

UN/ECE Integrated Monitoring-Programm
Fortsetzung des Integrated Monitoring Programms
an der Station Neuglobsow

Abschlussbericht

Förderkennzeichen 351 01 040/03

H. Schulte-Bisping und F. Beese

Büsgen-Institut, Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen
Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Februar 2011

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	3
1. Unterprogramm Streufall (LF)	3
2. Unterprogramm Blatt- und Nadelanalyse (FC)	8
3. Unterprogramm Stammablauf (SF)	10
4. Lachgas- und CO ₂ -Emissionen der Waldmessfläche	12
5. Zeitliche Entwicklung von pH-Werten, Kationen und Anionen in Freiland-niederschlag, Kronentraufe, Sickerwasser, Grund- und Seewasser (1998 – 2010)	14
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	16
Literatur	17
Anhang	19

Einleitung

Das Integrated Monitoring Programm (IM) ist eines von sechs internationalen Kooperationsprogrammen (ICPs) der Genfer Luftreinhaltekonvention mit deutscher Beteiligung. Es befasst sich mit der "umfassenden Beobachtung der Wirkungen von Luftverschmutzung auf Ökosysteme", die nicht aus lokalen Quellen, sondern aus dem großräumigen grenzüberschreitenden Transport von Schadstoffen stammen. Die Ergebnisse des Integrated Monitoring sind von hohem Bundesinteresse, da sie für internationale Berichtspflichten der Genfer Luftreinhaltekonvention und zur Positionierung der Bundesregierung in internationalen Verhandlungen benötigt werden.

Die UBA-Tiefland-Messstelle Neuglobsow (DE02) bietet ideale Voraussetzungen für Effektbeobachtungen von Luftschadstoffen auf Waldökosysteme. Seit 1998 werden an der Station vom UBA IM-Daten zu Niederschlägen, Bodenwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser, Klima und Wetter erhoben. Seit 2003 besteht eine enge Kooperation zwischen dem Büsgen-Institut, Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zone (PGZ), vormals Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Fakultät für Forstwissenschaften in Göttingen und dem Umweltbundesamt (UBA). Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, die seit 1998 durchgeführten Untersuchungen zur Meteorologie, Luftchemie und Hydrologie auszuweiten und das bestehende Monitoring um wichtige waldökologische Aspekte zu ergänzen. Dazu zählen insbesondere die IM Unterprogramme Streufall (LF), Blatt- und Nadelanalyse (FC), Stammablauf (SF) sowie Untersuchungen zur mikrobiellen Aktivität (MB) und Kohlenstoff-Bilanzierung. Diese Arbeiten wurden im Jahr 2010 fortgesetzt und die Ergebnisse werden im Folgenden präsentiert.

1. Unterprogramm Streufall (LF)

Streufalluntersuchungen dienen dazu, die internen Nährstoffflüsse (Makro-, Mikroelemente und Kohlenstoff) in ihrer saisonalen und langfristigen Dynamik zu erfassen (Kowalkowski 2003). Zu diesem Zweck wurden auf der Waldmessfläche 12 Streusammler mit einer Gesamtaufangfläche von 3.0 m² entlang der Depositionssammler aufgestellt, um die im Bestandesabfall enthaltenen Mineralstoffe abzuschätzen. Die Probenahme begann mit dem herbstlichen Laubfall im Jahr 2003. Für die chemische Analyse werden monatliche Mischproben bestehend aus den drei Fraktionen Buchenblätter, Kiefernadeln und Rest gebildet. Abhängig von der Jahreszeit beinhaltet die Restfraktion heruntergefallene Blattknospen, Blüten, Rinde, Früchte, Zapfen oder auch kleinere Äste. Mittlerweile liegen die Ergebnisse bis November 2009 vor (Abb.1), wobei die Menge des Streufalls in den einzelnen Jahren stark variierte. Die Trockenmassen lagen zwischen 5,28 t ha⁻¹ im Jahr 2005 und 7,83 t ha⁻¹ im Mastjahr 2004 bei einem mittleren Streueintrag von $6,45 \pm 1,01$ t TM pro Hektar und Jahr.

Der zeitliche Verlauf der Elementgehalte in der Streu zeigt für die Elemente Stickstoff und Kalzium eine starke Saisonalität, wobei auch die Varianz innerhalb einzelner Monate größer ist als beispielsweise bei den Elementen Kalium und Magnesium (Abb.2). Dies gilt für die Buchen- und Kiefernstreu gleichermaßen, allerdings weisen die Gehalte in der Kiefernstreu (Abb.3) mit Ausnahme von Kohlenstoff deutlich niedrigere Werte auf.

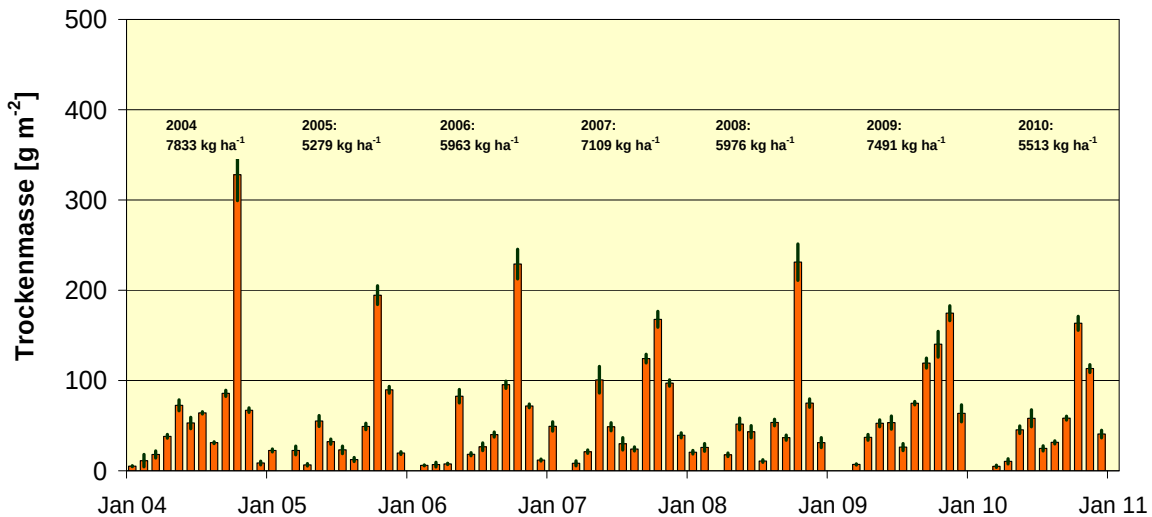


Abb. 1: Verteilung der Streufallmenge in Neuglobsow (2004 – 2010)

Der Kohlenstoffgehalte in der Buchenstreu liegen im Mittel bei 49,4 %, in der Kiefernstreu beträgt der C-Anteil etwa 52,9 %. In der Buchenstreu wurde ein mittlerer Stickstoffgehalt von 1,73 % gemessen, während die Kiefernstreu lediglich einen N-Gehalt von 0,92 % aufwies.

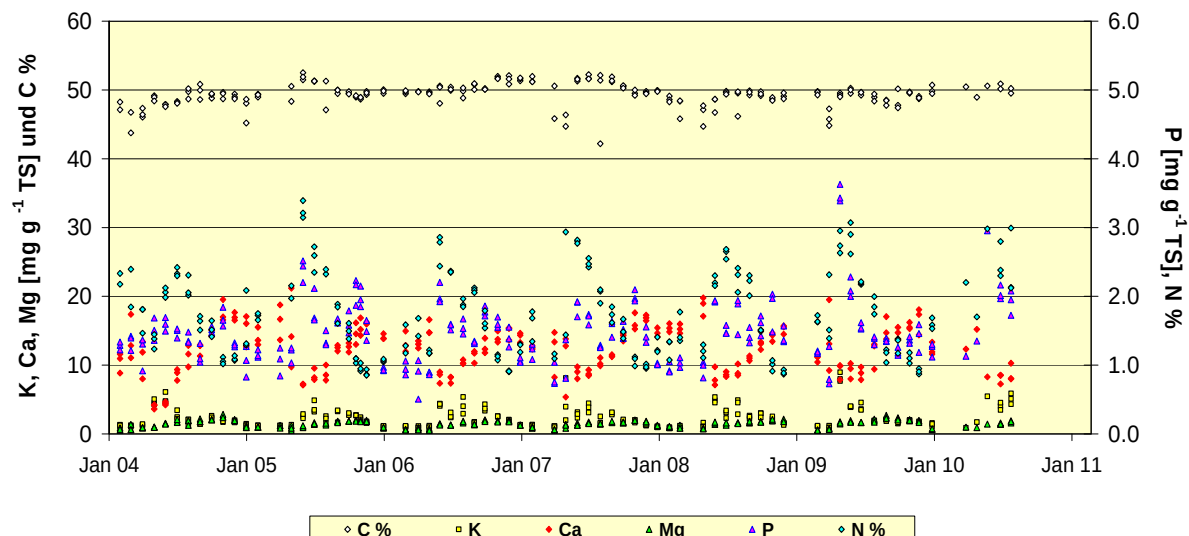


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Makroelementgehalte in der Buchenstreu (n=3)

Dieser Befund führt zu großen Unterschieden in den C:N-Verhältnissen zwischen beiden Baumarten: die Buchenstreu weist mittlere C:N-Verhältnisse von 32 auf, hingegen sind die über Messperiode von 2004-2009 gemittelten Verhältnisse in der Kiefernstreu mit 63 als

wesentlich ungünstiger zu bewerten. Auch der mittlere P-Gehalt der Kiefernstreu liegt mit $0,73 (\pm 0,25)$ mg etwa nur halb so hoch verglichen mit dem in der Buchenstreu gemessenen Wert von $1,47 (\pm 0,44)$ mg g⁻¹ TS.

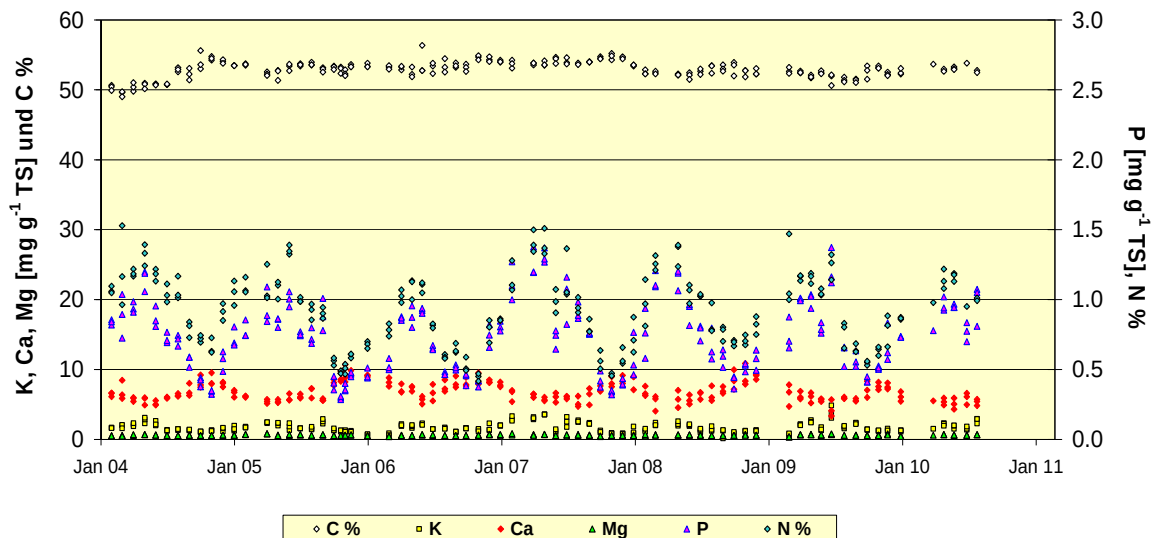


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Makroelementgehalte in der Kiefernstreu (n=3)

Die jährlichen Elementeinträge mit der Streu korrespondieren mit den jeweils gemessenen Streufallmengen. In der Buchenstreu fallen besonders die Kalzium- und Stickstoffeinträge auf (Tab.1): der Ca-Eintrag liegt im 6-jährigen Mittel bei $34,5 \pm 1,6$ kg ha⁻¹ und basiert zu über 80 Prozent auf dem herbstlichen Laubfall. Dieser hohe Eintrag signalisiert darüber hinaus die gute Kalziumversorgung dieses Standorts. Die mittleren Stickstoffeinträge liegen bei $26,8 \pm 3,9$ kg ha⁻¹ und resultieren zur Hälfte aus dem herbstlichen Laubfall, etwa ein Drittel lässt sich auf die Restfraktion aus Knospenschuppen und Blüten zurückführen, die deutlich höhere N-Gehalte aufweisen. Der Kaliumeintrag reicht von 3,8 kg im Jahr 2007 bis ca. 6,9 kg ha⁻¹ im Jahr 2004, während Magnesium-Input zwischen 4,0 kg und 5,4 kg ha⁻¹ variiert, was ebenfalls zu über 75 Prozent aus dem herbstlichen Laubfall resultiert.

Tab. 1: Makroelementeintrag aus der Buchenstreu (kg ha⁻¹)

Jahr	TM	C	N	P	S	Na	K	Ca	Mg	Al
					kg ha ⁻¹					
2004	2556	1252	33.6	4.1	3.6	0.3	6.9	35.1	5.4	0.3
2005	2444	1202	25.4	4.4	2.7	0.3	5.5	36.9	4.6	0.2
2006	2413	1242	28.4	3.7	2.7	0.4	6.0	33.5	4.3	0.3
2007	2227	1109	26.1	3.7	2.4	0.4	3.8	34.9	4.0	0.2
2008	2420	1182	25.0	4.1	2.1	0.3	4.9	34.1	5.1	0.2
2009	2059	1007	22.4	2.9	2.0	0.2	3.9	32.3	4.0	0.2
mean	2353	1165	26.8	3.8	2.6	0.3	5.2	34.5	4.6	0.2
S _d	179	93	3.9	0.5	0.5	0.1	1.2	1.6	0.6	0.0

Tab. 2: Mikroelementeintrag aus der Buchenstreu (g ha^{-1})

Jahr	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
				g ha^{-1}			
2004	110.3	22.9	0.68	0.28	8.63	0.04	0.00
2005	123.2	12.8	0.91	0.06	2.78	0.01	0.06
2006	111.4	20.2	0.94	0.12	2.60	0.06	0.09
2007	107.6	13.6	0.34	0.08	2.01	0.01	0.00
2008	121.2	22.4	0.69	0.00	2.84	0.00	0.09
2009	91.2	15.4	0.88	0.05	2.44	0.15	0.12
mean	111	17.9	0.74	0.10	3.55	0.04	0.06
S_d	11.4	4.52	0.22	0.10	2.51	0.06	0.05

An Mikroelementen werden mit der Streu vor allem Zink und Kupfer in nennenswerten Mengen eingetragen (Abb. 4). Kupfer und Zink sind für Pflanzen und Tiere zwar essentielle Spurenelemente, in höheren Konzentrationen können beide Schwermetalle jedoch toxisch wirken. Die Kupfergehalte zeigen einen deutlich saisonalen und leicht abnehmenden Trend, die Zinkwerte weisen ebenfalls starke saisonale Schwankungen auf. In der Buchenstreu liegen die Zn-Gehalte zwischen 40 und 60 mg kg^{-1} TS, wobei die höheren Werte im Winterhalbjahr gemessen wurden.

