

Monitoring Hydrochemie Große Säure / Rostmoor



Hydrochemische Begutachtung und
Datenauswertung des Teilgebietes
"Große Säure/Rostmoor"
im Einzugsgebiet der Talsperre Carlsfeld

Stefan Geisen, Aaron Semmling; beide emc GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung, Ziel- und Aufgabenstellung	11
2	Untersuchungsgebiet	12
2.1	Naturraum.....	12
2.2	Maßnahmen zur Wiedervernässung	12
3	Datenbasis	15
3.1	Datenquellen, Datenumfang.....	15
3.1.1	Datenbasis Moorwasser	15
3.1.2	Datenbasis Oberflächenwasser	17
3.1.3	Datenbasis Meteorologie.....	18
3.1.4	Datenbasis sonstige Informationen	18
3.2	Datenhaltung	19
3.3	Datenaufbereitung, Plausibilitätsprüfung	19
4	Konzept zur statistischen Auswertung	24
4.1	Grundlegende Vorgehensweise	24
4.2	Statistische Prüfung der Datengrundlage	24
4.2.1	Test auf Normalverteilung	24
4.2.2	Test auf statistische Ausreißer	24
4.3	Statistische Analyse von Einzelparametern	25
4.3.1	Deskriptive Statistik der Einzelparameter	25
4.3.2	Trendanalyse.....	25
4.3.3	Bruchpunktanalyse.....	25
4.4	Analyse der räumlichen Verteilung des DOC.....	26
4.5	Korrelations- und Regressionsanalysen	26
4.5.1	Korrelationsanalyse	26
4.5.2	Einfache lineare Regressionsanalyse	27
4.5.3	Varianzanalyse	27
4.5.4	Faktoranalyse	28
4.5.5	Clusteranalyse.....	28
4.5.6	Multiple Regression	28
5	Ergebnisse der statistischen Analysen	29
5.1	Deskriptive Statistik der Einzelparameter	29
5.2	Zeitliche Entwicklung ausgewählter Parameter, Trend- und Bruchpunktanalysen.....	29
5.2.1	Meteorologie – Klimaparameter	29
5.2.2	Wasserstand/Flurabstand in den Moorpegeln	31
5.2.3	DOC-Konzentrationen in den Moorpegeln	34
5.2.4	DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser	40
5.2.5	Eisen.....	43
5.2.6	Aluminium.....	48
5.2.7	Nitrat	52
5.2.8	Ammonium	56
5.2.9	Sulfat	58
5.2.10	Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert	60
5.2.11	Zwischenfazit zu Trend- und Bruchpunktanalysen	60
5.3	Räumliche Verteilung des DOC	61
5.3.1	Räumliche Verteilung des DOC im Moorwasser.....	61
5.3.2	Räumliche Verteilung des DOC im Oberflächenwasser	62

5.3.3	Zwischenfazit zur räumlichen Verteilung des DOC.....	64
5.4	Korrelations- und Regressionsanalysen	64
5.4.1	Messstellenbezogene Korrelationsanalysen.....	64
5.4.2	Parameterbezogene Korrelationsanalysen	68
5.4.3	Lineare Regressionsanalysen für den DOC.....	68
5.4.4	Zwischenfazit zu Korrelations- und linearen Regressionsanalysen.....	80
5.5	Faktoranalysen.....	80
5.5.1	Faktoranalyse Moorwasser	80
5.5.2	Faktoranalyse Oberflächenwasser.....	82
5.5.3	Zwischenfazit zu Faktoranalysen	83
5.6	Clusteranalysen.....	83
5.6.1	Parameterbezogene Clusteranalysen.....	83
5.6.2	Messstellenbezogene Clusteranalyse für DOC	85
5.6.3	Zwischenfazit zu den Clusteranalysen für DOC.....	87
5.7	Multiple (lineare) Regression.....	88
6	Ableitung von Fließwegen und potenziellen Hotspots für DOC-Austräge.....	93
6.1	Vorgehensweise	93
6.2	Ergebnisse.....	94
7	Bewertung	96
7.1	Auswirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen	96
7.1.1	Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf den Moorwasserstand	96
7.1.1.1	Zeitreihenanalyse des Flurabstandes in den Moorpegeln	96
7.1.1.2	Korrelationsanalysen des Flurabstandes in den Moorpegeln	97
7.1.2	Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf die Moorwasserchemie	97
7.1.2.1	Zeitreihenanalyse des DOC in den Moorpegeln	97
7.1.2.2	Zeitreihenanalysen weiterer Parameter in den Moorpegeln	98
7.1.3	Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf die Beschaffenheit des Oberflächenwassers.....	99
7.1.3.1	Zeitreihenanalyse des DOC im Oberflächenwasser	99
7.1.3.2	Zeitreihenanalysen weiterer Parameter im Oberflächenwasser	100
7.1.4	Zusammenfassende Bewertung zu Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moorkörper	102
7.2	Allgemeine Prozessidentifikation	102
7.2.1	Zeitreihenanalysen	102
7.2.2	Räumliche Verteilung des DOC	104
7.2.2.1	Räumliche Verteilung des DOC im Moorwasser.....	104
7.2.2.2	Räumliche Entwicklung des DOC im Oberflächenwasser	105
7.2.3	Korrelations- und Regressionsanalysen für DOC	105
7.2.3.1	Korrelations- und Regressionsanalysen für DOC in den Moorpegeln	105
7.2.3.2	Korrelations- und Regressionsanalysen für DOC im Oberflächenwasser	107
7.2.3.3	Faktor- und Clusteranalysen - Moorpegel.....	108
7.2.3.4	Faktor- und Clusteranalysen im Oberflächenwasser	108
7.2.3.5	Multiple Regressionsanalysen für DOC - Moorpegel.....	109
7.2.3.6	Multiple Regressionsanalysen für DOC im Oberflächenwasser	109
7.2.4	Zusammenfassende Bewertung der Prozessidentifikation	110
7.3	Bewertung der Monitoringstrategie	110

7.4	Vorschläge zur Berücksichtigung der Messstellen im geplanten Sondermessnetz „Huminstoffe“	112
Literaturverzeichnis		114
A 1	Datengrundlage	116
A 1.1	Datengrundlage - Gangliniendarstellungen.....	116
A 1.2	Datengrundlage - Messstellenbezogene deskriptive Statistik - Gesamtdaten.....	116
A 1.3	Datengrundlage - Messstellenbezogene deskriptive Statistik - nach Elimination unplausibler Daten	116
A 1.4	Datengrundlage - Übersichtstabelle der Parameter.....	116
A 2	Ergebnisse statistischer Analysen	116
A 2.1	Lineare Trendanalysen, tabellarisch	116
A 2.2	Messstellenbezogene Korrelationsanalysen.....	116
A 2.3	Parameterbezogene Korrelationsanalysen	116
A 3	Kartenanhang	116
A 3.1	Karte 1: Übersichtslageplan	116
A 3.2	Karte 2: Übersichtslageplan	117

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Messstellen und der Grabenstau mit Jahr der Errichtung (aus LFULG 2022).....	13
Abbildung 2: Rückstaubereich des Grabenstaus südöstlich von P9	13
Abbildung 3: Gestauter Fangegraben oberhalb (südlich) von P16.....	14
Abbildung 4: Ganglinien der 7-Tages-Werte des Niederschlags, der Lufttemperatur (jeweils als Stationsdaten der DWD-Station) und der abgeleiteten ETP.....	30
Abbildung 5: Jahreswerte des NS, der TL und der ETP aus Stationsdaten (Tageswerte) der DWD-Station Carlsfeld	31
Abbildung 6: Ganglinien des Flurabstandes in den Moorpegeln in der Großen Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	32
Abbildung 7: Ganglinien des Flurabstandes in den Moorpegeln im Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	33
Abbildung 8: Ganglinien des DOC in der Großen Säure mit linearen Trendlinien nach Bruchpunktanalyse	35
Abbildung 9: Ganglinien des DOC im Rostmoor mit linearen Trendlinien nach Bruchpunktanalyse	36
Abbildung 10: Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Wilzsch am Zufluss zur TS Carlsfeld im Vergleich der drei Messprogramme.....	40
Abbildung 11: Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Wilzsch	41
Abbildung 12: Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Kranizsch und der Wilzsch	41
Abbildung 13: Ganglinien des DOC in den Oberflächenwassermessstellen Carl/1/011 bis Carl/1/20 und OBF40631 mit linearen Trends für Zeiträume vor und nach Bruchpunkten	42
Abbildung 14: Ganglinien des gelösten Eisens an den Carl-Messstellen und OBF40631 mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	44
Abbildung 15: Ganglinien des gelösten Eisens an den FG-Messstellen mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	45
Abbildung 16: Ganglinien des gelösten Eisens in der Großen Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	46
Abbildung 17: Ganglinien des gelösten Eisens im Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse	47
Abbildung 18: Ganglinien des Aluminiums für Carl-Messstellen und OBF40631 mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	48
Abbildung 19: Ganglinien des Aluminiums für FG-Messstellen mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse	49
Abbildung 20: Ganglinien des Aluminiums für die Große Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse	50
Abbildung 21: Ganglinien des Aluminiums für das Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse	51
Abbildung 22: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für Carl-Messstellen und OBF40631 mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	52
Abbildung 23: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für FG-Messstellen mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	53
Abbildung 24: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für die Große Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	54
Abbildung 25: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für das Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	55
Abbildung 26: Ganglinien des Ammonium-Stickstoffs für die Große Säure mit linearen Trends	56
Abbildung 27: Ganglinien des Ammonium-Stickstoffs für das Rostmoor mit linearen Trends	57
Abbildung 28: Ganglinien des Sulfats für die Große Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse....	58
Abbildung 29: Ganglinien des Sulfats für das Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse.....	59
Abbildung 30: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in den Moorpegeln der Großen Säure	61

Abbildung 31: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in den Moorpegeln im Rostmoor.....	62
Abbildung 32: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in der Wilzsch.....	63
Abbildung 33: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in der Kranzsch	63
Abbildung 34: Lineare Regression DOC als Funktion des SAK254 (links) bzw. über SAK254-h (online-Messung) an Carl/1/011	69
Abbildung 35: Lineare Regression für DOC an Carl/1/011 und Carl/1/020 als Funktion des Niederschlags (7d, DWD) für den Messzeitraum ab 2004	70
Abbildung 36: Lineare Regression für DOC als Funktion von Aluminium an Carl/1/011 und Carl/1/020 für den Messzeitraum ab 2004	73
Abbildung 37: Lineare Regressionen des DOC der FG-Messstellen - FG1 aus FG2-FG 9 und FG3 aus FG5	77
Abbildung 38: Lineare Regressionen für Fe an ausgewählten FG-Messstellen.....	79
Abbildung 39: Eigenwerte der Faktoranalyse bei den Moorpegeln	81
Abbildung 40: Eigenwerte der Faktoranalyse für die Oberflächenwassermessstellen	82
Abbildung 41: Clusteranalyse („tree clustering“) ausgewählter Parameter im Moorwasser	84
Abbildung 42: Clusteranalyse („tree clustering“) ausgewählter Parameter im Oberflächenwasser	85
Abbildung 43: Clusteranalyse für DOC in den Moorpegel	85
Abbildung 44: Clusteranalyse für DOC in den Moorpegel, getrennt für Große Säure und Rostmoor	86
Abbildung 45: Clusteranalyse für DOC im Oberflächenwasser, getrennt nach Messprogrammen	86
Abbildung 46: Clusteranalyse für DOC im Oberflächenwasser für ausgewählte Messstellenensembles	87
Abbildung 47: Moorwassergleichen und Fließrichtung in der Großen Säure und dem Rostmoor bei Niedrigwasser.....	94
Abbildung 48: Moorwassergleichen und Fließrichtung in der Großen Säure und dem Rostmoor bei Mittelwasser	95
Abbildung 49: Moorwassergleichen und Fließrichtung in der Großen Säure und dem Rostmoor bei Hochwasser mit Abflussakkumulation aus dem DGM1	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Datenbasis Moorwasser - Messstellen und Untersuchungszeitraum	16
Tabelle 2:	Datenbasis Oberflächenwasser - Messstellen und Untersuchungszeitraum	18
Tabelle 3:	Negative Flurabstände	22
Tabelle 4:	Einordnung der Flurabstände vom 29.05.2017 in die Gesamtdaten	23
Tabelle 5:	Parameter, die in den Korrelations- und Regressionsanalysen und weiteren statistischen Verfahren nicht oder nur begrenzt berücksichtigt werden	26
Tabelle 6:	Steigung der linearen Trends, Tageswertbasis (01.01.1991-31.12.2021)	29
Tabelle 7:	Varianzanalyse (ANOVA) für den DOC in der Großen Säure	37
Tabelle 8:	Varianzanalyse (ANOVA) für den DOC im Rostmoor und an P11	37
Tabelle 9:	Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für FA, DOC, Fe und Al in den Moorpegeln	38
Tabelle 10:	Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für NH ₄ -N, NO ₃ -N und SO ₄ an den Moorpegeln	39
Tabelle 11:	Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für DOC, Fe und Al im Oberflächenwasser	39
Tabelle 12:	Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für NH ₄ -N, NO ₃ -N und SO ₄ im Oberflächenwasser	39
Tabelle 13:	Varianzanalyse (ANOVA) für den DOC an Zufluss-Messstellen der TS Carlsfeld	43
Tabelle 14:	Korrelationskoeffizienten zur Korrelation des Flurabstandes in den Moorpegeln mit ausgewählten Parametern	64
Tabelle 15:	Korrelationskoeffizienten zur Korrelation des DOC mit ausgewählten Parametern – Moorpegel	65
Tabelle 16:	Korrelationskoeffizienten zur Korrelation der LF(25) mit ausgewählten Parametern – Moorpegel	66
Tabelle 17:	Korrelationskoeffizienten zur Korrelation der LF(25) mit ausgewählten Parametern – OWMST	66
Tabelle 18:	Korrelationskoeffizienten zur Korrelation des DOC mit ausgewählten Parametern – OWMST	67
Tabelle 19:	Lineare Regression für DOC als Funktion des SAK254, Oberflächenwasser	68
Tabelle 20:	Lineare Regression für DOC als Funktion des SAK254, Moorpegel	69
Tabelle 21:	Lineare Regression für DOC als Funktion des NS (7d, DWD), Oberflächenwasser	70
Tabelle 22:	Lineare Regression für DOC als Funktion des NS (7d, DWD), Moorpegel	70
Tabelle 23:	Lineare Regression für DOC als Funktion des Flurabstands in den Moorpegeln	71
Tabelle 24:	Lineare Regression für DOC als Funktion von LF(25), Oberflächenwasser	71
Tabelle 25:	Lineare Regression für DOC als Funktion von LF(25), Moorpegel.....	71
Tabelle 26:	Lineare Regression für DOC als Funktion von Natrium, Oberflächenwasser	72
Tabelle 27:	Lineare Regression für DOC als Funktion von Aluminium, Oberflächenwasser	72
Tabelle 28:	Lineare Regression für DOC als Funktion von Aluminium, Moorpegel	72
Tabelle 29:	Lineare Regression für DOC als Funktion von Eisen, Oberflächenwasser	73
Tabelle 30:	Lineare Regression für DOC als Funktion von Eisen, Moorpegel	73
Tabelle 31:	Lineare Regression für DOC als Funktion von o-PO ₄ -P, Oberflächenwasser	74
Tabelle 32:	Lineare Regression für DOC als Funktion von SO ₄ , Oberflächenwasser.....	74
Tabelle 33:	Lineare Regression für DOC als Funktion von TON, Oberflächenwasser.....	74
Tabelle 34:	Lineare Regression für DOC als Funktion von TNb, Moorpegel	75
Tabelle 35:	Lineare Regression für DOC als Funktion von H ₃ O ⁺ , Oberflächenwasser	75
Tabelle 36:	Lineare Regression für DOC als Funktion von H ₃ O ⁺ , Moorpegel	75
Tabelle 37:	Lineare Regression für DOC als Funktion von NO ₃ -N, Oberflächenwasser.....	76
Tabelle 38:	Lineare Regression für DOC als Funktion von NO ₂ -N, Moorpegel.....	76
Tabelle 39:	Parameter der linearen Regressionen DOC im Oberflächenwasser, abschnittsweise	78
Tabelle 40:	Faktoranalyse ausgewählter Parameter für alle Moorpegel	81

Tabelle 41:	Faktoranalyse ausgewählter Parameter für alle Oberflächenwassermessstellen	83
Tabelle 42:	Erläuterungstabelle zu den Ergebnissen der multiplen Regression	88
Tabelle 43:	Parameter der multiplen Regression für die Moorpegel der Großen Säure	89
Tabelle 44:	Parameter der multiplen Regression für die Moorpegel des Rostmoors	90
Tabelle 45:	Parameter der multiplen Regression für die Oberflächenwassermessstellen der Wilzsch	91
Tabelle 46:	Parameter der multiplen Regression für die Oberflächenwassermessstellen der Kranizsch und Bach von Ost.....	92

Abkürzungsverzeichnis

b*	Korrelation Koeffizient der Multiplen Regression
BG	Bestimmungsgrenze
CDC	Climate Data Center (des DWD)
DWD	Deutscher Wetterdienst
EZG	Einzugsgebiet
FG	Fließgewässermessstelle
GWMST	Grundwassermessstelle
iDA	interdisziplinäre Daten und Auswertungen (Webanwendung zum Zugriff auf Umweltdaten und Kartenbestände des Freistaates Sachsen)
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LTV	Landestalsperrenverwaltung
MKZ	Messstellenkennzahl
OWMST	Oberflächenwassermessstelle
p	Wahrscheinlichkeit (probability)
TS	Talsperre

1 Veranlassung, Ziel- und Aufgabenstellung

Das Gebiet „Große Säure/Rostmoor“ liegt im Einzugsgebiet (EZG) der Talsperre (TS) Carlsfeld. An der TS Carlsfeld, deren Hauptnutzung die Gewinnung von Rohwasser zur Trinkwassergewinnung ist, werden seit Jahren steigende Konzentrationen von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) beobachtet.

Die „Große Säure“ und das „Rostmoor“ sind Moorkörper, an denen zwischen 2006 und 2018 Grabenstau im Rahmen der Renaturierung der Moore errichtet wurden.

Im Rahmen eines Begleitmonitorings zur Renaturierung der Großen Säure und des Rostmoores wurden Messstellen in den Torfkörpern (Moorpegel) sowie in den Oberflächengewässern (Fließgewässermessstellen, FG) eingerichtet und beprobt. Seit 2006 werden an ausgewählten Messstellen Beprobungen von April bis November durchgeführt. Darüber hinaus erfolgt eine Überwachung der Zuflüsse der TS Carlsfeld.

Nachdem mittlerweile mehrjährige Datenreihen aus dem Begleitmonitoring vorliegen, sollen die Ergebnisse einer umfassenden Auswertung unterzogen werden. Diese Datenauswertung soll auf Grundlage fundierter statistischer Methoden und unter Berücksichtigung der Moorhydrologie erfolgen.

Ziele der Auswertung sind:

1. Feststellung von Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf den Moorwasserstand und die Moorwasserchemie sowie die Beschaffenheit des Oberflächenwassers.
2. Bewertung der Monitoringstrategie und Erarbeitung von Vorschlägen zur Berücksichtigung der Messstellen im geplanten Sondermessnetz „Huminstoffe“.

Die Aufgabenstellung wird in LfULG (2021a) in 4 Teilleistungen gegliedert:

- Teilleistung 1:
Erstellung eines Konzeptes zur statistischen Analyse der Monitoringdaten mit Fokus auf Zeitreihen- und Bruchpunktanalyse und Trends sowie Korrelationsanalysen (auch multivariate Regressionen) von Einflussgrößen auf DOC-Dynamik (Zwischenbericht)
- Teilleistung 2:
Umsetzung des Konzeptes zur statistischen Analyse der vorliegenden Daten
- Teilleistung 3:
Auswertung der statistischen Analyse hinsichtlich folgender Aspekte:
Einfluss der Wiedervernässung der Moore auf die Wasserstände und -flüsse innerhalb dieses Gebiets.
Darstellung von Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moorkörper auf die DOC-Gehalte im Moorwasser und den DOC-Eintrag in Fließgewässer und Talsperre, sofern aus den Daten ableitbar.
Einfluss klimatischer Faktoren auf die gemessenen Daten (insbes. DOC und Wasserstand)
Begründete Vorschläge, welche Messstellen im Sondermessnetz Huminstoffe aufgenommen werden sollen, um den Wasserfluss und die hydrochemischen Bedingungen auch zukünftig bestmöglich zu erfassen
- Teilleistung 4:
Erstellung einer Karte mit Wasserfließwegen und potenziellen Hotspots für DOC-Austräge im Gebiet Große Säure und Rostmoor.

Durchführung und Ergebnisse sind im vorliegenden Bericht dokumentiert und die Ergebnisse einer Bewertung unterzogen.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Naturraum

Die Talsperre (TS) Carlsfeld befindet sich südlich der Ortslage Carlsfeld im Westerzgebirge. Sie dient der Rohwasserbereitstellung für die Trinkwassergewinnung.

Die TS staut das Fließgewässer Wilzsch, die südöstlich von Eibenstock in die Zwickauer Mulde mündet, und weist zudem weitere kleine Zuflüsse auf (Anhang Karte 1).

Das Einzugsgebiet (EZG) der TS umfasst eine Fläche von etwa 5,4 km² und reicht von etwa 305 m NHN bis in die Kammlage bei etwa 950 m NHN. Das Einzugsgebiet der Wilzsch umfasst am Zuflusspegel Carl/1/011 eine Fläche von etwa 1,689 km².

Geologisch ist das Gebiet vom Eibenstocker Tumralingranit geprägt.

Hochflächen, Täler und teilweise Hangbereiche weisen gemäß digitaler Bodenkarte BK50 Moorböden auf. Des Weiteren sind Gleye und Podsole, teils anmoorig, verbreitet.

Aktuell wird das EZG überwiegend als Fichtenforst genutzt, wobei insbesondere im EZG der Wilzsch Flächen als Totalreservate aus der wirtschaftlichen Nutzung genommen sind.

Das langjährige (Kalenderjahre 1991-2021) Jahresmittel der Lufttemperatur beträgt an der DWD-Station Carlsfeld 5,7°C, der langjährige Jahresniederschlag für den genannten Zeitraum 1.166 mm/a (Stationsniederschlag). Die DWD-Station Carlsfeld liegt auf 895,32 m Höhe nordöstlich der TS Carlsfeld. Die Niederschlagssummen im EZG der TS dürften die genannte Jahressumme der unkorrigierten Stationsniederschläge überschreiten.

2.2 Maßnahmen zur Wiedervernässung

Zur Bewertung der Auswirkung der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Großen Säure und des Rostmoores auf den Moorwasserstand sind zunächst die Art, Lage und Zeitpunkt der Maßnahmen zu betrachten.

In Abbildung 1 sind Grabenstaue als Maßnahmen zur Wiedervernässung in ihrer Lage und mit Kennzeichnung des Jahres ihrer Errichtung dargestellt. Die Abbildung enthält zusätzlich die Lage der Messstellen aus dem DOC-Monitoring im unmittelbaren Bereich und Umfeld der Großen Säure und des Rostmoores. Weitere Informationen zu den Messstellen sind Kapitel 3 zu entnehmen.

2007 wurden in der Großen Säure Gabenstaue im Abstrombereich von P10, im An- und Abstrom von P6 und im Anstrom des Moorpegels P5 errichtet. Für die genannten Moorpegel sind damit Auswirkungen ab 2007 zu prüfen. Im Anstrom von P6 sowie im Abstrom von P8 und P9 wurden 2008 zusätzliche Grabenstaue errichtet. Abbildung 2 zeigt beispielhaft den Rückstaubereich des Grabenstaus südöstlich von P9. Der Graben ist zur Aufnahme im Mai 2022 etwa 1 m angestaut. 2011 wurden Grabenstaue in den Fangegräben nahe P8 und P9 errichtet, die die Wirkung der hangparallelen Gräben unterbinden sollen. Im Bereich der Moorpegel P8 und P9 sind darüber hinaus keine Gräben vorhanden.

Im Herbst 2018 wurden im Rostmoor Grabenstaue im An- und Abstrom der Messstellen P14 bis P16 errichtet. Im Rostmoor sind damit Auswirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen ab 2019 zu prüfen.

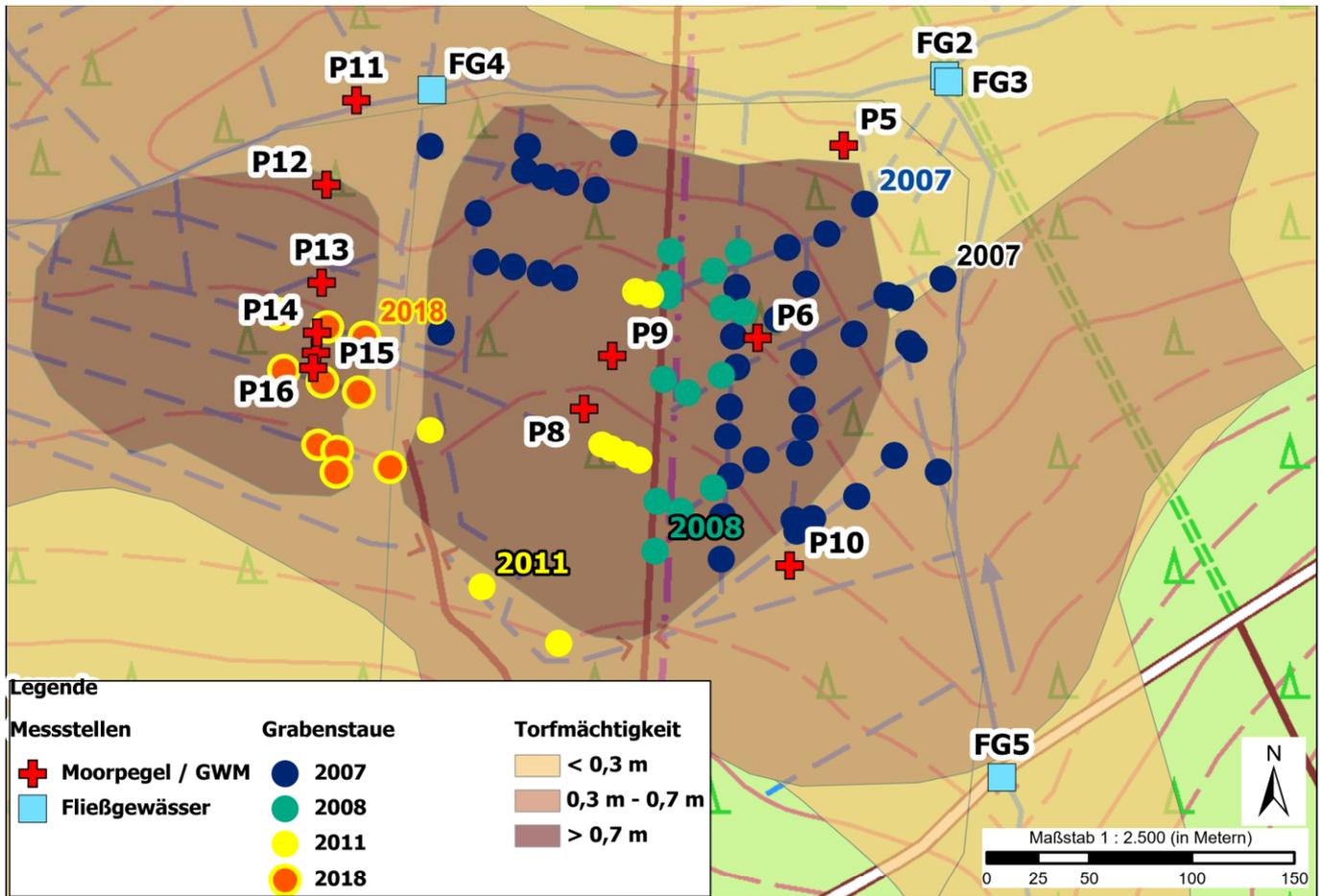


Abbildung 1: Lage der Messstellen und der Grabenstau mit Jahr der Errichtung (aus LFULG 2022)

Die Stau im Rostmoor betreffen überwiegend hangparallele Gräben. Insbesondere im unmittelbaren Anstrom von P16 und im Abstrom von P16 bis zum unmittelbaren Abstrom von P14 wurde die Wirkung der Fanggräben unterbunden. Der gestaute Fanggraben südlich von P16 ist beispielhaft in Abbildung 3 dokumentiert.



Foto: Geisen, emc GmbH (Mai 2022)

Abbildung 2: Rückstaubereich des Grabenstaus südöstlich von P9



Foto: Geisen, emc GmbH (Mai 2022)

Abbildung 3: Gestauter Fangegraben oberhalb (südlich) von P16

Hinsichtlich der Fließgewässermessstellen können die Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung aus den Jahren 2006 bis 2011 die Messstellen FG2 und FG3 sowie im Weiteren die Zuflussmessstellen der TS Carlsfeld in der Wilzsch (FG1, OBF406331 und Carl/1/011) betreffen. FG4 erfasst die Wilzsch vor der Mündung des Grabens, der zwischen Großer Säure und Rostmoor von Süden nach Norden zur Wilzsch entwässert, und kann somit gegebenenfalls Auswirkungen der Maßnahmen im Rostmoor erfassen. Die Messstelle FG9 repräsentiert die Wilzsch im Abstrom des Kiebickenmoores und liegt außerhalb eines möglichen Wirkgebietes der Wiedervernässungsmaßnahmen in der Großen Säure und im Rostmoor. Dies gilt ebenso für FG5 und Carl/1/020, die den Abstrom des Großen Kranichsee erfassen.

3 Datenbasis

3.1 Datenquellen, Datenumfang

3.1.1 Datenbasis Moorwasser

Daten zum Moorwasser (Wasserstand und chemisch-physikalische Parameter aus vor-Ort-Messungen oder Laboranalysen) und Oberflächenwasser (Abfluss und chemisch-physikalische Parameter aus vor-Ort-Messungen oder Laboranalysen) sowie meteorologische Daten liegen vor aus:

1. dem DATENPORTAL IDA (2022)
2. einer Projektdatenbank aus dem Jahr 2016, KEßLER (2016)
3. der Bereitstellung von Daten des LfULG und der LTV durch das LfULG, LFULG (2021b, 2022a)
4. dem Download von Daten des DWD aus dem Climate Data Center (CDC), DWD (2022)

Beim Download aus iDA wurden nicht alle Parameter berücksichtigt. Die Auswahl wurde wie folgt getroffen:

- **Feldparameter:**
Lufttemperatur (TL), Wassertemperatur (TW), pH-Wert (pH(F)), Leitfähigkeit (LF(20), LF(25)), O₂-Gehalt, O₂-Sättigung
- **Organik:**
DOC, SAK254, SAK436, TC, TIC, TNb, TOC, TON
- **Metalle, Erd-/Alkalien:**
Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn
- **Nährstoffe, Anionen:**
NH₄, NH₄-N, NO₂, NO₂-N, NO₃, NO₃-N, oPO₄, oPO₄-P, Cl, HCO₃, SO₄
- **Sonstige Milieuparameter:**
KS4,3, KS8,2, Farbe, pH(L)
- Die Daten zum Moorwasser betreffen 15 Moorpegel. Davon 9 (P1 bis P10) aus dem Bereich bzw. direkten Umfeld der Großen Säure und 6 Moorpegel (P11 bis P16) aus dem Bereich bzw. direkten Umfeld des Rostmoors.

Eine Übersicht über die generelle Datenbasis der Moorpegel gibt Tabelle 1 in Analogie zur Tabelle 1 in KEßLER ET AL. (2016). Der in Tabelle 1 jeweils angegebene Zeitraum gilt nicht für alle jeweils untersuchten Parameter. Eine Zusammenstellung der Untersuchungszeiträume der einzelnen Parameter einschließlich wesentlicher Parameter der deskriptiven Statistik enthält Anhang A 1.2.

Die Moorpegel P1 bis P4 wurden lediglich von 2006 bis Ende 2011 untersucht und weisen zudem eine größere Datenlücke im Jahr 2009 auf. Diese 4 Moorpegel wurden 2012 zurückgebaut. Die Daten der Moorpegel P1 bis P4 werden daher nicht weiter betrachtet.

Die Moorpegel P7, P8a und P9a wurden lediglich in den Jahren 2006 bis 2008 untersucht. Daten zu diesen Moorpegeln wurden daher bereits bei der Datenakquise nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Datenbasis Moorwasser - Messstellen und Untersuchungszeitraum

Moorkörper	ID LfULG	MKZ	Zeitraum	Bemerkungen
Große Säure	-	P1	12.09.06 – 26.11.11	größere Lücke 2009
Große Säure	-	P2	12.09.06 – 26.11.11	größere Lücke 2009
Große Säure	-	P3	12.09.06 – 26.11.11	größere Lücke 2009
Große Säure	-	P4	12.09.06 – 26.11.11	größere Lücke 2009
Große Säure	5541MOOP5	P5	31.08.06 – 22.11.21	größere Lücke 2009, Lücke 2012
Große Säure	5541MOOP6	P6	12.09.06 – 22.11.21	größere Lücke 2009, Lücke 2012
Große Säure	5541MOOP7	P7	-	nicht berücksichtigt*
Große Säure	5541MOOP8	P8	31.08.06 – 22.11.21	größere Lücke 2009, Lücke 2012
Große Säure	5541MOOP8a	P8a	-	nicht berücksichtigt*
Große Säure	5541MOOP9	P9	31.08.06 – 22.11.21	größere Lücke 2009, Lücke 2012
Große Säure	5541MOOP9a	P9a	-	nicht berücksichtigt*
Große Säure	5541MOOP10	P10	31.08.06 – 22.11.21	größere Lücke 2009, Lücke 2012
Rostmoor	5541MOOP11	P11	12.09.06 – 22.11.21	größere Lücke 2009, Lücke 2012
Rostmoor	5541MOOP12	P12	30.05.12 – 22.11.21	
Rostmoor	5541MOOP13	P13	30.05.12 – 22.11.21	
Rostmoor	5541MOOP14	P14	30.05.12 – 22.11.21	
Rostmoor	5541MOOP15	P15	30.05.12 – 22.11.21	
Rostmoor	5541MOOP16	P16	29.05.12 – 22.11.21	Analytik ab 01.08.17

Zeitraum: Untersuchungszeitraum aus dem Daten vorliegen

* für P7, P8a und P9a wurden keine Daten übernommen, da sie lediglich 2006-2008 untersucht wurden

Die Lage der Moorpegel, die im Weiteren berücksichtigt werden, ist in Karte 2 (Anhang A 3.2) dargestellt. Die Pegel P5 und P11, die jeweils einem der beiden Moore zugeordnet werden, liegen außerhalb der eigentlichen Moorkörper in Bereichen mit Torfmächtigkeiten < 3 dm. P11 ist zudem durch die Wilzsch vom Rostmoor getrennt.

Ausbaupläne oder Schichtenverzeichnisse zu den Moorpegeln liegen nicht vor. In EDM (2008) sind Schichtenverzeichnisse für Bohrungen nahe verschiedener Moorpegel dokumentiert. Daraus gehen folgende Moormächtigkeiten hervor: 70 cm an P5, 355 cm an P6, 425 cm an P8 und 85 cm an P10. Nachdem die Moorpegel bis ca. 1 m unter Gelände ausgebaut sind (Baumann 2022), ist für P5 und P10 anzunehmen, dass die Filterstrecken der Pegel in den mineralischen Untergrund reichen, während an P6 und P8 und an der unweit von P8 gelegene P9 die Filterstrecken der Moorpegel weit oberhalb des mineralischen Untergrundes enden und diese Moorpegel nur an den obersten Meter des Torfkörpers angeschlossen sind.

Die Moorpegel P1 bis P10 wurden auf Basis eines Monitoringkonzeptes nach KRÜGER ET AL. (2009) errichtet. Die Autoren gliedern das Moor "Große Säure" in 5 Funktionsbereiche, die sie hinsichtlich der Energie- und Stoffdynamik aufgrund unterschiedlicher Veränderungen und der "Funktionen" der Bereiche in Bezug auf eine Revitalisierung des gesamten Moores unterscheiden. Die Funktionsbereiche werden hier nachfolgend sinngemäß zitiert aus KRÜGER ET AL. (2009) kurz beschrieben.

Funktionsbereich 1 - keine Moorpegel

Fichtenforst auf Mineralboden mit Streu- und Humusauflage, Podsole und räumlich-fleckenartig eingelagerten geringmächtigen Moorbildungen auf dem Flachhang oberhalb der anderen Funktionsbereiche. Der Hangwasserüberschuss speist direkt die Funktionsbereiche 2, 3, 5.

Funktionsbereich 2 - Moorpegel: P1, P2, P3, P4 und P6

Zentralbereich der Großen Säure mit mehr als 1 m bis maximal 4 m mächtiges Moor, durchzogen von oft tiefen Gräben (bis 2,5 m tief), Fichtenforst in unterschiedlichem Zustand, bodenbedeckende Vegetation, Heidelbeere unter großen Fichten fehlend. Um ein Revitalisierung zu erreichen, muss der Grundwasserstand um mindestens 60 cm angehoben werden.

Funktionsbereich 3 - Moorpegel: P8, P8a, P9, P9a

Moor mit > 2 m Torfmächtigkeit, Latschen und wenig Fichten. Hoch anstehendes Grundwasser mit relativ geringer Schwankung im Jahresgang, Bodenvegetation Gräser, Sphagnum und Heidelbeere. Zum Wilzschtal grenzt eine Torfstichkante mit Grundwasseraustritt den Funktionsbereich ab.

Funktionsbereich 4 - Moorpegel: P5

Ausgetorfte Moor in natürlicher Regeneration. Der Funktionsbereich schließt sich an die Talbodenbereiche von Wilzsch und Kranzsch mit absterbenden großen Fichten und partieller neuer Vermoorungen an. Der Funktionsbereich 4 wird moorwärts von einer Torfstichkante abgeschlossen. Durch den Anschluss an die hohen Grundwasserstände im Talbodenbereich, die nur eine geringe jahreszeitliche Schwankung aufweisen, sind günstige Bedingungen für ein eigenständiges Moorwachstum gegeben. Weiterhin fließt aus der Torfstichkante Grundwasser in das Gebiet.

Funktionsbereich 5 - Moorpegel: P10

Aufwachsendes Moor: Sich entwickelndes Moor im wenig geneigten bis fast ebenen Relief, Wasseranstau hinter 20-40 cm mächtiger Holzverbauung aus dem Jahre 1992; Sphagnumgebiet; auf etwas höher gelegenen Bereichen Jungfichten. In ca. 15 Jahren konnte sich ein aufwachsendes Moor entwickeln.

3.1.2 Datenbasis Oberflächenwasser

Eine Übersicht über die generelle Datenbasis der Oberflächenwassermessstellen gibt Tabelle 2 in Analogie zur Tabelle 1 KEßLER ET AL. (2016). Der darin angegebene Zeitraum gilt nicht für alle jeweils untersuchten Parameter. Eine Zusammenstellung der Untersuchungszeiträume der einzelnen Parameter einschließlich wesentlicher Parameter der deskriptiven Statistik enthält Anhang A 1.2.

Die Bemerkungen in Tabelle 2 für die Messstellen OBF40631 und FG1 bis FG9 treffen für die Parameter DOC (teilweise) und SAK254 nicht zu.

Für die Messstellen Carl/1/011, Carl/1/019 und Carl/1/020 wurden zudem Abflussdaten bereitgestellt, LFULG (2021b). Die Daten wurden in GEISEN & SEMMLING (2022) geprüft und aufbereitet. Auf die Abflussdaten für Carl/1/011 wird hier Bezug genommen.

Tabelle 2: Datenbasis Oberflächenwasser - Messstellen und Untersuchungszeitraum

Gewässer	ID LfULG	MKZ	Zeitraum	Bemerkungen
Wilzsch	OBF40631	OBF40631	28.05.96 – 19.11.20	größere Lücke 2002 - 2004
Wilzsch	OBF40633	FG1	26.07.06 – 28.09.21	größere Lücken 2009 & 2011
Wilzsch	OBF40634	FG2	26.07.06 – 28.09.21	größere Lücken 2009 & 2011
Kranizsch	OBF40635	FG3	26.07.06 – 08.11.16	größere Lücken 2009 & 2011
Wilzsch	OBF40636	FG4	26.07.06 – 08.11.16	größere Lücken 2009 & 2011
Kranizsch	OBF40637	FG5	26.07.06 – 28.09.21	größere Lücken 2009 & 2011
Wilzsch	OBF40638	FG9	02.05.12 – 28.09.21	
Wilzsch	-	Carl/1/11	13.02.95 – 07.11.21	außer SAK254-h bis 11.10.21
Bach v. SO	-	Carl/1/17	13.02.95 – 11.10.21	Bach von Südost
Bach v. O.	-	Carl/1/19	13.02.95 – 11.10.21	Bach von Ost
Kranizsch	-	Carl/1/20	10.05.04 – 11.10.21	

Zeitraum: Untersuchungszeitraum aus dem Daten vorliegen

Die Lage der Oberflächenwassermessstellen ist Karte 1 (Anhang A 3.1) und Karte 2 (Anhang A 3.2) zu entnehmen. FG1, OBF40631 und Carl/1/011 liegen ortsgleich am Zufluss der Wilzsch zur TS. FG5 und Carl/1/020 sind ebenfalls ortsgleich. FG2 erfasst die Wilzsch vor der Mündung der Kranizsch, FG4 vor der Mündung des Grabens aus Süden.

3.1.3 Datenbasis Meteorologie

Meteorologische Daten wurden für die DWD-Klimastation Carlsfeld (DWD-Stations-ID 840) für die Parameter Lufttemperatur (Tagesmittel, ab 01.12.1989), Tagessumme des Niederschlags, Niederschlagsform und Tageswert Schneehöhe (jeweils ab 01.04.1990) übernommen.

Für die meteorologische Station der LTV an der TS Carlsfeld liegen Daten des Niederschlags (15-Minuten-Summen 01.01.2011 – 10.11.2021) und der Lufttemperatur (15-Minuten-Werte 01.01.2018 – 10.11.2021) vor.

3.1.4 Datenbasis sonstige Informationen

Über die konkreten Messdaten hinaus wurden in LfULG (2021b, 2022) insbesondere folgende Informationen bereitgestellt:

1. Lage und Errichtungsjahr der Grabenstaue (Geodaten);
2. Untersuchungen zur Torfschichtung in der Großen Säure, EDOM (2008);
3. Monitoringkonzept für die Große Säure mit ersten Ergebnissen KRÜGER ET AL. (2009);
4. Daten aus dem Informationssystem Moore, KEßLER ET AL. (2011);
5. Weitere Untersuchungen und Gutachten zum EZG der TS Carlsfeld: GRUNDWALD & SCHMIDT (2005), EDOM ET AL. (2005), EDOM (2008), KRÜGER ET AL. (2009), GRUNEWALD ET AL. (2011), KEßLER & DITTRICH (2011), KRÜGER ET AL. (2011), DÖTSCHEL (2013), FRIEDRICH (2015), KEßLER ET AL. (2016), KEßLER ET AL. (2020).

3.2 Datenhaltung

Alle Messdaten und relevante Messstelleninformationen wurden in einer projektspezifischen Datenbank (MS Access) gehalten und für die weitere Verwendung aufbereitet.

3.3 Datenaufbereitung, Plausibilitätsprüfung

Die Originaldaten bedürfen aus verschiedenen Gründen einer Aufbereitung. Dazu gehören:

1. Ermittlung des Flurabstandes (FA) aus den Wasserständen der Moorpegel: Der Flurabstand ist ein wichtiger Parameter zur Bewertung des Wasserhaushaltes der Moorkörper.
2. Zuordnung des Flurabstandes in den Moorpegeln aus bis zu 3 Tagen vor oder nach der Probenahme zum Probenahmetermin: Wasserstandsmessungen am Tage der Probenahme liegen in nur wenigen Fällen vor (aufgrund der Vorgehensweise zur Probenahme mit Förderung des Pegelwassers und Beprobung in der Regel am Folgetag), eine Zuordnung ist für die statistische Auswertung notwendig.
3. Umrechnung auf einheitliche Einheiten für den Gesamtdatensatz: teilweise sind Daten in Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) oder Milligramm pro Liter (mg/l) angegeben und wurden in mg/l umgerechnet, Abflusswerte in Kubikmeter pro Sekunde (m^3/s) wurden in Liter pro Sekunde (l/s) umgerechnet (auf 0,1 l/s gerundet).
4. Umrechnung von Nährstoff-Konzentrationen als Stoffkonzentrationen in die Konzentration des Nährstoff-Elements: Umrechnung von Nitrat, Nitrit, Ammonium und ortho-Phosphat in Nitrat-N, Nitrit-N, Ammonium-N und ortho-Phosphat-P.
5. Umwandlung von Werten, wenn die Daten ein Präfix „<“ enthalten, d.h. in der Spalte Ergebnis ist die jeweilige Bestimmungsgrenze (BG) enthalten: Berechnung des Wertes als 0,5-faches des angegebenen Ergebnisses (halbe BG).
6. Umwandlung des Ergebnis-Wertes in den Wert 0, wenn die Daten als Ergebnis-Wert „n.b.“ oder „n.n.“ enthalten: „n.n.“ kommt in 163, „n.b.“ 339 Datensätzen vor.
7. Umbenennung (projektintern) der Parameter, wenn der Probenbezug mit „ges.“ oder „Gesamtprobe“ angegeben wird: wir gehen davon aus, dass in beiden Fällen eine Gesamt-Stoffkonzentration gemeint ist, die von einer gelösten Stoffkonzentration zu unterscheiden ist. Eine Umbenennung der Parameter erfolgte für Metalle Fe, Al, Mn, Ca, K, Mg, Na und Zn. Die Parameter wurden in Me-ges (Me für Fe, Al, etc.) umbenannt. Sofern kein Probenbezug angegeben ist, wird das Ergebnis als gelöste Stoffkonzentration interpretiert.
8. Umbenennung (projektintern) der Parameter Al-G, Al-S, Fe-G, Fe-S, Ca-S, Mg-S, Mn-G, Mn-S und Na-S in Me-ges (Me für Fe, Al, etc.): bei diesen Angaben handelt es sich um Gesamt-Konzentrationen bzw. Konzentrationen der säurelöslichen Anteile der Metalle. Die Gesamt-Metall-konzentrationen werden bei den weiteren Auswertungen aufgrund der geringen Anzahl der vorliegenden Messwerte nicht weiter berücksichtigt.
9. Berechnung der Sauerstoffsättigung für einen Datensatz (P5, 10.09.2013) aus der Sauerstoffkonzentration und der Wassertemperatur unter Annahme von Standarddruck. Für die statistische Auswertung ist die Sauerstoffsättigung, nicht die temperatur- und luftdruckabhängige Sauerstoffkonzentration relevant.
10. Umrechnung der Leitfähigkeit bei 20°C (LF(20)) in die Leitfähigkeit bei 25°C (LF(25)), sofern nur LF(20) vorliegt über Formel (1).

11. Berechnung der Hydronium-Ionen-Menge (H_3O^+) in Mol pro Liter (mol/l) aus dem pH-Wert. Der pH-Wert als negativer dekadischer Logarithmus der H_3O^+ -Ionenaktivität ist für statistische Betrachtungen nur bedingt geeignet. Die Umrechnung erfolgt in die H_3O^+ -Menge und nicht in die H_3O^+ -Aktivität, die mit pH-Sensoren ermittelt wird, da bei ausreichend niedrigen Leitfähigkeiten (Salzkonzentrationen) ein Aktivitätskoeffizient nahe 1 angenommen werden kann und die Menge eine gute Näherung für die Aktivität darstellt.
12. Ermittlung von 7-Tages-Mittelwerten der Lufttemperatur für den aktuellen Tag und 6 Vortage: Wir erachten die Lufttemperatur aus der Probenahme oder zum Probenahmetag als voraussichtlich weniger geeignet als die Bedingungen über einen (hier willkürlich gewählten) Zeitraum von mehreren Tagen vor der Probenahme.
13. Ermittlung von 7- und 14-Tages-Summen des Niederschlags für den aktuellen Tag (bis 7:00 Uhr MEZ des Mess-/Probenahmetages) und 6 (13) Vortage: Wir erachten die Niederschlagsmenge am Tag der Probenahme als weniger geeignet als die Summe über einen (hier willkürlich gewählten) Zeitraum von mehreren Tagen vor der Probenahme. Für die Niederschlagsstation TS Carlsfeld werden die 15-Minuten-Werte der Methode der ID 17837 verwendet (laut Bemerkung in der Datenbasis „genauer“) und im Falle von Datenlücken durch die Methode der ID 2134 ergänzt.
14. Elimination von Duplikaten bei Nährstoffen: Die Umrechnung von Nährstoffgehalten von Molekülkonzentrationen in Konzentrationen des jeweiligen Nährstoff-Elementes (z. B. Nitrat in Nitrat-N) wurde für alle Datensätze durchgeführt. Somit auch für Datensätze, für die in den Originaldaten bereits Ergebnisse für die entsprechenden Parameter enthalten sind. Daher wurden Duplikate erzeugt, die zum Teil aufgrund von Rundungsungenauigkeiten oder vermutlicher Fehldaten oder der Behandlung von Werten mit dem Präfix „<“ unterschiedliche Werte im Ergebnis aufweisen. In einem ersten Schritt wurden Duplikate für $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{o-PO}_4\text{-P}$ identifiziert, für die die Originaldaten der NO_3^- , NO_2^- , NH_4^- und o-PO_4^- -Konzentrationen (und damit die von uns ermittelten N- bzw. P-Konzentrationen) ein Präfix „<“ aufweisen, die Originaldaten für $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{o-PO}_4\text{-P}$ jedoch nicht. Auf diese Weise wurden 59 Datensätze (alle aus iDA) identifiziert, für die davon ausgegangen wird, dass die Analysenergebnisse als < BG anzunehmen sind (fehlendes Präfix für die -N bzw. -P-Werte). Diese 59 Datensätze werden als Fehler markiert und bei den Auswertungen nicht berücksichtigt. Für die verbleibenden Duplikate sind die Differenzen der Ergebniswerte absolut und prozentual überwiegend gering (< 20%). Es wurde daher auf eine aufwendige Elimination verzichtet, sondern Mittelwerte zur weiteren Verwendung ermittelt.
15. Elimination von Duplikaten mit unterschiedlichen Ergebnis-Werten (keine echten Duplikate): Die Datensätze stammen alle aus iDA. Die Differenzen sind gering. Die Wahl der übernommenen Datensätze erfolgte daher nach dem Zufallsprinzip (über die Schlüsselverletzung beim Import in die Gesamttabelle der Datenbank).
16. Die SAK-Werte der LTV, die mit einer SAK-Sonde an der Zuflussmessstelle der Wilzsch zur TS Carlsfeld (Carl/1/011) quasi kontinuierlich gemessen werden und als Stundenwerte aggregiert bereitgestellt wurden, wurden mit der Parameterbezeichnung SAK-h importiert, um über die Parameterbezeichnung eine Differenzierung zwischen Laborwerten und den vor Ort gemessenen Werten zu erreichen.
17. Zeitliche Aggregation: Zuordnung von Ergebnissen verschiedener Messtermine (aus verschiedenen Messprogrammen zu einem „Messzeitraum“ (s.u.).
18. Die Originaldaten enthalten offensichtliche Fehler in den Ergebnissen. So erachten wir Werte der elektrischen Leitfähigkeit sowohl für LF(20) als auch für LF(25) unter $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ als nicht plausibel und bewerten diese als offensichtliche Fehler. Diese können aus Messfehlern oder Fehlern bei der Datenübertragung herrühren. Dies gilt analog für DOC-Konzentrationen von 0 mg/l, oder für Stichtage, an denen praktisch alle Messwerte 0 betragen (z.B. Moorpegel 01.04.2007). Offensichtliche Fehler in den Originaldaten werden in der Projektdatenbank gekennzeichnet und bei den Auswertungen nicht berücksichtigt.

19. Daten der Moorpegel aus dem Jahr der Errichtung der Moorpegel werden aus der weiteren Analyse ausgeschlossen, da diese möglicherweise aufgrund zunächst ungenügender Konnektivität der Moorpegel zur Umgebung sowie aufgrund der erheblichen Störung des aufgeschlossenen Torfkörpers durch die Errichtung der Pegel als artefaktbelastet zu bewerten sind. Dies kann insbesondere für die Wasserstände in den Moorpegeln der Großen Säure und die DOC-Konzentrationen in den Moorpegeln des Rostmoores vermutet werden (vgl. Anhang 1.1).
20. Aus TOC und TON wurden C/N-Verhältnisse im Moorwasser und Oberflächenwasser ermittelt. Die Verhältnisse liegen an allen Messstellen in ähnlichen Wertebereichen mit Mittel- und Medianwerten zwischen 33 und 72 und werden nicht weiter diskutiert.

Zu Punkt 10:

Die Umrechnung der LF(20)-Werte in LF(25) erfolgt mit folgender Näherungsformel für die lineare Temperaturkompensation mit der theoretischen Steigung von 2% pro Kelvin:

$$LF(25) = \frac{LF(T)}{[1 + \alpha * (T - 25)]} \quad (1)$$

α	<i>theoretischer Faktor von 0,020 [1/°C]</i>
T	<i>Temperatur (hier 20°C) [°C]</i>
$LF(25)$	<i>elektr. Leitfähigkeit bei 25°C [µS/cm]</i>
$LF(20)$	<i>elektr. Leitfähigkeit bei 20°C [µS/cm]</i>

Zu Punkt 17:

Probenahmen erfolgten an den verschiedenen Messstellen in verschiedenen Untersuchungsprogrammen nicht immer am selben Tag, sondern teilweise leicht zeitversetzt. Daher ist für Verfahren, in denen Messstellen verglichen werden sollen eine zeitliche Aggregation notwendig, um Proben einer Messkampagne bzw. eines Zeitintervalls einander zuordnen zu können. Denkbar sind hier Jahreswerte, Monatswerte, oder Halbmonatswerte.

Die Beprobung der Moorpegel erfolgte in der Regel in etwa 14-tägig. Die zeitliche Zuordnung für Halbmonatswerte wird nachfolgend festgelegt. Aus dem Probenahmedatum dd.mm.yyyy wird ein Halbmonatsdatum ermittelt, für das der Tag (dd) wie folgt gewählt wird:

$$\begin{array}{ll} dd = 08 & \text{wenn } Tag \leq 15 \\ dd = 23 & \text{wenn } Tag > 15 \end{array} \quad (2)$$

Beispiele (Probenahmedatum → Halbmonatsdatum):

15. Dezember 1992 → 08.12.1992

16. Januar 1993 → 23.01.1993

Liegen in einer Reihe mehr als 1 Messwerte innerhalb eines Intervalls vor, werden je nach statistischem Verfahren beide Werte oder der Mittelwert (z. B. für Regressionsanalysen) verwendet.

