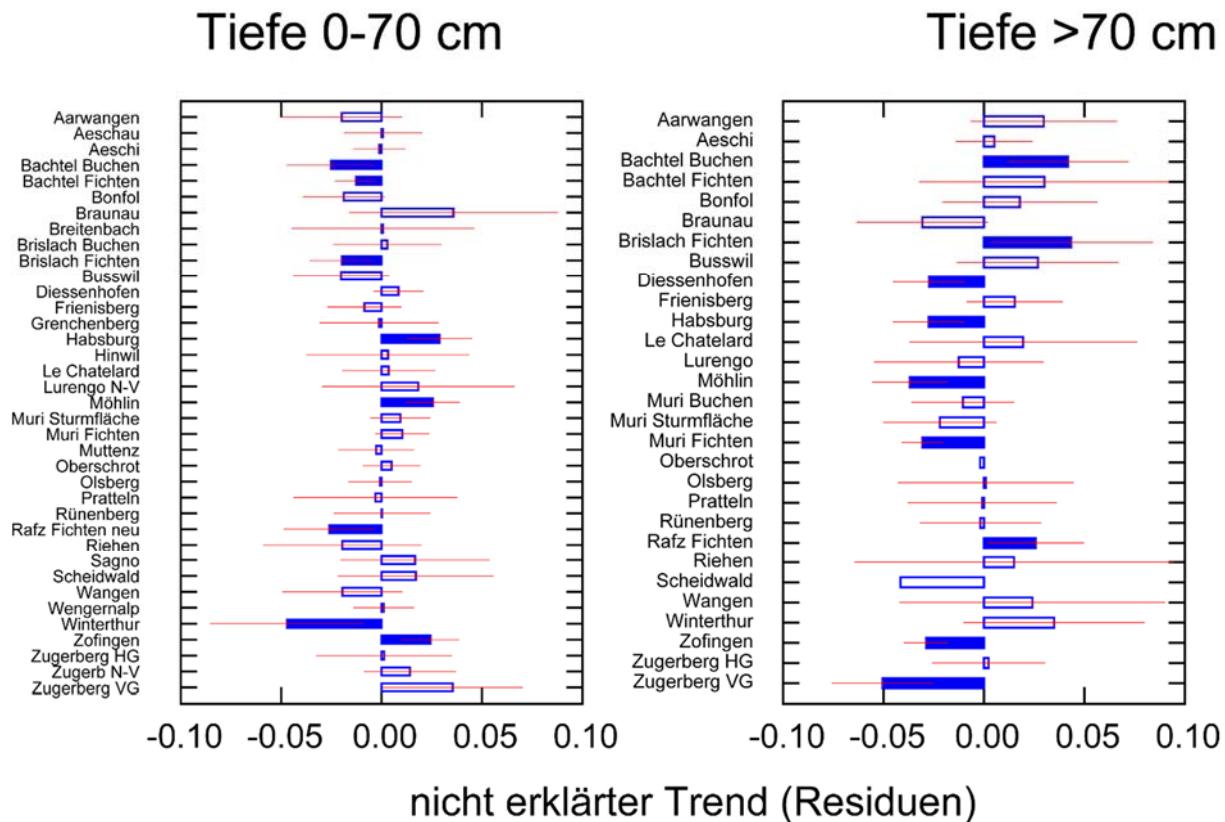


Abb. 34: Residuen der in Abb. 33 gezeigten Beziehung für die Tiefenstufen 0-70 cm (links und >70 cm (rechts). Werte links der gestrichelten Linie deuten eine überdurchschnittlich rasche, Werte rechts der gestrichelten Linie eine unterdurchschnittliche Versauerung an.

5.3.2 Entwicklung in den Stickstoffdüngungsversuchen

Auf dem Zugerberg und in Lurengo werden seit 1992 junge Forstpflanzen mit verschiedenen Mengen an Ammoniumnitrat behandelt ($0, 10, 20, 40, 80, 160 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). 1997 wurden Lysimeter in den Versuchsvarianten 0, 20, 40 und 80 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ installiert. 2008 erfolgte eine Neupflanzung. 2009 wurde die Behandlung in einem Teil der Plots eingestellt, um Regenerationseffekte verfolgen zu können.

In der Stickstoffversuchsfläche Zugerberg ist ein deutlicher Effekt der Düngung auf die Entwicklung des Verhältnisses zwischen basischen Kationen und Aluminium zu sehen (Abb. 35). In der höchsten beobachteten Düngestufe wird 2004 eine Schwelle erreicht, bei der keine weitere Versauerung mehr stattfindet (vgl. auch die in Tab. 9 und Abb. 33 gezeigte Auswertung). In der zweithöchsten Düngestufe ist dies 2008 der Fall und in der tiefsten 2010. Die überlagerte leichte Erholung, die bei den Kontrollen zu sehen ist, kann wohl auf eine Reduktion des Stickstoffeintrags zurückgeführt werden.

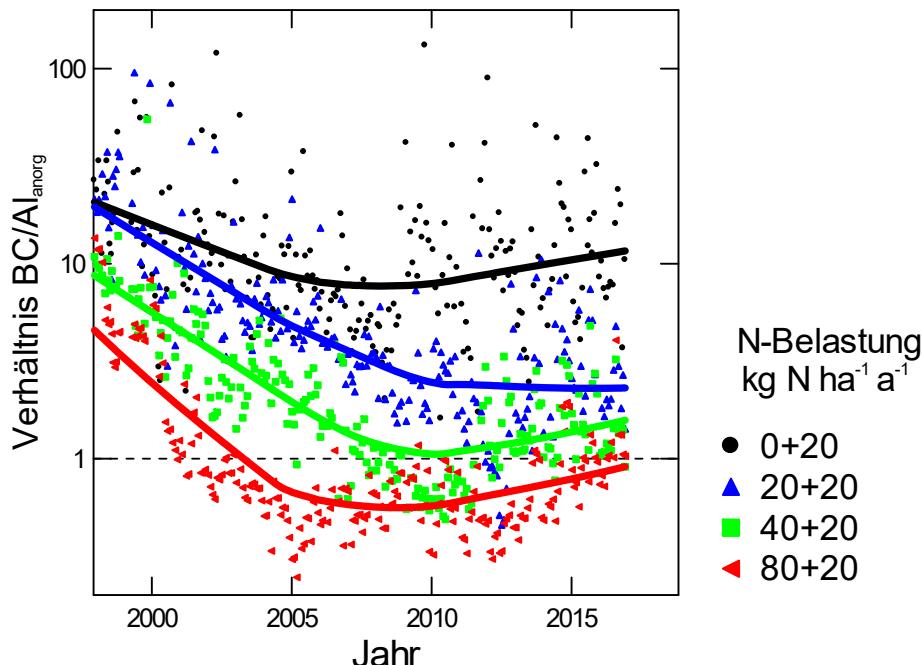


Abb. 35: Entwicklung des Verhältnisses zwischen basischen Kationen und Aluminium in der N-Versuchsfläche Zugerberg, gruppiert nach N-Behandlung. Die atmosphärische Deposition an diesem Standort beträgt 20 kg N ha⁻¹ a⁻¹, diese wurde in der Legende zusätzlich angegeben.

Für die Stickstoffversuchsflächen wurde eine ähnliche Auswertung wie in Abb. 29 und Abb. 30 vorgenommen. Die Einteilung der Zeitperioden erfolgte jedoch etwas anders. Die erste Periode umfasst die Jahre 1998-2005, in der die Entwicklung auf dem Zugerberg rasch war. In der zweiten Periode, 2005-2008, schwächte sich diese Entwicklung auf dem Zugerberg ab. In der dritten Periode erfolgte ein Splitting in Plots mit fortgesetzter Düngung und mit gestoppter Düngung. Eine Einstellung der Düngung hat sich auf dem Zugerberg lediglich bei den vorher mit 80 kg N ha⁻¹ a⁻¹ behandelten Plots in einer Erholung ausgewirkt (Abb. 36). Hier hat das BC/Al-Verhältnis seit Einstellung der Düngung zugenommen.

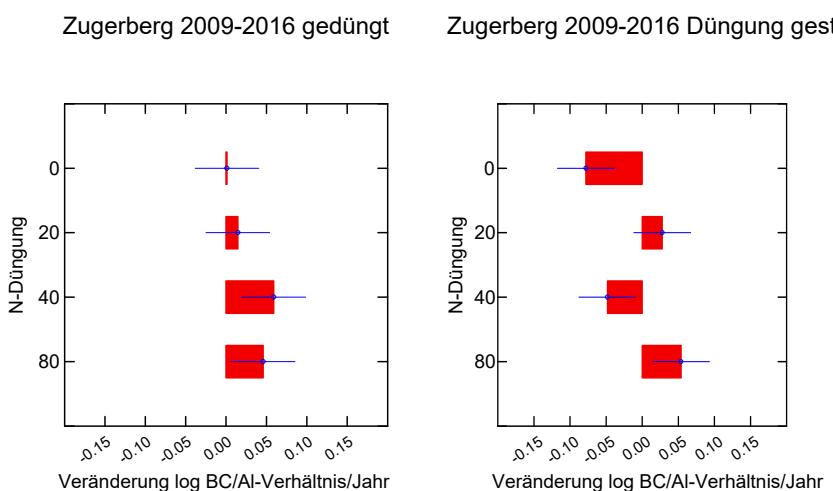


Abb. 36: Entwicklung des logarithmierten BC/Al-Verhältnisses in der Stickstoffversuchsfläche Zugerberg in der Periode 2009-2016. Links: Plots mit fortgesetzter Düngung. Rechts: Plots, in denen die Düngung 2009 eingestellt wurde.

In Lurengo sind keine Effekte der Düngung auf das BC/Al-Verhältnis zu beobachten (Abb. 37, Abb. 38). Die in der zweiten Periode sichtbare Abnahme des BC/Al-Verhältnisses ist von der Düngung unabhängig. Entsprechend ist auch kein Unterschied seit Ende der Düngung festzustellen.

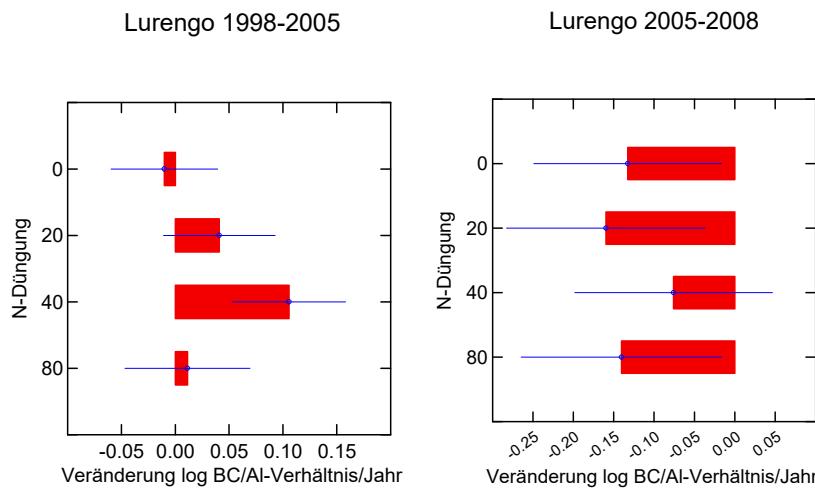


Abb. 37: Entwicklung des logarithmierten BC/Al-Verhältnisses in der Stickstoffversuchsfläche Lurengo in der Periode 1998-2005 (links) und 2005-2008 (rechts), aufgeteilt nach Stickstoffbehandlung. Balken: 95%-Vertrauensbereich.

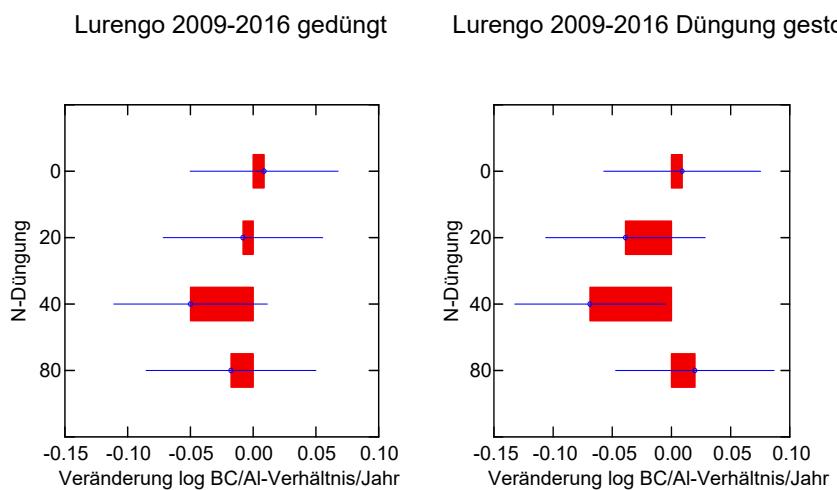


Abb. 38: Entwicklung des logarithmierten BC/Al-Verhältnisses in der Stickstoffversuchsfläche Lurengo in der Periode 2009-2016. Links: Plots mit fortgesetzter Düngung. Rechts: Plots, in denen die Düngung 2009 eingestellt wurde.

6 Schlussfolgerungen, Ausblick

Bodenlösungsmessungen sind ein geeignetes Mittel, um zeitliche Verläufe chemischer Parameter am gleichen Standort, mit minimaler Störung des Ökosystems, zu verfolgen. Informationen über die Zusammensetzung der Bodenlösung sind erforderlich, um eine Bewertung anhand verschiedener Kriterien (BC/Al-Verhältnis, pH, Konzentration von Al und N) vorzunehmen. Der früher gebräuchliche kritische Wert für das BC/Al-Verhältnis von 1 wurde in der Zeit von 1997 bis 2016 nur selten unterschritten; der in der Schweiz nun gebräuchliche Wert von 7, der auf neueren Untersuchungen und Beobachtungen basiert, jedoch häufig. 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 21. 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 die Böden und Vegetation nicht ausreichend schützen würde, d.h. dass bis zum Erreichen des Wertes von 1 das Kriterium „Basensättigung“ verletzt würde. Als Beispiel des Baumzustandes auf stark versauerterem Boden sei auch die Fläche Scheidwald (Kanton Bern) genannt: die Basensättigung im Oberboden liegt bei 7%, der pH bei 3.4, der Kronenzustand der Fichten ist sehr schlecht und die Sturmschäden sind stark überdurchschnittlich. Dennoch ist das Verhältnis zwischen BC und Al_{anorg} in der Bodenlösung grösser als 1 (1.5, 1.9 bzw. 2.4). Diese und viele ähnliche Untersuchungen und theoretische Überlegungen führten zur Revision der kritischen Werte (CLRTAP 2016). 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 als auch eutrophierend. Ein Mass für die Schätzung der versauernden Wirkung ist die Auswaschung von Nitrat und den damit verbundenen basischen Kationen aus der Wurzelzone. Das Eutrophierungsrisiko für die Vegetation kann durch die Konzentration an löslichem Stickstoff in der Bodenlösung ermittelt werden. Unter Bezug der international vereinbarten kritischen Belastungsgrenzen ergibt sich eine adäquate Beurteilung des Risikos. 83% aller Flächen werden entweder aufgrund der N-Konzentration oder aufgrund der N-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, Braun et al. 2017). Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass es auch Flächen mit sehr hohem Stickstoffeintrag, aber sehr geringer Auswaschung gibt. Busswil und Grosswangen haben modellierte N-Einträge von 34 bzw. 55 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und Auswaschungsraten von 0.2 bzw. ca. 0.1 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Hier müssen andere Kriterien zur Beurteilung der N-Sättigung herangezogen werden.

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 (Abb. 39). 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.

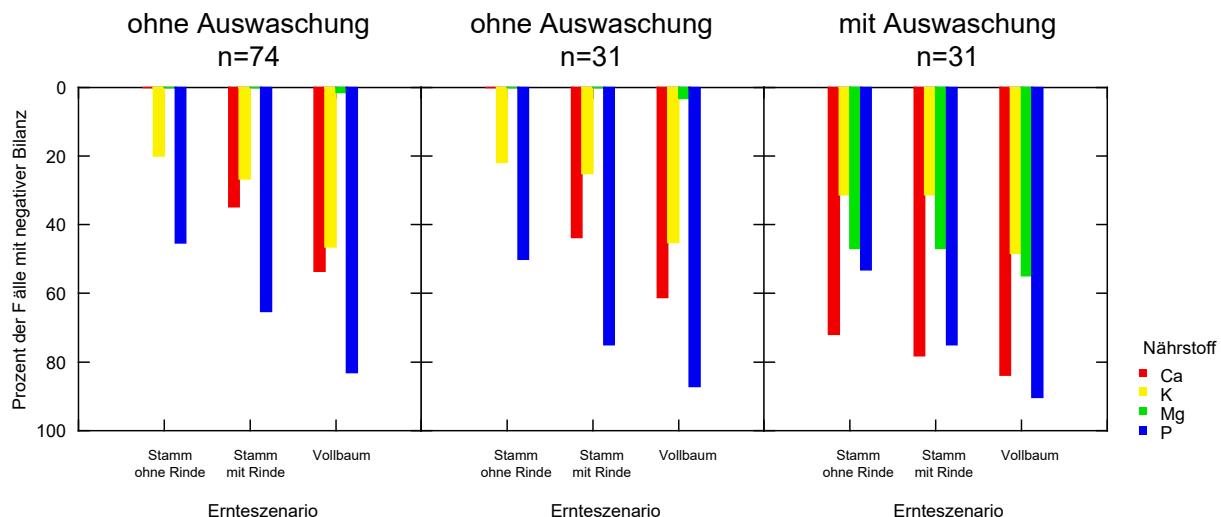


Abb. 39: Nährstoffbilanzen für zwei verschiedene Ernteszenarien. Links: ohne Berücksichtigung des Austrags mit dem Sickerwasser (74 Flächen). Mitte: ohne Berücksichtigung des Austrags mit dem Sickerwasser, aber mit Beschränkung auf die Flächen mit Bodenlösungsinformation (31 Flächen). Rechts: gleiches Kollektiv wie in der Mitte, aber unter Berücksichtigung des Austrags. Aus: Braun et al. (2015)

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 beobachtete Abnahme der N-Auswaschung ist ein solches Ergebnis.
- Die Bodenlösungsdaten sind essentiell, um Nährstoffbilanzen auf Ökosystemebene rechnen zu können. Dazu braucht es eine Auswahl von Standorten mit unterschiedlichen Eigenschaften.
- Die Daten sind wichtig, um die verschiedenen international vereinbarten kritischen chemischen Parameter zur Bewertung der Versauerungs- und Eutrophierungsrisiken auf Konsistenz untereinander zu prüfen.
- 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.

7 Verdankungen

Die Untersuchungen wurden vom Bundesamt für Umwelt, Abteilungen Wald sowie Luftreinhaltung + Chemikalien, sowie von den Kantonen AG, BE, BL, BS, FR, SO, TG, ZH und ZG in verdankenswerter Weise finanziert. 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.

8 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, ISBN 3-930167-55-7
- Barbieri, A. und Pozzi, S. (2001). Acidifying deposition, Southern Switzerland. Environmental Documentation - Air 134, 113 S., Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL).
- Becher, G. (1999). Waldzustandsanalyse mit multivariaten Verfahren - theoretische Grundlagen und Anwendungen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 312 S., ISBN 3-540-65239-6
- Benzler, J. H., Finnern, H., Müller, W., Roeschmann, G., Will, K. H. und Wittmann, O. (1982). Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 331 S.
- Block, J., Eichborn, J., Gehrmann, J., Kölling, C., Matzner, E., Meiwas, 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 S.
- 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., 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., 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.
- Braun, S. und Flückiger, W. (2013). Wie geht es unserem Wald? Bericht 4. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch
- Braun, S., Belyazid, S., Burger, T., Stocker, R., Kurz, D., Remund, J. und Rihm, B. (2015). Erfassung und Behandlung gefährdeter Waldstandorte. Bericht 2006-2014. 1-168. Schönenbuch, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie.
- Braun, S., Schindler, C. und Rihm, B. (2017). Foliar nutrient concentrations of beech, Norway spruce and oaks in Switzerland: relations with nitrogen deposition, soil chemistry and meteorology. *Science of the Total Environment* submitted
- Bruggenwert, M. G. M., Bolt, G. H. und Hiemstra, T. (1986). Acid-base systems in soil. 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, S. 51-58.
- CLRTAP (2004). Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. ICP Modelling and Mapping (ed.), ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution

- (CLRTAP), accessed on 12 November 2013 at the websites of the ICP Mapping & Modelling and at the website of the Coordination Centre for Effects, 202 S.
- CLRTAP (2016). Mapping Critical Loads for Ecosystems. Chapter V of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. Update 13/01/2017. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
- 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.
- Frei, E., Vökt, U., Flückiger, R., Brunner, H. und Schai, F. (1980). Bodeneignungskarte der Schweiz. Eidg. Justiz- und Polizeidepartement - Bundesamt für Raumplanung
- 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 Vademeicum. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands
- Jönsson, C., Warfvinge, P. und Sverdrup, H. (1995). Application of the SAFE model to the Solling spruce site. *Ecol.Model.* 83, 85-96.
- Kurz, D., Rihm, B., Sverdrup, H. und Warfvinge, P. (1998). Critical loads of acidity for forest soils. *Environmental Documentation* 88, 102 S., 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., Walther, L. und Zimmermann, S. (2005). Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science* 62, 303-311.
- Nieminan, T. M., Derome, K., Meesenburg, H. und De Vos, B. (2013). Soil solution: sampling and chemical analyses. In: Ferretti, M. und Fischer, R. (eds.), *Forest Monitoring. Methods for Terrestrial Investigations in Europe with an Overview of North America and Asia*, S. 301-315.
- Ouimet, R., Arp, P. A., Watmough, S. A., Aherne, J. und Demerchant, I. (2006). Determination and mapping Critical Loads of acidity and exceedances for upland forest soils in eastern Canada. *Water Air and Soil Pollution* 172, 57-66.
- 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 S., Wageningen, Alterra Green World Research.
- Rihm, B. (1996). Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. BUWAL Environmental Series 275, 1-74.
- Rothe, A., Kreutzer, K. und Küchenhoff, H. (2002). Influence of tree species composition on soil and soil solution properties in two mixed spruce-beech stands with contrasting history in Southern Germany. *Plant and Soil* 240, 47-56.
- Schulla, J. (2013). Model Description WaSIM (Water balance Simulation Model).
http://www.wasim.ch/de/products/wasim_description.htm, Zurich
- Slootweg, J., Posch, M. und Hettelingh, J.-P. (2015). Modelling and Mapping the Impacts of Atmospheric Deposition of Nitrogen and Sulphur. CCE, ISBN 978-90-6960-283-7

- Sponagel, H., Grottenthaler, W. und Hartmann, K.-J. (2005). Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (ed.), E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, ISBN 978-3-510-95920-4
- Sverdrup, H., de Vries, W. und Henriksen, A. (1990a). Mapping critical loads. A guidance to the criteria, calculations, data collection and mapping of critical loads. Nord. 90, 1-124.
- Sverdrup, H., de Vries, W. und Henriksen (1990b). Mapping critical loads. A guidance for the workshop and task force on mapping critical loads and levels, at Bad Harzburg, November 6-9, 1989 and May 22-23, 1990. UBA, Copenhagen.
- Sverdrup, H. und Warfvinge, P. (1993). The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca+Mg+K)/Al ratio. Lund University, Department of Chemical Engineering II., Reports in ecology and environmental engineering. 2:1993, 1-108.
- 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.
- Trüby, P. und Aldinger, E. (1984). Eine Methode zur schnellen Bestimmung der effektiv austauschbaren Kationen. Allgemeine Forstzeitschrift 39, 1302-1304.
- Ulrich, B. (1981). Oekologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschr.Bodenkd.Pflanzenern. 144, 289-305.
- Ulrich, B. und Matzner, E. (1983). Abiotische Folgewirkungen der weiträumigen Ausbreitung von Luftverunreinigungen. Forschungsbericht 104 02 615.
- Ulrich, B. (1988). Ökochemische Kennwerte des Bodens. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 151, 171-176.
- 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 S., Berlin, Umweltbundesamt.
- 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 S., Geneva and Brussels, UNECE.
- UNECE (2008). Guidelines for reporting on the monitoring and modelling of air pollution effects. ECE/EB.AIR/2008/11.

9 Bodenlösung Einzelstandorte

Aarwangen

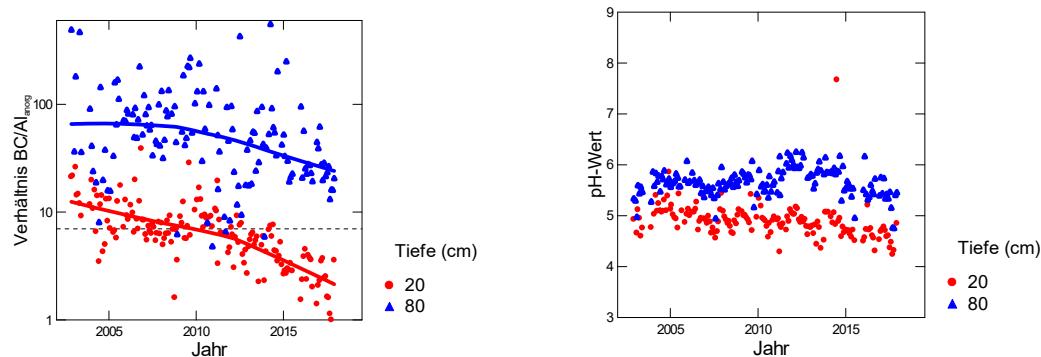


Abb. 40: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

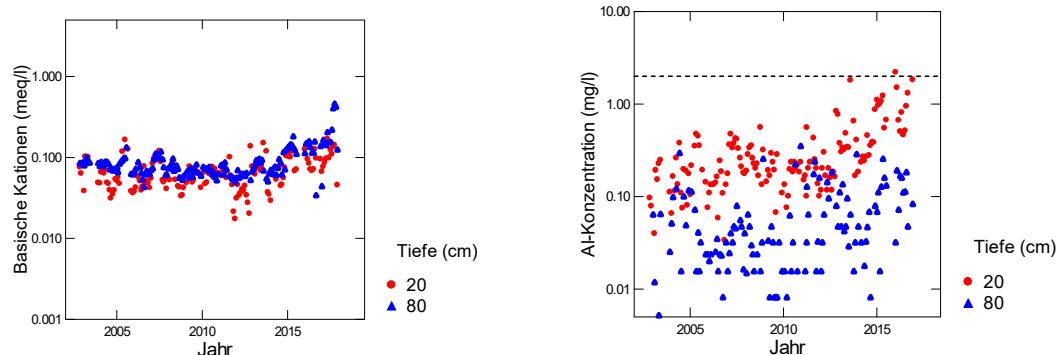


Abb. 41 Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

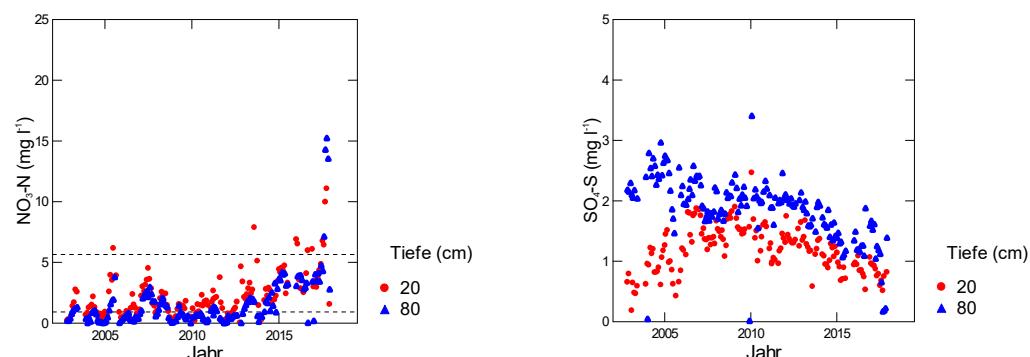


Abb. 42: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

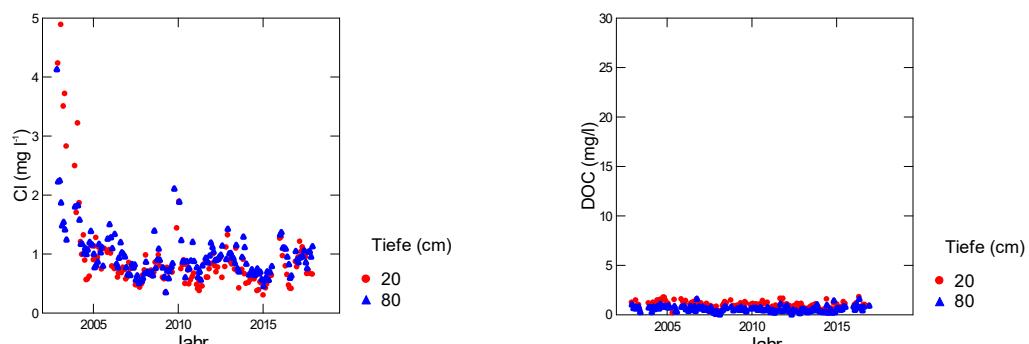


Abb. 43: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

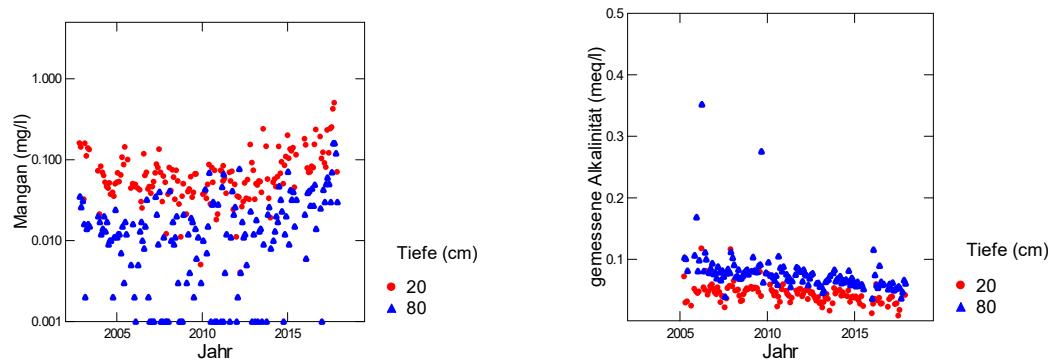


Abb. 44: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

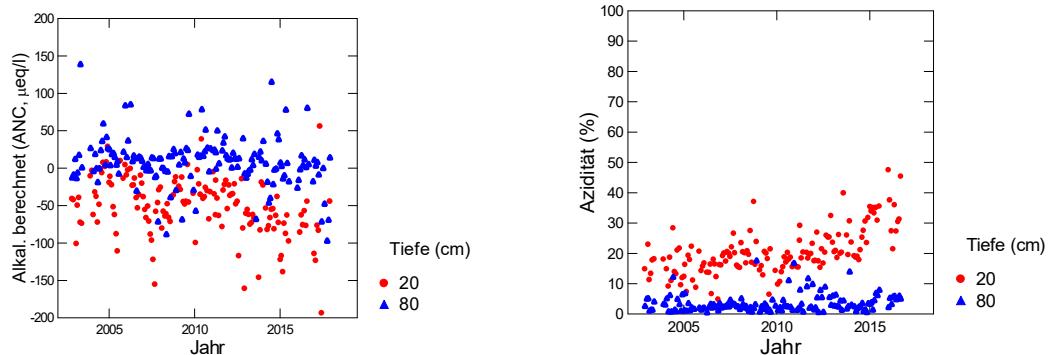


Abb. 45: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen.

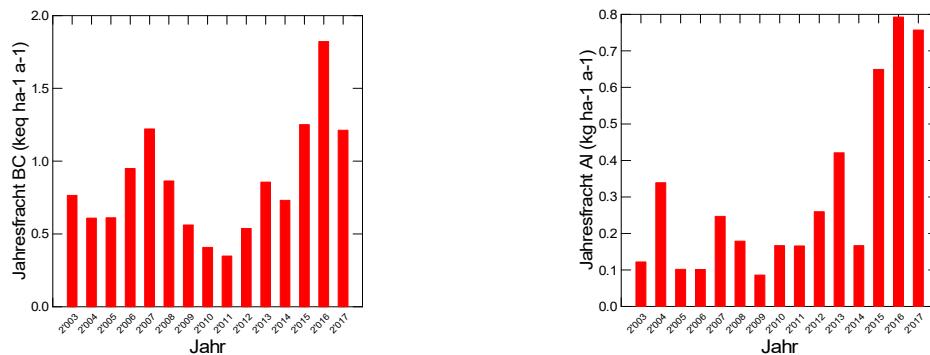


Abb. 46: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen in 80 cm Tiefe.

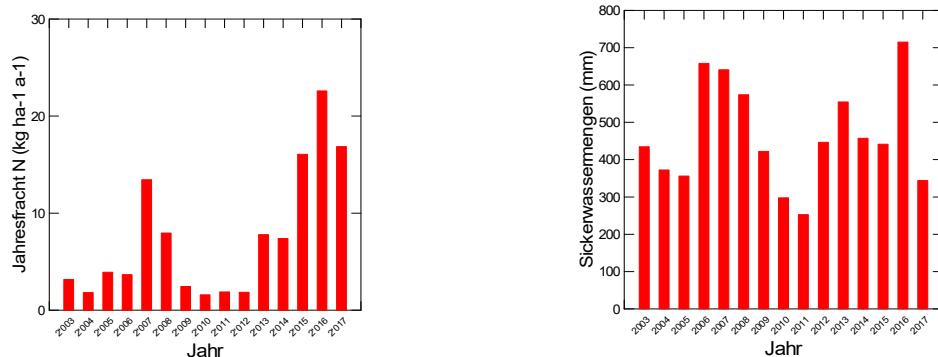


Abb. 47: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Aarwangen in 80 cm Tiefe.

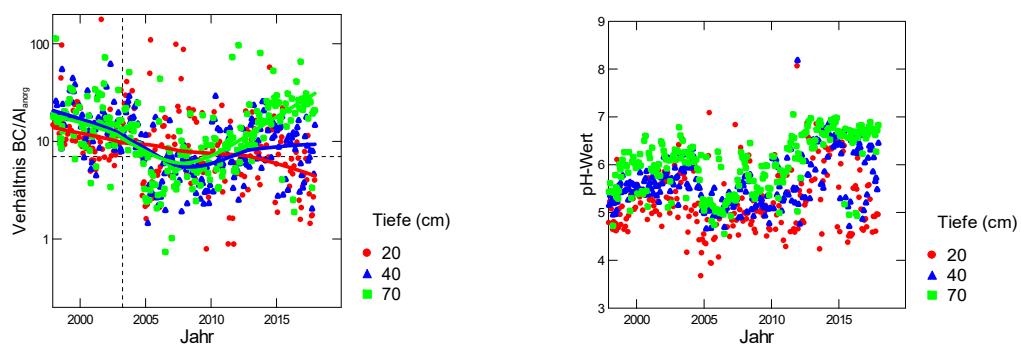
Aeschau

Abb. 48: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau (Mischbestand Tannen, Fichten, Buchen). Senkrechte Linie: Durchforstung.

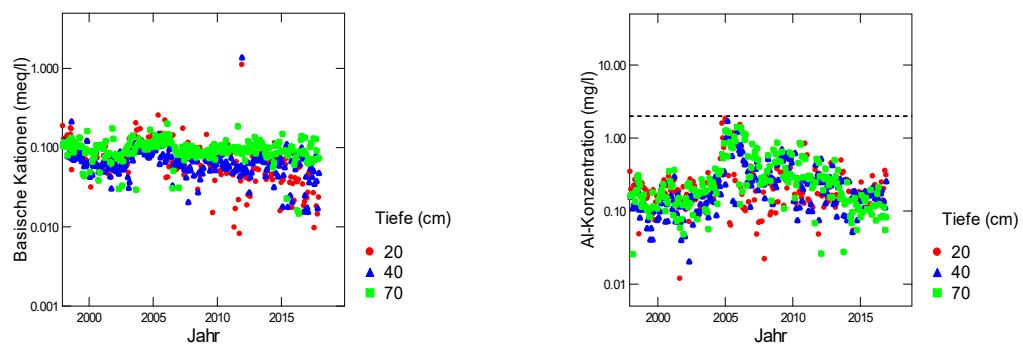


Abb. 49: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

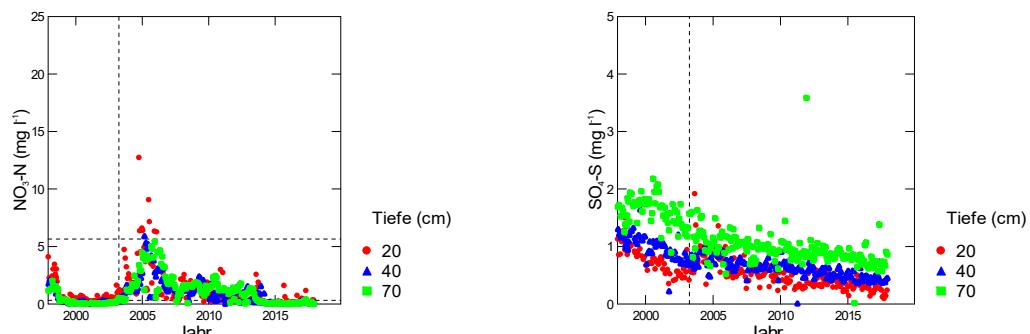


Abb. 50: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser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

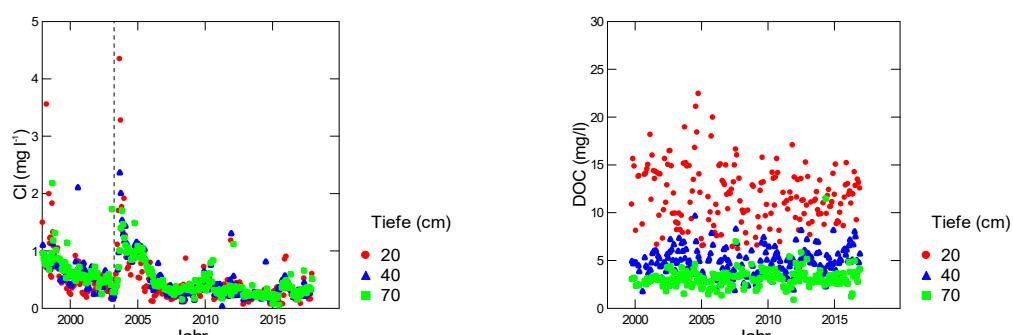


Abb. 51: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau (Mischbestand Tannen, Fichten, Buchen). Senkrechte gestrichelte Linie: Durchforstung.

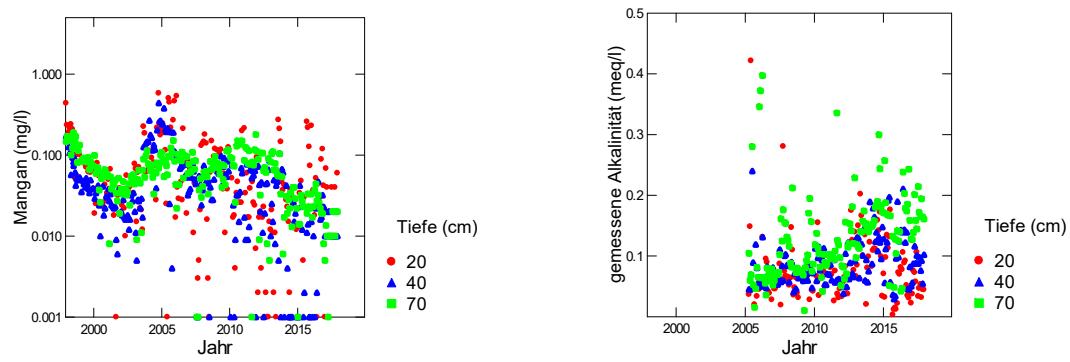


Abb. 52: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau

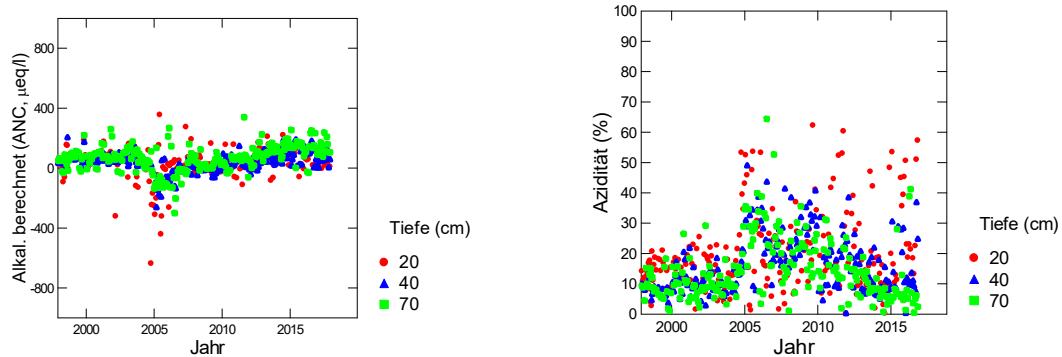


Abb. 53: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau.

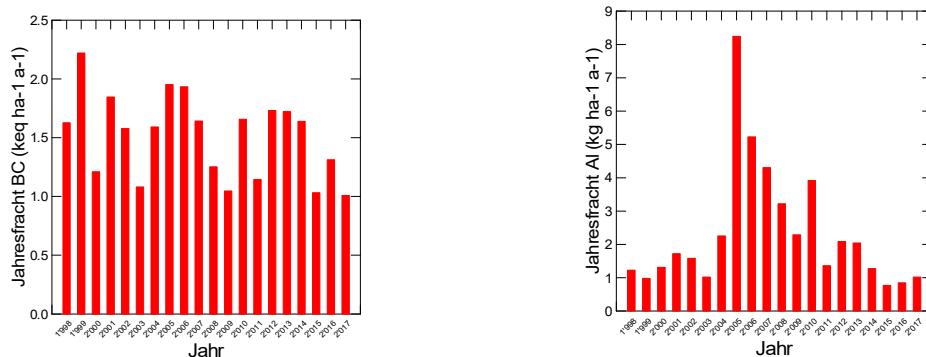


Abb. 54: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau in 70 cm Tiefe.

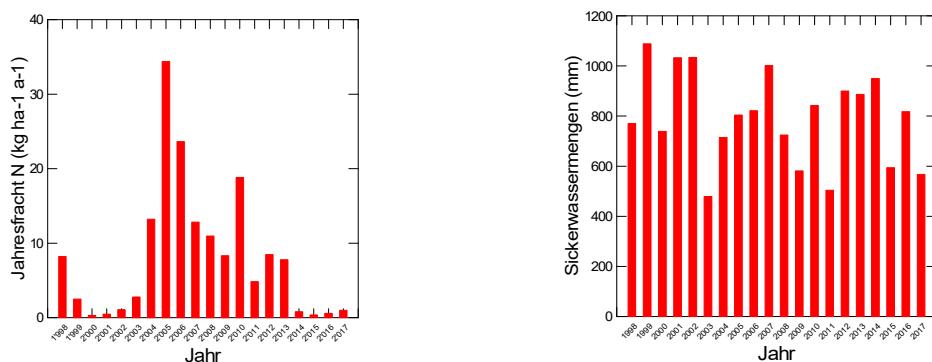


Abb. 55: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschau in 70 cm Tiefe.

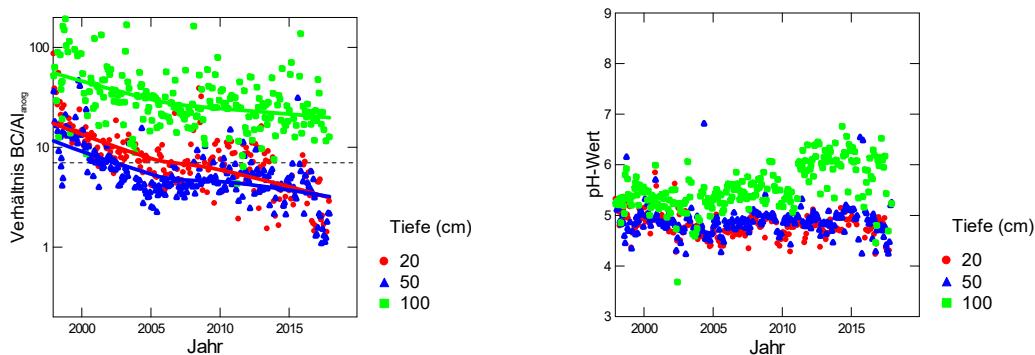
Aeschi

Abb. 56: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi (Mischbestand Buchen/Fichten).

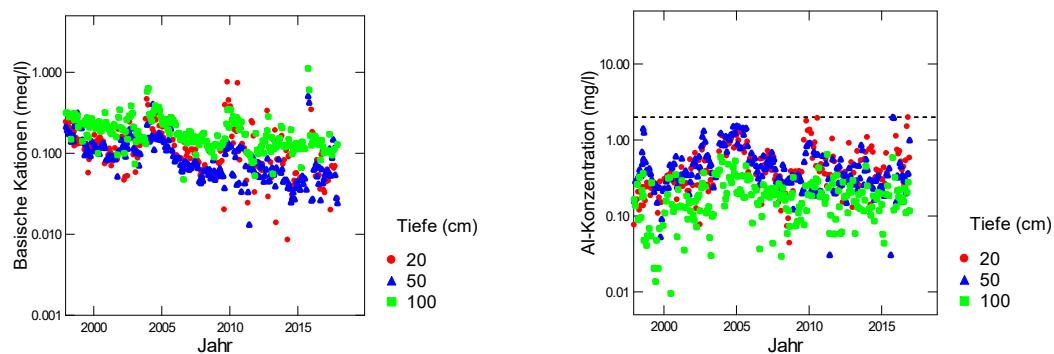


Abb. 57: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

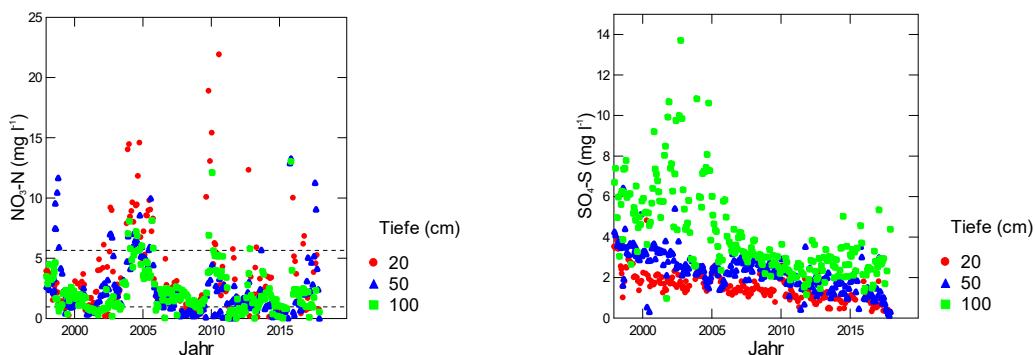


Abb. 58: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

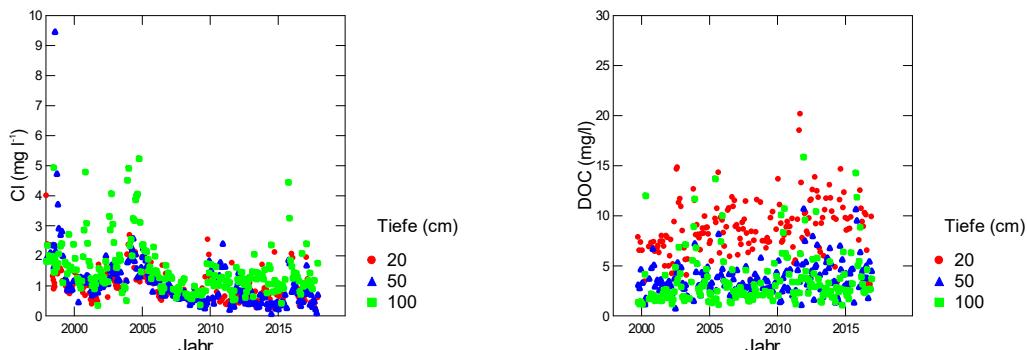


Abb. 59: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi

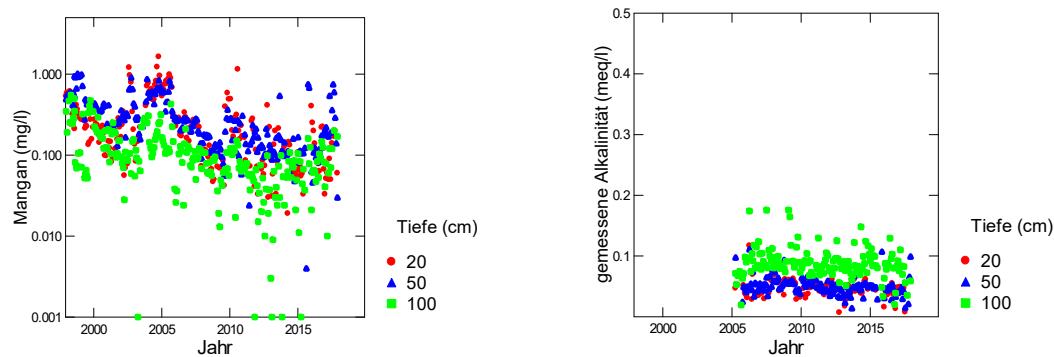


Abb. 60: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi

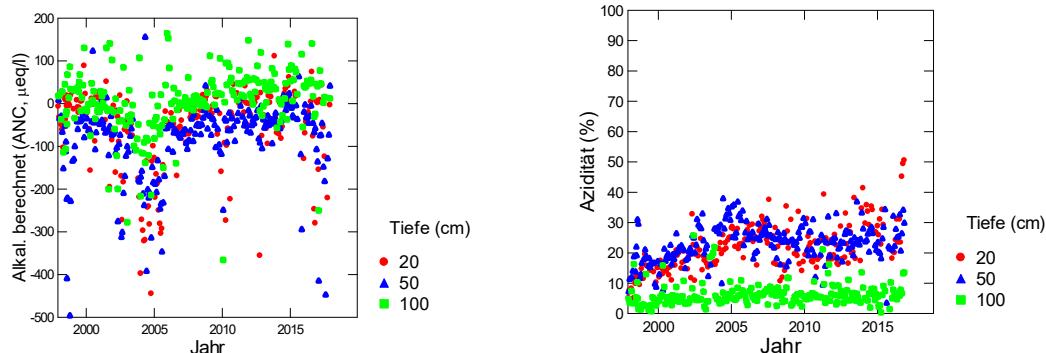


Abb. 61: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi.

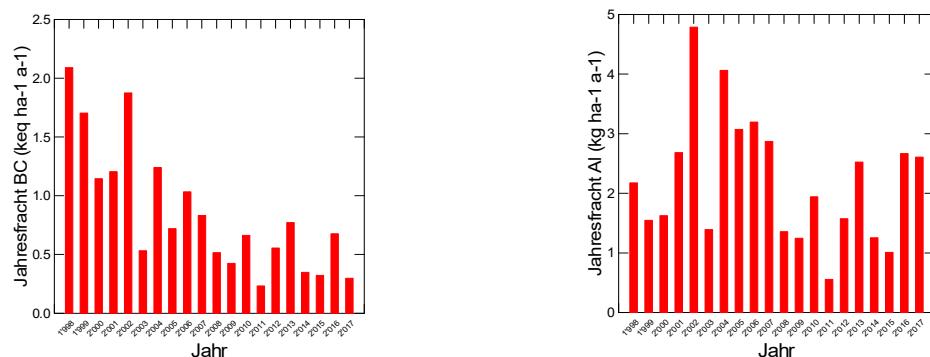


Abb. 62: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi in 80 cm Tiefe.

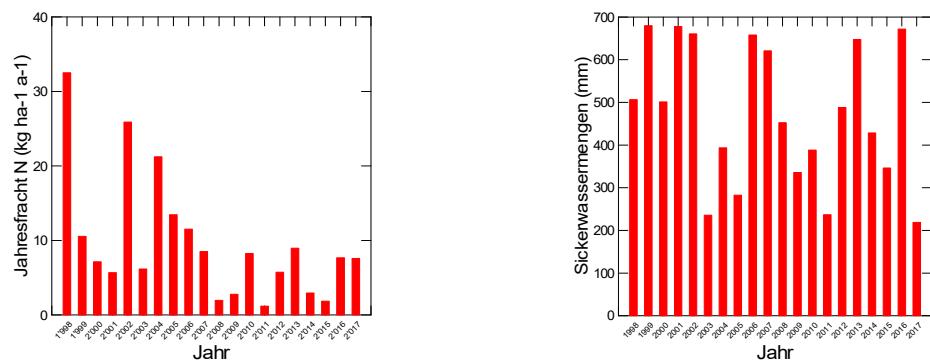


Abb. 63: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Aeschi in 80 cm Tiefe.

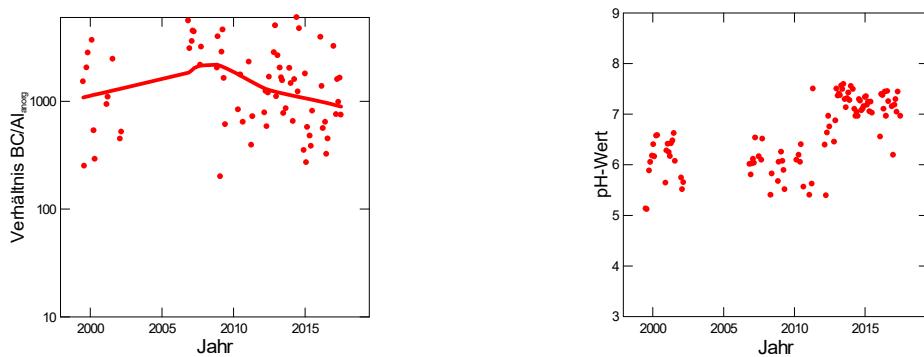
Allschwil

Abb. 64: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

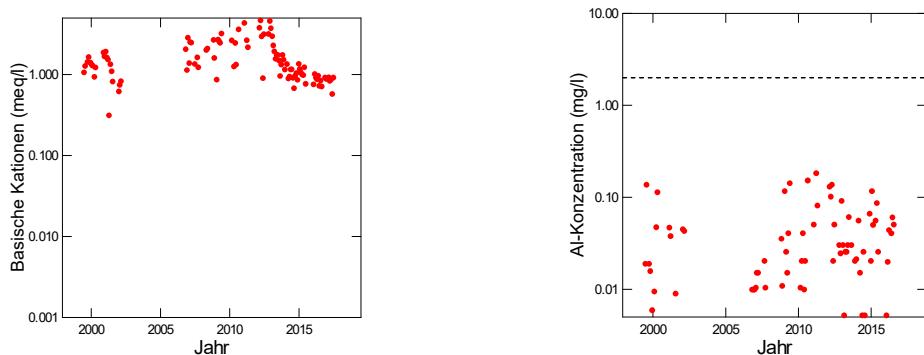


Abb. 65: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

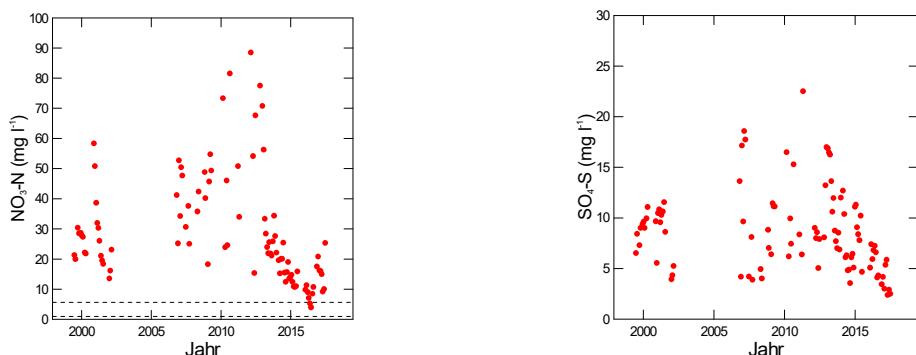


Abb. 66: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

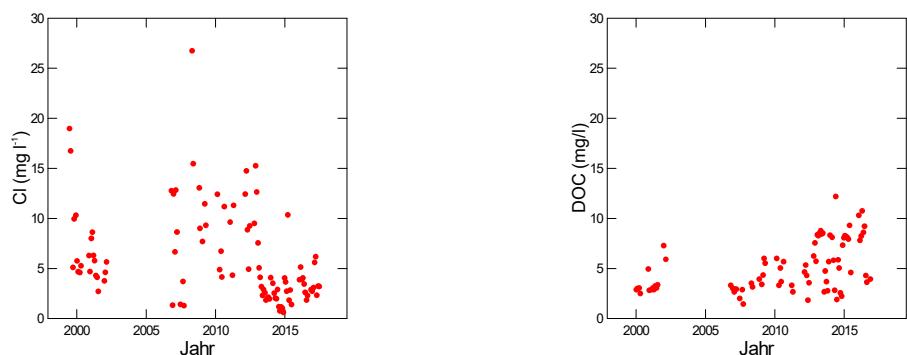


Abb. 67: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

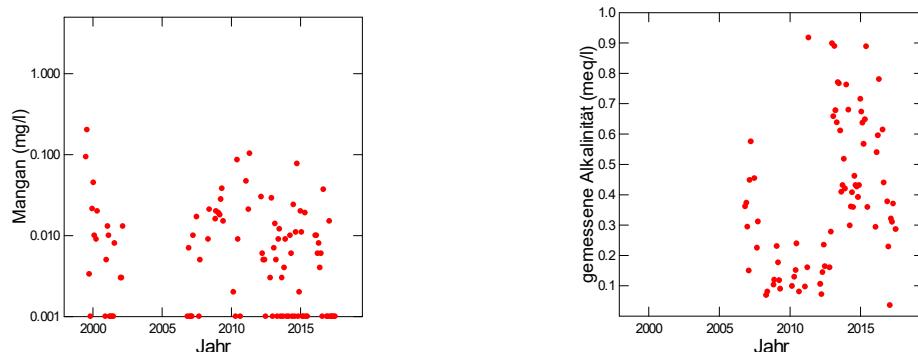


Abb. 68: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

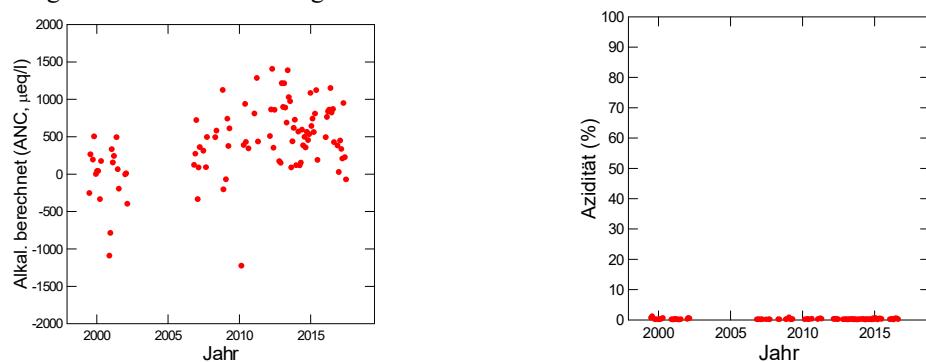


Abb. 69: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

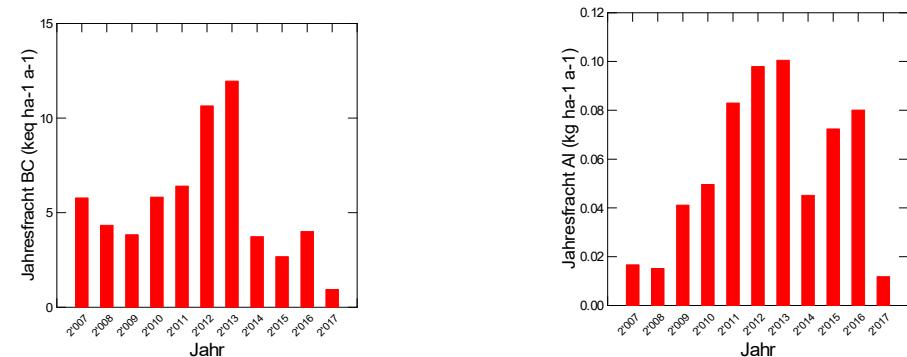


Abb. 70: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

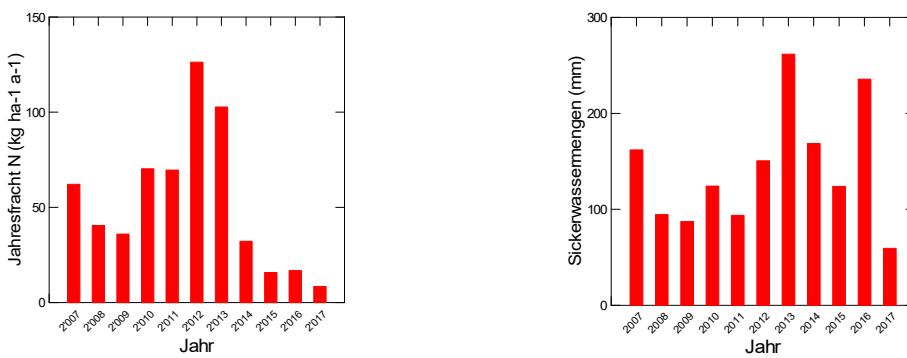


Abb. 71: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung Fichtenbeobachtungsfläche Allschwil in 50 cm Tiefe.

