

Projektnummer 100311

UNECE Integrated Monitoring Fortsetzung des Integrated Monitoring Programms an der Messstelle Neuglobsow



von

Hubert Schulte-Bisping

Büsgen-Institut
Ökopedologie der gemäßigten Zonen
Büsgenweg 2
37077 Göttingen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes
Februar 2019

Berichtskennblatt

Berichtsnummer 12

Titel des Berichts UNECE Integrated Monitoring Programm
Fortsetzung des Integrated Monitoring Programms
an der Messstelle Neuglobsow

Autor(en) Schulte-Bisping, Hubert

Durchführende Institution Büsgen-Institut
Ökopedologie der gemäßigten Zonen
Büsgenweg 2
37077 Göttingen

Fördernde Institution Umweltbundesamt
Postfach 1406
06813 Dessau-Roßlau

Projektlaufzeit 03-2018 bis 02-2019
Berichtszeitraum 03-2018 bis 02-2019

Projektnummer 100311
Seitenzahl des Berichts 46
Zusätzliche Angaben

Schlagwörter Integriertes Monitoring, Unterprogramme, Waldökosystem

Report Cover Sheet

Report No.	12
Report Title	UNECE Integrated Monitoring Programme Continuation of the Integrated Monitoring Programme at the German IM site Neuglobsow
Author(s)	Schulte-Bisping, Hubert
Performing Organisation	Buesgen-Institute Soil Science of Temperate Ecosystems Buesgenweg 2 37077 Goettingen Germany
Funding Agency	Federal Environment Agency Postfach 1406 06813 Dessau-Roßlau
Project duration	03-2018 to 02-2019
Reporting period	03-2018 to 02-2019
Project No.	100311
No. of Pages	46
Supplementary Notes	
Keywords	Integrated Monitoring, Subprogrammes, Forest Ecosystem

Inhaltsverzeichnis

UNECE Integrated Monitoring Programm - Fortsetzung des Integrated Monitoring Programms

1. Einleitung	5
2. Obligate Messungen des IM Programms	5
2.1 Unterprogramm Streufall (LF)	5
2.2 Unterprogramm Blatt- und Nadelanalyse (FC)	11
2.3 Unterprogramm Stammablauf (SF)	14
3. Lachgas-Emission der Waldmessfläche	15
4. Stoffeinträge aus Freilandniederschlag (PC), Kronentraufe (TF) und Stammablauf (SF)	16
4.1 Abschätzung der atmosphärischen Stoffdeposition	18
5. Xylemflussmessungen zur Abschätzung der Transpiration	20
6. Zeitliche Entwicklung von pH-Werten, Kationen und Anionen in Freilandniederschlag, Kronentraufe, Sicker-, Grund- und Seewasser (1998 – 2018)	23
Literatur	34
Summary	36
Anhang	40
Beteiligung an Ringanalysen des ICP	40
Instrumentalisierung der Waldmessfläche	45
Instrumentalisierung der Freilandmessfläche	46

1. 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 2018 fortgesetzt und die Ergebnisse werden im Folgenden präsentiert.

2. Obligate Messungen des IM Programms

2.1 Unterprogramm Streufall (LF)

Streufalluntersuchungen dienen dazu, die internen Nährstoffflüsse von Makro-, Mikroelementen und Kohlenstoff in ihrer saisonalen und langfristigen Dynamik zu erfassen (Kowalkowski & Jozwiak 2003). Zu diesem Zweck wurden auf der Waldmessfläche 12 Streusammler mit einer Gesamtauffangfläche von 3,0 m² entlang der Depositionssammler aufgestellt, um die im Streufall 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 Blattnospen, Blüten, Rinde, Früchte, Zapfen oder auch kleinere Äste. Mittlerweile liegen die Ergebnisse bis Oktober 2018 vor (Abb.1), wobei die Mengen des Streufalls in den einzelnen Jahren stark variierten. Die Trockenmassen (TM) lagen zwischen 5,3 t ha⁻¹ im Jahr 2005 und 8,7 t ha⁻¹ im Mastjahr 2011 bei einem mittleren Streueintrag von $6,55 \pm 1,04$ t TM pro Hektar und Jahr.

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

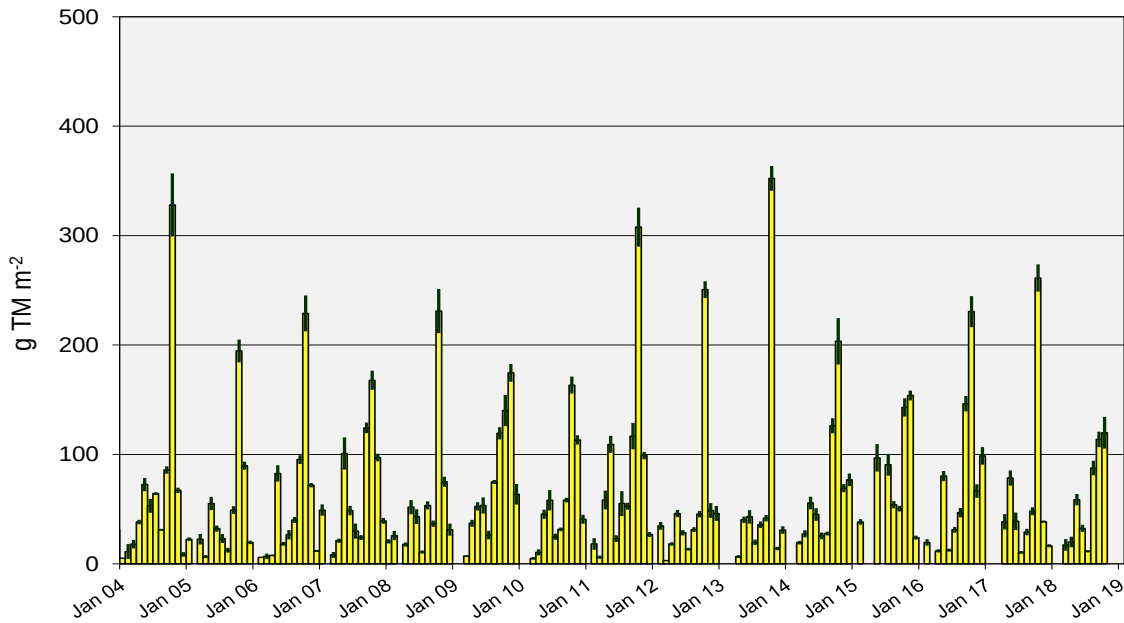


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Streufallmenge (TM) von 2004-2018

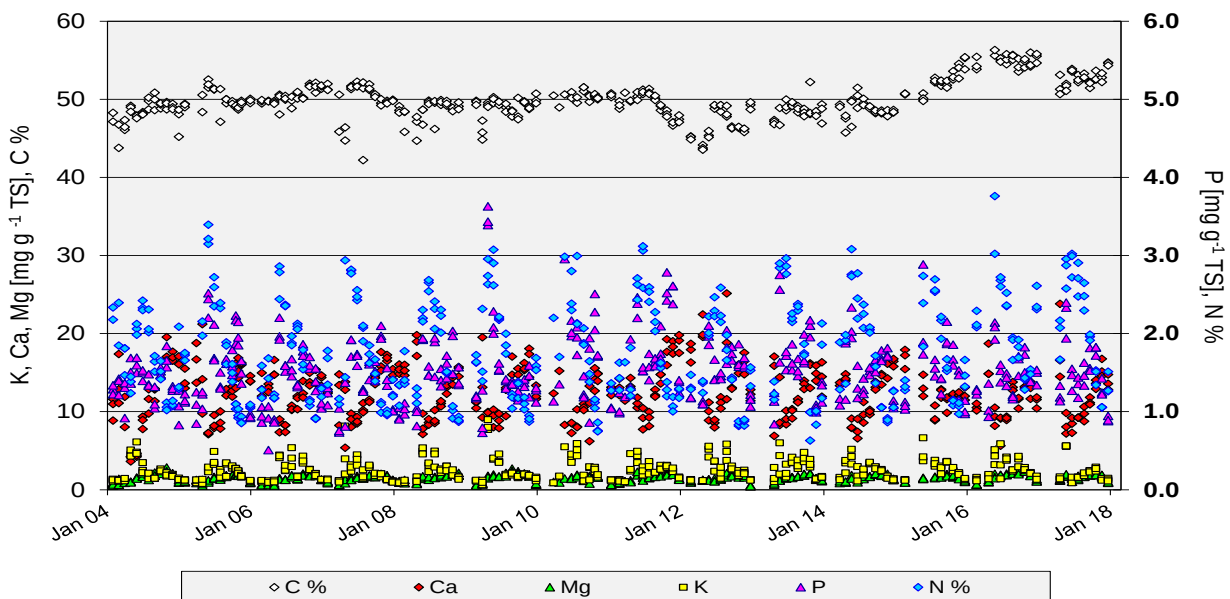


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Makroelementgehalte in der Buchenstreu (n=3)

Der Kohlenstoffgehalte in der Buchenstreu liegen im Mittel bei $49,9 \pm 2,4$ %, in der Kiefernstreu beträgt der C-Anteil etwa $53,4 \pm 2,0$ %. In der Buchenstreu wurde ein mittlerer Stickstoffgehalt von $1,8 \pm 0,6$ % gemessen, während die Kiefernstreu lediglich einen N-Gehalt von $0,9 \pm 0,3$ % aufwies. Dieser Befund führt zu großen Unterschieden in den C:N-Verhältnissen zwischen beiden Baumarten: Die Buchenstreu weist mittlere C:N-Verhältnisse von $32,0 \pm 11,8$ auf, hingegen sind die über die gesamte Messperiode von 2004 bis 2018 gemittelten Verhältnisse von $63,3 \pm 21,7$ in der Kiefernstreu als wesentlich ungünstiger zu bewerten. Auch der mittlere P-Gehalt liegt in der Kiefernstreu mit $0,74 \pm 0,27$ mg g⁻¹ TS nur halb so hoch verglichen mit dem in der Buchenstreu gemessenen Mittelwert von $1,52 \pm 0,43$ mg g⁻¹ TS.

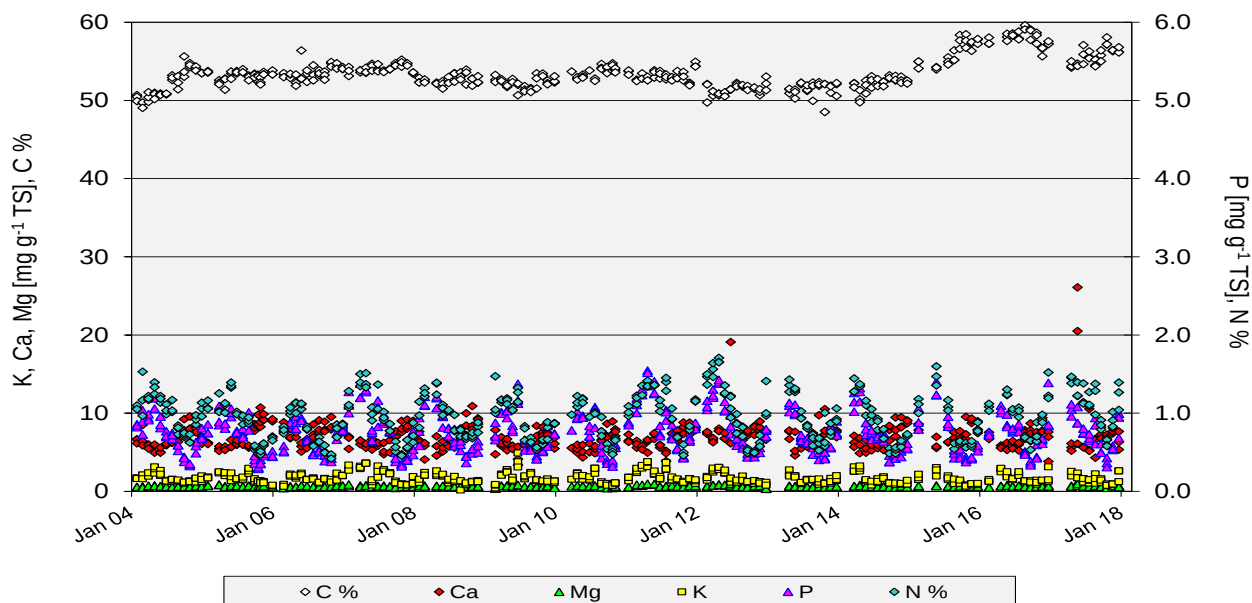


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Makroelementgehalte in der Kiefernstreu (n=3)

Die jährlichen Elementeinträge mit der Streu korrespondieren mit den jeweils gemessenen Streufallmengen. In der Buchenstreu fallen besonders die Calcium- und Stickstoffeinträge auf (Tab.1): Der Ca-Eintrag liegt im 14-jährigen Mittel bei $34,0 \pm 3,9 \text{ kg ha}^{-1}$ und basiert zu über 80 Prozent auf dem herbstlichen Laubfall. Dieser hohe Eintrag signalisiert darüber hinaus die gute Calcium-Versorgung dieses Standorts. Die mittleren Stickstoffeinträge mit der Buchenstreu liegen bei $27,7 \pm 3,8 \text{ kg ha}^{-1}$ und resultieren zu über 70 % aus dem herbstlichen Laubfall, weniger als 10 Prozent lässt sich auf die Restfraktion aus Knospenschuppen und Blüten zurückführen, die deutlich höhere N-Gehalte aufweisen. Der Kaliumeintrag reicht von $3,8 \text{ kg}$ im Jahr 2007 bis ca. $9,1 \text{ kg ha}^{-1}$ im Jahr 2013, während der Magnesium-Input zwischen $3,7 \text{ kg}$ und $5,6 \text{ kg ha}^{-1}$ variiert und ebenfalls zu über 75 Prozent aus dem herbstlichen Laubfall stammt.

Tabelle 1: Makroelementeintrag aus der Buchenstreu (kg ha^{-1})

Jahr	TM	C	N	P	S	Na	K	Ca	Mg
					kg ha^{-1}				
2004	2556	1252	33,6	4,1	3,6	0,3	6,9	35,1	5,4
2005	2444	1202	25,4	4,4	2,7	0,3	5,5	36,9	4,6
2006	2413	1242	28,4	3,7	2,7	0,4	6,0	33,5	4,3
2007	2227	1109	26,1	3,7	2,4	0,4	3,8	34,9	4,0
2008	2420	1182	25,0	4,1	2,1	0,3	4,9	34,1	5,1
2009	2059	1007	22,4	2,9	2,0	0,2	3,9	32,3	4,0
2010	2328	1171	24,0	4,4	2,1	0,3	5,0	32,0	3,8
2011	1974	948	27,0	4,5	2,6	0,3	5,2	33,1	3,7
2012	2621	1218	24,7	4,3	2,1	0,5	5,8	40,7	4,4
2013	2756	1363	26,1	5,6	2,1	0,5	9,1	41,0	5,6
2014	2391	1156	26,9	3,9	2,3	0,4	5,3	34,5	4,3
2015	2691	1432	32,2	4,2	2,3	0,4	6,5	32,4	4,4
2016	2179	1190	34,7	3,4	2,3	0,5	6,1	27,1	4,7
2017	2086	1102	31,1	3,5	2,0	0,4	4,9	28,1	3,9
mean	2367	1184	27,7	4,0	2,4	0,4	5,6	34,0	4,4
S_d	241	125	3,8	0,6	0,4	0,1	1,3	3,9	0,6

Tabelle 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
2010	98,6	16,1	0,62	0,11	2,54	0,21	0,00
2011	101,5	27,1	0,23	0,05	1,45	0,28	0,00
2012	142,8	54,9	1,61	0,35	n.a.	0,25	2,35
2013	229,9	33,2	1,40	0,15	4,41	0,53	5,58
2014	252,3	22,6	1,38	0,84	3,60	0,42	4,43
2015	141,4	47,6	1,11	0,23	2,79	0,36	2,69
2016	138,8	78,8	0,86	0,34	2,57	0,72	2,67
2017	185,5	17,1	2,29	0,56	5,87	0,38	4,13
mean	139,7	28,9	0,99	0,23	3,43	0,24	1,59
S _d	49,4	19,0	0,54	0,23	1,92	0,22	2,01

An Mikroelementen werden mit der Streu vor allem Zink und Kupfer in nennenswerten Mengen eingetragen (Tab.2 u. Abb.4). Im Mittel der 14-jährigen Untersuchungen werden etwa 29 Gramm Kupfer (Cu) und 140 g Zink (Zn) pro Hektar und Jahr eingetragen. Beide Elemente sind für Pflanzen und Tiere zwar essentielle Spurenelemente, in leichter Überkonzentration können beide Schwermetalle jedoch toxisch wirken. Die Kupfergehalte zeigen einen deutlich saisonalen Trend, die Zinkwerte weisen gleichfalls starke saisonale Schwankungen auf.

Die Kobalt-, Cadmium- und Bleigehalte der Buchenstreu lagen meist im Bereich der Nachweisgrenze von 10 µg L⁻¹ und können wohl als vernachlässigbar angesehen werden. Auffallend sind die erhöhten SM-Werte, insbesondere von Zink und Kupfer seit dem Jahr 2012 (Abb.4 u. 5). Eine Erklärung könnte in den umfangreichen Renovierungsmaßnahmen liegen, die Ende 2011 im Büsgen-Institut durchgeführt worden sind. Die SM-Werte wurden bis 2012 im Druckaufschlussverfahren mit einem ICP-AES

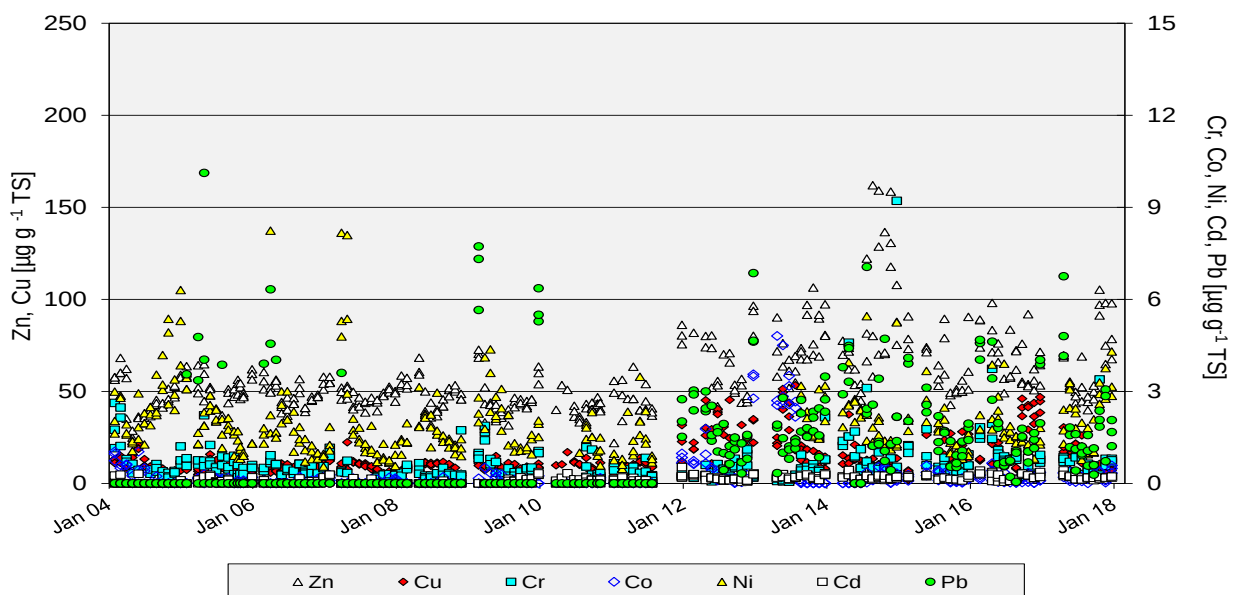


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Mikroelementgehalte in der Buchenstreu (n=3)

gemessen. Mittlerweile werden die Proben mit einem ICP-OES der Firma Thermo Scientific (iCAP 6000) analysiert, wobei die Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze in Anlehnung an die DIN 32645 erfolgt.

Die im Vergleich zu den früheren Messungen festgestellte höhere Streuung der Messwerte, besonders bei Zink und Kupfer, lassen sich vermutlich auf die höhere Messgenauigkeit des ICP-OES zurückführen. Im Vergleich zum alten ICP liegen die Nachweisgrenzen einzelner Elemente z.T. um eine Zehnerpotenz niedriger. Dies gilt auch für die Elemente Kobalt und Blei, die in den früheren Messkampagnen nicht selten an bzw. unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

Die Stoffeinträge aus der Kiefernstreu sind aufgrund deutlich geringerer Streufallmengen wie auch aufgrund niedriger Stoffkonzentrationen im Vergleich zur Buche deutlich reduziert. (Tab. 3). So schwanken die Trockenmassen in den Untersuchungsjahren zwischen 1053 im Jahr 2017 und 1554 kg pro Hektar im Jahr 2006. Dementsprechend geringer fallen auch die bestandsinternen Elementflüsse mit der Kiefernstreu aus: Im 14-jährigen Mittel gelangen $9,6 \pm 1,2$ kg Stickstoff, $10,0 \pm 1,3$ kg Calcium, $0,7 \pm 0,1$ kg Phosphor sowie $0,7 \pm 0,1$ kg Magnesium auf einen Hektar Waldboden.