Für die Niederschlagssummen und Lufttemperaturen über 7 Tage wird analog verfahren, so dass die tatsächlichen zur Probenahme geltenden Werte verwendet werden.

Zu Punkt 19:

Punkt 19 stellt ein Ergebnis der Plausibilitätsprüfung der Daten dar. Darüber hinaus sind nachfolgend weitere Befunde der Plausibilitätsprüfung kurz diskutiert.

Tabelle 3: Negative Flurabstände

MKZ	Datum	Parameter	Ergebnis	Einheit	Bemerkung*
P10	25-Okt-07	FA	-0,01	m	nicht geprüft
P5	29-Mai-17	FA	-0,12	m	manuell plausibel
P13	06-Nov-17	FA	-0,03	m	manuell plausibel
P13	27-Nov-17	FA	-0,03	m	manuell plausibel
P13	25-Jun-18	FA	-0,02	m	manuell plausibel
P13	21-Jun-21	FA	-0,02	m	nicht geprüft
P5	12-Aug-19	FA	-0,01	m	manuell plausibel
P5	06-Apr-20	FA	-0,05	m	manuell plausibel
P13	21-Jun-21	FA	-0,02	m	nicht geprüft
P10	16-Aug-21	FA	-0,06	m	nicht geprüft
P13	08-Nov-21	FA	-0,01	m	nicht geprüft

fett gedruckt: maximaler Überstau

* "manuell plausibel" bedeutet, dass eine automatische Prüfung der Werte in der Datenbank des LfULG (WinSTYX) erfolgte. Diese ersetzt jedoch nicht die händisch erfolgte Prüfung im Rahmen des vorliegenden Abschlussberichtes.

Die Moorwasserstände werden über den ermittelten Flurabstand (FA) auf Plausibilität geprüft. Negative Flurabstände, also ein geringer Überstau über Gelände treten in 10 von 6.750 Datensätzen an 3 Moorpegeln (P5, P10 und P13) auf (vgl. Tabelle 3), dabei keine zwei Datensätze zum gleichen Datum.

Ein Überstau über die Geländeoberkante von wenigen Zentimetern ist nicht zwingend als nicht plausibel zu bewerten. Der maximale Überstand an P5 von 12 cm ist allerdings zu hinterfragen. Im Ergebnis einer Prüfung der Gegebenheiten vor Ort wird eingeschätzt, dass ein Überstand von 12 cm an P5 nicht plausibel ist.

An P10 wird hingegen von den Probenehmern berichtet, dass das Umfeld des Pegels sehr häufig nass ist. Dies lässt sich auch an der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung von P10 feststellen. Der Messwert an P10 vom 16.08.2021 wird damit als plausibel gewertet.

Beispielhaft sind die Flurabstände der Moorpegel vom 29.05.2017 in Tabelle 4 in die Grundgesamtheit eingeordnet. Dazu ist die Häufigkeit der Flurabstände dargestellt, die kleiner sind als die Flurabstände am Messtag.

Dass an 9 der 11 Moorpegel mehr als 50% aller ermittelten Flurabstände kleiner sind als der Flurabstand am 29.05.2017, wird als starkes Indiz dafür gewertet, dass der Flurabstand an P5 und damit der diesem zu Grunde liegende Wasserstand mit hoher Wahrscheinlichkeit als fehlerhaft zu bewerten ist.

Tabelle 4: Einordnung der Flurabstände vom 29.05.2017 in die Gesamtdaten

MKZ	Datum	Ergebnis	Einheit	FA < Ergebnis von Datum	
				Anzahl	Anteil
P10	29-Mai-17	0,06	m	120	53%
P11	29-Mai-17	0,58	m	149	72%
P12	29-Mai-17	0,16	m	39	26%
P13	29-Mai-17	0,15	m	104	68%
P14	29-Mai-17	0,52	m	116	76%
P15	29-Mai-17	0,56	m	113	74%
P16	29-Mai-17	0,49	m	114	75%
P5	29-Mai-17	-0,12	m	0	0%
P6	29-Mai-17	0,36	m	183	81%
P8	29-Mai-17	0,22	m	179	79%
P9	29-Mai-17	0,29	m	179	79%

Ein Vergleich der Messpunkthöhen bzw. der Geländehöhen (GOK) der Moorpegel (aus iDA) mit den Geländehöhen des DGM1 (aus LfULG 2021b) zeigt erhebliche Differenzen der GOK für P12 (ca. 8 m), P14 (ca. 2 m) und P16 (ca. 1,6 m). Damit sind die Absolutwerte des Wasserstandes lediglich innerhalb einer Zeitreihe eines Pegels, jedoch nicht zwischen den Pegeln, beispielsweise zur Abschätzung von Moorwassergleichen und damit von Fließrichtungen des Moorwassers verwendbar. Für die statistischen Analysen wird der Flurabstand verwendet, so dass fehlerhafte Absolutwerte der Messpunkthöhen (bei gleichzeitig entsprechend fehlerhafter GOK-Höhe) für die statistischen Auswertungen nicht von Belang sind.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung von Moorwasserständen in den Moorpegeln als Grundlage für die Ableitung von Fließwegen erfolgte daher über nachfolgende Arbeitsschritte.

Zur Erzeugung einer vergleichbaren Datenbasis für die Absoluthöhen der Moorwasserstände wurde wie folgt vorgegangen:

1. Ermittlung der Geländehöhe (GOK) aus dem DGM1 mittels 3D-Analyst in ArcGIS Pro für jeden Moorpegel.
2. Differenzbildung der GOK aus dem DGM1 zur GOK aus iDA.
3. Addition der Differenz aus 2. zur Absoluthöhe der Moorwasserstände

Für das DGM1 muss nach STAATSBETRIEB GEOBASISINFORMATION UND VERMESSUNG SACHSEN GEOSN (2022) eine Höhengenaugigkeit von +/- 0,15 m angenommen werden. Die erzeugten Absolutwasserstände sind daher mit einer entsprechenden Ungenauigkeit behaftet. Diese so erzeugten Absolutwasserstände werden ausschließlich für die Abschätzung der Fließwege im Bereich der Großen Säure und des Rostmoores bis zur Mündung der Kranizsch in die Wilzsch unter Heranziehen des DGM1 verwendet (sh. Kapitel 6).

4 Konzept zur statistischen Auswertung

4.1 Grundlegende Vorgehensweise

Die grundlegende Vorgehensweise zur schrittweisen statistischen Auswertung der Daten wurde wie folgt vorgesehen:

1. Prüfung der Datengrundlage, insbesondere auf Ausreißer und Konsistenz, ggf. auch auf Normalverteilung.
2. Statistische Analyse von Einzelparametern: deskriptive Statistik, Trendanalysen, Bruchpunktanalysen, Varianzanalysen
3. Analyse der räumlichen Verteilung des DOC innerhalb des EZG der TS Carlsfeld
4. Korrelations- und Regressionsanalysen zwischen Parametern einer Messstelle
5. Korrelations- und Regressionsanalysen zwischen Messstellen (ausgewählte Parameter, ggf. nach zeitlicher Aggregation)
6. Multivariate Statistik für ausgewählte Parameter: Varianzanalyse, Faktoranalyse, Clusteranalyse, multiple Regression

Nachfolgend wird häufig der Begriff der Reihe verwendet. Eine Reihe ist die Gesamtheit der Messergebnisse für einen Parameter an einer Messstelle.

Statistische Signifikanz wird im Weiteren mit Bezug auf ein Signifikanzniveau von 95% bezogen. Je nach zu prüfender Hypothese bedeutet dies, dass der ermittelte p-Wert $> 5\%$ bzw. $< 5\%$ sein muss.

4.2 Statistische Prüfung der Datengrundlage

4.2.1 Test auf Normalverteilung

Reihen werden mit Hilfe des Shapiro-Wilks-W-Test auf Normalverteilung geprüft. Dies erfolgt dann, wenn Aussagen statistischer Testergebnisse einer Überprüfung bedürfen, sofern es sich bei diesen Tests um Verfahren handelt, die eine normalverteilte Grundgesamtheit voraussetzen.

Eine erste Prüfung der Datengrundlage hat gezeigt, dass viele Parameter (auf dem 95%-Signifikanzniveau) nicht normalverteilt sind. Verschiedene Parameter weisen an einzelnen Messstellen signifikant eine Normalverteilung auf.

Verwendete Software: R.

4.2.2 Test auf statistische Ausreißer

Die Datengrundlage aller ausgewählter Parameter an allen ausgewählten Messstellen wird auf statistische Ausreißer mit Hilfe des Ausreißertests nach Grubbs geprüft.

Die mit Hilfe des Grubbs-Tests nachgewiesenen statistischen Ausreißer werden im Kontext geprüft und ggf. eliminiert.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.3 Statistische Analyse von Einzelparametern

4.3.1 Deskriptive Statistik der Einzelparameter

Die deskriptive Statistik aller Einzelparameter umfasst die Bestimmung folgender Kennzahlen: Anzahl (Stichprobenumfang), Minimum, 25%-Perzentil, Mittelwert, Median, 75%-Perzentil, Maximum, Standardabweichung, Varianz, Schiefe, Kurtosis (Wölbung).

Zielstellung: Die Parameter der deskriptiven Statistik dienen dem Überblick über die Messergebnisse.

Ergebnis sind Tabellen der genannten Kennzahlen für jede Reihe. Diese sind in Anhang A 1.2 für die unkorrigierte Datenbasis (nach Elimination nicht plausibler Daten aber ohne Elimination statistischer Ausreißer) beigefügt. Die Tabellen enthalten zudem das Ergebnis des Grubbs-Tests (Grubbs-G) und den p-Wert des Grubbs-Tests.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.3.2 Trendanalyse

Eine Trendanalyse wird für jede Reihe durchgeführt. Die Signifikanz wird mit Hilfe des Mann-Kendall-Tests und ANOVA (ANalysis Of VAriance, Varianzanalyse) geprüft.

Zielstellung: Trendanalysen dienen zur Feststellung der zeitlichen Entwicklung der Messergebnisse und damit unter anderem der Überprüfung möglicher Wirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen oder eventueller anderer relevanter Prozesse auf die Wasserstände in den Moorkörpern oder auf die Hydrochemie des Moor- oder Oberflächenwassers.

Ergebnis sind Tabellen mit Kennwerten zur Signifikanz ggf. vorliegender linearer zeitlicher Trends.

Verwendete Software: R.

Ausgewählte Reihen mit signifikantem Trend werden mit Trendlinie grafisch dargestellt.

Verwendete Software: Origin Version 2022b (OriginLab Corporation).

4.3.3 Bruchpunktanalyse

Die Bruchpunktanalyse dient dazu mögliche Wendepunkte im zeitlichen Verlauf der Reihen festzustellen. Dabei wird eine Reihe mit ihrem eigenen linearen Regressionsmodell verglichen. Für Reihen mit statistisch signifikanten Bruchpunkten wird das zum Bruchpunkt gehörige Datum bestimmt.

Bruchpunktanalysen werden für ausgewählte Parameter durchgeführt (Flurabstand, DOC, Fe, Al, NH₄-N, NO₂-N und NO₃-N sowie für die Tagesmittel der Lufttemperatur an der DWD-Station).

Zielstellung: Prüfung auf mögliche Wirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen, oder eventueller anderer relevanter Ereignisse auf die Wasserstände in den Moorkörpern oder auf die Hydrochemie des Moor- oder Oberflächenwassers.

Verwendete Software: R.

4.4 Analyse der räumlichen Verteilung des DOC

Die Analyse der räumlichen Verteilung des DOC erfolgt als Vergleich der DOC-Konzentrationen zwischen den Messstellen mit Bezug zur Lage der Messstellen innerhalb des Einzugsgebietes.

Zielstellung: Erkennen von DOC-Hot Spots in den Moorkörpern und der Entwicklung des DOC im Oberflächenwasser mit der Fließstrecke.

Ergebnis: Box-Whisker-Plots des DOC in den Moorpegeln und im Oberflächenwasser.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

Die Analyse der räumlichen Verteilung des DOC dient auch als Grundlage für die Bewertung der Ergebnisse der Ableitung von Fließwegen im EZG der TS Carlsfeld.

Diese Analyse wird hier auf die wesentliche Zielgröße DOC beschränkt.

4.5 Korrelations- und Regressionsanalysen

4.5.1 Korrelationsanalyse

In einem ersten Schritt werden ausgewählte Parameter jeder Messstelle auf Korrelationen untereinander geprüft (messstellenbezogene Korrelationsanalyse).

Zielstellung: die Korrelationsanalyse dient dazu, vergleichbare oder gegenläufige Entwicklungen verschiedener Parameter festzustellen. Sie unterstützt damit die Prozessidentifikation.

Ergebnis: Zusammenfassende Kreuztabellen mit Kennzeichnung signifikanter Korrelationen.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

Tabelle 5: Parameter, die in den Korrelations- und Regressionsanalysen und weiteren statistischen Verfahren nicht oder nur begrenzt berücksichtigt werden

Parameter	Begründung
KS4,3, KB8,2	in Moorpegeln und OBF-Messstellen nur selten Werte größer als Null, wurden an den Carl-Messstellen nicht bestimmt
TIN	wurde nur an den OBF-Messstellen bestimmt
SAK254-h	wurde nur an Carl/1/011 bestimmt
TL	Als Stichtagswert zur Probenahme eher gering geeignet, ersatzweise Verwendung der mittleren Temperatur der 7-Tage vor der Probennahme
Farbe	ist nur an den Moorpegel bestimmt worden, geringer Stichprobenumfang*, in einer Nominalskala aufgenommen
LF(20)	Vorzug von LF25 (größerer Stichprobenumfang, außer an Carl-Messstellen), falls nur LF20 vorhanden, Umrechnung mit Hilfe von Formel (1) in LF25
NS-7d-TS	Die Reihen Station TS Carlsfeld beginnen erst im Januar 2011*

* führt bei multivariaten Verfahren zur starken Reduktion der Grundgesamtheit

TIN anorganisch gebundener Stickstoff

NS-7d-TS 7-Tagessumme (Vortage) NS der Niederschlagsstation TS Carlsfeld

Die Wahl geeigneter Parameter für die messstellenbezogenen Korrelations- und Regressionsanalysen erfolgt insbesondere auf Basis des Stichprobenumfangs und der Plausibilität der Daten.

Die Parameter, welche für die meisten multivariaten statistischen Verfahren berücksichtigt werden, sind: LF(25), H₃O⁺, DOC, SAK254, Al, Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, Zn, SO₄, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, oPO₄-P, Niederschlag (7d-Summe), Lufttemperatur (7d-Mittelwert) und ETP (7d-Mittelwert).

Aufgrund geringer Stichprobenumfänge wurden folgende Parameter in den Korrelations- und Regressionsanalysen und weiteren statistischen Verfahren nicht oder nur begrenzt berücksichtigt: Metall(-ges), SAK436, HCO₃, Na, O₂, TC, TIC, TOC, TNb und TON.

Weitere Parameter, die in den Korrelations- und Regressionsanalysen und weiteren statistischen Verfahren nicht oder nur begrenzt berücksichtigt werden sind in Tabelle 5 mit der Begründung für den Ausschluss zusammengefasst.

Über die messstellenbezogenen Korrelationsanalysen hinaus werden zudem Korrelationsanalysen für ausgewählte Parameter zwischen den Messstellen durchgeführt (parameterbezogene Korrelationsanalyse).

Zielstellung: die parameterbezogene Korrelationsanalyse dient zum Vergleich der Entwicklungen ausgewählter Parameter zwischen den Messstellen. Sie unterstützt damit die Prozessidentifikation.

Ergebnis: Zusammenfassende Kreuztabellen mit Kennzeichnung signifikanter Korrelationen.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.5.2 Einfache lineare Regressionsanalyse

Die lineare Regression zeigt, ob ein linearer Zusammenhang zwischen zwei Variablen besteht. Sie kann als einfaches Vorhersagemodell (einer linear abhängigen aus einer unabhängigen Variablen) dienen.

Bei der linearen Regression werden zunächst zwei Parameter an einer Messstelle betrachtet.

Darüber hinaus werden gleiche Parameter an verschiedenen Messstellen auf lineare Regression geprüft. Dafür ist ggf. zunächst die zeitliche Aggregation erforderlich (Zuordnung der Ergebnisse zwischen den Messstellen).

Die lineare Regression wird ohne grafische Darstellungen für die Parameter mit der Software Statistica (Statsoft) durchgeführt, für die eine signifikante Korrelation festgestellt wurde. Für ausgewählte Parameter/Messstellen werden die linearen Regressionen grafisch dargestellt (Software: Origin).

Zielstellung: Die lineare Regression wird mit dem Ziel der Prozessaufklärung durchgeführt.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.5.3 Varianzanalyse

Bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) werden die Mittelwerte zweier Stichproben gegeneinander getestet. Damit können Unterschiede zwischen Messstellen oder Zeiträumen festgestellt werden.

Zielstellung: die einfaktorielle ANOVA wird angewendet zum Vergleich der Messergebnisse verschiedener Zeiträume mit dem Ziel der Überprüfung möglicher Wirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen oder eventueller anderer relevanter Prozesse auf die Hydrochemie des Moor- oder Oberflächenwassers, insbesondere des DOC.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.5.4 Faktoranalyse

Zielstellung: Identifikation von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Parametern (Prozessidentifikation).

Die ermittelte Faktorladung (zwischen -1 und +1) beschreibt die Korrelation zwischen dem Parameter und dem Faktor. Faktoren können damit ggf. über die sie "hoch" ladenden Parameter beschrieben werden.

Die Faktoranalyse wird exploratorisch durchgeführt, d.h. sie wird zunächst nicht auf eine vorgegebene Anzahl an Faktoren begrenzt. Die Begrenzung erfolgt in einem zweiten Schritt auf Basis der ermittelten Eigenwerte (als Maß für die Bedeutung des Faktors).

Ergebnis: Gesamtübersicht der Faktoren mit Faktorladungen und Eigenwerten.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.5.5 Clusteranalyse

Die Clusteranalyse wird zum einen parameterbezogen (ausgewählte Parameter) und zum anderen messstellenbezogen (für den Parameter DOC) durchgeführt.

Die Clusteranalysen erfolgen getrennt für Oberflächenwassermessstellen und Moorpegel.

Die parameterbezogene Clusteranalyse erfolgt auf Grundlage der Ergebnisse der Faktoranalyse. Parameter, die keinen Faktor hoch laden, also nicht stark mit einem Faktor korrelieren, werden nicht berücksichtigt.

Zielstellung: Identifikation von Parameterclustern (Prozessidentifikation).

Die messstellenbezogene Clusteranalyse wird verwendet, um Zusammenhänge zwischen den Messstellen zu identifizieren. Für die messstellenbezogene Clusteranalyse ist eine zeitliche Aggregation notwendig.

Zielstellung: Identifikation von Messstellenclustern (Messstellenauswahl für weitere Monitoringuntersuchungen).

Ergebnisse: Parameter-Cluster bzw. Messstellen-Cluster sowohl für Oberflächenwassermessstellen als auch Moorpegel.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

4.5.6 Multiple Regression

Die multiple (lineare) Regression kann im optimalen Fall eine möglichst genaue Prognose eines abhängigen Parameters mit Hilfe mehrerer unabhängiger Parameter liefern. Gegenüber der einfachen linearen Regression kann ggf. die Genauigkeit erhöht werden.

Zielstellung: die multiple Regression kann zur Prozessidentifikation beitragen, indem Zusammenhänge zwischen den unabhängigen und der abhängigen Variablen festgestellt werden können.

Der unabhängige Zielparameter, welcher prognostiziert werden soll, ist der DOC.

Die multiple Regression wird messstellenbezogen durchgeführt.

Ergebnisse sind Regressionsgleichungen zur Vorhersage der Zielvariablen (DOC) aus mehreren Prädiktorvariablen mit Bestimmtheitsmaß, welches angibt, wie stark ein Parameter die Regressionsgleichung beeinflusst.

Verwendete Software: Statistica (Statsoft).

5 Ergebnisse der statistischen Analysen

5.1 Deskriptive Statistik der Einzelparameter

Die Ergebnisse der deskriptiven statistischen Analysen der Einzelparameter sind als Anhang A 1.2 (Gesamtdaten) und A 1.3 (nach Elimination nicht plausibler Messwerte) tabellarisch beigefügt. Sie geben einen Überblick über die Datenbasis mit Zeitraum, Stichprobenumfang sowie ausgewählten Kennzahlen zur Verteilung der Messwerte.

DOC-Konzentrationen im Moorwasser der Großen Säure liegen im Mittel bei etwa 33 mg/l (P10) bis 74 mg/l (P5) mit 25-Perzentilen zwischen 24 mg/l (P10) und 62 mg/l (P5) und 75-Perzentilen zwischen 39 mg/l (P10) und 82 mg/l (P5). Im Rostmoor werden mittlere DOC-Konzentrationen von 29 mg/l (P11) bis 66 mg/l (P12) mit 25-Perzentilen zwischen 17 mg/l (P11) und 51 mg/l (P12, P16) und 75-Perzentilen zwischen 33 mg/l (P11) und 80 mg/l (P16) festgestellt. Im Einzugsgebiet der Wilzsch betragen die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser im Mittel zwischen 12 mg/l (Carl/1/011, OBF40631) und 18 mg/l (FG4, FG9) mit 25-Perzentilen zwischen etwa 6 mg/l (FG3) und 14 mg/l (FG9) und 75-Perzentilen zwischen 13 mg/l (Carl/1/011) und 21 mg/l (FG4, FG5).

Die Medianwerte des pH-Wertes im Moorwasser liegen durchgehend im Bereich von pH 3,7 bis pH 4,2, im Oberflächenwasser zwischen pH 4,2 und pH 5,0.

Die Mittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit (LF25) reichen von 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in den Moorpegeln und 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Oberflächenwasser.

Auffällig sind unter anderem die Al- und vor allem Fe-Konzentrationen an P5 mit deutlich höheren Mittel- und Medianwerten als an den übrigen Messstellen.

5.2 Zeitliche Entwicklung ausgewählter Parameter, Trend- und Bruchpunktanalysen

5.2.1 Meteorologie – Klimaparameter

Die betrachteten Klimaparameter Lufttemperatur (TL und 7-Tagesmittel) und potentielle Evapotranspiration (ETP) weisen im Zeitraum 1991 bis 2021 für die Tagesmittel (TL) bzw. Tagessumme (ETP) signifikant linear steigende Trends auf. Dies gilt ebenso für die 7-Tagesmittel beider Parameter im Zeitraum ab 1995 für den auch Daten am Zulaufpegel Wilzsch (Carl/1/011) vorliegen. Die ETP ist als grobe Abschätzung für Nadelwald zu verstehen.

Die Steigung der linearen Trends für die Tageswerte mit Kennzeichnung der Signifikanz enthält Tabelle 6. Die Steigung der TL von 0,000121 K/d entspricht im Zeitraum von 30 Jahren einer Temperaturdifferenz von gut 1,3 K.

Tabelle 6: Steigung der linearen Trends, Tageswertbasis (01.01.1991-31.12.2021)

Parameter	TL-7d-DWD [K/d]	ETP-7d [mm/d]	NS-7d-DWD [mm/d]
Steigung	0,000121	0,000019	-0,000048

Hervorgehoben sind Werte signifikanter Trends (auf der 95%-Niveau)

TL-7d-DWD: 7-Tagesmittel der Lufttemperatur (Tagesmittel) an der DWD-Station Carlsfeld

ETP-7d-DWD: 7-Summe (Vortage) der ETP, abgeschätzt aus Daten der DWD-Station Carlsfeld

NS-7d-DWD: 7- Summe (Vortage) des Niederschlags (Tagessumme) an der DWD-Station Carlsfeld

Die Wahl der Daten der DWD-Station für Parameter NS und TL an Stelle der Daten der Station an der TS Carlsfeld erfolgte im Wesentlichen aufgrund der längeren Datenreihe.

Für die 7-Tages-Werte sind die Ganglinien in Abbildung 4 dargestellt. Die dort dargestellten linearen Trendlinien sind für statistisch signifikante Trends rot und für nicht statistisch signifikante Trends (Steigung nicht signifikant von 0 unterschieden) grün dargestellt. Für den Niederschlag (Tagessummen und 7-Tagessummen des Stationsniederschlags) ist im betrachteten Zeitraum kein signifikanter (linearer) Trend festzustellen.

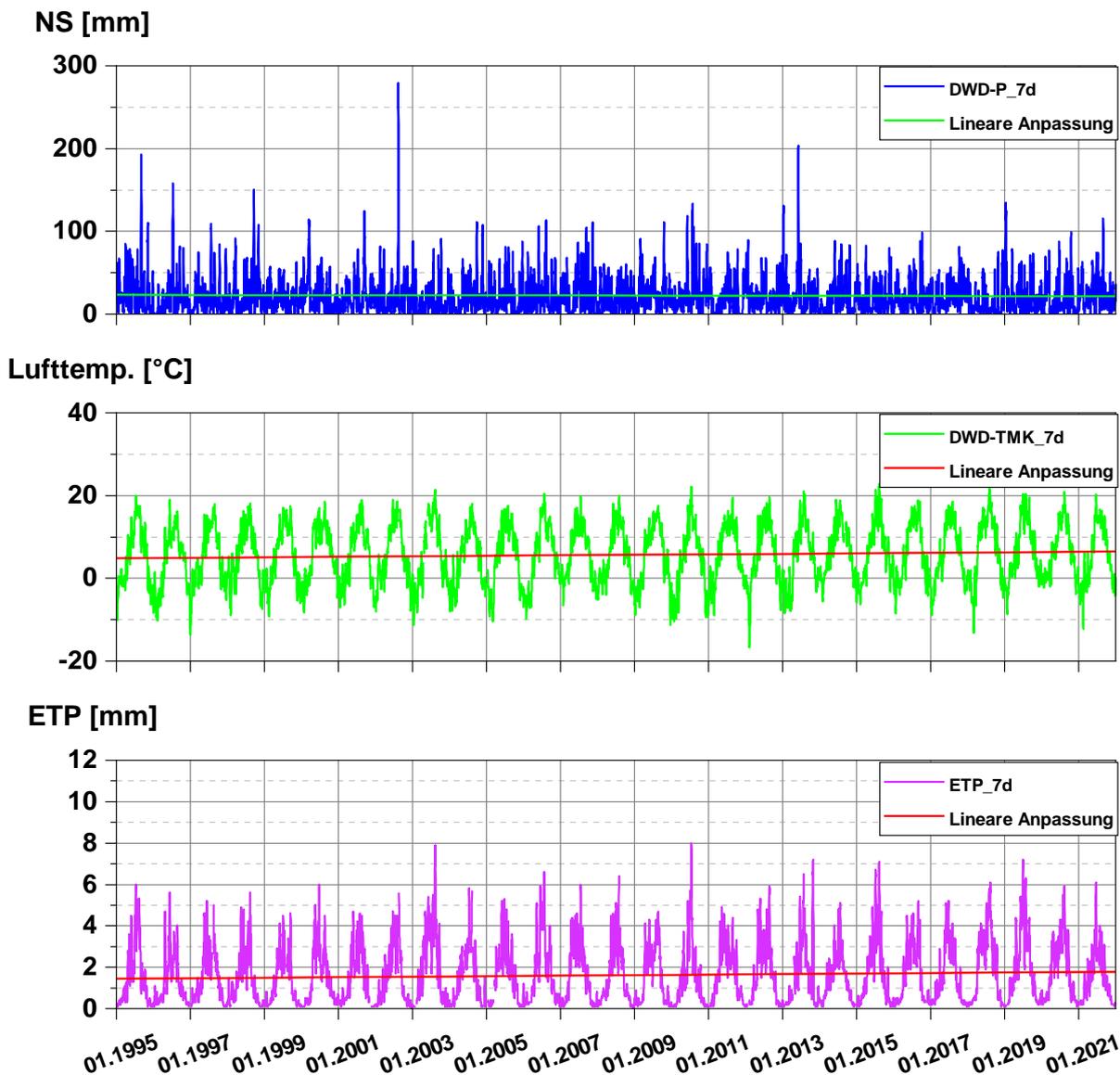
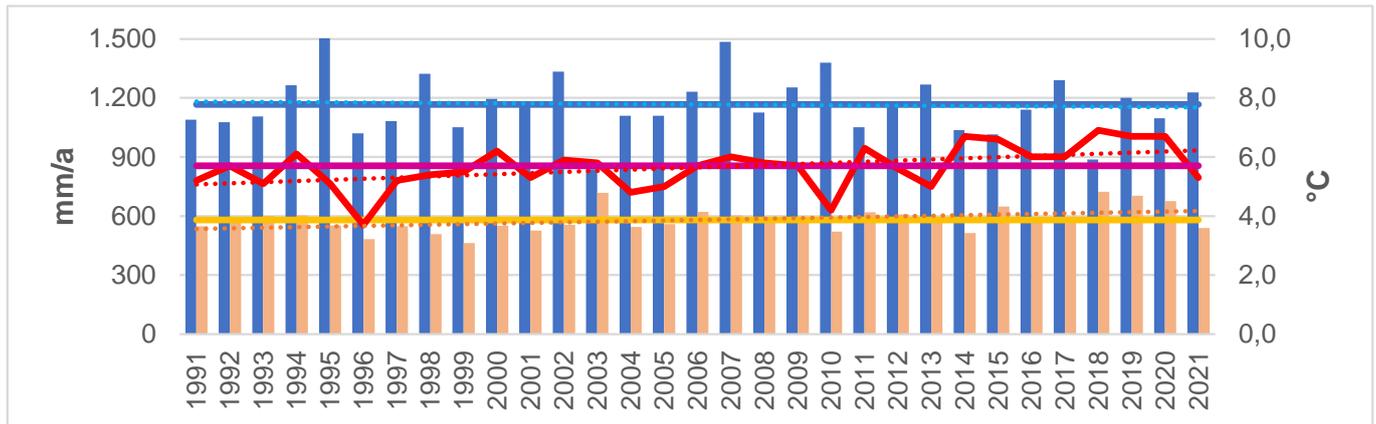


Abbildung 4: Ganglinien der 7-Tages-Werte des Niederschlags, der Lufttemperatur (jeweils als Stationsdaten der DWD-Station) und der abgeleiteten ETP

In Abbildung 5 sind Ganglinien der Jahressummen des Niederschlags NS (blaue Balken), der potentiellen Evapotranspiration ETP (orange Balken) und der Lufttemperatur TL (rote Linie), die langjährigen Jahresmittel (NS: 1.166 mm/a, ETP: 580 mm/a, TL: 5,7 °C) als Linien (NS: blau, ETP: orange, TL: lila) sowie lineare Trends (gestrichelte Linien gleicher Farbe) dargestellt.

Hier sei insbesondere auf die Jahre 2018, 2019 und 2020 hingewiesen, die zum Teil stark unterdurchschnittliche Niederschläge mit deutlich überdurchschnittlichen Temperaturen und überdurchschnittlicher potenzieller Evapotranspiration auffallen. Diese Jahre sind mit Jahres-MQ-Werten an Carl/1/011 von 29 l/s (2018 und 2020) und 44 l/s (2019) gegenüber dem MQ für 2006-2020 (Kalenderjahre, ohne 2016) von 53 l/s als Trockenjahre zu bewerten. Eine ähnlich niedrige Niederschlagssumme und vergleichbar hohe ETP-Jahressumme wie 2018 traten im Zeitraum 1991 bis 2021 nur 2003 auf, wobei die mittlere Jahrestemperatur 2003 deutlich niedriger lag als 2021.

Die Reihe Tageswerte der Lufttemperatur an der DWD-Station weist einen signifikanten Bruchpunkt der im April 2013 mit einem Sprung zu höheren Lufttemperaturen auf, der auch im Jahresmittel in Abbildung 5 zu erkennen ist.



Balken: NS (blau), ETP (orange); durchgezogene Linien: TL (rot), langjährigen Jahresmittel (NS blau, 1.166 mm/a), ETP orange, 580 mm/a, TL lila, 5,7 °C); gestrichelte Linien: lineare Trends (gleiche Farben wie die Jahreswerte)

Abbildung 5: Jahreswerte des NS, der TL und der ETP aus Stationsdaten (Tageswerte) der DWD-Station Carlsfeld

Insgesamt zeigen die Trendanalysen für die meteorologischen Parameter, dass mit der ETP eine Komponente des Wasserhaushalts und mit der TL eine wichtige Randbedingung biotischer und abiotischer Prozesse im Einzugsgebiet der TS Carlsfeld im Zeitraum der letzten 30 Jahre angestiegen sind.

5.2.2 Wasserstand/Flurabstand in den Moorpegeln

Vollständige Ganglinien des Flurabstandes (FA) in den Moorpegeln sind in Anhang A 1.1 dargestellt. Ganglinien des Flurabstandes in den Moorpegeln der Großen Säure sind in Abbildung 6 und in den Moorpegeln im Rostmoor in Abbildung 7 dargestellt.

Die Ganglinien zeigen, dass im Jahr der Errichtung der Moorpegel häufig insbesondere zu Beginn der Messreihen sehr hohe Flurabstände (niedrige Wasserstände) gemessen wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass die Messwerte durch den Messstellenbau und eine anfangs ungenügende Konnektivität der Pegel zum umgebenden Moorkörper erheblich beeinflusst sind. Auf dieses erste Jahr wird daher in der weiteren Auswertung verzichtet. Die Elimination der Daten des kompletten ersten Jahres stellt dabei eine fest definierte Vorgehensweise dar, mit der gewährleistet wird, dass möglichst vollständige Messjahre in die statistische Auswertung einfließen.

Abbildung 6 und Abbildung 7 enthalten lineare Trendlinien für Zeiträume, die durch Bruchpunkte getrennt werden (vgl. Ergebnisse der Bruchpunktanalysen in Tabelle 9). Als signifikante lineare Trends (rote Trendlinien) sind solche dargestellt, deren Steigung signifikant (auf dem 95%-Konfidenzniveau) von Null abweicht.

In der Großen Säure sind mit Ausnahme von P6 nach dem Bruchpunkt (BP) im Jahr 2018 keine signifikanten linearen Trends festzustellen (Abbildung 6). Im Rostmoor liegen signifikant sinkende lineare Trends an P12, P14 und P16 jeweils für den Zeitraum nach dem detektierten signifikanten Bruchpunkt vor. Die signifikant sinkenden Trends der Flurabstände betreffen im Wesentlichen den Zeitraum 2018 bis 2021, bei denen das Jahr 2018 überwiegend mit den höchsten Flurabständen auffällt. Auf die hydrometeorologischen Randbedingungen in diesen drei Jahren wurde oben bereits hingewiesen.

Ein Effekt der Wiedervernässungsmaßnahmen auf den Flurabstand ist nicht erkennbar. In der Großen Säure wurden Maßnahmen in den Jahren 2007 (im Umfeld der Messstellen P5, P6 und P10), 2008 (im weiteren Anstrom von P6 und im Umfeld von P9) und 2011 (im Umfeld von P8 und P9) umgesetzt.

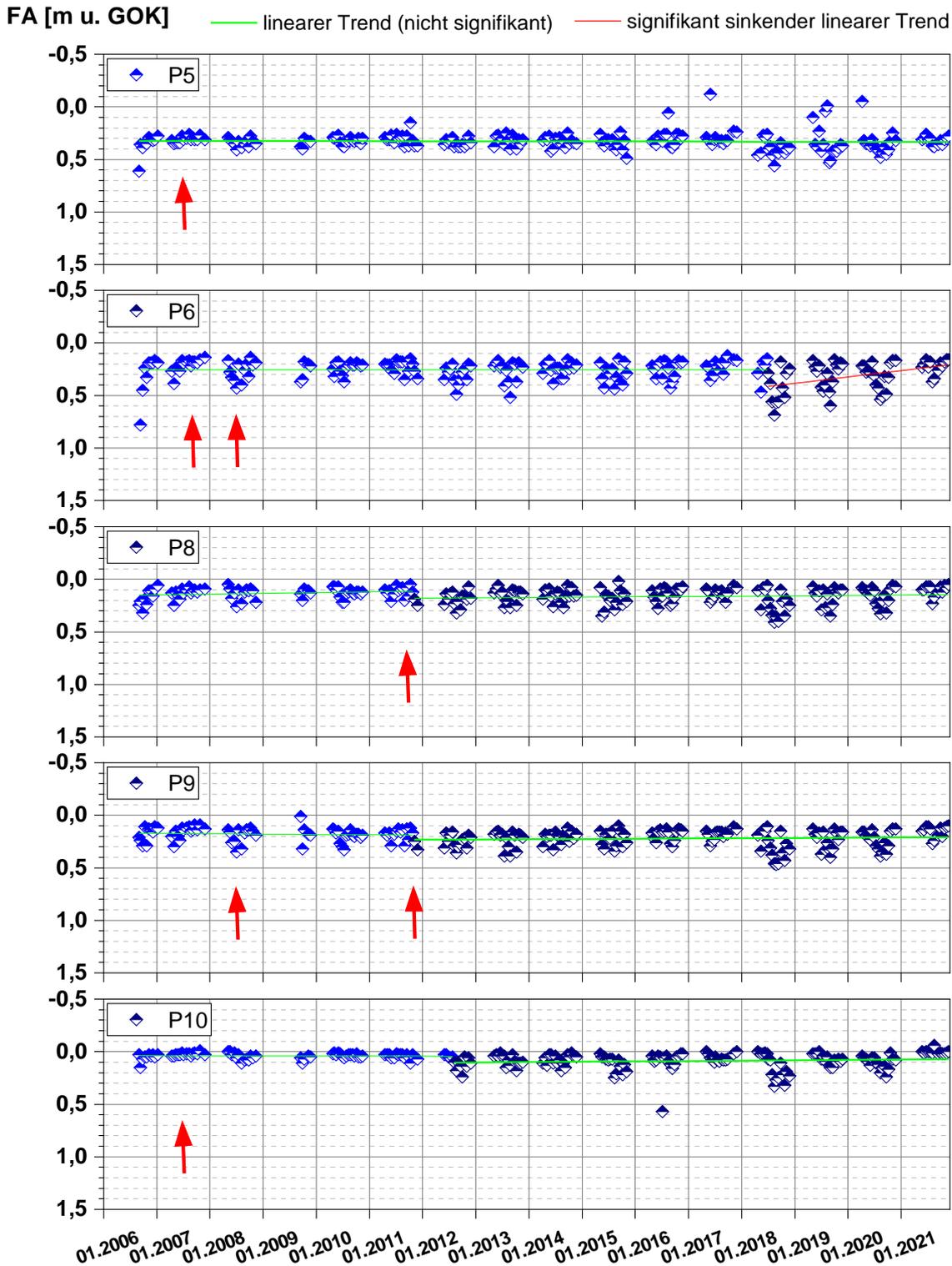


Abbildung 6: Ganglinien des Flurabstandes in den Moorpegeln in der Großen Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Die Ganglinien zeigen, dass die Spannweite der ermittelten Flurabstände des Moorwassers nach den Jahren der Errichtung der Grabenstau, insbesondere nach 2011 nicht kleiner geworden ist. Es ist zudem zu erkennen, dass an P10 im Allgemeinen die niedrigsten Flurabstände auftreten. Besonders bis 2011 und 2021 werden an P10 sehr geringe innerjährliche Flurabstandsamplituden festgestellt, während 2012 bis 2020 und besonders in den Trockenjahren 2018 bis 2020 auch an P10 die Flurabstände einen deutlichen Jahresgang zeigen.

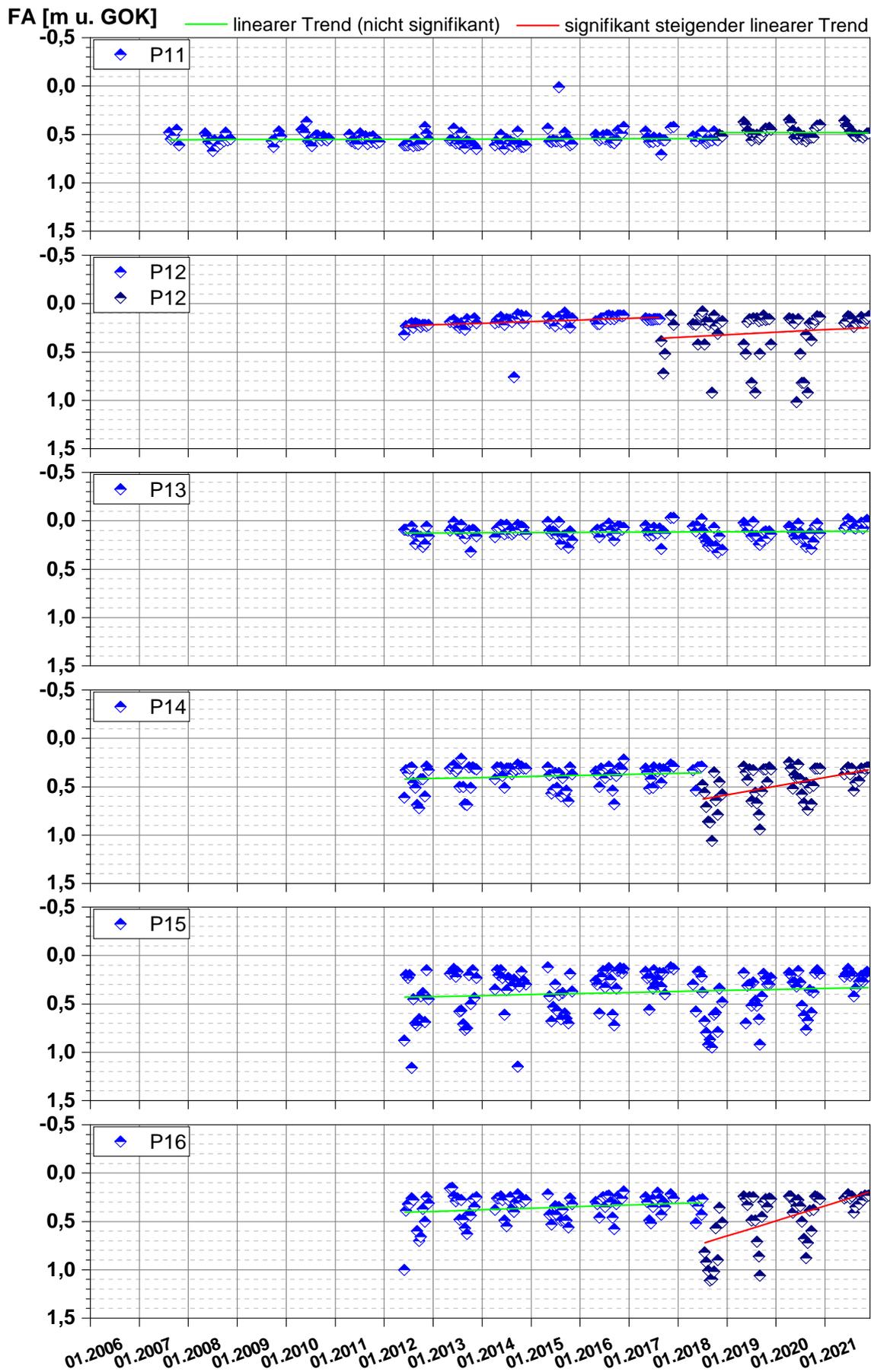


Abbildung 7: Ganglinien des Flurabstandes in den Moorpegeln im Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Im Rostmoor wurden Wiedervernässungsmaßnahmen im Herbst 2018 umgesetzt. Auch hier zeigt sich, dass 2018 bis 2020 in den Sommermonaten teils deutlich höhere Flurabstände ermittelt wurden als in den Jahren zuvor (Abbildung 7). Dies gilt nicht für Messstelle P11, die unmittelbar nördlich der Wilzsch liegt und Ende 2018 einen Bruchpunkt mit niedrigeren Flurabständen in den Jahren 2019-2021 als vor 2019 aufweist.

Die Bruchpunktanalysen für Flurabstände ergaben signifikante Bruchpunkte an 8 der 11 Moorpegel (vgl. Tabelle 9). In der Großen Säure wurden Bruchpunkte der Flurabstandsentwicklung in den Jahren 2011 (P8 und P9), 2012 (P10) und 2018 (P6) festgestellt. An P8 und P9 korrespondiert dies mit den Wiedervernässungsmaßnahmen. Allerdings treten an den Bruchpunkten Sprünge zu höheren Flurabständen nach 2011 auf, so dass ein ursächlicher Zusammenhang mit den Maßnahmen nicht erklärbar ist. Dies gilt analog für das Rostmoor. Die Bruchpunkte der Flurabstandsganglinien an P11, P14 und P16 im Sommer 2018 sind nicht durch die Wiedervernässungsmaßnahmen im Rostmoor im Jahr 2018 zu erklären. Eine Absenkung des Wasserstandes in den Moorpegeln P14 und P16 als Effekt der Wiedervernässungsmaßnahmen ist nicht zu erwarten. P11 liegt außerhalb eines möglichen Wirkungsbereichs der Maßnahmen.

Es ist anzunehmen, dass andere Effekte, insbesondere die meteorologischen Randbedingungen, eine stärkere Rolle spielen als die Maßnahmen zur Wiedervernässung. Dies gilt auch für das Jahr 2021, in dem die Wasserstandsamplituden im Rostmoor überwiegend geringer waren als in den Jahren vor 2018, in dem aber auch ein leicht überdurchschnittlicher Jahresniederschlag bei unterdurchschnittlicher Jahresmitteltemperatur und potentieller Evapotranspiration auftrat (Abbildung 5).

Aus Abbildung 7 geht auch deutlich hervor, dass die Wasserstände an P11 und in geringerem Maße auch an P13 in den Trockenjahren 2018 bis 2020 nicht außergewöhnlich stark gesunken sind, wie dies an den anderen Messstellen der Fall war. Für P11 kann ein anderes hydrologisches Verhalten des Einzugsgebietes nördlich der Wilzsch vermutet werden, während für P13 hier keine Erklärung offensichtlich ist.

Insgesamt zeigen die Trend- und Bruchpunktanalysen für die Flurabstände in den Moorpegeln keinen Zusammenhang zwischen den Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moorkörper und den Flurabständen.

5.2.3 DOC-Konzentrationen in den Moorpegeln

In Abbildung 8 sind Ganglinien der DOC-Konzentration, inklusive von 2 Bruchpunkten pro Pegel in den Moorpegeln der Großen Säure mit linearem Trend dargestellt. Der Erste Bruchpunkt wurde auf Basis des Gesamtzeitraumes ermittelt. Der zweite Bruchpunkt wurde mit Hilfe des Zeitraumes ab dem oder bis zum ersten Bruchpunkt ermittelt. In Abbildung 9 sind analog Ganglinien des DOC in den Moorpegeln des Rostmoores dargestellt, die jeweils nur einen signifikanten Bruchpunkt aufweisen. Trendlinien sind rot dargestellt, wenn ein signifikant (95%-Konfidenzniveau) steigender linearer Trend vorliegt, grüne Trendlinien weisen Steigungen auf, die sich nicht signifikant von Null unterscheiden, und rosa sind Trendlinien mit signifikant linear sinkenden DOC-Konzentrationen dargestellt. Die Trendlinien sind für unterschiedliche Zeiträume ermittelt. Die zeitliche Differenzierung resultiert aus der Bruchpunktanalyse (vgl. Tabelle 9).

In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Ergebnisse des ersten Untersuchungsjahres nach Errichtung der Moorpegel nicht berücksichtigt (möglicher Einfluss der Baumaßnahme der Messstellen auf die DOC-Konzentrationen).

Die zeitliche Entwicklung der DOC-Konzentrationen ist in den Moorpegeln der Großen Säure uneinheitlich. Einen signifikant steigenden linearen Trend des DOC weist lediglich P6 ab 2018 auf. An P8 und P10 sind signifikant sinkende lineare Trends des DOC vor 2013 und an P10 ab 2015 feststellbar.

Signifikant linear steigende Trends des DOC in den Moorpegeln des Rostmoores liegen für P14, P15 und P16 für die Zeiträume nach den Bruchpunkten in den Jahren 2018 (P14 und P16) bzw. 2020 (P15) vor (Abbildung 9). An P14 war bereits vor 2018 ein signifikant steigender linearer Trend zu beobachten. An P16, der bereits 2012 errichtet

aber erst ab 2017 beprobt wurde, fallen die DOC-Konzentrationen 2017 bis Mitte 2018 stark mit einem signifikanten linear sinkenden Trend.

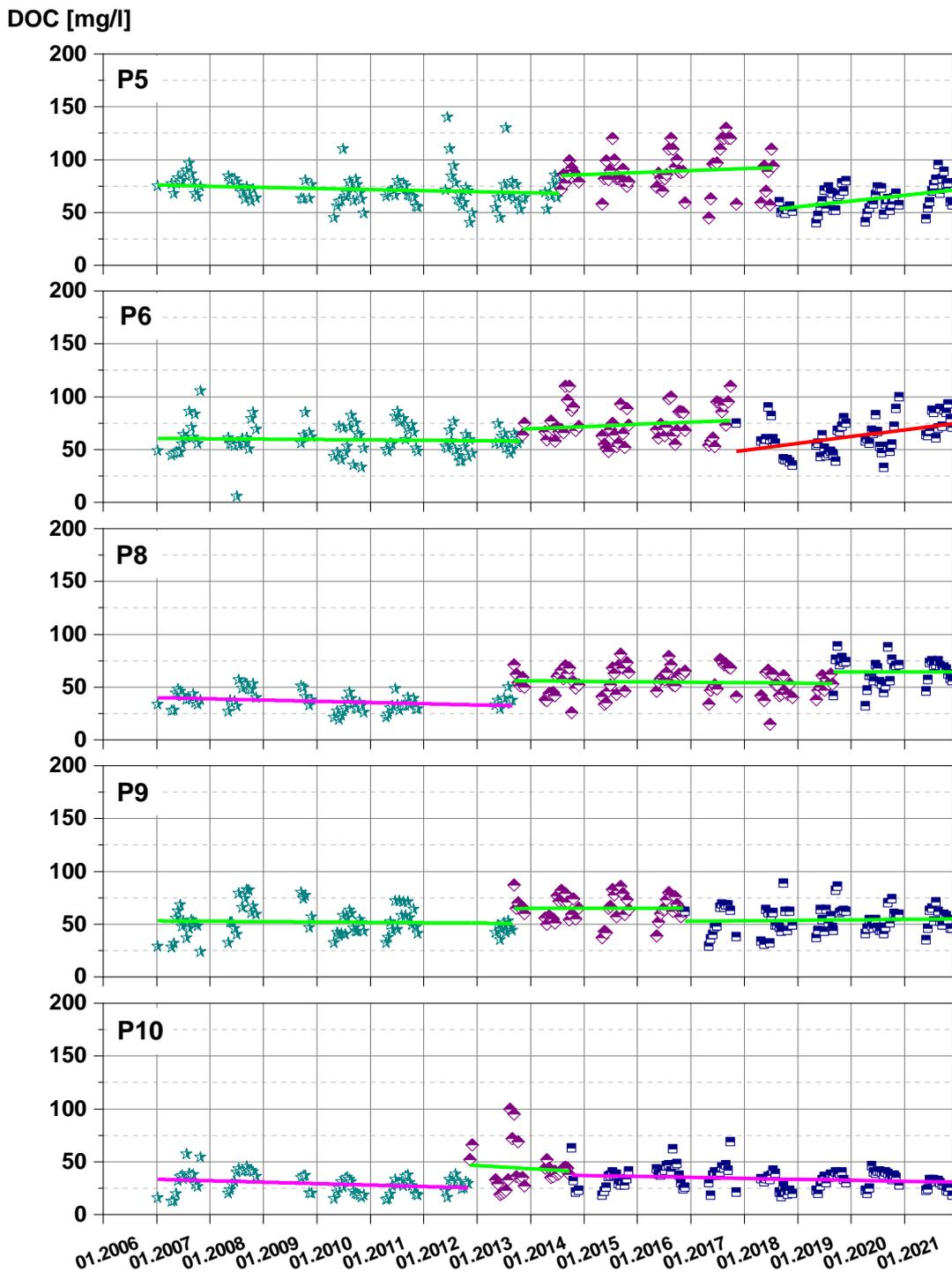


Abbildung 8: Ganglinien des DOC in der Großen Säure mit linearen Trendlinien nach Bruchpunktanalyse

An P6 bis P9 wurden signifikante Bruchpunkte der DOC-Ganglinien im Jahr 2013, an P12 Ende 2012 und an P5 im Jahr 2018 festgestellt. Eine zweite Bruchpunktanalyse mit den jeweiligen Zeiträumen vor oder nach dem Bruchpunkt hat zusätzlich folgende signifikante Bruchpunkte geliefert: P6 Ende 2017, P8 Mitte 2019, P9 November 2016, P10 Ende 2014 und P5 Mitte 2014 (vgl. Abbildung 8).

Die Bruchpunkte der DOC-Ganglinien im Rostmoor fallen mit dem Jahr der Errichtung der Grabenstau zusammen. Gleichzeitig weisen auch die Wasserstandsganglinien Bruchpunkte auf, die bereits in Kapitel 5.2.2 diskutiert wurden.