Bachtel Fichten

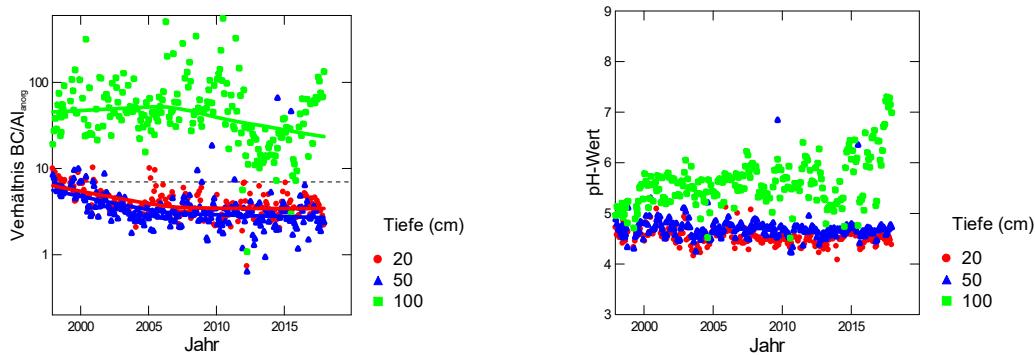


Abb. 72: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel

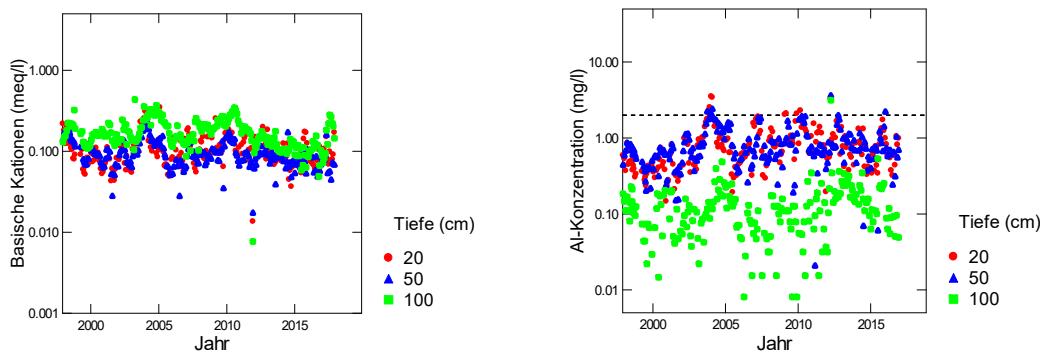


Abb. 73: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

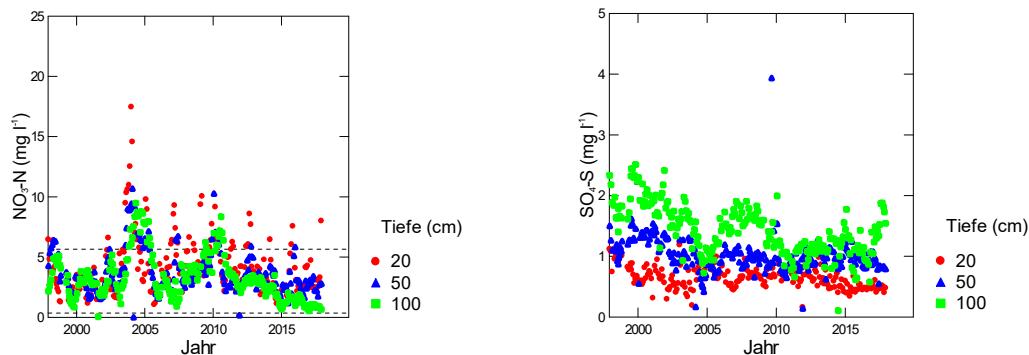


Abb. 74: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

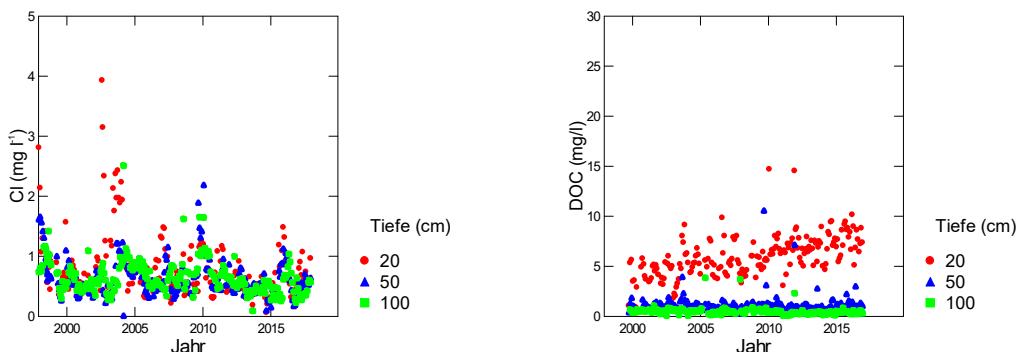


Abb. 75: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel

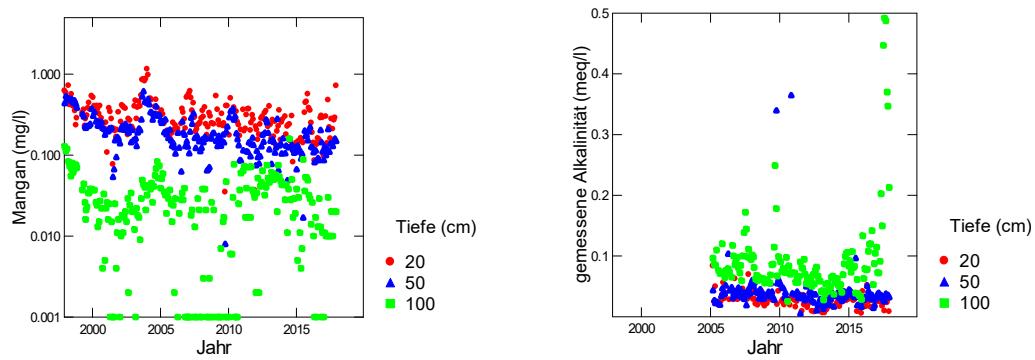


Abb. 76: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel

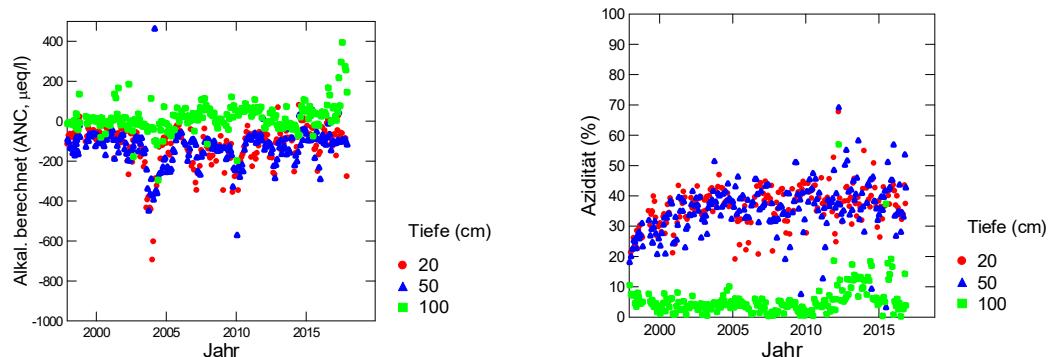


Abb. 77: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel.

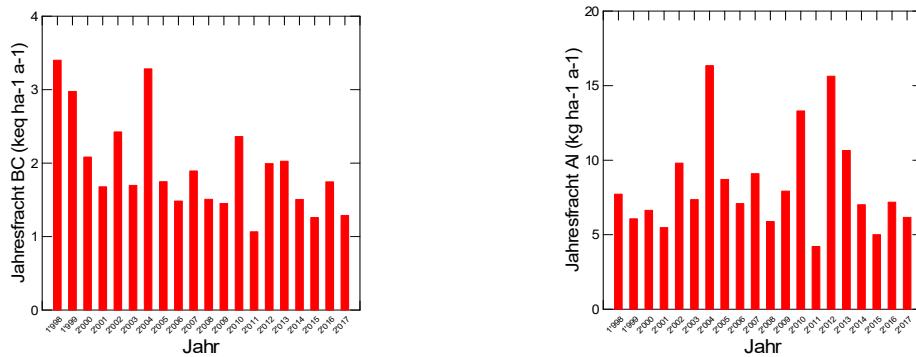


Abb. 78: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel in 80 cm Tiefe.

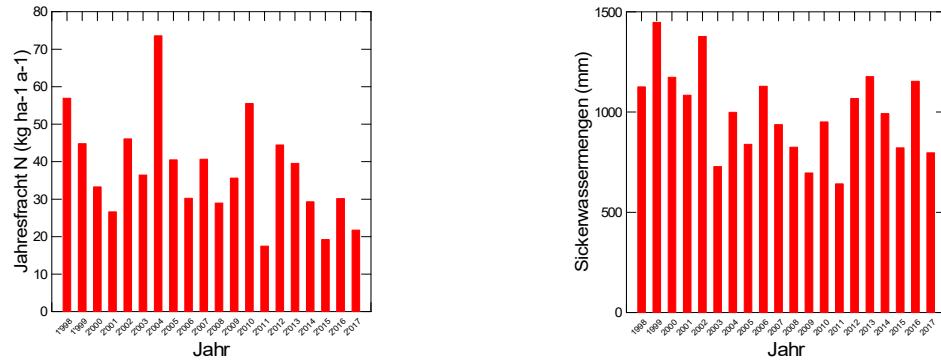


Abb. 79: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bachtel in 80 cm Tiefe.

Bachtel Buchen

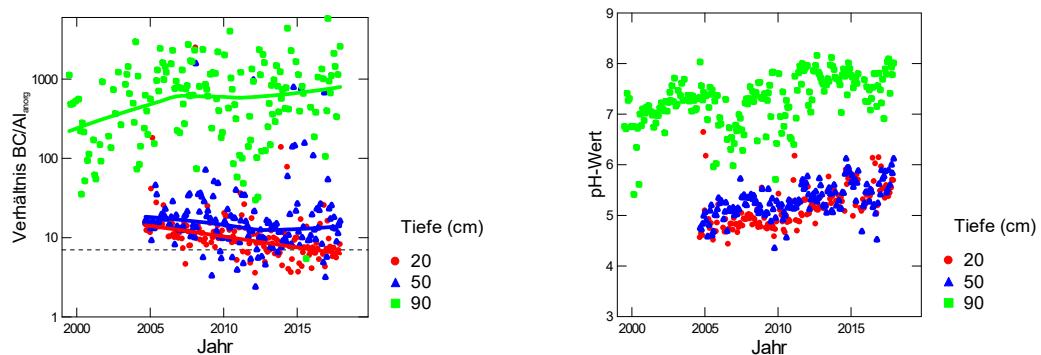


Abb. 80 Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel. Die Lysimeter in den Tiefen 20 und 50 wurden im Mai 2004 neu installiert.

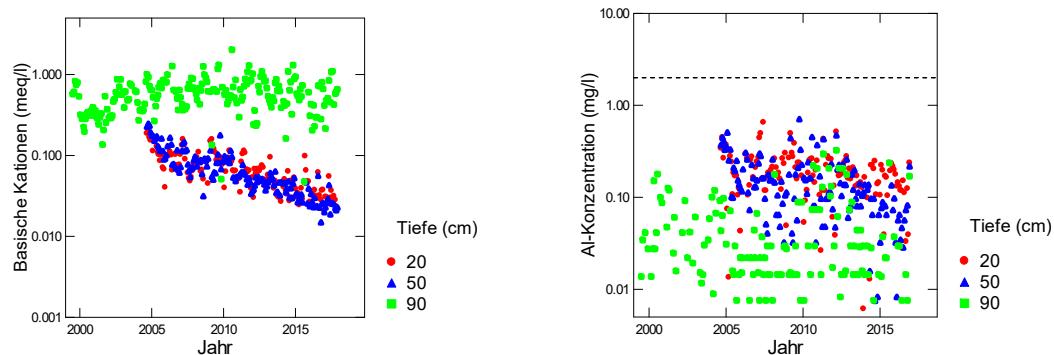


Abb. 81: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

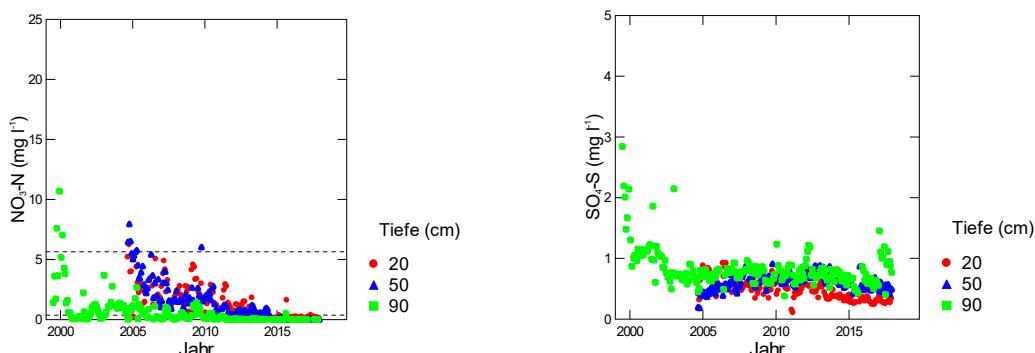


Abb. 82: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

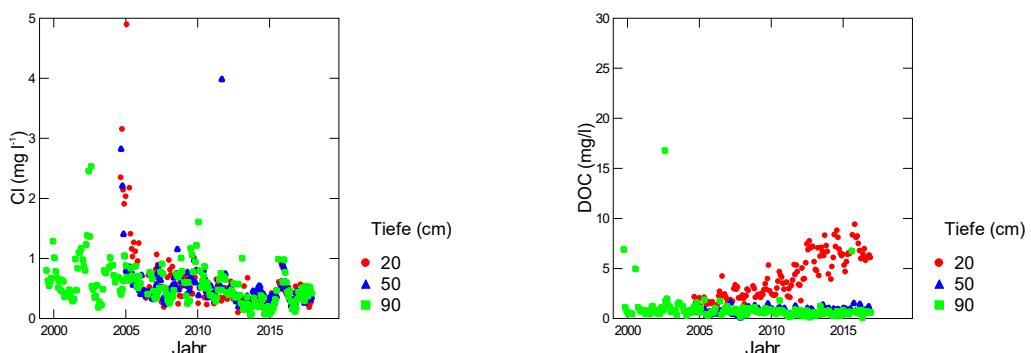


Abb. 83: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel.

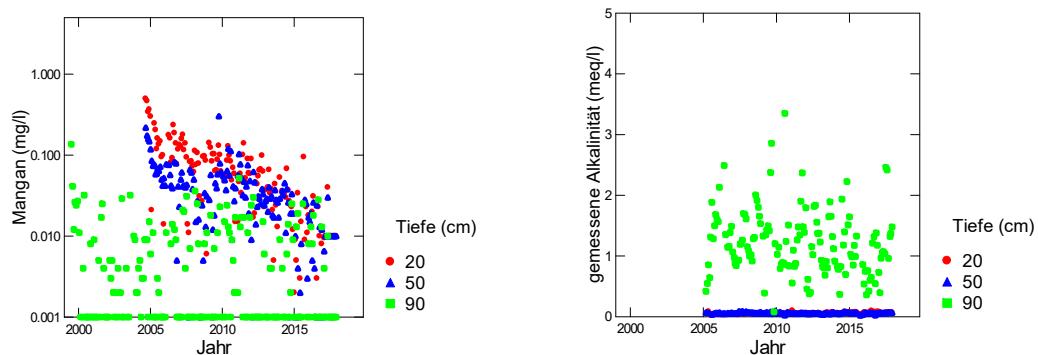


Abb. 84: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel.

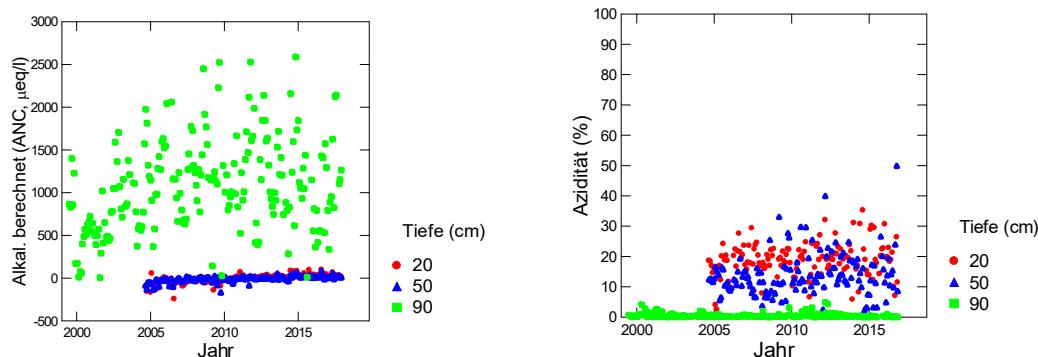


Abb. 85: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bachtel.

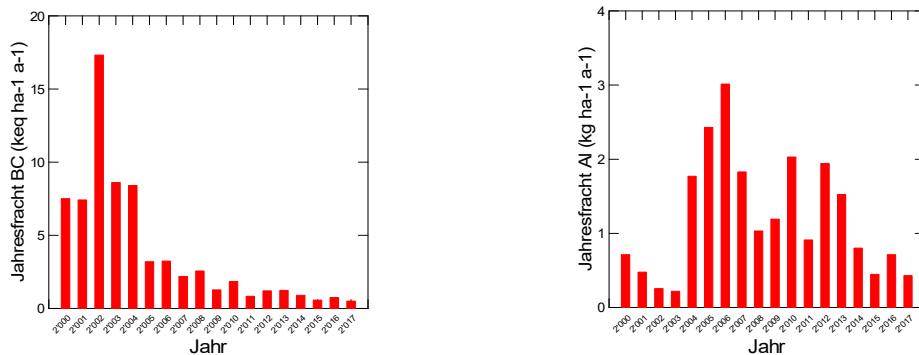


Abb. 86: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung Buchenbeobachtungsfläche Bachtel in 90 cm Tiefe.

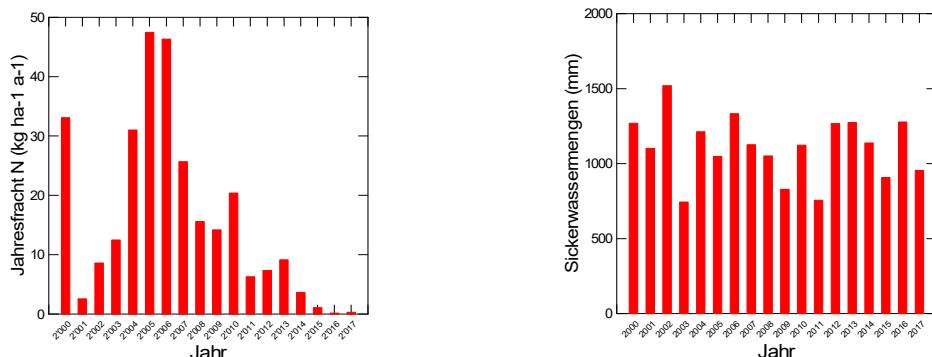


Abb. 87: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung Buchenbeobachtungsfläche Bachtel in 90 cm Tiefe.

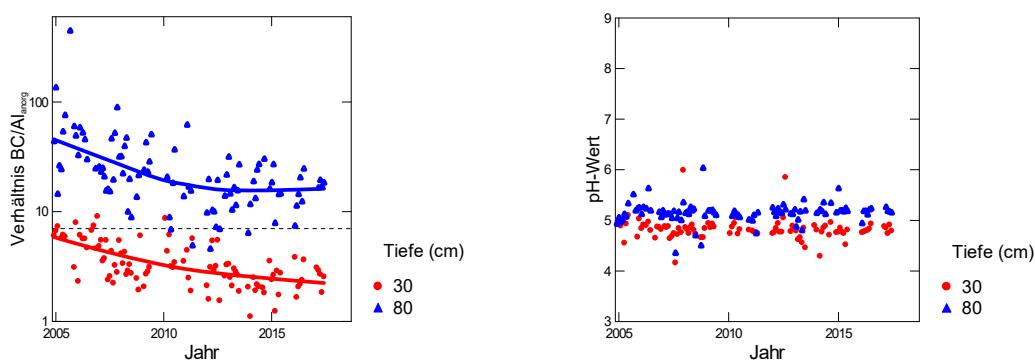
Bonfol

Abb. 88: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

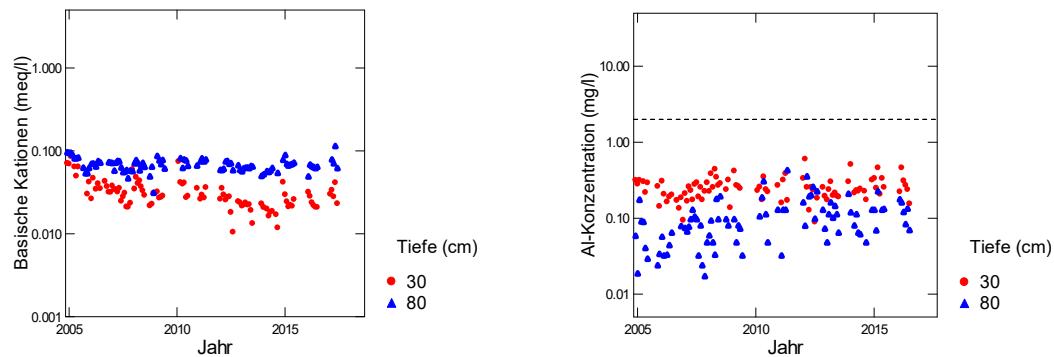


Abb. 89: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

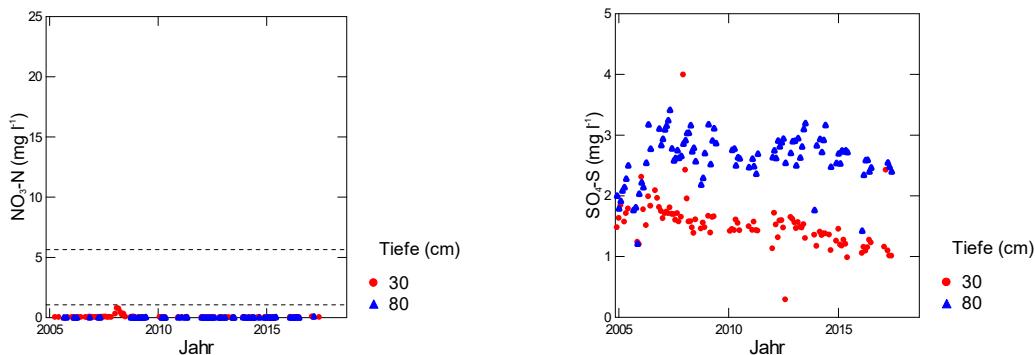


Abb. 90: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

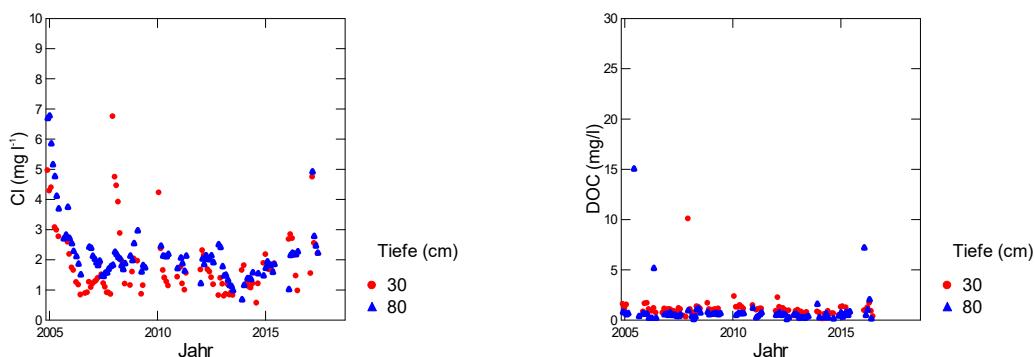


Abb. 91: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

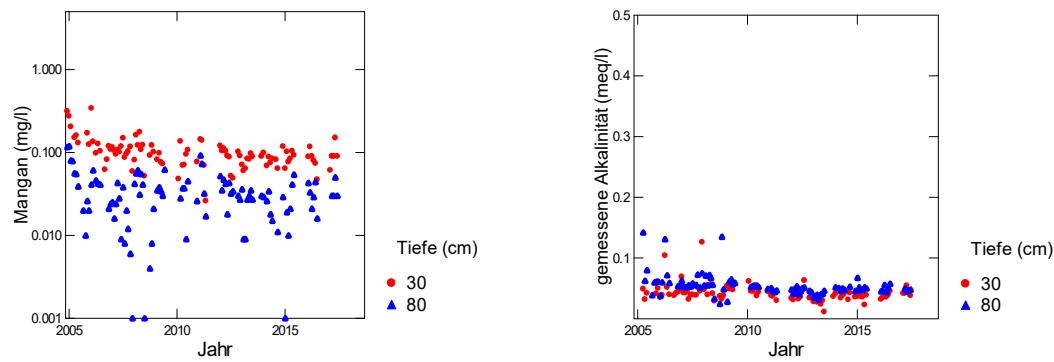


Abb. 92: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

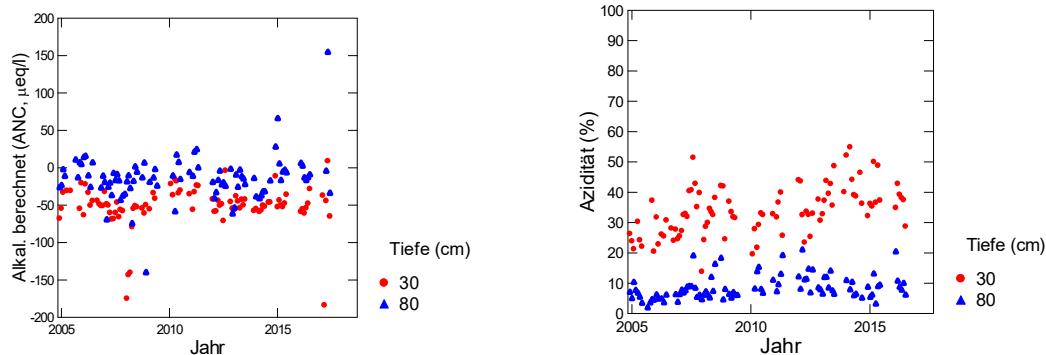


Abb. 93: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol.

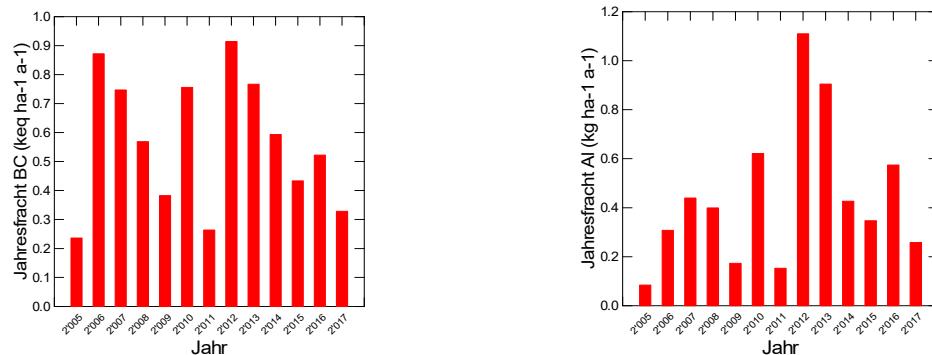


Abb. 94: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol in 80 cm Tiefe.

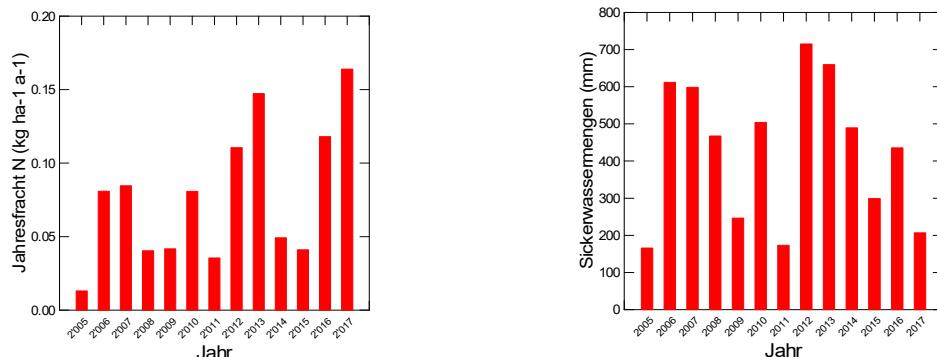


Abb. 95: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Bonfol in 80 cm Tiefe.

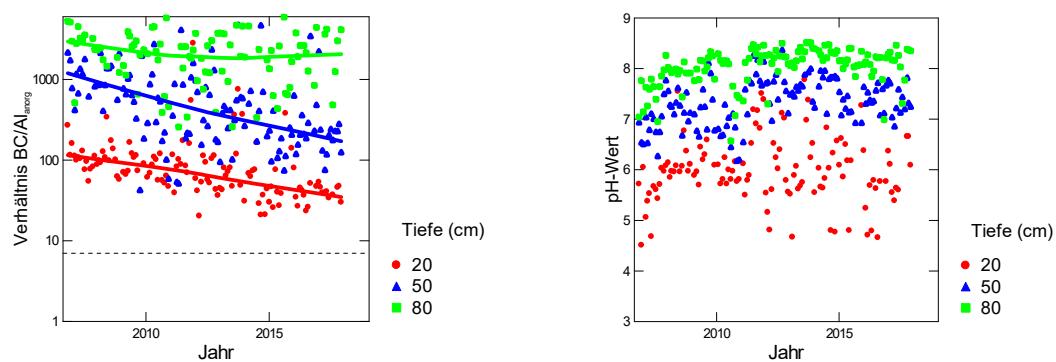
Braunau

Abb. 96: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

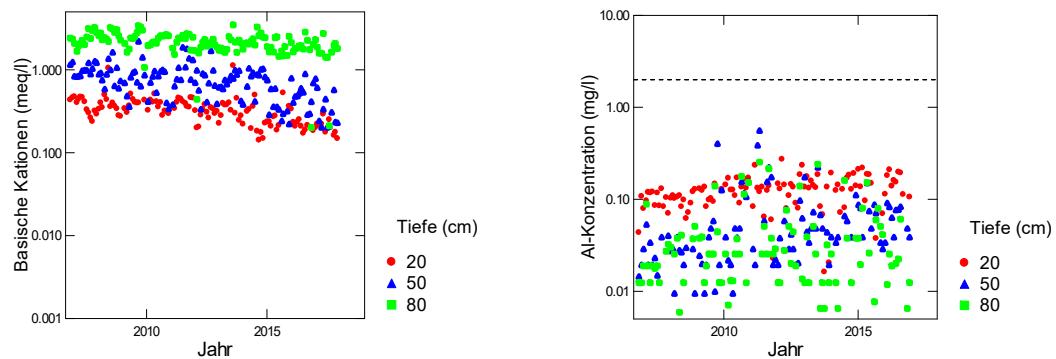


Abb. 97: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

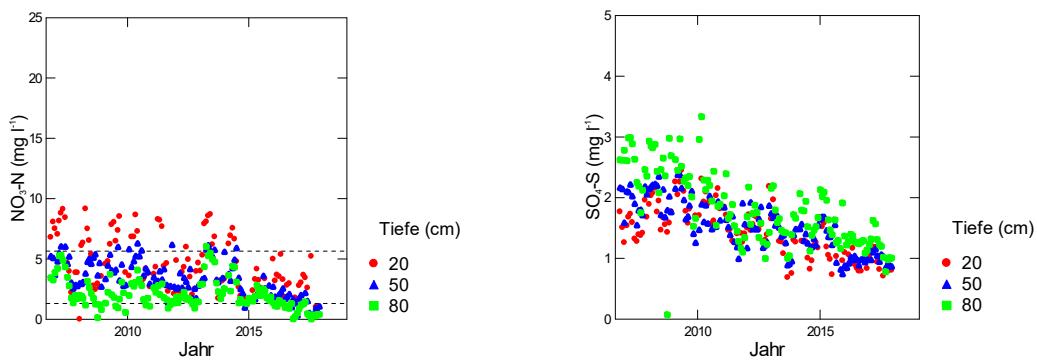


Abb. 98: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

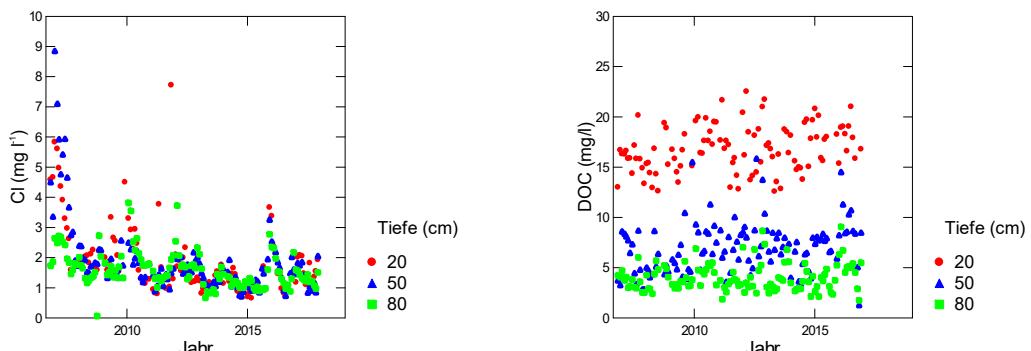


Abb. 99: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

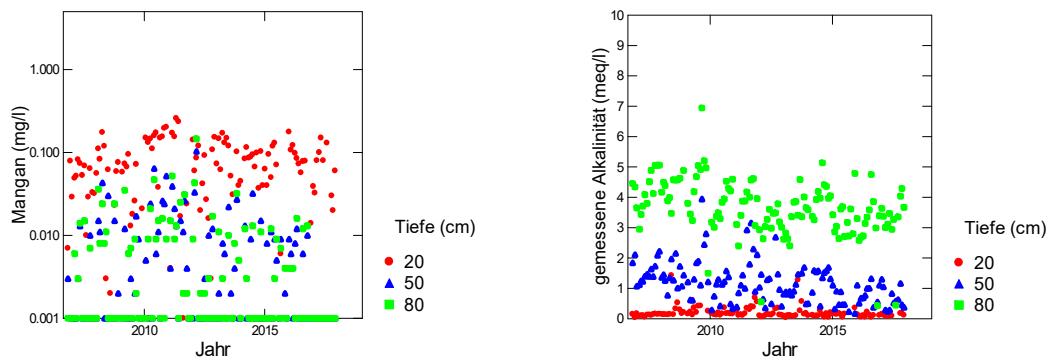


Abb. 100: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

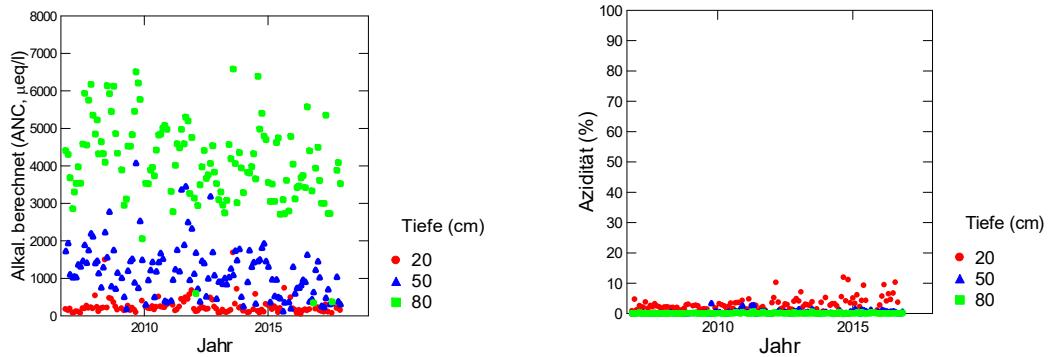


Abb. 101: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau.

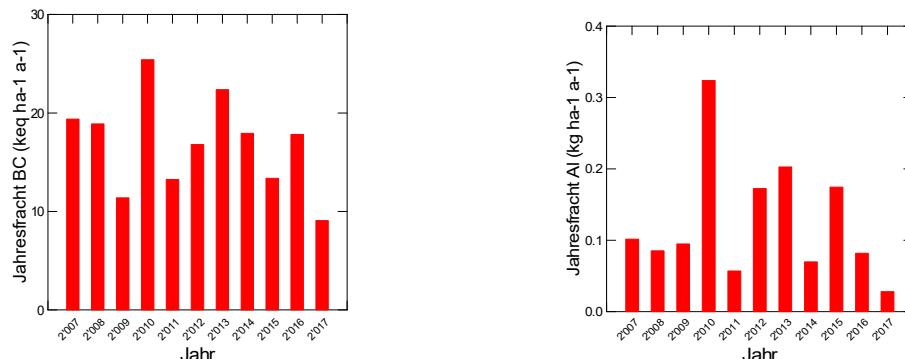


Abb. 102: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau in 80 cm Tiefe.

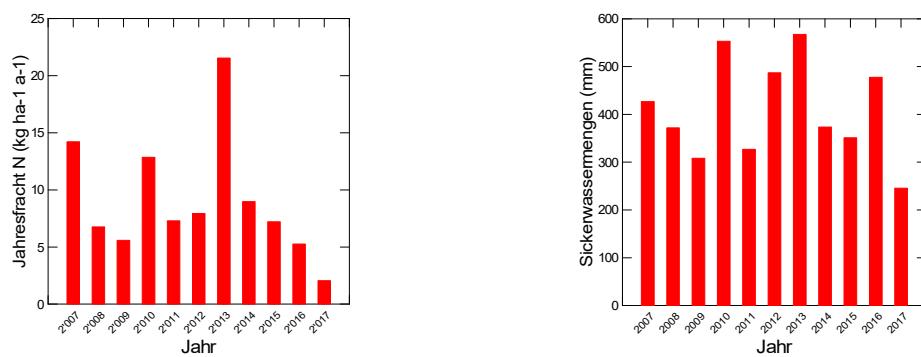


Abb. 103: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Braunau in 80 cm Tiefe.

Breitenbach

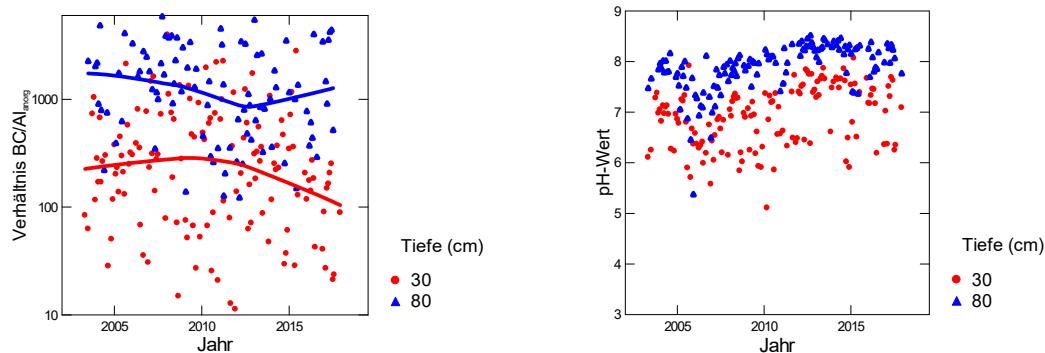


Abb. 104: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

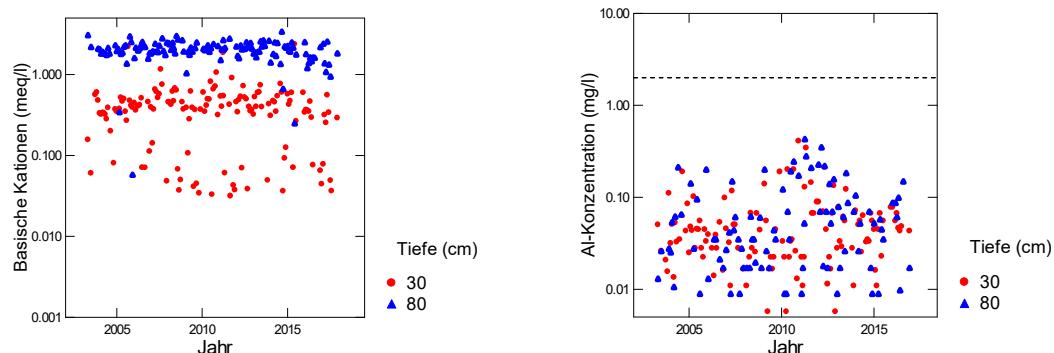


Abb. 105: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

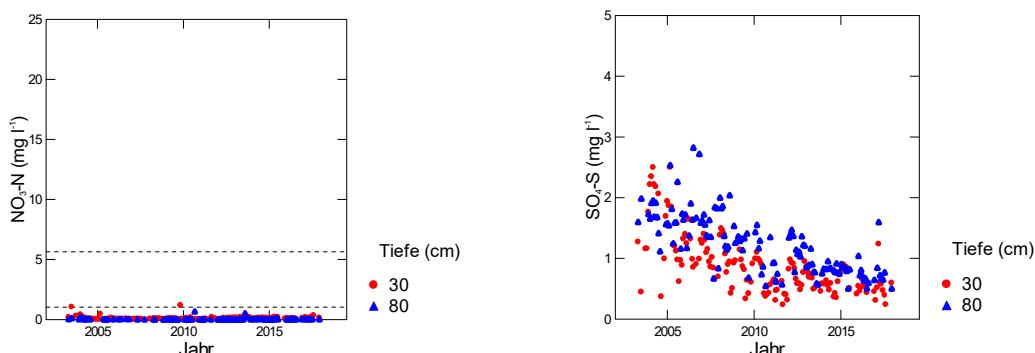


Abb. 106: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

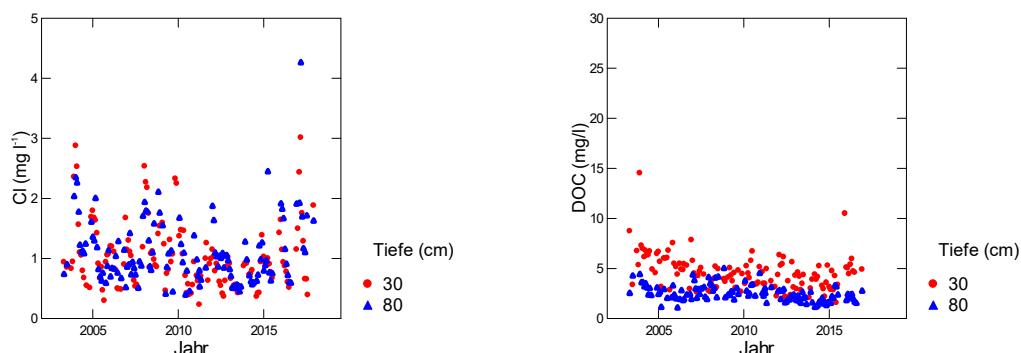


Abb. 107: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

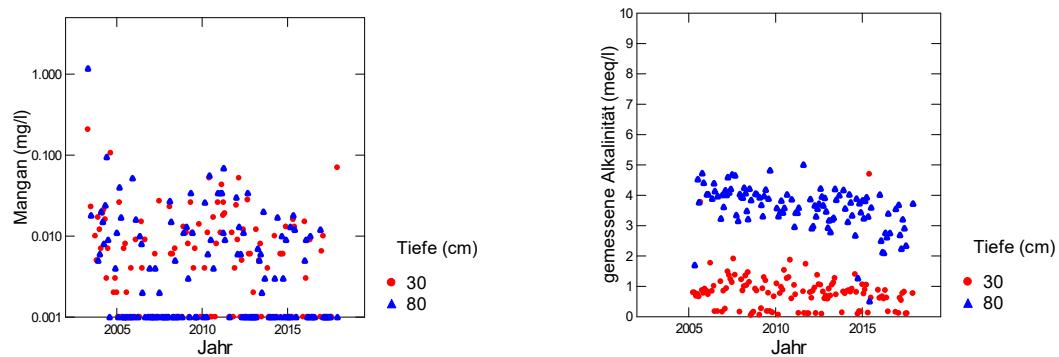


Abb. 108: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

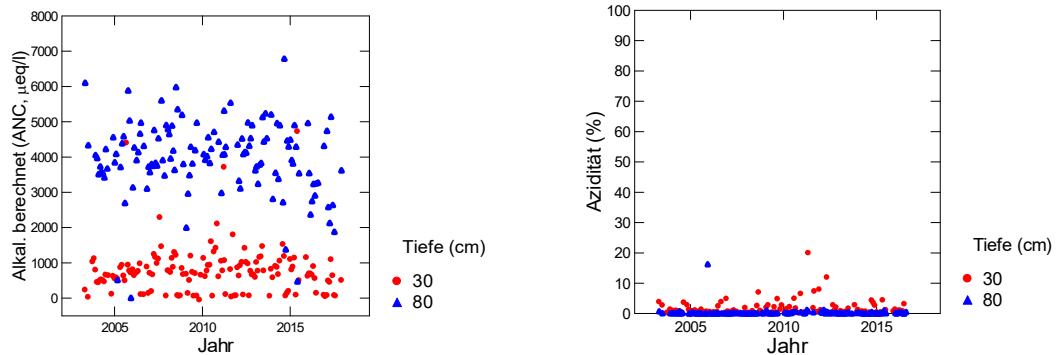


Abb. 109: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach.

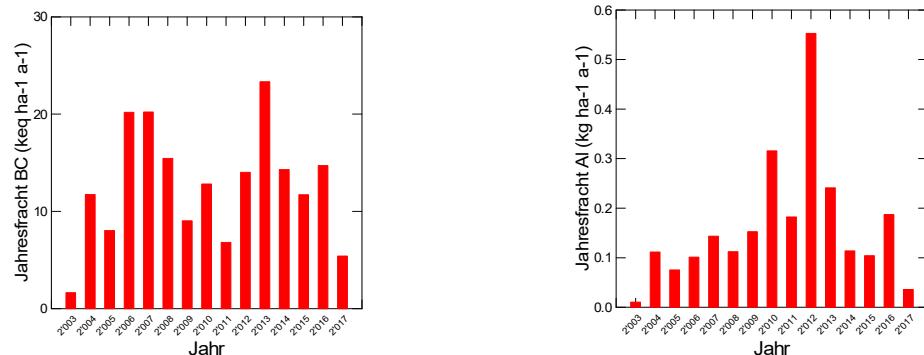


Abb. 110: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach in 80 cm Tiefe.

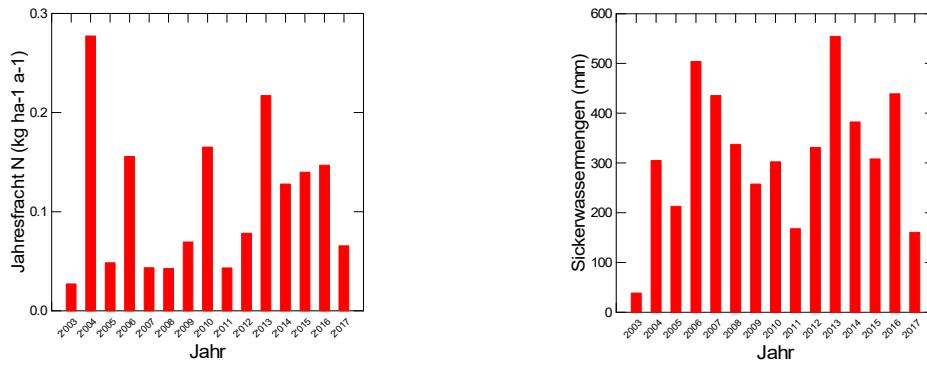


Abb. 111: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Breitenbach in 80 cm Tiefe.

Brislach Fichten

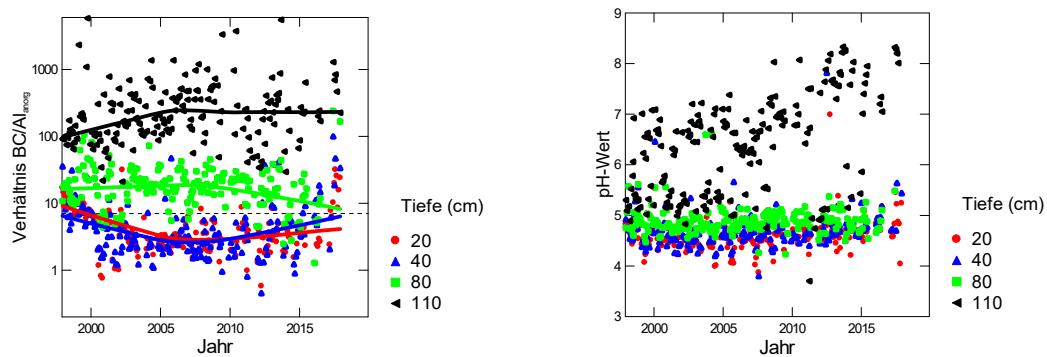


Abb. 112: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach.

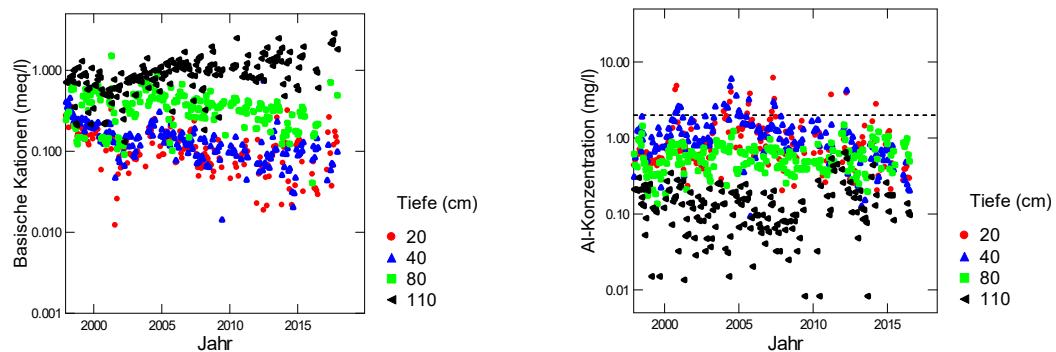


Abb. 113: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

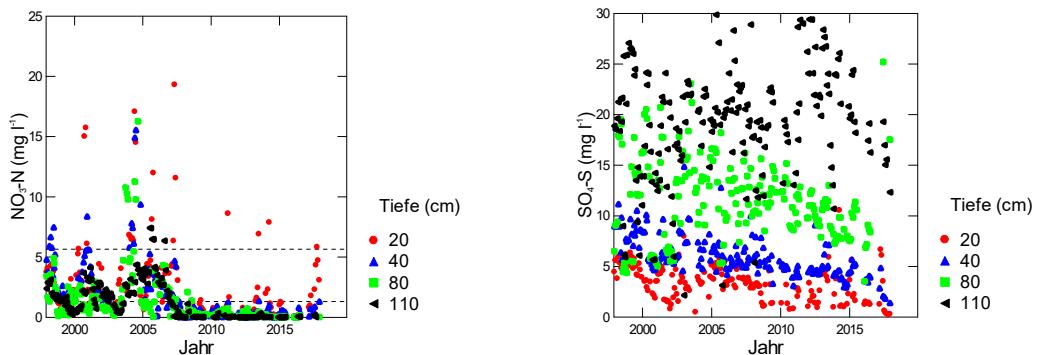


Abb. 114: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

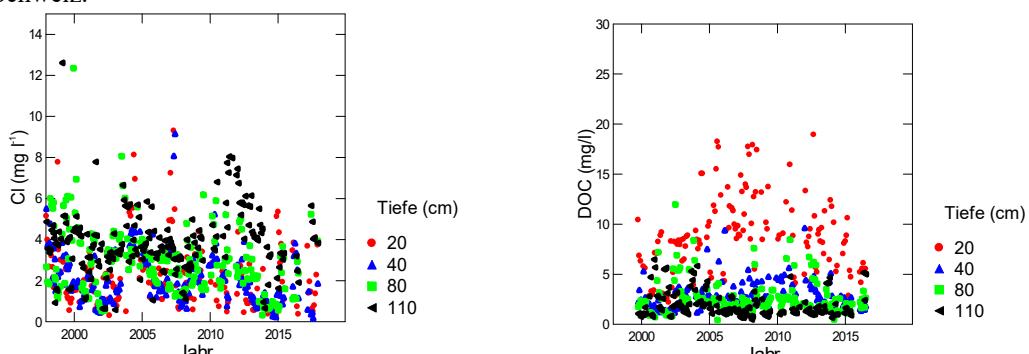


Abb. 115: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach

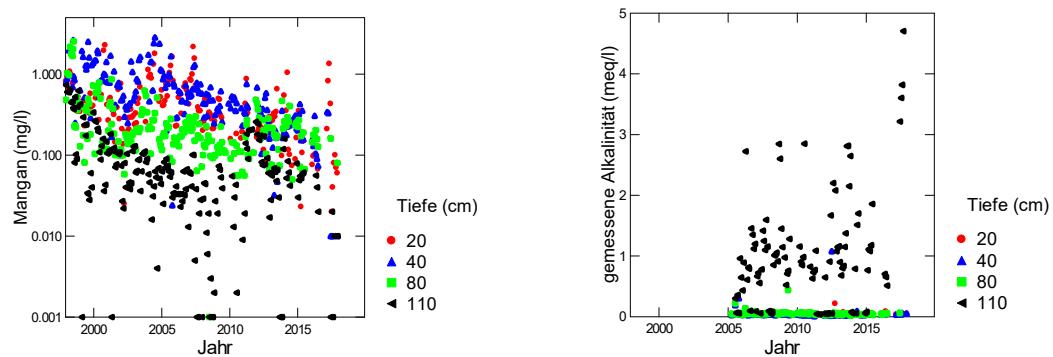


Abb. 116: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach

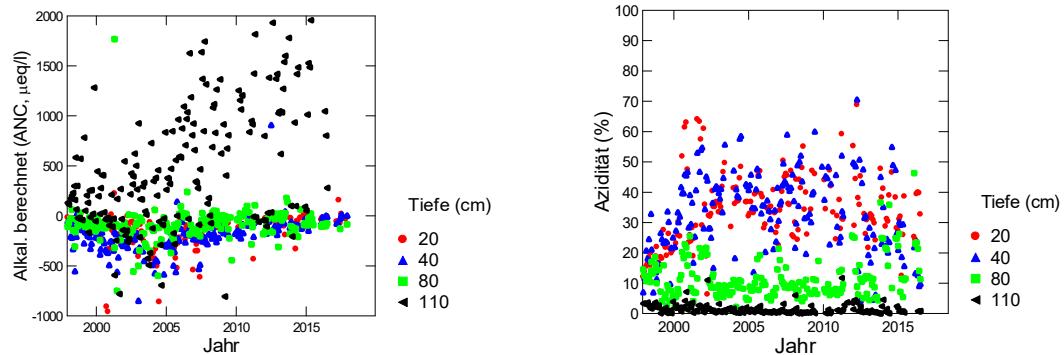


Abb. 117: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach.

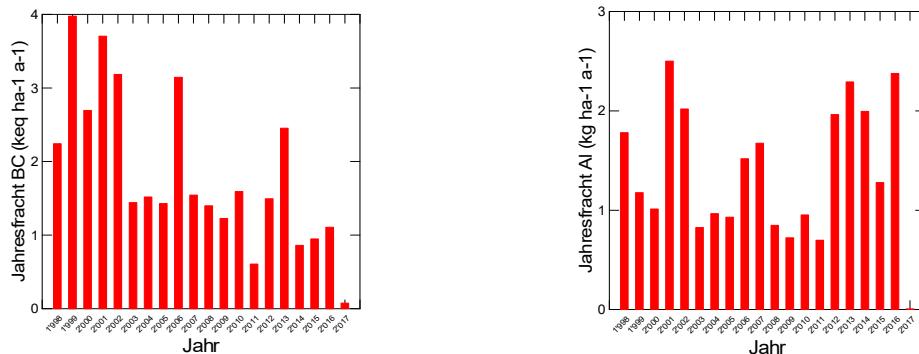


Abb. 118: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach in 80 cm Tiefe.

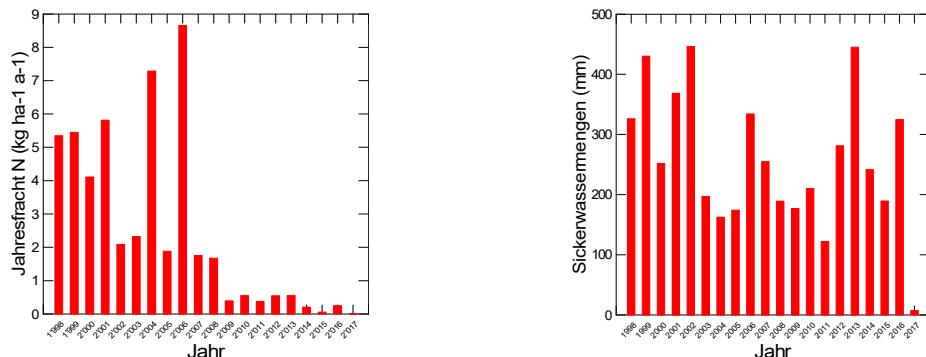


Abb. 119: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Brislach in 80 cm Tiefe.

Brislach Buchen

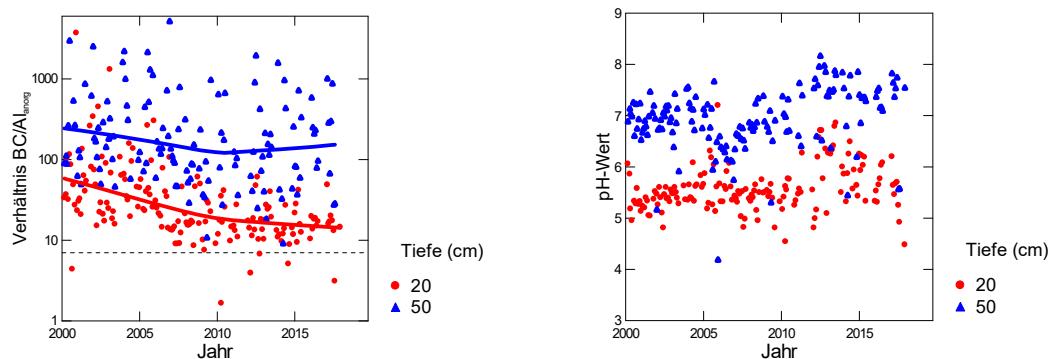


Abb. 120: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach.

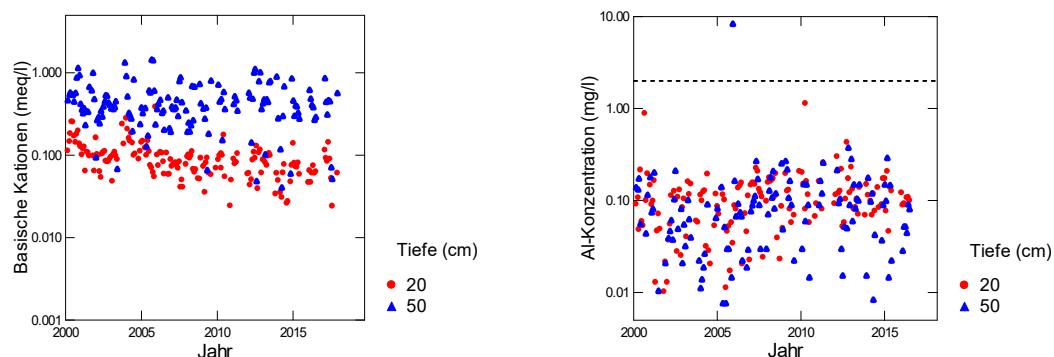


Abb. 121: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

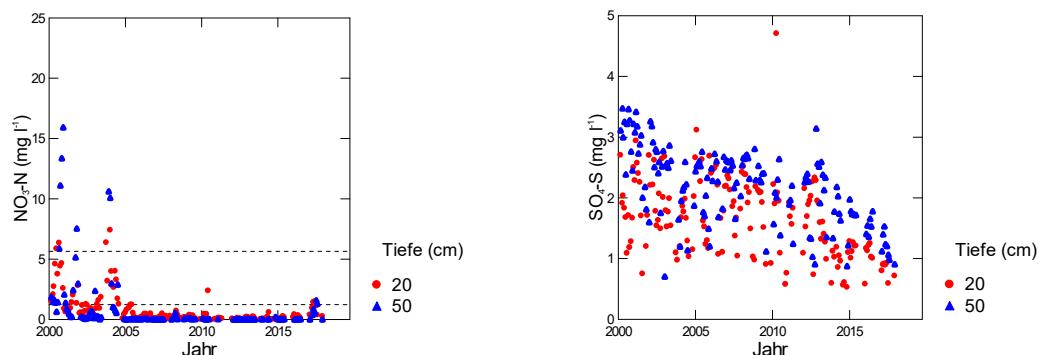


Abb. 122: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

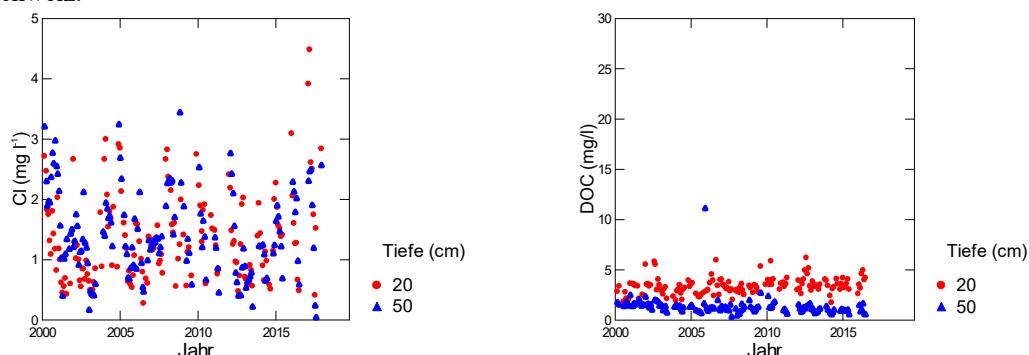


Abb. 123: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach.

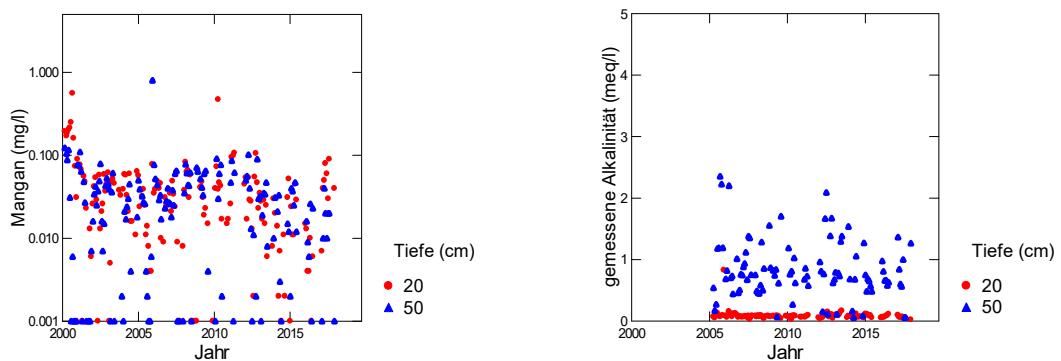


Abb. 124: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach

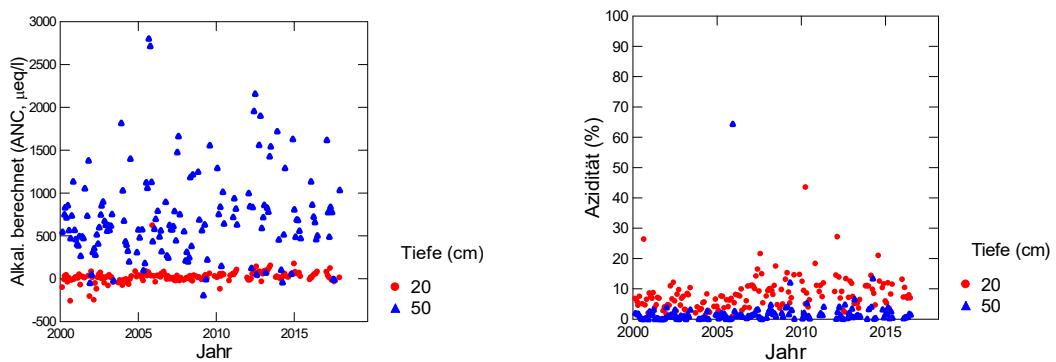


Abb. 125: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach.