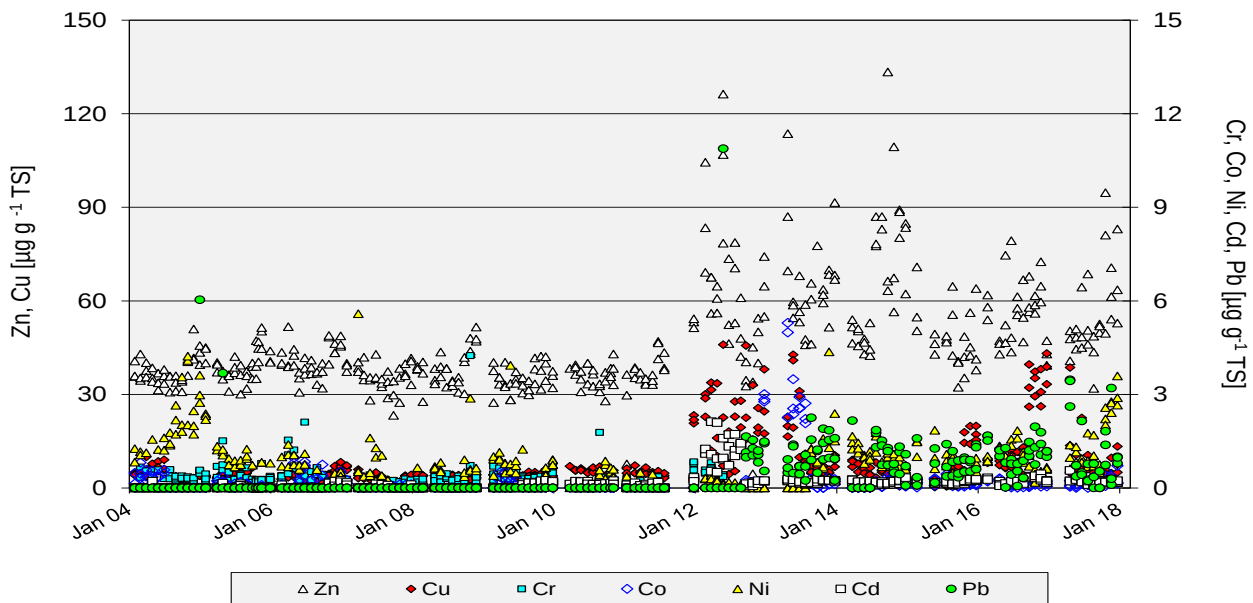


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der Mikroelementgehalte in der Kiefernstreu (n=3)

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

Jahr	TM	C	N	P	S	Na	K	Ca	Mg
					kg ha^{-1}				
2004	1237	663	9,7	0,6	0,9	0,2	1,7	9,7	0,7
2005	1211	639	8,0	0,6	0,9	0,2	1,7	9,9	0,7
2006	1554	836	9,2	0,8	1,0	0,2	2,3	12,6	0,9
2007	1543	839	10,6	0,9	1,0	0,2	2,2	11,2	0,7
2008	1414	746	11,4	0,8	0,9	0,1	1,6	11,1	0,8
2009	1474	769	10,1	0,9	0,8	0,1	2,7	9,6	0,9
2010	1165	629	7,7	0,6	0,6	0,1	1,3	8,5	0,6
2011	1287	682	11,3	0,9	1,0	0,1	2,3	9,2	0,8
2012	1301	671	9,2	0,8	0,7	0,2	1,8	10,4	0,8
2013	1187	609	8,7	0,6	0,6	0,1	1,5	9,1	0,6
2014	1430	753	9,1	0,7	0,8	0,2	1,7	10,8	0,7

2015	1381	782	9,8	0,7	0,8	0,2	1,6	10,5	0,8
2016	1417	816	10,9	0,8	0,8	0,3	1,9	10,3	0,8
2017	1053	596	8,5	0,5	0,5	0,1	1,1	7,3	0,6
mean	1332	716	9,6	0,7	0,8	0,2	1,8	10,0	0,7
S _d	150	85	1,2	0,1	0,1	0,0	0,4	1,3	0,1

An Mikroelementen wurden mittlere jährliche Eintragsraten von 61,3 g Zink, 10,4 g Kupfer und 0,9 g Nickel pro Hektar berechnet (Tab.4). Die Konzentrationen von Chrom (Cr), Kobalt (Co), Cadmium (Cd) und Blei (Pb) lagen meist an bzw. unter 2 µg g⁻¹ Trockensubstanz im Bereich der Nachweisgrenzen. Die entsprechenden Einträge von ≤ 0,6 g ha⁻¹ a⁻¹ können als gering eingestuft werden.

Tabelle 4: Mikroelementeintrag aus der Kiefernstreu (g ha⁻¹)

Jahr	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
				g ha ⁻¹			
2004	45,9	3,9	0,38	0,04	3,12	0,00	0,03
2005	48,3	3,4	0,35	0,02	0,36	0,01	0,02
2006	62,4	4,7	0,54	0,33	0,18	0,08	0,00
2007	51,7	4,3	0,12	0,06	0,19	0,03	0,00
2008	55,2	4,6	1,01	0,00	0,83	0,00	0,00
2009	52,2	5,5	0,50	0,07	0,24	0,22	0,00
2010	40,5	4,0	0,37	0,02	0,48	0,13	0,00
2011	58,4	13,8	0,32	0,04	0,16	0,18	0,03
2012	56,7	29,4	0,70	0,50	n.a.	0,18	1,64
2013	76,2	8,6	0,62	0,50	1,06	0,24	1,48
2014	95,9	7,6	0,77	0,35	1,44	0,24	1,23
2015	63,9	11,6	0,55	0,19	0,85	0,24	1,05
2016	81,7	39,1	0,63	0,16	1,00	0,41	1,58
2017	68,8	5,6	0,30	0,35	1,88	0,21	1,12
mean	61,3	10,4	0,51	0,19	0,91	0,16	0,58
S _d	15,1	10,7	0,23	0,18	0,85	0,12	0,70

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

Jahr	TM	C	N	P	S	Na	K	Ca	Mg
					kg ha ⁻¹				
2004	4040	1964	27,7	2,3	2,8	0,9	8,3	17,0	2,1
2005	1631	824	7,3	0,7	0,7	0,1	3,9	5,4	0,8
2006	1996	1050	10,1	1,1	1,0	0,2	4,3	6,5	0,9
2007	3339	1730	19,8	2,2	1,5	0,3	7,5	11,3	1,7
2008	2143	1088	14,8	0,9	1,0	0,2	2,3	9,3	0,9
2009	3958	2026	41,5	4,3	2,9	0,2	10,5	20,5	3,0
2010	2020	1046	30,3	1,6	1,3	0,2	3,6	7,3	1,1
2011	5471	2824	54,3	5,7	4,4	0,4	16,3	33,9	3,8
2012	1739	897	17,2	1,3	1,0	0,3	2,2	14,8	0,9
2013	1903	971	16,0	1,5	1,0	0,2	2,5	11,8	1,0
2014	2949	1521	29,9	2,7	2,1	0,4	5,5	16,1	2,0
2015	2441	1328	16,4	1,5	1,3	0,2	4,0	11,3	1,2
2016	3848	2148	40,2	3,5	2,7	0,6	11,7	17,6	2,9
2017	2461	1372	30,6	2,9	2,0	0,4	5,9	17,3	1,8
mean	2853	1485	25,5	2,3	1,8	0,3	6,3	14,3	1,7
S _d	1131	584	13,4	1,4	1,1	0,2	4,1	7,3	0,9

Ein Großteil des Streuinputs von 42 % entfällt auf die Restfraktion aus Rindenteilen Zweigen, Bucheckern, Fruchtbächer (Cupula) und Zapfen etc. mit einer mittleren jährlichen Trockenmasse von 2853 kg ha^{-1} (Tab.5). Aufgrund der in der letzten Dekade gehäuft auftretenden Mastjahre der Buche ist die beobachtete Standardabweichung in Höhe von 1131 kg ha^{-1} erheblich. Der Stickstoffeintrag aus der Reststreu beläuft sich auf $25,5 \pm 13,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und erreicht somit einen Anteil von 41 % bezogen auf den gesamten Streuinput.

Tabelle 6: Mikroelementeintrag aus der Reststreu (g ha^{-1})

Jahr	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
				g ha^{-1}			
2004	106,0	49,9	24,91	10,68	15,23	0,87	0,00
2005	40,6	6,6	0,95	0,86	1,96	0,00	0,00
2006	61,0	26,6	1,36	0,35	2,15	0,34	1,60
2007	69,7	24,7	1,44	0,04	4,32	0,00	0,00
2008	63,0	13,2	1,99	0,00	2,38	0,22	0,00
2009	94,7	32,7	2,53	0,11	14,15	0,06	0,00
2010	54,3	16,7	0,00	0,05	0,00	0,34	0,00
2011	160,3	67,5	1,84	3,11	4,58	0,51	4,11
2012	97,8	46,0	1,03	0,77	n.a.	0,65	4,93
2013	115,8	26,3	0,77	1,74	7,08	0,67	3,09
2014	207,9	24,3	0,74	0,32	4,85	0,73	2,51
2015	104,3	22,2	1,05	0,43	3,35	0,47	3,05
2016	328,3	43,1	2,10	0,58	6,98	0,88	2,75
2017	116,5	29,8	2,99	1,40	5,63	0,47	1,84
mean	115.7	30.7	3.12	1.46	5.59	0.44	1.70
S _d	75.4	16.1	6.32	2.79	4.52	0.30	1.73

2.2 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 etwa Anfang August geerntet werden. Von jeder Baumart werden jeweils drei für die Fläche repräsentative und vorherrschende Bäume ausgewählt.

Die Blattanalysen spiegeln auch in 2017 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 $28,3 \pm 3,5 \text{ mg N}$ bzw. $1,7 \pm 0,3 \text{ mg P g}^{-1} \text{ TS}$ den Ernährungsstufen IV bzw. III zuzuordnen und liegen damit in einem Bereich optimaler bis luxuriöser Versorgung. Auch die Calcium- und Magnesium-Spiegelwerte von $9,6 \text{ mg Ca}$ und $2,3 \text{ mg Mg g}^{-1} \text{ TS}$ liegen in diesem Bereich, der z. T. schon eine beginnende Überernährung erkennen lässt. Dagegen weisen die Kaliumwerte mit durchschnittlich $3,9 \text{ mg K g}^{-1} \text{ TS}$ auf eine latente Mangelerkrankung (Göttlein et al. 2011). Abbildung 6 zeigt darüber hinaus, dass die N- und P-Gehalte in 2017 sich nicht wesentlich von den Vorjahrsdaten unterscheiden, auch der Magnesium- und Kaliumspiegel entspricht etwa dem dreijährigen Mittel.

Neben den Blattspiegelwerten kann auch der Anteil der Retranslokation von Elementen aus den Blättern vor dem herbstlichen Laubfall als wichtiger Indikator der Nährstoffversorgung angesehen werden (Kühr et al. 2003). Die Differenz zwischen den Anfang August geernteten frischen Blättern und

den Gehalten in der herbstlichen Streu beträgt bei Stickstoff im Mittel 14 ± 1.8 mg N, was einer mittleren Retranslokationsrate von 42 ± 13 % entspricht.

Im 12-jährigen Untersuchungszeitraum lagen die mittleren Stickstoffgehalte in den Buchenblättern bei $24,8 \pm 1,8$ mg N g⁻¹ TS (Abb.7). Nach Göttlein et al. (2011) spricht auch dieser Befund für eine sehr gute Stickstoffversorgung der Buchen.

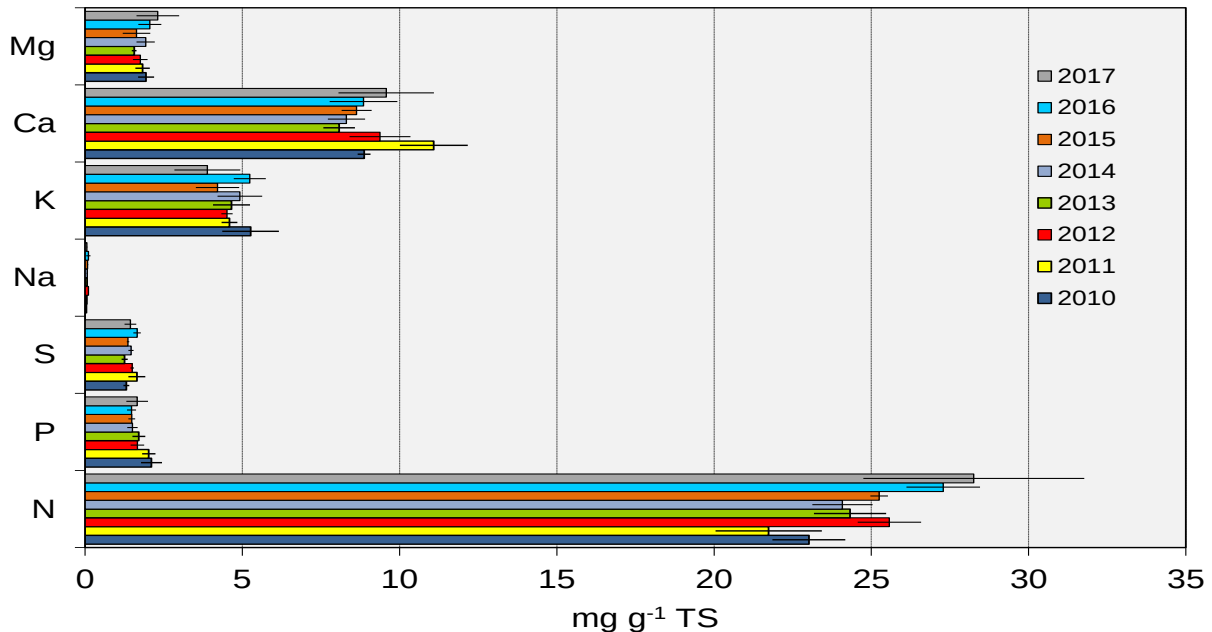


Abbildung 6: Blattspiegelwerte der Buchen in den Jahren 2010–2017 (n=12)

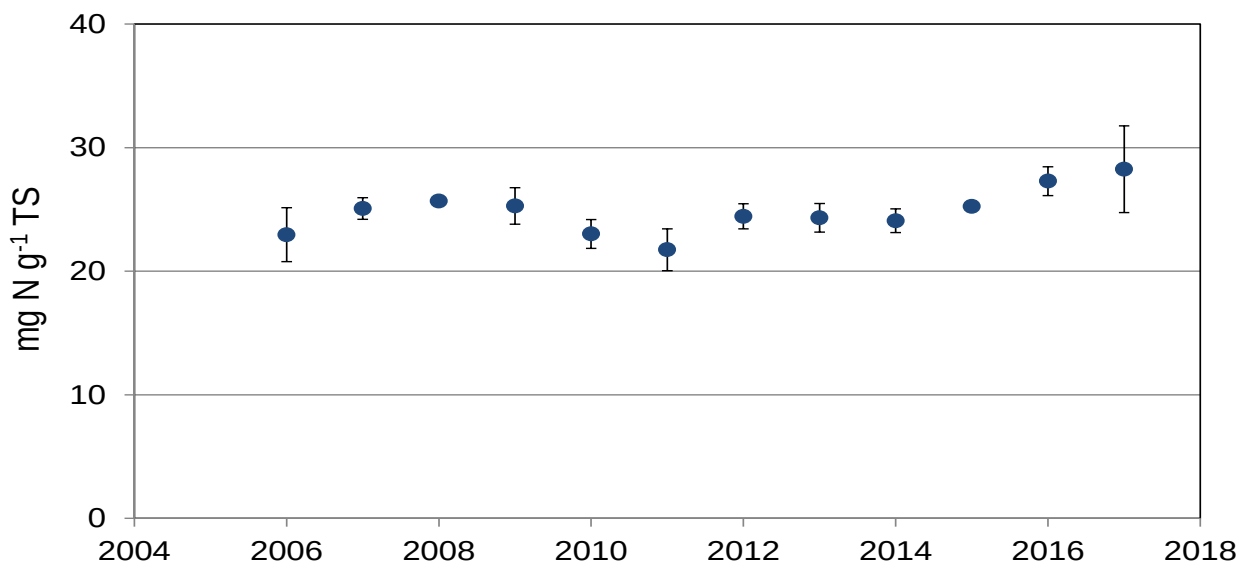


Abbildung 7: Stickstoffgehalte der Buchenblätter in den Jahren 2006–2017 (n=12)

Die Nadelspiegelwerte der Kiefern weisen gegenüber dem Vorjahr leichte Veränderungen auf. So sind die Calcium-Gehalte mit $3,6 \pm 1,1$ mg Ca g⁻¹ TS um eine Ernährungsstufe gefallen, liegen aber immer noch in einem Bereich optimaler Ernährung. Die Phosphor-Werte sind nahezu unverändert und betragen $1,6 \pm 0,2$ mg P g⁻¹ TS, was nach Krauß und Heinsdorf (2005) ebenfalls einem Bereich optimaler Versorgung entspricht.

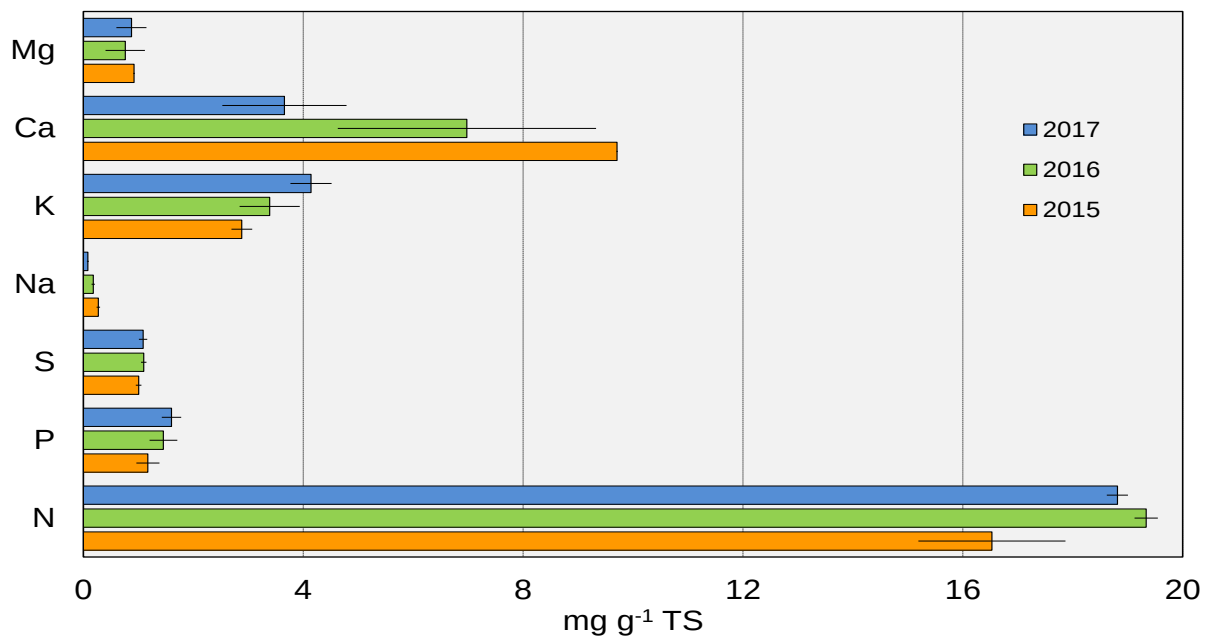


Abbildung 8: Nadelspiegelwerte der Kiefern in den Jahren 2015 – 2017 (n=9)

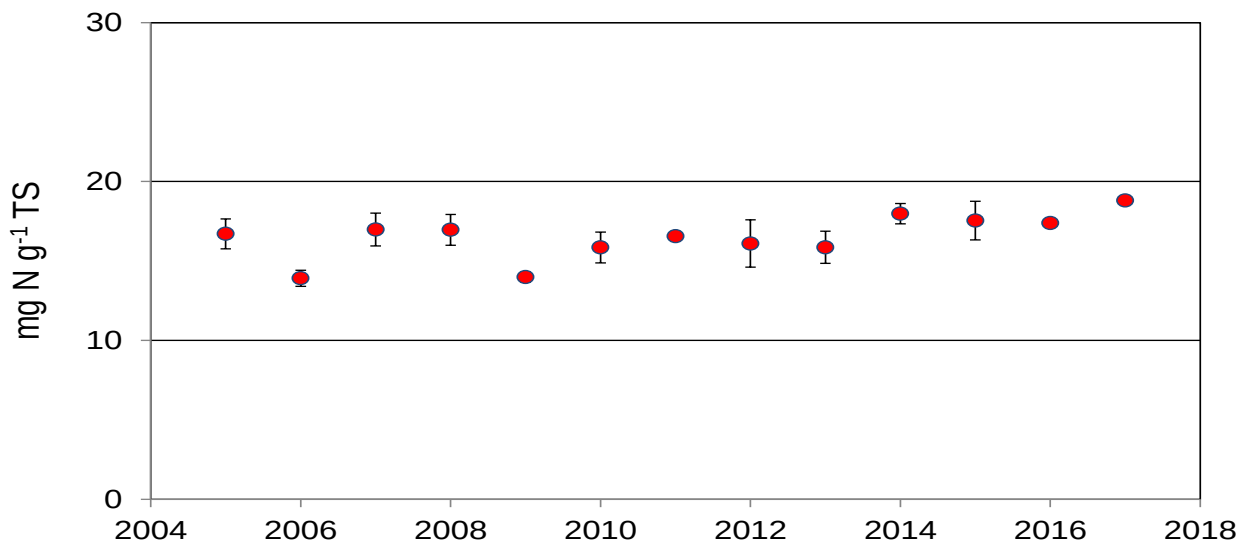


Abbildung 9: Stickstoffgehalte der Kiefernadeln in den Jahren 2005–2017 (n=9)

Die Stickstoffgehalte der einjährigen Referenznadeln aus der Oberkrone lagen mit $18,8 \pm 1,9$ mg N g⁻¹ TS leicht über dem Ergebnis des Vorjahres, was nach der Einstufung von Göttlein et al. (2011) dem mittleren Normalbereich entspricht. Die Kaliumwerte liegen mit $4,1 \pm 0,4$ mg K g⁻¹ TS ebenso an der unteren Grenze des Normalbereichs wie die Mg-Gehalte mit $0,9 \pm 0,3$ mg Mg g⁻¹ TS (Abb.8).