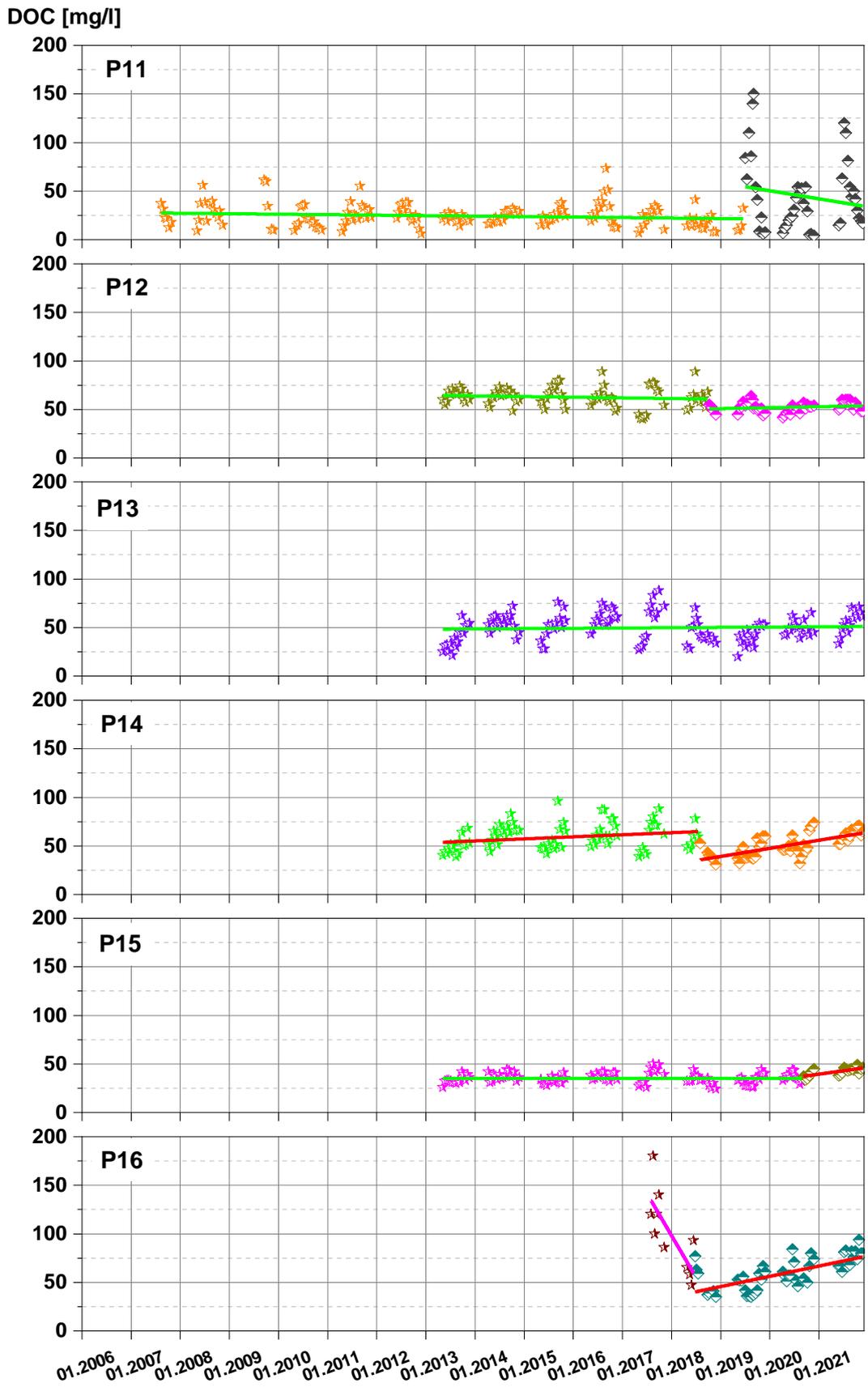


Abbildung 9: Ganglinien des DOC im Rostmoor mit linearen Trendlinien nach Bruchpunktanalyse

Tabelle 7 enthält die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) der DOC-Konzentrationen in der Großen Säure für die Zeiträume vor und nach 2013 (ohne das Jahr 2013, in dem an drei der fünf Pegel ein Bruchpunkt vorliegt).

Tabelle 7: Varianzanalyse (ANOVA) für den DOC in der Großen Säure

MKZ	Mittelwert [mg/l]		Stichprobenumfang		p-Wert
	vor 2013	ab 2014	vor 2013	ab 2014	
P5	71,4	75,6	79	120	0,125
P6	58,6	68,1	79	117	0,000
P8	35,7	57,6	65	121	0,000
P9	52,2	57,8	65	121	0,010
P10	29,5	34,6	79	120	0,001

Hervorgehoben sind p-Werte < 0,05 (Ablehnung der Hypothese „Kein Unterschied der Mittelwerte“)

Die Mittelwerte des DOC sind in der Großen Säure vor 2013 in P6 bis P10 signifikant niedriger als nach 2013.

Ergebnisse der Varianzanalyse der DOC-Konzentrationen in den Moorpegeln im Rostmoor und an P11 für die Zeiträume vor 2018 und ab 2019 enthält Tabelle 8. Während in P11 der Mittelwert der DOC-Konzentrationen vor 2018 signifikant niedriger ist als 2019 bis 2021 weisen P12, P14 und P16 nach 2018 signifikant niedrigere Mittelwerte des DOC als vor 2018 auf. An P13 und P15 unterscheiden sich die Mittelwerte der DOC-Konzentrationen beider Zeiträume nicht signifikant.

Tabelle 8: Varianzanalyse (ANOVA) für den DOC im Rostmoor und an P11

MKZ	Mittelwert [mg/l]		Stichprobenumfang		p-Wert
	vor 2018	ab 2019	vor 2018	ab 2019	
P11	24,9	42,3	73	47	0,000
P12	62,9	52,4	73	47	0,000
P13	51,9	48,4	73	46	0,181
P14	58,9	51,9	73	47	0,003
P15	35,7	37,7	73	47	0,068
P16	124,3	60,9	6	44	0,000

Hervorgehoben sind p-Werte < 0,05 (Ablehnung der Hypothese „Kein Unterschied der Mittelwerte“)

Insgesamt zeigen die Trend- und Bruchpunktanalysen für DOC in den Moorpegeln überwiegend steigende DOC-Konzentrationen, die keinen zeitliche Zusammenhang mit den Wiedervernässungsmaßnahmen erkennen lassen.

Tabelle 9: Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für FA, DOC, Fe und Al in den Moorpegeln

Bereich	MKZ	p-Wert				Datum			
		FA	DOC	Fe	Al	FA	DOC	Fe	Al
Große Säure	P5	0,124	0,000	0,000	0,156	-	31-Jul-18	17-Jul-18	-
		-	0,000	-	-	-	29-Jul-14	-	-
	P6	0,002	0,002	0,048	0,114	25-Jun-18	22-Okt-13	15-Okt-19	-
		-	0,007	-	-	-	07-Nov-17	-	-
	P8	0,014	0,000	0,000	0,000	24-Okt-11	27-Aug-13	02-Jul-13	03-Sep-19
		-	0,000	-	-	-	03-Sep-19	-	--
	P9	0,009	0,024	0,011	0,000	24-Okt-11	27-Aug-13	08-Nov-16	12-Okt-09
		-	0,000	-	-	-	22-Nov-16	-	-
	P10	0,000	0,001	0,000	0,105	23-Jul-12	30-Okt-12	13-Nov-08	-
		-	0,001	-	-	-	07-Okt-14	-	-
Rostmoor	P11	0,000	0,000	0,000	0,000	22-Okt-18	18-Jun-19	18-Jun-19	18-Jun-19
	P12	0,001	0,000	0,079	0,035	14-Aug-17	25-Sep-18	-	11-Aug-20
	P13	0,138	0,147	0,000	0,000	-	-	13-Sep-16	17-Sep-19
	P14	0,004	0,004	0,339	0,000	25-Jun-18	17-Jul-18	-	08-Sep-20
	P15	0,262	0,000	0,340	0,000	-	25-Aug-20	-	15-Okt-19
	P16	0,008	0,000	0,007	0,000	02-Jul-18	12-Jun-18	29-Mai-18	20-Okt-20

Hervorgehoben sind p-Werte < 0,05 (signifikante Bruchpunkte auf der 95%-Niveau)

Datumswerte sind nur für signifikante Bruchpunkte angegeben, Datumswerte eines Jahres sind mit gleicher Farbe markiert

Für DOC wurden in der Großen Säure jeweils zwei signifikante Bruchpunkte festgestellt

Tabelle 10: Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für NH₄-N, NO₃-N und SO₄ an den Moorpegeln

Bereich	MKZ	p-Wert			Datum		
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	SO ₄	NH ₄ -N	NO ₃ -N	SO ₄
Große Säure	P5	0,000	0,073	0,000	03-Sep-19	-	12-Nov-19
	P6	0,013	0,090	0,000	27-Jul-10	-	19-Jul-11
	P8	0,034	0,000	0,054	24-Nov-09	29-Mai-18	-
	P9	0,000	0,000	0,000	17-Jul-18	29-Mai-18	19-Jul-11
	P10	0,476	0,000	0,001	-	29-Mai-18	04-Jun-19
Rostmoor	P11	0,001	0,000	0,000	02-Jul-19	11-Okt-16	04-Jun-19
	P12	0,010	0,000	0,000	05-Mai-15	29-Mai-18	26-Nov-19
	P13	0,064	0,000	0,000	-	12-Jun-18	12-Nov-19
	P14	0,019	0,000	0,000	25-Aug-20	25-Sep-18	25-Aug-15
	P15	0,000	0,000	0,000	06-Okt-15	11-Okt-16	26-Nov-19
	P16	0,000	0,023	0,001	28-Jul-20	06-Nov-18	26-Nov-19

Tabelle 11: Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für DOC, Fe und Al im Oberflächenwasser

Gewässer	MKZ	p-Wert			Datum		
		DOC	Fe	Al	DOC	Fe	Al
Wilzsch	Carl/1/011	0,000	0,000	0,000	10-Aug-09	29-Mai-00	16-Jun-99
Bach v. SO	Carl/1/017	0,040	0,000	0,000	13-Mrz-06	09-Mai-11	19-Apr-99
Bach v. Ost	Carl/1/019	0,000	0,000	0,000	12-Jun-06	09-Mai-11	19-Apr-99
Kranizsch	Carl/1/020	0,437	0,014	0,000	-	09-Mai-11	05-Dez-11
Wilzsch	OBF40631	0,210	0,433	0,000	-	-	23-Aug-05
Wilzsch	FG1	0,473	0,205	0,000	-	-	28-Nov-07
Wilzsch	FG2	0,537	0,132	0,000	-	-	19-Sep-07
Kranizsch	FG3	0,956	0,140	0,000	-	-	19-Sep-07
Wilzsch	FG4	0,860	0,007	0,000	-	19-Mai-15	19-Sep-07
Kranizsch	FG5	0,106	0,000	0,000	-	01-Aug-12	28-Nov-07
Wilzsch	FG9	0,076	0,437	0,042	-	-	26-Jun-18

Tabelle 12: Ergebnisse der Bruchpunktanalysen für NH₄-N, NO₃-N und SO₄ im Oberflächenwasser

Gewässer	MKZ	P-Wert			Datum		
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	SO ₄	NH ₄ -N	NO ₃ -N	SO ₄
Wilzsch	Carl/1/011	0,000	0,000	0,000	06-Dez-10	29-Mai-00	08-Mrz-04
Bach v. SO	Carl/1/017	0,014	0,000	0,000	27-Jan-14	02-Mai-00	13-Mrz-06
Bach v. Ost	Carl/1/019	0,000	0,000	0,000	11-Okt-10	13-Apr-04	10-Jul-06
Kranizsch	Carl/1/020	0,002	0,000	0,002	08-Feb-10	09-Mai-11	09-Feb-09
Wilzsch	OBF40631	0,002	0,000	0,000	25-Jul-01	25-Jul-01	25-Jul-01
Wilzsch	FG1	0,000	0,146	0,000	28-Nov-07	-	16-Nov-10
Wilzsch	FG2	0,000	0,000	0,000	08-Okt-07	10-Mai-16	10-Okt-12
Kranizsch	FG3	0,000	0,467	0,251	26-Okt-07	-	-
Wilzsch	FG4	0,000	0,594	0,080	19-Sep-07	-	-
Kranizsch	FG5	0,000	0,000	0,015	06-Mai-08	24-Mai-16	23-Mai-12
Wilzsch	FG9	0,008	0,000	0,375	11-Okt-16	24-Mai-16	-

Hervorgehoben sind p-Werte < 0,05 (signifikante Bruchpunkte auf der 95%-Niveau)

Datumswerte sind nur für signifikante Bruchpunkte angegeben, Datumswerte eines Jahres sind mit gleicher Farbe markiert

5.2.4 DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser

Zur Einschätzung der Vergleichbarkeit der Daten aus verschiedenen Messprogrammen sind in Abbildung 10 Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser an den Zufluss-Messstellen zur TS Carlsfeld in der Wilzsch dargestellt. Die Abbildung 10 enthält folgende Jahreswerte des DOC: Median (Punkt), 25%- und 75%-Perzentilen (Box) sowie Minima und Maxima (Whisker).

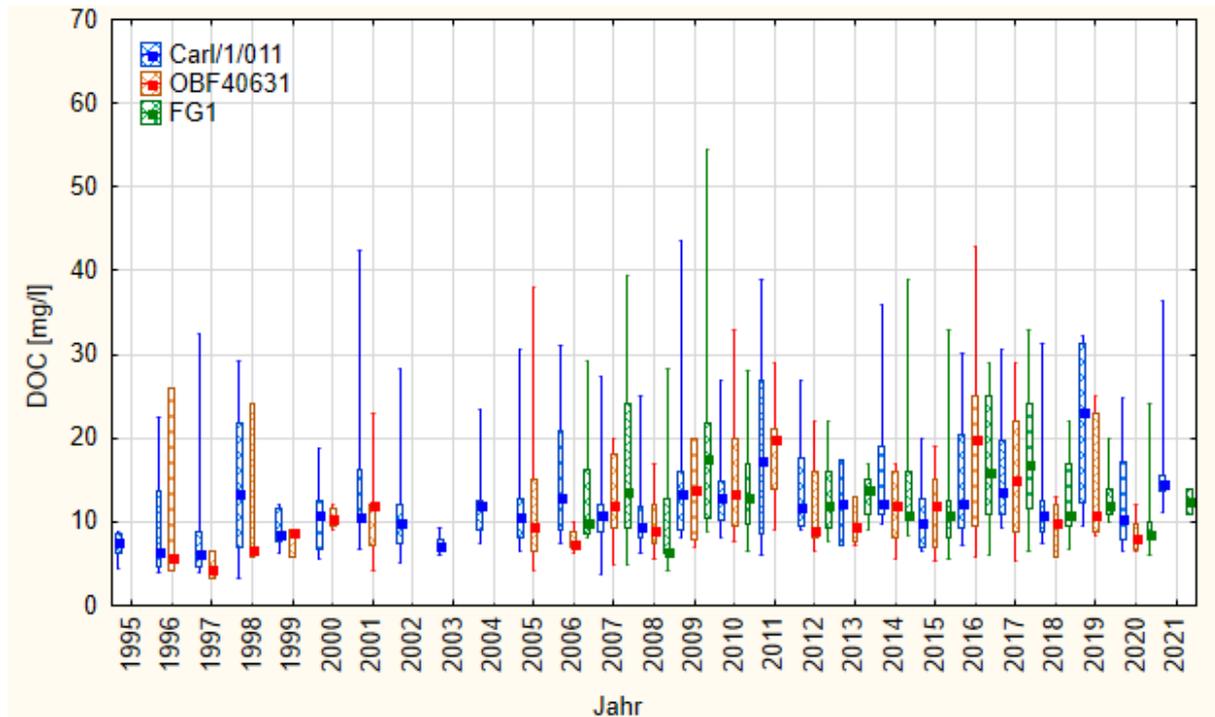


Abbildung 10: Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Wilzsch am Zufluss zur TS Carlsfeld im Vergleich der drei Messprogramme

Es wurden nur Messwerte aus den Monaten April bis November berücksichtigt, da für die Monate Dezember bis März an den OBF-Messstellen nur vereinzelte Messwerte vorliegen, während an Carl/1/011 zumeist ein Messwert pro Monat vorliegt. Pro Jahr liegen so zwischen (0) 3 und 15 Messwerte an den OBF-Messstellen und in der Regel 7 bis 14 Messwerte an Carl/1/011 der Abbildung 10 zugrunde.

Die zum Teil deutlichen Differenzen der Median-Werte und der Maxima verdeutlichen die eingeschränkte zeitliche Repräsentativität der Daten, die sich aus der Beschränkung auf Stichtagsuntersuchungen ergibt. Es zeigt sich, dass die räumlich praktisch übereinstimmenden Messstellen Carl/1/011, OBF40631 und FG1 (OBF40633) zum Vergleich mit anderen FG-Messstellen getrennt betrachtet werden müssen.

In Abbildung 11 sind analog zu Abbildung 10 Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Wilzsch (nur FG-Messstellen) dargestellt.

Die bis zu vier Box-Whiskers pro Jahr sind von links nach rechts mit abnehmender Einzugsgebietsgröße sortiert (für Stammdaten der Messstellen vgl. Tabelle 2). Für das Kalenderjahr 2011 liegen an den FG-Messstellen keine Analyseergebnisse vor, daher ist 2011 in Abbildung 11 und Abbildung 12 nicht enthalten.

Mit abnehmender Einzugsgebietsgröße (in der Abbildung von FG1 links nach rechts bis FG9) nimmt die DOC-Konzentration in der Wilzsch tendenziell zu. 2009 stellt hier eine Ausnahme dar. Ebenso gilt dies nur eingeschränkt für die Maxima.

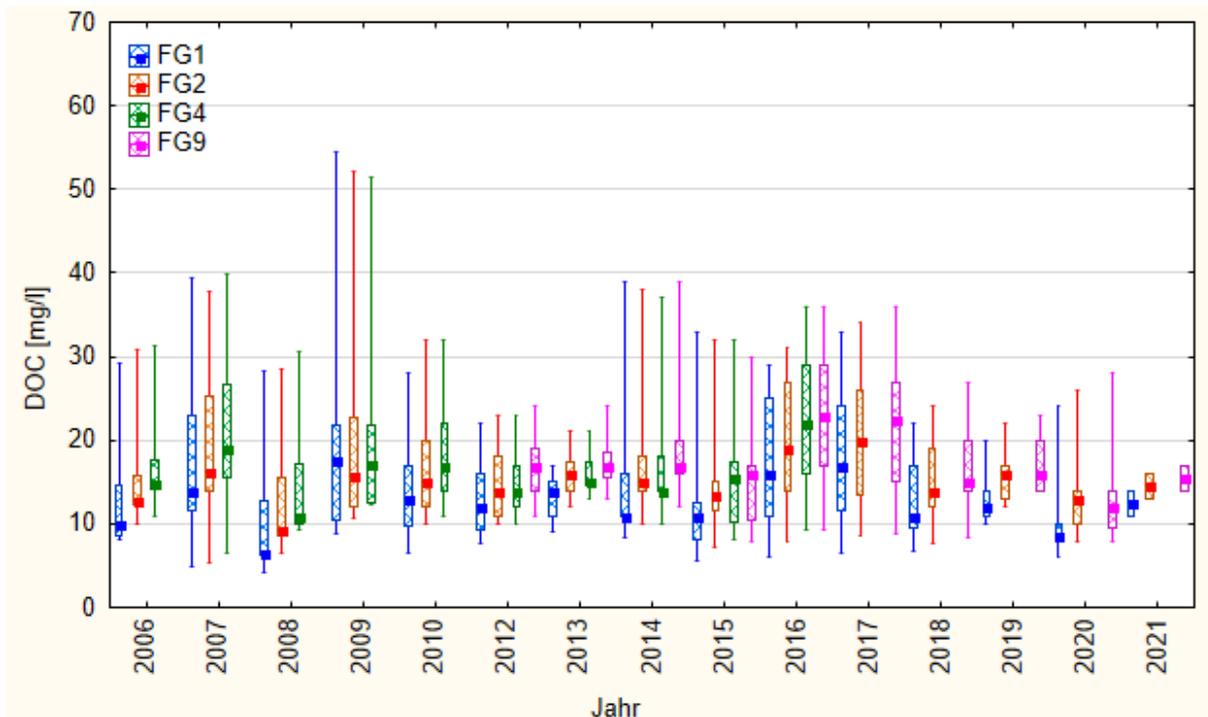


Abbildung 11: Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Wilzsch

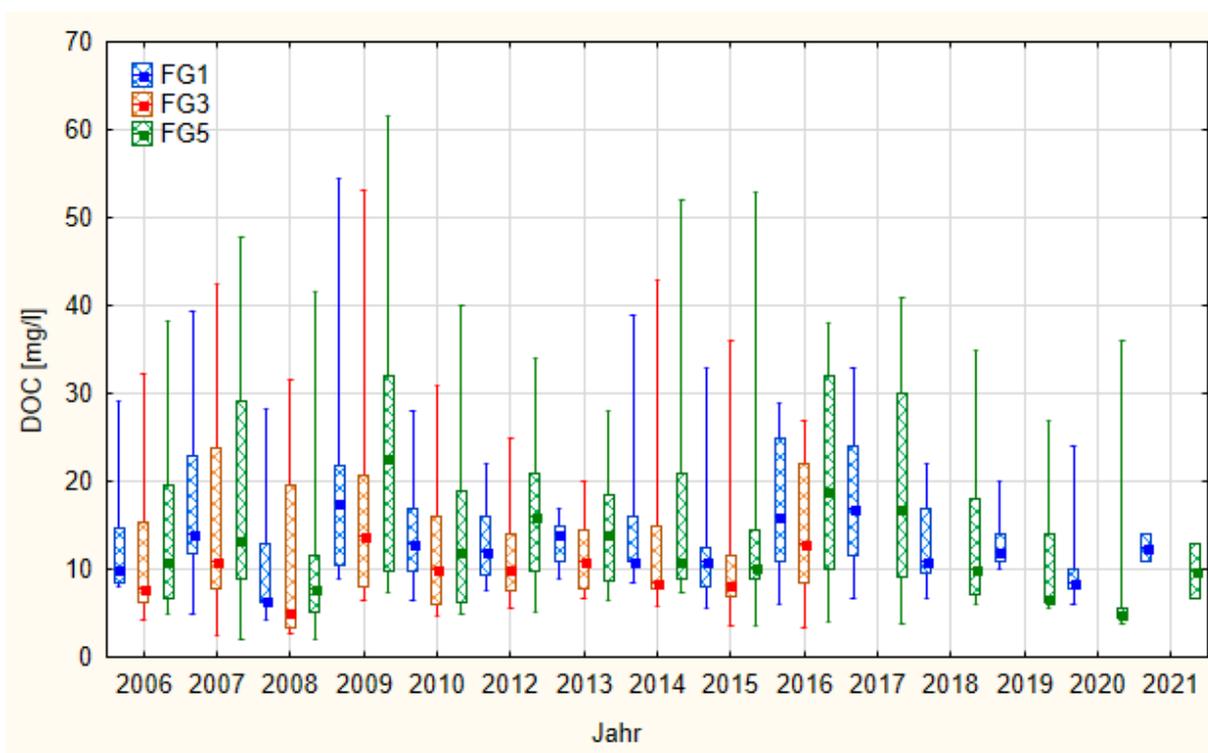


Abbildung 12: Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Kranzsch und der Wilzsch

In Abbildung 12 sind Jahreswerte des DOC im Oberflächenwasser der Kranzsch sowie in der Wilzsch am Zufluss zur TS Carlsfeld mit Median (Punkt), 25%- und 75%-Perzentilen (Box) sowie Minima und Maxima (Whisker) dargestellt. Die bis zu drei Box-Whiskers pro Jahr sind von links nach rechts mit abnehmender Einzugsgebietsgröße sortiert (FG1, FG 3, FG9, vgl. Tabelle 2).

Die DOC-Konzentrationen nehmen in der Kranzsch von FG5 nach FG3 tendenziell ab. In der Wilzsch bis zur Zulaufmessstelle der TS Carlsfeld (FG1) steigen die DOC-Konzentrationen wieder an. 2019 bis 2021 sind die DOC-Konzentrationen an FG5 tendenziell niedriger als an FG1, bis 2018 war dies nicht der Fall.

Auch die Ergebnisse an den Oberflächenwassermessstellen wurden Bruchpunktanalysen unterzogen. Die DOC-Konzentration weist signifikante Bruchpunkte an Carl/1/011 im Jahr 2009 und an Carl/1/017 und Carl/1/019 im Jahr 2006 auf (Tabelle 11). Für die DOC-Konzentrationen an den Messstellen FG1 bis FG9 in Wilzsch und Kranizsch wurden weder signifikante Bruchpunkte noch signifikante lineare Trends festgestellt.

DOC [mg/l]

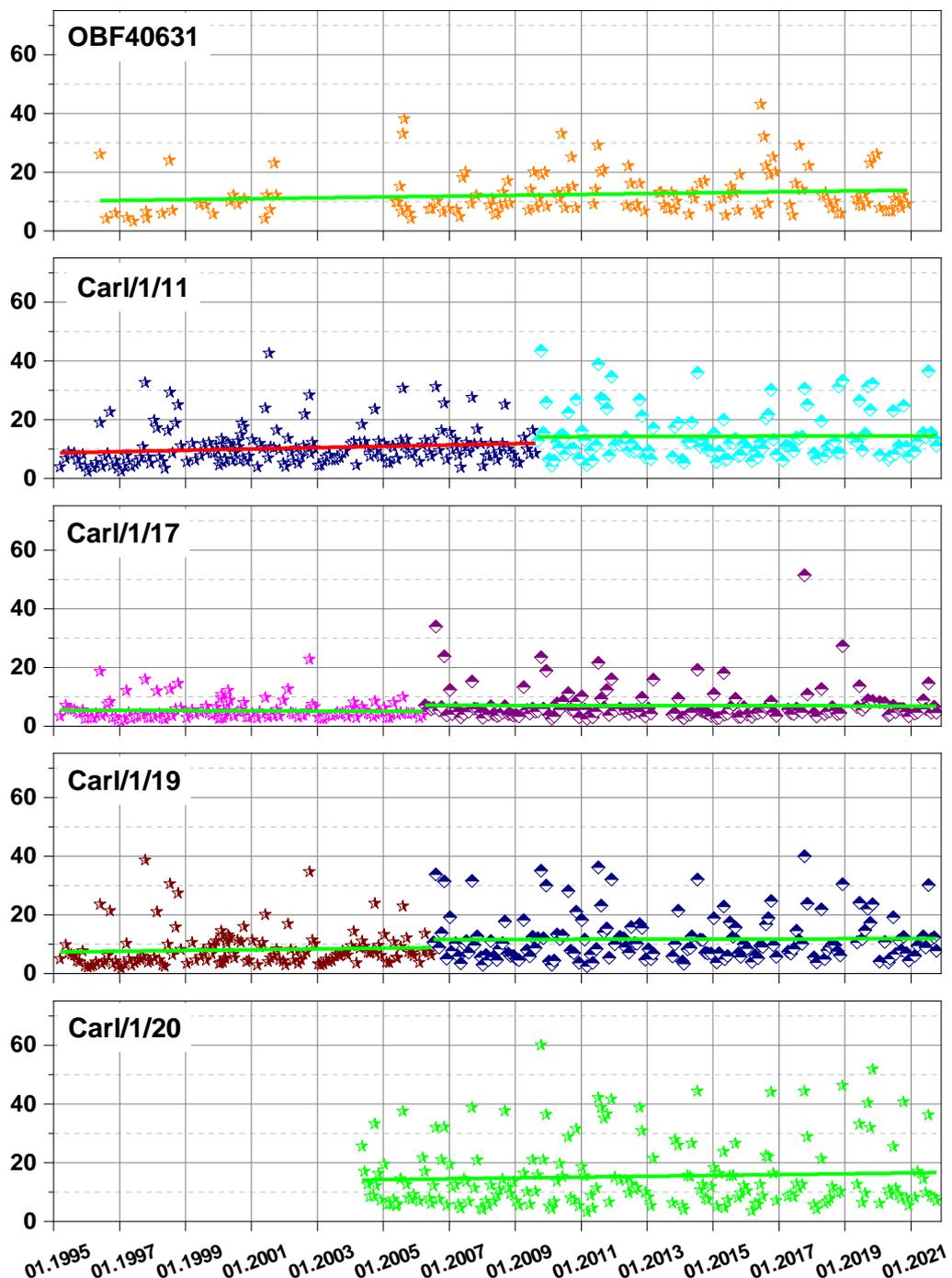


Abbildung 13: Ganglinien des DOC in den Oberflächenwassermessstellen Carl/1/011 bis Carl/1/20 und OBF40631 mit linearen Trends für Zeiträume vor und nach Bruchpunkten

Die durch Bruchpunkte getrennten Zeitabschnitte wurden auf lineare Trends untersucht. In Abbildung 13 sind signifikant steigende lineare Trends als rote Trendlinie dargestellt. Grüne Trendlinien weisen lineare Trends aus, deren Steigung sich nicht signifikant von Null unterscheidet. Einen statistisch signifikant steigenden linearen Trend weist lediglich die DOC-Konzentration an Carl/1/011 im Zeitraum bis 2009 auf.

Die Varianzanalyse (ANOVA) zum Vergleich der Mittelwerte der DOC-Konzentration vor und nach 2006 für die Zuflüsse zur TS Carlsfeld ergibt signifikant unterschiedliche Mittelwerte mit höheren DOC-Konzentrationen für den Zeitraum 2006 bis 2021 (vgl. Tabelle 13). Die größte Differenz wird mit 3,4 mg/l an Carl/1/011 festgestellt, gefolgt von Carl/1/019 mit 3,0 mg/l, während an Carl/1/017 der Mittelwert der DOC-Konzentration um 1,1 mg/l gestiegen ist.

Tabelle 13: Varianzanalyse (ANOVA) für den DOC an Zufluss-Messstellen der TS Carlsfeld

Messstelle	Mittelwert [mg/l]		Stichprobenumfang		p-Wert
	vor 2006	ab 2006	vor 2006	ab 2006	
Carl/1/011	10,2	13,6	154	162	0,000
Carl/1/017	5,6	6,7	142	152	0,049
Carl/1/019	8,5	11,5	143	154	0,000

Hervorgehoben sind p-Werte < 0,05 (Ablehnung der Hypothese „Kein Unterschied der Mittelwerte“)

Die DOC-Konzentrationen an den FG-Messstellen in Wilzsch und Kranzsch weisen weder Bruchpunkte noch signifikante lineare Trends auf. Die Ganglinien sind in Anhang A 1.1 dargestellt. An allen FG-Messstellen liegen tendenziell sinkende bis konstante Trends vor, die jedoch nicht statistisch signifikant sind. Der Bruchpunkt an Carl/1/011 im Sommer 2009 mit einem Sprung zu höheren DOC-Konzentrationen, der zeitlich kurz auf die Wiedervernässungsmaßnahmen in der Großen Säure von 2006 bis 2008 folgt, kann über die FG-Messstellen und die Messstelle OBF40631 nicht bestätigt werden.

Insgesamt kann auf Basis der Trend- und Bruchpunktanalysen für DOC im Oberflächenwasser kein eindeutiger Zusammenhang zwischen DOC-Konzentrationen und Wiedervernässungsmaßnahmen festgestellt werden.

5.2.5 Eisen

Gelöstes Eisen zeigt bei Betrachtung der gesamten Zeitreihen für alle Zulaufmessstellen zur TS Carlsfeld und Carl/1/020 signifikant steigende lineare Trends (nicht dargestellt). Unter Berücksichtigung der Bruchpunktanalyse sind signifikante lineare Trends nur an Carl/1/011 vor dem Bruchpunkt am 29.05.2000 und Carl/1/019 vor dem Bruchpunkt am 09.05.2011 festzustellen (vgl. Abbildung 14).

An den FG-Messstellen werden für Eisen mit Berücksichtigung der Bruchpunktanalyse signifikante lineare Trends für FG3 (steigend) und FG4 (fallend bis Anfang 2015) festgestellt (Abbildung 15).

Auffällig hohe Eisen-Konzentrationen wurden im Rostmoor an P11 ab Mitte 2019 festgestellt (Abbildung 17). Bis zum Bruchpunkt am 18.06.2019 liegt ein signifikanter linearer Trend mit sinkenden Eisen-Konzentrationen vor. An P16 tritt der Bruchpunkt Ende Mai 2019 auf. Im Anschluss steigen die Eisen-Konzentrationen signifikant linear an.

Auffällig hohe Konzentrationen an gelösten Eisen treten auch an P5 in der Großen Säure auf (sh. Ganglinie in Anhang A 1.1 bzw. deskriptive Statistik in Anhang A 1.2). Ab dem 17.07.2018 (Bruchpunkt) steigen die Konzentrationen an gelöstem Eisen an P5 mit einem signifikanten linearen Trend an (Abbildung 16).

Insgesamt kann auf Basis der Trend- und Bruchpunktanalysen für gelöstes Eisen im Oberflächenwasser und im Moorwasser kein Zusammenhang zwischen Fe-Konzentrationen und Wiedervernässungsmaßnahmen festgestellt werden.

Fe [mg/l]

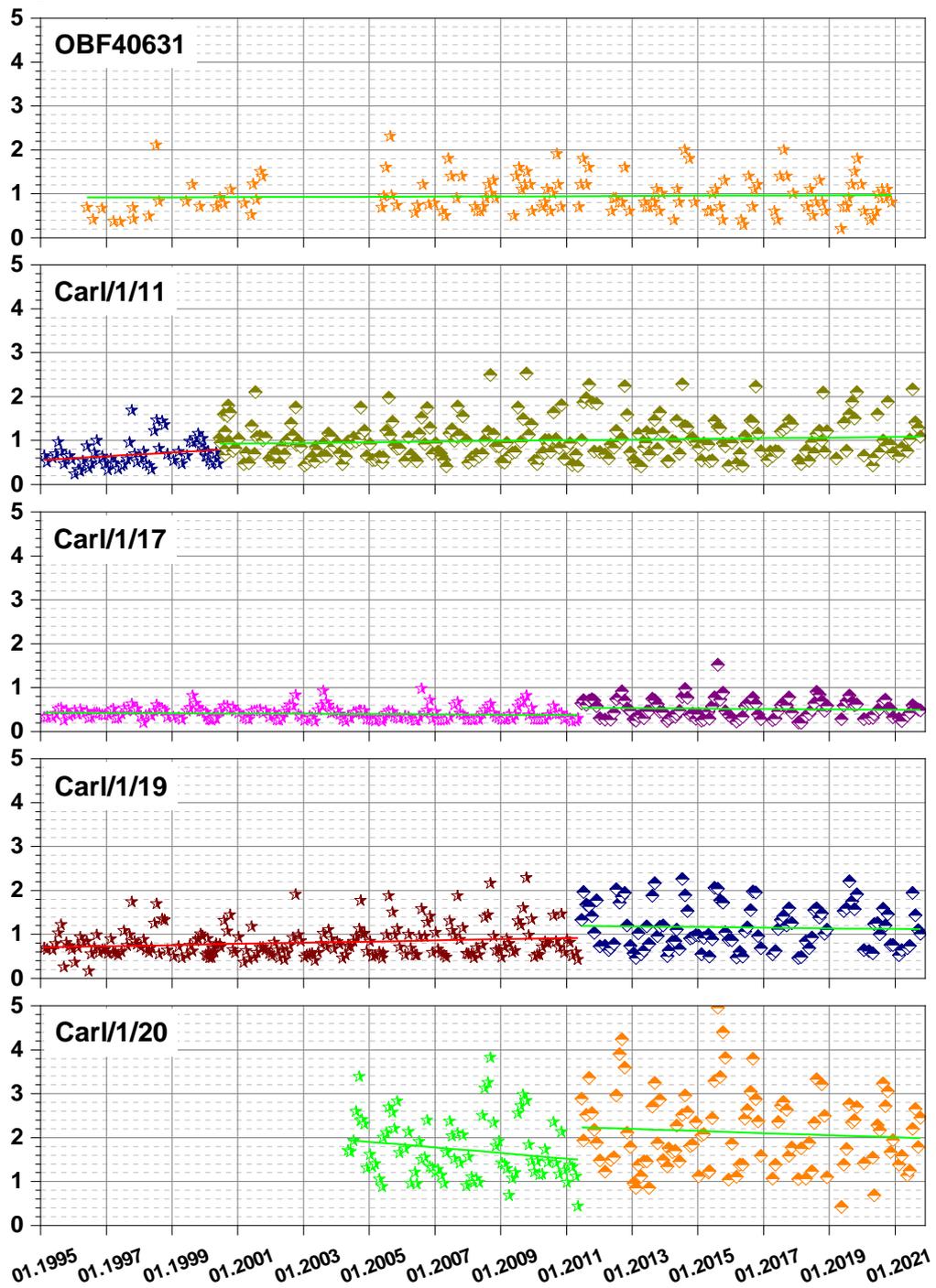


Abbildung 14: Ganglinien des gelösten Eisens an den Carl-Messstellen und OBF40631 mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

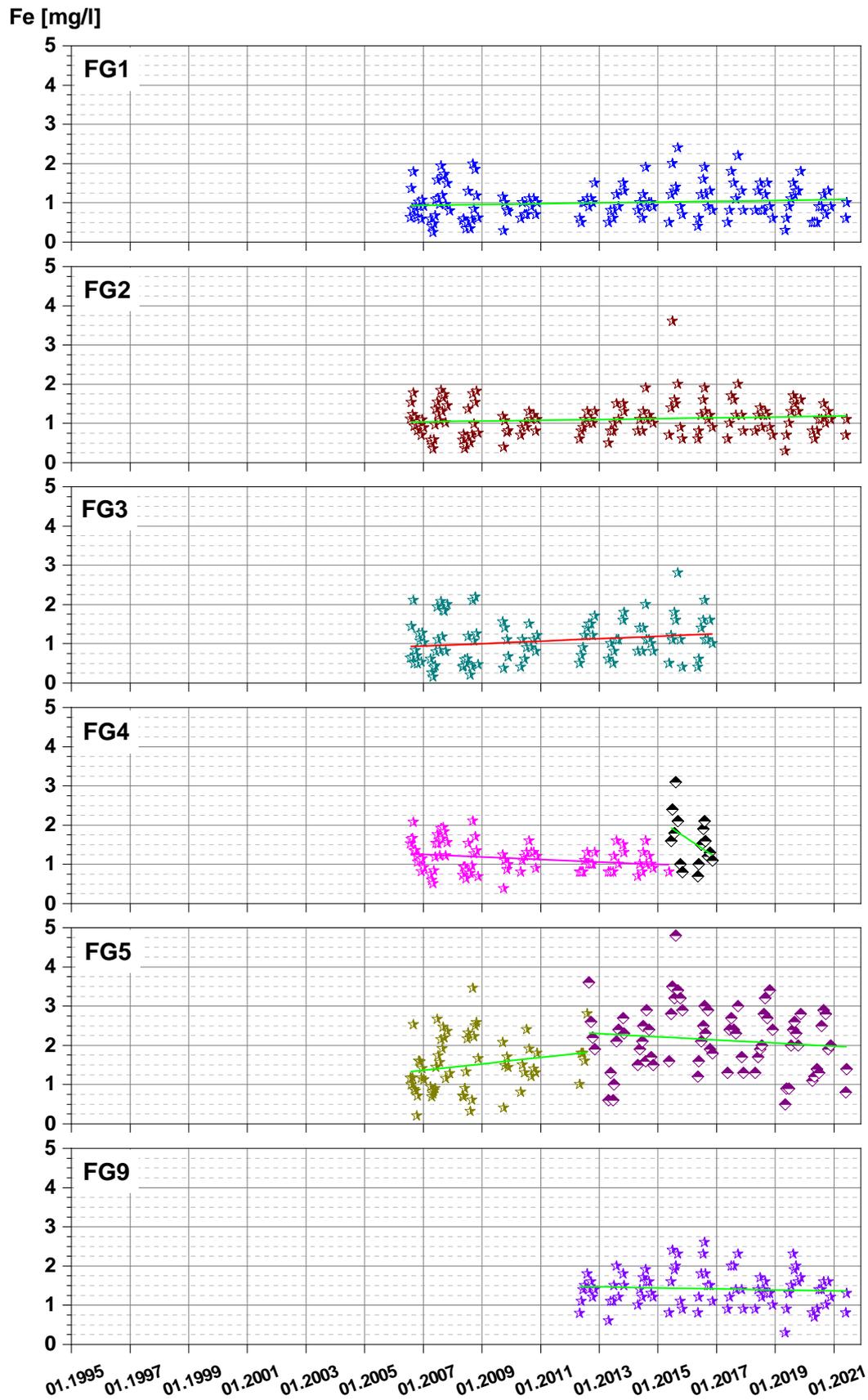


Abbildung 15: Ganglinien des gelösten Eisens an den FG-Messstellen mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Fe [mg/l]

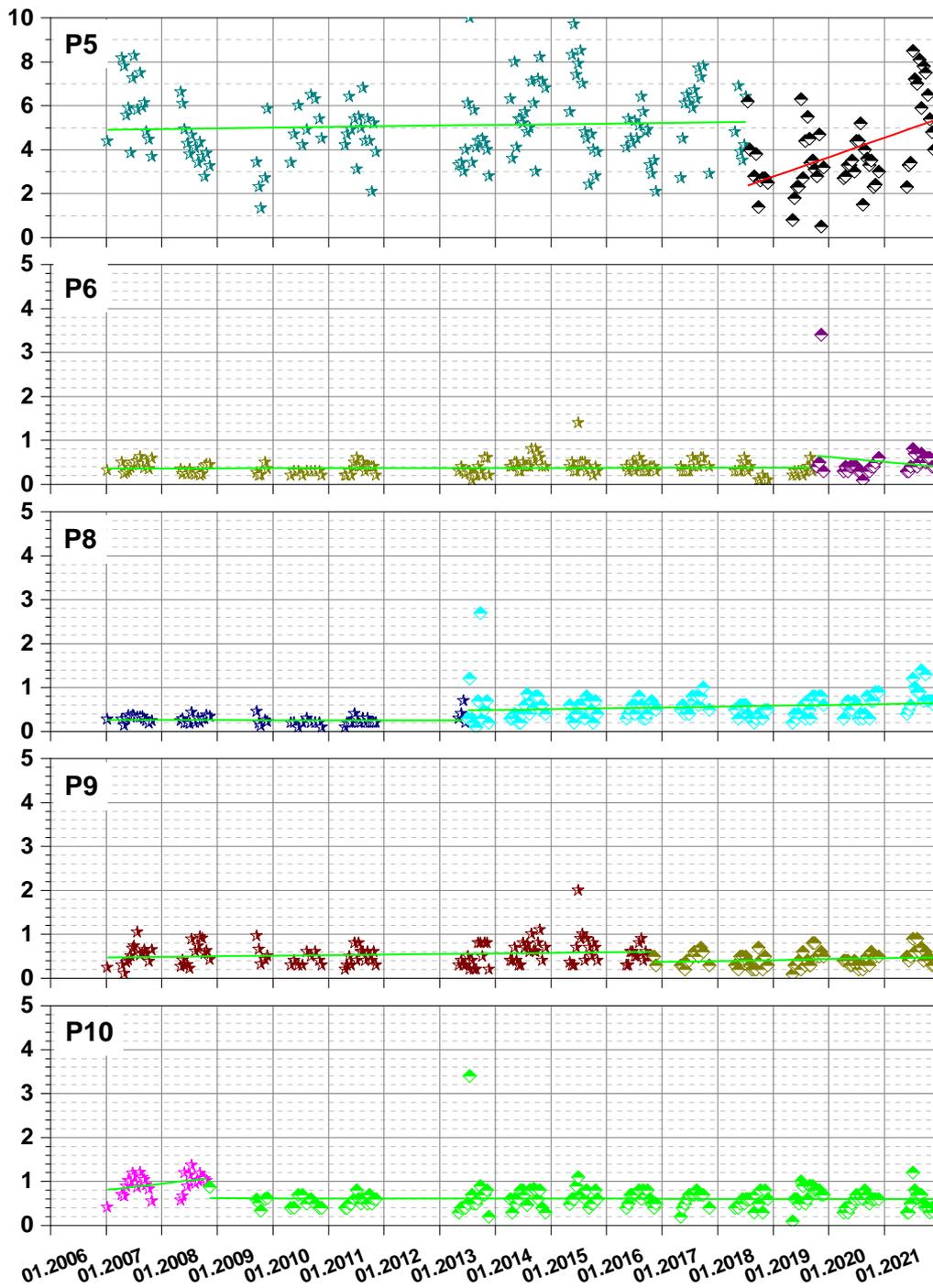


Abbildung 16: Ganglinien des gelösten Eisens in der Großen Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

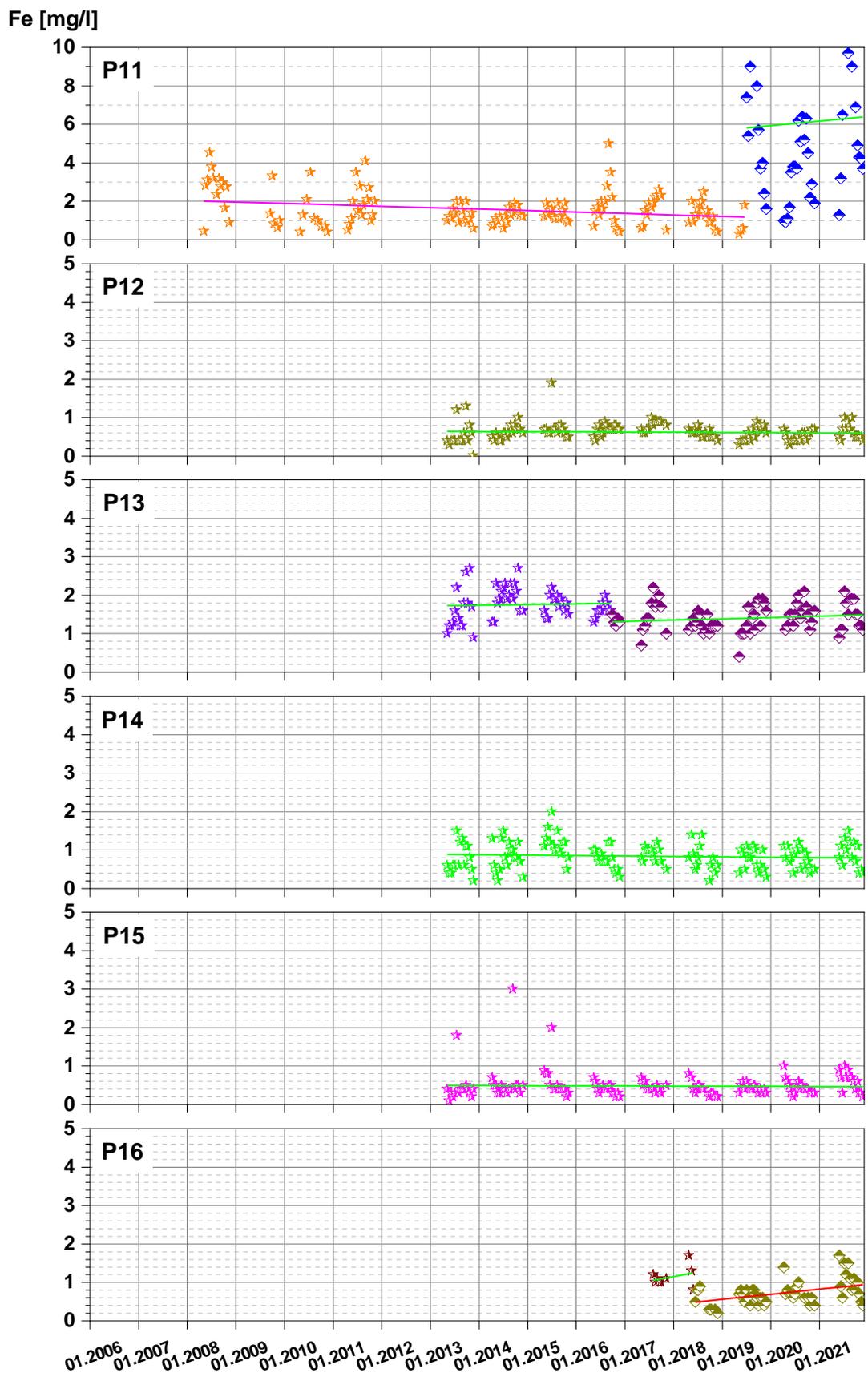


Abbildung 17: Ganglinien des gelösten Eisens im Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

5.2.6 Aluminium

Die Zuflussmessstellen der TS Carlsfeld verzeichnen für gelöstes Aluminium über den Gesamtzeitraum signifikant linear fallende Trends (nicht dargestellt). Die Bruchpunktanalyse ergab signifikante Bruchpunkte für Carl/1/011, Carl/1/017 und Carl/1/019 Anfang des Jahres 1999 (vgl. Abbildung 18). Mit Ausnahme der Messstelle Carl/1/020 sind für die Zeiträume nach den Bruchpunkten signifikant fallende Trends feststellbar (vgl. Abbildung 18).

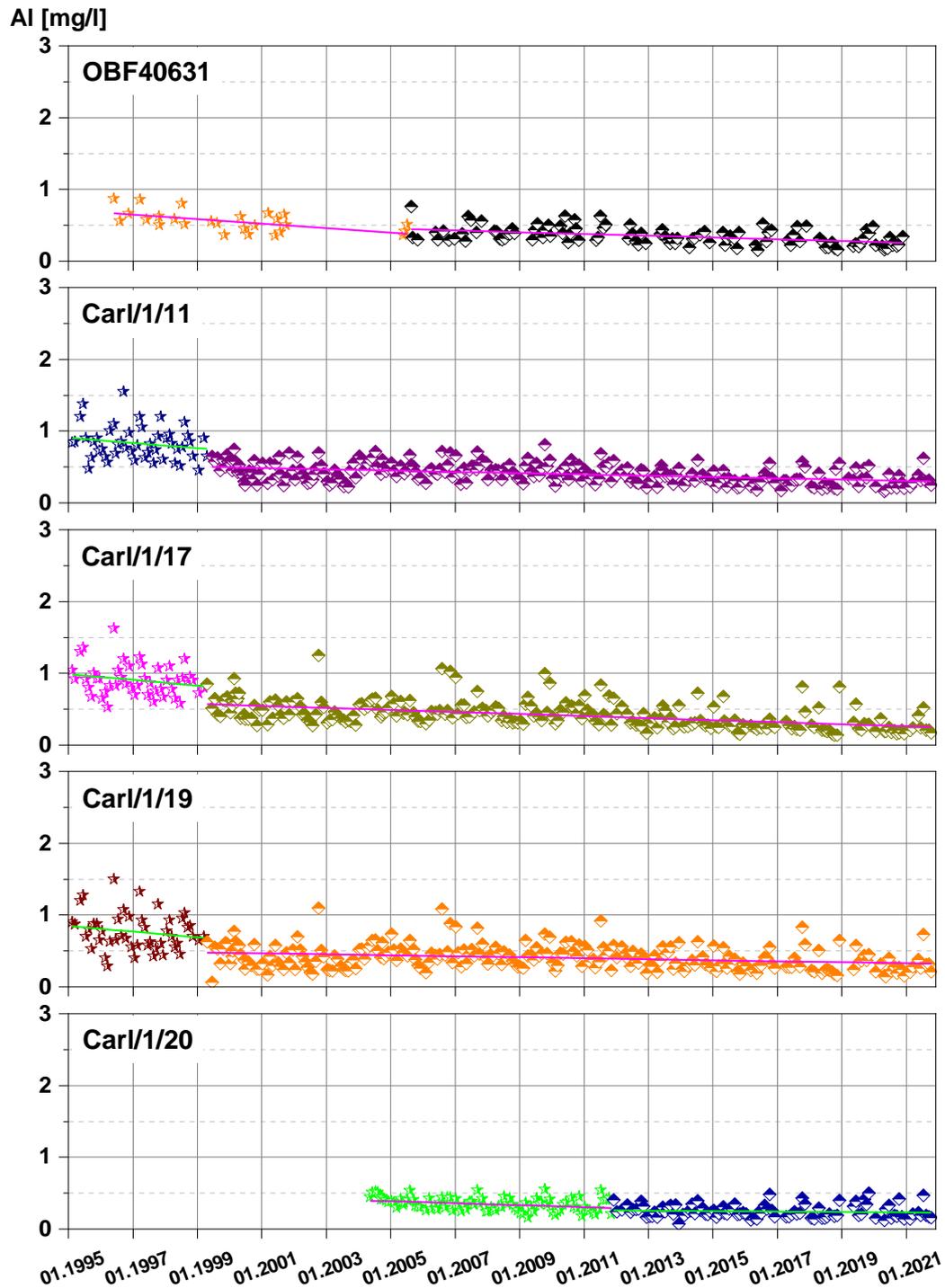


Abbildung 18: Ganglinien des Aluminiums für Carl-Messstellen und OBF40631 mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

An FG1 bis FG5 treten signifikante Bruchpunkte im Jahr 2007 auf (vgl. Abbildung 19). Die Messstellen FG4 und FG5 liegen nicht innerhalb potenzieller Wirkbereiche der Wiedervernässungsmaßnahmen des Jahres 2007.

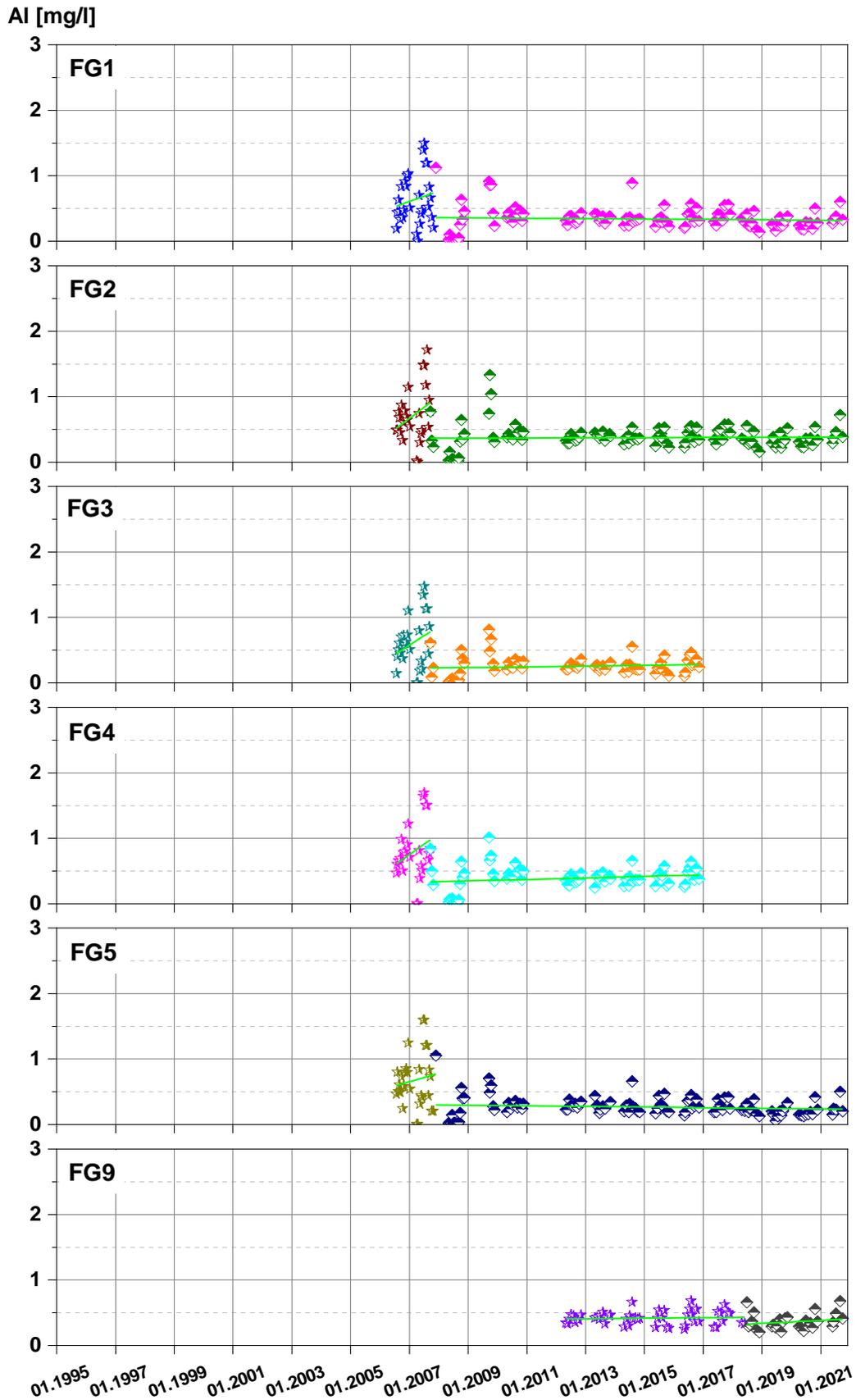


Abbildung 19: Ganglinien des Aluminiums für FG-Messstellen mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

In der Großen Säure können keine signifikanten linearen Trends der Al-Konzentrationen festgestellt werden. Die Messstellen P8 (03.09.2019) und P9 (12.10.2009) weisen einen signifikanten Bruchpunkt der Al-Ganglinie auf (Abbildung 20 und Tabelle 9).