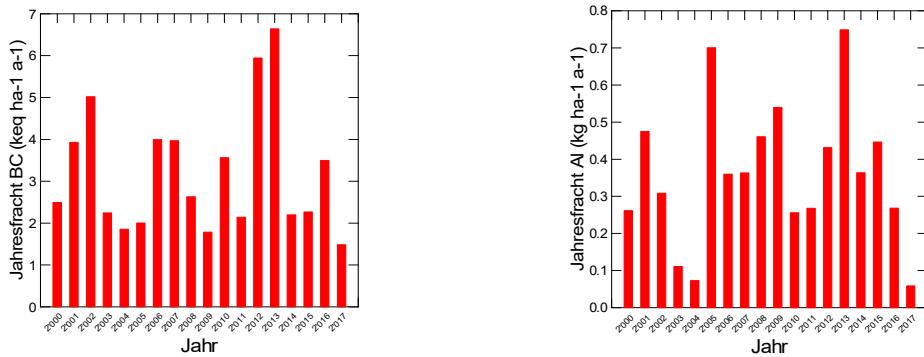


Abb. 126: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach in 50 cm Tiefe.

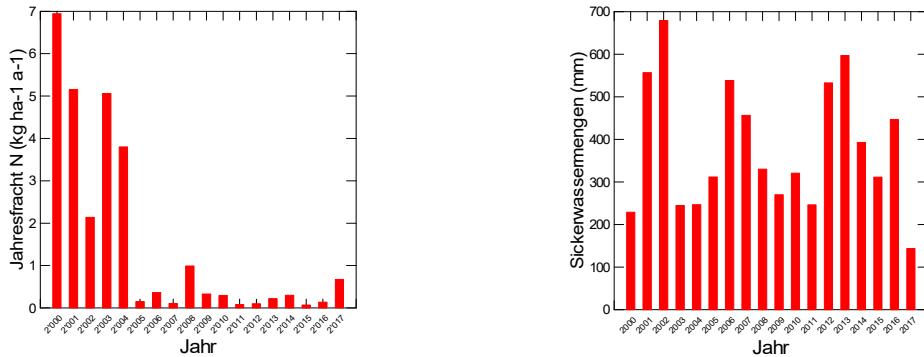


Abb. 127: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Brislach in 50 cm Tiefe.

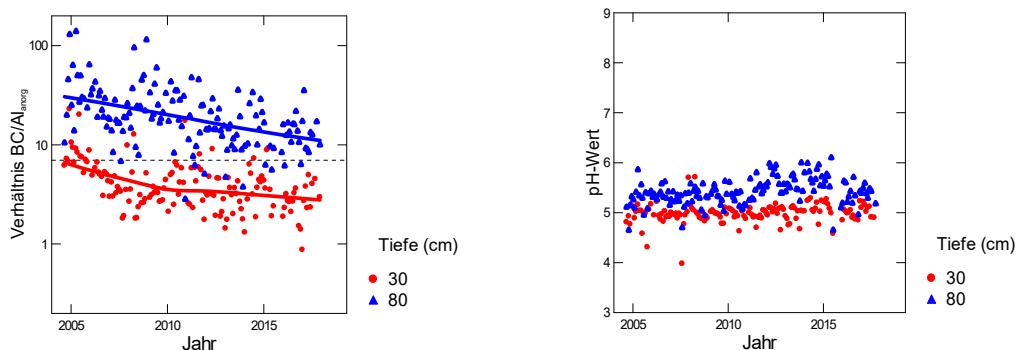
Busswil

Abb. 128: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

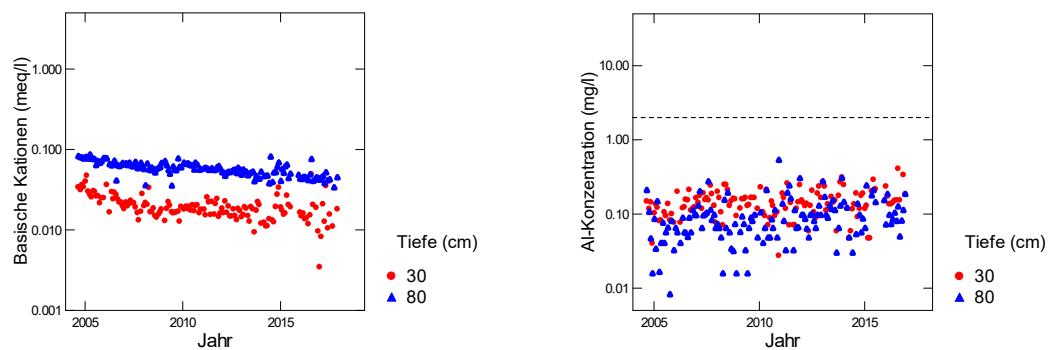


Abb. 129: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

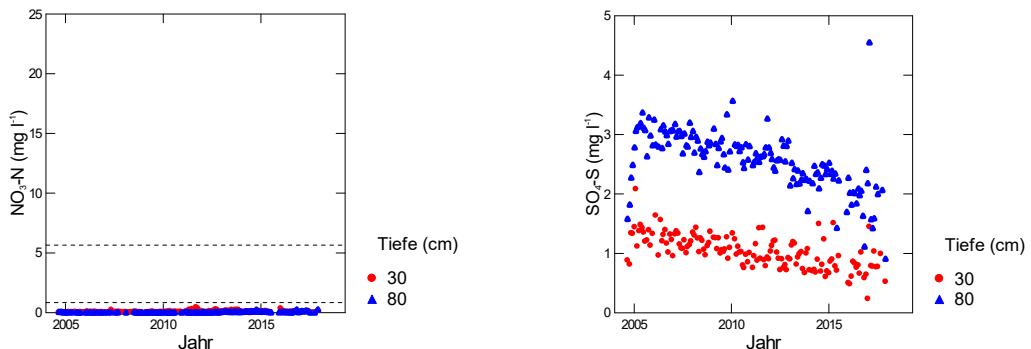


Abb. 130: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

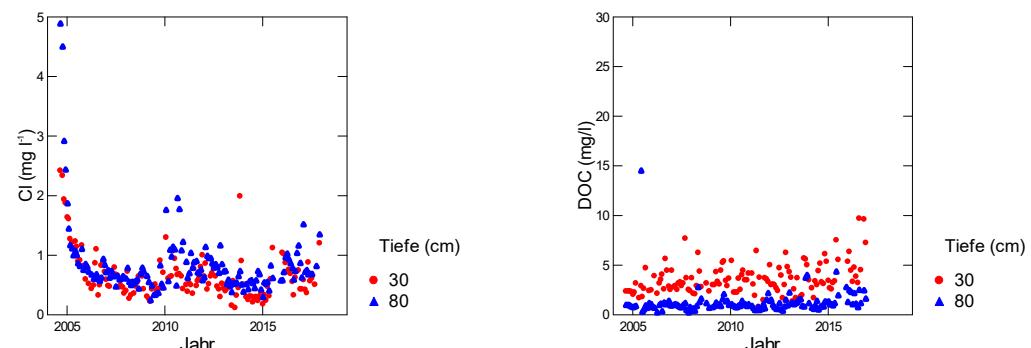


Abb. 131: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

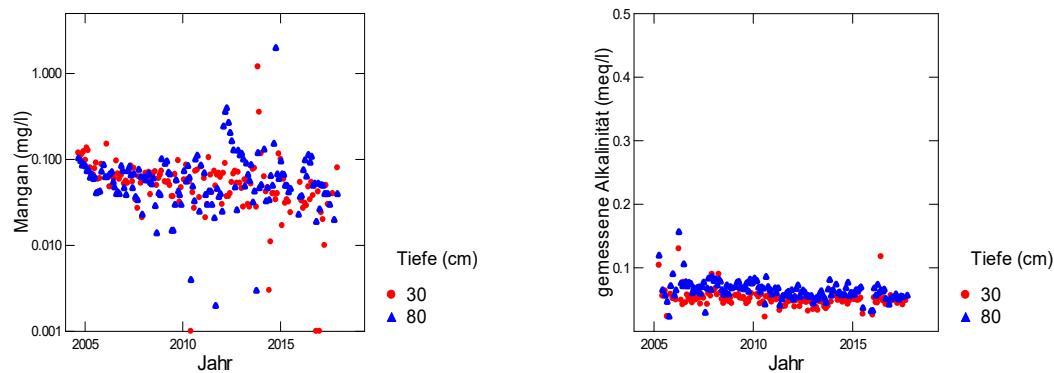


Abb. 132: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

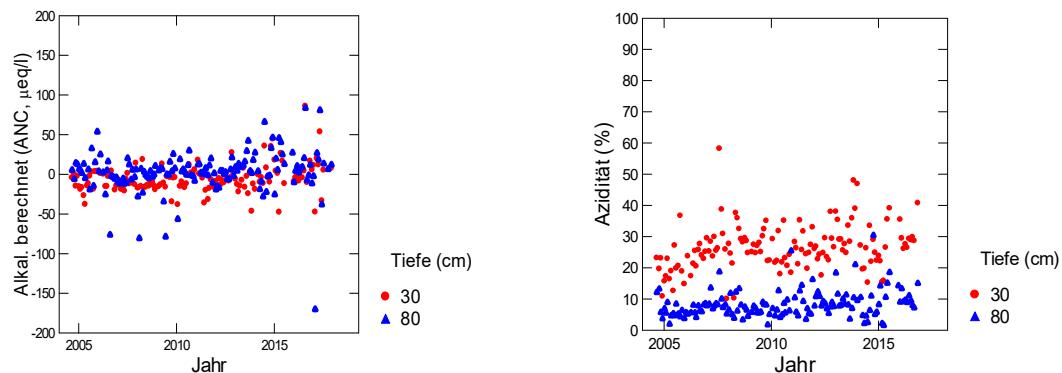


Abb. 133: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil.

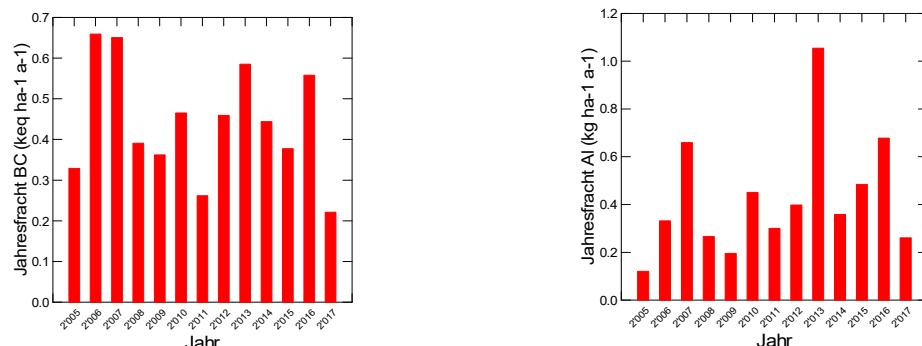


Abb. 134: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil in 80 cm Tiefe.

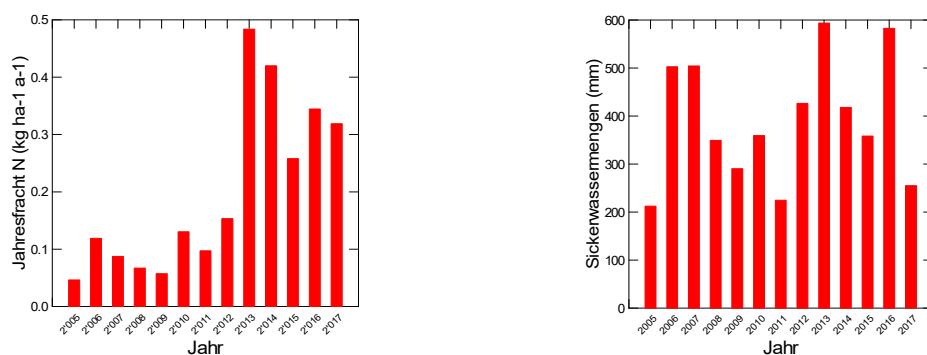


Abb. 135: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Busswil in 80 cm Tiefe.

Diessenhofen

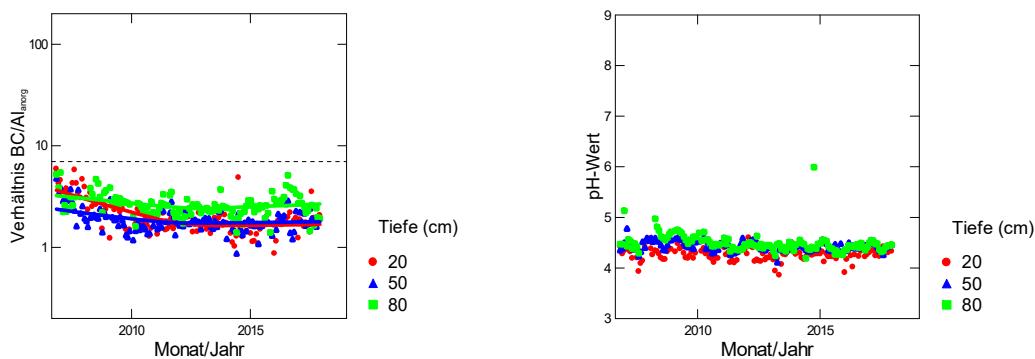


Abb. 136: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

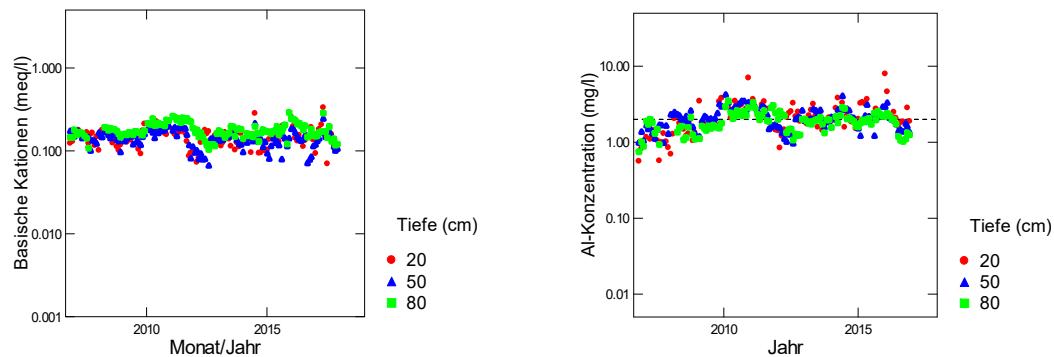


Abb. 137: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

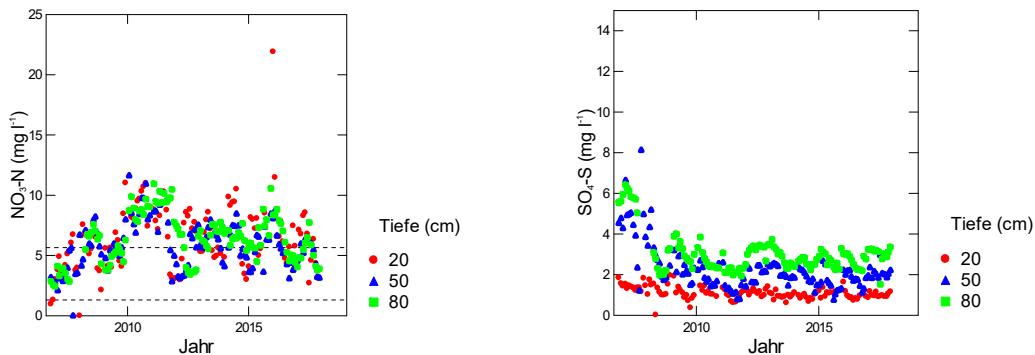


Abb. 138: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

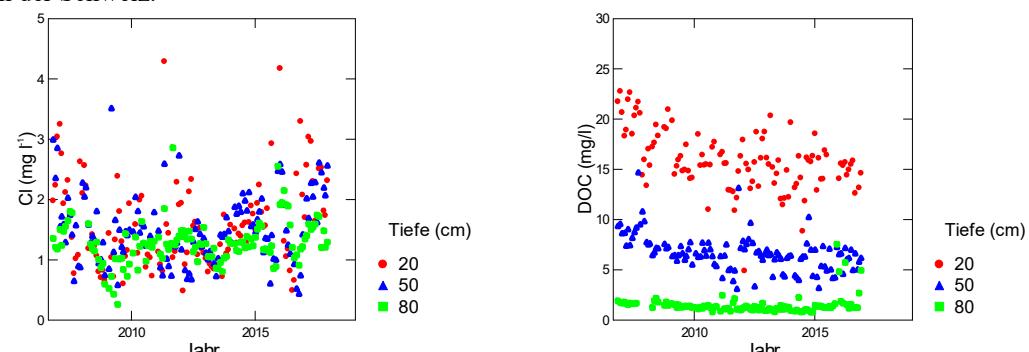


Abb. 139: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

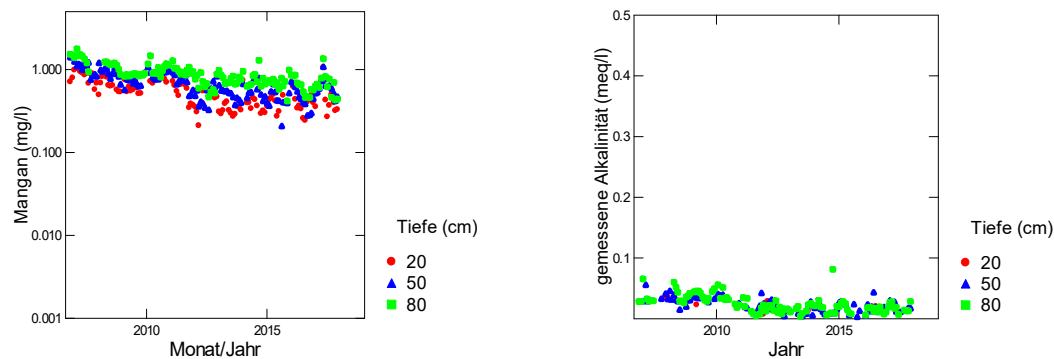


Abb. 140: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

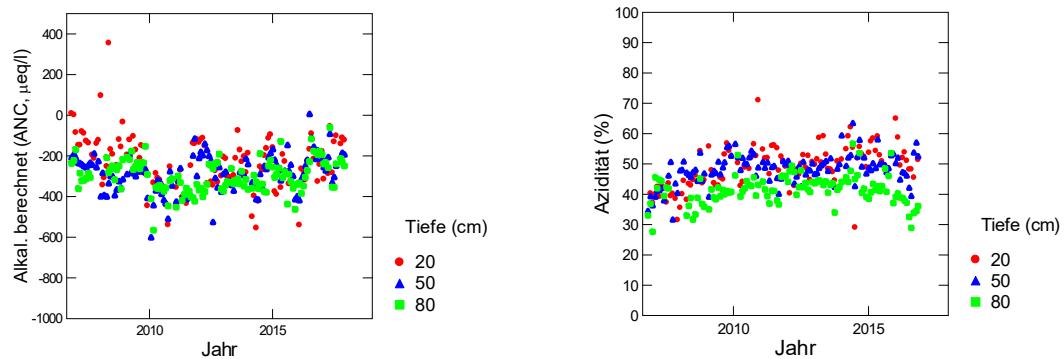


Abb. 141: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen.

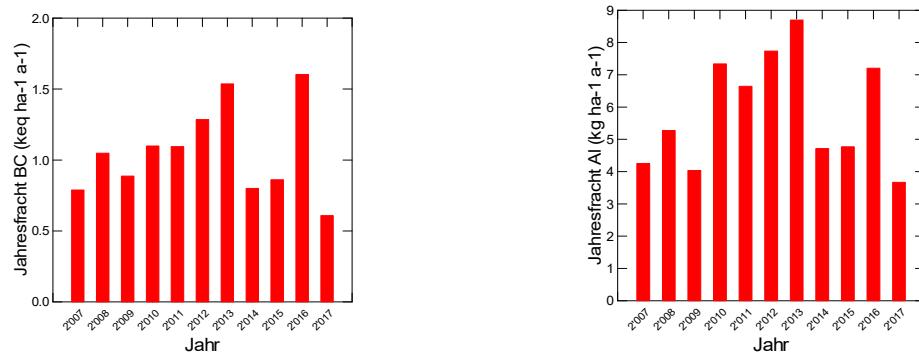


Abb. 142: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen in 80 cm Tiefe.

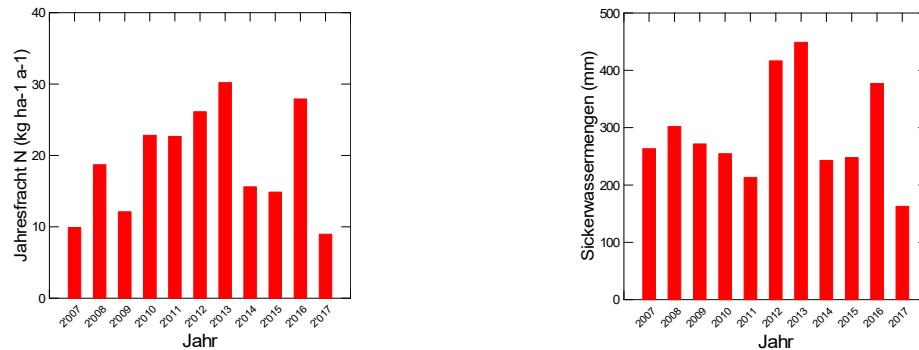


Abb. 143: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Diessenhofen in 80 cm Tiefe.

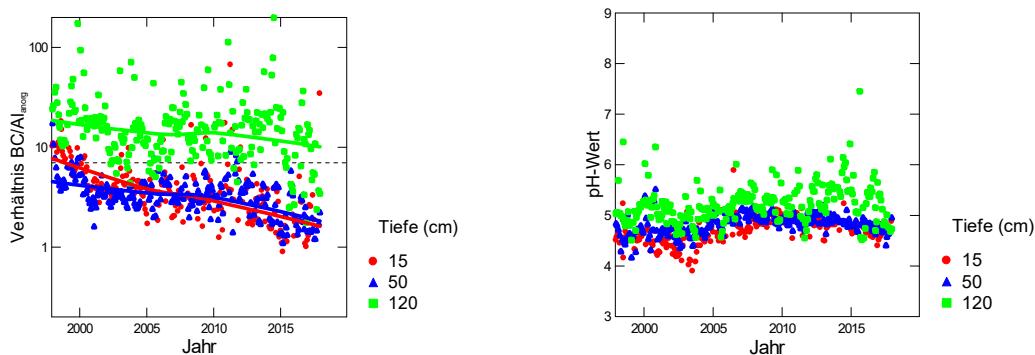
Frienisberg

Abb. 144 Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Friesenberg (Mischbestand Buchen/Fichten).

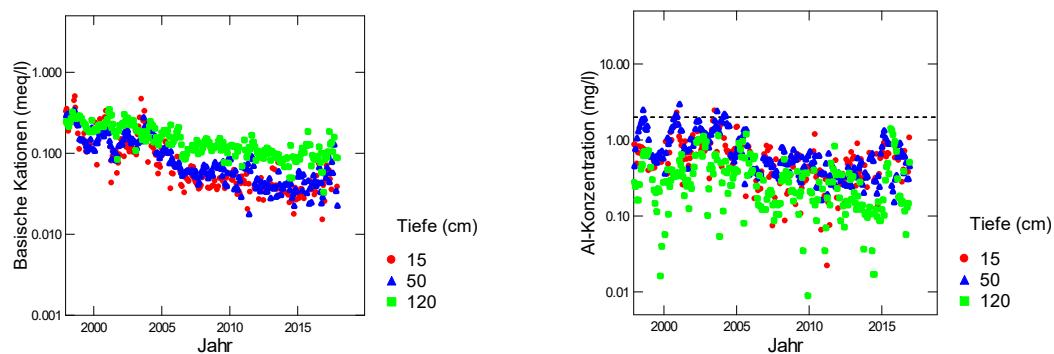


Abb. 145: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Friesenberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

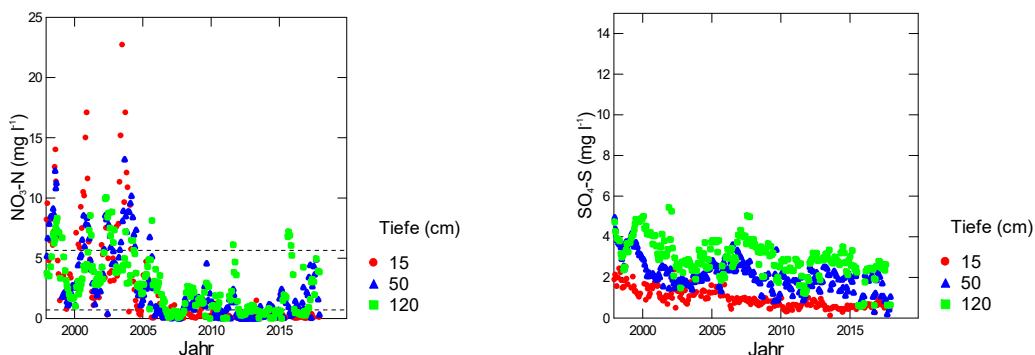


Abb. 146: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Friesenberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

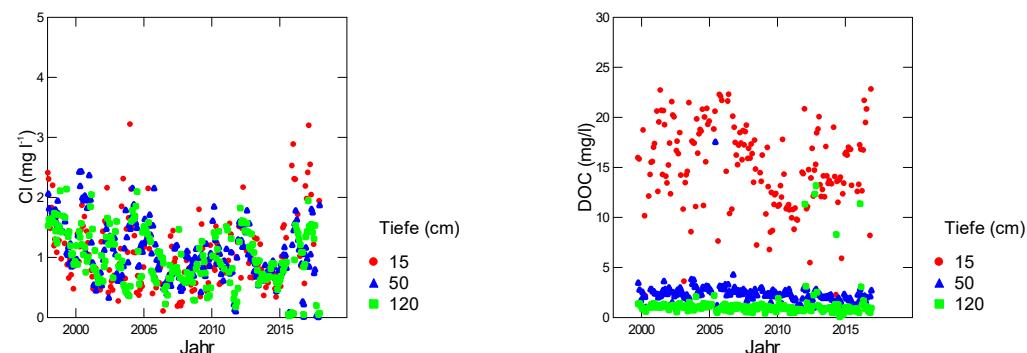


Abb. 147: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Friesenberg

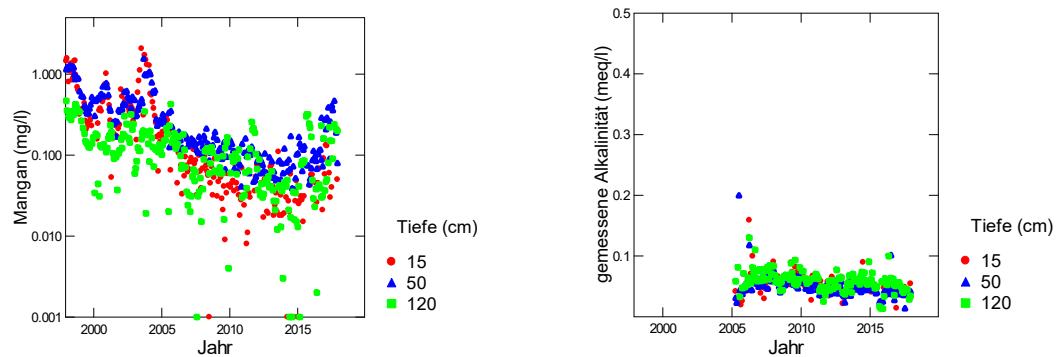


Abb. 148: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg

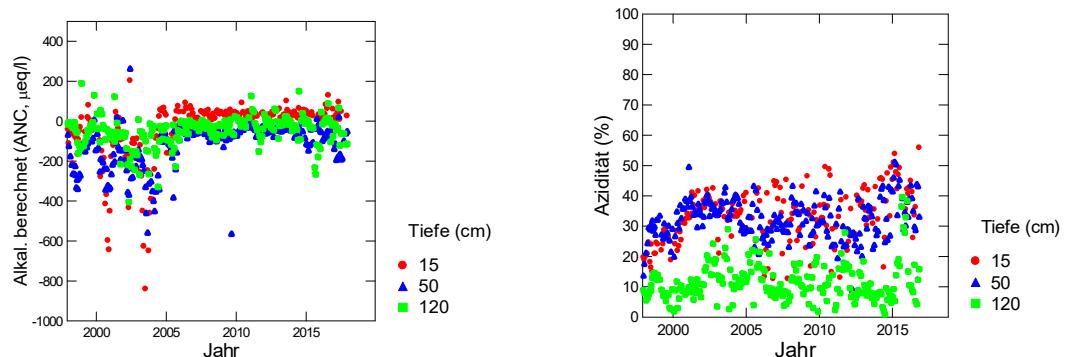


Abb. 149: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg.

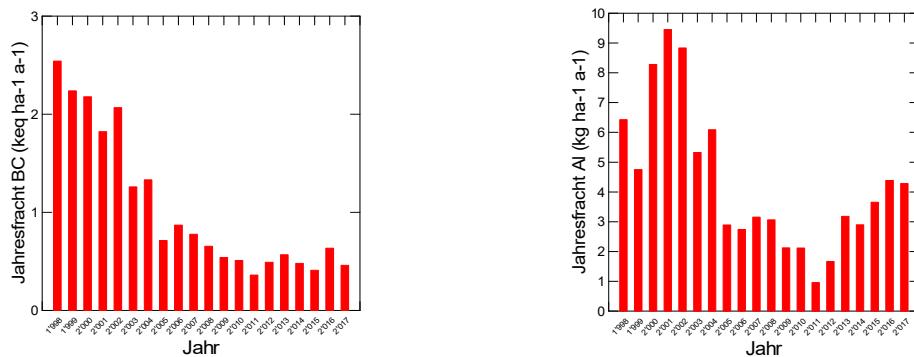


Abb. 150: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg in 120 cm Tiefe.

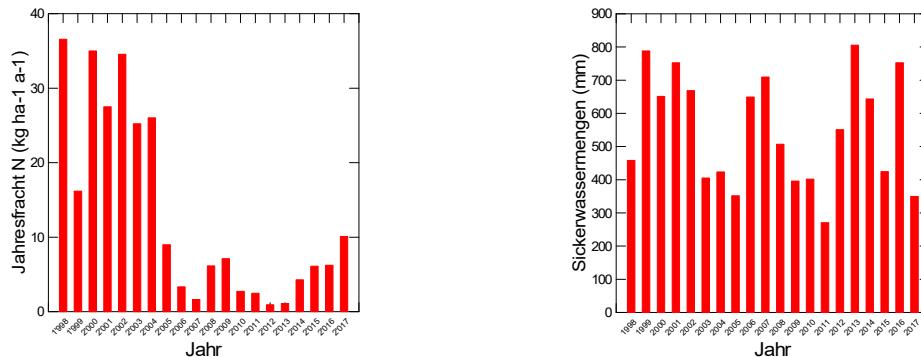


Abb. 151: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Frienisberg in 120 cm Tiefe.

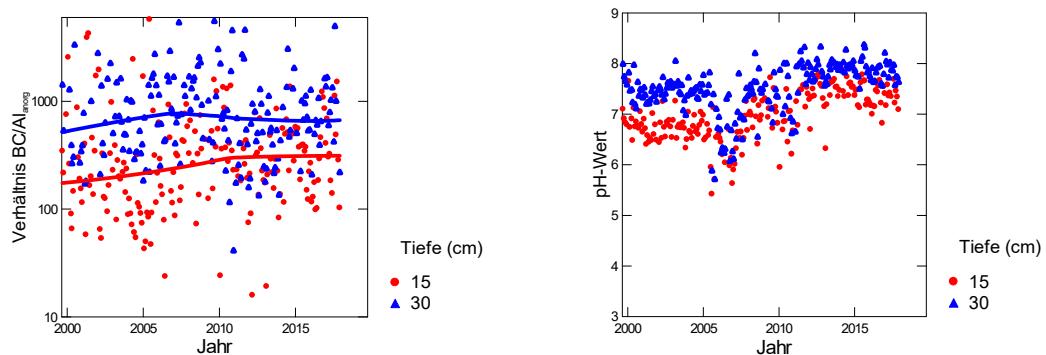
Grenchenberg

Abb. 152: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

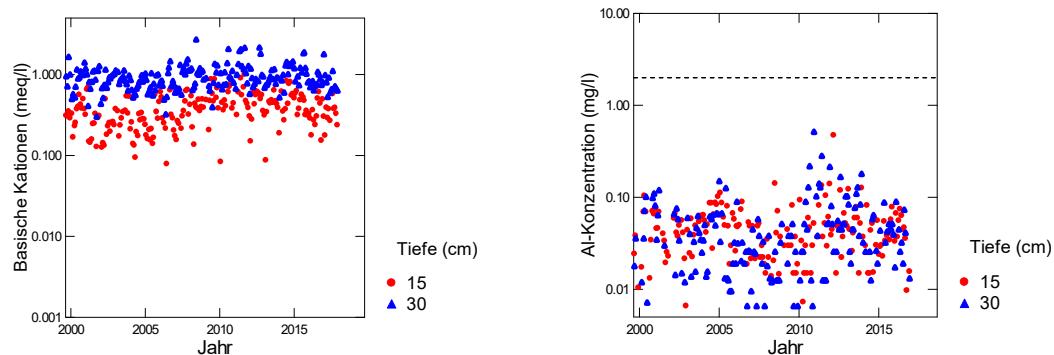


Abb. 153: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

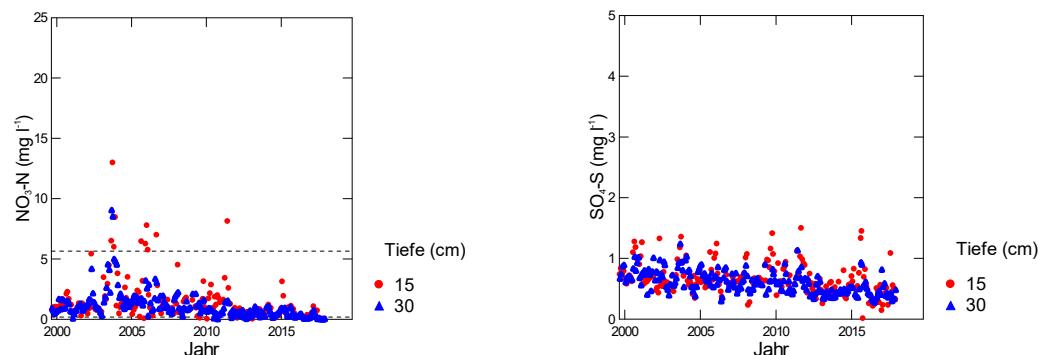


Abb. 154: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten). In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

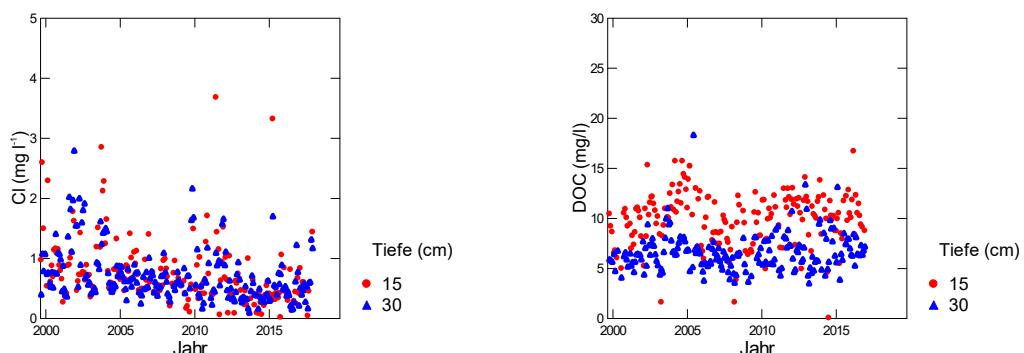


Abb. 155: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

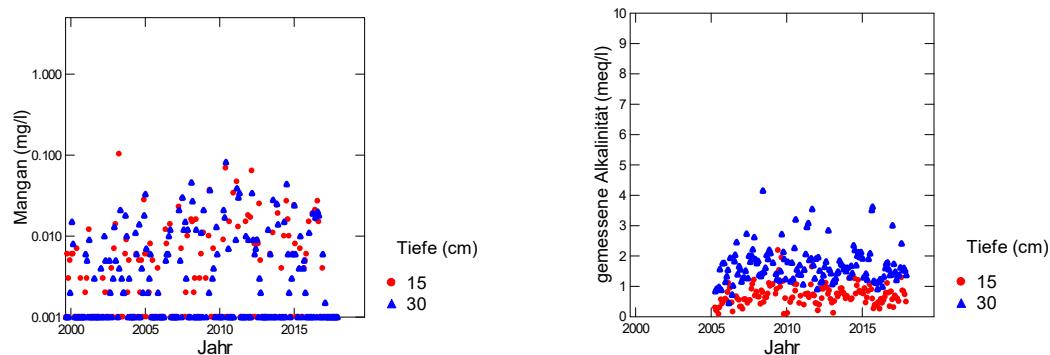


Abb. 156: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

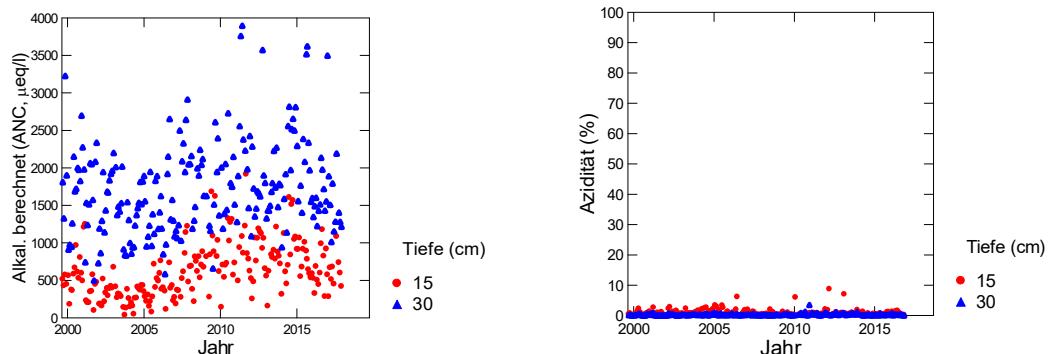


Abb. 157: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten).

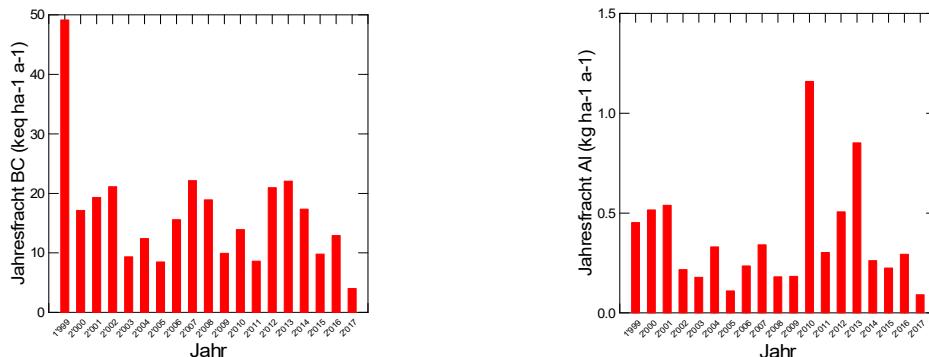


Abb. 158: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten) in 30 cm Tiefe.

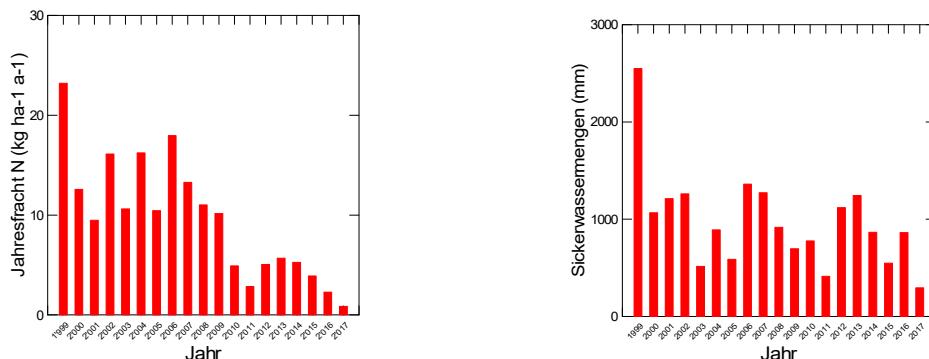


Abb. 159: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Grenchenberg (Buchen/Fichten) in 30 cm Tiefe.

Habsburg Lotharfläche Kontrolle

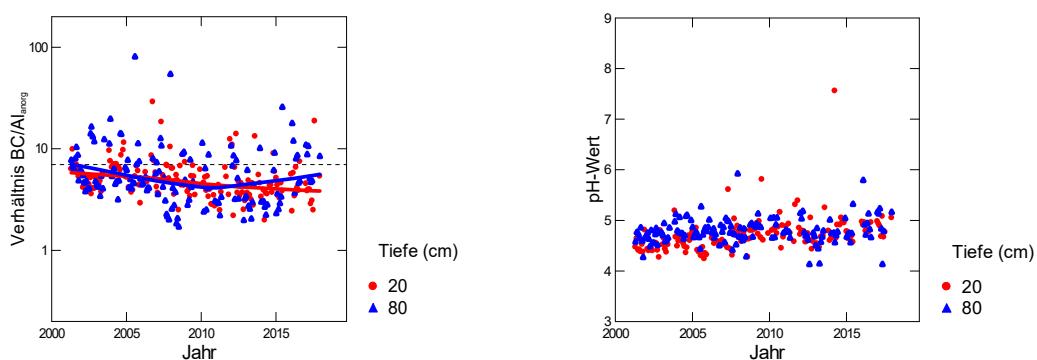


Abb. 160: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle.

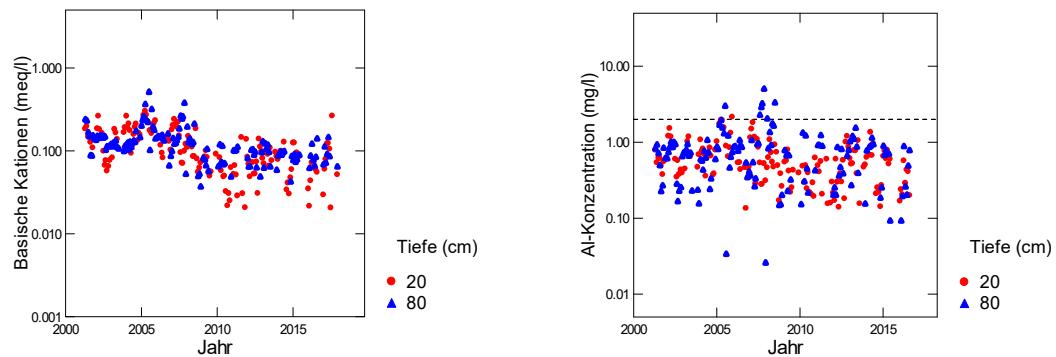


Abb. 161: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

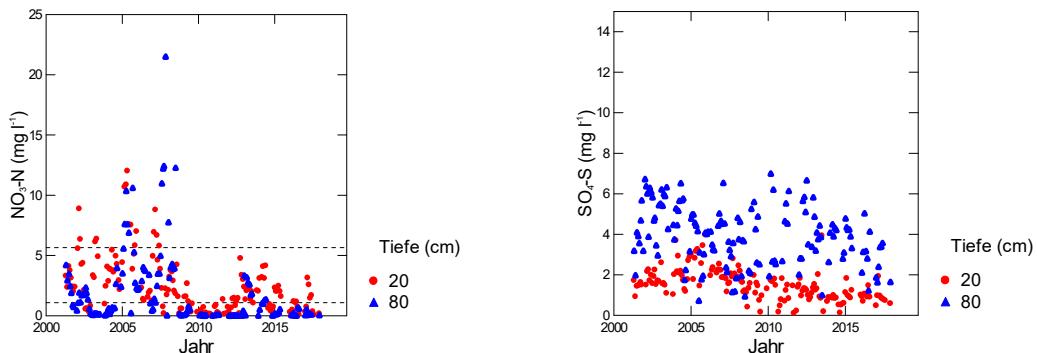


Abb. 162: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrollen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

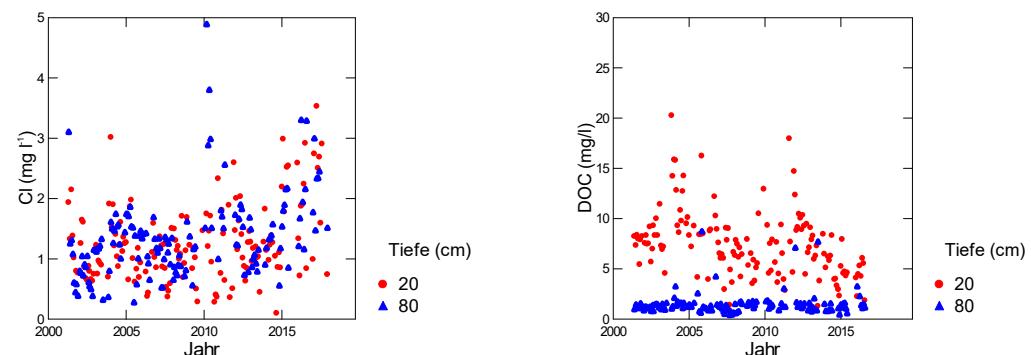


Abb. 163: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrollen.

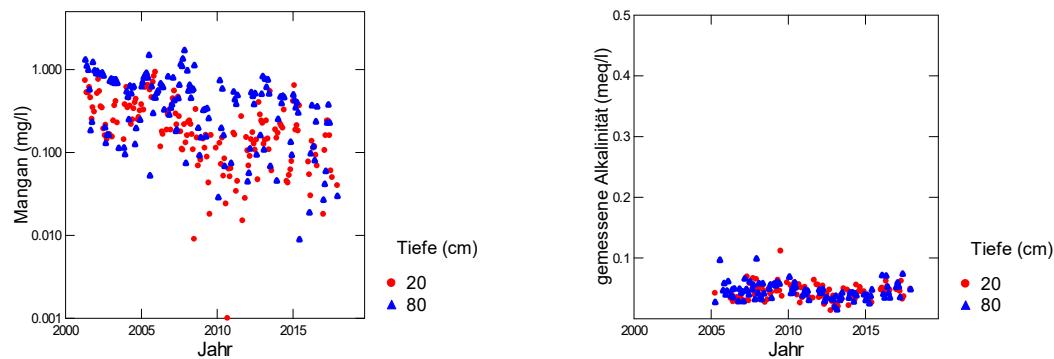


Abb. 164: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle.

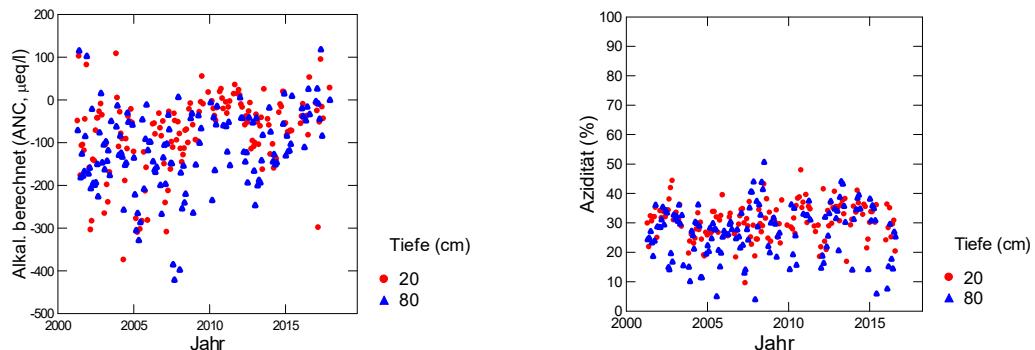


Abb. 165: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle.

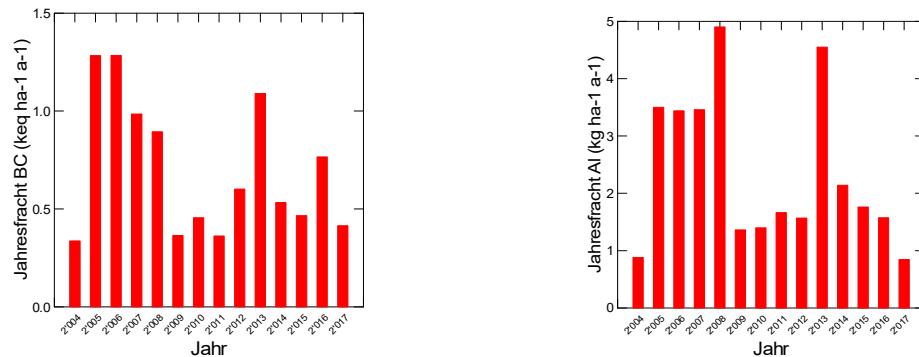


Abb. 166: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle in 80 cm Tiefe.

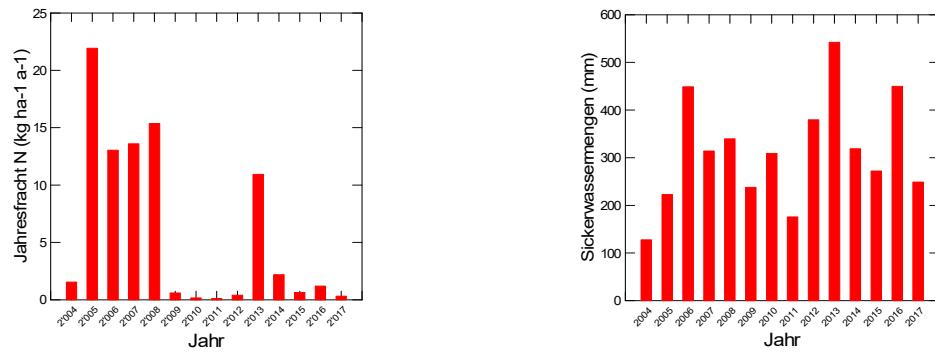


Abb. 167: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Habsburg Kontrolle in 80 cm Tiefe.

Hinwil

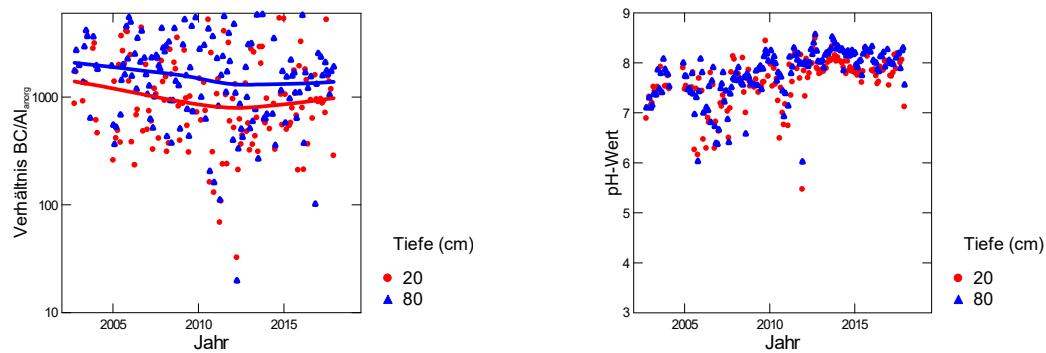


Abb. 168: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

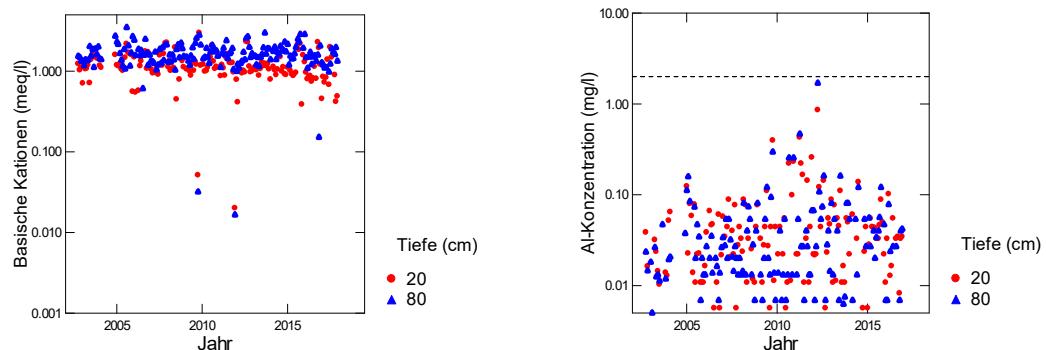


Abb. 169: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

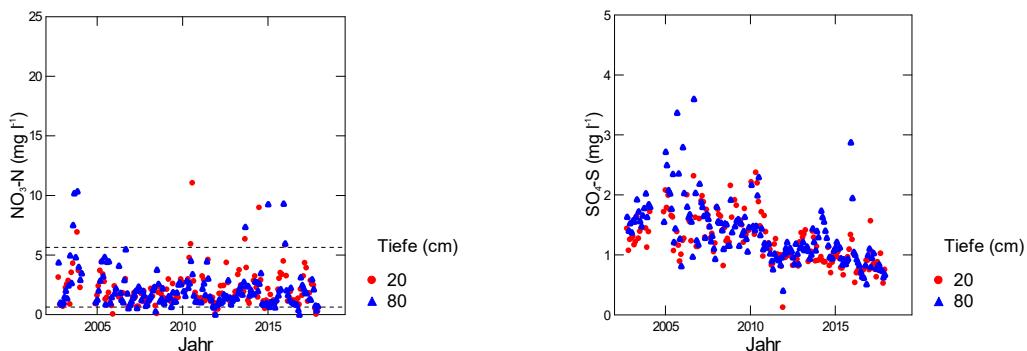


Abb. 170: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

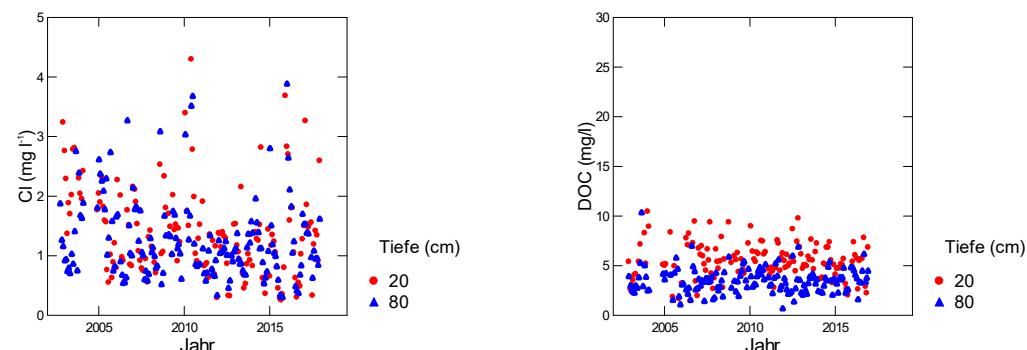


Abb. 171: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

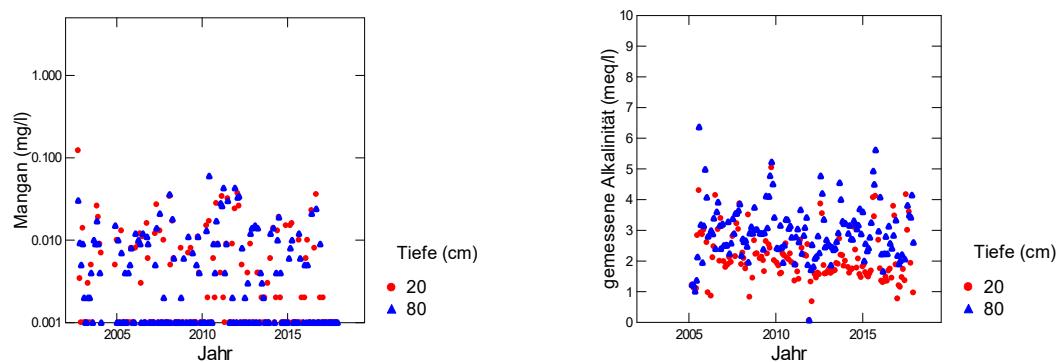


Abb. 172: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

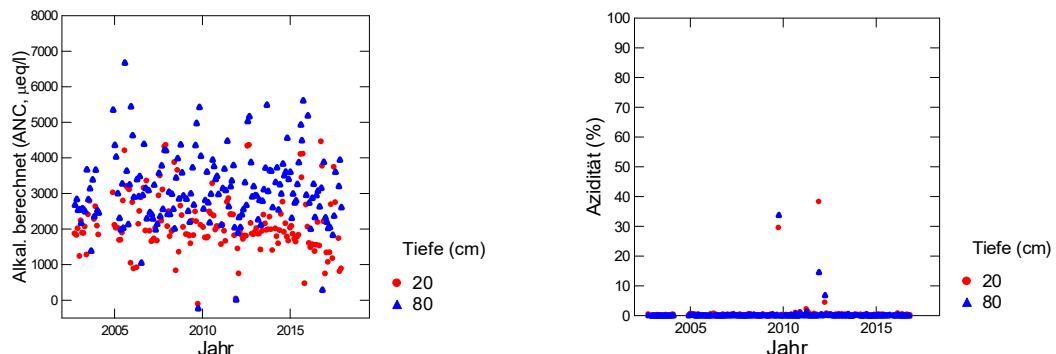


Abb. 173: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil.

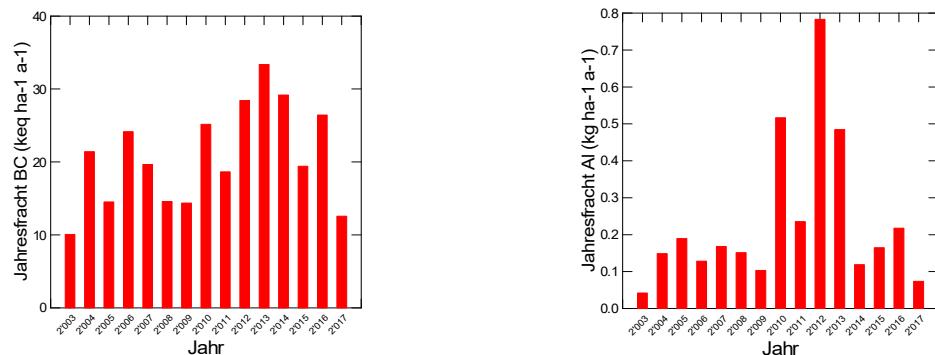


Abb. 174: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil in 80 cm Tiefe.

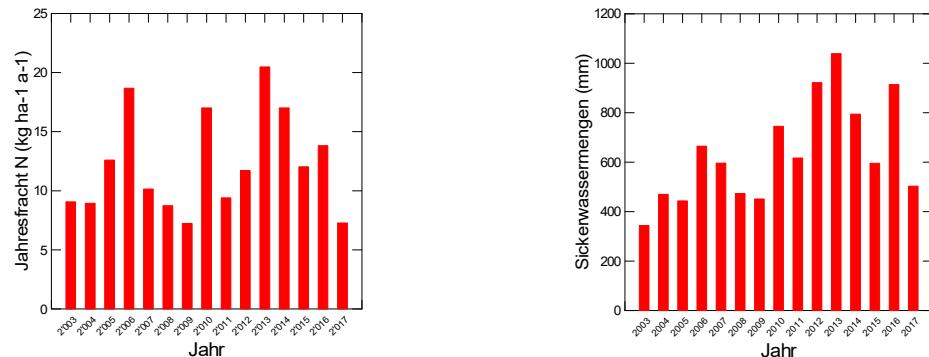


Abb. 175: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Hinwil in 80 cm Tiefe.