Im 13-jährigen Mittel lag der Stickstoffgehalt in den Kiefernadeln bei $16,5 \pm 1,4$ mg N g⁻¹ TS (Abb.9). Nach Göttlein et al. (2011) liegt dieser Wert ebenfalls im mittleren Normalbereich, was die gute Stickstoffversorgung der Kiefern an diesem Standort unterstreicht.

2.3 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 Niederschlagsmenge wöchentlich bis 14-tägig durchgeführt wird. In den Jahren 2004 bis 2017 wurde insgesamt ein Stammablauf in Höhe von 9027 Litern registriert. Bezogen auf die Grundfläche des Bestandes von 25,4 m² pro Hektar (s. ICP IM Manual 2004) erhöht sich der Bestandsniederschlag lediglich um ca. 10 mm pro Jahr bei einer Streuung von 3,0 bis 21,4 mm (Tab.7). Im Vergleich mit den vom Umweltbundesamt gemessenen Kronentraufen (KT) von 311 bis 598 mm a⁻¹ entspricht dies einem mittleren Anteil von $2,1 \pm 1,1$ %.

Tabelle 7: Stammablauf (SF) auf der Waldmessfläche 2004–2017

Jahr	Stammablauf	Kronentraufe (KT)	% der KT
	mm a ⁻¹	mm a ⁻¹	
2004	8.8	381	2.3
2005	6.6	412	1.6
2006	8.8	345	2.6
2007	20.5	591	3.5
2008	3.5	415	0.8
2009	3.5	399	0.9
2010	8.2	598	1.4
2011	21.4	525	4.1
2012	8.8	393	2.2
2013	9.9	396	2.5
2014	3.0	496	0.6
2015	8.5	391	2.2
2016	3.9	311	1.2
2017	18.8	551	3.4

Die Abbildungen 10 und 11 geben den zeitlichen Verlauf der Elementkonzentrationen im Stammablaufwasser wieder. Die pH-Werte liegen im gewichteten Mittel bei 6,1 und damit um 0,5 pH-Einheiten über den in der Kronentraufe gemessenen Werten.

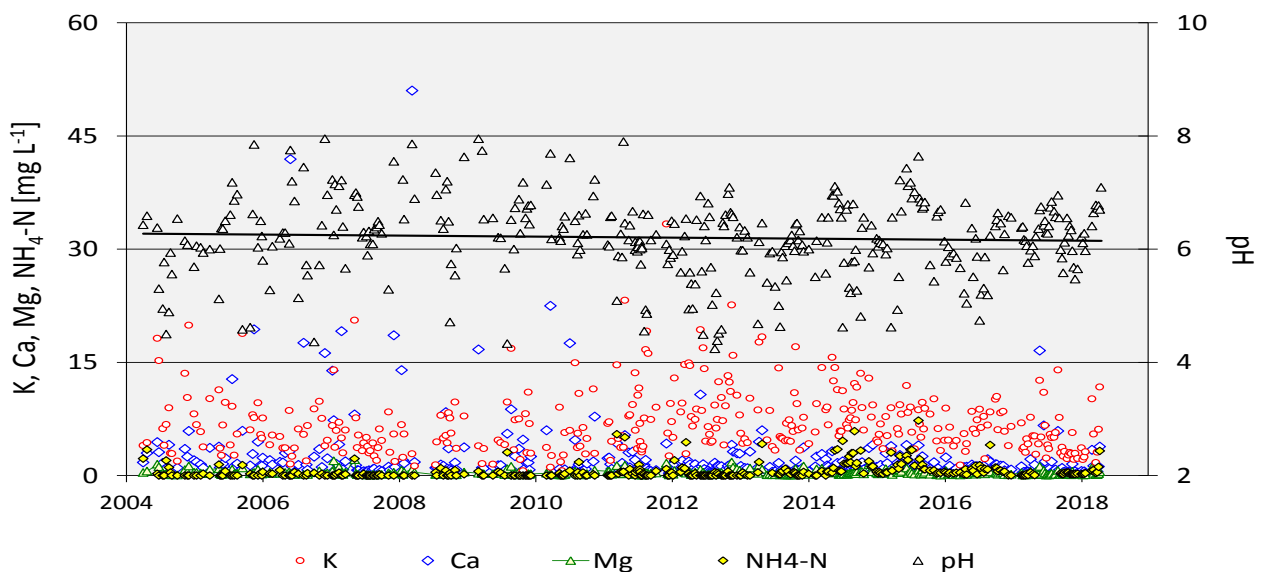


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte und Kationen-Konzentrationen im Stammablauf (SF)

Bei höheren Niederschlagsereignissen, wie sie periodisch im Oktober 2006 oder im Herbst 2009 und 2012 auftraten, können die Werte aufgrund der verminderten Pufferung innerhalb des Kronenraums kurzfristig auch unter pH 5 fallen. Insgesamt lässt sich aber kein eindeutiger Trend in der Entwicklung der pH-Werte im Stammablaufwasser nachweisen.

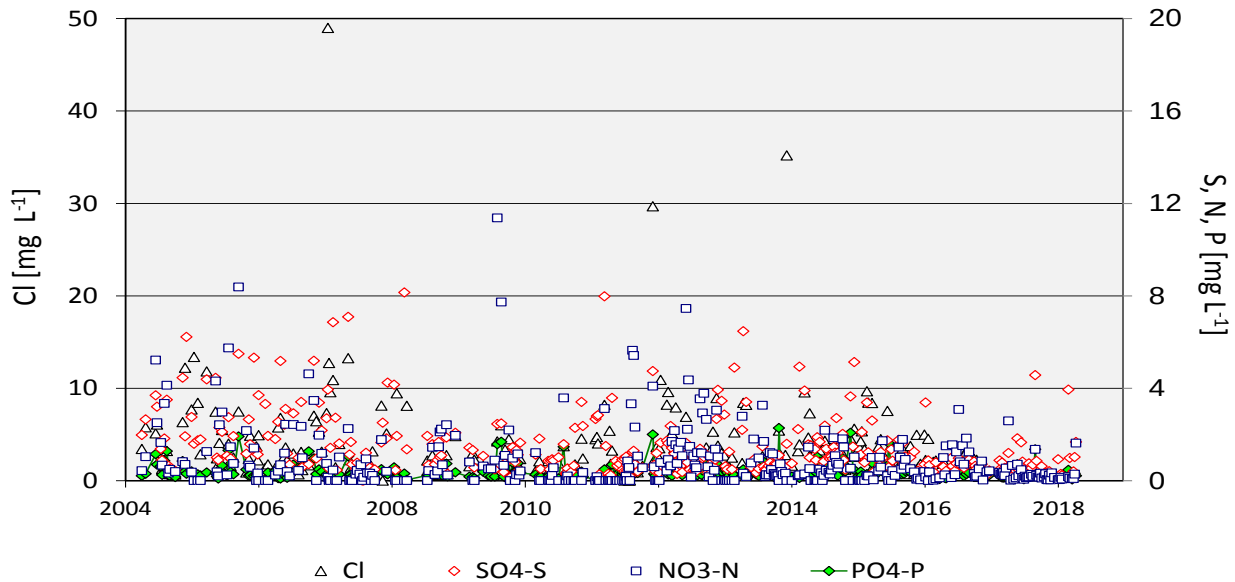


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Anionen-Konzentrationen im Stammablauf (SF)

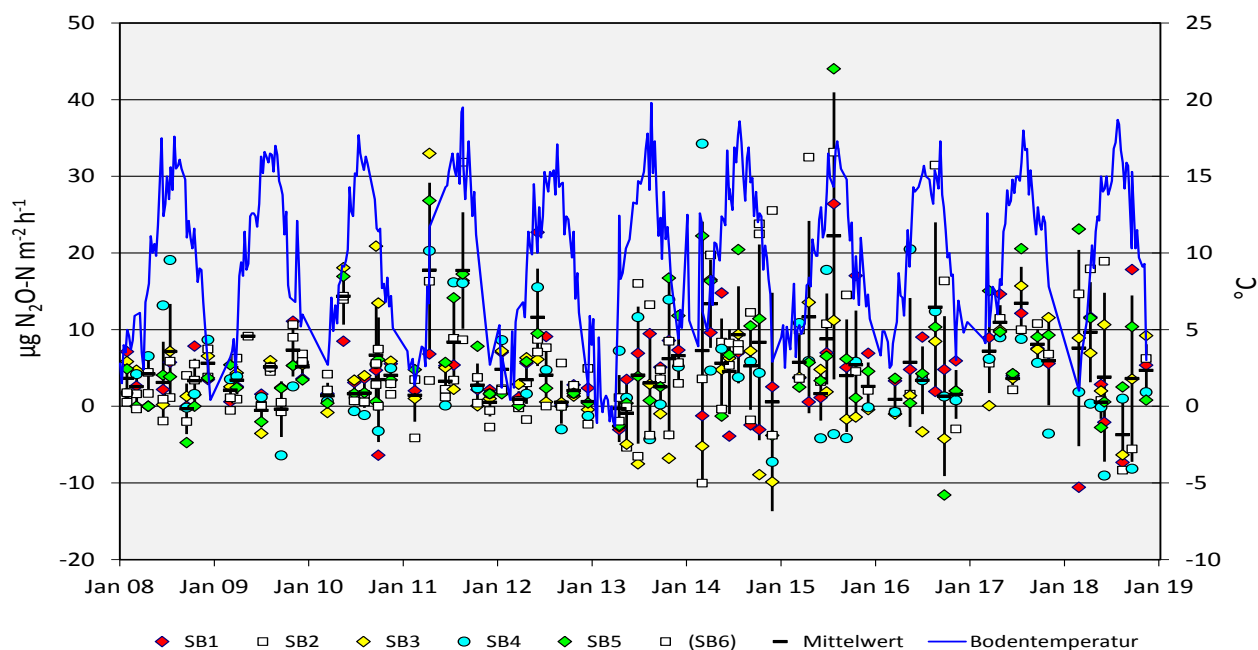
Von den Kationen dominieren Kalium mit $4,9 \text{ mg K L}^{-1}$ und Calcium mit $1,7 \text{ mg Ca L}^{-1}$ während bei den Anionen die Chlorid- und Sulfat-Ionen mit mittleren Konzentrationen von $1,8 \text{ mg Cl}$ bzw. $0,9 \text{ mg SO}_4\text{-S L}^{-1}$ im Stammablaufwasser¹ überwiegen. Auffällig sind die saisonal stark variierenden Konzentrationen besonders der Kalium-, Calcium- und der Chlorid-Ionen, wobei letztere besonders im Winterhalbjahr stärker fluktuieren.

3. Lachgas-Emission der Waldmessfläche

Seit dem Jahr 2008 werden auf der Waldmessfläche auch die Lachgasemissionen (N_2O) mit geschlossenen Bodenhauben bestimmt (Beese et al. 2002). Bei der Beprobung kommen evakuierte Exetainer der Firma LABCO zum Einsatz, die an einem Gaschromatographen (ECD) des Zentrallabors der Ökopedologie der gemäßigten Zone an der Universität Göttingen analysiert werden. Von den N_2O produzierenden Prozessen in Böden spielen quantitativ vor allem die Nitrifikation und die Denitrifikation eine besondere Rolle.

In den Messjahren 2008 bis 2018 lagen die gasförmigen Verluste auf den gut drainierten Sandböden in Neuglobsow bei maximal $44 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, wobei im 10-jährigen Mittel $0,45 \text{ kg N}_2\text{O-N pro Hektar und Jahr}$ emittiert wurden. Diese eher geringen gasförmigen Stickstoffverluste dürften daher für den Stickstoffhaushalt der Untersuchungsfläche von untergeordneter Bedeutung sein (Abb.12).

¹ Konzentrationen des gewichteten Mittels

Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der N₂O-Emissionen und der Bodentemperaturen (2008–2018)

4. Stoffeinträge aus Freilandniederschlag (PC), Kronentraufe (TF) und Stammablauf (SF)

Die Stoffeinträge aus dem Freilandniederschlag, der Kronentraufe und dem Stammablauf sind für den Untersuchungszeitraum 1998-2017 in Tabellen 8-10 dargestellt. Die Freilandniederschläge lagen im langjährigen Durchschnitt bei $600 \pm 111 \text{ mm a}^{-1}$, während sich die Kronentraufe im Mittel auf $431 \pm 94 \text{ mm}$ pro Jahr summiert. Dies entspricht ca. 71 Prozent des Freilandniederschlages und bedeutet im Umkehrschluss, dass 28 % des Niederschlagswassers in die Interzeption des Bestandes fließt und somit von der Kronenoberfläche wieder verdunstet, bevor es den Boden erreichen kann.

Tabelle 8: Stoffeinträge aus dem Freilandniederschlag (PC)

Jahr	Nieder-schlag	pH	H	Na	NH ₄ -N	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄ -S
	mm		mol _c ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
1998	500	5,06	43,4	2,40	3,13	0,93	0,49	1,47	4,21	2,57	0,01	3,34
1999	537	5,20	34,3	3,23	3,51	0,94	0,57	2,27	5,59	3,43	0,20	3,85
2000	519	5,69	10,6	2,73	3,10	1,20	0,57	2,63	4,49	2,82	0,24	3,55
2001	601	5,84	8,6	2,27	5,23	1,19	0,42	4,29	4,17	3,17	0,36	3,74
2002	686	5,33	32,1	2,32	2,95	0,56	0,41	1,89	3,98	2,91	0,05	3,23
2003	422	5,36	18,4	1,74	3,00	0,52	0,30	1,75	3,07	2,90	0,01	2,67
2004	562	5,47	19,0	2,81	3,13	0,83	0,45	1,87	4,77	2,98	0,06	2,78
2005	593	5,27	31,6	2,80	2,40	0,77	0,53	4,23	4,64	2,82	0,03	2,59
2006	509	5,53	14,9	1,82	3,32	0,76	0,33	2,35	3,10	2,80	0,13	2,27
2007	816	5,13	60,5	3,10	2,87	1,21	0,44	3,27	6,66	3,75	0,10	3,92
2008	612	4,97	66,0	3,24	3,29	1,38	0,55	6,09	5,43	3,27	0,24	2,52
2009	561	4,94	64,4	1,61	1,99	1,15	0,25	1,30	3,45	2,48	0,11	2,12
2010	809	4,80	128,9	2,16	3,54	1,05	0,42	7,66	4,38	3,82	0,16	3,27
2011	734	5,19	47,4	1,92	3,64	1,11	0,34	1,75	3,80	2,93	0,20	2,43

2012	576	5,23	34,0	2,42	2,85	0,59	0,38	1,57	4,37	2,70	0,15	1,97
2013	561	4,94	64,0	1,96	2,82	0,65	0,34	2,06	3,49	2,62	0,12	2,00
2014	619	5,18	40,5	2,51	3,15	0,92	0,43	2,61	4,35	2,64	0,21	2,49
2015	535	5,32	25,7	1,72	2,64	0,64	0,29	1,83	2,99	2,14	0,18	1,53
2016	475	5,33	22,1	2,01	2,88	0,83	0,34	1,76	3,45	2,18	0,20	1,44
2017	778	5,27	41,4	3,29	3,49	1,09	0,52	2,67	5,69	3,10	0,16	2,24
mean	600	5.25	40.39	2.40	3.15	0.92	0.42	2.77	4.30	2.90	0.15	2.70
S _d	111	0.26	27.49	0.54	0.63	0.25	0.10	1.65	0.97	0.44	0.09	0.74

Die mittleren Stickstoffeinträge aus dem Freilandniederschlag belaufen sich auf 6,0 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und liegen damit noch etwas unterhalb der Werte, die an Level II Standorten des Landes Brandenburg gemessen wurden². Auch die jährlichen Calcium- und Schwefeleinträge sind mit 2,8 ± 1,7 kg Ca bzw. 2,7 ± 0,7 kg S ha⁻¹ a⁻¹ als niedrig einzustufen und zeigen die relativ geringe Belastung an diesem Standort durch weiträumig transportierte Luftverunreinigungen.

Tabelle 9: Stoffeinträge aus der Kronentraufe (TF)

Jahr	Nieder- schlag	pH	H	Na	NH ₄ -N	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄ -S
	mm		mol _c ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
1998	355	5,61	8,8	5,08	2,76	9,19	2,08	6,28	10,7	3,71	0,00	5,61
1999	393	5,84	5,6	5,64	3,43	8,60	1,85	5,28	11,2	4,30	0,77	5,22
2000	356	5,62	8,5	5,53	2,19	5,78	1,52	4,94	10,4	3,01	0,34	4,22
2001	469	5,60	11,6	4,59	3,87	8,65	1,78	15,96	9,6	4,25	0,52	5,84
2002	578	5,83	8,5	5,29	3,53	10,08	1,77	6,53	10,8	3,89	0,81	5,07
2003	293	5,67	6,3	4,30	3,76	6,70	1,47	5,50	9,1	4,11	0,45	3,99
2004	381	5,86	5,3	5,78	3,05	10,23	2,13	5,23	12,0	3,64	0,57	4,13
2005	412	5,64	9,5	5,27	1,97	7,37	1,49	10,50	10,2	3,50	0,63	3,43
2006	345	5,65	7,8	3,83	2,78	7,77	1,55	5,52	8,1	3,28	0,64	3,21
2007	591	5,69	12,2	7,85	3,00	9,94	1,78	6,07	16,4	3,52	0,66	4,47
2008	415	5,08	34,5	6,26	2,52	7,16	1,51	5,89	11,9	3,53	0,57	3,11
2009	399	5,14	28,9	3,95	3,28	9,65	1,57	5,89	7,8	2,57	1,18	2,82
2010	598	5,02	57,1	2,70	2,08	6,48	1,25	4,99	5,8	2,54	1,08	2,76
2011	525	5,40	20,9	4,22	3,50	12,86	1,55	6,03	9,7	2,36	0,88	3,01
2012	393	5,24	22,5	4,99	2,83	6,62	1,35	4,71	10,6	3,25	0,70	2,56
2013	396	5,18	26,0	4,40	2,93	8,39	1,36	4,91	9,5	2,95	0,73	2,57
2014	496	5,39	20,4	5,90	3,22	10,54	1,75	6,42	12,1	3,22	1,20	3,38
2015	364	5,40	14,5	4,26	3,61	6,33	1,11	4,47	8,7	2,62	0,66	1,89
2016	311	5,43	11,45	3,70	4,43	10,84	1,40	3,86	8,12	2,23	1,21	1,72
2017	551	5,63	12,78	6,58	3,56	9,12	2,04	5,54	13,82	2,60	1,18	2,39
mean	431	5.50	16.66	5.01	3.11	8.62	1.62	6.23	10.33	3.25	0.74	3.57
S _d	94	0.26	12.64	1.17	0.63	1.84	0.28	2.64	2.31	0.63	0.32	1.21

Die Stoffeinträge aus dem Stammablauf werden seit 2004 erfasst. Aufgrund der geringen Flussraten von 3,0-21,4 mm a⁻¹ sind sie nahezu vernachlässigbar (Tab.10), da die Stammablaufmenge im 14-jährigen Mittel lediglich mit etwa 2 Prozent zum Bestandesniederschlag beiträgt.