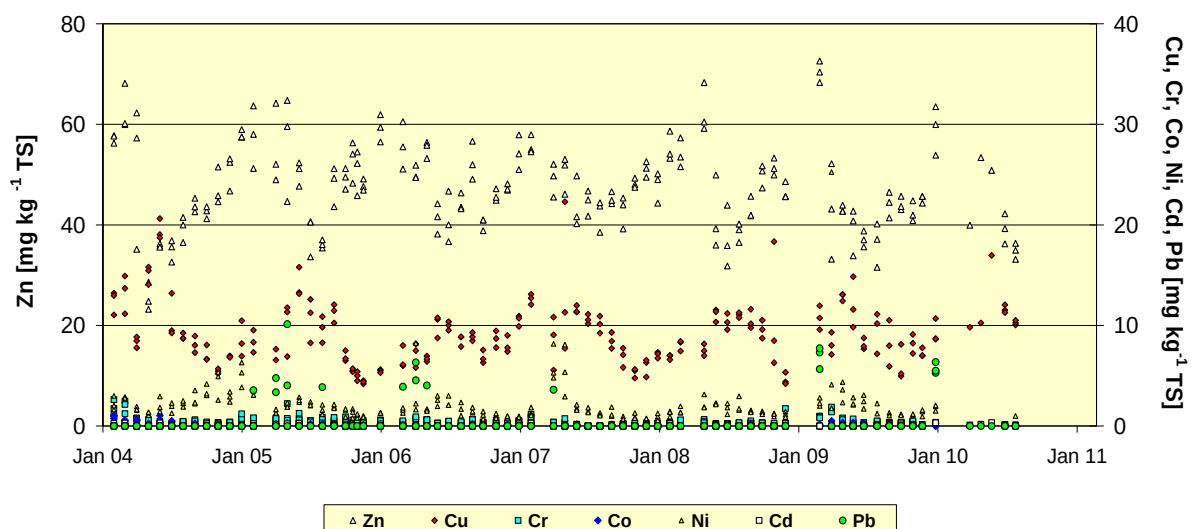


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Mikroelementgehalte in der Buchenstreu (n=3)

In den Jahren 2004 – 2006 lag der jährliche Zn-Eintrag aus der Buchenstreu zwischen 110 und 123 g ha^{-1} , der Cu- und Ni-Input betrug im Jahr 2004 bis zu 23 g bzw. 8,6 g pro Hektar. Die Einträge an Kobalt, Cadmium und Blei tendierten gegen Null und können daher zumindest in der Streu als vernachlässigbar angesehen werden.

Die Stoffeinträge aus der Kiefernstreu sind aufgrund deutlich geringerer Streufallmengen wie auch aufgrund niedriger Stoffkonzentrationen im Vergleich zur Buche deutlich reduziert. (Tab. 3 und 4). So schwanken die Trockenmassen in den Untersuchungsjahren zwischen 1211 und 1554 kg pro Hektar. Dementsprechend niedriger fallen auch die bestandesinternen

Elementflüsse mit der Kiefernstreu aus: im 6-jährigen Mittel gelangen $9,6 \pm 1,2$ kg Stickstoff, $10,7 \pm 1,2$ kg Kalzium, $0,7 \pm 0,1$ kg Phosphor sowie $0,8 \pm 0,1$ kg Magnesium auf einen Hektar Waldboden.

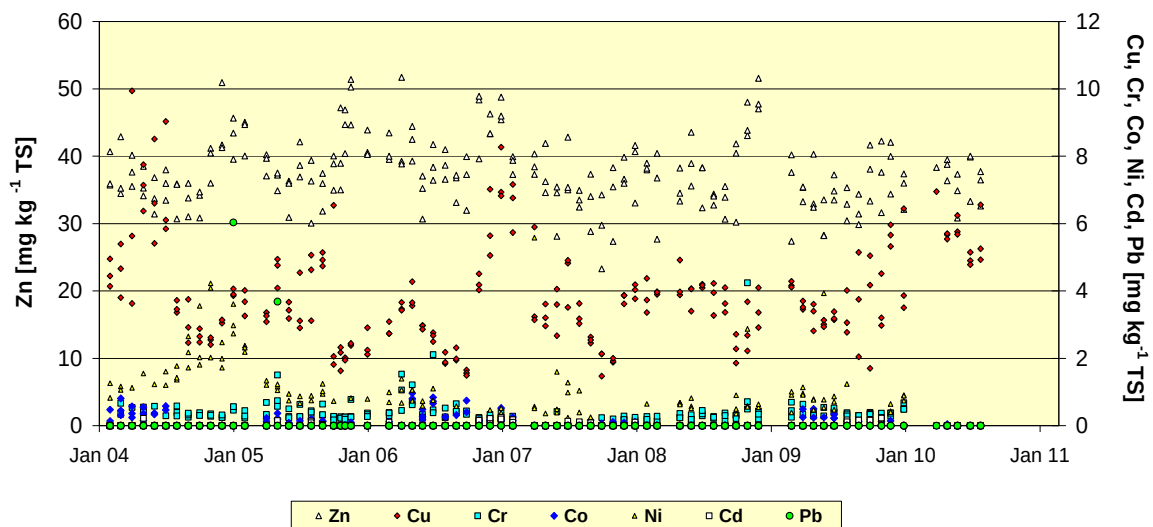


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Mikroelementgehalte in der Kiefernstreu (n=3)

An Mikroelementen wurden mittlere jährliche Eintragsraten von 52,6 g Zink, 4,4 g Kupfer und max. 3 g Nickel pro Hektar ermittelt. Die Analysen der Schwermetalle Chrom, Kobalt sowie Cadmium und Blei lagen dagegen überwiegend im Bereich der Nachweisgrenze und sind mit Werten unter $1 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ als vernachlässigbar einzustufen.

Tab. 3: Makroelementeintrag aus der Kiefernstreu (kg ha^{-1})

Jahr	TM	C	N	P	S	Na	K	Ca	Mg	Al
					kg ha^{-1}					
2004	1237	663	9.7	0.6	0.9	0.2	1.7	9.7	0.7	0.2
2005	1211	639	8.0	0.6	0.9	0.2	1.7	9.9	0.7	0.2
2006	1554	836	9.2	0.8	1.0	0.2	2.3	12.6	0.9	0.3
2007	1543	839	10.6	0.9	1.0	0.2	2.2	11.2	0.7	0.3
2008	1414	746	11.4	0.8	0.9	0.1	1.6	11.1	0.8	0.3
2009	1474	769	10.1	0.9	0.8	0.1	2.7	9.6	0.9	0.3
mean	1406	749	9.8	0.8	0.9	0.2	2.0	10.7	0.8	0.3
S_d	150	84	1.2	0.1	0.1	0.0	0.4	1.2	0.1	0.0

Tab. 4: Mikroelementeintrag aus der Kiefernstreu (g ha^{-1})

Jahr	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
				g ha^{-1}			
2004	45.87	3.89	0.38	0.04	3.12	0.00	0.03
2005	48.34	3.43	0.35	0.02	0.36	0.01	0.02
2006	62.40	4.66	0.54	0.33	0.18	0.08	0.00
2007	51.66	4.34	0.12	0.06	0.19	0.03	0.00
2008	55.19	4.60	1.01	0.00	0.83	0.00	0.00
2009	52.16	5.48	0.50	0.07	0.24	0.22	0.00
mean	52.6	4.4	0.5	0.1	0.8	0.1	0.0
S_d	5.8	0.7	0.3	0.1	1.2	0.1	0.0

Ein erheblicher Anteil von über 40 % des Streuinputs entstammt dabei der Restfraktion, die eine mittlere jährliche Trockenmasse von 2851 kg ha⁻¹ aufweist. Der Anteil des Stickstoffs aus dieser Fraktion liegt bei umgerechnet 35 % (Tab.5 und 6)

Tab. 5: Makroelementeintrag aus der Reststreu (kg ha⁻¹)

Jahr	TM	C	N	P	S	Na	K	Ca	Mg	Al
					kg ha ⁻¹					
2004	4040	1964	27.7	2.3	2.8	0.9	8.3	17.0	2.1	0.7
2005	1631	824	7.3	0.7	0.7	0.1	3.9	5.4	0.8	0.2
2006	1996	1050	10.1	1.1	1.0	0.2	4.3	6.5	0.9	0.2
2007	3339	1730	19.8	2.2	1.5	0.3	7.5	11.3	1.7	0.2
2008	2143	1088	14.8	0.9	1.0	0.2	2.3	9.3	0.9	0.4
2009	3958	2026	41.5	4.3	2.9	0.2	10.5	20.5	3.0	0.4
mean	2851	1447	20.2	1.9	1.6	0.3	6.1	11.7	1.6	0.3
S _d	1058	521	12.7	1.3	1.0	0.3	3.1	6.0	0.9	0.2

Tab. 6: Mikroelementeintrag mit der Reststreu (g ha⁻¹)

Datum	TM	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
	kg ha ⁻¹				g ha ⁻¹			
2004	4040	106.0	49.9	24.9	10.7	15.2	0.9	0.0
2005	1631	40.6	6.6	1.0	0.9	2.0	0.0	0.0
2006	1996	61.0	26.6	1.4	0.3	2.2	0.3	1.6
2007	3339	69.7	24.7	1.4	0.0	4.3	0.0	0.0
2008	2143	63.0	13.2	2.0	0.0	2.4	0.2	0.0
2009	3958	94.7	32.7	2.5	0.1	14.2	0.1	0.0
mean	2851	72.5	25.6	5.5	2.0	6.7	0.2	0.3
S _d	1058	23.9	15.2	9.5	4.3	6.3	0.3	0.7

2. Unterprogramm Blatt- und Nadelanalyse (FC)

Für die Beurteilung der Nährstoffversorgung der Buchen und Kiefern auf der Untersuchungsfläche wird seit 2005 eine systematische Beprobung und chemische Analyse der entsprechenden Blattorgane durchgeführt. Die jährliche Probenahme erfolgt nach den Vorgaben des IM-Manual (2004) und in enger Absprache mit der Landesforstanstalt in Eberswalde, die auch für die Beprobung der Level II Standorte in Brandenburg zuständig ist. Die Kiefern werden entsprechend in der Ruhephase Ende Januar beprobt, während die Buchenblätter als voll entwickelte Blätter von Neutrieben in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode, meist Anfang August, geerntet werden. Von jeder Baumart werden jeweils drei für die Fläche repräsentative und vorherrschende Bäume beprobt.

Die Blattanalysen spiegeln auch in 2010 die als gut bis sehr gut zu bewertende Nährstoffversorgung der Buchen auf diesem Standort wider. Nach Krauß & Heinsdorf (2005) sind die mittleren Stickstoff- und Phosphorgehalte von 23,0 mg N bzw. 2,1 mg P g⁻¹ TS den Ernährungsstufen III und IV zuzuordnen und liegen damit in einem Bereich optimaler bis

luxuriöser Versorgung. Auch die Kalzium- und Magnesium-Spiegelwerte von 8,9 mg Ca bzw. 1,95 mg Mg g⁻¹ TS liegen in diesem Bereich, der z. T. schon eine beginnende Überernährung erkennen lässt. Einzig die Kaliumwerte mit durchschnittlich 5,3 mg K g⁻¹ TS müssen als mäßig gut eingestuft werden. Darüber hinaus zeigt Abbildung 6, dass die N- und P-Gehalte in 2009 sich unwesentlich von den Werten der beiden Vorjahre unterscheiden, auch der Kalzium-, Magnesium- und Kaliumspiegel entspricht in etwa dem dreijährigen Mittel.

Als Indikator für die interne Rückführung von Nährelementen kann die Differenz aus Blatt- und Blattstreu-Konzentrationen dienen (Kuhr et al. 2003). Trotz einer gewissen Variabilität beträgt die Differenz bei Stickstoff im Mittel etwa 8 bis 10 mg N und bei Phosphor 0,5 bis 0,8 mg P g⁻¹ TS.

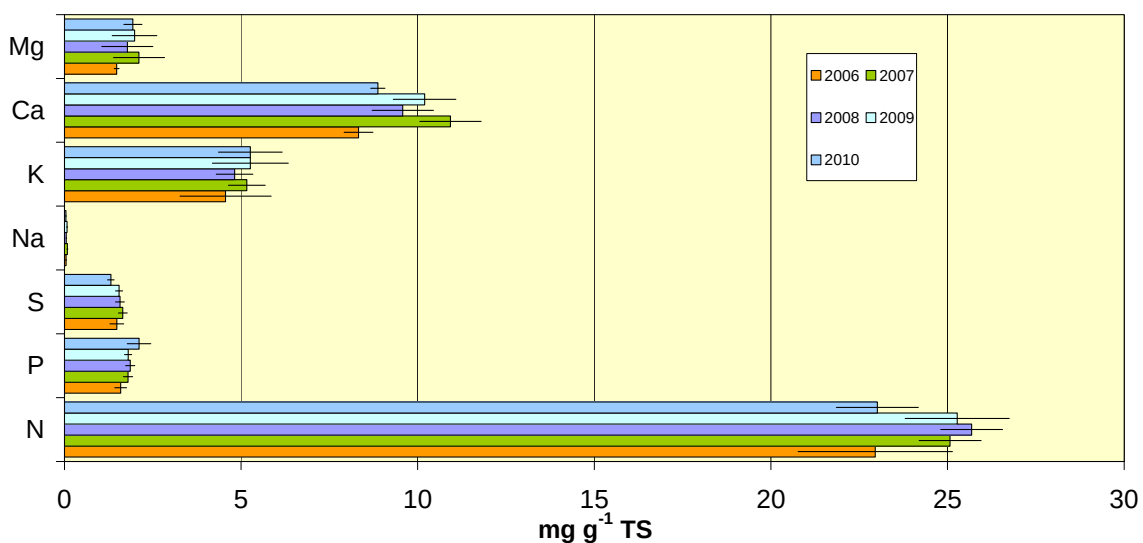


Abb. 6: Blattspiegelwerte der Buchen in den Jahren 2006 - 2009 (n=12)

Die Nadelspiegelwerte der Kiefern weisen gegenüber dem Vorjahr keine wesentlichen Veränderungen auf. Die Kalzium-Gehalte liegen nach Krauß und Heinsdorf (2005) im Mittel bei 2,7 mg Ca g⁻¹ TS in einem Bereich ausreichender bis optimaler Versorgung, während die Phosphor-Gehalte mit 1,4 mg P g⁻¹ TS schon eine leichte Überernährung indizieren.

Dagegen lagen die Stickstoffgehalte in den einjährigen Referenznadeln der Oberkrone mit ca. 14 mg N g⁻¹ TS etwas unter den Ergebnissen der Vorjahre, was auf eine mäßige Versorgung schließen lässt. Die Kaliumanalyse ergab einen mittleren Gehalt von 4,5 mg K g⁻¹ TS, was ebenfalls eine ausreichende bis optimale Versorgung anzeigt (Abb.7).

Die gute Phosphorversorgung, die sich aus den Analysen von Blättern und Nadeln ableiten lässt, führt jedoch nicht zu einer Belastung des im Zentrum des Einzugsgebietes liegenden Stechlinsees. Die P-Konzentrationen im Grundwasser unter Wald entsprechen mit < 0,03 mg l⁻¹ den Gehalten, die in etwa auch im Seewasser gemessen werden. Somit kann eine P-Zufuhr mit dem Grundwasser zumindest im Bereich der Waldmessfläche ausgeschlossen

werden. Partikuläre Phosphoreinträge z. B. durch Oberflächenabfluss (Erosion) kommen aufgrund der geringen Reliefausbildung und der hohen Wasserleitfähigkeit der Sandböden ebenfalls nicht in Betracht.