Le Châtelard

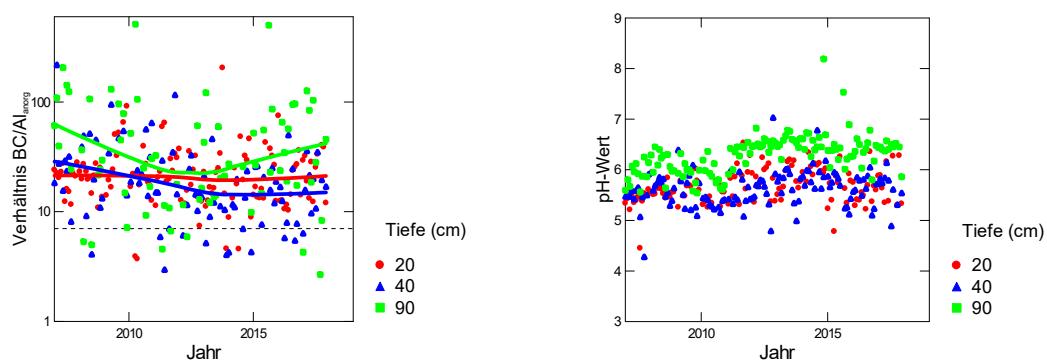


Abb. 176: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

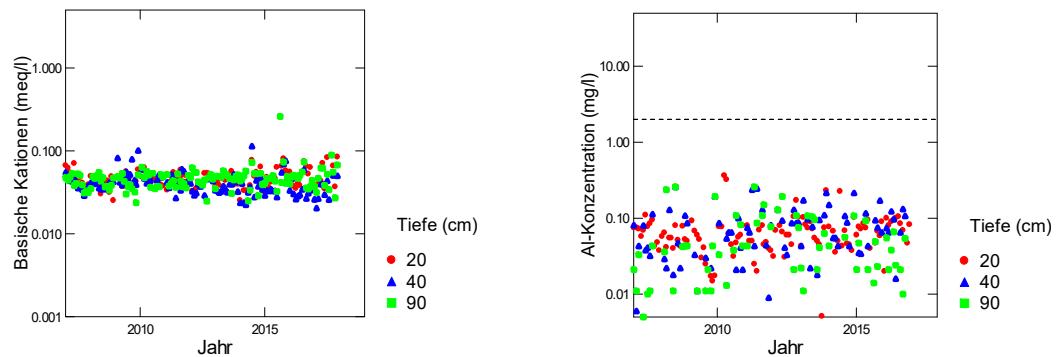


Abb. 177: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

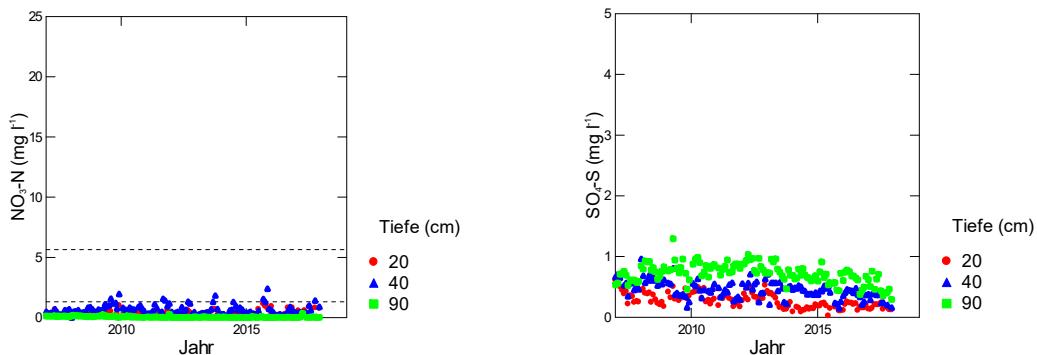


Abb. 178: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

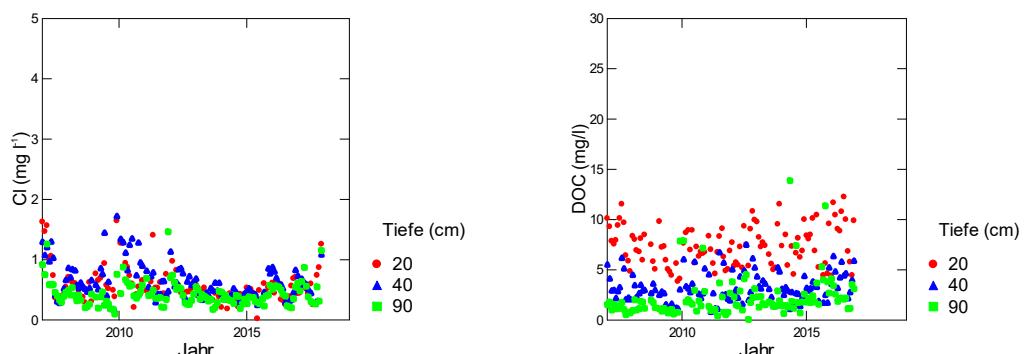


Abb. 179: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

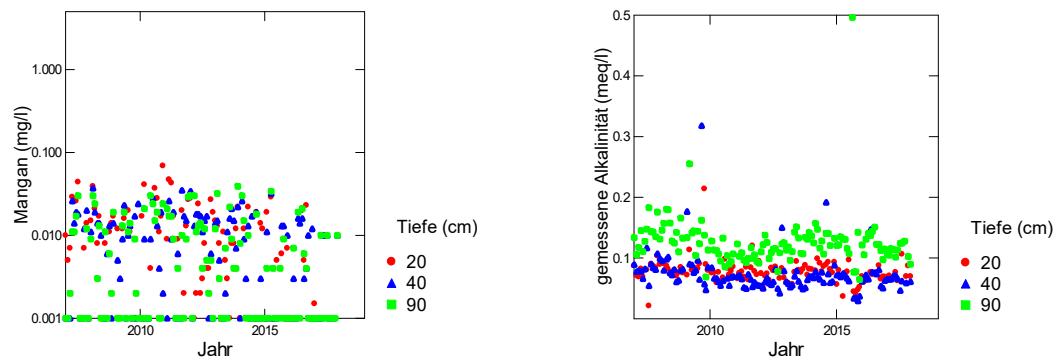


Abb. 180: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

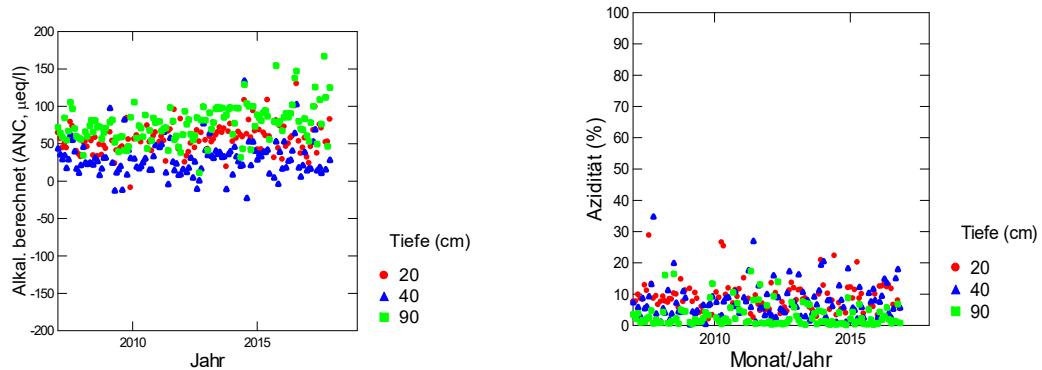


Abb. 181: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard.

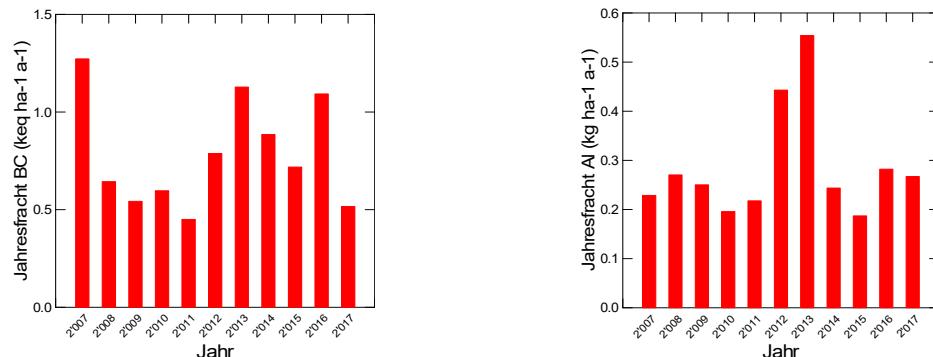


Abb. 182: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard in 80 cm Tiefe.

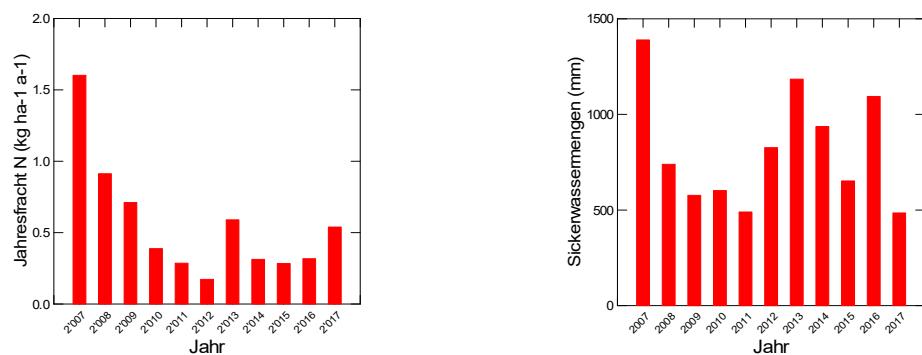


Abb. 183: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Le Châtelard in 80 cm Tiefe.

Lurengo Fichten

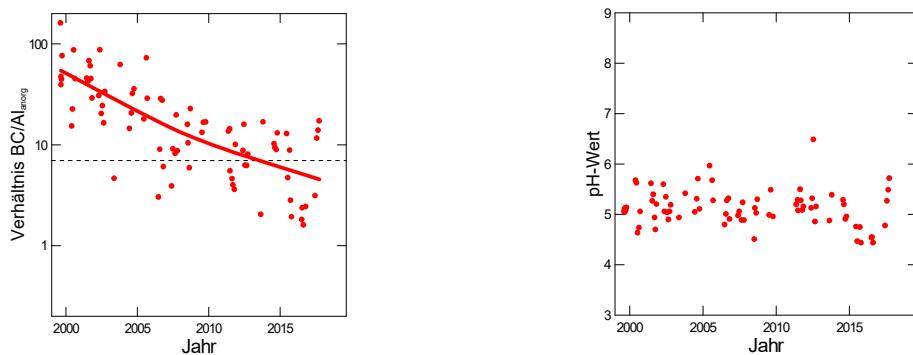


Abb. 184: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

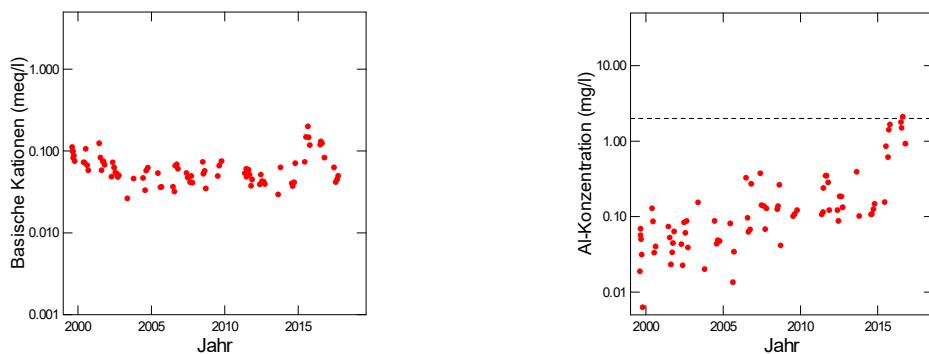


Abb. 185: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

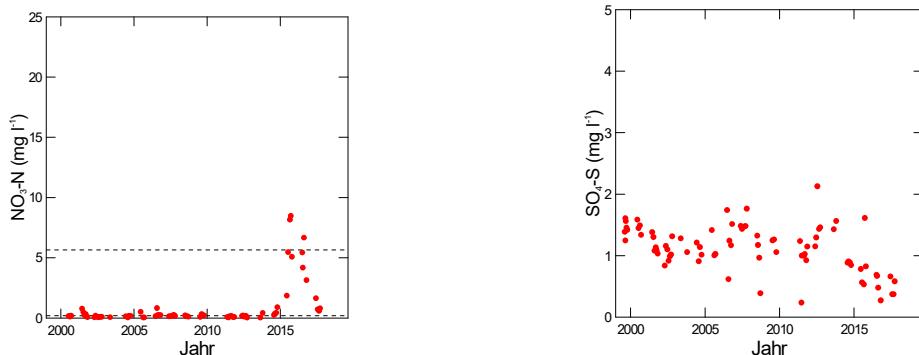


Abb. 186: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

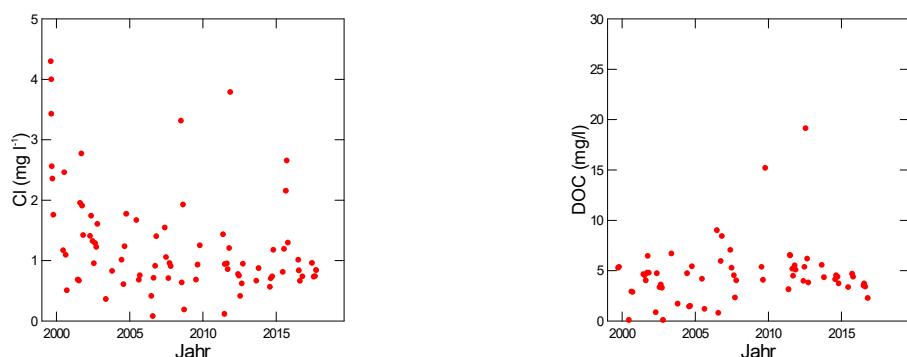


Abb. 187: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

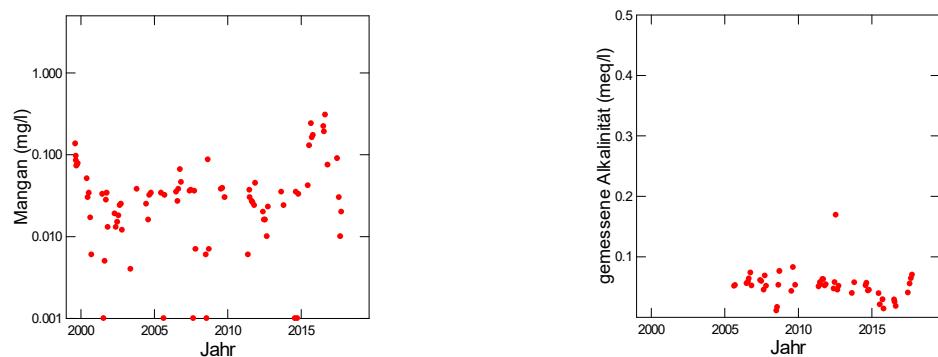


Abb. 188: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

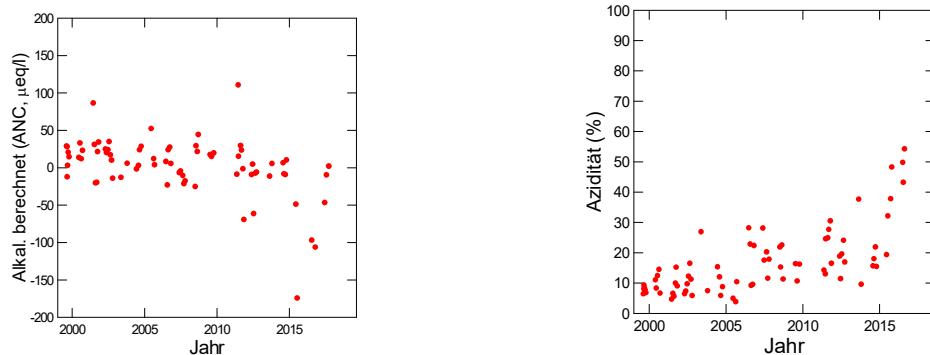


Abb. 189: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Bodentiefe.

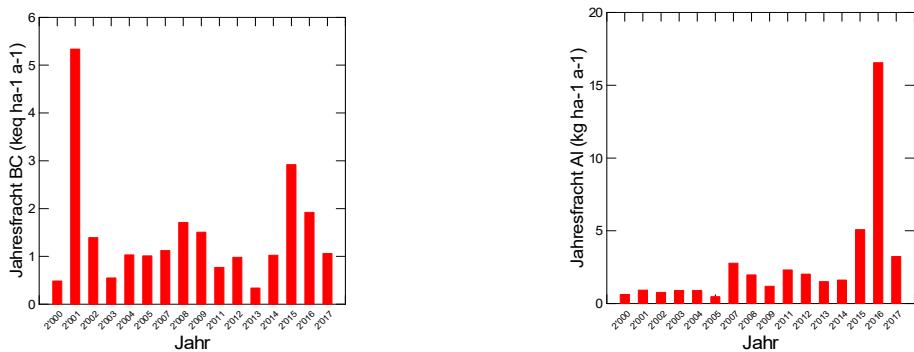


Abb. 190: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Tiefe.

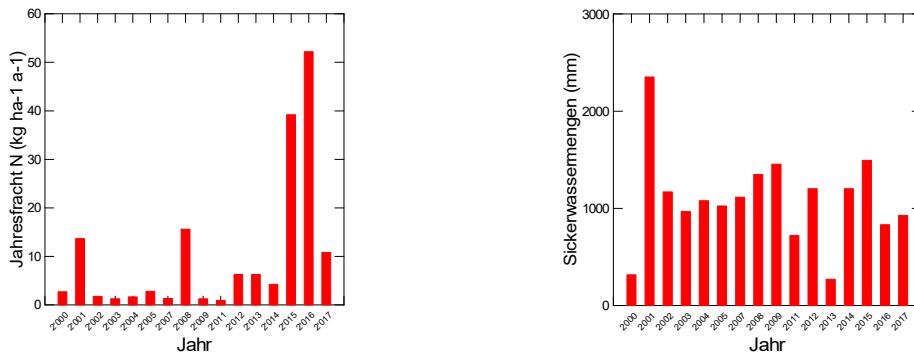


Abb. 191: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Lurengo in 60 cm Tiefe.

Lurengo N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen)

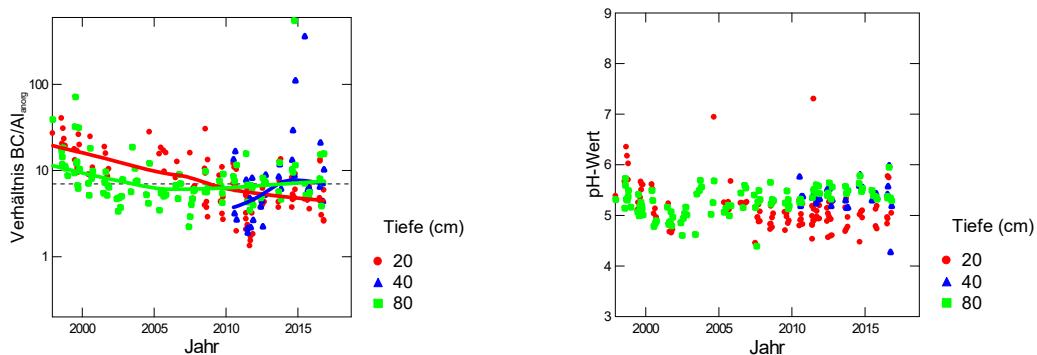


Abb. 192 Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (80 cm Bodentiefe, ungedüngte Kontrollen).

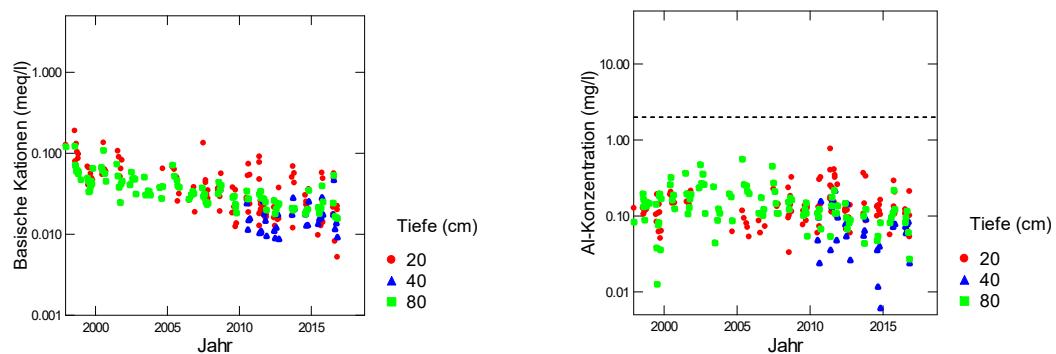


Abb. 193: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (80 cm Bodentiefe, ungedüngte Kontrollen). Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

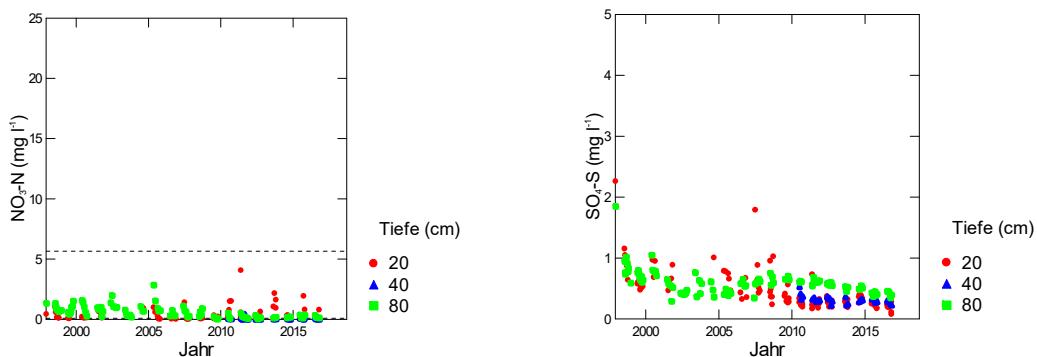


Abb. 194: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen). In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

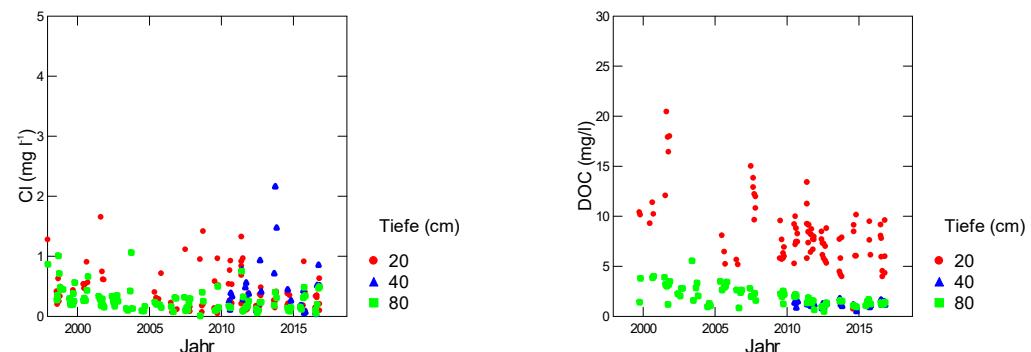


Abb. 195: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen)

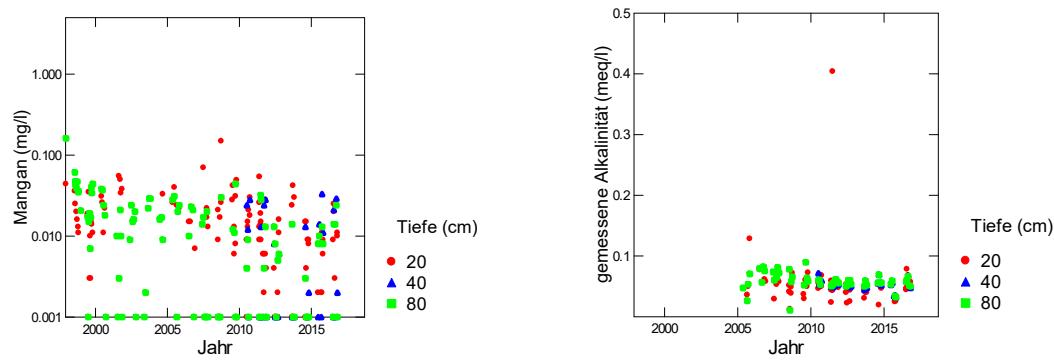


Abb. 196: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen)

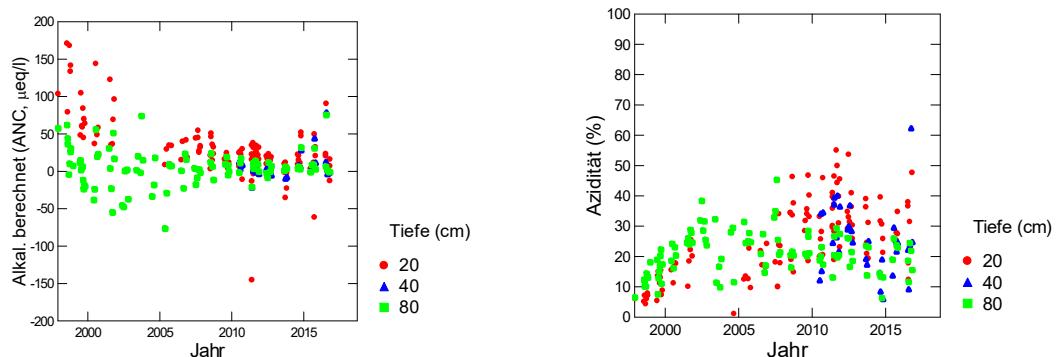


Abb. 197: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen).

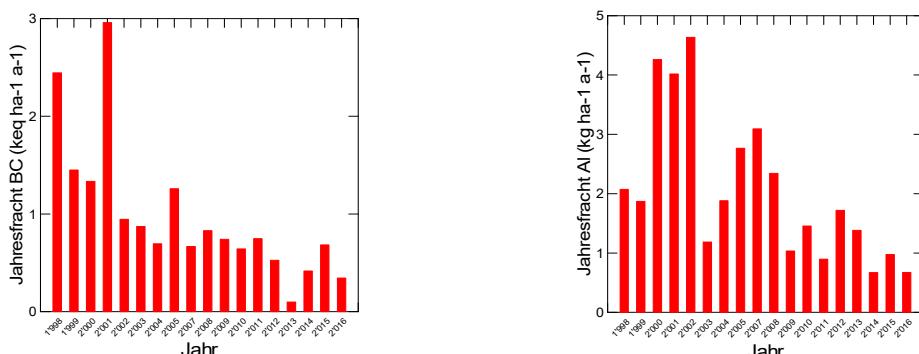


Abb. 198: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen) in 80 cm Tiefe.

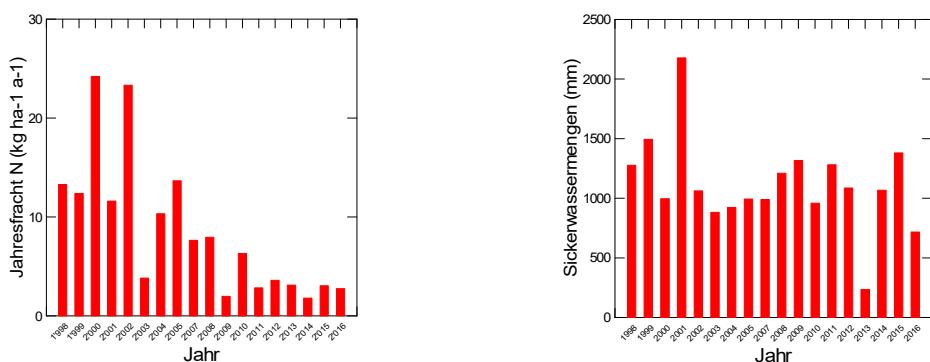


Abb. 199: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo (ungedüngte Kontrollen) in 80 cm Tiefe.

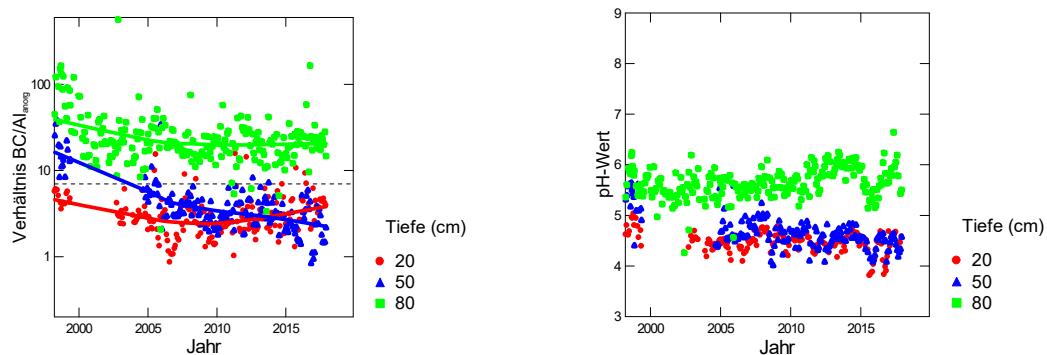
Möhlin

Abb. 200: 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.

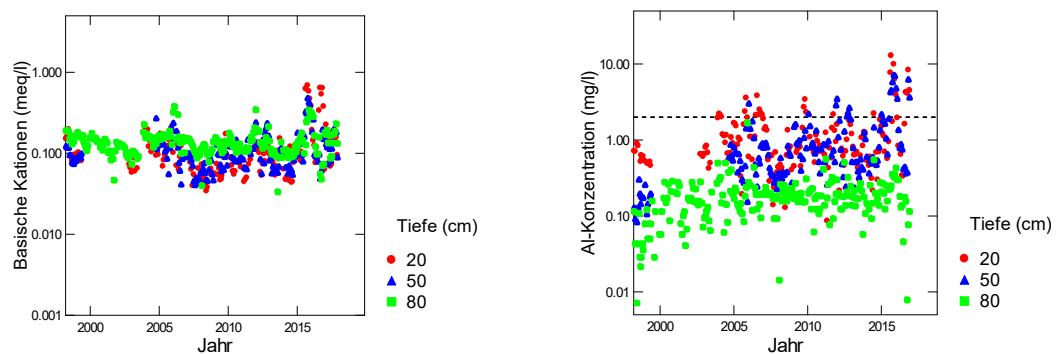


Abb. 201: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

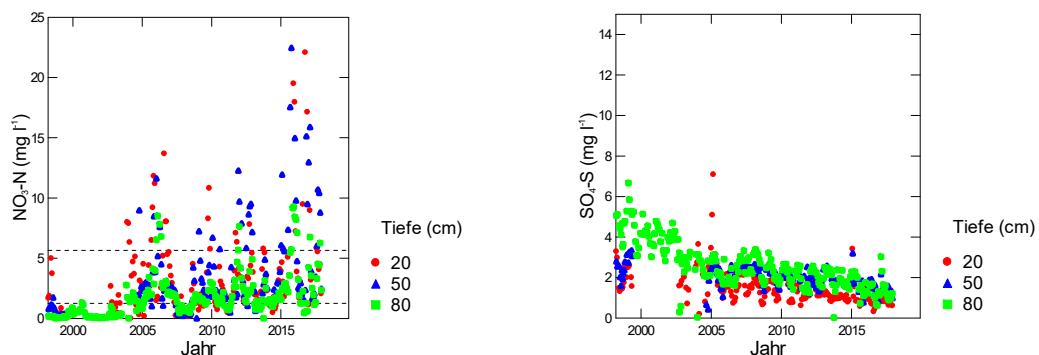


Abb. 202: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

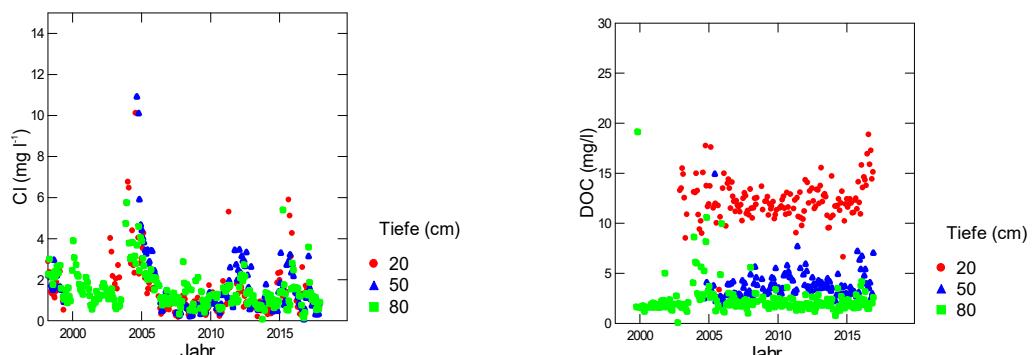


Abb. 203: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin

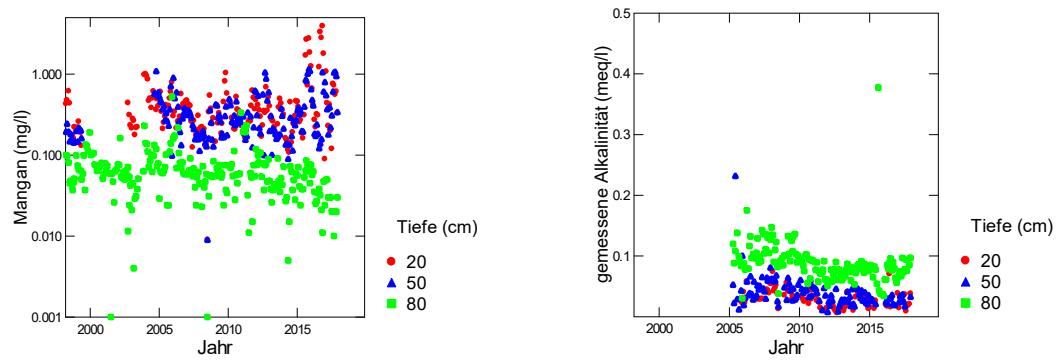


Abb. 204: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin.

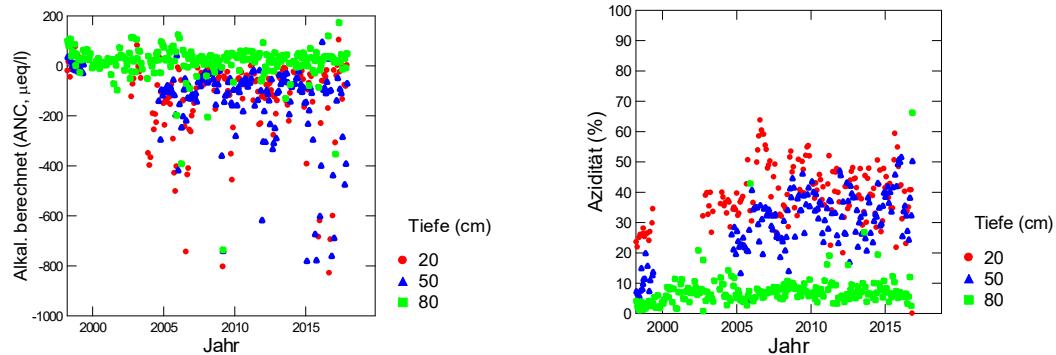


Abb. 205: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin.

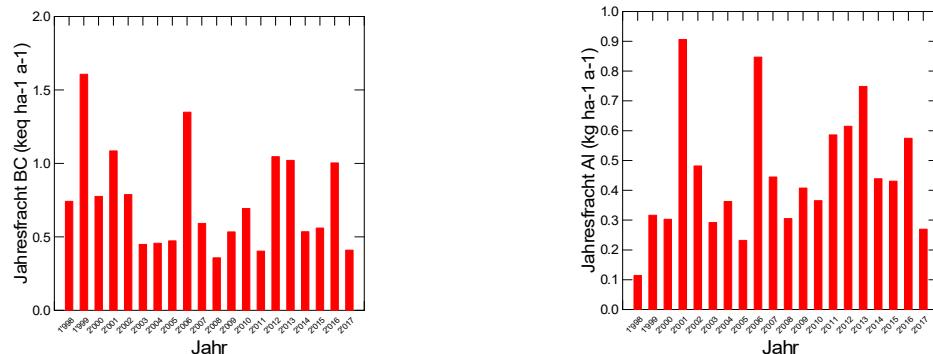


Abb. 206: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin in 80 cm Tiefe.

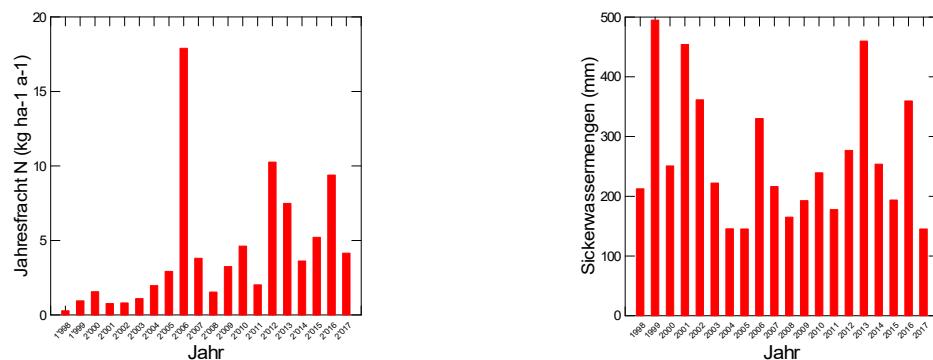


Abb. 207: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Möhlin in 80 cm Tiefe.

Muri (Sturmfläche)

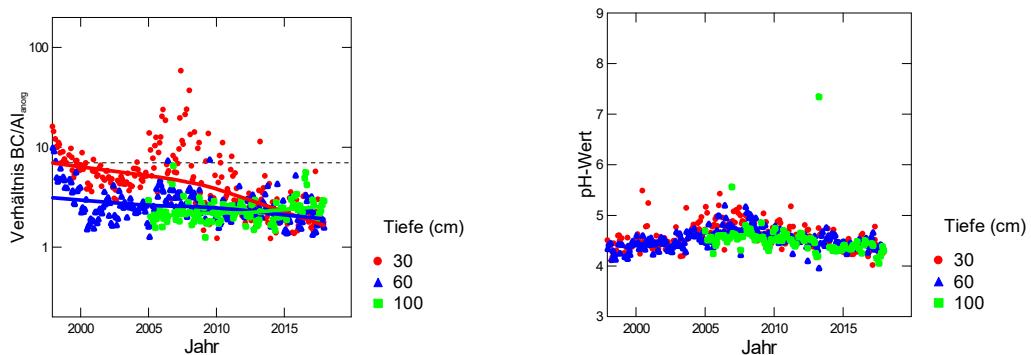


Abb. 208: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

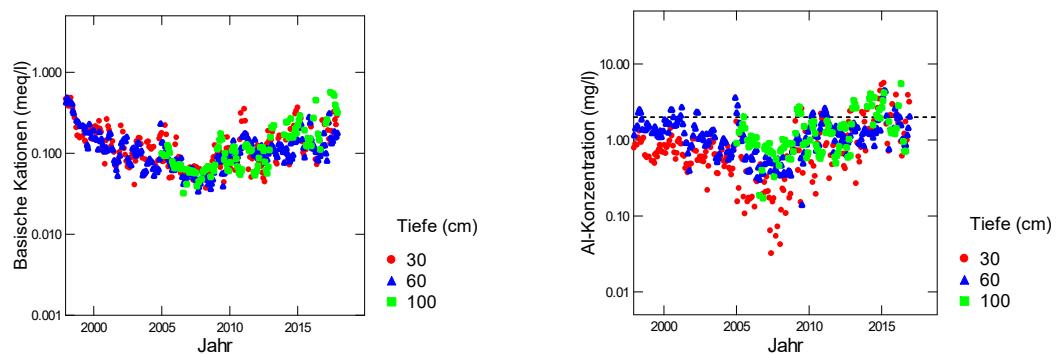


Abb. 209: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

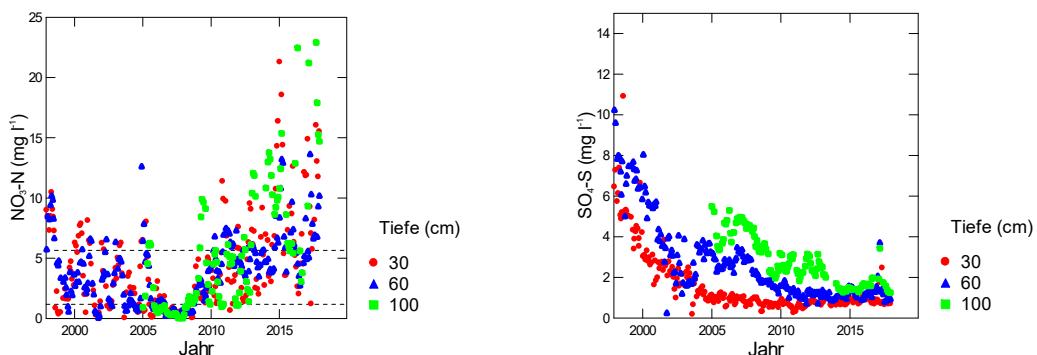


Abb. 210: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

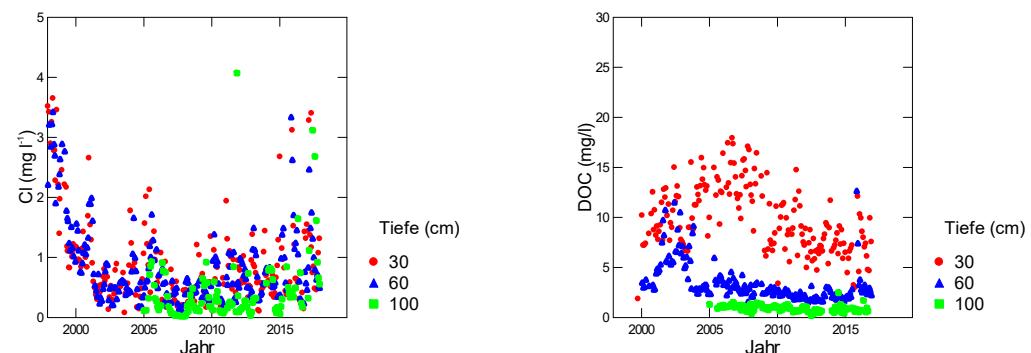


Abb. 211: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

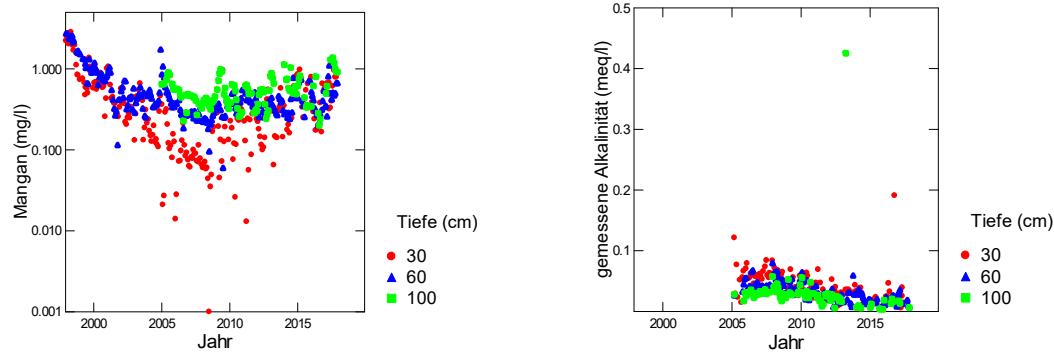


Abb. 212: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri

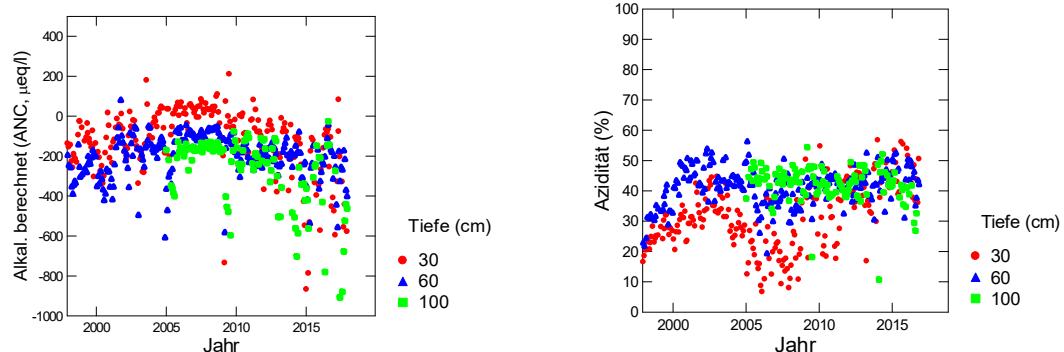


Abb. 213: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

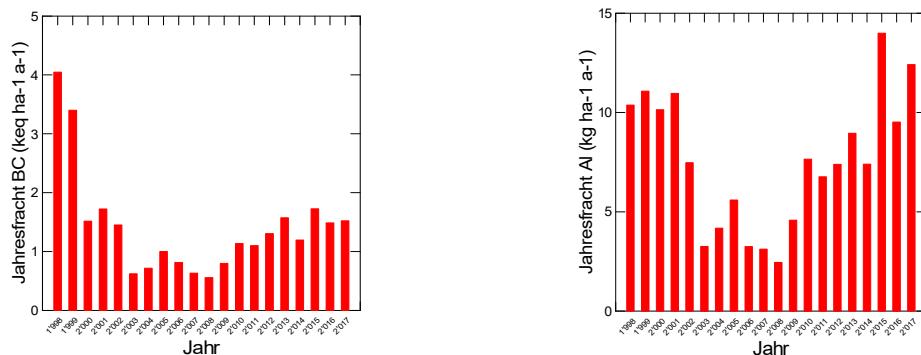


Abb. 214: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 80 cm Tiefe.

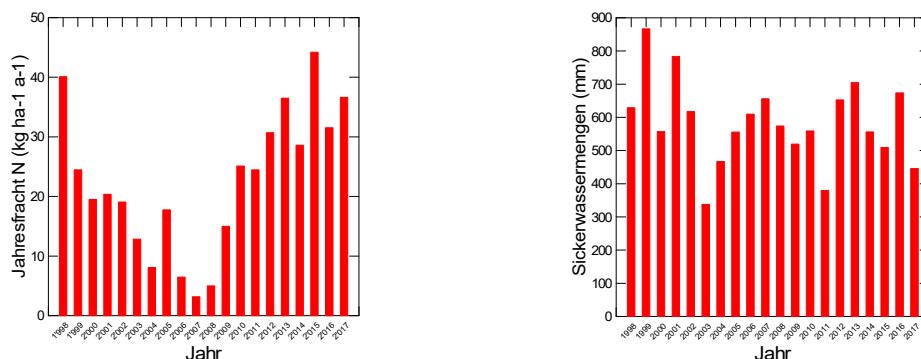


Abb. 215: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der (ehemaligen) Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 80 cm Tiefe.

Muri (neue Fichtenfläche)

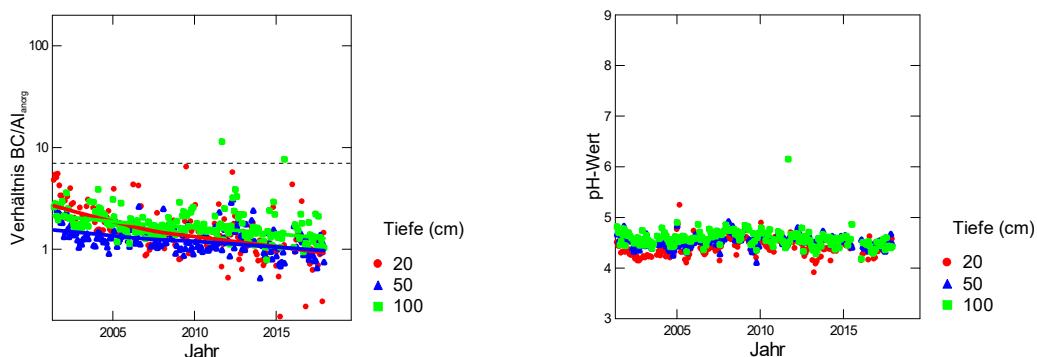


Abb. 216: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

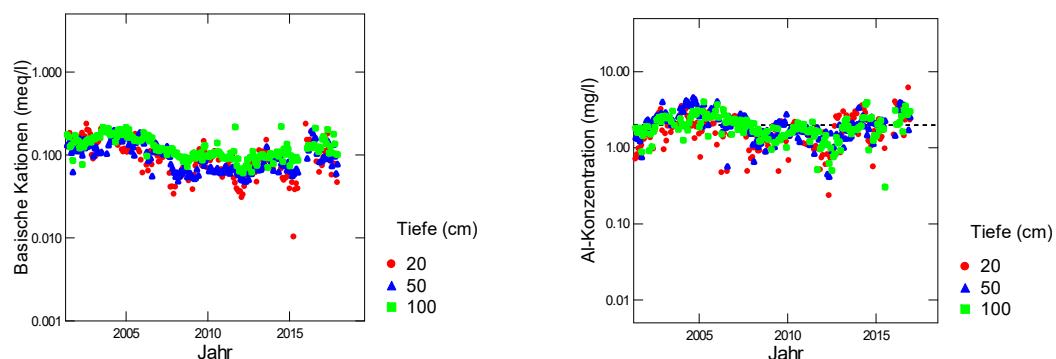


Abb. 217: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

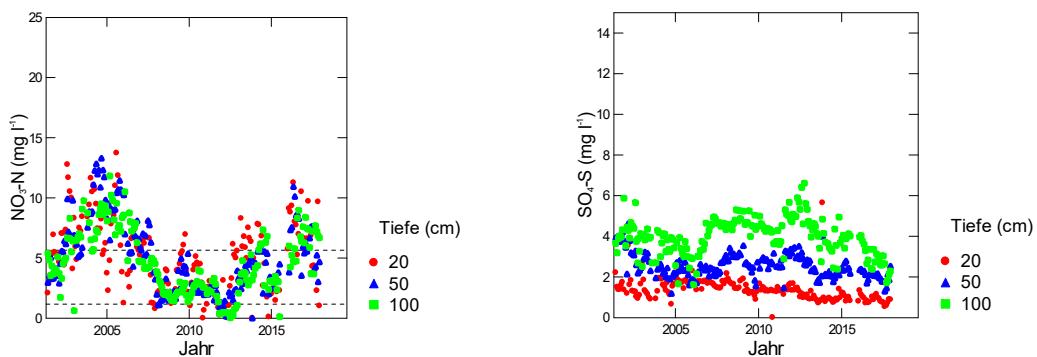


Abb. 218: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

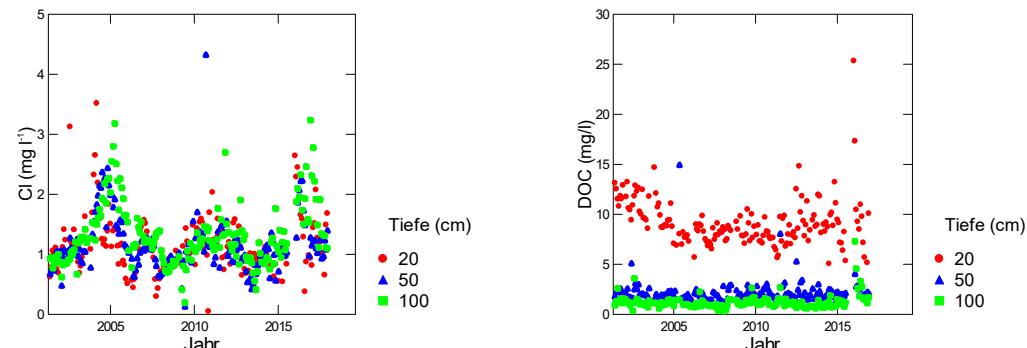


Abb. 219: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri. In der linken Grafik entspricht

die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

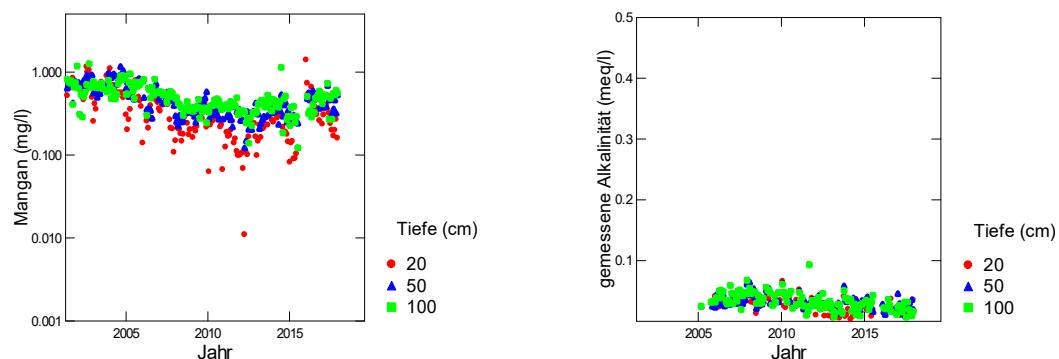


Abb. 220: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri

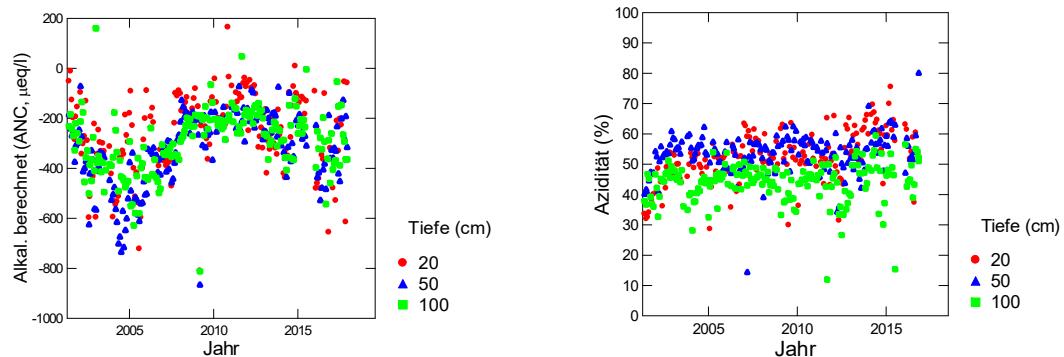


Abb. 221: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri.

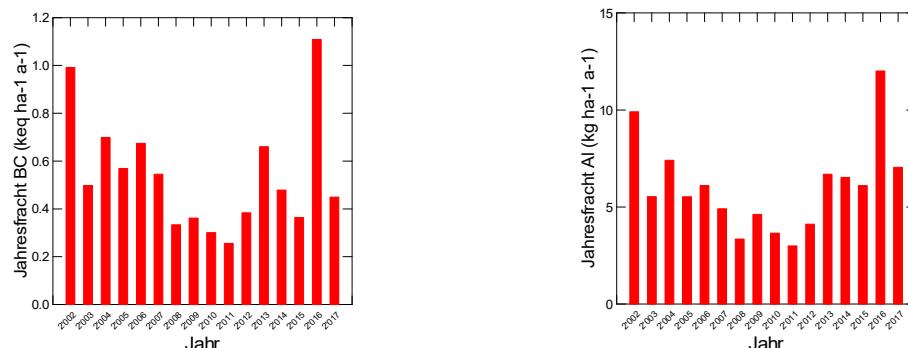


Abb. 222: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

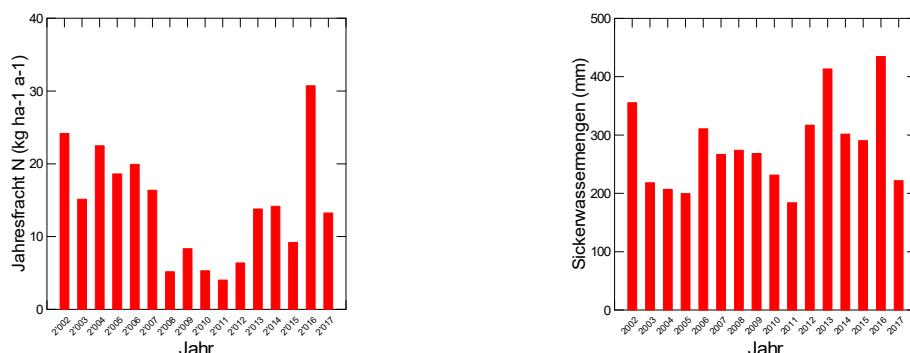


Abb. 223: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

Muri Buchen

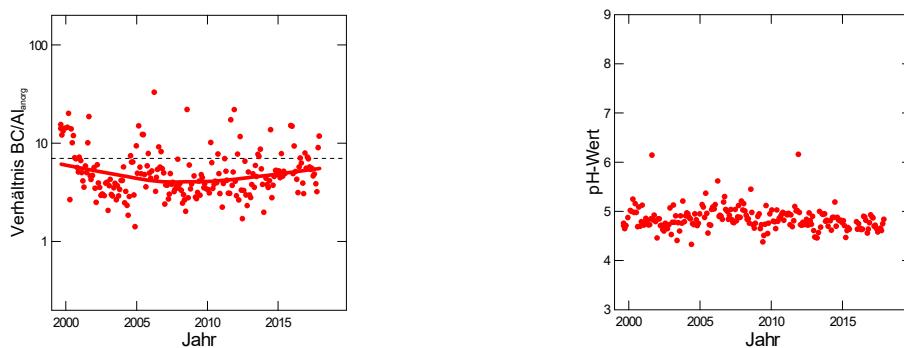


Abb. 224: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe. Die Lysimeter in einer Tiefe von 20 cm wurden 2006 neu installiert.

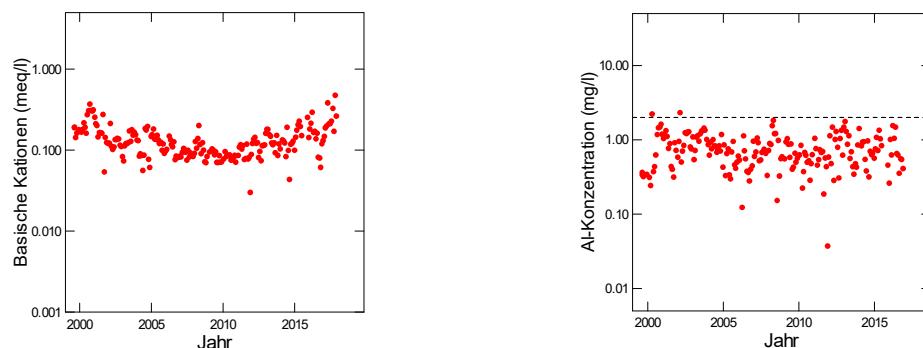


Abb. 225: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

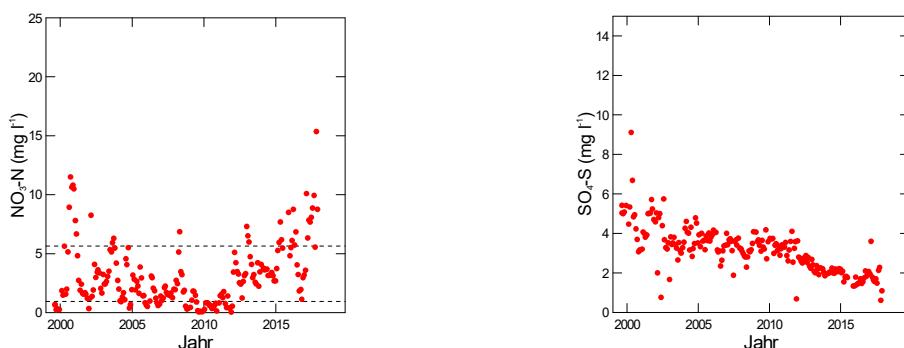


Abb. 226: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

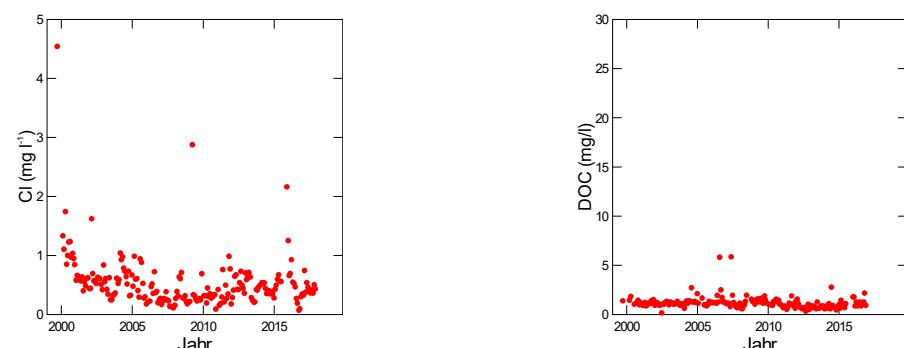


Abb. 227: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe.

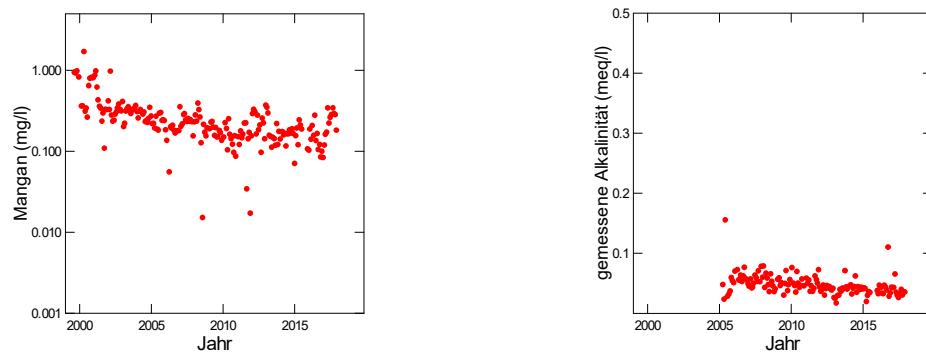


Abb. 228: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe.

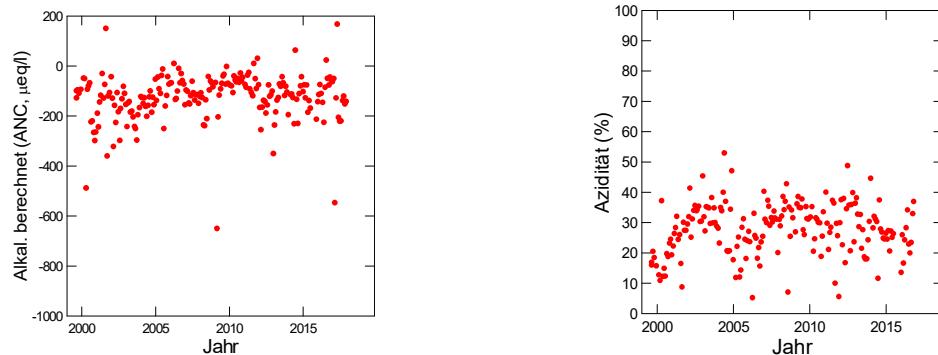


Abb. 229: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Bodentiefe.

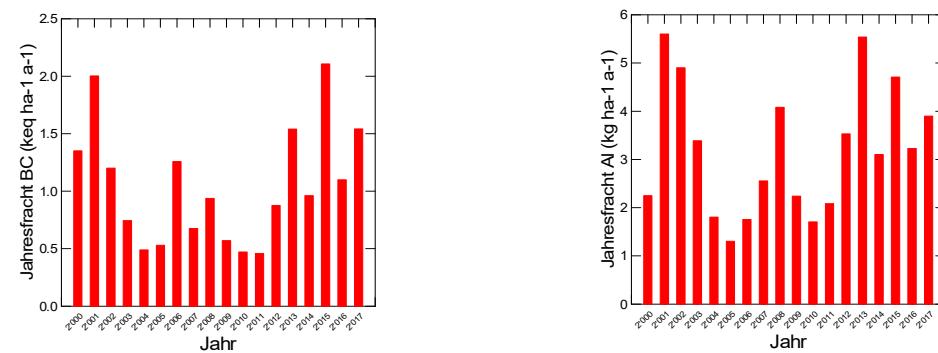


Abb. 230: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

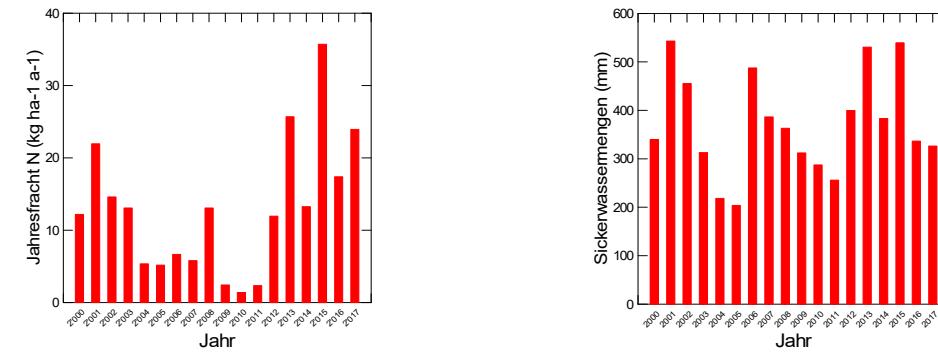


Abb. 231: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muri in 100 cm Tiefe.