Im Rostmoor verzeichnen alle Pegel signifikante Bruchpunkte. Bei P13 und P15 treten diese im Jahr 2018 auf. Ab diesem Zeitpunkt steigen die Aluminium-Konzentrationen signifikant linear an. An P11, außerhalb des Torfkörpers des Rostmoores, wurden die höchsten Aluminium-Konzentrationen aller Pegel gemessen, besonders für den Zeitraum nach dem Bruchpunkt am 18.06.2019 (vgl. Abbildung 21).

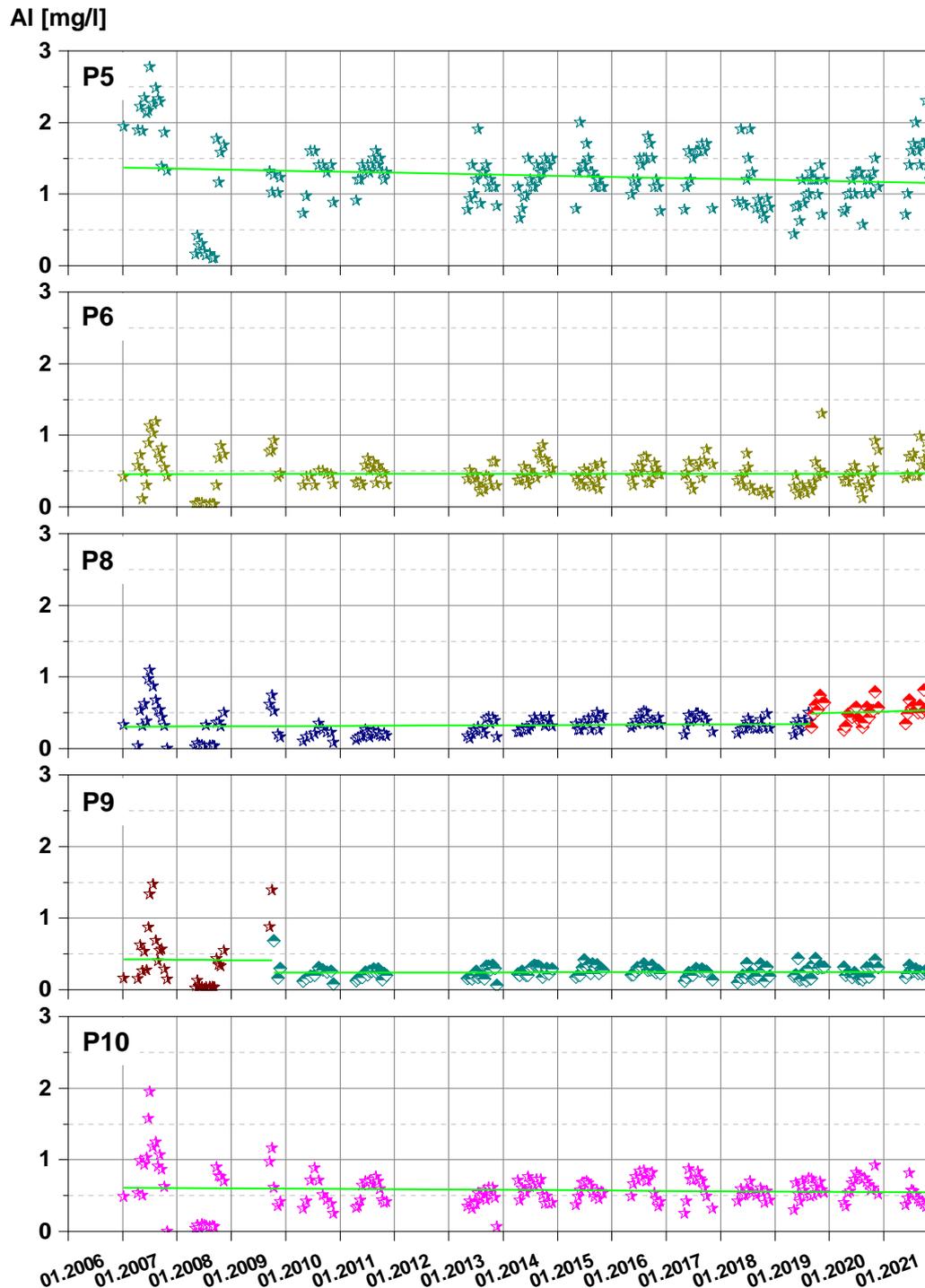


Abbildung 20: Ganglinien des Aluminiums für die Große Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Al [mg/l]

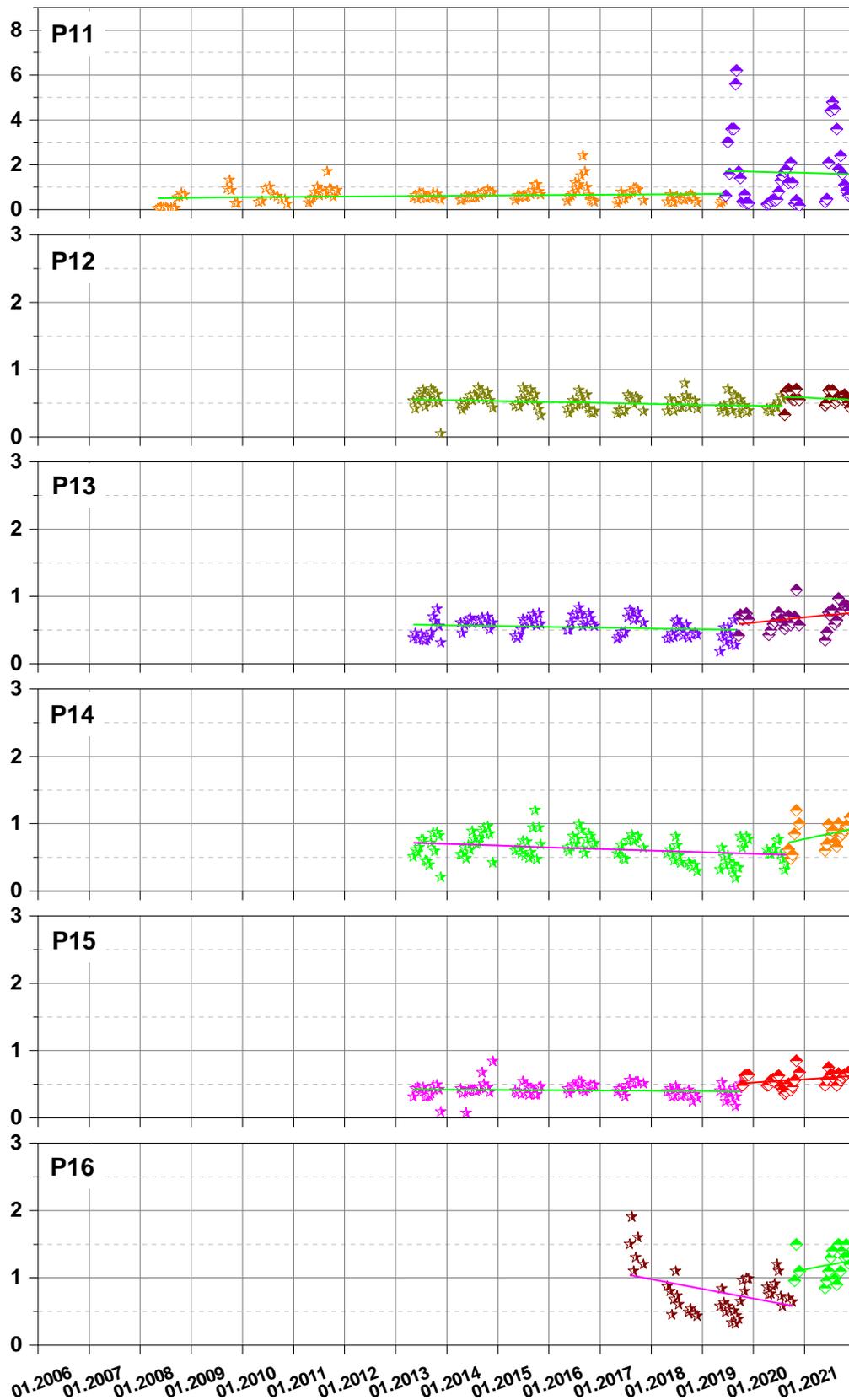


Abbildung 21: Ganglinien des Aluminiums für das Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Insgesamt kann auf Basis der Trend- und Bruchpunktanalysen für gelöstes Aluminium im Oberflächenwasser und im Moorwasser kein Zusammenhang zwischen Al-Konzentrationen und Wiedervernässungsmaßnahmen festgestellt werden.

5.2.7 Nitrat

Für Nitrat-Stickstoff konnte an allen Zuflussmessstellen der TS Carlsfeld ein signifikant fallender linearer Trend festgestellt werden (nicht dargestellt). Besonders vor 2000/01 wurden deutlich höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen an OBF40631, Carl/1/011 und Carl/1/017 gemessen (vgl. Bruchpunkte in Abbildung 22 und Tabelle 12).

An OBF40631 und Carl/1/017 sind je ein weiterer Bruchpunkt der Nitrat-Ganglinien im Jahr 2018 zu vermuten (vgl. Abbildung 22). Bruchpunktanalysen für mehr als einen Bruchpunkt wurden auf den Parameter DOC beschränkt. Für alle anderen Parameter wurde der Bruchpunkt mit der höchsten Signifikanz ermittelt.

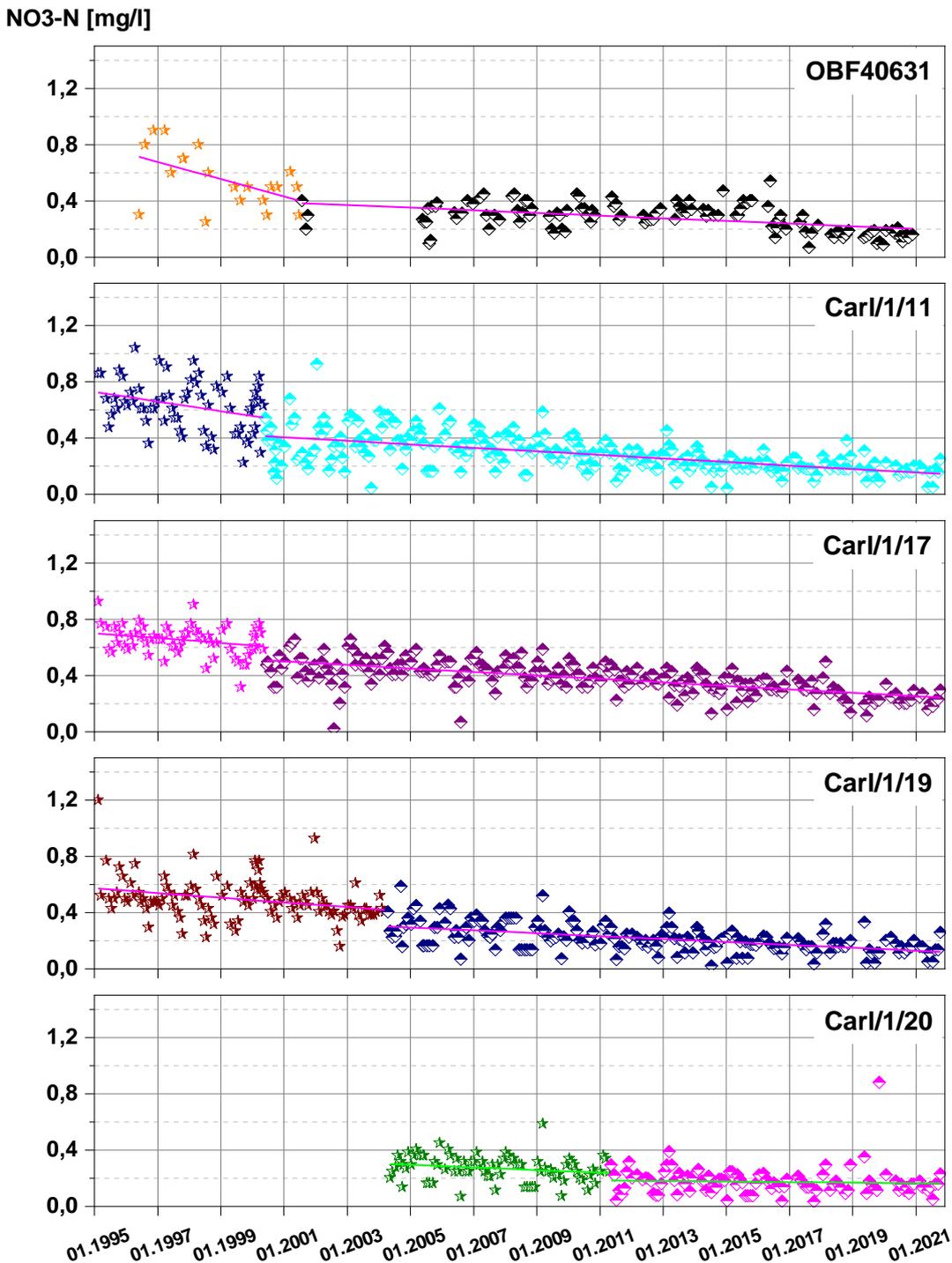


Abbildung 22: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für Carl-Messstellen und OBF40631 mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

An FG1 konnte ebenfalls ein signifikant, linear fallender Trend über den Gesamtzeitraum verzeichnet werden. An FG2, FG5 und FG9 wurden Bruchpunkte im Mai 2016 festgestellt (vgl. Abbildung 23 und Tabelle 12).

NO₃-N [mg/l]

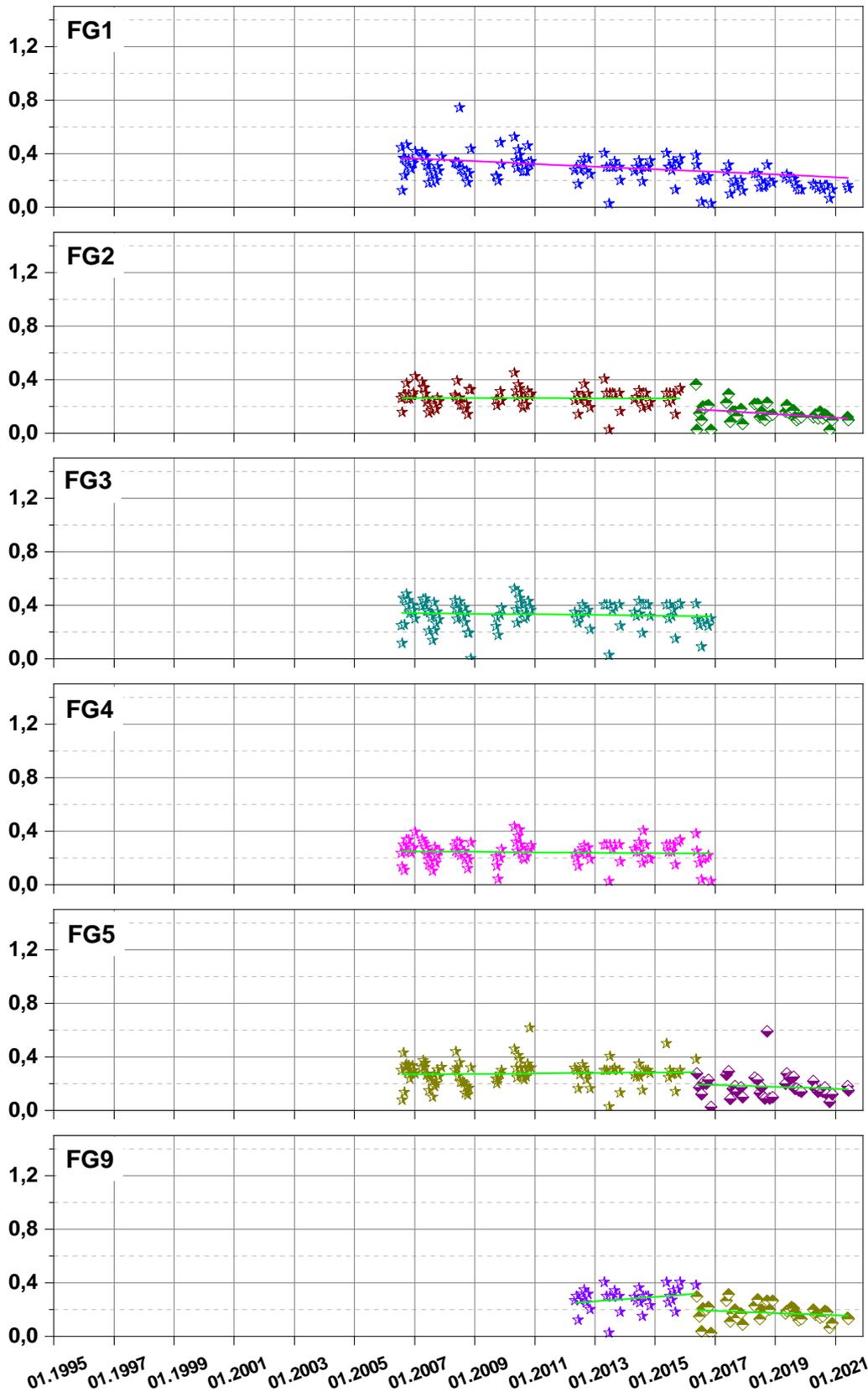


Abbildung 23: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für FG-Messstellen mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

In der Großen Säure konnten Bruchpunkte an P8 bis P10 im Jahr 2018 festgestellt werden (vgl. Tabelle 10). Im Gegensatz zur zeitlichen Entwicklung des Nitrats im Oberflächenwasser, wurden an P8, P9 und P10 bis zu den Bruchpunkten signifikant linear steigende Konzentrationen festgestellt. Nach den Bruchpunkten unterscheiden sich die Steigungen der linearen Trendlinien an diesen Messstellen nicht signifikant von Null.

An P6 liegt ein signifikant linear fallender Trend über den gesamten Messzeitraum vor (vgl. Abbildung 24).

NO₃-N [mg/l]

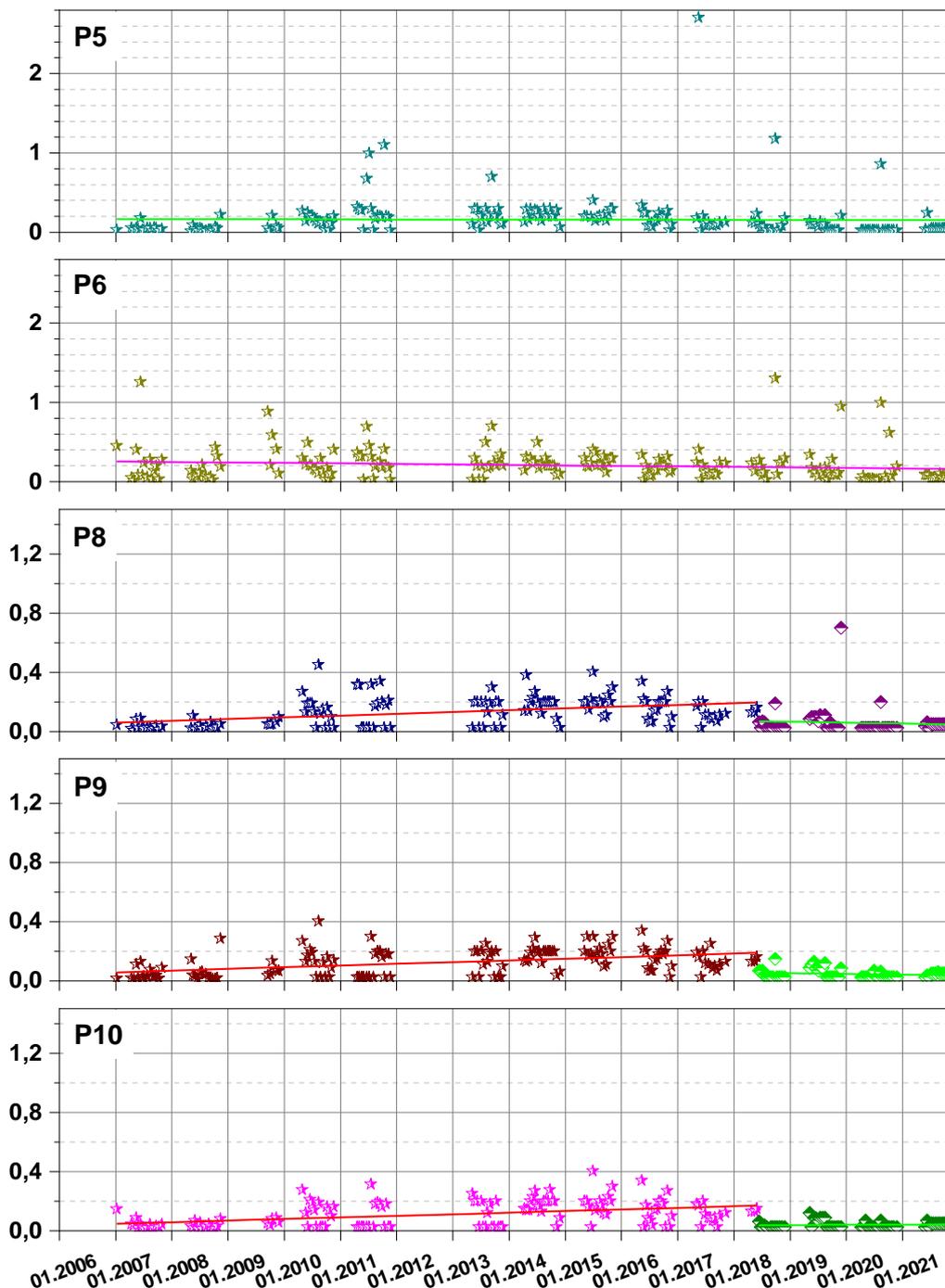


Abbildung 24: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für die Große Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Im Rostmoor sind die Trends für Nitrat im Allgemeinen fallend. An P12 bis P14 liegt im Sommer/Herbst 2018 je ein Bruchpunkt zeitlich kurz vor Umsetzung der Maßnahmen zur Wiedervernässung im Herbst 2018 vor (Abbildung 25 und Tabelle 10). An P11 und P16 wurde ein Bruchpunkt im Jahr 2016 verzeichnet (vgl. Abbildung 25).

NO₃-N [mg/l]

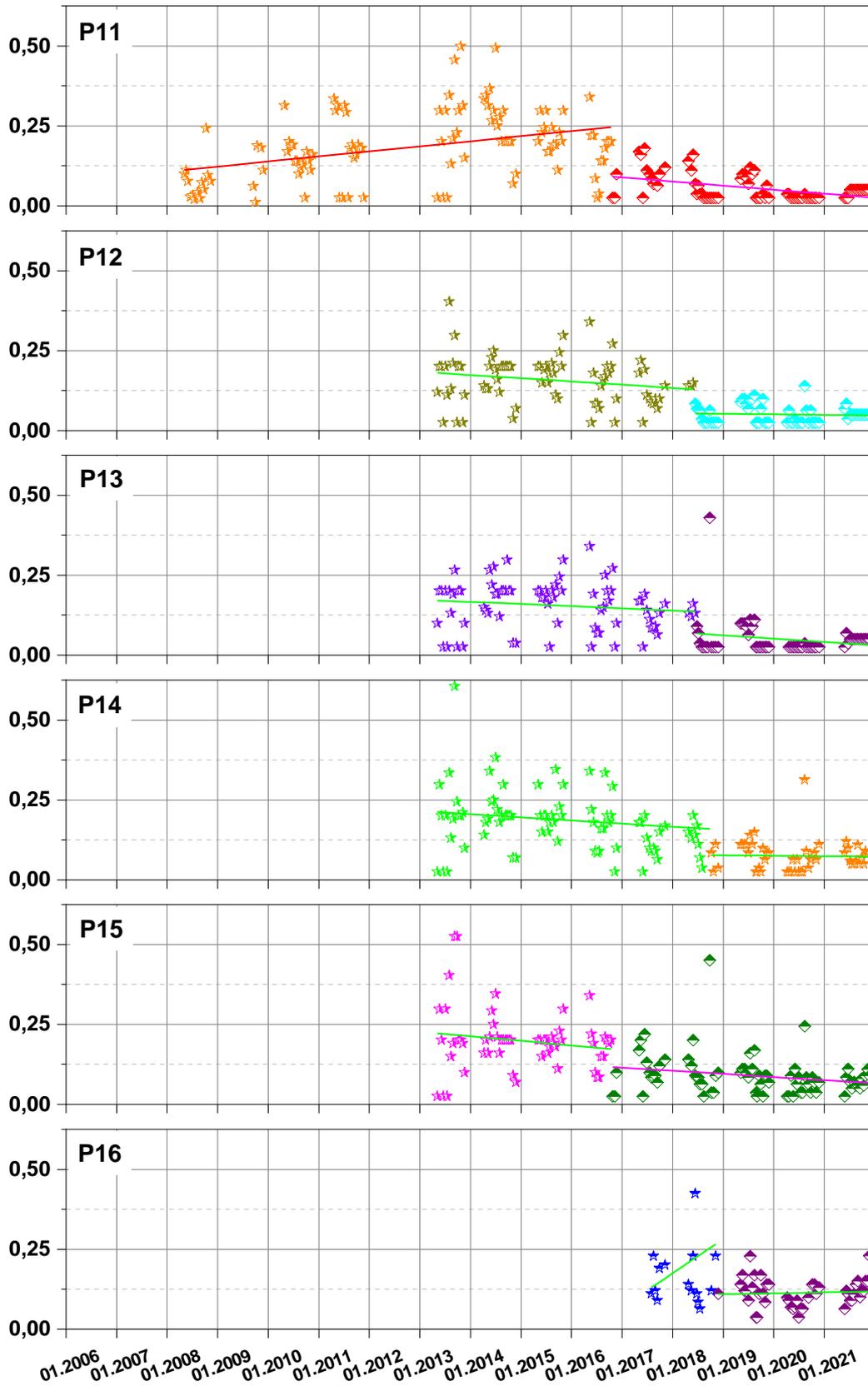


Abbildung 25: Ganglinien des Nitrat-Stickstoffs für das Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Insgesamt kann auf Basis der Trend- und Bruchpunktanalysen für Nitrat im Oberflächen- und im Moorwasser kein Zusammenhang zwischen Nitrat-Konzentrationen und Wiedervernässungsmaßnahmen festgestellt werden.

5.2.8 Ammonium

Alle Oberflächenwasser-Messstellen weisen mit Ausnahme von Carl/1/017 und FG9 für NH₄-N signifikant fallende lineare Trends auf (nicht dargestellt, Ganglinien in Anhang A 1.1). Ende 2007 liegt an FG1 bis FG4 und Anfang 2008 an FG5 je ein Bruchpunkt der NH₄-N-Ganglinien vor (Tabelle 12). Nach 2007 wurden deutlich niedrigere NH₄-N Konzentrationen an den FG-Messstellen festgestellt (Ganglinien in Anhang A 1.1).

Ammonium weist in der Großen Säure an P6 und P8 Moorpegel signifikant fallende lineare Trends auf, während an P9 ein signifikant steigender linearer Trend zu sehen ist (Abbildung 26). Im Rostmoor weisen lediglich P15 und P16 sigifikante lineare Trends auf, die an beiden Moorpegeln sinkende NH₄-N-Konzentrationen zeigen (Abbildung 27).

NH₄-N [mg/l]

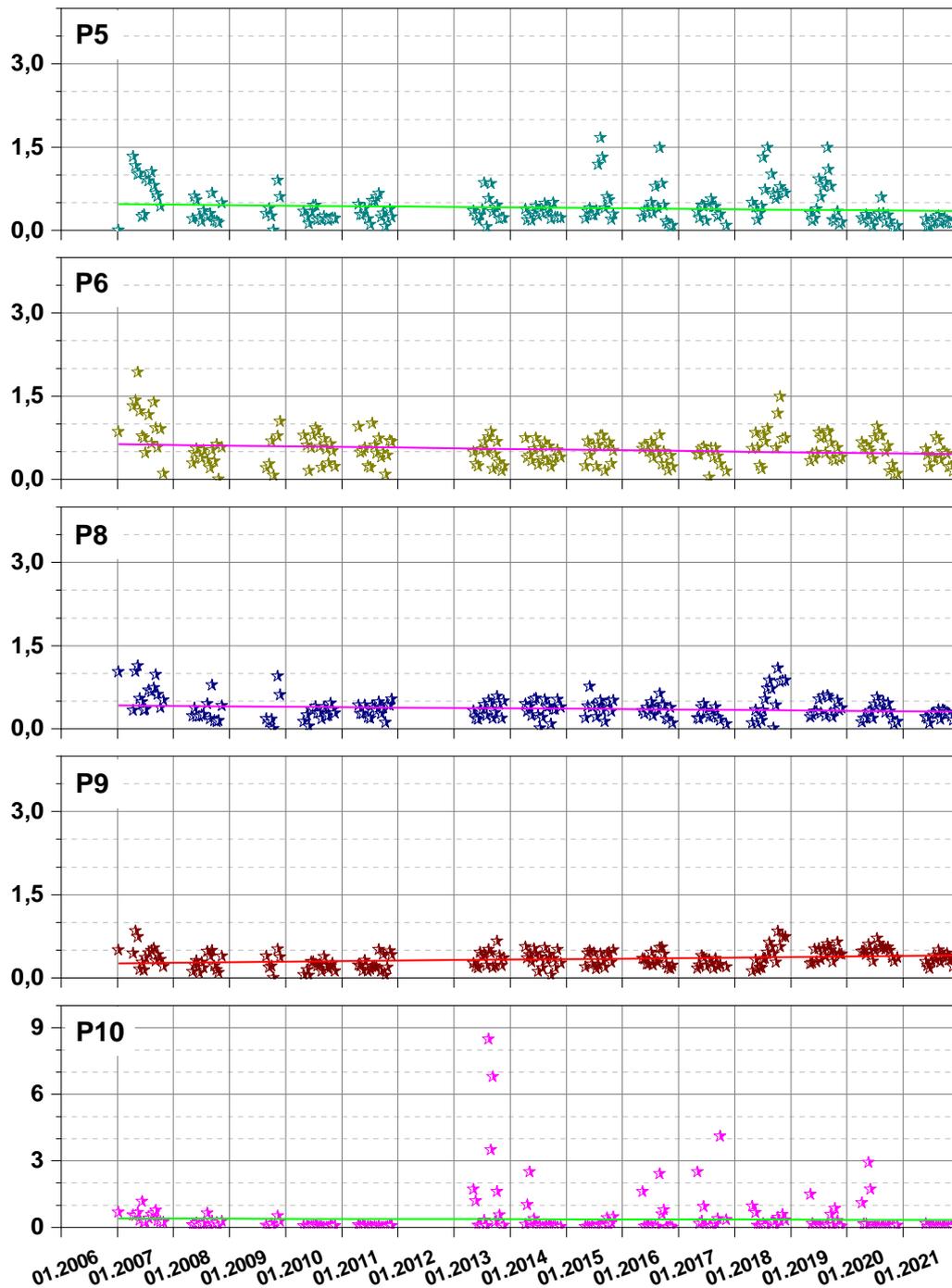


Abbildung 26: Ganglinien des Ammonium-Stickstoffs für die Große Säure mit linearen Trends

NH₄-N [mg/l]

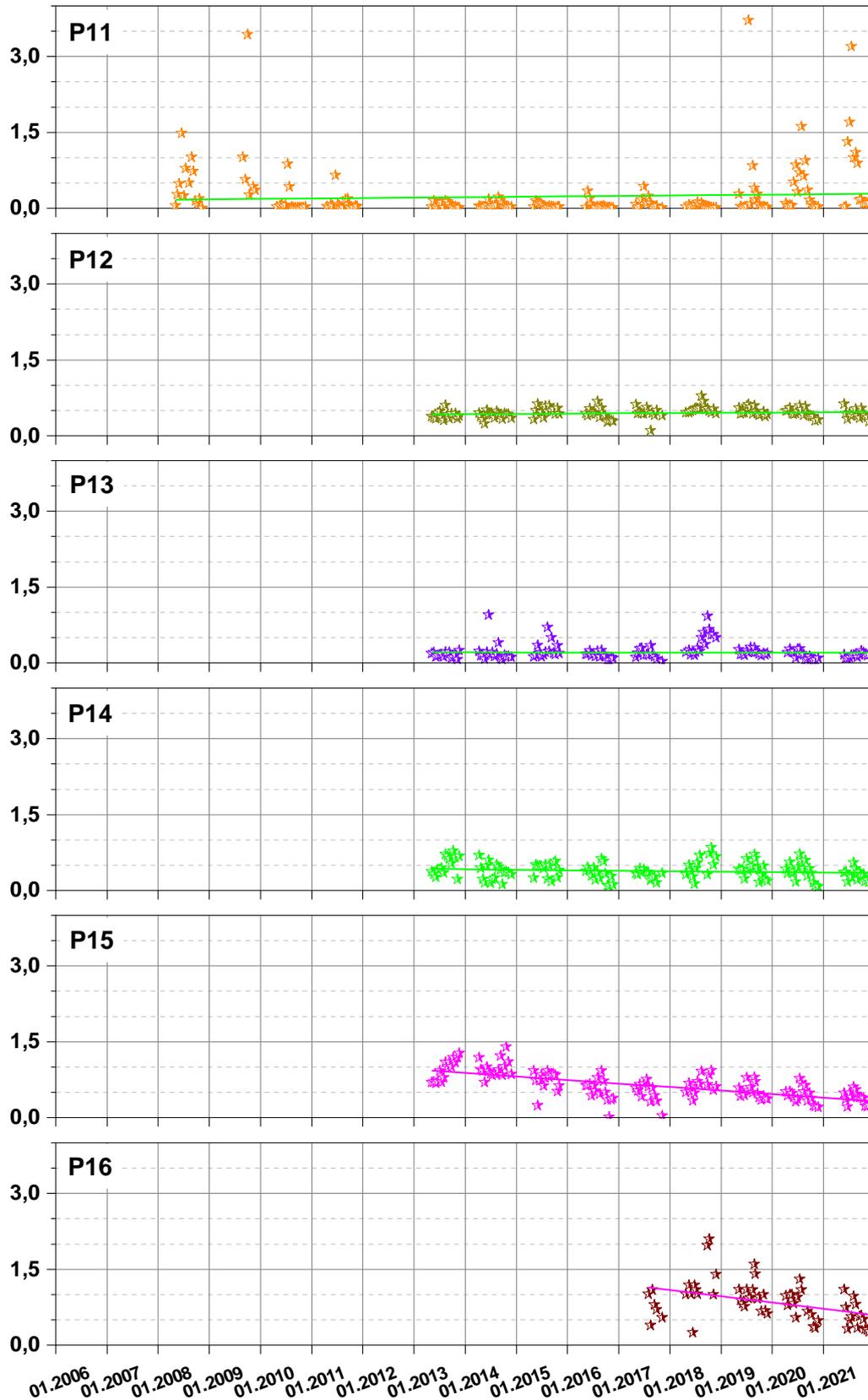


Abbildung 27: Ganglinien des Ammonium-Stickstoffs für das Rostmoor mit linearen Trends

Die Bruchpunkte der NH₄-Ganglinien im Moorwasser weisen nicht auf Zusammenhänge mit den Maßnahmen zur Wiedervernässung hin. Dies gilt analog für die Bruchpunkte an den Oberflächenwassermessstellen und insgesamt für die zeitliche Entwicklung der NH₄-Konzentrationen im Oberflächen- und Moorwasser.

5.2.9 Sulfat

An allen Oberflächenwasser-Messstellen außer FG3 und FG9 weist Sulfat signifikant fallende lineare Trends über den Gesamtzeitraum auf (nicht dargestellt, Ganglinien im Anhang A 1.1).

In der Großen Säure konnte für Sulfat an P5, P6, P9 und P10 jeweils ein signifikanter Bruchpunkt nachgewiesen werden (Tabelle 10), der für P6 und P9 im Sommer 2011 in den Zeitraum der Umsetzung der Maßnahmen zur Wiederveränssung fällt. Für den Zeitraum ab dem jeweiligen Bruchpunkt wurde nur an P6 ein signifikant fallender linearer Trend festgestellt (Abbildung 28).

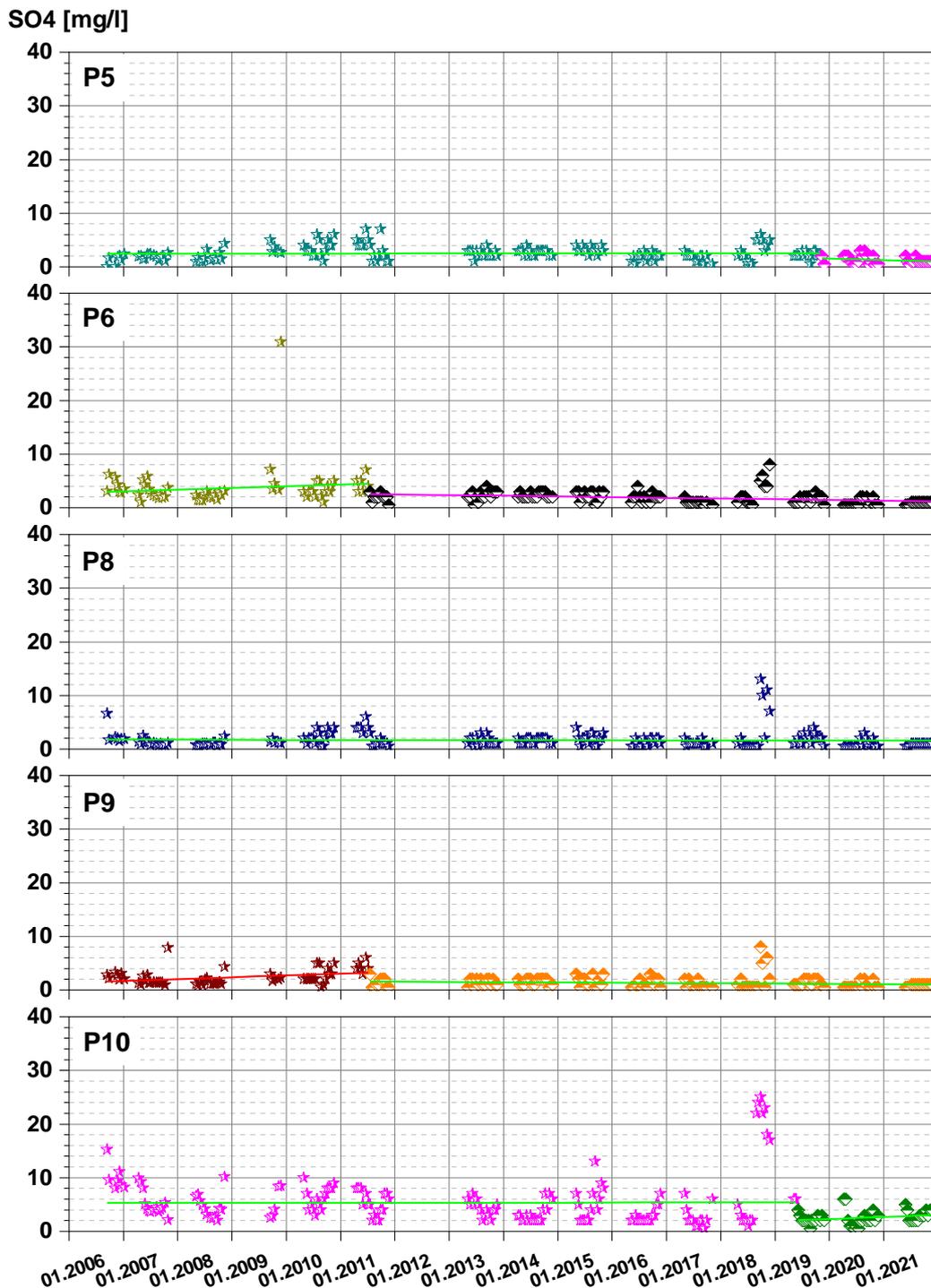


Abbildung 28: Ganglinien des Sulfats für die Große Säure mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

Im Rostmoor weisen die Sulfatganglinien aller Moorpegel einen signifikanten Bruchpunkt auf, davon an 5 von 6 Pegeln im Rostmoor im November 2019 (Abbildung 29 und Tabelle 10). Ebenfalls im November 2019 verzeichnen die Pegel P5 und P10 der Großen Säure einen Bruchpunkt für Sulfat (Abbildung 28 und Tabelle 10).

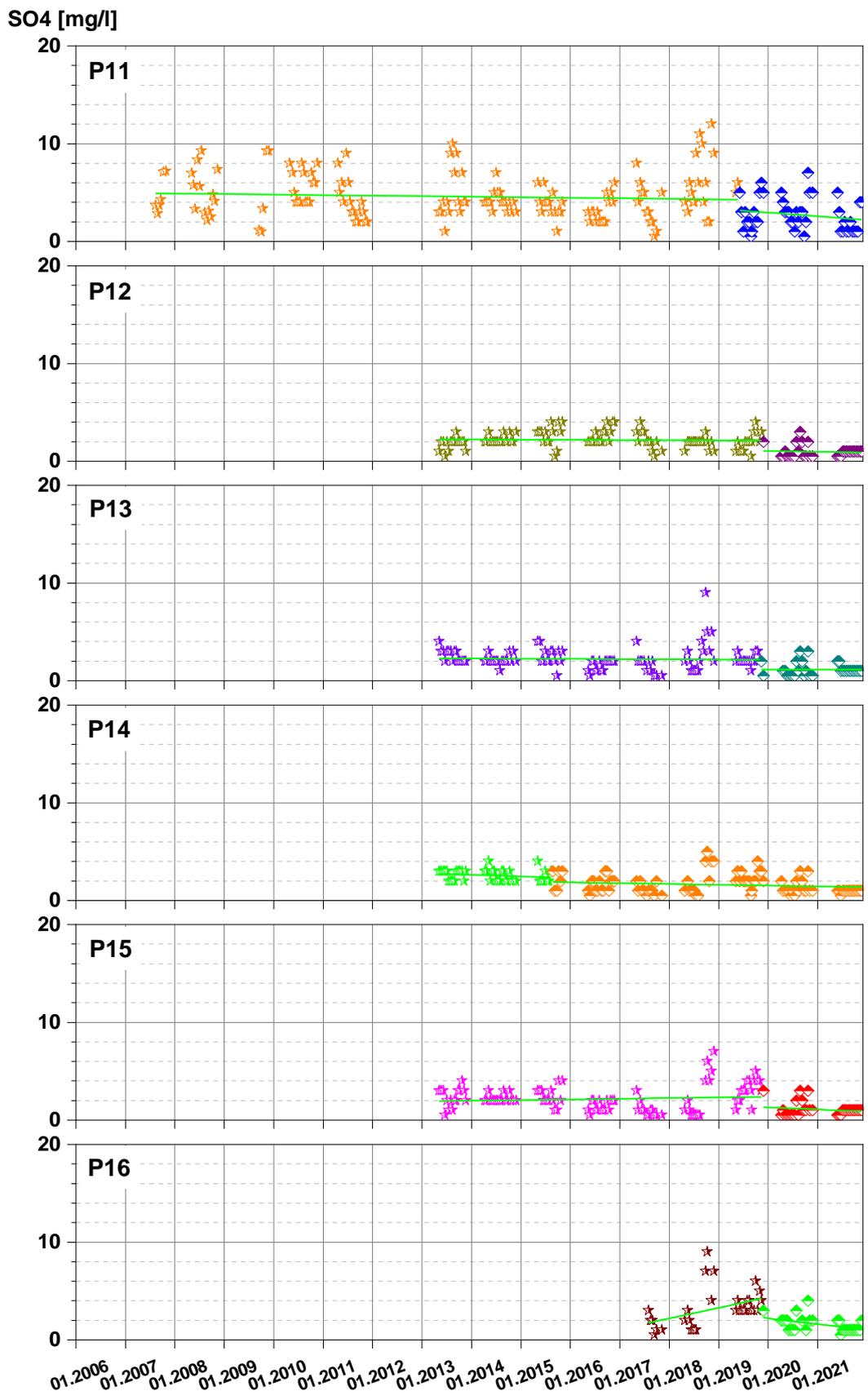


Abbildung 29: Ganglinien des Sulfats für das Rostmoor mit linearen Trends nach Bruchpunktanalyse

5.2.10 Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert

Mit Ausnahme der FG9 weisen alle Oberflächenwasser-Messstellen signifikant fallende lineare Trends der LF(25) auf (Ganglinien in Anhang A 1.1).

An P5, P8, P13, P15 und P16 können signifikant steigende lineare Trends der Leitfähigkeit nachgewiesen werden. Die restlichen Moorpegel weisen keine signifikanten linearen Trends der LF(25) auf.

Ganglinien des pH-Wertes sind in Anhang A 1.1 dargestellt. Im Oberflächenwasser zeigen sich an allen Zulauf-Messstellen zur TS Carlsfeld Tendenzen zu steigenden pH-Werten (sinkenden H_3O^+ -Konzentrationen). Diese Tendenzen sind mit Ausnahme der FG9 im gesamten Einzugsgebiet der Wilzsch zu beobachten.

In den Moorpegeln kann in der Großen Säure an P6, P9 und P10 ein signifikanter linearer Trend zu sinkenden H_3O^+ -Konzentrationen nachgewiesen werden. Im Rostmoor wird an P12 sowie außerhalb der betrachteten Torfkörper der beiden Moore an P11, ein signifikanter linearer Trend zu sinkenden H_3O^+ -Konzentrationen festgestellt. An P15 und P16 im Rostmoor steigen die H_3O^+ -Konzentrationen signifikant linear an.

5.2.11 Zwischenfazit zu Trend- und Bruchpunktanalysen

Mit den Trend- und Bruchpunktanalysen konnten zeitliche Trends sowie Bruchpunkte der Zeitreihen verschiedener Parameter festgestellt werden. Diese Zeitreihenanalysen konnten insbesondere zeigen, dass

- die meteorologischen/klimatischen Bedingungen sich im betrachteten Zeitraum verändert haben, wobei der Anstieg der Lufttemperatur mit Bruchpunkt 2013 und die Trockenperiode 2018 bis 2020 hervorzuheben sind,
- keine Effekte der Maßnahmen zur Wiedervernässung auf den Wasserstand/Flurabstand in den Moorpegeln nachweisbar sind, wobei in der Großen Säure möglicherweise der Zeitraum der Messungen vor Maßnahmenumsetzung zu kurz war und der Einfluss der hydrometeorologischen Randbedingungen in der Trockenperiode 2018 bis 2020 so groß war, dass er mögliche Wirkungen der Maßnahmen überlagert hat,
- die DOC-Konzentrationen in den Moorpegeln in der Großen Säure nach 2013 höher sind als vor 2013, ein direkter zeitlicher Zusammenhang zu den Maßnahmen zur Wiedervernässung nicht erkennbar ist,
- die DOC-Konzentrationen in drei der fünf Moorpegeln im Rostmoor nach 2018 niedriger sind als vor 2018, teils jedoch ein steigender Trend ab 2018 erkennbar ist,
- die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser für den Zeitraum 1995 bis 2021 an den drei Zuflussmessstellen der LTV zur TS Carlsfeld signifikant linear steigende Trends sowie Bruchpunkte aufweisen, wobei im Zeitraum nach dem jeweiligen Bruchpunkt kein signifikant steigender (linearer) Trend festzustellen ist,
- die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser an allen anderen Messstellen keine signifikanten (lineare) Trends im jeweiligen Messzeitraum aufweisen,
- Aluminium, Nitrat, Sulfat, LF(25) und die H_3O^+ -Konzentration im Oberflächenwasser an den drei Zulaufmessstellen der LTV sinkende Trends aufweisen, die an den FG-Messstellen nur zum Teil bestätigt werden können,

Die Zeitreihenanalysen zeigen Entwicklungen der Hydrochemie auf und tragen damit zur Prozessidentifikation bei.

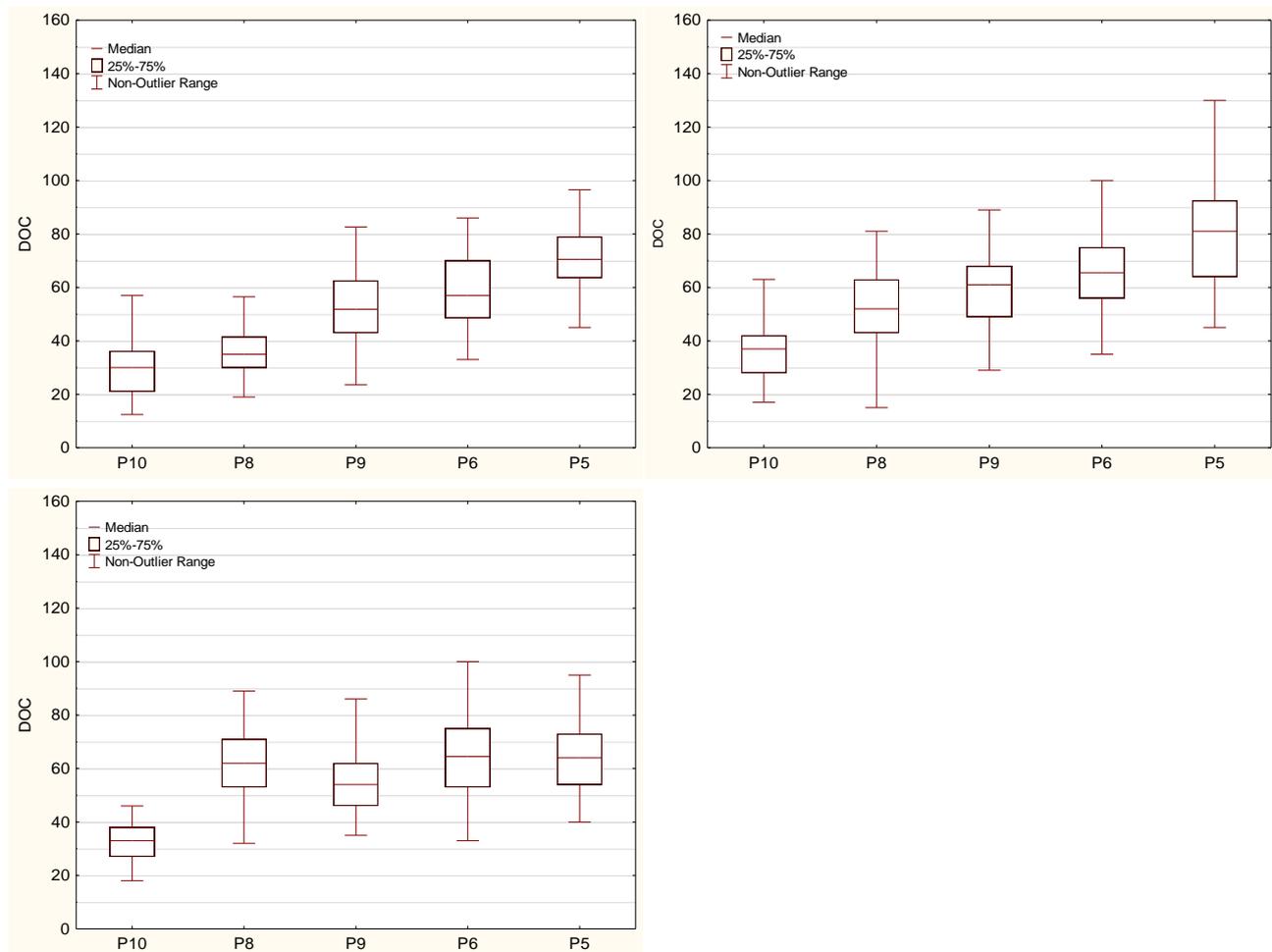
Insgesamt können auf Basis der Zeitreihenanalysen keine eindeutigen Effekte der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf die Konzentrationen der betrachteten Parameter nachgewiesen werden. Zwar treten zum Teil Entwicklungen in zeitlichem Zusammenhang mit den Wiedervernässungsmaßnahmen auf, jedoch sind diese gleichzeitig auch außerhalb des potenziellen Wirkungsbereichs dieser Maßnahmen zu beobachten.

5.3 Räumliche Verteilung des DOC

5.3.1 Räumliche Verteilung des DOC im Moorwasser

Die Betrachtung der räumlichen Verteilung des DOC wurde getrennt für die Große Säure, das Rostmoor, die Wilzsch und die Kranzsch sowie differenziert für die Zeiträume 2007-2012, 2013-2018 und 2019-2021 vorgenommen. Die Festlegung der genannten Zeiträume erfolgte im Ergebnis der Bruchpunktanalysen.

Abbildung 30 stellt Box-Whisker-Plots des DOC in den Moorpegeln der Großen Säure dar. Die Messtellen sind in der Abbildung grob in der anzunehmenden Fließrichtung, bzw. nach Lage im Einzugsgebiet angeordnet. Die Box-Whisker-Plots enthalten nachfolgend jeweils Minimum, Maximum, 25- und 75-Perzentil sowie den Median.



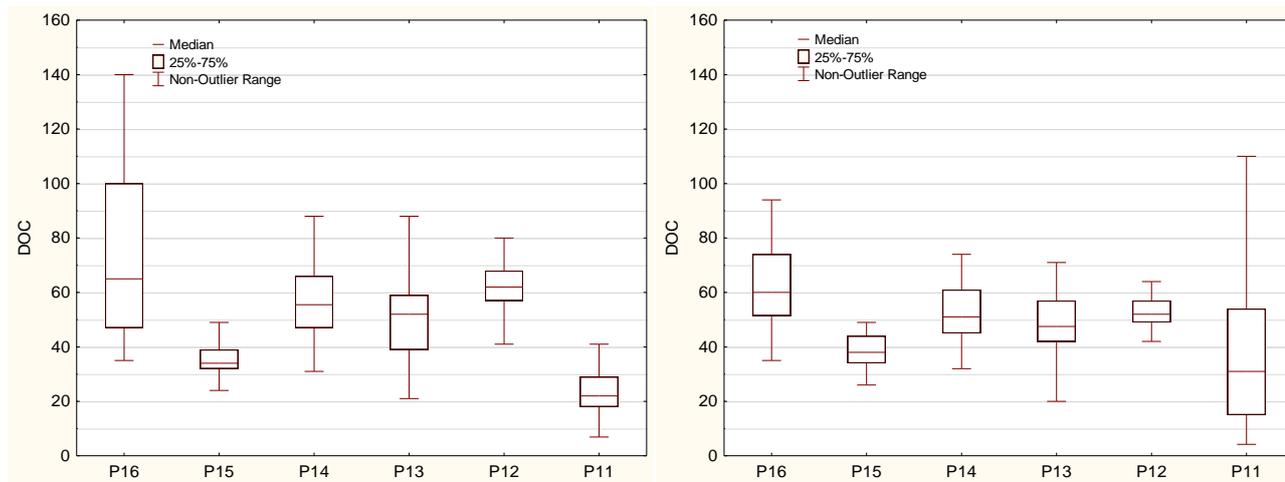
oben links: 2007-2012, oben rechts: 2013-2018, unten links: 2019-2021

Abbildung 30: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in den Moorpegeln der Großen Säure

Für die Zeiträume 2007-2012 und 2013-2018 ist ein ähnlicher Anstieg des DOC von P10 bis P5 festzustellen. Nach 2018 weisen P5 bis P9 vergleichbare DOC-Konzentrationen auf, die an P8 gegenüber den beiden früheren Zeiträumen angestiegen und an P5 gefallen sind.