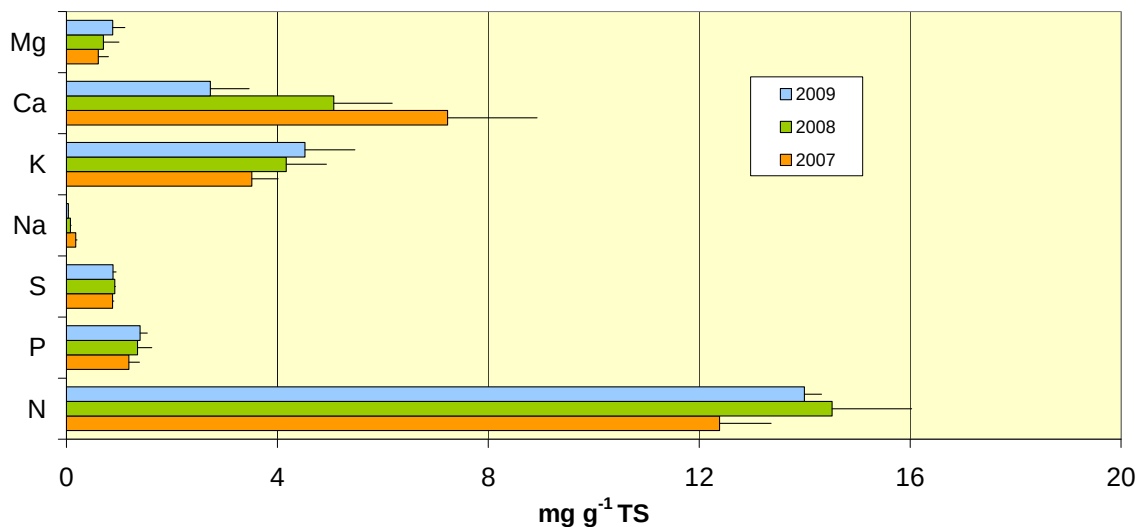


Abb. 7: Nadelspiegelwerte der Kiefern in 2009 (3 Nadeljahrgänge, n=9)

3. Unterprogramm Stammablauf (SF)

Für den Stoffumsatz und -transfer spielt die Erfassung der hydrologischen Größen Freiflächen- und Bestandsniederschlag einschließlich Stammablauf eine wichtige Rolle. Der Stammablauf in Neuglobsow wird als Mischprobe von zwei den Bestand repräsentierenden Buchen erfasst, wobei die Probenahme je nach Niederschlagsmengen wöchentlich bis 14-tägig erfolgt. In den Messjahren 2004 bis 2009 wurde insgesamt ein Stammablauf in Höhe von 3479 Litern registriert. Bezogen auf die Anzahl der auf der Messfläche stockenden Buchen erhöhte sich der jährliche Bestandesniederschlag in einer Größe von 4,3 bis 18,7 mm. Im Vergleich mit den vom Umweltbundesamt im gleichen Zeitraum vor Ort gemessenen Kronentraufen (KT) von 344 bis 591 mm a⁻¹ entspricht dies einem Anteil von 1,2 - 3,2 % (Tab.7).

Jahr	mm a ⁻¹	% der KT
2004	8.7	2.3
2005	5.5	1.3
2006	7.7	2.2
2007	18.7	3.2
2008	5.4	1.3
2009	4.3	1.2

Tab. 7: Stammablauf (SF) auf der Waldmessfläche in Neuglobsow

Die Abbildungen 8 u. 9 geben den zeitlichen Verlauf der Elementkonzentrationen im Stammablaufwasser wieder. Die pH-Werte liegen im Mittel bei 6,4 und damit um eine pH-Einheit über den in der Kronentraufe gemessenen Werten. Bei höheren Niederschlagsereignissen,

wie wir sie beispielsweise im Oktober 2006 und August 2009 vorfinden, kann der Wert aufgrund einer verminderten Pufferung innerhalb des Kronenraums kurzfristig auch mal unter pH 5 fallen. Insgesamt zeichnet sich aber ein leicht positiver Trend auch in der Entwicklung der pH-Werte des Stammablaufwassers ab.

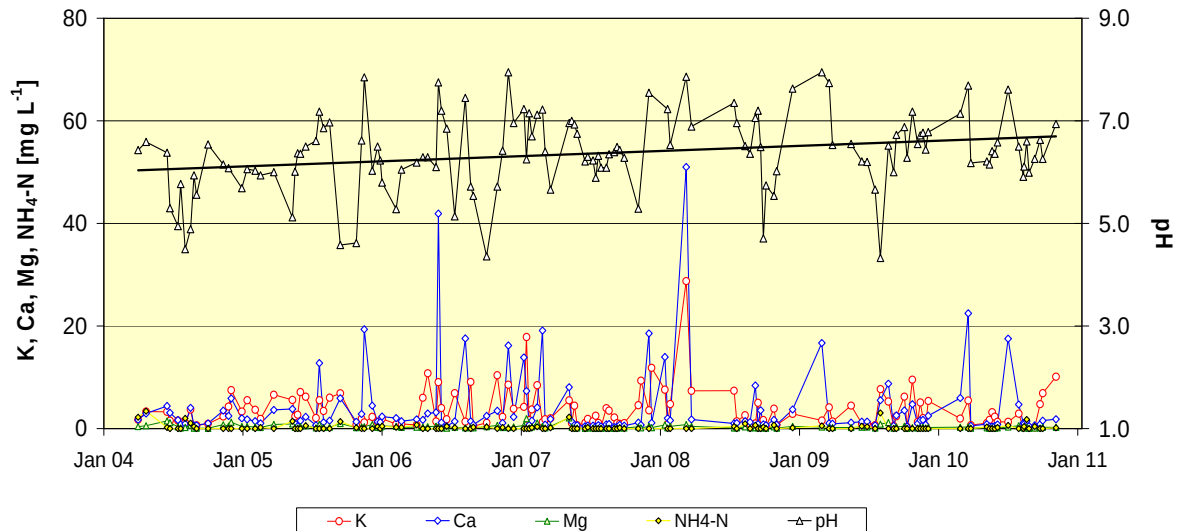


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte und Kationenkonzentrationen im Stammablauf (SF)

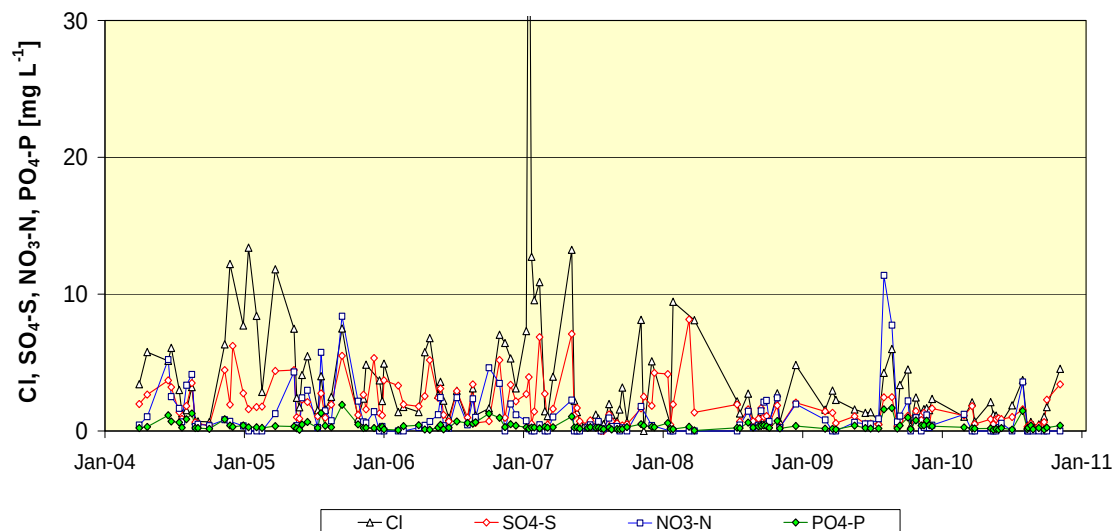


Abb. 9: Zeitlicher Verlauf der Anionenkonzentrationen im Stammablauf (SF)

Von den Kationen dominieren Kalium mit $4,7 \text{ mg l}^{-1}$ und Kalzium mit $2,7 \text{ mg l}^{-1}$ während bei den Anionen die Chlorid- und Sulfationen mit mittleren Konzentrationen von $2,4$ bzw. $1,4 \text{ mg l}^{-1}$ im Stammablaufwasser¹ überwiegen. Auffällig sind die saisonal stark variierenden Konzentrationen besonders der Kalium- und Chlorid-Ionen, wobei letztere besonders im Winterhalbjahr auffällig fluktuieren.

¹ Konzentrationen des gewichteten Mittels

4. Lachgas- und CO₂-Emissionen der Waldmessfläche

Seit Anfang 2008 werden auf der Waldmessfläche auch die Lachgasemissionen (N₂O) mit geschlossenen Bodenhauben bestimmt (Beese et al. 2002). Bei der Beprobung kommen evakuierte Glasmäuse zum Einsatz, die am Gaschromatograph am Büsgen-Institut in Göttingen analysiert werden. Von den N₂O produzierenden Prozessen in Böden sind quantitativ vor allem die Nitrifikation und die Denitrifikation von Bedeutung.

In den drei Messjahren 2008 bis 2010 lagen die gasförmigen Verluste auf den gut drainierten Sandböden in Neuglobsow unter 0,5 kg N₂O-N pro Hektar und Jahr und können höchst wahrscheinlich als vernachlässigbar betrachtet werden (Abb.10).

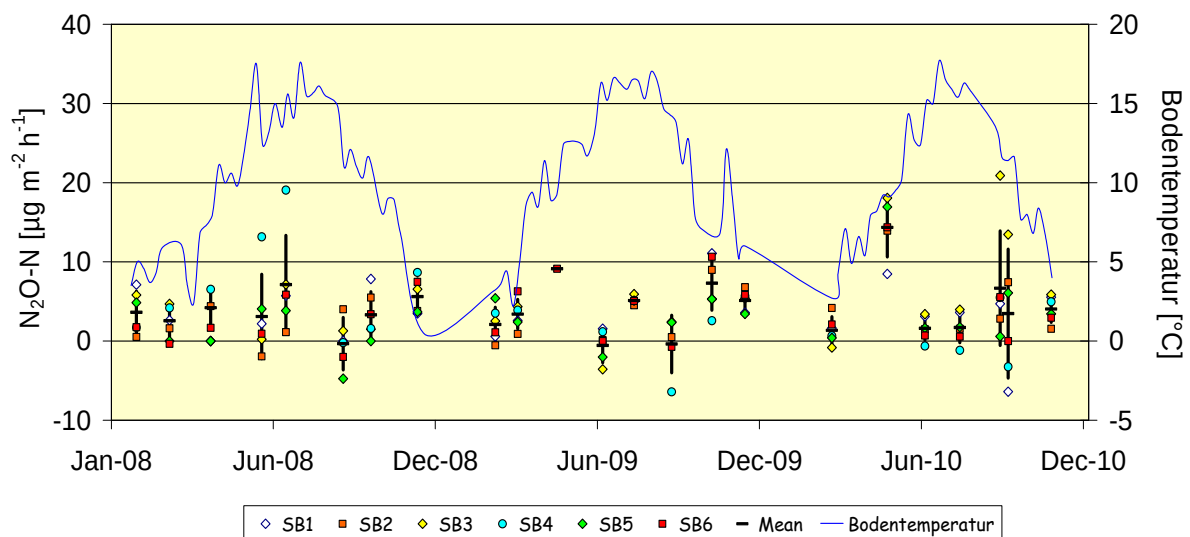


Abb. 10: Zeitlicher Verlauf der N₂O-Emissionen auf der Waldmessfläche

Eine ausführliche Bewertung in Bezug auf die Stickstoffversorgung und –belastung an der IM Messstelle Neuglobsow wurde bereits im Abschlussbericht 2009 (FKZ 351 01 040/02) vorgenommen. Das gleich gilt auch für den Kohlenstoffhaushalt. Es soll an dieser Stelle daher nur kurz auf die CO₂-Messungen eingegangen werden, die auch in 2010 mit geschlossenen Bodenhauben fortgesetzt wurden.

Die CO₂-C Freisetzung zeigt auf allen drei Standorten den erwarteten saisonalen Verlauf mit einem Maximum in den Sommermonaten und deutlich geringeren Werten im Winterhalbjahr (Abb.11). Allerdings korrelieren hohe Bodentemperaturen nicht immer mit erhöhten, sondern z. T. in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt auch mit verminderten CO₂-Freisetzungsraten.

Insgesamt betrug die mittlere jährliche CO₂-C Freisetzungsrates im fünfjährigen Messzeitraum auf der Waldmessfläche 5,8 t CO₂-C ha⁻¹ bei einer Standardabweichung von 1,1 t ha⁻¹. Die

Unterschiede zwischen einzelnen Jahren und den verschiedenen Untersuchungsflächen waren z. T. erheblich und variierten von 3,0 bis 7,8 t CO₂-C ha⁻¹ a⁻¹ (Tab. 8). Die höchste Emissionsrate wurde mit 7,8 t CO₂-C ha⁻¹ auf der Waldmessfläche in dem relativ feuchten und warmen Jahr 2007 gemessen. In diesem Jahr ist auch der Unterschied zwischen den getrenchten und den nicht getrenchten Hauben mit 2,1 t CO₂-C ha⁻¹ bzw. 27 % am größten.

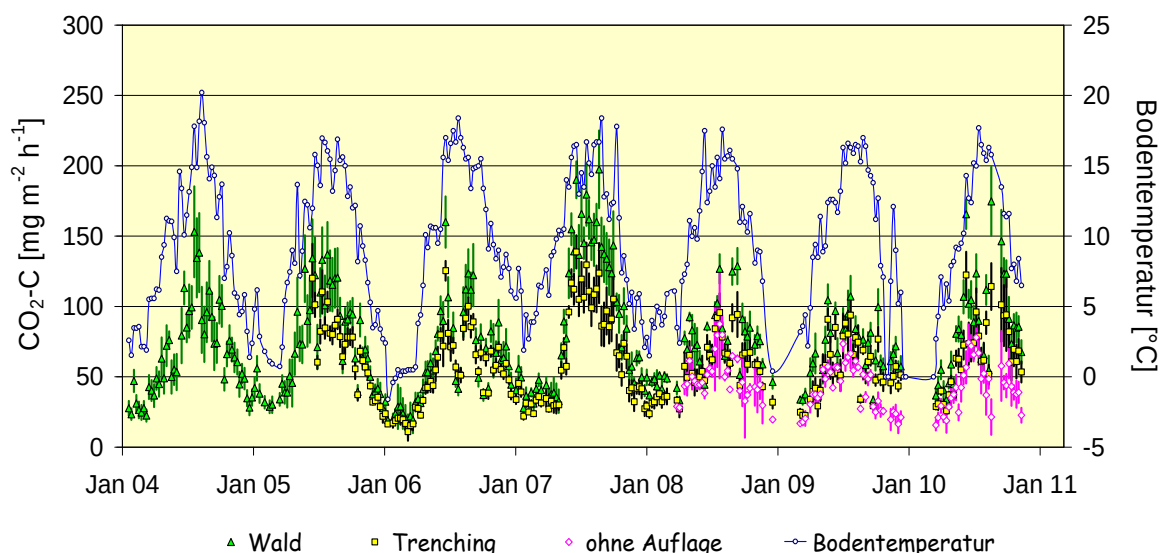


Abb. 11: CO₂-C Freisetzung auf der Waldmessfläche (einschl. der Varianten Trenching und ohne organische Auflage)

Die C-Freisetzungsrates der auflagefreien Variante war noch deutlich geringer und betrug in den Untersuchungsjahren 2008 und 2009 3,0 t pro Hektar und Jahr, was im Vergleich mit den Ergebnissen der ungetrenchten Hauben eine Reduktion von ca. 40 % bedeutet. Als Ursache dürfte nicht nur der fehlende C-Input aus der Streu in Frage kommen, sondern auch der durch das Entfernen der Streu veränderte Wasserhaushalt. Die Böden der auflagenfreien Variante trocknen im Sommer wesentlich schneller aus, was die Aktivität der Mikroorganismen maßgeblich herabsetzt.