Muttenz

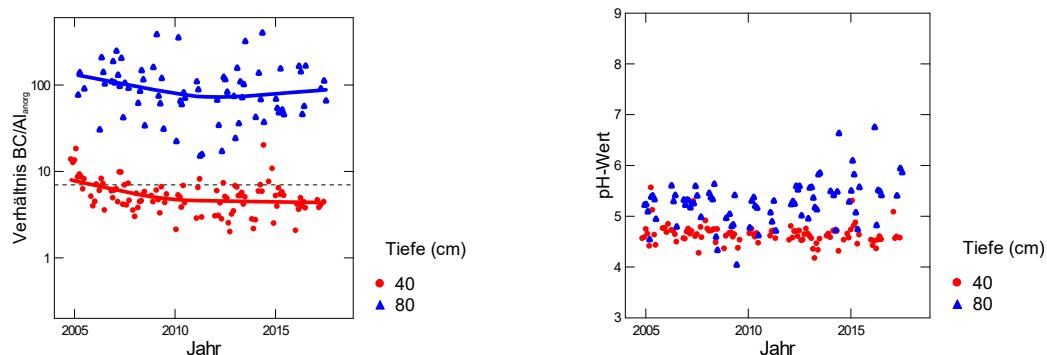


Abb. 232: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz.

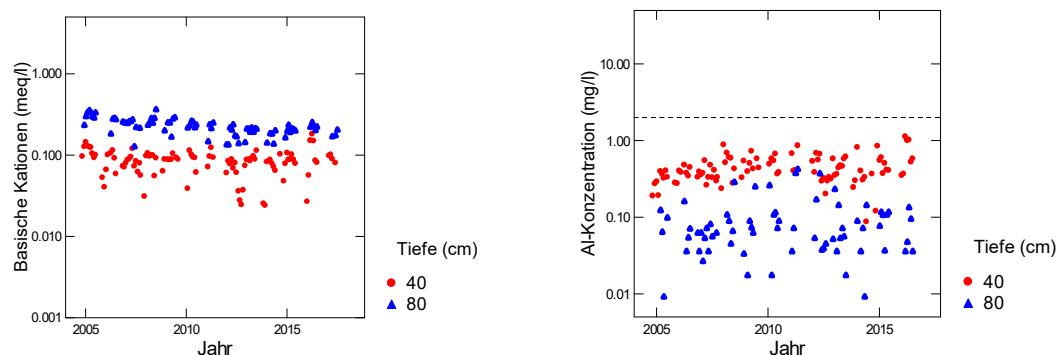


Abb. 233: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Muttenz. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

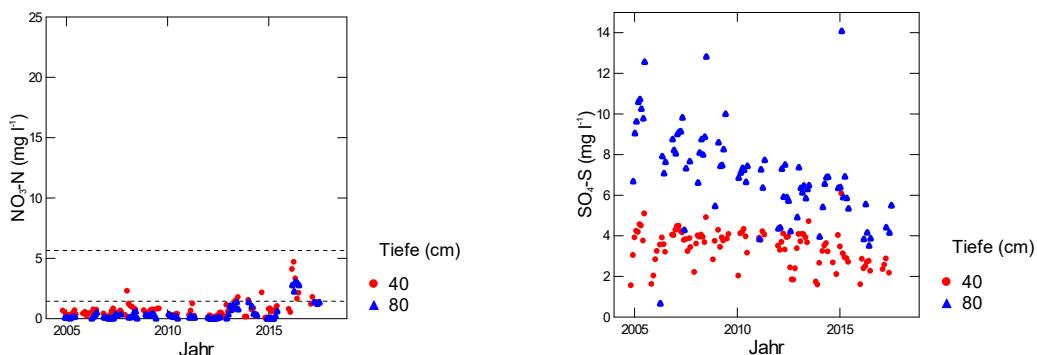


Abb. 234: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

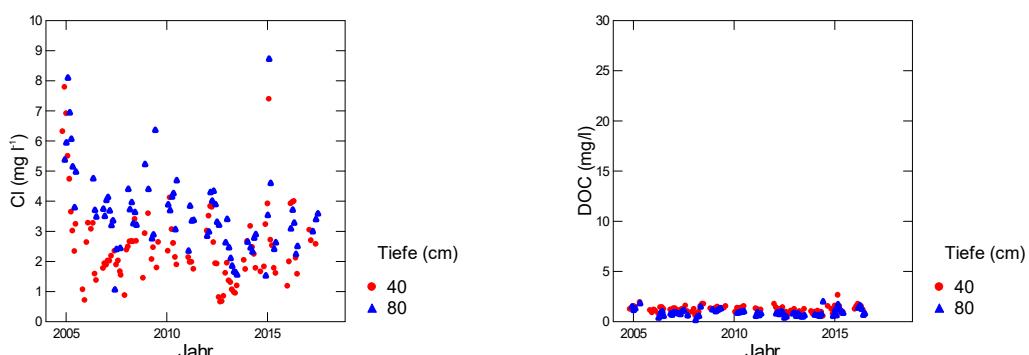


Abb. 235: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz.

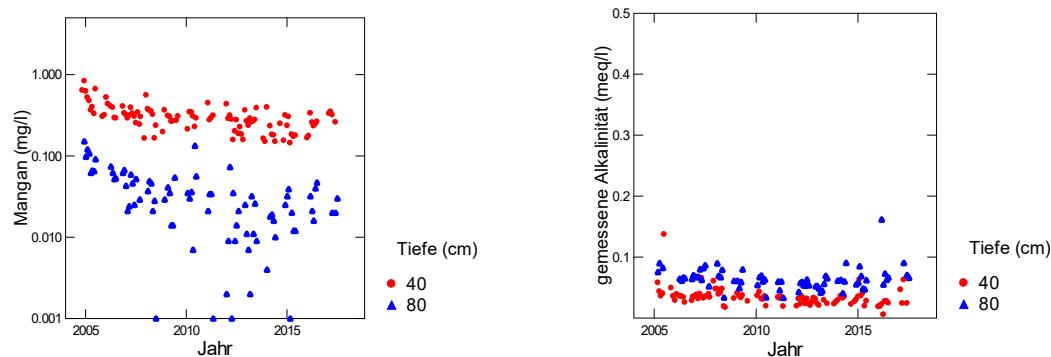


Abb. 236: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz.

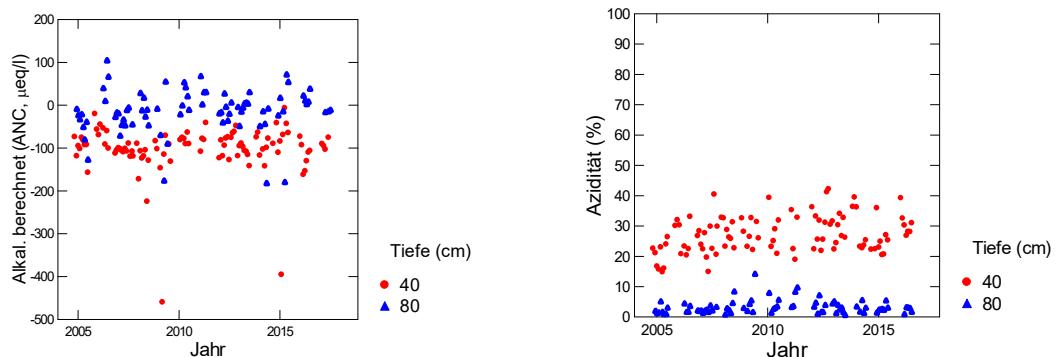


Abb. 237: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz.

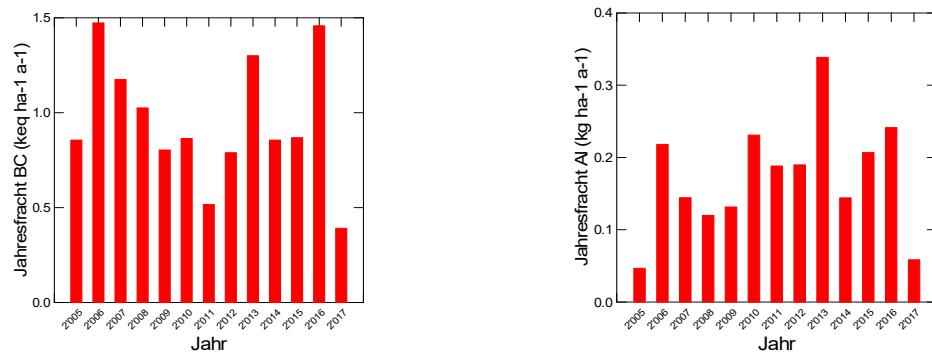


Abb. 238: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz in 80 cm Tiefe.

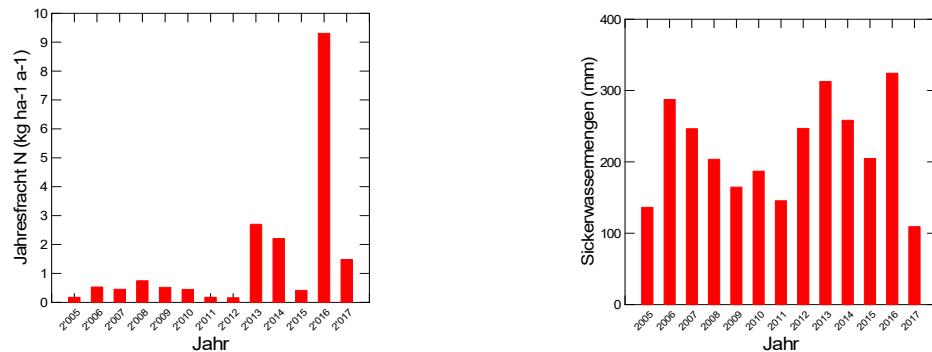


Abb. 239: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Muttenz in 80 cm Tiefe.

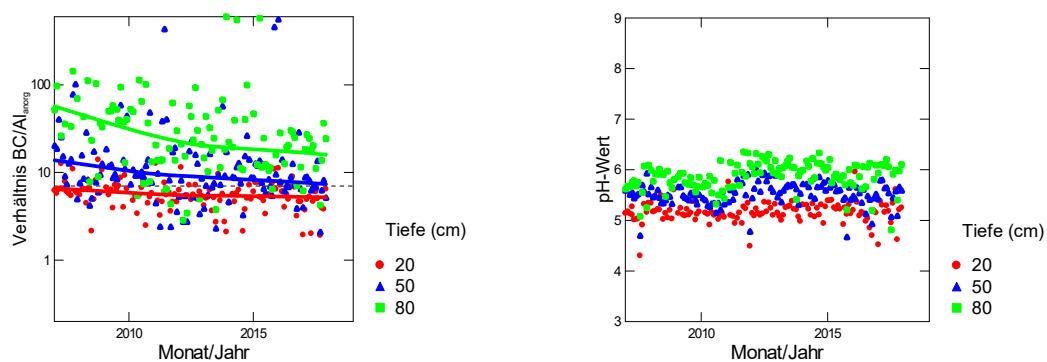
Oberschrot

Abb. 240: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

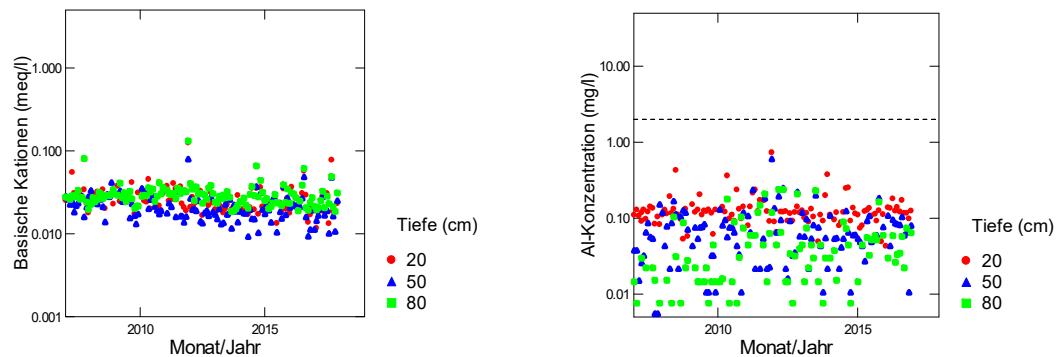


Abb. 241: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

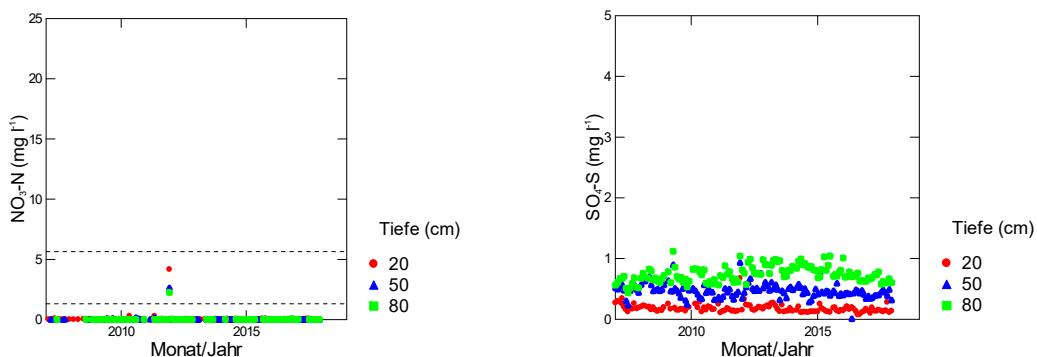


Abb. 242: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

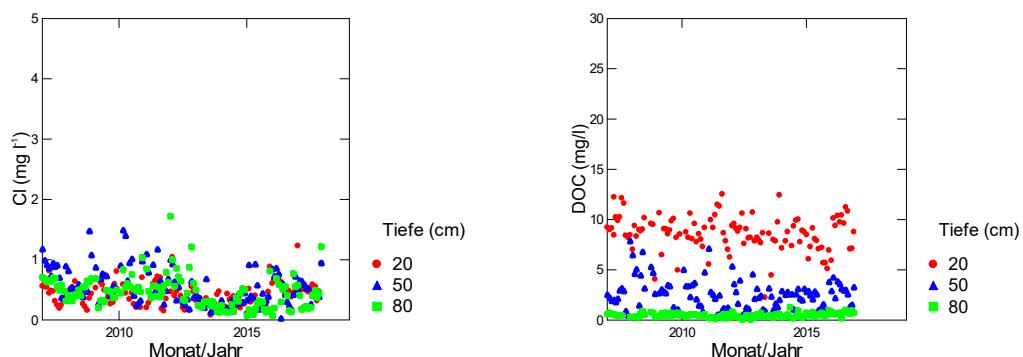


Abb. 243: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

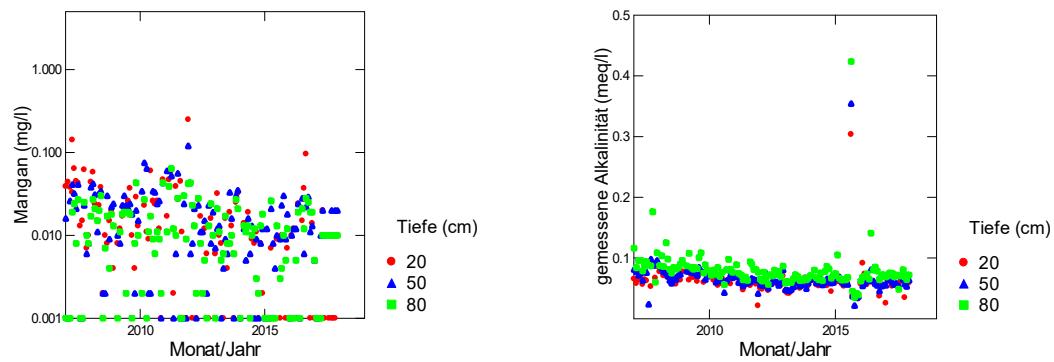


Abb. 244: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

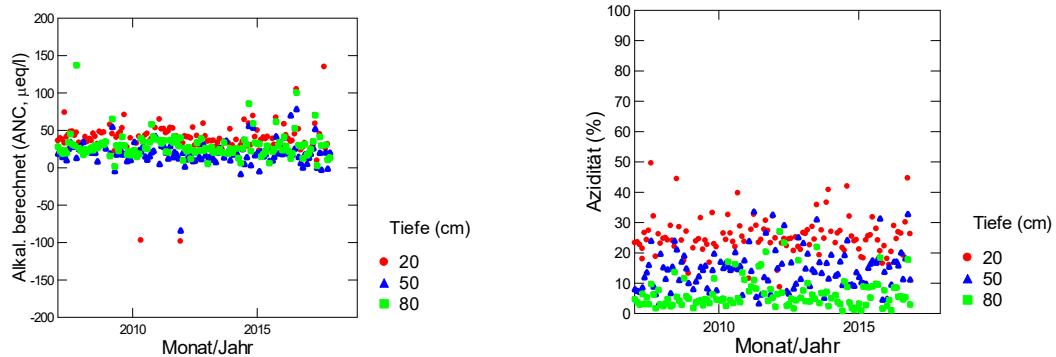


Abb. 245: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot.

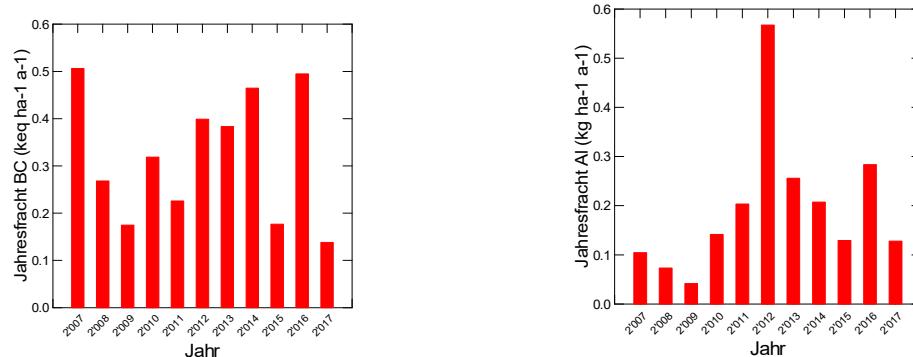


Abb. 246: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot in 80 cm Tiefe.

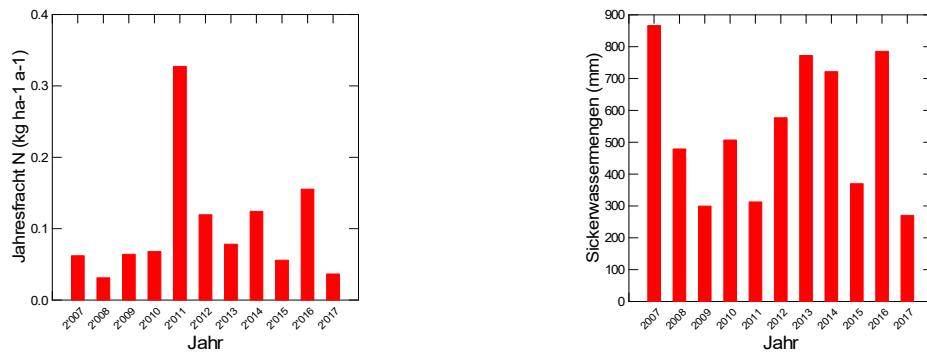


Abb. 247: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Oberschrot in 80 cm Tiefe.

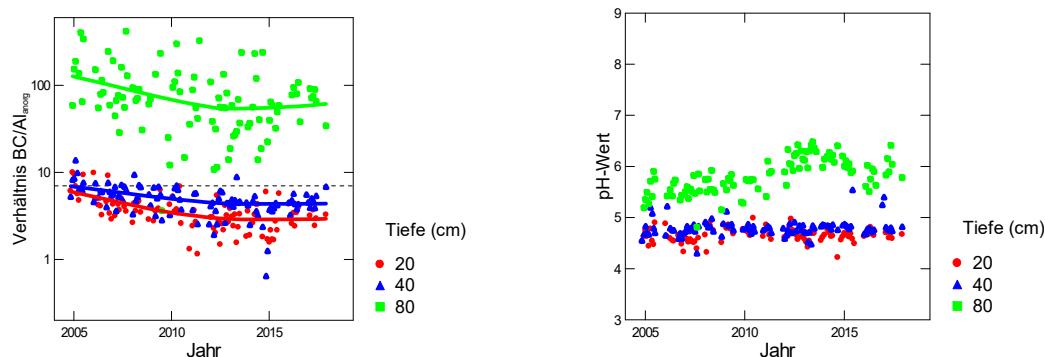
Olsberg

Abb. 248: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

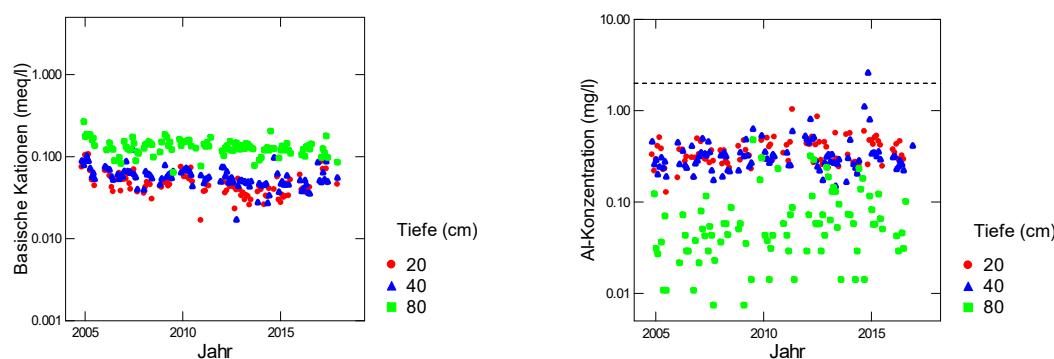


Abb. 249: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Olsberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

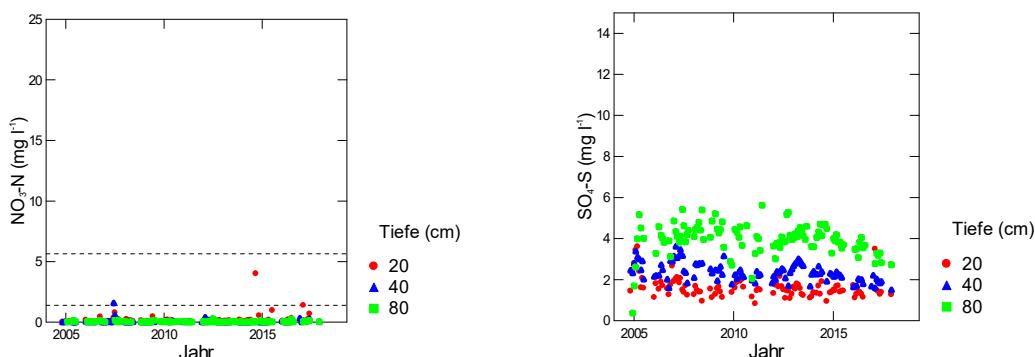


Abb. 250: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

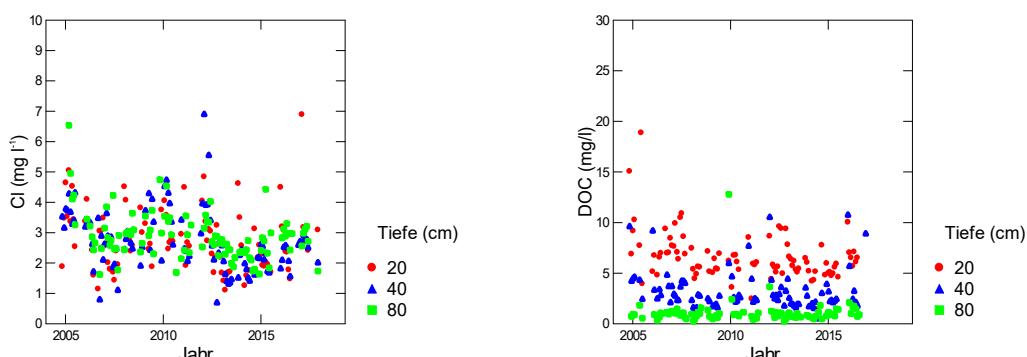


Abb. 251: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

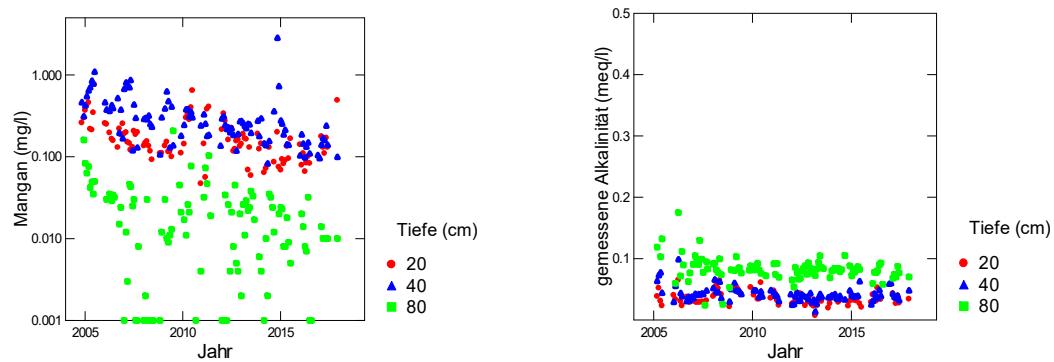


Abb. 252: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

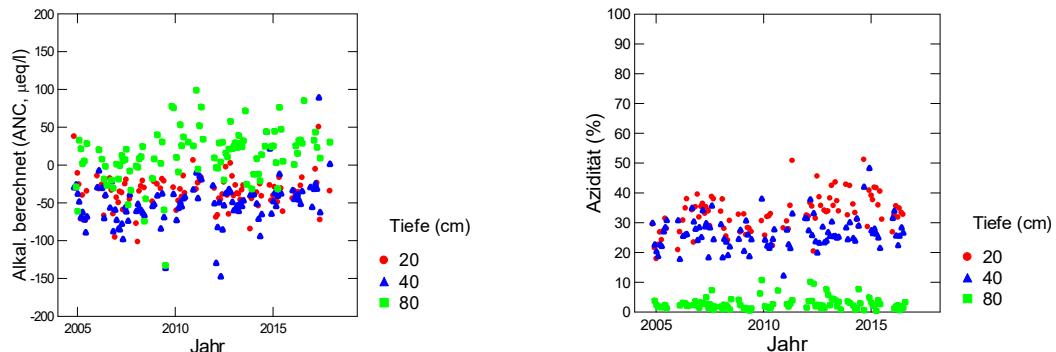


Abb. 253: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg.

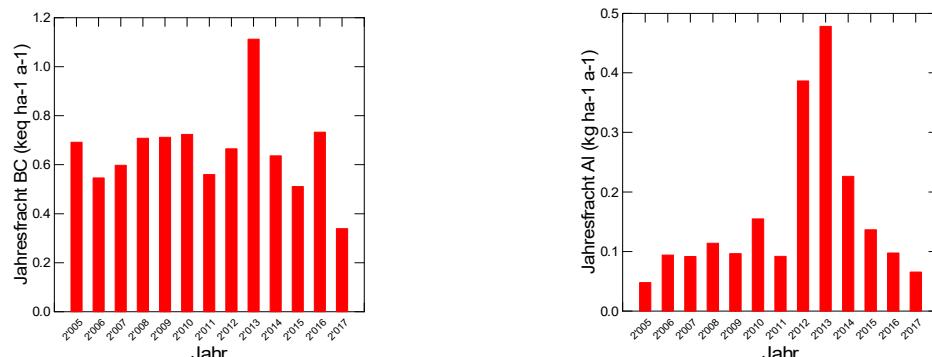


Abb. 254: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg in 80 cm Tiefe.

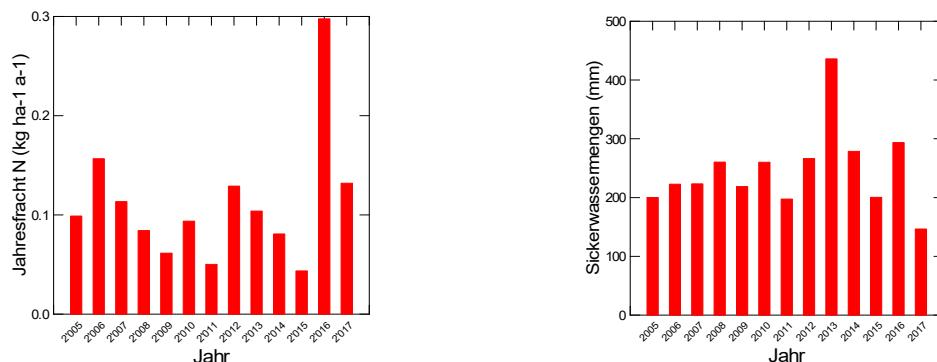


Abb. 255: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Olsberg in 80 cm Tiefe.

Pratteln

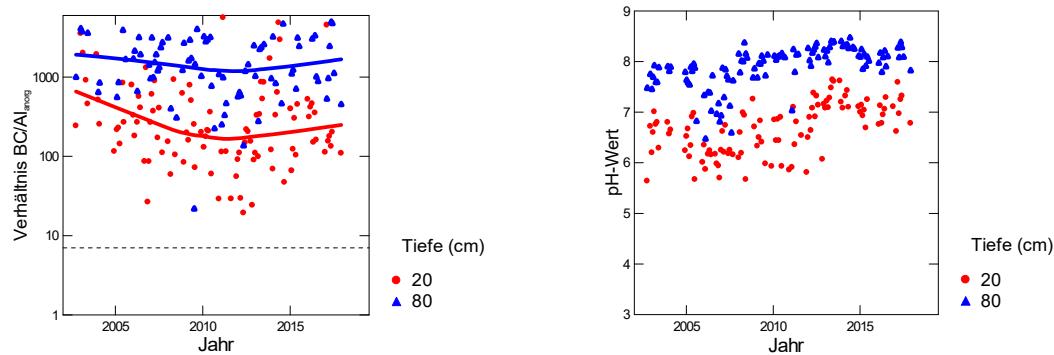


Abb. 256: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln

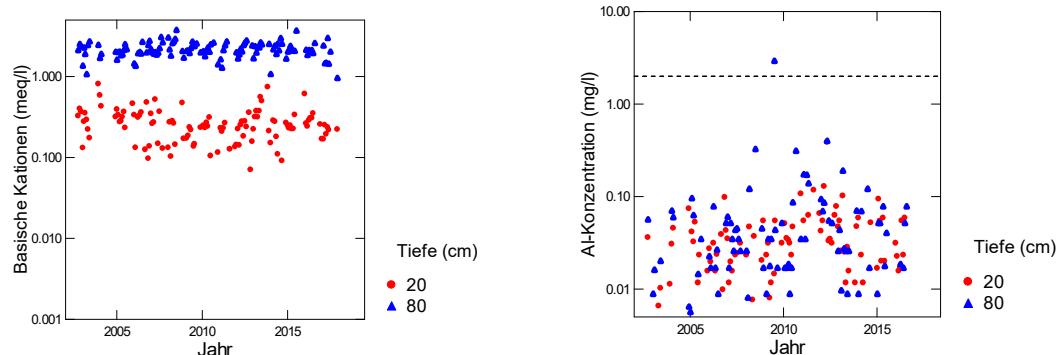


Abb. 257: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Pratteln. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

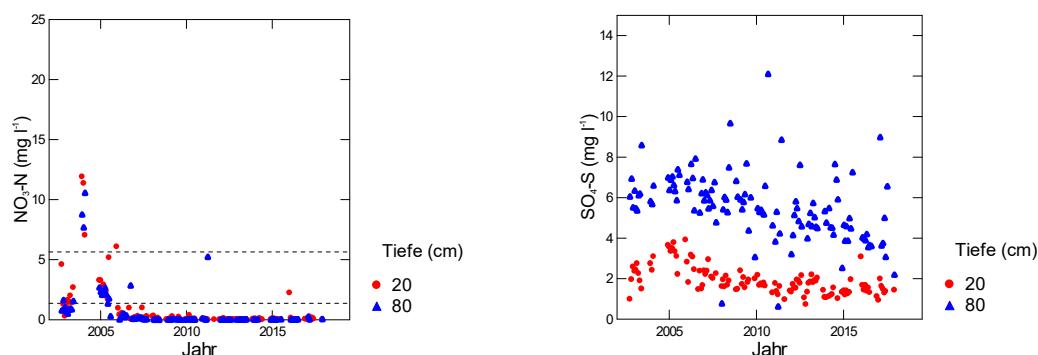


Abb. 258: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

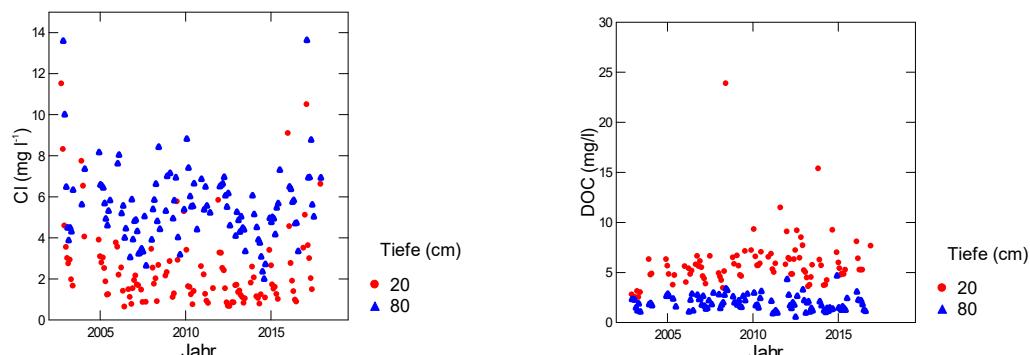


Abb. 259: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln.

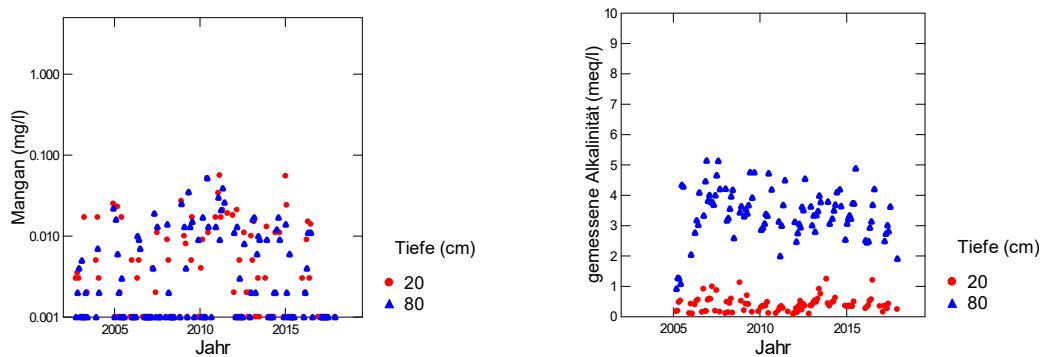


Abb. 260: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln.

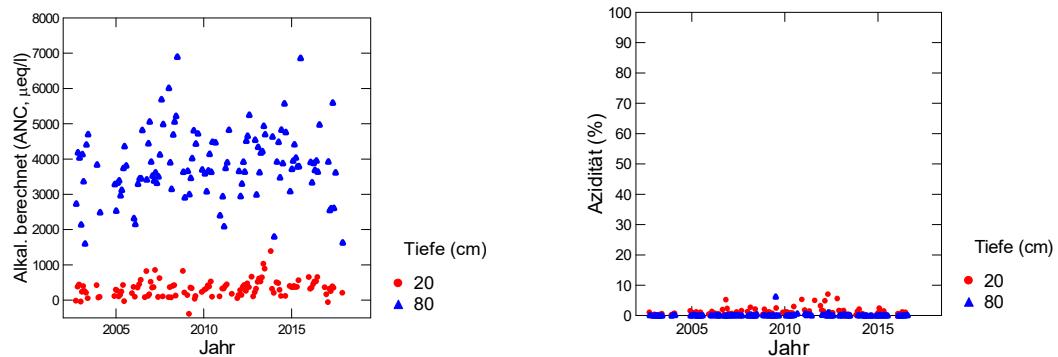


Abb. 261: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln.

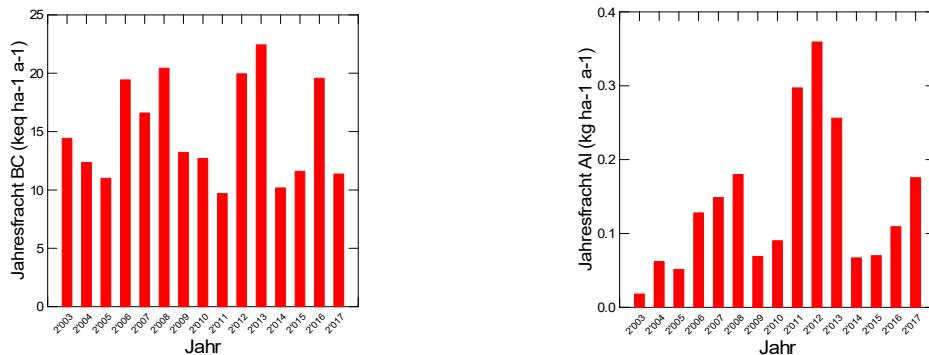


Abb. 262: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln in 80 cm Tiefe.

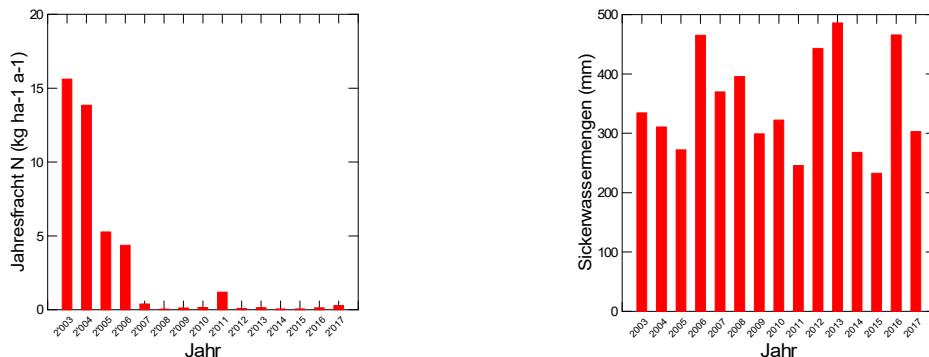


Abb. 263: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Pratteln in 80 cm Tiefe.

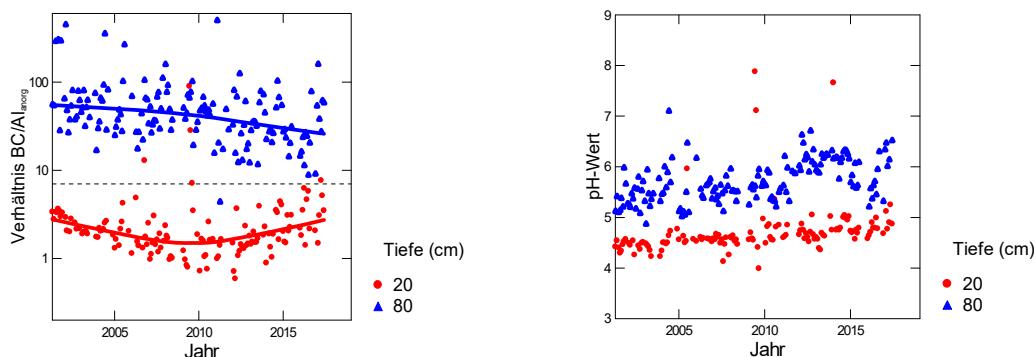
Rafz (neue Fichtenfläche)

Abb. 264: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz.

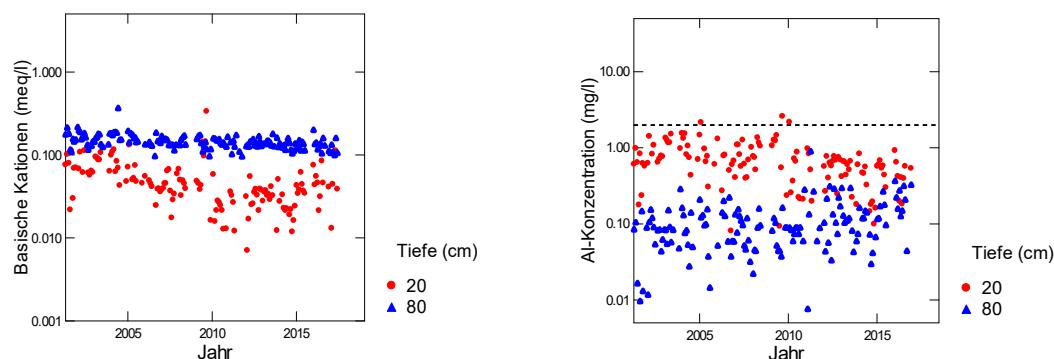


Abb. 265: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

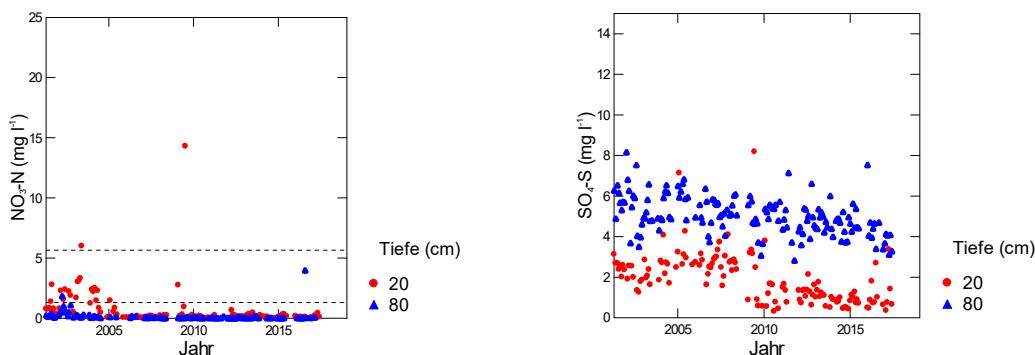


Abb. 266: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

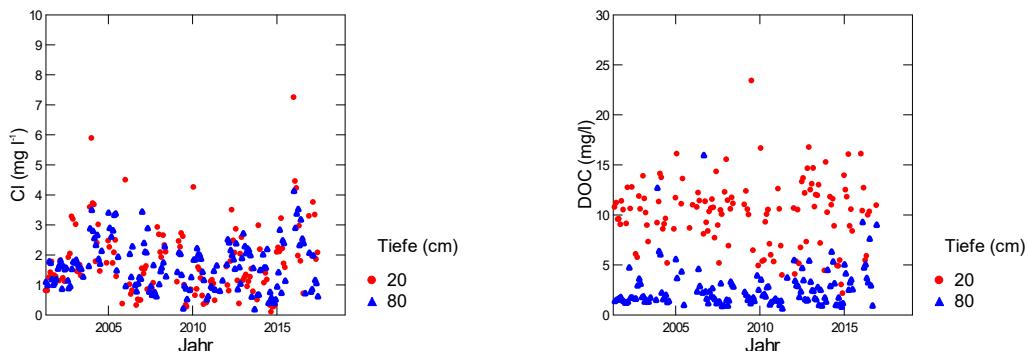


Abb. 267: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz

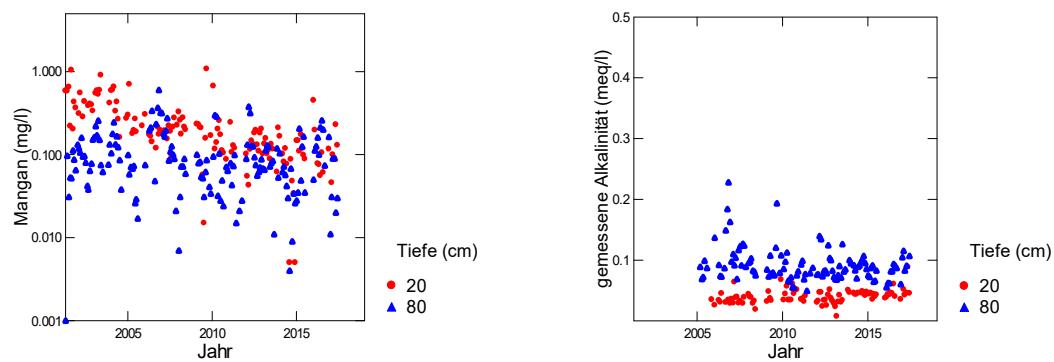


Abb. 268: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der neuen Fichtenbeobachtungsfläche Rafz.

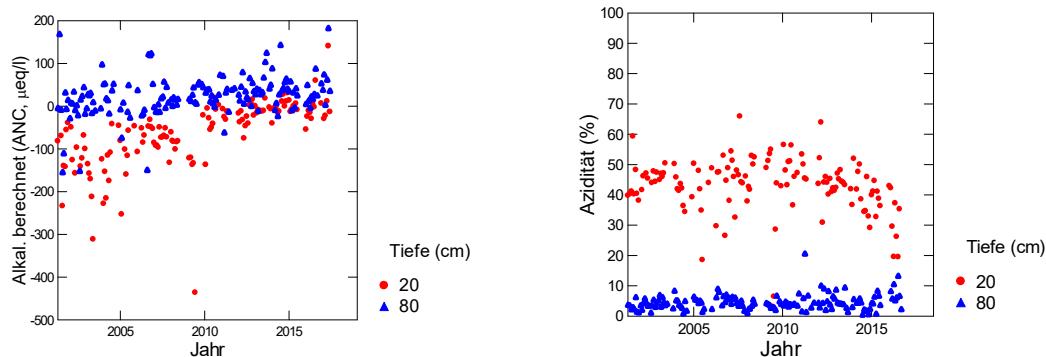


Abb. 269: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Rafz.

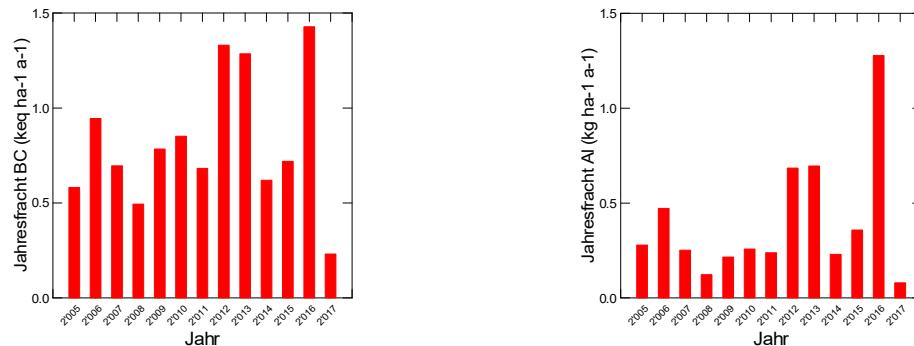


Abb. 270: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Rafz in 80 cm Tiefe.

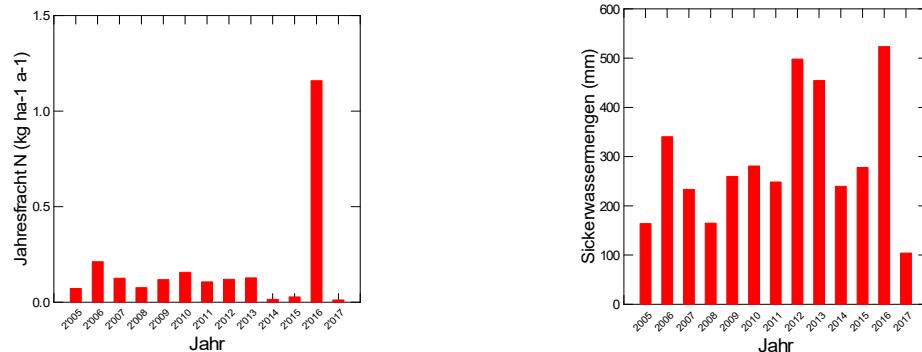


Abb. 271: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Rafz in 80 cm Tiefe.

Riehen Mittelberg

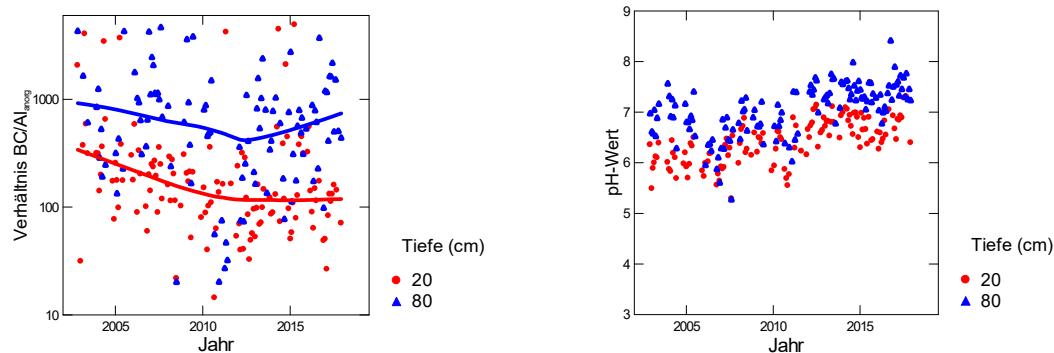


Abb. 272: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

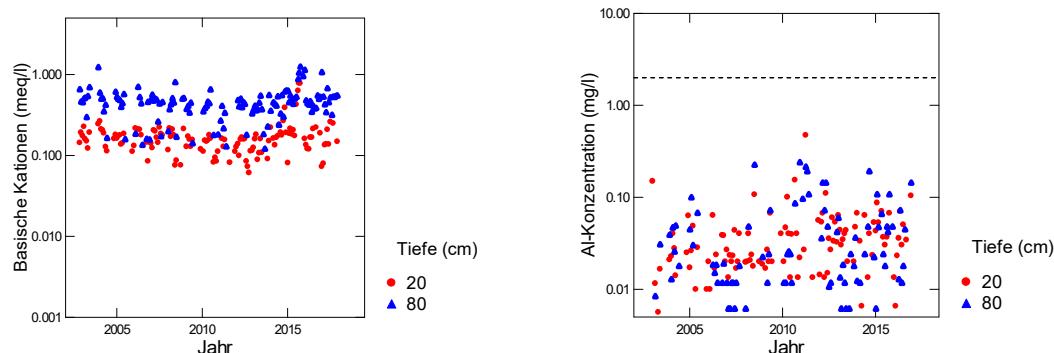


Abb. 273: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

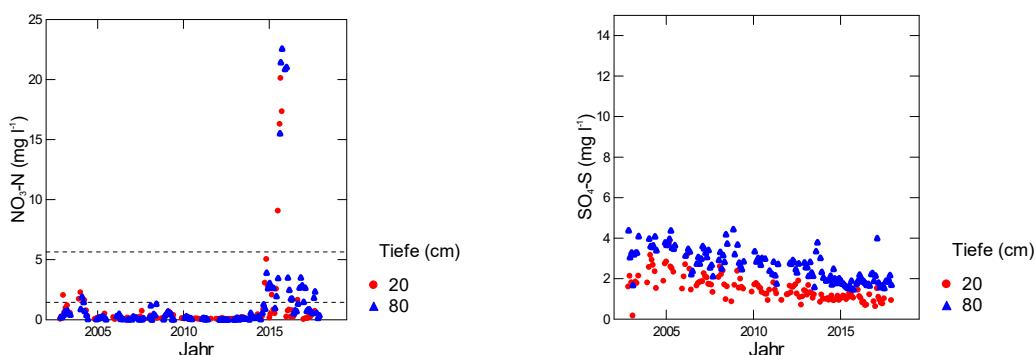


Abb. 274: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

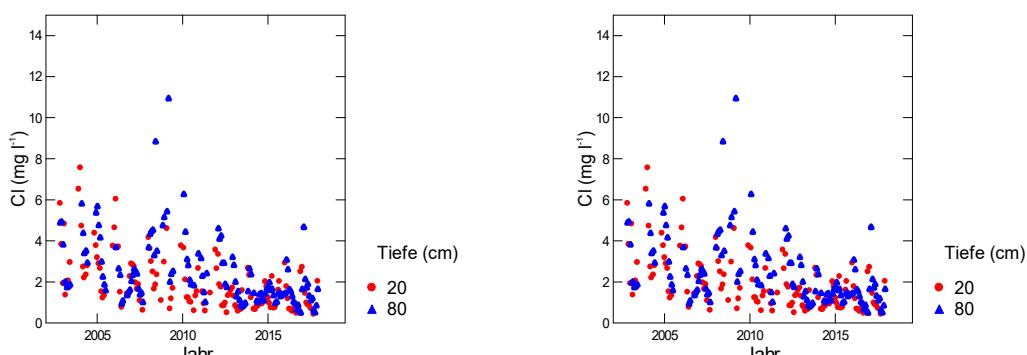


Abb. 275: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

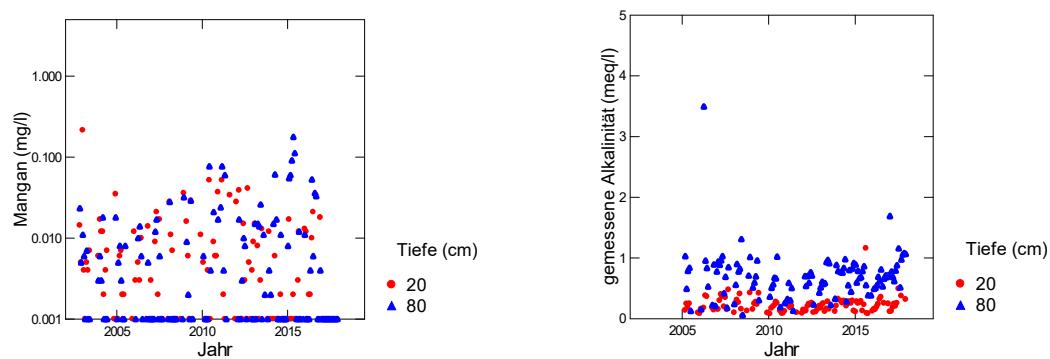


Abb. 276: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

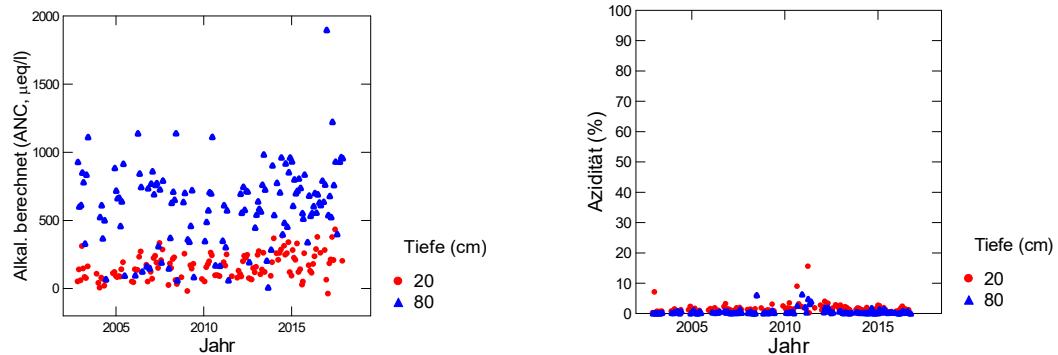


Abb. 277: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg.

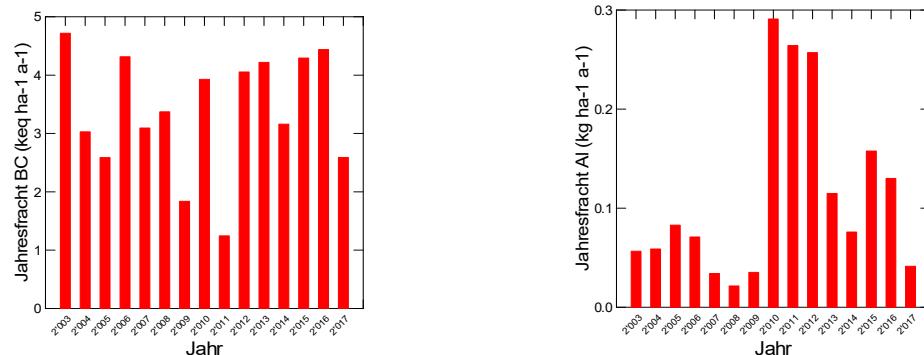


Abb. 278: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg in 80 cm Tiefe.

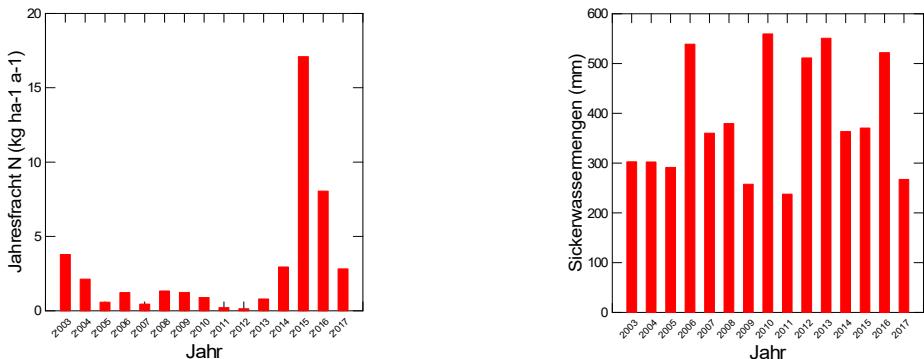


Abb. 279: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Riehen Mittelberg in 80 cm Tiefe.

Rünenberg

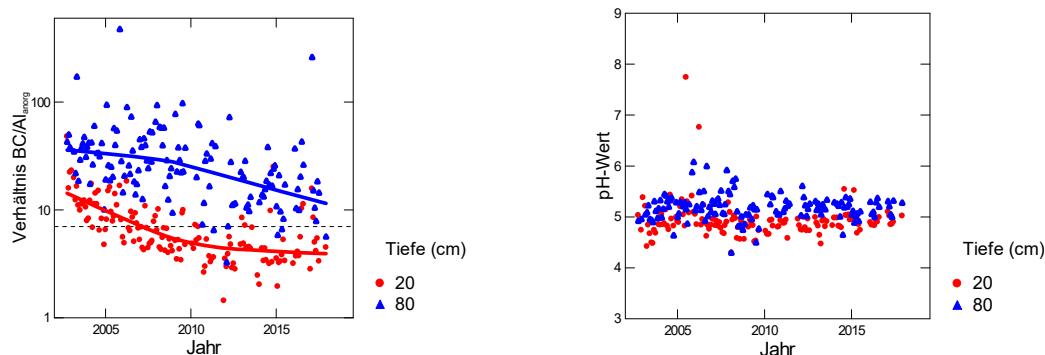


Abb. 280: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

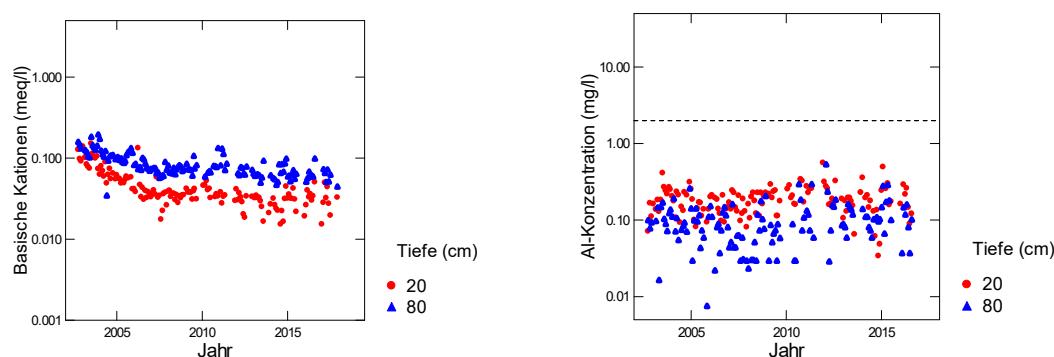


Abb. 281: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

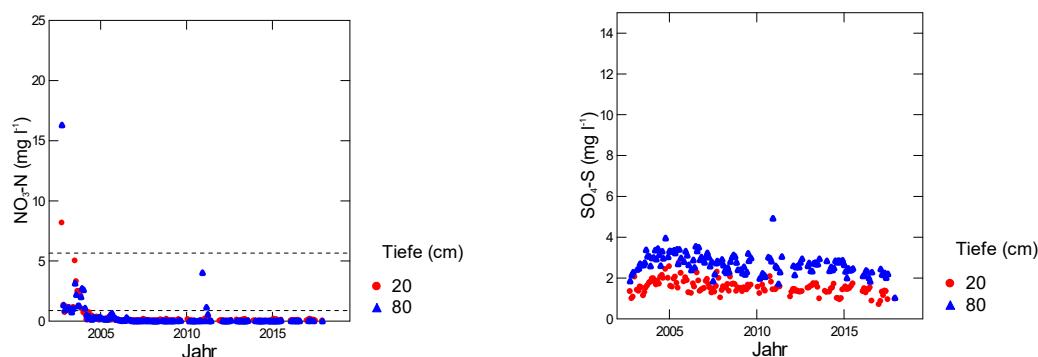


Abb. 282: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

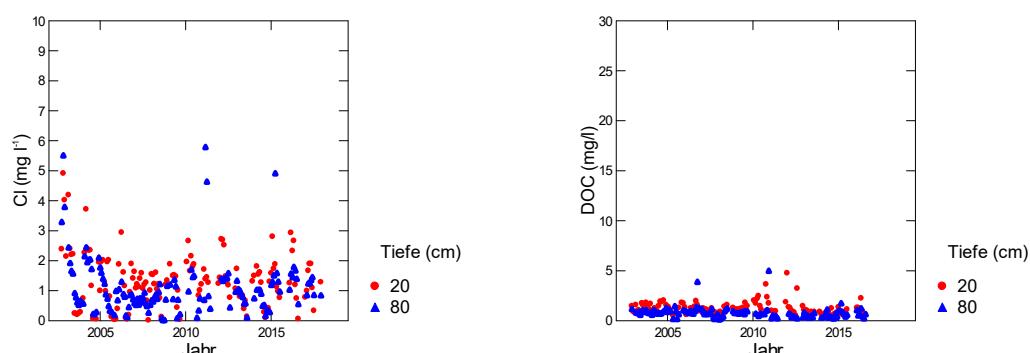


Abb. 283: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

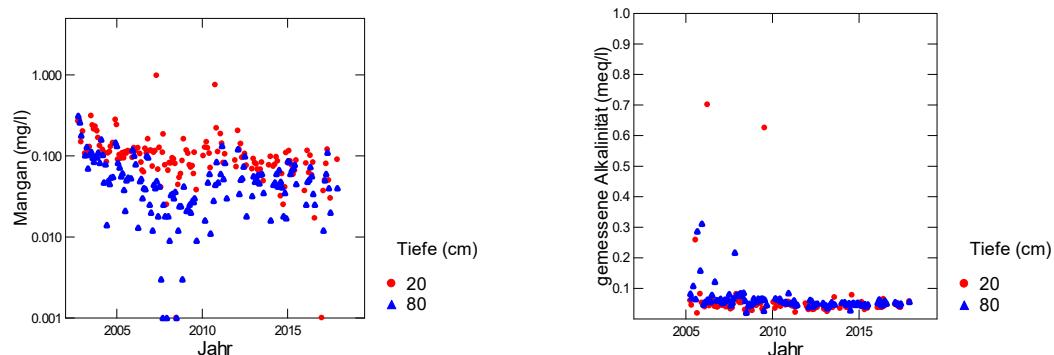


Abb. 284: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

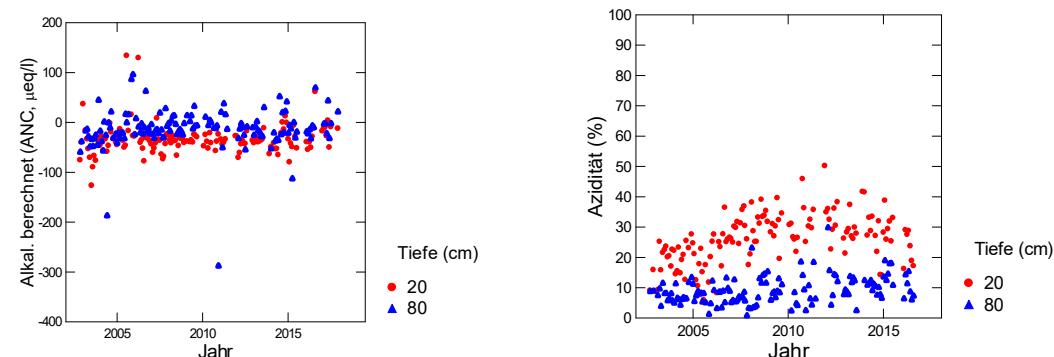


Abb. 285: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg.