Die niedrigsten DOC-Konzentrationen im Moorwasser der Großen Säure werden damit im Funktionsbereich 5 - "Aufwachsendes Moor" gefolgt von Funktionsbereich 3 - "Moor mit > 2 m Torfmächtigkeit, Latschen und wenig Fichten", Funktionsbereich 2 - "Zentralbereich der Großen Säure mit mehr als 1 m bis maximal 4 m mächtiges Moor, durchzogen von oft tiefen Gräben (bis 2,5 m tief), Fichtenforst" bis zu den höchsten DOC-Konzentrationen im Moorwasser der Großen Säure in Funktionsbereich 4 - "Ausgetorfte Moor in natürlicher Regeneration" festgestellt.

Abbildung 31 zeigt Box-Whisker-Plots für den DOC im Rostmoor und P11, der außerhalb des Rostmoores und durch die Wilzsch vom Rostmoor getrennt ist. Die Messtellen sind in der anzunehmenden Fließrichtung bzw. nach Lage im Einzugsgebiet angeordnet. Für 2013-2018 ist zu beachten, dass P16 Daten erst ab August 2016 aufweist.



links: 2013-2018, rechts: 2019-2021

Abbildung 31: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in den Moorpegeln im Rostmoor

Für beide Zeiträume ist festzustellen, dass P16 die höchsten DOC-Konzentrationen aufweist, von P15 nach P14 die DOC-Konzentrationen ansteigen und an P14, P13 und P12 auf einem vergleichbaren Niveau liegen. An P11 werden insgesamt die niedrigsten DOC-Konzentrationen gemessen, wobei im Zeitraum 2019-2021 an P11 eine erheblich größere Varianz der Werte vorliegt und P11 die maximale DOC-Konzentration der dem Rostmoor zugeordneten Moorpegel aufweist.

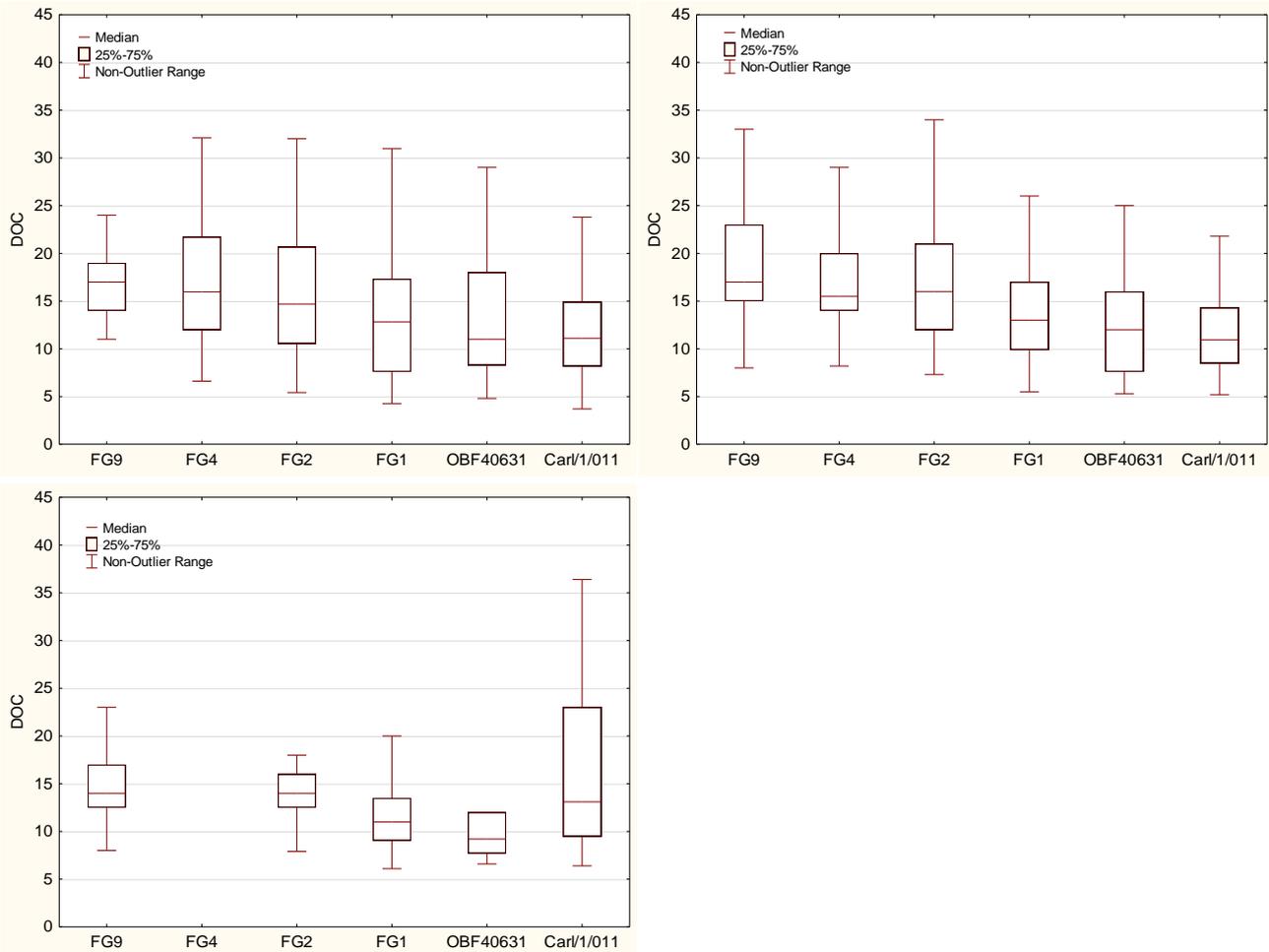
Insgesamt zeigt sich in der Großen Säure eine Zunahme der DOC-Konzentrationen im Moorwasser von den hangaufwärts gelegenen Moorpegeln zum weiter hangabwärts gelegenen und somit mit zunehmender Größe des jeweiligen Einzugsgebietes der Pegel. Dieser Befund bestätigt sich im Rostmoor nicht.

5.3.2 Räumliche Verteilung des DOC im Oberflächenwasser

In Abbildung 32 sind Box-Whisker-Plots des DOC im Oberflächenwasser der Wilzsch dargestellt. Die Messtellen sind in Fließrichtung (flussabwärts) angeordnet. Zu beachten ist, dass für FG9 im Zeitraum 2007-2012 Daten erst ab Mai 2012 vorliegen und im Zeitraum 2013-2018 an FG4 Daten nur bis November 2016 erhoben wurden.

In der Wilzsch zeigen die DOC-Konzentrationen für 2007-2012 und 2013-2018 eine mit zunehmender Fließstrecke, also zunehmender Einzugsgebietsgröße abnehmende Tendenz. Die DOC-Konzentrationen an den Messstellen FG1, OBF40361 und Carl/1/011 sind über diese beiden Zeiträume vergleichbar. Nach 2018 sind die DOC-Konzentrationen an FG9 und FG1 sowie OBF40631 tendenziell niedriger als bis 2018, während Carl/1/011 eine auffällig hohe Varianz mit zum Teil deutlich gestiegenen Werten der dargestellten Perzentile und des Maximums aufweist.

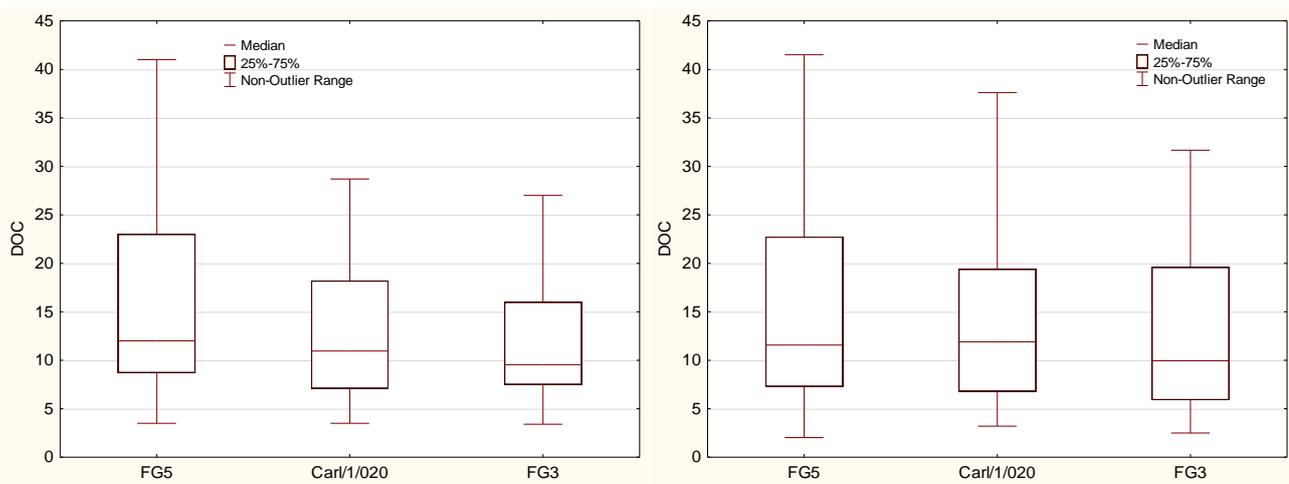
Abbildung 33 enthält Box-Whisker-Plots des DOC im Oberflächenwasser der Kranzsch. Die Messstellen sind in Fließrichtung angeordnet. Im Zeitraum 2013-2018 ist zu beachten, dass an FG3 nur Daten bis November 2016 erhoben wurden. Aus diesem Grund wird auch auf die Darstellung des Plots für den Zeitraum 2019-2021 verzichtet.



oben links: 2007-2012, oben rechts: 2013-2018, unten links: 2019-2021

Abbildung 32: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in der Wilzsch

An den ortsgleichen OWMST FG5 und Carl/1/020 treten über beide Zeiträume in etwa gleiche Medianwerte der DOC-Konzentrationen auf, wobei an FG5 häufiger hohe Konzentrationen (75-Perzentil, Maximum) gemessen wurden. An FG3 sind die DOC-Konzentrationen in beiden Zeiträumen tendenziell niedriger als an FG5 und Carl/1/020.



links: 2007-2012, rechts: 2013-2018

Abbildung 33: Box-Whisker-Plots verschiedener Zeiträume für DOC in der Kranzsch

5.3.3 Zwischenfazit zur räumlichen Verteilung des DOC

Insgesamt zeigt sich eine tendenzielle Abnahme der DOC-Konzentrationen mit der Fließstrecke sowohl der Wilzsch als auch der Kranzsch. Eine Zunahme der DOC-Konzentrationen vom An- zum Abstrom potenzieller Eintragsbereiche von DOC aus den Moorkörpern in die Oberflächengewässer ist nicht zu erkennen.

5.4 Korrelations- und Regressionsanalysen

5.4.1 Messstellenbezogene Korrelationsanalysen

Ergebnisse der messstellenbezogenen Korrelationsanalyse aller Parameter an allen Messstellen enthält Anhang A 2.2.

Tabelle 14: Korrelationskoeffizienten zur Korrelation des Flurabstandes in den Moorpegeln mit ausgewählten Parametern

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
DOC	-0,04	-0,51	-0,07	-0,16	0,16	0,14	-0,14	-0,25	-0,43	-0,43	-0,43
DWD NS 14d	-0,21	-0,45	-0,46	-0,45	-0,29	-0,22	-0,14	-0,47	-0,41	-0,47	-0,37
DWD NS 7d	-0,27	-0,42	-0,46	-0,44	-0,27	-0,25	-0,22	-0,46	-0,35	-0,36	-0,28
TS NS 14d	-0,37	-0,25	-0,31	-0,28	-0,17	-0,23	0,03	-0,30	-0,17	-0,22	-0,15
TS NS 7d	-0,34	-0,29	-0,36	-0,33	-0,23	-0,22	-0,19	-0,33	-0,18	-0,21	-0,10
DWD TL 7d	0,15	0,46	0,39	0,35	0,17	0,21	0,20	0,19	0,42	0,43	0,41
ETP 7d	0,12	0,51	0,46	0,43	0,16	0,14	0,25	0,20	0,38	0,38	0,37
LF(25)	-0,08	-0,52	-0,11	-0,25	0,20	0,06	-0,18	-0,35	-0,48	-0,24	-0,46
NH ₄ -N	0,22	0,45	0,43	0,57	0,03	0,03	0,23	0,38	0,68	0,32	0,69
NO ₂ -N	-0,05	-0,36	-0,14	-0,26	-0,09	0,16	0,05	-0,19	-0,35	-0,27	-0,41
O ₂ Sättig	0,21	-0,20	-0,47	-0,46	0,09	-0,29	0,10	-0,21	-0,51	-0,33	-0,24
SAK254	-0,02	-0,61	-0,17	-0,33	0,08	0,15	-0,09	-0,34	-0,53	-0,49	-0,59
TC	-0,05	-0,55	-0,08	-0,18	0,09	0,08	-0,20	-0,23	-0,46	-0,42	-0,46
TIC	0,12	-0,11	0,40	0,54	0,29	0,31	-0,08	0,26	0,18	0,08	-0,36
TOC	-0,06	-0,55	-0,14	-0,25	0,07	0,03	-0,19	-0,25	-0,46	-0,44	-0,46
TON	-0,07	-0,44	-0,15	-0,38	0,01	0,01	-0,28	-0,22	-0,42	-0,27	-0,30
TW	0,15	0,34	0,34	0,26	0,18	0,16	0,17	0,20	0,35	0,37	0,55

fett: signifikante Korrelation (95%-Konfidenz), blau hinterlegt; negative Korrelation, grün hinterlegt positive Korrelation

NS xd x-Tagessumme des Niederschlags

TS NS Niederschlag an der Station TS Carlsfeld

TL 7d 7-Tages-Mittelwert der Lufttemperatur (aus Tagesmittelwerten)

ETP 7d 7-Tagessumme der grob abgeschätzten potentiellen Evapotranspiration

Tabelle 14 enthält Korrelationskoeffizienten verschiedener Parameter zum (Grundwasser-) Flurabstand (FA) in den Moorpegeln. Statistisch signifikante Korrelationen (auf dem 95%-Signifikanzniveau) sind durch Fettdruck hervorgehoben. Positive Korrelationskoeffizienten sind grün hinterlegt und zeigen an, dass bei steigendem Flurabstand die Parameterwerte ebenfalls steigen. Negative Korrelationskoeffizienten sind blau hinterlegt. Bei negativer Korrelation sinkt der Parameterwert bei steigendem Flurabstand. Die Farbgebung gilt für die nachfolgenden Tabellen dieses Kapitels analog. Die Auswahl der jeweils in den Tabellen berücksichtigten Parameter erfolgt auf Basis der Häufigkeit signifikanter Korrelationen.

Korrelationskoeffizienten nehmen Werte zwischen -1 und +1 an. Je größer der Betrag des Korrelationskoeffizienten, desto stärker ist die Korrelation. Die statistische Signifikanz hängt dabei stark vom Stichprobenumfang ab und wird für die Hypothese getestet, ob der Korrelationskoeffizient von Null verschieden ist.

Der Grundwasserflurabstand korreliert an allen Moorpegeln signifikant negativ mit der 7-Tagessumme des Niederschlags an der DWD-Station. Zu den Niederschlagssummen über 14 Tage korreliert der FA signifikant negativ an allen Moorpegeln mit Ausnahme von P12. Für die weiteren Auswertungen wird daher die 7-Tagessumme des Niederschlags an der DWD-Station gegenüber den anderen Niederschlagsparametern bevorzugt.

Der Flurabstand korreliert häufig signifikant negativ mit den Parametern DOC, LF(25), NO₂-N, SAK254, TC, TOC und TON. Bei sinkenden Flurabständen treten damit eher höhere DOC-, TC-, TOC-, TON- und NO₂-N-Konzentrationen und höhere SAK254- und LF(25)-Werte auf.

Auffällig ist, dass der Flurabstand an P10 als naturnaher Standort und P11 als Auenstandort außerhalb der Torfkörper insbesondere mit den Parametern DOC, LF25, SAK254, TC und TOC positiv korreliert, während an den anderen Moorpegeln negative Korrelationen zwischen FA und diesen Parametern vorliegen.

Signifikant positiv korreliert der Flurabstand häufig mit den Parametern TL (7-Tagesmittel an der DWD Station), ETP, NH₄-N und TW.

Korrelationskoeffizienten verschiedener Parameter zum DOC in den Moorpegeln sind in Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 15: Korrelationskoeffizienten zur Korrelation des DOC mit ausgewählten Parametern – Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Al	0,47	0,62	0,58	0,25	0,23	0,92	0,45	0,78	0,76	0,66	0,86
FA	-0,04	-0,51	-0,07	-0,16	0,16	0,14	-0,14	-0,25	-0,43	-0,43	-0,43
Fe	0,63	0,41	0,63	0,66	0,17	0,86	0,35	0,44	-0,15	0,02	0,33
LF(25)	0,06	0,52	0,63	0,73	0,00	0,30	0,46	0,65	0,54	0,31	0,43
NH ₄ -N	0,23	-0,47	-0,18	-0,09	0,62	0,48	0,04	-0,19	-0,58	-0,30	-0,51
NO ₂ -N	0,56	0,47	0,18	0,15	0,38	0,73	0,00	0,63	0,60	0,44	0,77
H ₃ O ⁺	0,03	0,14	0,22	0,28	-0,13	-0,08	0,11	0,38	0,29	0,26	0,40
SAK254	0,64	0,82	0,92	0,90	0,68	0,93	0,80	0,95	0,92	0,84	0,81
SAK436	0,61	0,70	0,24	0,61	0,82	0,44	0,35	0,78	0,78	0,62	0,82
TC	0,61	0,92	0,92	0,96	0,74	0,93	0,52	0,84	0,95	0,80	0,96
TNb	0,33	0,45	0,45	0,43	0,70	0,70	0,42	0,49	0,65	0,08	0,80
TOC	0,59	0,93	0,92	0,97	0,72	0,93	0,50	0,87	0,95	0,81	0,96
TON	0,40	0,64	0,36	0,48	0,44	0,73	0,37	0,55	0,80	0,35	0,92
TW	0,40	0,09	0,33	0,34	0,38	0,54	0,46	0,10	0,26	0,11	0,05

Legende: sh. Tabelle 14 sowie: FA: Flurabstand; H₃O⁺: aus pH(F); TW: Wassertemperatur

DOC im Moorwasser korreliert an allen Moorpegeln signifikant positiv mit den Parametern SAK254, SAK463, TC, TOC und TON sowie Aluminium. Hier ist festzustellen, dass die Parameter SAK254, SAK463, TC, TOC und TON weitgehend durch den gelösten organischen Kohlenstoff dominiert werden. Häufig mit dem DOC signifikant positiv korreliert sind die Parameter Fe, LF(25), NO₂-N, H₃O⁺, TNb und TW.

In Tabelle 16 sind die Korrelationskoeffizienten verschiedener Parameter zur LF(25) im Moorwasser enthalten.

Die elektrische Leitfähigkeit als Maß der gelösten Ionen korreliert häufig signifikant positiv mit den Parametern Al, SO₄, NS (7d- und 14d-Summer der Station TS Carlsfeld), DOC, SAK254, TC, TNb, TOC und TON. Dieser Befund

hinsichtlich der organischen Substanzen ist vor dem Hintergrund der Ergebnisse für DOC plausibel. Häufig treten signifikante negative Korrelationen auf zwischen LF(25) und der ETP (7d-Summe), dem FA, dem TIC und der TL.

Tabelle 16: Korrelationskoeffizienten zur Korrelation der LF(25) mit ausgewählten Parametern – Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
AI	0,19	0,53	0,41	0,32	-0,09	0,30	0,08	0,59	0,50	0,38	0,57
DOC	0,06	0,52	0,63	0,73	0,00	0,30	0,46	0,65	0,54	0,31	0,43
TS NS 14d	0,23	0,22	0,31	0,23	-0,04	0,28	0,24	0,24	0,25	0,22	-0,07
TS NS 7d	0,14	0,19	0,25	0,20	0,01	0,26	0,23	0,20	0,29	0,16	-0,07
DWD TL 7d	-0,09	-0,32	0,01	0,04	-0,22	0,22	0,01	-0,33	-0,44	-0,29	-0,53
ETP_7d	-0,19	-0,41	-0,09	-0,16	-0,26	0,17	-0,14	-0,44	-0,51	-0,33	-0,62
FA	-0,08	-0,52	-0,11	-0,25	0,20	0,06	-0,18	-0,35	-0,48	-0,24	-0,46
Fe	-0,10	0,25	0,44	0,60	-0,14	0,20	0,27	0,02	-0,55	-0,26	-0,28
NH ₄ -N	-0,21	-0,39	-0,01	-0,01	0,28	0,21	-0,13	-0,04	-0,60	-0,45	-0,51
NO ₂ -N	0,14	0,29	0,25	0,22	-0,16	0,22	-0,09	0,47	0,37	0,44	0,43
SAK254	-0,04	0,54	0,56	0,74	-0,38	0,20	0,35	0,61	0,48	0,31	0,49
SO ₄	0,07	0,15	0,41	0,32	0,76	0,27	0,37	-0,13	0,05	0,28	0,01
TC	-0,12	0,53	0,59	0,74	0,19	0,30	0,27	0,48	0,57	0,28	0,44
TIC	-0,21	-0,16	-0,26	-0,15	0,06	0,27	0,00	-0,59	-0,38	-0,24	-0,10
TL	-0,28	-0,46	-0,18	-0,16	-0,29	0,14	-0,15	-0,43	-0,50	-0,45	-0,56
TNb	-0,23	0,40	0,31	0,29	0,28	0,20	0,24	0,21	0,41	-0,15	0,16
TOC	-0,09	0,55	0,61	0,76	0,19	0,29	0,26	0,53	0,60	0,32	0,45
TON	-0,26	0,42	0,16	0,34	-0,16	0,25	0,30	0,28	0,58	0,20	0,33

Legende: sh. Tabelle 14 und Tabelle 15

Für das Oberflächenwasser sind Korrelationskoeffizienten verschiedener Parameter zur LF(25) in Tabelle 17 und zum DOC in Tabelle 18 dokumentiert.

Tabelle 17: Korrelationskoeffizienten zur Korrelation der LF(25) mit ausgewählten Parametern – OWMST

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
AI	0,14	0,51	0,53	0,49	0,67	0,72	0,53	0,54	0,63	0,62	0,47
DOC	0,22	0,31	0,32	0,34	0,02	-0,03	0,64	0,56	0,24	-0,19	-0,18
KS4,3	-0,17		-0,68	-0,66				-0,26			
NH ₄ -N	0,18	0,49	0,59	0,59	0,34	0,28	-0,31	0,24	0,52	0,08	0,32
NO ₂ -N	-0,05	0,41	0,45	0,34	0,47	0,49	0,31	0,30	0,29	0,36	0,49
H ₃ O ⁺	0,08	0,18	0,30	0,32	0,26	0,56	0,73	0,45	0,14	0,28	0,34
SAK254	0,11	0,37	0,36	0,34	-0,02	-0,11	0,54	0,49	0,31	-0,28	-0,31
SAK254-h						0,23					
TC	0,20	0,39	0,43	0,32	0,15			0,51	0,39		
TOC	0,19	0,41	0,44	0,33	0,07			0,49	0,38		

Legende: sh. Tabelle 14 und Tabelle 15

Die elektrische Leitfähigkeit des Oberflächenwassers korreliert häufig signifikant positiv mit den Parametern AI, NH₄-N, NO₂-N und H₃O⁺, für DOC an 7 von 11 Messstellen, wobei an den Messstellen außerhalb des Wilzsch-

Einzugsgebietes (Carl/1/017 und Carl/1/019) signifikant negative Korrelationen für DOC zu LF(25) auftreten (Tabelle 17). Ähnlich wie beim DOC stellt sich die Situation für den SAK254 dar und für TC und TOC, sofern diese untersucht werden. Häufige signifikant positive Korrelationen mit Al und NO₂-N wurden auch für die Moorpegel ermittelt (Tabelle 16), während im Moorwasser beispielsweise für NH₄-N an 5 Messstellen signifikant negative Korrelationen festgestellt wurden.

Tabelle 18: Korrelationskoeffizienten zur Korrelation des DOC mit ausgewählten Parametern – OWMST

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Al	0,88	0,41	0,47	0,47	0,53	0,21	0,67	0,45	0,45	0,38	0,46
Ca	-0,29	-0,35	-0,30	-0,08	-0,42	-0,40	-0,60	-0,33	-0,32	-0,37	-0,43
DWD NS 14d	0,57	0,57	0,56	0,54	0,44	0,43	0,42	0,49	0,49	0,41	0,46
DWD NS 7d	0,67	0,66	0,62	0,60	0,51	0,52	0,64	0,60	0,62	0,52	0,61
TS NS 14d	0,39	0,61	0,40	0,39	0,32	0,41	0,31	0,27	0,55	0,33	0,47
TS NS 7d	0,40	0,85	0,43	0,42	0,59	0,49	0,43	0,34	0,81	0,40	0,53
ETP 7d	-0,23	-0,26	-0,28	-0,31	-0,17	-0,03	-0,09	-0,36	-0,34	-0,07	-0,02
Fe	0,66	0,59	0,59	0,73	0,76	0,84	0,27	0,30	0,75	0,34	0,71
K	-0,52	-0,48	-0,12	-0,14	-0,61	-0,23	-0,49	-0,62	-0,22	-0,51	-0,62
LF(25)	0,22	0,31	0,32	0,34	0,02	-0,03	0,64	0,56	0,24	-0,19	-0,18
Na	-0,52	-0,40	-0,39	-0,39	-0,60	-0,39	-0,72	-0,71	-0,57	-0,44	-0,55
NO ₃ -N	-0,38	-0,58	-0,25	-0,13	-0,42	-0,44	-0,28	-0,36	-0,69	-0,35	-0,44
oPO ₄ -P	0,44	0,28	0,31	0,17	0,31	0,50	0,22	0,26	-0,01	0,42	0,23
H ₃ O ⁺	0,13	0,30	0,29	0,27	0,28	0,45	0,79	0,58	0,33	0,51	0,53
SAK254	0,97	0,96	0,94	0,96	0,97	0,94	0,96	0,98	0,91	0,92	0,94
SAK254-h						0,87					
SAK436	0,90		0,89	0,93	0,92	0,94	0,96	0,94		0,87	0,94
SO ₄	-0,59	-0,73	-0,64	-0,71	-0,58	-0,55	-0,80	-0,63	-0,82	-0,53	-0,68
TC	0,95	0,97	0,98	0,93	0,98			0,99	0,98		
TNb	0,60	0,71	0,61	0,64	0,43			0,69	0,66		
TOC	0,96	0,99	0,98	0,95	0,99			1,00	0,99		
TON	0,77	0,95	0,83	0,78	0,64			0,90	0,93		

Legende: sh. Tabelle 14 und Tabelle 15

Im Oberflächenwasser korreliert der DOC an allen Messstellen signifikant positiv mit den Parametern NS (beide Stationen und Vorzeiträume), Al, Fe, H₃O⁺, SAK254, SAK 436 und - soweit untersucht - TC, TNb, TOC und TON und mit o-PO₄-P an 10 von 11 Messstellen (Tabelle 18). Im Vergleich zum Moorwasser treten hier die Parameter Niederschlag und ortho-Phosphat zusätzlich auf, während Nitrit im Oberflächenwasser entgegen dem Moorwasser nicht häufig mit dem DOC korreliert.

Signifikant negativ korreliert der DOC im Oberflächenwasser an allen Messstellen mit SO₄ und Na, an 10 von 11 Messstellen mit Ca und NO₃-N und häufig mit der ETP und K (Tabelle 18). Vergleichbar häufige signifikant negative Korrelationen sind im Moorwasser nicht festzustellen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass der Flurabstand mit den meteorologischen Parametern und der davon abhängigen Wassertemperatur schwach bis mittelstark korreliert. Außerdem korreliert der Flurabstand schwach bis mittelstark insbesondere mit Parametern, die verschiedene Kohlenstoff-Fractionen beschreiben. Der DOC korreliert stark mit Parametern, die verschiedene Kohlenstoff-Fractionen beschreiben, außerdem mit unterschiedlicher Stärke mit

gelöstem Aluminium und gelöstem Eisen. Im Oberflächenwasser treten schwache bis mittelstarke Zusammenhänge zwischen DOC und den meteorologischen Parametern auf. Zudem korreliert im Oberflächenwasser der DOC mit den Parametern K, Na, NO₃-N, PO₄-P und SO₄ häufig signifikant, in den Moorpegeln dagegen nur vereinzelt.

5.4.2 Parameterbezogene Korrelationsanalysen

Parameterbezogene Korrelationsanalysen wurden auf den Parameter DOC beschränkt. Die Analysen wurden getrennt für den DOC im Moorwasser und im Oberflächenwasser durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anhang A 2.3 dokumentiert. Darin sind der Korrelationskoeffizient, der Stichprobenumfang und das Signifikanzniveau angegeben.

Die Korrelationsanalyse für DOC in den Moorpegeln ergab signifikante positive lineare Korrelationen zwischen allen Moorpegeln der Großen Säure bei allerdings überwiegend eher niedrigen Korrelationskoeffizienten, also schwacher Korrelation (Anhang A 2.3). Den höchsten Korrelationskoeffizienten in der Großen Säure weist das Messstellenpaar P8-P9 mit R=0,656 bei einem Stichprobenumfang von 207 auf.

Im Rostmoor korrelierten die DOC-Konzentrationen von P11 mit keiner der anderen Moorpegel, während P12 bis P16 jeweils signifikant und zum Teil auch relativ stark positiv korrelieren (Anhang A 2.3).

Die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser der Wilzsch und der Kranzsch korrelieren zwischen den FG-Messstellen signifikant positiv. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen für den DOC im Oberflächenwasser sowohl für taggleiche Proben, als auch für halbmonatlich aggregierte Ergebnisse sind in Anhang A 2.3 dokumentiert. Durch die zeitliche Aggregation werden höhere Stichprobenumfänge in der Korrelationsanalysen mit den Messstellen der LTV und der OBF40631 erzielt. Für die FG-Messstellenpaare sind die Stichprobenumfänge der taggleichen Proben geringfügig größer. Mit der zeitlichen Aggregation sinken in der Regel die Korrelationskoeffizienten insbesondere für die Korrelationen zwischen den ortsgleichen Messstellen verschiedener Untersuchungsprogramme. Dieses Ergebnis belegt die eingeschränkte zeitliche Repräsentativität der turnusmäßigen Stichprobenuntersuchungen.

5.4.3 Lineare Regressionsanalysen für den DOC

Lineare Regressionsanalysen DOC - SAK254

Der DOC korreliert signifikant positiv mit dem SAK254 (Tabelle 15 und Tabelle 18).

Tabelle 19: Lineare Regression für DOC als Funktion des SAK254, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	86	123	124	140	316	183	123	85	294	297
Achsenabschnitt	0,1	0,4	1,3	0,1	0,2	1,0	0,7	0,0	0,9	1,0	1,1
Steigung	0,200	0,195	0,187	0,203	0,191	0,190	0,192	0,207	0,193	0,215	0,189
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

fett: signifikante Korrelation (95%-Konfidenz)

P-Wert: Wahrscheinlichkeit mit der die Nullhypothese, dass keine Korrelation vorliegt, anzunehmen ist

Tabelle 20: Lineare Regression für DOC als Funktion des SAK254, Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	207	204	194	194	206	194	136	135	133	134	61
Achsenabschnitt	22,1	12,2	4,5	-0,6	3,4	-1,4	8,9	-0,3	2,6	10,8	-4,1
Steigung	0,146	0,179	0,200	0,223	0,199	0,226	0,169	0,211	0,210	0,158	0,251
P-Wert	0,000										

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die Korrelationskoeffizienten sind jeweils hoch bis sehr hoch. Sowohl im Oberflächenwasser als auch im Moorwasser liegen signifikante lineare Regressionsbeziehungen vor, die im Oberflächenwasser einen relativ engen Wertebereich der Parameter der Regressionsgleichung aufweisen (Tabelle 19). Im Moorwasser ist dieser Wertebereich weniger eng (Tabelle 20).

In Abbildung 34 sind die linearen Regressionen für DOC über SAK254 für die Messstelle Carl/1/011 für die Laborwerte des SAK254 bzw. die online-Messung vor Ort (SAK254-h, Messwertet aggregiert zu Tageswerten) dargestellt. Wie bereits über die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 18 für die beiden SAK-Parameter deutlich wird, zeigen die Abbildungen, dass für die Vor-Ort-Messung des SAK254 eine etwas geringere Stärke der Korrelation zum DOC zu erwarten ist.

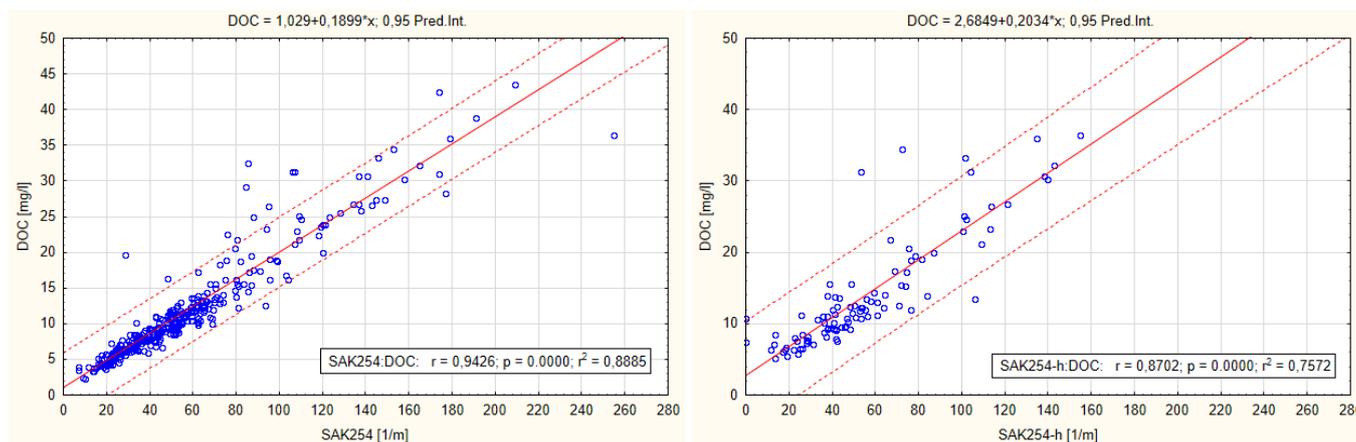


Abbildung 34: Lineare Regression DOC als Funktion des SAK254 (links) bzw. über SAK254-h (online-Messung) an Carl/1/011

Insgesamt ist der Parameter SAK254 gut geeignet den DOC im Oberflächen- und Moorwasser zu erfassen.

Lineare Regressionsanalysen DOC - Niederschlag

Im Oberflächenwasser korreliert der DOC statistisch signifikant mit dem Niederschlag. Die lineare Korrelation ist für alle Oberflächenwassermessstellen signifikant und für die 7-Tagessumme mittelstark. Die Steigung der Regressionsgeraden ist in der Kranzsch, insbesondere am Ablauf des Großen Kranichsee (Carl/1/020, FG5) deutlich höher als in der Wilzsch und den Zuläufen der TS Carlsfeld außerhalb des Wilzsch-Einzugsgebietes (Tabelle 21). Das bedeutet, dass mit steigenden Niederschlägen am Ablauf des Großen Kranichsee stärker steigende DOC-Konzentrationen auftreten als dies in der Wilzsch oder in den anderen Zuläufen zur TS Carlsfeld der Fall ist.

Tabelle 21: Lineare Regression für DOC als Funktion des NS (7d, DWD), Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	79	103	141	141	140	315	182	140	103	293	296
Achsenabschnitt	13,2	12,8	11,9	9,4	9,0	8,4	8,0	8,5	7,2	3,5	5,3
Steigung	0,224	0,216	0,198	0,205	0,142	0,155	0,329	0,311	0,256	0,122	0,212
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Für die Messstellen Carl/1/011 und Carl/1/020 sind die linearen Regressionsbeziehungen für DOC als Funktion der 7d-Summe des NS an der DWD-Station in Abbildung 35 dargestellt. In der Abbildung sind zusätzlich zur Regressionsgeraden die 95%-Vorhersagegrenzen dargestellt (Grenzen innerhalb deren 95% der Messwerte liegen).

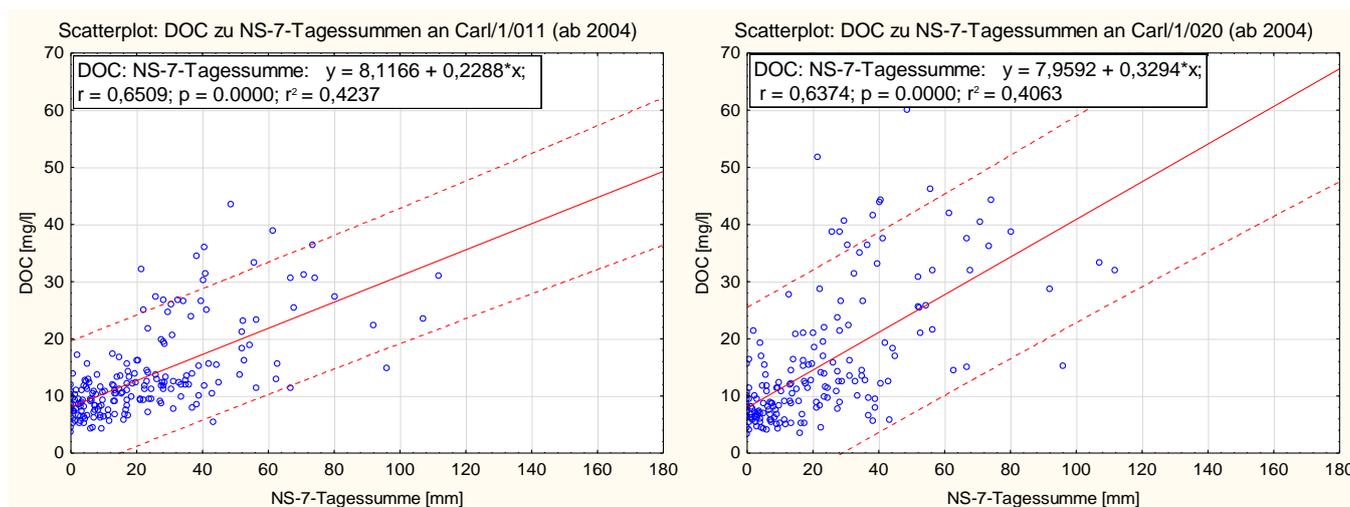


Abbildung 35: Lineare Regression für DOC an Carl/1/011 und Carl/1/020 als Funktion des Niederschlags (7d, DWD) für den Messzeitraum ab 2004

Tabelle 22: Lineare Regression für DOC als Funktion des NS (7d, DWD), Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	221	220	220	220	220	204	138	138	138	138	138
Achsenabschnitt	74,3	61,1	48,9	55,1	33,1	30,8	56,8	47,9	53,9	35,6	62,9
Steigung	-0,016	0,132	0,038	0,041	0,012	-0,087	0,084	0,074	0,068	0,021	0,140
P-Wert	0,746	0,005	0,396	0,303	0,721	0,161	0,009	0,101	0,121	0,270	0,284

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

In den Moorpegeln bestehen nur an P6 und P12 signifikante linear steigende Regressionsbeziehungen (Tabelle 22) zwischen DOC und dem Niederschlag.

Lineare Regressionsanalysen DOC – Flurabstand

Der DOC weist an den Moorpegeln der Große Säure P6, P9, P10 sowie P11, P14, P15 und P16 im Rostmoor signifikante lineare Beziehungen zum Flurabstand auf, die überwiegend schwach sind (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 23: Lineare Regression für DOC als Funktion des Flurabstands in den Moorpegeln

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	211	208	198	198	198	210	197	135	134	132	133
Achsenabschnitt	76,8	87,8	52,1	61,8	61,8	31,5	7,20	60,6	54,7	71,9	40,3
Steigung	-8,42	-89,6	-14,8	-27,2	-27,2	28,0	40,2	-7,55	-44,2	-40,0	-11,7
P-Wert	0,598	0,000	0,304	0,023	0,023	0,020	0,057	0,094	0,003	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Bei steigendem Flurabstand (sinkendem Moorwasserstand) sinken die DOC-Konzentrationen in den genannten Pegeln mit Ausnahme von P11 (und P12, dort aber nicht statistisch signifikant).

Lineare Regressionsanalysen DOC - LF(25)

Im Oberflächenwasser liegen signifikante schwache lineare Beziehungen zwischen DOC und LF(25) in der Wilzsch an allen FG-Messstellen vor, jedoch nicht an den beiden Messstellen am Zulauf zur TS Carlsfeld, die ortsgleich mit FG1 sind. Auch in der Kranizsch und den anderen TS-Zuläufen bestehen signifikante lineare Beziehungen zwischen DOC und LF(25), die sich jedoch in der Steigung der Regressionsgeraden mit Ausnahme von FG3 deutlich von den FG-Messstellen unterscheiden (Tabelle 24). Insbesondere die Carl-Messstellen der LTV weisen negative Steigungen der Regressionsgeraden auf, während an den anderen Messstellen positive Steigungen ermittelt wurden.

Tabelle 24: Lineare Regression für DOC als Funktion von LF(25), Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranizsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	104	141	141	140	294	182	141	103	271	275
Achsenabschnitt	5,5	3,4	2,4	-1,4	11,8	13,1	-18,4	-24,7	-2,0	11,0	17,0
Steigung	0,260	0,284	0,297	0,343	0,012	-0,013	0,744	0,923	0,335	-0,086	-0,119
P-Wert	0,046	0,001	0,000	0,000	0,834	0,631	0,000	0,000	0,015	0,002	0,003

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Im Moorwasser steigt der DOC mit steigender LF(25) mit Ausnahme von P5 und P10 signifikant linear (Tabelle 25).

Tabelle 25: Lineare Regression für DOC als Funktion von LF(25), Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	213	210	200	200	212	199	136	135	133	134	61
Achsenabschnitt	67,6	25,2	13,2	11,6	33,5	-1,0	18,7	18,9	23,1	28,8	16,5
Steigung	0,092	0,434	0,547	0,595	-0,001	0,682	0,499	0,536	0,400	0,131	0,551
P-Wert	0,388	0,000	0,000	0,000	0,984	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die Steigung der Regressionsgeraden weicht an P15 deutlich von den Werten der anderen Pegel mit signifikanten linearen Beziehungen zwischen DOC und LF(25) ab. An P15 steigt die DOC-Konzentration bei steigender elektrischer Leitfähigkeit des Moorwassers weniger stark an als an den anderen Moorpegeln mit signifikanter linearer Regression. Dies könnte beispielsweise auf höhere Anteile an mineralisch geprägtem Hangzugwasser in dieser Messstelle oder auf andere Bedingungen der Torfmineralisation zurückzuführen sein. Für letzteres kann die an P15 ebenfalls niedrigere Steigung der linearen Regression für DOC als Funktion des TNb als Indiz gelten (Tabelle 34).

Lineare Regressionsanalysen DOC – Natrium, Calcium, Kalium

Für die Alkali- und Erdalkalimetalle sind in Tabelle 26 beispielhaft die Parameter der linearen Regression zwischen DOC und Na im Oberflächenwasser dargestellt.

Tabelle 26: Lineare Regression für DOC als Funktion von Natrium, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranizsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	52	138	89	137	260	181	89	52	249	251
Achsenabschnitt	32,8	28,0	23,8	23,8	32,3	21,1	43,3	46,2	33,9	15,3	24,2
Steigung	-7,48	-5,68	-3,83	-4,72	-9,54	-4,03	-14,4	-15,0	-9,78	-3,52	-4,86
P-Wert	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die negativen Steigungswerte bedeuten, dass bei steigenden Na-Konzentrationen die DOC-Konzentrationen sinken. Die Steigungswerte sind für alle Oberflächenwassermessstellen signifikant von Null unterschieden.

Lineare Regressionsanalysen DOC - Aluminium

Für alle Messstellen wurden signifikante positive Korrelationen zwischen DOC und Aluminium festgestellt (Tabelle 15 und Tabelle 18). An allen Messstellen liegen signifikant steigende lineare Beziehungen zwischen DOC und Al vor (Tabelle 27 und Tabelle 28).

Tabelle 27: Lineare Regression für DOC als Funktion von Aluminium, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranizsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	98	135	136	136	316	183	135	98	294	297
Achsenabschnitt	-3,5	7,7	11,0	8,5	2,6	8,5	-6,4	8,8	7,7	2,5	3,1
Steigung	54,3	15,6	12,1	13,8	24,4	7,4	74,0	19,7	15,6	7,4	15,2
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die höchsten Steigungen der Regressionsgeraden weisen FG9 und Carl/1/020 auf. Letztere unterscheidet sich dabei stark von der ortsgleichen FG5 (Tabelle 27).

Tabelle 28: Lineare Regression für DOC als Funktion von Aluminium, Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	192	189	193	193	191	178	136	135	133	134	61
Achsenabschnitt	50,9	43,3	32,1	51,3	27,2	9,9	38,8	10,0	22,8	22,4	9,5
Steigung	18,3	46,8	50,8	18,3	11,5	22,0	38,7	68,4	49,7	30,4	62,7
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

An den Moorpegeln schwanken die Steigungswerte in einem ähnlichen Bereich wie im Oberflächenwasser. Eine räumliche Tendenz ist dabei nicht zu erkennen. Hohe Werte weisen P6 und P8 in der Großen Säure sowie P13 und P16 im Rostmoor auf.

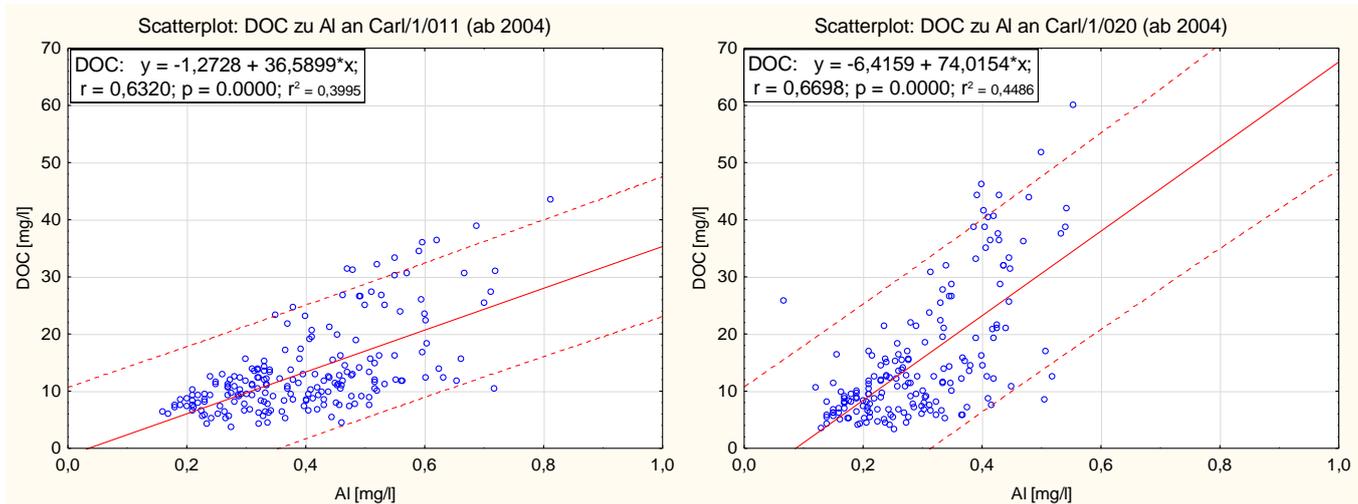


Abbildung 36: Lineare Regression für DOC als Funktion von Aluminium an Carl/1/011 und Carl/1/020 für den Messzeitraum ab 2004

Für Carl/1/011 und Carl/1/020 sind die Regressionsbeziehungen in Abbildung 36 grafisch dargestellt. Die stark unterschiedliche Steigung der Regressionsgeraden wird dort deutlich.

Lineare Regressionsanalysen DOC - Eisen

Analog zum Aluminium korreliert Eisen signifikant positiv mit dem DOC (mit Ausnahme der Moorpegel P14 und P15). Entsprechend werden signifikant linear steigende Regressionsbeziehungen festgestellt (Tabelle 29 und Tabelle 30).

Tabelle 29: Lineare Regression für DOC als Funktion von Eisen, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	98	135	136	134	315	183	135	98	294	296
Achsenabschnitt	4,0	5,1	5,5	0,8	0,4	-1,4	8,0	7,4	-1,6	1,9	-1,1
Steigung	9,70	10,3	9,72	13,2	12,2	14,3	3,74	4,37	13,7	9,60	11,9
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die Parameter der Regressionsgleichungen schwanken im Oberflächenwasser eher gering.

Tabelle 30: Lineare Regression für DOC als Funktion von Eisen, Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	192	189	193	193	191	178	136	135	133	134	61
Achsenabschnitt	43,6	54,3	34,2	36,6	28,8	12,3	49,2	27,1	60,5	36,0	45,8
Steigung	6,34	25,1	33,6	39,2	7,00	6,16	15,42	14,6	-5,90	0,305	25,8
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,081	0,840	0,009

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

In den Moorpegeln schwanken insbesondere die Werte der Steigung der Regressionsgeraden deutlich stärker als im Oberflächenwasser.

Lineare Regressionsanalysen DOC – ortho-Phosphat

Die oPO₄-P-Konzentrationen korrelieren im Oberflächenwasser mit Ausnahme von FG3 signifikant schwach positiv mit dem DOC (Tabelle 18). Dementsprechend wurden signifikant steigende lineare Regressionsbeziehungen ermittelt (Tabelle 31).

Tabelle 31: Lineare Regression für DOC als Funktion von o-PO₄-P, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranizsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	104	142	142	140	308	183	141	104	293	296
Achsenabschnitt	13,8	15,9	15,3	13,4	8,1	4,3	9,5	12,6	13,3	1,4	6,7
Steigung	183	109	56,5	51,6	333	556	552	391	-1,19	626	154
P-Wert	0,000	0,005	0,000	0,039	0,000	0,000	0,003	0,002	0,960	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die Parameter der Regressionsgleichungen, insbesondere die Steigungswerte schwanken relativ stark.

Lineare Regressionsanalysen DOC - Sulfat

Ebenfalls nur im Oberflächenwasser wurden signifikant negative mittelstarke bis starke Korrelationen zwischen Sulfat und dem DOC festgestellt (Tabelle 18).

Tabelle 32: Lineare Regression für DOC als Funktion von SO₄, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranizsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	104	141	142	140	331	181	141	103	284	287
Achsenabschnitt	34,3	41,8	37,2	38,9	26,7	22,1	43,8	42,0	48,2	17,4	28,4
Steigung	-1,80	-2,61	-2,32	-2,71	-1,36	-0,882	-3,59	-3,28	-3,69	-0,813	-1,34
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die linearen Regressionen weisen die im Betrag größten Steigungen in der Kranizsch auf (Tabelle 32).

Lineare Regressionsanalysen DOC - TON oder TNb

Im Ergebnis der Korrelationsanalysen wurde festgestellt, dass unter anderem der organisch gebundene Stickstoff (TON) und der gesamt gebundene Stickstoff (TNb) mit den DOC signifikant mittelstark bis stark korrelieren.

Tabelle 33: Lineare Regression für DOC als Funktion von TON, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranizsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	49	12	49	49	118	-	-	124	86	-	-
Achsenabschnitt	3,9	6,0	3,0	1,3	8,0	-	-	-2,7	1,5	-	-
Steigung	29,6	34,3	33,1	31,7	19,7	-	-	52,6	43,4	-	-
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,000	0,000	-	-

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Beide Parameter weisen signifikante linear steigende Regressionen zum DOC auf (Tabelle 33 und Tabelle 34).

Die Steigungswerte in Tabelle 33 liegen in der Größenordnung der mittleren TOC/TON-Verhältnisse, die aufgrund der höheren TOC-Konzentrationen gegenüber dem DOC und bei den Regressionen berücksichtigten Achsenabschnitten etwa höher sind.

Tabelle 34: Lineare Regression für DOC als Funktion von TNb, Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	95	92	96	96	94	96	96	95	93	94	61
Achsenabschnitt	47,2	28,0	40,4	28,4	30,1	16,5	43,7	27,9	13,3	30,9	12,3
Steigung	11,0	23,2	13,6	23,3	2,07	10,3	7,17	14,2	28,0	4,66	27,2
P-Wert	0,000										

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Im Oberflächenwasser ist an FG5 die Steigung der Regressionsgeraden deutlich größer als an den anderen Messstellen. Im Moorwasser schwanken die Steigungswerte deutlich stärker als im Oberflächenwasser.

Lineare Regressionsanalysen DOC – H₃O⁺

Im Oberflächenwasser liegen für alle Messstellen mit Ausnahme der FG9 signifikant steigende Regressionsbeziehungen zwischen H₃O⁺ und DOC vor (Tabelle 35).

Die größte Steigung der Regressionsgeraden wurde für die Kranzsch-Messstelle Carl/1/020 festgestellt. In der Wilzsch steigt der DOC bei steigender H₃O⁺-Konzentration mit Ausnahme von Carl/1/011 und FG3 weniger stark als in den anderen Gewässern.

Tabelle 35: Lineare Regression für DOC als Funktion von H₃O⁺, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	104	141	141	137	296	183	141	104	275	278
Achsenabschnitt	17,4	15,6	14,8	12,7	10,8	8,3	8,6	11,4	11,5	3,9	7,1
Steigung	7779	24217	21607	28665	47212	97579	210374	89779	27897	155835	151088
P-Wert	0,239	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Im Moorwasser liegen nur für P6, P8, P9 und P13 bis P16 signifikant linear steigende Beziehungen zwischen DOC und H₃O⁺ vor (Tabelle 36).