² Waldzustandsberichte 2011 und 2012 der Länder Brandenburg und Berlin

Tabelle 10: Stoffeinträge aus dem Stammablauf (SF)

Jahr	Nieder- schlag	pH	H	Na	NH ₄ - N	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ - N	PO ₄ -P	SO ₄ -S
	mm		mol _c ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
2004	8,8	5,36	0,38	0,18	0,07	0,57	0,03	0,16	0,28	0,15	0,00	0,17
2005	6,6	5,63	0,16	0,19	0,01	0,36	0,02	0,15	0,30	0,04	0,00	0,11
2006	8,8	6,17	0,06	0,27	0,02	0,42	0,02	0,60	0,20	0,04	0,00	0,18
2007	18,7	6,32	0,09	0,49	0,01	0,78	0,03	0,34	0,42	0,04	0,00	0,19
2008	3,5	5,87	0,05	0,11	0,00	0,16	0,01	0,13	0,09	0,02	0,01	0,04
2009	3,5	5,86	0,05	0,05	0,00	0,16	0,01	0,05	0,04	0,03	0,01	0,02
2010	8,2	6,09	0,07	0,06	0,01	0,39	0,02	0,16	0,08	0,01	0,02	0,05
2011	22,3	5,98	0,23	0,08	0,05	0,99	0,03	0,13	0,13	0,07	0,06	0,09
2012	8,8	5,56	0,24	0,12	0,02	0,62	0,03	0,10	0,32	0,05	0,04	0,09
2013	9,9	5,76	0,17	0,12	0,03	0,53	0,02	0,10	0,32	0,06	0,03	0,08
2014	3,4	5,95	0,04	0,03	0,04	0,24	0,01	0,04	0,08	0,15	0,01	0,04
2015	8,5	5,95	0,10	0,06	0,13	0,49	0,02	0,08	0,24	0,29	0,03	0,06
2016	3,9	5,86	0,05	0,03	0,01	0,21	0,01	0,03	0,08	0,10	0,01	0,02
2017	18,8	6,35	0,08	0,12	0,01	0,76	0,03	0,18	n.a.	0,16	0,14	0,45
mean	9.6	5.91	0.13	0.14	0.03	0.48	0.02	0.16	0.20	0.09	0.03	0.11
S _d	6.1	0.28	0.10	0.12	0.04	0.25	0.01	0.15	0.12	0.08	0.04	0.11

4.1 Abschätzung der atmosphärischen Stoffdeposition

Zur Abschätzung der atmosphärischen Stoffdeposition in Wälder existieren eine Reihe unterschiedlicher Verfahren, die von den Kronenraumbilanzierungen nach Ulrich (1991) und Draaijers et al. (1995) über mikrometeorologische Messungen bis hin zur Modellierung von Depositionskarten reichen. In Neuglobsow wurde die Deposition aus der Kronenraumbilanz mit Hilfe des Na-Faktors nach dem Ansatz von Ulrich (1983) kalkuliert.

Die Kronenraumbilanz (KRB) wird definiert als $KRB = BN_x - GD_x$ (1)

Bestandesniederschlag: $BN_x = \text{Kronendurchlass} + \text{Stammablauf}$ (2)

mit den Ionen $x = Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-}, Cl^-$

Die Interzeptionsdeposition ID setzt sich zusammen aus der Impaktion von Partikeln (I_{part}) und der Adsorption von Gasen (I_{gas}):

Interzeptionsdeposition: $ID_x = (I_{part} + I_{gas})_x$ (3)

Die Gesamtdeposition (GD) ergibt sich dann aus der Gleichung:

$GD_x = ND_x + ID_x = ND_x + I_{part} + I_{gas}$ (4)

$KRB = 0$ gilt für Na, SO₄ und Cl entsprechend den oben gemachten Annahmen.

$KRB > 0$ positive Kronenraumbilanzen (Quellfunktion der Krone) z.B. durch Blattauswaschung (Leaching) bei K, Mg, Ca und Fe als organischer Komplex.

$KRB < 0$ negative Kronenraumbilanzen (Senkenfunktion der Krone) können durch Blattaufnahme z.B. von NH₄ und NO₃ verursacht werden.

Aus obiger Berechnung ergab sich für die Waldfläche in Neuglobsow eine mittlere Stickstoffgesamtdeposition von $13,0 \pm 2,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Dies entspricht annähernd auch den von Meyer et

al. (2015) aus Moosanalysen (i.e. *Pleurozium schreberi*) abgeleiteten Depositionswerten im Traufbereich von 12,9 bis 14,9 kg ha⁻¹ a⁻¹. Diese empirisch ermittelten Werte stimmen ebenfalls gut überein mit der im PINETI-2 Projekt für Nordbrandenburg modellierten Hintergrundbelastung für reaktiven Stickstoff von 11-12 kg ha⁻¹ a⁻¹ (UBA 2017).

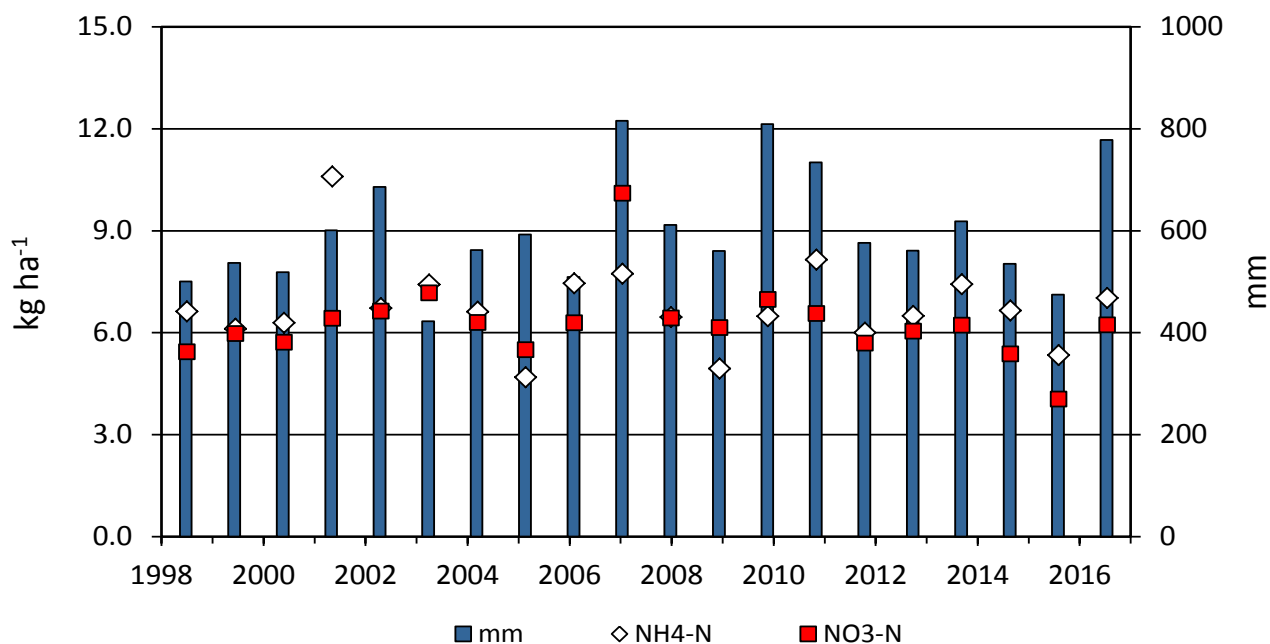


Abbildung 13: Verlauf der Freilandniederschläge und der NH₄-N- und NO₃-N-Deposition (1998–2017)

Von 1998-2017 wurden im 20-jährigen Mittel auf der Waldmessfläche ca. $6,8 \pm 1,3$ kg NH₄-N und $6,3 \pm 1,1$ kg NO₃-N pro Hektar deponiert (Abb.13). Der höchste Stickstoffeintrag wurde mit 17,8 kg N ha⁻¹ für das Jahr 2007 kalkuliert, ein Jahr, das allerdings auch mit 816 mm den höchsten Freilandniederschlag verzeichnete (Tab.11).

Tabelle 11: Zeitliche Entwicklung der Freilandniederschläge und der Gesamtdeposition

Jahr	Nieder-schlag	Na	NH ₄ -N	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄ -S	NH ₄ +NO ₃ -N
	mm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
1998	500	5.08	6.63	1.96	1.03	3.11	10.73	5.44	0.01	5.61	12.07
1999	537	5.64	6.11	1.64	0.99	3.96	11.24	5.97	0.35	5.22	12.08
2000	519	5.53	6.29	2.43	1.16	5.35	10.44	5.72	0.48	4.22	12.01
2001	601	4.59	10.59	2.41	0.86	8.70	9.59	6.42	0.72	5.84	17.02
2002	686	5.29	6.72	1.27	0.93	4.32	10.80	6.64	0.10	5.07	13.36
2003	422	4.30	7.41	1.28	0.75	4.33	9.14	7.17	0.04	3.99	14.58
2004	562	5.95	6.62	1.77	0.95	3.95	12.33	6.30	0.12	4.31	12.91
2005	593	5.46	4.69	1.50	1.03	8.26	10.53	5.50	0.05	3.55	10.19
2006	509	4.09	7.45	1.71	0.75	5.27	8.30	6.29	0.29	3.39	13.74
2007	816	8.34	7.73	3.25	1.19	8.81	16.79	10.10	0.26	4.66	17.83
2008	612	6.37	6.46	2.71	1.09	11.97	12.01	6.43	0.48	3.15	12.89
2009	561	4.01	4.94	2.86	0.63	3.23	7.85	6.15	0.28	2.84	11.09
2010	809	3.94	6.48	1.92	0.77	14.01	8.43	6.98	0.30	4.03	13.46
2011	734	4.30	8.15	2.48	0.77	3.92	9.81	6.56	0.45	3.11	14.71
2012	576	5.11	6.00	1.23	0.79	3.30	10.90	5.69	0.32	2.65	11.69
2013	561	4.52	6.50	1.50	0.78	4.75	9.83	6.04	0.27	2.65	12.54

2014	619	5.93	7.42	2.16	1.02	6.15	12.15	6.22	0.50	3.42	13.64
2015	535	4.33	6.65	1.60	0.73	4.61	8.92	5.38	0.45	1.95	12.02
2016	475	3.73	5.33	1.54	0.62	3.27	8.20	4.04	0.36	1.74	9.38
2017	778	6,70	7,02	2,20	1,05	5,36	13,82	6,23	0,31	2,84	13,24
Ø	600	5,16	6,76	1,97	0,90	5,83	10,59	6,26	0,31	3,71	13,02
S_d	111	1,14	1,26	0,57	0,17	3,02	2,14	1,13	0,18	1,16	2,01

5. Xylemflussmessungen zur Abschätzung der Transpiration

Seit Frühjahr 2012 werden in Neuglobsow zusätzlich Xylemflussmessungen mit dem thermo-elektrischen System nach Granier (thermal dissipation technique, Granier, 1985) an drei Buchen mit je zwei Wiederholungen durchgeführt (Abb.14). Seit 2013 wird das gleiche System auch an drei Kiefern eingesetzt. Die Ergebnisse der Kronendachtranspiration auf Basis einzelbaumbezogener Xylemflussmessungen werden zur Validierung und Modellierung der Bestandstranspiration im Einzugsgebiet des Stechlinsees benötigt.

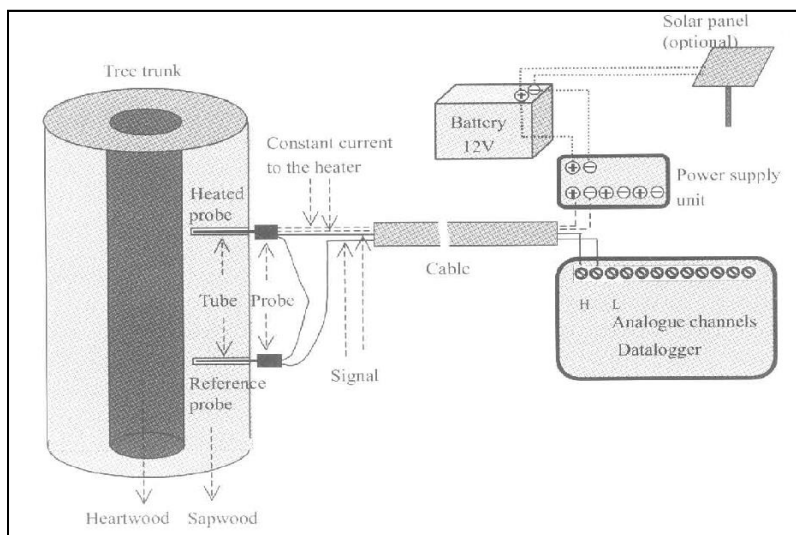


Abbildung 14: Aufbauschema des Granier-Systems (TDP) zur Messung der Xylemflussdichte

Das Granier-System (TDP) besteht aus zwei Sensoren mit einer Länge von ca. 20 mm, die in einer Stammhöhe von etwa 1,5-2 m und in einem Abstand von 15 cm übereinander installiert werden. Während der obere Sensor das Gewebe aufheizt, dient der untere Sensor als Referenzsonde. Gemessen wird die Temperaturdifferenz zwischen beiden Sensoren, die sich durch den Massenfluss des Xylemsaftes (Konvektion) verringert (Köstner 1999). Wenn kein Transpirationsstrom auftritt, z.B. in der Nacht, erreicht die Temperaturdifferenz zwischen beiden Sensoren ihr Maximum. Aus dieser Temperaturdifferenz lässt sich dann die Saftflussdichte nach der von Granier (1985) kalibrierten Formel (5) berechnen:

$$J_s = 119 \left(\frac{\Delta T_M - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1.231} = 119 K^{1.231} \quad (5)$$

In Abbildungen 15 und 16 sind die Tagesgänge des Xylemflusses am Beispiel der Buche (B1) und der Kiefer (K2) aus den Jahren 2017 und 2018 dargestellt. Die mittleren Flussdichte (F_d) der Buche betrug $0,10 \text{ l dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, die Flussdichte der Kiefer lag bei $0,06 \text{ l dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Die Kiefern weisen allgemein eine wesentlich geringere Saftflussdichte auf, allerdings zeigen die Ergebnisse darüber hinaus, dass noch in den Wintermonaten ein wenn auch geringer Xylemfluss stattfindet. Die ausgeprägte Trockenphase im Sommer 2018 wird bei beiden Baumarten am reduzierten Xylemfluss deutlich sichtbar.

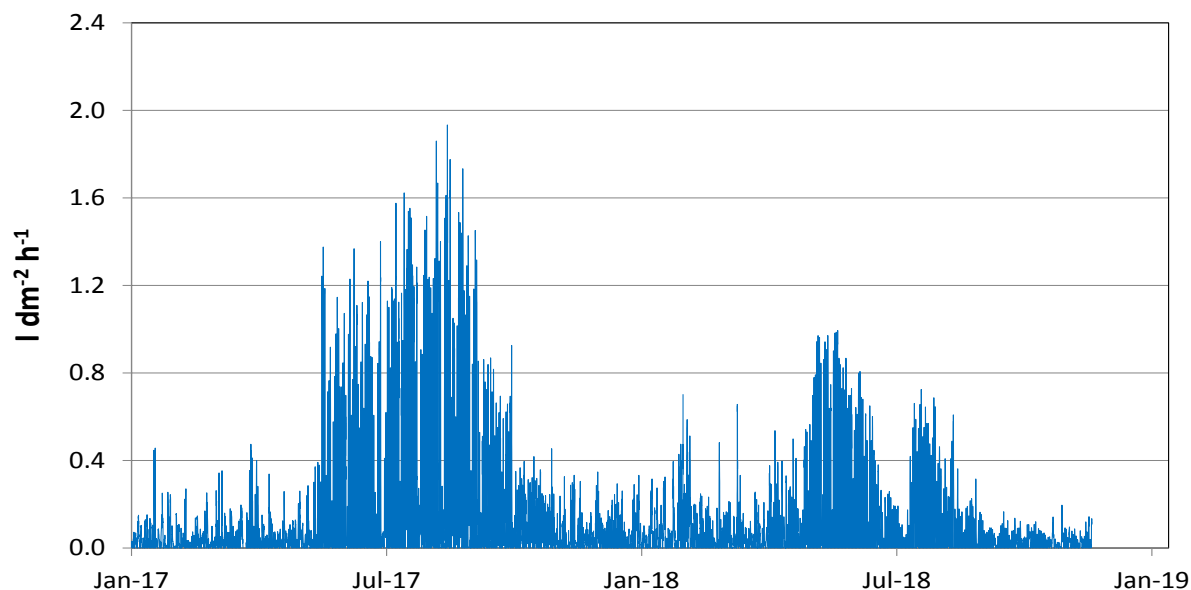


Abbildung 15: Xylemflussdichte (F_d) in 2017 und 2018 (Buche B1)

Die Ergebnisse konnten auch zeigen, dass die Transpirationsleistung in starkem Maße von der soziologischen Stellung des Einzelbaums abhängt, d.h. ob es sich um einen herrschenden, mitherrschenden oder unterständigen Baum handelt. Da der Kiefernaltbestand in Neuglobsow mit Buchen unterbaut ist, nehmen die Buchen natürlicherweise eine unterständige Stellung ein. Daraus resultiert eine sehr unterschiedliche Überschirmung bzw. Beschattung durch die Kiefern, was wiederum die sehr heterogene Saftflussdichte der Buchen erklären kann.

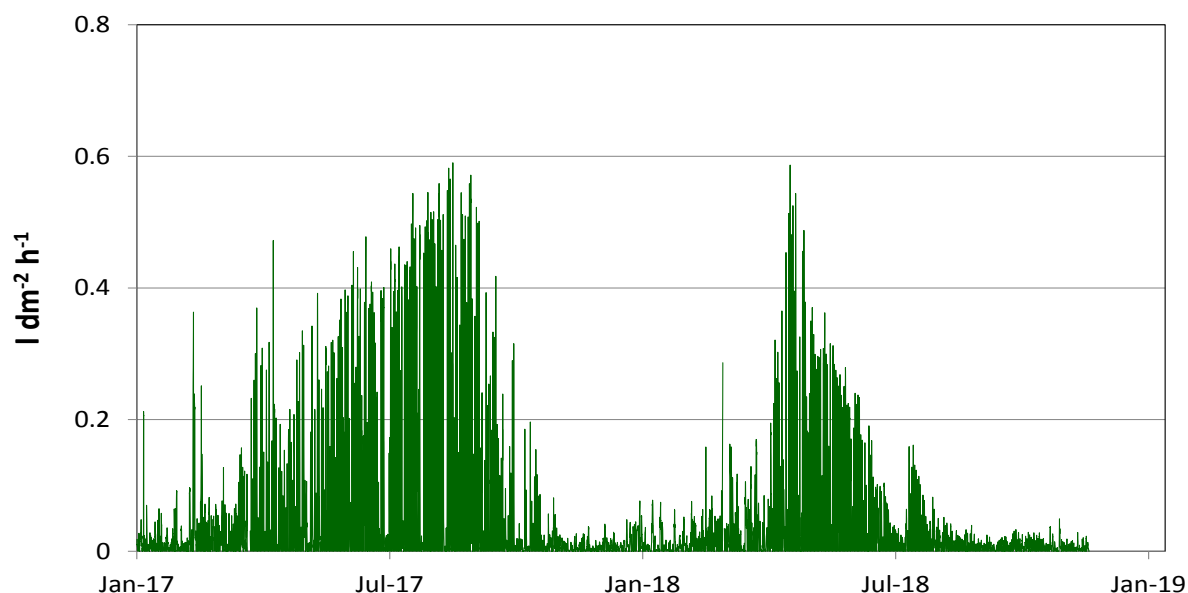


Abbildung 16: Xylemflussdichte (F_d) in 2017 und 2018 (Kiefer K2)

Zur Berechnung der Bestandestranspiration wird die mittlere Xylemflussdichte der Buchen und der Kiefern über die Vegetationszeit aufsummiert und mit den aus den BHDs abgeleiteten Fließflächen (dm^2) und der Anzahl der Bäume pro Hektar multipliziert (Hölscher et al. 2005). Da die Flussdichte im Splintholz nach innen abnimmt, werden die Messwerte der Kiefer noch mit einem empirisch ermittelten Korrekturfaktor von 0,84 multipliziert (Müller et al. 2007).

Tabelle 12: Xylemflussdichte, Fließfläche und Transpiration der Buchen und Kiefern (2015-2017)

	Buche	Buche	Buche	Kiefer	Kiefer	Kiefer
Messzeitraum	2016	2017	2018	2016	2017	2018
mittlere Xylemflussdichte ($\text{l dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	0.10	0.23	0.10	0.05	0.07	0.06
mittlere Fließfläche (dm^2)	9.34	9.34	9.34	10.66	10.66	10.66
Vegetationszeit (d)	182	183	181	330	312	324
Bäume pro Hektar	220	220	220	80	80	80
mittlere Transpirationsrate (mm a^{-1})	116	214	117	31	35	32
Min- und Max-Transpirationsrate (mm a^{-1})	59-224	85-335	40-193	20-41	31-40	20-45

Für den hier untersuchten Buchen-Kiefernaltbestand ergab sich für das Jahr 2018 eine mittlere Transpirationsrate von 150 mm a^{-1} (Tab.12). Die Differenzen zwischen einzelnen Bäumen waren allerdings beträchtlich und reichen bei den Buchen von 40 bis 193 mm a^{-1} . Der Variationskoeffizient liegt bei 66 % und resultiert aus der sehr unterschiedlichen soziologischen Stellung der untersuchten Bäume im Bestand. Die Transpirationsraten der Kiefern fallen dagegen deutlich homogener aus und liegen zwischen 20 und 45 mm a^{-1} bei einem Variationskoeffizient von 34 %.