Tab. 8: CO₂-C Freisetzungsraten (kg ha⁻¹ a⁻¹) in den Jahren 2004-2009

Jahr	Freifläche ¹ kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Wald kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Trenching ² kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Auflagefrei kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Autotrophe Respiration %
2004	6941	5564			
2005	6462	6148	2838		19.7
2006	5177	5195	4359		16.1
2007	7084	7826	5709		27.0
2008		5058	3984	3045	21.2
2009		4905	4062	2916	17.2
mean	6416	5783	4684	2981	20.3
sd	868	1095	803	91	4.3

¹ Freifläche: Messungen von 2004 – 2007

² Trenching: ab Juli 2005

5. Zeitliche Entwicklung von pH-Werten, Kationen und Anionen in Freilandniederschlag, Kronentraufe, Sickerwasser, Grund- und Seewasser (1998 – 2010)

Im Folgenden werden einige wesentliche Trends, die sich in den langjährigen chemischen Analysen von Freilandniederschlag (FN), Kronentraufe (KT), Sickerwasser (SW), Grundwasser (GW) und im oberflächennahen Seewasser beobachten lassen, vorgestellt und diskutiert (Tab.9).

Die pH-Werte im Freilandniederschlag und in der Kronentraufe zeigen einen positiven Trend, d.h. die externe Säurebelastung an diesem Standort ist weiterhin rückläufig. Während die pH-Werte Anfang der 90er Jahre noch bei etwa 4,3 - 4,5 lagen, sind sie in den letzten beiden Jahren 2009 -2010 im Mittel auf über pH 5 angestiegen.

Die elektrische Leitfähigkeit ist im Freilandniederschlag in den Jahren 1998 bis 2010 von fast 30 auf unter 20 $\mu\text{S cm}^{-1}$ deutlich gesunken. Auch im Grundwasser sinkt die Leitfähigkeit in diesem Zeitraum von 574 auf 534 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Im Bestandesniederschlag ist eine Abnahme weniger deutlich zu erkennen, während sich im Sicker- und Seewasser keine Änderung feststellen lässt.

Weiter abgenommen haben die Sulfat-Konzentrationen (Abb. 5a-e, Anhang), besonders ausgeprägt zeigt sich dieser Trend am oberen Grundwasserpegel. Auch im Freilandniederschlag und in der Kronentraufe kann ein Rückgang identifiziert werden, der auf die drastische Reduktion der Schwefeldepositionen zurückzuführen ist. Allerdings sind auch die Chlorid-Konzentrationen (Abb.7d, Anhang) zumindest im Grundwasser in fast ähnlichem Verhältnis gesunken. Da Chlorid als mehr oder weniger chemisch inert betrachtet werden kann, lässt sich schließen, dass es sich hier nicht um eine reine Abnahme sondern zum Teil auch um eine Verdünnung handelt.

Tab. 9: Ansteigende (+), abnehmende (–) und unveränderte (O) Konzentrationen in den Wasseranalysen von FN, KT, SW, GW und im Seewasser (NG = Nachweisgrenze)

	FN	KT	SW	GW	See
pH	+	+	+	O	O
Leitfähigkeit	--	–	O	–	O
K	O	O	O	O	O
Ca	O	O	O	O	–
Mg	O	O	O	O	O
NH₄-N	O	O	O	O	O
SO₄-S	–	–	O	--	O
NO₃-N	O	O	+	+	NG
PO₄-P	O	O	O	NG	NG
Cl	O	O	O	--	O

Für Kalium, Kalzium und Magnesium sind keine eindeutigen Trends erkennbar. Eine Ausnahme bildet der leichte Rückgang der Ca-Konzentrationen im oberflächennahen Seewasser (Abb. 2e, Anhang). Darüber hinaus zeigen sich jahreszeitliche Schwankungen dieser Elemente, z.B. in der Kronentraufe, die wahrscheinlich durch Leaching-Effekte hervorgerufen werden (Klumpp et al. 1990).

Der Mittelwert der Ammonium-Stickstoffgehalte liegt im Freilandniederschlag bei 0,8 und in der Kronentraufe bei 1,1 mg L⁻¹ (Tab.1, Anhang). Im Grund- und Seewasser liegen sie bei Werten < 0,04 mg L⁻¹ und damit schon im Bereich der Nachweisgrenze.

Die Nitrat- und Phosphatgehalte liegen im Seewasser überwiegend an bzw. schon unter der Nachweisgrenze, das gleiche gilt auch für die Phosphatkonzentrationen des Grundwassers. Dagegen stiegen die Nitratkonzentrationen des Sickerwassers in 120 cm in den Jahren 2002-2006 auf über 15 mg L⁻¹ mit einem Maximalwert von annähernd 20 mg L⁻¹, was den Grenzwert der Trinkwasserverordnung deutlich überschreitet (TrinkwV 2001).

In den letzten beiden Untersuchungsjahren sind die NO₃-N-Gehalte allerdings wieder auf ein Niveau von unter 1 mg L⁻¹ zurückgegangen (Abb. 6c, Anhang). Der deutliche Nitrat-Peak im Sickerwasser ist aber mit einer gewissen Phasenverschiebung auch in den Jahren 2006-2010 im Grundwasser nachweisbar (Abb. 6c, Anhang).

Insgesamt liegen die Konzentrationen des Seewassers an Nitrat- und Ammonium-Stickstoff, an Phosphat-Phosphor und Sulfat-Schwefel sowie Chlorid in Bereichen, die nach den Kriterien der LAWA (1999) der Gewässergüteklasse I (= unbelastet bis sehr gering belastet) bzw. der Trophiestufe I (= oligotroph) zugeordnet werden können.

Tab.10: Kriterien zur Beurteilung der Gewässergüte (LAWA 1998)

Stoffname	Einheit	Stoffbezogene chemische Gewässergüteklasse						
		I	I - II	II	II - III	III	III - IV	IV
Gesamtstickstoff	mg/l	≤ 1	≤ 1,5	≤ 3	≤ 6	≤ 12	≤ 24	> 24
Nitrat-N	mg/l	≤ 1	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 5	≤ 10	≤ 20	> 20
Nitrit-N	mg/l	≤ 0,01	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,8	> 0,8
Ammonium-N	mg/l	≤ 0,04	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	> 2,4
Gesamtphosphor	mg/l	≤ 0,05	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 1,2	> 1,2
Ortho-Phosphat-P	mg/l	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,8	> 0,8
Sauerstoffgehalt*	mg/l	> 8	> 8	> 6	> 5	> 4	> 2	≤ 2
Chlorid	mg/l	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800
Sulfat	mg/l	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800
TOC	mg/l	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 40	> 40
AOX	µg/l	"0"	≤ 10	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	> 200

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Untersuchungen an der Messstelle in Neuglobsow haben bislang gezeigt, dass die atmosphärische Belastungen durch weiträumig und grenzüberschreitend transportierte Luftverunreinigungen relativ gering ausfallen (s. Abschlussbericht 2009: FKZ 351 01 040/02).

Auch die Ergebnisse der Wasseranalysen der verschiedenen Fraktionen von FN, BN, SW, GW und See belegen einerseits eine geringer werdende Belastung, wie etwa beim Schwefel deutlich zu erkennen ist, oder auch eine weitere Erholung, wie beim Säureeintrag. Einzig die Nitrat-N-Konzentrationen im Sickerwasser in 120 cm Tiefe sind in den Jahren 2002-2006 auffällig gestiegen. Sie haben teilweise den Grenzwert von 11 mg L^{-1} schon überschritten, den die Trinkwasserverordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vorschreibt.

Für den im Zentrum des Einzugsgebiets liegenden Stechlinsee besteht darüber hinaus weiterhin Klärungsbedarf in Bezug auf die Phosphorbelastung. Die Gesamtposphorkonzentration eines Gewässers gilt als wichtiger Parameter bei der Zuweisung der Trophiestufe. Nach den vorliegenden Ergebnissen entspricht aber die Gewässergüte des Stechlinsees nach wie vor der Trophiestufe I und der See ist daher weiterhin als ein nährstoffarmes, oligotrophes Gewässer einzustufen.

Der seit Ende der 1980iger Jahre gemessene Anstieg der Phosphorkonzentrationen im Tiefenwasser des Stechlinsees zeigt, dass aber in diesem Bereich zumindest temporär eine P-Rücklösung aus dem Sediment stattfindet (Gonsiorczyk et al. 2001). Diese Remobilisierung scheint nach derzeitigem Kenntnisstand die größte Quelle für den beobachteten Phosphoranstieg zu sein. Das Integrated Monitoring kann allerdings zu der komplexen Problematik der P-Freisetzung aus dem Sediment keinen direkten Beitrag leisten. Mit Hilfe der IM Unterprogramme PC, TF, FC und SW können dagegen indirekt einige der in Frage kommenden externen P-Quellen und die damit verbundenen Einträge in den See quantifiziert werden.

Aus den seit dem Jahr 2005 laufenden Zuwachs- und CO_2 -Gasflussmessungen auf der Waldmessfläche lässt sich bislang abschätzen, dass die C-Emission aus der heterotrophen Atmung der Mikroorganismen in einer Größenordnung liegt, die etwa der Summe entspricht, die jährlich im oberirdischen Zuwachs der Bäume und in der Streu gebunden wird. Für den Mischbestand in Neuglobsow lässt sich daraus eine ausgeglichene Kohlenstoffbilanz herleiten. Um diesen vorläufigen Befund abzusichern, sollen auch diese optionalen Untersuchungen zur Kohlenstoffbilanzierung langfristig fortgesetzt werden. Die C-Sequestrierung in deutschen Wäldern ist als Klimaschutzmaßnahme im Rahmen des Kyoto-Protokolls von

Bedeutung, da diese Speicherleistung dem Klima-Sekretariat der Vereinten Nationen für die erste Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 berichtet werden muss.

Die gegenwärtig im Rahmen des UN/ECE Integrated Monitoring-Programms in Neuglobsow etablierten Unterprogramme sind in Tabelle 11 aufgeführt:

Tab. 11: Übersicht des Integrated Monitoring-Programms (DE02)

Unterprogramm (obligatorisch)	Abkürzung	Probenahme- Intervall	Ausführende Institution	Stand
Meteorologie	AM	k/t	UBA	Fortsetzung
Luftchemie	AC	k/t/w	UBA	Fortsetzung
Freilandniederschlag	PC	t/w/m	UBA/PGZ	Fortsetzung
Kronentraufe	TF	w/m	UBA/PGZ	Fortsetzung
Bodenchemie	SC	5 j	PGZ	Forts. 2015
Bodenlösungsschemie	SW	2 w	UBA/PGZ	Fortsetzung
Nadel-, Blattanalysen	FC	j	PGZ	Fortsetzung
Streufall	LF	m	PGZ	Fortsetzung
Vegetationsuntersuchung	VG	10 j	PGZ	Forts. 2015
Grundwasserchemie*	GW	m	UBA/PGZ	Fortsetzung
Seewasserchemie*	LC	m	UBA/PGZ	Fortsetzung
Abfluss	RW	j	PGZ	Fortsetzung
Unterprogramm (optional)	Abkürzung	Probenahme- Intervall	Ausführende Institution	Stand
Stammablauf	SF	w/m	PGZ	Fortsetzung
Baum-Bioelemente	BI	5 j	PGZ	Forts. 2012
Mikrobielle Zersetzung	MB	w/j	PGZ	Fortsetzung

k: kontinuierlich, t: täglich, w: wöchentlich, m: monatlich, j: jährlich

Diese im Jahr 1998 aufgelegten Untersuchungsprogramme sollen auch im Hinblick auf die internationale Berichtspflicht des Bundes in bisheriger Weise fortgeführt werden. Dazu ist es erforderlich, die Untersuchungsflächen weiterhin regelmäßig und entsprechend dem IM-Manual zu beproben und das Probenmaterial (Boden, Pflanzen- und Wasserproben) zu analysieren. Einzelne meteorologische, luftchemische und Gewässerparameter werden wie bisher dem Auftragnehmer vom Umweltbundesamt bereitgestellt.

Literatur

Beese, F., R. Brumme, H. Schulte-Bisping und R. Teepe, 2002. Spurengashaushalte von Waldökosystemen. In: Umweltrelevante Spurengase in der Land- und Forstwirtschaft – Herausforderung für Wissenschaft, Politik und Praxis. Hrsg. Vorstand des Dachverbandes Agrarforschung (DAF). Band 34. 53-63. DLG-Verlag. Frankfurt.

BMELV, 2007. Belastung der Wälder mit gasförmigen Luftschadstoffen. Studie zur Beurteilung der Luftqualität an Waldstandorten des forstlichen Umweltmonitorings in den Jahren 2002 und 2003. M. Baumgarten (ed).

Gonsiorczyk, T., Casper, P. & Koschel, R. 2001. Phosphorus release from the bottom sediments of the oligotrophic Lake Stechlin: Importance of the permanently oxic sediment surface. Arch. Hydrobiol., 151. 203-219.

ICP IM-Manual. 2004: <http://www.environment.fi/default.asp?node=6410&lan=en>

Kowalkowski, A. und Marek Jozwiak. 2003. Die Bedeutung des Streufallmonitorings für die Ermittlung des Elementumlaufs im Waldökosystem. In: Integrierende Auswertung der Daten des Forstlichen Umweltmonitoring (Level I/II). Bonn-Röttgen. BMVEL. S. 255-258.

Krauß, H.H., Heinsdorf, D. 2005. Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. Beiträge für Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 39. 172-179.

Klumpp, A. und R. Guderian. 1990. Leaching von Magnesium, Calcium und Kalium aus immissionsbelasteten Nadeln junger Fichten. Forstw. Cbl. 109. 13-39.

Kuhr, M., J. Eichhorn und A. Rockel. 2003. Stoffhaushalt in hessischen Buchenwald-Ökosystemen. In: Integrierende Auswertung der Daten des Forstlichen Umweltmonitoring (Level I/II) vom 24.-26.2003 in Bonn-Röttgen. BMVEL, 22-32.

LAWA. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [Hrsg.] 1998. Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland. Chemische Gewässergüteklassifikation. Kulturbuchverlag. Berlin.

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser). 1999. „Gewässerbewertung – stehende Gewässer“. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Kulturbuch-Verlag, Berlin.