Tabelle 36: Lineare Regression für DOC als Funktion von H₃O⁺, Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	211	208	200	200	210	196	136	135	133	134	61
Achsenabschnitt	73,8	62,3	47,1	50,1	34,1	30,1	57,0	41,2	48,7	33,1	44,3
Steigung	2027	6544	14512	29145	-7333	-10416	8289	64283	35091	26647	123477
P-Wert	0,708	0,041	0,002	0,000	0,066	0,251	0,217	0,000	0,001	0,002	0,001

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die Werte der Steigung sind mit Ausnahme der P16 eher im Bereich der Werte der Wilzsch-Messstellen.

Lineare Regressionsanalysen DOC - Nitrit oder Nitrat

Im Oberflächenwasser sind DOC und Nitrat mit Ausnahme der FG1 signifikant schwach bis mittelstark negativ korreliert (Tabelle 18). Dies bestätigt die lineare Regression (Tabelle 37).

Tabelle 37: Lineare Regression für DOC als Funktion von NO₃-N, Oberflächenwasser

	Wilzsch						Kranzsch			Sonstige	
	FG9	FG4	FG2	FG1	OBF 40631	Carl /1/011	Carl /1/020	FG5	FG3	Carl /1/017	Carl /1/019
Stichprobenumfang	80	104	141	142	140	310	181	141	104	291	294
Achsenabschnitt	24,1	32,2	21,2	14,9	19,0	17,7	22,1	26,3	37,0	11,0	16,1
Steigung	-28,6	-59,0	-21,2	-2,42	-20,8	-16,3	-31,1	-43,6	-71,6	-11,0	-19,1
P-Wert	0,001	0,000	0,003	0,135	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

In der Kranzsch sind die Steigungen der Regressionsgeraden höher als in der Wilzsch und in den anderen TS-Zuläufen, wobei an FG4 ebenfalls eine hoher Betrag der Steigung resultiert.

In den Moorpegeln korreliert hingegen Nitrit signifikant schwach bis mittelstark positiv mit dem DOC (Tabelle 15).

Tabelle 38: Lineare Regression für DOC als Funktion von NO₂-N, Moorpegel

	Große Säure					Rostmoor					
	P5	P6	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Stichprobenumfang	194	191	195	195	193	180	136	135	133	134	61
Achsenabschnitt	53,3	54,0	47,1	52,7	28,1	16,7	58,8	37,0	43,4	31,1	32,2
Steigung	790	505	202	207	531	1508	1,40	828	711	649	1222
P-Wert	0,000	0,000	0,012	0,039	0,000	0,000	0,980	0,000	0,000	0,000	0,000

Legende und Erläuterungen siehe Tabelle 19

Die Werte der Steigung der Regressionsgeraden schwanken in den Moorpegeln deutlich (Tabelle 38). P11 und P16 weisen die stärkste Korrelation (Tabelle 15) und die höchsten Steigungen der Regressionsgeraden auf (Tabelle 38).

Lineare Regressionsanalysen DOC - weitere Parameter

Der SAK436 verhält sich im Oberflächenwasser sehr ähnlich zum SAK254.

Gesamter Kohlenstoff (TC) und gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) weisen signifikante starke lineare Beziehungen zum DOC auf, deren Steigung an den meisten Messstellen nahe 1 liegt. Damit kann praktisch der gesamte Kohlenstoff als organischer und vor allem auch als gelöster organischer Kohlenstoff interpretiert werden.

Lineare Regressionsanalysen für DOC zwischen den Oberflächenwassermessstellen

Die Regressionsanalysen für DOC zwischen den OWMST ergeben signifikante lineare Regressionen des DOC zwischen den FG-Messstellen. In Abbildung 37 sind die Regressionen für den DOC der FG-Messstellen jeweils zur Messstelle FG1, dem Zufluss zur TS Carlsfeld, sowie zwischen den beiden FG-Messstellen in der Kranzsch FG3 und FG5 dargestellt. In der Wilzsch zeigt sich die Abnahme des DOC bis zur FG1 darin, dass die Regressionsgeraden unterhalb der ersten Winkelhalbierenden liegen, wobei dies für die Regression FG2-FG1 oberhalb von etwa 50 mg/l nicht mehr gilt. Die DOC-Konzentrationen in der Kranzsch sind an FG3 bis etwa 15 mg/l niedriger als an FG1, d.h. bis 15 mg/l wird die DOC-Konzentration der Kranzsch durch höhere DOC-Konzentrationen der Wilzsch und des Zwischengebietszuflusses bis FG1 erhöht. Oberhalb von etwa 15 mg/l an FG3 treten zeitgleich vergleichbare oder niedrigere DOC-Konzentrationen in der Wilzsch oder im Zufluss zur Wilzsch bis zur FG1 auf.

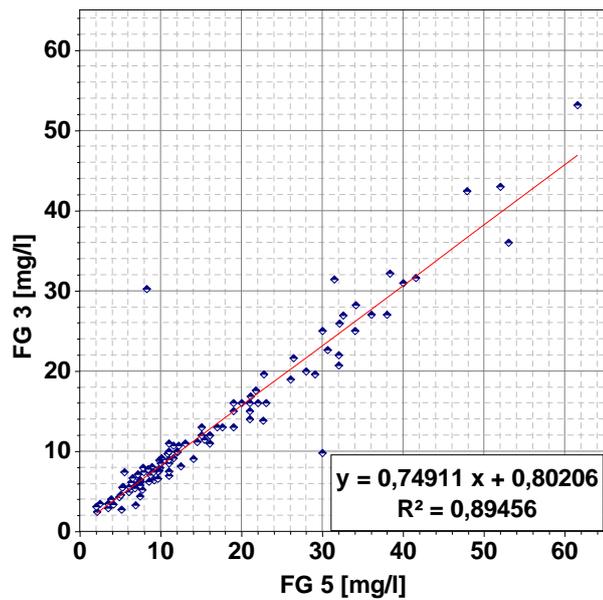
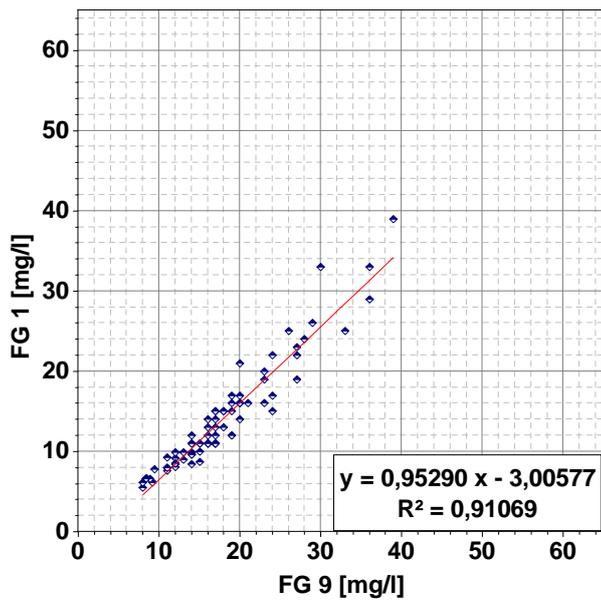
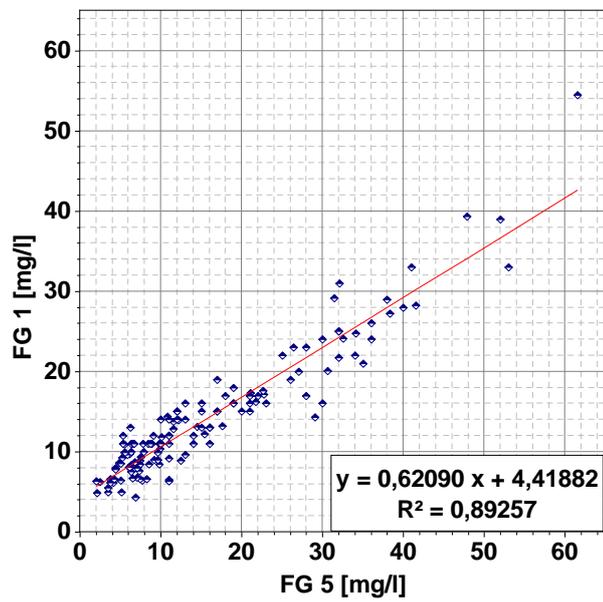
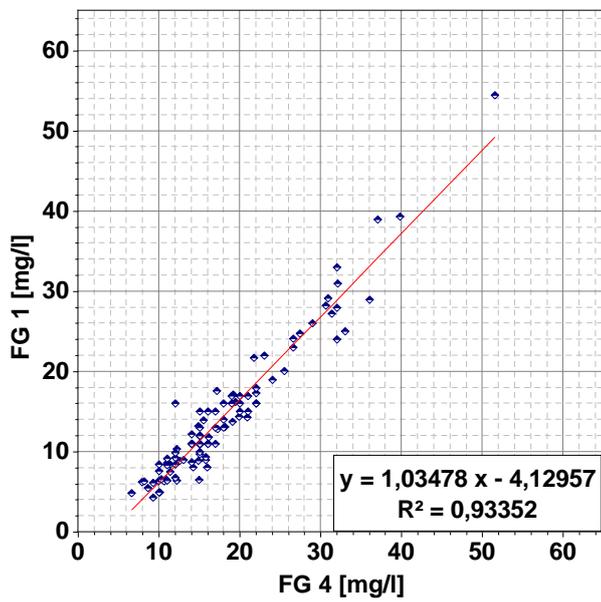
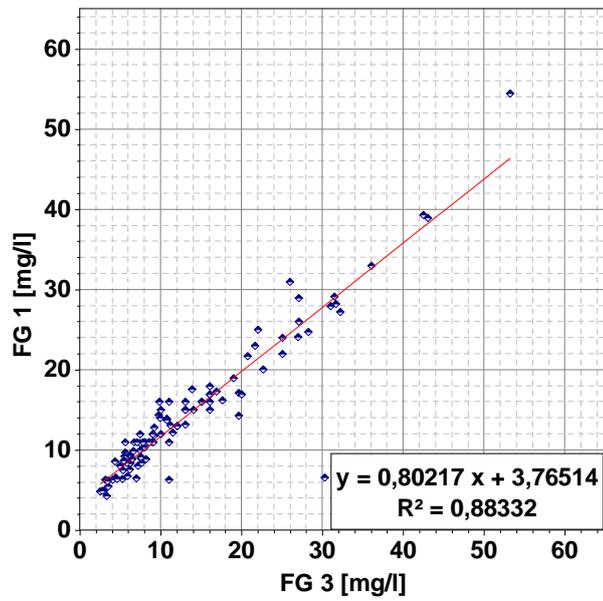
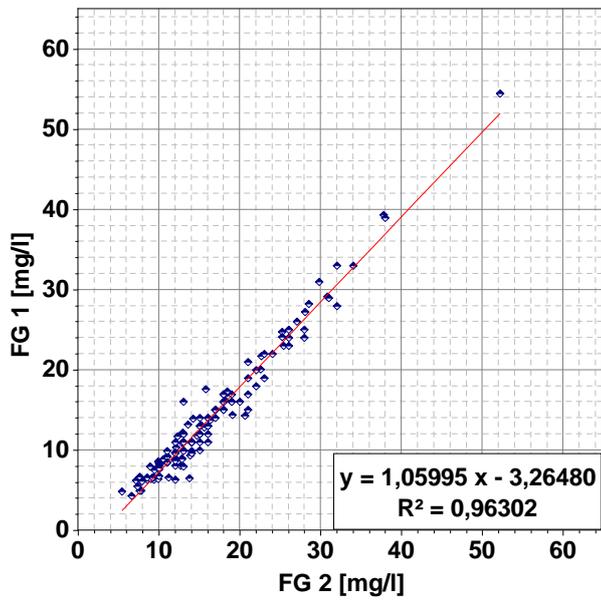


Abbildung 37: Lineare Regressionen des DOC der FG-Messstellen - FG1 aus FG2-FG 9 und FG3 aus FG5

In der Kranizsch wird die DOC-Konzentration am Ablauf des Großen Kranichsee (FG5) bis zur Mündung in die Wilzsch durch den Zwischengebietszufluss verringert.

Die Ergebnisse der abschnittswisen linearen Regressionen für DOC im Oberflächenwasser sind in Tabelle 39 für die FG-Messstellen zusammengestellt. Dabei wurden für die Regression von FG5 nach FG3 zwei in Abbildung 37 erkennbare "Ausreißer" nicht berücksichtigt.

Tabelle 39: Parameter der linearen Regressionen DOC im Oberflächenwasser, abschnittsweise

Gewässer	von	nach	Steigung [-]	Achsenabschnitt [mg/l]	Stichprobenumfang
Wilzsch	FG2	FG1	1,060	-3,26	142
	FG4	FG2	0,967	-0,66	104
	FG9	FG4	0,999	-1,19	43
Kranizsch	FG3	FG1	0,840	3,47	104
	FG5	FG3	0,773	0,31	104

In Tabelle 39 wird deutlich, dass von FG4 nach FG3 die DOC-Konzentrationen leicht abnehmen und von FG9 nach FG4 praktisch keine Veränderung der DOC-Konzentrationen auftritt.

Die linearen Regressionsanalysen für DOC zwischen den OWMST bestätigen damit prinzipiell die Aussagen aus der Interpretation der Box-Whisker-Plots (Abbildung 32 und Abbildung 33) und ergeben ein differenziertes Bild über die Entwicklung des DOC auf der Fließstrecke der Oberflächengewässer.

Analog zur linearen Regression für DOC zwischen den OWMST wurden Regressionsanalysen für Aluminium und Eisen durchgeführt.

Exemplarisch sind in Abbildung 38 die Regressionen für gelöstes Eisen zwischen jeweils auf der Fließstrecke aufeinander folgender OWMST in Wilzsch und Kranizsch dargestellt. Auf der Fließstrecke der Wilzsch unterhalb der Mündung der Kranizsch verändert sich die Fe-Konzentration der Wilzsch praktisch nicht - die Regressionsgerade wird durch eine Probe mit sehr hoher Konzentration an FG2 stark beeinflusst und weist bei Vernachlässigung dieser Probe ein Steigung nahe 1,0 auf. Gegenüber der Mündung der Kranizsch nimmt die Fe-Konzentration bis zur FG1 bei höheren Konzentrationen leicht ab. Von FG4 bis FG2 sinkt die Fe-Konzentration in der Wilzsch leicht, ebenso von der FG9 bis zur FG4 (nicht dargestellt). In der Kranizsch sind die Fe-Konzentration von FG5 nach FG3 deutlich.

Die Konzentration des gelösten Aluminium bleibt wie die des DOC zwischen FG9 und FG4 in der Wilzsch praktisch unverändert und nimmt zwischen FG4 und FG2 bei Konzentrationen über etwa 0,5 mg/l ebenso wie zwischen FG2 und FG1 leicht ab (Steigung der Regressionsgeraden von FG1 aus FG2 0,882 und von FG2 aus FG4 0,906 bei jeweils niedrigen y-Achsenabschnitten). An FG3 sind die Al-Konzentrationen tendenziell leicht niedriger als an FG1 (Steigung der Regressionsgeraden für FG1 aus FG3 0,979 mit einem y-Achsenabschnitt von 0,09 mg/l) und an FG5 höher als an FG3 (Steigung der Regressionsgeraden für FG3 aus FG5 0,890, y-Achsenabschnitt nahe 0 mg/l). Die Konzentrationen an gelöstem Eisen und gelöstem Aluminium entwickeln sich damit auf der Fließstrecke der Kranizsch sehr unterschiedlich und auch unterschiedlich zum DOC. In der Wilzsch kann hingegen für alle drei Parameter eine prinzipiell ähnliche Konzentrationsentwicklung mit der Fließstrecke festgestellt werden.

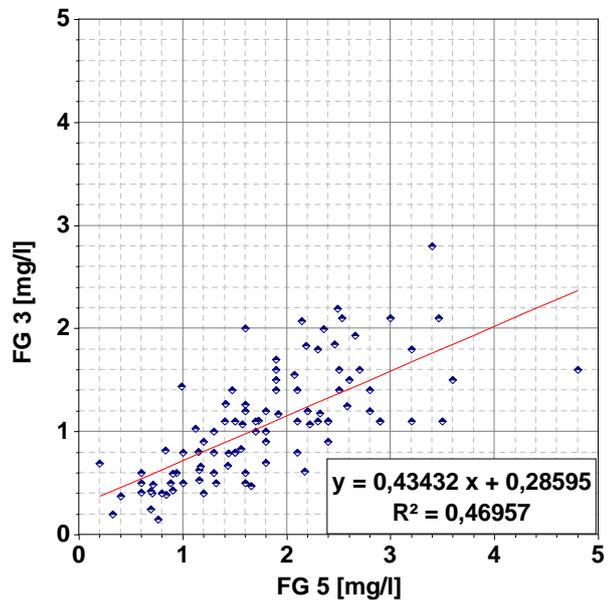
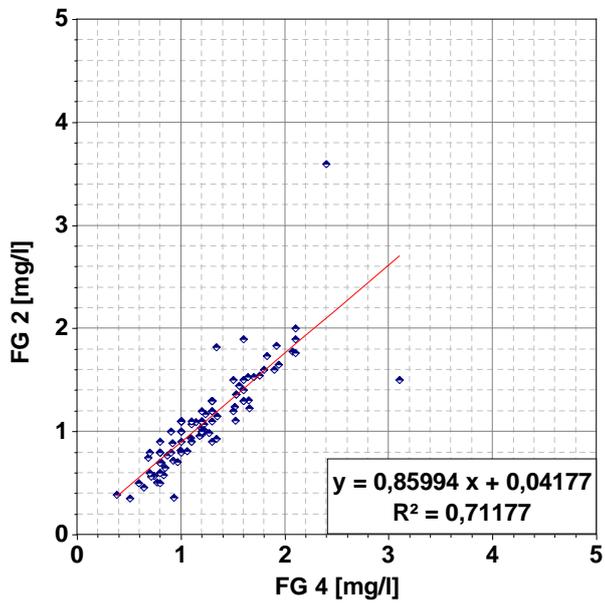
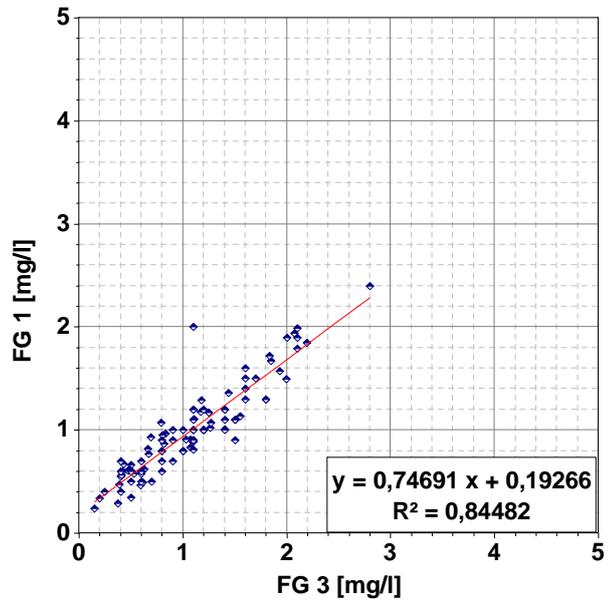
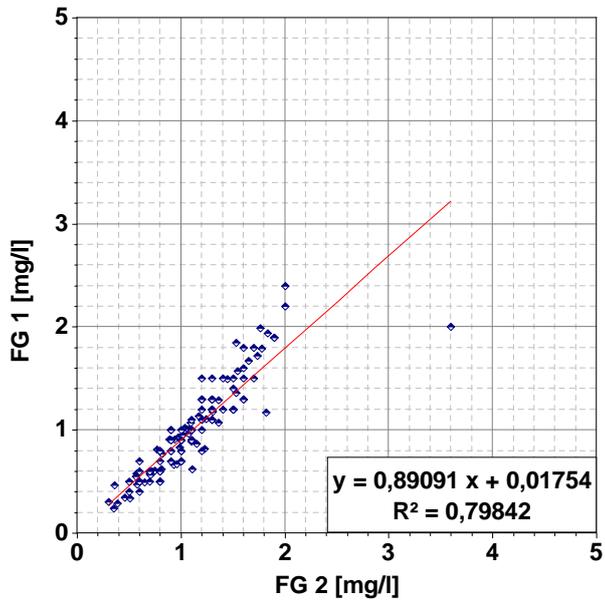


Abbildung 38: Lineare Regressionen für Fe an ausgewählten FG-Messstellen

5.4.4 Zwischenfazit zu Korrelations- und linearen Regressionsanalysen

Insgesamt ist festzuhalten:

- Der Flurabstand sinkt mit höheren Niederschlägen der Vortage und steigt mit der Lufttemperatur und der potentiellen Verdunstung.
- Der DOC im Moorwasser steigt mit sinkenden Flurabständen (steigenden Wasserständen im Moorkörper) an den meisten Moorpegeln im Rostmoor und an lediglich 2 der 5 Moorpegel in der Großen Säure.
- Der DOC im Moorwasser an P11 korreliert nicht mit dem DOC der Moorpegel im Rostmoor.
- Der DOC im Oberflächenwasser steigt mit höheren Niederschlägen der Vortage. Im Abstrom des Großen Kranichsee ist die Steigung höher als an den anderen Messstellen.
- Der DOC wird gut über den Parameter SAK245 erfasst und beschreibt sehr gut die weiteren Kohlenstoff-Fractionen und organischen Stickstoffverbindungen.
- Der DOC steigt bei steigender Leitfähigkeit und steigenden Konzentrationen von Al, Fe und H_3O^+ , in den Moorpegeln auch von NO_2 und im Oberflächenwasser auch von $o-PO_4$.
- Im Oberflächenwasser gehen steigende DOC-Konzentrationen mit sinkenden Konzentrationen von Ca, K, Na, NO_3 und SO_4 einher.
- Die Steigungen der linearen Regressionsgeraden für signifikant von 0 unterschiedene Steigungen zeigen auffällige Abweichungen der Werte in der Kranizsch von denen in der Wilzsch, insbesondere am Ablauf des Großen Kranichsees für die Regressionsbeziehungen von DOC zu LF(25), Na, Fe, und SO_4 .
- Der DOC im Oberflächenwasser korreliert zwischen allen OWMST signifikant positiv.
- Die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser sinken in der Kranizsch vom Ablauf des Großen Kranichsee bis zur Mündung in die Wilzsch.
- Die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser sinken in der Wilzsch von Messstelle FG4 bis zur Mündung in die Talsperre leicht, wobei unterhalb der Mündung der Kranizsch bei hohen DOC-Konzentrationen praktisch keine Veränderung bzw. auch eine leichte Zunahme der DOC-Konzentration zu erwarten ist.
- Eisen- und Aluminiumkonzentrationen nehmen in der Wilzsch mit der Fließstrecke in ähnlichem Maße leicht ab. In der Kranizsch verhält sich Eisen hingegen sehr unterschiedlich zum Aluminium.

5.5 Faktoranalysen

5.5.1 Faktoranalyse Moorwasser

In der Faktoranalyse für die Daten der Moorpegel wurden die 11 bisher betrachteten Moorpegel berücksichtigt. Dabei wurde, wie bereits in den vorhergehenden Analysen, das erste Jahr nach Errichtung der Moorpegel nicht einbezogen.

Nach der Ermittlung der Eigenwerte (Abbildung 39) wurden vier Faktoren ausgewählt, für die die Ladung der einzelnen Parameter in Tabelle 40 aufgelistet ist. Darin sind Faktorladungen $> 0,5$ fett hervorgehoben.

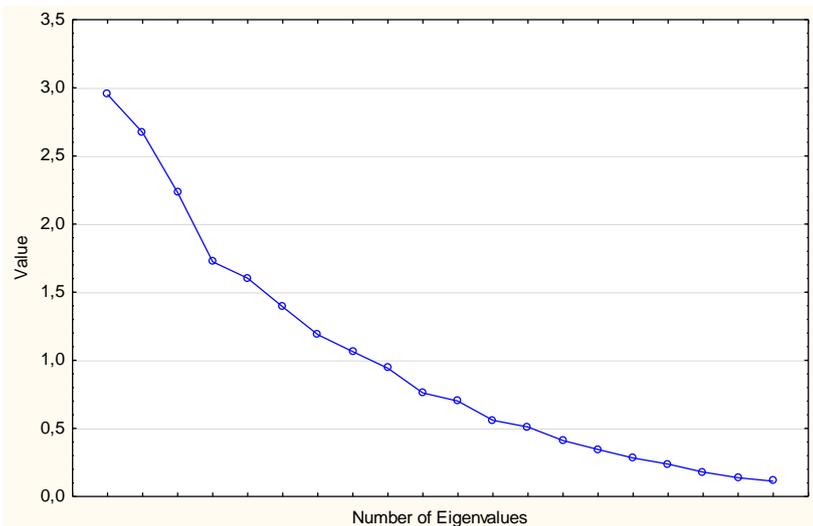


Abbildung 39: Eigenwerte der Faktoranalyse bei den Moorpegeln

Tabelle 40: Faktoranalyse ausgewählter Parameter für alle Moorpegel

Parameter	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
Al	0,400	-0,692	-0,104	-0,374
Ca	-0,406	-0,402	-0,365	-0,116
Cl	-0,197	-0,337	-0,239	0,648
DOC	0,844	-0,204	-0,243	-0,026
NS-7d	0,008	0,092	-0,296	0,022
TL-7d	0,094	-0,357	0,669	0,145
ETP-7d	0,009	-0,315	0,733	0,184
Fe	0,314	-0,731	-0,026	-0,343
K	-0,155	-0,378	-0,130	0,606
LF(25)	0,572	0,176	-0,438	0,199
Mg	-0,341	-0,325	-0,404	-0,001
Mn	-0,477	-0,595	-0,162	-0,320
NH ₄ -N	0,276	-0,298	0,115	0,459
NO ₂ -N	0,672	-0,125	-0,226	-0,112
NO ₃ -N	0,038	0,023	-0,165	0,335
oPO ₄ -P	0,316	-0,418	0,006	0,309
H ₃ O ⁺	0,291	0,208	-0,292	0,164
SO ₄	-0,597	-0,278	-0,379	0,066
FA	-0,010	-0,267	0,393	0,012
Zn	0,032	-0,016	-0,155	0,061

fett, grün hinterlegt: positive Ladung größer als 0,5

fett, blau hinterlegt: negative Ladung kleiner als -0,5

Faktor 1 wird für die Moorpegel vom DOC bestimmt. Nitrit, Sulfat und Leitfähigkeit weisen Ladungen $> 0,5$ im Betrag auf, die jedoch mit maximal 0,672 für Nitrit bereits deutlich niedriger sind als die des DOC mit 0,844.

Faktor 2 wird für die Moorpegel von Eisen (0,731) und Aluminium (0,692) bestimmt. Mangan hat mit 0,595 bereits eine deutlich niedrigere Ladung.

Faktor 3 wird für die Moorpegel von der Lufttemperatur (0,669) und der ETP (0,733) bestimmt.

Faktor 4 wird für die Moorpegel von Chlorid (0,648) und Kalium (0,606) bestimmt.

Parameter wie der Flurabstand, der Niederschlag oder die Konzentration an freier Säure spielen in den vier ausgewiesenen Faktoren keine Rolle.

5.5.2 Faktoranalyse Oberflächenwasser

In die Faktoranalyse für das Oberflächenwasser wurden alle Messstellen aus dem Einzugsgebiet der Wilzsch und damit der Kranizsch einbezogen.

Die Eigenwerte für das Oberflächenwasser sind in Abbildung 40 dargestellt. Auch für das Oberflächenwasser wurden vier Faktoren ausgewählt. Tabelle 41 enthält die Ladungen der Faktoren für die einzelnen Parameter.

Faktor 1 wird für das Oberflächenwasser von den Parametern Sulfat (0,831) und DOC (0,798) bestimmt. Calcium, Niederschlag und Kalium weisen Ladungen $> 0,5$ im Betrag auf, die jedoch mit maximal 0,658 für Calcium bereits deutlich niedriger sind als die des DOC.

Faktor 2 wird für das Oberflächenwasser von Leitfähigkeit (0,765) und Aluminium (0,666) bestimmt. Ammonium und Nitrit haben mit 0,516 bzw. 0,528 bereits deutlich niedrigere Ladungen.

Faktor 3 wird für das Oberflächenwasser wie für die Moorpegel von der Lufttemperatur (0,917) und der ETP (0,833) bestimmt.

Faktor 4 wird für das Oberflächenwasser von Mangan (0,708) und Eisen (0,604) bestimmt.

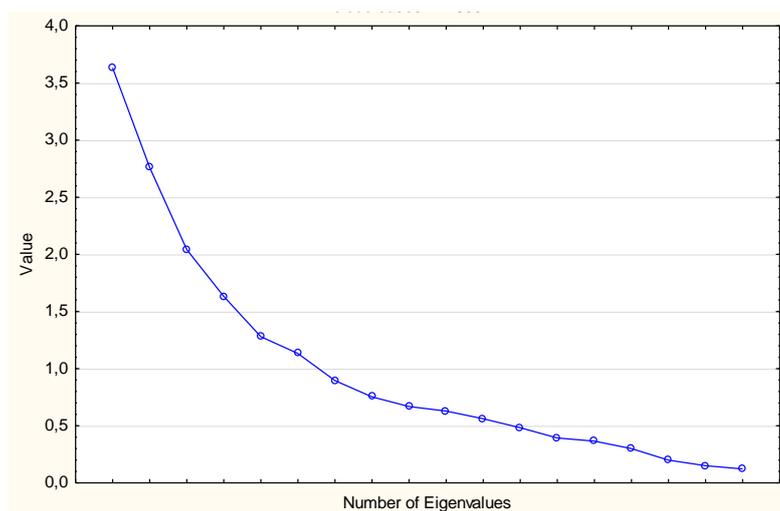


Abbildung 40: Eigenwerte der Faktoranalyse für die Oberflächenwassermessstellen

Tabelle 41: Faktoranalyse ausgewählter Parameter für alle Oberflächenwassermessstellen

Parameter	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
Al	-0,273	-0,666	0,034	-0,271
Ca	0,658	-0,441	0,155	0,208
Cl	0,361	-0,441	-0,015	-0,262
DOC	-0,798	-0,357	0,137	-0,169
NS-7d	-0,622	-0,419	0,000	-0,059
TL-7d	0,035	0,010	0,917	0,058
ETP-7d	0,230	0,141	0,833	0,118
Fe	-0,366	0,073	0,419	-0,604
K	0,548	-0,137	-0,073	-0,375
LF(25)	0,088	-0,765	-0,180	-0,185
Mg	0,482	-0,197	0,181	-0,026
Mn	0,372	0,231	0,100	-0,708
NH ₄ -N	0,082	-0,516	0,156	0,326
NO ₂ -N	-0,076	-0,528	0,249	0,426
NO ₃ -N	0,479	-0,276	-0,245	-0,042
oPO ₄ -P	-0,077	-0,239	0,231	-0,250
H ₃ O ⁺	-0,408	-0,418	-0,089	-0,031
SO ₄	0,831	-0,225	-0,014	-0,055

fett, grün hinterlegt: positive Ladung größer als 0,5

fett, blau hinterlegt: negative Ladung kleiner als -0,5

5.5.3 Zwischenfazit zu Faktoranalysen

Sowohl für das Moorwasser als auch für das Oberflächenwasser werden vier Faktoren extrahiert.

Dabei treten Differenzen in der Parameterzusammensetzung der Faktoren 1, 2 und 4 auf, wobei Faktor 1 jeweils hoch durch den DOC geladen wird, Faktor 2 jeweils durch Al und Faktor 3 in beiden Fällen durch TL und ETP.

Faktor 4 unterscheidet sich grundlegend zwischen dem Moorwasser und dem Oberflächenwasser.

5.6 Clusteranalysen

5.6.1 Parameterbezogene Clusteranalysen

Standardisierung der Messwerte

Für die parameterbezogene Clusteranalyse, bei der für ein Messstellenensemble eine Clusterung der Parameter erfolgt, ist eine vorherige Standardisierung der Messwerte notwendig, wenn diese sich auf unterschiedliche Skalen beziehen, das heißt hier unterschiedliche physikalische Einheiten aufweisen.

Die Standardisierung erfolgt über die Formel:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

(3)

- Z* standardisierte Variable
X Zufallsvariable
 μ Erwartungswert (Mittelwert)
 σ Standardabweichung

Die Parameterauswahl erfolgte auf Basis der Ergebnisse der Faktoranalyse. Es wurden die Parameter gewählt, die für die Moorpegel oder die Oberflächenwassermessstellen eine Ladung größer als Betrag 0,6 aufweisen. Der Parameter NO₂-N wurde nicht berücksichtigt, da sehr häufig linksschiefe Verteilungen vorliegen und häufig Werte unter oder nur geringfügig oberhalb der Bestimmungsgrenze vorkommen.

Folgende Parameter wurden bei der parameterbezogenen Clusteranalysen berücksichtigt: Al, Fe, Ca, SO₄, Cl, K, TL-7d, ETP-7d, DOC, LF(25)

Parameterbezogenen Clusteranalysen für Moorwasser

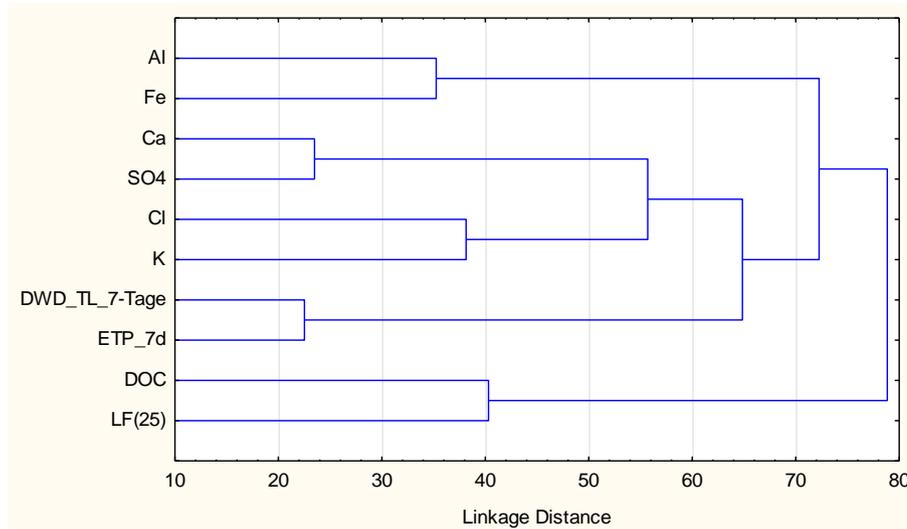


Abbildung 41: Clusteranalyse („tree clustering“) ausgewählter Parameter im Moorwasser

Die parameterbezogene Clusteranalyse für das Wasser der Moorpegel (Abbildung 41) bestätigt weitgehend die Ergebnisse der Faktoranalyse. Die geringste Linkage Distance weisen die Lufttemperatur TL mit der ETP auf, gefolgt von Ca mit SO₄, Al mit Fe, Cl mit K und DOC mit LF(25). Danach werden Ca, SO₄, Cl und K zusammengelegt. DOC und LF(25) werden erst im letzten Schritt zu den anderen Clustern gelegt.

Parameterbezogenen Clusteranalysen für Oberflächenwasser

In die parameterbezogene Clusteranalyse für das Oberflächenwasser wurden analog zur Faktorenanalyse die Messstellen im Einzugsgebiet der Wilzsch einbezogen.

Im Oberflächenwasser weisen ebenfalls die Lufttemperatur TL mit der ETP die geringste Linkage Distance auf.

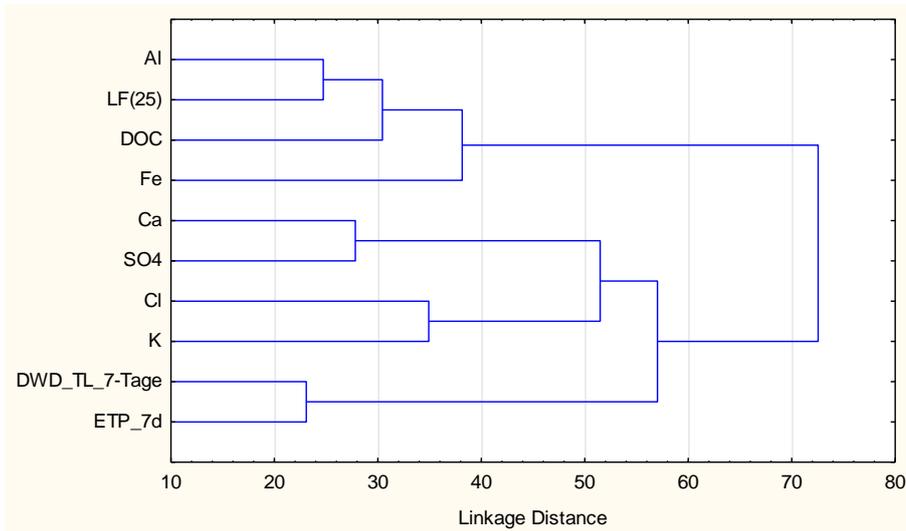


Abbildung 42: Clusteranalyse („tree clustering“) ausgewählter Parameter im Oberflächenwasser

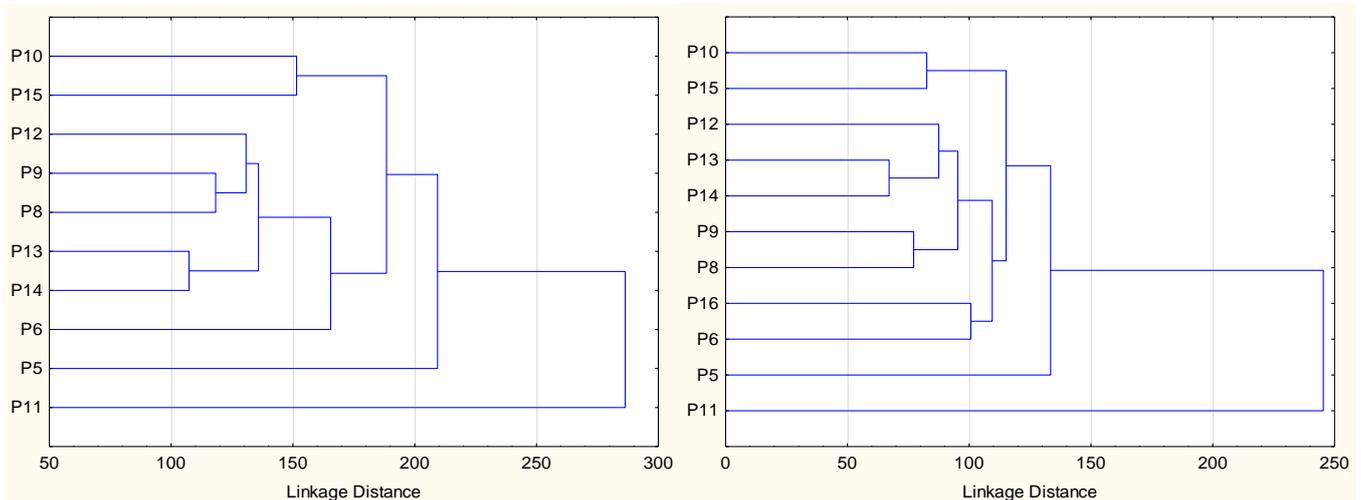
Anders als im Moorwasser werden Al mit LF(25) als nächstes geclustert und nach der Zusammenlegung von Ca mit SO₄ wird hier bereits der DOC dem Cluster aus Al mit LF(25) zugeschlagen, dem wiederum Fe angelinkt wird (Abbildung 42). Das Cluster aus Al, LF(25), DOC und Fe unterscheidet sich stark vom Cluster der übrigen Parameter.

5.6.2 Messstellenbezogene Clusteranalyse für DOC

Messstellenbezogene Clusteranalysen für DOC im Moorwasser

Die messstellenbezogene Clusteranalyse für den Parameter DOC dient der Feststellung der Ähnlichkeit der Messstellen hinsichtlich des DOC.

Für die messstellenbezogenen Clusteranalyse wurde die zeitliche Aggregation nach Formel (2) vorgenommen.



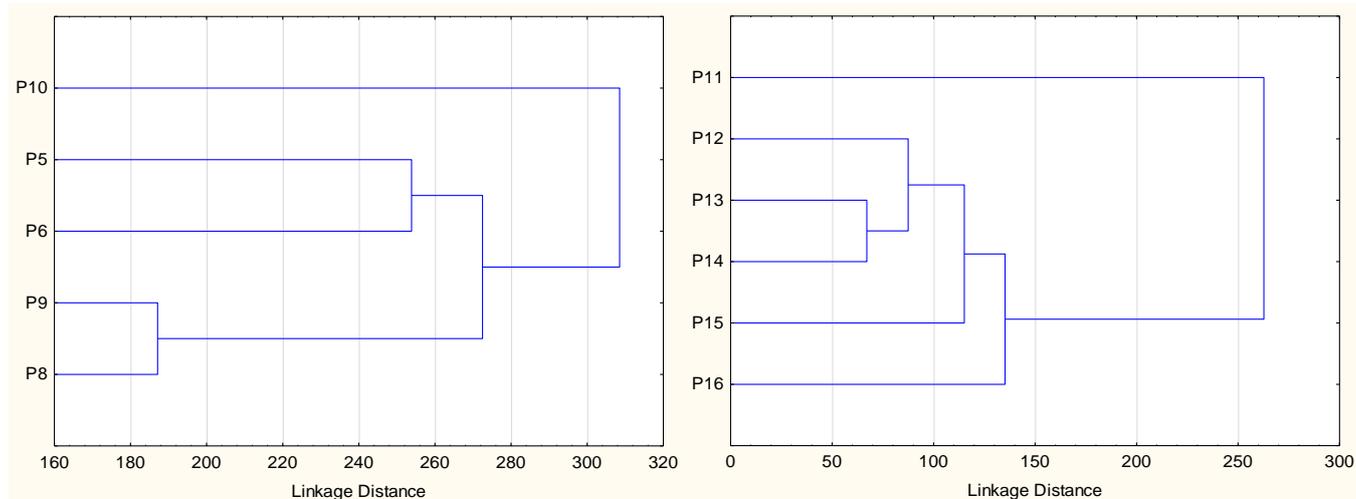
links: alle Moorpegel außer P16, N=120; rechts: für alle Moorpegel incl. P16, N=55

Abbildung 43: Clusteranalyse für DOC in den Moorpegel

In Abbildung 43 unterscheiden sich die beiden Grafiken grundsätzlich im Stichprobenumfang N aufgrund der (Nicht-)Berücksichtigung von P16.

Abbildung 43 zeigt für beide Fälle, dass P11 und P5, die beide nicht direkt den jeweiligen Moorkörper erfassen, sich deutlich von den anderen Moorpegeln unterscheiden. Darüber hinaus wird deutlich, dass nicht klar zwischen den Pegeln in der Großen Säure und dem Rostmoor unterschieden werden kann. So werden zwar zunächst mit P13 und

P14 zwei Pegel aus dem Rostmoor zu einem Cluster zusammengefasst und nachfolgend mit P8 und P9 zwei Pegel der Großen Säure, doch wird bei Vernachlässigung von P16 Pegel P12 dem Cluster aus P8 und P9 zugeschlagen und anschließend ein Cluster aus diesen 5 Moorpegeln gebildet.

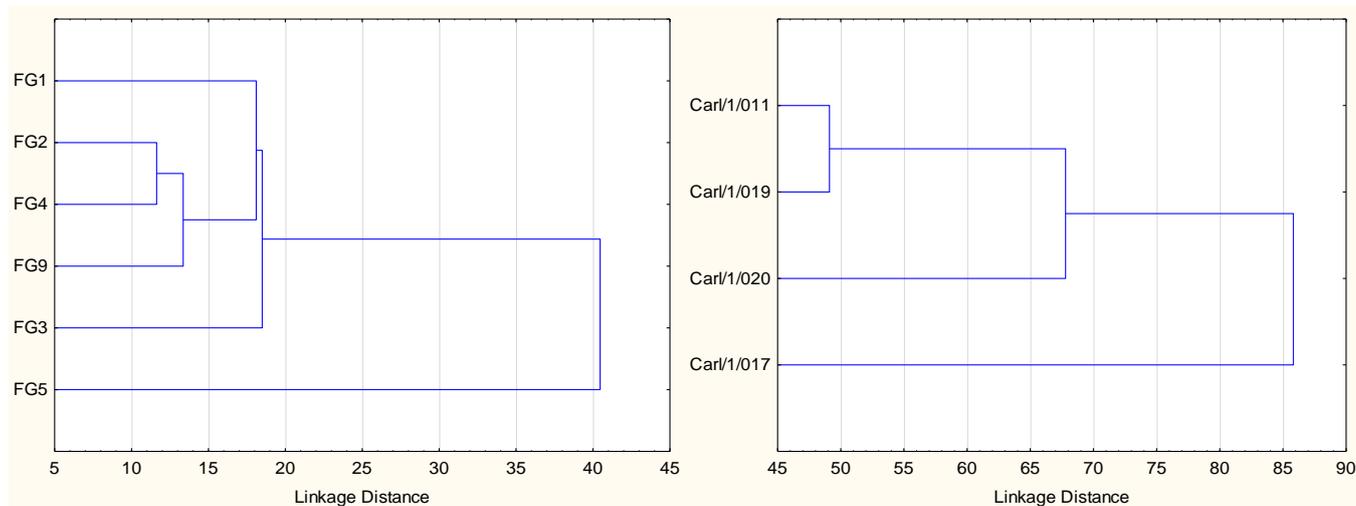


links: Große Säure, N=179; rechts: Rostmoor, N=55

Abbildung 44: Clusteranalyse für DOC in den Moorpegel, getrennt für Große Säure und Rostmoor

Bei getrennter Betrachtung der beiden Moorkörper bestätigt sich die Ähnlichkeit von P8 und P9, von P13 und P14 sowie P12 und die starke Unähnlichkeit von P11 zu den anderen Pegeln im Rostmoor (Abbildung 44). In der Großen Säure ist die Ähnlichkeit von P5 und P6 nach P8 und P9, jedoch mit einigem Abstand am zweitgrößten. Hier ist P10 die Messstelle mit der geringsten Ähnlichkeit zu den übrigen Moorpegeln der Großen Säure.

Messstellenbezogene Clusteranalysen für DOC im Oberflächenwasser



links: FG-Messstellen, N=42; rechts: Carl-Messstellen, N=182

Abbildung 45: Clusteranalyse für DOC im Oberflächenwasser, getrennt nach Messprogrammen

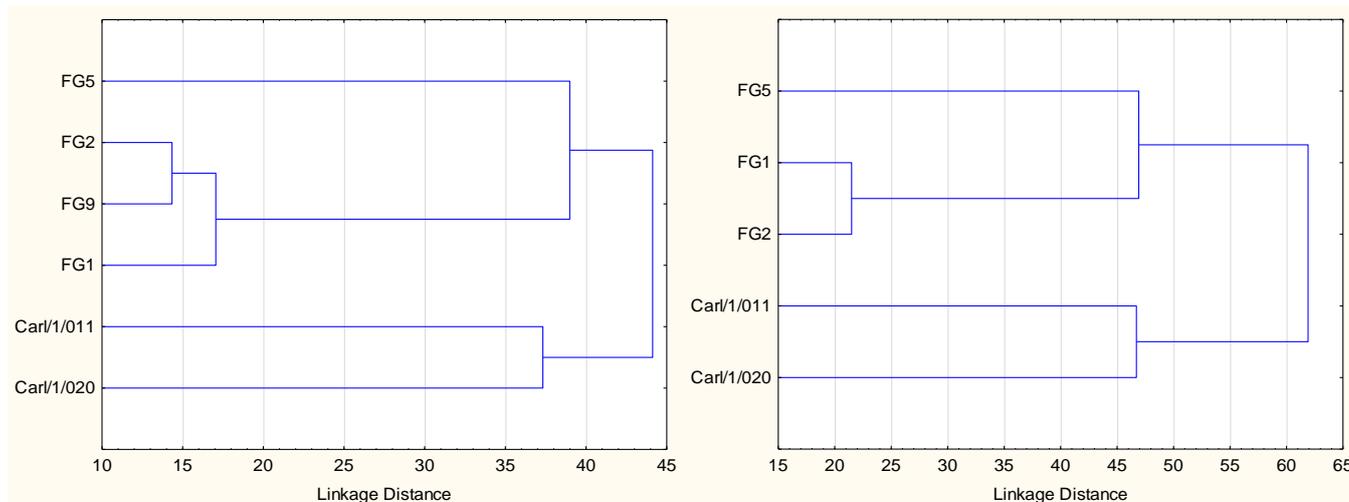
Die messstellenbezogene Clusteranalyse für den DOC im Oberflächenwasser getrennt für FG-Messstellen und Carl-Messstellen (Abbildung 45) ergibt folgendes Bild:

Carl/1/011 und Carl/1/019 sind sich aus dem Ensemble der Messstellen der LTV am stärksten ähnlich, wobei die Linkage Distance größer ist als die der FG-Messstellen insgesamt. Carl/1/020 unterscheidet sich stark vom erstgenannten Cluster und Carl/1/017 unterscheidet sich nochmals deutlich davon.

Die FG-Messstellen der Wilzsch (FG1, FG2, FG4 und FG9) sind sich sehr ähnlich, wobei die FG1 am wenigsten ähnlich zu den anderen ist. FG3 wird dem Cluster der Wilzsch-Messstellen mit geringer Distanz zugeordnet.

FG5 ist bezüglich des DOC deutlich von den anderen FG-Messstellen zu unterscheiden.

In Abbildung 46 sind DOC-Cluster für weitere Messstellenensemble aus Wilzsch und Kranizsch dargestellt, die unterschiedliche Stichprobenumfänge aufweisen.



links: Messstellen in Wilzsch und Kranizsch, N=41; rechts: N=67

Abbildung 46: Clusteranalyse für DOC im Oberflächenwasser für ausgewählte Messstellenensembles

In Abbildung 46 wird deutlich, dass sich die ortsgleichen Messstellen Carl/1/011 und FG1 bezüglich des DOC stark voneinander unterscheiden.

FG2 und FG9 sind sich ähnlich, ebenso FG1 und FG2. FG5 unterscheidet sich stark von den anderen FG-Messstellen.

Die beiden berücksichtigten Carl-Messstellen bilden ein Cluster, das mit hoher Linkage Distance mit dem Cluster der FG-Messstellen verlinkt wird.

5.6.3 Zwischenfazit zu den Clusteranalysen für DOC

Sowohl im Moorwasser als auch im Oberflächenwasser werden bei der parameterbezogenen Clusteranalyse die Parameter TL mit ETP, K mit Cl und Ca mit SO₄ jeweils mit vergleichbaren Linkage Distances miteinander geclustert.

Während im Moorwasser DOC mit LF(25) erst nach der Clusterbildung der genannten Paare und auch des Clusters Al mit Fe zusammengelegt wird, wird DOC im Oberflächenwasser bereits mit deutlich geringere Linkage Distance einem Cluster aus Al und LF(25) zugeschlagen und anschließend Fe zugeordnet.

Die messstellenbezogene Clusterung des Parameters DOC ergibt bei gemeinsamer Betrachtung der beiden Moore eine eindeutige Unterscheidung von P11, der nicht im Moorkörper des Rostmoores liegt, und P5, der im Bereich von Torfmächtigkeiten < 3 dm errichtet wurde, von den übrigen Moorpegeln.

Bei getrennter messstellenbezogener Clusterung erweist sich ebenfalls P11 im Rostmoor als stark unterschiedlich zu P12 bis P16 und P10 in der Großen Säure am wenigsten ähnlich zu den Moorpegeln P5, P6, P8 und P9.

5.7 Multiple (lineare) Regression

Die multiple Regression erfolgte messstellenspezifisch mit den in Kapitel 5.6 genannten Parametern. Des Weiteren wurde die Korrelationsanalyse des Parameters DOC zu allen anderen Parametern in die Findung der Parameter für die multiple lineare Regression mit einbezogen. Es wurden Parameter berücksichtigt, wenn mehr als 60% der Messstellen (Moorpegel oder Oberflächenwassermessstellen) statistisch signifikante Korrelationen zum DOC aufweisen. Insgesamt wurden so folgende Parameter für die multiple Regression ausgewählt:

Al, Ca, FA (nur für die Moorpegel), Fe, K, LF(25), Na, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, NS (7-Tagessumme), H₃O⁺, oPO₄-P, SAK254 und SO₄.

Die multiple Regression wurde mit dem Verfahren der vorwärts stufenweisen linearen Regression durchgeführt. Dabei wird in jedem Schritt der am besten korrelierende Parameter in die multiple Regression einbezogen. Der Vorgang wurde dann abgebrochen, wenn ein Parameter gemäß F-Test nicht mehr statistisch signifikant ist. Dieses Verfahren wurde für folgende Messstelle gerechnet:

P5, P6, P8-P16, Carl/1/011, Carl/1/019, Carl/1/020, OBF40631, FG1-FG5 und FG9.

Der Aufbau der Ergebnisstabellen wird mit Tabelle 42 erläutert.

Tabelle 42: Erläuterungstabelle zu den Ergebnissen der multiplen Regression

Parameter	Messstellenbezeichnung (N)	
	b*	b
Intercept	-	1
1. Parameter	0,700	2
2. Parameter	0,380	3

Intercept Konstante der Funktionsgleichung (Y-Achsenabschnitt)

N Stichprobenumfang

b* Regressionskoeffizient der multiplen Regression

b Steigung der linearen Regression

Beispielhaft resultiert für P5:

$$DOC = 3,47 \cdot Fe + 432 \cdot NO_2-N + 12,0 \cdot Al + 0,223 \cdot LF + 11,0$$

(4)

DOC DOC in mg/l

Fe Fe in mg/l

NO₂-N NO₂-M in mg/l

Al Al in mg/l

LF LF(25) in µS/cm

Tabelle 43 enthält die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse für die Moorpegel in der Große Säure, Tabelle 44 für die Moorpegel im Rostmoor incl. P11.

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse für das Oberflächenwasser der Wilzsch sind in Tabelle 45 zusammengestellt, für das Oberflächenwasser der Kranzsch und der Messstelle Carl/1/019 in Tabelle 46.

Tabelle 43: Parameter der multiplen Regression für die Moorpegel der Großen Säure

Parameter	Einheit	P5 (N=146)		P6 (N=144)		P8 (N=148)		P9 (N=148)		P10 (N=146)	
		b*	b	b*	b	b*	b	b*	b	b*	b
Intercept			11,0		32,7		9,05		6,85		-5,13
Al	mg/l	0,206	12,0	0,916	83,2	0,498	55,7	0,228	41,4		
Ca	mg/l										
FA	m									0,063	10,3
Fe	mg/l	0,336	3,47	-0,234	-12,70			0,237	13,2		
H ₃ O ⁺	mol/l			0,112	5952	0,131	7241			0,061	4979
LF(25)	µS/cm	0,148	0,223			0,469	0,384	0,578	0,453		
Na	mg/l									0,138	4,23
NH ₄ -N	mg/l										
NO ₂ -N	mg/l	0,292	432			-0,108	-118			0,090	166
NO ₃ -N	mg/l							0,137	22,3		
NS 7d	mm					0,090	0,045				
oPO ₄ -P	mg/l	0,215	84,5							0,613	32,29
SO ₄	mg/l					-0,273	-2,31	-0,155	-1,741		

fett b* mit dem höchsten Wert je Messstelle

hinterlegt Steigungswerte der multiplen Regressionsgleichungen

Für jeden der 5 Moorpegel der Großen Säure resultiert eine hinsichtlich der Parameter der multiplen Regression eigene Regressionsgleichung. Dabei fallen P6 und P10 besonders auf. An P6 wird der DOC in einer multiplen Regression aus Aluminium, Eisen und Hydrogenium-Ionen bestimmt, an P10 aus oPO₄-P, Na, NO₂-N, dem Flurabstand und Hydrogenium-Ionen.