Messungen an verschiedenen Buchenaltbeständen in Norddeutschland entlang eines Niederschlagsgradienten von 581 bis 933 mm a^{-1} führten beispielsweise zu Transpirationsraten zwischen 216 und 303 mm a^{-1} (Schipka et al. 2005). Die mit dem Granier-System ermittelte Bestandestranspiration von 150 mm im Jahr 2018 liegt damit deutlich unterhalb der von Schipka et al. (2005) für niederschlagsärmere Regionen in Deutschland gemessenen Werte. Allerdings betrug der in 2018 an der Station Neuglobsow gemessene Freilandniederschlag nur 412 mm (nach Hellmann) und lag damit um mehr als 30 % unter dem langjährigen Mittel von 600 mm a^{-1} , was die geringeren Transpirationsraten gegenüber dem vorhergehenden Jahr 2017 erklären kann. Darüber hinaus stimmen die Werte ebenfalls mit den in 2016 berechneten Transpirationsraten gut überein, einem mit 475 mm auch relativ niederschlagsarmen Jahr.

6. Zeitliche Entwicklung von pH-Werten, Kationen und Anionen in Freilandniederschlag, Kronentraufe, Sicker-, Grund- und Seewasser (1998 – 2018)

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.13).

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 Ende der 90er Jahre im Mittel noch bei 4,6 lagen, sind sie in den letzten Jahren 2017-2018 auf pH 5,6 angestiegen (Abb.17a-c).

Die elektrische Leitfähigkeit im Freilandniederschlag hat sich im Vergleich zu 1998 von ca. 30 auf 15 $\mu\text{S cm}^{-1}$ nahezu halbiert. Auch im Bestandesniederschlag ist eine Abnahme deutlich zu erkennen (Abb.18a-c). Im Grundwasser sinkt die Leitfähigkeit im gleichen Zeitraum von 580 auf 500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ während im Sicker- und Seewasser keine Änderungen feststellbar sind.

Die Kalium- und Magnesiumwerte verhalten sich indifferent und lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. In der Kronentraufe zeigen sich aber jahreszeitliche Schwankungen dieser Elemente, die durch Leaching-Effekte hervorgerufen werden können (Klumpp et al. 1990).

Die Kalzium-Konzentrationen verzeichnen sowohl im Freilandniederschlag wie auch im Grundwasser und im oberflächennahen Seewasser einen leicht abnehmenden Trend (Abb.19a-c), während im Sickerwasser (120 cm) bei großer Streuung der Einzelwerte ein leichter Anstieg feststellbar ist.

Tab. 13: Ansteigende (+), abnehmende (–) und indifferente (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
K	O	O	O	O	O
Ca	-	O	+	-	-
Mg	O	O	O	O	O
NH ₄ -N	O	O	O	O	O
SO ₄ -S	-	-	O	- -	(-)
NO ₃ -N	O	-	O	-	NG
Cl	O	O	O	- -	O
PO ₄ -P	O	O	O	O	NG

Weiterhin abgenommen haben auch die Sulfat-Konzentrationen (Abb. 22a-c), besonders ausgeprägt zeigt sich dieser Trend am oberen Grundwasserpegel. Im Freilandniederschlag und in der Kronentraufe kann ebenfalls ein Rückgang identifiziert werden, der auf die drastische Reduktion der Schwefelemissionen zurückzuführen ist. Allerdings sind auch die Chlorid-Konzentrationen (Abb.24a-c) 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. 14: Mittelwerte, Standardabweichung, Min- und Max-Werte von pH, Kationen und Anionen in Freilandniederschlag (FN), Kronentraufe (BN), Sickerwasser (SW), Grundwasser (GW) und im Oberflächenwasser des Stechlinsees von 1998 – 2018

pH	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	5,22	5,58	7,36	7,50	8,11
S _d	0,62	0,78	0,44	0,14	0,30
min	3,93	3,62	5,90	7,25	7,38
max	7,18	8,52	8,91	8,38	8,82
Leitfähigkeit	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	20,30	46,70	216,26	541,76	285,12
S _d	11,38	28,73	88,69	32,68	14,51
min	3,65	8,15	44,40	437,60	236,20
max	89,30	349,00	635,40	615,70	307,00
K	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,26	2,69	0,34	0,77	1,45
S _d	0,46	3,27	0,54	0,08	0,14
min	0,01	0,02	0,00	0,55	1,00
max	5,37	55,80	5,93	1,14	2,32
Ca	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,64	1,92	36,40	102,36	43,88
S _d	1,06	2,16	18,90	7,57	3,30
min	0,04	0,10	5,49	72,00	34,21
max	13,12	26,74	106,50	115,74	49,21
Mg	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,09	0,50	1,29	3,87	3,26
S _d	0,08	0,48	0,62	0,36	0,16
min	0,02	0,02	0,33	2,69	2,84
max	0,77	5,18	5,24	6,12	3,60
NH₄-N	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,76	1,25	0,08	0,03	0,03
S _d	0,84	1,52	0,17	0,04	0,04
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	9,15	10,77	2,72	0,20	0,25
SO₄-S	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,60	1,08	5,98	22,10	11,68
S _d	0,46	0,85	3,62	6,37	0,71
min	0,00	0,00	0,34	7,91	9,88
max	4,78	9,03	32,12	32,97	13,66
NO₃-N	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,65	1,09	2,40	1,66	0,02
S _d	0,41	0,90	3,13	0,67	0,02
min	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
max	3,70	9,21	19,88	4,16	0,11
Cl	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,84	2,98	10,07	12,93	13,51
S _d	0,93	2,99	7,46	2,59	0,44
min	0,04	0,02	0,18	6,24	12,33
max	10,90	35,97	54,59	17,83	14,76
PO₄-P	FN	BN	SW	GW	See
Mittelwert	0,04	0,32	0,43	0,06	0,03
S _d	0,16	0,58	0,35	0,09	0,04
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	3,28	5,70	6,51	0,69	0,25

Der Mittelwert der Ammoniumgehalte liegt im Freilandniederschlag bei 0,8 und in der Kronen-traufe bei 1,2 mg NH₄-N L⁻¹ (Tab.14). Im Grund- und Seewasser liegen sie bei Werten von 0,03 mg L⁻¹ und damit schon im Bereich der Nachweisgrenze von 0,05 mg L⁻¹.

Die Nitrat- und Phosphatgehalte liegen im Seewasser ebenfalls überwiegend an 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 von 11 mg L⁻¹ deutlich überschreitet (TrinkwV 2001).

In den letzten Untersuchungsjahren sind die NO₃-N-Gehalte allerdings wieder auf ein Niveau von unter 4 mg L⁻¹ zurückgegangen (Abb.23a-c). Der Nitrat-Peak im Sickerwasser ist mit einer gewissen Phasenverschiebung auch in den Jahren 2006-2010 im oberen Grundwasserleiter nachweisbar.

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.15).

Tab.15: 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

Die Untersuchungen an der Messstelle in Neuglobsow haben bislang gezeigt, dass die atmosphärische Belastungen durch weiträumig und grenzüberschreitend transportierte Luftverunreinigungen relativ gering ausfallen (vgl. Projektnummer: 100311).

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, beziehungsweise eine weitere Erholung, wie etwa beim Säureeintrag.

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.

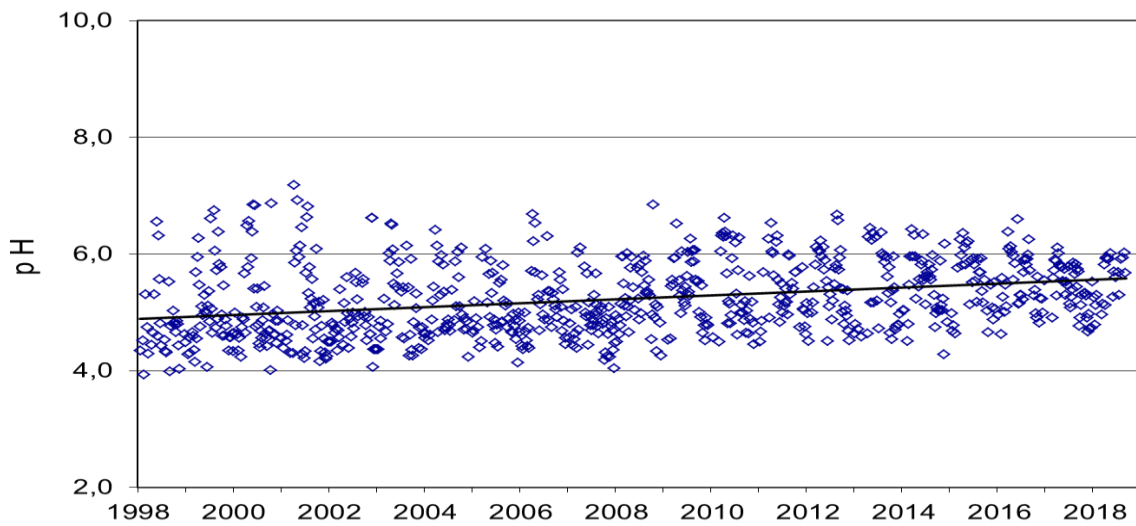


Abb.17a: pH-Werte im Freilandniederschlag

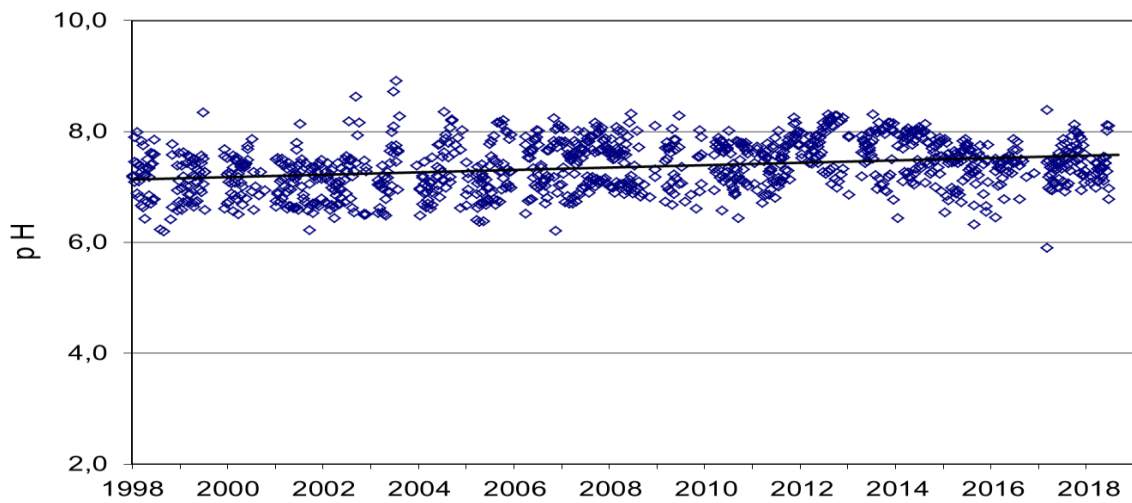


Abb.17b: pH-Werte im Sickerwasser (120 cm)

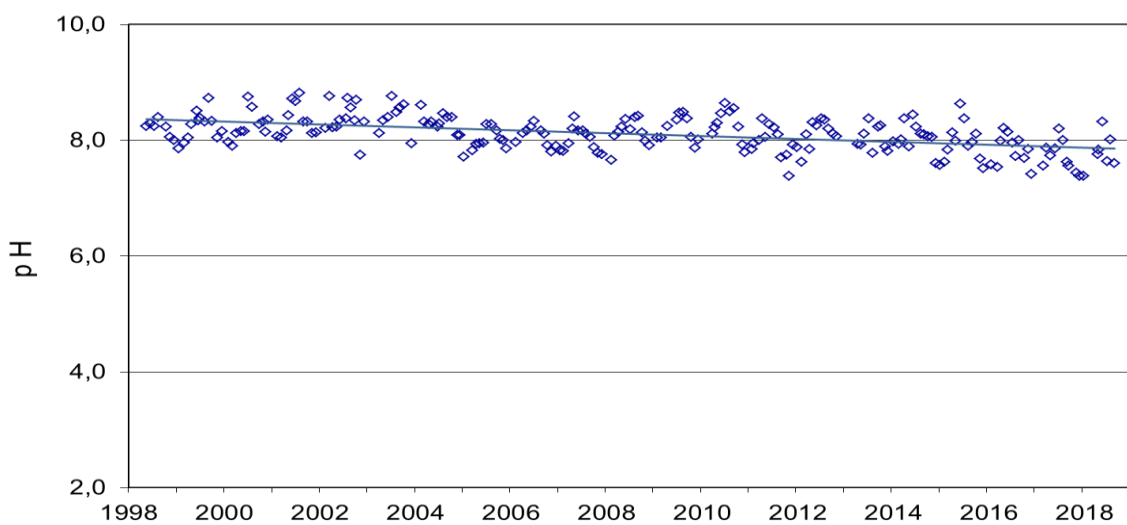


Abb.17c: pH-Werte im Seewasser (0 m)

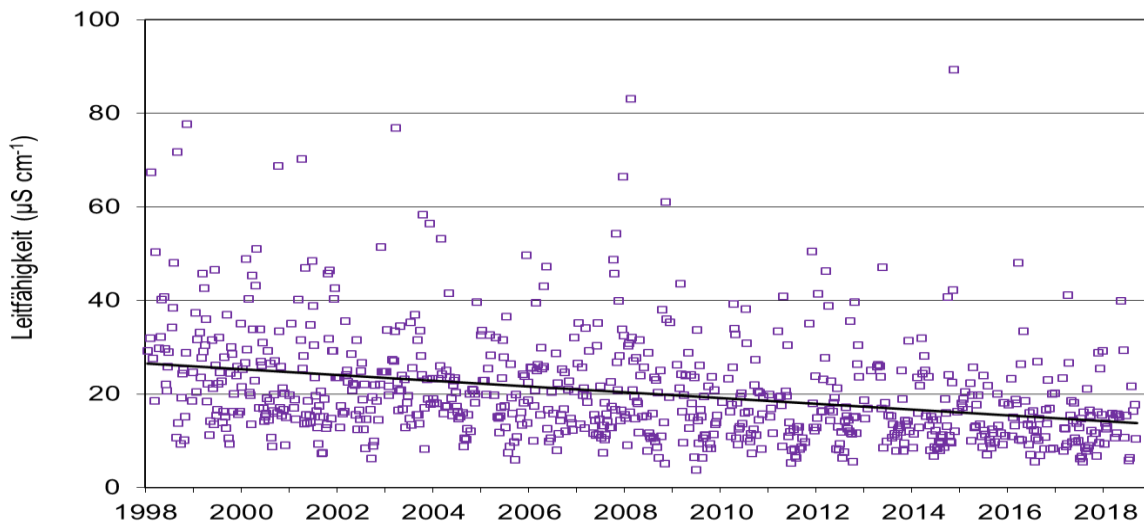


Abb.18a: Leitfähigkeit im Freilandniederschlag



Abb.18b: Leitfähigkeit im Sickerwasser (120 cm)

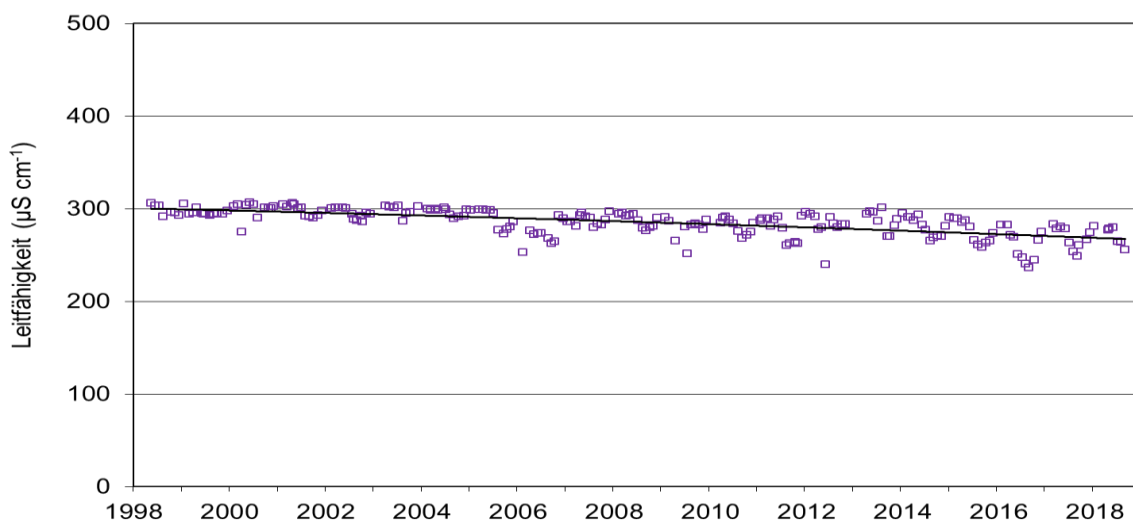


Abb.18c: Leitfähigkeit im Seewasser (0 m)

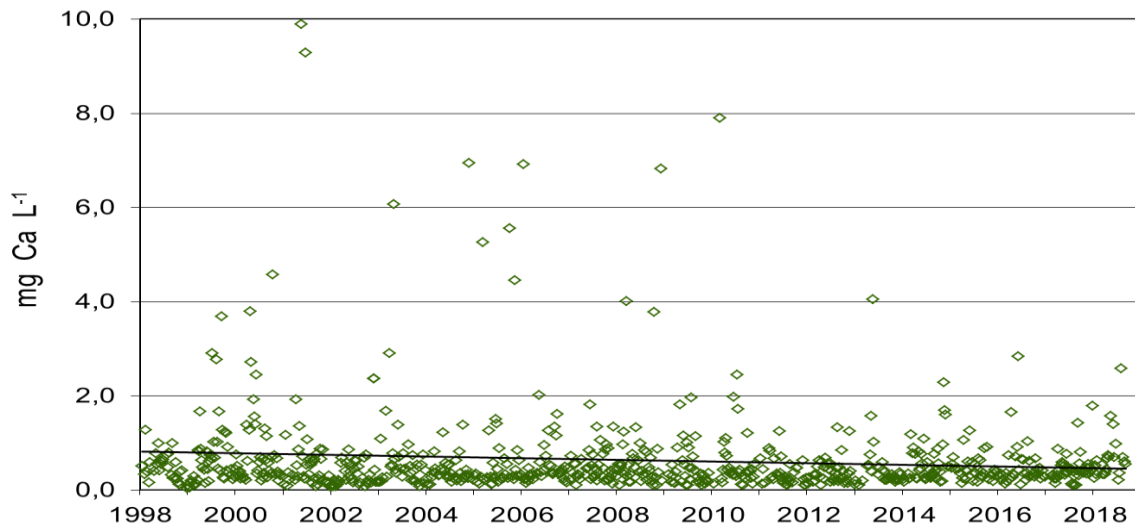


Abb.19a: Kalzium-Konzentrationen im Freilandniederschlag

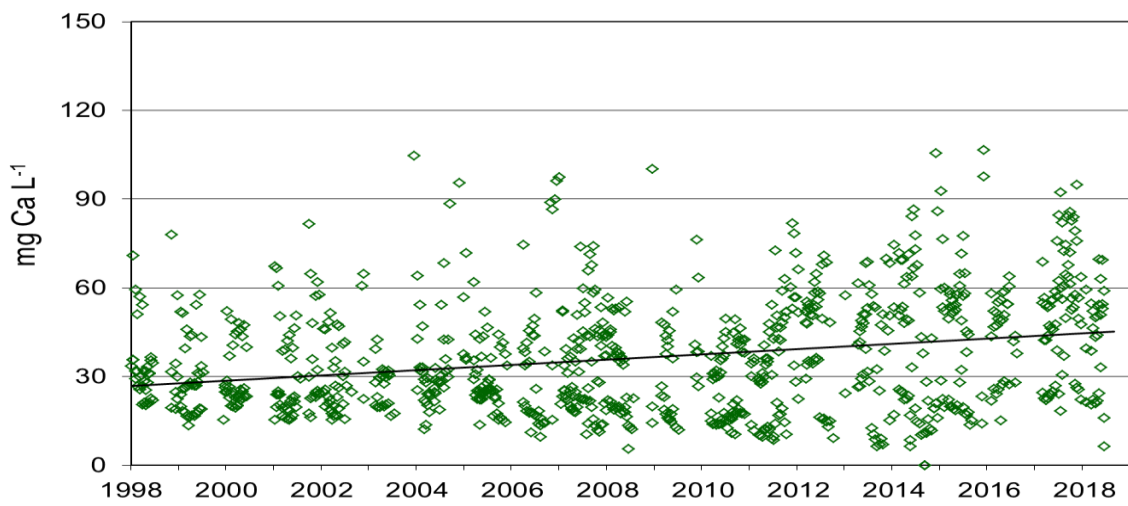


Abb.19b: Kalzium-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)