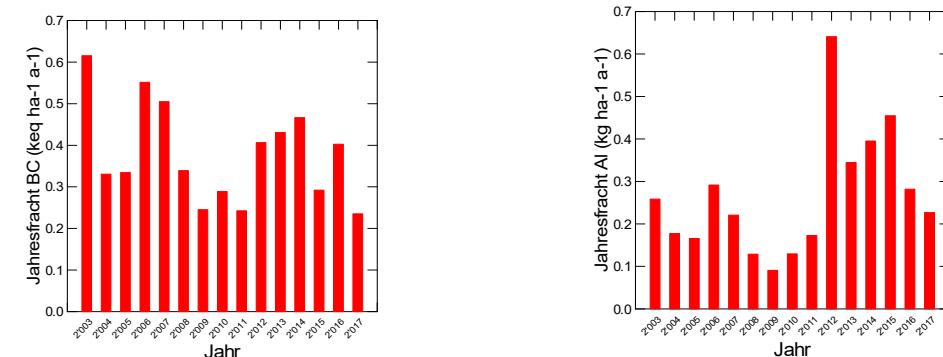


Abb. 286: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg in 80 cm Tiefe.

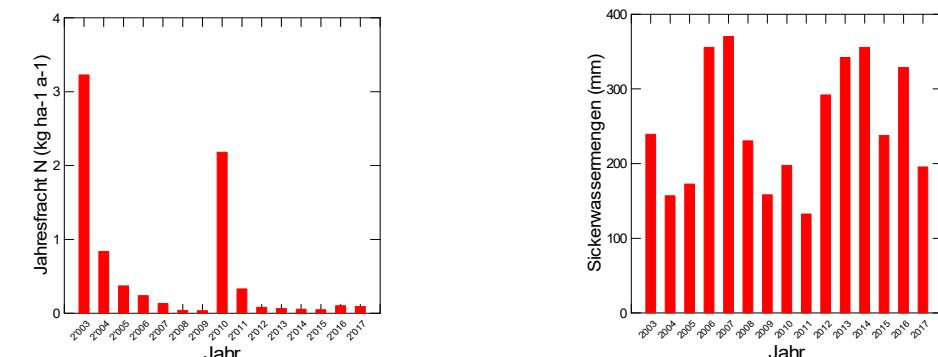


Abb. 287: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Rünenberg in 80 cm Tiefe.

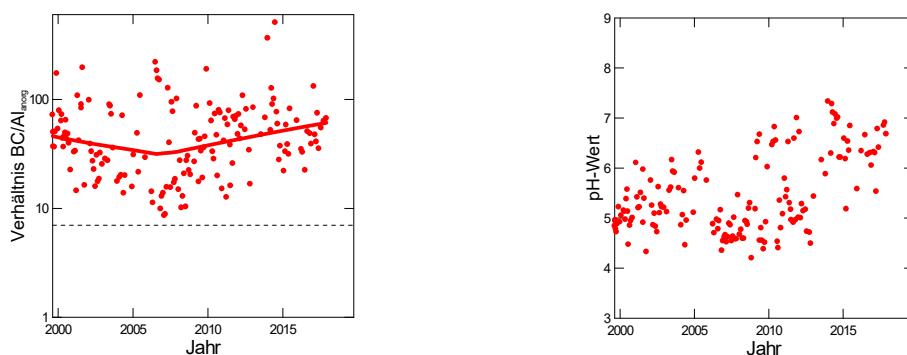
Sagno Fichten

Abb. 288: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

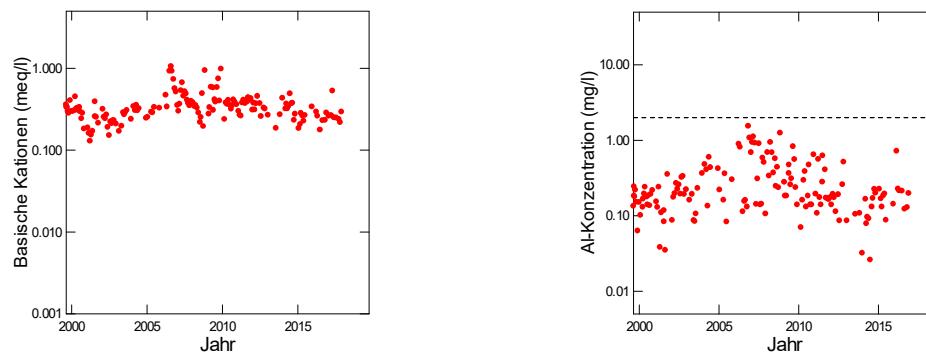


Abb. 289: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

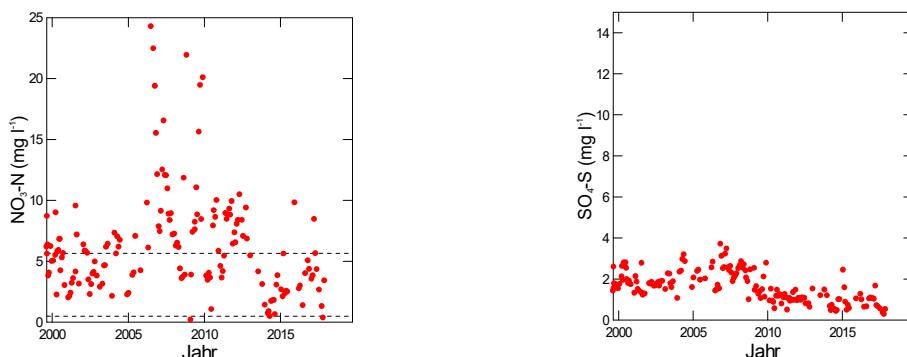


Abb. 290: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

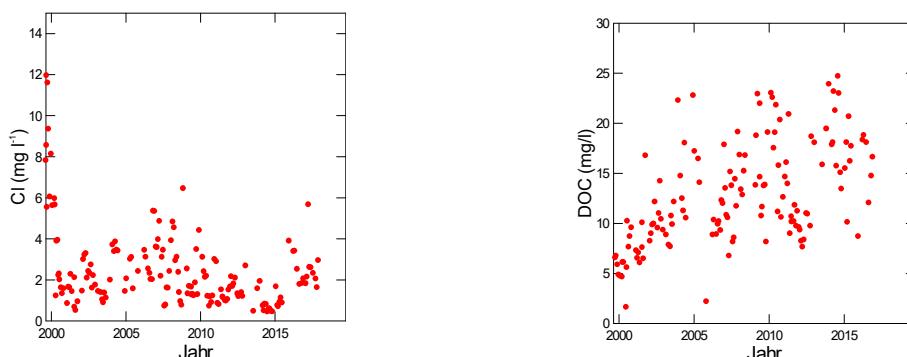


Abb. 291 Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe

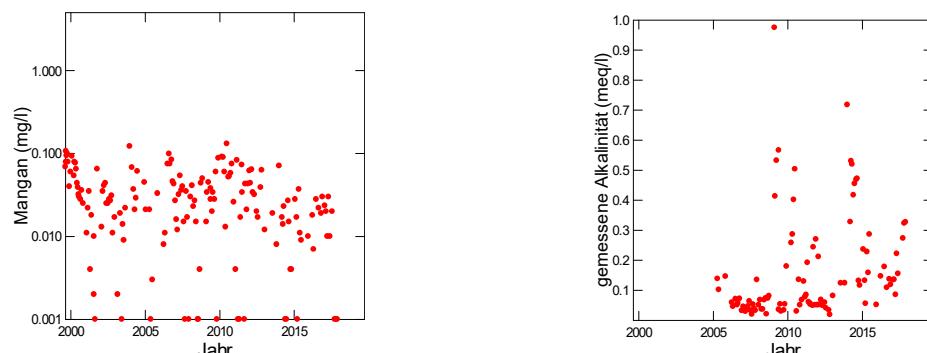


Abb. 292: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe

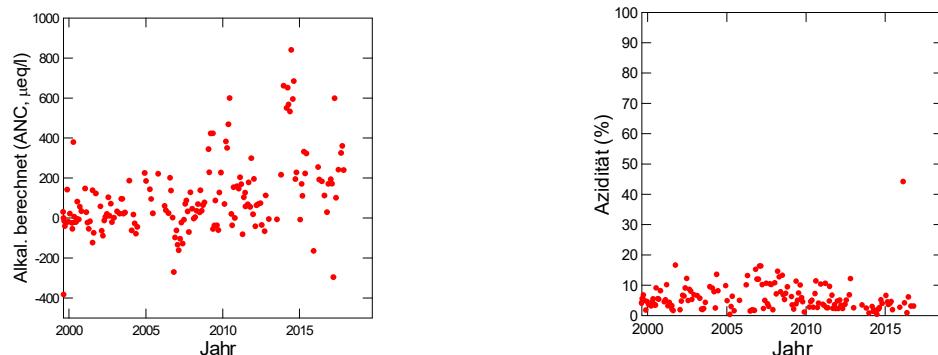


Abb. 293: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

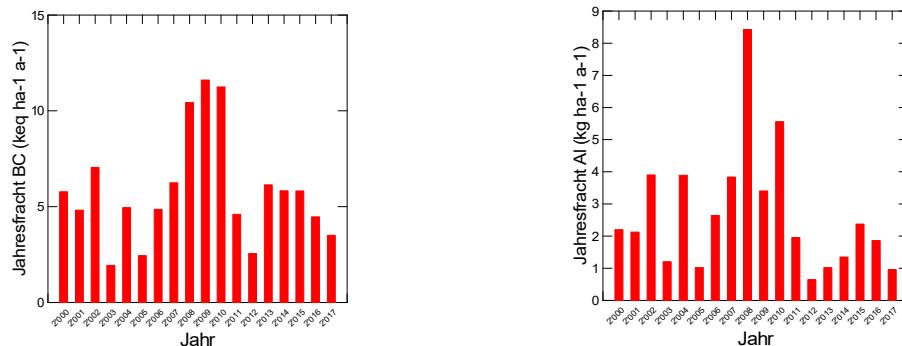


Abb. 294: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

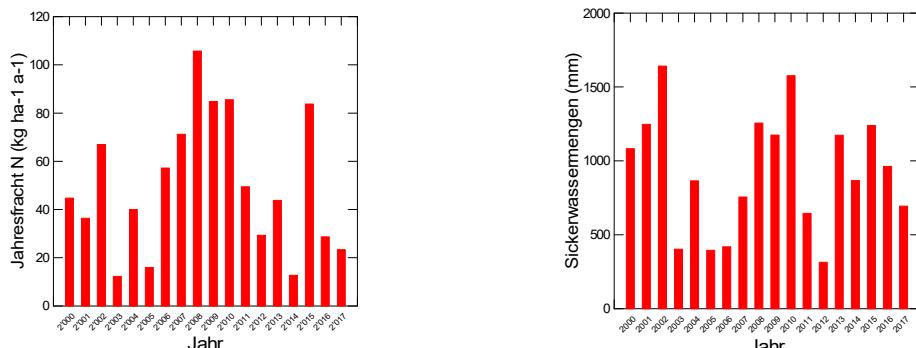


Abb. 295: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Sagno in 60 cm Tiefe.

Scheidwald

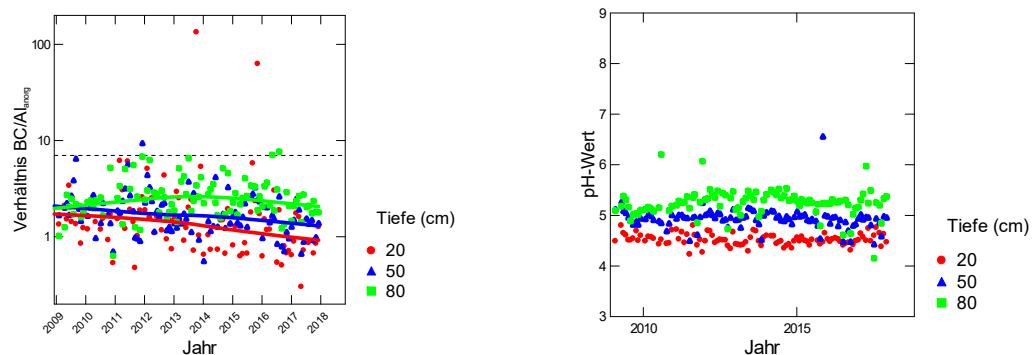


Abb. 296: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald.

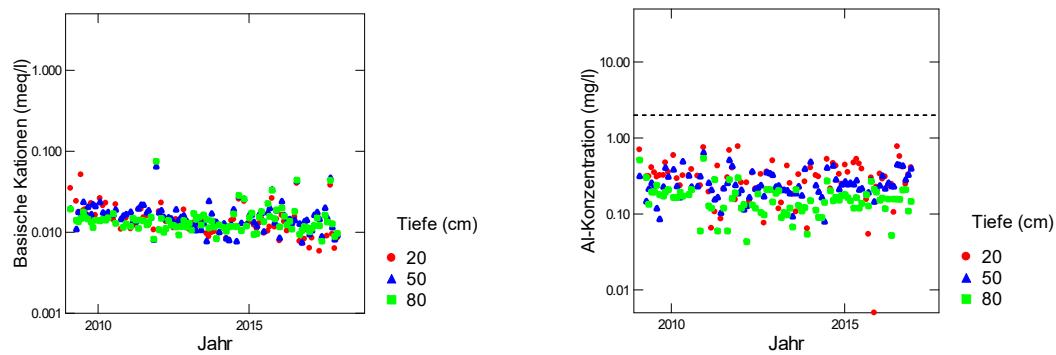


Abb. 297: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

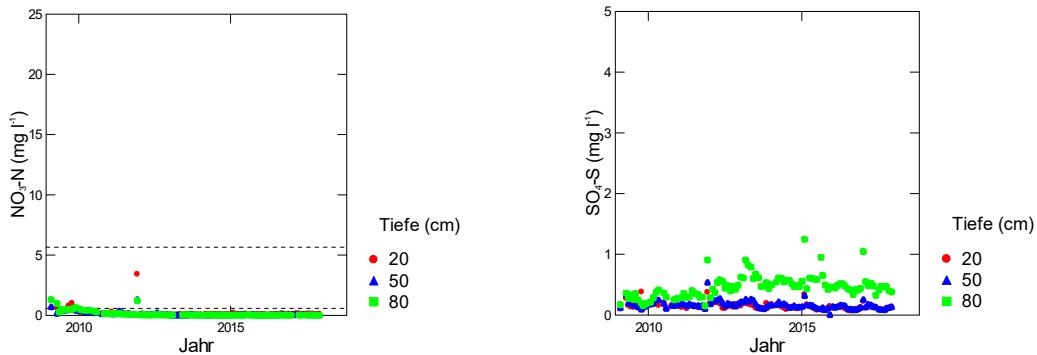


Abb. 298: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

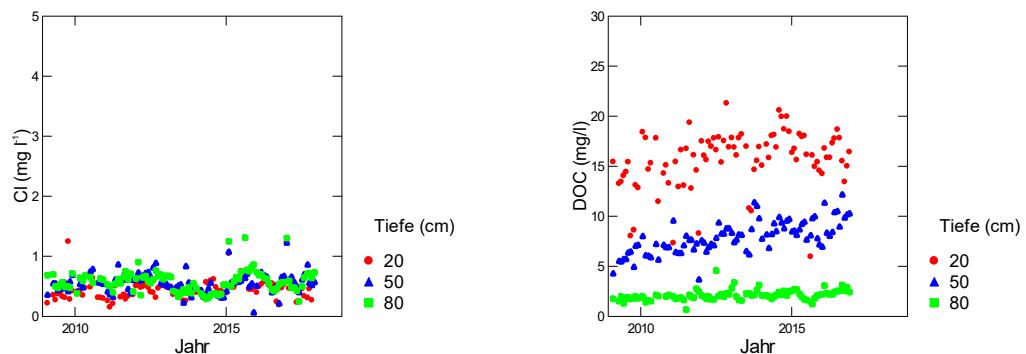


Abb. 299: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald

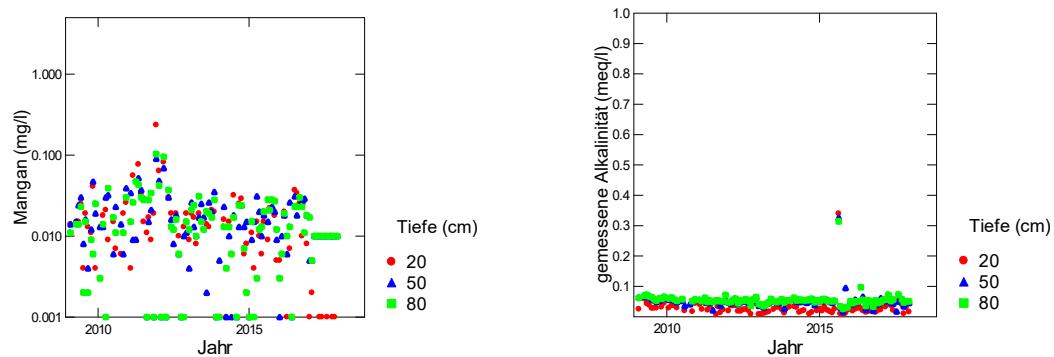


Abb. 300: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald

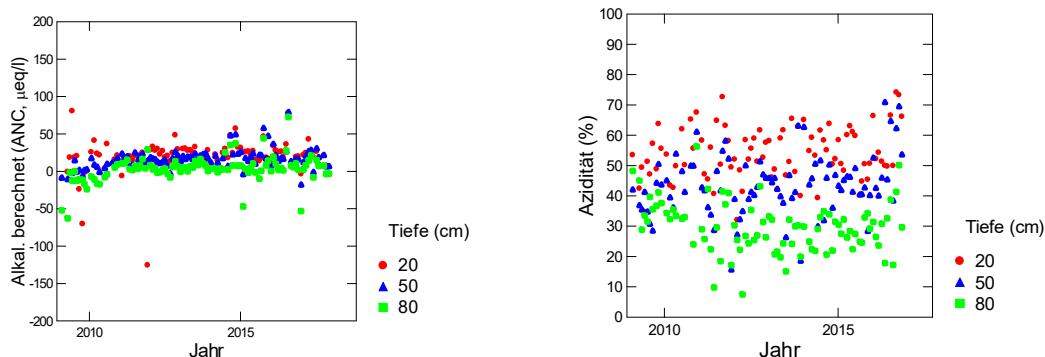


Abb. 301: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald.

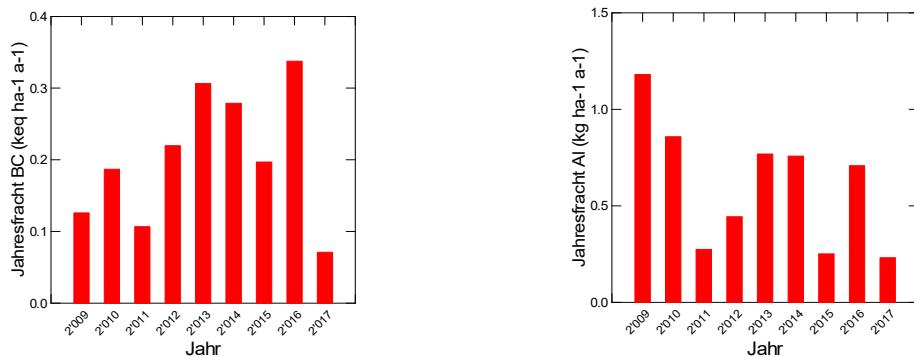


Abb. 302: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald in 80 cm Tiefe.

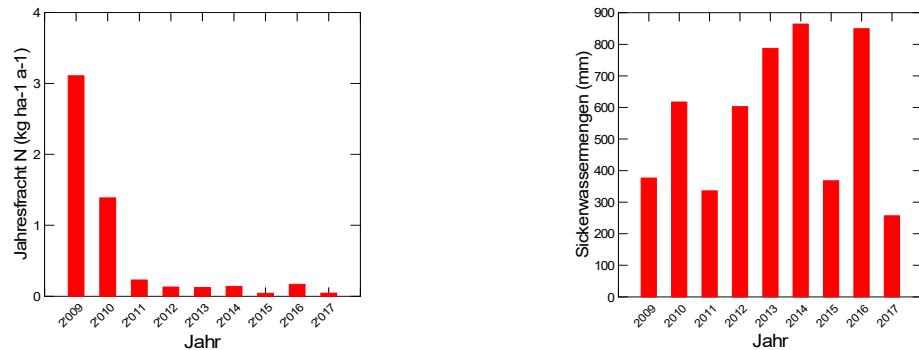


Abb. 303: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Scheidwald in 80 cm Tiefe.

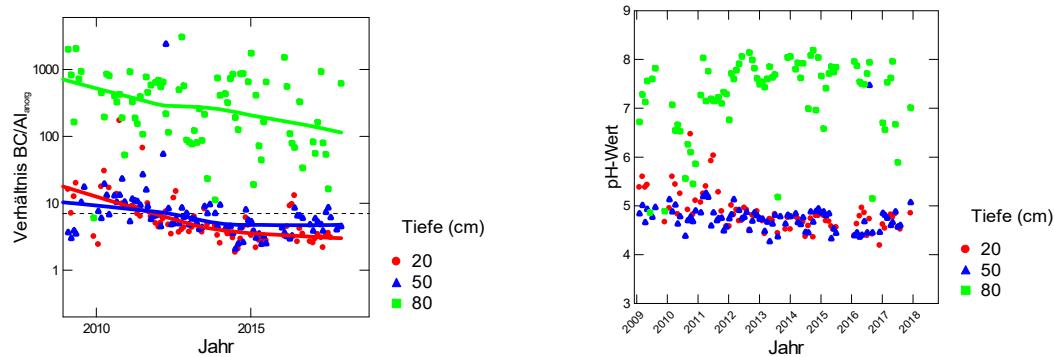
Wangen

Abb. 304: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen.

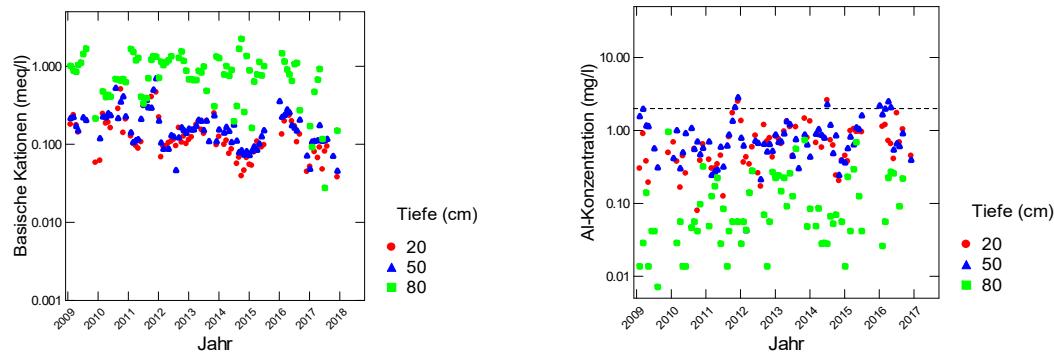


Abb. 305: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

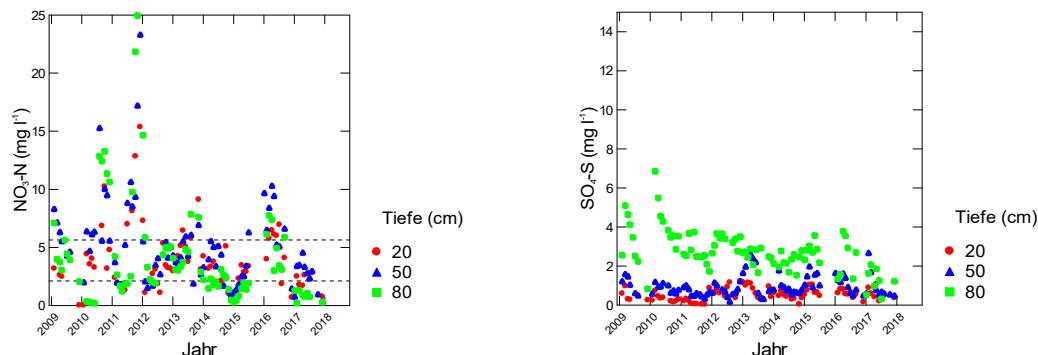


Abb. 306: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

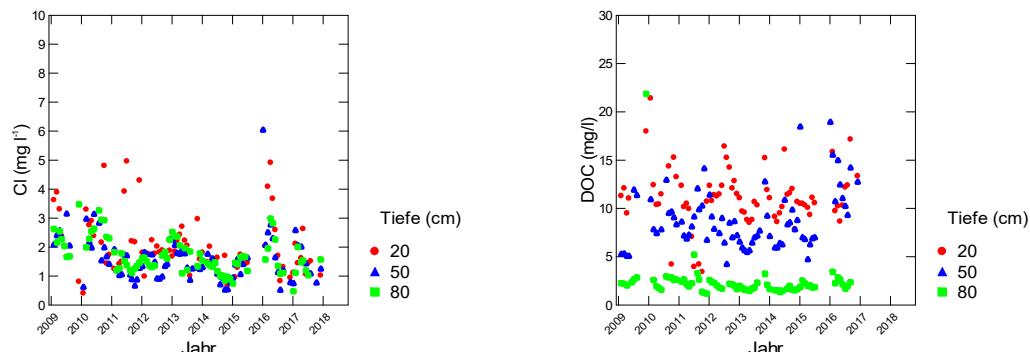


Abb. 307: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen

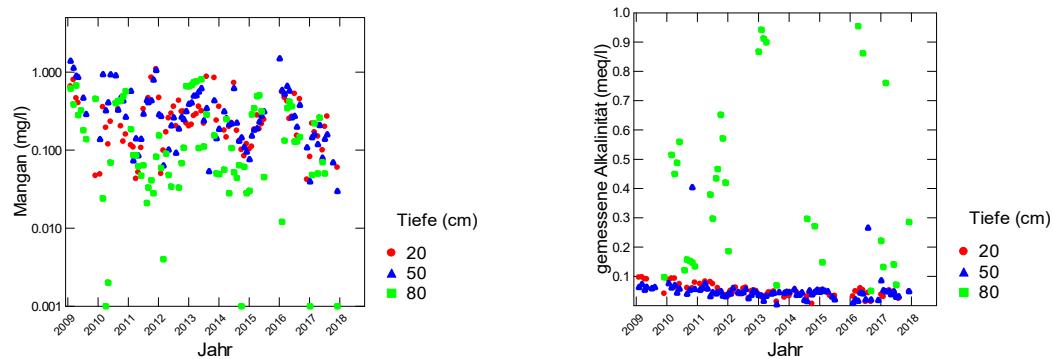


Abb. 308: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen

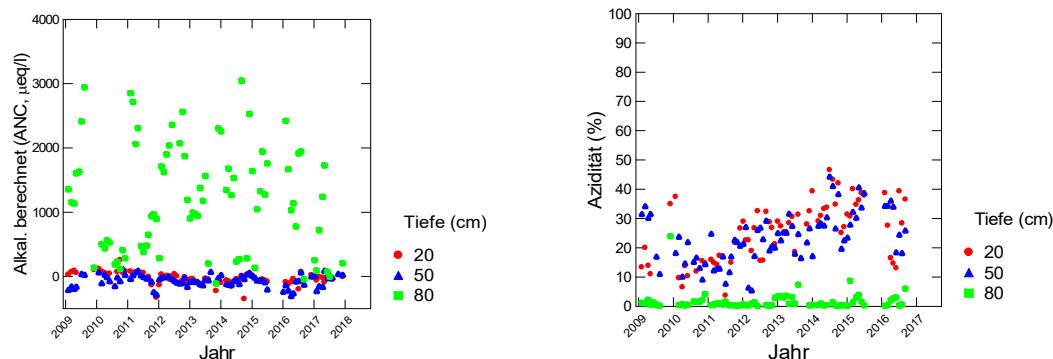


Abb. 309: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen.

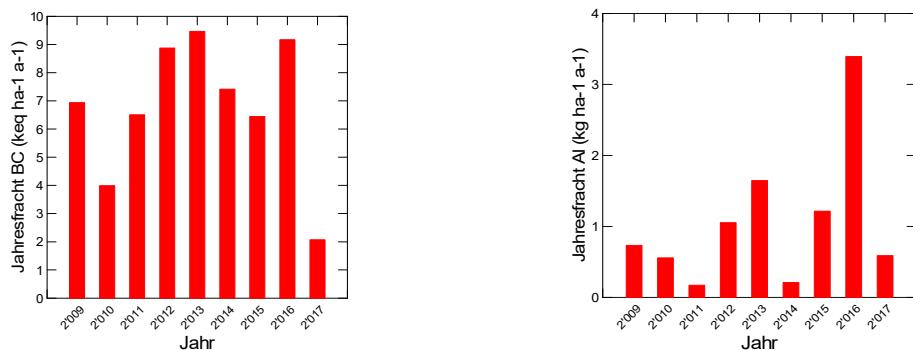


Abb. 310: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen in 80 cm Tiefe.

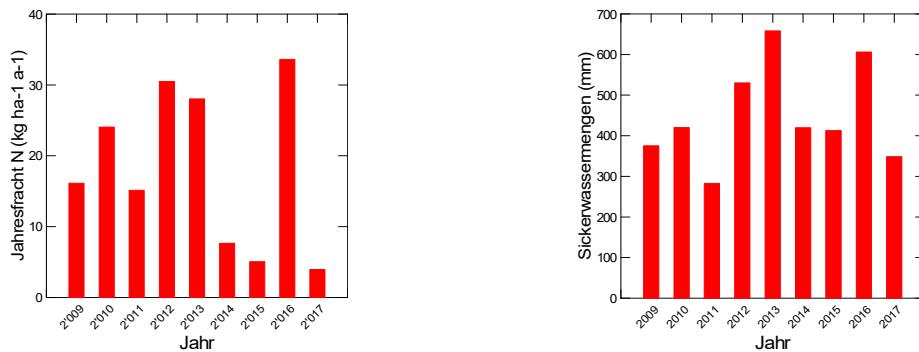


Abb. 311: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Wangen in 80 cm Tiefe.

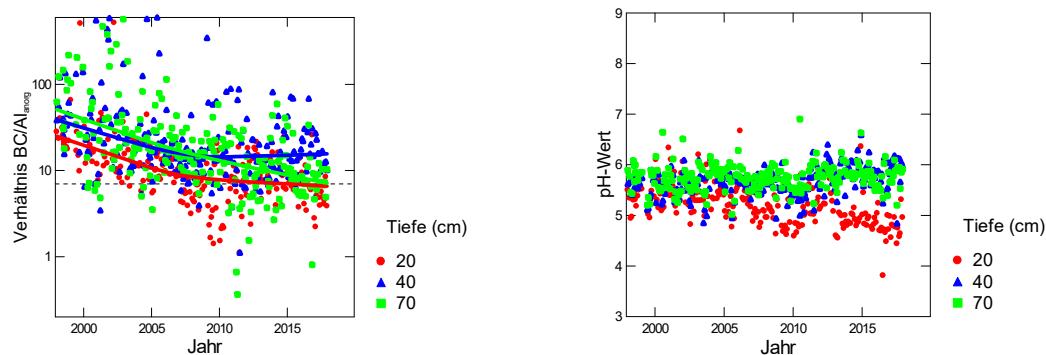
Wengernalp

Abb. 312: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp.

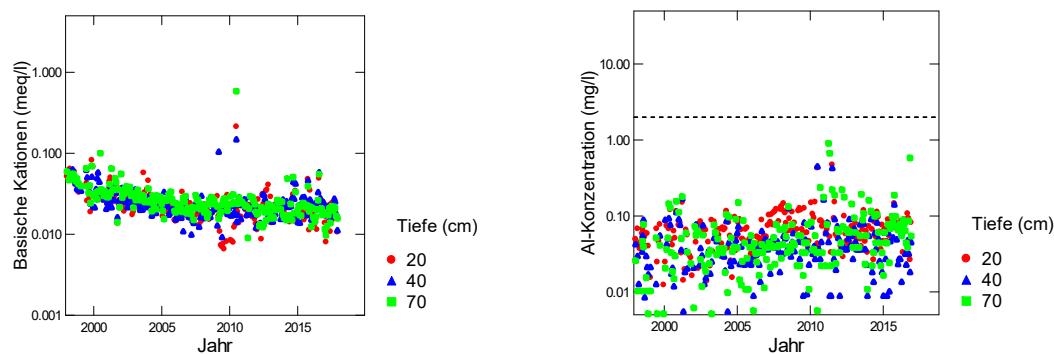


Abb. 313: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

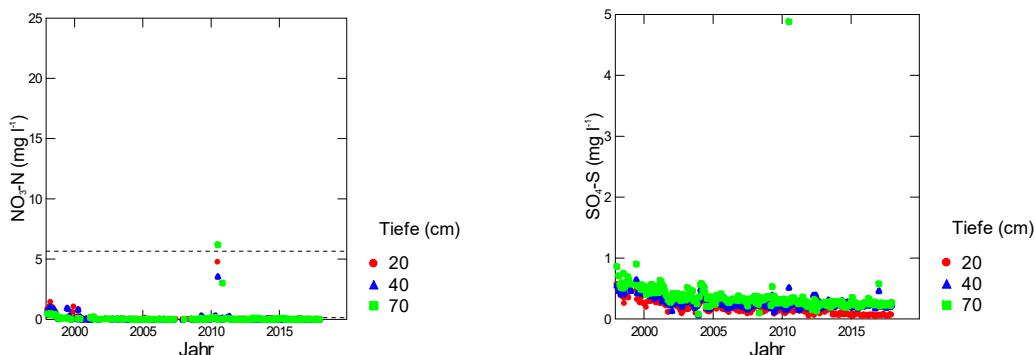


Abb. 314: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

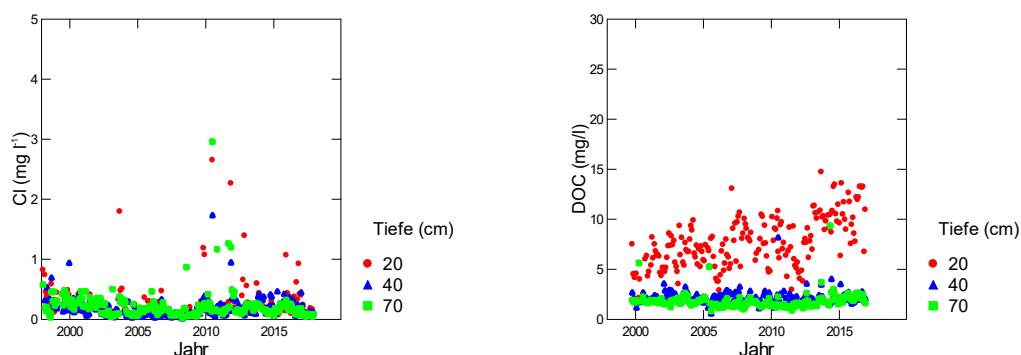


Abb. 315: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp

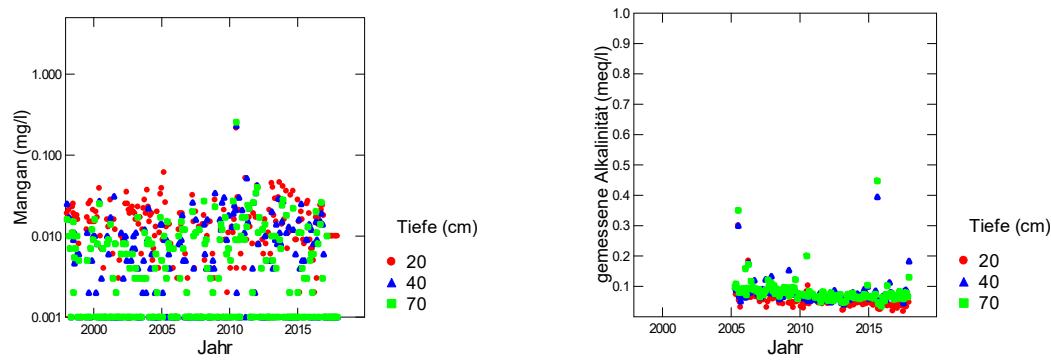


Abb. 316: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp

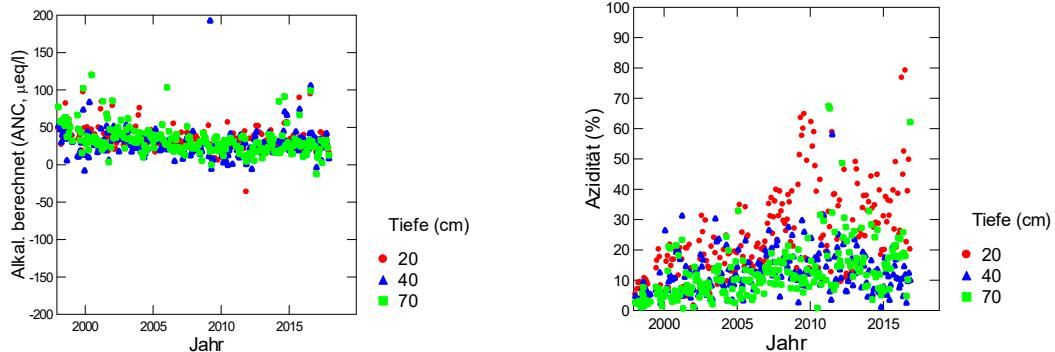


Abb. 317: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp.

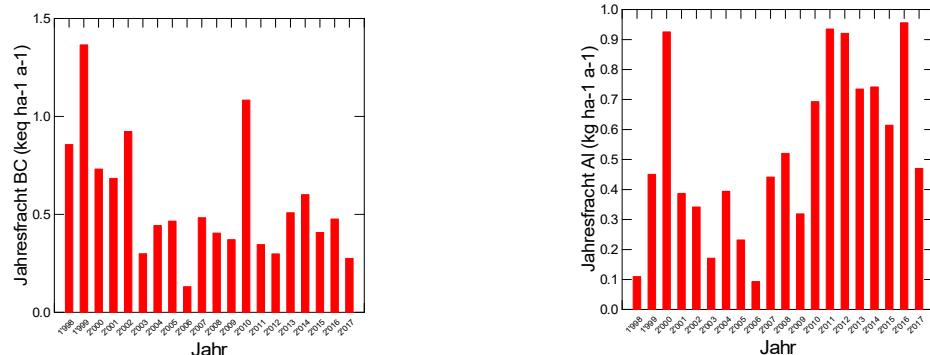


Abb. 318: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp in 70 cm Tiefe.

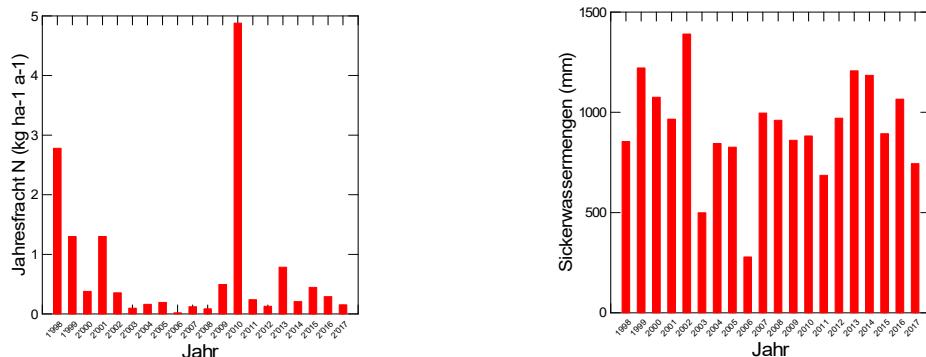


Abb. 319: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Wengernalp in 70 cm Tiefe.

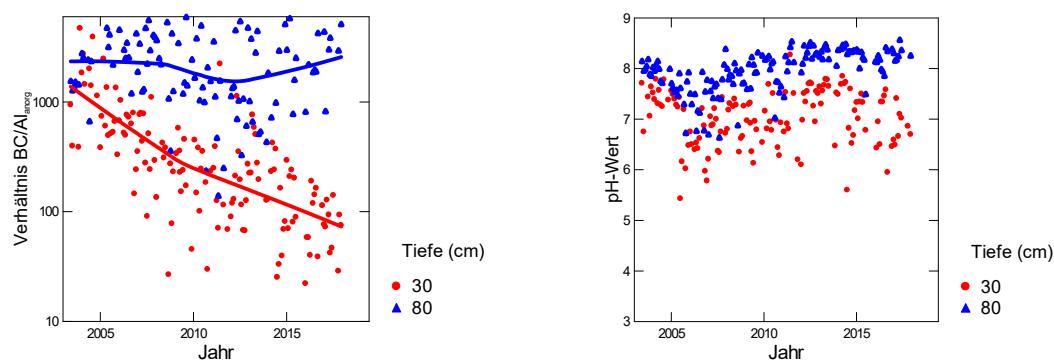
Winterthur

Abb. 320: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur.

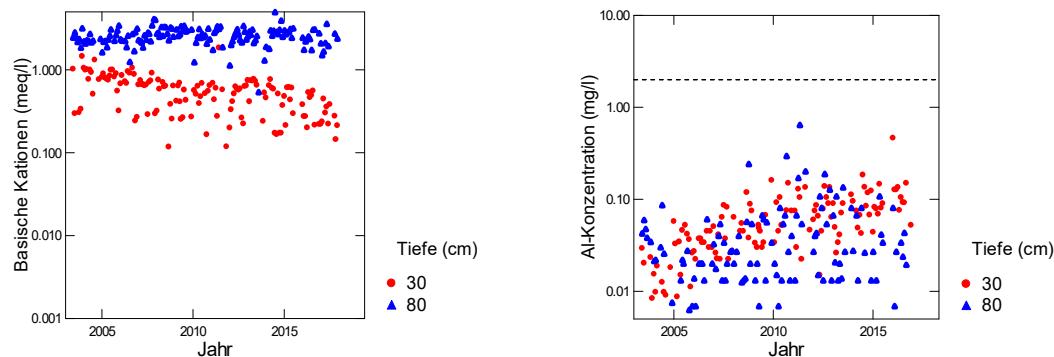


Abb. 321: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

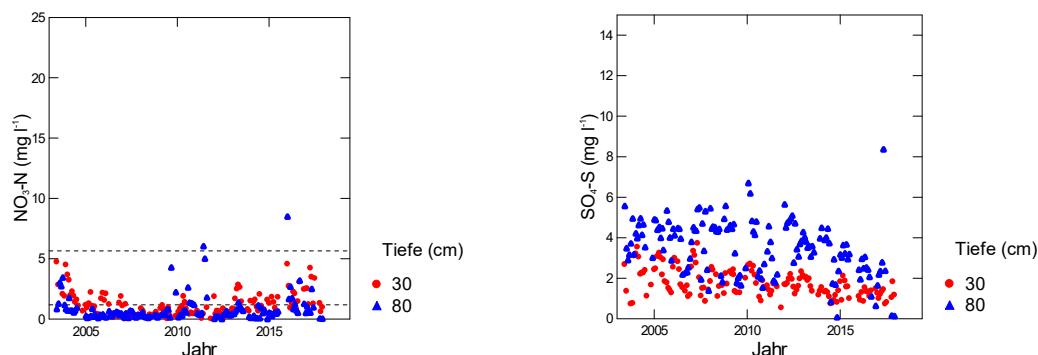


Abb. 322: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

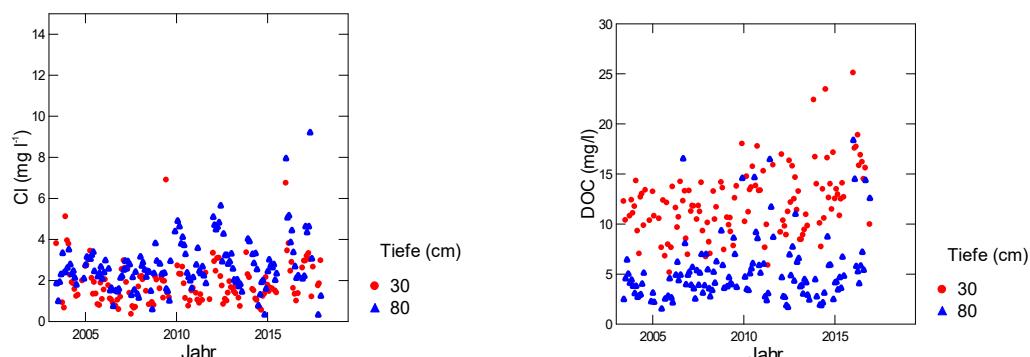


Abb. 323: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur

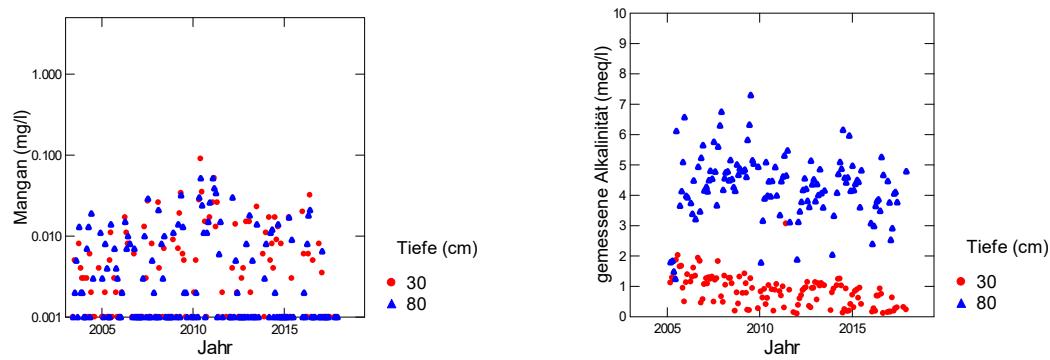


Abb. 324: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur

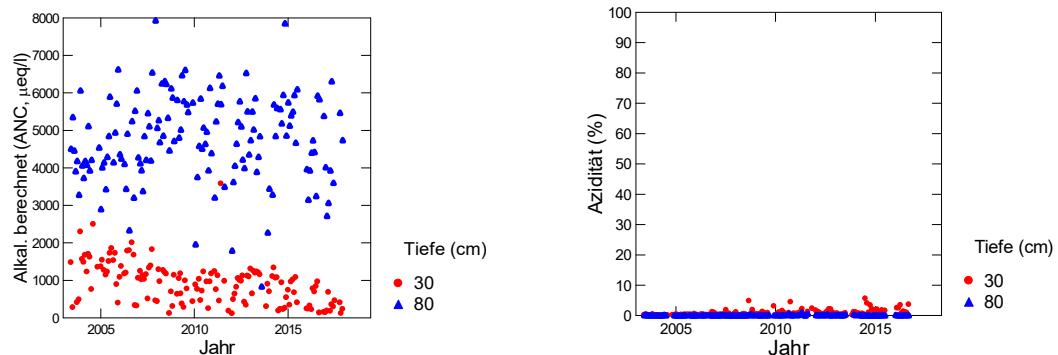


Abb. 325: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur.

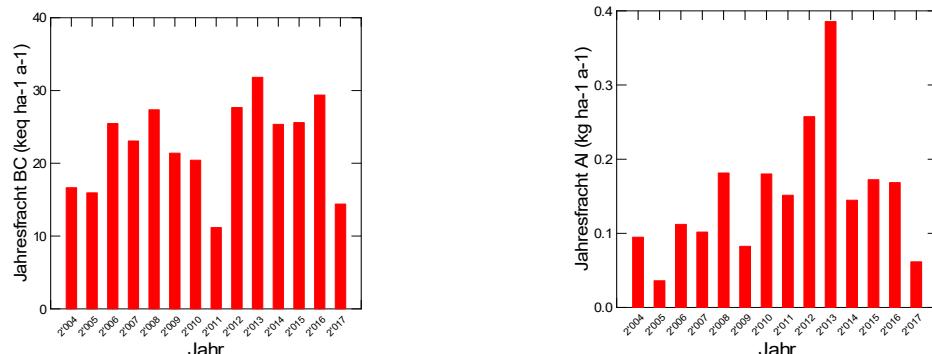


Abb. 326: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur in 80 cm Tiefe.

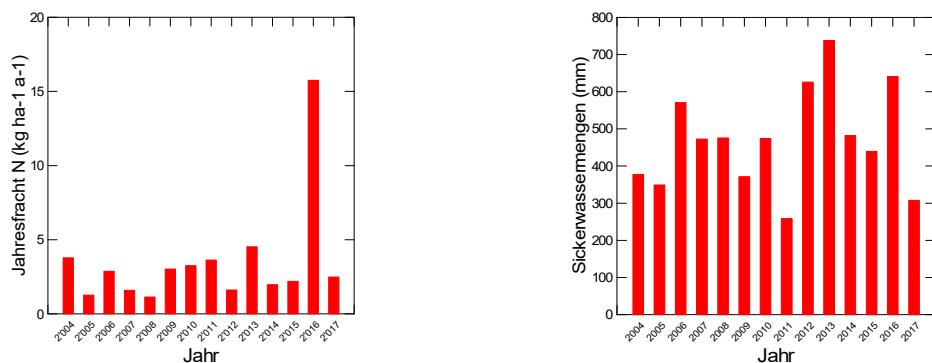


Abb. 327: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Winterthur in 80 cm Tiefe.

Zofingen

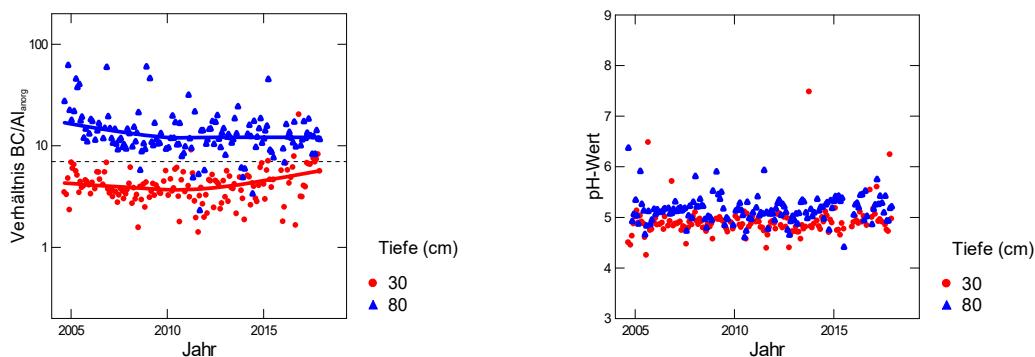


Abb. 328: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

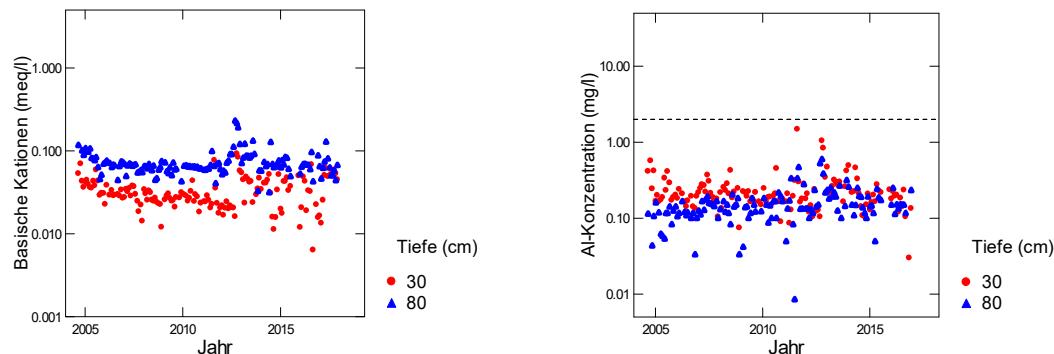


Abb. 329: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

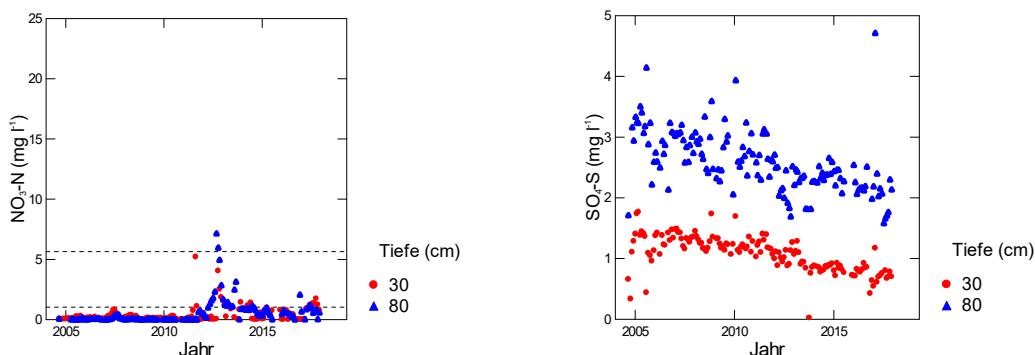


Abb. 330: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

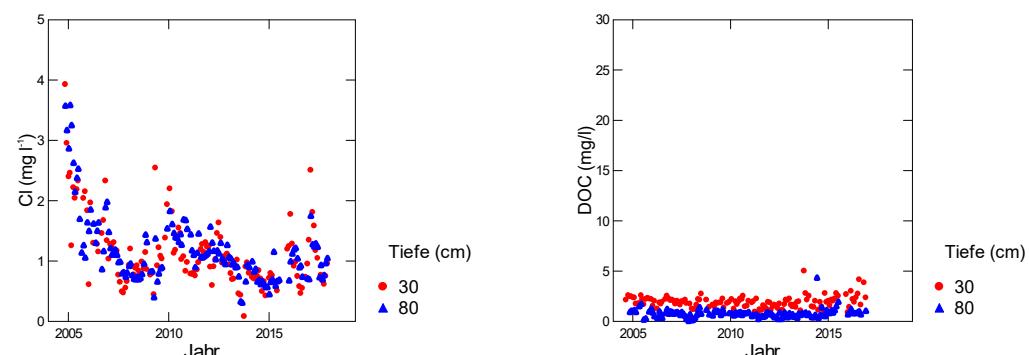


Abb. 331: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

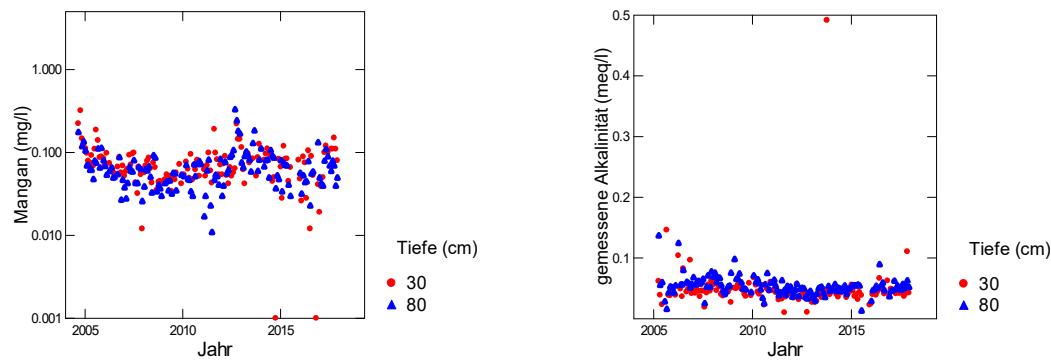


Abb. 332: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

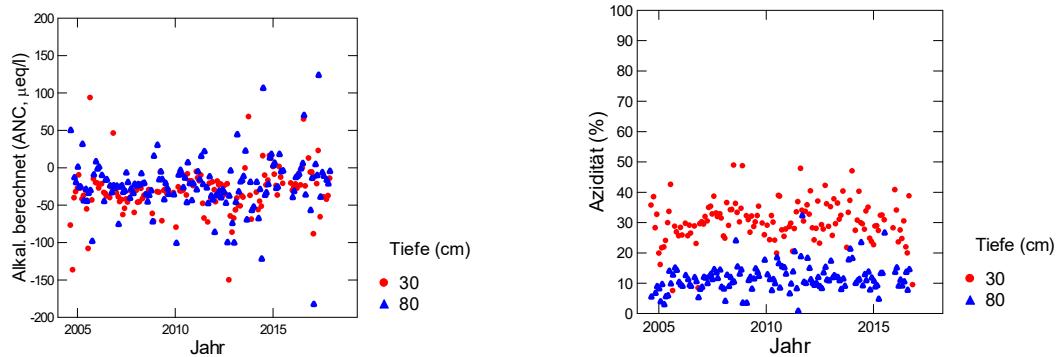


Abb. 333: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen.

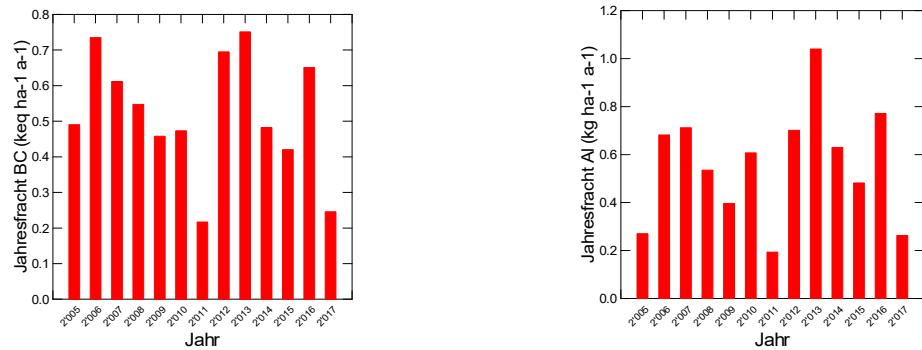


Abb. 334: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen in 80 cm Tiefe.

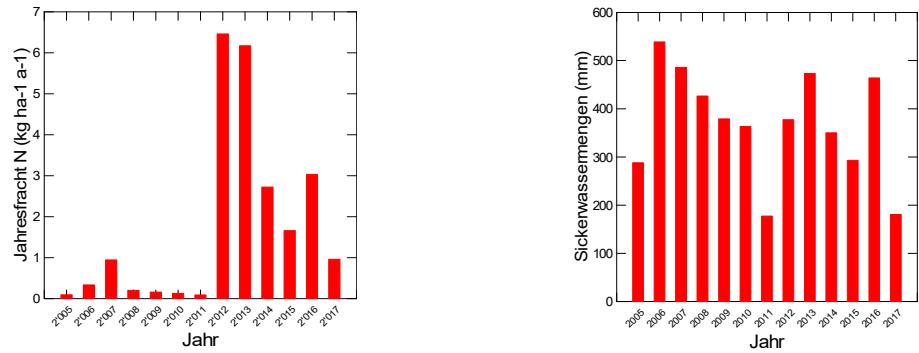


Abb. 335: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zofingen in 80 cm Tiefe.