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. 2001. http://bundesrecht.juris.de/trinkvw_2001/index.html

Anhang

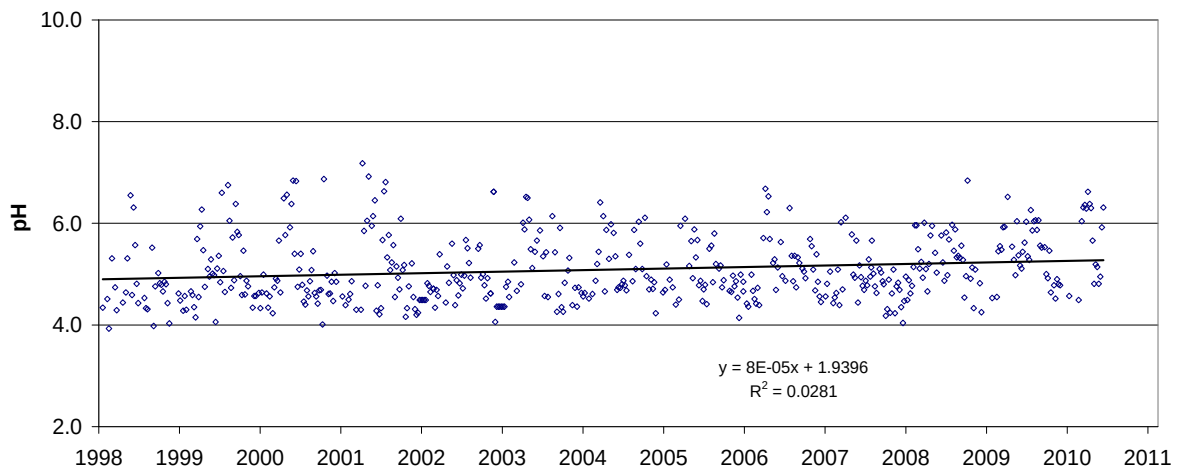


Abb.1a: pH-Werte im Freilandniederschlag

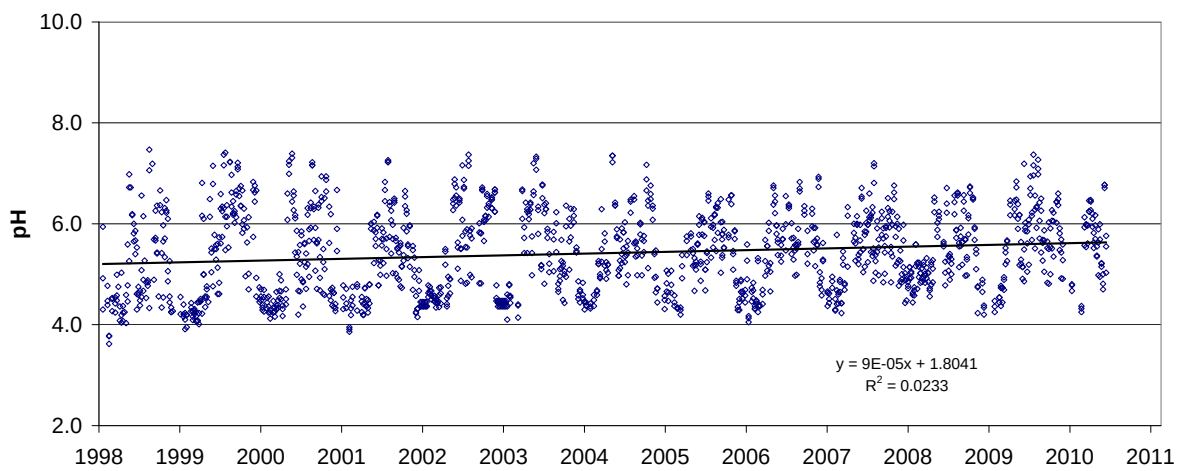


Abb.1b: pH-Werte in der Kronentraufe

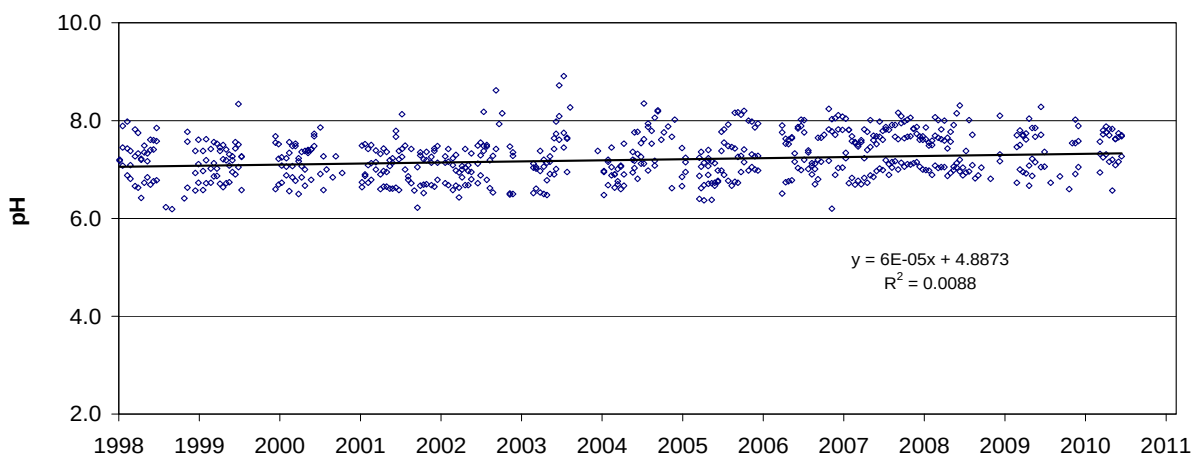


Abb.1c: pH-Werte im Sickerwasser (120 cm)

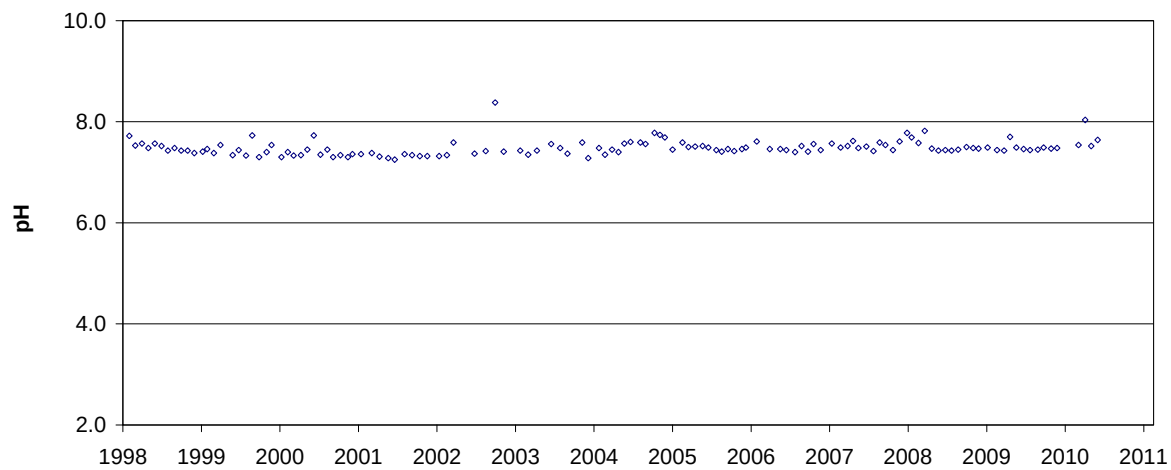


Abb.1d: pH-Werte im Grundwasser (OP)

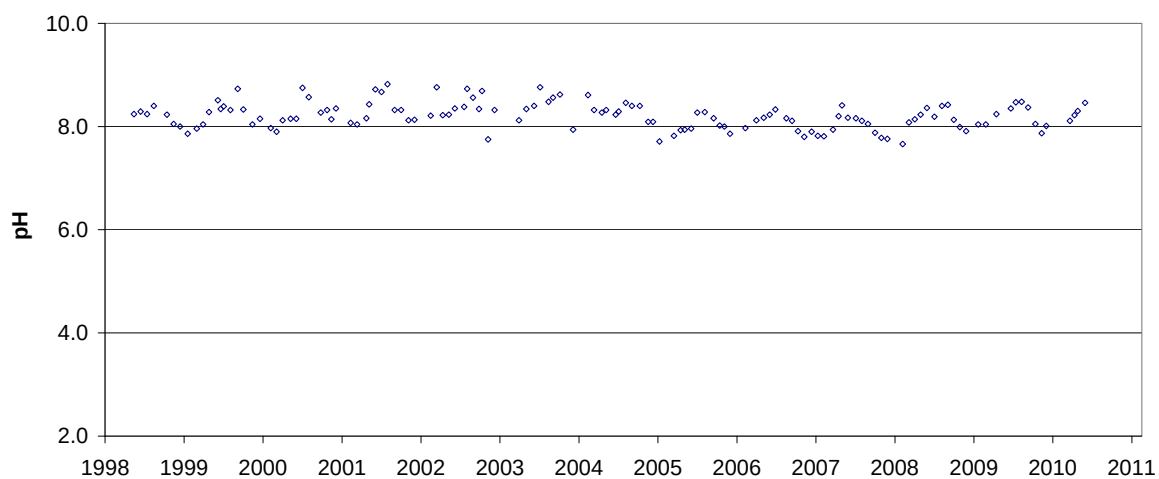


Abb.1e: pH-Werte im Seewasser (0 m)

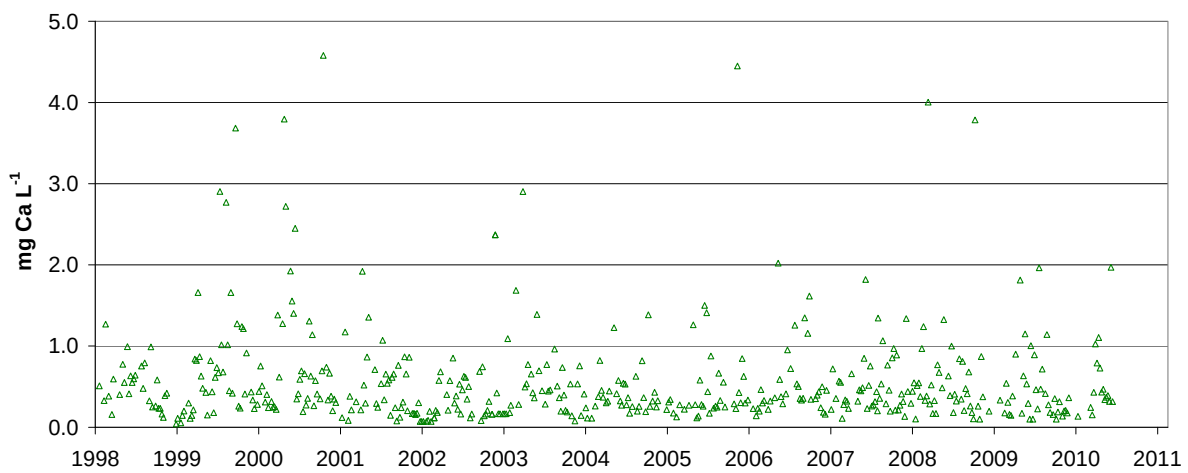


Abb.2a: Kalzium-Konzentrationen im Freilandniederschlag

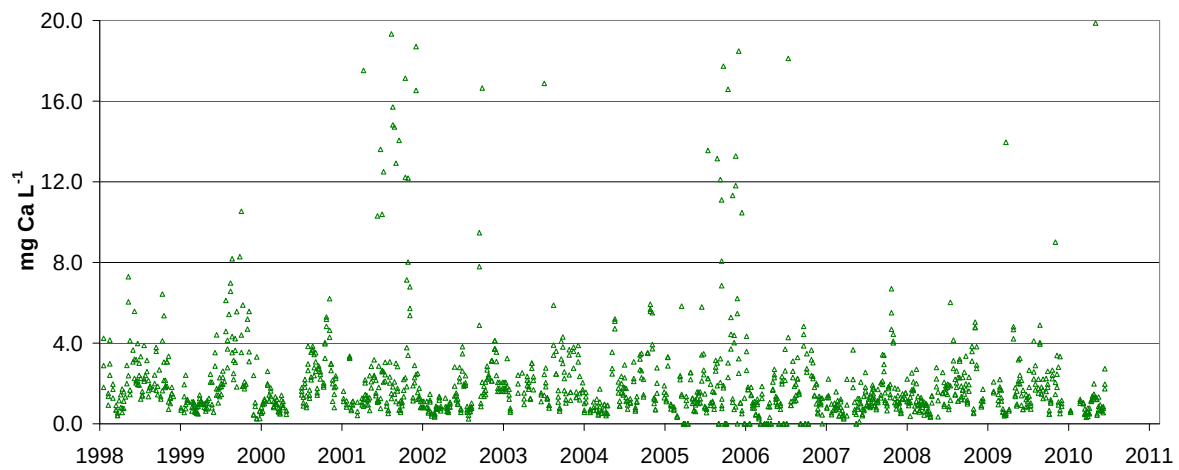


Abb.2b: Kalzium-Konzentrationen in der Kronentraufe

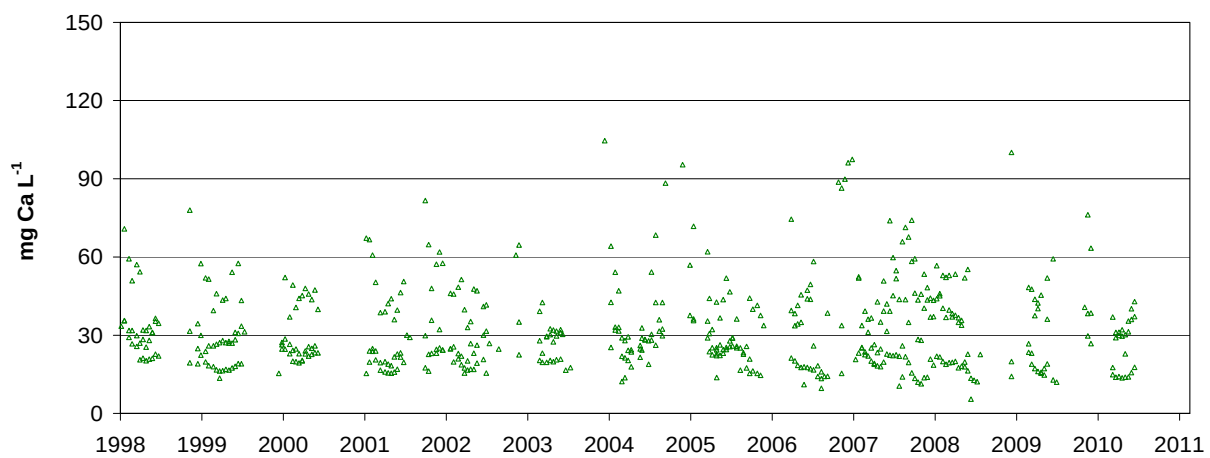


Abb.2c: Kalzium-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

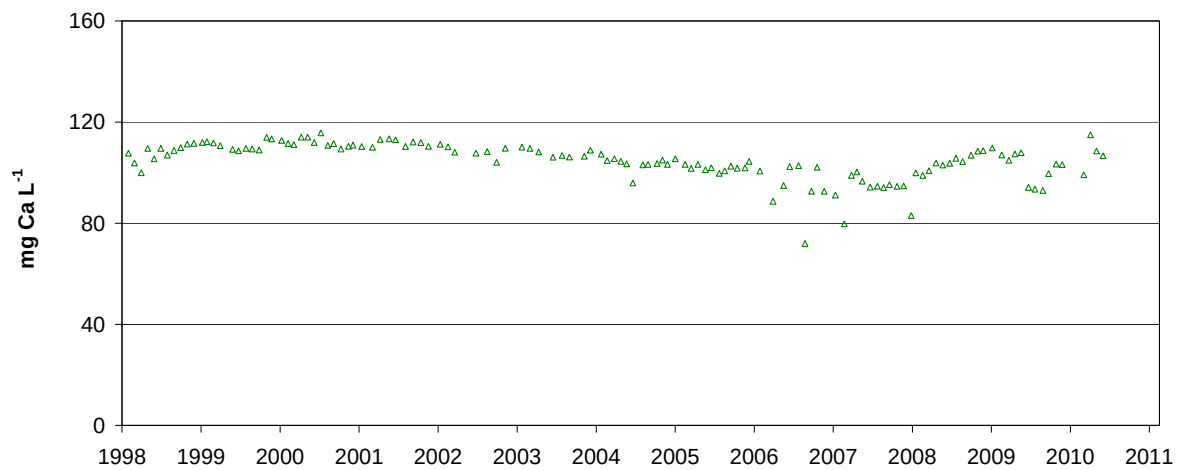


Abb.2d: Kalzium-Konzentrationen im Grundwasser (OP)