Abb.19c: Kalzium-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

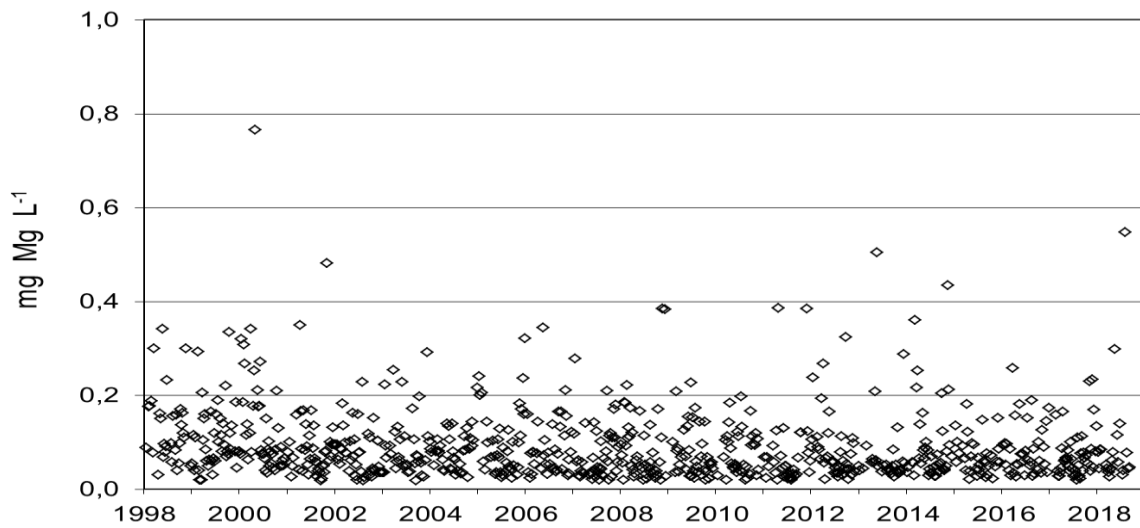


Abb.20a: Magnesium-Konzentrationen im Freilandniederschlag

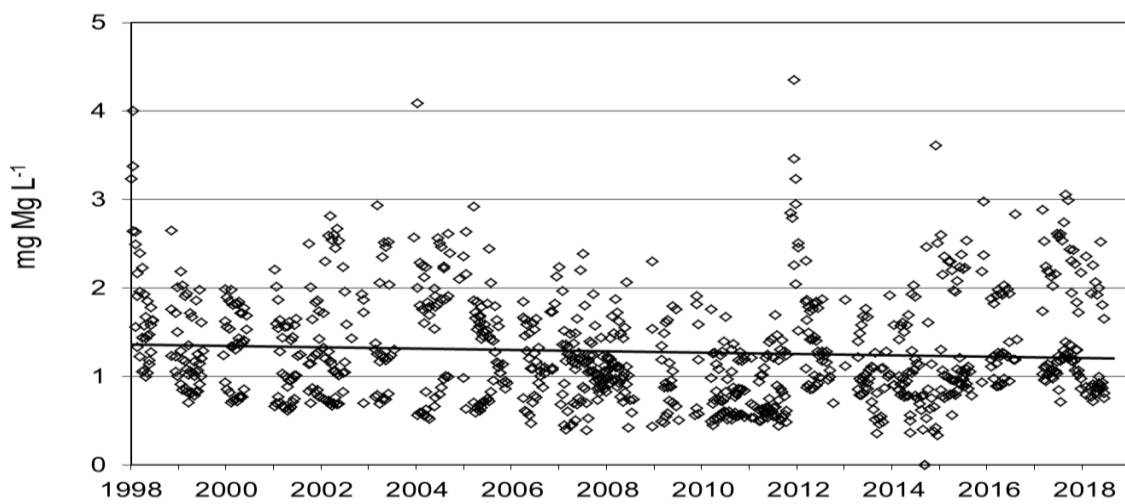


Abb.20b: Magnesium-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

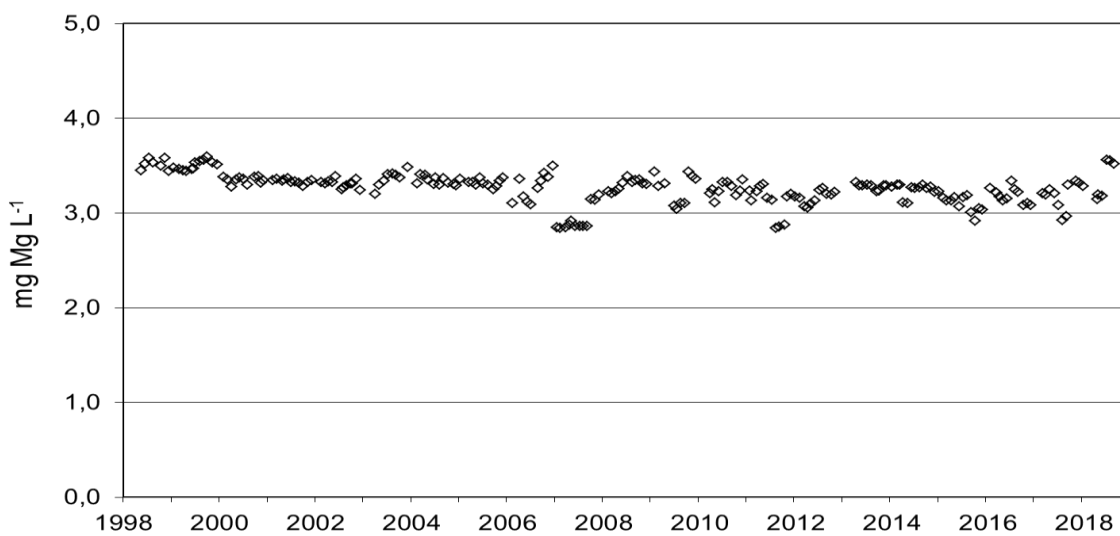


Abb.20c: Magnesium-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

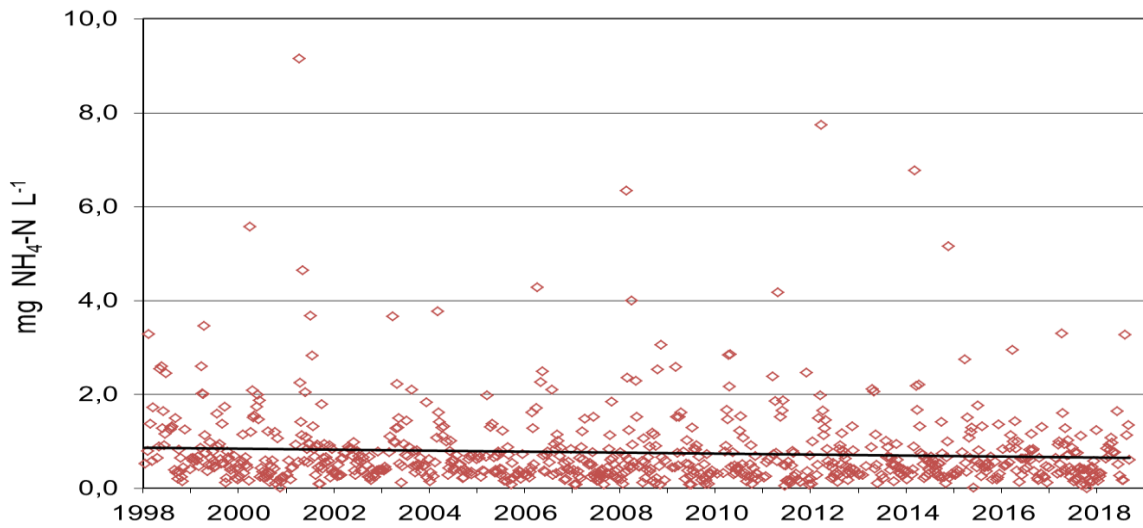


Abb.21a: Ammonium-Konzentrationen im Freilandniederschlag

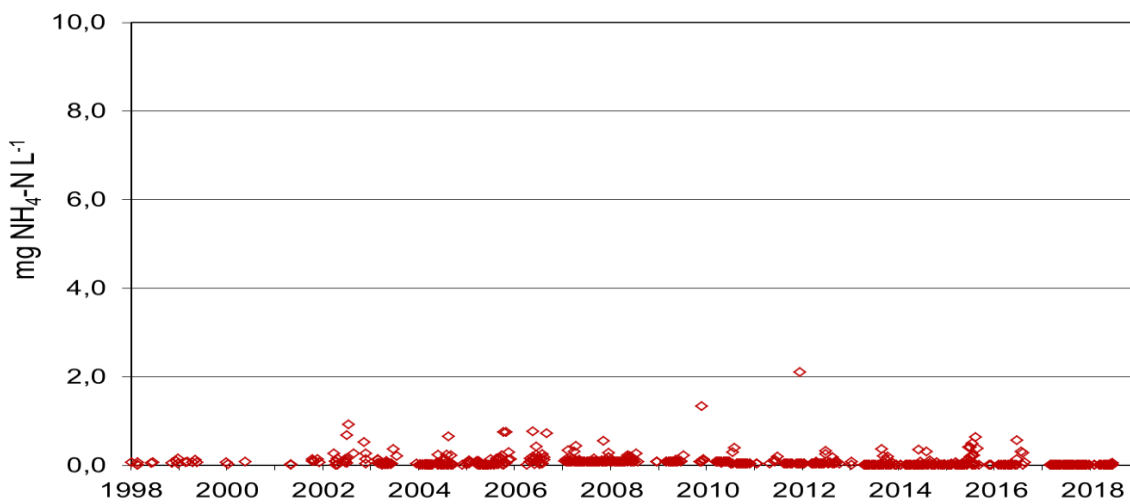


Abb.21b: Ammonium-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

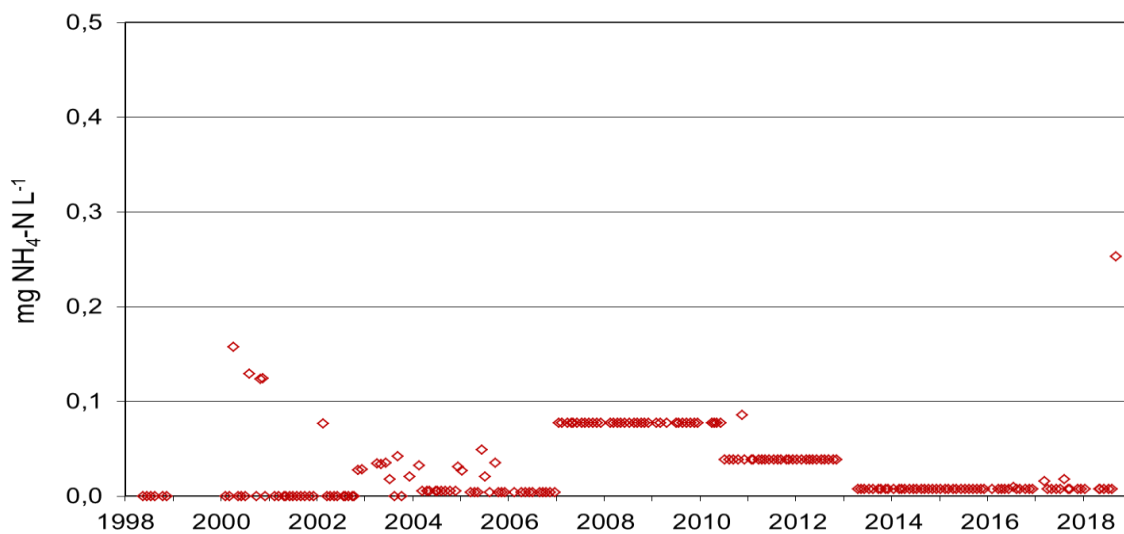


Abb.21c: Ammonium-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

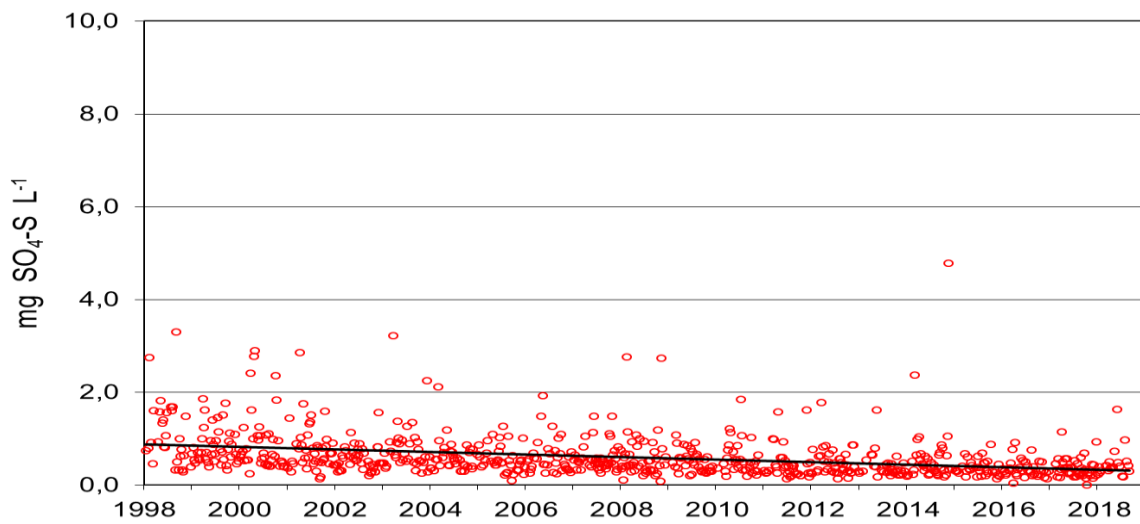


Abb.22a: Sulfat-S Konzentrationen im Freilandniederschlag

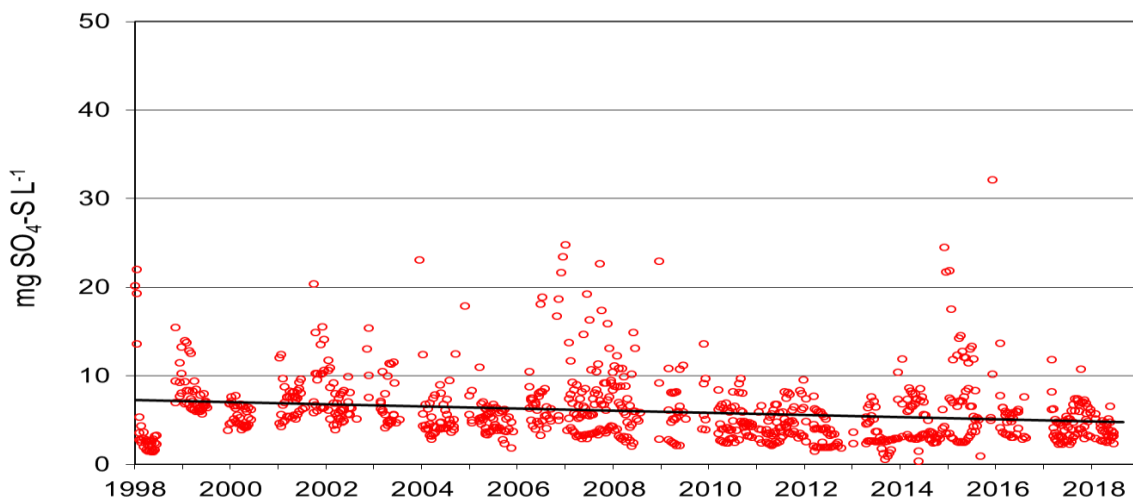


Abb.22b: Sulfat-S Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

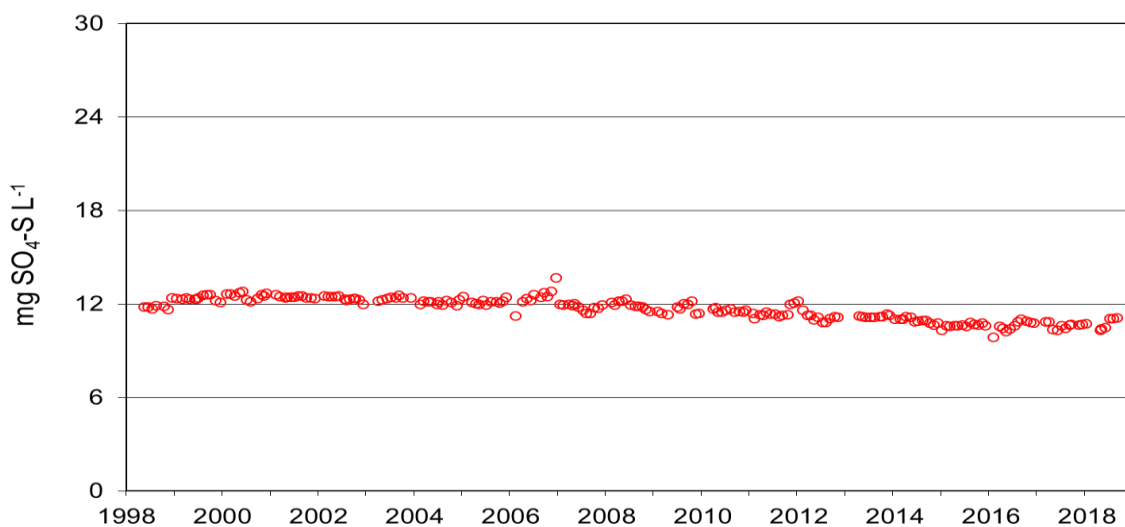


Abb.22c: Sulfat-S Konzentrationen im Seewasser (0 m)

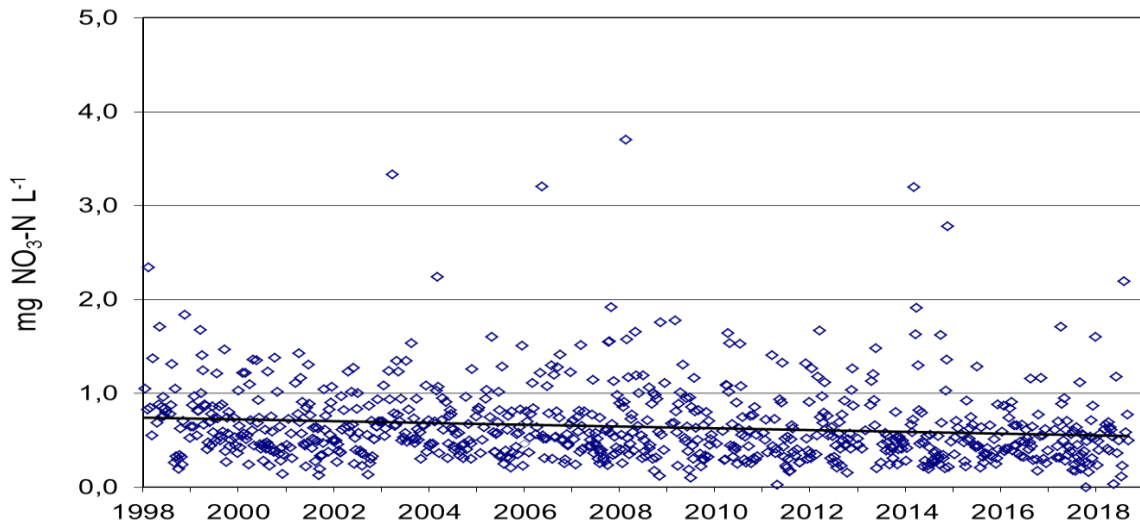


Abb.23a: Nitrat-Konzentrationen im Freilandniederschlag

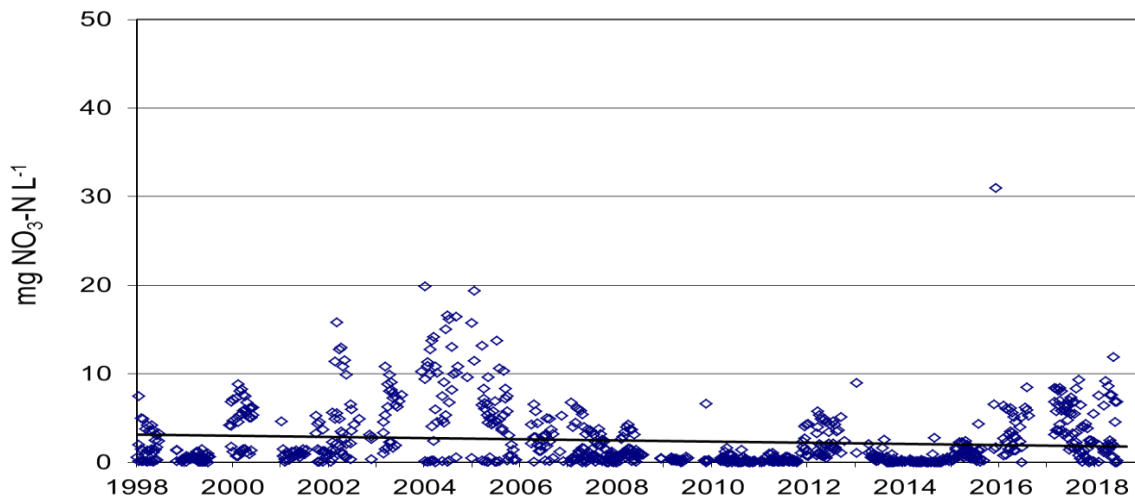


Abb.23b: Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

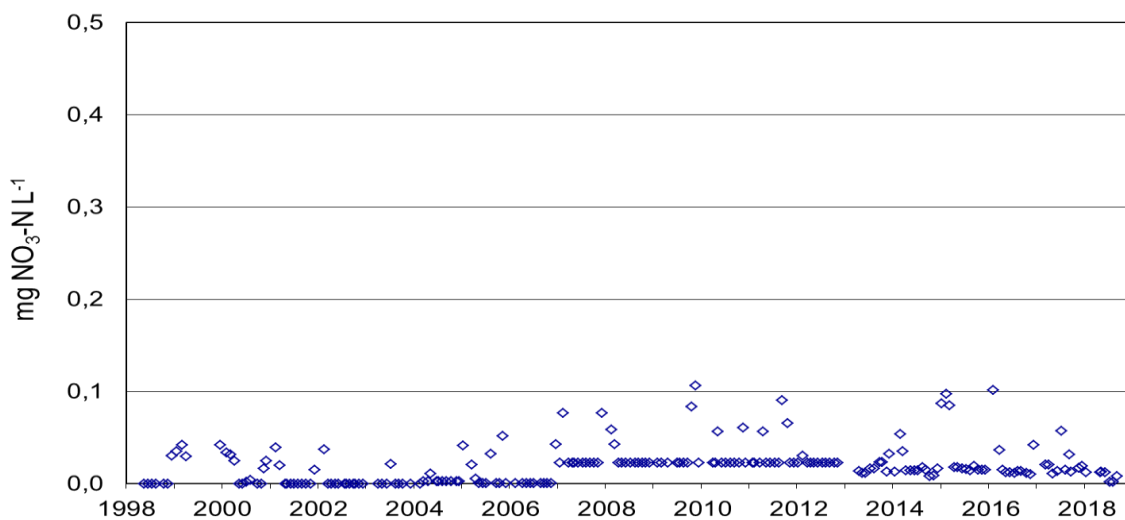


Abb.23c: Nitrat-N Konzentrationen im Seewasser (0 m)