Zugerberg N-Versuchsfläche (ungedüngte Kontrollen)

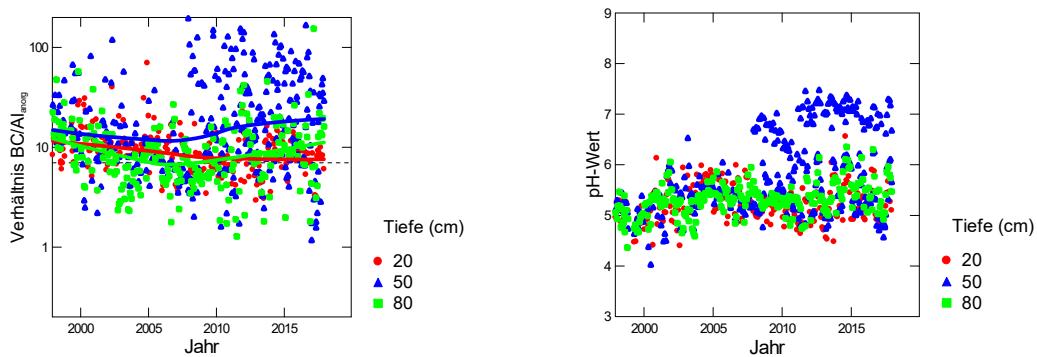


Abb. 336: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

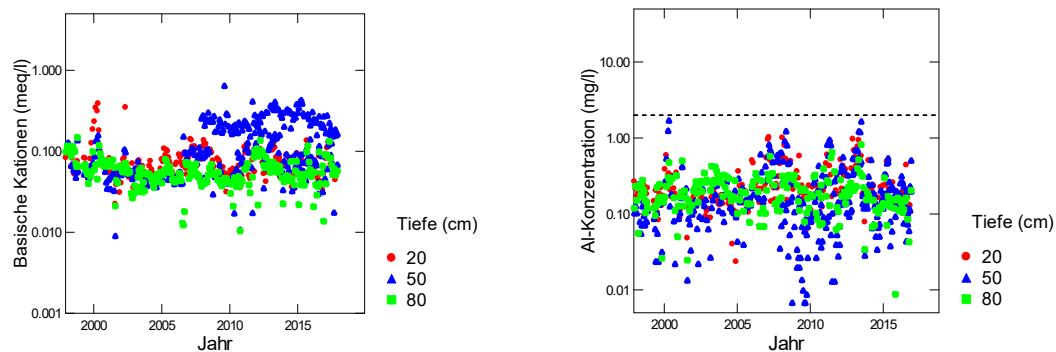


Abb. 337: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen). Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

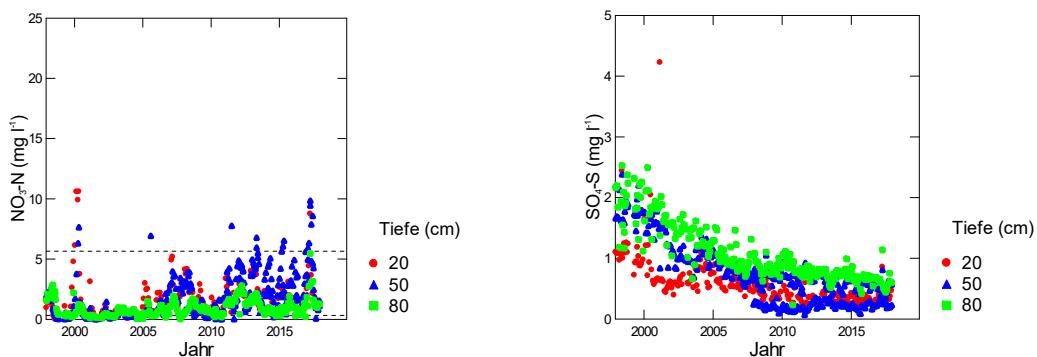


Abb. 338: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen). In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

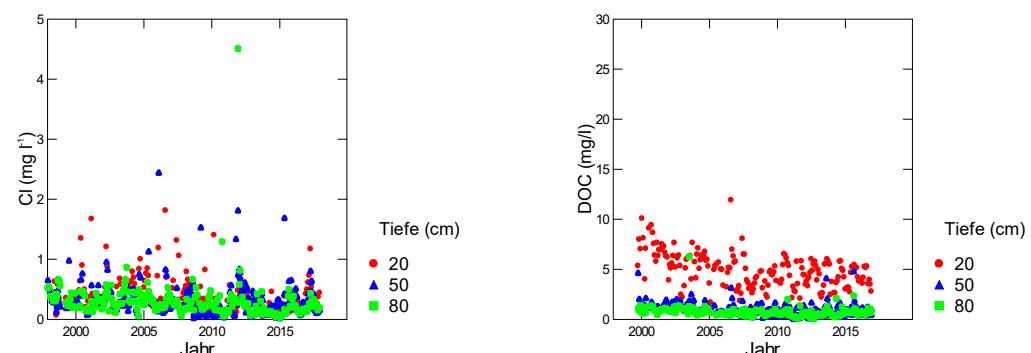


Abb. 339: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

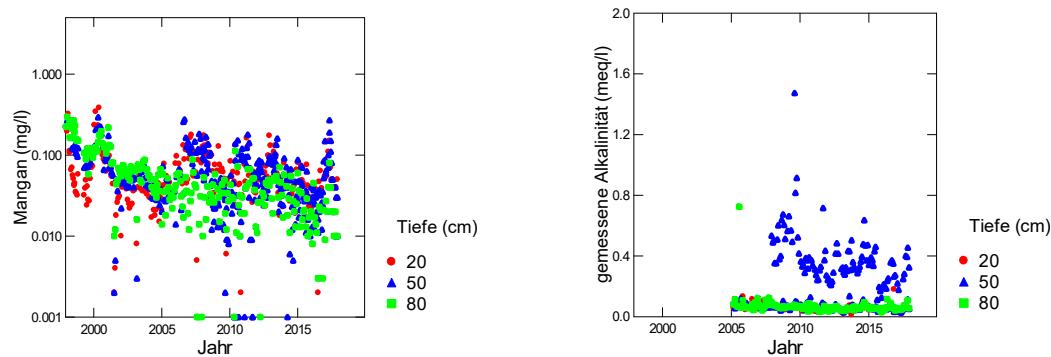


Abb. 340: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

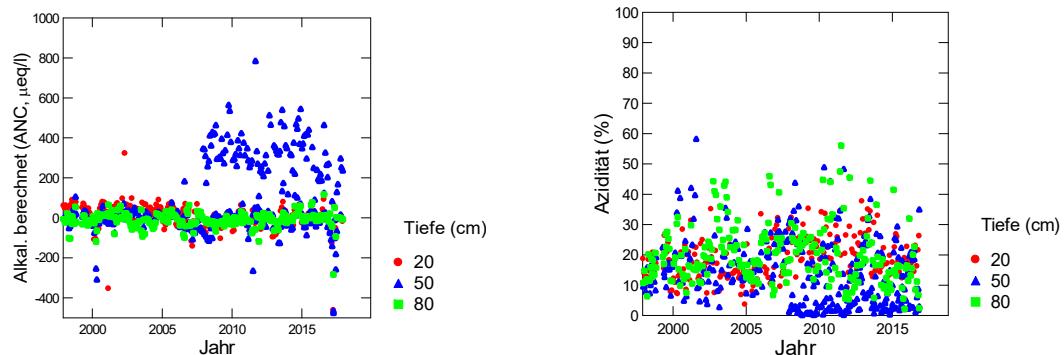


Abb. 341: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg (ungedüngte Kontrollen).

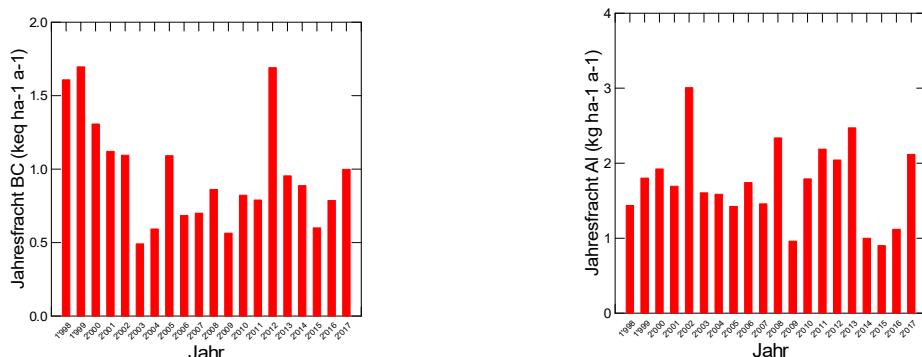


Abb. 342: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 80 cm Tiefe.

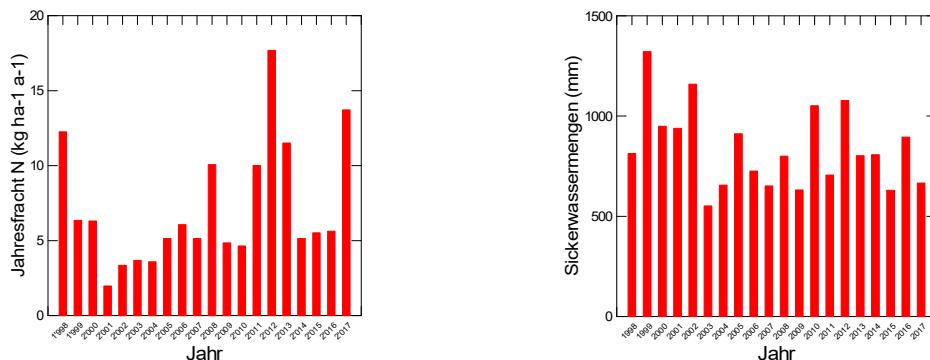


Abb. 343: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 80 cm Tiefe.

Zugerberg Hintergeissboden

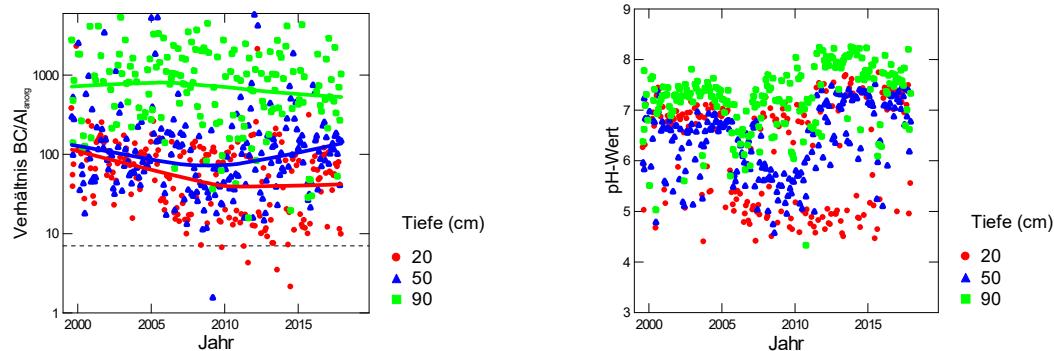


Abb. 344: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden (Mischbestand Buchen/Fichten).

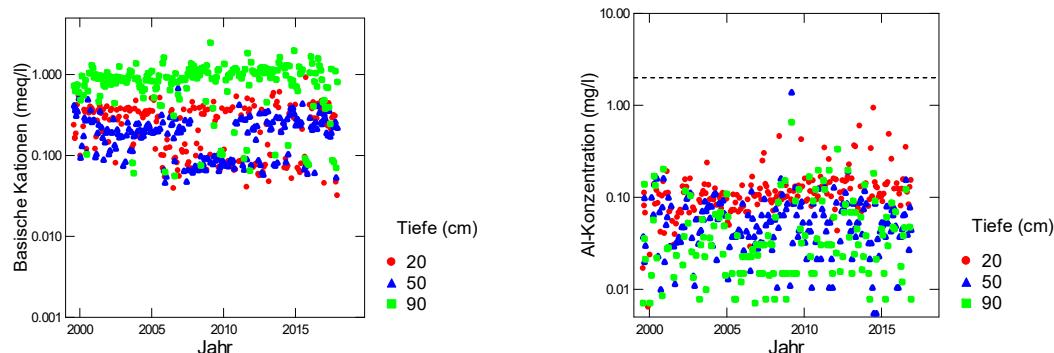


Abb. 345: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

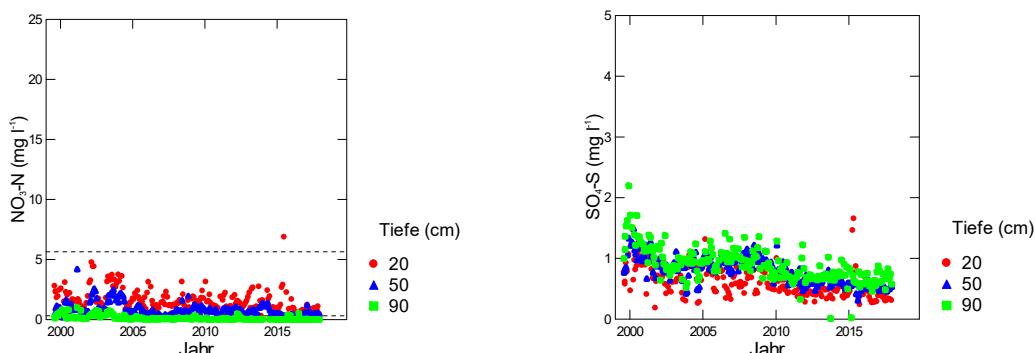


Abb. 346: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

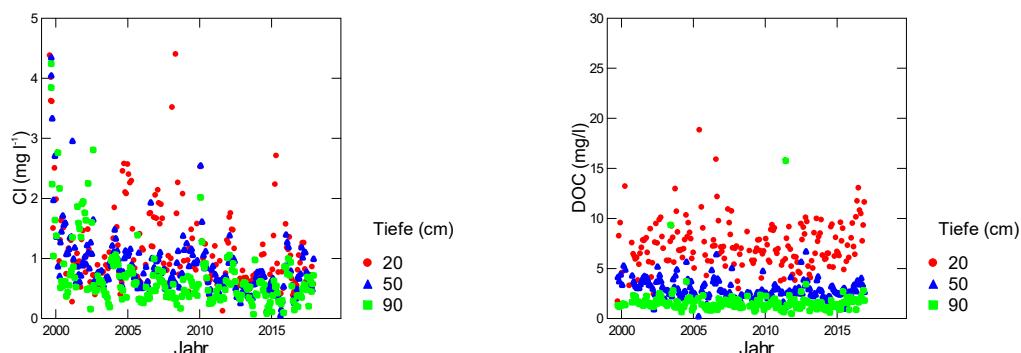


Abb. 347: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden

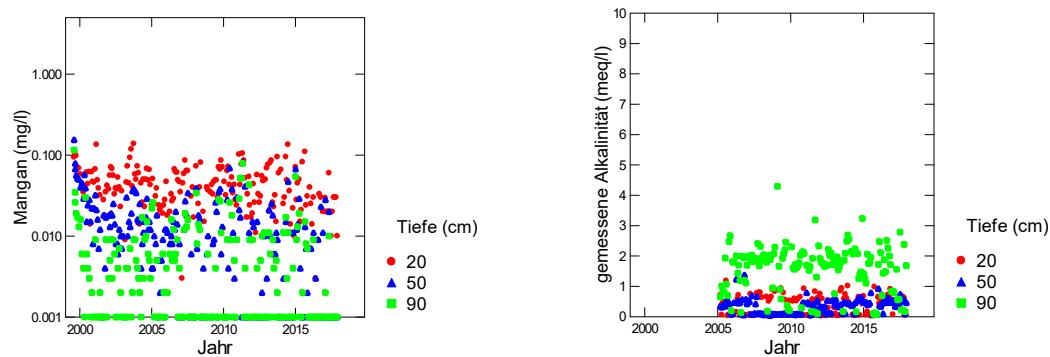


Abb. 348: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden

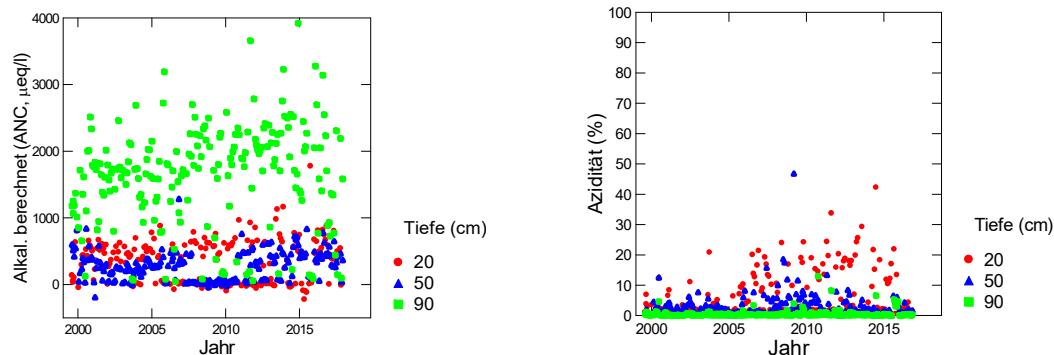


Abb. 349: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden.

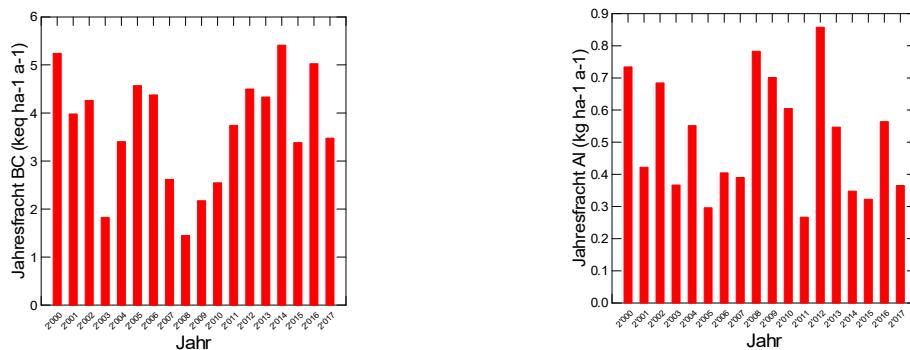


Abb. 350: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden in 80 cm Tiefe.

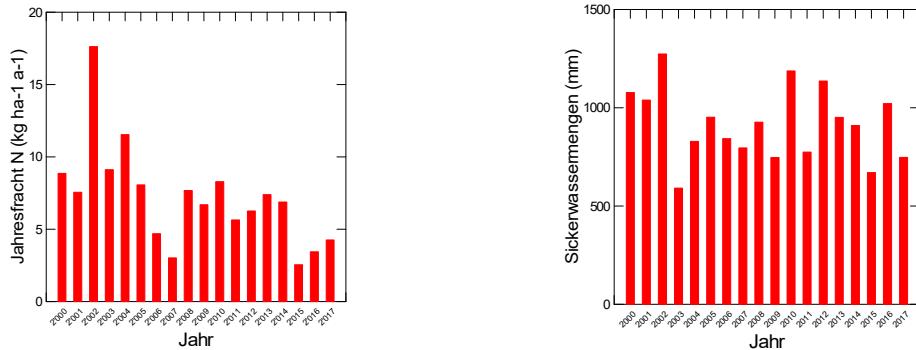


Abb. 351: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Beobachtungsfläche Zugerberg Hintergeissboden in 80 cm Tiefe.

Zugerberg Vordergeissboden

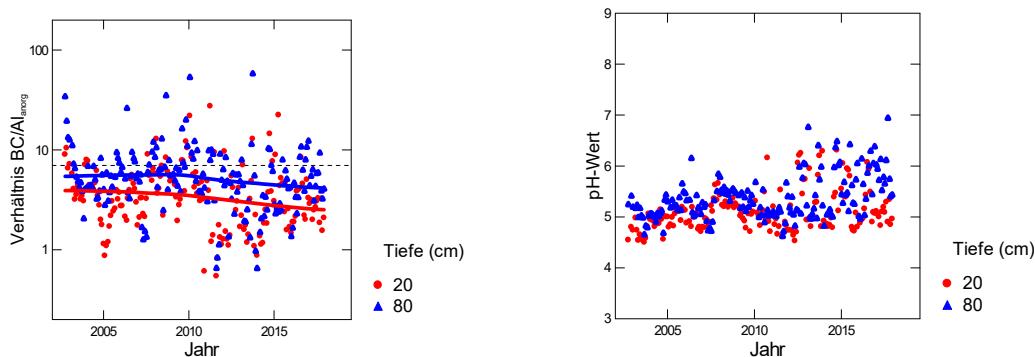


Abb. 352: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

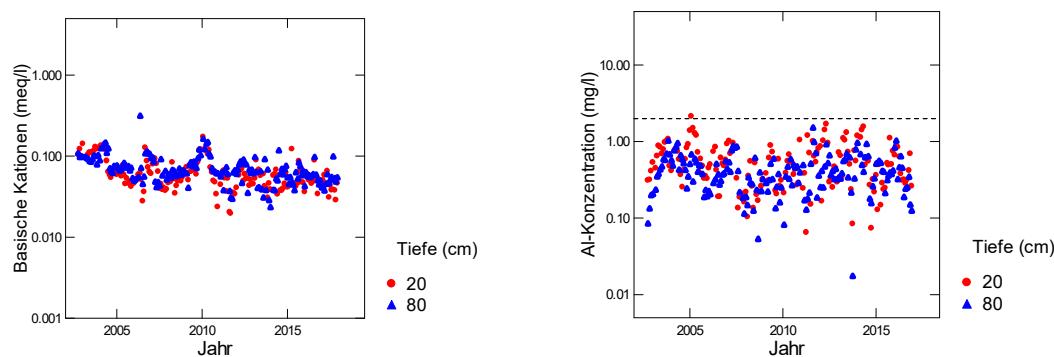


Abb. 353: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

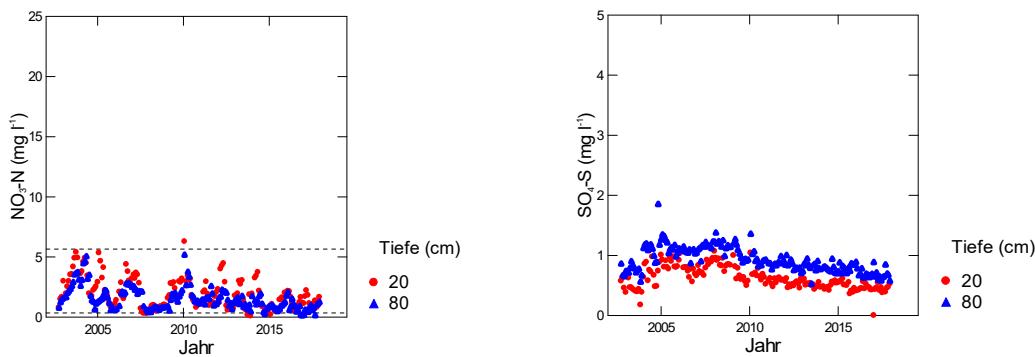


Abb. 354: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

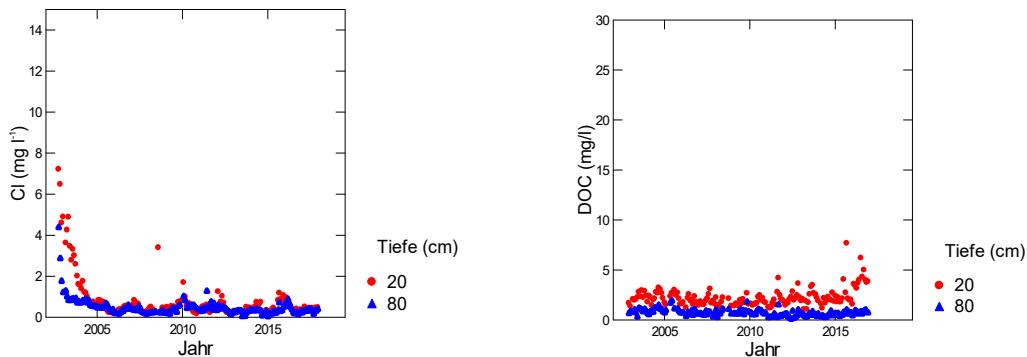


Abb. 355: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

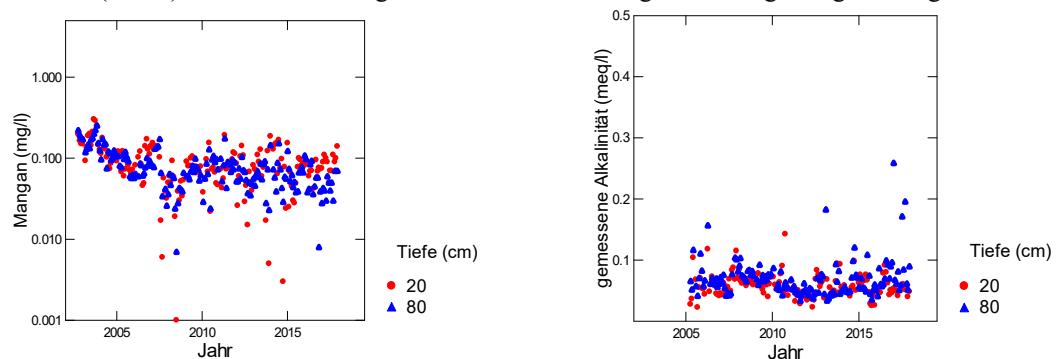


Abb. 356: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

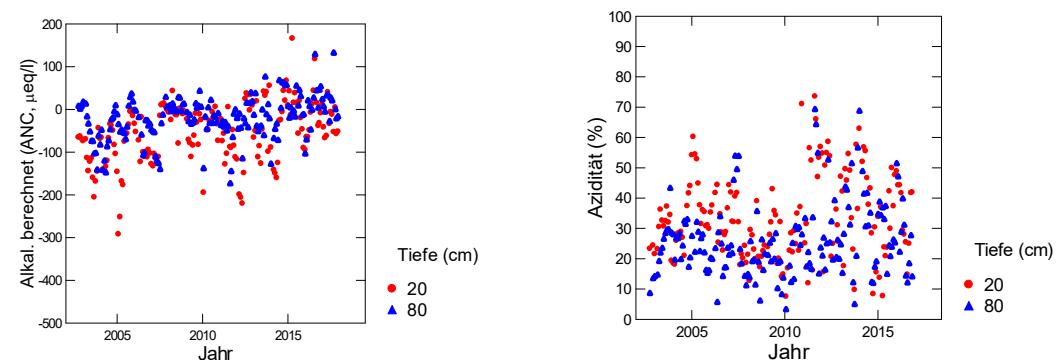


Abb. 357: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden.

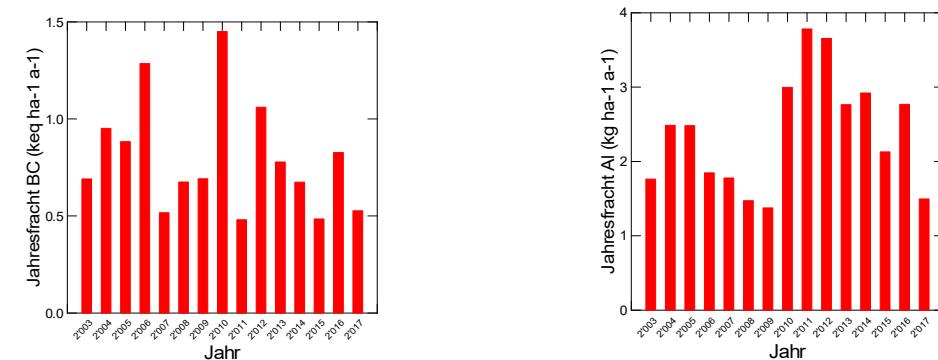


Abb. 358: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden in 80 cm Tiefe.

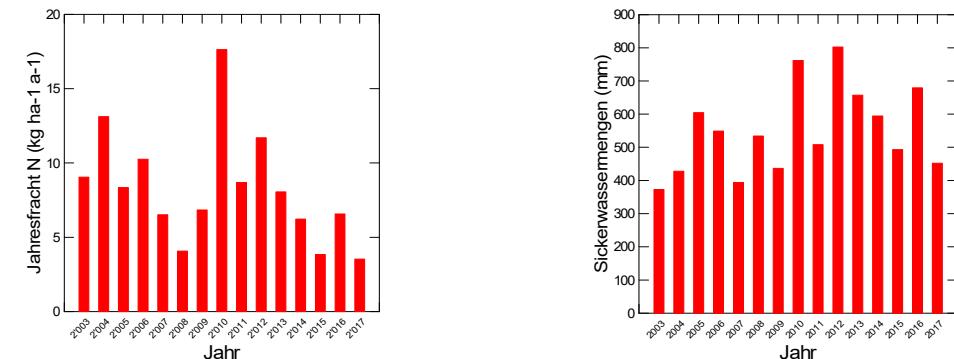


Abb. 359: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Zugerberg Vordergeissboden in 80 cm Tiefe.

Zugerberg N-Versuch

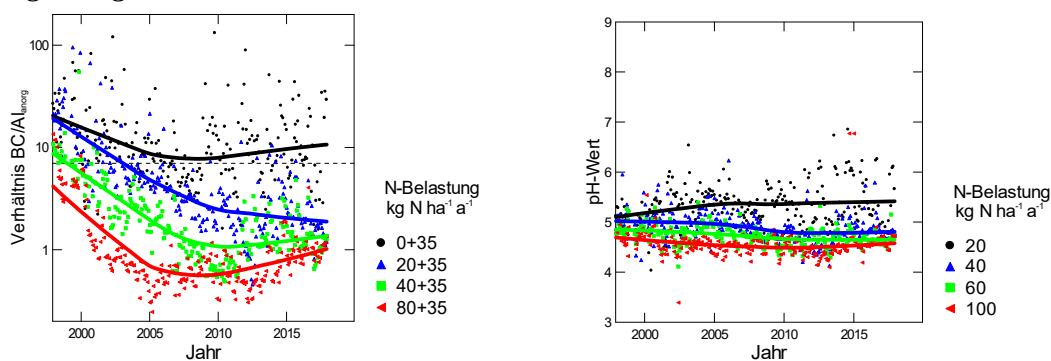


Abb. 360: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50cm Tiefe.

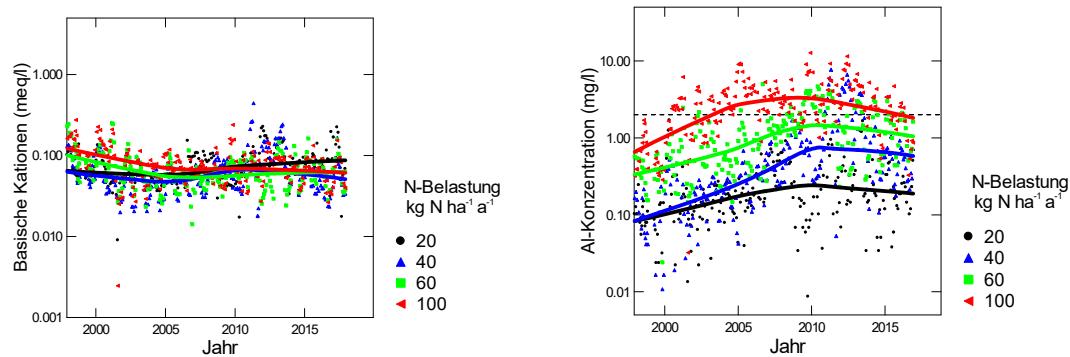


Abb. 361: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

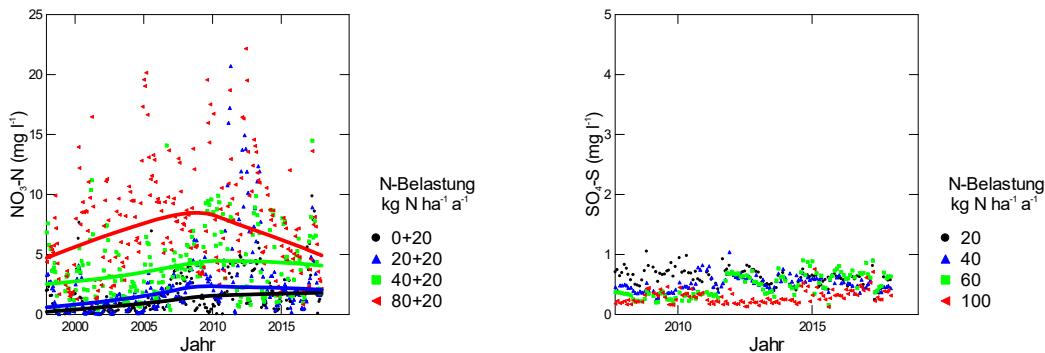


Abb. 362: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe

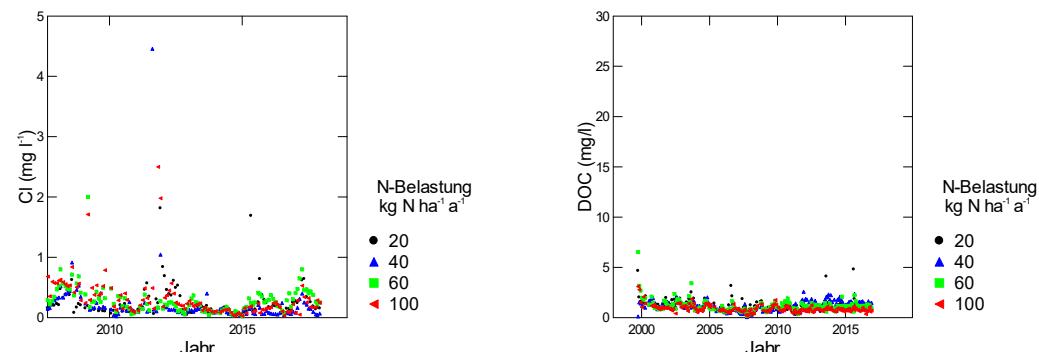


Abb. 363: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe

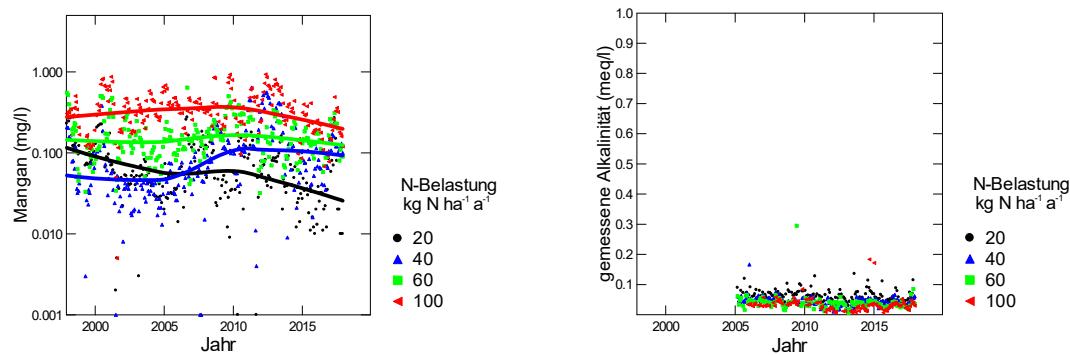


Abb. 364: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe

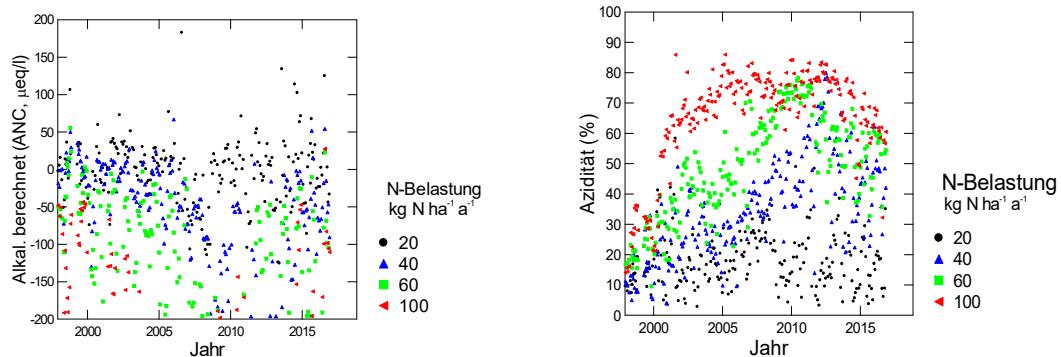


Abb. 365: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe.

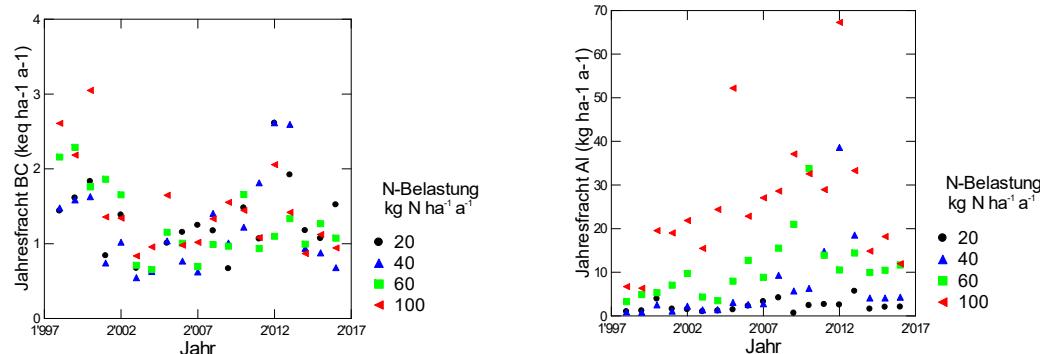


Abb. 366: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe.

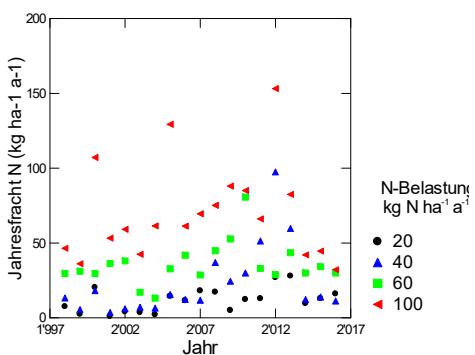


Abb. 367: Jährliche N-Fracht in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Zugerberg in 50 cm Tiefe.

Lurengo N-Versuch

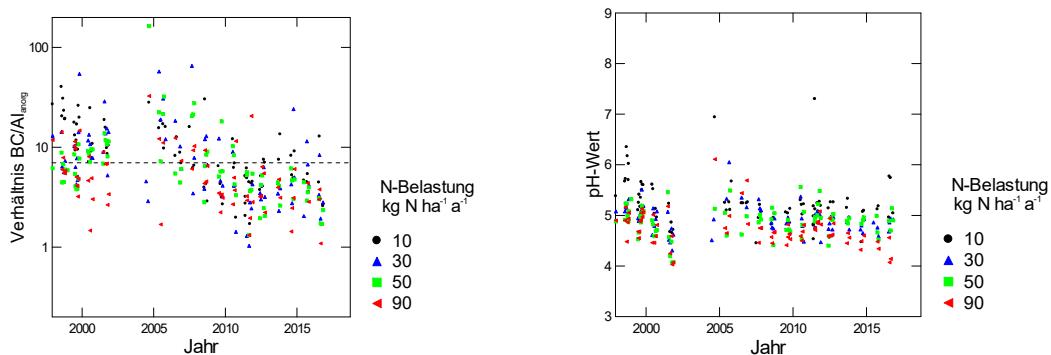


Abb. 368: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20cm Tiefe.

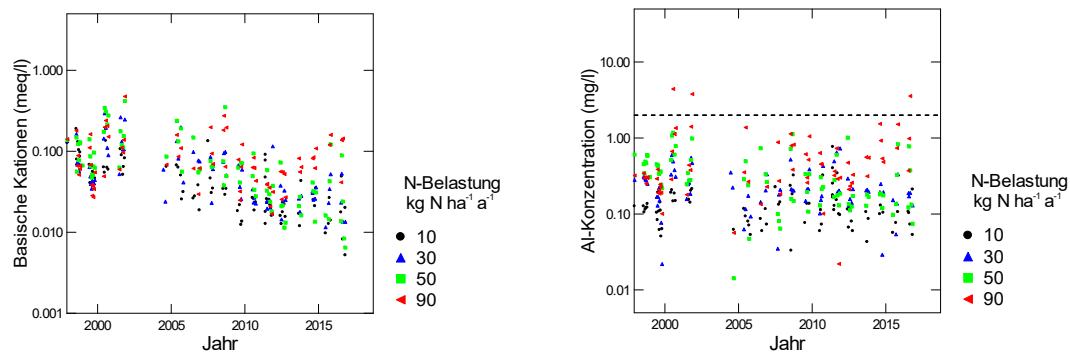


Abb. 369: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

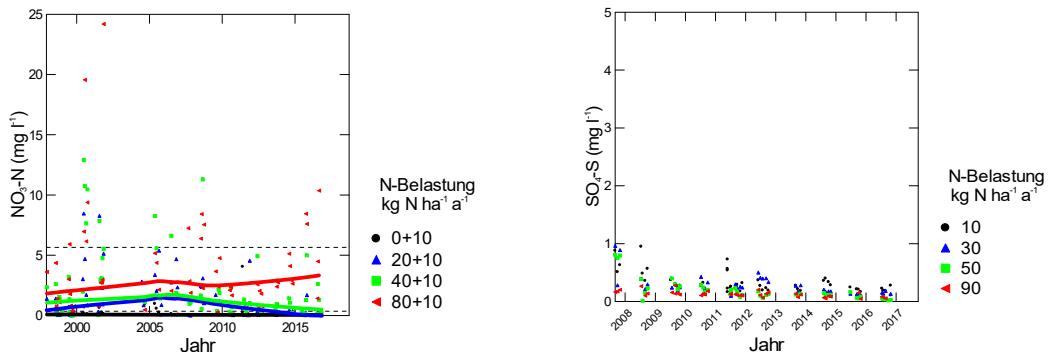


Abb. 370: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe

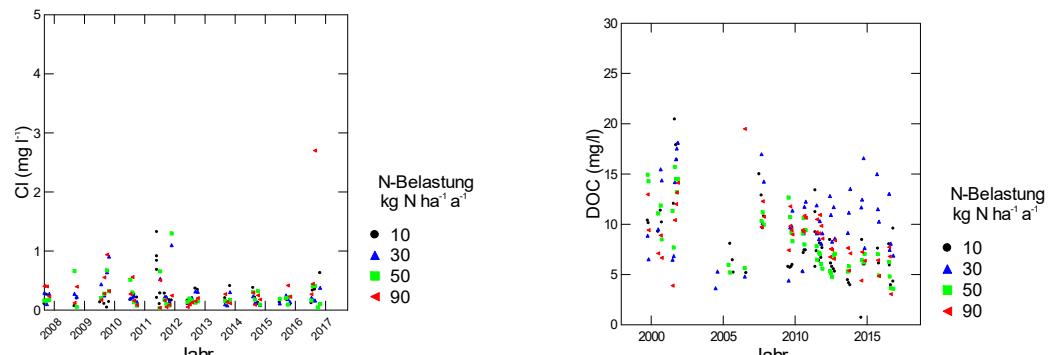


Abb. 371: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe

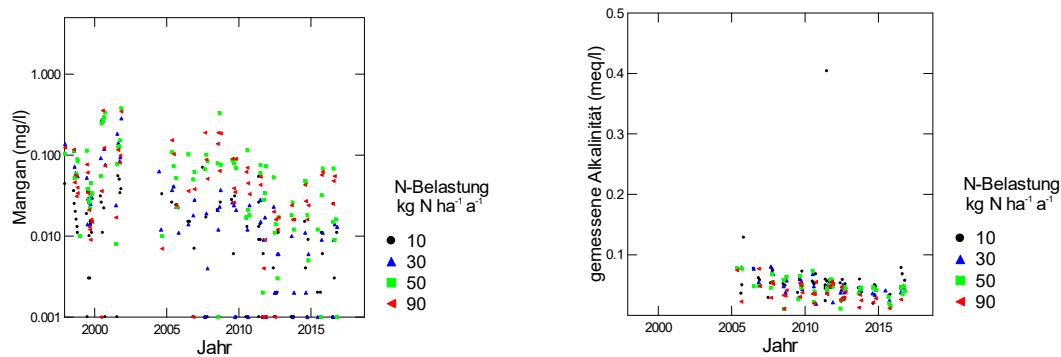


Abb. 372: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe.

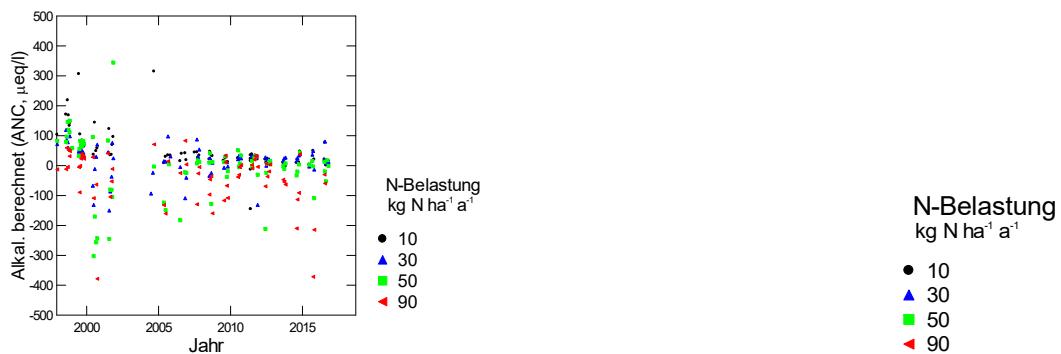


Abb. 373: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 20 cm Tiefe.

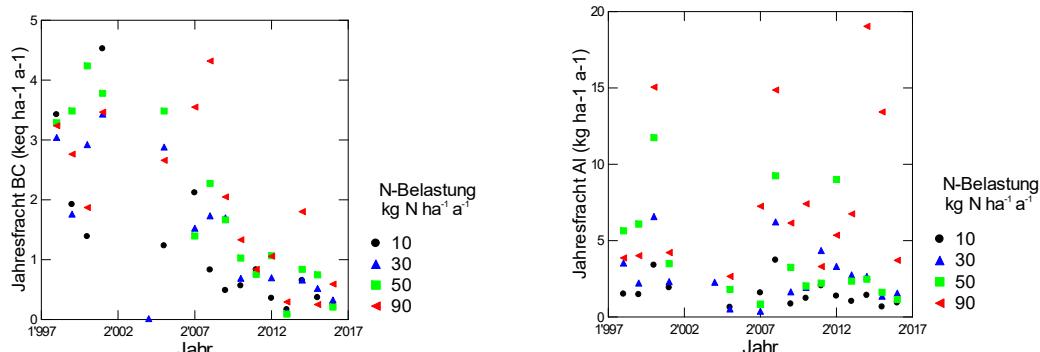


Abb. 374: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 80 cm Tiefe.

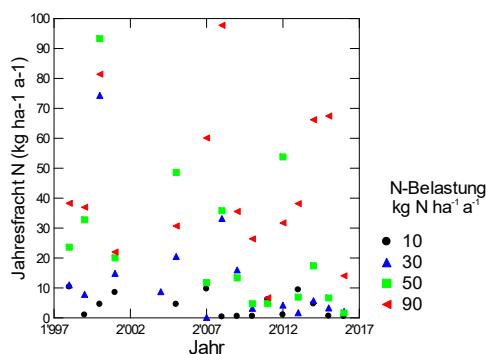


Abb. 375: Jährliche N-Fracht (links) in der Bodenlösung der N-Versuchsfläche Lurengo in 80 cm Tiefe.

Beromünster

Die Fläche Beromünster erwies sich als sehr heterogen, weshalb in zwei Subplots unterteilt wurde. Nachstehend sind die Auswertungen getrennt nach Subplots dargestellt.

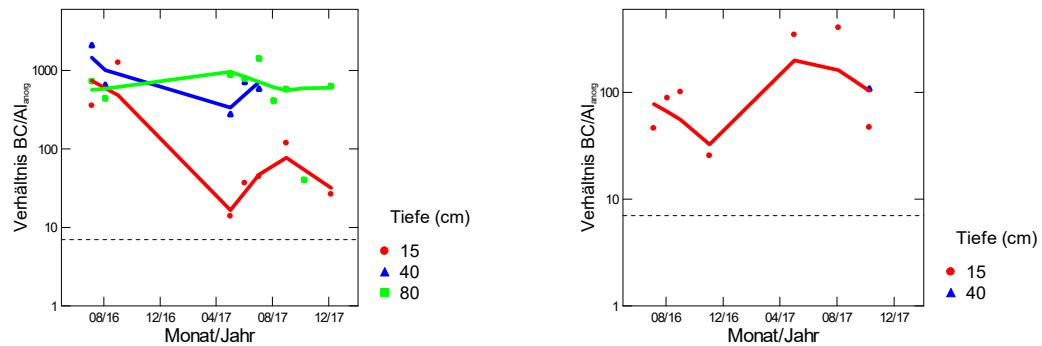


Abb. 376: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2.

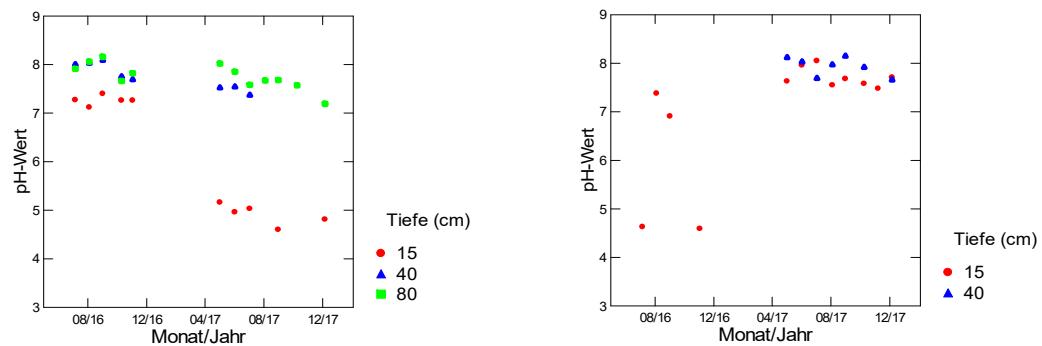


Abb. 377: Entwicklung des pH-Wertes in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2.

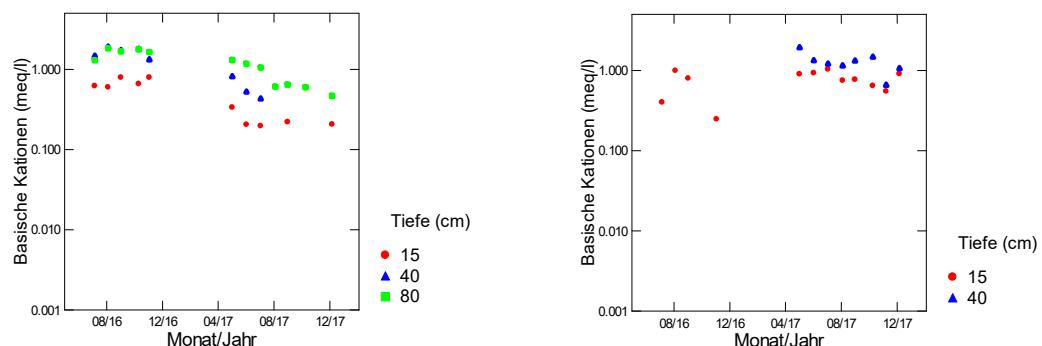


Abb. 378: Entwicklung der Konzentration basischer Kationen in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2.

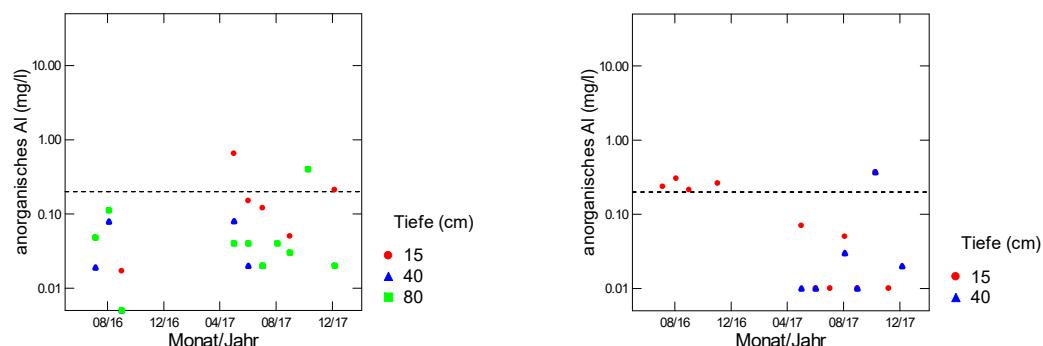


Abb. 379: Entwicklung der Konzentration von anorganischem Aluminium in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2. Die gestrichelte Linie ist die kritische Al-Konzentration.

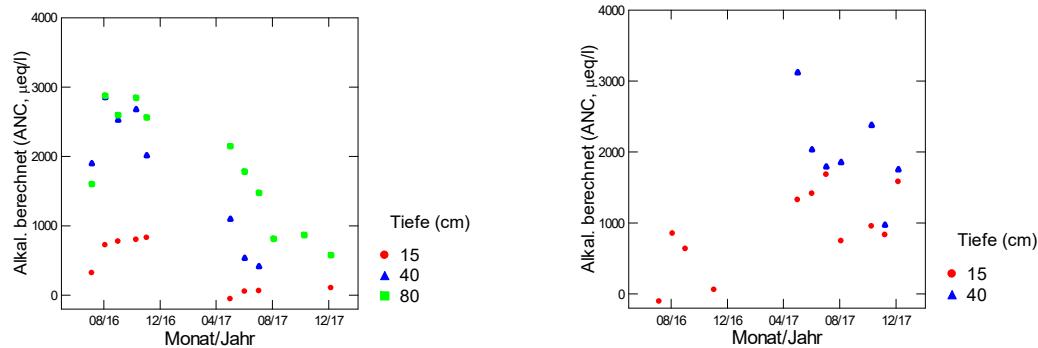


Abb. 380: Entwicklung der berechneten Alkalinität in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2.

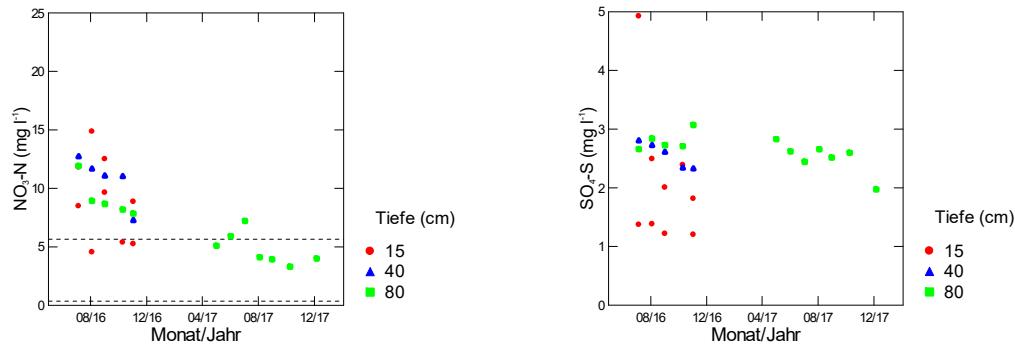


Abb. 381: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

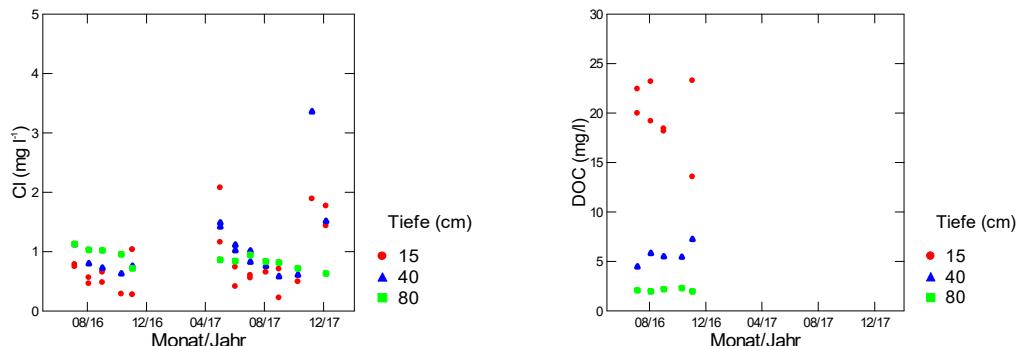


Abb. 382: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster

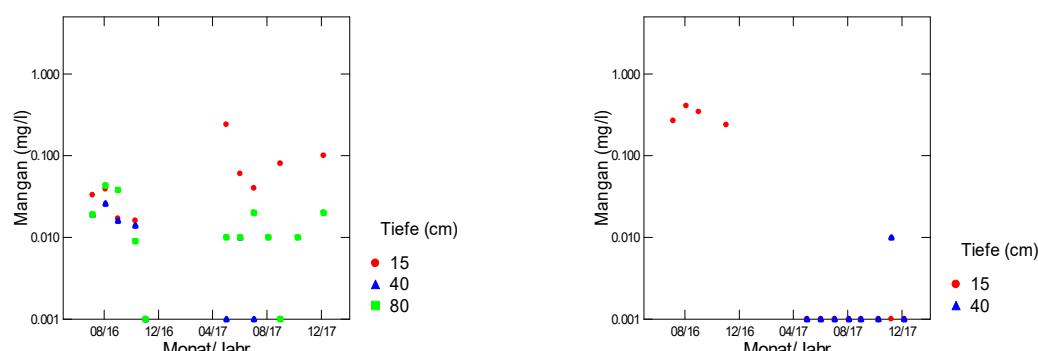


Abb. 383: Entwicklung der Mangankonzentration in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2

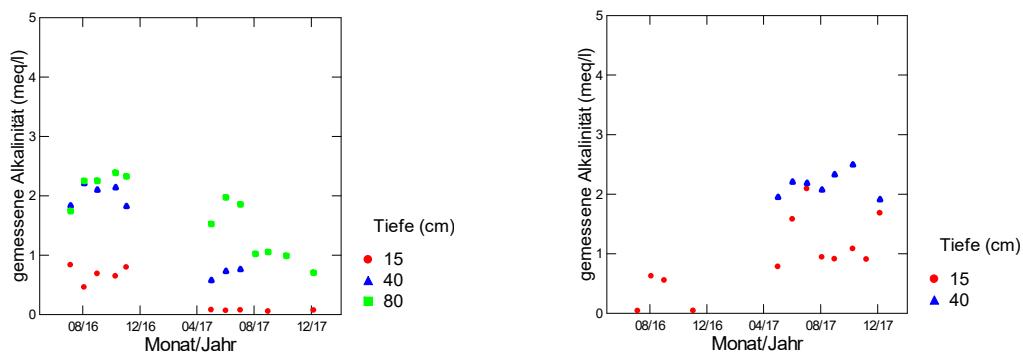


Abb. 384: Entwicklung der gemessenen Alkalinität in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2

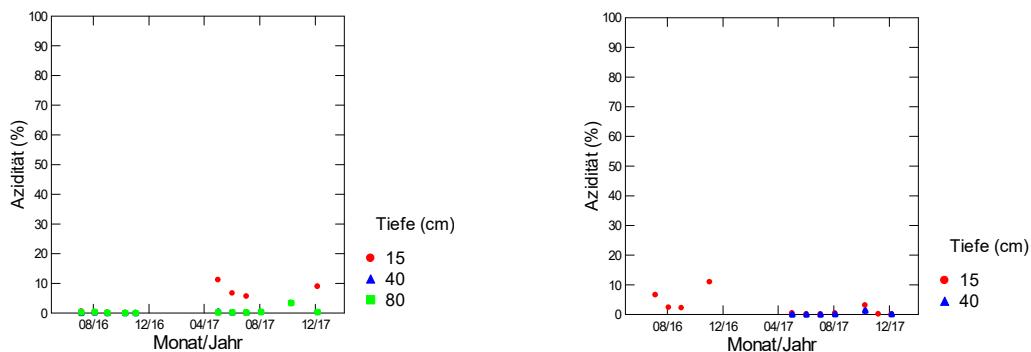


Abb. 385: Entwicklung der Azidität in der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster. Links: Subplot 1, rechts Subplot 2

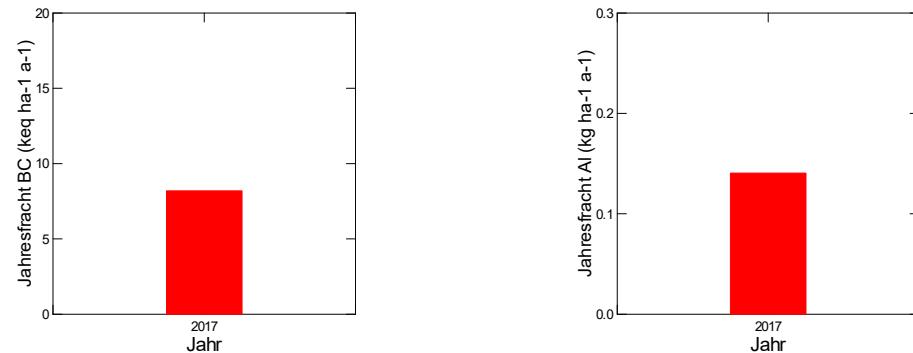


Abb. 386: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster in 80 cm Tiefe.

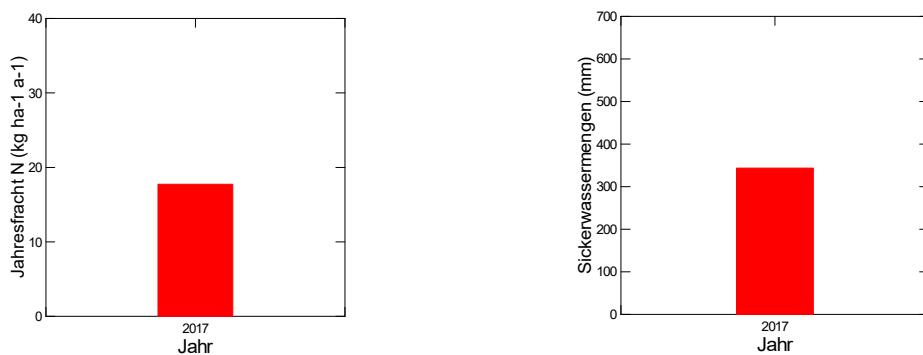


Abb. 387: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Beromünster in 80 cm Tiefe.

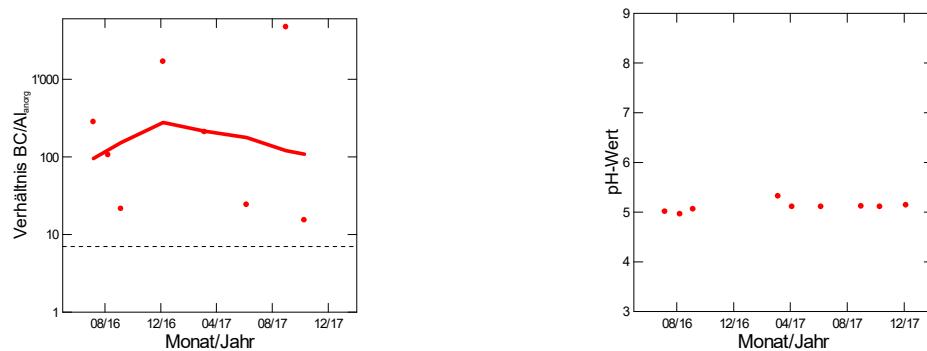
Bürglen

Abb. 388: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe.

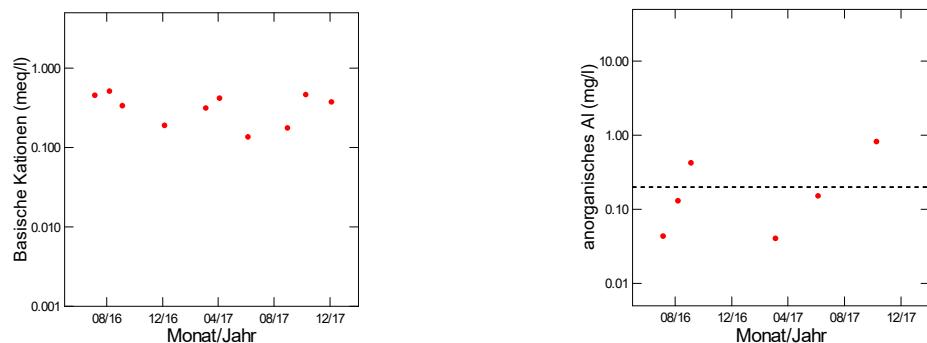


Abb. 389: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration in 20 cm Tiefe.