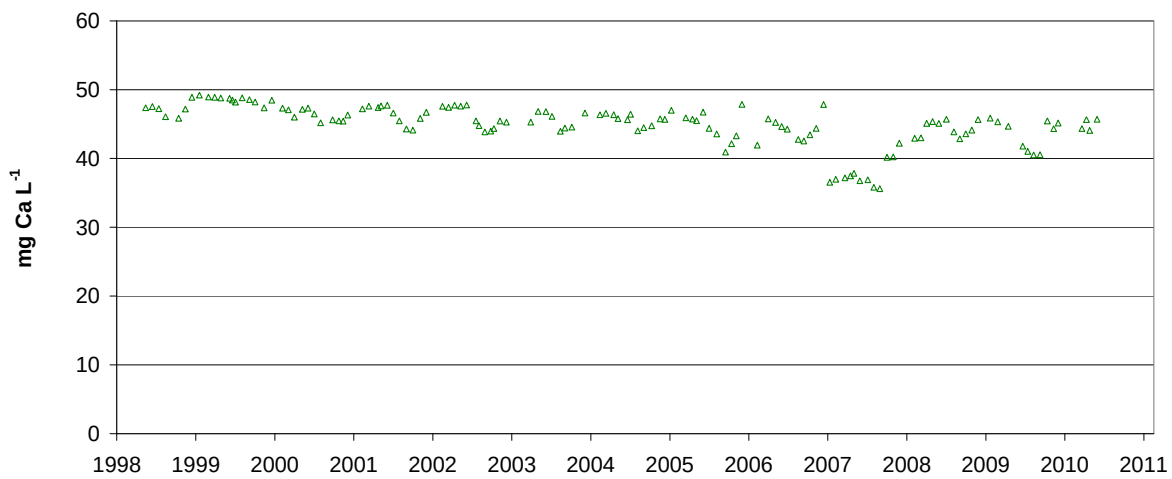


Abb. 2e: Kalzium-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

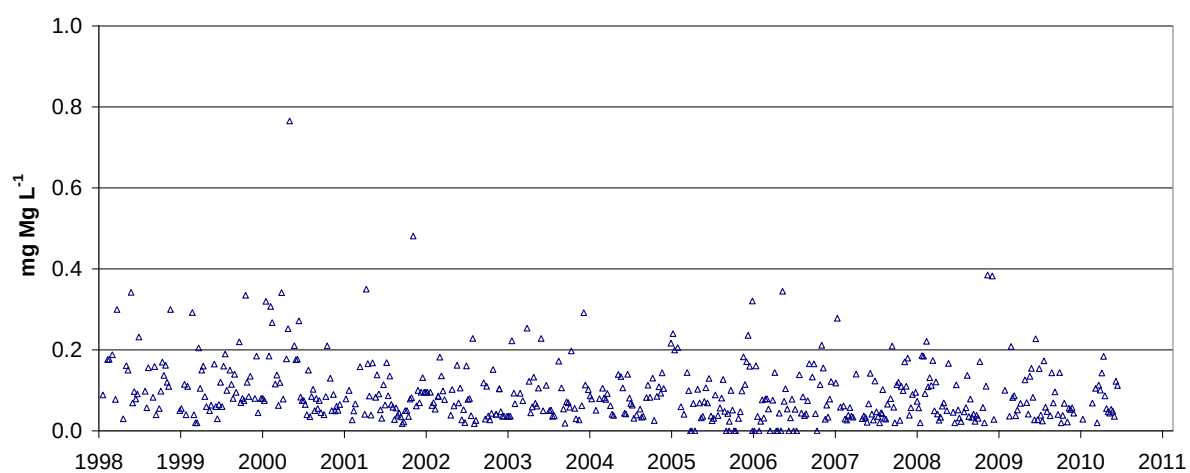


Abb.3a: Magnesium-Konzentrationen im Freilandniederschlag

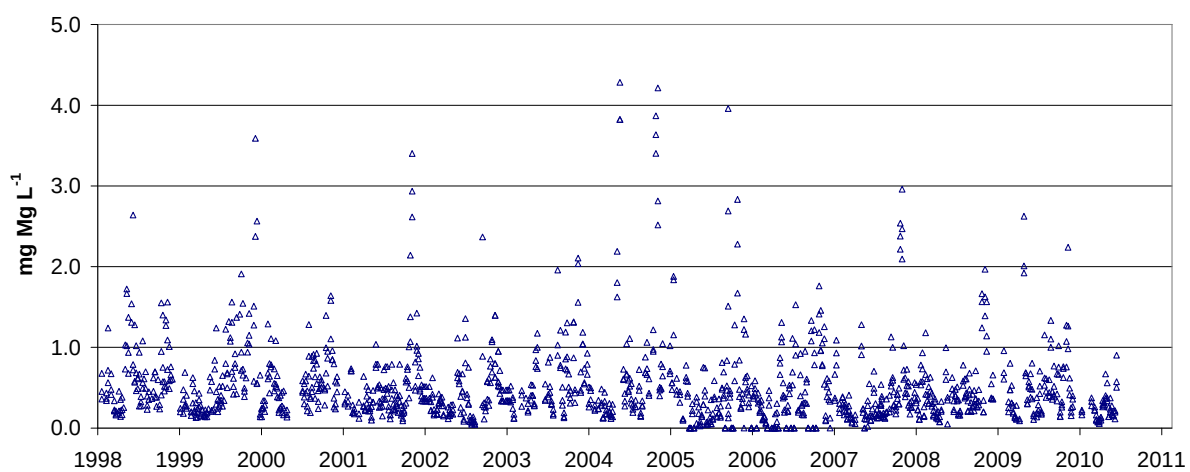


Abb.3b: Magnesium-Konzentrationen in der Kronentraufe

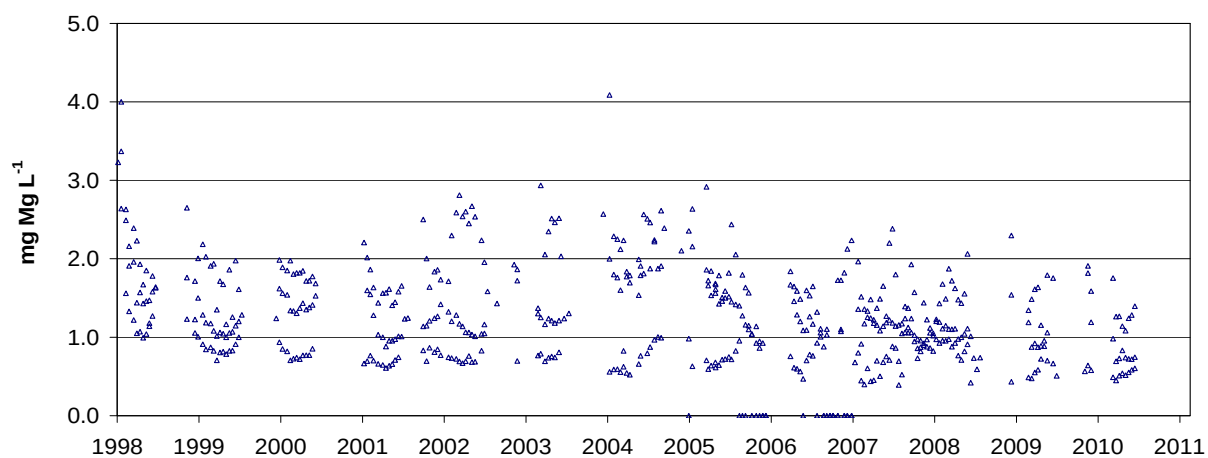


Abb.3c: Magnesium-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

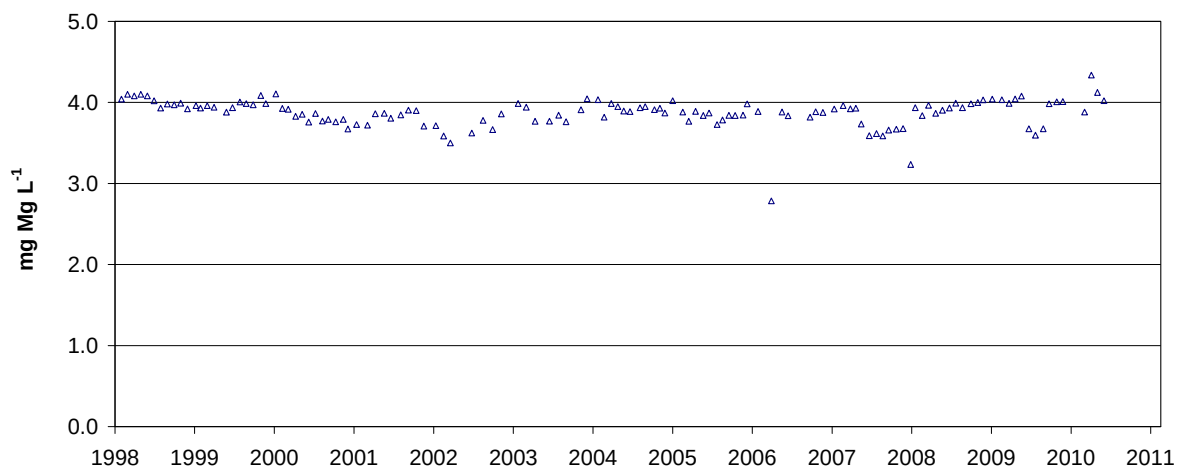


Abb.3d: Magnesium-Konzentrationen im Grundwasser (OP)

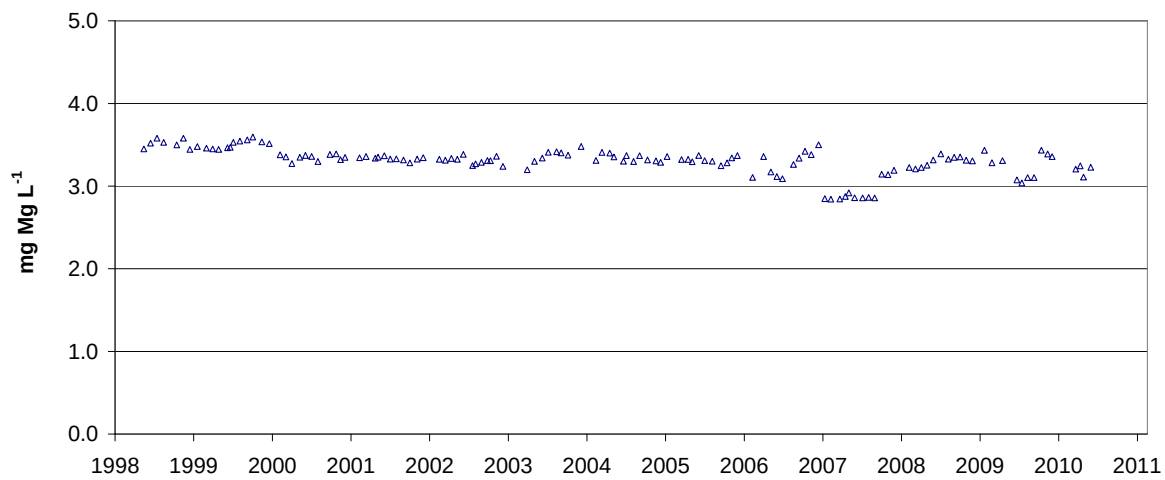


Abb. 3e: Magnesium-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

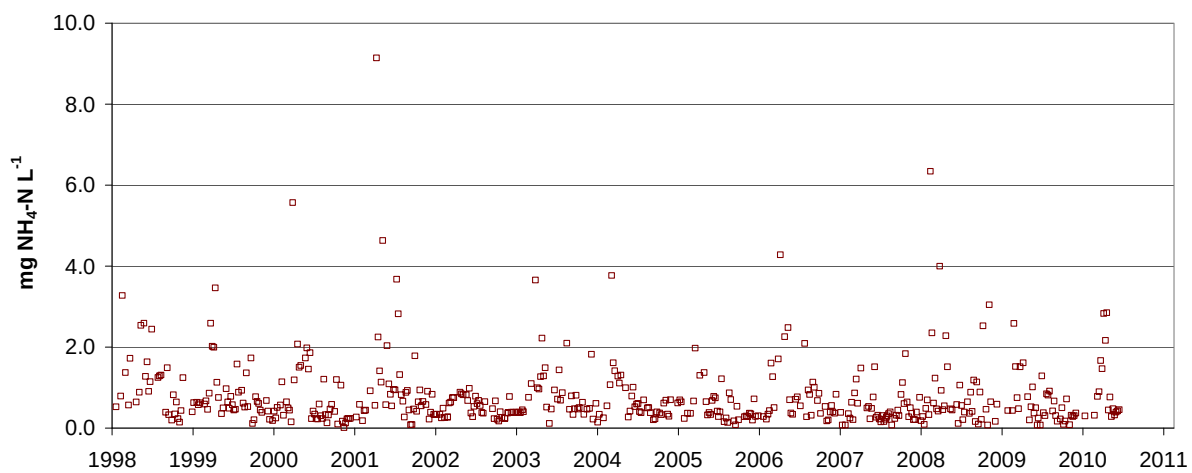


Abb.4a: Ammonium-Konzentrationen im Freilandniederschlag

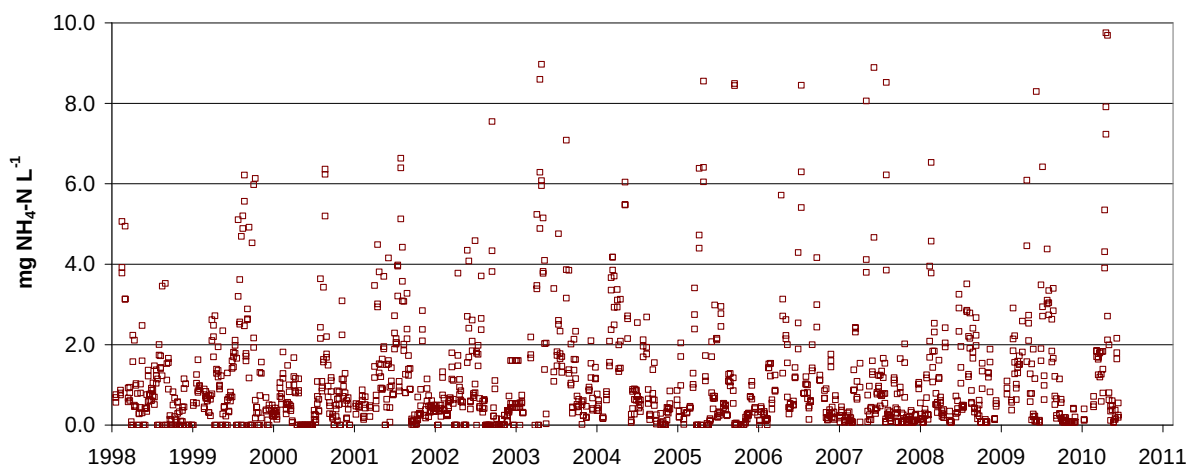


Abb.4b: Ammonium-Konzentrationen in der Kronentraufe

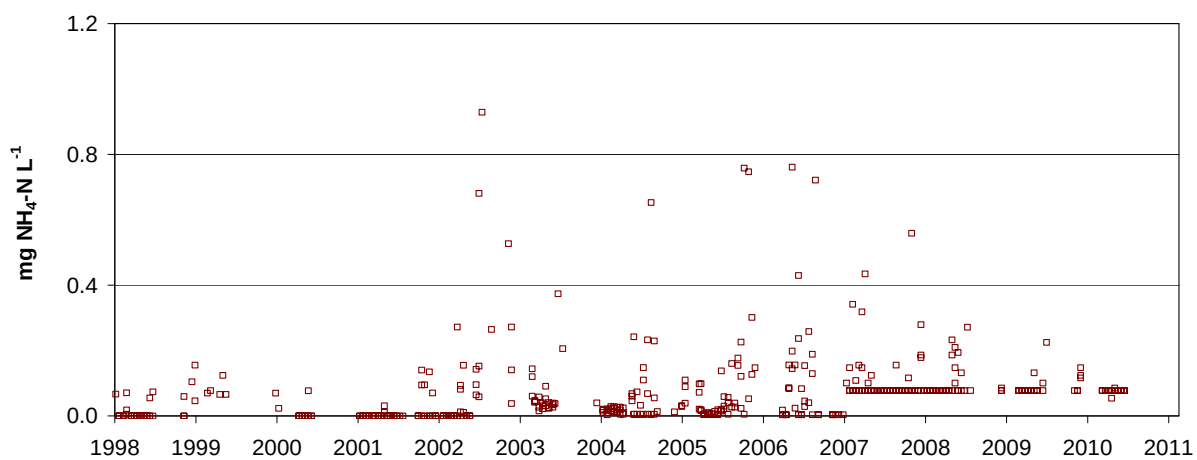


Abb.4c: Ammonium-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

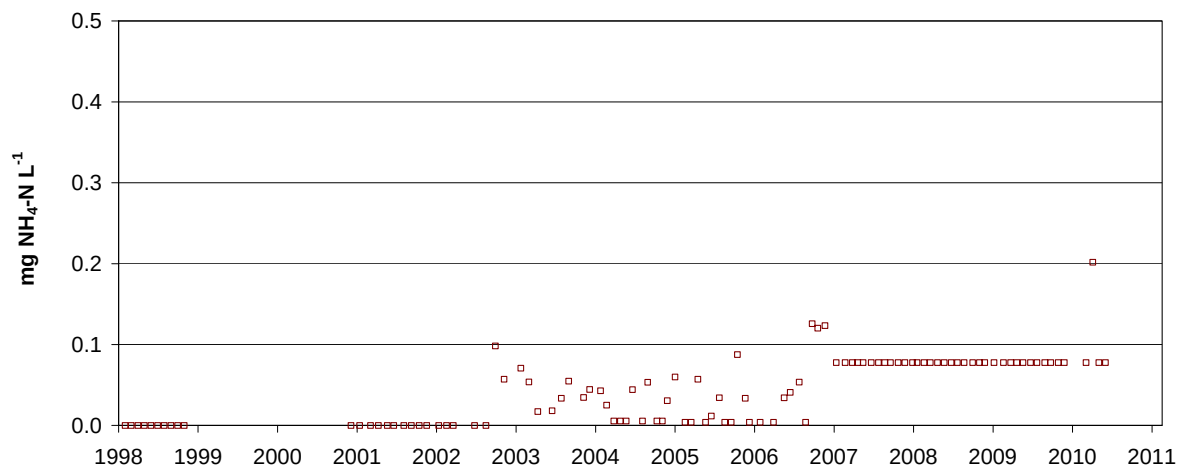


Abb.4d: Ammonium-Konzentrationen im Grundwasser (OP)