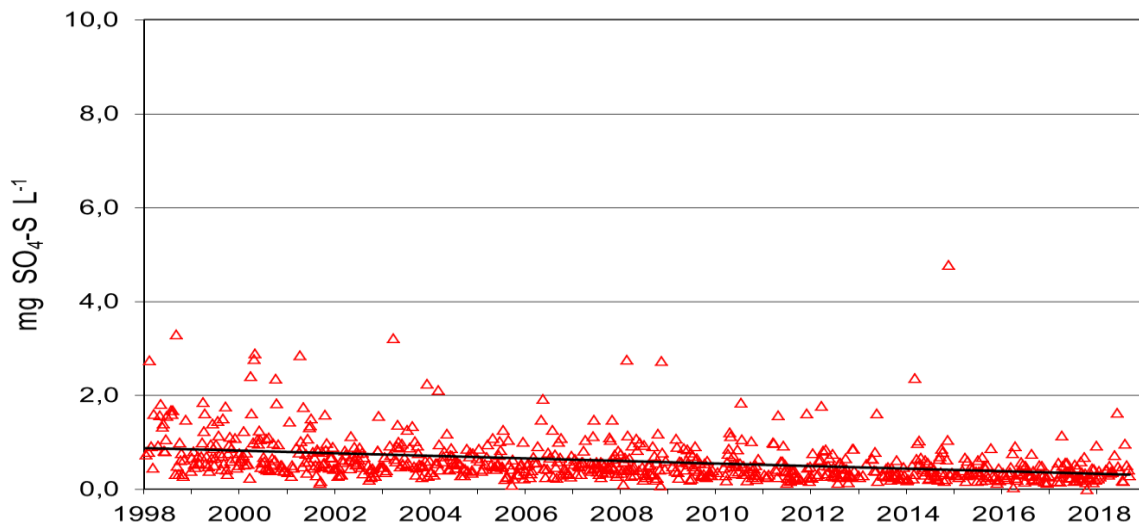


Abb.24a: Chlorid-Konzentrationen im Freilandniederschlag

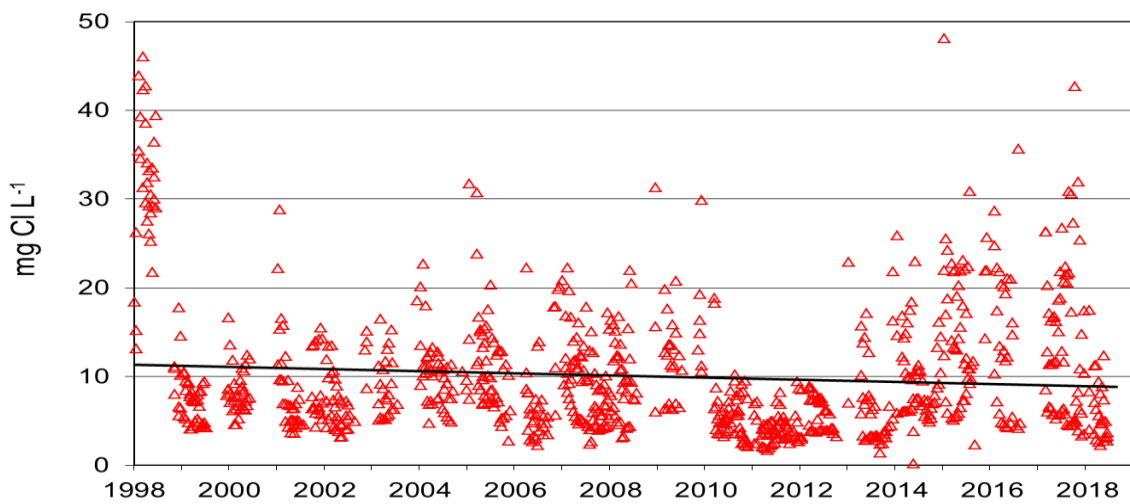


Abb.24b: Chlorid-Konzentrationen im Sickerwasser (120 cm)

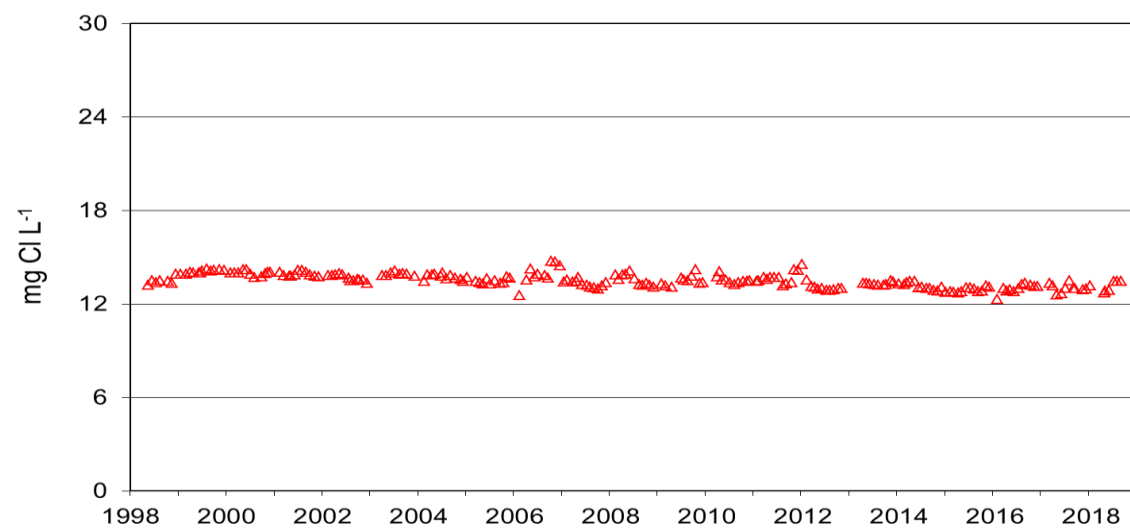


Abb.24c: Chlorid-Konzentrationen im Seewasser (0 m)

Literatur

- Arbeitskreis Standortkartierung (1996) Forstliche Standortsaufnahme, 5. Auflage. Eching
- Beese F, Brumme R, Schulte-Bisping H 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). DLG-Verlag. Frankfurt. Band 34
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2008) DIN 32645. Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung
- Draaijers GPJ and JW Erisman (1995) A canopy budget model to assess atmospheric deposition from throughfall measurements. *Water, Air, and Soil Pollution* 85, 2253-2258
- Forstliche Standortkartierung in Mecklenburg-Vorpommern. (1999) Teil B: Standortsformen und Standortsformengruppen. Landesamt für Forsten und Großschutzgebiete M-V. Teil B
- Gebauer T, Horna V and C. Leuschner (2008) Variability in radial sap flux density patterns and sapwood area among seven co-occurring temperate broad-leaved tree species. *Tree Physiology* 28, 1821–1830
- Göttlein A, Baier R und K H Mellert (2011) Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus VAN DEN BURG's Literaturzusammenstellung. *Allg. Forst- u.J.-Ztg.*, 182. Jg. 173-186
- Göttlein A (2015) Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung*, 186(5/6), 110-116
- Granier A (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.* 42, 193–200
- Granier A (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3: 309-320
- Hölscher D, Koch O, Korn S and C Leuschner (2005) Sap flux of five co-occurring tree species in a temperate broad-leaved forest during seasonal soil drought. *Trees* (2005) 19: 628–637. DOI 10.1007/s00468-005-0426-3
- ICP IM-Manual (2010) http://www.syke.fi/en-US/Research_Development/Ecosystem_services/Monitoring/Integrated_Monitoring/Manual_for_Integrated_Monitoring (Accessed 03.11.17)
- International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part III a. Sampling and Analysis of Soil. Updated 06/2006
- Klumpp, A. und R. Guderian. 1990. Leaching von Magnesium, Calcium und Kalium aus immissionsbelasteten Nadeln junger Fichten. *Forstw. Cbl.* 109. 13-39.
- Köstner B (1999) Die Transpiration von Wäldern - Quantifizierung als Xylemsaftfluss und Faktorenabhängigkeit von Teilflüssen. Habilitationsschrift, Universität Bayreuth
- Kowalkowski A und M Jozwiak (2003) Die Bedeutung des Streufallmonitorings für die Ermittlung des Elementumlaufs im Waldökosystem. In: Integrierende Auswertung der Daten des Forstlichen Umweltmonitoring (Level I/II) vom 24.-26.2003 in Bonn-Röttgen. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL). 229-234
- Krauß H und H Heinsdorf D (2005) Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. *Beiträge für Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.* 39. 172-179
- Kuhr M, Eichhorn J 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. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) 22-32
- LAWA. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [Hrsg.] 1998. Beurteilung der Wasser-beschaffenheit 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.

Meyer M, Schröder W, Nickel S, Leblond S, Lindroos A-J, Mohr K, Poikolainen J, Santamaria J M, Skudnik M, Thöni L, Beudert B, Dieffenbach-Fries H, Schulte-Bisping H and Zechmeister HG (2015) Relevance of Canopy Drip for the Accumulation of Nitrogen in Moss sampled across Europe. *Science of the Total Environment* 538 (2015) 600–610

Mohr K, Meesenburg H, Horváth B, Meiwes K J, Schaaf S und U. Dämmgen (2005) Bestimmung von Ammoniak-Einträgen aus der Luft und deren Wirkung auf Waldökosysteme (ANSWER-Projekt). Schlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Veröffentlicht als: Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 279

Müller J, Lüttschwager D und S Rust (2007) Zum Wasserhaushalt in Kiefernbeständen auf grundwasserfernen Sandstandorten des nordostdeutschen Tieflandes. In: *Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 32, 78-107

Schipka F, Heimann J and C Leuschner (2005) Regional variation in canopy transpiration of Central European beech forests. *Oecologia* 143:6 260–270. DOI 10.1007/s00442-004-1798-6

Ulrich B (1983) Interaction of Forest Canopies with Atmospheric Constituents: SO₂, Alkali and Earth Alkali Cations and Chloride. In: B Ulrich and J Pankrath (eds.), *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems*, Reidel Publ. Co., Dordrecht, pp. 33-45

Ulrich B (1991) Rechenweg zur Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen. Identifizierung der sie bedingenden Prozesse. In: *Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung*. Ber. Forsch. Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 24: 204-210

Umweltbundesamt (2017a) Modelling and assessment of acidifying and eutrophying atmospheric deposition to terrestrial ecosystems (PINETI2) Part I: Atmospheric deposition to German natural and semi-natural ecosystems during 2009, 2010 and 2011

Umweltbundesamt (2017b) Ermittlung und Bewertung der Einträge von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffe in terrestrische Ökosysteme (PINETI2) Teilbericht II. Critical Load, Exceedance und Belastungsbewertung. Texte 63

Waldzustandsbericht 2011 der Länder Brandenburg und Berlin.

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/forsten/waldzustandsbericht2012/index.shtml>

Waldmonitoring Bericht 2014: http://www.forstliche-umweltkontrolle-bb.de/r5_bericht_1.php

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch: (Trinkwasserverordnung – TrinkwV), 2001: http://bundesrecht.juris.de/trinkwv_2001/index.html

Continuation of the UN/ECE Integrated Monitoring Programme at the German ICP IM site Neuglobsow (DE02)

Summary

Registration number 100311

Hubert Schulte-Bisping

Friedrich Beese

Büsgen-Institute
Soil Science of Temperate Ecosystems
University of Göttingen
37077 Göttingen

By order of
Federal Environmental Agency

February 2019

Introduction

The ICP Integrated Monitoring (IM) programme is implemented at two German sites: the highland DE01 site 'Forellenbach Tal' (trout brook valley) where IM measurements started in 1990 and the lowland site Neuglobsow – Lake Stechlin (DE02) in northern Brandenburg (53°08' N and 13°02' E), where measurements have started in 1998. In Neuglobsow research focused on water and element fluxes related to subprogrammes precipitation chemistry (PC), throughfall (TF), and soil water chemistry (SW). In autumn 2003 the German Federal Environmental Agency (UBA) and the Institute of Soil Science and Forest Nutrition in Göttingen (now: Büsgen-Institute, Department of Soil Science of Temperate Ecosystems, PGZ) started a collaborative project within the ICP IM programme. The main task of this research project was to extend the IM programme, with an emphasis on forest ecological aspects.

The catchment

Located in the centre of the catchment, lake Stechlin is an oligotrophic clear water lake characterized by calcit and hydrogen carbonate dynamic. The terrain of this catchment was formed by the last glaciation and is characterised by an extensive area of undisturbed mixed forests of Scots pine, beech and oak trees undisturbed since 1938. The catchment includes an area of 12.6 km² covered by woodland (60 %), waters (31 %) and settlements (7 %). The sub-continental climate has a mean annual air temperature of 7.9 °C and a mean annual precipitation of 658 mm in the period from 1951-1980 (Richter, 1997). The soil type according to the World Reference Base for Soil Resources (WRB) is a haplic Arenosol with a low capacity of plant available water.

The IM subprogrammes

Eleven mandatory and three optional subprogrammes are presently run at IM site Neuglobsow, which were implemented since 1998 (ICP IM-Manual 2010). The subprogrammes which were implemented by the PGZ are shown in bold-face type (Tab.1), that is e.g. soil chemistry (SC), foliage chemistry (FC), and microbial decomposition (MB). As part of the subprogramme MB soil respiration will be measured with twelve static closed chambers to assess the CO₂ release from the forested site. Stemflow measurements have started in spring 2004, just as subprogrammes litterfall chemistry (LF) and vegetation (VG) and will be continued this year.

The main focus of the work in 2018 was to keep the subprogrammes of the ICP IM running. Total deposition data were calculated based on the approach of Ulrich (1991). Total nitrogen deposition amounts to $13.0 \pm 2.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Tab.2). Furthermore sap flux measurement systems were also installed at three Scots pine and three beech trees with two replicates according to Granier's thermal dissipation probe (Granier 1985). The results of stand transpiration derived from single tree sap flux measurements are required to validate and model stand transpiration of the 'Stechlin' catchment.

Table 1: Status of subprogrammes at ICP IM site Neuglobsow

mandatory subprogrammes	shortcut	sampling intervals	executing agency	status
meteorology	AM	c/d	UBA	continued
air chemistry	AC	c/d/w	UBA	continued
precipitation chemistry	PC	d/w/m	UBA/PGZ	continued
throughfall	TF	w/m	UBA/PGZ	continued
soil chemistry	SC	5 y	PGZ	2021
soil water chemistry	SW	2 w	UBA/PGZ	continued
foliage chemistry	FC	y	PGZ	continued
litterfall chemistry	LC	m	PGZ	continued
vegetation	VG	10 y	PGZ	2026
groundwater chemistry	GW	m	UBA/PGZ	continued
lake water chemistry	LC	m	UBA/PGZ	continued
runoff	RW	m/y	IGB/PGZ	continued
optional subprogrammes	shortcut	sampling intervals	executing agency	status
stemflow	SF	w/m	PGZ	continued
microbial decomposition	MB	y	PGZ	continued

c = continually; d = daily; w = weekly; m = monthly; y = yearly

Table 2: Annual rainfall and total deposition rates at ICP IM site Neuglobsow

year	rain-fall	Na	NH ₄ -N	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄ -S	NH ₄ + NO ₃ -N
	mm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
1998	500	5.08	6.63	1.96	1.03	3.11	10.73	5.44	0.01	5.61	12.07
1999	537	5.64	6.11	1.64	0.99	3.96	11.24	5.97	0.35	5.22	12.08
2000	519	5.53	6.29	2.43	1.16	5.35	10.44	5.72	0.48	4.22	12.01
2001	601	4.59	10.59	2.41	0.86	8.70	9.59	6.42	0.72	5.84	17.02
2002	686	5.29	6.72	1.27	0.93	4.32	10.80	6.64	0.10	5.07	13.36
2003	422	4.30	7.41	1.28	0.75	4.33	9.14	7.17	0.04	3.99	14.58
2004	562	5.95	6.62	1.77	0.95	3.95	12.33	6.30	0.12	4.31	12.91
2005	593	5.46	4.69	1.50	1.03	8.26	10.53	5.50	0.05	3.55	10.19
2006	509	4.09	7.45	1.71	0.75	5.27	8.30	6.29	0.29	3.39	13.74
2007	816	8.34	7.73	3.25	1.19	8.81	16.79	10.10	0.26	4.66	17.83
2008	612	6.37	6.46	2.71	1.09	11.97	12.01	6.43	0.48	3.15	12.89
2009	561	4.01	4.94	2.86	0.63	3.23	7.85	6.15	0.28	2.84	11.09
2010	809	3.94	6.48	1.92	0.77	14.01	8.43	6.98	0.30	4.03	13.46
2011	734	4.30	8.15	2.48	0.77	3.92	9.81	6.56	0.45	3.11	14.71
2012	576	5.11	6.00	1.23	0.79	3.30	10.90	5.69	0.32	2.65	11.69
2013	561	4.52	6.50	1.50	0.78	4.75	9.83	6.04	0.27	2.65	12.54
2014	619	5.93	7.42	2.16	1.02	6.15	12.15	6.22	0.50	3.42	13.64
2015	535	4.33	6.65	1.60	0.73	4.61	8.92	5.38	0.45	1.95	12.02
2016	475	3.73	5.33	1.54	0.62	3.27	8.20	4.04	0.36	1.74	9.38
2017	778	6,70	7,02	2,20	1,05	5,36	13,82	6,23	0,31	2,84	13,24
Ø	600	5,16	6,76	1,97	0,90	5,83	10,59	6,26	0,31	3,71	13,02
S_d	111	1,14	1,26	0,57	0,17	3,02	2,14	1,13	0,18	1,16	2,01

The results indicate that sap flux densities of single trees mainly depend on their sociological position within the stand, i.e. if it is a dominant or suppressed tree. In the mature mixed stand at Neuglobsow pine trees of the first storey shelter younger beech trees of the second storey. Hence, beech trees naturally are shaded by the older pine trees and as a result, sap flux densities of the beech trees highly differ.

Table 3: Xylem sap flux densities, sapwood areas and transpiration rates 2016-2018

	beech	beech	beech	Scots	Scots	Scots
measurement period	2016	2017	2018	2016	2017	2018
mean xylem flux density ($\text{l dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	0.10	0.23	0.10	0.05	0.07	0.06
mean sapwood area (dm^2)	9.34	9.34	9.34	10.66	10.66	10.66
vegetation period (d)	182	183	181	330	312	324
trees (ha^{-1})	220	220	220	80	80	80
mean transpiration rate (mm a^{-1})	116	214	117	31	35	32
min- and max-transpiration rate (mm a^{-1})	59-224	85-335	40-193	20-41	31-40	20-45

For the studied mature mixed forest, this resulted in mean transpiration rates of 150 to 250 mm a^{-1} for the years 2016 to 2018, respectively (Tab.3). Measurements in northern Germany at different mature beech stands along a precipitation gradient from 581 to 933 mm a^{-1} resulted, for example, in transpiration rates of 216 to 303 mm a^{-1} (Schipka et al. 2005). However, the precipitation measured at Neuglobsow site in 2018 was only 412 mm (according to Hellmann), which is more than 30 % below the long-term mean of 600 mm a^{-1} , and moreover explains the lower transpiration rates compared to the previous year.

Outlook

The existing results confirm that IM site Neuglobsow can currently be considered as a reference site in an area with low atmospheric loads. Unique site characteristics of the catchment at Neuglobsow are the basis of further research within the scope of the ICP Integrated Monitoring programme. Present on-site measurements should be continued, particularly with regard to the IM subprogrammes of water and mass fluxes, in PC, TF, SF, LF and SW. Moreover, xylem flux measurements on the above-mentioned trees are to be continued in order to evaluate tree- and total stand transpiration also in 2019.