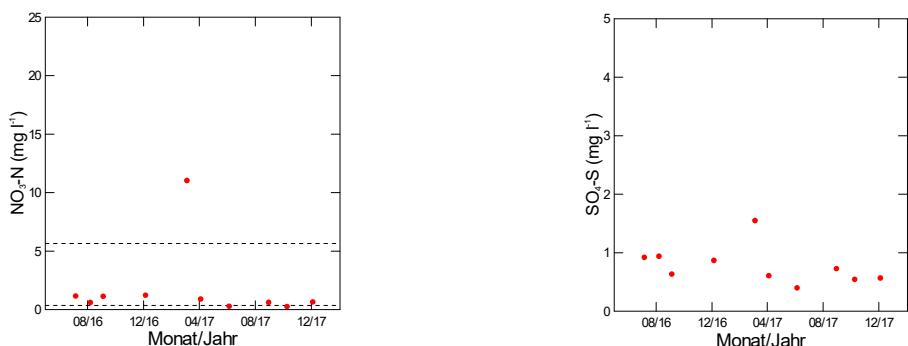


Abb. 390: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

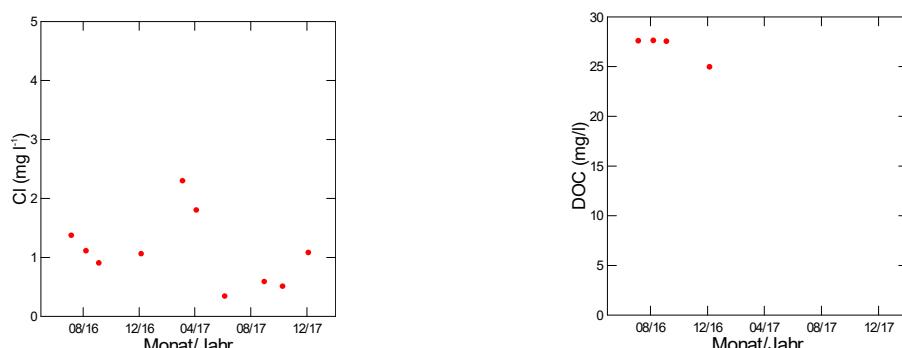


Abb. 391: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe.

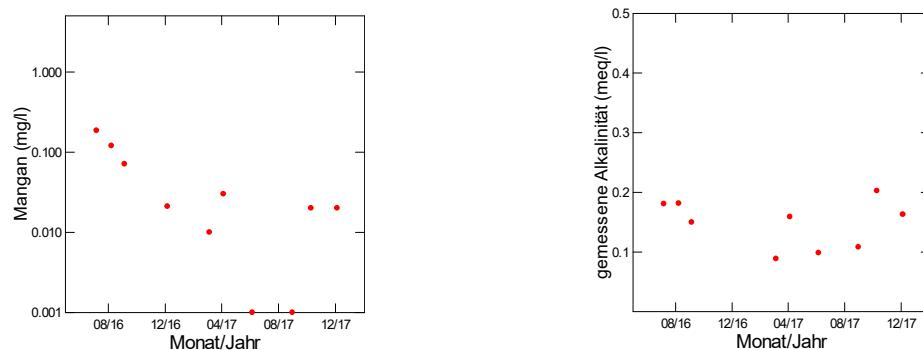


Abb. 392: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe.

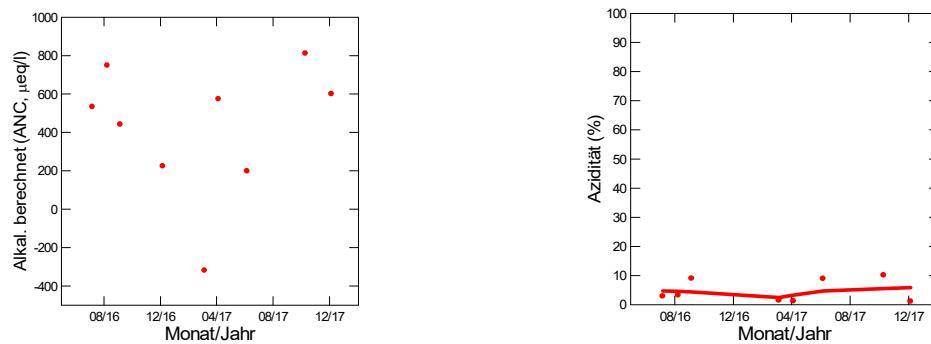


Abb. 393: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe.

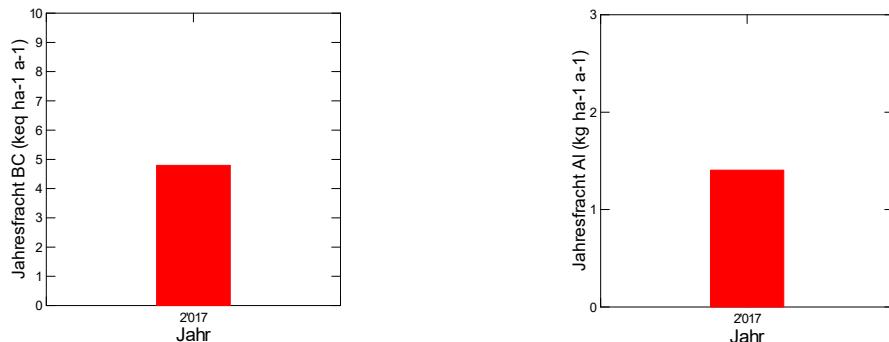


Abb. 394: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe.

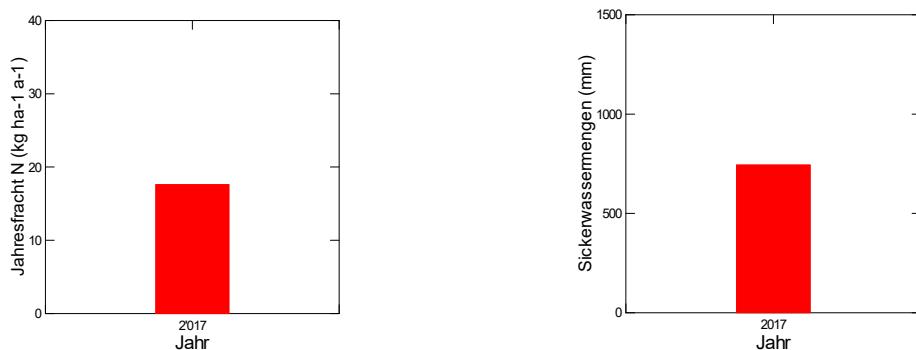


Abb. 395: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Bürglen in 20 cm Tiefe.

Gelfingen

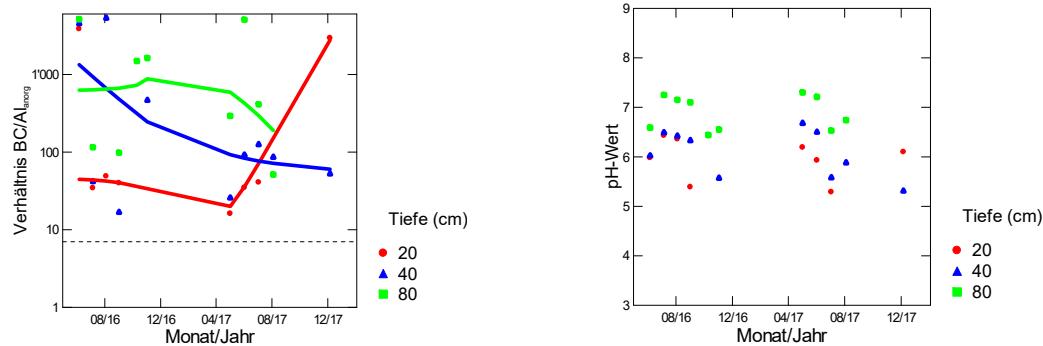


Abb. 396: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen.

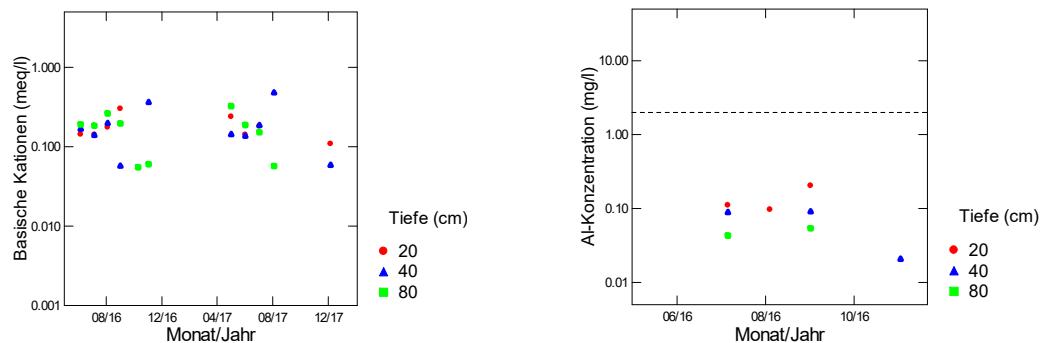


Abb. 397: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

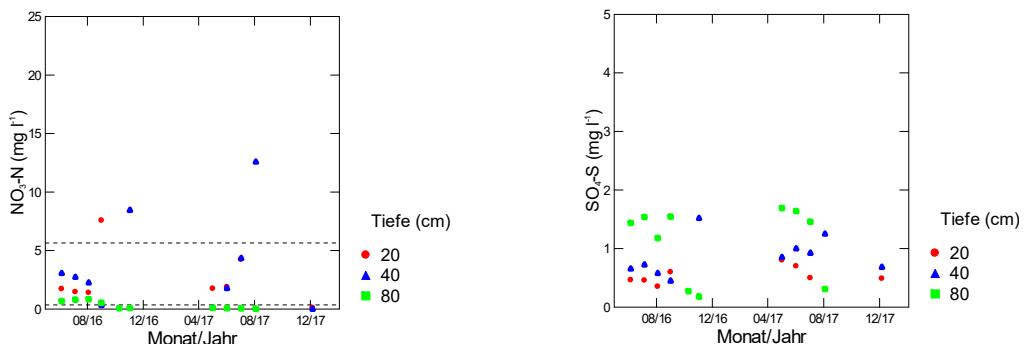


Abb. 398: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

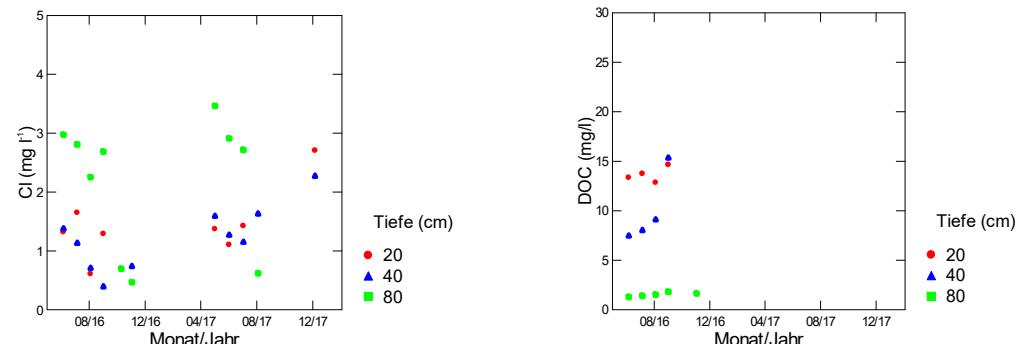


Abb. 399: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen.

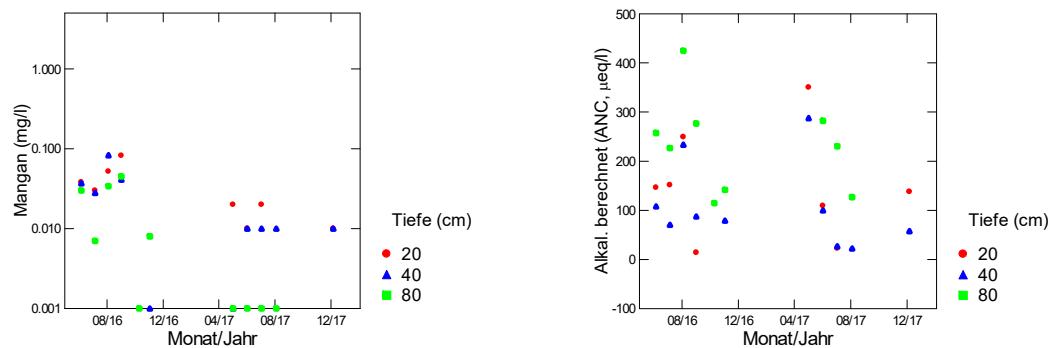


Abb. 400: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen.

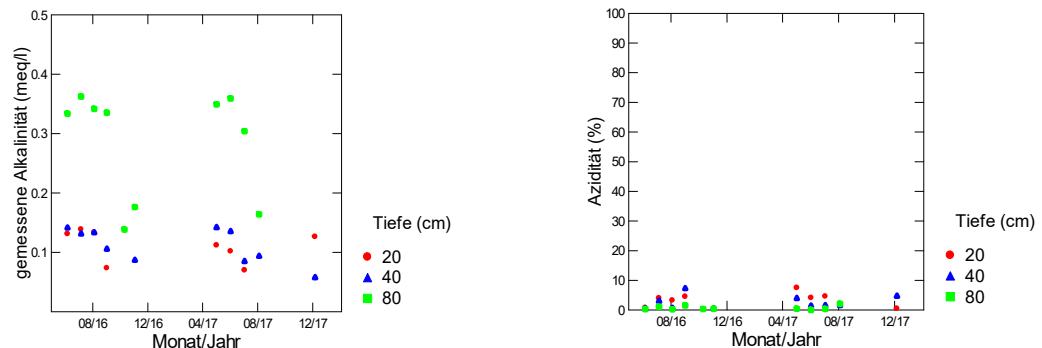


Abb. 401: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen.

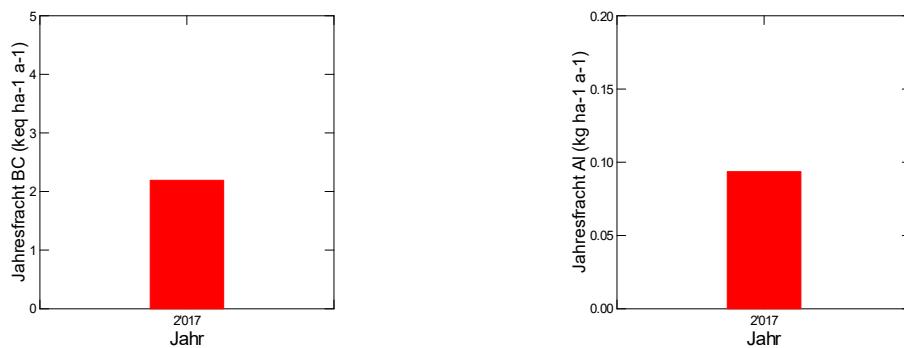


Abb. 402: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen in 80 cm Tiefe.

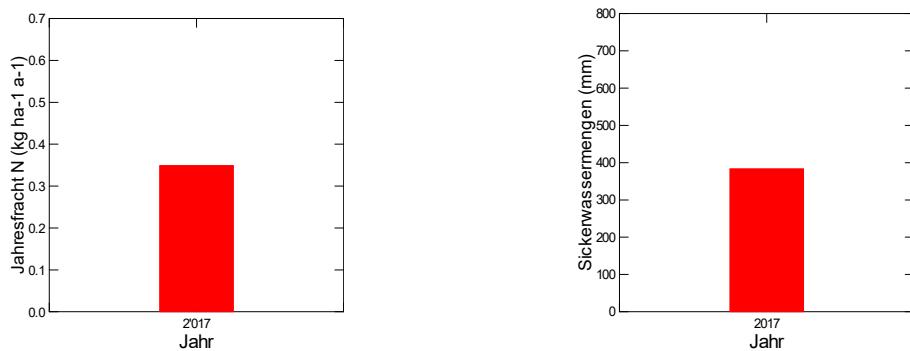


Abb. 403: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Gelfingen in 80 cm Tiefe.

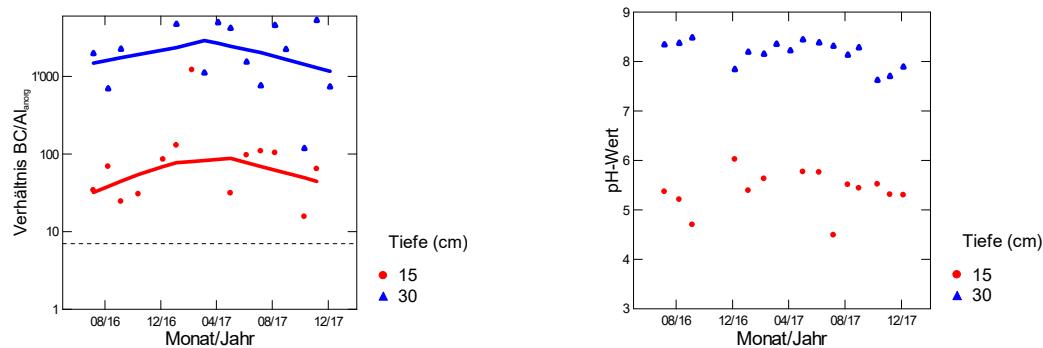
Giswil

Abb. 404: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil.

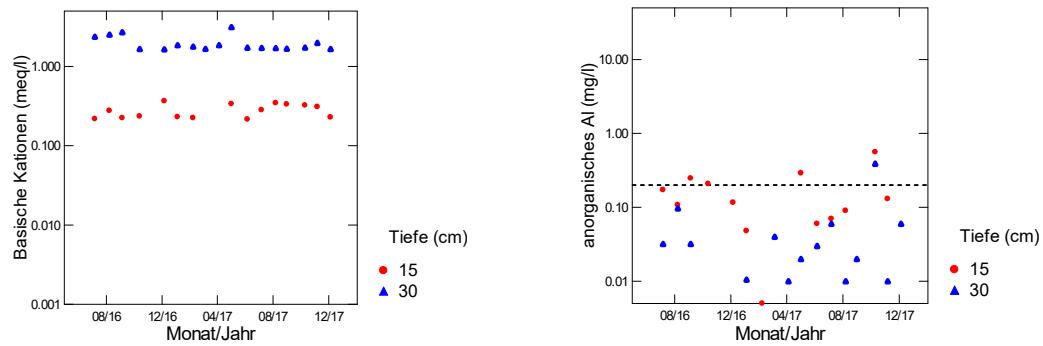


Abb. 405: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

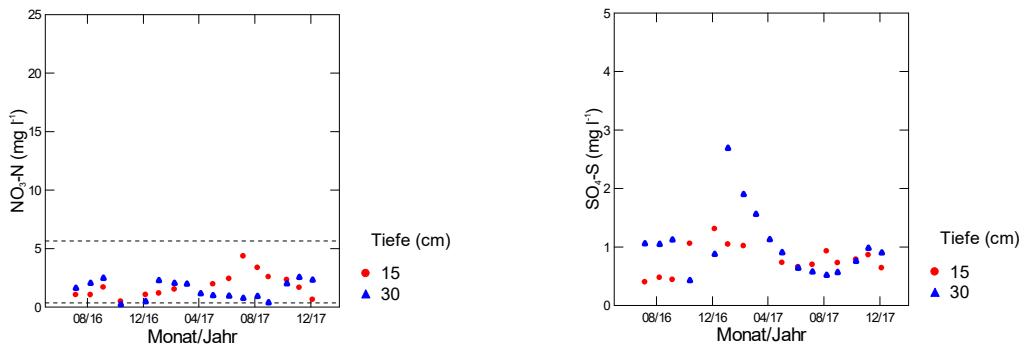


Abb. 406: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

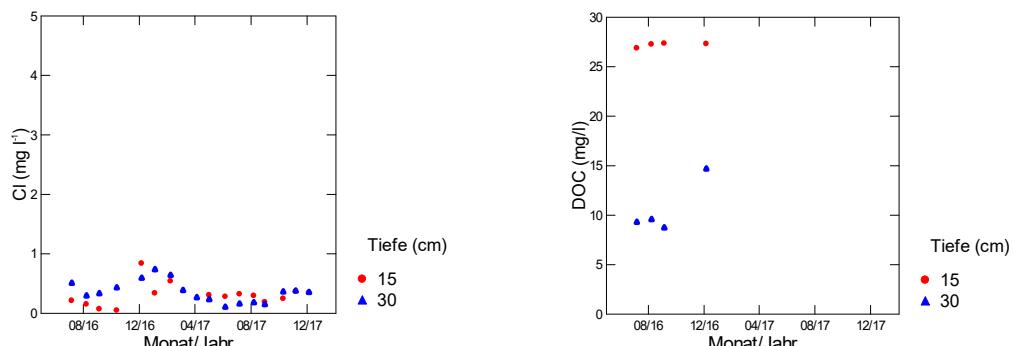


Abb. 407: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil

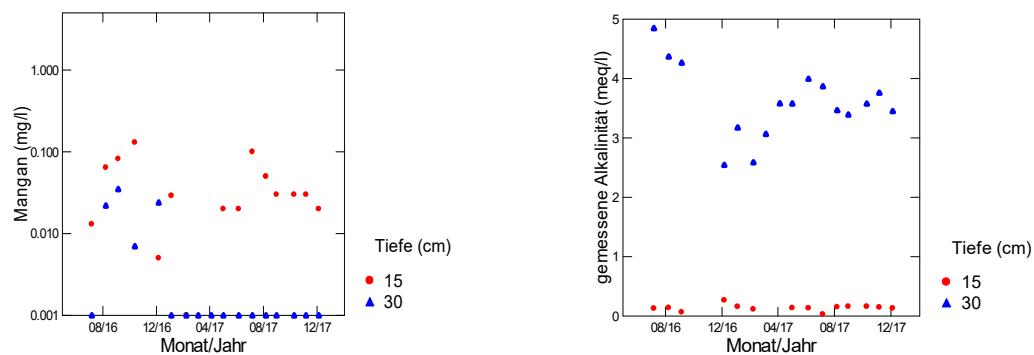


Abb. 408: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil.

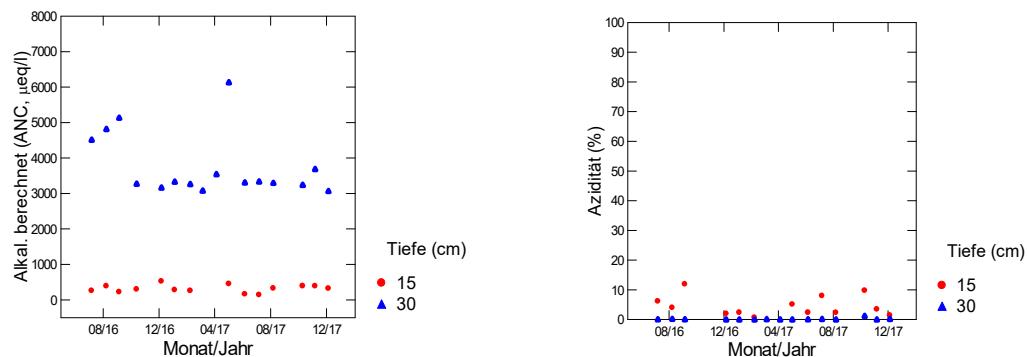


Abb. 409: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil.

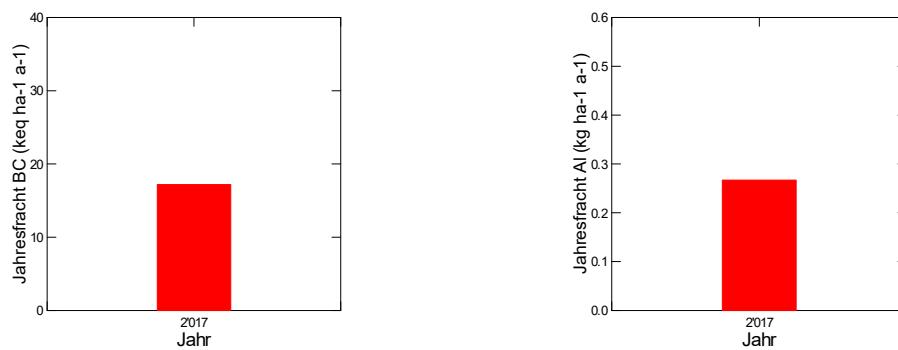


Abb. 410: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil in 30 cm Tiefe.

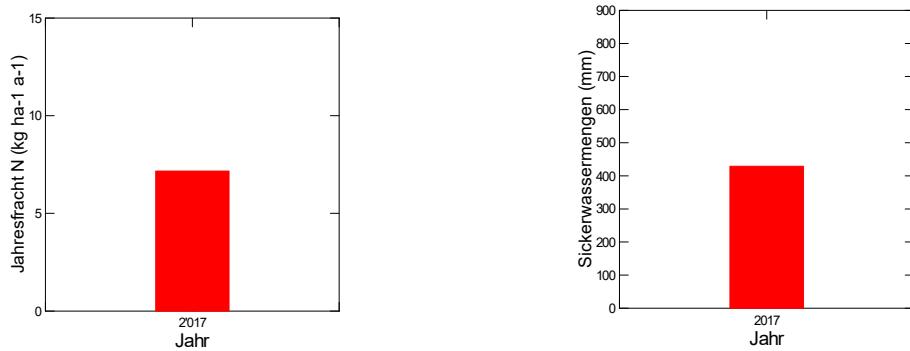


Abb. 411: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Giswil in 30 cm Tiefe.

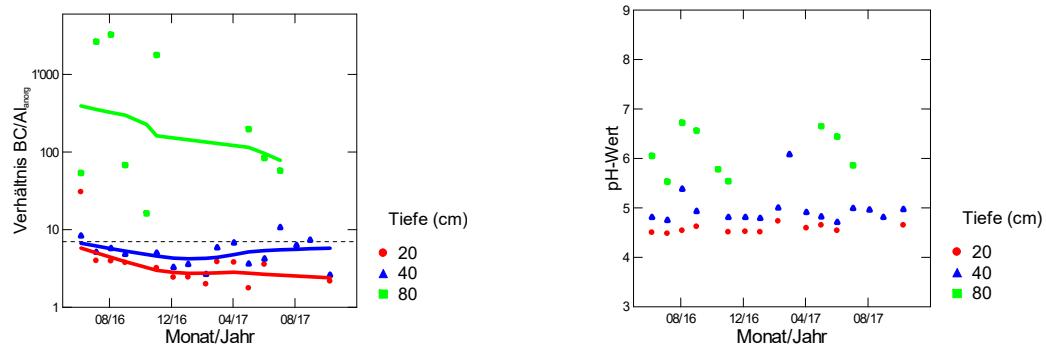
Grosswangen

Abb. 412: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen.

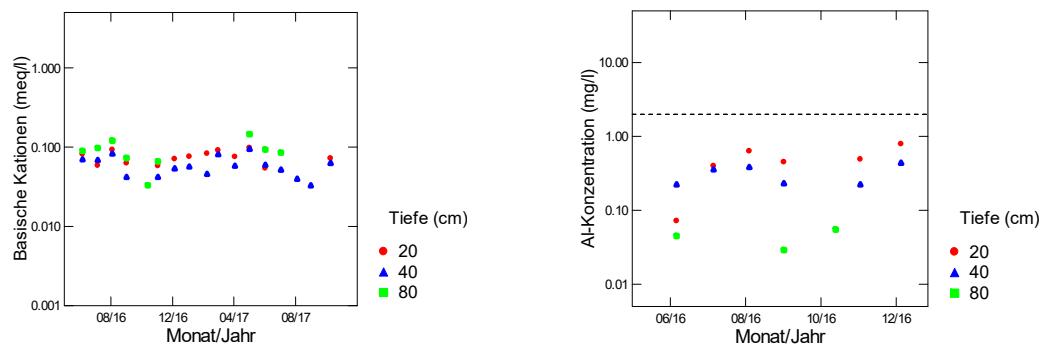


Abb. 413: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

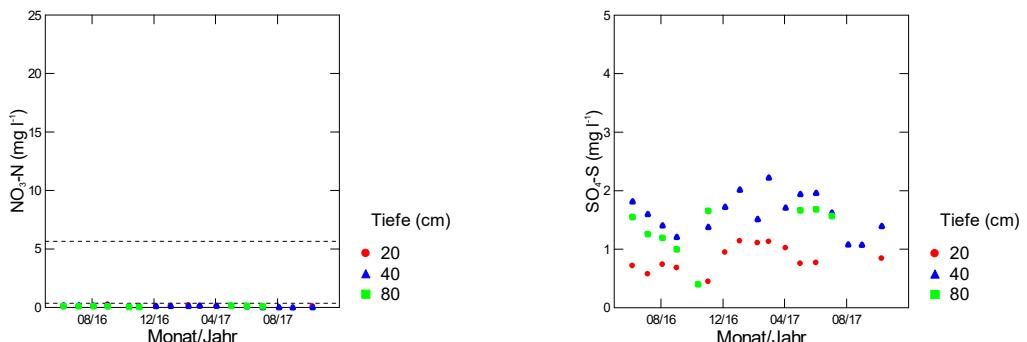


Abb. 414: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

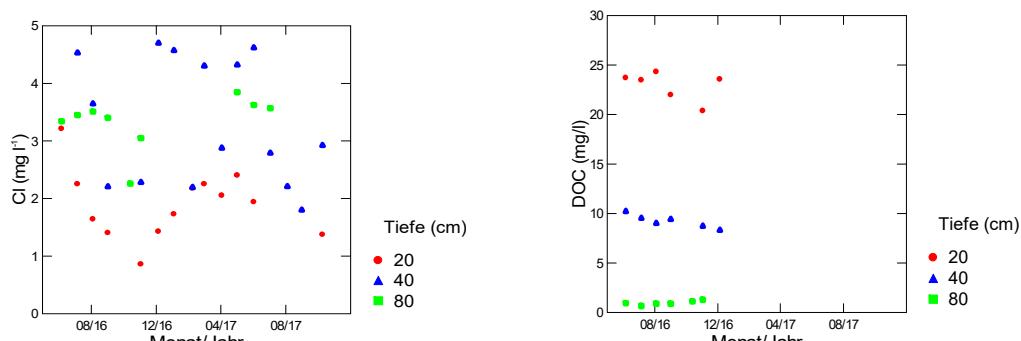


Abb. 415: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen

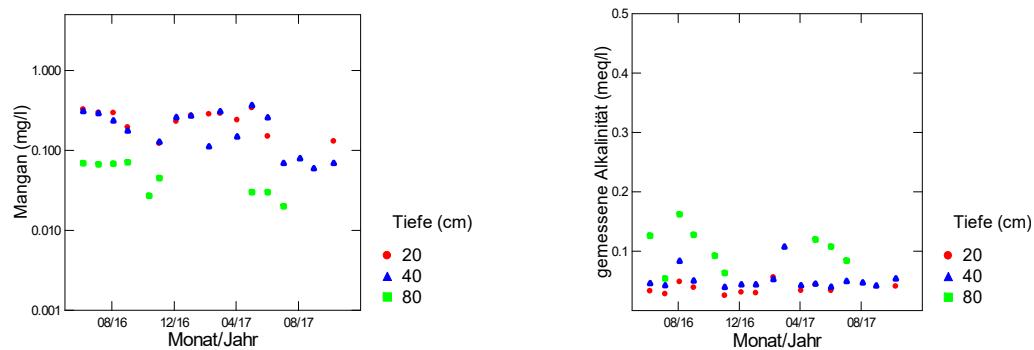


Abb. 416: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen

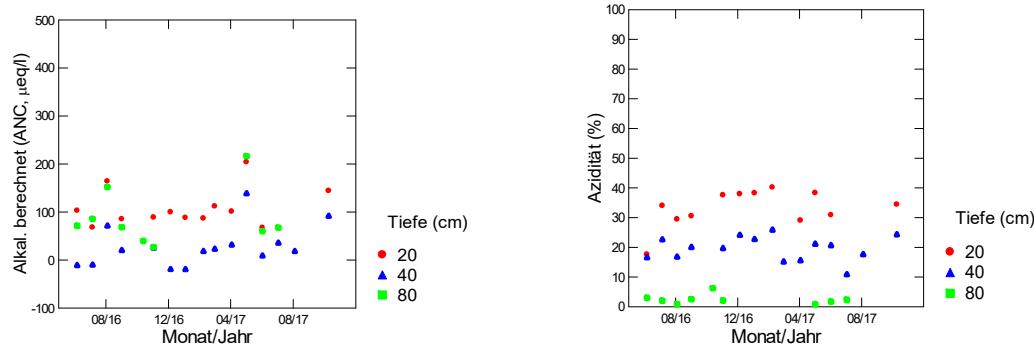


Abb. 417: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen.

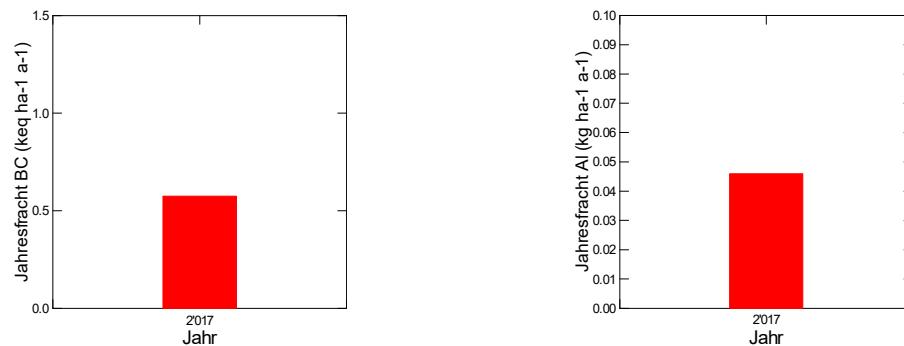


Abb. 418: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen in 80 cm Tiefe.

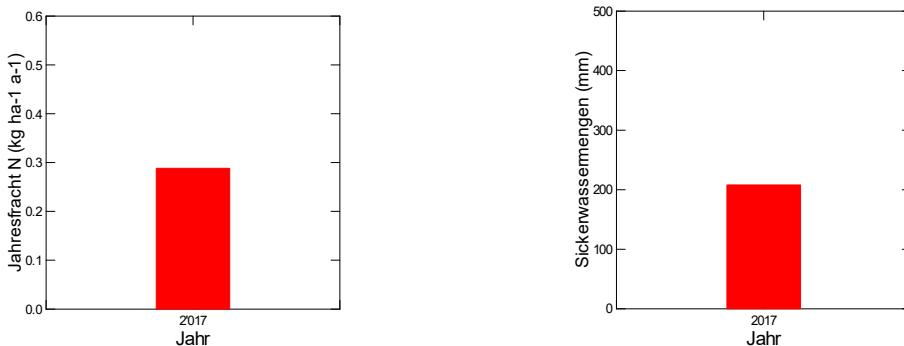


Abb. 419: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Fichtenbeobachtungsfläche Grosswangen in 80 cm Tiefe.

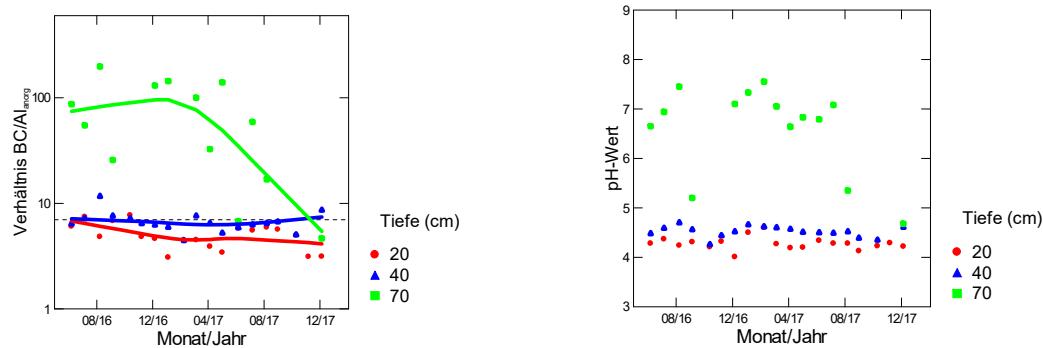
Sempach

Abb. 420: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach.

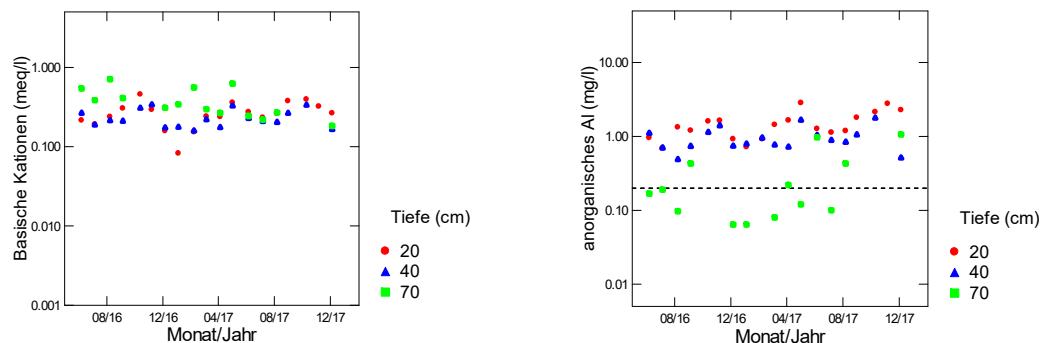


Abb. 421: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

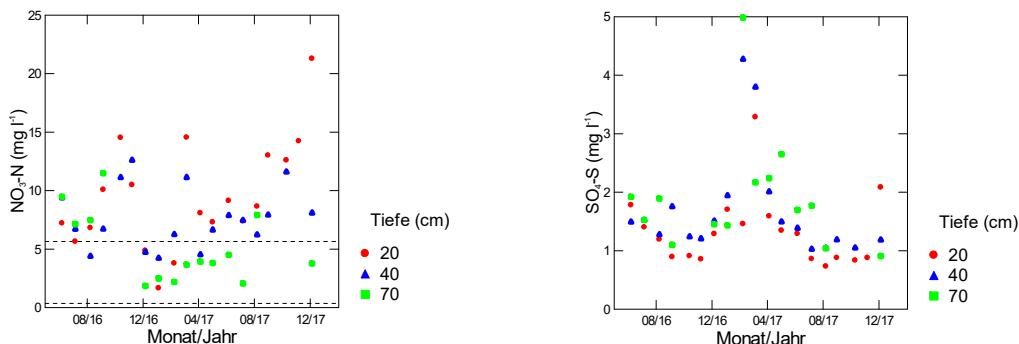


Abb. 422: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

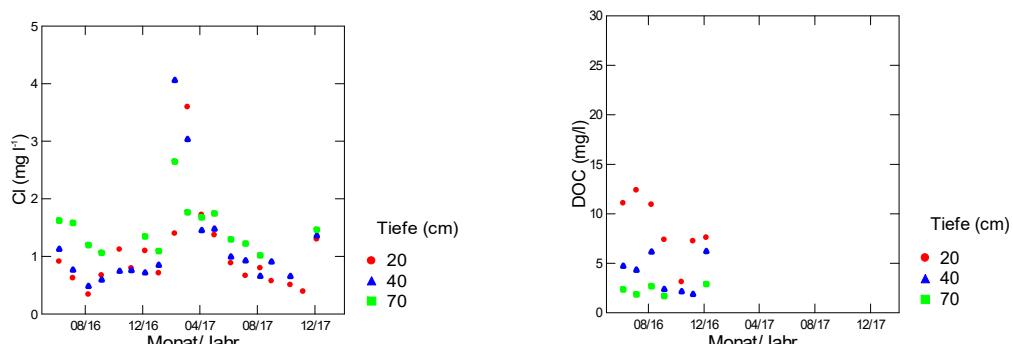


Abb. 423: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach

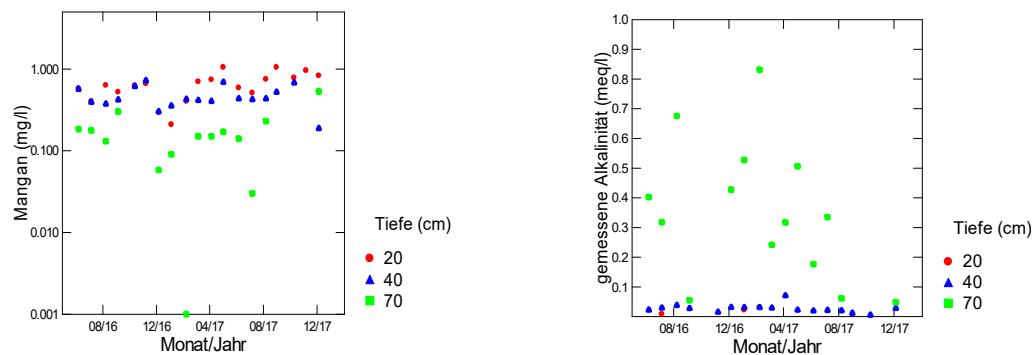


Abb. 424: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach

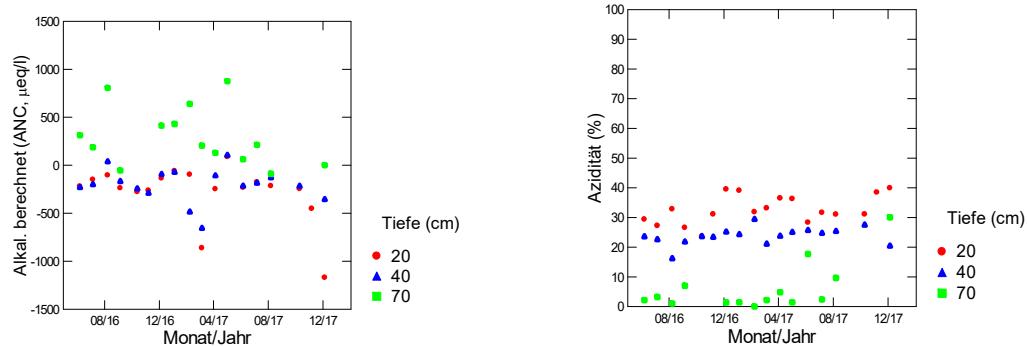


Abb. 425: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach.

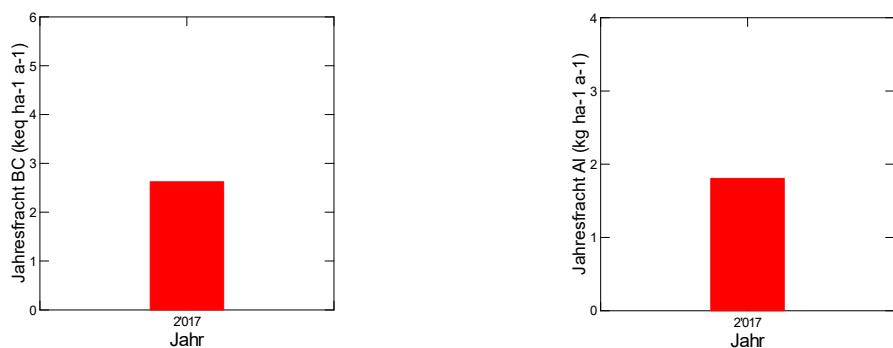


Abb. 426: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach in 70 cm Tiefe.

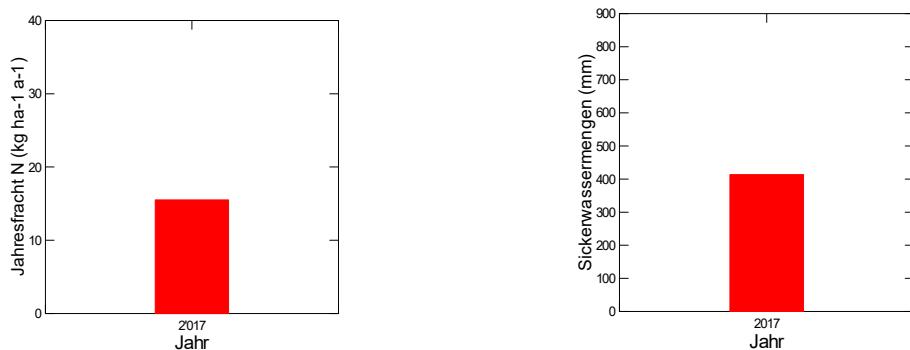


Abb. 427: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Sempach in 70 cm Tiefe.

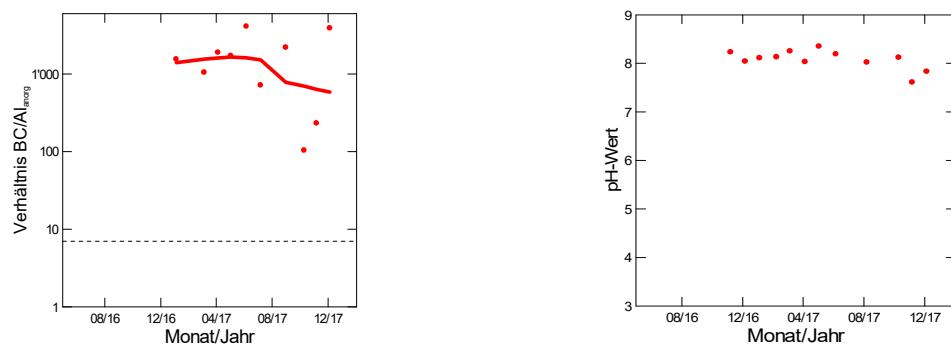
Stans

Abb. 428: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe.

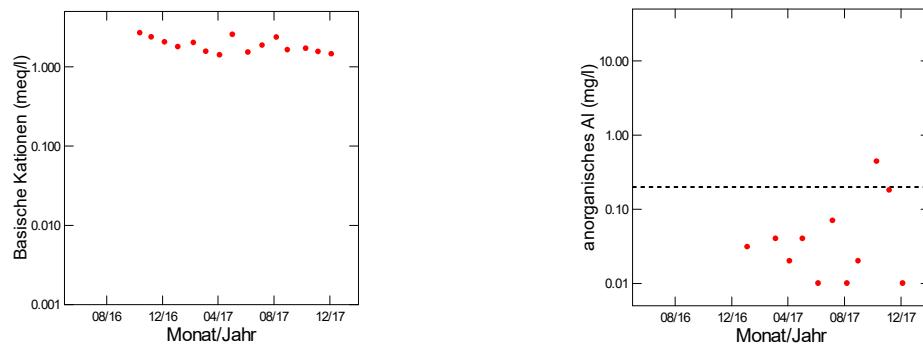


Abb. 429: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration in 30 cm Tiefe.

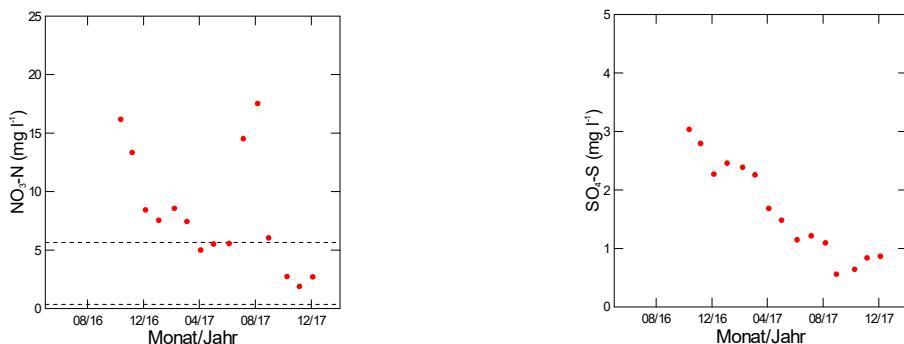


Abb. 430: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

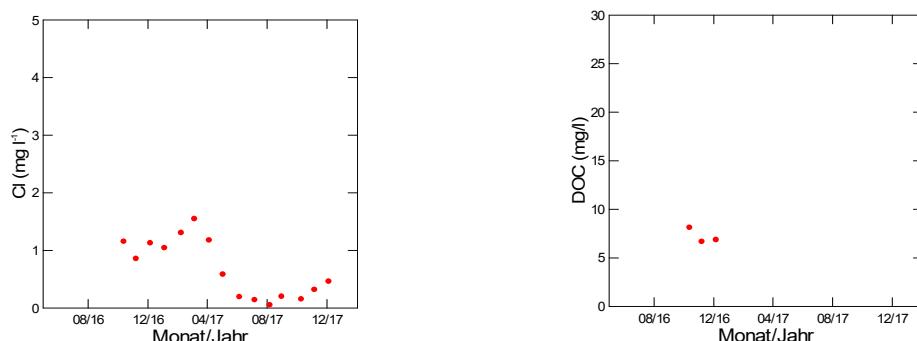


Abb. 431: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe.

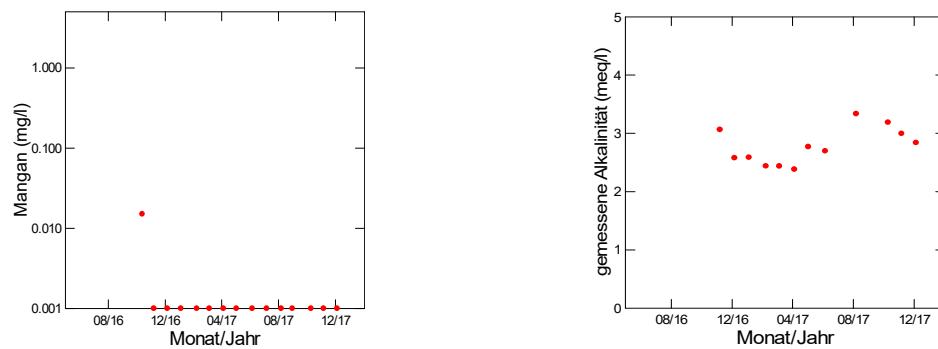


Abb. 432: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe.

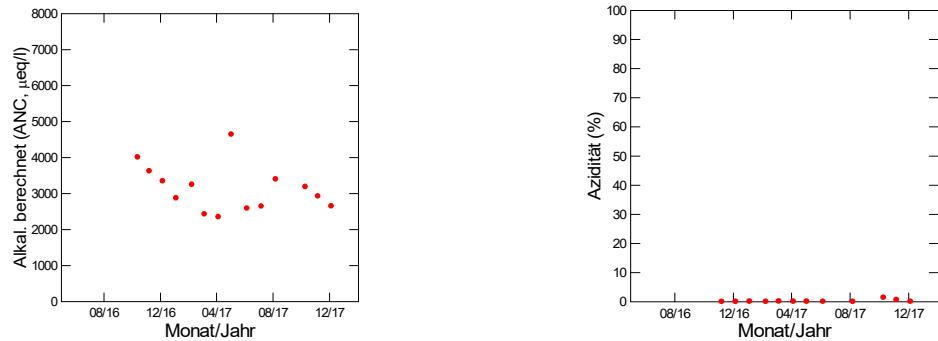


Abb. 433: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe.

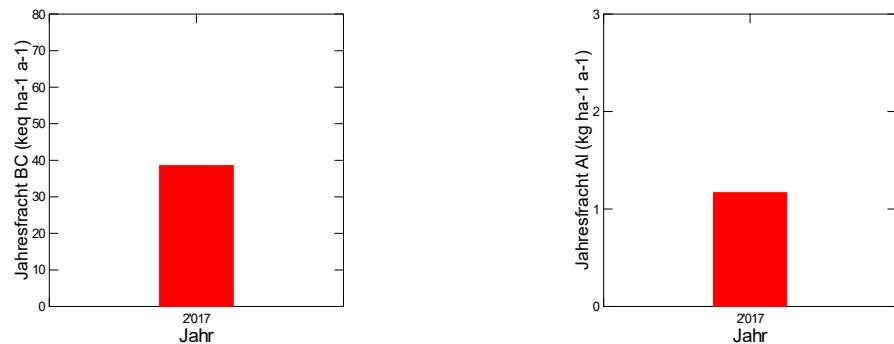


Abb. 434: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe.

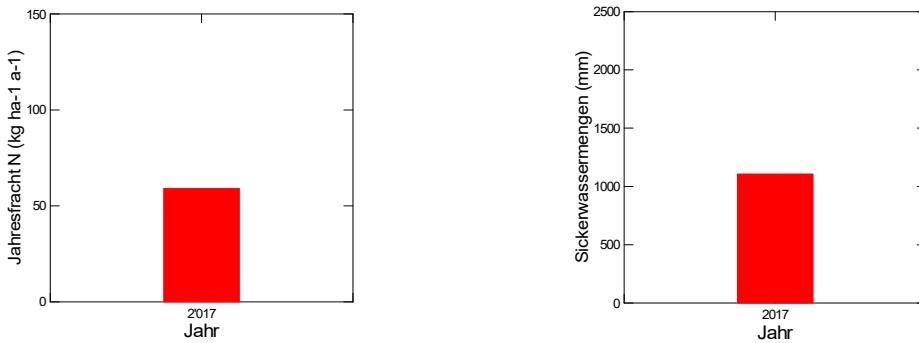


Abb. 435: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Stans in 30 cm Tiefe.

Wangen Schwyz

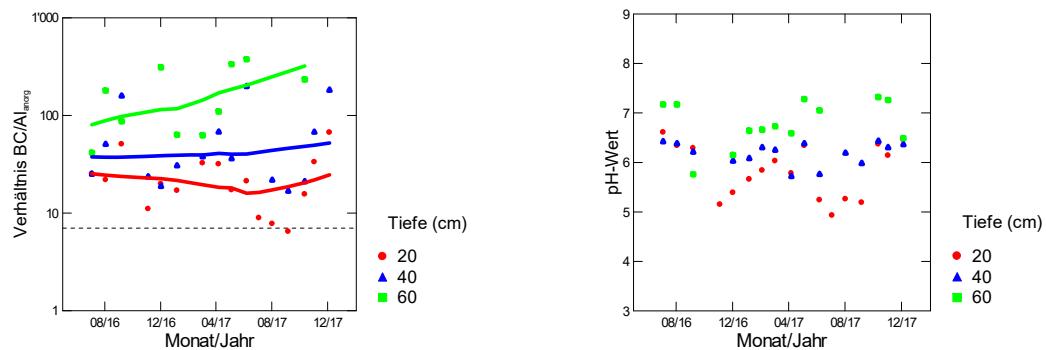


Abb. 436: Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses (links) und des pH-Wertes (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz.

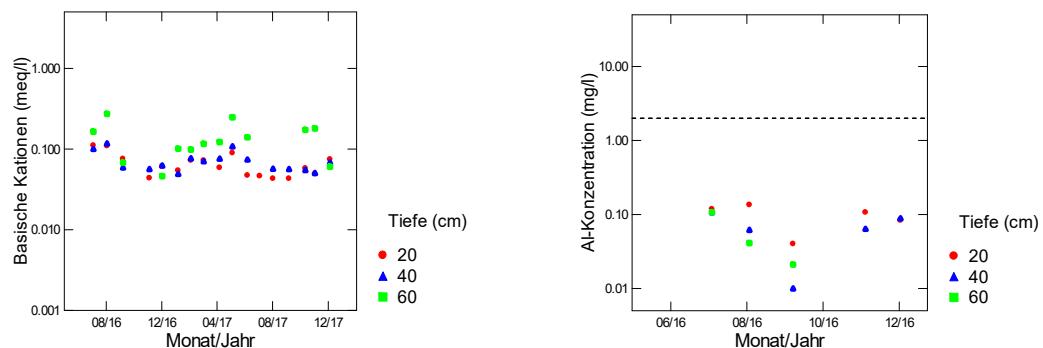


Abb. 437: Entwicklung der Konzentration von basischen Kationen (BC) (links) und der Konzentration von anorganischem Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz. Die gestrichelte Linie in der rechten Grafik ist die kritische Al-Konzentration.

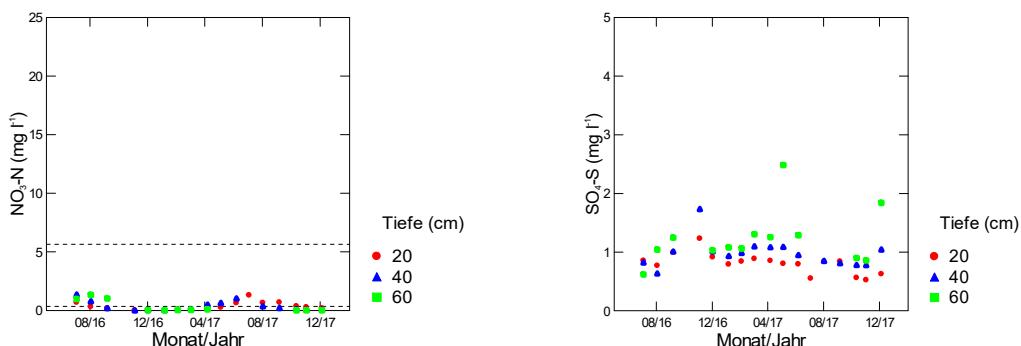


Abb. 438: Entwicklung der Konzentration von Nitratstickstoff (links) und von Sulfatschwefel (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz. In der linken Grafik entspricht die untere gestrichelte Linie der maximal zulässigen N-Auswaschung, die obere Linie dem Nitrat-Qualitätsziel für Trinkwasser in der Schweiz.

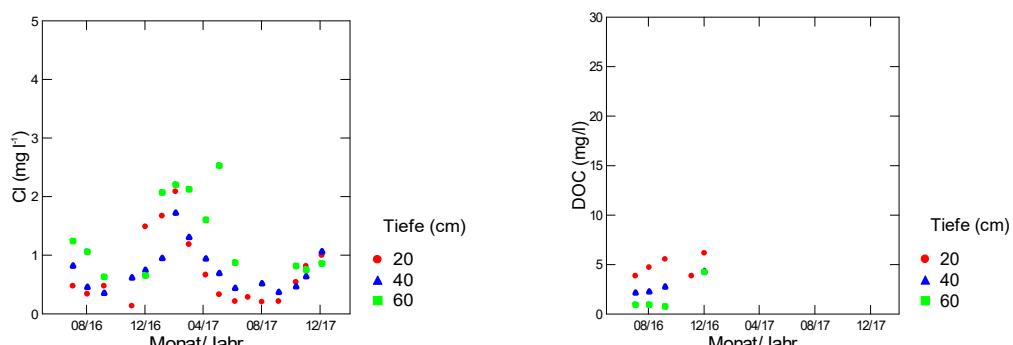


Abb. 439: Entwicklung der Chloridkonzentration (links) und der Konzentration an gelöstem organischem Kohlenstoff (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz.

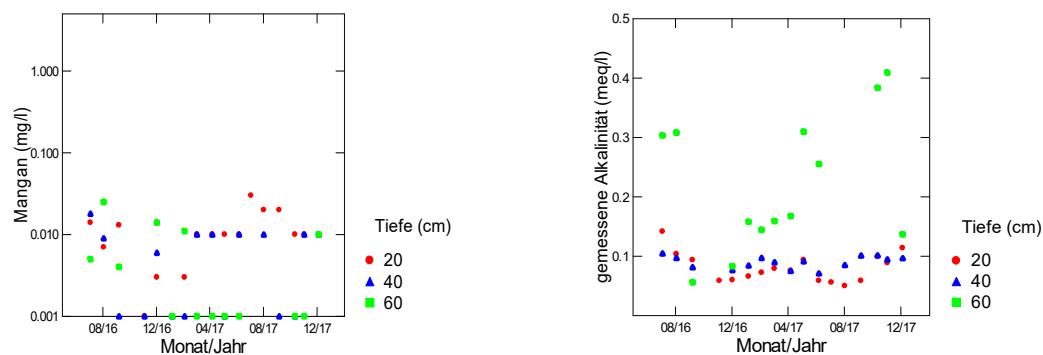


Abb. 440: Entwicklung der Mangankonzentration (links) und der gemessenen Alkalinität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz.

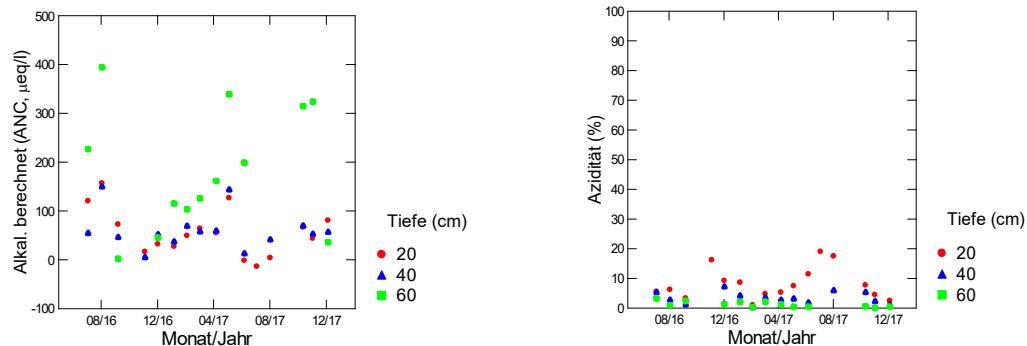


Abb. 441: Entwicklung der berechneten Alkalinität (links) und der Azidität (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz.

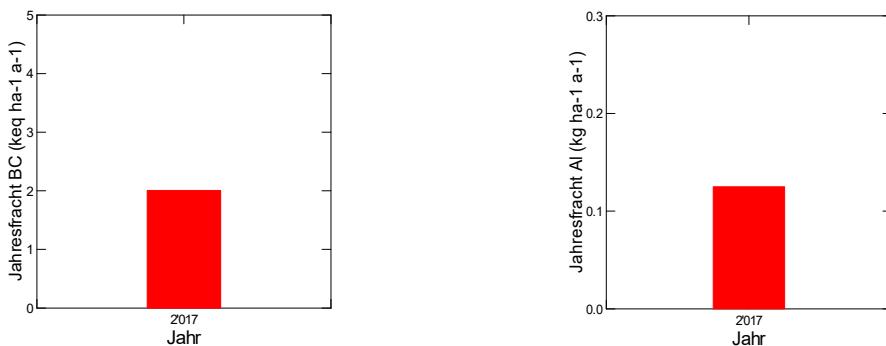


Abb. 442: Jährliche Frachten von basischen Kationen (links) und von Aluminium (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz in 60 cm Tiefe.

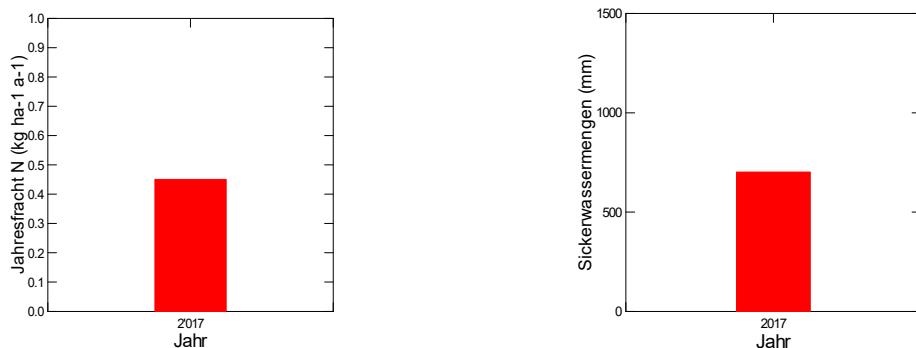


Abb. 443: Jährliche N-Fracht (links) und Sickerwassermenge (rechts) in der Bodenlösung der Buchenbeobachtungsfläche Wangen Schwyz in 60 cm Tiefe.