Aluminium kommt in der Regressionsgleichung von 4 der 5 Moorpegel vor.

Eisen, LF(25), H₃O⁺ und NO₂-N kommen in der Regressionsgleichung von 3 der 5 Moorpegel vor.

SO₄ und oPO₄-P kommen in der Regressionsgleichung von 2, FA, Na, NO₃-N und NS-7d von 1 der 5 Moorpegel vor.

Tabelle 44: Parameter der multiplen Regression für die Moorpegel des Rostmoors

Parameter	Einheit	P11 (N=147)		P12 (N=133)		P13 (N=132)		P14 (N=130)		P15 (N=131)		P16 (N=58)	
		b*	b	b*	b								
Intercept			13,1		7,75		2,22		17,3		26,3		24,6
Al	mg/l	0,793	18,9	0,419	35,4	0,313	28,0	0,523	35,1	0,363	16,7	0,517	38,1
Ca	mg/l											-0,172	-36,4
FA	m									-0,166	-4,40		
Fe	mg/l	-0,181	-1,34			0,197	6,47						
H ₃ O ⁺	mol/l												
LF(25)	µS/cm	0,075	0,176	0,338	0,362	0,338	0,288	0,179	0,132	0,263	0,111		
Na	mg/l	-0,063	-3,96										
NH ₄ -N	mg/l												
NO ₂ -N	mg/l	0,173	446			0,254	330	0,252	302			0,183	295
NO ₃ -N	mg/l			0,179	21,8	0,209	32,8	0,138	16,3				
NS 7d	mm			0,140	0,043								
oPO ₄ -P	mg/l	0,153	65,7							0,239	69,6	0,318	496
SO ₄	mg/l	-0,132	-1,42			-0,171	-2,04	-0,121	-1,61	-0,396	-1,77		

fett b* mit dem höchsten Wert je Messstelle

hinterlegt Steigungswerte der multiplen Regressionsgleichungen

Für jeden der 6 Moorpegel des Rostmoors resultiert eine hinsichtlich der Parameter der multiplen Regression eigene Regressionsgleichung. Für P13 und P14 resultieren ähnliche Regressionsgleichungen mit durchweg vergleichbaren Steigungswerten (b) und dem einzigen Unterschied, dass an P13 zusätzlich Eisen eingezogen wird.

Aluminium kommt in der Regressionsgleichung aller 6 Moorpegel vor, dabei in 4 Moorpegeln als Parameter mit dem höchsten Regressionskoeffizienten.

LF(25) kommt in der Regressionsgleichung von 5 der 6 Moorpegel vor.

NO₂-N und SO₄ kommen in der Regressionsgleichung von 4 der 6 Moorpegel vor.

NO₃-N und oPO₄-P kommen in der Regressionsgleichung von 3 der Moorpegel vor.

Tabelle 45: Parameter der multiplen Regression für die Oberflächenwassermessstellen der Wilzsch

Parameter	Einheit	FG9 (N=79)		FG4 (N=43)		FG2 (N=79)		FG1 (N=79)		OBF40631 (N=70)		Carl/1/011 (N=88)	
		b*	b	b*	b	b*	b	b*	b	b*	b	b*	b
Intercept	-		1,74		5,47		-2,65		7,60		-2,73		5,45
Al	mg/l	0,419	26,0	0,752	52,8	0,497	31,4	0,485	28,3	0,550	34,2	0,292	17,9
Ca	mg/l												
Fe	mg/l	0,259	3,80					0,300	4,66	0,173	2,71	0,452	6,883
H ₃ O ⁺	mol/l											0,159	46724
LF(25)	µS/cm	0,165	0,192			0,195	0,249						
Na	mg/l												
NH ₄ -N	mg/l							0,121	23,0				
NO ₂ -N	mg/l									0,238	915		
NO ₃ -N	mg/l									-0,107	-6,63	-0,122	-9,98
NS 7d	mm									0,137	0,041		
oPO ₄ -P	mg/l	0,163	68,1			0,268	237	0,144	156				
SO ₄	mg/l	-0,255	-0,771	-0,292	-1,08	-0,256	-0,901	-0,180	-0,717			-0,192	-0,503

fett b* mit dem höchsten Wert je Messstelle

hinterlegt Steigungswerte der multiplen Regressionsgleichungen

Auch bei den Oberflächenwassermessstellen der Wilzsch weisen keine 2 Messstellen den gleichen Parameterumfang in der multiplen Regressionsgleichung auf. Deutlich unterscheiden sich diesbezüglich die ortsgleichen Zuflussmessstellen zur TS Carlsfeld.

Aluminium ist in allen 6 Regressionsgleichungen enthalten, mit Ausnahme der LTV-Messstelle Carl/1/011 jeweils als der Parameter mit dem höchsten Korrelationskoeffizienten.

Mit 5 von 6 Messstellen ist Sulfat häufig in den Regressionsgleichungen enthalten, gefolgt von Fe (4 Messstellen) und oPO₄-P (3 Messstellen).

Tabelle 46: Parameter der multiplen Regression für die Oberflächenwassermessstellen der Kranzsch und Bach von Ost

Parameter	Einheit	Carl/1/020 (N=80)		FG5 (N=79)		FG3 (N=43)		Carl/1/019 (N=92)	
		b*	b	b*	b	b*	b	b*	b
Intercept	-		7,91		14,3		-1,79		13,6
Al	mg/l	0,434	43,4	0,263	29,4	0,264	24,4	0,454	19,9
Ca	mg/l								
Fe	mg/l	0,133	0,993	0,195	2,73	0,326	5,48	0,211	2,50
H ₃ O ⁺	mol/l	0,301	101142						
LF(25)	µS/cm			0,172	0,294	0,155	0,399		
Na	mg/l								
NH ₄ -N	mg/l							0,100	55,9
NO ₂ -N	mg/l			0,153	508	0,116	408		
NO ₃ -N	mg/l	-0,150	-15,7					-0,225	-19,3
NS 7d	mm								
oPO ₄ -P	mg/l								
SO ₄	mg/l	-0,265	-0,850	-0,340	-2,11	-0,196	-0,894	-0,283	-0,770

fett b* mit dem höchsten Wert je Messstelle

hinterlegt Steigungswerte der multiplen Regressionsgleichungen

Bei den Oberflächenwassermessstellen weisen FG3 und FG5 sehr ähnliche multiple Regressionsgleichungen auf, mit gleichen Parametern und ähnliche Steigungswerten. Die beiden ortsgleichen Messstellen FG5 und Carl/1/020 unterscheiden sich hingegen deutlich.

Aluminium, Eisen und Sulfat sind in allen Gleichungen enthalten. Die Steigungswerte für diese drei Parameter liegen in der Größenordnung, die auch für das Oberflächenwasser der Wilzsch resultieren.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen dass in den Moorpegeln überwiegend verschiedene Parameter zur statistischen Erklärung des DOC beitragen. Dabei kommt gelöstem Aluminium eine besondere Bedeutung zu, da Al in fast allen Moorpegeln in der Regressionsgleichung enthalten ist und in mehr als der Hälfte der Messstellen auch den höchsten Korrelationskoeffizienten aufweist.

Aluminium ist auch in allen Regressionsgleichungen im Oberflächenwasser enthalten und auch hier häufig dominierend. Im Oberflächenwasser spielen Eisen und Sulfat häufiger eine Rolle zur Erklärung der DOC-Konzentration über multiple Regressionen als in den Moorpegeln.

6 Ableitung von Fließwegen und potenziellen Hotspots für DOC-Austräge

6.1 Vorgehensweise

Um die Fließwege des Grundwassers in den Bereichen der Großen Säure und des Rostmoores bestimmen zu können, wurden Moorwassergleichen unter Zuhilfenahme des digitalen Gelände Modells (DGM1) erstellt. Die Erstellung der Moorwassergleichen basiert auf folgenden Hilfspunkten:

1. Moorpegel,
2. Gewässerpunkte (Punkte entlang der Sohle der Wilzsch und Kranizsch auf Basis des DGM1),
3. Grabenstau (Lage korrigiert auf Basis DGM1),
4. Grabenpunkte (Punkte auf der Sohle der Gräben, speziell an Kreuzungen der Gräben oder an Abschnitten wo keine weiteren Höheninformation vorliegen).

Da die Absoluthöhen der GOK an den Moorpegeln (P5, P6, P8-P16) aus iDA nicht mit den Höhen des DGM1 übereinstimmen, wurden die Absoluthöhen der Moorpegel mit Hilfe des DGM1 korrigiert. Mit den korrigierten Moorpegeldaten wurde eine statistische Auswertung zur Bestimmung von Niedrigwasser (NW), Mittelwasser (MW) und Hochwasser (HW) durchgeführt. Für die Bestimmung der Moorwassergleichen werden folgende Moorwasserstände verwendet: NW: 5% Perzentil, MW: Mittelwert, HW: 95% Perzentil der korrigierten Wasserstände.

Aus dem DGM1 konnten Höhenlinien (10 cm Intervalle) und die „Flow Akkumulation“ abgeleitet werden. Daraus wurde unter Beachtung des hillshades die genaue Lage der Gräben abgeleitet. Außerdem wurden die Informationen zu vorhandenen Stauen innerhalb der Großen Säure und dem Rostmoor mit Hilfe des DGM1 korrigiert (Lage). Den Stauen wurde aus dem DGM1 eine Absoluthöhe zugewiesen. Des Weiteren wurde an allen Stau die Absoluthöhe der Grabensohle aus dem DGM1 abgegriffen. Für die weitere Betrachtung wurde eine Grabentiefe bestimmt.

Für die Bestimmung der Moorwassergleichen werden an den Stauen folgende Wasserstände angenommen: NW: Grabensohle, MW: Grabensohle + $0,5 \cdot$ Grabentiefe, HW: Stauoberkante.

Aus dem DGM1 wurden weiterhin Hilfspunkte entlang der Sohle der Wilzsch und Kranizsch erstellt und diesen Absoluthöhen aus dem DGM1 zugewiesen. Die Gewässertiefe wird mit 0,41 m (Mittelwert der stichpunktartig ermittelten Grabentiefen) angenommen. Für die Bestimmung der Moorwassergleichen bekommen die Hilfspunkte der Wilzsch und Kranizsch folgende Höhen: NW: Gewässersohle, MW: Gewässersohle + $0,5 \cdot$ Gewässertiefe, HW: Gewässersohle + Gewässertiefe.

Entlang der erstellten Moorgräben wurden Hilfspunkte gesetzt (besonders an Grabenkreuzungen) und diesen Absoluthöhen der Grabensohle aus dem DGM1 zugewiesen. Die Sohlentiefe der Moorgräben wird mit 0,41 m (Mittelwert der Sohlentiefen aller betrachteten Stauen) angenommen. Für die Bestimmung der Moorwassergleichen bekommen die Hilfspunkte der Moorgräben folgende Höhen: NW: Grabensohle, MW: Grabensohle + $0,5 \cdot$ Grabentiefe, HW: Grabensohle + Grabentiefe.

Die Hilfspunkte (Grabenstau, Grabenpunkte, Gewässerpunkte, Moorpegel) wurden mit ArcGIS Pro jeweils für NW, MW und HW zu einem TIN (Triangular irregular network) interpoliert, mit Berücksichtigung der Moorgräben als „Soft Barrier Lines“. Die erzeugten TINs wurden mit dem Verfahren Natural Neighbours in Raster umgewandelt. Daraus konnten für NW-, MW- und HW-Verhältnisse Moorwassergleichen abgeleitet werden.

6.2 Ergebnisse

Die Grundwasserfließrichtung ist in Abbildung 47 für Niedrigwasser-, in Abbildung 48 für Mittelwasser- und in Abbildung 49 für Hochwasserverhältnisse dargestellt. In Abbildung 48 ist zusätzlich die Abflussakkumulation dargestellt. Die Abflussakkumulation wird mit dem GIS als Analyse des DGM1 erstellt und dient hier der Visualisierung des Oberflächenabflusses auf den Moorkörpern bei Hochwasserverhältnissen.

Die Fließrichtung in den Moorkörpern und den angrenzenden anmoorigen Bereichen ändert sich zwischen NW-, MW- und HW-Verhältnissen nicht wesentlich. Sie ist stark reliefgeprägt. Es zeigt sich, dass

1. die Pegel im Rostmoor zwar nicht unmittelbar als Transekt in Fließrichtung errichtet wurden, jedoch prinzipiell eine Fließrichtung von jeweils der Umgebung von P16 über P15, P14, P13 und P12 zur Wilzsch bei P11 angenommen werden kann. FG4, die an der Grabenmündung östlich P11 in die Wilzsch positioniert ist (vgl. Karte 2 in Anhang A 3.2), erfasst damit auch den Zustrom aus dem Rostmoor;
2. aus dem Bereich von P8 und P9 das Moorwasser zum Teil nach Nordwesten und zum Teil nach Nordosten abfließt. Der Abstrom nach Nordosten erfolgt in Richtung P5;
3. der Bereich um P6 nach Nordwesten zur Kranizsch hin entwässert;
4. dies analog für P10 gilt.

Die Abfluss-Akkumulation in Abbildung 49 zeigt an verschiedenen Stellen die potenzielle Wirkung der Stau.

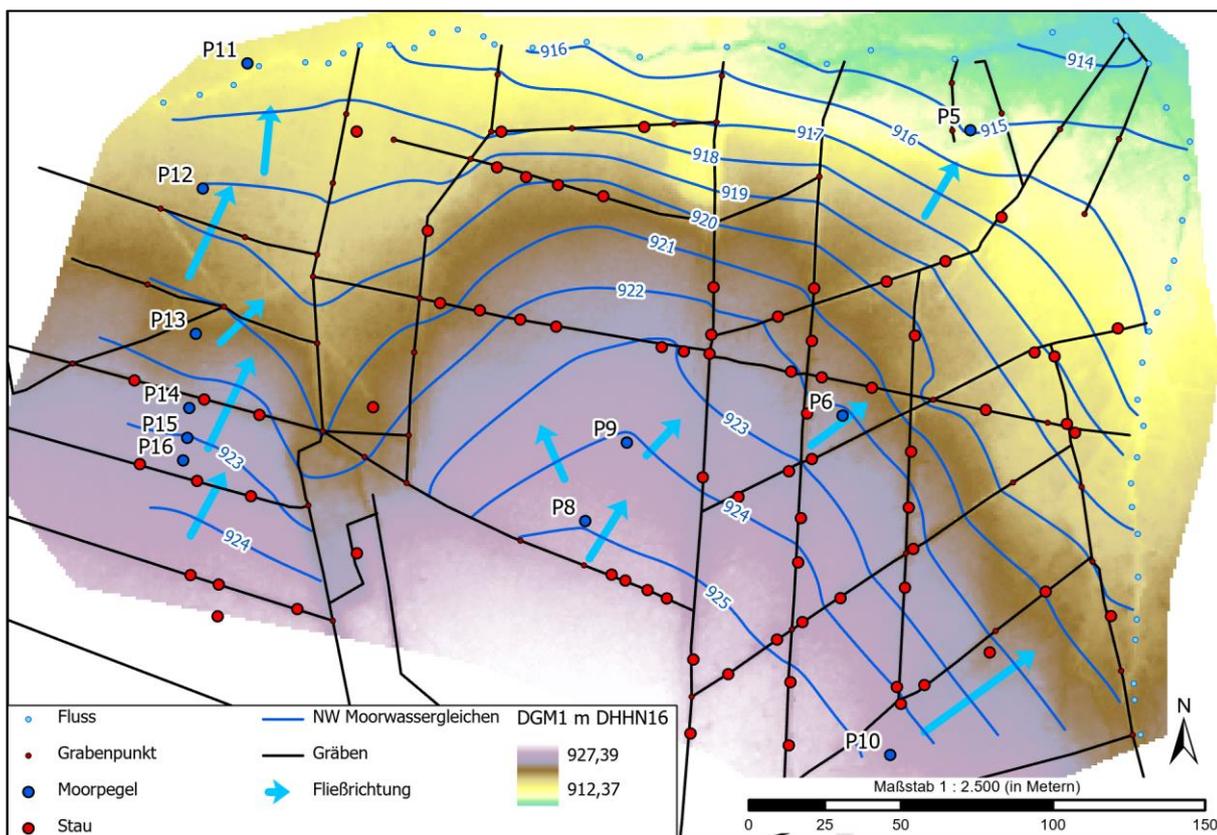


Abbildung 47: Moorwassergleichen und Fließrichtung in der Großen Säure und dem Rostmoor bei Niedrigwasser

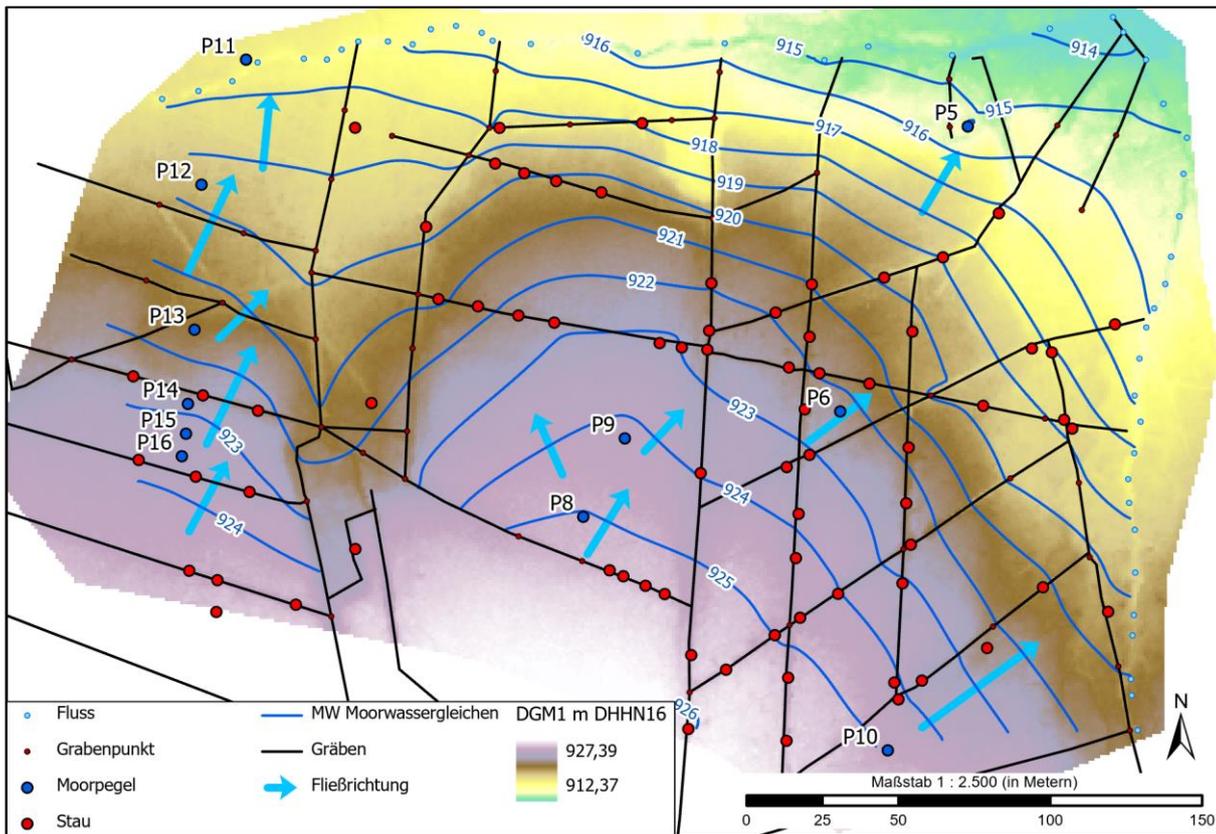


Abbildung 48: Moorwassergleichen und Fließrichtung in der Großen Säure und dem Rostmoor bei Mittelwasser

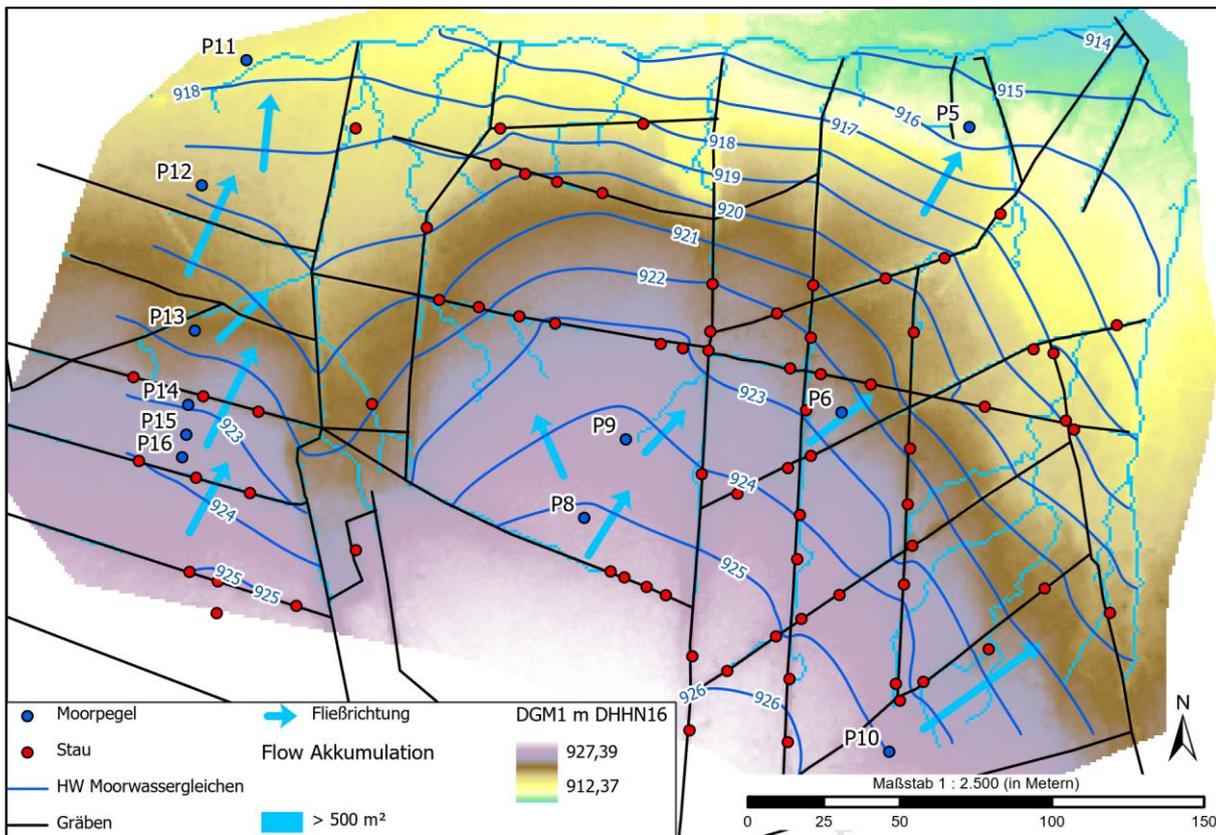


Abbildung 49: Moorwassergleichen und Fließrichtung in der Großen Säure und dem Rostmoor bei Hochwasser mit Abflussakkumulation aus dem DGM1

7 Bewertung

7.1 Auswirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen

7.1.1 Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf den Moorwasserstand

7.1.1.1 Zeitreihenanalyse des Flurabstandes in den Moorpegeln

Die Ergebnisse der Auswertung der zeitlichen Entwicklung der Flurabstände in den Moorpegeln der **Großen Säure** ergaben signifikante Bruchpunkte der Flurabstandsganglinien an P8 und P9 im Sommer 2011, an P10 im Sommer 2012 und an P6 im Sommer 2018. Hangaufwärts der P8 und P9 wurden im Herbst 2011 Grabenstau errichtet, ebenso hangabwärts der P9. Die Flurabstandsganglinien weisen an beiden Messstellen nach dem Bruchpunkt 2011 größere Schwankungen mit niedrigeren Niedrigwasserständen auf. Dies ist ähnlich an P6 und P10 allerdings ohne statistisch signifikanten Bruchpunkt für das Jahr 2011 zu erkennen. An beiden letztgenannten Moorpegeln gilt dieser Befund jeweils für die dort ermittelten Bruchpunkte.

Eine Erhöhung der Flurabstandsamplitude bei gleichbleibenden Hochwasserständen und niedrigeren Niedrigwasserständen ist als Wirkung der Wiedervernässungsmaßnahmen nicht zu erklären.

Die Bruchpunkte der Flurabstandsganglinien im **Rostmoor** treten zwar in etwa zeitgleich mit der Errichtung der Grabenstau in diesem Bereich auf, jedoch gilt hier analog zur Großen Säure, dass die Veränderungen der Moorwasserstände nicht durch die Wiedervernässungsmaßnahmen zu erklären sind.

Insbesondere für die Trockenjahre 2018 bis 2020 sind die meteorologischen Randbedingungen offensichtlich maßgeblich für die hohen Flurabstandsamplituden in den Moorpegeln, die an P6 in der Großen Säure und an P11, P14 und P16 im Rostmoor durch Bruchpunkte der Flurabstandsganglinien belegt sind.

Mit der Bruchpunktanalyse der Flurabstände konnte insgesamt gezeigt werden, dass die Flurabstände offensichtlich sensitiv auf die hydrometeorologischen Randbedingungen reagieren. Diese Analyse ist damit prinzipiell auch geeignet, die Wirkung von Wiedervernässungsmaßnahmen auf den Flurabstand im Moor zu detektieren. In den vorliegenden Fällen konnten jedoch keine Effekte der Wiedervernässungsmaßnahmen auf den Flurabstand in der Großen Säure oder dem Rostmoor mit Hilfe der Bruchpunktanalysen nachgewiesen werden. Wir gehen davon aus, dass in der Großen Säure der zu kurze Messzeitraum vor Maßnahmenumsetzung und insbesondere im Rostmoor die Überlagerung der Effekte der hydrometeorologischen Randbedingungen und somit der bislang zu kurze Messzeitraum nach Maßnahmenumsetzung ursächlich für dieses Ergebnis sind. In der großen Säure trifft der kurze Messzeitraum vor Umsetzung der Maßnahmen zur Wiedervernässung nicht auf die Moorpegel P8 und P9 zu. Diese beiden Messstellen sind jedoch relativ zu den Grabenstauen nicht optimal positioniert, wobei sie bei der Einrichtung des Monitorings nicht zur Erfolgskontrolle vorgesehen waren (KRÜGER ET AL. 2009). Weiterhin ist in der Großen Säure auch das Staukonzept vor dem Hintergrund des Messstellenensembles, das nicht auf ein konkretes Staukonzept sondern auf von KRÜGER ET AL. (2009) abgegrenzte "Funktionsbereiche" ausgerichtet wurde, nicht optimal. Dies zeigt sich in Abbildung 47 für P5 an den beiden nahegelegenen zur Wilzsch entwässernden Gräben, für P6 am südlich der Messstelle nach Nordosten ohne Stau entwässernden Graben. Neben diesen ggf. unzureichenden Maßnahmen zum Wasserrückhalt in Gräben im Bereich dieser Messstellen ist weiterhin unklar, ob die Messstellen in der Großen Säure im Wirkungsbereich der Stau positioniert sind (Reichweite).

Die Monitoringstrategie mit 14-tägiger Messung des Wasserstandes in den Moorpegeln erachten wir als prinzipiell ausreichend für ein mittel- bis langfristiges Erfolgsmonitoring. Die Ergebnisse zeigen, dass die Flurabstandsamplituden offensichtlich mit diesem Messturnus in hohem Maße erfasst werden können. Kurzfristige Änderungen

der Moorwasserstände, die durch nur durch kontinuierliche, z. B. stündliche Messungen erfasst werden können, können zur Prozessaufklärung beitragen, sind jedoch für ein Erfolgsmonitoring nicht erforderlich. Allerdings können kontinuierliche Wasserstandsmessungen ganzjährig erfolgen, so dass auch die Verhältnisse im Winterhalbjahr bei zu erwartenden hohen Wasserständen erfasst werden können. Zudem können zeitlich hoch aufgelöste Wasserstandsganglinien ggf. zur Abschätzung von Wasserflüssen im Moorkörper herangezogen werden.

7.1.1.2 Korrelationsanalysen des Flurabstandes in den Moorpegeln

Der Flurabstand in den Moorpegeln korreliert mit einzelnen Ausnahmen statistisch signifikant negativ mit den Niederschlagssummen der 7 Vortage und der 14 Vortage (Tabelle 14). Bezogen auf den Niederschlag der 7 Vortage an der DWD-Station gilt dies für alle Moorpegel. Der Flurabstand sinkt damit bei steigenden Niederschlagsmengen.

Mit den Mittelwerten aus 7 Vortagen der Lufttemperatur und der abgeschätzten potenziellen Evapotranspiration korreliert der Flurabstand mit einzelnen Ausnahmen signifikant positiv. Bei höheren Temperaturen und höherer Verdunstung sinken die Wasserstände der Moorpegel.

Die meteorologischen Randbedingungen haben damit den zu erwartenden relevanten Effekt auf die Moorwasserstände aller Moorpegel. In außergewöhnlich warmen, trockenen Jahren sind entsprechend niedrige Moorwasserstände zu erwarten.

7.1.2 Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf die Moorwasserchemie

7.1.2.1 Zeitreihenanalyse des DOC in den Moorpegeln

Die DOC-Ganglinien der Moorpegel weisen in der **Großen Säure** jeweils 2 statistisch signifikante Bruchpunkte auf, die in den Jahren 2012 bis 2018 auftreten. Ein unmittelbarer zeitlicher Zusammenhang mit den Maßnahmen zur Wiedervernässung ist nicht zu erkennen. Allerdings wurden an P8 und P9 im Jahr 2012 keine Proben genommen und die Bruchpunkte im Sommer 2013 folgen knapp 2 Jahre auf die Maßnahmen in der Nähe der beiden Messstellen. Auffällig ist, dass der jeweils erste Bruchpunkt in der Reihenfolge P10 - P8, P9 - P6 - P5 auftritt. Mit Ausnahme von P10 entspricht dies in etwa einer Entwicklung hangabwärts. Der erste Bruchpunkt geht in der Großen Säure jeweils mit einem sprunghaften Anstieg der DOC-Konzentrationen einher. Der zweite Bruchpunkt geht mit Ausnahme von P8 mit einem sprunghaften Absinken des DOC einher. Signifikant linear steigende DOC-Konzentrationen innerhalb der durch die Bruchpunkte getrennten Ganglinienabschnitte können nur an P6 ab 2018 festgestellt werden. Die Varianzanalyse der DOC-Konzentrationen vor und nach 2013 zeigt an allen Moorpegeln der Großen Säure mit Ausnahme von P5 signifikant höhere DOC-Konzentrationen nach 2013. Nach den Maßnahmen zur Wiedervernässung der Großen Säure liegen damit höhere DOC-Konzentrationen im Moorwasser vor, ohne dass auf Basis der zeitlichen Entwicklung ein Zusammenhang hergeleitet werden kann.

Im **Rostmoor** wurde mit Ausnahme von P13 jeweils ein signifikanter Bruchpunkt der DOC-Ganglinien festgestellt. Die Bruchpunkte liegen in den Jahren 2018, 2019 und 2020 und damit im Jahr der Wiedervernässungsmaßnahmen bzw. danach. An P12, P14 und P16 ist ein deutlicher Sprung der DOC-Konzentrationen am Bruchpunkt zu niedrigeren Konzentrationen zu erkennen. Dies ist auch an P13 ohne statistisch signifikanten Bruchpunkt im Sommer 2018 zu sehen (Abbildung 6). Während an P12 der DOC nach 2018 konstant auf niedrigerem Niveau als vor 2018 bleibt, steigt er an P14 und P16 wieder signifikant linear an. Im Rostmoor fällt der DOC an P11 besonders auf. In den Jahren 2019 und 2021 traten an P11 deutlich höhere DOC-Konzentrationen auf als zuvor. P11 wird zwar hier dem Rostmoor zugeordnet, erfasst aber nicht den Abstrom aus dem Rostmoor, sondern den Zustrom zur Wilzsch von Nord-Nordwesten und liegt außerhalb eines möglichen Wirkungsbereichs der Wiedervernässungsmaßnahmen im Rostmoor. An P16 fallen die sehr hohen DOC-Konzentrationen im Jahr 2017 auf, dem ersten Jahr, für das an P16 Proben genommen wurden. Nachdem die Maßnahmen zur Wiedervernässung im Rostmoor 2018 umgesetzt

wurden, kann die hohe DOC-Konzentration nicht auf die Maßnahmen zurückgeführt werden. Insgesamt ist festzustellen dass an 4 der 5 Moorpegel im Rostmoor Rückgänge der DOC-Konzentrationen zeitlich in etwa mit den Wiedervernässungsmaßnahmen zusammenfallen. Ein Zusammenhang zwischen den Maßnahmen und dem Rückgang der DOC-Konzentration im Moorwasser kann jedoch aus diesem Befund nicht sicher abgeleitet werden.

7.1.2.2 Zeitreihenanalysen weiterer Parameter in den Moorpegeln

Aluminium

Die Ganglinien der gelösten Aluminium-Konzentrationen in der Großen Säure weisen nur an P8 und P9 signifikante Bruchpunkte auf, die 2009 (P9) bzw. 2019 (P8) auftreten und damit nicht mit denen anderer untersuchter Parameter übereinstimmen. In keinem Moorpegel der Großen Säure wurden für Al signifikante lineare Trends festgestellt.

Im Rostmoor wurde an allen Moorpegeln ein signifikanter Bruchpunkt im Sommer/Herbst der Jahre 2019 oder 2020 und damit 1 bis 2 Jahre nach Maßnahnumsetzung im Rostmoor festgestellt. Die Al-Konzentrationen weisen am Bruchpunkt einen Sprung zu höheren Werten auf. An P11 - außerhalb des möglichen Wirkungsbereichs der Maßnahmen - tritt der Bruchpunkt zeitgleich mit Bruchpunkten für DOC, Fe, NH₄-N und SO₄ auf. An P11 und P16 ist ein sehr ähnlicher zeitlicher Verlauf der jeweiligen Al- und der DOC-Ganglinien augenscheinlich. Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass die Maßnahmen zur Wiedervernässung nicht ursächlich für die Bruchpunkte sind.

Insgesamt kann damit auf Basis der Zeitreihenanalyse für Al kein Effekt der Wiedervernässungsmaßnahmen auf die Al-Konzentrationen im Moorwasser abgeleitet werden.

Eisen

Die Ganglinien der Konzentrationen von gelöstem Eisen in den Moorpegeln der Großen Säure weisen alle einen Bruchpunkt zu einem jeweils anderen Zeitpunkt auf. An P8 und P10 tritt dieser jeweils 2 Jahre nach den Maßnahmen zur Wiedervernässung in der Umgebung dieser Messstellen auf, wobei an P10 ein Sprung zu niedrigeren und an P8 zu höheren Fe-Konzentrationen beobachtet wird. Für beide Messstellen gelten die bereits für die Bewertung der Flurabstände angeführten Hinweise, dass sie nicht im Wirkungsbereich der Stau positioniert sind.

Im Rostmoor verhält sich Eisen ähnlich zum Aluminium und DOC. An P16 tritt der Bruchpunkt für Fe im gleichen Jahr auf wie der für DOC und für den Moorwasserstand. Signifikante zeitliche Trends der Fe-Konzentrationen im Moorwasser treten für die durch Bruchpunkte getrennten Zeiträume nur vereinzelt auf.

Auch für die Fe-Konzentrationen im Moorwasser kann damit insgesamt kein Einfluss der Wiedervernässungsmaßnahmen aus den Ganglinien abgeleitet werden.

Nitrat

Für Nitrat wurden in der Großen Säure an P8, P9 und P10 ein Bruchpunkt im Mai 2018 festgestellt. In allen drei Messstellen tritt ein Sprung zu niedrigeren Nitrat-Konzentrationen auf. Bis Mai 2018 waren jeweils signifikant linear steigende Nitrat-Konzentrationen zu beobachten. An P6 sinken die Nitrat-Konzentrationen über den gesamten Beobachtungszeitraum signifikant linear. 2021 waren die Nitrat-Konzentrationen hier wie an allen Moorpegeln bei geringer innerjährlicher Varianz auf einem niedrigen Niveau (Abbildung 24).

Im Rostmoor sind Bruchpunkte für Nitrat an allen Moorpegeln in den Jahren 2016 (P11, P15) oder 2018 nachweisbar. Die Nitrat-Konzentrationen weisen hier jeweils deutliche Sprünge zu niedrigeren Werten auf. 2018 treten die Bruchpunkte zum Teil bereits vor Umsetzung der Wiedervernässungsmaßnahmen im Rostmoor auf.

Die Übereinstimmung der Bruchpunkte in beiden Moorkörpern für Mai 2018 lassen darauf schließen, dass hier andere Gründe für den Rückgang der Nitrat-Konzentrationen vorliegen als die Wiedervernässungsmaßnahmen.

Nachdem der Zeitraum ab 2018 hinsichtlich des Niederschlags und der Lufttemperaturen als warme Trockenperiode zu bewerten ist, ist der Wärmehaushalt ein möglicher Faktor für den Rückgang der Nitrat-Konzentrationen.

Ammonium

Ammonium weist in den Moorpegeln mit Ausnahme von P10 und P13 mindestens einen Bruchpunkt auf. Die 9 Bruchpunkte betreffen 6 unterschiedliche Jahre, die nicht mit Bruchpunkten anderer Parameter oder mit dem Jahr der Errichtung von Grabenstauen in der Nähe der jeweiligen Messstelle übereinstimmen. An P6, P8, P15 und P16 liegen signifikant linear sinkende Trends der Ammonium-Konzentrationen vor, an P9 ein signifikant linear steigender Trend. Ein Einfluss der Wiedervernässungsmaßnahmen auf die Ammonium-Ganglinien in den Moorpegeln ist auf Basis der Zeitreihenanalyse nicht festzustellen.

Sulfat

Die Ganglinien für Sulfat im Moorwasser weisen überwiegend im Sommer/Herbst 2019 signifikante Bruchpunkte auf, in der Großen Säure zudem noch im Juli 2011 (P6 und P8) und im Rostmoor an P14 im August 2015. An allen Bruchpunkten liegen Sprünge zu niedrigeren Sulfat-Konzentrationen vor. Auch wenn die Bruchpunkte 2019 etwa ein Jahr nach Umsetzung der Maßnahmen zur Wiedervernässung des Rostmoores auftreten, deutet das gleichzeitige Auftreten von Bruchpunkten im Rostmoor und der Großen Säure auf andere Ursachen als die Maßnahmen zur Wiedervernässung im Rostmoor hin.

7.1.3 Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf die Beschaffenheit des Oberflächenwassers

7.1.3.1 Zeitreihenanalyse des DOC im Oberflächenwasser

Die DOC-Ganglinien im Oberflächenwasser weisen lediglich für die LTV-Messstellen in der Wilzsch, im Bach von SO und im Bach von Ost statistisch signifikante Bruchpunkte auf. Die Messstellen FG1 und OBF40631, die ortsgleich zur Zuflussmessstelle der TS Carlsfeld in der Wilzsch (Carl/1/011) sind, erweisen sich in verschiedenen Auswertungen als nicht direkt vergleichbar zur Carl/1/011. Hier ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Messprogramme mit unterschiedlichen Probenahmezeitpunkten unterschiedliche Verhältnisse erfassen (eingeschränkte zeitliche Repräsentativität). Dies gilt über den Parameter DOC hinaus praktisch für alle zu betrachtenden Parameter der Stichtagsmessungen. Die eingeschränkte zeitliche Repräsentativität führt zu einer geringeren Aussagekraft der Daten und im vorliegenden Fall offensichtlich zu uneinheitlichen Aussagen.

Der Bruchpunkt der DOC-Ganglinie in der Wilzsch tritt 2009 auf. Bis 2008 und damit bis etwa ein Jahr vor diesem Bruchpunkt wurde der überwiegende Teil der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Großen Säure umgesetzt. In den beiden weiteren Zuflüssen zur TS Carlsfeld treten die Bruchpunkte 2006 auf. In allen drei Fällen tritt ein geringer Sprung zu höheren DOC-Konzentrationen auf. Nach SUDBRACK (2022) sind zwischen 2005 und 2011 praktisch jährlich Schadereignisse mit unterschiedlichem Umfang im Forstbezirk Eibenstock aufgetreten, die Einfluss auf die Standortbedingungen und damit den Stoffumsatz im Gebiet haben können. Dazu gehören verschiedene Stürme, beispielsweise der Sturm Kyrill im Jahr 2007, Schnee- und Eisbruch oder Borkenkäfer-Kalamitäten. 2009 traten an Carl/1/011 keine Bruchpunkte für die weiteren betrachteten Parameter auf.

Für den Zeitraum ab dem Bruchpunkt bis 2021 ist kein signifikanter linearer Trend des DOC feststellbar. Bis zum Bruchpunkt steigt der DOC in der Wilzsch signifikant linear an. Ohne Berücksichtigung der Bruchpunkte können für alle drei Zuflussmessstellen zur TS Carlsfeld der LTV signifikant linear steigende Trends nachgewiesen werden.

Die Zeiträume vor 2006 und ab 2006, dem Jahr in dem 2 der 3 Bruchpunkte liegen, weisen signifikant unterschiedliche DOC-Konzentrationen in allen drei Zuflussmessstellen der LTV auf. Dabei ist die absolute Differenz in der Wilzsch am höchsten.

Der Befund, dass auch an Messstellen, die außerhalb des Wirkungsbereichs der Maßnahmen zur Wiedervernässung liegen, Bruchpunkte mit Sprüngen zu höheren DOC-Konzentrationen auftraten, spricht dafür, dass andere Ursachen als die Maßnahmen zur Wiedervernässung maßgeblich waren. Dies wird dadurch gestützt, dass mögliche andere Ursachen eingetreten sind.

Die DOC-Ganglinien der FG-Messstellen, die ab 2006 oder später untersucht werden, weisen keine signifikanten linearen Trends des DOC auf.

Insgesamt kann auf Basis der zeitlichen Entwicklung des DOC im Oberflächenwasser nicht auf mögliche Wirkungen der Maßnahmen der Wiedervernässung geschlossen werden.

Ein Ausschluss von Wirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen auf den DOC in der Wilzsch ist insbesondere aufgrund des Bruchpunktes der DOC-Ganglinie an Carl/1/011 im Jahr 2009 und des stärkeren Anstiegs der DOC-Konzentration in der Wilzsch gegenüber den anderen Zuflüssen ebenfalls nicht sicher möglich.

Gesicherte Aussagen zur Fragestellung der Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung sind damit nicht möglich. Gründe dafür sind die eingeschränkte zeitliche Repräsentativität der erhobenen Daten, die zu zum Teil widersprüchlichen Aussagen führen, sowie die Möglichkeit, dass weitere Ursachen für die festgestellten Veränderungen der DOC-Konzentrationen in Frage kommen.

7.1.3.2 Zeitreihenanalysen weiterer Parameter im Oberflächenwasser

Für die Zuflussmessstellen zur TS Carlsfeld der LTV wurden für alle für die Bruchpunktanalysen berücksichtigten Parameter signifikante Bruchpunkte festgestellt. Während diese an Carl/1/011 in der Wilzsch jeweils unterschiedliche Jahre betreffen, treten an Carl/1/017 und Carl/1/019 die Bruchpunkte für DOC und Sulfat gleichzeitig auf. Für Eisen, Aluminium und Sulfat werden Bruchpunkte an beiden Messstellen im gleichen Jahr nachgewiesen.

Aluminium

Aluminium zeigt in mehreren Messstellen im Oberflächenwasser vergleichbare zeitliche Entwicklungen. In den Zuflussmessstellen der LTV treten Bruchpunkte im Frühsommer 1999 auf, bei denen die Al-Konzentrationen sprunghaft sinken. In FG1 bis FG5 in Wilzsch und Kranizsch werden im Herbst 2007 Bruchpunkte festgestellt, die das erste Untersuchungsjahr an diesen Messstellen mit höheren Konzentrationen und höherer Variabilität von den anschließenden Jahren trennen. Hier fällt auf, dass an FG1 2006 und 2007 zum Teil deutlich höhere Al-Konzentrationen gemessen wurden als an Carl/1/011 und OBF40631. Dies kann der bereits bei der Bewertung des DOC erwähnten geringen zeitlichen Repräsentativität geschuldet sein, oder auf systematische "Fehler" im Prozess von der Probenahme bis zur Laboranalytik hindeuten. Während in den FG-Messstellen keine zeitlichen Trends nachweisbar sind, liegen an den Zuflussmessstellen zur TS Carlsfeld der LTV und an OBF40631 linear sinkende Trends für den Zeitraum nach dem Bruchpunkt sowie für Carl/1/020 (Kranizsch) bis zum Bruchpunkt vor. Der Unterschied zwischen den FG-Messstellen und den Zuflussmessstellen ist hier vermutlich der unterschiedlichen Länge der Messreihen geschuldet. Auswirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen sind aus den Al-Ganglinien nicht ersichtlich.

Eisen

Im Jahr 2011 tritt für Eisen ein Bruchpunkt an drei Messstellen der LTV außerhalb der Wilzsch auf. An allen drei tritt ebenso wie an Carl/1/011 im Jahr 2000 und an FG4 und FG5 ein Sprung zu höheren Eisenkonzentrationen auf. In den Zeiträumen nach dem Bruchpunkt ist die Steigung der linearen Trends nicht signifikant von Null unterschieden. Insgesamt ist die zeitliche Entwicklung der Fe-Konzentrationen im Oberflächenwasser eher uneinheitlich und unterscheidet sich in Wilzsch und Kranizsch von der Entwicklung in den Moorpegeln. Effekte der Wiedervernässungsmaßnahmen auf die Eisen-Konzentrationen in der Wilzsch sind nicht erkennbar.

Nitrat

Die Ganglinien von Nitrat im Oberflächenwasser weisen bis auf FG1, FG3 und FG4 Bruchpunkte auf, bei denen jeweils ein Sprung zu niedrigeren Nitrat-Konzentrationen vorliegt. An den FG-Messstellen tritt dieser Sprung im Mai 2016 auf, in dem auch an FG1 ein Sprung - kein signifikanter Bruchpunkt - zu niedrigeren Konzentrationen zu erkennen ist (Abbildung 23). FG3 und FG4 wurden nur bis 2016 untersucht, so dass hier keine Aussage möglich ist. An allen Zuflussmessstellen zur TS Carlsfeld liegen signifikante lineare Trends zu sinkenden Nitrat-Konzentrationen vor. Ein Effekt der Wiedervernässungsmaßnahmen auf die Nitrat-Konzentrationen im Oberflächenwasser ist nicht zu erkennen.

Ammonium

Ammonium weist im Jahr 2010 an 3 der 4 Carl-Messstellen und an 5 FG-Messstellen im Herbst 2007 bzw. Frühjahr 2008 einen Bruchpunkt auf. In Anhang A 1.1 wird in den Ganglinien deutlich, dass die FG-Messstellen vergleichbare zeitliche Verläufe aufweisen mit 2006 bis 2008 stark sinkenden Konzentrationen. Ab 2009 lagen die Ammonium-Konzentrationen an den FG-Messstellen durchgehend unter bzw. im Bereich der analytischen Bestimmungsgrenze. Die erhöhten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen aus den Jahren 2006-2009 an den FG-Messstellen wurden an OBF40631 und den Carl-Messstellen weit unterschritten. Dies deutet auf mögliche systematische Fehler bei der Datengewinnung (von der Probenahme über den Probentransport bis zur Laboranalyse) im Monitoring an den FG-Messstellen hin. Den beschriebenen zeitlichen Entwicklungen der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen an den FG-Messstellen wird daher im Weiteren keine Relevanz beigemessen.

Sulfat

Sulfat weist über den gesamten Zeitraum überwiegend signifikant linear sinkende Trends im Oberflächenwasser auf. Die signifikanten Bruchpunkte aus Tabelle 12 sind in den Ganglinien im Anhang A 1.1 nicht deutlich erkennbar und treten in unterschiedlichen Jahren auf. Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Großen Säure und des Rostmoores auf die Sulfatkonzentrationen im Oberflächenwasser sind in der Zeitreihenanalyse nicht erkennbar.

Elektrische Leitfähigkeit LF(25)

Die elektrische Leitfähigkeit weist an allen Oberflächenwassermessstellen mit Ausnahme von FG9 signifikante linear sinkende Trends auf. Dies gilt für die Messstellen der LTV und für die OBF40631 bereits für den Zeitraum vor 2006, so dass aus den Zeitreihen kein ursächlicher Zusammenhang mit den Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moore abgeleitet werden kann. Dies gilt besonders auch vor dem Hintergrund, dass die elektrische Leitfähigkeit an drei Moorpegeln im Rostmoor und zwei Moorpegeln in der Großen Säure signifikant linear steigt und an keinem Moorpegel signifikant linear sinkt.

pH-Wert

Der pH-Wert weist an allen Oberflächenwassermessstellen mit Ausnahme von FG4 und FG9 signifikant linear steigende Werte auf. Das bedeutet, dass die H_3O^+ -Konzentrationen nichtlinear sinken. Analog zur Leitfähigkeit ist darauf hinzuweisen, dass diese Tendenz in den Messstellen der LTV bereits vor 2006 deutlich erkennbar ist.

7.1.4 Zusammenfassende Bewertung zu Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moorkörper

Zusammenfassend kann hinsichtlich der Ableitung von Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung festgestellt werden:

- Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper auf den Moorwasserstand können nicht festgestellt werden. Die Gründe können in der Großen Säure im zu kurzen Messzeitraum vor Maßnahmenumsetzung, der eine statistisch gesicherten Vorher-Nachher-Vergleich erschwert, oder im zu großen räumlichen Abstand der Messstellen von den Maßnahmen bzw. der nicht flächendeckenden Umsetzung von Maßnahmen liegen. Im Rostmoor liegen die Gründe wahrscheinlich in der Überlagerung der Effekte der meteorologischen Randbedingungen mit dem bislang zu kurzen Messzeitraum nach Maßnahmenumsetzung.
- Ein Zusammenhang der Maßnahmen zur Wiedervernässung der beiden Moorkörper mit Veränderungen der DOC-Konzentration im Moorwasser kann nicht abgeleitet werden. Dies gilt ebenfalls für andere hydrochemische Parameter.
- Wirkungen der Maßnahmen der Wiedervernässung auf die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser können nicht festgestellt werden, jedoch auch nicht sicher ausgeschlossen werden. Die Gründe für dieses Ergebnis sind benannt. Wirkungen der Maßnahmen der Wiedervernässung auf andere hydrochemische Parameter sind nicht ableitbar.

7.2 Allgemeine Prozessidentifikation

7.2.1 Zeitreihenanalysen

Die Zeitreihenanalysen ermöglichen über die reine Bewertung der Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Moorkörper hinaus unterstützende Aussagen zu Prozessen im Untersuchungsgebiet. Dabei spielen insbesondere die zeitlichen Entwicklungen der Konzentrationen im Oberflächenwasser eine bedeutende Rolle. Zudem trägt die Zeitreihenanalyse der hydrometeorologischen Parameter zur Prozessidentifikation bei.

Die steigenden Lufttemperaturen können sowohl für den Wasserhaushalt als auch für Stoffumsatzprozesse eine Rolle spielen. Bezüglich des Wasserhaushaltes spiegelt sich dies in steigender ETP, hinsichtlich der Stoffumsätze ist zu erwarten, dass mit steigenden Temperaturen insbesondere biologische Prozesse intensiviert werden.

Die **Flurabstandsganglinien** zeigen hinsichtlich der Prozessidentifikation den erheblichen Einfluss der Trockenjahre 2018 bis 2020 auf den Wasserhaushalt der Moorkörper. Dabei fällt P11 auf, an dem in diesem Zeitraum geringere Flurabstände festgestellt wurden als vor 2018. Der Moorpegel P11, links der Wilzsch und unmittelbar an der Wilzsch gelegen, erfasst damit ein Einzugsgebiet, das nicht den Moorkörper des Rostmoores beinhaltet und sich offensichtlich hinsichtlich des Wasserhaushaltes nicht mit dem der Moorkörper vergleichen lässt. Inwieweit die Absolutwasserstände in P11 denjenigen der in geringem Abstand fließenden Wilzsch entsprechen ist unklar. Es ist jedoch von geringen Wasserstandsdifferenzen zwischen dem Grundwasser an P11 und der Wilzsch auszugehen. An P13 traten im Zeitraum 2018-2021 keine höheren maximalen Flurabstände auf als vor 2018. Eine Erklärung liegt hierfür nicht vor.

Jahresgänge der elektrischen Leitfähigkeit **LF(25)** im Moorwasser zeigen häufig zum Sommer hin steigende LF(25)-Werte, die zum Herbst überwiegend wieder sinken. Diese Jahresgänge können auf stärkere Mineralisation der organischen Substanz im Sommer oder höhere Anteile mineralisch geprägten Hangwassers hindeuten. Der

deutliche Trend zu sinkenden LF(25)-Werten im Oberflächenwasser kann auf sinkende Immissionen oder sinkende Freisetzung im bzw. sinkenden Austrag aus dem Boden und dem Gesteinsuntergrund zurückgeführt werden.

Der **pH-Wert**, der in den Moorpegeln überwiegend keine eindeutigen zeitlichen Tendenzen aufweist, steigt in P11 seit etwa 2016 an. Dies bestätigt das unterschiedliche hydrochemische Regime des Einzugsgebietes von P11 zu den Moorkörpern der Großen Säure und des Rostmoores. Die allgemeinen Tendenzen zu steigenden pH-Werten im Oberflächenwasser können auf nachlassende Effekte der langfristig gesunkenen Säureimmissionen hindeuten.

Innerjährliche Jahregänge des **DOC** und **SAK254** im Moorwasser, wie bereits für die LF(25) beschrieben und an fast allen Moorpegeln häufig erkennbar, können auf eine verstärkte Mineralisation der organischen Substanz im Sommer hinweisen. Eine vergleichbare jahreszeitliche Dynamik des DOC im Moorwasser beschreiben unter anderem OSTERLOH ET AL. (2016) und führen dies auf stärkere mikrobielle Aktivität sowie ein stärkeres Pflanzenwachstum und der damit verbundenen höheren Verfügbarkeit organischer Substanz zurück. Die Entwicklung der DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser zeigen im letzten Jahrzehnt keinen (signifikanten) Anstieg der DOC-Konzentrationen im EZG der TS Carlsfeld. Allerdings liegen die DOC-Konzentrationen vor 2006 in allen untersuchten Zuflüssen der TS niedriger als nach 2006.