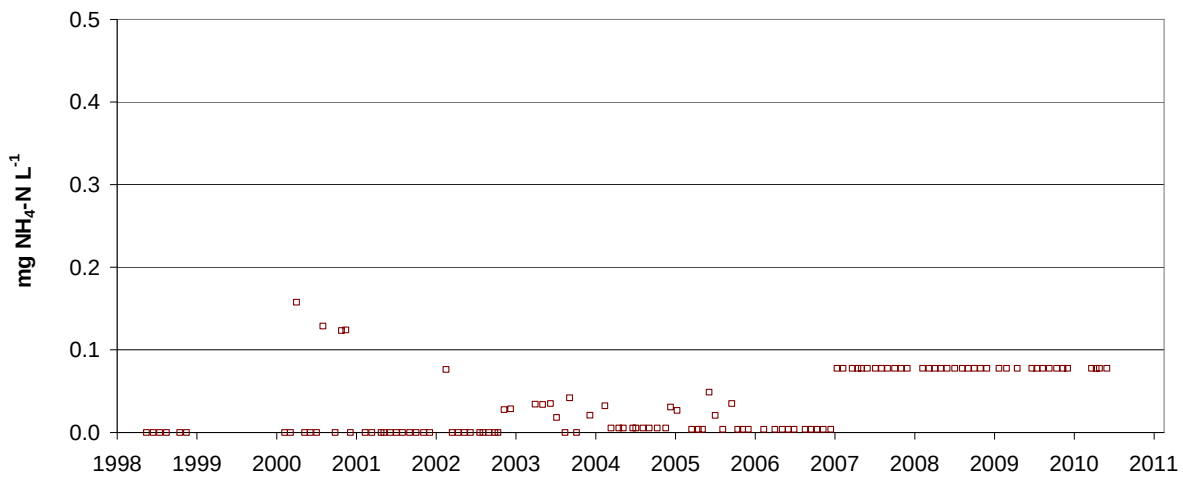


Abb. 4e: Ammonium-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

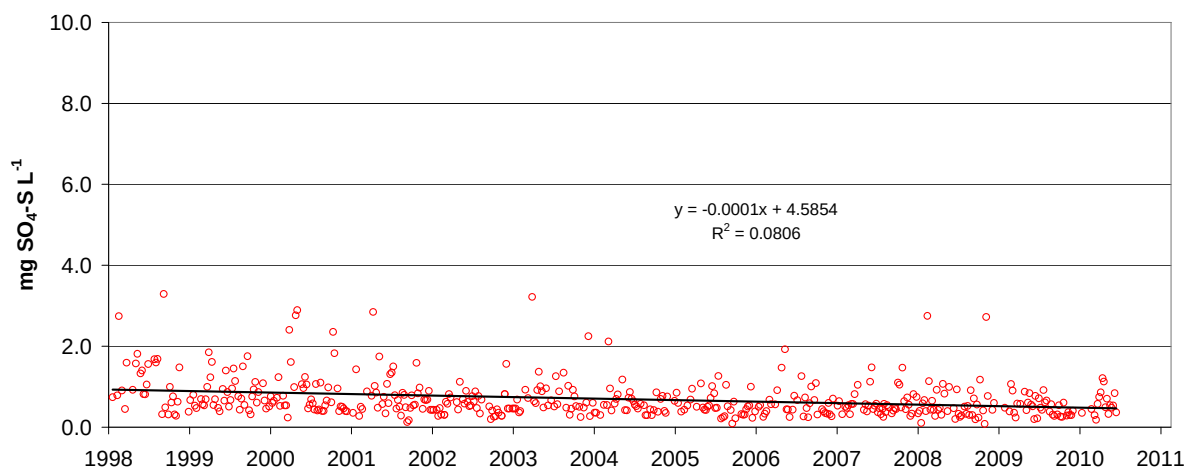


Abb.5a: Sulfat-S Konzentrationen im Freilandniederschlag

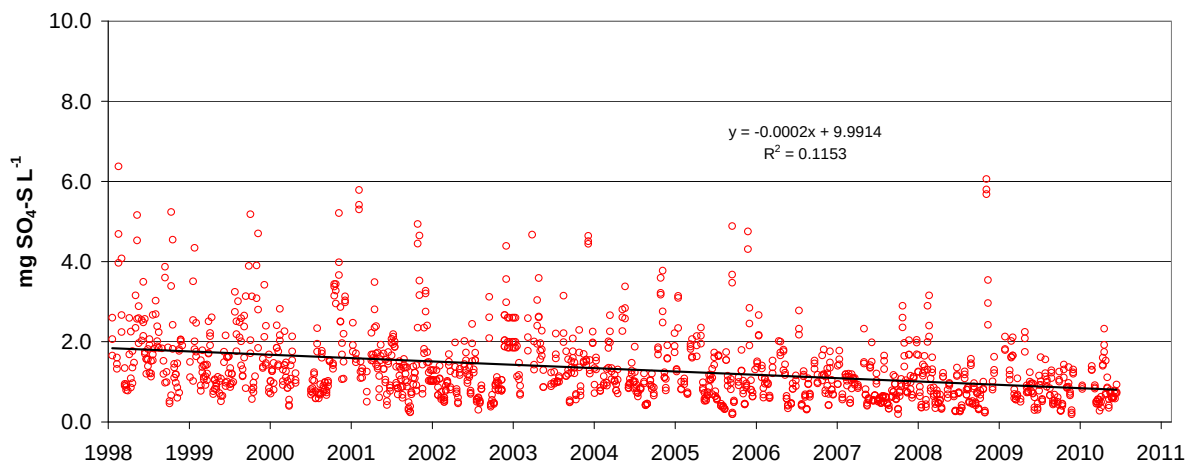


Abb.5b: Sulfat-S Konzentrationen in der Kronentraufe

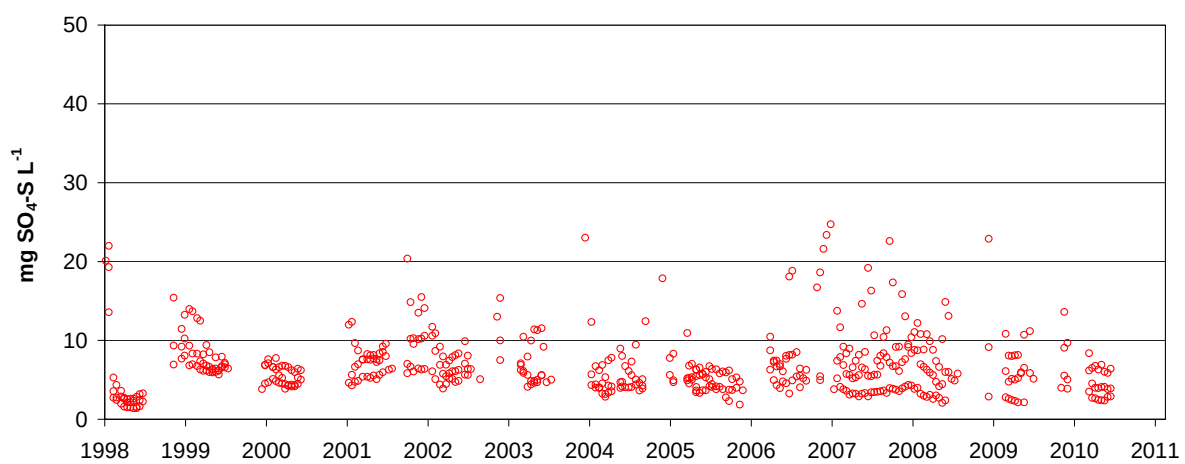


Abb.5c: Sulfat-S Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

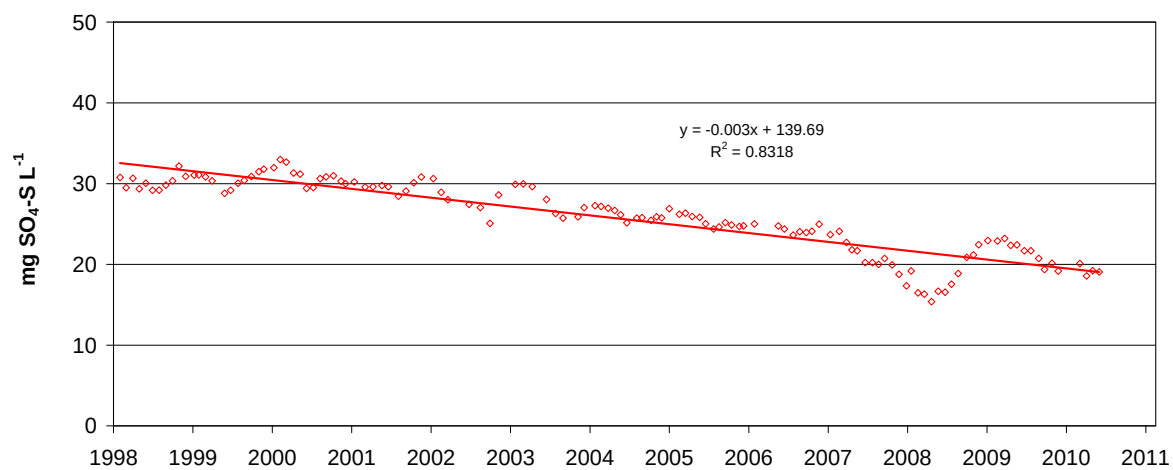


Abb.5d: Sulfat-S Konzentrationen im Grundwasser (OP)

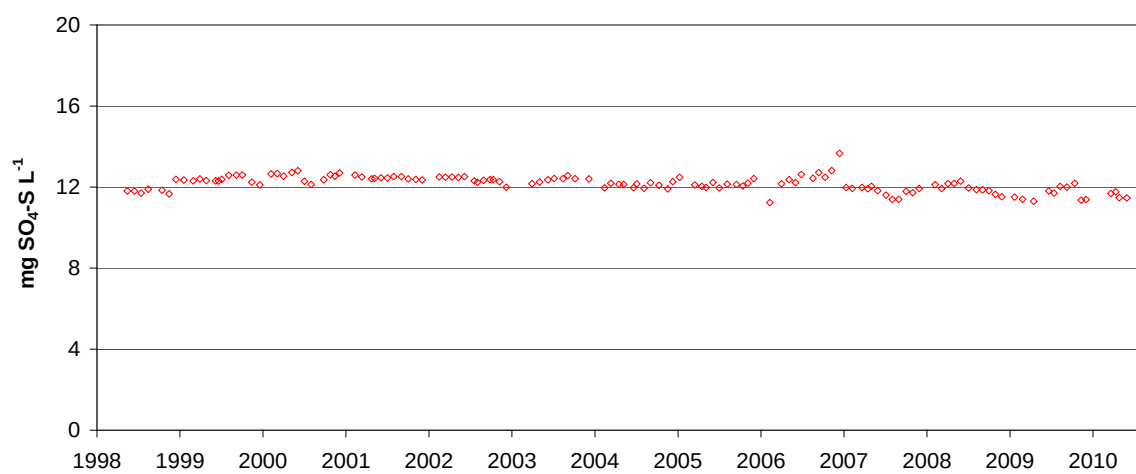


Abb. 5e: Sulfat-S Konzentrationen im Seewasser (0 m)