References

- ICP IM-Manual. 2010. http://www.syke.fi/en-US/Research_Development/Ecosystem_services/Monitoring/Integrated_Monitoring/Manual_for_Integrated_Monitoring
- Granier A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.* 42, 193–200
- Schipka F, Heimann J and C Leuschner. 2005. Regional variation in canopy transpiration of Central European beech forests. *Oecologia* 143:6 260–270
- Richter D. 1997. Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und dessen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes. Deutscher Wetterdienst. 201, 1-126. Frankfurt a. Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes
- Ulrich B. 1991. Rechenweg zur Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen. Identifizierung der sie bedingenden Prozesse. In: Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Ber. Forsch. Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 24: 204-210

Anhang

Beteiligung an Ringanalysen des ICP



NIVA REPORT SNO 7316-2018

ICP Waters Report 137/2018

Intercomparison 1832: pH, Conductivity, Alkalinity,
NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Tot-P,
Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn



International Cooperative Programme on Assessment
and Monitoring Effects of Air Pollution on Rivers and Lakes

Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution



Anhang

Norwegian Institute for Water Research

REPORT

Main Office

Gaustadalléen 21
NO-0349 Oslo, Norway
Phone (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

NIVA Region South

Jon Lilletuns vei 3
NO-4879 Grimstad, Norway
Phone (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region East

Sandvikaveien 59
NO-2312 Ottestad, Norway
Phone (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region West

Thormøhlensgate 53 D
NO-5006 Bergen Norway
Phone (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Denmark

Ørestads Boulevard 73
DK-2300 Copenhagen
Phone (45) 8896 9670

Title Intercomparison 1832: pH, Conductivity, Alkalinity, NO ₃ -N, Cl, SO ₄ , Ca, Mg, Na, K, TOC, Tot-P, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn	Serial number 7316-2018	Date 15.12.2018
Author(s) Dr. Carlos Escudero-Oñate	Topic group Environmental contaminants - freshwater	Distribution Open
	Geographical area Europe, North America, Asia	Pages 72

Client(s) Norwegian Environment Agency United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)	Client's reference
Client's publication: ICP Waters report 137/2018	Printed NIVA Project number 10300

Summary In the current edition, 32 laboratories from 19 countries were included in the 2019 ICP-Waters intercomparison. Similar to earlier intercomparisons, two sample sets were prepared: one for the determination of major ions and one for heavy metals. Based on the general target accuracy of $\pm 20\%$, or the special accuracy limit for pH and conductivity (± 0.2 pH units and $\pm 10\%$ respectively), 81% of the overall results were accepted. The best results were for the variables sulphate, calcium, iron, manganese, and zinc. For these variables the acceptance was higher than 90%. Good results were obtained this year also for pH, in contrast to with previous editions. 81% of the participants provided results within the acceptance criteria. The higher accuracy in the pH results in this year was due to the ease of its determination when compared earlier; instead of circumneutral or slightly acidic pH, the sample set AB had been adjusted to acidic pH; about 4.5. The analysis of Total-P has exhibited a remarkable increase in the quality of the results; 33% of the results provided by the participants met the acceptance criteria (in contrast with the 21% obtained in the former edition). Harmonization of the analytical methods used may be the most important way to improve the comparability for these parameters.
--

Four keywords 1. Sammenligning 2. Sur nedbør 3. Kvalitetskontroll 4. Overvåking	Fire emneord 1. Intercomparison 2. Acid precipitation 3. Quality Control 4. Monitoring
---	--

This report is quality assured in accordance with NIVA's quality system and approved by:

Carlos Escudero-Oñate
Project Manager

Cathrine B Gundersen
Quality assurance

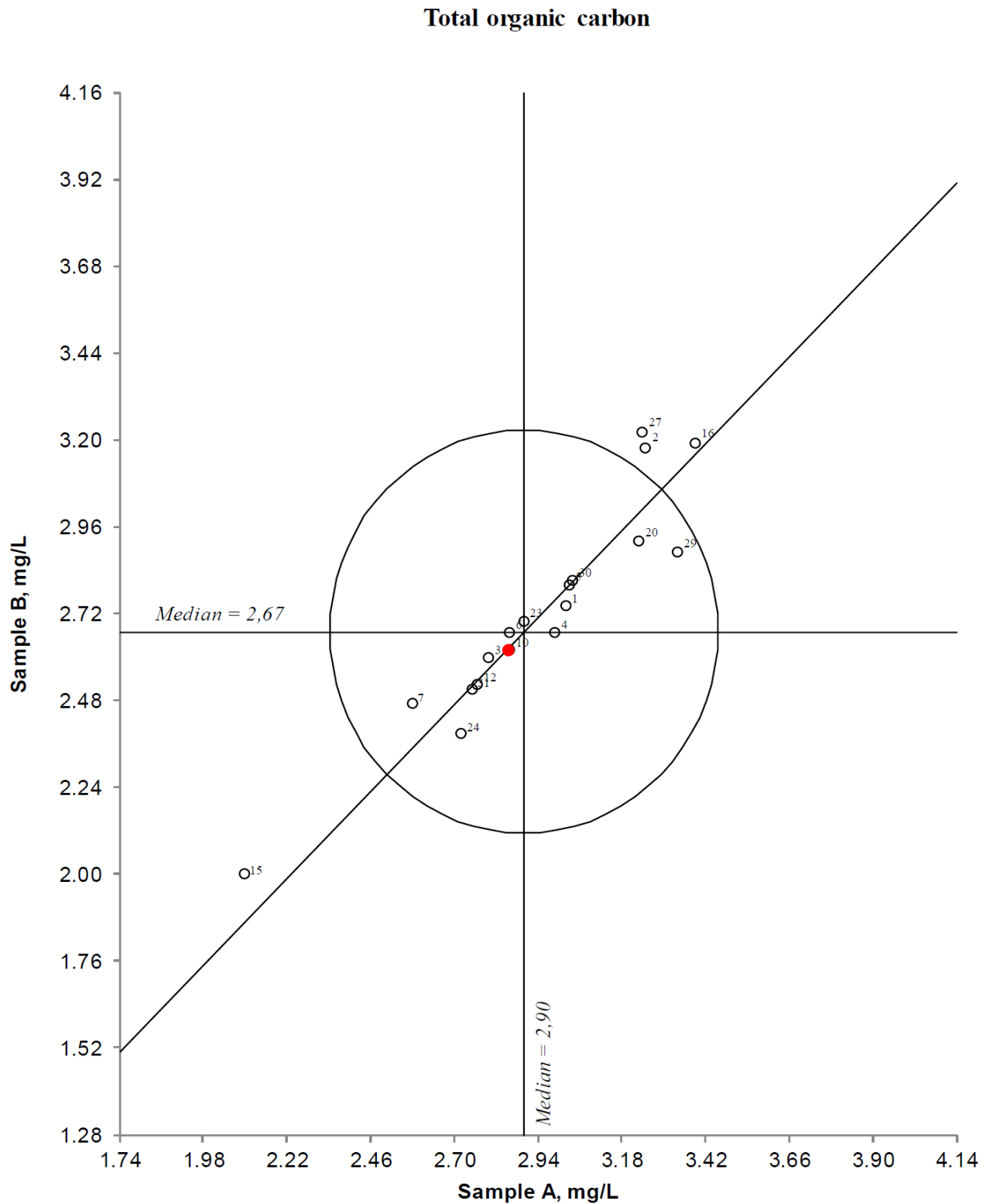
Heleen de Wit
Research Manager

ISBN 978-82-577-7051-8
NIVA-report ISSN 1894-7948

Full report: https://drive.google.com/file/d/1R2NmRTj7m9Z_4mncniuksPgMCWzVo6E_/view

Anhang

Youden-Diagramm der Kohlenstoff-Analyse: Rot = Werte des Zentrallabors der Ökopedologie der Gemäßigten Zonen, Göttingen



Anhang

ISBN 978-3-903258-12-9



International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring
of Air Pollution Effects on Forests (ICP-Forests)

Technical Report QA-RFoliar19

21th Needle/Leaf Interlaboratory Comparison Test 2018/2019

Alfred Fürst



Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape
Forest Foliar Co-ordinating Centre
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Vienna/Austria

Anhang

Phosphorus – results marked with the limits (green = all samples were analysed well)

A56 = Ergebnisse des Zentrallabors der Ökopedologie der Gemäßigten Zonen, Göttingen

21th Needle/Leaf Interlaboratory Comparison Test 2018/2019

Element: P

Sample: 1

Unit: mg/g

No.	Lab. Code	Method code		Replications				n	Lab.mean		Lab.standard dev.		Recovery	
		P	D	1	2	3	4				s_i	V_i	%	
1	A85x	PC02	DB08	2,71	2,97	2,71	2,85	0	2,81	b *	0,13	4,49	73,03	
2	S22	PB06	DB08	2,89	2,82a	2,89	2,88	0	2,89		b *	0,01	0,20	74,98
3	F33x	PD01	DB10	3,01	3,35	2,96	3,39	0	3,18		b *	0,23	7,15	82,56
4	A59	PC01	DB08	2,87a	3,60	3,50	3,48	3	3,53			0,06	1,82	91,60
5	F27x	PD01	DE01	3,57	3,54	3,50	3,50	4	3,53		0,03	0,92	91,62	
6	A43	PB06	DE01	3,60	3,62	3,43	3,55	4	3,55		0,08	2,33	92,22	
7	A49	PC03	DB08	3,53	3,51	3,59	3,58	4	3,55		0,04	1,09	92,27	
8	A71	PB03	DE01	3,58	3,58	3,57	3,58	4	3,58		0,01	0,17	92,86	
9	A61x	PB02	DB08	3,66	3,68	3,67	3,68	4	3,67		0,01	0,26	95,39	
10	F28x	PD02	DB08	3,68	3,71	3,57	3,75	4	3,68		0,07	2,02	95,50	
11	A57	PZ02	DD02	3,64	3,65	3,71	3,72	4	3,68		0,04	1,11	95,59	
12	F29x	PD01	DE01	3,80	3,47	3,64	3,93	4	3,71		0,20	5,37	96,36	
13	F19x	PD02	DB08	3,71	3,76	3,71	3,73	4	3,73		0,02	0,63	96,82	
14	A53	PZ02	DD02	3,72	3,75	3,73	3,75	4	3,74		0,01	0,40	97,08	
15	A56	PC01	DB08	3,72	3,77	3,74	3,75	4	3,74		0,02	0,50	97,23	
16	F06x	PD02	DB08	3,78	3,76	3,72	3,75	4	3,75	c	0,03	0,69	97,42	
17	F07x	PD02	DB08	4,06	3,35	4,02	3,70	0	3,78		0,33	8,68	98,27	
18	F21x	PD02	DE01	3,78	3,84	3,80	3,74	4	3,79		0,04	1,10	98,44	
19	A45x	PB99	DB08	3,85	3,89	3,56	3,88	4	3,80		0,16	4,15	98,57	
20	A88	PD01	DB08	3,82	3,77	3,79	3,81	4	3,80		0,02	0,61	98,64	
21	A82	PC01	DB08	3,91	3,83	3,77	3,69	4	3,80		0,09	2,45	98,70	
22	A36	PD02	DB08	3,81	3,76	3,75	4,03	4	3,84		0,13	3,41	99,68	
23	F25x	PB06	DB08	3,85	3,83	3,88	3,83	4	3,85		0,03	0,69	99,95	
24	F01x	PB04	DE01	3,85	3,87	3,84	3,86	4	3,85		0,01	0,36	100,06	
25	A79	PD03	DB99	3,88	3,88	3,85	3,85	4	3,86		0,02	0,47	100,30	
26	A60x	PD01	DB10	3,81	3,90	3,94	3,81	4	3,87		0,07	1,70	100,39	
27	F05x	PD02	DB08	3,89	3,89	3,87	3,90	4	3,89		0,01	0,32	100,98	
28	F13x	PD01	DB08	3,94	3,91	3,90	3,84	4	3,90		0,04	1,08	101,23	
29	A94	PB06	DB08	3,89	3,91	3,92	3,88	4	3,90		0,02	0,47	101,30	
30	F02x	PD02	DB08	3,85	3,95	3,96	3,85	4	3,90		0,06	1,56	101,36	
31	F32x	PD02	DB08	3,92	3,90	3,93	3,91	4	3,92		0,01	0,33	101,69	
32	F08x	PZ99	DB08	3,87	3,91	3,88	4,02	4	3,92		0,07	1,76	101,82	
33	F26x	PC02	DB08	3,93	3,97	3,90	3,89	4	3,92		0,04	0,92	101,88	
34	A90	PD01	DB10	4,00	3,97	3,94	3,86	4	3,94		0,06	1,56	102,41	
35	F12x	PC01	DB08	4,02	3,96	3,93	3,87	4	3,95		0,06	1,58	102,47	
36	A47x	PD01	DB08	4,01	3,96	3,96	3,87	4	3,95		0,06	1,48	102,60	
37	F09	PZ02	DD02	3,82	3,92	4,00	4,08	4	3,96		0,11	2,81	102,73	
38	F18x	PD99	DB08	3,98	3,95	3,95	3,98	4	3,97		0,02	0,44	102,99	
39	F24x	PB03	DE01	3,91	3,95	4,00	4,02	4	3,97		0,05	1,29	103,09	
40	F14x	PC01	DB08	4,02	4,05	4,01	4,00	4	4,02		0,02	0,48	104,39	
41	A39	PD02	DB08	4,20	4,17	4,11	3,95	4	4,10		0,11	2,74	106,58	
42	A65	PD01	DB08	4,11	4,14	4,11	4,12	4	4,12		0,01	0,34	107,01	
43	F16x	PC01	DB08	4,13	4,24	3,99	4,16	4	4,13		0,10	2,51	107,25	
44	F15x	PC01	DB08	4,20	4,16	4,18	4,17	4	4,18		0,02	0,41	108,51	
45	F03	PD02	DB08	4,29	4,29	4,28	4,22	4	4,27	*	0,03	0,79	110,91	
46	A62x	PC02	DE01	6,07	5,49	5,91	5,99	0	5,87	b *	0,26	4,41	152,34	
47														
48														
49														
50														
51														
52														
53														
54														
55														

* = non tolerable mean because more than +/-

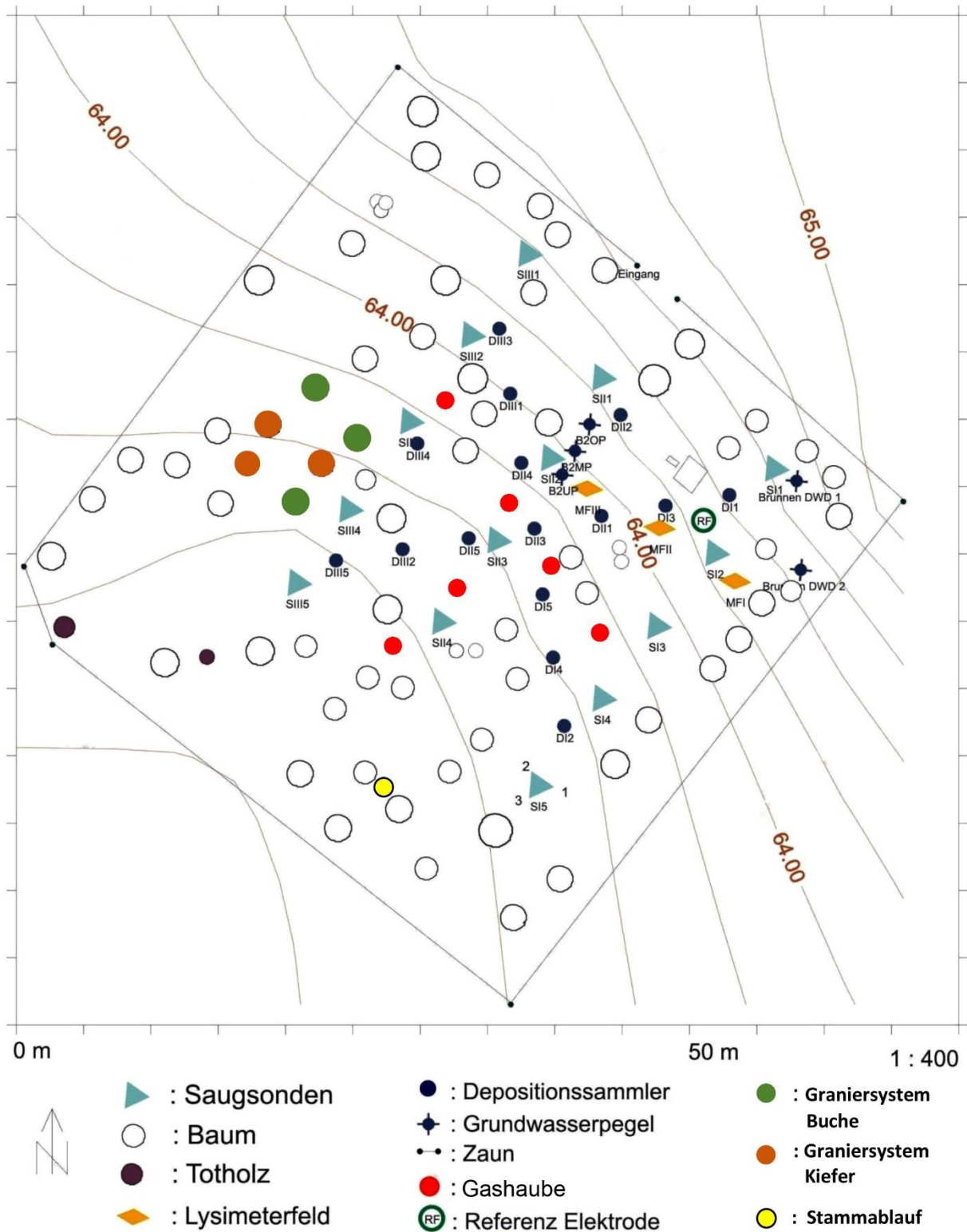
n	Mean	s_r	CV_r
all labs 163	3,85	0,052	1,340
10	% from the mean		

I	s_R	CV_R
41	0,177	4,594

Full report: http://bfw.ac.at/cms_stamm/430/pdf/ringtest/Foliage_21.pdf

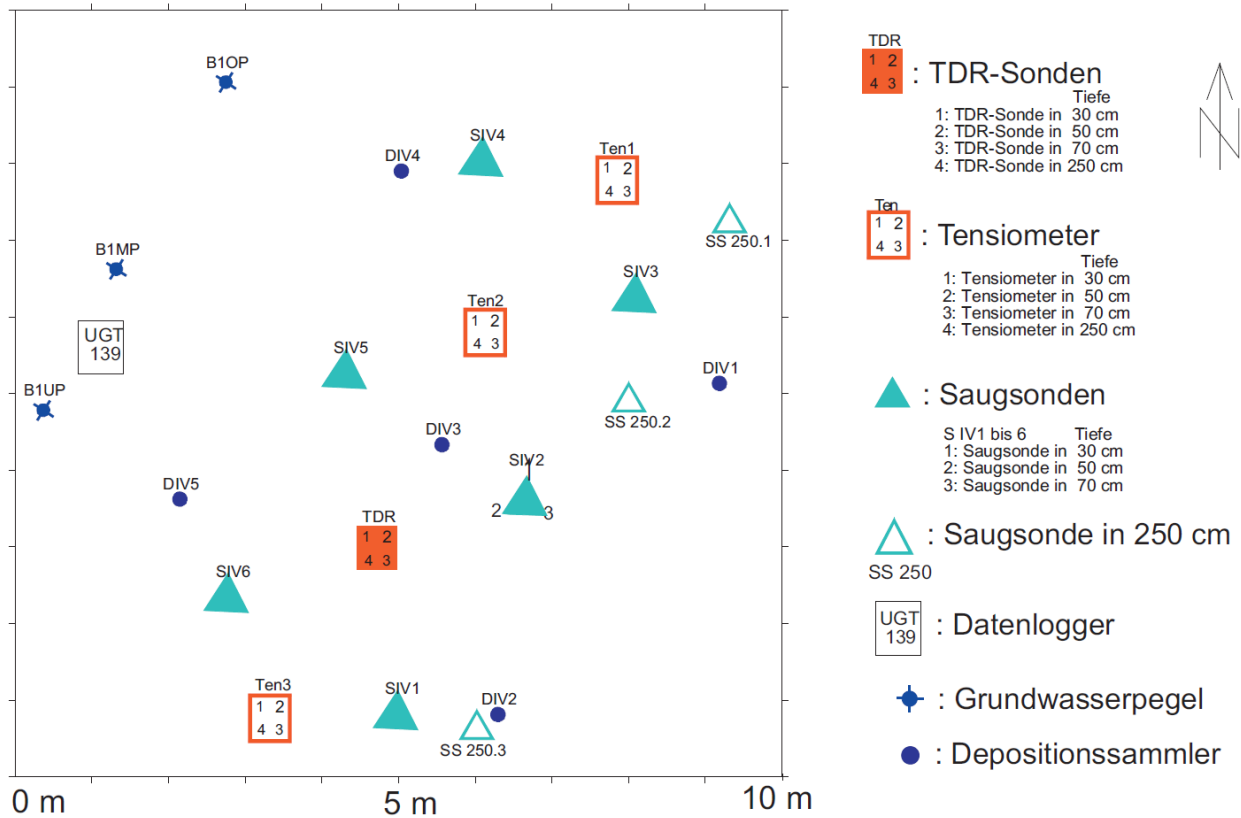
Anhang

Instrumentalisierung der Waldmessfläche



Anhang

Instrumentalisierung der Freilandmessfläche



Maßstab: 1:100