Auch für **Aluminium** sind im Moorwasser mehrheitlich Jahregänge mit höheren Al-Konzentrationen im Sommer festzustellen. Da Aluminium nicht aus dem Torfkörper selbst stammt, also nicht über die Mineralisation des Torfs freigesetzt wird, deuten die Jahregänge vielmehr auf innerjährlich schwankende Anteile an Hangwasser hin, welches den mineralischen Untergrund passiert hat. Auch im Oberflächenwasser der FG-Messstellen ist dieser Jahregang feststellbar.

Die im Oberflächenwasser an den LTV-Messstellen nachgewiesenen langfristigen Trends zu sinkenden Al-Konzentrationen können auf eine langfristig sinkende Freisetzung von Al aus dem mineralischen Untergrund hindeuten. Für die Freisetzung von Al spielt der Versauerungszustand der Böden eine wesentliche Rolle. Die sinkenden Al-Konzentrationen bei langfristig im Oberflächenwasser steigenden pH-Werte sind damit plausibel.

Gelöstes **Eisen** liegt als Fe^{2+} in reduzierter Form vor. Auch Fe zeigt in mehreren Moorpegel Jahregänge mit höheren Konzentrationen im Sommer. Dies stützt die These der innerjährlich schwankende Anteile an mineralisch geprägtem Hangwasser in den Moorpegeln, wobei die Freisetzung des Eisens insbesondere vom Redoxmilieu des Hangzugswassers und nachrangig vom Säuregrad abhängt.

Nitrat weist im Oberflächenwasser langfristige Trends zu sinkenden Konzentrationen auf. Dies kann auf sinkende Immissionsmengen für Stickstoffverbindungen oder auf verstärkte Nitratzehrung zurückzuführen sein. Sowohl eine verlängerte Vegetationsperiode als auch erhöhte Verdunstung können zu Nitratzehrung beitragen. Da Nitrat zudem bei Redoxprozessen als Endelektronenakzeptor verbraucht (reduziert) wird, können zum Teil auch Veränderungen des Redoxmilieus zu den festgestellten Trends beitragen.

Die für **Ammonium** in den Moorpegeln festgestellten Jahregänge mit höheren Konzentrationen im Sommer, deuten auf eine verstärkte Mineralisation der organischen Substanz im Sommer hin. Ammonium wird bei der Mineralisation direkt freigesetzt. Ammonium kann auch als Endprodukt der Reduktion von Nitrat über Nitrit resultieren.

Sulfat weist im Oberflächenwasser langfristige Trends zu sinkenden Konzentrationen auf. Sulfat kann aus der atmosphärischen Deposition (Immission) von Schwefelverbindungen oder aus der Mineralisation organischer Substanz stammen. Sulfat unterliegt abiotischen und biotischen Redoxprozessen und kann unter reduzierenden Bedingungen als Endelektronenakzeptor zu Sulfid reduziert werden. Die Trends zu sinkenden Konzentrationen im Oberflächenwasser sind offensichtlich der langfristig sinkenden Immission von Schwefelverbindungen geschuldet und weitgehend unabhängig von den niedrigeren Konzentrationen im Moorwasser.

Calcium, Kalium und Mangan weisen im Oberflächenwasser langfristige Trends zu sinkenden Konzentrationen auf (Anhang A 1.1). Dies kann bei den gleichzeitig steigenden pH-Werten analog zum Aluminium auf eine langfristig sinkende Freisetzung aus dem mineralischen Untergrund hindeuten.

Insgesamt lassen sich die zeitlichen Entwicklungen im Moorwasser und im Oberflächenwasser hinsichtlich der Prozessidentifikation wie folgt interpretieren:

- Die langfristigen Trends zu sinkenden Leitfähigkeiten und sinkenden Konzentrationen an Nitrat, Sulfat, Aluminium, Calcium, Kalium und Mangan bei gleichzeitig steigenden pH-Werten im Oberflächenwasser können auf eine allmähliche Reduktion des Versauerungsgrades im Einzugsgebiet durch rückläufige Immissionen bzw. nachlassende Wirkung der Immissionen von Säurebildnern aus der Vergangenheit hindeuten.
- Jahresganglinien verschiedener Parameter im Moorwasser können auf innerjährlich variierende Intensitäten der Torfmineralisation oder auf entsprechend variierende Anteile mineralisch geprägten Hangzugwassers in den Moorpegeln zurückzuführen sein.
- Die prinzipiell vergleichbare Entwicklung der DOC-Konzentration im Oberflächenwasser aller drei Zuflussmessstellen zur TS Carlsfeld deutet darauf hin, dass die Ursachen das gesamte EZG der TS betreffen und nicht in den Staumaßnahmen in Entwässerungsgräben der Moore liegen.

Die Zeitreihenanalysen leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Prozessidentifikation im EZG der TS Carlsfeld.

7.2.2 Räumliche Verteilung des DOC

7.2.2.1 Räumliche Verteilung des DOC im Moorwasser

Die räumliche Verteilung des DOC im Moorwasser der **Großen Säure** zeigt bis 2018 eine prinzipielle Zunahme des DOC von hangaufwärts gelegenen zu hangabwärts gelegenen Messstellen (Abbildung 30). Dies kann als Zunahme mit zunehmendem Fließweg durch den Moorkörper interpretiert werden, das heißt es wird auf dem Fließweg durch den Torfkörper DOC im Moorwasser angereichert. In den Jahren 2019-2021 stellt sich das anders dar. Hier lagen bereits hangaufwärts höhere, an der untersten Messstelle P5 hingegen niedrigere DOC-Konzentrationen vor als in den Vorjahren. Diese Veränderung ist aufgrund des Eintritts nach 2018 mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf Maßnahmen der Wiedervernässung in der Großen Säure zurückzuführen. Hier ist vielmehr ein Zusammenhang mit den hydrometeorologischen Randbedingungen in den warmen Trockenjahren 2018 bis 2020 zu vermuten. Dabei können eine verstärkte Torfmineralisation im oberen Hangbereich und ein Rückgang ggf. bis zum vollständigen Versiegen des Hangabflusses angenommen werden.

Gegen die These der DOC-Anreicherung im Moorwasser auf dem Fließweg spricht, dass beispielsweise für Eisen- oder Aluminium-Konzentrationen im Moorwasser der Großen Säure keine Zunahme hangabwärts festzustellen ist.

Vor dem Hintergrund der Einteilung der Großen Säure in Funktionsbereiche nach KRÜGER ET AL. (2009) ist festzustellen, dass die DOC-Konzentrationen im Moorwasser der Großen Säure mit dem Zustand des Moorkörpers korrelieren. Mit steigender Degradation des Moorkörpers von "Aufwachsendes Moor" (Funktionsbereich 5) über Bereiche mit steigendem Anteil an Fichtenforst (Funktionsbereiche 3 und 2) bis hin zu ausgetorfem Moor in natürlicher Regeneration (Funktionsbereich 4) steigen die DOC-Konzentrationen. Entgegen der oben genannten These, dass der Anstieg des DOC im Moorwasser auf eine Anreicherung auf dem Fließweg hangabwärts zurück zu führen ist, kann die hangabwärts zunehmende DOC-Konzentration von DOC-Bildungsprozessen innerhalb dieser Funktionsbereiche abhängen. Damit wäre für ein intaktes, wachsendes Moor von eher niedrigen und mit zunehmender Degradation von steigenden DOC-Konzentrationen im Moorwasser auszugehen.

Die Clusteranalyse des DOC in den Moorpegeln der Großen Säure ergibt, dass P10, die einen relativ naturnahen Bereich repräsentiert, am wenigsten mit den anderen Messstellen vergleichbar ist. P8 und P9 weisen hier die engste

Beziehung auf (Abbildung 44), repräsentieren damit offensichtlich sehr gut vergleichbare Verhältnisse. P8 und P9 repräsentieren den von KRÜGER ET AL. (2009) ausgewiesenen Funktionsbereich 3 in der Großen Säure. Im Rostmoor können die Moorpegel P12 bis P16 nach eigener Inaugenscheinahme einem Bereich zugeordnet werden, der dem Funktionsbereich 3 vergleichbar ist. Insofern ist die Ähnlichkeit von P8 und P9 mit P12, P13 und P14 in der Clusteranalyse plausibel.

Im **Rostmoor** nimmt, P16 außer acht gelassen, die DOC-Konzentration ebenfalls hangabwärts zu, wobei von P14 nach P13 keine relevante Veränderung der DOC-Konzentration festzustellen ist (Abbildung 31). P11, außerhalb des Torfköpers des Rostmoores, weist vor 2019 deutlich niedrigere DOC-Konzentrationen auf als die Moorpegel innerhalb des Torfköpers. Die DOC-Konzentrationen in P11 liegen dabei noch über denjenigen in der Wilzsch, repräsentieren also den Zustrom zur Wilzsch. Die Differenzen zwischen den Zeiträumen bis 2018 und ab 2019 sind in den Pegeln P13 bis P15 gering, so dass kein Effekt der Wiedervernässungsmaßnahmen abzuleiten ist.

Die Clusteranalyse des DOC in den Moorpegeln des Rostmoores bestätigen die Befunde, dass P16 und insbesondere P11 die größten Unterschiede zu den anderen Moorpegeln aufweisen. Nachdem P11 nicht den Torfkörper des Rostmoores oder dessen Abstrom erfasst, ist dies plausibel.

7.2.2.2 Räumliche Entwicklung des DOC im Oberflächenwasser

Im Oberflächenwasser der Wilzsch nehmen die DOC-Konzentrationen mit der Fließstrecke tendenziell ab (Abbildung 32). Die Abnahme ist über die Fließstrecke vom Ablauf des Kiebickenmoores (FG9) bis unmittelbar vor die Mündung der Kranizsch (FG2) relativ gering. Eine generelle Erhöhung der DOC-Konzentration in der Wilzsch durch den Eintrag von DOC aus dem Rostmoor oder der Großen Säure über deren Teilabstrom nach Nordwesten ist ebenso nicht feststellbar, wie eine Erhöhung durch den Zustrom aus der Kranizsch.

In der Kranizsch liegt der DOC im Median niedriger als in der Wilzsch vor der Mündung der Kranizsch, weist aber eine deutlich höhere Varianz auf (Abbildung 33). Eine Zunahme des DOC in der Kranizsch durch Einträge aus der Großen Säure ist im Vergleich von FG5 und FG3 nicht ableitbar.

Eine räumliche Betrachtung von DOC-Frachten im Oberflächenwasser, die über die Auswertung der DOC-Konzentrationen hinaus sinnvoll wäre, ist aufgrund nicht erfasster Abflussmengen an den Messstellen nicht möglich.

7.2.3 Korrelations- und Regressionsanalysen für DOC

7.2.3.1 Korrelations- und Regressionsanalysen für DOC in den Moorpegeln

Der DOC korreliert mit dem **Flurabstand** in der Großen Säure an P6 und P9 signifikant negativ, an P10 signifikant positiv und im Rostmoor an P13 bis P16 signifikant negativ (Tabelle 14).

Hohe Flurabstände (niedrige Wasserstände) gehen in P6, P9 und P13 bis P16 mit niedrigen DOC-Werten einher, niedrige Flurabstände mit hohen DOC-Werten. Die These, dass im Sommer, wenn eher hohe Flurabstände auftreten, eine verstärkte Torfmineralisation in der durchlüfteten Zone stattfindet, steht mit diesem Befund nicht in Widerspruch, wenn die Raten der vollständigen Mineralisation der gelösten Kohlenstoffverbindungen im Moorwasser in der gesättigten, anaeroben Zone diejenigen der gleichzeitigen Freisetzung von DOC aus der Festsubstanz (Torf) in der aeroben Zone übersteigen. Eine wahrscheinlichere Erklärung ist jedoch, dass der Abbau fester organischer Substanz im aeroben Bereich oberhalb des Moorwasserspiegels zwar verstärkt stattfindet, jedoch ohne dass die Abbauprodukte mangels Transportmedium in die gesättigte Zone ausgetragen werden. Der dann in der ungesättigten aeroben Zone gebildete DOC wird bei niedrigen Flurabständen mobilisiert und führt dann zu erhöhten DOC-Konzentrationen im Wasser der Moorpegel.

Im naturnahen, kaum entwässerten Moorbereich um P10 treten bei niedrigen Flurabständen eher niedrige und bei hohen Flurabständen eher hohe DOC-Konzentrationen auf. Letzteres kann als Indiz dafür gewertet werden, dass in naturnahen Mooren mit niedrigen Flurabständen niedrige DOC-Konzentrationen zu erwarten sind.

Der DOC korreliert signifikant positiv mit den Parametern **TC**, **TNb**, **TOC** und **TON**. Der Gesamt-Kohlenstoff und der gesamte organische Kohlenstoff werden überwiegend von gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen bestimmt.

In allen 11 Moorpegeln korreliert der DOC signifikant positiv mit gelöstem **Aluminium** und in 9 von 11 Moorpegeln mit gelöstem Eisen (Tabelle 15). Es können jeweils signifikante lineare Regressionsbeziehungen nachgewiesen werden (Tabelle 28, Tabelle 30). Steigende DOC-Konzentrationen gehen mit steigenden Aluminium- und Eisen-Konzentrationen einher. Ähnliche Befunde berichten beispielsweise ANDERSON ET AL. (2021). Aluminium und Eisen sind nicht torfbürtig, vielmehr ist davon auszugehen, dass sie Indikatoren für Hangzugwasser aus der Passage des mineralischen Untergrundes sind. Aluminium wird bei stark sauren, Eisen unter reduzierenden Bedingungen gelöst. Die positiven Korrelationen können auf Metall-DOC-Kolloide oder Metall-DOC-Komplexe hinweisen. Der Kolloid-Transport kann für diese Metalle eine wichtige Rolle spielen (HOFMAN ET AL. 2003). Gegebenenfalls ist die Korrelation nicht auf kausale Zusammenhänge zwischen hohen Al- oder Fe- und hohen DOC-Konzentrationen zurück zu führen. Gleichzeitige Mobilisierung und Transport von Al oder Fe mit dem Hangzugwasser - z.B. bei höherem Hangwasserabfluss oder aufgrund des Redox- oder Säuremilieus im Hangwasser - und Bildung (Torfabbau) oder Mobilisierung und Transport (mit der Abflussbildung) von DOC im Torfkörper kann die Korrelation beispielsweise erklären.

Mit der H_3O^+ -Konzentration korreliert der DOC signifikant positiv in 3 der 5 Moorpegel der Großen Säure und 4 der 6 Moorpegel im Rostmoor (Tabelle 15). Es liegen jeweils signifikante lineare Beziehungen vor (Tabelle 36). Bei niedrigem pH-Wert, also hoher Säurekonzentration, liegen eher hohe DOC-Konzentrationen vor. Dies ist für Fulvosäuren, die offensichtlich einen wesentlichen Anteil des DOC ausmachen, plausibel, da diese in der protonierten Form besser löslich sind, bzw. deprotoniert ggf. ausfallen oder ausflocken.

Ebenfalls statistisch signifikant positive Korrelationen und signifikante lineare Beziehungen zum DOC liegen für **Nitrit** vor (Tabelle 15 und Tabelle 38). Diese Korrelation kann auf den Zusammenhang von reduzierenden Bedingungen und hohen DOC-Konzentrationen aufgrund des Sauerstoffverbrauchs und der Nutzung alternativer Sauerstoff-donatoren/Endelektronenakzeptoren (Denitrifikation) hinweisen.

Statistisch signifikant negativ korrelieren DOC und **Ammonium** in 2 Moorpegeln der Großen Säure und in 4 Moorpegeln des Rostmoores. In 3 Moorpegeln (P5, P10, P11) ist die Korrelation statistisch signifikant positiv. Damit ergibt sich kein einheitliches Bild, das eindeutig auf Prozesse hinweist.

Signifikante Korrelationen des DOC mit der **Nitrat**-Konzentration im Moorwasser sind lediglich an 3 Messstellen gegeben. Diese sind an P9 und P12 positiv, an P11 negativ. Im Moorwasser insgesamt ist damit nicht von einem klaren Zusammenhang zwischen DOC und Nitrat auszugehen.

Zwischen DOC und der **Wassertemperatur** (TW) in den Moorpegeln bestehen, mit Ausnahme von P6, P13, P15 und P16, statistisch signifikante positive Korrelationen. Einen Jahresgang mit höheren DOC-Konzentrationen bei höheren Temperaturen beschreiben unter anderem bereits OSTERLOH ET AL. (2016), CLARK ET AL. (2008) oder FRASER ET AL. (2001). Ein Grund kann hier die mikrobielle Aktivität sein und der damit einhergehende erhöhte Stoffumsatz im Boden. Dies widerspricht der weiter oben beschriebenen Befund, dass im Sommer (bei höheren Temperaturen) bei niedrigen Wasserständen (hohen Flurabständen) niedrige DOC-Konzentrationen vorliegen. Dieser Widerspruch betrifft nur die Moorpegel P9 und P14, die signifikant negative Korrelationen des DOC zum FA bei gleichzeitig signifikant positiven Korrelationen des DOC zu TW aufweisen. Eine mögliche Auflösung dieses Widerspruchs ist bereits bei der Bewertung der Korrelation DOC-FA darin erklärt, dass bei niedrigen FA zwar DOC durch Abbau fester organischer Substanz in der durchlüfteten Zone gebildet wird, dieser aber aufgrund des fehlenden Transportmediums nicht in den gesättigten Bereich des Moorkörper ausgetragen wird.

Signifikante Korrelationen zwischen DOC und **Sulfat** in den Moorpegeln bestehen im Rostmoor, mit Ausnahme von P12, in der Großen Säure nur an P10 (Anhang A 2.2). Hier gehen sinkende Sulfat-Konzentrationen mit steigenden DOC-Konzentrationen im Moorwasser einher. Eine Erklärung kann analog zum Befund für Nitrit im Redoxmilieu liegen.

7.2.3.2 Korrelations- und Regressionsanalysen für DOC im Oberflächenwasser

Mit dem **Niederschlag** korreliert der DOC im Oberflächenwasser an allen Messstellen signifikant positiv. Die Korrelationen mit der Niederschlagssumme der 7 Vortage sind stärker als mit der Summe der 14 Vortage. Es ist anzunehmen, dass mit der stärkeren Abflussbildung bei höheren Niederschlägen eine Mobilisierung von DOC einhergeht. Die positiven linearen Beziehungen weisen höhere Steigungen an den Messstellen der Kranizsch als an den Messstellen der Wilzsch auf. Offensichtlich wird im Großen Kranichsee mit dem Niederschlag DOC stärker mobilisiert als im restlichen Einzugsgebiet der Wilzsch. Regressionsanalysen zu den Abflussdaten an Carl/1/011 und Carl/1/020 in GEISEN & SEMMLING (2022) zeigen, dass etwa 20% des Abflusses an der Zuflussmessstelle der TS Carlsfeld in der Wilzsch im Teileinzugsgebiet (TEZG) der Messstelle Carl/1/020 und damit im Großen Kranichsee gebildet werden. Das TEZG an Carl/1/020 weist einen Flächenanteil von etwa 14,5 % des TEZG an Carl/1/011 auf. Im Großen Kranichsee findet damit eine stärkere Abflussbildung statt als im restlichen Einzugsgebiet der Wilzsch. Eine stärkere Abflussbildung kann ursächlich für eine stärkere Mobilisierung sein. Höhere DOC-Konzentrationen bei höheren Abflüssen beschreiben u. a. auch OSTERLOH ET AL. (2016).

Die Korrelationen zwischen DOC und **LF(25)** im Oberflächenwasser können mit einer Mobilisierung gelöster Substanzen gleichzeitig zur Mobilisierung von DOC erklärt werden. Die Steigungswerte der linearen Regressionsgleichungen sind am Ablauf des Großen Kranichsee deutlich höher als an den anderen Messstellen, was auf eine stärkere Mobilisierung von Ionen im Großen Kranichsee parallel zur Mobilisierung von DOC hinweist. Auffällig ist der Unterschied der Korrelationsbeziehungen zwischen den Zuflussmessstellen der LTV zur TS Carlsfeld und allen anderen Messstellen, für den keine Erklärung vorliegt.

DOC korreliert im Oberflächenwasser positiv mit gelöstem **Aluminium**. Die positiven Korrelationen können analog zum Befund in den Moorpegeln auf einen gemeinsamen, ggf. colloidalen Transport hinweisen. Die Regressionsgeraden für den Abfluss aus dem Großen Kranichsee (Carl/1/020, nicht FG5!) und dem Kiebickenmoor (FG9) weisen deutlich größere Steigungen auf als alle anderen Messstellen. An beiden Moore wurden bislang keine Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes durchgeführt.

Mit **Eisen** korreliert der DOC im Oberflächenwasser zum Teil stärker positiv als mit Aluminium. Die Steigungen der Regressionsgeraden sind am Ablauf des Großen Kranichsee (FG5 und Carl/1/020) deutlich niedriger als an den anderen Messstellen. Vor dieser Messstelle ist die Gewässersohle der Kranizsch stark ocker gefärbt. Im Anstrom der Messstelle fallen demnach Eisenhydroxide aus. Analog zum Befund für Aluminium kann ein gemeinsamer, ggf. colloidalen Transport von Fe mit DOC angenommen werden.

Mit **H₃O⁺** korreliert der DOC im Oberflächenwasser positiv. Sinkende pH-Werte und damit steigende H₃O⁺-Konzentrationen gehen mit steigenden DOC-Konzentrationen einher. Dies ist für Fulvosäuren, die offensichtlich einen wesentlichen Anteil des DOC ausmachen, plausibel., da diese in der protonierten Form besser löslich sind, bzw. deprotoniert ggf. ausfallen oder ausflocken.

Mit **Na**, **K** und **Ca** korreliert der DOC im Oberflächenwasser ebenso negativ wie mit **o-PO₄-P**, **NO₃-N** und **SO₄**. Für die Metalle, Nitrat und Sulfat bestätigt dies die prinzipielle gegenläufige zeitliche Entwicklung mit über den gesamten Messzeitraum steigenden DOC-Konzentrationen und sinkenden Konzentrationen der genannten Substanzen. Für Nitrat und Sulfat kann dies indirekt zusammenhängen, wenn die sinkenden Konzentrationen auf eine Abnahme der Immissionsmengen und damit auf eine Abnahme des Versauerungsgrades des Einzugsgebietes zurück zu führen sind. Darauf deutet auch die zeitliche Entwicklung des pH-Wertes hin (Kapitel 7.2.1). Mit abnehmender Versauerung kann eine zunehmende mikrobielle Aktivität angenommen werden, die mit einer Zunahme der Freisetzung von DOC

aus der organischen Festsubstanz einher geht. Nachdem in den Moorpegeln kein eindeutiger zeitlicher Trend zu steigenden pH-Werten feststellbar ist, kann dies darauf hindeuten, dass eine Zunahme der DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser durch verstärkte DOC-Freisetzung aus anmoorigen Bereichen und nicht aus den Torfkörpern hervorgerufen wird. Bei ausbleibender Zunahme der DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser können gegenläufige Tendenzen - höhere DOC-Austräge aus den Mineralböden bei gleichzeitig niedrigeren DOC-Austrägen aus den Moorböden - die Ursache sein.

7.2.3.3 Faktor- und Clusteranalysen - Moorpegel

Die Faktoranalyse ausgewählter Parameter für alle Moorpegel ergibt 4 Faktoren (Tabelle 40).

Faktor 1 wird von DOC und Nitrit positiv geladen. Mit geringerem Gewicht gehen die elektrische Leitfähigkeit und, mit negativem Vorzeichen, Sulfat ein (Tabelle 40). Nachdem der DOC diesen Faktor mit dem höchsten Gewicht bestimmt, kann Faktor 1 als DOC interpretiert werden.

Faktor 2 kann als "bodenbürtige Metalle" interpretiert werden, der durch Aluminium, Eisen und Mangan bestimmt wird. Die "bodenbürtigen Metalle" deuten auf einen hohen Anteil an mineralisch geprägtem Wasser in den Moorpegeln hin.

Faktor 3 beschreibt den "Energiehaushalt" mit den Parametern Lufttemperatur und potentielle Evapotranspiration.

Faktor 4 wird durch Kalium und Chlorid bestimmt. Beide Parameter stammen möglicherweise überwiegend aus der atmosphärischen Deposition, sind sehr gut löslich, sehr mobil und unterliegen im Moorkörper nicht wie andere Substanzen Transformationsprozessen.

Die Clusteranalyse der Daten zum Moorwasser zeigt enge Beziehungen zwischen Calcium und Sulfat, Aluminium und Eisen sowie Kalium und Chlorid. DOC wird erst relativ spät mit der Leitfähigkeit geclustert und dieses Cluster erst im letzten Schritt mit den übrigen Parametern zusammengelegt (Abbildung 41). Insgesamt kann analog zur Faktoranalyse festgestellt werden, dass die DOC-Konzentrationen aller Moorpegel weniger ähnlich den anderen berücksichtigten Parametern sind als diese Parameter untereinander. Es ist anzunehmen, dass die Konzentrationen der den verschiedenen Clustern zugeordneten Substanzen durch unterschiedliche Prozesse bestimmt werden.

7.2.3.4 Faktor- und Clusteranalysen im Oberflächenwasser

Die Faktoranalyse ausgewählter Parameter für alle Oberflächenwassermessstellen im EZG der Wilzsch ergibt ebenfalls 4 Faktoren (Tabelle 41).

Faktor 1 wird von Sulfat und DOC mit den höchsten Beträgen der Faktorladung bei unterschiedlichem Vorzeichen bestimmt. Mit geringerem Gewicht gehen Calcium und Kalium und, mit negativem Vorzeichen, der Niederschlag ein. Die Interpretation des Faktor 1 als DOC im Moorwasser trifft im Oberflächenwasser so eindeutig nicht zu. Dass der Niederschlag, der mit dem DOC im Oberflächenwasser positiv korreliert, in Faktor 1 gleichgerichtet zum DOC eingeht, kann als Hinweis auf die Relevanz der Abflussbildung auf die Mobilisierung von DOC gewertet werden.

Faktor 2 mit hohen Ladungen von LF(25) und Al unterscheidet sich ebenfalls vom Ergebnis für die Moorpegel. Die elektrische Leitfähigkeit steht hier als Parameter, der die Summe der gelösten Ionen beschreibt.

Faktor 3 beschreibt, analog zu den Verhältnissen in den Moorpegeln den Energiehaushalt.

Faktor 4 kann im Oberflächenwasser mit den hohen Ladungen für Fe und Mn als bodenbürtige, redoxabhängige Metalle gewertet werden. Im Gegensatz zum Faktor 2 der Moorpegel ist Al hier nicht relevant.

Die parameterbezogene Clusteranalyse im Oberflächenwasser führt zur Zusammenlegung von TL mit ETP, Al mit LF(25), Ca mit SO₄ und bereits mit relativ geringer Linkage Distance von DOC mit dem Cluster Al-LF(25) und im Weiteren mit Fe (Abbildung 43). Insbesondere letzteres kann auf den Transport von Al- und Fe-Colloiden hindeuten.

In der messstellenbezogenen Clusteranalyse für DOC im Oberflächenwasser der FG-Messstellen zeigt sich die hohe Ähnlichkeit der Wilzsch-Messstellen, denen die Messstelle in der Kranzsch an der Mündung in die Wilzsch noch relativ ähnlich ist, während der Ablauf des Großen Kranichsee (FG5) offensichtlich sehr verschieden von den anderen Messstellen ist. Die Messstellen der LTV weisen geringere Ähnlichkeiten untereinander auf als die FG-Messstellen untereinander. Dabei sind sich die Zulaufmessstellen in der Wilzsch und im Bach von Ost ähnlicher als die beiden Messstellen im EZG der Wilzsch, was die Verschiedenheit des Abflaufs des Großen Kranichsee vom restlichen Einzugsgebiet der Wilzsch unterstreicht.

7.2.3.5 Multiple Regressionsanalysen für DOC - Moorpegel

Die in den multiplen Regressionsanalysen im Moorwasser resultierenden Regressionsgleichungen zeigen insbesondere, dass Aluminium im Moorwasser in 10 der 11 Moorpegel zur Erklärung des DOC beiträgt und dabei häufig dominierender Parameter ist. Auch die Leitfähigkeit in 8, Nitrit in 7 und Sulfat in 6 von 11 Moorpegeln tragen relativ häufig zur multiplen Regression mit DOC als Zielgröße bei. Darüber hinaus tragen verschiedene Parameter mit eher geringer Häufigkeit in den Moorpegeln zur Erklärung des DOC über multiple Regressionen bei.

Es zeigt sich zudem, dass insbesondere P5 und P10 in der Großen Säure sowie P11 und P16 im Rostmoor von den jeweils anderen Moorpegeln deutlich zu unterscheiden sind. Dies ist mit der für P5, P10 und P11 mit dem jeweils durch die Messstellen untersuchten Bereiche erklärbar: P5 erfasst einen anmorigen Mineralboden im ausgetorften Moorbereich des Talbodens der Wilzsch im Abstrom des Torfkörpers der Großen Säure. P10 wird in KRÜGER ET AL. (2009) als intakter Moorbereich beschrieben, P11 erfasst den Zustrom zu Wilzsch von Norden und damit einen vollständig anderen Bereich als die Große Säure oder das Rostmoor und ist möglicherweise durch den Austausch des Grundwassers mit der Wilzsch beeinflusst. P16

7.2.3.6 Multiple Regressionsanalysen für DOC im Oberflächenwasser

Im Oberflächenwasser dominiert Al die multiplen Regressionsgleichungen, gefolgt von SO₄ und Fe. Der Niederschlag der 7 Vortage, mit dem DOC im Oberflächenwasser mittelstark korreliert und der in der Faktoranalyse den Faktor mit DOC relativ hoch lädt, spielt in der multiplen Regression keine Rolle.

Der Beitrag von Aluminium und Eisen zur Erklärung des DOC in multiplen Regressionen im Oberflächenwasser kann als starkes Indiz für einen Co-Transport von DOC und Al bzw. Fe, ggf. für einen colloidalen Transport gewertet werden.

7.2.4 Zusammenfassende Bewertung der Prozessidentifikation

Zusammenfassend kann hinsichtlich der Ableitung von Auswirkungen der Maßnahmen zur Wiedervernässung festgestellt werden:

- Im Moorwasser können innerjährlich variierende Intensitäten der Torfmineralisation oder entsprechend variierende Anteile mineralisch geprägten Hangzugwassers angenommen werden.
- Der Abbau der Torfsubstanz und die Mineralisation des DOC im Moorwasser hängen vom Flurabstand und damit der Verfügbarkeit von Sauerstoff und der Temperatur und damit der mikrobiellen Aktivität ab.
- Die Zunahme der DOC-Konzentration im Moorwasser hangabwärts kann über die Freisetzung von DOC im Moorkörper und den Transport mit dem Hangwasser erklärt werden.
- Die Abnahme der DOC-Konzentration im Oberflächenwasser mit der Fließstrecke sowohl in der Wilzsch als auch in der Kranizsch lassen auf Zustrom DOC-ärmeren Wassers auf der Fließstrecke schließen (Verdünnung).
- Mit dem Niederschlag und damit der Abflussbildung findet eine Mobilisierung von DOC und dessen Eintrag in das Oberflächenwasser statt.
- Indizien weisen auf einen kolloidale Transport von Al und Fe mit dem DOC hin.
- Die Ursachen für die zeitliche Entwicklung der DOC-Konzentration im Oberflächenwasser betreffen nicht allein das Einzugsgebiet der Wilzsch.
- Anhand der Entwicklung im Oberflächenwasser kann auf eine allmähliche Reduktion des Versauerungsgrades im Einzugsgebiet geschlossen werden. Es ist zu erwarten, dass dies Auswirkungen auf biotische und abiotische Prozesse im Einzugsgebiet hat.

7.3 Bewertung der Monitoringstrategie

Das hydrochemische Monitoring im Einzugsgebiet der Wilzsch wurde ursprünglich von KRÜGER ET AL. (2009) als Langzeitmonitoring konzipiert, das im Rahmen technischer und finanzieller Möglichkeiten hydrologische und hydrochemische Prozesse erfassen sollte. Dabei war die Erfassung des Abflusses zur Ermittlung von Stofffrachten nur am Zuflusspegel zur TS Carlsfeld in der Wilzsch vorgesehen. An Messstellen im Einzugsgebiet des Pegels sollten nur Konzentrationen ermittelt werden. Neben der Erfassung der Vorfluter sollte ein getrenntes Messnetz für das System Grundwasser im Moor "Große Säure" installiert werden. Im Laufe der Zeit wurden Messstellen nicht weiter untersucht und neue Messstellen er- bzw. eingerichtet.

Während die Monitoringstrategie für die Große Säure auf Bereiche mit unterschiedlichem Zustand bezüglich Torfmächtigkeit, Entwässerung, Bodenvegetation und Bestockung ausgerichtet wurde (KRÜGER ET AL. 2009, KRÜGER ET AL. 2011), wurde im Rostmoor das Monitoring offensichtlich zur Erfolgskontrolle der Maßnahmen zur Wiedervernässung ausgerichtet. Im Rostmoor wurden die Moorpegel daher so platziert, dass sie im potenziellen Wirkungsbereich von Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes im Rostmoor liegen und zudem in etwa ein hangabwärts gerichtetes Transekt erfassen. Keiner der bestehenden Moorpegel in der Großen Säure erfassen nach Umsetzung der Maßnahmen zur Wiedervernässung der Großen Säure einen Bereich, der umfassend von Wiedervernässungsmaßnahmen bevorteilt wird. Dies wird besonders in Abbildung 49 deutlich:

P5 wird zwar im günstigsten Fall durch einen stabilisierten Hangwasserszustrom von SSW begünstigt, liegt aber innerhalb eines Bereichs, der durch zwei S-N-gerichtete Gräben zur Wilzsch hin entwässert wird.

Der Wasserhaushalt im Bereich um P6 wird im Anstrom von SW sowie im Seitenstrom im N und im Abstrom nach NO durch Maßnahmen stabilisiert, jedoch entwässert der Graben südlich von P6 weiterhin ungehindert nach NW zur Kranizsch hin. Den lokalen Effekt zeigt die Grundwassergleiche für 920 m in Abbildung 47 und Abbildung 48, der hier nur auf diese Isohypse beschränkt ist, da für den Graben nur in diesem Bereich ein Grabenhilfspunkt gesetzt wurde. Wir gehen davon aus, dass dieser Graben noch eine relevante Drainagewirkung auf den Bereich um P6 hat.

P8 und P9 liegen mit deutlichem Abstand zu Gräben in einem weniger intensiv entwässerten Bereich, wobei im Anstrom ein hangparalleler Graben den Hangwasserzustrom auch aktuell noch abfängt und nach NW ableitet (Abbildung 49).

P10 profitiert ggf. durch Wiedervernässungsmaßnahmen, die hangabwärts den Abstrom des Hangwassers stabilisieren. Der Graben südlich von P10 ist offensichtlich stark verlandet oder eingefallen und nicht mehr relevant wirksam (nach KRÜGER ET AL., 2009 wurden hier bereits in den 1990er Jahren Wiedervernässungsmaßnahmen durchgeführt), so dass P10 als eher unbeeinflusster Bereich bewertet werden kann. Dabei wird hier offensichtlich ein Quellmoor erfasst, das hydrologisch und hydrochemisch als solches nicht direkt mit den Messstellen im Moorkörper vergleichbar ist.

Für die Moorpegel liegen uns keine Ausbaupläne und keine konkreten Aufnahmen des Profilaufbaus vor. Die Beurteilung der Herkunft des Moorwassers in jedem einzelnen Pegel ist damit nicht auf die Ausbaudaten gestützt. Inwieweit die Messstellen von Hangzugwasser im Akrotelm oder im mineralischen Untergrund gespeist werden, hängt auch davon ab, ob der mineralische Untergrund an den Filterbereich der Messstelle angeschlossen ist. Aus den Schichtenverzeichnissen der Bohrungen in unmittelbarer Umgebung der Messstellen P5, P6, P8 und P10 in EdOM (2008) ist ableitbar, dass an P5 ein anmooriger Mineralboden, an P6 und P8 ausschließlich Torf und an P10 (Torf bis 0,85 m u GOK) ggf. auch der mineralische Untergrund durch die Moorpegel erfasst werden.

Das Monitoringkonzept erlaubt mit der getrennten Erfassung des Oberflächenwassers und des Grund-/Moorwassers keine gesicherte Aussage über die Konnektivität des Moorwassers zum Oberflächenwasser. Die Moorwassermessstellen können zur Erfassung von Konzentrationen und Wasserständen den Zustand zum Probenahme- bzw. Messzeitpunkt dienen, jedoch nicht zur Erfassung von Flüssen und Frachten. Gesicherte Aussagen zum Beitrag der Moorkörper und insbesondere der Wiedervernässungsbereiche zur Belastung des Oberflächenwassers bedürfen einer fundierten Abschätzung der Wasserflüsse und Stofffrachten aus den Moorkörpern in das Oberflächenwasser.

Die Möglichkeit zur Ermittlung von Stofffrachten ist im Oberflächenwasser bislang weitestgehend auf die Messstelle Carl/1/011 beschränkt, da nur an dieser Messstelle, sowie für einen kurzen Zeitraum für Carl/1/020 Abflusswerte vorliegen. Auch im Oberflächenwasser kann damit ein Vergleich des Beitrags verschiedener Teileinzugsgebiete zu Stofffrachten nicht fundiert abgeschätzt werden. Frachtbetrachtungen im Oberflächenwasser für definierte Gewässerabschnitte können zur Ermittlung des Beitrags des Zustroms/Eintrags innerhalb des Abschnittes und somit zur Abgrenzung von DOC-Quellbereichen dienen. Zur Durchführung von Frachtberechnungen sind Abflussmessungen an den Probenahmestellen zumindest zu den Probenahmeterminen notwendig.

Die Reduktion des Umfangs der berücksichtigten Messstellen im Oberflächenwasser (FG3, FG4) bewerten wir als eher kritisch. Vor dem Hintergrund einer Bewertung der Beiträge verschiedener Teileinzugsgebiete zum Gesamteintrag von DOC in die TS Carlsfeld aus dem Einzugsgebiet der Wilzsch, empfehlen wir die abschnittsweise Untersuchung der Oberflächengewässer Wilzsch und Kranizsch so, dass an den Messstellen der mögliche Beitrag der verschiedenen Moorkörper erfasst werden kann. Mit FG3 kann potenziell der Beitrag der Großen Säure zum DOC in der Kranizsch bis zur Mündung in die Wilzsch erfasst werden, mit FG4 besteht die Möglichkeit des Vergleichs von An- und Abstrom des Eintragsbereichs aus der Großen Säure in die Wilzsch.

Das bisher untersuchte Parameterspektrum im Moorwasser und im Oberflächenwasser bewerten wir als ausreichend. Kritisch zu hinterfragen ist die Probenahmestrategie, bei der zunächst die Moorpegel vollständig abgepumpt werden und am Folgetag die Probenahme erfolgt. Wir gehen davon aus, dass mit dieser Strategie

vermieden werden soll, dass Pegelwasser beprobt wird, das durch den Kontakt mit der Atmosphäre ggf. vom Wasser im Moorkörper abweichende hydrochemische Bedingungen aufweist. Der möglichst mehrfache Austausch des Messstellenvolumens ist für die Gewinnung von Pumpproben aus Grundwasser Stand der Technik. Im Unterschied zur vorliegenden Probenahmetechnik kommt der mehrfache Austausch des Messstellenvolumens in der Regel aber dann zum Einsatz, wenn die Ergiebigkeit der Messstelle eine ausreichende kontinuierliche Nachlieferung gewährleistet. Wir gehen davon aus, dass mit der akutell praktizierten Strategie kein wesentlicher Vorteil gegenüber einer direkten Probenahme ohne vorherige vollständige Entleerung der Messstellen verbunden ist. Ein Indiz dafür können die relativ hohen Sauerstoffsättigungswerte der Proben aus den Moorpegeln sein, die evtl. auf Sauerstoffeintrag beim Nachlaufen des Moorwassers in die Messstellen zurückzuführen sind, insbesondere wenn der wesentliche Zustrom zu den Messstellen oberflächennah erfolgt.

Der Vergleich der ortsgleichen Messstellen am Zuflusspegel Wilzsch zur TS Carlsfeld sowie am Ablauf des Großen Kranichsee zeigt unter der Annahme, dass Probenehame, -transport sowie Aufbereitung und Analytik im Labor bzw. die Messungen und Messtechnik für die Vor-Ort-Messungen nicht zu wesentlichen Differenzen in den Messergebnissen führen, dass die zeitliche Repräsentativität bei den vorliegenden Stichprobenuntersuchungen nicht immer gegeben ist. Hier kann die Ergänzung der Monitoringuntersuchungen durch kontinuierliche Messungen, wie sie bereits beispielsweise am Zulaufpegel Wilzsch mit dem SAK254 erfolgen, hilfreich zur Einordnung der Ergebnisse der Stichproben in zeitliche Entwicklung der Verhältnisse insbesondere bei kurz- und mittelfristig variablen Messgrößen sein. Zudem ist zum sparsamen Mitteleinsatz zu empfehlen, verschiedene Messprogramme möglichst weitgehend aufeinander abzustimmen und ggf. in einem gemeinsamen Messprogramm zu bündeln.

7.4 Vorschläge zur Berücksichtigung der Messstellen im geplanten Sondermessnetz „Huminstoffe“

Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie plant ein Sondermessnetz "Huminstoffe", in dem GW- und OW-Messstellen sowie Bodenmessplätze untersucht werden (LFULG 2021A, ECKARDT UND HAENEL 2020). Grund für die Einrichtung eines solchen Sondermessnetzes ist der seit Jahren beobachtete Anstieg von DOC im Rohwasser von Trinkwassertalsperren in Sachsen, insbesondere der TS Carlsfeld, der TS Muldenberg, TS Werda und TS Sosa (ECKARDT UND HAENEL 2020).

Im geplanten Sondermessnetz "Huminstoffe" sollen auch Messstellen aus dem EZG der TS Carlsfeld integriert werden. Dies bietet sich unter anderem auch aufgrund der bereits langjährigen Messreihen und der damit möglichen Zeitreihenanalysen an.

Die bestehenden Messstellen für das Grund-/Moorwasser können sowohl aus dem Messstellenensemble der Großen Säure als auch aus dem Ensemble des Rostmoores in einem solchen Sondermessnetz berücksichtigt werden. Nachdem die Ergebnisse der statistischen Analysen zeigen, dass sich insbesondere bezüglich des DOC in der Großen Säure die Messstellen P8 und P9 und im Rostmoor die Messstellen P13 und P14 sehr ähnlich sind, kann auf die Berücksichtigung jeweils einer dieser Messstellen bei der hydrochemischen Untersuchung verzichtet werden. Wir empfehlen vorzugsweise auf P9 in der Großen Säure und auf P13 im Rostmoor zu verzichten, die Messstellen zu erhalten und das Monitoring der Moorwasserstände an diesen Messstellen fortzusetzen. Die Messstellen für das Grund-/Moorwasser dienen dabei zur Erfassung des DOC insbesondere in den Moorkörpern im EZG der TS Carlsfeld.

Wir schlagen vor das Spektrum der zu untersuchenden Parameter in den Moorpegeln deutlich gegenüber dem bisherigen Spektrum zu kürzen. Der Mindestumfang sollte die Vor-Ort-Parameter, DOC, SAK245, Al, Fe und SO₄ umfassen.

Aus dem Ensemble der Oberflächenwassermessstellen empfehlen wir nicht nur die aktuellen Messstellen weiterhin zu beproben, sondern darüber hinaus die Messstellen FG3 und FG4 im geplanten Sondermessnetz "Huminstoffe" zu berücksichtigen. Diese Messstellen im Oberflächenwasser dienen der abschnittswisen Untersuchung der Fließgewässer, so dass der Beitrag verschiedener Teileinzugsgebiete zur DOC-Belastung der Wilzsch abgeleitet werden kann.

Dazu empfehlen wir das Spektrum der Messparameter im Oberflächenwasser um den Parameter Abfluss zu ergänzen, damit Frachtbetrachtungen möglich sind. Das Spektrum der zu untersuchenden Parameter im Oberflächenwasser sollte im Gegensatz zu dem im Moorwasser weitestgehend beibehalten werden. Darüber hinaus empfiehlt sich exemplarisch, z. B. an FG5 die Erfassung des SAK254 über eine fest installierte Sonde mit möglichst kurzen Messintervallen (z. B. stündlich). Dies, kombiniert mit einer Abflussmessung, dient der vertieften Untersuchung der Abhängigkeit der DOC Mobilisierung vom Abfluss und kann ggf. auch Messwerte in den bisher kaum untersuchten Wintermonaten liefern.

Die Empfehlungen verstehen wir unabhängig von einer Integration der Messstellen in ein Sondmessnetz "Huminstoffe" auch als Empfehlung für die Fortsetzung des Langzeitmonitorings zur Erfolgskontrolle der bereits erfolgten Maßnahmen zur Wiedervernässung und ggf. möglicher zukünftiger Maßnahmen. Eine Fortsetzung dieses Monitorings ist zu empfehlen, da die Ergebnisse zeigen, dass eine Erfolgskontrolle im Rostmoor zumindest an den bislang zu kurzen und durch die Trockenjahre 2018 bis 2020 und vermutlich jetzt auch 2022 überprägten Messreihen scheitert.

Literaturverzeichnis

- ANDERSON, L. E., TRUEMAN, B. F., DUNNINGTON, D. W., GAGNON, G. A. (2021): Relative importance of organic- and iron-based colloids in six Nova Scotian lakes, *npj Clean Water*, 26, 2021
- BAUMANN, P. (2022) Kurzcharakteristik GW-Pegel Gr. Säure/Rostmoor, unveröffentlicht
- CLARK, J.M., LANE, S.N., CHAPMAN, P.J., ADAMSON, J.K. (2008): Link between DOC in near surface peat and stream water in an upland catchment. *Sci. Total Environ.* 404, S. 308–315.
- FRASER C.J.D., ROULET N.T., MOORE T.R. (2001): Hydrology and dissolved organic carbon biogeochemistry in an ombrotrophic bog. *Hydrol. Process.* 15, S. 3151–3166.
- DATENPORTAL IDA – UMWELT – SACHSEN.DE (2022): <https://www.umwelt.sachsen.de/datenportal-ida-4626.html>; letzter Zugriff: 07.03.2022
- DÖTSCHEL, L. (2013): Einfluss der Moorrevitalisierung auf die Wasserqualität in der Trinkwassertalsperre Carlsfeld, Masterarbeit, TU Dresden, 08.05.2013
- DWD (2022): Deutscher Wetterdienst, Stationsdaten DWD-Station Carlsfeld (ID840), Download aus https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/, letzter Zugriff: 27.01.2022
- ECKARDT, A., HAENEL, S. (2020): Herausforderung durch Huminstoffbelastungen in sächsischen Talsperren für die öffentliche Wasserversorgung, Workshop DOC-Einträge in Oberflächengewässer 03. März 2020, Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft Freistaat Sachsen
- EDOM, F., DITTRICH, I., KEßLER, K., GOLDBACKER, S. (2005): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Maßnahmen zur Wiedervernässung des Moorgebietes "Große Säure", erstellt im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz, Fassung vom 15.12.2005
- EDOM, F. (2008): Torfschichtung im Ostteil der Großen Säure als Grundlage für das wasserchemische Monitoring und das FFH – Management; im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz, Hydrotelm, Dresden, 20.11.2008
- FRIEDRICH, C. (2015): Quellen von DOC im hydrologischen Einzugsgebiet der Wilzsch (Westerzgebirge) – eine Multitraceranalyse, Dissertation, Universität Leipzig, 25.02.2015
- GEISEN, S., SEMMLING, A. (2022): Erstellung eines Konzeptes zum DOC-Monitoring in Teileinzugsgebieten der Trinkwassertalsperre Carlsfeld im Westerzgebirge, erstellt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, in Erstellung
- GRUNEWALD, K., SCHMIDT, W. (2005): Bilaterale Untersuchungen und modellgestützte Prognosen von Huminstoffeinträgen in Oberflächengewässer aufgrund veränderter Ökosystemzustände und deren Relevanz für die Trinkwasserproduktion, gemeinsamer Abschlussbericht zum Huminstoff-Projekt, DVGW TZW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe/Dresden, TU Dresden, Juli 2005
- GRUNEWALD, K., SCHEITHAUER, J., SUDBRACK, R., HEISER, A., FREIER, K., ANDREA, H. (2011): Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt in Einzugsgebieten mit degradierten Hochmooren im oberen Erzgebirge, Talsperre Carlsfeld, *Telma*, 41, S. 171-190, Nov. 2011
- Hofmann, T., Baumann, T., Bundschuh, T. v. d. Kammer, F., Leis, A., Schmitt, D., Schäfer, T., Thieme, J., Totsche, K. U., Zänker, H. (2003): Aquatische Kolloide I: Eine Übersichtsarbeit zur Definition, zu Systemen und zur Relevanz, *Grundwasser* 8, 203–212 (2003)
- KEßLER, K., DITTRICH, I. (2011): Moorhydrologisches Gutachten, Teil 1 Grundlagen zur Hydromorphologie im Einzugsgebiet der Talsperre Carlsfeld, erstellt im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Bannewitz, 03.02.2011
- KEßLER, K., GERNER, A., BRUST, K., DITTRICH, I., WAHREN, A. (2016): Hydrochemisches Monitoring im Moorgebiet Große Säure, Einzugsgebiet der Talsperre Carlsfeld, Auswertung für den Zeitraum 2006 – 2014, Abschlussbericht, erstellt im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 30.6.2016, redigierte Fassung vom 19.7.2016

- KEßLER, K. (2016): Datenbank Grosse_Säure_DPHC_2016.mdb; bereitgestellt vom LfULG am 03.01.2022
- KEßLER, K., MÜNCH, A., WAHREN, A. (2020): Erarbeitung von Ökotoxprognosen für organische und mineralische Nass-Standorte im Landeswald des Freistaates Sachsen als fachliche Grundlage für die Weiterentwicklung der forstlichen Standortskarte und zur Entscheidungsunterstützung bei der Moorrevitalisierung, Forschungs- und Entwicklungsprojekt SaFomoN, Auftraggeber Staatsbetrieb Sachsenforst, 09.01.2020
- KRÜGER, A., NEUMEISTER, H., FRIEDRICH, C., LEUNER, S., ADLER, P. (2009): Erarbeitung und Erprobung eines Monitoringkonzeptes für hydrochemische Parameter im Einzugsgebiet der Oberen Wilzsch und dem regenerierenden Hochmoor „Große Säure“, Berichtszeitraum: 1.7.2006 – 31.12.2008, Universität Leipzig, Institut für Geographie, Abteilung Physische Geographie, im Auftrag des Regierungspräsidiums Chemnitz
- KRÜGER, A., NEUMEISTER, H., TOLKE, T., HEINRICH, J. (2011): Hydrologisch-hydrochemisches Monitoring zu den Folgen der Renaturierung Hochmoor Große Säure, Oberes Westerzgebirge, Telma 41, S.191-208, Nov. 2011
- KEßLER, K., EDOM, F., DITTRICH, I., WENDEL, D., FEGER, K.-H. (2011): Informationssystem Moore. Schriftenreihe des LfULG, Heft 14/2011, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- LFULG (2021A): Leistungsbeschreibung – Hydrochemische Begutachtung und Datenauswertung des Teilgebietes „Große Säure/ Rostmoor“ im Einzugsgebiet Talsperre Carlsfeld, Stand: 01.09.2021
- LFULG (2021B): Wasserstanddaten der Moorpegel; bereitgestellt vom LfULG am 17.12.2021
- LFULG (2022): Analysendaten für die Moorpegel und Fließgewässermessstellen mit projektspezifischen Geodaten, bereitgestellt am 03.01.2022
- OSTERLOH, K., TAUCHNITZ, N., WEHNER, I., BERNSDORF, S., KISON, H.-U., MEISSNER, R. (2016): Einfluss der Wiedervernässung eines Moores im Nationalpark Harz auf die Mobilität des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC), WasserWirtschaft 2/3, 2016
- Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen GeoSN (2022): Fachliche Details - Geobasisinformation und Vermessung - sachsen.de; letzter Zugriff: 02.12.2022
- SUDBRACK, R. (2022): DOC-Trends im EZG der TS Carlsfeld (Wilzsch vs. Bach v Ost), Landestalsperrenverwaltung Sachsen, Vortrag im Rahmen der AG DOC am 01.02.2022

A 1 Datengrundlage

A 1.1 Datengrundlage - Gangliniendarstellungen

Grafiken: Ganglinien ausgewählter Parameter

A 1.2 Datengrundlage - Messstellenbezogene deskriptive Statistik - Gesamtdaten

Tabellen: Messstellenbezogene deskriptive Statistik - Gesamtdaten

A 1.3 Datengrundlage - Messstellenbezogene deskriptive Statistik - nach Elimination unplausibler Daten

Tabellen: Messstellenbezogene deskriptive Statistik - Datensatz nach Elimination von unplausiblen Daten

A 1.4 Datengrundlage - Übersichtstabelle der Parameter

Tabelle: Abkürzung/chemische Symbole der Parameter mit Erläuterungen und Einheiten

A 2 Ergebnisse statistischer Analysen

A 2.1 Lineare Trendanalysen, tabellarisch

Tabellen: Lineare Trendanalysen

A 2.2 Messstellenbezogene Korrelationsanalysen

Tabellen: Messstellenbezogene Korrelationsanalysen - Korrelationskoeffizienten

A 2.3 Parameterbezogene Korrelationsanalysen

Tabellen: Korrelationsanalysen für DOC im Oberflächenwasser und im Moorwasser getrennt

A 3 Kartenanhang

A 3.1 Karte 1: Übersichtslageplan

Übersichtskarte: Einzugsgebiet der TS Carlsfeld mit Lage der Messstellen

A 3.2 Karte 2: Übersichtslageplan

Detailkarte: Große Säure und Rostmoor - Lage der Messstellen

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E- Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Autor:

Stefan Geisen, Aaron Semmling
emc Gesellschaft zur Erfassung und Bewertung von Umweltdaten mbH
Liebknechtstraße 51, 99086
Telefon: + 49 361 565653-0
Telefax: + 49 361 565653-30
E-Mail: postmaster@emcerfurt.de

Redaktion:

Vorname Nachname
Abteilung/Referat
Adresse der Dienststelle
Telefon: + 49 351 XXXX-X
Telefax: + 49 351 XXXX-X
E-Mail:

Fotos:

Name, Institution *oder* Vorname, Nachname *oder* entsprechend der Vorgabe des Urhebers

Redaktionsschluss:

TT.MM.JJJJ

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de