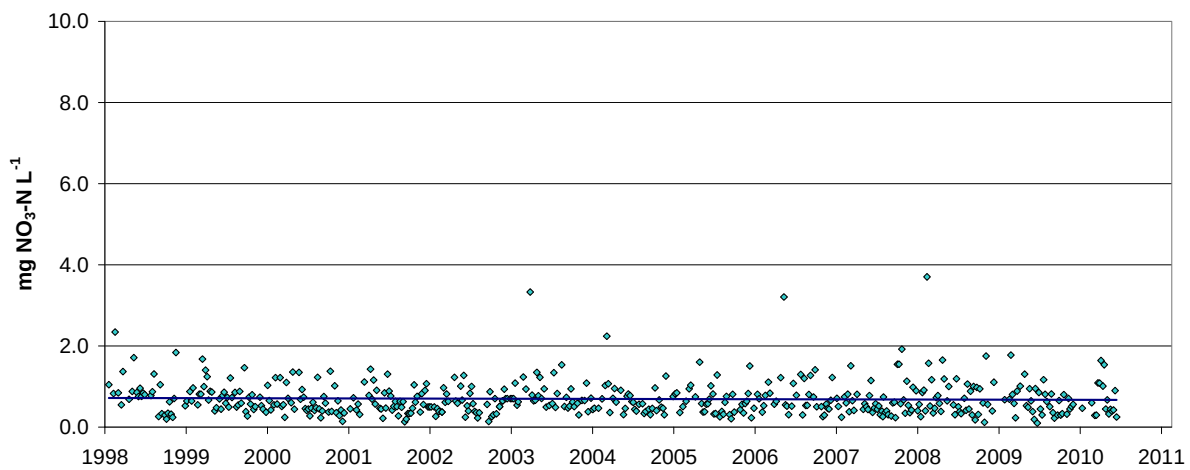


Abb.6a: Nitrat-Konzentrationen im Freilandniederschlag

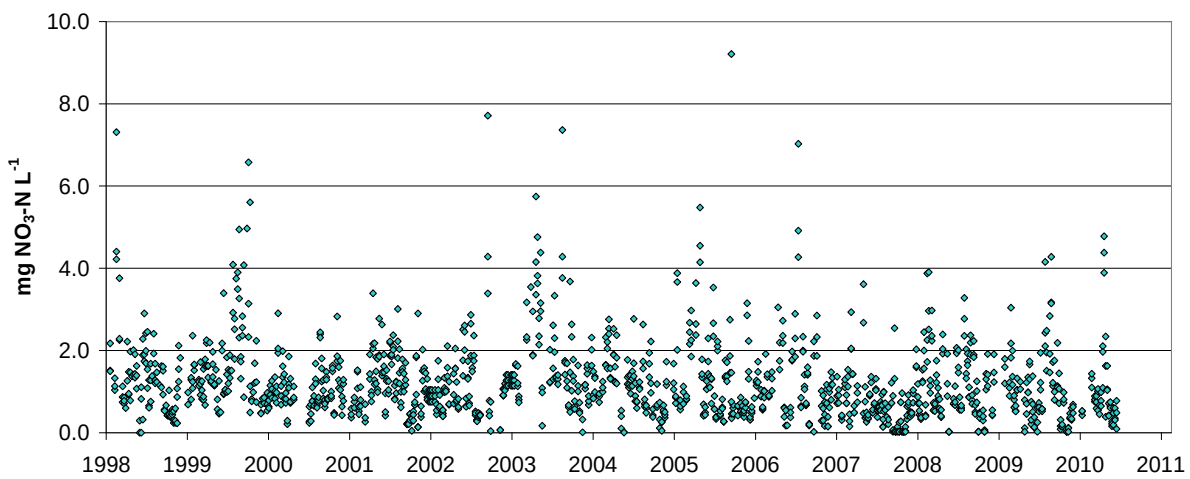


Abb.6b: Nitrat-Konzentrationen in der Kronentraufe

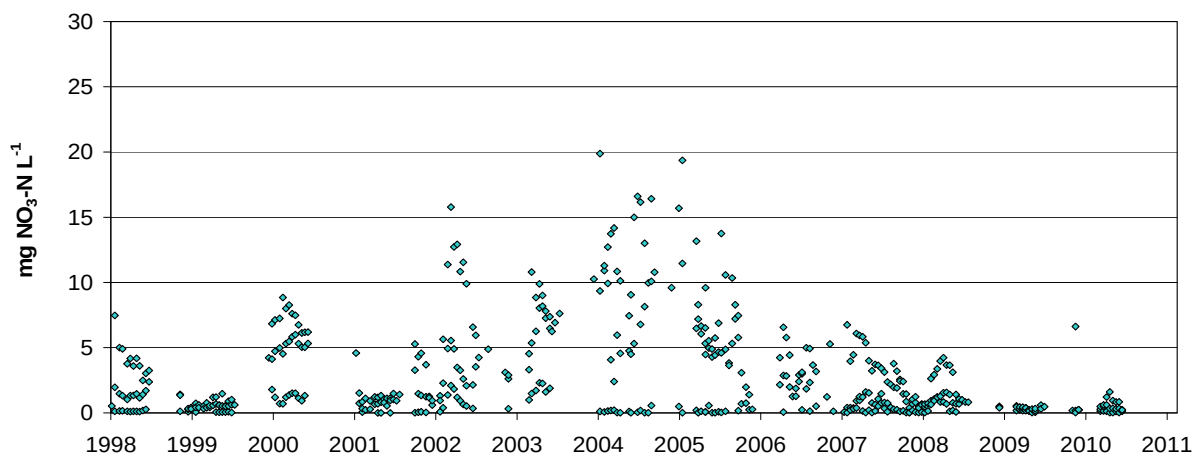


Abb.6c: Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

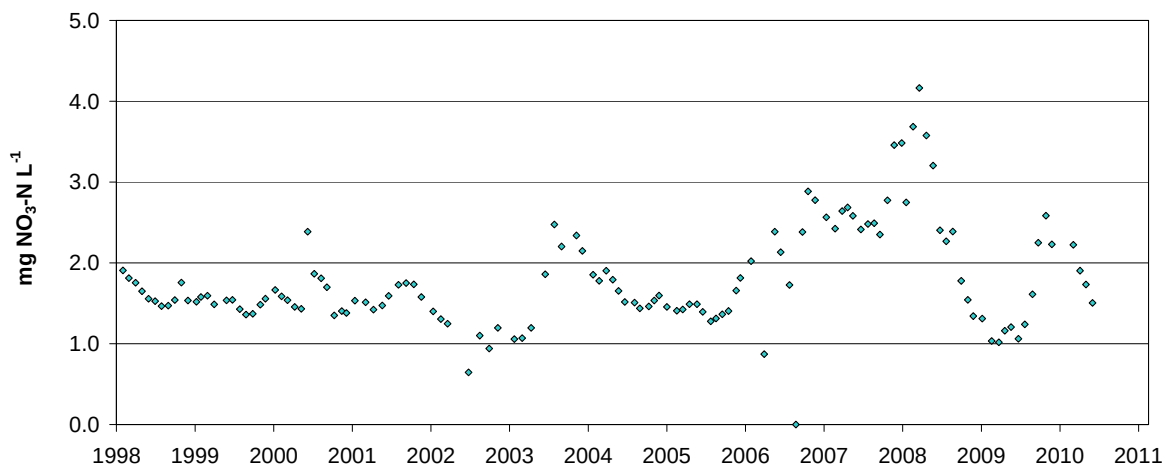


Abb.6d: Nitrat-N Konzentrationen im Grundwasser (OP)

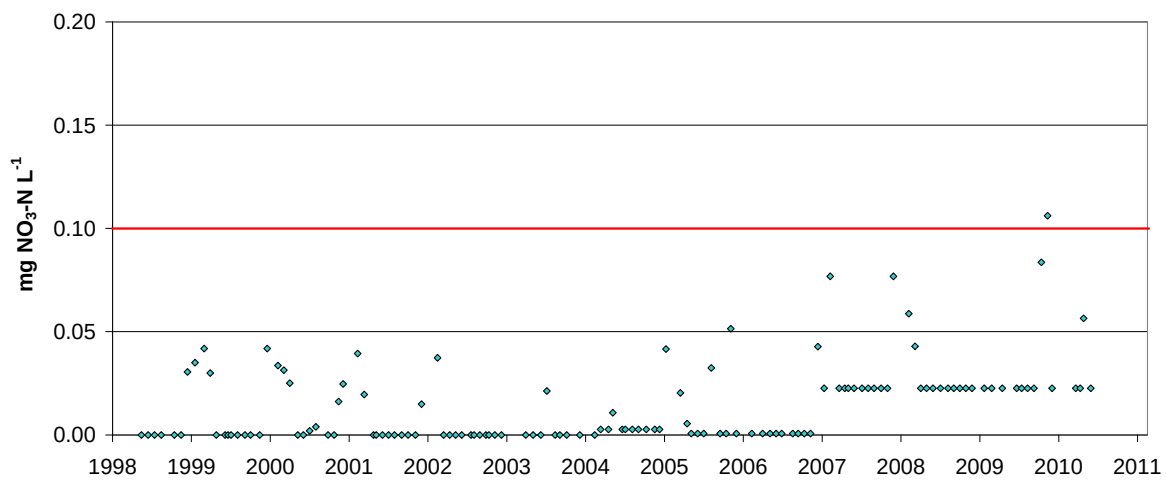


Abb. 6e: Nitrat-N Konzentrationen im Seewasser (0 m)

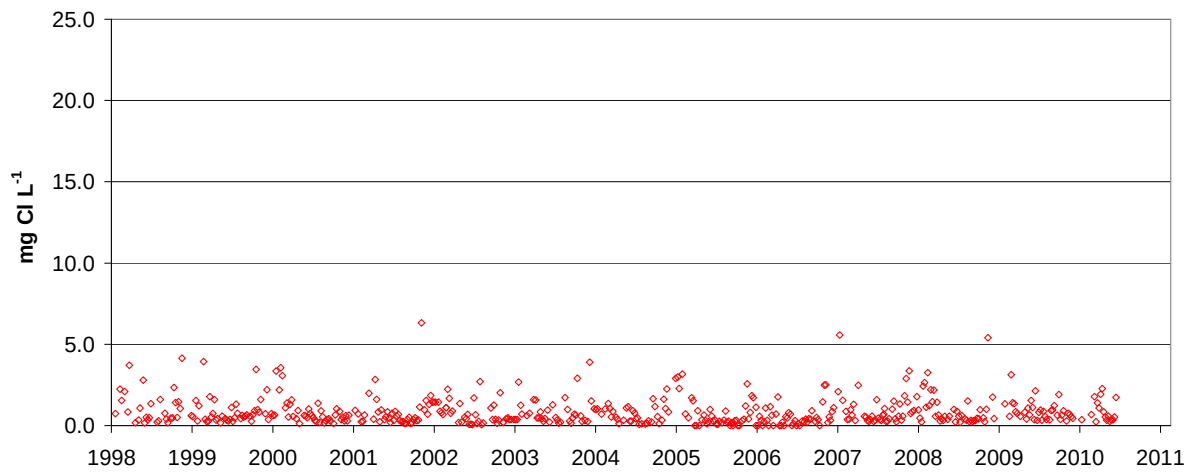


Abb.7a: Chlorid-Konzentrationen im Freilandniederschlag

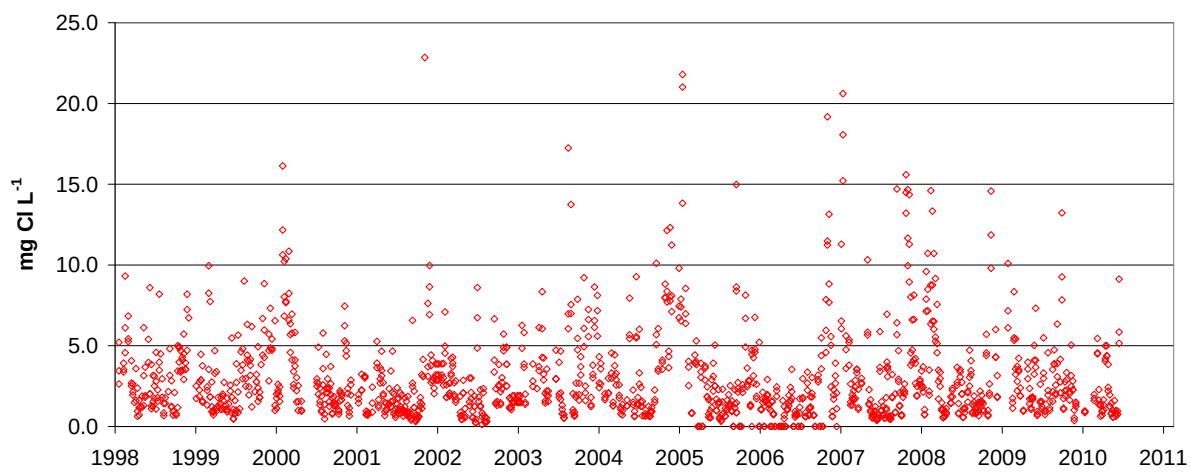


Abb.7b: Chlorid-Konzentrationen in der Kronentraufe

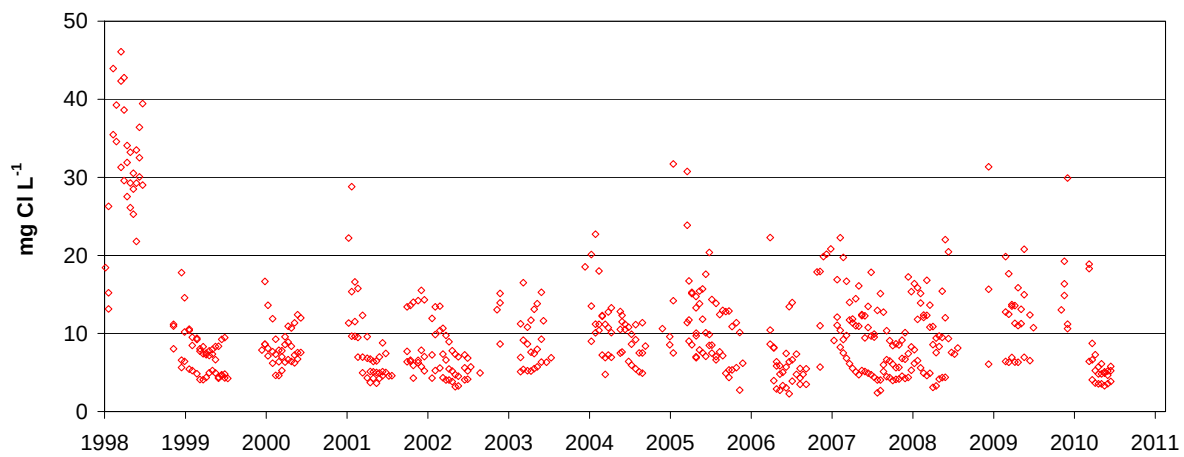


Abb.7c: Chlorid-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

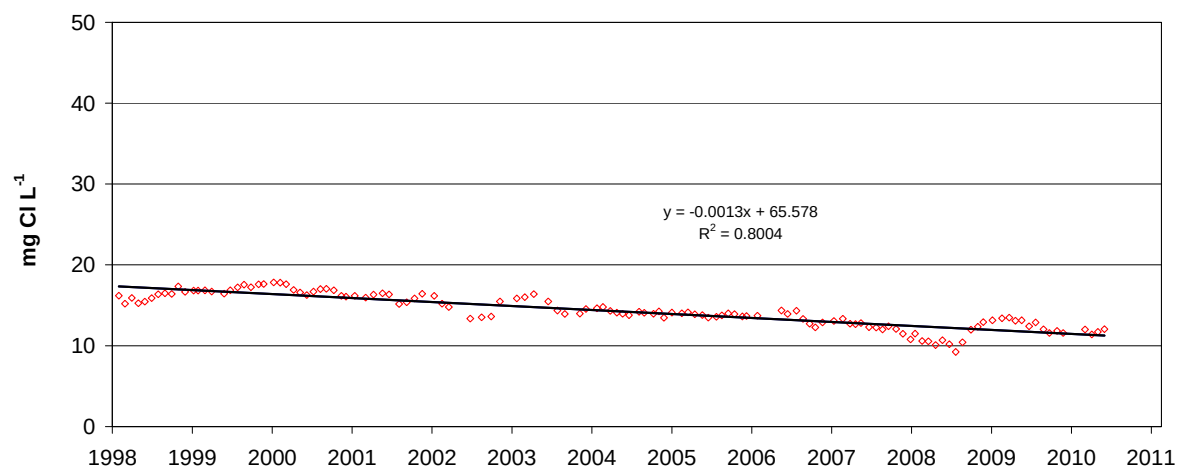


Abb.7d: Chlorid-Konzentrationen im Grundwasser (OP)



Abb. 7e: Chlorid-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

Tab.1: Mittelwerte, Standardabweichung sowie Min- und Max-Werte von pH, Kationen und Anionen in Freilandniederschlag (FN), Kronentraufe (BN), Sickerwasser (SW), Grundwasser (GW) und im Oberflächenwasser des Stechlinsees von Januar 1998 – Juni 2010.

pH	FN	BN	SW	GW	See
mean	5.09	5.42	7.26	7.48	8.21
S _d	0.64	0.81	0.45	0.15	0.25
min	3.93	3.62	6.19	7.25	7.66
max	7.18	7.47	8.91	8.38	8.82
K	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.25	2.74	0.25	0.78	1.43
S _d	0.37	3.63	0.29	0.08	0.12
min	0.00	0.08	0.00	0.65	1.12
max	4.86	55.80	3.81	1.14	1.65
Ca	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.73	2.15	32.18	104.74	44.94
S _d	1.30	2.61	16.02	7.26	2.99
min	0.04	0.10	5.49	72.00	35.62
max	13.12	26.74	104.58	115.74	49.21
Mg	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.10	0.53	1.30	3.90	3.30
S _d	0.08	0.51	0.58	0.32	0.16
min	0.02	0.02	0.39	2.79	2.84
max	0.77	4.28	4.09	6.12	3.60
NH₄-N	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.78	1.11	0.07	0.04	0.03
S _d	0.85	1.47	0.12	0.04	0.04
min	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
max	9.15	10.77	1.34	0.20	0.16
SO₄-S	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.70	1.32	6.72	25.82	12.17
S _d	0.47	0.88	3.71	4.44	0.38
min	0.08	0.19	1.39	15.38	11.24
max	3.29	6.38	24.74	32.97	13.66
NO₃-N	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.69	1.22	2.82	1.79	0.01
S _d	0.41	0.96	3.57	0.63	0.02
min	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
max	3.70	9.21	19.88	4.16	0.11
Cl	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.88	3.08	10.62	14.31	13.73
S _d	0.83	3.01	7.64	2.04	0.35
min	0.06	0.13	2.28	9.23	12.57
max	6.33	35.97	54.59	17.83	14.76
PO₄-P	FN	BN	SW	GW	See
mean	0.03	0.24	0.40	0.03	0.01
S _d	0.11	0.46	0.26	0.05	0.03
min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
max	1.44	4.38	1.87	0.35	0.25